



HAL
open science

Du Bronze au Fer, la transition entre deux métallurgies dans les civilisations antiques d'Anatolie, l'expérimentation comme moyen d'acquisition.

Nicolas Gailhard

► **To cite this version:**

Nicolas Gailhard. Du Bronze au Fer, la transition entre deux métallurgies dans les civilisations antiques d'Anatolie, l'expérimentation comme moyen d'acquisition.. Premières Rencontres d'Archéologie de l'Institut Français d'Études Anatoliennes - Archéologies et espaces parcourus, Nov 2010, Istanbul, Turquie. pp.57-72. halshs-00718915v2

HAL Id: halshs-00718915

<https://shs.hal.science/halshs-00718915v2>

Submitted on 19 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DU BRONZE AU FER : LA TRANSITION ENTRE DEUX METALLURGIES DANS LES CIVILISATIONS ANTIQUES D'ANATOLIE, L'EXPERIMENTATION COMME MOYEN D'ACQUISITION¹

Nicolas Gailhard
nicogailhard@hotmail.com

Résumé : Sous l'influence de l'approche cognitive, nous allons présenter nos travaux expérimentaux sur la transition entre les métallurgies du bronze et du fer en Anatolie antique. Ce travail est replacé dans le contexte archéologie grâce à l'analyse de la production et des fonctions des fours dédiés à la métallurgie. Cet article tente d'apporter un regard différent sur la coexistence entre les objets en bronze et ceux en fer apparus à la fin du 3^e millénaire. Nous essaierons de répondre à certaines questions telles que : comment comprendre les compétences des travailleurs de la métallurgie en Anatolie ? Quelle est la relation entre métallurgistes du bronze et du fer ? Quelles sont les compétences développées par ces premiers métallurgistes du fer en Anatolie ?

L'apparition du fer dans le contexte anatolien est tout sauf une surprise compte tenu de la parfaite connaissance de la métallurgie du bronze. En outre, nous allons tenter de démontrer que le développement des techniques de transformation des minerais de fer n'a pu qu'intervenir dans un contexte de spécialisation important, ces spécialistes entretenant sûrement un rapport étroit avec la métallurgie du cuivre.

Pour aider à la démonstration, nous avons choisi trois thèmes principaux illustrant notre démarche:

- L'origine du fer et la relation avec le bronze et le cuivre;
- Four et atelier: évidences archéologiques et leur interprétation grâce à l'archéologie expérimentale;
- Tracéologie et compréhension des températures, éléments clés de la métallurgie.

En conclusion, la transition entre la métallurgie du bronze et celle du fer est clairement attestée durant l'Âge du Bronze. Plusieurs facteurs peuvent expliquer le passage progressif d'une technique à l'autre. Nous nous sommes particulièrement intéressés à la relation entre les minerais de cuivre et de ceux de fer. Nous avons aussi examiné le rôle qu'ont joué les flux à forte concentration de fer dans la réduction du minerai de cuivre (par exemple le sable noir de la Mer Noire). Si le développement de ces technologies a lieu principalement durant l'Âge du Bronze, c'est bien le début de l'Âge du Fer Moyen qui doit être considéré comme la période où les objets du quotidien ont été fabriqués à partir de fer. Notre approche tente une voie différente pour étudier l'histoire de la métallurgie et permet de démontrer comment ces hommes sont extrêmement compétents et spécialisés. En fait, une technologie traitant de telles masses de matières premières ne peut être individuelle, mais au contraire le fait d'une équipe dont le langage corporel et la communication sont synchronisés par le rythme de la structure en cours de fonctionnement. Et si les différences entre les métallurgies du Bronze et du Fer existent, ces métallurgistes ont la même sensibilité et la même conception dans leur approche des matériaux.

Mots clés : âge du bronze, âge du fer, métallurgie, fer, archéologie des techniques, archéologie expérimentale, Anatolie

Abstract: Under the influence of cognitive approaches, an experimental perspective on the transition between Bronze and Iron Metallurgies in Ancient Anatolia is being replaced in archaeology by the analysis of the production and function of metal furnaces. This paper tries to provide a different look about the coexistence of bronze objects after the appearance of iron objects at the end of the 3rd millennium BC. We try to answer to some questions such as: how to understand the skills of the metalworkers in Anatolia? Can we observe some differences between Bronze and Iron metalworkers? What are the skills developed by these early iron metalworkers in Anatolia?

It may be hypothesized that the appearance of iron in the Anatolian context is everything except a surprise in view of the perfect knowledge of bronze metallurgy. In addition, we will attempt to show that the development of techniques of transformation of iron ores could be done only by specialists.

To demonstrate this, we have chosen three main themes illustrating our approach:

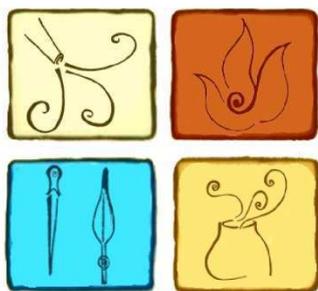
- The origin of the iron and the relation with the bronze and copper;

¹ Je tiens ici à souligner l'immense aide de Philippe Andrieux sans qui rien n'aurait été possible et la mémoire d'Alberto Palmieri qui m'a beaucoup aidé et à qui je dédie ce travail.

- Furnace and workshop: archaeological evidences and experimental interpretation;
- Traceology and understanding of temperatures, key elements of the metallurgy.

