

INNOVATIONS ET MÉTALLURGIES
EN MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE
(XIII^e-XV^e SIÈCLES)¹

INNOVATION AND METALLURGY
IN THE WESTERN MEDITERRANEAN AREA
(13th-15th CENTURIES)

CATHERINE VERNA
Université Paris 8

Résumé: Après avoir défini l'innovation technique au Moyen Âge et ses rapports à l'industrie, cet article en étudie les caractéristiques dans les domaines de la métallurgie du fer et de l'argent (plomb et cuivre argentifères) du XIII^e au XV^e siècle, en Méditerranée occidentale. Cet examen s'ouvre par un tableau de la circulation des produits sidérurgiques, attentif à la définition de leurs qualités respectives, en particulier à la distinction fer-acier; il se poursuit par la présentation des territoires techniques spécifiques associés à des districts industriels, ce qui permet à l'auteur d'aborder l'étude des circulations des savoirs techniques. L'article se conclut par une étude des notables (en particulier catalans), entrepreneurs ruraux, qui ont investi dans l'innovation technique.

Mots clés: innovation technique; industrie rurale; métallurgie; acier.

Abstract: After a definition of technical innovation in the Middle Ages and it's relationship to industry, this paper explores it's characteristics in the field of iron and silver (silver-bearing lead and copper) metallurgy from the 13th to the 15th centuries in the western Mediterranean area. The exploration opens with a synthesis of the circulation of iron and steel products, with special care taken over the definition of their respective qualities, in particular the distinction between iron and steel; the exploration continues with an introduction to specific technical territories related to industrial "districts", which allows the author to present the study of the circulation of technical knowledge. The paper concludes with a study of notables (Catalan in particular) as rural entrepreneurs who invested in the technical innovation of their time.

Keywords: technical innovation; rural industry; metallurgy; steel.

SOMMAIRE

1. La circulation des fers et des aciers.— 1.1. Flux majeurs et redistribution diffuse.— 1.2. Identification des qualités: le cas des aciers méditerranéens.— 2. Innovations et combinaison des métallurgies.— 2.1. Réduction du fer et soufflerie hydraulique.— 2.2. Aciers méditerranéens et filières de réduction.— 2.3. Soufflerie hydraulique et ateliers polyvalents.— 3. Innovations et entreprises rurales.— 3.1 Entrepreneurs et communautés rurales.— 3.2. Urbà Aygabella, apothicaire et métallurgiste.— 4. Conclusion.— 5. Bibliographie.

¹ Professeur d'Histoire médiévale, EA 1571, Université Paris 8.

Parmi les produits qui irriguent le dense trafic méditerranéen, le fer et l'acier ont leur place. Sans doute est-elle plus difficile à cerner que celle d'autres marchandises, du fait des interdits de circulation. Ceux-ci n'ont pourtant jamais sérieusement, ni durablement entravé le commerce. Bon espace d'observation pour qui souhaite étudier la circulation des produits sidérurgiques, la mer Méditerranée l'est aussi quand il s'agit d'examiner les techniques d'élaboration des métaux. Les rives nord du bassin méditerranéen ont abrité, en effet, des districts industriels importants, à l'échelle même du continent, et qui ont connu, au tournant des années 1300, un moment innovant au cours duquel les chaînes opératoires du fer ont été profondément renouvelées². Des innovations techniques ont modifié les conditions du marché, quelles que soient les échelles de perception, en délivrant davantage de produits sidérurgiques, aux qualités diversifiées. Si l'étude de l'innovation technique doit être conduite en rapport avec le marché, elle permet également d'interroger la place de ceux qui en ont été les modestes vecteurs, en particulier les entrepreneurs ruraux à la tête des forges de réduction. L'arc qui borde la Méditerranée, de Valence à Rome, offre ainsi un territoire adapté à l'étude des rapports entre innovations et industries du métal, du XIII^e au XV^e siècle.

Avant d'en explorer les différentes facettes, il convient de préciser les liens qui unissent les deux concepts d'«industrie» et d'«innovation» et le sens qu'il faut leur attribuer pour le Moyen Âge. Tous deux sont, à présent, couramment utilisés par les médiévistes. Leur usage a pourtant été longtemps taxé d'anachronisme alors que, tout au contraire, l'une des prérogatives de l'historien réside, me semble-t-il, dans la capacité à interroger les périodes anciennes avec les outils heuristiques du présent. Par ce biais, l'innovation technique et l'industrie ont été les objets d'une relecture rigoureuse, au plus près des sources³. À l'issue de ce travail de remise en ordre, comment définir l'innovation au Moyen Âge? Si son domaine d'application est couramment l'industrie, à quoi correspond ce secteur de la production et en quoi se distingue-t-il de l'artisanat? Quel rapport établir finalement entre innovation et industrie?

Dans son article de 1998 et dès l'introduction, Philippe Braunstein remarque qu'«il est sans doute plus aisé à des historiens du monde contemporain d'admettre qu'avant l'industrie, il y avait déjà l'industrie qu'il ne l'est à des médiévistes de reconnaître que l'artisanat, catégorie du travail et des services de proximité, ne saurait rendre compte de tous les niveaux de la production»⁴. La distinction est claire. L'industrie est capable de livrer une production quantitativement importante, régulière, de qualité constante et reconnue comme telle sur le marché; une production qui dépasse les échanges locaux. Draps, barres de métal, cuirs et tout autre produit sont munis de leurs marques, autant de signes qui en assurent la reconnaissance. L'industrie médiévale, comme celle de l'Antiquité, peut être définie comme «extensive», c'est-à-dire sans nécessaire accroissement de la productivité, la production en quantité et de qualité constante s'opérant par la multiplication des unités de production. Cependant, à cette industrie extensive, il convient d'ajouter une industrie «intensive» dont production et productivité sont accrues par le perfectionnement technique. Cette seconde forme des industries médiévales correspond à celles de la fin du Moyen Âge qui profitent de la mise en place d'une mécanisation liée à l'énergie hydraulique et, en particulier, de machines soufflantes et frappantes. Les rapports au marché n'épuisent pas la définition de l'industrie médiévale. Philippe Braunstein y ajoute une dernière

² C. Verna, *Réduction du fer*, pp. 79-95.

³ C. Verna, *Quelles sources*, pp. 339-371.

⁴ Ph. Braunstein, *L'industrie*, pp. 25-40; Ph. Braunstein, *Artisans*, pp. 67-77.

touche, de l'ordre de l'intime et du sentiment. Pour lui, l'industrie médiévale se caractérise aussi par «une faculté de l'âme», qui s'exprime par le goût de l'innovation.

Il faut s'arrêter un moment sur la place des techniques, et particulièrement sur celle de l'innovation, dans la définition de l'industrie médiévale. Les travaux qui se sont développés depuis une vingtaine d'années l'y autorisent et remettent en cause le soit disant immobilisme médiéval des techniques énoncé par Jacques Le Goff en 1964⁵. Il convient, en effet, d'établir une distinction entre la façon dont se représente une société par la voix de ses clercs, hostiles au changement, et ses aptitudes à ces mêmes changements et aux innovations dans tous les domaines de production⁶. L'innovation n'est donc en rien étrangère au Moyen Âge. La définition qui en est donnée par l'économiste Joseph Schumpeter (*Théories de l'évolution économique*, première édition 1911) est-elle pour autant adaptée à cette période? Une partie de la définition peut être conservée: l'innovation technique au Moyen Âge, comme à l'époque contemporaine, est bien une «méthode de production nouvelle» et «la création d'un bien nouveau». Cependant, si elle apparaît souvent comme une rupture, il faut admettre que, pour la période médiévale, et dans le domaine de la sidérurgie en particulier, cette rupture s'appuie sur des aménagements techniques et des mécanismes simples. Elle n'est pas non plus forcément brutale, même si elle apparaît brutalement dans la documentation⁷. Il ne faut pas, en effet, confondre perception de l'innovation et processus d'innovation. Une «méthode de production nouvelle» comme «la création d'un produit nouveau», pour reprendre les termes de la définition de Schumpeter, résultent souvent d'aménagements successifs et mineurs qui procèdent de tâtonnements à l'intérieur des ateliers, tâtonnements devenus visibles à un moment donné qui est celui de leur enregistrement par l'écrit, processus par lequel surgit l'innovation médiévale.

Dans ce contexte scientifique profondément renouvelé, les recherches dont ont profité les sidérurgies des rives nord de la Méditerranée autorisent une étude des relations entre industries du fer et innovations techniques. Elle peut s'articuler selon trois volets, illustrant l'imbrication des deux notions et leurs points de convergence: les marchés (à partir de l'examen de la circulation et de la qualité des fers et des aciers); les innovations techniques (en insistant sur la question de la soufflerie hydraulique); la place des entrepreneurs (illustrée par le cas des notables ruraux).

1. LA CIRCULATION DES FERS ET DES ACIERS

1.1. Flux majeurs et redistribution diffuse

Des produits sidérurgiques de formes et de qualités variées circulent sur les rives nord de la Méditerranée: du fer en barre ou en lingot, de l'acier en vergelle

⁵ «Il n'est sans doute pas de secteur de la vie médiévale où un autre trait de mentalité: l'horreur des nouveautés n'ait agi avec plus de force anti-progressiste que dans le domaine technique. Innover était là, encore plus qu'ailleurs, une monstruosité, un péché. Il mettait en danger l'équilibre économique, social et mental», J. Le Goff, *La civilisation*, p. 254.

⁶ A. Guerreau, *L'étude de l'économie*, pp. 68-69.

