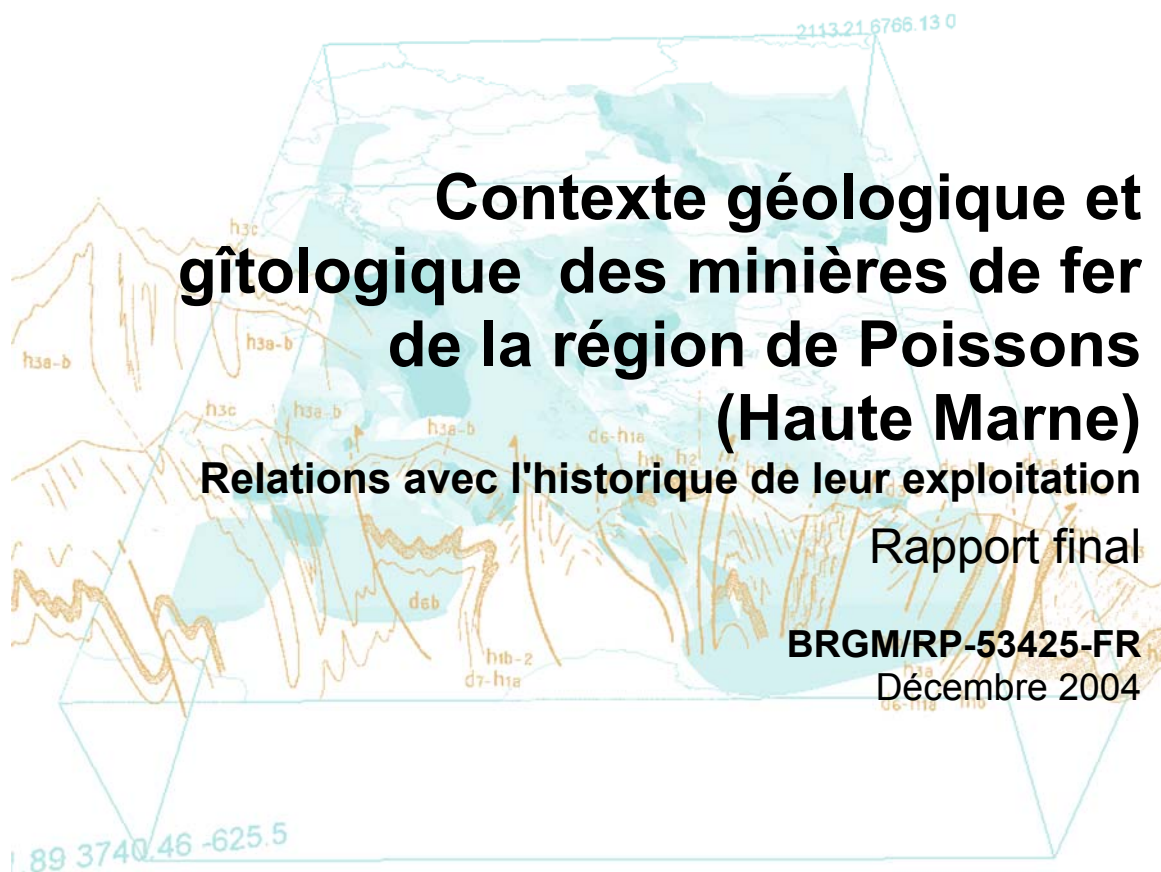




Contexte géologique et gîtologique des minières de fer de la région de Poissons (Haute Marne)

Relations avec l'histoire de leur exploitation

Rapport final

BRGM/RP-53425-FR

Décembre 2004

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2004-DEP-C04

P. Marteau

Avec la collaboration de

P. Jézéquel, F. Simon et F. Alcoser

Mots clés : Minières, Haute-Marne, région de Poissons, minerai de fer, calcaires, Portlandien, karst, puits, cuirasse latéritique, minerai géodique, minerai oolithique.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

MARTEAU P. avec la collaboration de JEZEQUEL P., SIMON F. et ALCOSER F. (2004) – Contexte géologique et gîtologique des minières de fer de la région de Poissons (Haute-Marne). Relations avec l'histoire de leur exploitation. Rapport BRGM/RP-53425-FR 43 pages, 2 figures, 1 tableau, 25 photos.

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre de la convention d'appui scientifique et technique du BRGM auprès de la Sous-Direction de l'Archéologie pour la connaissance du sous-sol et les études d'archéologie, le BRGM a réalisé en 2001 un inventaire des minières de fer de Haute-Marne. Ce travail a été effectué à partir de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM, de l'examen des cartes géologiques et de la bibliographie existante. Il a permis d'identifier 90 sites géoréférencés et cartographiés sur le fond géologique du département.

Pour la période 2003 – 2004, une étude du site des extractions anciennes des minières de fer de Poissons, qui paraît être le plus complexe et le plus vaste des gîtes ferrifères de la Haute-Marne, a été menée en collaboration avec l'équipe CNRS du Projet Collectif de Recherche "Mines et minerais de fer de Haute-Marne" (responsable D. Morin).

Cette étude a porté sur le contexte géologique et géomorphologique des minières, ainsi que sur la caractérisation des minerais et leur origine. Initialement prévue sur les secteurs de Calais et de Laiçon de part et d'autre de la route des lacets de Mélaire (environ 1,5 km au Nord de Poissons), elle a été étendue au secteur dit des "Hautes Minières" sur la commune de Montreuil-sur-Thonnance, environ 3 km au Nord du premier secteur. En effet, si le premier secteur est plus "spectaculaire" quant au contexte du gisement, il a été totalement défilé, alors que le second, moins intensément exploité, a l'avantage de conserver du minerai encore en place *in situ*.

L'étude 2003 – 2004 a comporté les phases suivantes :

Travaux de terrain : étude et compréhension du contexte géologique et géomorphologique des secteurs de Mélaire et des Hautes Minières

- levé de terrain et report sur le fond topographique IGN (échelle 1/2 5000 agrandie à 1/12 500) des gisements sur une zone de 3 km² environ) : lithostratigraphie, géologie structurale et géomorphologie, hydrogéologie, dans le contexte local des formations de calcaires karstifiés du Jurassique et des placages résiduels du Crétacé ;
- échantillonnage des faciès les plus représentatifs de minerais ;
- restitution d'une carte numérisée multicouche sous format MAPINFO ;

Etudes en laboratoire : caractérisation des différents types de minerais et d'un résidu de lavage en provenance d'un bocard

- description par examen optique de la pétrographie, de la minéralogie et de la texture de 8 échantillons de minerais,
- étude minéralogique sur lames minces polies de 3 minerais sélectionnés parmi ces échantillons, et contrôle au microscope électronique à balayage (MEB) afin de déterminer la structure, la minéralogie et la répartition des éléments majeurs ;
- analyse chimique élémentaire "9 éléments de minerais de fer" par Fluorescence X sur les 8 échantillons.

Synthèse des données

La synthèse des données de terrain et des résultats d'analyse a permis une comparaison des différents types de minerais, de leurs origines et de leurs évolutions possibles, aboutissant ainsi à une reconstitution de la genèse des gisements, qui permet de comprendre ainsi les particularités de leur contexte gîtologique. Il apparaît que le minerai de fer des minières de la région de Poissons est le reliquat d'une cuirasse latéritique ferrugineuse formée en climat tropical pendant une phase d'émersion du Crétacé inférieur, puis démantelée et piégée dans des poches karstiques en formation dans le substrat calcaire jurassique sous-jacent dès cette époque.

Sur le plan archéologique, cette étude peut contribuer à expliquer comment ont pu être découverts ces gisements, et comment ont pu se dérouler les différentes phases d'exploitation possibles, attestées depuis le 17^e siècle, les premières extractions pouvant probablement remonter à une période plus ancienne (Antiquité gallo-romaine ou Âge du Fer ?).

Sommaire

1. INTRODUCTION	7
2. GÉOLOGIE ET GÉOMORPHOLOGIE DES SITES DE POISSONS ET DE MONTREUIL-SUR-THONNANCE	9
2.1. BREF HISTORIQUE DES CONNAISSANCES GÉOLOGIQUES	9
2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ACTUEL	10
2.2.1. Données de la carte géologique à 1/50 000	11
2.2.2. Interprétation géologique actualisée.....	11
2.3. GÉOMORPHOLOGIE ET TRAITS HYDROGÉOLOGIQUES ACTUELS	18
2.3.1. Géomorphologie des sites	18
2.3.2. Aspects hydrogéologiques et fonctionnement du karst.....	22
3. CARACTÉRISATION DES MINÉRAIS.....	23
3.1. DESCRIPTION PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE OPTIQUE, CONTRÔLE AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE.....	23
3.2. ANALYSE CHIMIQUE PAR FLUORESCENCE X.....	35
3.3. SYNTHÈSE DES DONNÉES PÉTROGRAPHIQUES ET ANALYTIQUES.....	36
4. SYNTHÈSE GÉOLOGIQUE ET PROPOSITION D'UN MODÈLE DE GENÈSE DU GISEMENT	38
4.1. ALTÉRATION LATÉRITIQUE LORS DE LA PHASE D'EMERSION ÉO-CRÉTACÉE, FORMATION ET PIÈGEAGE DU MINÉRAI "GÉODIQUE"	38
4.2. LA TRANSGRESSION CRÉTACÉE ET LA FORMATION DU MINÉRAI "OOLITHIQUE"	39
4.3. ÉVOLUTION DES GISEMENTS APRÈS LEUR MISE EN PLACE	41
5. RELATIONS POSSIBLES ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES DES GISEMENTS ET LEUR EXPLOITATION HISTORIQUE	42
6. CONCLUSIONS.....	43