As a result, it appears that this transition between Bronze and Iron metallurgies is established during the Bronze Age. Several factors may explain the gradual shift from one technique to another. We are particularly interested in the relationship between copper ores and those of iron. We will see the role that flows with a high concentration of iron can have in the reduction of copper ore (as in black sand of the Black Sea). Iron-working technology was therefore developing during most of the Bronze Age, but the beginning of the Middle Iron age should properly be drawn at the time when everyday objects were mostly made from iron. In this paper I will try to show how we can study the history of metalworkers and see how these men are highly specialized. In fact, a technology dealing with such masses of material cannot be individual, but on the contrary the fact of a team whose body language and communication are synchronized by the rhythm of the structure during operation. And if differences exist between Bronze and Iron, metalwork's have the same sensibility and conception of roots materials.

Keywords: Bronze Age, Iron Age, metallurgy, iron, archaeology of technics, experimental archaeology, Anatolia



Deneysel Arkeoloji Günleri
Les Journées de l'Archéologie expérimentale

Figure 1 : Logo des Journées de l'Archéologie Expérimentale

Introduction

Cet article concerne l'archéologie des techniques. Il se concentre sur le travail du métal en Anatolie et en Transcaucasie entre le 3^e et le 2^e millénaire aC. Il se situe à la croisée de plusieurs disciplines : archéologie, histoire des techniques, expérimentation archéologique, voire ethnologie. Dans le cadre des Premières Rencontres d'Archéologie organisées par l'IFEA, nous avons abordé les principaux objectifs d'un projet de recherche développé depuis plusieurs mois, les premiers travaux réalisés durant l'été 2010 à la Gümüşlük Académie ont permis de faire le point sur l'origine de la métallurgie du fer en Anatolie.

Cette série d'expérimentations (*Eski Anadolu'da 'Ateş Sanatları', 6 bin yıl önceki bir an, Ateş, metal, insan...*)², financées dans le cadre d'un projet Tübitak, a permis la réalisation de douze fours métallurgiques (quatre fours de réduction de minerai fer, quatre de réduction de minerai de cuivre et quatre foyers pour réaliser des coulées de bronze) (figs. 1-2). Plus de vingt étudiants ont été mobilisés : ils ont fabriqué plus de

² İlki düzenlenecek "Eğitim ve Uygulamaya Yönelik Arkeolojik Eğitim Projesi" TÜBİTAK Doğa Eğitimi ve Bilim Okulları 2010 kapsamında desteklenmektedir. Eğitim, Nicolas Gailhard (Dr. Sorbonne Panteon1 Üniversitesi) ve Dr. Philippe Andrieux (Sorbonne Panteon1 Üniversitesi) eşliğinde, Gaziantep Üniversitesinden Arş. Gör. Çağrı Murat TARHAN tarafından yürütülecektir. Proje Ege, Dokuz Eylül Üniversiteleri ve Gümüşlük Akademisi Vakfı işbirliğinde gerçekleştirilecektir.

2000 briques d'argile, manipulé plus de 400 kg de minerai et 3 tonnes de charbon de bois.



Figure 2 : Affiche du Eski Anadolu'da Ateş Sanatları

L'importance et l'actualité de cette recherche

Pourquoi est-il intéressant de commencer une telle recherche dans le contexte anatolien ?

Tout d'abord, son intérêt scientifique est illustré par le nombre important des découvertes d'objets métalliques en bronze ou en fer, jouant un rôle comme biens de prestige ou outils utilitaires. Depuis plusieurs années, des publications récentes présentent ces recherches surtout d'un point de vue typologique ou contextuel.

Il me semble que l'approche la plus communément adoptée consiste à se focaliser sur l'objet fini tandis que le phénomène technique, plus difficile à cerner, est plus ou moins éludé ou traité par des méthodes archéométriques modernes (analyses physico-chimique, nucléaire, isotopique, etc.).

Que dire alors de la transition entre la métallurgie du bronze et celle du fer qui

est encore mal identifiée d'un point de vue technique ? Cette évidence m'est apparue suite aux recherches réalisées dans le cadre de mon doctorat sur l'origine de la métallurgie du cuivre au Moyen-Orient ancien³.

Les trois thèmes principaux

De nouvelles interrogations ont été soulevées sur la fin du 3^e millénaire et la co-existence d'objets en bronze après l'apparition des objets en fer. Pour les illustrer, nous avons choisi de traiter trois thèmes définissant notre démarche :

- L'origine du fer et la relation avec le bronze et le cuivre ;
- Four et atelier : évidences archéologiques et leur interprétation grâce à l'archéologie expérimentale ;
- Tracéologie et compréhension des températures, éléments clés de la métallurgie.

L'apparition du fer dans le contexte anatolien est tout sauf une surprise compte tenu de la parfaite connaissance de la métallurgie du bronze. En outre, nous allons tenter de démontrer que le développement des techniques de transformation des minerais de fer n'a pu qu'intervenir dans un contexte de spécialisation important, ces spécialistes entretenant sûrement un rapport étroit avec la métallurgie du cuivre. Nous avons affaire à des personnes hautement qualifiées et hautement organisées qui disposent de multiples compétences (connaissances des minerais, du feu, des matériaux comme le bois, l'argile et le sable ainsi que les propriétés de certaines plantes...) et ont une parfaite maîtrise des sensations autour d'eux lors de la réduction des minerais, de la coulée de bronze et du martelage du fer. Les cinq sens sont véritablement utilisés comme des outils de maîtrise technique.

Le travail expérimental pour apprendre les techniques anciennes

Nous allons montrer comment à partir des témoins archéologiques, nous pouvons réaliser une série de travaux expérimentaux pour mieux comprendre les techniques anciennes. Le but est d'avoir une meilleure connaissance non seulement de la métallurgie du fer, mais aussi de connaître l'autre : ce métallurgiste antique.