⁷ En 1998, Paul Benoît rappelait le sens du terme «innovation» dans l'œuvre théorique de Joseph Schumpeter. Il en présentait une lecture possible, ne conservant de la définition initiale que les aspects qui étaient applicables au Moyen Âge et insistait, en particulier, sur la rupture que constitue l'innovation, P. Benoît, *Au four*, p. 293. Des nuances ont été apportées à cette définition. A partir du choix de l'analyse micro, il a été démontré que la nouveauté (nouvel appareil, nouvelle manière de faire, nouveau produit) pouvait résulter d'une série d'aménagements mineurs, C. Verna, *Réduction du fer*, pp. 79-94.

ou en ballon⁸ et des produits finis, les plus divers. Ces objets sont repérés, entassés dans les cales des navires ou sur les quais des ports. Cependant, toutes les sidérurgies méridionales n'irriguent pas de la même façon, ni avec la même force les pourtours nord du bassin méditerranéen. Des flux sont notoirement connus⁹. Ils ont été perçus à partir des pôles majeurs que constituent les grands ports. Ainsi, se dessinent des voies régulières de distribution des fers méridionaux à l'intérieur de l'espace méditerranéen. J'isolerais trois ports qui sont autant d'observatoires du phénomène: Barcelone, Valence et Rome. A Barcelone sont débarqués des fers des pourtours nord de la Méditerranée: des fers du Roussillon, des fers ligures et même des fers en provenance du port de Rome. Cependant, les fers qui composent l'essentiel des cargaisons sont d'origine lombarde, parfois difficiles à distinguer des fers en provenance d'Allemagne qui transitent également par Gênes. Si fil, feuilles de fer et ballons d'acier sont importés, la plupart des produits déchargés à Barcelone en provenance des Alpes italiennes sont des produits finis, souvent désignés comme *mercie di Milano* à l'élaboration délicate: clous de toutes tailles et formes, pièces d'armures, épingles de Milan et couteaux, rasoirs, ciseaux (souvent élaborés en Allemagne) et outils divers¹⁰. Valence, quant à elle, est alimentée ponctuellement en fer et surtout en acier par la sidérurgie italienne, à partir des ports de Pise, de Savone et de Gênes, mais les importations y sont dominées par le fer basque¹¹. C'est là une caractéristique majeure sur laquelle nous reviendrons. Rome à présent¹². Le fer importé y est désigné comme «fer de mer». Majoritairement embarquées à partir de Gênes, les barres de fer qui aboutissent à Rome peuvent avoir été élaborées en Ligurie, avec du minerai de l'Ile d'Elbe. Cependant, la majorité des produits sidérurgiques, comme nous l'avons déjà noté pour Barcelone et quel que soit leur degré de finition, sont de facture lombarde (originaires des vallées bergamasques) ou allemande (de Nuremberg). L'acier de Brescia, importé également à partir de Gênes, atteint Rome, qu'il soit en ballon ou sous la forme d'arbalètes et de cordes d'arbalètes. Sont également débarqués des fers siennois et même des fers en provenance de Carinthie et redistribués à partir de Venise... On retrouve ainsi, à la fin du Moyen Âge, sur les quais de la capitale de la chrétienté et selon un assemblage que la lecture des sources rend pittoresque, toutes sortes d'objets finis et semi-finis, en fer et surtout en acier, qui aboutissent également, pour la plupart d'entre eux et à la même période, dans le grand port de la couronne d'Aragon qu'est Barcelone.

Cette circulation des fers et des aciers peut également se lire à partir de pôles du marché intérieur. De fait, la boutique de Francesco di Marco Datini, à Avignon, est un point de convergence des productions métalliques de différents districts méridionaux. Il n'est pas inutile de rappeler que Datini a bâti sa fortune dans la cité des papes, à partir de 1367, en association avec Toro di Berto et sur le secteur de l'armement, plus précisément sur le commerce, l'élaboration, l'assemblage des pièces d'armement, comme sur la réparation des armes usagées. Le marchand propose dans sa boutique d'Avignon une grande variété de produits métalliques. La distinction apparaît clairement dans les comptabilités très précises de la *bottega* avignonnaise où sont notées, pour chaque produit, les qualités du métal et sa provenance¹³. Vers la *bottega* d'Avignon confluent des

⁸ Vergelle: baguette d'acier; ballon: morceaux d'acier réunis dans un paquet de forme arrondie.

⁹ En préambule, il convient de se reporter aux remarques de Rolf Sprandel même si elles concernent davantage l'espace oriental de la Méditerranée; R. Sprandel, *Le commerce*, pp. 387-393.

¹⁰ C. Carrère, *Barcelone*, vol. I, pp. 354-356.

¹¹ J. Guiral-Hadziiossif, *Valence*, p. 315.

¹² Ph. Braunstein, *Acier, fer et minerai*, pp. 499-512.

¹³ L. Frangioni, *Martino da Milano*, pp. 78-79; eadem, *I risultati di esercizio*, p. 447 et suiv. Consulter également E. Cecchi, *L'archivio*.

armes originaires de Lombardie mais également de France (de Paris, Lyon, Bordeaux), de Florence et de Toscane que Datini vend sur place ou qu'il réinsère dans le commerce de redistribution. Les techniques de vente sont très novatrices. Ainsi, l'entreprise a su pratiquer l'usage de l'échantillon afin de gagner des marchés. Ce fut le cas quand Datini décida d'écouler les aciers de Brescia à Barcelone, où ils étaient encore inconnus à la fin du XIV^e siècle¹⁴. On sait combien les facteurs de Datini sont actifs dans le domaine des métaux et déploient toutes sortes de capacité pour approvisionner les réseaux du grand marchand. Ce n'est pas chose aisée. Les travaux de Philippe Braunstein ont bien montré les difficultés rencontrées par les représentants de Datini pour obtenir un approvisionnement, non seulement de qualité, mais en quantité régulière, qu'il s'agisse des aciers distribués sous la forme de produits semi-finis, à partir de Brescia, ou bien des pièces de l'armurerie milanaise. La concurrence est rude. L'entreprise Datini doit, en outre, s'adapter à la politique autoritaire des Visconti qui opèrent des prélèvements arbitraires et imprévus sur certaines qualités d'acier, perturbant la distribution. Quant à la capitale lombarde, ce n'est qu'en 1382, après avoir signé un accord avec le milanais Bassano da Passina, que Francesco di Marco Datini pourra profiter plus régulièrement de ses productions¹⁵. Cependant, la firme rencontre, sur ce terrain également, la concurrence d'autres réseaux marchands: Simone Bellandi, représentant de l'entreprise à Barcelone, se plaint des prix concurrentiels que les Lombards appliquent dans cette ville et qui le contraint à écouler ses *mercie di Milano* à Valence.

À ces flux majeurs et bien identifiés, il faut combiner une autre forme de distribution, sans doute plus délicate à reconstituer mais qui constitue un maillage dense à partir duquel s'opère la diffusion régulière du métal: le cabotage¹⁶. Il met en lumière des ports secondaires, comme autant de points d'appui d'un réseau capillaire. La côte méditerranéenne, de Narbonne à Barcelone, en fournit de nombreux exemples. Sur les quais du port de Narbonne sont débarqués des «fers de Foix», c'est-à-dire du haut Sabarthès (comté de Foix), du fer en provenance de Gruissan, du fer catalan et du fer de Lacau (originaire des plateaux du haut Languedoc). Une partie du fer de Lacau est redistribuée vers Marseille, une autre atteint Collioure, puis Roses¹⁷. Collioure est incontestablement le point d'embarquement des fers du Conflent et du Vallespir où sont pratiqués les prélèvements fiscaux exigés par la couronne d'Aragon sur l'exportation du métal. Si certaines cargaisons importantes quittent Collioure, comme ces 4000 quintaux exportés vers Naples à la demande du roi en 1453, de plus petites quantités sont couramment transportées dans des embarcations modestes en suivant la côte vers Canet, Blanes, Malgrat, Barcelone et Valence. Le cabotage semble bien caractériser la redistribution des fers catalans et sa pratique rend complexe la mesure de leur poids dans les échanges méditerranéens. Cependant, quand les sources le permettent, le calcul des tonnages cumulés prouve l'importance quantitative de cette circulation diffuse. Ainsi, de février à décembre 1305, plus de 2500 quintaux sont enregistrés dans les registres de la leude de Cadaquès. Ils sont majoritairement embarqués à Collioure pour être livrés à Blanes, à Roses, à Feliu et à Barcelone¹⁸.

Notons que parmi les grands courants de redistribution qui sillonnent la Méditerranée, certains concernent des fers étrangers à l'espace méditerranéen où ils figurent pourtant en bonne place. Je fais ici référence au fer basque dont la notoriété

¹⁴ Ph. Braunstein, *L'acier de Brescia*, p. 475.

¹⁵ L. Frangioni, *Avignone*, pp. 255-285.

¹⁶ Sur la pratique du cabotage, J.-V. Murat, *Pratiques*.

¹⁷ E. Baratier, F. Reynaud, *Histoire du commerce*, t. 2, p. 824; G. Romestan, *Le commerce*, p. 56; G. Larguier, *Le drap*, p. 144.; C. Verna, *Qualités des fers*, pp. 354-398.

¹⁸ Je tiens à remercier Anthony Pinto qui m'a aimablement indiqué cette référence.

commerciale n'est plus à démontrer¹⁹. Le fer basque, c'est-à-dire celui élaboré dans les provinces de Biscaye, de Guipuzcoa et de Navarre, ne limite pas sa diffusion au nord de l'Europe et il aborde de grands ports méridionaux, de Cordoue à Barcelone. Il est présent également sur les côtes italiennes et, en particulier, dans le port de Gênes, à partir duquel il est redistribué. A Séville, à Cadix, à Cordoue, il est désigné spécifiquement comme *ferro de Viscaya*²⁰; à Valence, nous l'avons noté, les fers basques dominent incontestablement les importations. Les *ferropes de Viscaya* y sont associés à ceux de *Gallicia*: aux fers semi-ouvrés et aux aciers, sous forme de ballons, s'ajoutent lances et dards biscayens²¹. Il paraît légitime de s'interroger sur l'assimilation commune opérée entre les deux désignations pourtant distinctes de fer d'*Espagne* et de fer basque (sous la forme de *ferro de Viscaya*). La redistribution par cabotage de fers d'origines variées sur les rives de la Méditerranée permet de poser l'hypothèse selon laquelle le «fer d'*Espagne*», ainsi désigné lorsqu'il quitte l'espace hispanique dans les navires basques et rejoint, entre autres, le port de Londres ou les villes et provinces du nord du Royaume de France où il est redistribué²², pourrait rassembler, sous cette dénomination générique, des fers originaires de l'ensemble de la péninsule ibérique et non exclusivement de Biscaye, de Guipuzcoa ou de Navarre.

Il faut bien convenir que, dans la majorité des cas, la reconnaissance des produits sidérurgiques est difficile, sinon impossible. Les fers qui circulent, en particulier sous la forme commune des barres, sont rarement identifiés par le nom de leur origine et rares également sont les marques mentionnées dans les divers écrits qui enregistrent ou prennent acte de leur circulation. La redistribution d'un port à l'autre de l'espace maritime brouille, en outre, la reconstitution qui pourrait être faite des circuits commerciaux. Ainsi, on ignore quelle est l'origine du fer vendu en Sicile par des marchands de Barcelone: s'agit-il d'un fer d'origine catalane, ou bien redistribué à partir de la Catalogne²³? Cependant, parmi les produits sidérurgiques identifiés, et malgré ces questions de méthode, ceux d'origine lombarde dominent incontestablement. A cette appréciation quantitative, les recherches récentes permettent d'ajouter l'expertise des qualités, à partir d'un produit phare des sidérurgies méditerranéennes: l'acier. Celui de Brescia, s'il est le plus aisé à repérer, n'épuise pas toutes les qualités d'un matériau dont la singularité frappe les hommes qui l'approchent et, en particulier, les experts. Lorenzo Ciampelli, le correspondant à Brescia de Francesco di Marco Datini, ne le décrit-il pas comme un produit rare, qui se tient droit, sans une pointe de graisse?

¹⁹ R.-H. Bautier, *Notes sur le commerce*, pp. 17-18; M. Gual, *El hierro*, vol. I, 1970, p. 287; R. Sprandel, *Notas sobre la producción de hierro*, p. 364. Signalons également les études de M.Á. Ladero, *Fiscalidad y poder*; de L.-M. Díez, *Ferrerías*; de H. Casado, *Castilla*. Un article récent sur la production: I. Mugueta, *La primera industrialización*, pp. 9-58.

