Le minerai de Fer fort des plateaux du Bajocien des régions frontalières du Pays-Haut (France), de la Gaume (Belgique) et du Gutland (Grand-Duché de Luxembourg)

Jean-Paul Fizaine, Dominique Harmand, Vincent Ollive

▶ **To cite this version:**

Jean-Paul Fizaine, Dominique Harmand, Vincent Ollive. Le minerai de Fer fort des plateaux du Bajocien des régions frontalières du Pays-Haut (France), de la Gaume (Belgique) et du Gutland (Grand-Duché de Luxembourg). Anthropologica et Praehistorica, 2015, 126, pp.121-135. hal-02972118

HAL Id: hal-02972118
https://hal.univ-lorraine.fr/hal-02972118

Submitted on 23 Jun 2022

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.

Anthropologica et Præhistorica, 126/2015 (2016) : 121-135

Le minerai de Fer fort des plateaux du Bajocien des régions frontalières du Pays-Haut (France), de la Gaume (Belgique) et du Gutland (Grand-Duché de Luxembourg)

Jean-Paul FIZAINE, Dominique HARMAND & Vincent OLLIVE

Abstract

The "Fer fort", a non-oolitic ironstone located in the Eastern Paris Basin on the top of the Dogger cuesta in the border regions of France (Pays-Haut), Belgium (Gaume) and Grand-Duchy of Luxembourg (Gutland), was already used during the Iron Age, together with Jurassic oolitic ironstones. The "Fer fort" ironstone corresponds to the Borne de Fer ferricrete and clastic blocks of ferricrete reworked in karstic cavities of the Dogger plateau and in the entrenched valleys. Ferricretes are the results of a subtractive weathering profile on upflipted regions under climates with tropical affinities, during Early Cretaceous or/and Palaeogene periods. The "Fer fort" ironstone has numerous features specified by thin sections and chemical and mineralogical analyses, but it is almost characterized by the presence of goethite, the great content of Fe (generally more than 50 %), and the lack of phosphorus allowing its use before the Industrial era.

Keywords: *ferricrete, ironstone, palaeokarst, pisolith, Paris Basin, Dogger Cuesta, Pays-Haut, Gaume, Gutland.*

Mots-clés : cuirasse ferrugineuse, minerai de fer, paléokarst, pisolite, Bassin parisien, côte du Dogger, Pays-Haut, Gaume, Gutland.

1. INTRODUCTION

Dans la région frontalière située aux confins de la France (Pays-Haut), de la Belgique (Gaume) et du Grand-Duché de Luxembourg (Gutland), existent plusieurs minerais : le Minerai de fer oolithique jurassique, le Rasenerz (ou Minerai de Fer des Prés, issu du précédent, Riezebos *et al.*, 1990) et le Fer fort. Ce dernier qui doit son appellation à la forte teneur en fer, souvent supérieure à 50 % (jusqu'à plus de 80 % de Fe_2O_3), était exploité sur les plateaux avant le XIXe siècle (Jacquot, 1849, 1854 ; Jacquot *et al.*, 1868 ; Hottenger, 1923 ; Gardet & Moulinet, 1932). À l'opposé, le minerai de fer jurassique a été appelé « Minette » en raison de sa faible teneur en fer (environ 30%) et de la présence de phosphore qui rendait la fonte cassante avant l'adoption du procédé Thomas-Gilchrist. Pourtant, la Minette fut à l'origine du développement de la sidérurgie lorraine et luxembourgeoise à partir du dernier quart du XIX^{e} siècle. Antérieurement, les trois minerais ont été utilisés depuis l'Âge du Fer (Leroy, 1993), mais le minerai de Fer fort a souvent été privilégié en raison de sa teneur en fer. Il a d'ailleurs été exploité sous l'Empire allemand jusqu'en 1882 à la Borne de Fer (Aumetz).

L'objectif principal de cet article consiste à présenter la diversité des gisements et sites de minerais de Fer fort d'une région frontalière et de montrer les potentialités de leur exploitation par les sociétés anciennes depuis l'Antiquité. En effet, il est fondamental de caractériser les faciès des minerais de fer exploitables dans le cadre des recherches en paléométallurgie actuelles et futures.

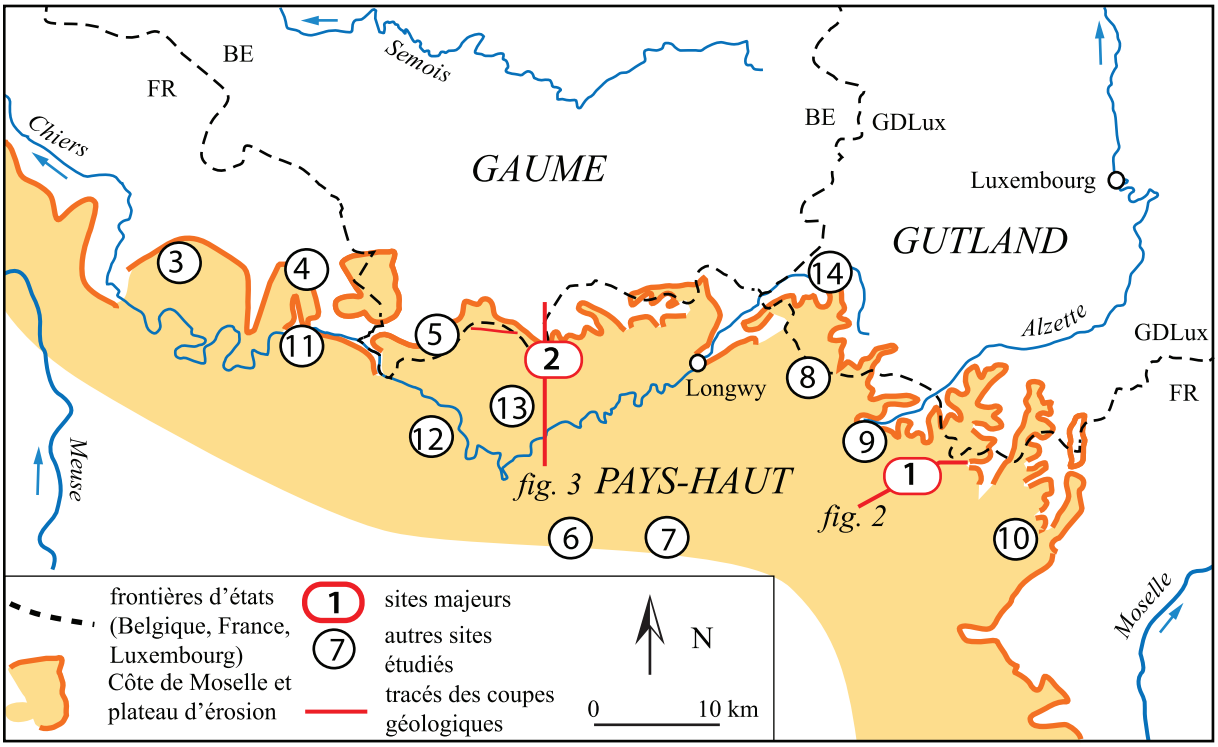
Ce s éléments s'appuient sur les recherches récentes en géomorphologie et en particulier sur la thèse doctorale de Jean-Paul Fizaine défendue à l'Université de Lorraine en décembre 2012 et intitulée : « Les paléokarsts et les formations ferrugineuses associées dans le Bassin parisien et ses bordures : caractérisations et évolutions géomorphologiques »

2. LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE, GÉOMORPHOLOGIQUE ET HISTORIQUE

2.1. Le cadre morphostructural

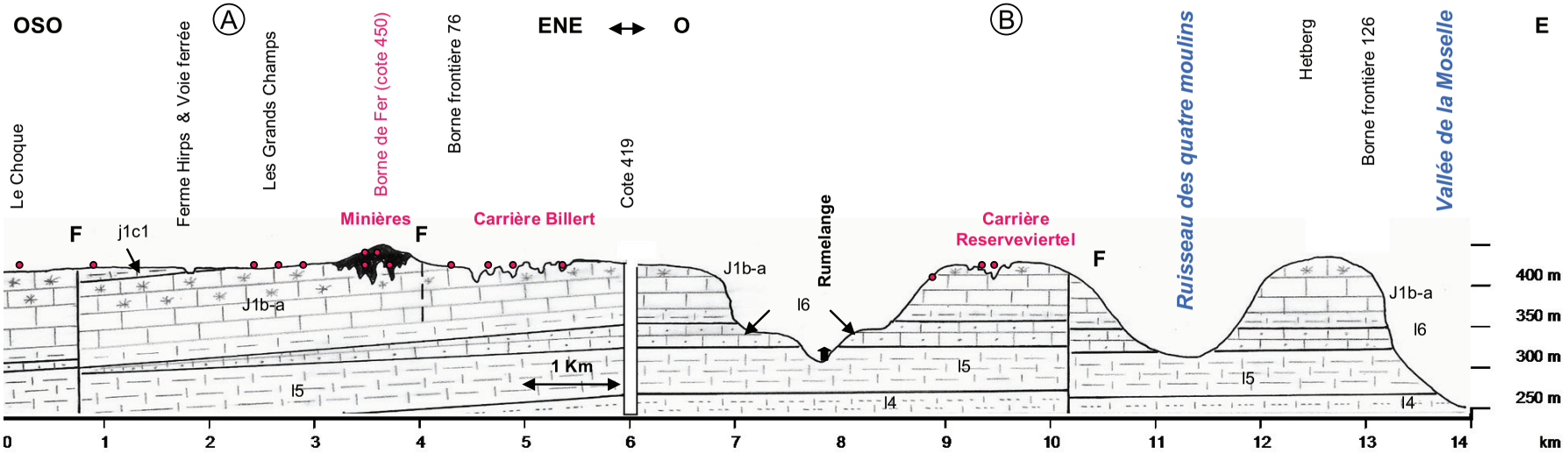
Les formations ferrugineuses impliquées se situent sur le plateau des calcaires bajociens qui constitue le revers de la côte de Moselle,

localisé, pour sa plus grande partie, en France, dans le Pays-Haut (Fig. 1). Elles se situent plus précisément sur le plateau d'érosion situé vers 400 m d'altitude, à la limite des bassins versants de la Meuse et du Rhin, sur les interfluves des vallées de la Chiers et de l'Alzette, et de leurs affluents (Figs 2-3). Ce plateau correspond à une surface d'érosion régionale, appelée « surface des 400 m », qui existe au sommet des principales côtes lorraines (côtes de Lorraine, de Moselle, de Meuse et des Bars) et en bordure du socle du Massif schisteux rhénan (Liedtke *et al.*, 2010). Dans le Pays-Haut, le plateau d'érosion recoupe les calcaires du Jurassique moyen (Bajocien), notamment les Calcaires à Polypiers, l'Oolithe de Doncourt et l'Oolithe de Jaumont (Mégnien *et coll.*, 1980). Sur cette surface, on trouve, dans plusieurs secteurs de l'Est du Bassin parisien, les vestiges d'un paléokarst. Dans le Pays-Haut, ce paléokarst se caractérise par des couloirs de directions nord-est – sud-ouest et nord-nord-ouest – sud-sud-est, comme à Saint-Pancré (Jacquot, 1849 ; Fig. 4), des galeries et des puits révélés par l'exploitation du minerai de fer. À Aumetz, à la Borne de Fer, Jacquot (1849) signale le fonçage d'un puits dans une poche de plus de 30 m sans que l'on ait rencontré la roche calcaire encaissante.



Sites de plateau - 1 : Borne de Fer, 2 : Saint-Pancré, 3 : Signy-Montlibert, 4: gîtes de Verneuil-Grand et Thonne-la-Long, 5 : minières d'Allondrelle-la-Malmaison, 6 : la Caüatte à Pierrepont, 7 : la Couleuvre à Mercy-le-Bas, 8 : minières d'Hussigny-Godbrange, 9 : bois de Butte à Villerupt, 10 : carrière de Reserveviertel à Volmerange-les-Mines. *Sites de vallées* - 11 : minières de Villécloye, 12 : méandre abandonné de la Chiers à Charency-Vézin, 13 : gouffre-minière du Haut des Scieries à Viviers-sur-Chiers, 14 : Pétange (Minerai de Fer des Prés).

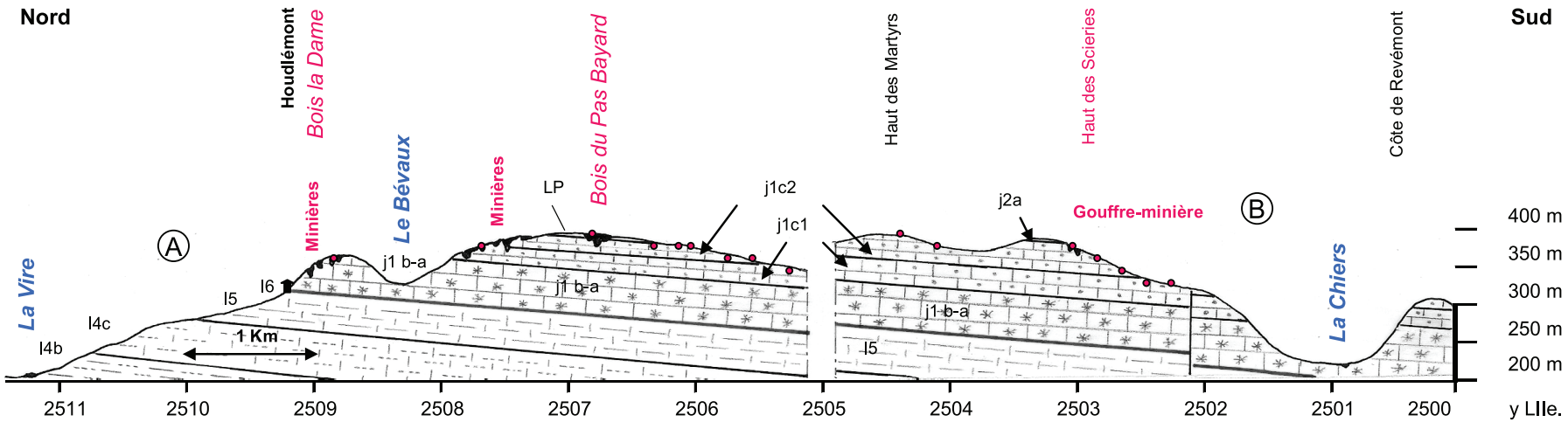
Fig. 1 – Carte des minières de Fer fort des régions frontalières de la France, de la Belgique et du Grand-Duché de Luxembourg, situées à l'Est de la Chiers (Pays-Haut, Gaume, Gutland, Fizaine, 2012, redessinée par D. Harmand).
Fig. 1 *– Map of the surface mine of Fer fort ironstone of the border regions of France, Belgium and Grand-Duchy of Luxembourg, Eastern Chiers River (Pays-Haut, Gaume, Gutland, Fizaine, 2012, redrawn by D. Harmand).*



j1c1	Bajocien supérieur	Oolithe de Doncourt, Niveau des Clapes, Oolithe de Jaumont, Marnes de Longwy (52 m)
j1b-a	Bajocien inférieur et moyen	Calcaires à polypiers supérieurs (23 m), Marnes d'Audun-le-Tiche (10 m), Calcaires d'Audun-le-Tiche (30 m), Calcaires à polypiers inférieurs (47 m), Calcaires de la Hutie (10 m), Calcaires de Haut-Pont et d'Ottange (40 m), Marnes micacées (39 m)
I6	Aalénien	Minerai de fer oolithique (20 à 60 m)
I5	Toarcien	Marnes et grès médioliasique (35 à 150 m)
I4b	Pliensbachien supérieur	Grès de Dippach (Grès médioliasique) (45 m)

Fig. 2 – Coupes géologiques du gîte de la Borne de Fer, des carrières Billert et Reserveviertel :
– (A) Coupe de direction WSW-ENE du gîte de la Borne de Fer et de la carrière Billert ;
– (B) coupe de direction W-E, au droit de la carrière de Reserveviertel (Fizaine, 2012).