Les archéologues étudient fréquemment les systèmes et les produits technologiques des populations du passé pour comprendre leur production, les innovations réalisées ou l'économie de ces groupes. Ils utilisent aussi les découvertes matérielles complexes comme des marqueurs ethniques ou des indicateurs d'horizons chronologiques (céramiques, objets en métal). Mais l'information sur la façon dont ils ont été produits est souvent absente ou limitée à des caractéristiques les plus superficielles des pièces. C'est pourquoi, l'objet de cet article est de décrire quelques-unes des caractéristiques organisationnelles de l'ensemble des connaissances utilisées par les artisans, surtout des métallurgistes et forgerons, qui travaillaient avec les paramètres non-industriels.

Pourquoi nous sommes nous intéressés à la relation entre la culture matérielle et "la pensée antique" pour prendre l'expression de Colin Renfrew⁴ ? Cette approche 'cognitive' de l'étude du travail du fer peut être résumée par cette question : "Comment connaissez-vous ce que vous connaissez ?", afin de produire un outil en fer ; ou encore : "Quelles sont les exigences que doit posséder une personne pour passer de la matière première -le minerai- à l'objet fini ?".

Si l'on examine les rapports de fouilles d'un atelier métallurgique ancien, nous distinguons parfois des traces de four, des tuyères et des scories. Nous entendons utiliser une méthodologie pour appréhender cet atelier non pas comme une structure statique abandonnée à un temps x, mais

³ Gailhard 2009.

⁴ Renfrew/Zubrow 1994.

plutôt pour l'observer en mouvement et en fonctionnement afin de le comprendre dans sa globalité. Pour ces raisons, nous avons décidé d'utiliser l'archéologie expérimentale pour l'étude des techniques anciennes.

La relation entre le cuivre, le bronze et le fer



Figure 3 : Atelier du bronzier (Photo B. Başaran)

Mais avant d'explorer plus en détail l'utilisation de ces outils de maîtrise technique si particuliers, nous devons revenir sur le travail expérimental. Il permet d'illustrer le fonctionnement d'un atelier métallurgique et de mettre en évidence les différences et les points communs entre la fonte du cuivre et du bronze d'une part et la fonte du fer d'autre part (figs. 3-4).



Figure 4 : Atelier de réduction du fer (Photo B. Başaran)

Sur la figure 3, on découvre une reconstitution d'un atelier pour réduire le minerai de cuivre et couler des objets en bronze. Vous pouvez voir en haut, une étuve permettant de préparer des moules, de cuire les creusets et les tuyères. Au second plan, on distingue quatre fours pour réduire le minerai de cuivre. Au premier plan, ce sont

quatre foyers permettant la fonte du bronze en creuset pour réaliser des coulées en moules. On observe ici quelques creusets en face des foyers.

Pour démarrer le processus concernant la fabrication d'objets en bronze, il est nécessaire de disposer de minerais de cuivre. Dans le cadre des *Journées d'expérimentation archéologiques* à Gümüşlük, nous avons utilisé de la chalcopryrite provenant de la mine de Çayelin dans le Nord de la Turquie (figs. 5-6). Deux autres objets sont essentiels pour la production métallurgique du bronze : le creuset (fig. 7) et la tuyère (fig. 8)⁵.



Figure 5 : Malachite de la région de Keban (Photos A. Palmieri)



Figure 6 : Chalcopryrite de la région de Keban (Photos A. Palmieri)

Les tuyères sont également utilisées dans la réduction du fer, mais elles ont alors une taille différente. Le type de creuset à poignée pleine a été à cette occasion testé pour la première fois. Il a parfaitement répondu à nos attentes. Nous en avons utilisé certains pour trois ou quatre coulées successives. Ces creusets datent, suivant les sites, du début ou de la seconde moitié du 3^e millénaire⁶.



Figure 7 : Creusets que l'on trouve à Troy, Khizanaant, Gora et Norsuntepe (Photo B. Başaran)

⁵ Respectivement Pizchelauri 2002, 102 ; Müller-Karpe 1994, 28-29 et Gailhard 2009, 73; Kavtaradze 1999, 75.

⁶ Gailhard 2009, 93-94, annexe 69 et Pizchelauri/Pizchelauri 2002, 102.

Enfin, le moule, objet nécessaire lors de la dernière phase, celle de la coulée, a pu prendre différentes formes : celle par exemple d'un moule bivalve en pierre ou de moules à cire perdue en argile qui sont ensuite détruits pour extraire l'objet coulé (figs. 9-10).



Figure 8 : Tuyère réalisée pour l'expérimentation (Photo B. Başaran)

Une simple constatation pour illustrer les difficultés que rencontre l'expérimentateur face à la découverte archéologique : le moule en pierre pose réellement un problème car nous ne sommes pas sûrs qu'il serve à la coulée d'un objet comme ici une tête de hache. En effet, certains éléments techniques indispensables ne sont pas réunis pour que l'objet puisse être fondu. Un manque d'étanchéité flagrant pour les modèles bivalves, un mauvais refroidissement et/ou répartition des gaz dans un moule ouvert, une absence de traces de coulée le plus souvent. C'est pourquoi il semblerait plus logique de penser à des moules pour réaliser des empreintes pour ensuite réaliser le moule en argile.



Figure 9 : Moule bivalve (Photo Ph. Andrieux)

Néanmoins, d'autres expérimentations plus spécifiques sur ce types de moules doivent

être conduits. La solution consisterait peut-être à enterrer les moules bivalves en pierre pour en assurer l'étanchéité et le bon refroidissement.