liste des illustrations

FIGURE 1 – CARTE GÉOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE DE LA RÉGION DE POISSONS	12
FIGURE 2 – MODÈLE DE GENÈSE DES GISEMENT DE FER D'ORIGINE LATÉRITIQUE (RÉGION DE POISSONS)	40
PHOTO 1 – ASPECT LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES BANCS DE CALCAIRE PORTLANDIEN, SITE DE MÉLAIRE	13
PHOTO 2 – ASPECT LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES BANCS DE CALCAIRE PORTLANDIEN, SITE DU LAÏÇON	14
PHOTO 3 – FOSSILES D'OSTREA SUB-EN PLACE, SITE DU LAÏÇON	14
PHOTO 4 – MINÉRAI DE FER EN PLACE	15
PHOTO 5 – REMPLISSAGE KARSTIQUE EN PLACE, SITE DES HAUTES MINIÈRES	16
PHOTO 6 – AVEN AVEC Puits VERTICAL, SITE DU LAÏÇON	19
PHOTO 7 – DÉPRESSION ALLONGÉE À FOND ASSEZ PLAT, DE TYPE POLJÉ, SITE DU BOIS DE MÉLAIRE	19
PHOTO 8 – FENTE VERTICALE ÉTROITE, SITE DU LAÏÇON	19
PHOTO 9 – Puits VERTICAL À SURFACE CANELLÉE, SITE DU LAÏÇON	20
PHOTO 10 – DÉPRESSION DE TYPE DOLINE, SITE DES HAUTES MINIÈRES	21
PHOTO 11 – POCHÉ KARSTIQUE À REMPLISSAGE ARGILEUX, SITE DES HAUTES MINIÈRES	21
PHOTO 12 – PÉTROGRAPHIE ÉCHANTILLON HM 1	24
PHOTO 13 – HM1 - CONTRÔLE MORPHOSCOPIQUE DES GRAINS DE QUARTZ AU MEB	25
PHOTO 14 - HM 1 : REMPLISSAGE FERRUGINEUX CIMENTANT LES GRAINS DE QUARTZ.	25
PHOTO 15 – PÉTROGRAPHIE ÉCHANTILLON HM 2	26
PHOTO 16 – PÉTROGRAPHIE ÉCHANTILLON HM 3	27
PHOTO 17 – PÉTROGRAPHIE ÉCHANTILLON HM 4	27
PHOTO 18 - HM4 : RELIQUE DE STRUCTURE OOLITHIQUE VISIBLE DANS UNE PLAGE À $Fe \gg O, \varepsilon, Si, Al, P$	28
PHOTO 19 - HM4 : RELIQUES D'ARGILANES FERRUGINISÉS À TEXTURE MICROGRENUE	29
PHOTO 20 – PÉTROGRAPHIE ÉCHANTILLON POI 6	31
PHOTO 21 - ÉCHANTILLON POI 6 : IMAGE D'UNE STRUCTURE PISOLITIQUE.	32
PHOTO 22 - ÉCHANTILLON POI 6 : VARIABILITÉ DE LA STRUCTURE (LAMELLAIRE FRACTURÉE D'UN CÔTÉ, AURÉOLÉE DE L'AUTRE).	33
PHOTO 23 – PÉTROGRAPHIE ÉCHANTILLON POI 6	33
PHOTO 24 – PÉTROGRAPHIE ÉCHANTILLON POI 10	34
PHOTO 25 – PÉTROGRAPHIE ÉCHANTILLON BOCARD DE MONTREUIL	35

1. Introduction

Dans le cadre de la convention cadre d'appui scientifique et technique du BRGM auprès de la Sous-Direction de l'Archéologie pour "la connaissance du sous-sol et les études d'archéologie", signée le 31 décembre 1999, le BRGM a réalisé en 2001 un inventaire des minières de fer de Haute-Marne (Thibaut, 2001).

Ce travail a été effectué à partir de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) du BRGM, de l'examen des cartes géologiques et de la bibliographie existante. Il a permis d'identifier au total 90 sites, géoréférencés et cartographiés sur le fond des cartes géologiques à 1/50 000 du département. Parmi ces sites, une vingtaine d'entre eux, situés entre la vallée de la Blaise et l'Est de Joinville, dont neuf aux environs de Poissons et de Montreuil-sur-Thonnance, sont décrits comme contenant un minerai de type "géodique", et reposent dans les dépressions et poches karstiques des calcaires du Jurassique supérieur (Portlandien).

Les résultats de cette première collaboration avec l'équipe CNRS du PCR "Mines et minerais de fer de Haute-Marne" (responsable du projet : Denis Morin) sont présentés dans un mémoire de synthèse en 2002. Dans cet ouvrage, un projet d'étude du site de Poissons en 2003 est proposé par D. Jacquemot (Equipe Pluridisciplinaire d'Etudes et de Recherche sur les Mines Anciennes et le Patrimoine Industriel ERMINA).

La convention d'application 2003 ayant été signée le 26 janvier 2004, l'intervention du BRGM sur le site de Poissons n'a pu se réaliser en 2003, et s'est donc limitée à participer à la réunion de lancement du projet (mars 2003), puis à une reconnaissance géologique de terrain informelle de deux jours en compagnie des participants du PCR (juin 2003), enfin à la réunion de présentation des résultats 2003 et des perspectives 2004 à Poissons (décembre 2003).

Dans la présente étude, les résultats des travaux de reconnaissance de terrain et des analyses d'échantillons réalisés en 2004 sont synthétisés, en intégrant les informations déjà recueillies en 2003.

2. Géologie et géomorphologie des sites de Poissons et de Montreuil-sur-Thonnance

La surface réellement concernée par l'emprise des extractions anciennes du secteur de Mélaire – Le Laiçon au Nord de Poissons couvre un maximum de 2 km² environ, celle du secteur des Hautes Minières au Nord-Ouest de Montreuil-sur-Thonnance, de l'ordre de 1 km² environ.

2.1. BREF HISTORIQUE DES CONNAISSANCES GÉOLOGIQUES

Les gisements de fer de la région de Poissons et leur singularité ont attiré depuis longtemps l'attention des naturalistes et des géologues, qui ont fait des observations, de plus en plus interprétatives, répertoriées depuis la fin du 18^e siècle. Parmi ceux-ci on peut citer entre autre :

- Grignon (1761), qui évoque déjà des "minières épuisées creusées jusqu'à 150 pieds, fouillées dans des fentes longitudinales, quarrées, irrégulières ou circulaires, composées de pierres calcaires",
- Cornuel (1856), qui indique que "le minerai rempli des fentes, des boyaux ou puits, des entonnoirs ou autres cavités qui existent dans la masse du calcaire portlandien, et dont plusieurs pénètrent jusqu'à l'argile kimméridgienne",
- Tombeck (1875), qui décrit des "puits dont le diamètre ne dépasse pas 1,5 à 2 m, qui s'évasent d'ordinaire à la partie supérieure en forme d'entonnoirs, et dont la profondeur va parfois jusqu'à 150 et même 200 m (!). Ils sont "tantôt vides, tantôt remplis en grande partie de limon diluvien, et principalement, comme ceux de Poissons, de minerai erratique",

De même à partir du début du 19^e siècle, la réglementation de ces exploitations et leur suivi technique ont donné lieu à des informations intéressantes (mais pas toujours exactes). Ainsi Roussel Galle (1824), ingénieur des mines, indique que le minerai de Montreuil-sur-Thonnance et de Poissons "gît en amas à la partie supérieure des coteaux, dans les dépressions du calcaire jurassique, en couches horizontales" (sic).

Le contexte particulier de ces gisements (puits, verticalité, étroitesse..) a donc mené rapidement les observateurs à considérer qu'il s'agissait d'un remplissage de cavités (pré-existantes pour beaucoup d'entre eux) par du minerai, mais le phénomène de karstification n'est pas encore bien appréhendé, ainsi que l'origine du (ou des) minerai et la chronologie des phases de remplissage.

C'est ainsi que les interprétations suivantes ont été proposées :

- Pour Salzard (1878), les "minerais de fer portlandiens sont oolithiques et géodiques", et seraient un mélange de deux minerais majeurs du Crétacé sus-jacent,

- Pour Cornuel (1879), "les eaux diluviennes ont déposé en désordre dans les excavations ce qu'elles avaient entraîné" et "quand ses canaux d'écoulement furent à peu près obstrués par l'entassement du minerai, le comblement s'acheva par une partie centrale, en cône allongé, rouge plus terreuse et à minerai plus menu que le reste", ce minerai provenant du démantèlement des couches crétacées situées à proximité,
- Dans la carte géologique à 1/80 000, feuille Wassy, Abrard et Corroy (1930) considèrent qu'il s'agit "de Valanginien remanié",
- Pour Schtépinsky (1962), qui établit les levés de la carte géologique à 1/50 000 de Joinville, le remplissage est d'âge quaternaire récent (Pléistocène), d'après les fossiles de vertébrés (*Bos primigenius*, *Cervus elaphus*, *Elephas primigenius*) qui y ont été trouvés pendant l'exploitation récente, même si le minerai géodique provient du Valanginien des couches crétacées situées à proximité, et qu'il a été déposé après le fonte des glaces post-wurmiennes. Il semble qu'il existe dans cette cartographie une confusion entre les minerais "valanginiens" en place et ceux qui auraient été remaniés au Quaternaire.

Ces diverses propositions, pour intéressantes qu'elles soient compte tenu des connaissances scientifiques aux époques où elles ont été formulées, apparaissent assez fragmentaires, et ne donnent pas une vision claire et complète de l'origine des gisements de fer de la région de Poissons, ce qui est d'ailleurs relevé par Jaillet (2000), dans son travail de thèse de géographie sur la structure du karst du Barrois.

En ce qui concerne, notamment, une origine quaternaire pour ces gisements, aucune indication précise n'explique la position des fossiles de vertébrés dans les gisements des minières, qui devaient très probablement se trouver dans les dépôts superficiels sommitaux des puits et des dépressions karstiques, où ils avaient pu être piégés ou amenés par les ruissellements. Le fait que ce soit les mineurs eux mêmes qui aient trouvé et vendu ces pièces accentue le doute sur leur origine et leur position exacte.

