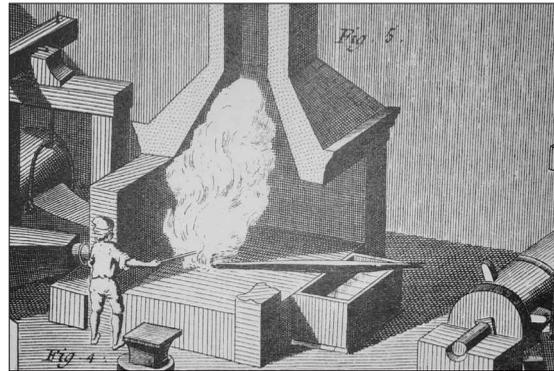


Haut fourneau en roulement, (Encyclopédie Diderot XVIII^e). Au premier plan, pesage des gueuses ou lingots de fonte.



Feu d'affinerie, (Encyclopédie Diderot XVIII^e). La gueuse (ou lingot) de fonte est placée sur un foyer d'affinage. Les gouttes de fonte en tombant dans le foyer, s'oxydent perdant ainsi leur couleur. Cette opération permettait d'obtenir de l'acier ou du fer à forger.

LE LUBERON, TERRE DE MÉTALLURGIE ANCIENNE

Denis MORIN* et Patrick ROSENTHAL**

Le Luberon et le Pays d'Apt connurent par le passé une activité métallurgique intense dont les traces étonnantes commencent à être révélées par les archéologues. L'abondance des vestiges découverts permet de relancer une véritable dynamique archéologique pluridisciplinaire qui pourrait déboucher sur des projets de valorisation futurs...

L'archéologie révèle surtout l'occupation humaine à partir de fouilles d'habitats ou de nécropoles. Pourtant, à y regarder de près, l'économie régionale et, peut-être même, l'occupation du territoire furent au cours des siècles rythmées par les activités extractives et métallurgiques. C'est le résultat d'une recherche archéologique inédite, à l'initiative d'une équipe d'archéologues spécialisés dans l'histoire des techniques minières et métallurgiques, qui vient de faire l'objet d'une publication lors d'un colloque international sur la métallurgie ancienne : des conclusions surprenantes.

Le Pays d'Apt et ses marges se révèlent être un très vaste district ferrifère où la production de fer fut des plus intenses en particulier au Moyen Âge.

Les périodes les plus récentes sont elles aussi concernées. Les hauts fourneaux, comme celui de Velleron ou ceux de Rustrel, classés au titre des Monuments historiques, témoignent encore de cette activité.

Au cœur du pays des bories et des champs de lavande, c'est bien une économie liée au fer que les archéologues viennent de redécouvrir à partir des tonnes de déchets métallurgiques ou scories entassés ici et là sur le flanc des collines. Ils témoignent de la présence des premiers fourneaux utilisés à la fabrication du fer, une opération complexe parfaitement maîtrisée par les anciens, appelée aussi réduction.

Un programme archéologique visant à dresser l'inventaire des vestiges liés à l'extraction minière et à la métallurgie a reçu le soutien du Parc naturel régional du Luberon. Il se poursuit à l'heure actuelle.

LA MÉTALLURGIE DU FER : UNE REDÉCOUVERTE

La métallurgie constitue une succession d'opérations techniques qui permettent, en partant d'une matière première naturelle, le minerai, d'élaborer des objets fonctionnels. On peut résumer la chaîne opératoire de la sidérurgie en cinq étapes principales. Après avoir localisé le gisement, il faut extraire le minerai qui doit être séparé de sa gangue pour être enrichi. Le concentré obtenu est alors traité pour fabriquer le métal brut est purifié et traité pour obtenir un produit utilisable. Pour finir, les parties métalliques de l'objet sont mises en forme par forgeage. L'objet devient ainsi fonctionnel. À l'issue de leur fabrication les objets connaissent une période d'utilisation au cours de laquelle ils doivent être entretenus et réparés.

Le métal peut être recyclé. Abandonné, il rouille et reprend son état initial d'oxyde.

Chacune des étapes de la chaîne opératoire est caractérisée par des modifications de la matière, résultats d'actes techniques. Ces opérations induisent des installations de travail et produisent des déchets caractéristiques spécifiques qui laissent des vestiges dans le paysage.

L'étude de ces vestiges sur le terrain comme au laboratoire permet de les interpréter en termes technologiques, c'est-à-dire de décrire l'étape de la chaîne opératoire à laquelle ils se rapportent. C'est cet objectif que se sont assignés les archéologues.

* Archéologue. UMR CNRS 5060 - Laboratoire de métallurgies et cultures, Université de technologie de Belfort-Montbéliard, 90010 BELFORT CEDEX, et UMR 5608, Unité toulousaine d'archéologie et d'histoire (UTAH) - 5 allées A. Machado, 31058 TOULOUSE CEDEX 1.

** Géologue. Laboratoire de géosciences, UFR Sciences, Université de Franche-Comté - La Bouloie 25000 BESANÇON & UMR CNRS 5060 (adresse ci-dessus).