Figure 10 : Réalisation de moules à la cire perdue (Photo B. Başaran)

Une des grandes différences entre la production d'objets en bronze et en fer réside dans le processus en deux étapes bien différentes suivant la matière première. La première étape est commune aux deux types de minerais : il s'agit de la réduction pour extraire le maximum d'impureté du minerai de cuivre ou de fer. Pour cela nous avons besoin d'une projection d'air artificielle à l'intérieur du four pour obtenir les 1200 °C nécessaires afin de réduire le minerai de cuivre. Pour nous, elle a pris la forme de deux soufflets en cuir. Pour le fer, les températures encore plus élevées seront nécessaires.



Figure 11 : Ajout d'étain et de cuivre dans le creuset pour réaliser un bronze (Photo B. Başaran)

La différenciation entre les techniques intervient une fois cette réduction obtenue : les processus sont radicalement différents suivant que l'on a réduit du mine-

rai de cuivre ou de fer. En effet, le cuivre pur ou associé à l'arsenic ou à l'étain (naturellement ou intentionnellement) peut fondre et donc être moulé (**fig. 11**). Le fer réduit ne peut fondre et doit être martelé à chaud pour former des objets. Nous approchons ici de l'étape décisive qui a dû être franchie au moment de la transition bronze/fer. Dans un cas, la fusion du cuivre mélangé à l'étain pur ou à de l'arsenic permet de produire des objets en bronze, comme on le voit dans la **figure 11**, montrant la charge du creuset en cuivre et étain.



Figure 12 : Deux poignards en bronze réalisés durant des expérimentations (Photo Ph. Andrieux)



Figure 13 : Poignard trouvé à Amasya durant la période hittite impériale (14^e-13^e s. aC) (D'après Bilgi 2004)

La **figure 12** montre, à gauche, l'objet juste après l'ouverture du moule et à droite, ce petit poignard propre et prêt à l'emploi. Il est possible de comparer cet objet avec par exemple un poignard trouvé à Amasya durant la période hittite impériale (14^e-13^e s. aC) (**fig. 13**)⁷.

Dans un atelier permettant la réduction de minerai de fer les fours sont différents, beaucoup plus grands que ceux utilisés pour

réduire le minerai de cuivre. Ici, la température doit être d'environ 1400°C. C'est pourquoi il est nécessaire de pouvoir bénéficier d'une longue colonne d'air (**fig. 14**).

Les fours que nous avons construits mesurent environ 1,50 m, mais comparés par exemple avec des fours de la région de Bassari au Sénégal (**fig. 15**), ils sont bien plus petits⁸.



Figure 14 : Quatre bas-fourneaux expérimentaux réalisés dans le cadre de Eski Anadolu'da Ateş Sanatları pour produire du fer (Photo B. Başaran)

À la fin du processus de réduction de minerai de fer, comme de l'hématite, on obtient une masse solide de fer comprenant des impuretés. Nous appelons cette masse un masiot ou *bloom* en anglais. Le fer n'est pas fondu, c'est une masse spongieuse de métal dense qu'il faut alors marteler à chaud pour forger un objet.



Figure 15 : Fours de la région de Bassari au Sénégal (D'après Herbert 1994)

Deux métallurgies différentes ?

Il semble donc qu'il existe deux processus différents pour lesquels on remarque que :

- Il est beaucoup plus difficile de fondre le fer que le cuivre. Et les minerais de fer sont beaucoup plus faciles à trouver.

⁷ Bilgi 2004, 75-90.

⁸ Herbert 1994.

- Le fer est, à la fin du processus, encore solide alors que le cuivre et le bronze fondent avant d'être coulés.

- Néanmoins, de nombreux outils de l'âge de fer ont été façonnés en fer forgé. Le fer forgé est moins solide que le bronze ; mais parce qu'il était moins coûteux et plus facile à réaliser, il a été malgré tout utilisé.

- Les meilleurs outils ont été réalisés en acier, un alliage composé de fer avec une teneur en carbone comprise entre 0,02% et 1,7%. Les armes et les outils en acier ont à peu près le même poids que ceux en bronze, mais sont beaucoup plus résistants.

- La production de fer nécessite plus de temps et de combustible que la production de bronze.

C'est pourquoi il semble important d'étudier en parallèle ces deux techniques métallurgiques.

Hypothèses concernant la découverte du fer en Anatolie

En considérant le développement possible de la métallurgie du fer en Anatolie, nous pouvons faire quelques observations. L'origine des premiers objets en fer peut être recherchée en corrélation à l'exploitation de plus en plus complexe des mines de cuivre. De nombreux minerais de cuivre ont des compositions variées contenant souvent du fer sous différentes formes. Produire du cuivre à partir de ces types de minerais avec une température élevée peut, à côté de la production de cuivre, créer une petite quantité de fer. C'est pourquoi, certains spécialistes proposent que le fer ait pu apparaître comme une production accidentelle pendant le processus de fonte du cuivre ou du plomb⁹.

Un forgeron habile ou expérimenté aurait reconnu le métal comme étant du fer, mais l'abondance des scories aurait certainement freiné son extraction.

⁹ Wertime 1973 ; Muhly 1988.



Figure 16 : Extraction d'une masse de fer résultant d'une réduction de chalcopryrite (Photo Ph. Andrieux)

La percée décisive semble intervenir lorsque fut prise la décision de marteler à chaud la scorie qui sort juste du four.

La **figure 16** montre une masse résultant d'une réduction de minerai de cuivre avec un niveau élevé de fer (entre 25 à 45% de fer). Le four expérimental utilisé dans ce cas a été réalisé après examen des fouilles de Değirmentepe, où un atelier métallurgique a été fouillé dans les années 1980¹⁰. Pour notre série d'expérimentations, nous avons pu nous procurer un minerai de chalcopryrite (CuFeS_2) provenant d'Ergani-Maden près de Malatya¹¹.