Fig. 2 *– Geological cross-sections of the surface mine of the "Fer fort" ironstone, the Billert and Reserveviertel open quarries:*
– (A) WSW-ENE geological cross-section of the surface mine of the "Fer fort" ironstone and the the Billert quarry;
– (B) W-E geological cross-section, East of the Reserveviertel quarry (Fizaine, 2012).



j2a	Bathonien inférieur	Caillasses à *Anabacia* et marnes à *Terebratula globata* (7 à 8 m)
j1c2	Bajocien supérieur	Oolithe de Doncourt (15 m) Niveau des Clapes (2 m)
j1c1		Oolithe de Jaumont (25 m)
j1b-a	Bajocien inf. et moyen (Aalénien sup.)	Calcaires à polypiers supérieurs (17 m)
		Calcaires cristallin à *Echinotis* (12 à 15 m)
		Calcaires à polypiers inférieurs (45 m)
		Calcaires de Haut-Pont et Calcaires d'Ottange (24 m)
		Marnes micacées (4 à 5 m)
I6	Toarcien sup. (Aalénien)	Minerai de fer oolithique (10 m)
I5	Toarcien	Marnes et schistes de Grandcourt (Schistes-cartons) (35 à 150 m)
I4c	Pliensbachien	Macigno d'Aubange (grès médioliasique) (45 m)
I4b		Macigno de Messancy

Fig. 3 – Coupes géologiques du gîte de Saint-Pancré et du gouffre-minière du Haut des Scieries
– (A) Coupe géologique de direction N-S des gîtes de Ville-Houdlémont (bois la Dame) et de Saint-Pancré (bois du Pas Bayard) ;
– (B) coupe géologique, également de direction N-S, du gouffre-minière du Haut des Scieries à la Chiers (Fizaine, 2012).

Fig. 3 – *Geological cross-section of the Saint-Pancré surface mine and the mine cave of the "Haut des Scieries":*
– *(A) N-S geological cross-section of the Ville-Houdlémont (Wood of La Dame) and Saint-Pancré (Wood of the Pas Bayard) surface mines;*
– *(B) N-S geological cross-section from the mine cave of the "Haut des Scieries" to the Chiers (Fizaine, 2012).*

2.2. Types d'affleurements, origine et âge présumé du Fer fort

Dans le Pays Haut, le Fer fort était exploitable dans trois types d'affleurements. Le premier type correspond à une ferricrète (ou cuirasse ferrugineuse), la Borne de fer, constituée de minerai de Fer fort exploité *in situ* (Fig. 1). Le deuxième coïncide avec les blocs de Fer fort mélangés aux argiles et sables qui scellaient à l'origine les dépressions karstiques des plateaux. Le troisième type correspond aux éléments ferrugineux remaniés lors du creusement des vallées et déposés dans des galeries karstiques (grotte-minière du Haut des Scieries – ou du Haut de Séry – à Viviers-sur-Chiers), sur des terrasses (par exemple dans le méandre fossile de Charency-Vezin correspondant à la terrasse Ch 8 de la Chiers situées à +85 m d'altitude relative, Harmand, 2004) ou sur des versants (éléments de conglomérats ferrugineux de Villécloye, près de Montmédy).

En fait, les différents faciès du Fer fort appartiennent aux horizons typiques des cuirasses ferrugineuses. C'est une altérite à forte recristallisation caractérisée par la précipitation massive de substances dissoutes et dominées par un composant chimique (ici, en l'occurrence le fer).

L'altération latéritique est généralement liée aux ceintures climatiques chaudes et humides telles que nous les connaissons (zone intertropicale actuelle). En Europe, on retrouve ces conditions climatiques à affinités tropicales au Crétacé inférieur et au début du Tertiaire, jusqu'à l'Éocène moyen (Quesnel, 2003 ; Thiry *et al.*, 2006). Or, les données paléomagnétiques effectuées sur la cuirasse de « Fer fort » de la

Fig. 4 – Photographie d'une « ruelle » des minières du bois du Pas Bayard à Saint-Pancré (Fizaine, 2012).
Fig. 4 *– Picture of a karstic corridor of the Pas Bayard surface mine at Saint-Pancré (Fizaine, 2012).*

Borne de Fer donnent un âge d'environ 120 Ma (Théveniaut *et al.*, 2007). Il est à noter que l'âge barrémien (Crétacé inférieur) est celui de la formation des bauxites de Provence et du Languedoc (Tardy, 1993) sur des aires en surrection, comme dans le Pays-Haut. En effet, le début du Crétacé correspond, dans les régions situées au sud de la Mer du Nord, à un bombement lithosphérique marqué (qui aurait atteint 2000 m dans le Brabant et 700 m environ à la Borne de Fer) en réponse au rifting avorté de la Mer du nord (Quesnel, 2003 ; Wyns *et al.,* 2003). Les altitudes n'ont vraisemblablement pas atteint ces valeurs en raison de l'altération et de l'érosion progressives des couches sédimentaires jurassiques au Sud de l'Ardenne. La longue période d'érosion continentale (20 millions d'années depuis le début du Crétacé) avant la transgression albienne (fin du Crétacé inférieur) permet d'expliquer la réalisation de profils d'altération ferralitique dans le Pays-Haut et sur ses bordures. Ainsi, les plateaux d'érosion karstifiés et à altération ferralitique situés à l'Est du Bassin parisien correspondent à la surface infracrétacée exhumée. Cette surface façonnée au Crétacé inférieur a, ultérieurement, été fossilisée par les sédiments marins essentiellement d'âge crétacé supérieur ; ces derniers ayant été érodés vraisemblablement au début du Tertiaire, Le Roux et Harmand, 2003).

La période d'altération continentale du début du Tertiaire a probablement généré le remaniement de profils d'altération ferralitique *in situ* ou remaniés dans le karst (Quesnel, 2003), tant que le creusement plio-quaternaire des vallées est responsable d'un démantèlement de ces éléments de cuirasses (Harmand, 2004).

2.3. Les gîtes et sites majeurs

En France, les principaux sites de minières de Fer fort s'échelonnent du Pays de Montmédy à l'ouest, à la partie septentrionale du Pays-Haut à l'est.

Deux sites majeurs et représentatifs se dégagent. Ce sont :

2.3.1. Les minières de la Borne de Fer à Aumetz

Le gîte de la Borne de Fer (Figs 1-2, 5) est le seul qui coïncide avec une cuirasse ferrugineuse en place. Les minières qui s'étendent sur environ 125 ha, se trouvent sur le territoire de la commune d'Aumetz, à 5 km d'Esch-sur-Alzette (Grand-Duché de Luxembourg). Le gîte, matérialisé par une butte surbaissée qui culmine à 450 m, domine d'une trentaine de mètres le plateau d'érosion du sommet de la côte du Dogger et surplombe de plus de 150 m, la dépression argilo-marneuse du Lias.

Les profils d'altération ont une épaisseur comprise entre 15 et 40 m (Quesnel *et al.,* 2006). Ils recouvrent les Calcaires à polypiers supérieurs (Maubeuge, 1959). La coupe dégagée au sommet de la butte sur 3,35 m de hauteur montre l'alternance de bancs fortement cuirassés (jusqu'à 50 cm), de blocs de cuirasses et de niveaux argileux, certains d'entre eux contenant des sables fins quartzeux (Fizaine, 2012). Ces derniers expliquent les faciès gréseux observés en lames minces.

L'évaluation approximative du gîte était estimée en 1849 à 2.500.000 tonnes de minerai. La fermeture définitive est intervenue en 1881, date concomitante à l'installation par le maître de forge (de) Wendel, à Hayange, d'une première aciérie Thomas de quatre convertisseurs qui permettaient l'affinage des fontes phosphoreuses issues de la « Minette » lorraine.

