

Prolégomènes à une histoire de la métallurgie du fer au Levant Sud

Sylvain Bauvais
post-doctorant au CRFJ

Mots clés/Keywords

sidérurgie, Levant sud, étude diachronique, artisanat, commerce, matière première, histoire des techniques / *iron and steel industry, south Levant, diachronic study, crafts, networks of trade, raw material, history of techniques*

Résumé

La métallurgie du fer au Levant sud a été très peu étudiée, en dehors des premiers temps de son essor. Nous présentons dans cet article une sorte d'état des lieux des données disponibles sur cette métallurgie et sur les relations commerciales qu'elle a pu engendrer, depuis les premiers objets en fer jusqu'à l'Empire ottoman. Cette introduction souligne plus la tâche qu'il reste encore à accomplir plutôt qu'elle ne donne une vision claire de l'évolution des techniques et de leur organisation au sein des différentes périodes.

La région se caractérise par une distribution de gisements minéraux très irrégulière et de faible ampleur qui conduit très vite à une situation de dépendance envers les réseaux d'approvisionnement. Elle est également le théâtre d'une multitude de conquêtes militaires et d'occupations qui ont apporté leur lot d'innovations techniques mais aussi bouleversé les réseaux d'acquisition de la matière première en fonction des affinités géopolitiques.

Abstract

The iron and steel metallurgy in the south Levant has been little studied apart its first period of development. A kind of overview is presented in this article, about data available on this metal industry and on the trade connections which it has been able to provoke, since the first iron objects until the Ottoman Empire. This introduction underlines most-of-all the task which it still remains to carry out rather than it gives a clear vision of the evolution of these techniques and of their organization within various periods.

This region is characterized by a very irregular distribution of mineral deposits of a weak scale which leads very fast to a situation of dependence to networks of supplying. It is also the theater of a multitude of military conquests and occupations which brought their lot of technical innovations but also disrupt acquisition networks of the raw material according to their geopolitical kinship.



Depuis sa découverte et son utilisation, le fer prend une place décisive dans l'histoire des peuples et des nations. La guerre, l'agriculture, l'artisanat puis l'industrie se trouvent irrémédiablement liés à ce matériau dont la domination et la possession deviennent rapidement des enjeux cruciaux. En dépit de ce constat, les chercheurs engagés dans des travaux sur l'histoire du fer au Proche-Orient se sont restreints jusqu'à présent à des problématiques basées sur l'introduction de ce nouveau matériau au cours de l'âge du Fer II. Pendant longtemps, ces recherches se sont notamment dirigées vers la confirmation des textes religieux bibliques et la relation entre l'arrivée des peuples de la mer (en particulier les Philistins) sur les côtes du Levant, et l'introduction des techniques sidérurgiques. Plus tard, des recherches se sont focalisées sur l'apparition de l'acier et sur la transition entre le fer et cet alliage fer/carbone. Si l'on compare avec les travaux conduits ces dernières années en Europe et notamment en France, nous pouvons d'ores et déjà déclarer que tout un pan de la recherche sur ce sujet est à remettre en question et même à balayer du revers de la manche.

Pour les périodes plus récentes, rien n'a été encore entrepris, que ce soit dans une optique technologique ou dans une optique d'étude des réseaux commerciaux.

C'est pourquoi nous proposons la mise en place d'un travail de fond, d'un programme de recherche basé sur les acquis récents de la recherche française et européenne. Il conviendra ainsi de baser les investigations sur des études précises, des contextes datés, et surtout des références théoriques valides.

Le but sera de mettre en place une image plus réaliste de l'introduction de ce matériau au Levant (apparition locale, diffusion depuis la Perse, l'Anatolie, et la région méditerranéenne), et de structurer une chronologie des innovations en relation avec l'histoire des influences politiques et commerciales des différentes parties de la région. Pour cela nous devons prendre comme base de réflexion des données théoriques fiables et basées sur une réelle connaissance physico-chimique des procédés sidérurgiques.

Enfin, le but de cette recherche sera de reconstituer l'évolution des relations commerciales et productives à l'intérieur de la région et vers les régions alentours (évolution des approvisionnements et des relations entre les producteurs, les commerçants et le pouvoir politique).

Cet article propose un premier tour d'horizon des connaissances acquises et des sujets à creuser dans l'avenir.

Le minerai, le bois : entre contraintes environnementales et développement commercial

Les principales contraintes, dans l'implantation d'une industrie sidérurgique, sont géologiques et environnementales. Les conditions naturelles dictent le développement des premières phases de production (la réduction du minerai), mais l'organisation socio-économique permet par la suite de venir contrebalancer ces impératifs environnementaux (pour les phases de post-réduction ; la forge). La culture vient réguler la nature.

Si l'on considère un espace allant de Tripoli au Néguev et d'Amman à la mer Méditerranée, les gisements de minerai régionaux sont très irrégulièrement répartis, majoritairement en périphérie du territoire de la Palestine historique. Pour la région de Beyrouth, les textes historiques et les prospections attestent d'un potentiel sidérurgique. Toutefois, les données sont contradictoires quant à la richesse du minerai. Pour le géographe d'Afrique du Nord (Ceuta) Muhammad El-Idrisi, qui parcourut la région au cours de la première moitié du 12^e siècle, un fer de très bonne qualité était produit à partir du minerai extrait des montagnes aux alentours de la ville (Jaubert, 1975). Toutefois, il nous informe que la production restait faible et orientée vers une consommation locale. Si nous faisons ensuite référence aux travaux de géologues actuels comme Einecke (Einecke, 1950) ou le rapport de l'ECWA de 1978, de nombreux gisements sont présents au sud de Beyrouth, mais leur composition est très faiblement concentrée en oxyde de fer. Par exemple, à Sidon (actuelle Saïda), un gisement encore exploité récemment contient environ 31 % mass d'oxyde de fer. Encore plus au sud, dans la région de Dahr el Baidar, des gisements d'hématite et de limonite apparaissent en couches imposantes (3 à 9 mètres) et contiennent une moyenne de 48 % mass d'oxyde de fer (Al-Amri, 2007). Dans le Liban sud, à Ras el-Maten, Rohrllich (Rohrllich *et al.* 1980) rapporte la présence de minéralisations plus concentrées (65-75 % mass) mais ne fait pas référence à la quantité de minerai exploitable.

Entre le lac de Tibériade et la Mer Rouge, des deux côtés de la vallée du Jourdain et de l'Arava, quelques occurrences de minerai sont présentes mais dans des concentrations réduites et des teneurs en oxyde de fer relativement faibles. Seules les montagnes d'Ajloun renferment une concentration importante, et jusqu'à présent, il s'agit des seuls indices d'exploitation locale du minerai au sud du lac de Tibériade (Coughenour, 1976). Il s'agit d'hématite à très forte concentration d'oxyde de fer (de 57 à 97 % de Fe_2O_3) (Al-Amri, 2007).

Enfin, Rohrllich, au cours d'une prospection géologique en Israël (Rohrllich *et al.* 1980), a mis en évidence des zones potentiellement propices à une exploitation sidérurgique à l'ouest de la vallée du Jourdain et au pied du plateau du Golan (oolithes et grès ferrugineux). La concentration en oxyde de fer peut atteindre 73 % selon les échantillons prélevés mais les quantités restent faibles. Depuis la côte jusqu'à ces derniers gisements, aucune occurrence n'est attestée, et cela jusqu'au sud du Néguev.

Dans ces conditions, il est visible que, selon les périodes, l'exploitation du minerai n'était pas à la portée de toutes les entités politiques de cette région. Des accords et des alliances commerciales ont ainsi été nécessaires à l'approvisionnement du fer métallique (issu de la réduction). Toutefois, si nous prenons comme référence l'exploitation du minerai de cuivre provenant du Sinaï et exploité par les Egyptiens antiques, il est envisageable que des expéditions aient été organisées afin d'aller chercher le minerai de fer à de très grandes distances et le ramener dans des zones qui en étaient dépourvues (Castel *et al.* 2008).