2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ACTUEL

Les sites des minières de Poissons (Mélaire – Le Laiçon) et de Montreuil (Hautes Minières) sont entièrement et exclusivement intégrés dans la série des calcaires jurassiques d'âge portlandien (ou tithonien d'après l'échelle stratigraphique la plus récente). Cette situation n'est pas due au hasard, mais résulte de l'histoire géologique de ces sites, comme elle sera décrite plus loin.

Lors des journées d'études pluridisciplinaires de juin 2003 sur le site de Poissons, il a été possible de mener une reconnaissance géologique globale des minières situées dans les secteurs du bois de Mélaire et du Laiçon, qui constituent les deux plus importants centres d'extraction de minerai. Cette étude a été approfondie en juin 2004, puis étendue au site des Hautes-Minières plus au Nord.

2.2.1. Données de la carte géologique à 1/50 000

La carte géologique de Joinville (Schtépinsky, 1962) indique que, pour les sites de Poissons – Mélaire et des Hautes Minières reposent, sur un substratum de calcaires à passées marneuses du Portlandien inférieur (d'une épaisseur de l'ordre de 100 m) :

- soit des "grès et sables grossiers, plus ou moins ferrugineux avec du minerai de fer géodique" du Crétacé (Valanginien),
- soit des dépôts quaternaires composés "d'argiles sableuses ferrugineuses rougeâtres à morceaux de fer géodique", remaniés au Pleistocène à partir des formations du Valanginien, et donc liés à "la fonte des neiges et des glaces" post-würmiennes.

Sur cette carte, la région est recoupée par plusieurs grandes failles, dont l'une, totalement rectiligne et orientée SE-NW, traverse le site de Poissons, et individualise, de façon schématique, un panneau SW surélevé où les dépôts valanginiens ont été érodés, et un panneau NE abaissé, qui conserverait ces dépôts.

2.2.2. Interprétation géologique actualisée

Les résultats obtenus à l'issue des travaux de terrain menés sur les deux sites, ainsi que ceux provenant des analyses des échantillons de minerai, ne valident pas entièrement les données de la carte géologique à 1/50 000. En effet, si le contexte d'ensemble des plateaux calcaires du Jurassique est correctement décrit, les formations crétacées des "sables valanginiens" n'a pas été reconnues sur le site de Mélaire – Le Laiçon, et l'attribution des minerais de fer à des formations quaternaires semble tout à fait erronée. Par ailleurs, la structure de la zone est plus complexe que la représentation de la carte géologique ne l'indique, notamment au niveau de la faille qui traverse le site de Poissons et individualise le panneau de Mélaire de celui du Laiçon.

A partir des observations de terrain, de la bibliographie récente et des données analytiques, il est donc proposé une interprétation actualisée du contexte gîtologique des gisements de fer de Poissons et de Montreuil-sur-Thonnance, de leur évolution et de l'origine des minerais.

La représentation du cadre géologique d'après les levés de terrain est reportée sur le fond topographique IGN à 1/25 000 agrandi à 1/12 500 environ, correspondant à la partie représentative des gisements étudiés et de leurs environs (fig. 1). Sur cette carte figurent la plupart des puits et des cavités reconnus, dont certaines ont fait l'objet de relevés topographiques par l'équipe de prospection archéologique du PCR-CNRS (responsable D. Jacquemot), la toponymie adoptée étant reprise ici (i.e. dans le secteur du Laiçon : puits Daphnée, puits de l'Echelle).

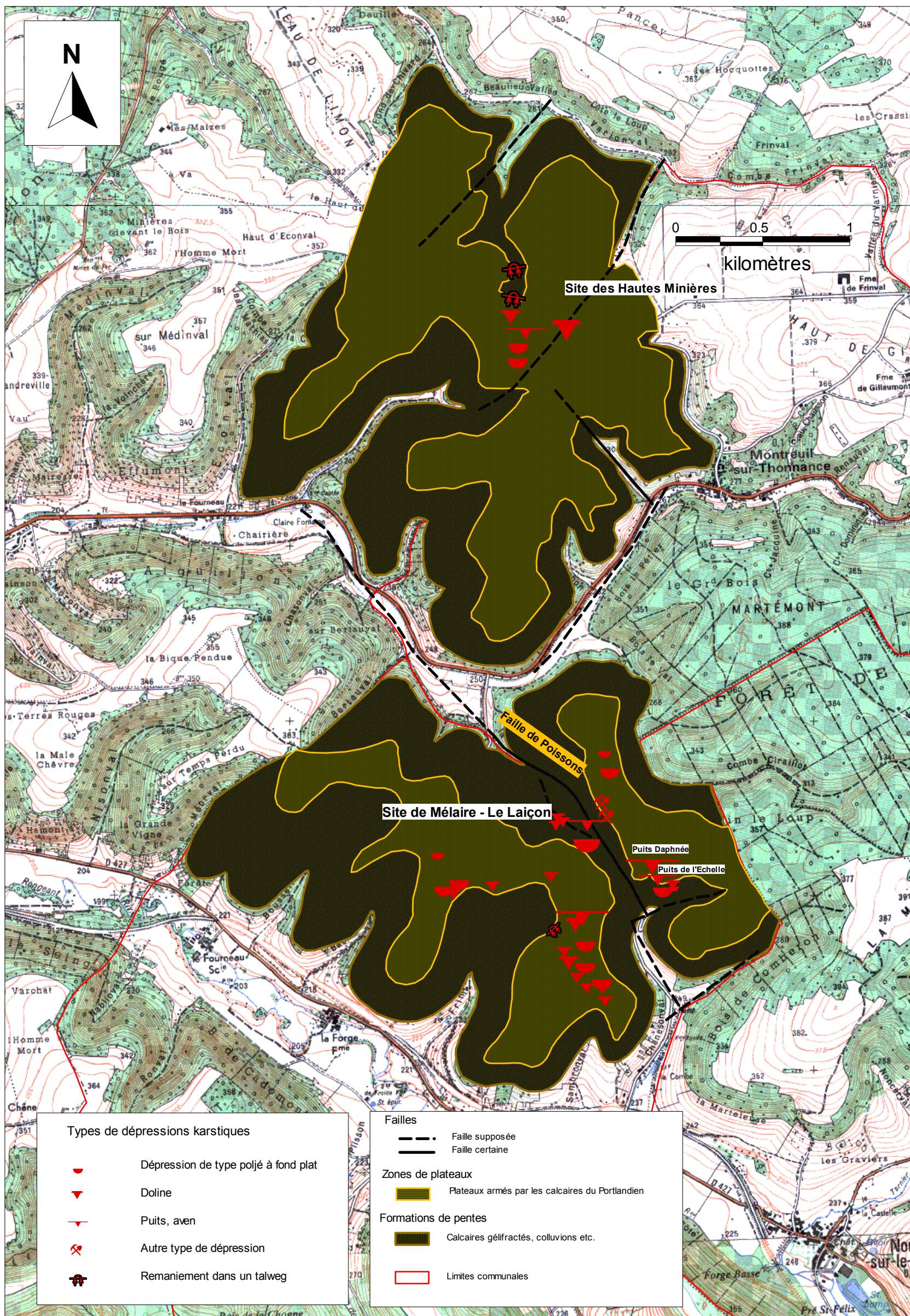


Figure 1 – Carte géologique et géomorphologique de la région de Poissons

2.2.2.1. Lithologie et lithostratigraphie

La lithologie et la stratigraphie des formations du Jurassique sont bien connues sur l'ensemble du secteur, d'après la notice de la carte géologique (feuille Joinville, Schtépinsky 1962). Ces données peuvent être validées, tandis qu'une nouvelle interprétation concernant les terrains de la couverture post-jurassique est proposée.

Site de Mélaire – Le Laiçon

Les poches karstiques du site de Mélaire ayant piégé le minerai de fer sont entièrement creusées dans la moitié supérieure de la formation des calcaires du Portlandien inférieur (zone à *Cyprina brongniarti* et zone à *Gravesia*). Ce sont des calcaires à texture fine, sublithographiques, parfois légèrement oolithiques, relativement durs, parfois en bancs assez massifs, mais qui se débitent facilement en plaquettes et en petits blocs de quelques centimètres à quelques décimètres (site de Mélaire, photos 1-1 et 1-2, site du Laiçon, photo 2).



Photo 1-1



Photo 1-2

Photo 1 – Aspect lithostratigraphique des bancs de calcaire portlandien, site de Mélaire



Photo 2 – Aspect lithostratigraphique des bancs de calcaire portlandien, site du Laiçon

Une faune caractéristique est décrite dans la notice de la carte géologique. Toutefois, les fossiles ne sont pas fréquents, et ce n'est que localement que l'on a pu observer quelques *ostrea* sur une surface durcie (niveau de discontinuité stratigraphique), mais l'échantillon n'était pas en place (photo 3).



Photo 3 – Fossiles d'Ostrea sub-en place, site du Laiçon

L'épaisseur totale de ces formations calcaires est de l'ordre de 100 m, peut-être un peu moins ici, du fait de l'érosion qui a pu tronquer le sommet de la série.

Par contre, la présence des "sables valanginiens" du Crétacé, qui étaient censés apparaître en placages relativement épais et continus, n'a pas été vérifiée sur les secteurs du Laiçon et de La Montagne, 1 km plus au Sud-Est, où les calcaires jurassiques affleurent directement. Ce fait est confirmé par Jaillet (2000) dans sa thèse

sur les karsts du Barrois, qui n'a pas observé de Valanginien en place dans le secteur du Laiçon.

Il pourrait éventuellement subsister, localement, des nappages résiduels de ces sables, mais on ne peut pas considérer qu'ils représentent dans ces secteurs un ensemble cartographiable. Salzard (1878) signale des débris de calcaire à *Spatangues* (Valanginien), mais nous ne les avons pas identifiés non plus.

Les remplissages d'origine des poches karstiques ayant été entièrement exploités, leur composition lithologique exacte n'est pas connue. Tout au plus, une argile rouge a pu être prélevée in situ dans le puits Daphnée sur le secteur du Laiçon, mais il est difficile de savoir si il s'agit d'une argile de décalcification, ou d'une argile résiduelle provenant du profil latéritique démantelé avec sa cuirasse.