Fig. 5 – Photographie de la cuirasse à faciès métanodulaire de la base de la Borne de Fer (Aumetz, Photo Fizaine, 2012).
Fig. 5 *– Picture of the basis of the Borne de Fer ferricrete (metanodular facies, (Aumetz, Fizaine, 2012)*

2.3.2. Les minières de Saint-Pancré

On comprend sous le nom de minières de Saint-Pancré, les exploitations qui s'étendent sur le territoire de sept communes situées entre 4 et 8 km à l'ouest de Longwy.

Le site principal étudié (Fig. 1), situé à 8 km à l'W de Longwy, se développe sur le sommet de la côte de Moselle à des altitudes comprises entre 350 et 400 m. La roche encaissante du minerai est constituée selon la position dans le profil (Figs 3-4), à la base par la Formation des Calcaires à polypiers supérieurs (Bajocien moyen) et au sommet par les calcaires du Bajocien supérieur représentés par l'Oolithe de Doncourt et l'Oolithe de Jaumont.

Toutefois, l'aspect actuel est celui d'un paléokarst vidé de son contenu, mis à part un bloc de plusieurs tonnes de Fer fort. Le paléokarst se décline en couloirs de plusieurs mètres de largeur de direction N60°E, de dolines et de lapiaz.

La profondeur maximale des couloirs est de 9 m, toutefois, la profondeur initiale était plus grande lors de l'exploitation, les couloirs ont largement été remblayés naturellement par les éboulis issus des parois calcaires.

Plusieurs auteurs (Baeckeroot, 1929 ; Maubeuge, 1969) ont signalé la présence sur le site de blocs et de galets de Pierre de Stonne, quartzite pédogénétique d'âge paléogène formé sous des paléoenvironnements chauds et secs du Paléocène ou de l'Éocène qui jalonne la surface continentale éocène (Quesnel, 1993).

Les minières de Saint-Pancré, étaient déjà connues au Moyen-Âge (mention de 1201 dans les archives de l'Abbaye d'Orval, propriétaire de la Forge de Buré sur le Dorlon). Elles cesseront toute activité le 31 décembre 1865 en raison des coûts devenus prohibitifs de l'exploitation (à la fin de l'exploitation, une tonne de minerai lavé nécessitait l'extraction de 15 tonnes de « terre à mine »).

2.3.3. Les autres sites

Ils se déclinent, d'une part en sites des plateaux, à proximité du front de côte et d'autre part, en site de vallées sous forme d'éléments remaniés (Fig. 1).

Sur le territoire belge, les gîtes se limitent aux incursions de la cuesta du Bajocien, notamment sur les territoires de Ruette-Grandcourt et, dans une moindre mesure, à Halanzy, à Couvreux et à Montquintin (Delhez, 2004).

Il en est de même pour les sites de Fer Fort, désigné sous le terme de "Bohnerz", du Grand-Duché du Luxembourg, limités aux avancées de la cuesta dominant la dépression du Gutland et les localités de Differdange et Rumelange.

3. LES TYPES DE MINERAIS ET LEURS CARACTÉRISTIQUES MACROSCOPIQUES ET MICROSCOPIQUES

3.1. Les types de minerais

Les données pétrographiques permettent de déterminer trois types de minerais (Fizaine, 2012) :

- des minerais de « Fer fort » issus d'une même cuirasse ferrugineuse ;
- des minerais de deuxième génération ayant subi plusieurs stades de transformation ;
- des grès ferrugineux définis par la présence de nombreux grains de quartz détritiques cimentés par des oxydes de fer.

Concernant les relations entre les formations ferrugineuses et le karst, Jean-Paul Fizaine (2012) a défini quatre grands types de formations :

- des vestiges de cuirasses *in situ* associées à un karst profond. Entrent dans cette catégorie, la ferricrète de la Borne de Fer et les restes de la cuirasse de Saint-Pancré observés dans la doline de la Blanche-Haye ;
- des éléments de cuirasse démantelée, piégés dans le karst profond, notamment de puits de plusieurs dizaines de mètres de profondeur ;
- des éléments de cuirasses piégés dans un karst de quelques mètres de profondeur ou situés à la surface des plateaux ;
- des éléments remaniés, voire transformés, issus de cuirasses démantelées, situés sur les versants ou dans des cavités karstiques en relations avec un paléoexutoire.

3.2. Caractéristiques des différents types de minerais

3.2.1. Les faciès de la Borne de Fer

La ferricrète de la Borne de Fer présente un caractère quasi-unique à cette latitude sur le territoire national, voire en Europe occidentale, car on peut y observer, *in situ*, cinq des huit stades d'aggradation / dégradation d'une cuirasse ferrugineuse, définis par Tardy (1993) :

- **Stade nodulaire de l'aggradation (stade 4)**. Ce stade, qui correspond au passage de la carapace à la cuirasse, est situé dans la partie basse accessible du gîte de la Borne de Fer et est visible sur un