Durant l'âge du bronze, une augmentation de la demande d'objets en bronze nécessitant des expériences de fusion avec les minerais impurs a pu se produire. Il s'en suivit une utilisation croissante de minerais contenant un fondant (comme peut l'être la chalcopryrite) ou l'ajout direct de fondants dans la charge du four pour enlever les impuretés. Cela a entraîné une production accidentelle d'un sous-produit : le fer. C'est

¹⁰ Esin 1983.

¹¹ Ce minerai avait été collecté par Alberto Palmieri et Ufuk Esin dans les années 90. Il m'a été gracieusement offert pour cette série d'expérimentations réalisées en 2003 dans le cadre d'une collaboration entre l'UMR 7041 « ArScAn- Du village à l'Etat au Proche et Moyen-Orient », le «laboratoire d'archéologie du Val-de-Marne » en la personne de son directeur M. Philippe Andrieux et « l'Istituto per le Tecnologie applicate ai Beni Culturali C.N.R. » de Rome représenté par M. Alberto Palmieri.

lorsque les métallurgistes ont commencé à traiter les sulfures de cuivre à forte teneur en fer comme la chalcoppyrite d'Ergani-Maden ou à ajouter des fondants contenant du fer dans leurs fours que cette découverte est intervenue.

Certains de ces minéraux riches en cuivre, mais aussi en fer, ont été trouvés dans des contextes de production : à Chypre durant l'Âge du Bronze¹² ; à Timna, les connexions entre la métallurgie du cuivre et du fer sont certifiées¹³ ; un creuset du niveau VIb2 d'Ars-lantepe a été associé à du minerai de chalcoppyrite¹⁴ ; à Metsamor (Arménie) vingt fours datant du 8^e ou 7^e siècles aC ont été identifiés et associés à la métallurgie du cuivre et du fer¹⁵ ; le site de Gümüslük Eski Madenlik Mevki montre des traces de brûlure caractéristique d'une masse de fer mélangée à des scories datées du 2^e siècle aC¹⁶.

Une autre hypothèse concernant la réduction des minerais de fer se fonde sur l'utilisation de sables noirs riches en oxyde de fer contenant de la magnétite. On les trouve tout au long de la côte sud de la mer Noire et d'autres régions d'Anatolie¹⁷. D'abord utilisé comme un fondant facilitant la fusion du cuivre, ils ont ensuite constitué la matière première pour produire du fer, comme Théophraste le mentionne vers 300 aC¹⁸. Son compte-rendu a été écrit plusieurs siècles après la première introduction du fer en Anatolie, mais il peut refléter une tradition beaucoup plus ancienne.

¹² Mc. Conchie 2004, 48.

¹³ Rothenberg 1988, 189 ; Gale *et al.* 1990, 183-189, Table 1, Graph 1.

¹⁴ Palmieri/Di Nocera 1999, 182.

¹⁵ Pigott 1981, 75 ; Mkrtchian *et al.* 1968, 207.

¹⁶ Kaptan 1986, 25.

¹⁷ Il est attesté sur le site de Tell Atchana/Alalakh provenant d'une rivière proche. Communication personnelle de Mara Horowitz et K. Aslihan Yener.

¹⁸ Théophraste « On stones », 53-54. Il fut le successeur d'Aristote dans l'école péripatétic. Nous possédons de lui un traité sur les pierres, dans laquelle Théophraste classe les pierres en fonction de leur comportement lorsqu'elles sont chauffées, d'autres minéraux sont quant à eux groupés par leurs propriétés communes, telles l'ambre et la magnétite, qui ont toutes deux le pouvoir d'attraction.

Voir aussi Aristote *De Mirabilibus Auscultis*, dans l'édition Loeb de 1910, 48.

Les analyses réalisées sur ce sable noir indiquent que le contenu d'hématite est d'environ 15 à 16%. C'est donc une bonne source de fer, qui nécessite une température comprise entre 1200 et 1300°C pour que la réduction soit réussie. Ces valeurs sont tout à fait comparables à la température de fusion du minerai de cuivre¹⁹.

Plusieurs sites archéologiques de la région de la Mer Noire, en Turquie ou en Géorgie occidentale, attestent d'une activité de réduction de fer. Ils ont pu utiliser ce sable de la Mer Noire comme matières premières. La Kolchis par exemple, région à l'ouest de la Géorgie, dispose d'installations datant de la fin du 2^e millénaire jusqu'à la première moitié du 1^e millénaire aC²⁰.



Figure 17 : Poignard en fer et en or d'Alaç Höyük daté du Bronze Ancien (Photo N. Gailhard)

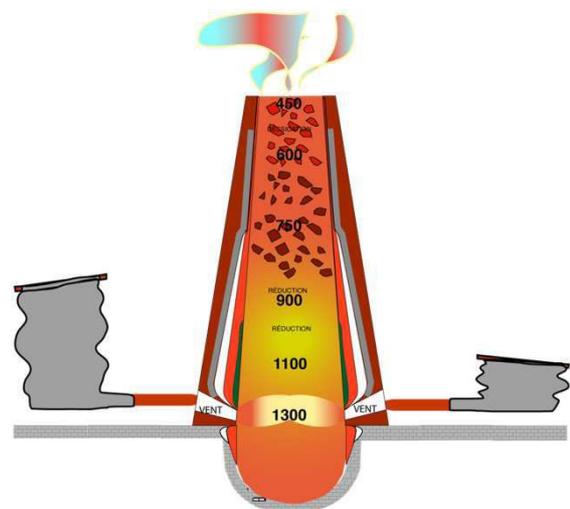


Figure 18 : Four de type Scharnbeck (Dessins Ph. Andrieux)

¹⁹ Tylecote 1981, 137-139.

²⁰ Khakhutaishvili 1976.