²⁰ R. Córdoba, *El comercio del hierro*, pp. 317-325. Dans sa thèse, l'auteur précise que, parmi tous les métaux utilisés en ville, seule l'origine du fer est clairement identifiée. Il s'agit de fer basque, R. Córdoba, *La industria medieval*, pp. 225-226.

²¹ Pour Cadix et Séville, L.-M. Díez, *Ferrerías*, p. 545 et suiv. À Valence, J. Guiral-Hadziiossif, *Valence*.

²² Durant la première moitié du XV^e siècle, le «fer d'Espagne» apparaît dans les registres d'audience de la ville de Paris. De façon courante, et déjà bien établie par les travaux de Michel Mollat, il est pris en charge par les marchands de Rouen, à partir du port importateur d'Harfleur. Sur sa redistribution dans le nord du royaume de France voir: M. Mollat, *Le commerce*; M. Arnoux, *Mineurs*; S. Painsonneau, *Fabrication et commerce*; Ph. Braunstein et O. Chapelot, *Mines*, pp. 31-66; J.-P. Leguay, *Un aspect du travail dans les villes*, pp. 185-226.

²³ C. Carrère, *Barcelone*, vol. I, p. 354, note 3.

1.2. Identification des qualités: le cas des aciers méditerranéens

Je crois utile de m'arrêter un moment sur l'identification de l'acier, ce qui me permettra de rendre compte des résultats d'une enquête consacrée à ce produit à haute valeur ajoutée sur les marchés des rives nord de la Méditerranée²⁴. Les modalités de désignation de l'acier se révèlent complexes et leur éclaircissement nécessite une connaissance approfondie des techniques de production²⁵.

Le terme utilisé le plus couramment est le grec *χάλυψ*, *chalybs* (*calibs* selon la graphie médiévale), pouvant également signifier le fer; cette ambiguïté lexicale reflète, il convient de le souligner, l'imbrication des notions de fer et d'acier, commune au Moyen Âge. Le dérivé bas-latin *aciare* ou *aciarium*, puis *acerium/acer* et les formes *acer*, *azero*, *azale*, *accal* etc. en langue vernaculaire, sont ordinairement employés. Certains marchés prestigieux de l'acier désignent très précisément le produit comme un «acier» [sous ses différentes formes lexicales] en l'associant à une marque de fabrique. C'est le cas des aciers de Brescia. Ils circulent sous forme de ballons ou de vergelles dont l'identification est précise du fait de la marque qu'ils portent, un moyen sûr de les associer à leur atelier de fabrication. Philippe Braunstein, à partir de l'étude du *carteggio* Datini de Brescia, a relevé une douzaine de marques illustrées par un dessin: *la campana* (la cloche), *la gamba* (la jambe), *il gallo* (le coq), etc. Cette façon de désigner l'acier permet à ceux qui en ont l'usage d'isoler une qualité spécifique correspondant au savoir faire d'un atelier, sinon d'un maître, auquel un prix est associé. Ainsi, certains acheteurs d'acier de la marque du *balestro*, un des meilleurs aciers du Valcamonica et assurément un des mieux connus par les sources écrites, bien placé également dans l'échelle des prix, se plaignent de la qualité de celui du dernier envoi qui est trop doux «*tropo dolce*» sans doute, ajoutent-ils, parce que un autre maître travaille actuellement à son élaboration. C'est d'ailleurs parfois le nom du maître qui constitue la marque spécifique d'un acier, comme celui «d'Andriolo Bagato» qui apparaît régulièrement dans la correspondance Datini²⁶. La qualité exceptionnelle des aciers de Brescia explique qu'ils soient l'objet de contre-façon. Il est facile de porter sur les verges qui sont commercialisées telle ou telle marque fameuse. Mais il est plus difficile d'assurer une qualité équivalente pour un acier dont on a détourné l'identification. Ainsi, des expertises sont opérées sur certains aciers par les acheteurs, souvent des compagnies commerciales, qui soupçonnent la falsification.

L'acier se cache également derrière la mention du fer quand il est désigné comme un fer particulier, dans la suite logique des définitions aristotéliennes de l'acier qui sont contemporaines de ces taxinomies²⁷. Ce mode de désignation est celui du domaine pyrénéen. Ainsi, «fer fort» et «fer cédat» sont des aciers aux degrés de carburation variés. De telles appellations sont anciennes, et les sources médiévales des montagnes du comté de Foix ou du comté de Roussillon, ou celles collectées sur les quais du port de Narbonne en témoignent dès le début du XV^e siècle.

²⁴ Ph. Dillmann, L. Hilaire-Pérez, C. Verna, *L'acier en Europe*.

²⁵ L'acier, tel qu'il est défini par les sidérurgistes contemporains, est un alliage de fer et de carbone en quantité inférieure à 2 % mass; au-delà, il s'agit de fonte. Cette fourchette de composition découle de notions issues de la métallurgie scientifique, postérieures à l'apparition du procédé Bessemer et auxquelles les travaux de Osmond et de Le Chatelier ont ouvert la voie. Pour une présentation des définitions de l'acier depuis le Moyen Âge, Ph. Dillmann, L. Hilaire-Pérez, C. Verna, *L'acier en Europe*.

²⁶ Ph. Braunstein, *L'acier de Brescia*, pp. 461-462.

²⁷ J.-M. Mandosio, *L'acier*, pp. 95-109.

Cependant, des aciers échappent totalement à l'identification de l'historien. C'est ainsi qu'une étude rapprochée des contrats de vente de fer établis dans un bourg du haut Vallespir (à Arles-sur-Tech) a permis d'interroger l'appellation courante de *ferrum* dans le contexte qui est celui des aciers pyrénéens. Or, derrière cette désignation galvaudée, se cachent des aciers; le terme de *ferrum* se rapporte, en effet, au métal, quelle que soit sa qualité, une fois qu'il a été intégré au circuit d'échange et, en particulier, au marché de distribution où les métaux s'achètent et se vendent par petites quantités. Dans ce cas, le terme *ferrum* ne désigne pas tant une qualité de produit qu'un niveau d'échange. Cela ne signifie pas pour autant que la qualité soit méconnue, ignorée, ou peu importante dans le contexte de la transaction. Simplement, son expression passe par d'autres signes: le *ferrum* est toujours celui d'un marchand et, par la même, il est celui de son réseau de producteurs, relevant donc d'une qualité particulière. Cette modalité de désignation perdurera à l'Epoque moderne. Elle a été mise en évidence en Andorre²⁸. Il est indéniable que, dans ce cas, nous avons perdu les clés de l'identification. La seule assurance que nous ayons réside dans le fait que, parmi le *ferrum* qui circule des montagnes vers les marchés de redistribution jusqu'aux pourtours de la mer Méditerranée, il y a du «fer fort» et du «fer cédât: donc des aciers. La mention spécifique de l'acier ne réapparaîtra dans les documents écrits qu'au moment de la mise en forme finale d'un objet. Cette constatation est importante. Elle démontre combien l'étude du marché doit être éclairée par celle des processus techniques qui sont à l'amont de la distribution et qui permettent de définir le produit selon des critères qualitatifs précis²⁹. C'est ce que nous allons envisager à présent.

2. INNOVATIONS ET COMBINAISON DES MÉTALLURGIES

2.1. Réduction du fer et soufflerie hydraulique

Les lieux de production de la sidérurgie des pourtours nord de la Méditerranée sont intégrés à des territoires techniques caractérisés par des ateliers de réduction du fer désignés par les différents vocables qui apparaissent dans la documentation au cours du XIII^e siècle: *molina* (dans les Pyrénées ariégeoises et catalanes, en Languedoc, en Toscane), *fusina* (dans les Alpes lombardes et vénitiennes), *ferreria* (en Ligurie)³⁰. Chacun de ces territoires a été étudié récemment au point qu'il est possible de proposer à présent une synthèse sur l'organisation technique de la production. La majorité de ces forges produit du fer selon le procédé de réduction directe du minerai, transformé en métal sous l'action réductrice du monoxyde de carbone produit par la combustion du charbon de bois dans le bas fourneau³¹. Le produit qui en est extrait est un mélange pâteux où le fer réduit est encore associé à des scories et à du charbon de bois. Il est apuré et compacté par un martelage qui aboutit à la réalisation de semi-produits dont la forme la plus courante est la barre. L'exception à cette domination de la filière de réduction directe intervient dans certaines vallées lombardes où la *fusina* est combinée à un *furnus*. Dans ces lieux précis, car toutes les *fusinae* ne correspondent

²⁸ O. Codina, *De fer*.

²⁹ C. Verna, *Qualités des fers*.

³⁰ Pour l'Italie l'ouvrage cité *supra*, *La sidérurgie alpine en Italie (XII^e-XVII^e siècle)* offre un panorama très stimulant sur le nord de la péninsule (en particulier pour la Ligurie et la Lombardie). Pour la Toscane, consulter: M. E. Cortese, *L'acqua*. Pour le Languedoc et les Pyrénées, C. Verna, *Le temps des moulins*.

³¹ Ph. Fluzin, *Notions élémentaires de sidérurgie*, pp. 13-44; M. Mangin, *Le Fer*, p. 239.

pas au même objet technique comme nous le verrons ultérieurement, l'hypothèse a été posée d'une implantation de la filière de réduction indirecte dès le XIII^e siècle, le fer étant élaboré à partir de la fonte³².