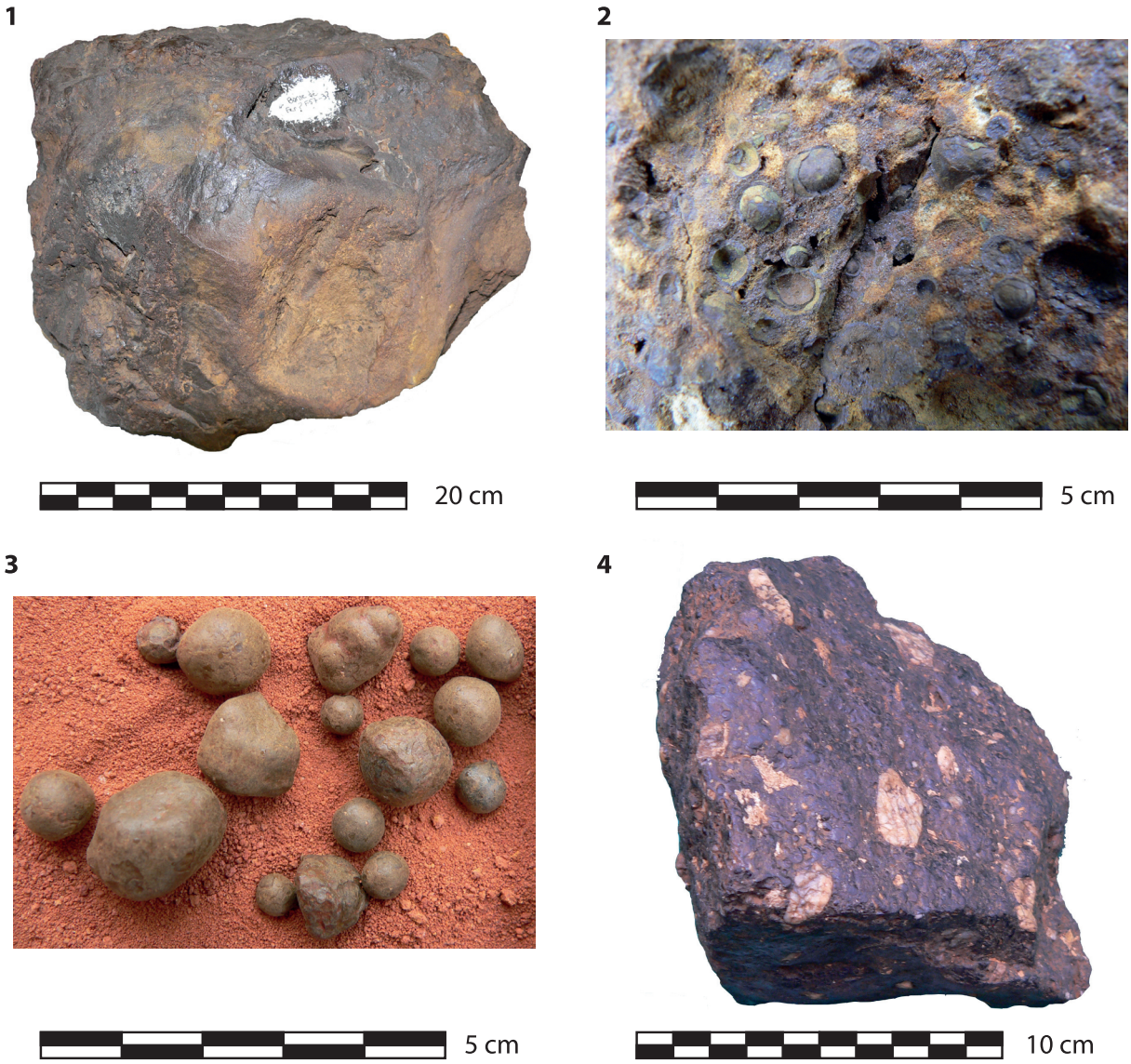


Fig. 6 – Planche photographique de faciès de Fer fort (Photos Fizaine) :
(1) : Bloc de cuirasse à faciès massif (Borne de Fer, Aumetz) ; (2) : bloc de cuirasse dégradée à faciès protopisolitique, Borne de Fer) ; (3) : Pisolites sphériques ou ovoïdes libres (Borne de Fer) ;
4) : coupe du conglomérat à pisolites et à galets de quartz (Les Minières, Villécloye).
Fig. 6 *– Pictures of "Fer fort" facies (Photos Fizaine):*
(1): block of ferricrete with massive facies (Borne de Fer, Aumetz); (2): block of degraded ferricrete with protopisolithic facies, Borne de Fer); (3): isolated spherical pisolites (Borne de Fer);
(4): section of the pisolithic and conglomeratic ferricrete with quartz pebbles (Les Minières, Villécloye)

dénivelé de 10 à 15 mètres (Fig. 5). Tardy (1993) a montré que le passage à la cuirasse s'est opéré par une réduction des vides, une rubéfaction du fond matriciel et une augmentation du nombre mais surtout de la taille des nodules. L'aggradation s'est développée par concrétionnement, ferruginisation et induration du plasma nodulaire et internodulaire en même temps que se perdait l'arrondi des nodules par coalescence ou par densification du fond matriciel.

- **Stade du faciès massif, épicentre du télescopage de l'aggradation / dégradation (stade 5)**. Ce stade qui se développe à environ 1 m sous le niveau actuel du sol atteint une puissance d'ordre métrique. Il correspond au cuirassement ultime. Le faciès est très massif et très homogène (Fig. 6:1). Le fond matriciel du stade nodulaire s'est progressivement enrichi en fer, les nodules se sont dilués. Le cuirassement a atteint le paroxysme de l'accumulation du fer en milieu déshydratant. Les structures pisolitiques sont à peine observables à l'œil nu, le recours à l'examen microscopique s'avère nécessaire (Fig. 7:1). Ce dernier montre un plasma constitué d'oxydes de fer plus ou moins hydratés de couleur jaune à brun foncé. Le squelette est formé de grains de quartz détritiques très nombreux de diamètres compris entre 50 et 500 µm et de très petits grains néoformés (20 à 50 µm). Les traits pédologiques sont surtout représentés soit par des nodules sans cortex (P1), soit par protopisolites présentant une zone corticale marquée (P2).

- **Stades 6 et 7 de la dégradation (protopisolitique, parapisolitique)**. Les nodules se sont transformés progressivement en pisolites. On assiste à la dégradation du fond matriciel et à la formation de cortex de grande taille, soit à partir du faciès massif, soit directement à partir du stade métanodulaire. La dégradation s'est mise en place par développement des cortex et des cernes, en même temps que se perfectionnait l'arrondi des pisolites (Fig. 6:2). Les concentrations de silice (sous forme d'un grès très fin) et de fer sont nettement discernables à l'examen au microscope métallurgique (Fig. 7:2).

- **Stade final de la dégradation (stade 8) : l'horizon de démantèlement**. Les pisolites finissent par se détacher les unes des autres pour former un horizon caillouteux ou graveleux de surface meuble, résultant du démantèlement sur place, sans transport des pisolites formées au sein même de la cuirasse (Fig. 6:3). La forme arrondie ou sphérique des pisolites est obtenue par altération *in situ* des nodules ou du faciès massif de la cuirasse et non pas par transport de surface et arrondi mécanique. Le cortex est constitué essentiellement de gœthite alumineuse. Les cernes de gœthite séparent ainsi deux domaines : le premier, à l'intérieur des pisolites est hématique, finement poreux et induré, le second à l'extérieur est plus riche en gœthite (Nahon, 1976). Les nodules à cœur d'hématite prennent une forme sphérique. Ce sont des pisolites "vraies" dont la taille diminue vers le haut du profil.

La mise en évidence de ces différents stades caractéristiques, permet de pouvoir considérer la Borne de Fer comme une véritable cuirasse ferrugineuse telle que décrite par différents auteurs (Nahon, 1976 ; Tardy, 1993). Toutefois, les stades 1 (horizon tacheté) à 3 (carapace à faciès paranodulaire) de Tardy (1993) n'ont pas été identifiés.

3.2.2. Les autres faciès

Des éléments de cuirasse démantelée, piégés dans le karst profond ou remaniés dans les vallées présentent également des faciès caractéristiques. Ainsi, l'analyse microscopique d'un échantillon de Fer fort à faciès massif issu du lapiaz (crêtes de largeur décimétrique à métrique séparées par des rainures ou couloirs de dissolution karstique) du bois Bayard à Saint-Pancré (type B, voir ci-dessus), révèle la présence d'un plasma constitué surtout d'oxydes de fer de couleur brun foncé à rouge vif et d'un squelette formé de cristaux de quartz néoformés de 50 µm à 1,5 mm (Fig. 7:3). Le plasma est marqué par la présence d'accrétions ferrugineuses plus ou moins hydratées. L'échantillon de Fer fort à faciès massif provenant des minières d'Hussigny-Godbrange (type C) révèle la présence de nombreux grains de quartz. L'examen au microscope métallurgique fait, quant à lui, apparaître des pisolites avec ou sans cortex (Fig. 7:4).

Les minerais de type D sont représentés en premier lieu par un remplissage d'une galerie karstique (le Haut de Séry) en connexion avec un paléoniveau de la Chiers dominant le fond de vallée d'environ 150 m et en second lieu par des éléments épars de fer fort situés sur une terrasse dégradée de l'Othain, affluent de la rive gauche de la Chiers.

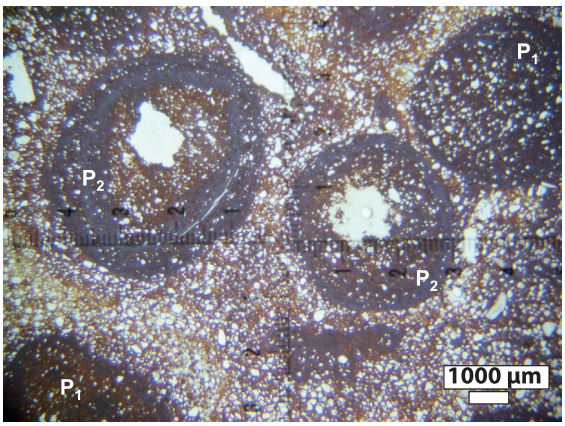
La grotte-minière du Haut de Séry a conservé les restes d'un remplissage essentiellement argileux contenant de très nombreuses micro-pisolites autrefois exploitées par les mineurs (Fig. 8). L'observation en lame mince a révélé la présence dans les pisolites de très nombreux micro-grains de quartz (Fizaine, 2012).