La métallurgie du fer en Anatolie et Transcaucasie

Le point de vue scientifique traditionnel associe le travail du fer aux Hittites²¹. Pourtant cette hypothèse n'a pas été clairement attestée par les découvertes archéologiques²². Les sites hittites n'ont pas révélé une grande quantité d'objets en fer. Par conséquent, malgré les premiers succès technologiques, le fer, et plus tard l'acier, ne sont pas devenus des matériaux très répandus durant le 3^e millénaire BC.

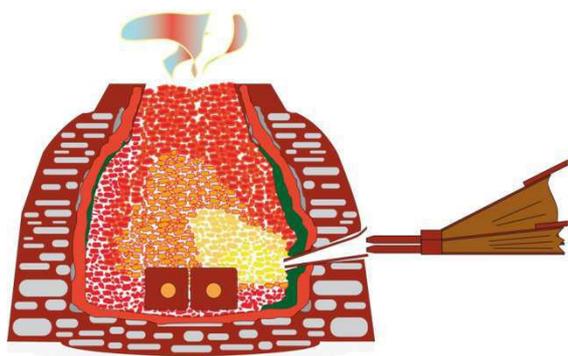


Figure 19 : Four de type 'cuve' ou 'bol' (Dessins Ph. Andrieux)

Mais son apparition remonte bien avant. Plusieurs objets en fer fondu sont datés d'avant 2000 aC, dans un contexte qui suggère qu'ils ont été traités comme des objets décoratifs de grande valeur (fig. 17)²³.

Cependant, si nous voulons nous concentrer sur les processus de production, il semble nécessaire de regarder des périodes plus récentes, pour lesquelles les vestiges archéologiques sont les mieux conservés. Bien que les fours et plus généralement l'atelier soient peu représentés dans les données archéologiques, certains exemples ont pu être fouillés.

Jusqu'à présent on a distingué deux types de fours : le four de type *Scharmbeck* (fig. 18)²⁴ ; le four de type 'cuve' ou 'bol' (fig. 19)²⁵.

Le four découvert dans la région de Kolchis à Chorokhi, par exemple, appartiendrait au

deuxième type (cuve)²⁶. Il s'agissait d'une cavité hémisphérique, tapissée de roches, et sans aucune disposition (canal ou tranchée) pour évacuer les scories. Ce dernier point est problématique dans l'identification de cette structure à un four (fig. 20). La reconstruction du système par l'auteur (fig. 21) n'est d'ailleurs pas convaincante²⁷ : il suffit de noter le système de tubes à vent qui est inapproprié et bien trop complexe pour un fonctionnement normal. À la lumière de cet exemple on comprend combien il reste encore de chemin à faire pour la compréhension du fonctionnement de telles structures.

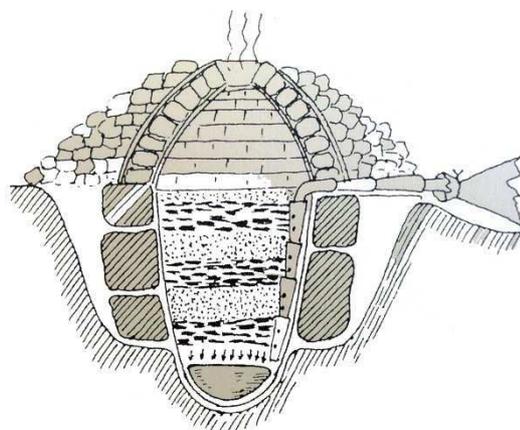


Figure 20 : Reconstitution du four découvert à Chorokhi par N. Khakhutaishvili (D'après Khakhutaishvili 2008)

Fours et ateliers, leur interprétation grâce à l'archéologie expérimentale.

Le problème principal ne réside pas, en fait, dans la forme mais plutôt dans le type d'approche utilisé en passant notamment de l'analyse théorique à l'expérimentation physique.

Est-il possible d'obtenir des informations sur le fonctionnement des ateliers antiques autrement que par l'analyse scientifique purement théorique ? Peut-on reproduire l'art et les gestes de l'artisan antique ? Peut-on découvrir les rapports entre la structure et la personne qui l'utilise ?

²¹ Waldbaum 1978, 21 ; Waldbaum 1980, 81 ; Muhly *et al.* 1985, 71.

²² Kosak 1985, 134 ; Waldbaum 1980, 80 ; Muhly *et al.* 1985, 80.

²³ Yalçin 1999, 178.

²⁴ Bielenin 1973 et 1978.

²⁵ Rostoker/Bronson 1990, 29.

²⁶ Khakhutaishvili 1976.

²⁷ Khakhutaishvili 2008.



Figure 21 : Fours de type 'cuve' découvert à Chorokhi (D'après Khakhutaishvili 2008)

Pour obtenir des réponses à ces questions, nous devons changer notre point de vue sur la structure, son interprétation et son utilisation.

Un four est composé de deux structures liées : un conteneur pour les composants de la réaction (murs pour la masse de charbon et la charge minérale) et un outil moteur de la réaction (la tuyère) qu'il convient d'analyser de manière distincte.



Figure 22 : Tuyères et tubes à vent de Pürneşe-Müküs-Van daté du 1^e millénaire aC (D'après Bilgi 2004 ; Belli 1991)

L'outil moteur de la réaction

Les tuyères ou les tubes à vent sont des éléments essentiels pour atteindre les températures nécessaires à la réduction du minerai de fer. Au sud du lac de Van, un nombre important de zones artisanales et de scories mises au jour révèle la transformation des minerais à proximité immédiate des sites d'extractions. À Pürneşe-Müküs-

Van, par exemple, de nombreux tubes à vent ont été découverts, reflétant des activités de réduction du fer²⁸. Cela atteste de l'utilisation d'une ventilation artificielle pour atteindre les températures élevées durant le 1^e millénaire aC (figs. 22-23).