UN « SAVOIR FER » INÉGALÉ

Au cours du temps, l'homme a progressivement appris à maîtriser les techniques de transformation des matériaux : le bois, la pierre, la céramique, les métaux, etc. Les objets manufacturés lui ont permis d'acquérir une influence toujours plus grande sur l'environnement. L'invention de la métallurgie constitue une étape capitale dans cette lente évolution. La découverte, puis la généralisation de l'utilisation du fer, est un événement de portée historique majeure.

Le fer, en raison de ses propriétés physiques, est en effet particulièrement bien adapté à la fabrication des outils et des armes. Il favorise l'essor de l'agriculture. Abondant, il peut aussi être utilisé dans de nombreux autres domaines comme la construction, les transports et les machines.

On situe généralement l'origine de la métallurgie du fer en Anatolie, à la fin du III^e millénaire avant notre ère. Sous la forme de petits objets de valeur, il atteint le Nord des Alpes vers 800 av. J.-C. mais son utilisation ne se généralise que quelques siècles plus tard en Europe. À l'époque romaine, le fer est très largement disponible. À la chute de l'Empire, le fer circule en quantités moindres. Au cours du Moyen Âge, la production croît à nouveau, stimulée par une véritable révolution technique : la généralisation du haut fourneau.

Les ferriers que les archéologues retrouvent ainsi témoignent de l'activité d'un ou plusieurs de ces bas-fourneaux installés à proximité des gîtes ferrifères.

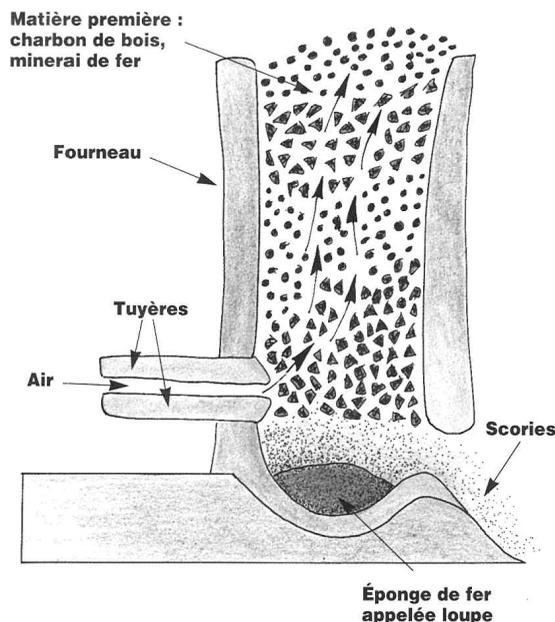
Le processus de réduction : du bas-fourneau... au haut fourneau

Dans la majorité des minerais, le fer se trouve sous la forme d'oxydes, c'est-à-dire de minéraux dans lesquels les atomes de fer sont combinés avec des atomes d'oxygène. Pour provoquer la réduction de ces oxydes, il est nécessaire de travailler à de hautes températures et de les mettre en contact avec une substance qui va se combiner avec l'oxygène. Ces conditions peuvent être remplies en plaçant le minerai dans un fourneau fait de roches ou de briques mélangées dans lequel on brûle du charbon de bois. Au cours de la combustion, le charbon dégage du monoxyde de carbone. Au-dessus de 700° C, celui-ci est capable de réduire les oxydes de fer selon la réaction suivante : $FeO + CO \Rightarrow Fe + C + O_2$

La température à laquelle débute la réduction est nettement inférieure à la température de fusion du fer pur et c'est donc un processus qui se produit à l'état solide. De cette manière, on fabrique une masse métallique solide, plus ou moins poreuse et hétérogène, l'**éponge de fer**. Le liquide qui concentre les impuretés de la gangue forme des scories. C'est le principe de la **méthode directe de réduction** des minerais de fer. Les installations dans lesquelles on fabrique du fer ou de l'acier par cette méthode directe sont des « **bas-fourneaux** ».

En augmentant la température et en prolongeant le temps de réaction, on favorise la diffusion du carbone dans le métal. La réduction des oxydes de fer est plus complète. Deux liquides se forment dans le fourneau, **la fonte** et **le laitier**, qui peuvent être écoulés hors du fourneau. La fonte, riche en carbone est très dure et doit être décarburée avant d'être forgée : c'est l'**affinage**. C'est le principe de la **méthode indirecte de réduction** des minerais de fer qui se fabriquait dans les **hauts fourneaux** de Velleron ou de Rustrel. La fonte ne se généralise qu'à partir XVI^e siècle.

On peut fabriquer de la fonte, de l'acier ou du fer doux dans des fourneaux similaires. Cependant, la fabrication de fonte est plus facile dans un fourneau de grande taille alimenté par une soufflerie puissante et régulière permettant de générer une plus forte température. C'est ce qui se passe dans les hauts fourneaux où la soufflerie était maîtrisée et entretenue grâce à l'énergie hydraulique.



Réduction du minerai de fer dans le bas-fourneau.

L'ARCHÉOLOGIE AU SECOURS DE L'HISTOIRE

Avant le XIV^e siècle, la documentation écrite et iconographique concernant l'industrie est très pauvre.