Les références de la bibliographie donnent des informations partielles sur la nature de ce remplissage : Tombeck (1875) cite un "limon diluvien" (!), tandis que Salzard (1878) voit du "minerai de fer géodique concassé" n'ayant pas besoin d'être lavé, et donc sans matrice argileuse, et que Cornuel (1879) mentionne dans les conduits karstiques une "partie centrale en cône allongé, rouge plus terreuse et à minerai plus menu". Il est probable que le remplissage d'origine était très hétérogène, avec une proportion variable d'argiles et de sables résiduels, provenant soit d'un profil latéritique développé sur les sables et argiles du Valanginien, soit éventuellement des formations post-valanginiennes démantelées (le "limon diluvien de Tombeck"). Il est également possible que, localement, ce remplissage lessivé laisse en place des concentrations de débris de cuirasse ferrugineuse relativement propres.

Dans un puits de Mélaire (échantillon POI 6) et dans un du Laiçon, on peut observer en place des débris de cuirasse plaqués contre la paroi de la cavité (photo 4).



Photo 4 – Minerai de fer en place

- site de Mélaire (échantillon POI 6)

- site du Laiçon

Le site des Hautes Minières se trouve dans le même contexte lithostratigraphique que celui de Mélaire, à savoir le sommet des calcaires du Portlandien inférieur (zone à *Cyprina brongniarti* et zone à *Gravesia*).

Cependant, situé à une altitude d'environ 365 m, la série calcaire semble ici plus complète qu'à Mélaire (épaisseur supérieure à 100 m), car les marnes kimméridgiennes sous-jacentes seraient à une altitude de 250 m environ, contre 300 m à Mélaire.

Mais là aussi, la précision de la carte géologique n'est pas très fiable, car toutes les pentes sont recouvertes de dépôts de pente et de colluvions, et le contact entre les marnes et les calcaires n'est pas visible directement.

Dans une tranchée actuelle des Hautes Minières, creusée par un agriculteur, on observe à petite échelle, sous la surface, un remplissage karstique argileux rouge contenant des débris de cuirasse ferrugineuse (photo 5), pouvant donner une idée de ce qu'était le remplissage des cavités de grandes dimensions, dans lesquelles cependant, les formations devaient être plus évoluées et donc relativement indurées.



Photo 5 – Remplissage karstique en place, site des Hautes Minières

2.2.2.2. Géologie structurale

La structure de la région de Poissons semble conditionnée par les deux grandes familles de failles orientées perpendiculairement à plus ou moins 10° : failles N140° E qui sont empruntées par les principales vallées, dont celle de la Marne et du Rongean, et failles N50° E. Ces failles délimitent de nombreux panneaux tectoniques expliquant la morphologie très compartimentée de la région.

Site de Mélaire

Le site de Mélaire est traversé par une faille ("faille de Poissons"), d'amplitude probablement régionale, qui délimite deux compartiments correspondant aux secteurs du Laiçon au Nord-Est et au secteur Calais - Bois de Mélaire au Sud-Ouest.

La grande faille rectiligne indiquée par la carte géologique n'est pas explicitement marquée à l'emplacement reporté sur le terrain. D'après nos observations, il s'agit d'un accident de forme plus sinueuse, recoupé par des failles transverses, passant du Sud au Nord par le "col de Mélaire", puis empruntant la vallée de la Male Combe pour rejoindre la large vallée située en contrebas.

Au Sud du col, il semble que cette faille soit décalée vers le Sud-Ouest, au niveau des premiers lacets de Mélaire, par un accident orienté N80° Est, qui traverse alors le secteur du Laiçon. Ce trait structural important se traduit par les faits suivants :

- Un nouveau tracé de failles est proposé sur la carte géologique et géomorphologique révisée (fig. 1), mais son emplacement exact est masqué par les formations de pentes (formations périglaciaires de versant gélifractées et colluvions) qui empâtent les reliefs,
- D'après les altitudes indiquées par la carte topographique, les terrains d'âge équivalent situés au SW de cet accident sont plus élevés (380 à 390 m) que ceux situés au NE (350 à 360 m), ce qui confirme le sens et l'amplitude du rejet vertical de la faille, soit une trentaine de mètres,
- Le fonctionnement de cette "faille de Poissons" est largement postérieure aux phases d'altération latéritique qui ont affecté la surface des calcaires avec leurs placages crétacés, et au piégeage des débris de cuirasse ferrugineuse dans les dépressions karstiques. Compte tenu du dénivelé de 30 m, encore net entre les deux compartiments, son rejeu semble donc plus récent, probablement en liaison avec la tectonique alpine, et même la néo-tectonique quaternaire,
- Cependant, il semble qu'il y ait un contrôle tectonique dans la mise en place ou le fonctionnement de certaines cavités, comme cela semble être le cas au niveau des excavations de la partie sud du secteur du Laiçon. Les cavités, à partir du puits de l'Echelle, sont en effet alignées selon une direction N 140° Est, parallèle à la faille de Poissons, de même que les dolines de la partie sud du site de Mélaire. Ce contrôle pourrait avoir agité de façon relativement récente (au cours du Tertiaire - Quaternaire ?).

Site des Hautes Minières

Le site des Hautes Minières semble se placer en dehors des tracés de faille d'ordre régional, bien que certaines combes situées au Sud et au Nord du site paraissent suivre des orientations de failles (au Sud, Combe aux Noyers, parallèle à la faille de Poissons, et au Nord Combe du Gros Fourneau et Combe Chivard). Il est possible que la faille qui semble se trouver au niveau de la combe du Gros Fourneau affecte la partie sud du site d'exploitation. Sur place, on n'observe pas de fracturation nette, mais quelques diaclases, masquées par le délitage et l'altération superficielle des calcaires.

Ce site n'est donc pas affecté directement par une tectonique cassante, et on ne note pas de contrôle dans la répartition des poches de minerai, même si un remaniement de ce minerai semble avoir rempli le talweg N-S se raccordant à la Combe Chivard, situé dans la partie nord du site.

2.3. GÉOMORPHOLOGIE ET TRAITS HYDROGÉOLOGIQUES ACTUELS

2.3.1. Géomorphologie des sites

la géomorphologie actuelle des sites de Mélaire – Le Laiçon et des Hautes Minières est marquée par une position de plateaux armés par les calcaires jurassiques, entaillés par des vallées encaissées. Notons que le contexte paléogéographique de la période d'émersion des sites, qui a vu se former puis se concentrer le minerai de fer, était de type supra-littoral, *et donc que la géomorphologie des sites d'origine devait cependant être totalement différente de ce que l'on observe actuellement.*

On observe maintenant les traits géomorphologiques particuliers suivants :

- une répartition relativement plane des poches karstiques au niveau des grands ensembles que constituent les secteurs de Mélaire, du Laiçon et des Hautes Minières,
- une grande variété dans la typologie des excavations : puits correspondant à de petits avens ? (photo 6), poljés (photo 7), fentes étroites liées à la fracturation (photo 8), avec présence localement de dépressions d'aspect dolines, situées préférentiellement sur le rebord ouest du secteur de Mélaire,
- un remaniement local de minerai dans des talwegs, l'un de dimension réduite sur le rebord ouest du plateau de Mélaire, l'autre atteignant 500 m de long, sur le flanc nord du site des Hautes Minières, talwegs qui pourraient correspondre à des vallées sèches, dans lesquelles le minerai a pu être entraîné et reconcentré par le ruissellement et les fontes de glace au Quaternaire,
- une position topographique anormale des poches de minerai sur le flanc nord du secteur de Mélaire, abaissée à une altitude de 330-335 m.



Photo 6 – Aven avec puits vertical, site du Laiçon



Photo 7 – Dépression allongée à fond assez plat, de type poljé, site du Bois de Mélaire



Photo 8 – Fente verticale étroite, site du Laiçon

Ces caractéristiques géomorphologiques sont à mettre, du moins en partie, en relation avec les structures tectoniques locales :

- différence d'altitude entre les secteurs de Mélaire (panneau surélevé à 390 m) et du Laiçon (panneau abaissé à 360 m environ) due à la faille de Mélaire, dont le rejet est de l'ordre de 30 m,
- flexure du panneau de Mélaire en bordure de la faille, ou petit compartiment abaissé entre la faille principale et une faille annexe, expliquant la position des poches de minerai sur le flanc nord du secteur de Mélaire,
- alignement des dolines et des cavités selon un axe NW-SE, pouvant être lié à l'orientation et la direction de la faille de Mélaire.

En ce qui concerne les excavations visibles depuis la surface, celles-ci se répartissent de façon relativement aléatoire, bien qu'en grande densité dans les zones centrales, sur les sites de Mélaire, du Laiçon et des Hautes Minières.

La surface des formations calcaires jurassiques apparaît donc comme très karstifiée, avec des cavités de types variés, et de dimensions pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres de long et plusieurs dizaines de mètres de profondeur : puits, fentes et conduits verticaux à ramifications plus ou moins horizontales, qui ont été mis à jour par l'exploitation minière. Certaines de ces cavités ont fait l'objet de relevés détaillés par l'équipe de prospection et d'exploration souterraine (D. Jacquemot).

Les parois de ces excavations, poches et puits etc. sont souvent altérées, déstructurées et donc difficiles à observer. Cette altération pourrait être ancienne, contemporaine du remplissage par les matériaux latéritiques, puis elle s'est généralisée et a conduit à une destruction des parois après le défilage du minerai et l'exposition aux conditions atmosphériques, avec formation d'éboulis mal stabilisés en pied de paroi. Localement, dans le secteur du Laiçon on peut cependant voir des surfaces cannelées et des stries verticales très nettes et intactes, qui montrent bien la nature typiquement karstique de ces puits et cavités (photo 9).