La deuxième contrainte inhérente à cette production est l'approvisionnement en combustible : bois et charbon de bois. Suivant les secteurs de la région, les conditions d'aridité sont elles aussi variables, et la présence de couvert forestier a pu être un facteur de développement de ces techniques. Toutefois, si l'on prend en compte un site de la taille de Timna, dans le désert du Néguev, et la quantité de métal produit au cours de l'âge du Bronze et du Fer, cette contrainte semble contournable par l'acheminement de matériau voire l'exploitation locale des maigres ressources.

La métallurgie du fer présente la caractéristique de pouvoir être divisée dans l'espace et dans le temps (Fluzin, 2002). Chaque phase de travail conduit à la formation (ou non) d'un produit semi-fini qui va pouvoir être stocké ou échangé. Pour les régions non-productrices (absence de réduction de minerai), l'acquisition de demi-produits (« lingots ») permet la poursuite de la chaîne opératoire.

Le territoire qui nous intéresse ici a fait l'objet de constantes conquêtes et occupations. Différentes formes de pouvoirs et de contrôles politiques ont été mises en place et le commerce du fer a dû suivre les aléas de ces conquêtes au gré des affinités géopolitiques et économiques. Il semble aujourd'hui nécessaire de cerner ces fluctuations dans l'organisation de la sidérurgie locale afin de comprendre le rôle de ce matériau et ses enjeux dans les sociétés du Levant.

La question des savoir-faire est également importante dans cette organisation car les conquêtes, les occupations et les relations commerciales ont favorisé le partage des connaissances techniques. Cela est vrai jusqu'à l'introduction du procédé sidérurgique indirect et surtout pour l'introduction des premiers objets en fer et des techniques nécessaires à leur production.

Lorsque le fer entre dans l'histoire des techniques : par la petite porte ?

Comme nous venons de le voir, la chaîne opératoire en sidérurgie peut être complexe et se diviser en de multiples phases spatialement et chronologiquement distinctes.

Ces techniques nous sont parvenues grâce aux déchets de production et aux structures archéologiques, mais c'est l'ethnographie et l'expérimentation qui nous ont permis de les interpréter (Crew, 1991 ; Crew, Crew, 1994 ; Fluzin, 1995 ; Leroy *et al.*, 2000 ; Urteaga *et al.*, 2000)). Ces trente dernières années ont été en Europe le cadre d'avancées spectaculaires sur ce point et il est aujourd'hui possible d'affirmer un certain nombre de « lois » ou tout de moins de certitudes, et de gommer des idées reçues considérées comme acquises, en particulier dans des régions où cette recherche est restée en retrait des intérêts des archéologues.

Il faut notamment lutter impérativement contre une idée reçue qui s'est diffusée depuis les premières recherches sur le Levant et a implanté les fondations aujourd'hui vermoulues sur lesquelles la recherche se construit ; elle ne peut tendre qu'à l'affaissement. Il s'agit d'une erreur fondamentale sur la compréhension de la production primaire du fer, qui veut que le fer apparaisse avant l'acier. Non seulement cette assertion est fautive et sans fondement, mais elle se base sur des présupposés évolutionnistes. Ces réminiscences de théories passéistes ont entre autres conduit à s'interroger sur la raison du changement technologique et du remplacement du bronze par le fer sachant que ce dernier est plus ductile et par conséquent moins efficace.

Les connaissances acquises ces dernières années sur les techniques sidérurgiques nous permettent d'affirmer que la production, en réduction directe, d'une masse de fer doux nécessite une maîtrise parfaite des paramètres régissant le procédé. Ainsi, il est logique que les premières métallurgies du fer produisent un mélange hétérogène de fer et d'acier et que la production d'un fer doux homogène ne soit apparue qu'après une très grande maîtrise des procédés, et dans des buts très spécifiques.

Si l'analyse des premiers objets en fer ont effectivement révélé qu'ils étaient en majorité (et non en totalité) composés de fer et d'acier faiblement carburé (0,02 à 0,1 % de carbone), il semble y avoir de multiples autres explications que cette vision minimaliste. La première vient des contextes de découverte et de la typo-fonction des objets eux-mêmes. Il s'agit en majorité de découvertes en sépulture et d'objets de parure. Comme pour les autres métallurgies (et avec l'expérience qu'elles ont fourni au développement de la sidérurgie), la distinction des « qualités » de métal a dû être rapide. Les objets de parure ne nécessitant pas un matériau résistant, il était logique d'utiliser le moins « efficace » pour des fonctions non utilitaires. Une telle séparation est de plus très facile par fragmentation de la masse brute de métal directement après la réduction. Les exemples de la tombe 4 de Pella (Smith *et al.*, 1984) (aux alentours de 1500 BC) et des sites de Taanach et de Tell Qiri (Stech-Wheeler *et al.*, 1981) montrent bien que pour des objets utilitaires, l'acier est très tôt (voire dès le début) couramment utilisé. Ainsi, les premières spéculations sur cette évolution technique se sont vues confirmées, en raison d'une déformation des données, due au prisme constant qui trouble la vision des archéologues : celui des choix culturels, des dépôts en sépultures. Il convient à présent de s'interroger dans une optique typo-fonctionnelle et techno-fonctionnelle pour résoudre cette question de l'utilisation du fer et de l'acier. La seconde raison qui a pu orienter ces interprétations correspond aux lois physico-chimiques qui régissent ce matériau. Plus l'acier est chargé en carbone, plus il est soumis à une corrosion bien plus intense que le fer. Vous l'aurez compris, nous nous trouvons face à ce deuxième prisme déformant que tout archéologue doit prendre en compte : celui de la conservation du mobilier.

Il est ainsi important d'orienter les questionnements dans un sens autre que celui d'un bouleversement des réseaux commerciaux afin d'expliquer l'introduction du fer et le remplacement du bronze par ce dernier. Sa découverte suffit à elle seule pour expliquer ce développement. Il convient néanmoins de résoudre la question primordiale des conditions de sa découverte ou de son introduction dans la région.

La théorie traditionnelle, ou devrais-je dire traditionaliste, voudrait que le fer soit introduit par les Philistins aux 11-12^e siècles BC. Bien entendu, cette théorie est issue de l'interprétation des textes bibliques et il ne convient pas de les prendre pour des faits historiques¹ (Muhly, 1982). Cela n'est pas envisageable sur un plan théorique mais aussi et surtout au regard des données archéologiques sur le sujet. En effet, les plus anciens objets en fer remontent aux 15-12^e siècles² (Rothenberg, 1988) et ne peuvent être reliés aux changements culturels qui s'opèrent sur la côte méditerranéenne avec l'implantation de la Pentapolis. Il faut alors chercher cette origine dans d'autres directions.

Le fer n'existe pas sous sa forme métallique dans la nature, seul le fer météoritique peut être directement travaillé et c'est d'ailleurs à partir de ce matériau que les premiers objets ont été confectionnés (depuis la fin du 3^e millénaire) (Photos, 1989). Le minerai de fer (sous forme d'oxyde, d'hydroxyde, de sulfure ou de carbonate) est le 5^e élément de la croûte terrestre, mais son utilisation en métallurgie dépend de sa concentration et de sa combinaison avec d'autres éléments. Dans la région, comme nous l'avons précisé dans le chapitre précédent, ces concentrations sont très variables. Toutefois, la présence d'hématite a suscité très tôt l'intérêt des communautés humaines. L'aspect très particulier mais surtout le poids et la résistance de l'hématite en a fait un matériau très tôt utilisé. Il est ainsi clair que ce dernier fait partie du bagage technologique des populations de cette région. Dès le chalcolithique, des objets en Hématite sont produits, pour la plupart des objets de parure ou des masses, dont les exemples les plus connus proviennent du dépôt de Nahal Mishmar en combinaison avec une grande quantité d'objets en cuivre produits à la cire perdue (Bar-Adon, 1980). Nous verrons par la suite l'importance de ce contexte commun. Comme autre exemple nous pouvons citer l'épave de Nevé Yam, au sud d'Atlit sur la côte du Carmel, dont le mobilier datant du Bronze final comporte ce que l'archéologue en charge de la fouille interprète comme des poids d'hématite sous la forme de grains de blé (Galili, Sharvit, 1999). La cargaison comporte de plus 83 lingots de cuivre en forme de feuille (3 à 5 kg chacun).