Or, dans les années 1300, toutes ces forges, quelle que soit la filière (directe ou indirecte) sont actionnées par la force hydraulique. Au début du XIV^e siècle, l'apport le plus significatif du point de vue de l'histoire des techniques ne réside plus dans le martelage mais dans l'application de la force de l'eau au domaine de la soufflerie³³. En 1947, dans *Les origines de la grande industrie métallurgique en France*, Bertrand Gille évoquait l'urgence qu'il y avait à résoudre la question de la soufflerie hydraulique pour une bonne compréhension de l'histoire de la sidérurgie. Dans deux écrits plus tardifs, en 1960 et en 1962, il déplorait qu'elle soit encore totalement en friche³⁴. En 1993, Jean-François Belhoste reprenait le dossier et proposait l'hypothèse selon laquelle l'émergence de nouveaux vocables pour désigner de nouvelles forges de réduction munies de la force hydraulique «*ferreria, fusina, molina*» pouvait être le signe d'une seconde étape de l'équipement de ces forges, correspondant à l'application de l'énergie de l'eau, non au marteau, mais aux soufflets. Cette hypothèse était séduisante. Elle a été suivie d'enquêtes. Il apparaît clairement aujourd'hui que les nouvelles forges hydrauliques qui se diffusent en Occident à la fin du XIII^e siècle, et notamment dans les espaces méridionaux, comportent une soufflerie actionnée par la force de l'eau³⁵. Ainsi, convient-il à présent de distinguer les forges des années 1300 de leur ancêtre qu'est le moulin à fer, une forge de réduction où l'énergie de l'eau est adaptée exclusivement au martelage. A l'échelle de l'Occident, la combinaison de la soufflerie et du martelage hydrauliques constitue un seuil innovant illustré tant par la diversité et la nouveauté des applications techniques, avec l'apparition de nouvelles forges de réduction directe et indirecte aux capacités de production plus élevées, que par celles des produits fabriqués. Il convient, en effet, de poser la question de l'impact de la soufflerie sur les qualités des fers, en particulier dans le cadre de la réduction directe. On sait que dans cette filière l'application de la soufflerie hydraulique est complexe puisqu'il faut contrôler le souffle de la forge de telle façon que le point de fusion du minerai ne soit pas atteint dans le bas fourneau. Néanmoins, la soufflerie hydraulique active incontestablement la carburation. En fonction de la puissance et de la régularité du souffle, le forgeron obtient un produit offrant des degrés de carburation différents, c'est-à-dire des fers et des aciers, à partir d'une même loupe, sans aboutir à la production de fonte. Ce que ni la paléométallurgie, ni l'archéologie expérimentale, qui lui est couplée, ne permettent d'évaluer aujourd'hui, c'est la capacité qu'aurait une soufflerie plus puissante à unifier la carburation en même temps qu'elle l'augmenterait. Cette remarque nous renvoie très précisément à la chaîne opératoire des aciers.

³² E. Baraldi, M. Calegari, *Pratica e diffusione della siderurgia*, pp. 140-153.

³³ C. Verna, «Moulin à fer», pp. 273-286.

³⁴ B. Gille, *Les origines*, t. 1, p. 513.

³⁵ Une soufflerie hydraulique est attestée dans un acte notarié, en Catalogne, en 1416, très précisément dans la moulaine de Léca, proche du bourg d'Arles-sur-Tech, haut Vallespir (procédé de réduction directe). Sur les origines de l'application de la force hydraulique aux forges de Catalogne, et sur le débat historiographique que cette question a généré, je renvoie à M. Sancho, *Homes*; M. Sancho, *Fabregada*, pp. 211-229; C. Verna, *Forge catalane*, pp. 125-142. De même, l'atelier qui rassemble *furnus* et *fusina* dans les hautes vallées lombardes dispose assurément d'une soufflerie hydraulique dans la seconde moitié du XIII^e siècle (procédé de réduction indirecte). Mathieu Arnoux a démontré que c'est en 1269-1272 qu'est attesté pour la première fois le fonctionnement d'un *furnus* et d'une *fusina*, et non en 1226; M. Arnoux, *Innovation technique*, pp. 215-232.

2.2. Aciers méditerranéens et filières de réduction

On aura compris qu'une des caractéristiques des territoires techniques des pourtours occidentaux de la Méditerranée réside dans la production d'aciers. Si la chaîne opératoire des aciers méditerranéens s'inscrit dans la filière de réduction directe puisque, à ce jour, l'usage du procédé de réduction indirecte n'est pas prouvé pour la production d'acier, des cultures techniques peuvent être distinguées, en particulier en fin de processus, quand il s'agit d'extraire l'acier du fer. Il ne sera pas ici question de cémentation de surface, même si elle est couramment pratiquée sur les pourtours de la Méditerranée comme ailleurs, mais de production d'acier dans la masse, à l'intérieur du bas fourneau. Comme il a été préalablement énoncé, en fonction de la marche imposée au fourneau (force de la ventilation, durée de l'opération), et du type de minerai utilisé, la carburation est plus ou moins forte. Si, dans certains contextes, le produit de la réduction directe peut être une loupe presque exclusivement composée de ferrite (l'alliage ferreux qui contient le moins de carbone: $\%C < 0,02$); dans d'autres, la loupe est extrêmement carburée (avec parfois la production ponctuelle de fonte, l'alliage le plus carburé: $\%C > 2$). Dans la majorité des cas, le résultat de la réduction se situe entre ces deux pôles, avec la production d'une loupe hétérogène du point de vue de la composition en carbone. Ceci explique la grande diversité des pratiques en œuvre dans une même filière³⁶.

Il semble bien que, le plus souvent, la carburation ne soit pas contrôlée et que le processus aboutisse à un produit hétérogène au sortir du bas fourneau. En revanche, les différentes parties de la loupe (plus ou moins carburées) sont identifiées et séparées les unes des autres par des opérations mécaniques. C'est du moins une pratique clairement identifiée dans le territoire technique de la mouline. Ce tri, qui s'effectue à l'œil par le forgeron, permet de réaliser, à partir de loupes hétérogènes brisées, des aciers relativement homogènes. Sans doute, le forgeron procède-t-il à plusieurs niveaux de tri. Cette opération délicate est prouvée à Toulouse au XIV^e siècle, chez les fabricants de rasoirs³⁷. Des pratiques comparables sont attestées à la même période dans un lieu majeur de production de l'acier: la Styrie. Une production d'acier par fragmentation et tri peut être observée, aujourd'hui encore, en Afrique comme au Japon.

Une autre voie pour produire de l'acier par la filière directe consiste à volontairement carburer la loupe afin, soit de rendre l'opération de tri mentionnée précédemment très rentable, soit de produire des loupes entièrement constituées d'acier. Cette production d'acier, en plus grande quantité et plus systématique, pourrait être liée à l'emploi de minerai au manganèse. En effet, on sait que certaines régions connues pour leur production d'acier, entre autres les Alpes lombardes et les Pyrénées qui nous intéressent ici, sont situées sur un fond géochimique présentant des minerais de fer fortement chargés en manganèse³⁸. L'hypothèse d'une production volontaire d'acier, correspondant à un tel contexte minéralogique, a été énoncée ces dernières années à partir d'études archéologiques dont je souhaiterais extraire un cas particulier. Il s'agit du site du Castel-Minier, dans la commune d'Aulus, en Ariège, une zone de production dont il a été déjà signalé qu'elle approvisionnait en fer le port de Narbonne.

Connu pour sa mine de plomb argentifère, Castel-Minier a également abrité une installation sidérurgique et ce, au moins dès le XIV^e siècle³⁹. Un des intérêts de

³⁶ Les remarques qui suivent sont extraites de Ph. Dillmann, L. Hilaire-Pérez et C. Verna, *Les aciers avant Bessemer*, pp. 7-69.

³⁷ C. Verna, *Le temps des moulins*, pp. 110-111.

³⁸ F. Tollon, *Étude minéralogique*; C. Verna, *Le temps des moulins*, pp. 64-66; R. Sprandel, *Das Eisengewerbe*.

³⁹ C. Verna, *Une nouvelle*, pp. 201-232; C. Verna, *Le temps des moulins*, p. 94.

la fouille réside dans le fait qu'elle permet d'étudier sur le temps long les différentes formes de la forge hydraulique (la moulaine), avant le saut technique correspondant à la diffusion de la forge à la catalane, au XVII^e siècle. Dans ce contexte, les sources écrites, confirmées par l'archéologie et par les analyses archéométriques, rapportent que le minerai utilisé dans les fours de réduction qui se sont succédés sur le site était extrait du Mont Rancié, transporté à partir de la vallée voisine de Vicedessos, un lieu majeur de la sidérurgie directe du XIII^e au XIX^e siècle⁴⁰. On sait que ce minerai est fortement chargé en manganèse. Or, les fouilles archéologiques ont livré de nombreux déchets métalliques issus des traitements de réduction et de post-réduction (chutes de mises en forme). Des structures métallographiques très carburées, identifiées dans des déchets de la chaîne opératoire et, en particulier, dans des chutes de post-réduction correspondant déjà à des sections de barre, montrent que l'acier était produit de manière commune. On peut supposer que le site de Castel-Minier produisait de l'acier en quantité, sinon en majorité. Se pose alors, de manière évidente, la question de l'influence de la composition du minerai et, notamment du manganèse, sur l'obtention de ce métal. L'analyse du minerai révèle que le manganèse n'est présent qu'en quantités extrêmement faibles (< 0,01% mass) qui ne lui permettent pas de jouer, dans le cadre de la réduction directe, un rôle métallurgique comme il peut le faire en métallurgie contemporaine où, présent pour quelques pour cent dans le fer, il favorise la précipitation des carbures. Le débat reste ouvert mais, à ce jour, les résultats de la recherche pencheraient plutôt pour un rôle en quelque sorte catalytique de cet élément au cours de la réduction, rôle qui favoriserait le captage de l'oxygène, la réduction du fer et, en conséquence, la diffusion du carbone au sein de ce dernier⁴¹. Au Castel-Minier, les loupes sortant des bas fourneaux étaient vraisemblablement très carburées et le produit de leur épuration (transformation en objets ou produits semi-finis) l'était également⁴². Si l'on rapproche les produits très carburés trouvés sur ce site des dénominations des fers sortant directement des moulins ariégeoises puis des forges à la catalane, «fer fort» et «fer cédât» qualifient des gradations dans la qualité des aciers, ce qui semble bien correspondre à la situation constatée à Aulus. Ainsi, les désignations commerciales des fers en gros seraient révélatrices d'un usage déjà normé de l'hétérogène.

Il convient de s'arrêter un moment sur les procédés en place dans les Alpes lombardes car cette zone est associée à l'émergence d'une des formes précoces de la réduction indirecte, c'est-à-dire à la production de fer à partir de la décarburation de la fonte. Le débat a été obscurci par les déductions qui ont relié le couple *furnus/fusina* (les composantes de l'atelier) aux terminologies désignant les produits *ferrum crudum*, *ferrum coctum*, *ferrum laboratum* et *calibs*, dans un contexte technique qui est celui de la mise en place de nouvelles forges hydrauliques. Au moment de l'ouverture de ce dossier, les historiens ont établi une relation quasi exclusive entre l'usage de l'eau pour la soufflerie et l'application du procédé de réduction indirecte. Or, il apparaît à présent que des bas fourneaux peuvent disposer d'une soufflerie hydraulique et, qu'en outre, dans les Alpes, la production de fer et d'acier se faisait majoritairement par réduction directe. Il s'ensuit que l'hypothèse de la décarburation de la fonte se réduit à présent à quelques hautes vallées lombardes et, en particulier, au val Gabbia (province de Brescia) à partir des travaux tant archéologiques qu'historiques de Contanza Cucini Tizzoni et de Marco Tizzoni⁴³. En val Gabbia, sur le site de Ponte

⁴⁰ C. Verna, *Le temps des moulins*, pp. 125-128 et 149; J. Cantelaube, *La forge à la catalane*, pp. 381 et suiv.; Ph. Dillmann, F. Terreygeol, C. Verna, *Premières analyses métallographiques*, pp. 7-14.

⁴¹ V. F. Buchwald, *Iron steel*, p. 452.

⁴² Ph. Dillmann, F. Terreygeol, C. Verna, *Premières analyses métallographiques*.