Photo 9 – Puits vertical à surface cannelée, site du Laiçon

Sur le site des Hautes Minières, les excavations sont également de types variés, avec plutôt une prédominance des poljés formant des structures allongées, mais il y a aussi des puits verticaux très nets, et des structures évoquant des dolines, mais dont les flancs ont peut-être flué pour avoir une forme aussi nette (photo 10). L'intérêt du site est de montrer dans une tranchée actuelle creusée à la pelle par un agriculteur un remplissage de karst par un matériau argileux rouge contenant des débris de cuirasse abondant, et qui pourrait être assez représentatif, quoique de petite dimension, de ce qu'étaient les poches avant leur exploitation (photos 11).



Photo 10 – Dépression de type doline, site des Hautes Minières



Photo 11 – Poche karstique à remplissage argileux, site des Hautes Minières

2.3.2. Aspects hydrogéologiques et fonctionnement du karst

Dans le contexte local de la formation carbonatée du Jurassique avec sa surface karstifiée et des éventuels placages ferrugineux résiduels du Crétacé, l'incision de la Marne et de la Saulx a pu accentuer les phénomènes de karstification, car il y a eu alors ouverture d'une "fenêtre hydrogéologique" dans l'aquifère captif des calcaires jurassiques (Jaillet 2000).

Cependant nous considérons que la karstification a commencé de façon très précoce, dès l'émersion crétacée, même si elle s'est poursuivie et accentuée ultérieurement.

Actuellement, le drainage général des sites se fait par les talwegs périphériques qui les entourent, ou par infiltrations karstiques dans les calcaires de plateau et dans les formations de pente. La karstification du substratum calcaire peut se poursuivre, mais elle est très modifiée par le fait que les cavités ont été évidées de leur contenu argilo-ferrugineux.

3. Caractérisation des minerais

Au cours des campagnes de terrain, dix échantillons de minerais et de gangue argileuse, dont certains en place (exemple échantillon POI-6, voir photo 5, p. 15), d'autres en dehors de leur emplacement d'origine, ont été prélevés sur le site de Mélaire – le Laiçon, six échantillons considérés comme en place ou sub-en place sur le site des Hautes Minières, et un sur le bocard de Montreuil, où du minerai était lavé et concassé.

Huit échantillons ont été retenus pour caractérisation pétrographique et minéralogique, avec analyse chimique :

- 4 échantillons provenant des Hautes Minières,
- 3 échantillons du site de Mélaire – Le Laiçon,
- l'échantillon du bocard de Montreuil.

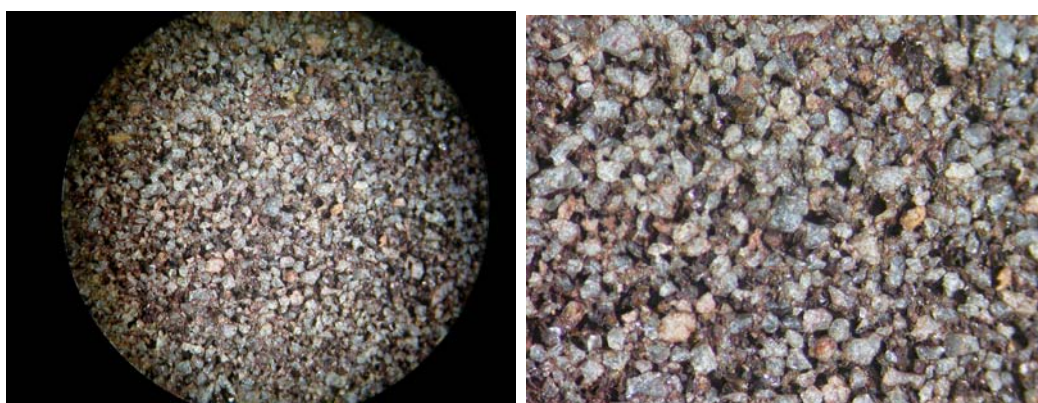
Les méthodes analytiques utilisées ont été les suivantes :

- étude optique descriptive de la nature et de la texture des différents minerais (déterminations P. Jézéquel),
- étude minéralogique au microscope avec contrôle au Microscope électronique à balayage (MEB) sur 3 échantillons (J. Breton, P. Jézéquel),
- analyse chimique par fluorescence X sur les 8 échantillons.

3.1. DESCRIPTION PÉTROGRAPHIQUE ET MINÉRALOGIQUE OPTIQUE, CONTRÔLE AU MICROSCOPE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE

HM 1 – *Echantillon sub-en place, prélèvement au niveau d'une excavation à l'Est des Hautes Minières*

Grès ferrugineux à quartz dominant en grains limpides et/ou laiteux, anguleux à arrondis, dans une matrice à oxyde de fer moulant les grains de quartz quasiment jointifs. La granulométrie du quartz varie de la centaine de microns au millimètre, mais présente un aspect relativement homogène. La surface externe de l'échantillon, de couleur ocre - brune, correspond à un enduit de surface à limonite – silicates (microphyllites visibles) et à un début d'altération de la matrice ferrugineuse qui donne la limonite de surface.



Grès à ciment ferrugineux : vue d'ensemble

Détail de la morphologie du quartz

Photo 12 – Pétrographie échantillon HM 1

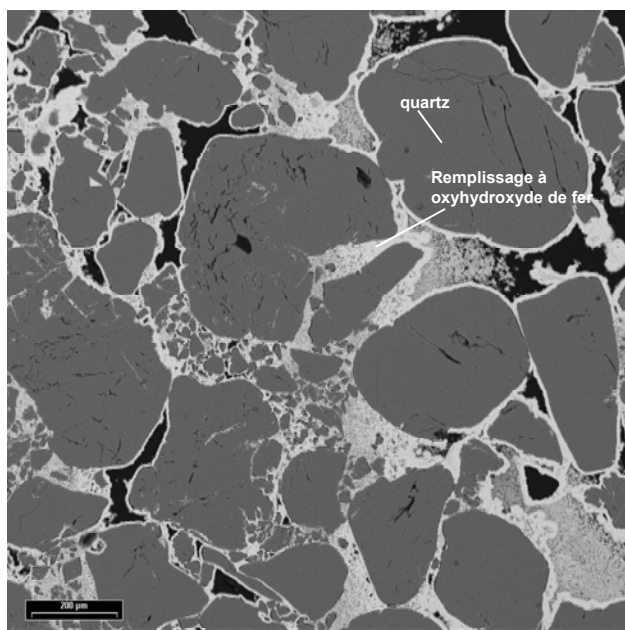


Image MEB n°1, électrons rétrodiffusés

Photo 13 – HM1 - Contrôle morphoscopique des grains de quartz au MEB

L'aspect général est homogène. Les indices d'émoussé observés sur les grains, l'homogénéité apparente de ces grains de quartz font penser à des sables cénomaniens recimentés par des apports ferrugineux. Ce sable serait d'origine marine plutôt que continentale (vestiges albo-cénomaniens probables). Les arrivées sableuses à quartz sont piégées en zone karstique et cimentées par une ferruginisation intense.

Présence dans le liant ferrugineux de grains à TiO_2 (rutile), ainsi que de grains à $\text{Ti} > \text{Fe}$ (ilménite ?).

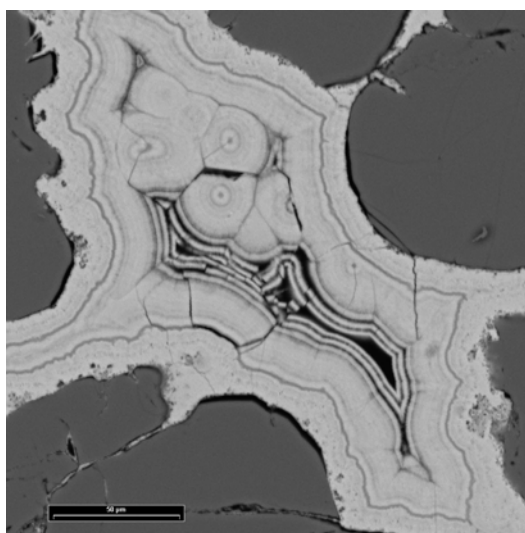
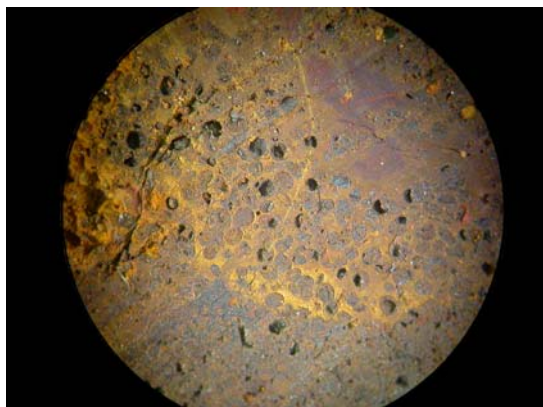


Image MEB n°2, électrons rétrodiffusés

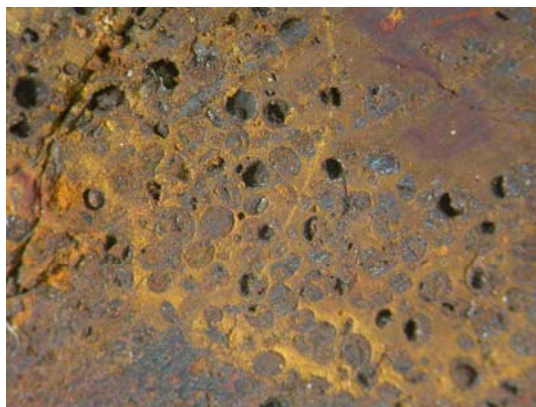
Photo 14 - HM 1 : remplissage ferrugineux cimentant les grains de quartz.