Cette concomitance aurait pu être fortuite si, au cours de la même période, la présence de fer métallique dans certains objets en cuivre n'avait pas été attestée.

Au cours du Bronze final, en raison de la demande de plus en plus importante de cuivre, les gisements de minerai exploités ont changé. Les premiers niveaux plus riches en oxyde de cuivre ont été remplacés ou bien complétés par des niveaux plus profonds et moins riches. En raison de ce changement, les techniques de réduction ont évolué afin de produire davantage de métal avec un minerai plus pauvre. L'utilisation de l'oxyde de fer comme adjuvant est devenu courante afin de fluidifier la scorie et de libérer plus facilement le métal (Tylecote, Gilmour, 1986).

Les températures atteintes lors des expérimentations d'Ayn Soukhna (1400-1450°C) (Castel *et al.*, 2008), qui plus est en ventilation naturelle, confirment, comme le proposait Tylecote, qu'une grande partie de ces oxydes de fer peut être réduite. Cette théorie est également proposée pour de nombreuses autres régions d'Europe et du Proche-Orient pour lesquelles la présence de cuivres anciens riches de plus de 1 % de fer semble correspondre à ce cas de figure (Cooke, Aschenbrenne, 1975). Les analyses des déchets scoriacés de Timna et du Wadi Faynan montrent que ces derniers sont également très riches en billes de fer (Al-Amri, 2007). À l'inverse, certains objets en fer riches en cuivre auraient pu être des produits dérivés de la réduction du cuivre (Gale *et al.*, 1990). Plusieurs exemples concrets viennent étayer cette théorie de l'apparition du fer depuis une évolution des techniques de réduction du cuivre. Des fragments de parure en fer datant des 14-12^e siècles BC et découverts dans le temple de Timna appelé Hathora montrent une composition très exceptionnelle avec un taux de cuivre de près de 1wt. % (Gale *et al.*, 1990). Selon Alamri (Al-Amri, 2007), un fragment informe de métal originaire de Faynan se compose également d'un mélange de fer fortement phosphoreux et de billes de cuivre. Le phosphore viendrait du minerai de cuivre local (Hauptmann, 2000).

Pour finir, la morphologie des fourneaux de réduction de cuivre, les techniques de charges successives et les températures atteintes sont très similaires entre ces deux métallurgies. Il faudrait ainsi voir une lente évolution de l'utilisation des oxydes de fer jusqu'à ce que leur introduction dans les fourneaux de réduction de cuivre permette d'en extraire une masse métallique. Il faut toutefois garder à l'esprit que même si cette théorie est attirante, elle nécessite encore d'être confirmée par de nombreuses analyses. Tout comme pour la question du fer et de l'acier, prouver l'origine de la métallurgie du fer depuis la réduction du cuivre se heurte à des contraintes matérielles. En effet, les analyses archéométriques permettant d'apporter ces informations (métallographie et études chimiques) sont destructrices et il est rare de pouvoir les appliquer à des objets anciens et qui plus est uniques. Cette théorie comporte également une forte implication théorique : celle de l'émergence de la réduction du minerai de fer à travers les mêmes conditions et dans des lieux différents à une période presque identique.

Toujours est-il qu'un fossé sépare cette éventuelle découverte du fer et les indices archéologiques d'une véritable production. Hormis ces cas de figure particuliers, plusieurs sites ont été déclarés comme les plus

¹ 1 Samuel 13:19 à propos de la prohibition de la fabrication d'objets métalliques qui pourraient servir à des fins militaires ; 1 Samuel 17:7 à propos de la lance de Goliath.

² Temple d'Hathora à Timna.

anciens lieux de réduction du minerai de fer dans la région. Tout d'abord, examinons le site de Tel Yin'am au sud-ouest du lac de Tibériade. Les fouilles ont été conduites par Liebowitz au début des années 80 (Liebowitz, Folk, 1984). Il s'agit d'un site datant du 13^e siècle avant J.C. mais, l'interprétation des structures comme des fours de réduction n'est pas convaincante, et les scories identifiées comme telles sont composées de moins de 5 % mass d'oxyde de fer et sont de composition argilo-sableuse (Rothenberg, 1983). L'interprétation la plus probable est une production de pigments de type ocre à l'aide d'oxyde de fer (Pigott, 2003).

Nous avons ensuite un site au Liban nommé Kamid el-Loz, datant également du 13^e siècle et fouillé au cours des années 80. Les éléments entrant dans l'argumentation ne sont pas plus vraisemblables (fragments de fer, minerai et quelques grammes de scories verdâtres et bulleuses). Comme le propose Alexander Veldhuijzen (Veldhuijzen, Rehren, 2007), un contexte de rejet commun ne prouve en aucun cas leur liaison technologique. Les analyses de la scorie ont par ailleurs montré un taux de sulfure de cuivre important (Frisch *et al.*, 1985).

Le site le plus convaincant, à la fois grâce aux données de terrain mais aussi grâce aux analyses réalisées, est le site de Tell Hammeh en Jordanie, dans la région des montagnes d'Ajlun, au bord de la vallée de la Zarqa (Veldhuijzen, 2003 ; Veldhuijzen, 2005 ; Veldhuijzen, Rehren, 2007). Ce dernier a été fouillé conjointement par une équipe de l'Université de Leiden (Hollande) et une équipe de l'Université de Yarmouk (Jordanie) entre 1996 et 2000. Les datations C14 font remonter cette activité au 10^e siècle avant notre ère et correspondent aux datations les plus anciennes obtenues jusqu'à présent. Le mobilier récolté se compose de 700 kg de scories et de 350 fragments de tuyère. Toutefois, les traces de fourneaux restent très discutables.

Il faut ainsi attendre le 14^e-12^e siècle pour avoir les premières traces d'objets en fer dans la région, et le 10^e siècle pour les traces les plus anciennes de réduction du minerai. Ce décalage ne concorde pas forcément avec une apparition locale des techniques de réduction du fer à partir de celles du cuivre, mais la faiblesse des informations à notre disposition ne réfute en aucun cas cette possibilité. Possibilité d'autant plus grande que la Vallée de la Zarqa et le Wadi Faynan sont très proches.

La guerre du fer : le pouvoir, la force et la fécondité

Suite aux conditions d'apparition de ce métal ce pose celles de son introduction dans la société. Si l'on fait référence à l'introduction d'autres matériaux tels que l'or ou le cuivre et plus particulièrement à l'introduction de certaines techniques comme celle du tour de potier, un phénomène particulier de domination des élites semble intervenir (Roux, sous presse).

Pour le fer au Levant Sud, les données sont encore faibles sur ce point, mais il est important de remarquer que les premiers objets connus sont des armes, des objets de parures et des outils spécialisés. En outre ces objets ne sont connus qu'à travers la fouille des tombes les plus riches. Il est clair qu'à partir de l'âge du Fer I, ce matériau commence à détrôner le bronze pour un certain nombre d'ustensiles.