Figure 23 : Détails des tubes à vent de la région de Pürneşe-Müküs-Van (D'après Bilgi 2004 ; Belli 1991)

Deuxième point de notre nouvelle vision : une autre interprétation.

Les matériaux utilisés dans les murs du four sont soumis à des températures élevées : au-dessus de 1200°C dans les parties inférieures ; au-dessus de 450°C sur le dessus de la fournaise. De telles températures impliquent la production de terre cuite et matériaux céramiques ou vitreux. De ce processus résulte une tracéologie avec mutation de l'oxyde de fer et fusion de l'argile sableuse²⁹.

Un schéma représentant les transformations subies par les parois du four sous

²⁸ Bilgi 2004 ; Belli 1991.

²⁹ Andrieux 1991 a et b.

l'action de la température permet de visualiser les différents stades d'évolution des matériaux (**fig. 24**) : au stade 1 (450°C) les transformations ne sont pas encore marquées, c'est au cours de l'étape 2 (650°C) que des changements au niveau des parois commencent à être notés.

Après étude de la paroi par tracéologie, il est possible d'établir une échelle de transformation et par conséquent de connaître les températures subies par un morceau de paroi. À cet égard, la température de 720°C signalée par une ligne blanche, est particulièrement visible et intéressante pour nous archéologues car en la retrouvant en fouille, elle permet de savoir les températures atteintes par le four. Ce témoin associé à d'autres traces comme des débuts de vitrification des parois peuvent confirmer l'utilisation d'une structure de combustion pour un usage métallurgique, ou les températures doivent monter au environ de 1200°C (**fig. 25**).

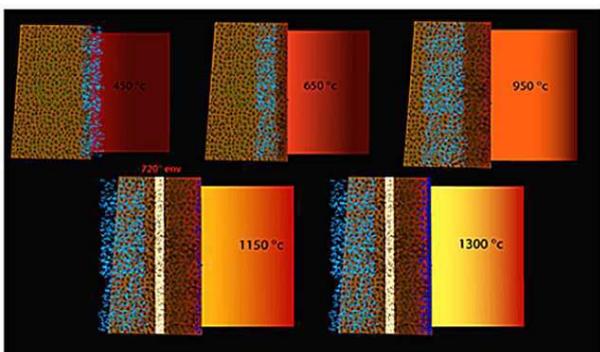


Figure 24 : Tracéologie des parois de four à différentes températures (Dessins Ph. Andrieux)

Conclusion

Si le développement de la métallurgie du fer a lieu principalement durant l'Âge du Bronze, c'est bien le début de l'Âge du

Fer qui doit être considéré comme la période où les objets du quotidien ont été fabriqués à partir de fer. Les armes en bronze sont par exemple restées dominant longtemps, sans doute parce que les minerais de cuivre étaient abondants et la maîtrise technique de la fonte du bronze bien établie. De plus, les forgerons ne pouvaient pas encore produire des armes d'aussi bonne qualité que celles en bronze. Par ailleurs, la production de fer requiert toujours plus de travail et plus de charbon que celle de bronze.



Figure 25 : Etudes des traces sur deux fours expérimentaux après réduction de minerai de fer (Photo Ph. Andrieux)

Avec l'aide de l'expérimentation, nous avons essayé de montrer comment nous pouvons approcher ces anciens métallurgistes afin de mieux comprendre l'origine de la métallurgie du fer en Anatolie.

En guise de conclusion, une citation du poète grec Hésiode qui regarde avec nostalgie l'âge du bronze :

“Plût aux dieux que je ne vécusse pas au milieu de la cinquième génération ! Que ne suis-je mort avant ! Que ne puis-je naître après ! C'est l'âge du fer qui règne maintenant.”

N. Gailhard

Bibliographie

Andrieux 1991a

Andrieux, Ph. (1991), "La reconstitution des comportements techniques et thermiques de foyers pour la technologie du bronze", in : *Archéologie expérimentale, Tome 1 – Le feu : Le métal, la Céramique*, Paris, 118-122.

Andrieux 1991b

Andrieux, Ph. (1991b), "La métallurgie des origines : utilisation de la sensualité comme outil de maîtrise technique", in : *Techniques et culture* 17-18, 175-193.

Belli 1991

Belli, O (1991), "Ore deposits and mining in Eastern Anatolia in the Urartian period: silver, copper, and iron," in : R. Merhav (éd.), *Urartu: a metalworking center in the First Millennium B.C.*, Jerusalem: 16-41.

Bielenin 1973

Bielenin, K. (1973), "Dymarski piec (typu kotlinkowego) w Europie starożytnej (Four Sidérurgique du type au creuset en Europe ancienne)", *Mat.Arch.* 14, 5-102.

Bielenin 1978

Bielenin, K. (1978), "K. Bielenin, S. Woyda, Zwei Eisenverhüttungszentren des Altertums im Weichselbogen (1.Jh.v.u.Z. 4.Jh.u.Z.)", in : *Eisenerzbergbau und verhüttung vor 2000 Jahren in der VR Polen*, Bochum, 25-55.

Bilgi 2004

Bilgi, Ö. (2004), *Anadolu, Dokumun Besigi / Anatolia, Cradle of Castings*, Istanbul.

Esin 1983

Esin, U. (1983), "Zur Datierung der vorgeschichtlichen Schichten von Değirmentepe bei Malatya in der östlichen Türkei", in : R.M. Boehmer / H. Hauptmann (éds.), *Beiträge zur Altertumskunde Kleinasiens*, Mainz, 175-190.