⁴³ C. Cucini, *Dieci anni di ricerca*, pp. 31-48.

di val Gabbia III, on dispose, en effet, d'un bloc de fonte blanche et de scories qui ont pu être associées à la phase caractéristique de l'affinage, l'ensemble étant mêlé à des produits fortement carburés⁴⁴. Le tout est daté du haut Moyen Âge (V^e-VI^e siècles). Après une période de silence, la production est à nouveau attestée sur le même site, aux XI^e-XIII^e siècles. Il apparaît alors qu'à proximité d'un four, qui n'a pas pu être fouillé, la présence exclusive de laitiers à grenaille a permis aux deux auteurs de poser l'hypothèse d'une filière de production de fonte sans pour autant, cependant, que la production spécifique d'acier ait été clairement identifiée⁴⁵. De même, il semble bien que la décarburation de la fonte soit pratiquée dans les bourgs de Bormio et de Somo-go, au tournant de 1300, en Valteline, où la production d'acier n'est pourtant pas plus assurée que pour le val Gabbia⁴⁶. On l'aura compris: dans ces deux cas, la production de la fonte et sa décarburation n'ont pas pour objectif l'élaboration de l'acier. Il fallait rappeler ces débats sur la diffusion du procédé de réduction indirecte dans les Alpes italiennes pour finalement préciser que la production spécifique de l'acier n'intéresse que très secondairement la filière indirecte au moment de sa première diffusion, quelle que soit la particularité du procédé, qu'il soit de type bergamasque (ce qui est le cas ici) ou wallon (dans le nord de l'Europe).

En revanche, une autre façon de produire de l'acier est attestée en Lombardie, en particulier dans la zone de Brescia, où l'acier est élaboré à partir de la fonte, mais selon un procédé souvent qualifié de co-fusion. Ce procédé est décrit pour la première fois au XVI^e siècle par Vanoccio Biringuccio dans le chapitre *Della pratica di fare l'acciario* de son ouvrage *De La Pirotechnia* (publié en 1540). Il sera ensuite présenté et reformulé successivement par Agricola quelques années plus tard, puis par Ottavio Brembato en 1663 (à Bergame) et par Mario Sampieri en 1676 (en Toscane)⁴⁷. On ignore s'il était appliqué à la production dès la fin du Moyen Âge. La description des opérations est pour le moins complexe et leur interprétation, en termes de mécanismes physico-chimiques, s'avère délicate. Il est clair, cependant, que le procédé nécessite la fusion initiale de fonte au sein d'un creuset et l'ajout ultérieur de morceaux de métal peu carburé et apparemment peu travaillé –vraisemblablement des masses de métal issues de l'affinage et légèrement compactées (début de l'épuration). Fondant ou scories seraient ensuite jetés dans ce bain. Les étapes suivantes restituent, quant à elles, des gestes techniques très proches de ceux que l'on peut trouver dans les descriptions d'affinage (brassage long, travail d'une «pâte», division de cette masse en fragments qui peuvent éventuellement être testés sous le marteau, remontés sous la tuyère, etc.). Du point de vue du geste technique, la description de Biringuccio renvoie donc à une chaîne opératoire «hybride», mêlant des opérations typiques de la co-fusion (qui nécessite une atmosphère plutôt réductrice pour ne pas oxyder les matériaux en présence) et d'autres, au contraire, proches de l'affinage (qui exploite plutôt une atmosphère oxydante ou d'oxydation sélective, par le brassage et les interactions avec la scorie). Il n'en reste pas moins que le produit de l'ensemble de ces étapes techniques semble être un alliage ferreux de teneur intermédiaire entre les deux matériaux introduits dans le foyer (à savoir la fonte et le fer doux) et qui, d'après les

⁴⁴ Ph. Fluzin, *Ponte*, pp. 190-193.

⁴⁵ On peut utilement consulter, C. Cucini, M. Tizzoni, *Alle origini dell'altoforno*, qui présente une synthèse des résultats, pp. 21-42.

⁴⁶ M. Arnoux, *Innovation technique*, pp. 229-230; E. Baraldi, *Una nuova età del ferro*, vol. III, p. 207.

⁴⁷ Sur le vocabulaire et les formules utilisés par ces auteurs pour rapporter la technique de co-fusion, nous renvoyons à G. Biorci, *Lessico*, pp. 185-218. Également, E. Baraldi, *Un secolo dopo la Pirotechnia*, pp. 299-327; R. Vergani, *Metals*, pp. 141-153.

tests effectués et décrits par Biringuccio (trempe notamment), correspond à un acier vraisemblablement de bonne qualité.

2.3. Soufflerie hydraulique et ateliers polyvalents

La machine soufflante est donc le mécanisme central des ateliers de réduction du fer. Or, il apparaît que son usage, dans une même unité de production, peut être appliqué à différentes formes de métallurgie. En effet, les acquis les plus récents de la recherche tendent à prouver tant pour la mouline dans les espaces languedociens et pyrénéens, que pour la *fusina* dans le domaine alpin, que l'atelier peut alternativement traiter du minerai de fer ou des minerais polymétalliques, c'est-à-dire du cuivre ou du plomb argentifères. Cette polyvalence des ateliers est déduite des sources écrites et archéologiques.

Examinons la en commençant par le cas de la *fusina*. Le mot touche à toutes les métallurgies et son sens évolue en fonction du contexte chronologique et minéralogique. Le traitement de l'argent est à l'origine de son émergence. Les indices les plus anciens dont on dispose correspondent à la zone alpine. C'est en 1179, à Ardesio dans les Alpes lombardes, qu'une *fusina argenti* est associée à des *fornellos argenti* pour le traitement de l'argent à partir du plomb argentifère⁴⁸. Mais au XIII^e siècle, toujours en Lombardie, le terme désigne également un autre type d'atelier métallurgique car il traite la fonte de fer: *furnus* et *fusina*. Le mot a glissé de la fusion du plomb au mode de réduction indirecte, avec fusion du minerai de fer⁴⁹. Pourtant, au XIV^e siècle, le terme *fusina*, dans le contexte ligure, désigne des forges de réduction directe du minerai de fer, c'est-à-dire sans fusion. Il y a au moins un point commun à ces ateliers métallurgiques très différents, tous désignés par le terme générique de *fusina*: les uns et les autres disposent de souffleries hydrauliques. Si en Lombardie, comme en Ligurie, la *fusina* a délaissé le domaine de l'argent à la fin du Moyen Âge, dans d'autres zones, cet usage perdure. Ainsi, la *fusina* de Montbolo, implantée en 1424 dans le Vallespir, semble adaptée aux traitements des minerais polymétalliques à base de plomb et/ou de cuivre argentifères qui sont extraits sur le territoire environnant. En 1508 encore, dans le haut-Vicentin, une *fusina* traite également un minerai complexe, rassemblant à la fois du plomb et du cuivre argentifères⁵⁰.

Une évolution comparable est attestée dans le domaine de la mouline. Quand elles apparaissent au cœur du Languedoc, dans la Montagne noire, puis sont implantées dans les Pyrénées, du comté de Foix au haut Vallespir, les moulins sont des forges de réduction directe du minerai de fer. La force hydraulique qui les caractérise par rapport aux forges préexistantes est d'abord adaptée au martelage. On ignore si, dès l'origine, les moulins ont été pourvues d'une soufflerie hydraulique. C'est chose faite, en tout cas, au début du XV^e siècle dans le haut Vallespir (Catalogne). Or, sur le site du Castel-Minier (Ariège) pour lequel on ne dispose que d'une mention écrite attestant de l'implantation d'une mouline au XIV^e siècle, la fouille en cours permet de supposer que cet atelier ait abrité un traitement du plomb argentifère puis du fer, à moins que les deux métallurgies aient été concomitantes. Cette hypothèse devra être vérifiée au cours des prochaines campagnes de fouilles. Autre exemple, fondé exclusivement sur une documentation écrite et davantage éloigné des rives de la Méditerranée puisqu'il concerne le Rouergue: celui des moulins de Nant. Leur activité

⁴⁸ F. Menant, *Aspects*, pp. 3-30; J.-Fr. Belhoste, *Martinetus*, pp. 146-151.

⁴⁹ E. Baraldi, M. Calegari, *Pratica e diffusione della siderurgia*, pp. 140-153; E. Baraldi, *Un secolo dopo la Pirotechnia*, p. 167; M. Arnoux, *Innovation technique*, pp. 229-230.

⁵⁰ R. Vergani, *Miniere*, p. 49.

proprement sidérurgique semble interrompue au début du XV^e siècle. Les moulins sont alors converties au traitement du cuivre.

Fusina et *molina* peuvent donc être reconstituées comme des ateliers métallurgiques organisés autour d'un four muni d'une soufflerie hydraulique, cette soufflerie étant la clef de toutes sortes de métallurgies qui nécessitent de monter en température pour aboutir soit à la réduction, soit à la fusion. Dans le cas de la mouline, les exemples de Castel-Minier et de Nant permettent de poser l'hypothèse qu'un même atelier puisse abriter successivement, en fonction des conditions d'approvisionnement des minerais et de la demande des marchés, la réduction du fer et le traitement de minerais polymétalliques. La maîtrise d'un tel processus technique renvoie à la question des savoirs techniques et à leur circulation dans les campagnes médiévales⁵¹.

3. INNOVATIONS ET ENTREPRISES RURALES

Les ateliers de production, ces forges de réduction, hydrauliques, aux appellations variées mais à la structure technique comparable, sont souvent financées et gérées par de petits entrepreneurs. Il s'agit d'ateliers ruraux. Ils constituent un bon observatoire pour qui souhaite examiner l'investissement des notables des campagnes dans la production industrielle et leur capacité à saisir l'innovation⁵². Je concentrerai ma démonstration sur deux espaces à partir desquels il est possible d'approcher la gestion et même parfois la politique économique conduite par la notabilité locale, à partir de la maîtrise des intérêts communaux au service des moulins pyrénéennes et des fusines lombardes.

3.1. Entrepreneurs et communautés rurales

Comme nous l'avons préalablement évoqué, la mouline apparaît dans la documentation dès la fin du XIII^e siècle, dans la Montagne noire (Languedoc, royaume de France), plus précisément à Escoussens, en 1283. De façon concomitante, des ateliers désignés par le même et nouveau vocable de *molina* sont également installés dans le comté de Foix (vers 1300, aux portes de la vallée de Vicdessos à Junac ou à Luzenac) et dans le haut Vallespir (1314, Prats-de-Mollo). À partir des années 1320, ce type de forge hydraulique se diffuse rapidement en Toulousain, dans le Quercy et le Rouergue. Un territoire technique de la mouline se constitue ainsi au cours du XIV^e siècle, c'est-à-dire un espace où la mouline domine quantitativement la production même si d'autres forges, correspondant à d'autres techniques devenues minoritaires, peuvent se maintenir momentanément. Borné vers l'ouest par les *ferrerias* basques, dont toutes ne sont pas hydrauliques⁵³, le territoire technique de la mouline atteint vers le nord les contreforts de l'Aubrac, occupe les collines du Quercy, les montagnes et les plaines du Languedoc jusqu'aux Cévennes, il englobe enfin l'ensemble des Pyrénées centrales et orientales, bordant ainsi la mer Méditerranée⁵⁴.