Nous avons parlé précédemment des théories expliquant le remplacement du bronze par le fer. C'est à cette période que les archéologues veulent voir intervenir le bouleversement des réseaux commerciaux régissant l'approvisionnement de l'étain, évolution qui aurait conduit à une nécessité d'abandonner le bronze. Cette impression d'un changement plutôt subi que voulu vient certainement de la lenteur avec laquelle le fer s'introduit dans la société, comme si la volonté était de conserver le bronze. Nous avons vu que l'acier intervient dès le début et qu'aucune raison d'efficacité n'entre en jeu. De plus, aucun indice de changement dans les réseaux d'échange de l'étain n'apparaît. Ces théories ne prennent en fait aucun compte des phénomènes économiques et sociologiques liés à l'introduction d'un tel matériau dans une société segmentée et fortement hiérarchisée comme celles du Levant à l'âge du Fer. Les élites sociales semblent dominer la consommation de ce matériau et cela pendant une période assez longue avant sa diffusion dans le reste de la société. Cette domination sur la consommation sous-entend très souvent une domination sur la production ou sur les réseaux d'échange. Toutefois, les données acquises sur les lieux de production font cruellement défaut aujourd'hui. Les premiers sites de forge connus dans le sud Levant ne vont pas au-delà du 9^e siècle BC avec le site de Beth-Shemesh (9^e siècle) (Veldhuijzen, Rehren, 2007), de Tel Dor (7^e siècle) (Behar *et al.*, 2007) et le site du Kotel à Jérusalem (7^e siècle)³. Ces trois sites sont incontestablement importants et sont les résidences d'élites économiques et politiques. Toutefois, et à nouveau nous nous trouvons face à une déformation de l'information par la recherche, très peu de sites mineurs ont été fouillés dans la région. C'est pourquoi nous ne pouvons affirmer aujourd'hui qu'une telle activité ne se pratique que dans ce type de site.

En revanche, ce cas de figure se rapproche énormément de ce qui peut se passer au cours des 5 derniers siècles avant notre ère dans le nord de la France (Bauvais, 2007). Par chance, et en raison d'optiques différentes dans l'organisation de la recherche, un très grand nombre de sites sont connus dans cette région et il a été possible de dresser une évolution cohérente des relations entre producteur/production et pouvoir politique et économique. Ces deux régions sont d'autant plus proches qu'elles sont régies par les mêmes contraintes environnementales et par la même dépendance envers les réseaux d'échanges pour le développement d'une

³ Fouilles Shlomit Weisler (IAA), étude Bauvais en cours.

métallurgie locale. Il apparaît dans le nord du Bassin parisien qu'après un contrôle de la production et un monopole sur la consommation que les élites pouvaient avoir entre le 5^e et le milieu du 3^e siècle BC, la plus large diffusion du fer dans la société et une démocratisation des activités d'élaboration d'objets font perdre à ces derniers une partie de leur pouvoir. Ils conservent cependant au cours du dernier siècle avant la conquête romaine un contrôle économique sur les activités sidérurgiques en concentrant les activités artisanales les plus spécialisées et les activités proto-industrielles dans les sites de rang hiérarchique élevé et en centralisant le commerce de la matière première brute dans les agglomérations.

Tout comme pour le nord de la France, le fer dans le Levant sud devient un matériau de consommation courante et le possible pouvoir des élites ne peut que s'être transformé. À partir du 7^e-6^e siècle, tous les champs de la société sont impliqués dans la consommation du fer. Ce dernier devient alors incontournable pour la guerre, l'agriculture et les productions artisanales. À partir de cette période, le recours aux échanges commerciaux pour l'obtention de ce métal n'est plus une raison de prestige ou de pouvoir, il devient un besoin crucial pour la force et la fécondité de la société toute entière.

Le fer, son commerce et les contacts entre Orient et Occident

Nous voyons à présent toute l'importance des réseaux d'approvisionnement dans un tel contexte. La majorité du Levant sud a besoin d'intégrer un réseau de circulation de la matière première afin de subvenir à des besoins cruciaux. La matière première qui circule à cette époque n'est pas bien connue, il peut s'agir de demi-produits de différentes formes et de diverses qualités. La taille et la morphologie des demi-produits varient en fonction des masses brutes de fer initiales (issues de la réduction), de la quantité de travail d'épuration réalisée (première phase de travail en forge de la masse), de la nature du métal (fer/acier) et de la destination du produit. Ceci se traduit de fait par une valeur marchande graduée. C'est donc sous de multiples formes que le métal peut circuler et être commercialisé. Les demi-produits sont destinés à la transformation, au stockage et aux échanges, les différents contextes de découverte vont bien dans ce sens. Ils peuvent provenir de rejets d'ateliers, sous la forme de fragments découpés à chaud, de lieux de stockage ou « cache » de métallurgiste (dépôt de Durrenentzen – Bas Rhin⁴) ou de pertes accidentelles lors de transports commerciaux (Épaves des Saintes-Maries-de-la-Mer – Bouches-du-Rhône⁵ ; dragages de la Saône ou de l'Oise ; épaves découvertes au large de la côte du Carmel...).

L'artisan va donc acquérir ce métal sous une forme particulière (morphologie, propreté inclusionnaire, composition fer/carbone) suivant plusieurs critères :

- suivant ses besoins (type d'objet à produire) ;
- suivant ses moyens (l'épuration donne une valeur ajoutée au métal, liée à la quantité de travail réclamé par l'activité) ;
- suivant ses compétences techniques (l'épuration nécessite un savoir-faire certain, surtout s'il s'agit d'un acier fortement carburé) ;
- suivant son accès aux différents réseaux d'échanges commerciaux.

Comme nous l'avons dit, peu de données archéologiques sont connues quant à la morphologie des demi-produits en circulation au cours des premières périodes d'implantation du fer dans la région. Deux termes dans la bible qualifient le fer : Barzel 'ashot (Ezek 27 :19), Barzel mi-şafon (Jer 15 :12). Il semble important de faire référence à cette maigre information qui peut toutefois être à caractère historique. Elle peut nous permettre d'avoir une vision sur l'état de la matière en circulation aux premiers temps de la métallurgie du fer. Dan Levene et Beno Rothenberg (Leven, Rothenberg, 2001) ont tenté de clarifier ces termes mais se perdent en conjonctures et en interprétations linguistiques, tentant d'attribuer l'un à une masse grossièrement martelée et l'autre à un demi-produit sous forme de barre. Ce type d'interprétation est délicat et il semble pour le moment suffisant de considérer que le métal circule sous des formes et/ou des états de compaction différents. Les études archéologiques pourront dans le futur apporter des réponses plus concrètes.

Durant l'antiquité, le commerce grec et romain a dû jouer un rôle important dans l'approvisionnement de la matière première, tant les productions sont importantes dans les deux métropoles. Nous voyons par ailleurs une augmentation des objets en fer au cours des 4^e et 1^{er} siècles BC. Toutefois, aucune investigation n'a été entreprise et il faut attendre l'époque Byzantine pour avoir des traces archéologiques de ce commerce.

En effet, pour cette période, les découvertes sont exceptionnelles. Cinq épaves sont connues sur la côte du Carmel (Galili, Sharvit, 1999). Celles dont les datations sont possibles grâce aux mobiliers qui leur sont liés sont d'origine Byzantine (4^e-7^e siècle AD). Les autres, en raison de rapprochements typologiques, semblent appartenir au même ensemble chronologique. C'est un total de près de 300 demi-produits qui est en cours d'étude. Dès à présent, nous pouvons affirmer qu'à cette période, au moins trois types de matière première circulaient. Des barres allongées d'une moyenne de 50 cm de longueur pour une épaisseur de 3 cm et un poids de

⁴ Étude Boukézoula, Bauvais en cours.

⁵ Étude Pages en cours.

1,8 kg, des barres bipyramidées plus courtes et plus trapues (35 cm de long et 4,5 cm d'épaisseur) et dont le poids est plus important avec une moyenne de 2,2 kg et enfin de très nombreuses masses brutes de fer grossièrement martelées d'environ 35 à 45 cm de long pour 15 à 20 cm d'épaisseur et d'un poids moyen de 9 à 12 kg.