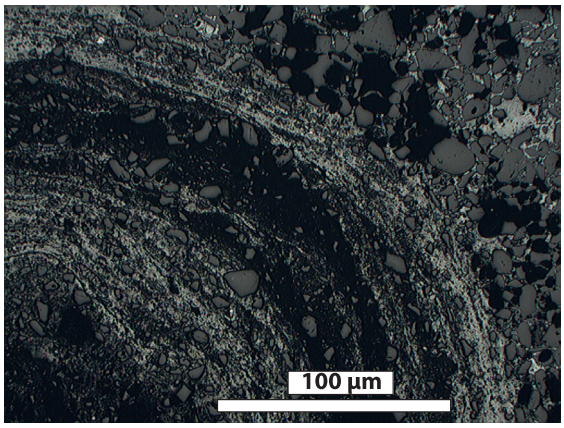
L'échantillon issu des minières de Villécloye situées sur le versant d'une vallée affluente de la Chiers (Othain) est l'un des plus originaux puisqu'il présente un faciès conglomératique avec des galets de quartz de dimensions centimétriques associés à des pisolites ferrugineuses, entières ou brisées, à cortex multiple ou unique (Figs 6:4, 7:5).

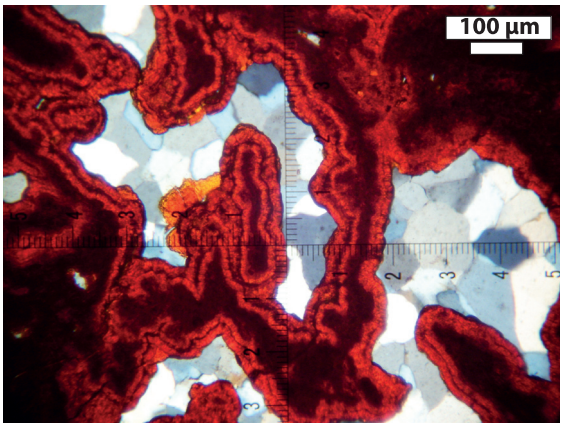
4. CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES

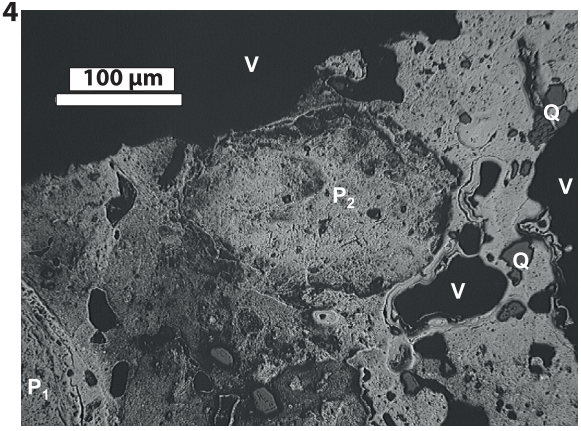
4.1. Les analyses chimiques

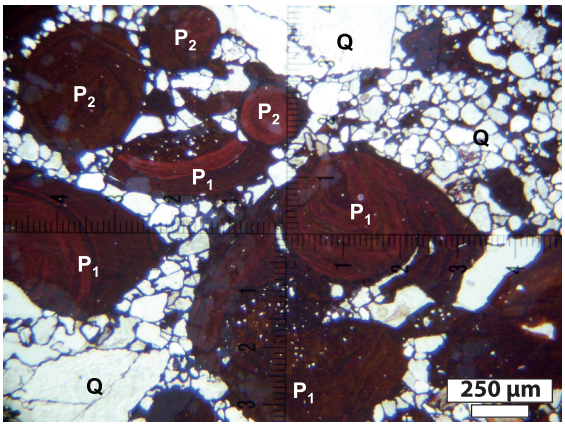
Dans la région qui s'étend des Crêtes pré-

1


2


3


4


5


ardennaises à l'Est du Pays-Haut, 37 analyses ont été effectuées (dont 29 concernent le secteur situé à l'Est de la Chiers).

En général, les minerais sont très riches en Fe_2O_3 (Fig. 9). Ainsi, on observe une teneur supérieure à 50 % pour 87 % des gîtes et deux échantillons atteignent, voire dépassent les 80 %. En revanche, la teneur en silice est très disparate (entre 2,34 et 52,73 %). Les faciès gréseux ou protopisolitiques présentent évidemment les teneurs les plus élevées. Ceci confirme, si besoin était, l'équilibre fer / silice.

Concernant les autres éléments chimiques, leur part est en général très faible. C'est le cas pour l'alumine, la totalité des échantillons montrant des spécimens peu bauxitisés (moyenne : 3,27 % Al_2O_3).

La caractéristique majeure concerne le très faible pourcentage de phosphore (qui rendait la fonte cassante avant l'utilisation du procédé Thomas-Gilchrist à partir des années 1880), la teneur médiane étant de 0,25 %. En revanche, la teneur en phosphore du Minerai de fer des Prés à Pétange (*Rasenerz*) issu du minerai de fer oolithique jurassique est de 1,58 %. Ainsi la forte teneur en fer et la faible teneur en phosphore donnait une importance au minerai de Fer fort.

Les teneurs en calcium sont faibles et, pour 65 % des gîtes, comprises entre 0 et 0,20 %. Pour les autres résidus alcalins (MgO, Na_2O, K_2O), les teneurs médianes sont, du fait du lessivage, conformes aux autres ferricrètes et se réduisent respectivement à 0,13 % ; 0,03 % et 0,05 %. Les teneurs des autres métalloïdes (MnO et TiO_2), comprises dans les mêmes écarts (entre 0 et 0,91 %), ne sont pas significatives.

Les résultats des analyses par pertes au feu (principalement dues aux groupements OH des hydroxydes et oxy-hydroxydes de fer) présentent des valeurs disparates, comprises entre 1,39 et 15,50 %. Il apparaît que les grès ferrugineux possèdent une perte au feu moindre que les faciès plus altérés de Fer fort.

L'indice d'altération et de lessivage (Φ_{jp}) est fourni pour les analyses récentes (Fizaine, 2012). Cela permet de distinguer pour le Pays-Haut, des populations de minerai en fonction de l'intensité de lessivage et de l'altération depuis des valeurs faibles (0,05) jusqu'à des valeurs très élevées (0,10 - 0,36).

Fig. 7 – (page opposée) Planche photographique de lames minces de Fer fort (Photos Fizaine) : (1) : organisation interne d'un faciès massif de la Borne de Fer, Aumetz ; P1 : nodule sans cortex ; P2 : protopisolite avec un cœur évidé (LN x8 ; 1 graduation = 125 µm) ; (2) : microscopie métallurgique d'un faciès protopisolitique de la Borne de Fer avec pisolite à cortex multiples (microscope métallurgique : LAM Jarville) ; (3) : microscopie d'un faciès massif de deuxième génération (Bois du Pas Bayard, à Saint-Pancré). NB : la photographie a été réalisée par adjonction d'une lame retardatrice (¼ λ) pour augmenter le contraste entre les minéraux LPA x100 (1 graduation = 10 µm) ; (4) : microscopie métallurgique d'un rognon de Fer fort à faciès massif (Les Minières, Hussigny-Godbrange ; P1 : pisolite avec cortex avec un diamètre estimé à 800 µm, P2 : pisolite sans cortex. Les grains de quartz (Q) et les vides (V) apparaissent en teinte plus sombre ; (5) microphotographie du conglomérat à pisolites et à galets de quartz de Villécloye : blanc : squelette constitué de grains de quartz (Q) hétérométriques ; brun : pisolites "vrais" à cortex multiples (P1) et les pisolites à cortex unique (P2), sous forme intégrale ou de débris ; LPNA x10 (1 graduation = 100 µm).