Les vestiges matériels, livrés par les recherches archéologiques, sont pratiquement les seuls éléments qui permettent aujourd'hui de reconstituer ce que fut la sidérurgie en Europe. Les activités métallurgiques laissent en effet des traces matérielles nombreuses et variées. Les structures de travail, comme les fourneaux ou les foyers fournissent des informations essentielles pour décrire les opérations qui se sont déroulées.

Ces déchets permettent de localiser les lieux de travail et d'estimer dans une certaine mesure l'importance de la production. Au laboratoire, les analyses contribuent à formuler une interprétation technologique de ces matériaux et en particulier restituer l'ensemble de la chaîne opératoire.

Chacune des étapes de la chaîne opératoire de la métallurgie est caractérisée par des modifications de la

matière, résultats d'actes techniques exécutés par l'artisan. Ces opérations demandent des installations de travail spécifiques et produisent des déchets caractéristiques.

Le poids, la taille, l'aspect, la structure interne et les compositions chimique et minéralogique sont des caractères significatifs qui distinguent les scories.

Trois faciès de scories sont largement présents dans le Luberon.

Les scories écoulees présentent une surface inférieure lisse et faiblement ondulée, qui porte en creux les empreintes des matériaux sur lesquels le liquide s'est répandu. La surface supérieure est bombée, lisse ou ridée (déformation par le fluage d'un matériel en cours de solidification) qui rappelle la morphologie des laves volcaniques. Ces scories sont composées par des cordons ; s'y ajoute une phase intermédiaire épaisse et peu bulbeuse entre le sol et la surface supérieure ; les jonctions entre les parties sont nettes (zone fortement bulbeuse) et témoignent d'un refroidissement plus lent. La surface inférieure incorpore des éléments argilo-sableux témoins du sol sur lequel elles se sont écoulees.

Photo : Denis Morin



Scorie écoulee de bas-fourneau.

Photo : Denis Morin



Bloc de scories, écoulees de réduction directe.

Les scories

Véritables objets archéologiques, les déchets métallurgiques ou scories, qui se présentent sous la forme de masses métalliques cordées ressemblant à s'y méprendre à des fragments de roches volcaniques, apportent des informations inestimables sur les techniques utilisées autrefois par les anciens métallurgistes. Ce sont des témoins privilégiés d'une activité économique essentielle pour les sociétés anciennes pour lesquelles l'utilisation du métal fut un facteur déterminant de prospérité économique.

Les scories résultent de la solidification du liquide qui s'est formé au cours de la réduction dans le fourneau. Leur forme et leur aspect permettent de restituer leur position lors du refroidissement et de comprendre la dynamique de l'opération.

Parfois même, ces scories ont été réutilisées à l'époque moderne, comme les minerais de fer qui a pu être traité dans les hauts fourneaux. Ce fut le cas à Rustrel où le haut fourneau était en partie alimenté à partir de scories anciennes recueillies par les mineurs et fondeurs de l'époque.

Accompagnant cet ensemble et proportionnellement en plus grande quantité, des scories magnétiques cassées à surface supérieure plus complexes, localement lisses, ailleurs déchiquetées, constituent des blocs assez volumineux, massifs ou du moins, comportant des parties massives prises dans un entrelacement dont les vides ont été laissés par des charbons de bois. La surface inférieure est plus homogène avec inclusions d'éléments constitutifs de la paroi.

D'autres, par leur forme, s'apparentent à un demi-disque dont le diamètre moyen est de 0,20 mètre. Ces scories sont lourdes, magnétiques et encore riches en fer : sous forme de fer métal et d'oxyde. La surface supérieure est déchiquetée avec une zone plus vitrifiée. Ces scories s'apparentent avec des fonds de fours fortement cristallisés ayant refroidi lentement à l'intérieur du bas-fourneau.

Les déchets recueillis démontrent l'existence d'une métallurgie de réduction directe utilisant une technologie de bas-fourneau à scories écoulées.

De fortes températures ont pu être atteintes délibérément ou fortuitement comme l'atteste la présence de laitier vert sur le site de Simiane. Plusieurs échantillons sont actuellement en phase d'étude et font l'objet d'un travail universitaire (M. Courgey, maîtrise d'archéologie et d'archéométrie en cours).

Le laitier

Le laitier est un sous-produit du haut fourneau ou de fourneaux utilisant de fortes températures, de densité 2,4 environ, constitué par la gangue des minerais. C'est un produit d'aspect vitreux de couleur noire ou verdâtre, semblable à une pâte de verre remplie d'impuretés ou de bulles, devenant pâteux et presque liquide à température élevée qui se forme à la surface de la fonte en fusion. Il provient soit des fondants que l'on ajoute aux minerais soit des impuretés qui se trouvent incorporées à ces éléments à l'état solide.

Le laitier concassé était souvent utilisé comme tout-venant et largement épandu sur les chemins au XIX^e siècle.