Ces cargaisons de demi-produits soulèvent plusieurs pistes d'investigation. Tout d'abord, le fait que dans une même épave les trois types soient présents indique qu'il ne s'agit pas d'une question d'évolution chronologique des formes mais bien que les trois types étaient commercés en même temps. Leur morphologie semble, de plus, indiquer un degré de compaction différent. Cette hypothèse doit être confirmée par les analyses métallographiques futures. Les prochaines investigations archéométriques devront également répondre à la question de leur origine. Sur ce point, deux autres hypothèses se dégagent. Ces différents types de demi-produit sont-ils issus d'une même chaîne opératoire plus ou moins avancée dans l'épuration du métal ? Cela signifierait qu'il s'agit bien de qualités différentes destinées à des emplois différents et dont la production et la commercialisation sont voulues ainsi. Ou bien s'agit-il de produits aux origines distinctes, regroupés dans une même épave par un marchand au cours de ses pérégrinations ? L'analyse des inclusions de scorie dans le métal permettra de dissocier ou de regrouper ces formes en fonction de leur signature chimique. Pour ce qui est de la définition géographique de leur origine, la question est bien plus délicate. Nous ne possédons pas de bases de données chimiques des différents gisements possibles, d'autant plus que leur origine géographique peut être très large et peut recouvrir tout le pourtour méditerranéen. La morphologie très particulière des demi-produits bipyramidés n'est pas sans rappeler des formes très connues pour l'âge du Fer européen et l'époque romaine. S'agirait-il d'une perdurance morphologique de la tradition romaine de l'Empire Byzantin ou cela correspondrait-il davantage à une forme technique liée aux procédés d'épuration et à la forme initiale des masses brutes de fer ? L'origine serait peut-être à chercher dans les provinces byzantines nord-méditerranéennes. De plus, il faudra attendre des datations plus fines car les possibilités d'origines se restreignent en même temps que s'amenuisent les territoires de l'Empire. Ce travail est en cours, en collaboration avec Ehud Galili de l'Israeli Authority Antiquity.

Au cours de la domination byzantine du Levant sud, la région bénéficie d'un accès à de nombreuses ressources pouvant provenir d'Afrique du nord, d'Europe du sud et d'Anatolie. Les productions de ces secteurs sont bien plus importantes que celles du Proche-Orient. Suite aux conquêtes des différents Califats (Abbassides et Fatimides) ces réseaux ont dû être bouleversés. Toutefois, il faut remonter jusqu'aux croisades pour avoir à nouveau des informations sur ce commerce.

C'est durant les croisades qu'une des rencontres les plus importantes se déroule. Il s'agit de la confrontation entre deux techniques de fabrication des épées, l'une d'origine européenne que l'on appelle le damas d'assemblage et l'autre d'origine orientale : le damas de cristallisation ou « vrai » damas. Même si des exemples sont aujourd'hui connus d'utilisation d'aciers damassés orientaux dans la fabrication d'un type spécial d'épée viking au 10^e siècle (Williams, 2007) (épées marquées des signes +VLFBERH+T), il s'agit de deux techniques distinctes mais au but identique, celui de donner des propriétés mécaniques particulières au métal : flexibilité et résistance.

En Europe occidentale et dès l'Age du fer, les épées sont obtenues par un corroyage d'assemblage de feuilles plus ou moins aciérées (France-Lanord, 1964), que l'on nomme couramment « damas d'assemblage ». Les analyses d'armes mérovingiennes montrent également que des tranchants en acier sont rapportés par soudure (Salin, 1959). Cette structure procure aux épées une très grande qualité mécanique alliant dureté et souplesse. En revanche, très peu d'armes ont été analysées pour les périodes plus récentes du Moyen Age, et la qualité des épées croisées restent mal connue. En orient, de la péninsule arabique à l'Inde et à la Malaisie, une autre technique est mise en œuvre, dans un but identique. Le terme de « damas de cristallisation » illustre peu de la réelle origine de cette technique. C'est en fait au cours des croisades que les européens « découvrent » cette production et diffusent plus largement l'idée de son existence. À cette époque, Damas est un centre producteur important, ce qui explique le nom donné à cette technique par les francs. Toutefois, elle trouve son origine à des époques bien plus lointaines au sud de la péninsule indienne. Dans cette région, le terme couramment donné plus tard par les anglais est acier « wootz ». Les premières traces de cette production remontent au 3^e siècle BC, sur le site mégalithique de Kodumanal au Tamil Nadu (premières traces de lieu de fabrication) et sur le site mégalithique d'Andhra Pradesh d'où le plus ancien fragment d'acier wootz à forte teneur en carbone (1,5 %) provient (Srinivasan, Ranganathan, 2004).

D'un point de vue technique, il s'agit d'un métal produit au creuset, à partir de différents fragments. Mélangés à diverses « mixtures » (recettes jalousement conservées), le métal est porté durant de nombreuses heures à sa température de liquéfaction (1500-1546°C). Il est ensuite refroidi très lentement afin d'obtenir une ségrégation du carbone pouvant aller jusqu'à la formation dendritique de ferrite et de cémentite. Il s'agit du vrai damas ou « damas de cristallisation » (Rāḡib, Fluzin, 1997). Il est important d'insister sur l'aspect prestigieux de cette technique, tant la complexité des procédés (savoir-faire) et la durée de l'opération sont grandes.

Cette technique apparaît au Moyen-Orient aux alentours du 10^e siècle, même si son commerce est bien antérieur, et se développe jusqu'à une énigmatique perte du procédé au milieu du 18^e siècle. Il ne faut en revanche pas croire que l'ensemble des épées produites en Orient était de cette facture, d'autant que les écrits attestent de différentes qualités d'épées (Zakī, 1952). Dans ce contexte, nous pouvons nous demander quelle a pu être l'influence technique d'une tradition sur l'autre, mais surtout, s'il y a eu contacts et échanges entre ces forgerons. Si l'on en croit le postulat de départ qu'émet *a priori* C. Gaier dans son article sur l'évolution de l'armement occidental entre le 12^e et le 13^e siècle (Gaier, 1997), celui-ci n'a pas changé chez les francs pendant les croisades. Pourtant, la morphologie des armes peut être restée inchangée, mais leurs techniques d'obtention avoir évolué. Cela reste une piste à explorer à travers des analyses métallographiques.

Outre ces possibles contacts et échanges techniques, l'implantation franque au Levant renforce et développe un commerce lucratif entre la région et les villes européennes, en particulier les villes de la péninsule italienne.

Depuis le 9^e siècle, le commerce des villes italiennes en Orient est florissant. Les marchands juifs jouent à cette période les intermédiaires entre les Vénitiens et l'Égypte, en particulier pour le commerce des armes. Ensuite, sous l'influence byzantine, les Vénitiens stoppent le commerce des armes avec les Sarrazins. À partir du 12^e siècle, c'est Pise qui se charge d'un commerce du fer avec l'Égypte, mais en raison d'une pression du roi Latin de Jérusalem, les pisans perdent la protection des croisés tant que ce commerce perdure. Suite au III^e concile de Latran en 1179, le pape Alexandre III interdit le commerce des armes, du fer et du bois vers les contrées d'Islam. Cette interdiction est répétée plusieurs fois au cours du 13^e siècle et montre que cette clause papale n'a été que peu appliquée. Elle est une nouvelle fois proclamée en 1373 par le pape Grégoire XI. Il est parfaitement compréhensible que l'aspect extrêmement lucratif de ce commerce ait poussé les commerçants Génois et Vénitiens mais aussi Catalans et Provençaux à braver cet interdit. E. Ashtor (Ashtor, 1975), dans son étude sur les profits des marchands européens commerçant le fer avec le Levant au 15^e siècle, prouve que ce métal devait être d'une certaine rareté dans la région. En effet, il nous informe que si l'on prend en compte les taxes et le coût du transport, le profit des commerçants était de près de 300 %. Cela étant, ce commerce se faisait discrètement et les informations textuelles sont rares. Nous savons toutefois que pour le début du 14^e siècle, deux routes commerciales semblent être empruntées par les Vénitiens pour ce marché illicite. L'une passe par Ancône, la Crète, Constantinople et Tana. L'autre prend le même chemin jusqu'à la Crète et se dirige ensuite vers l'Aïas et Acre (Sprandel, 1970). Les données archéologiques peuvent ensuite nous permettre d'évaluer plus précisément l'importance de ce métal dans la consommation régionale.