Fig. 7 *– (opposite page) Pictures of thin sections of "Fer fort" (Photos Fizaine): (1): inner frame of the Borne de Fer massive facies (Aumetz); P1: nodule without cortex; P2: protopisolith with a hollowed out heart (LN x8; 1 graduation = 125 µm); (2): metallurgical microscopy of a protopisolithic facies with a multiple cortex of the Borne de Fer (metallurgical microscope: LAM Jarville); (3): microscopy of a second generation massive facies (Wood of the Pas Bayard at Saint-Pancré). NB: the photography was realized by addition of a retarding blade (¼ λ) to increase the contrast between minerals LPA x100 (1 graduation = 10 µm); (4): metallurgical microscopy of a "Fer fort" nodule with a massive facies (Les Minières, Hussigny-Godbrange; P1: pisolith with cortex with a diameter estimated at 800 µm, P2: pisolith without cortex. Quartz grains (Q) and space (V) appear darker color; (5) microphotography of the pisolithic and conglomeratic ferricrete with quartz pebbles of Villécloye; white: clastic quartz grains (Q); brown: multiple cortex pisolites (P1) and one cortex pisolite (P2); LPNA x10 (1 graduation = 100 µm).*

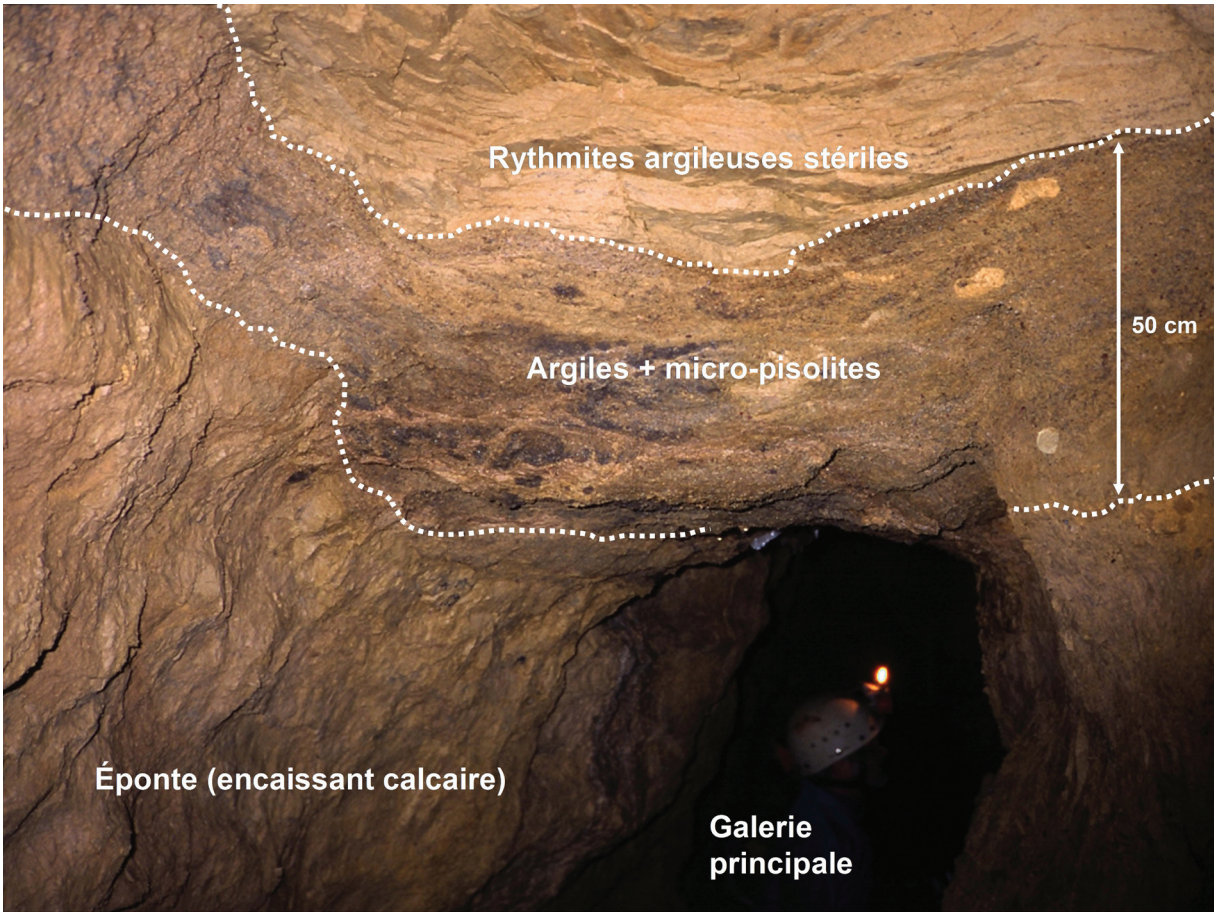


Fig. 8 – Gouffre-minière du Haut des Scieries, détail du remplissage (Viviers-sur-Chiers). Le cliché permet d'examiner les vestiges du remplissage abandonné par les mineurs au sommet de la galerie : à la base du remplissage conservé, on observe encore des lits d'argiles avec une forte densité de granules ferrugineux ou papules et au sommet, des rythmites argileuses, affaissées au centre et totalement exemptes d'éléments ferrugineux (Fizaine, 2012).

Fig. 8 *– Mine cave of the "Haut des Scieries", detail of the filling (Viviers-sur-Chiers). The picture shows the remains of the filling at the top of the gallery after their abandonment by the miners: the filling correspond to beds of clays with a strong density of ferruginous granules or papules at the basis, and upper, to subsided clayey rythmites without ferruginous nodules (Fizaine, 2012).*

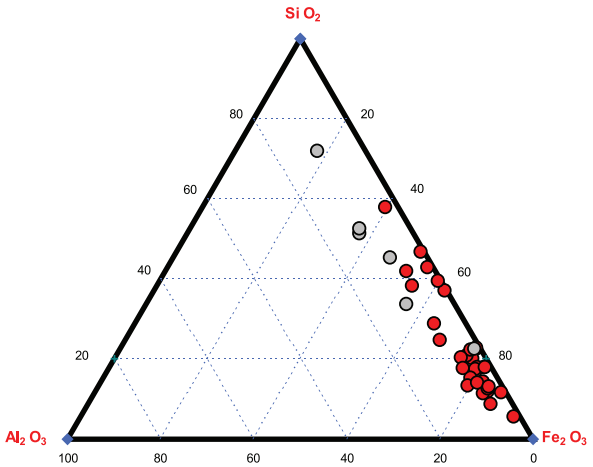


Fig. 9 – Graphique ternaire des principaux composants (Fe_2O_3, SiO_2 et Al_2O_3) des minerais de Fer fort du Pays-Haut, de la Gaume et du Gutland (rouge : analyses récentes, gris : analyses anciennes, Fizaine, 2012).

Fig. 9 *– Ternary graph of the main components (Fe_2O_3, SiO_2 and Al_2O_3) of the "Fer fort" ironstone of the Pays-Haut, the Gaume and the Gutland (red: recent analyses, grey: former analyses, Fizaine, 2012).*

3.2. Les analyses minéralogiques

Pour la région étudiée située entre les Crêtes ardennaises et la Moselle, nous disposons de sept analyses diffractométriques. La composition minéralogique des échantillons de minerai de fer se résume pour l'essentiel à un seul oxy-hydroxyde de fer : la gœthite systématiquement accompagnée de quartz. Seul, le conglomérat de pisolites de Villécloye tranche singulièrement avec cette monotonie, en affichant de l'hématite qui est peu commune dans le Bassin parisien.

6. CONCLUSIONS

Le minerai de Fer fort du sommet de la côte de Moselle présente en réalité de multiples faciès liés d'une part aux processus d'aggradation/dégradation des cuirasses ferrugineuses, et d'autre part au démantèlement des ferricrètes originelles et au remaniement des éléments ferrugineux dans le karst et dans les vallées qui drainent le plateau du Dogger, essentiellement la Chiers et ses affluents.

Les faciès du minerai de Fer fort ont donc présenté à toutes les périodes précédant la Révolution industrielle un grand intérêt en raison de la teneur élevée en fer et de la quasi-absence de phosphore. Mis à part les sites de la Borne de Fer et peut-être de Saint-Pancré où une cuirasse ferrugineuse existait encore avant son exploitation (Jacquot, 1849), les minières coïncidaient avec des sites relativement exigus situés le plus souvent en contexte karstique, ce qui était compatible avec une exploitation artisanale, mais ne l'était plus à l'époque industrielle qui demandait une quantité plus volumineuse de minerai. En outre, l'épuisement progressif des minières (par exemple le site de Saint-Pancré est épuisé dès 1865) conduit à leur abandon dès avant l'exploitation massive de la Minette.