HISTORIQUE DES RECHERCHES

Les prospections ont vérifié la réalité des apports bibliographiques. S. Gras (1840, p. 110) souligne, « d'après les scories répandues en abondance aux environs de Simiane, qu'il (le minerai) a été autrefois exploité et traité dans des fourneaux ». Ce que J. Barrauol (1971, p. 317 et 318) indique comme la présence d'un complexe artisanal du fer entre Gignac et Simiane, n'est

autre que le centre d'un complexe paléométallurgique homogène largement découvert en son temps par P. Martel et l'association Alpes de Lumière. L'association a en effet entrepris depuis 1964 une prospection systématique dont l'inventaire atteint le chiffre de 259 ferriers, mines, fours ou sites ayant fourni des scories : 170 dans les Alpes-de-Haute-Provence, 84 dans les monts du Vaucluse et 5 dans l'avancée de la Drôme sur le plateau d'Albion. Ses conclusions lient l'ensemble des sites mentionnés à la métallurgie de réduction directe en les replaçant dans un contexte historique du Haut Moyen Âge. Au terme des premières campagnes de prospection-inventaire, une partie de ces informations a pu être vérifiée mais il est encore trop tôt pour en généraliser la datation au Haut Moyen Âge, même si certains sites se rattachent indubitablement à cette période.

LE BAS-FOURNEAU DE SIMIANE

Les vestiges connus de fourneaux sont rares ; parmi les ateliers retrouvés, Pierre Martel (1963) décrit une découverte faite en 1955 le long de la RD 22 lors de la réfection de la route. « (...) *Le bas-fourneau se présente sous la forme d'un creuset, dont toute la partie antérieure, tournée vers le Sud-est, a été ôtée. Il a les dimensions suivantes : 80 cm de haut, 45 cm de large et 40 cm en profondeur, dans la partie conservée lors de la découverte. Au-dessous, on distinguait nettement une couche de 20 cm de cendres et charbons. Le creuset proprement dit est constitué d'une chape rugueuse de scories entourée de gros fragments de tuiles à crochets de 3 à 4 cm d'épaisseur. Celles-ci sont collées les unes aux autres ainsi qu'à la chape de scories, par des joints siliceux obtenus par la haute température, qui les a partiellement vitrifiées. Cela aussi est à noter, car nous allons retrouver ailleurs des fragments identiques, qui pourraient donc nous permettre de repérer d'autres fourneaux (...).* »

« (...) *Autour de ce parement de tuiles, se distingue une auréole de terre rouge par la chaleur, sur 20 à 30 cm de part et d'autre du four. Le tout est situé immédiatement au-dessous du sol actuel, dans de la terre rapportée, à proximité même des bancs de grès albiens ayant fourni le minerai traité. Au-dessous, l'Urgonien (calcaire) affleure tout près de là. À part les scories et les tuiles, on ne voit aucun matériel archéologique permettant d'assigner une date à ce dispositif; et aucune fouille n'y a été effectuée (...).* »

LE LUBERON ... UN DISTRICT FERRIFÈRE

Le fer métallique est très rare dans la nature mais les minerais y sont abondants.

Le Luberon est une région riche en minerais de fer. La présence de nombreux vestiges métallurgique est liée à la présence d'un important gisement de minerai de fer résultant de conditions géologiques favorables.

De la Montagne de Lure au Luberon, les structures géologiques découlent d'une tectonique compressive majeure d'âge éocène terminal (phase provençale) responsable des plis et failles inverses de direction est-ouest (anticlinal de Lure, synclinal d'Apt, anticlinal du Luberon). Des structures faillées NE-SW liées à l'extension oligocène affectent la régularité des zones tabulaires. La continuité des plateaux de calcaires du Crétacé inférieur (Barrémien, Bédoulien) est rompue par des fossés tectoniques où persistent des sédiments éocènes et oligocènes (Sénanque, Saint-Saturnin-lès-Apt), ou encore par le champ de fracture de Banon.

Plusieurs types de minerais sont présents dans le Luberon. Les minéralisations en fer dénombrées peuvent être rattachées à trois grandes catégories de minerais :

1) des altérites en place élaborées aux dépens des grès et sables marins à glauconie et continentaux du Crétacé moyen et supérieur.

Les paléoprofils d'altération d'âge crétacé supérieur encore en place sont célèbres dans le bassin d'Apt par les ocres qu'ils renferment. Le sommet des profils comporte des accumulations siliceuses et ferrugineuses formant de véritables cuirasses. Le minerai de fer siliceux de Rustrel qui a fait l'objet d'une activité minière au XIX^e siècle provient de l'exploitation d'une de ces cuirasses développées au sommet de la série crétacée et dont l'épaisseur varie de 1,5 m à 4 m (Villars : Saint-Pons ; Rustrel : Notre-Dame-des-Anges).

2) des grès ferrugineux provenant des grès et sables glauconieux du Crétacé moyen remaniés, altérés, sur place ou après transport.

L'oxydation de la glauconie, de la pyrite, des grès et des sables et un lessivage partiel ont contribué à leur enrichissement en goéthite. Plusieurs sites à scories de réduction, repérés au Sud de Banon et entre Gignac et Simiane-la-Rotonde, sont associés à ce faciès de mine-

rai. Le remaniement peut entraîner des blocs de grès ferrugineux assez loin de leur lieu d'origine, sur un substratum plus ancien tels que les marnes du Gargasien ou les calcaires du Bédoulien.