Les hommes qui sont à l'origine de son implantation dans le haut comté de Foix au moment même de sa diffusion initiale peuvent être approchés par la documentation écrite, malheureusement d'assez loin. L'identité de la plupart d'entre eux demeure méconnue. Il est possible qu'à l'image de Guilhem Arriga, par ailleurs consul

⁵¹ L. Pérez, C. Verna, *Dissemination of Technical Knowledge*, pp. 537-563.

⁵² Sur l'activité des notables ruraux dans le domaine de l'industrie, C. Verna, *Élites rurales*.

⁵³ M. Urteaga, *Siderurgia*, pp. 543-555.

⁵⁴ C. Verna, *Le temps*.

de Foix, certains d'entre eux soient notaires. Guilhem Arriga dispose d'un des plus puissants ateliers du début du XIV^e siècle, la mouline d'Andronne qui est localisée aux portes de Foix. Parmi ces notables, une famille sort du lot: celle des Marty. Elle est davantage connue pour son adhésion au catharisme que pour son investissement dans la sidérurgie et sa notoriété sociale n'a pas l'éclat de celle de Guilhem Arriga. Les Marty sont des notables ruraux, puissants à l'échelle de la vallée de Vicdessos. Les moulins dont ils disposent à Junac sont parmi les premières à être implantées. La famille Marty détient également des moulins à blé et des moulins drapants dans la haute vallée. À partir de leur cas, enrichi d'autres exemples profitant d'une documentation moins étoffée, j'ai pu poser l'hypothèse selon laquelle la diffusion de l'innovation de la Montagne noire aux Pyrénées centrales aurait suivi les grandes voies empruntées par les troupeaux qui sont aussi celles parcourues par les Parfaits. En effet, la famille Marty n'hésite pas à loger Pierre et Guilhem Authié à leur retour de Lombardie. Les Marty furent leurs passeurs alors que les deux Parfaits animaient des foyers de résistance entre Razès, Lauragais et haut Sabarthès. Finalement, ces notables du haut Sabarthès durent fuir vers Toulouse et l'un de leurs membres périt sur un bûcher de l'Inquisition, quelques années plus tard.

Si les sources ariégeoises ne permettent pas de pousser plus loin l'identification des entrepreneurs, leur action au niveau de la communauté de vallée est clairement établie. Effectivement, la diffusion des forges hydrauliques, non seulement dans la vallée de Vicdessos mais également dans l'ensemble du haut comté de Foix, c'est-à-dire au sud du bourg de Tarascon (espace où l'on dénombre une vingtaine d'implantations dans les années 1350) aboutit à redéfinir les usages communautaires dans le sens des intérêts des notables. C'est chose faite en 1414, avec la rédaction d'une ordonnance que la tradition historiographique désigne souvent, et à tort, comme un règlement minier. Cet acte pour la rédaction duquel les consuls de Foix, d'Aix, de Tarascon et de Vicdessos ont été consultés, organise l'accès à la mine et les conditions de circulation et de vente du minerai. Les mineurs, des paysans, doivent vendre en priorité le minerai qu'ils ont extrait aux hommes de la communauté de Vicdessos. Leurs interlocuteurs privilégiés sont les maîtres de moulins et les marchands. Le prix de vente qui leur est imposé par la réglementation communautaire est, en outre, fixé au plus bas, inférieur à celui pratiqué couramment sur le marché du bourg de Vic où des acheteurs extérieurs viennent s'approvisionner. Ce texte vise également à contrôler le travail des mineurs de façon à ce que l'approvisionnement en minerai soit régulier et de qualité et qu'il corresponde aux besoins des entreprises que sont les moulins, dont la production est acheminée vers Foix et Toulouse, pour ensuite être redistribuée dans le Languedoc, et sur les pourtours de la Méditerranée. La rationalisation de la production passe par la contrainte⁵⁵.

Des intérêts comparables sont en jeu à Bormio, en Valteline (Alpes lombardes). Les forges sont ici désignées par les vocables associés de *furnus* et *fusina* attestant de l'application précoce du procédé de réduction indirecte. L'innovation implantée à Bormio avant 1269 témoigne, comme pour le Vicdessos, de la diffusion d'une technique nouvelle qui émerge dans une vallée voisine, la Val di Scalve, au plus tôt en 1251. Dans cette haute vallée lombarde, les ateliers et en particulier les *fusine* ont été élevés aux frais de la communauté qui les loue. Cette politique vise à réserver la possession ou les revenus de l'exploitation à un petit nombre d'investisseurs, issus du groupe dirigeant du bourg, très actifs dans la gestion des revenus communaux et qui siègent dans les conseils. Dans ce cas encore, parmi les individus identifiés, les notaires sont très présents.

⁵⁵ C. Verna, *Le temps*, pp. 209-213; 269-275.

Ni la documentation concernant la communauté de Vicdessos, ni celle de la Valteline ne permettent d'approcher davantage les individus. Seules les sources catalanes, et dans ce cas les registres de notaires conservés pour les bourgs du haut Vallespir, offrent à l'historien la possibilité exceptionnelle de procéder à la reconstitution de biographies d'entrepreneurs ruraux.

3.2. Urbà Aygabella, apothicaire et métallurgiste

Le haut Vallespir peut être défini comme un district industriel, c'est-à-dire un bassin de production dont l'homogénéité réside dans les circulations des hommes, de leurs savoirs et de leurs capitaux qui concourent globalement au développement d'industries souvent diversifiées et complémentaires. Dans le chapelet de bourgs correspondant à cette haute vallée, celui d'Arles (Arles-sur-Tech aujourd'hui) dispose d'une spécialité en matière de production. Outre une activité de teinturerie qui se révèle commune à l'ensemble des bourgs du district, Arles abrite une métallurgie du fer et de l'argent. Des notables du bourg d'Arles disposent d'intérêts dans l'industrie. Ils placent couramment leurs capitaux dans des parts de sociétés, le plus souvent des teintureries, mais également des forges et des moulins à scier. On retrouve parmi ces investisseurs des notaires, des marchands, des bouchers. Le marché des parts d'entreprise est assez vif sur la place d'Arles et les sociétés se font et se défont, les parts circulent, les financements sont redistribués et seul perdure l'atelier. La majorité de ces hommes ne peut pas être qualifiée d'entrepreneur. Leur intérêt se limite au placement de leurs capitaux au grès de la constitution de sociétés.

Quelques individus occupent une place différente dans la production. Je m'arrêterai un moment sur Urbà Aygabella (Urbanus Aygabella, dans les actes notariés), détenteur de la moitié des parts d'une des plus importantes forges hydrauliques de la haute vallée du Tech, la mouline de Léca. Son activité déclarée est celle d'*apothecarius*. Parfois, et plus rarement, Urbà est également désigné comme *specerius*⁵⁶. Cependant, à la lecture des sources notariées, il apparaît exclusivement en tant qu'entrepreneur, spécialisé dans le domaine de la métallurgie. Urbà est, en effet, un maître de mouline et un exploitant minier. En 1435, il est déjà très actif dans son atelier sidérurgique, dont on ignore à quel moment il en a acquis des parts. Dès 1425, il a investi dans les mines d'argent situées à proximité d'Arles, à Montbolo, en association avec un autre notable d'Arles, Pere Comelles (Petrus Comelles). La mine d'En Comelles, du nom de son associé et ami, est à l'origine de la reprise de l'extraction de l'argent en Roussillon. Urbà Aygabella et Pere Comelles sont d'ailleurs cités nommément par la reine Marie de Castille, régente de la Couronne, comme experts miniers propres à encadrer l'expérience minière d'un de ses fidèles. Urbà dispose, par ailleurs, de parts dans un moulin à scier, entreprise secondaire dans la constitution de son capital, et dont il se dessaisira rapidement. C'est dans sa forge qu'il déploie tous ses efforts, parfois au coude à coude avec les salariés qu'il emploie, pour faire tourner son entreprise, c'est-à-dire pour recruter forgers et muletiers basques, pour gérer les approvisionnements en bois et en minerai ou la réparation de la soufflerie hydraulique, tout en apaisant les conflits internes qui opposent, autour du bas fourneau, les travailleurs basques à ceux originaires du comté de Foix⁵⁷.

Sa forge, tout comme l'exploitation argentifère d'En Comelles, sont d'autant plus intéressantes que, du point de vue technique, elles procèdent toutes les deux

⁵⁶ Dans les actes notariés d'Arles (Arles-sur-Tech), ces deux activités sont désignées par les vocables suivants: *apothecarius*, *ypothecarius*; *specerius*; *specierius*.

⁵⁷ C. Verna, A. Pinto, *Les Basques*, pp. 31-47.

de la diffusion d'innovations. J'ai déjà fait allusion à la forge hydraulique de Léca. Elle est la première mouline où la soufflerie hydraulique soit clairement attestée, au début du XV^e siècle. Or Urbà est particulièrement attentif à ses soufflets, à leur renouvellement et à leur entretien. Il s'adresse régulièrement pour cela aux services de Jacme Borulle, originaire du Languedoc, un moment installé à La Bastide (en Conflent). Il faudrait ajouter à cette attestation locale de la modernité technique dans le domaine de la métallurgie, la *fusina* de Montbolo, un atelier de traitement des minerais polymétalliques, à la fois cuivre et plomb argentifères, qui est associé à la mine d'En Comelles. L'enquête qui a été conduite sur son implantation éclaire les tâtonnements techniques dans le domaine de la métallurgie du cuivre. Ils participent d'une lente élaboration technique qui aboutira, à la fin du XV^e siècle, à l'émergence du *Saiger Process*, un procédé qui permet de récupérer à qualité de minerai égal 60% d'argent de plus que la méthode ancienne par emplombage. L'activité de la *fusina*, dont l'installation résulte de la volonté royale au moment même où la Couronne récupère une partie de la production de la mine de Pere Comelles et d'Urbà Aygabella, dépend aussi des deux hommes qui participent aux frais de fusion du minerai (1433).