Le commerce du fer dans l'Empire ottoman est quant à lui relativement bien documenté à partir 16^e siècle grâce à la conservation des archives – elles n'ont pas été conservées pour le 14^e et relativement peu pour le 15^e siècle. Toutefois, les connaissances que nous pouvons en avoir sont encore partielles car elles ne peuvent prendre en compte les importations illégales des principales cités italiennes qui bravent l'interdit papal en commerçant le fer avec les nations arabes, et ne sont par conséquent pas archivées.

Au cours du 15^e siècle, la région de Bursa semble être une zone de production et un port d'exportation métallurgique (Inalcik, 1960). Le commerce s'opère principalement vers l'Égypte et la Syrie via des voies commerciales terrestres et maritimes. La voie terrestre passe par Antalya et dessert les terres levantines. La voie maritime est quant à elle plutôt portée sur les produits volumineux et pondéreux et doit davantage correspondre à ce que réclamait le commerce du fer. Ce trajet, nous informe Fatih Devri (Inalcik, 1954), est le plus court et peut être réalisé en moins d'une semaine jusqu'à Alexandrie. En revanche, la voie maritime ne sera réellement sûre qu'en 1522 après la conquête de Rhodes et de Chypres par les Ottomans. Aucun texte ne fait toutefois référence à un commerce direct avec les côtes de la Palestine. Les principaux ports de commerce sont Alep et Alexandrie, et les ports de Jaffa et d'Acre ne sont pas mentionnés comme destinations directes d'un commerce depuis Bursa.

Les derniers siècles que nous venons de citer sont de plus le théâtre de deux grandes innovations, celle des armes à feu et du procédé d'obtention du fer en haut-fourneau.

La réduction indirecte : une révolution manquée ?

Le 15^e siècle voit en Europe l'apparition et le développement de la métallurgie indirecte en haut-fourneau. Très peu de données sont connues sur l'introduction de cette technique au Proche-Orient et il semble que seules trois industries de ce type se soient installées dans les provinces du nord de l'Empire ottoman, l'une à Demirköy-Samarkocuk sur les bords de la Mer Noire en Thrace turque, une autre au sud de Sofia (Samakov) en Bulgarie ottomane et la dernière à Pravište à la jonction entre la Grèce, la Turquie et la Bulgarie actuelle (Danisman, 2007). Ces industries se développent à partir du 16^e siècle et se seraient arrêtées à la fin du 19^e (Danisman, 2007). Cet ensemble de hauts fourneaux semble être le seul suffisamment développé pour produire du fer et de la fonte à large échelle dans l'ensemble de l'empire ottoman. Toutefois, cette production est principalement dirigée vers les fonderies impériales de canon et son organisation, selon des décrets impériaux, semble être scrupuleusement dirigée par l'administration ottomane. L'extraction du minerai et la réduction en haut-fourneau

revient à la population locale et à des entrepreneurs privés. Le métal produit est ensuite acquis par des fonderies impériales telle que la Fonderie de Canons Impériale ou l' Arsenal Impérial. Peu de ces productions devaient alors parvenir aux confins de l' Empire et encore moins dans un but de production civil.

Du côté européen, les productions s'accroissent de façon énorme et leur capacité à subvenir aux besoins proche-orientaux devient écrasante.

Ainsi, il convient de s'interroger sur l'introduction du métal de réduction indirecte sur les côtes Levantines à cette période, sur la proportion de produit européen et anatolien (réduction indirecte) et sur celle du métal de réduction directe encore très largement produit. Cela peut-être à ce stade de la recherche un point crucial pour la compréhension du commerce et de la production à cette période.

Durant la même période, les productions de canons ottomans en sont le résultat, le commerce des armes à feu et de la poudre se développe également entre l'Europe et l'Empire Ottoman. Au 14^e et 15^e siècle, les interdits papaux sont toujours valables mais le commerce très lucratif des armes se développe lui aussi (DeVries, 1996). Ce marché illicite se pratique en particulier depuis Dubrovnik, Florence, Avignon, Venise et Gênes. Ainsi, les Ottomans seront capables de s'équiper en armes modernes dès la fin du 14^e siècle et seront complètement équipés sous les règnes des sultans Murad II en Mehmed II entre 1421 et 1481 (Bostan, 2000).

Au cours des 16^e et 17^e siècles, l'importance du commerce des armes diminue grâce aux fabriques impériales mais les Ottomans restent demandeurs des matières premières européennes qui leur font toujours défaut.

Au 18^e siècle, le commerce international pratiqué dans les ports de Syrie du Sud comme Saïda, Haïfa, Acre et Jaffa est dominé par les Français. Les états annuels dressés par les consuls de France au Levant, au sujet du commerce dans leur juridiction, nous informent relativement peu sur les produits métalliques commercés. Depuis la métropole, entre 1756 et 1787, seuls des produits manufacturés, comme des clous, sont cités. Quant à la matière première métallique, les barres de fer acheminées par les Français depuis Marseille semblent davantage provenir des pays d'Europe du nord (Panzac, 1990). Le dépouillement des archives sur les trois derniers siècles cités semble indispensable à la compréhension des échanges entre Orient et Occident à cette période. Les données archéologiques provenant des fouilles réalisées ces dernières années à Jaffa peuvent quant à elle nous apporter des informations complémentaires sur les techniques pratiquées et la matière première travaillée sur les côtes du Levant sud.

Deux ateliers de forge datant de la fin du 18^e et du début du 19^e siècle ont été fouillés en 2007 et 2008 par Yoav Arbel (Israeli Authority Antiquity). L'analyse archéométrique des déchets de production de ces deux ateliers nous informent sur une pratique systématique du recyclage des fragments et des objets métalliques usagés. Il s'agit d'un premier indice de la pénurie de métal pouvant avoir lieu dans cette région à cette période, ou du moins du prix très élevé de ce matériau. Des indices de pratique d'affinage de la fonte (décarburisation) semblent pouvoir nous montrer également que même si la production du fer en haut-fourneau n'est pas pratiquée dans le Levant, les techniques postérieures sont maîtrisées. Faut-il voir dans cet indice un commerce de métal sous la forme de barres de fonte (guezues) ? Ou s'agit-il encore d'une pratique de recyclage des produits en fonte pour une réutilisation en forge ? Les analyses sont en cours et permettront d'ouvrir de nouvelles perspectives dans la compréhension de ce commerce et de l'introduction des techniques métallurgiques modernes.

Toujours est-il que le Proche-Orient entre de façon très partielle dans la révolution technologique qu'est le haut-fourneau et le procédé indirect. Il est par ailleurs important de mettre en évidence le rôle qu'a pu jouer cette région dans les débouchés des industries européennes et par conséquent dans l'essor de ces nouvelles techniques. Les grands vainqueurs de ces relations déséquilibrées sont bel et bien les industries européennes et leurs marchands.

Conclusion : comment se forger une histoire du fer ?

À ce jour, nous sommes encore loin de pouvoir proposer une histoire de la métallurgie du fer au Levant Sud. Toutefois, les avancées récentes réalisées en Europe sur le sujet sont un moteur pour ces recherches qui peuvent profiter d'ores et déjà d'acquis sérieux.

Cette présentation, comme nous l'avions annoncé en introduction, n'expose que les prémices et les premières réflexions sur la construction de l'histoire du fer au Levant sud. Un travail colossal reste à réaliser.

Une étude plus systématique des archives prenant le fer au centre des données, et non les chiffres globaux comme cela a pu être fait jusqu'à présent, permettrait d'identifier les origines et de chiffrer les transactions. Il s'agit d'une base de réflexion primordiale qui doit être mise en œuvre dès à présent.