3) des remplissages karstiques localisés dans des fissures ou des cavités des calcaires du Crétacé inférieur (Barrémien et Bédoulien à faciès urgonien).

Cette troisième catégorie de minerai se présente sous deux formes différentes :

- des *horizons d'accumulation du fer intercalés dans des remplissages sablo-argileux*. Ces sables, tantôt verts tantôt ocreux ou blancs, sont hérités des niveaux albo-cénomaniens et piégés dans les cavités du karst des calcaires urgoniens sous-jacents. L'enrichissement en goéthite et en hématite de certains horizons est lié à des phénomènes de lessivage, percolation, dissolution et cristallisation associés au battement d'une ancienne nappe aquifère (Lagnes, Mine du Piè).

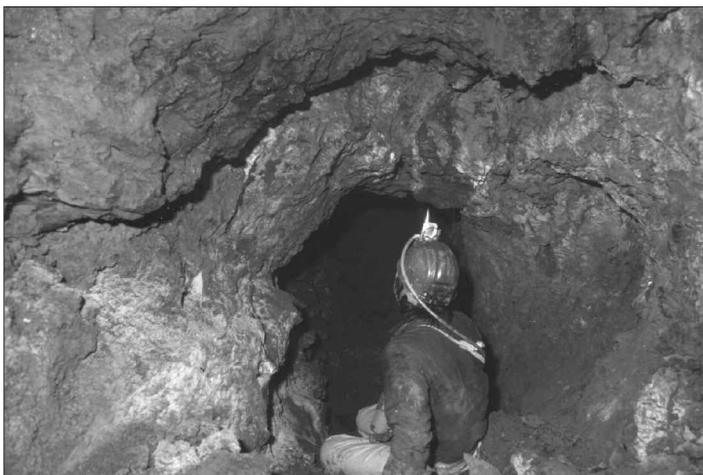
- des *spéléothèmes ferrugineux* aux formes variées telles que *stalactites, draperies, concrétions mamelonnées, planchers stalagmitiques*, ou simples *remplissages de fissures* composés essentiellement de goéthite. Ces minéralisations résultent de la précipitation des oxy-hydroxydes de fer apportés par des eaux ayant percolé au travers des sables albo-cénomaniens sains ou altérés superposés initialement aux calcaires urgoniens, ou piégés dans la partie supérieure du karst.

Aux abords de Simiane (Alpes-de-Haute-Provence) la prospection de surface a révélé la présence d'un minerai de type karstique remplissant les fissures des calcaires urgoniens, dispersé dans les clapiers (pierriers).

LE LUBERON... UN BASSIN MINIER ANCIEN

Les recherches ont révélé la coexistence de trois districts miniers caractérisés par leur extension géographique, par la nature des minerais de fer qu'ils renferment et par leurs types de gisements.

- Le district de Rustrel résulte de l'exploitation d'une cuirasse ferrugineuse en place élaborée aux dépens des grès et sables marins à glauconie et continentaux du Crétacé moyen et supérieur. Son extension géographique, limitée à la zone d'affleurement de cette cuirasse correspond au secteur compris entre Gignac et



Aven-mine de la région de Fontaine-de Vaucluse. Les parois de la cavité sont incrustées de minéralisation de fer.

Villars, est inférieure à 20 km².

- Le district de Gignac - Simiane-la-Rotonde - Banon est le plus vaste des trois, il est lié à l'exploitation de surface des minerais gréseux d'altération et de remaniement albo-cénomaniens, voire à des minerais karstiques de subsurface produits de la percolation des précédents (cf. Simiane : mas de France). C'est dans ce district que les sites sidérurgiques de réduction directe sont les plus nombreux.

- Le district karstique de Gordes - Lagnes - Fontaine-de-Vaucluse, circonscrit aux affleurements de calcaires urgoniens de la retombée sud-ouest des Monts de Vaucluse, a fourni des gîtes de surface difficiles à repérer actuellement et des gîtes souterrains dont l'un des principaux est la mine du Pië à Lagnes. Il s'agit d'une cavité naturelle, autrefois colmatée par des sables et des argiles ferrugineux, que les mineurs ont vidée de son contenu dès le XV^e siècle. Cette mine présente un témoignage remarquable des conditions techniques de l'exploitation des minerais de fer à cette époque.