Ainsi, l'activité d'Urbà dans le domaine de l'industrie est très spécialisée: l'apothicaire investit son argent et son temps dans la métallurgie. C'est là un point important car il établit le lien entre les deux activités d'Urbà, celle déclarée d'apothicaire et celle attestée par la documentation notariée, d'entrepreneur. On ne peut nier que la connaissance des minéraux [sulfate de fer (couperose), sulfate de cuivre (vitriol)] lui soit tout aussi utile dans le domaine de la pharmacopée que dans celui de la métallurgie des ferreux et des non-ferreux⁵⁸. La réussite d'Urbà réside, donc, dans sa capacité à déployer son activité dans un secteur industriel pour lequel il dispose d'aptitudes et de savoirs particuliers. La vie professionnelle de cet homme résulte, au moins en partie, d'un glissement de ses connaissances et de leur application, du domaine des soins à celui de l'industrie. A ce capital de savoir sur lequel s'érige son activité industrielle, il ajoute une capacité à gérer des moyens matériels divers, à l'échelle de sa forge, et à les financer. L'homme est ainsi en contact avec les innovations techniques, tant dans le domaine du fer que dans celui de l'argent, qui caractérisent le Vallespir durant la première moitié du XV^e siècle. En a-t-il été un des agents de diffusion? Nous l'ignorons. Il dispose, en revanche, à l'échelle du bourg d'Arles, d'un esprit d'initiative et d'une capacité à combiner les activités qui définissent l'entrepreneur de la fin du Moyen Âge et de la première Renaissance⁵⁹.

4. CONCLUSION

L'examen des grands axes de distribution des fers en mer Méditerranée, nous a conduit à un individu, une de ces «vies minuscules» que le médiéviste approche si rarement. Cette démarche n'a rien d'artificiel. Jeu d'échelles et combinaison des espaces permettent d'appréhender la globalité des circulations et des échanges (quelle que soit leur nature: technique, financière, commerciale) qui a abouti à la construction d'un espace métallurgique, associant différents districts industriels sur les rives nord de la Méditerranée. Incontestablement, cet espace majeur de production sidérurgique à l'échelle de l'Occident ne fut pas uniquement celui des marchands, des cités et des ports.

⁵⁸ J.-P. Bénézet, *Pharmacie*, pp. 525-531.

⁵⁹ H. Vérin, *Entrepreneurs*; L. Hilaire-Pérez et C. Verna, *Cross-trade*.

L'étude de l'innovation technique, qui ouvre sur celle des chaînes opératoires, révèle, en effet, la diversité des savoirs techniques qui ont contribué à l'élaboration des métaux, dont certains à forte valeur ajoutée, comme l'acier. Dans ce domaine, la démarche récente consistant à croiser l'approche lexicale et les analyses paléo-métallurgiques a considérablement enrichi notre connaissance de la qualité des métaux. Elle confirme les données patiemment collectées sur les modes opératoires. Il s'avère que la diffusion de la soufflerie hydraulique a, sans aucun doute, joué un rôle majeur dans la construction des territoires techniques des rives nord de la Méditerranée où il semble bien que des transferts se soient opérés entre métallurgie du fer et métallurgie des non ferreux. Ces territoires, montagnes méditerranéennes où bois, eau et minerais sont rassemblés, furent ainsi le berceau d'innovations dont les communautés rurales et les entrepreneurs des campagnes furent les vecteurs, actifs et créatifs. L'étude de la sidérurgie, dans ses dimensions techniques mais non exclusivement, a ainsi contribué à remettre en cause les schémas historiographiques bâtis autour de l'industrie et de l'entreprise, largement dominés par la ville et par ses marchands. À partir des sources notariées du XV^e siècle, en particulier, la petite entreprise rurale a trouvé sa place dans l'Europe de la fin du Moyen Âge et de la Renaissance.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Arnoux, Mathieu, *Innovation technique, intervention publique et organisation du marché: aux origines du district sidérurgique de la Valteline (XIII^e-XIV^e siècles)*, dans *La sidérurgie alpine (XII^e-XVII^e siècle)*. Études réunies par Philippe Braunstein, Rome, Ecole française de Rome, 2001, pp. 215-232.
- Arnoux, Mathieu, *Mineurs, férons et maîtres de forges. Étude sur la production du fer dans la Normandie du Moyen Âge, XI^e-XV^e siècles*, Paris, CTHS, 1993.
- Baraldi, Enzo, *Un secolo dopo la Pirotechnia il modo di fare l'acciaio nelle osservazioni di Marco Sampieri*, «Atti dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti» 154 (1995-1996), pp. 299-327.
- Baraldi, Enzo, *Una nuova età del ferro: macchine e processi della siderurgia*, dans *Il rinascimento italiano e l'Europe*, vol. III, *Produzione e tecniche*, a cura di Philippe Braunstein e Luca Molà, Vicenze, A. Colla, 2007, pp. 199-216.
- Baraldi, Enzo; Calegari, Manglio, *Pratica e diffusione della siderurgia «indiretta» in area italiana (secc. XIII-XVI)*, dans *La sidérurgie alpine en Italie (XII^e-XVII^e siècle)*, études réunies par Philippe Braunstein, Rome, École Française de Rome, 2001, pp. 140-153.
- Baratier, Édouard; Reynaud, Félix, *Histoire du commerce de Marseille*, t. 2, Paris, Plon, 1951.
- Bautier, Robert-Henri, *Notes sur le commerce du fer en Europe occidentale du XIII^e au XVI^e siècle*, «Revue d'Histoire de la Sidérurgie», t. I-4 (1960), pp. 7-36.
- Belhoste, Jean-François, *Martinetus et Fusina dans la sidérurgie alpine aux XIII^e et XIV^e siècles. Réflexions philologiques*, dans Cucini Tizzoni, Constanza; Tizzoni, Marco, (éds.), *Il ferro nelle Alpi, giacimenti, miniere e metallurgia dall' antichità al XVI secolo, atti del convegno, Bienna, 1998*, Breno, Comune di Bienna, 2000, pp. 146-151.
- Bénézet, Jean Pierre, *Pharmacie et médicament en Méditerranée occidentale (XIII^e-XVI^e siècles)*, Paris, Honoré Champion, 1999, pp. 525-531.
- Benoit, Paul, *Au four et au moulin: innovation et conjoncture*, dans Beck, Patrice, (dir.), *L'innovation au Moyen Âge, Actes du VI^e Congrès international d'archéologie médiévale*, Dijon, Errance, 1998, pp. 293-301.

- Biorci, Grazia, *Lessico d'acciaio. Le parole della Fabbrica dell'acciaio. Tra XVI e XVII secolo*, dans *Pratiche e Linguaggi. Contributi a una storia della cultura tecnica e scientifica*, Istituto di Storia dell'Europa mediterranea, Cagliari-Genova-Torino, Gênes, CNR, 2005, pp. 185-218.
- Braunstein, Philippe, *Acier, fer et minerais de fer à la douane de Rome: commerce et entreprise au XV^e siècle*, dans *La sidérurgie alpine en Italie (XII^e-XVII^e siècle)*. *Études réunies par Philippe Braunstein*, Rome, École Française de Rome, 2001, pp. 499-512.
- Braunstein, Philippe, *Artisans*, dans Le Goff, Jacques; Schmitt, Jean-Claude, (dir.), *Dictionnaire raisonné de l'Occident médiéval*, Paris, Fayard, 1999, pp. 67-77.
- Braunstein, Philippe, *L'acier de Brescia à la fin du XIV^e siècle: l'apport d'une correspondance d'affaires*, dans *La sidérurgie alpine en Italie (XII^e-XVII^e siècle)*. *Études réunies par Philippe Braunstein*, Rome, École Française de Rome, 2001, pp. 455-479.
- Braunstein, Philippe, *L'industrie à la fin du Moyen Âge: un objet historique nouveau?*, dans Bergeron, Louis; Bourdelais, Patrice (dir.), *La France n'est-elle pas douée pour l'industrie?*, Paris, Belin, 1998, pp. 25-40 [réédité dans *Travail et entreprise au Moyen Âge*, Bruxelles, De Boeck, pp. 93-111].
- Braunstein, Philippe; Chapelot, Odette, *Mines et métallurgie en Bourgogne à la fin du Moyen Âge, première esquisse*, dans Benoit, Paul; Braunstein, Philippe (éds.), *Mines, carrières et métallurgie dans la France médiévale. Actes du colloque de Paris, juin 1980*, Paris, CNRS, 1983, pp. 31-66.
- Buchwald, V. F., *Iron steel and cast iron before Bessemer*, Copenhague, Selskab, 2008.
- Cantelaube, Jean, *La forge à la catalane dans les Pyrénées ariégeoises, une industrie à la montagne (XVII^e-XIX^e siècle)*, Toulouse, Méridiennes, 2005.
- Carrère, Claude, *Barcelone centre économique à l'époque des difficultés (1380-1462)*, vol. I, Paris-La Haye, Mouton, 1967.
- Casado Alonso, Hilario, *Castilla y Europa, comercio y mercaderes en los siglos XIV-XV y XVI*, Burgos, Diputación, 1995.
- Caunedo del Potro, Betsabé, *Mercaderes castellanos en el golfo de Vizcaya (1475-1492)*, Madrid, Universidad Autónoma, 1983.
- Cecchi Aste, Elena, *L'archivio di Francesco di Marco Datini. Fandaco di Avignone: inventario*, Rome, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, 2004.
- Codina Vialette, Olivier, *De fer et de laine. Les vallées andorranes du XVI^e au XIX^e siècle*, Perpignan, Presses Universitaires de Perpignan, 2005.
- Córdoba de la Llave, Ricardo, *El comercio del hierro en Córdoba, un capítulo de la actividad vascongada en Andalucía a fines de la Edad Media*, dans *Congreso Mundial Vasco. 1987-1988*, Donostia-San Sebastián, Editorial Txertoa Argitaletaria, pp. 317-325.
- Córdoba de la Llave, Ricardo, *La industria medieval de Córdoba*, Córdoba, Obra Cultural de la Caja Provincial de Ahorros de Córdoba, 1990.
- Cortese, Marie Elena, *L'acqua, il grano, il ferro. Opifici idraulici medievali nel bacino Farma-Mersè*, Florence, All'Insegna del Giglio, 1997.
- Cucini Tizzoni, Costanza, *Dieci anni di ricerche sulla siderurgia lombarda: un bilancio*, dans *La Sidérurgie alpine en Italie (XII^e-XVII^e siècle)*. *Études réunies par Philippe Braunstein*, Rome, École Française de Rome, 2001, pp. 31-48.
- Cucini Tizzoni, Costanza; Tizzoni, Marco, *Alle origini dell'altoforno: i siti della Val Gabbia e della Val Grigna a Bienneo in Valcamonica*, dans Poggio, Pier Paolo; Simoni, Carlo (éds.), *Musei del ferro in Europa e in Italia. La ricerca e le esperienze di conservazione e valorizzazione. Atti del Convegno. Brescia-Tavernole sul Mella, settembre 2004*, Brescia, Grafo edizioni, 2006, pp. 21-42.