HM 2 – Echantillon en place, prélèvement dans une tranchée actuelle au Nord des Hautes Minières

Bloc massif allongé d'un diamètre supérieur à 10 cm, composé d'oxyhydroxyde de fer d'aspect scoriacé avec niveaux à hématite massive brun rouge centimétrique alternant avec des zones ocre sombre poreuses et friables : alternance d'hématite – goethite et limonite poreuse. La structure noduleuse ou oolithique est nettement visible sur coupe fraîche. Ces oolites ferrugineux sont creux mais parfois pleins et constitués de couches concentriques d'oxyde de fer. Ce faciès est comparable aux bauxites pisolithiques décrites dans le Sud de la France (Provence).



Vue d'ensemble du minéral

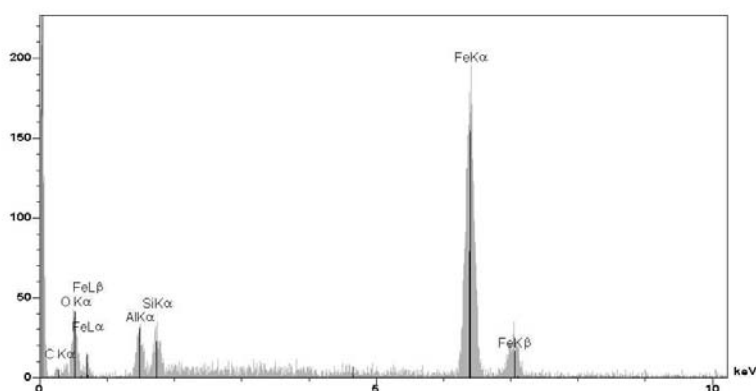


Détail de la texture oolithique altérée

Photo 15 – Pétrographie échantillon HM 2

Contrôle MEB Echantillon HM2

L1G1 : analyse globale : Fe >> O > Mn, Ti, Si, Al



Spectre EDS n°1, échantillon HM2 : analyse globale du grain.

HM 3 - Echantillon en place, prélèvement dans une tranchée actuelle au Nord des Hautes Minières

Bloc pluricentimétrique aux contours arrondis, de couleur ocre brune à surface grenue homogène. Il s'agit d'un minéral de fer à structure oolithique, composé de sphères de 100 à 500 µm d'oxyde de fer en couches concentriques (hématite - goethite). On y distingue des plages altérées, sortes de « golfes » ocres où domine la limonite. Quelques éclats anguleux de FeO inclus dans cette matrice limonitique témoignent d'une origine détritique de ce minéral secondaire.



vue d'ensemble du minéral avec partie limonitisée (jaune)

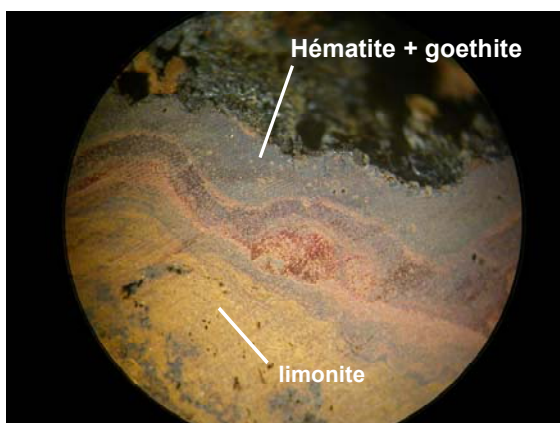


éclat anguleux (FeO) dans une plage oolithique limonitisée

Photo 16 – Pétrographie échantillon HM 3

HM 4 - Echantillon en place, prélèvement dans une tranchée actuelle au Nord des Hautes Minières

Bloc scoriacé de minéral de fer présentant des cavités géodiques tapissées de goéthite mamelonnée sombre, formant une couche d'épaisseur millimétrique à plurimillimétrique. Cette couche est suivie d'une série de niveaux où alternent limonite ocre, hématite rouge et à nouveau limonite plus épaisse et poreuse. Cette organisation en couches successives donne un aspect bariolé à cet échantillon particulièrement riche en cavités. La structure oolithique n'est pas visible sur cet échantillon.



vue générale du minéral



détail des niveaux ferrugineux

Photo 17 – Pétrographie échantillon HM 4

Contrôle MEB Echantillon HM4 L1G2 : Fe >> O ε Ti, Mn, Al, Si (spectre EDS n°1)

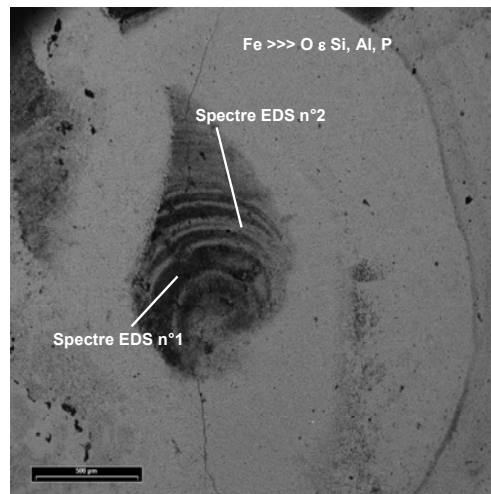
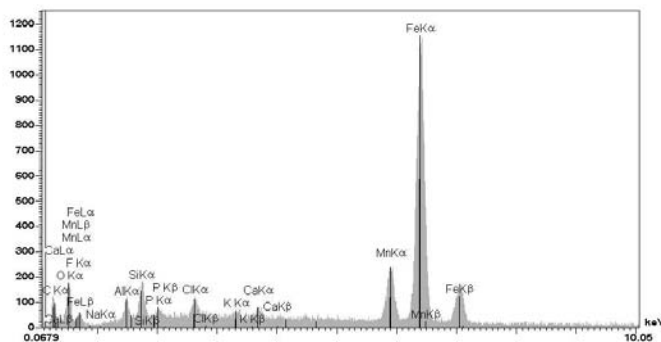


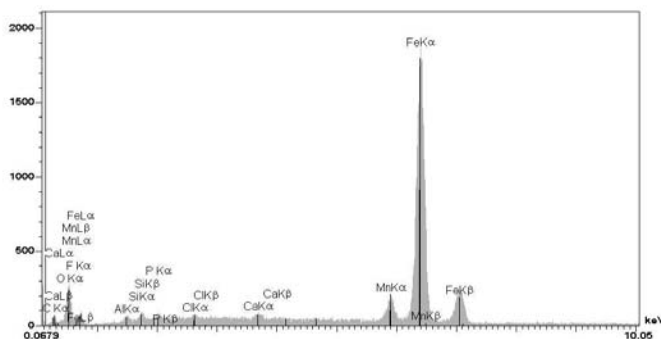
Image MEB n°3 . Electrons rétrodiffusés

Photo 18 - HM4 : relique de structure oolithique visible dans une plage à Fe>>> O, ε Si, Al, P.

Dans cet échantillon, on observe une alternance de bandes parallèles aux bords de cavités ouvertes qui donnent en électrons rétrodiffusés, pour les bandes claires : Fe, O avec traces de Si et Al et pour les bandes sombres, les mêmes éléments + P et Ca.



Spectre EDS n°2 . Echantillon HM4. Analyse globale des anneaux concentriques sombres.



Spectre EDS n°3 . Echantillon HM4. Analyse globale des anneaux concentriques clairs.

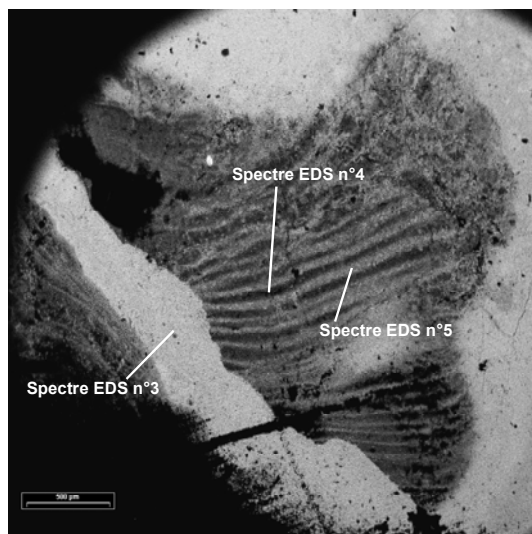
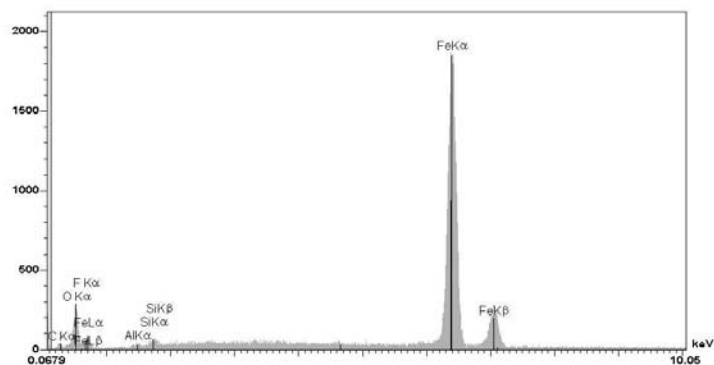
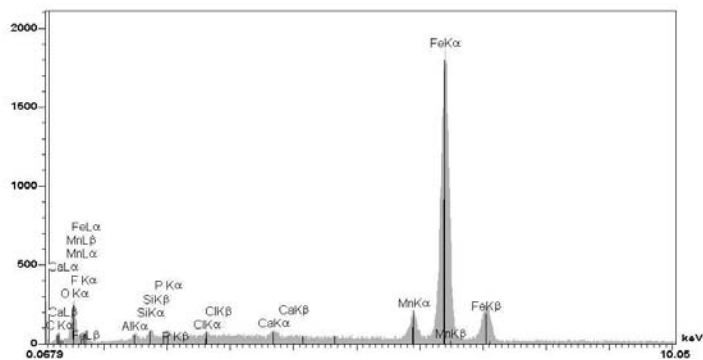


Image MEB n°4. Electrons rétrodiffusés

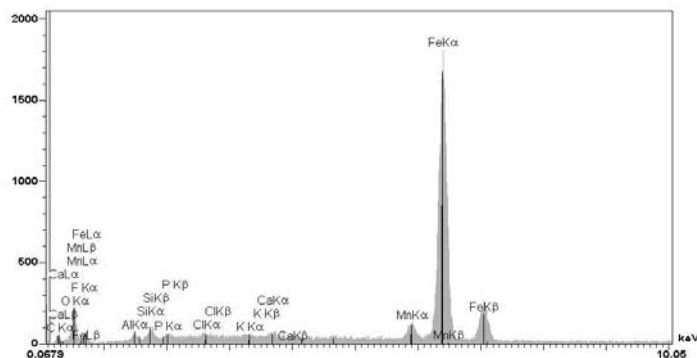
Photo 19 - HM4 : reliques d'argilanes ferruginisés à texture microgrenue



Spectre EDS n°4. Echantillon HM4. Analyse ponctuelle de la zone la plus riche en Fe



Spectre EDS n°5. Echantillon HM4. Analyse des bandes parallèles sombres.
(la présence de Cl est liée à l'induration de la lame en laboratoire).