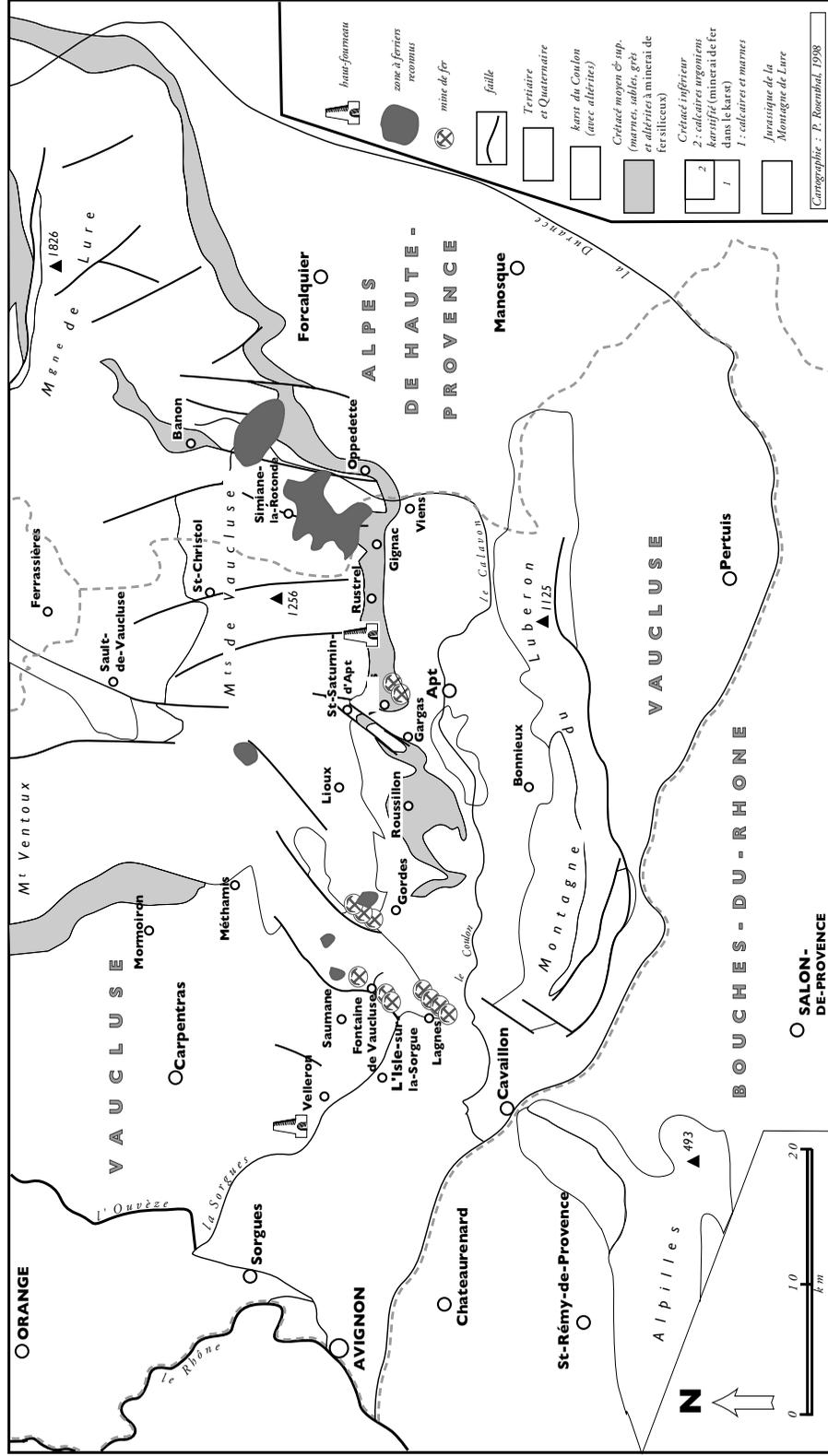
CARACTÉRISTIQUES DES SITES MÉTALLURGIQUES DE RÉDUCTION DIRECTE INVENTORIÉS

Tous les sites présentent des caractéristiques proches voire communes. Ils sont disposés dans un arc de cercle plus ou moins fermé constitué d'amas de déchets de réduction, le tout disposé sur une plate-forme grossière-

ment aménagée afin de casser le sens de la pente (il est possible d'expliquer ainsi la formation des ferriers étalés dans le sens de la pente, ferriers qui parfois atteignent plusieurs dizaines de mètres). Les bas-fourneaux ont été fabriqués en prenant soin de ne pas utiliser du calcaire dans les parois comme en témoignent les déchets découverts.

ÉBAUCHE DES CONTOURS D'UN DISTRICT SIDÉRURGIQUE DE RÉDUCTION DIRECTE

La mise en œuvre d'une opération de prospection thématique axée sur le recensement des amas de scories (ferriers) révèle des sites de réduction directe représentés par ces ferriers, dans un contexte d'affleurements de minerai de fer. Même si l'ensemble de l'espace géographique qu'occupe cette métallurgie n'a pu être intégralement délimité, la région de Simiane, Gignac, Viens et Oppedette forme le centre d'un district métallurgique homogène dont l'extension atteindrait *a priori* Saumane et Gordes à l'Ouest, la vallée du Calavon au sud, le mont Ventoux et la montagne de Lure au nord. Les limites sud-est et nord-ouest sont moins nettes. Le centre du district métallurgique, où la densité des ferriers est la plus forte, se superpose assez fidèlement aux limites du district minier de Gignac - Simiane-la-Rotonde - Banon, lié principalement à l'exploitation de surface des minerais gréseux d'alté-



Carte géologique et répartition des sites miniers et métallurgiques reconnus en Provence et dans les Alpes du Sud-Vaucluse. (Denis Morin, Alain Faivre et Patrick Rosenthal, 1998)

ration et de remaniement albo-cénomaniens, voire à

des minerais d'origine karstique. Les ferriers découverts s'apparentent à une technologie parfaitement maîtrisée, utilisant des bas-fourneaux à scories écoulées.