Notons également que les sites, situés sur les plateaux, à proximité des villages et dans les terroirs mis en culture, étaient très accessibles. Les minerais pouvaient être acheminés rapidement vers les lavoirs de minerais situés à proximité, en général dans le même finage (comme à Saint-Pancré où les lavoirs se situaient sur le versant au droit des sources ou dans la vallée échancrant la côte. Les forges se situaient, quant à elles, dans les vallées.

Les matériaux à base de goethite donnent par abrasion une poudre ocre jaune à ocre brun. Après chauffage du matériau à plus de 350°C, la goethite est transformée en hématite rouge donnant alors par broyage ou abrasion une poudre de couleur rouge intense. Notons encore que la présence de grains de quartz permet une auto-abrasion aisée du matériau et que l'occurrence éventuelle de minéraux argileux peut conférer des propriétés particulières à la poudre, notamment concernant l'adhérence de la poudre sur un support sur lequel elle serait appliquée.

Ainsi, les recherches récentes sur le Fer fort, notamment sur la variété des faciès et leur localisation précise permettent d'envisager des études géoarchéologiques futures qui permettront d'étoffer les nouveaux travaux dans le domaine de la paléométallurgie à différentes époques, de l'Âge du Fer à la période proto-industrielle.

Bibliographie

BAECKEROOT G., 1929. Sur l'existence de la Pierre de Stonne entre la Meuse et la Moselle. *Bulletin de la Société Géologique du Nord*, **LIV** : 87-94.

DELHEZ J.-C., 2004. *Les mines de fer du pays gaumais*. Chez l'auteur – 55600 Thonne-la-Long : 223 p.

FIZAINE J.-P., 2012. *Les paléokarsts et les formations ferrugineuses associées dans le Bassin parisien et ses bordures : caractérisations et évolutions géomorphologiques*. Thèse de géographie physique, Université de Lorraine. Tome I : 468 p, Tome II (annexes) : 172 p.

GARDET G. & MOULINET G., 1932. Le minerai de « Fer fort » du front de la côte bajocienne de la région de Longuyon - Longwy – Villerupt. *Bulletin de l'Association des Anciens Élèves de l'École des Mines de Douai (25 mai 1932)° :* 408-434, carte.

HARMAND D., 2004. *Genèse et évolution du réseau hydrographique (creusement des vallées et captures) dans les régions de moyennes latitudes : exemple de l'Est du bassin de Paris*. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. Université de Nancy 2 : 272 p.

HOTTENBERG G., 1923. Les anciennes minières de fer fort de Saint-Pancré et d'Aumetz. *Bulletin de la Société Industrielle de l'Est*, **167-168** : 37 p.

JACQUOT E., 1849. Les mines et les minières de fer de la partie occidentale du département de la Moselle. *Annales des Mines*, **16** : 427-494.

JACQUOT E., 1854. *Esquisse géologique et minéralogique de la Moselle*. Pallez et Rousseau, Metz : 436 p., 3 pl.

JACQUOT E, TERQUEM O. & BARRÉ A., 1868. *Description géologique et minéralogique du département de la Moselle*. Raçon et C^{ie}, Paris : 32 p.

LE ROUX J. & HARMAND D., 2003. Origin of the hydrographic network in the Eastern Paris Basin and its border massifs. Hypothesis. *In* : F. QUESNEL (coord.), *Structural, Morphologic and Hydrologic consequences*. Special conference on paleoweathering and paleosurfaces in the Ardenne-Eifel region at Preizerdaul (Luxembourg) on 14 to 17 may 2003, *Géologie de la France*, **1** (4) : 105-110.

LEROY M., 1993. *La sidérurgie ancienne en Lorraine avant le haut-fourneau*. Thèse (archéologie), Université de Franche-Comté : 447 p.

LIEDTKE H, DESHAIES M., GAMEZ P., HARMAND D. & PREUSSER H., 2010. *Die Oberflächenformen in der Grenzregion Saarland–Lothringen–Luxembourg / Les formes de relief dans la région frontalière Sarre-Lorraine-Luxembourg / Veröffentlichungen des Instituts für Landeskunde im Saarland*. Saarbrücken, Band 48. Forschungen zur deutschen Landeskunde. Liepzig, Band **259** : 367 p + 1 carte h. t. (carte à 1/300 000 de l'espace Saar-Lor-Lux).

MAUBEUGE P.-L., 1959. *Carte géologique de France à 1/50 000^{e}* (feuille Longwy – Audun-le-Roman, n° 113) *et notice explicative :* 8 p. BRGM, Orléans.

MAUBEUGE P.-L., 1969. *Carte géologique de France à 1/50 000^{e}* (feuille Longuyon-Gorcy, n°112) *et notice explicative* : 11 p. BRGM, Orléans.

MÉGNIEN C. (coord.), 1980. *Synthèse stratigraphique du Bassin de Paris. Vol. I: stratigraphie et paléogéographie*. Mémoire B.R.G.M., **101 :** 466 p., 182 fig. ; Vol. II: *Atlas* Mémoire B.R.G.M., **102** : 55 pl. ; Vol. III : *Lexique des noms de formations*. Mémoire B.R.G.M., **103 :** 467 p.

NAHON D., 1976. *Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal et en Mauritanie - Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence*. Sciences Géologiques Mémoires : 232 p.

QUESNEL F., 2003. Paleoweathering and palaeosurfaces from northern and eastern France to Belgium and Luxembourg: geometry, dating and geodynamics implications. *In* : F. QUESNEL (coord.), *Structural, Morphologic and Hydrologic consequences*. Special conference on paleoweathering and paleosurfaces in the Ardenne-Eifel region at Preizerdaul (Luxembourg) on 14 to 17 may 2003, *Géologie de la France*, **1** (4) : 95-104

QUESNEL F., YANS J., DUPUIS Ch., WYNS R., THÉVENAUT H. & DEMOULIN A., 2006. Paléoaltérations mésozoïques et cénozoïques en Ardenne et ses bordures : caractérisation, datation et reconstitution géométrique des paléosurfaces associées et analyse de leurs déformations successives. *Géologie de la France*, **1** (2) : 99-102.

RIEZEBOS P. A., TEN KATE W. G. H. Z. & de BRUIN M., 1990. *Eluvial derivation of Rasenerz concretions from the Minette formation (Luxembourg); evidence based on numerical classification of geochemical data*. Service géologique du Luxembourg. Bulletin, **15** : 35 p.

TARDY Y., 1993. *Pétrologie des latérites et des sols tropicaux*. Masson, Paris : 459 p.

THÉVENAUT H., QUESNEL F., WYNS R. & HUGUES G., 2007. Palaeomagnetic dating of the "Borne de Fer" ferricrete (NE France): Lower Cretaceous continental weathering. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* **253** : 271–279.

THIRY M., QUESNEL F., YANS J., WYNS R., VERGARI A., THÉVENAUT H., SIMON-COINÇON R., RICORDEL C., MOREAU M.-G., GIOT D., DUPUIS C., BRUXELLES L., BARBARAND D. J. & BAELE J.-M., 2006. Continental France and Belgium during the Early Cretaceous: paleoweatherings and paleolandforms. *Bulletin de la Société géologique de France,* **177** (3) : 155-175.

WYNS R., QUESNEL F., SIMON-COINÇON R., GUILLOCHEAU F. & LACQUEMENT F., 2003. Major weathering in France related to lithosphere deformation.. *In* : F. QUESNEL (coord.), *Structural, Morphologic and Hydrologic consequences*. Special conference on paleoweathering and paleosurfaces in the Ardenne-Eifel region at Preizerdaul (Luxembourg) on 14 to 17 may 2003, *Géologie de la France*, **1** ((4) : 79-87.

Adresses des auteurs :

Jean-Paul FIZAINE
Dominique HARMAND
Vincent OLLIVE
Laboratoire de géographie LOTERR
Université de Lorraine (France)
jean-paul.fizaine@univ-lorraine.fr
dominique.harmand@univ-lorraine.fr
vincent.ollive@univ-lorraine.fr