Gailhard 2009

Gailhard, N. (2009), *Transformation du cuivre au Moyen-Orient du Néolithique à la fin du 3ème millénaire. Etude d'une chaîne technologique*, Oxford.

Gale et al. 1990

Gale, N.H. / Bachmann, H.G. / Rothenberg, B. / Stos-Gale, Z. / Tylecote R.F. (1990), "The Adventitious Production of Iron in the Smelting of Copper", in : B. Rothenberg (éd.), *Researches in Arabah 1959-1984, Vol. II: The Ancient Technology of Copper; Archaeology-Experiment-Theory*, Londres, 182-191.

Herbert 1994

Herbert, E.W. (1994), *Iron, Gender, and Power : Rituals of Transformation in African Societies*, Bloomington.

Kaptan 1986

Kaptan, K. (1986), "Ancient mining in the Tokat province, Anatolia: New finds", *Anatolica* 13, 19-36.

Kavtaradze 1999

Kavtaradze, G.L. (1999), "The Importance of Metallurgical data for the Formation of a Central Transcaucasian Chronology", in : A. Hauptmann / E. Pernicka / T. Rehren / Ü. Yalçin (éds.), *Proceedings of the International Conference The Beginnings of Metallurgy, Der Anschnitt, beiheft 9, Bochum 1995*, Bochum, 67-101.

Khakhutaishvili 1976

Khakhutaishvili, D.A. (1976), "A Contribution of the Kartvelian Tribes to the Mastery of Iron Metallurgy in the Ancient Near East", in : J. Harmatta / G. Komoroczy (éds.), *Wirtschaft und Gesellschaft in Alten Vorderasien*, Budapest, 337-348.

Khakhutaishvili 2008

Khakhutaishvili, N. (2008), "An Ancient Colchian Centre of Iron Metallurgy at Chorokhi: Excavation in 2001", *Ancient Near Eastern Studies*, 397-405.

Kosak 1985

Kosak, S. (1985), "The Gospel of Iron", in : H.A. Hoffner, Jr. / G.M. Beckman (éds.), *Kanissuwar: A Tribute to H. G. Guterbock on his 75th Birthday*, Chicago, 125-35.

Mc. Conchie 2004

Mc. Conchie, M. (2004), *Archaeology at the north-east Anatolian frontier, V: iron technology and ironmaking communities of the first millennium BC*, Louvain.

Mkrtchian et al. 1968

Mkrtchian, L.A. / Barseghian, J.A. / Ohanesian, A.R. / Arutyunian, A.R. / Ayzazian, S.M. (1968), "Ancient Mining, Metallurgical Site at Metsamor, Armenia", in : H. Field (éd.), *Contributions to the Archaeology of Armenia* [Russian translation series 3.3], Cambridge, Mass., 205-211.

Muhly 1988

Muhly, J.D. (1988), "The beginnings of metallurgy in the Old World", in : R. Maddin (éd.), *The Beginnings of the use of Metals and Alloys*, Cambridge, 2-20.

Muhly et al. (1985)

Muhly, J. D. / Maddin, R. / Stech, T. / Özgen, E. (1985), "Iron in Anatolia and the Nature of the Hittite Iron Industry", *Anatolian Studies* 35, 65-84.

Müller-Karpe 1994

Müller-Karpe, M. (1994), *Altanatolisches Metallhandwerk*, Neumünster.

Palmieri/Di Nocera 1999

Palmieri A.M. / Di Nocera G.M., 1999, "The metal objects from the « Royal » tomb at Arslantepe (Malatya-Turkey) and the metalwork development in the early bronze age", in : L. Milano / S. de Martino / F.M. Fales / G.B. Lanfranchi (éds.), *Landscapes. Territories, Frontiers and Horizons in the Ancient Near East* [Papers presented to the XLIV Rencontre Assyriologique Internationale, Venezia, 7-11 July 1997], 1999, 180-190.

Pigott 1981

Pigott, V.C. (1981), *The Adoption of iron in western Iran in the early first millenium B.C.: an archaeometallurgical study*, Ph.D., University of Pennsylvania.

Pizchelauri/Pizchelauri 2002

Pizchelauri, K. / Pizchelauri, K. (2002), "Übersicht metallurgischer Entwicklungen von der Bronze- bis zur Eisenzeit in Ostgeorgien", in : Ü. Yalcin (éd.), *Anatolian Metal II. Der Anschnitt*, Bochum, 101-113.

Renfrew/Zubrow 1994

Renfrew, C. / Zubrow, E.B.W. (1994), *The Ancient Mind: Elements of Cognitive Archaeology*, Cambridge University Press.

Rostoker/Bronson 1990

Rostoker W. / Bronson B., (1990) *Pre-industrial iron: Its technology and ethnology*, Philadelphie.

Rothenberg 1988

Rothenberg, B. (1988), *Researches in the Arabah 1959-84*, Londres.

Tylecote 1981

Tylecote, R.F. (1981), "Iron sands from the Black Sea", *Anatolian Studies* 31, 137-139.

Waldbaum 1978

Waldbaum, J.C. (1978), *From Bronze to Iron. The Transition from the Bronze Age to the Iron Age in the eastern Mediterranean* [SIMA 54], Göteborg.

Waldbaum 1980

Waldbaum, J.C. (1980), "The First Archaeological Appearance of Iron", in : T.A. Wertime / J.D. Mulhy (éds.), *The Coming of the age of Iron*, New Haven, 69-98.

Wertime 1973

Wertime, T.A. (1973), "The Beginnings of Metallurgy: A New Look", *Science* 182, 875-887.

Yalcin 1999

Yalcin, Ü. (1999), "Early Iron Metallurgy in Anatolia", *Anatolian Studies* 49, 177-187.