Les recherches sont complétées par un travail de recensement des scories et des établissements métallurgiques liés à des fouilles ou sondages anciens ou récents, et par le recensement des dépôts de fer et de lingots dont certains sont entreposés dans les musées. Ce dernier travail n'a, pour l'instant, pas encore donné de résultats concrets.

L'APPARITION DU HAUT FOURNEAU ET LE RECYCLAGE DES FERRIERS AU XIX^e SIÈCLE

L'intérêt des anciens gisements de fer date de 1836. À cette époque les minerais étaient utilisés dans le haut fourneau de Velleron, sur la Sorgue, qui employait, depuis 1832, les minerais de la concession de Lagnes, amas d'hydroxyde de fer localisé dans des cavités karstiques urgoniennes. Peu après, on construisit, en 1840, deux hauts fourneaux sur la commune de Rustrel et au bord de la Doua (usine d'en bas). Puis en 1846, deux autres hauts fourneaux dont les vestiges sont encore visibles (usine d'en haut). Les analyses d'échantillons de minerais de l'époque (Gras, 1862, p. 323 et Berthier, 1841, p. 684¹) indiquaient toutes un minerai riche de 46 à 48 % en fer. La puissance de la couche ferrugineuse dépassait 6 m à Notre-Dame-des-Anges et les indications de la marche des hauts fourneaux pour janvier 1841 (Gras, 1862, p. 325) donnaient une production de 176 740 kg de fonte pour une consommation de 357 580 kg de minerai de Rustrel, sans addition de scories, soit un rendement en fonte de près de 50 %. Tous les rapports anciens indiquent que le minerai de Rustrel était riche. La particularité du minerai de Rustrel de ne contenir, en dehors de l'hydroxyde de fer, à peu près que du quartz, avait attiré dès le début l'attention des sidérurgistes. L'irrégularité du minerai en place passant souvent « à une roche simplement ferrugineuse », « à un grès quartzueux grossier » ou à une « brèche très dure à ciment argilo-ferrugineux » avait d'ailleurs été notée par Gras dès 1862. D'après d'anciens rapports, il semble qu'on ait extra-

1. BERTHIER P., 1841, analyses faites à l'École des Mines.

it, au total depuis l'origine, environ 30 000 tonnes de minerai probablement trié. L'usine fonctionna irrégulièrement jusqu'en 1890, date de la faillite de la dernière société exploitante (Compagnie de Terrenoire). On y produisait vers la fin surtout des fontes de moulage, utilisées souvent en première fusion. En 1902, une expédition de 600 tonnes de minerai fut effectuée à l'Usine du Creusot, qui en échantillonna et analysa un lot de 40 ou 45 t. ayant donné 48,2 % Fe, 14,3 % SiO₂ et 0,5 % P. Enfin, en 1916 et 1917, une société (Horme et Bruire) entreprit des recherches sur les parties du gisement qui auraient pu donner lieu à une exploitation rationnelle, tant à Notre-Dame-des-Anges qu'à Trécassats, distincte des anciennes exploitations. Ces recherches, par puits ou tranchées à flanc de coteau, furent nombreuses. Les teneurs indiquées variaient de : 37 à 52 % Fe, 15 à 39 % SiO₂, 0,2 à 0,6 % P. Un essai de reprise fut vainement tenté dans les années 1960.

De nombreux ferriers recensés se répartissent autour d'une route du fer

mise en service après 1840, lorsque les hauts fourneaux de Rustrel furent édifiés. Un chemin, comportant de fortes ornières, serpente autour des ferriers dont le sol est jonché de scories. La tradition orale parle de paysans qui sillonnaient les collines soit avec une carriole, soit avec une mule pour récupérer des scories pour alimenter l'usine de Rustrel (les scories de réduction directe ont la propriété de renfermer une forte proportion de fer). Cette forme d'exploitation originale peut expliquer la disparition des ferriers les plus accessibles d'une part, imposant une restriction quant aux limites du district sidérurgique des montagnes du Vaucluse, et d'autre part, pourquoi la quasi-totalité des ferriers recensés est étalée.

L'extraction minière était toujours active à la fin du XIX^e siècle mais l'industrie sidérurgique ne se maintenait qu'épisodiquement.

Au terme des premières campagnes de recherche, plusieurs centaines d'ateliers de production de fer métal ont pu être retrouvés, mais il est encore trop tôt pour leur attribuer une datation précise.

Les recherches qui se poursuivent devraient permettre de préciser l'importance de ce vaste district métallurgique et de dresser une carte archéologique minière et métallurgique avant de pouvoir élaborer un programme de fouilles, d'expérimentation et de valorisation.

Le programme de recherche engagé dans le Luberon entre dans le cadre d'un Projet collectif de recherche intitulé « *Mines et métallurgies du fer en Provence et dans les Alpes du Sud* » soutenu activement par le Service régional de l'archéologie de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur et avec l'appui financier du Parc naturel régional du Luberon.

Plusieurs laboratoires et chercheurs du Centre national de la recherche scientifique participent à ce programme pluridisciplinaire ainsi que des archéologues miniers rassemblés au sein de l'Association nationale ERMINA (Équipe interdisciplinaire d'études et de recherches archéologiques sur les mines anciennes et le patrimoine industriel).