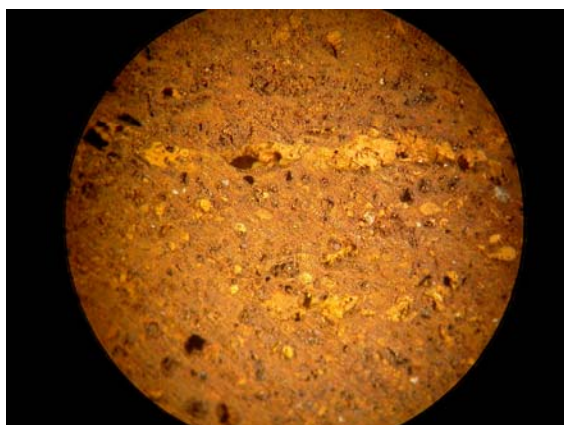


Spectre EDS n°5. Echantillon HM4. Analyse des bandes parallèles claires.
La quantité de Mn détecté paraît moins importante dans les bandes claires.

Il existe donc des similitudes de structures et de compositions entre cet échantillon et l'échantillon POI 6

POI 6 - Echantillon en place, prélèvement dans un puits du secteur du bois de Mélaire

Echantillon pluricentimétrique d'aspect scoriacé, microporeux, constitué de lits d'hématite massive alternant avec des plages à goethite - limonite dans lesquelles la structure oolithique est encore visible bien que fortement altérée, limonitisée. Les cavités arrondies ou sphériques restent encore visibles localement. L'extérieur de l'échantillon ainsi que les cavités internes sont tapissés de carbonates associés à la limonite (ocre clair). La présence de sidérite n'est pas exclue dans ce type d'échantillon.



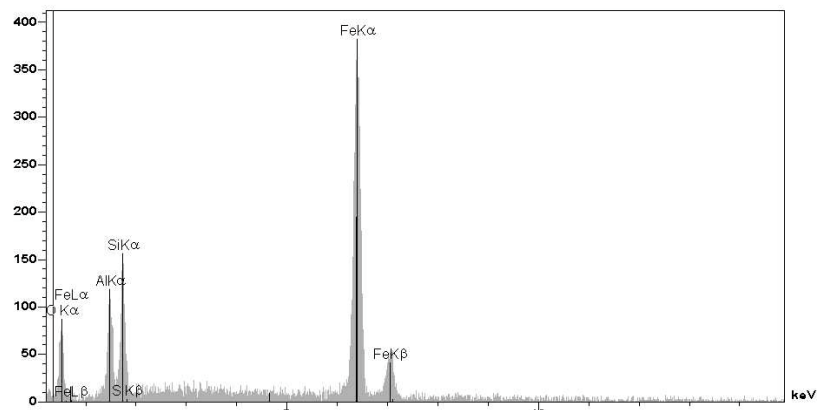
plage à goethite – limonite



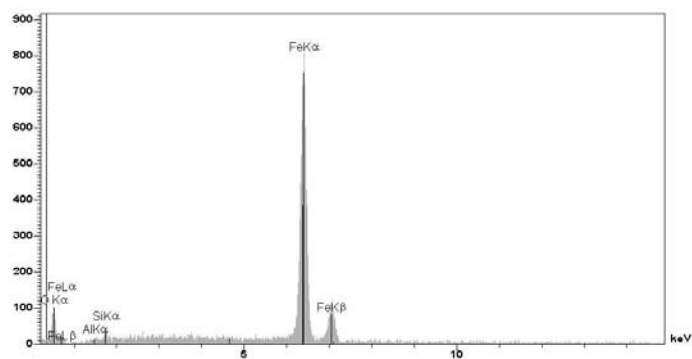
alternance d'hématite rouge et plage oolithique altérée

Photo 20 – Pétrographie échantillon POI 6

Analyse globale : Fe ε Si > Al. Alternance de zones sombres à Fe >> Si, Al (voir spectre EDS n°6) et de zones claires à Fe ε O (voir spectre EDS n°7). Présence de structures pisolitiques ferrugineuses (spectre EDS n°8, image MEB n°5).



Spectre EDS n°6, échantillon Poi 6 : analyse globale des zones sombres.



Spectre EDS n°7, échantillon Poi06 : analyse globale des zones claires.

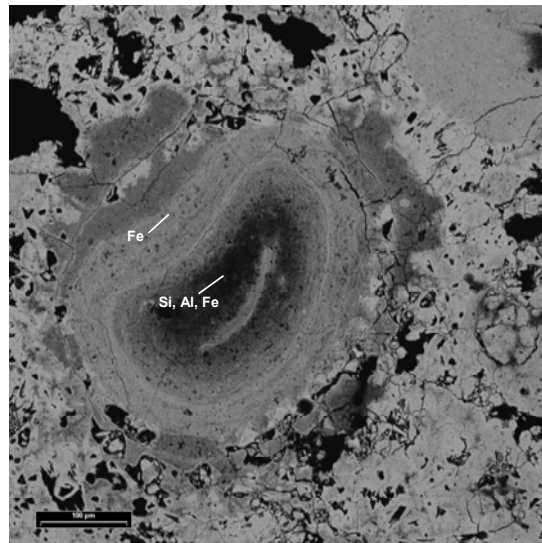
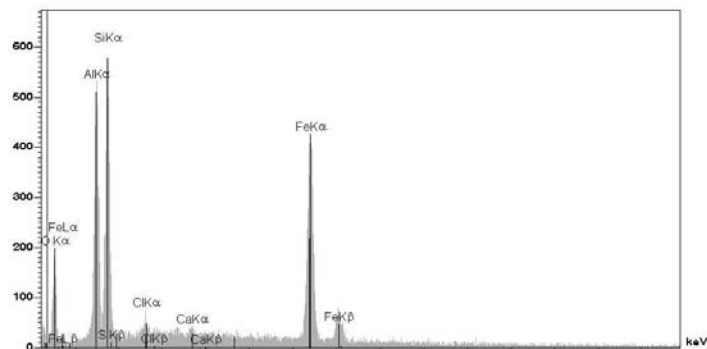


Image MEB n°5, électrons rétrodiffusés

Photo 21 - Echantillon POI 6 : image d'une structure pisolitique.

Al est toujours associé à Si et donc lié à la présence d'argile. Présence également de particules lamellaires à Mn >> K. On constate une grande variabilité de la structure comme le montre l'image n°4.



Spectre EDS n°8, échantillon POI 6 : analyse globale d'un pisolite.

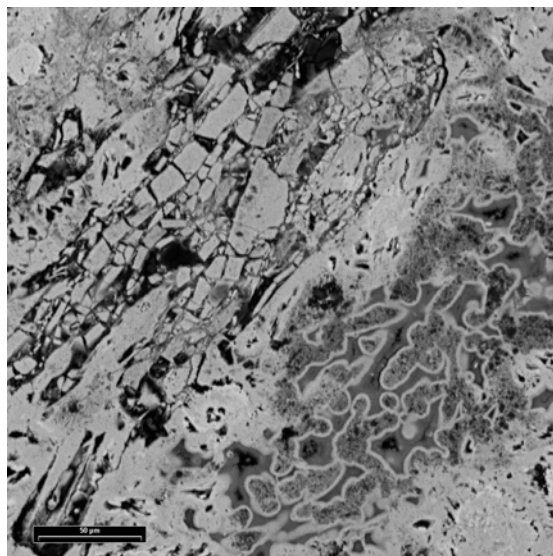


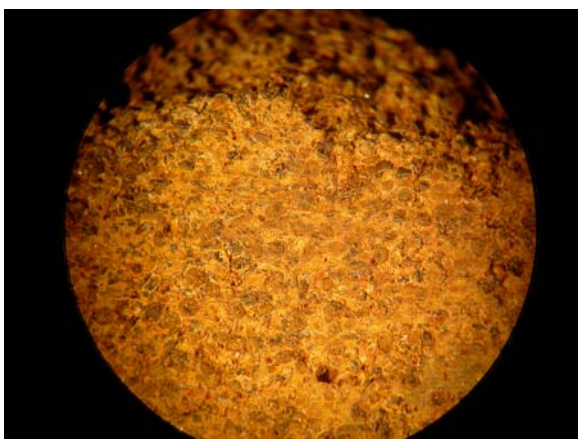
Image MEB n°6, électrons rétrodiffusés

Ph

Photo 22 - échantillon POI 6 : variabilité de la structure (lamellaire fracturée d'un côté, auréolée de l'autre).