Il faut également développer et multiplier les études de sites d'atelier et les analyses d'objet. Ce sont les seuls éléments permettant de comprendre les premiers temps de la métallurgie du fer et de compléter les données lacunaires provoquées par les marchés illicites. Ils permettront également de retracer les évolutions techniques trop souvent ignorées par les textes. Il s'agit de pratiquer des analyses archéométriques, tant métallographiques que chimiques. Les études des inclusions de scorie dans le métal devront alors être comparées à un corpus de données. Il faudra donc également développer une base de données chimiques des minerais et des scories comme

cela commence à être le cas pour le sud de la France et l'Italie (Thèse Stéphanie Leroy en cours ; Leroy *et al.*, sous presse). Ces « signatures régionales » permettront dans le futur de tracer des provenances.

Enfin, il est nécessaire de former les archéologues de la région à la métallurgie du fer et surtout à l'intérêt d'une telle étude sur la compréhension des changements culturels et sociopolitiques. En Israël notamment, le développement de l'archéologie préventive est, tout comme en France, le cadre de très nombreuses découvertes dont certaines de très grande importance. Toutefois, et la loi est ici toujours valable, l'archéologie trouve en général ce que les archéologues cherchent. Une forte sensibilisation de ces derniers permettra un accroissement des données comme cela a pu être réalisé ces 10 dernières années par l'INRAP en France.

Un tel projet doit être réalisé conjointement entre archéologues, archéomètres, historiens et géologues. Seule une approche pluridisciplinaire pourrait avoir raison de cette tâche et la diffusion des savoirs en sera le vecteur principal.

Cette histoire unit de plus une région longtemps divisée et la recherche doit avoir aussi comme vocation de développer la bonne intelligence.



Bibliographie

Y.A.S. Al-Amri

2007 The Role of the Iron Ore Deposit of Mugharet el-Wardeh/Jordan in the Development of the Use of Iron in Southern Bilad el-Sham. Thèse de doctorat à l'Université de Bochum, 184 p.

E. Ashtor

1975 Profits from trade with the Levant in the fifteenth century. *Bulletin of the School of Oriental and African Studies*, Université de Londres, Vol. 38, n° 2, p. 250-275.

P. Bar-Adon

1980 *The cave of Treasure: The Finds from the Caves in Nahal-Mishmar*. Jerusalem, Israel Exploration Society.

S. Bauvais

2007 Évolution de l'organisation des activités de post-réduction dans le Nord du Bassin Parisien au 2^e Âge du fer : études multidisciplinaires de la chaîne opératoire en métallurgie du fer. Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard et de l'Université de Franche-Comté, 3 vol., 1369 p.

2008 Du prestige à la proto-industrie : évolution des pratiques sidérurgiques au second âge du Fer dans le nord du Bassin parisien (France). *The Arkeotek Journal*, Volume 2, n° 4.

S. Bauvais, P. Fluzin

sous presse Archaeological and Archeometrical Approaches of the Chaîne Opératoire in Iron and Steelmaking: Methodology for a Regional Evolution Study. In V. Roux et S. Rosen (dir.) – *Techniques and People: anthropological perspectives on technology in the archaeology of the proto-historic and early historic periods in the Southern Levant*. Mémoires et Travaux, De Boccard.

A. Behar, S. Shilstein, A. Gilboa, I. Sharon, S. Weiner

2007 Reconstructing the existence of a 7th century BCE smithy in Tel-Dor, Israel, by combined on-site XRF and FTIR analyses of sediments in a pit. Actes de la 2^e conférence internationale « Archaeometallurgy in Europe 2007 », juin 2007, Grado et Aquileia (Italie), diffusion numérique.

I. Bostan

2000 La fonte de canons à la Fonderie Impériale d'Istanbul au début du XVI^e siècle. *Anatolia Moderna*, Vol. 11, p. 171-182.

G. Castel, P. Taller et P. Fluzin

2008 La métallurgie du cuivre au temps des pharaons. *Archéologia*, n° 440, p. 62-71.

R.A. Coughenour

1976 Preliminary Report on the Exploration and Excavation of Mugharat el Wardeh and Abu Thawab. *ADAJ XXI*, Jordan Press Fondation, Amman, p. 71-78.

S. Cooke, S. Aschenbrenner

1975 The Occurrence of Metallic Iron in Ancient Copper. *Journal of Field Archaeology*, Vol. 2, n° 3, p. 251-266 .

P.T. Craddock, N.D. Meeks

1987 Iron in Ancient Copper. *Archaeometry*, Vol. 29, n° 2, p. 187-204.

P. Crew

1991 The experimental production of prehistoric bar iron. *Historical Metallurgy*, vol. 25, n° 12, p. 21-36.

P. Crew, S. Crew

1994 The experimental production of bar iron. In M. Mangin (dir.) – *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen. Archéologie et archéométrie*. Paris, Editions Les Belles Lettres, p. 175-176. (ALUB ; 536).

K.R. DeVries

1996 Gunpowder Weapons at the Siege of Constantinople, 1453. In Y. Lev (ed.) – *War and Society in the Eastern Mediterranean, 7th-15th Centuries*. Leiden, E.J. Brill, p. 343-362.

H.H.G. Danisman

2007 *Ottoman Mining and Metal Working in the Balkans: Its Impact on Fire-Arms Technology of Southeast Europe (15th-17th centuries)*. Manchester, Foundation of Science Technology and Civilisation.

G. Einecke

1950 *Die Eisenerzvorräte der Welt und der Anteil der Verbraucher- und Lieferländer an deren Verwertung*. Stahleisen, Düsseldorf, 2 vol.

P. Fluzin

1995 Apport de l'archéométrie à la reconstitution de la chaîne opératoire des procédés sidérurgiques directs à partir des vestiges archéologiques ; intérêts des comparaisons ethnoarchéologiques. In G. Magnusson (ed.) – *The importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change*, p. 56-64.

2002 La chaîne opératoire en sidérurgie : matériaux archéologiques et procédés. Apport des études métallographiques. In H. Bocoum (dir.) – *Aux origines de la métallurgie du fer en Afrique. Une ancienneté méconnue*. Paris : Editions UNESCO, *Mémoire des peuples*, 2002, p. 59-91.

A. France-Lanord

1964 La fabrication d'armes gauloises. *Revue d'Histoire de la Sidérurgie*, 5, p. 35-327.

B. Frisch, G. Mansfeld et W.-R. Thiele

1985 *Kamid El-Loz 6, Die Werkstätten Der Spätbronzezeitlichen Palaste*. Bonn, Dr. Rudolf Habelt GMBH, Kamid el-Lôz. Saarbrücker Beiträge zur Altertumskunde, Band 33, 205 p.

C. Gaier

1997 L'évolution de l'armement individuel en Occident aux 12^e et 13^e siècle. Catalogue de l'exposition *Les Croisades. L'orient et l'occident d'Urbain II à Saint-Louis 1096-1270*. Milan, Electra, p. 183-214.

N.H. Gale, H.G. Bachmann, B. Rothenberg, Z. Stos-Gale, R.F. Tylecote

1990 The Adventitious Production of Iron in the Smelting of Copper. In B. Rothenberg (ed.) : *Researches in Arabah 1959-1984, Vol. II: The Ancient Technology of Copper; Archaeology-Experiment-Theory*. London, Institute for Archaeo-Metallurgical Studies, University College, p. 182-191.

E. Galili, Y. Sharvit

1999 Underwater Survey in the Mediterranean, 1992-1996. *Hadashot Arkheologiyot – Excavations and Surveys in Israel*, 19, p. 96.

A. Hauptmann

2000 Zur frühen Metallurgie des Kupfers in Fenan/Jordanien. *Der Anschnitt, Beiheft 11*, Bochum : Deutsches Bergbau-Museum.

H. Inalcik

1954 *Fatih devri üzerinde tetkikler ve vesikalar, Vol. I*, Ankara, p. 36-37.

1960 Bursa and the Commerce of the Levant. *Journal of the Economic and Social History of the Orient*, Vol. 3, n° 2, p. 131-147.