BIBLIOGRAPHIE

ARNAUD E., 1866, Catalogue des espèces minérales des environs d'Apt, in : *Annales de la Société littéraire, scientifique, et artistique d'Apt*, 220 p..

BARRUOL J., 1971, L'évolution de l'habitat dans les anciens évêchés de Sisteron et d'Apt, *Provence historique*, t. 21, Fasc.85.

BÉRARD G., 1997, *Les Alpes-de-Haute-Provence, Carte archéologique de la Gaule, Pré-inventaire*, Fondation Maison des sciences et de l'homme, Paris, 567 p..

COMBES P.-J., LAVILLE P., PARRON C., PHILIP J. & ROUSSET C., 1984, Bauxites et autres altérites du Sud-Est de la France, in DEBRAND-PASSARD S., COURBOU-LEIX S. & LIENHARDT M.-J., 1984, Synthèse géologique du Sud-Est de la France, *Mémoires du Bureau des recherches géologiques et minières*, France, N° 125, t. 1, pp. 280-284.

DAMIANI L., 1960, *Gisement en fer de Rustrel et de la région d'Apt (Vaucluse)*, 8 août 1960, Rapport du Bureau des ressources géologiques et minières, A. I. 674.

DAUBREE A., 1881, Aperçu historique sur l'exploitation des mines métalliques dans les Gaules, *Revue d'archéologie*, N° 41, pp. 201-221, 261-284 et 327-353.

DAUMAS M., 1980, L'usine à fer de Rustrel, in DAUMAS M., 1980, *L'archéologie industrielle*, Coll. Les hommes et l'Histoire, R. Laffont, Paris, pp. 190-194.

DOMERGUE C., CAUJET B., LAVELLE E., PAILLER J.-M., SABLAYROLLES R., SILLIERES P. & TOLLON F., 1993, Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire, le Domaine des Forges (Les Martyrs, Aude), *Revue archéologique de narbonnaise*, suppl. 27, 477 p..

DUNIKOWSKI C. & CABBOÏ S., 1995, La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne), *Documents d'archéologie française*, Sl., 186 p..

GRAS S., 1840, *Statistique minéralogique du département des Basses-Alpes*, Prudhomme, Grenoble, 224 p.

GRAS S., 1862, *Description géologique de Vaucluse*.

GUENDON J.-L. & TRIAT J.-M., 1975, Les ocres d'Apt dans la région de Rustrel (Vaucluse), Paléaltérations continentales de sédiments marins crétacés, *Travaux du laboratoire de sciences de la terre de la faculté de Saint-Jérôme*, Marseille, t. 4, n° 7, 72 p..

GUENDON J.-L., PARRON C. & TRIAT J.-M., 1983, Incidences des altérations crétacées sur la notion de Sidérolithique dans le Sud-Est de la France, *Bulletin de la société géologique de France*, t. 7, Vol. 25, N° 1, pp. 41-50.

MANGIN M., 1996, La métallurgie du fer en Gaule (Tène finale et époque romaine) : Recherches récentes en archéologie et archéométrie, *Revue archéologique de l'Est*, N° 47, pp. 179-191.

MARTEL P., 1963, Le fourneau de la ferrière à Simiane et les fonderies de fer antiques en Haute Provence, *Les Alpes de Lumière*, N° 27, pp. 40-48.

MARTEL P., 1990, Archéologie au pays de Forcalquier, *Les Alpes de Lumière*, N° 103, pp. 50-52.

ADRESSES UTILES

Direction régionale des affaires culturelles de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur, Service régional de l'archéologie, 23 bl. du Roi René, 13617 Aix-en-Provence CEDEX 1.
Tél. : 04 42 16 19 00 - Fax : 04 42 38 03 22.

Laboratoire de métallurgies et cultures, Unité mixte de recherche CNRS 5060, Université de technologie de Belfort-Montbéliard, site de Sevenans, 90 010 Belfort CEDEX.
Tél. : 03 84 58 30 29 - Fax : 03 84 58 30 27.

Unité toulousaine d'archéologie et d'histoire, Unité mixte de recherche CNRS 5608, Maison de la recherche, 5 allées A. Machado, 31058 Toulouse CEDEX 1.
Tél. : 05 61 50 44 04.

Laboratoire de géosciences, Université de Franche-Comté, UFR sciences et techniques, La Bouloie, 25000 Besançon.
Tél. : 03 81 66 64 35 - 03 81 66 65 58.

Équipe interdisciplinaire d'études et de recherches archéologiques sur les mines anciennes et le patrimoine industriel (ERMINA), 12 chemin de la Providence, 25000 Besançon.
Site internet : <http://members.aol.com.arkmetal/ermina.htm>

REMERCIEMENTS

*Les auteurs tiennent à remercier **Christine Balme**, géologue, vice-présidente de la Commission patrimoine géologique de Réserves naturelles de France et **Hélène Barge**, archéologue, conservatrice au Service régional de l'archéologie de Provence-Alpes-Côte-d'Azur et chargée de mission nationale auprès du Ministère de la culture sur les mines anciennes, pour leur soutien dans la réalisation de ce projet.*