- Daumas, Marcel, (dir.), *Le Moyen Âge en Occident (V^e-1350)*, dans *Histoire générale des techniques*, t. 1: *Des origines au XV^e siècle*, Paris, Presses Universitaires de France, 1962.
- Díez de Salazar Fernández, Luis Miguel, *Ferrerías guipuzcoanas. Aspectos socio-económicos, laborales y fiscales (siglos XIV-XVI)*, Donostia-San Sebastián, Fundación socia y cultural de Kutxa, 1997.
- Dillmann, Philippe; Hilaire-Pérez, Liliane; Verna, Catherine, (éds.), *L'acier en Europe avant Bessemer*, Toulouse, Méridiennes, 2011.
- Dillmann, Philippe; Hilaire-Pérez, Liliane; Verna, Catherine, *Les aciers avant Bessemer*, dans Dillmann, Philippe; Hilaire-Pérez, Liliane; Verna, Catherine, (éds.), *L'acier en Europe avant Bessemer*, Toulouse, Méridiennes, 2011, pp. 7-69.
- Dillmann, Philippe; Téreygeol, Florian; Verna, Catherine, *Premières analyses métallographiques des produits sidérurgiques trouvés sur le site médiéval de Castel-Minier (Aulus-les-Bains, 09)*, «La Revue d'Archéométrie» 29 (2006), pp. 7-14.
- Fluzin, Philippe, *Notions élémentaires de sidérurgie*, dans Echard, Nicolas, (éd.), *Métallurgies africaines. Nouvelles contributions*, Paris, Société des Africainistes, 1983, pp. 13-44.
- Fluzin, Philippe, *Ponte di val gabbia III: i reperti metallici della forgia. Primi risultati dello studio metallografico*, dans Cucini Tizzoni, Costanza; Tizzoni, Marco (éds.), *La miniere perduta. Cinque anni di ricerche archeometallurgiche nel territorio di Bienno*, Breno, Comune di Bienno, 1999, pp. 190-193.
- Frangioni, Luciana, *Avignone: l'inizio di tutto*, dans Nigro, Giampiero (éd.), *Francesco di Marco Datini. L'uomo, il mercante*, Florence, Firenze University Press, 2010, pp. 255-285.
- Frangioni, Luciana, *I risultati di esercizio della bottega Datini di Avignone (1385-1402)*, dans *Studi in memoria di Mario Abrate*, vol. I, Turin, Istituto di Storia Economica, 1986.
- Frangioni, Luciana, *Martino da Milano fa i bacinetti in Avignone (1379)*, «Ricerche Storiche» 14 (1984), pp. 69-116.
- Gille, Bertrand, *Les origines de la grande industrie métallurgique en France*, t. 1: *Des origines au XV^e siècle*, Paris, Domat Montchrestien, 1947 [rééd. 1996].
- Gual Camarena, Miguel, *El hierro en el medioevo hispano*, dans *La minería hispana e iberoamericana. Estudios, fuentes, bibliografía*, vol. I, León, Cátedra de San Isidoro, 1970.
- Guerreau, Alain, *L'étude de l'économie médiévale. Genèse et problèmes actuels*, dans *Le Moyen Âge aujourd'hui. Trois regards contemporains sur le Moyen Âge, histoire, théologie, cinéma*, Paris, Le Léopard d'Or, 1998.
- Guiral-Hadziiossif, Jacqueline, *Valence, port méditerranéen au XV^e siècle (1410-1525)*, Paris, Publications de la Sorbonne, 1986.
- Hilaire Pérez, Liliane; Verna, Catherine, *Cross-trade Skills and Business Strategies: Personal Itineraries Between Medicine and Metallurgy in Middle Ages and Early Modern Europe*, dans *Actes du XIV^e Congrès international d'Histoire économique (Helsinki, août 2006)*, à paraître.
- Ladero Quesada, Miguel Ángel, *Fiscalidad y poder real en Castilla 1252-1369*, Madrid, Universidad Complutense, 1993.
- Larguier, Gilbert, *Le drap et le grain en Languedoc: Narbonne et le Narbonnais (1300-1789)*, Perpignan, Presses Universitaires de Perpignan, 1996.
- Le Goff, Jacques, *La civilisation de l'Occident médiéval*, Paris, Arthaud, 1964.

- Leguay, Jean-Pierre, *Un aspect du travail dans les villes armoricaines au Moyen Âge: la fabrication des canons et armes blanches*, dans *Hommes et travail du métal dans les villes médiévales. Études réunies par Paul Benoit et Denis Cailleaux*, Paris, AEDEH, 1988, pp. 185-226.
- Mandosio, Jean-Marc, *L'acier dans la minéralogie et l'alchimie médiévales*, dans Dillmann, Philippe; Hilaire-Pérez, Liliane; Verna, Catherine, (éds.), *L'acier en Europe avant Bessemer*, Toulouse, Méridiennes, 2011, pp. 95-109.
- Mangin, Michel, *Le Fer*, Paris, Errance, 2004.
- Menant, François, *Aspects de l'économie et de la société dans les vallées lombardes aux derniers siècles du Moyen Âge*, dans *La sidérurgie alpine en Italie (XII^e-XVII^e siècle). Études réunies par Philippe Braunstein*, Rome, École Française de Rome, 2001, pp. 3-30.
- Mollat, Michel, *Le commerce de la haute Normandie au XV^e et début du XVI^e siècle*, Paris, Plon, 1952.
- Mugueta Moreno, Íñigo, *La primera industrialización en Navarra: la ferrerías en la Baja Edad Media*, «Huarte de San Juan. Geografía e Historia» 16 (2010), pp. 9-58.
- Murat, Josée-Valérie, *Pratiques et succès du cabotage en Méditerranée nord-occidentale, XIV^e siècle*, dans *Rives nord-méditerranéennes. Cabotages et réseaux portuaires en Méditerranée*, 2003 [en ligne].
- Painsonneau, Simon, *Fabrication et commerce des armures: L'armurerie tourangelles au XV^e siècle*, Paris, AEDEH, 2004.
- Pérez, Liliane; Verna, Catherine, *Dissemination of Technical Knowledge in the Middle Ages and the Early Modern Era. New Approaches and Methodological Issues*, «Technology and Culture», 47 (2006), pp. 537-563.
- Romestan, Guy, *Le commerce à Narbonne dans le second quart du XIV^e siècle*, dans *Hommage à Jean Combes, Études languedociennes, Mémoires de la Société archéologique de Montpellier*, Montpellier, Société Archéologique de Montpellier, 1991.
- Sancho i Planas, Marta, *Homes, fargues, ferro i foc. Arqueologia i documentació per a l'estudi de la producció de ferro en època medieval: les fargues dels segles IX-XIII al sud del Pirineu català*, Barcelone, Marcombo, 1999.
- Sancho i Planas, Marta, *Fabregada: un forn de reducció de ferro de l'Alta Edat Mitjana*, dans *L'obtenció del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX, Actes del 6è curs d'Arqueologia d'Andorra*, 2000, Andorre, Govern d'Andorra, 2001, pp. 211-229.
- Sprandel, Rolf, *Das Eisengewerbe im Mittelalter*, Stuttgart, A. Hiersemann, 1968.
- Sprandel, Rolf, *Le commerce du fer en Méditerranée orientale au Moyen Âge*, dans Mollat, Michel (éd.), *Sociétés et compagnies de commerce en Orient et dans l'océan indien, Actes du 8^e Colloque international d'histoire maritime, Beyrouth, septembre 1966*, Paris, SEVPEN, 1970, pp. 387-393.
- Sprandel, Rolf, *Notas sobre la producción de hierro en la península ibérica durante la edad media*, «Anuario de Estudios Medievales» 13 (1983), pp. 351-365.
- Tollon, Francis, *Étude minéralogique de la région de Vicdessos (Ariège)*, Thèse de l'Université des Sciences de Toulouse, 1964.
- Urteaga Artigas, Mercedes, *Siderurgia en Gipuzkoa. Haizeolas, ferrerías masuqueras y ferrerías mazonas*, dans *Actas de las I jornadas sobre minería y tecnología en la edad media peninsular, León, 1995*, León, Fundación Hullera Vasco-Leonesa, 1996, pp. 543-555.
- Vergani, Raffaello, *Metals and metallurgical processes in north Italy in Biringuccio's work*, «History of Technology» 21 (1999), pp. 141-153.

- Vergani, Raffaello, *Miniere e società nella montagna del passato, Alpi veneti, secoli XIII-XIX*, Vérone, Cierre Edizioni, 2003.
- Vérin, Hélène, *Entrepreneurs, entreprise. Histoire d'une idée*, Paris, Presses Universitaires de France, 1982.
- Verna, Catherine, *Élites rurales, industries et fortunes (Catalogne, Vallespir, XIV^e-XV^e siècles)*, dans *Élites rurales méditerranéennes. Rome, octobre 2009. École Française de Rome*, en cours de publication.
- Verna, Catherine, *Forge catalane: la question des origines*, dans Zimmermann, Michel (éd.), *Le Moyen Âge en Catalogne. Colloque de Prades, mai 2003. Études Roussillonnaises*, Perpignan, El Trabucaire, 2005, pp. 125-142.
- Verna, Catherine, *Le temps des moulins. Fer, technique et société dans les Pyrénées centrales (XIII^e-XVI^e siècles)*, Paris, Publications de la Sorbonne, 2001.
- Verna, Catherine, «Moulin à fer»: l'héritage de Bertrand Gille, dans Durand, Aline, (éd.), *Jeux d'eau. Moulins, meuniers et machines hydrauliques, XI^e-XX^e siècle. Études offertes à Georges Comet*, Aix-en-Provence, Presses Universitaires de Provence, 2008, pp. 273-286.
- Verna, Catherine, *Qualités des fers, prix des marchés, valeur des hommes et des alliances (haut Vallespir, XV^e siècle)*, dans Denjean, Claude (éd.), *Sources sérielles et prix au Moyen Âge. Travaux offerts à Maurice Berthe*, Toulouse, Méridiennes, 2009, pp. 354-398.
- Verna, Catherine, *Quelles sources pour quelles entreprises au Moyen Âge?*, dans Ammannati, Francesco, (éd.), *Dove va la storia economica? Metodi e prospettive, secc. XIII-XVIII / Where is economic history going? Methods and prospects from the 13th to the 18th centuries. Atti della Quarantaduesima Settimana di Studi. Prato, 18-22 aprile 2010*, Florence, Firenze University Press, 2011, pp. 339-371.
- Verna, Catherine, *Réduction du fer et innovation: à propos de quelques débats en histoire sociale des techniques*, «Techniques: les paris de l'innovation. Médiévales» 39 (2000), pp. 79-95.
- Verna, Catherine, *Une nouvelle page de l'histoire des mines d'argent européennes: le cas des Pyrénées centrales (XIV^e-XV^e siècles)*, «Bulletin de la Société Ariégeoise des Sciences, Lettres et Arts» 51 (1996), pp. 201-232.
- Verna, Catherine; Pinto, Antony, *Les Basques dans les forges de Catalogne: migration, culture technique et industrie rurale (XV^e-XVI^e siècles)*, dans Maitte, Corine; Mandé, Issiaka; Martini, Manuela; Terrier, Didier, (dir.), *Entreprises en mouvement. Migrants, pratiques entrepreneuriales et diversités culturelles dans le monde (XV^e-XX^e siècle)*, Valenciennes, Presses Universitaires de Valenciennes, 2009, pp. 31-47.

Fecha de recepción del artículo: julio 2011

Fecha de aceptación y versión final: septiembre 2011