P.A. Jaubert

1975 *Géographie d'Edrisi*. Réédition de la version de 1836-1840, Philo press, Amsterdam, 2 vol., I, p. 355, II, p. 303-304, 319.

M. Leroy, P. Merluzzo, P. Fluzin, D. Leclère, M. Aubert et A. Ploquin

2000 La restitution des savoir-faire pour comprendre un procédé technique : l'apport de l'expérimentation en archéologie du fer. In P. Pétrequin, P. Fluzin, J. Thiriot et P. Benoit (dir.) – Arts du feu et productions artisanales. Antibes, Editions APDCA, p. 37-51.

S. Leroy, P. Dillmann, F. Teyregeol, M. Tizzoni, O. Codina, C. Verna et P. Fluzin

sous presse Chemical Signature Determination for Ferrous Products Diffusion Studies. In B. Cech (ed.) – *Ferrum Noricum – iron production and distribution 200 BC to AD 400*. Actes du colloque

D. Leven, B. Rothenberg

2001 Early Evidence for Steelmaking in the Judaic Sources. *The Jewish Quaternary Review, New Series*, Vol. 92, n° 1/2, p. 105-127.

H. Liebowitz, R.L. Folk

1984 The Dawn of iron smelting in Palestine: the Late Bronze Age smelting at Tel Yin'am, preliminary report. *Journal of Field Archaeology*, Vol. 11, p. 265-280.

J.D. Muhly

1982 How Iron Technology Changed the Ancient World And Gave the Philistines a Military Edge. *Biblical Archaeology Review* 8.6, p. 42-54.

D. Panzac

1990 Commerce et commerçants des ports du Liban et de Palestine (1756-1787). *Revue des Mondes Musulmans et de la Méditerranée*, Vol. 55, n° 1, p. 75-93.

« Early Iron in Europe », Huttenberg, septembre 2008.

E. Photos

1989 The Question of Meteoritic versus Smelted Nickel-Rich Iron: Archaeological Evidence and Experimental Results. *World Archaeology*, Vol. 20, n° 3, Archaeometallurgy, p. 403-421.

V.C. Pigott

2003 Iron and pyrotechnology at 13th century – Late Bronze Age – Tel Yin'am (Israel): a reinterpretation. In T. Stöllner, G. Steffens et J. Cierny (eds) – *Man and Mining. Der Anschnitt, Beiheft 16*, Bochum : Deutsches Bergbau-Museum, p. 365-375.

R. Pleiner

2000 *Iron in Archaeology. Early European Bloomery Smelters*. Archeologický ústav AV ČR, Prague, 400 p.

Y. Rāgib, P. Fluzin

1997 La fabrication des lames damassées en Orient. *Journal of the Economic and Social History of the Orient*, Leiden University, Vol. 40, n°1, p. 30-72.

V. Rohrlich, A. Metzger, E. Zohar

1980 Potential iron ores in the Lower Cretaceous of Israel and their origin. *Israel Journal of Earth Sciences*, Vol. 29, p. 73-80.

B. Rothenberg

1983 Corrections on Timna and Tel Yin'am in the Bulletin. *Bulletin of the American Schools for Oriental Research*, Vol. 252, p. 69-70.

B. Rothenberg

1988 *Researches in Arabah 1959-1984, Vol. I: The Egyptian Temple at Timna*. London Institute for Archaeo-Metallurgical Studies, University College, 317 p.

V. Roux

sous presse Cultural transmission and evolutionary trajectory of technological systems: emergence and disappearance of the ceramic wheel fashioning in South Levant during the 4th millennium BC. In M. Stark, B. Bowser et L. Horne (eds) – *Breaking Down Boundaries: Anthropological Approaches to Cultural Transmission and Material Culture in Memory of Carol Kramer*. Arizona University Press.

E. Salin

1959 *La civilisation Mérovingienne*. Picard, Paris.

R.H. Smith, R. Maddin, J. D. Muhly et T. Stech

1984 Bronze Age Steel From Pella. *Current Anthropology*, Vol. 25, n° 2, p. 234-236.

R. Sprandel

1970 Le commerce du fer en Méditerranée orientale au Moyen âge. In M. Mollat (dir.) – *Sociétés et compagnies de commerce en Orient et dans l'Océan Indien*. Paris, SEVPEN, Bibliothèque générale de l'École Pratique des Hautes Études, section IV, p. 387-392.

S. Srinivasan, S. Ranganathan

2004 *India's Legendary Wootz Steel: An advanced material of the ancient world*. Bangalore, National Institute of Advanced Studies, Bangalore and Indian Institute of Science, 90 p.

T. Stech-Wheeler, J. D. Muhly, K. R. Maxwell-Hyslop et R. Maddin

1981 Iron in Taanach and Early Iron Metallurgy in the Eastern Mediterranean. *American Journal of Archaeology*, Vol. 85, n° 3, p. 245-268.

R.F. Tylecote, B. Gilmour

1986 The Metallography of Early Ferrous Edge Tools and Edged Weapons. Londres, British Archaeological Review, *International series 155*, p. 164-165.

M. Urteaga, P. Crew, S. Crew, P. Fluzin, R. Herbach et P. Dillmann

2000 Restitution ethnoarchéologique et conduite des procédés. Forges d'Agorregi, Pays basque, Espagne. In P. Pétrequin, P. Fluzin, J. Thiriot, P. Benoit (dir.) : *Arts du Feu et Productions Artisanales*. Antibes, Editions APDCA, p. 53-72.

H.A. Veldhuijzen

2003 'Slagfun' – a new tool for archaeometallurgy: development of an analytical (P)Ed-Xrf method for iron-rich materials. *Papers from the Institute of Archaeology*, Vol. 14, p. 102-18.

2005 Technical ceramics in early iron smelting: the role of ceramics in the early first millennium BC iron production at Tell Hammeh (Az-Zarqa), Jordan. In I. Prudencio, I. Dias et J.C. Waerenborgh (eds) : *Understanding People through their Pottery: Proceedings of the 7th European Meeting on Ancient Ceramics (Emac '03)*. Lisbon, Instituto Portugues de Arqueologia (IPA), p. 294-302.

H.A. Veldhuijzen, T. Rehren

2007 Slags and the City: Early Iron Production at Tell Hammeh, Jordan, and Tel Beth-Shemesh, Israel. In S. La Niece, D.R. Hook et P.T. Craddock (eds) : *Metals and Mines – Studies in Archaeometallurgy*. Londres, Archetype, British Museum, p. 189-201.

A. Williams

2007 Hypereutectoid steel in Viking-age swords. *Actes de la 2^e conférence internationale « Archaeometallurgy in Europe 2007 »*, juin 2007, Grado et Aquileia (Italie), diffusion numérique.

A. Zakī

1952 *Kindī: Al-suyūf wa aġnāsuhā. Bulletin of the faculty of Arts*, Vol. 14, n° 2, p. 1-36.



Sylvain Bauvais est un jeune chercheur actuellement Post-doctorant au Centre de recherche français de Jérusalem (CRFJ) en partenariat avec l'institut Weizmann de Rehovot et l'Université de Haïfa. Il est titulaire d'un doctorat d'Archéologie et d'Histoire Sociale à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM) et de l'Université de Franche-Comté, soutenu en septembre 2007 et intitulé : *Évolution de l'organisation des activités de forge dans le nord du Bassin parisien au second âge du Fer – Études pluridisciplinaires de la chaîne opératoire en métallurgie du fer*. Ses travaux de doctorat ont été financés par une Bourse de Docteur Ingénieur CNRS (BDI) avec partenariat entre le laboratoire « Métallurgies et Cultures » (UMR 5060 du CNRS) et l'Institut National de Recherche Archéologique Préventive (INRAP).

Ses problématiques de recherche portent sur l'organisation de la métallurgie du fer en contexte de dépendance : les échanges et les dynamiques d'interactions entre techniques, société et environnement. Actuellement, il s'intéresse aux relations entre Orient et Occident au Moyen âge et à l'époque Moderne au Levant sud.