POI 8 - Echantillon en place, prélèvement dans le puits Daphnée du secteur du Laiçon

Echantillon pluricentimétrique d'oxyhydroxyde de fer à texture oolithique avec lits plurimillimétriques de goethite massive mais dans laquelle on observe des formes sphériques, oolithiques, alternant avec des plages ocre - clair constituées d'oolites limonitisés jointifs à couches concentriques localement visibles et traces externes de carbonates.



vue d'ensemble du minerai



détail d'une plage altérée : structure pisolitique visible

Photo 23 – Pétrographie échantillon POI 6

POI 10 - Echantillon en place, prélèvement dans le puits de l'Echelle secteur du Laiçon

Echantillon prismatique d'épaisseur centimétrique et de 5 à 6 cm de longueur, constitué d'une partie centrale à structure oolithique (nodules ferrugineux massifs et jointifs en goethite probable) et de bordures externes ocre - clair en limonite associée à une couche continue de calcite en cristaux automorphes sur les faces externes.



vue d'ensemble avec niveau calcitique, limonitique et minéral massif



détail du niveau calcitique de surface

Photo 24 – Pétrographie échantillon POI 10

Echantillon Bocard Montreuil

Echantillon scoriacé ocre - brun, pluricentimétrique avec cavités internes et veines d'oxyde de fer massif encadrant des plages ferrugineuses à nodules pisolitiques de goethite massive et cristaux saccharoïdes de quartz laiteux disséminés dans la matrice ferrugineuse. Aspect général de brèche polygénique avec pisolites ferrugineux, quartz isogranulaire abondant disséminé dans tout l'échantillon, débris ligneux (anciens végétaux transformés) limonitisés et encroûtement externe à carbonates dominants, phyllites et limonite associée.



vue d'ensemble de l'échantillon



débris ligneux dans une gangue à fer oolithique et quartz détritique

Photo 25 – Pétrographie échantillon Bocard de Montreuil

Cet échantillon ne ressemble pas aux précédents et semble correspondre à une reprise d'une formation ferrugineuse à structure pisolitique originelle avec apport d'éléments détritiques tels que quartz et débris végétaux.

3.2. ANALYSE CHIMIQUE PAR FLUORESCENCE X

L'analyse chimique type « minéral de fer » a été réalisée sur les 8 échantillons pour les éléments suivants : Fe total, Al, Ca, K, Mg, Mn, Na, P, Si, Ti et perte au feu.

Les résultats d'ensemble sont reportés dans le tableau 1.

	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃ total	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	PF (Perte au feu à 1000°C)	SiO ₂
Limite	0.2	0.1	0.05	0.05	0.2	0.02	0.2	0.05	0.05	0.1	0.2
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
HM-01	1.1	0.1	31.3	< LQ	0.2	0.03	0.4	0.05	0.08	4.88	62.7
HM-02	5.6	0.3	72.5	0.1	0.3	0.18	0.4	1.29	0.1	14.7	4.5
HM-03	7	0.1	70.3	0.05	0.3	0.2	0.2	0.38	0.05	14.6	6.4
HM-04	4.7	0.3	70.2	0.24	0.3	1.31	0.8	0.98	0.13	15.8	4.8
POI-06	3.9	0.3	78.2	0.18	0.3	0.32	0.2	0.26	0.11	11.9	4.9
POI-08	9.4	0.3	63.6	0.17	0.7	0.15	0.3	0.62	0.09	15.6	9.7
POI-10	7.6	3.7	64	0.07	0.4	0.12	0.2	0.66	< 0.05	17.1	6.3
Bocard Montreuil	6.9	0.3	62.1	0.09	0.2	0.19	0.3	0.77	0.07	14.8	13.4

TABL. 1 – COMPOSITION CHIMIQUE DES ECHANTILLONS ETUDIES

On remarque les points suivants :

- les minerais sont **riches en fer** (sauf l'échantillon de grès ferrugineux du site des Hautes Minières), les trois échantillons représentatifs de ce site étant en moyenne légèrement plus riches (71 %) que ceux de Poissons (68,6 %), bien que l'échantillon le plus riche vienne de ce dernier site (POI 6 : 78,2 %)

- les minerais sont **peu bauxitiques** ($\text{Al}_2\text{O}_3 < 10 \%$), mais la teneur moyenne des échantillons de Poissons est légèrement supérieure à celle des échantillons des Hautes Minières (7 % contre 5,8%)
- les teneurs en **silice** sont **faibles**, sauf dans l'échantillon du bocard de Montreuil (et bien sur dans l'échantillon gréseux des Hautes Minières),
- les teneurs en **phosphore** sont **faibles** dans les échantillons de Poissons (moins de 1 %) alors qu'elles sont légèrement plus élevées dans ceux des Hautes Minières,
- les teneurs en **calcium** sont **faibles** et peu significatives, sauf pour l'échantillon POI 10, dans lequel des carbonates de fer néoformés (ankérite) se traduisent par une teneur de 3,7 %,
- les teneurs en manganèse sont faibles, sauf dans l'échantillon HM 4, où cet élément peut se trouver en substitution du fer,
- les teneurs en **potassium, magnésium, sodium et titane** sont **faibles** et peu significatives,
- les **pertes au feu**, comprises entre 11,9 et 17,1 %, sont élevées et du même ordre de grandeur pour tous les échantillons, hormis le grès ferrugineux provenant des Hautes Minières (4,9%). Ces valeurs élevées sont liées à la présence de limonite de formule générale $\text{FeO}(\text{OH})$, oxyde hydraté produit à partir de la goéthite et de l'hématite. La valeur la plus élevée (17,1 %) est due à la présence de carbonates dans l'échantillon POI 10.

3.3. SYNTHÈSE DES DONNÉES PÉTROGRAPHIQUES ET ANALYTIQUES

On distingue cinq types de minerais d'après les données pétrographiques et analytiques :

- L'échantillon **HM4**, provenant des Hautes Minières, est un exemple type de débris de **cuirasse latéritique ferrugineuse massive**, à structure stratifiée, correspondant au minerai "géodique" des anciens,
- Les échantillons **HM3 et POI 10** sont entièrement constitués de pisolithes, formés par **nodulisation d'une cuirasse, et cimentés par un liant ferrugineux**, du à la mobilité du fer,
- Les échantillons **HM2, POI 6 et POI 8** sont des **minerais mixtes**, où le faciès pisolitique côtoie le faciès massif dont il est issu,
- L'échantillon gréseux **HM1** qui provient des Hautes Minières est probablement représentatif d'une **remobilisation de fer qui a cimenté un sable** d'origine crétacé

- L'échantillon provenant du **bocard de Montreuil** ne correspond pas aux types classiques de minerais décrits plus haut, mais pourrait résulter d'un **remaniement d'éléments détritiques hétérogènes** (pisolithes, quartz, débris ligneux) **cimentés par un liant ferrugineux** diagénétique.

Les divers échantillons de minerais de fer encore en place, ou remaniés en surface, correspondent donc pour la plupart à des débris d'encroûtements latéritiques constitués d'hématite – goethite en plaques ou en petits nodules et pisolithes, altérées localement en limonite, qui ressemblent tout à fait aux cuirasses latéritiques développées en climats tropicaux et observables actuellement en Afrique et Amérique du Sud.

Ces observations sont confirmées par les travaux développés depuis une vingtaine d'années, qui ont reconnu au niveau régional une phase d'altération continentale de type latéritique, d'âge crétacée inférieur, développée ici sur les formations argilo-gréseuses du Valanginien et les calcaires jurassiques (cf. Wyns et al., Géologie de la France n°1, 2003).

Les minerais "primaires" provenant des sites de Poissons et de Montreuil-sur-Thonnance sont riches en fer, pauvres en aluminium et en phosphore : ils constituent ainsi d'excellents minerais, dont le traitement minéralurgique s'en trouvait facilité.

4. Synthèse géologique et proposition d'un modèle de genèse du gisement

A la suite de la surrection du bouclier rhénan consécutivement à l'ouverture de l'Atlantique nord au début du Crétacé, et à l'émersion des terrains jurassiques et crétacés qui le bordaient, une phase d'altération latéritique en climat tropical a affecté l'ensemble de ces formations (Wyns et al. 2003).

Les gisements de fer reposant sur une surface jurassique karstifiée sont ainsi connus en Ardennes (Voisin 1994), Lorraine, Bourgogne et Franche-Comté (Morin 1993)

En ce qui concerne les gisements de la région de Poissons, on peut d'après les résultats de la présente étude, proposer un modèle génétique cohérent, même si certains aspects chronologiques semblent encore indéterminés.

4.1. ALTÉRATION LATÉRITIQUE LORS DE LA PHASE D'EMERSION ÉO-CRÉTACÉE, FORMATION ET PIÈGEAGE DU MINÉRAI "GÉODIQUE"

La répartition des gisements de la région de Joinville, d'après les cartes géologiques, est assez uniforme sur la surface d'émersion eo-crétacée reposant sur formations détritiques du Valanginien et les calcaires du Portlandien.

Au cours de cette émersion, l'altération latéritique, avec formation de profils complets comportant le terme ultime de l'évolution que constitue la cuirasse aluminoferrugineuse, a affecté la couverture crétacée, tandis que la karstification du substratum calcaire jurassique a été probablement active et continue pendant toute cette période d'émersion.

C'est ainsi que Jaillet (2000) a observé dans le gouffre du Tunnel, dans la région de Savonnières-en-Perthois, environ 20 km au Nord de Poissons, du Valanginien ferrugineux en contact stratigraphique direct avec les calcaires du Portlandien.

Cet auteur décrit également le développement de poches de fer crypto-karstiques sous couverture dans les calcaires du Portlandien de la carrière souterraine d'Aulnois-en-Perthois. On peut y voir un remplissage ferrugineux constitué par les débris de minéral en plaquettes, dans une matrice argileuse, provenant d'une cuirasse démantelée et sous-tirée par la karstification.

En ce qui concerne les gisements de la région de Poissons, on peut donc représenter le schéma génétique suivant (fig. 2) :

- formation d'un profil d'altération latéritique et d'une cuirasse ferrugineuse sur la couverture crétacée (et une partie des formations carbonatées ?), avec karstification simultanée du substratum calcaire. La formation de ce profil a duré une longue période (de l'ordre d'un ou plusieurs MA), car la cuirasse ferrugineuse, qui en est le terme extrême, ne peut se former qu'après une longue évolution chimique,
- démantèlement des cuirasses, sous-tirage karstique et érosion, piégeage et concentration simultanés d'une fraction des argiles latéritiques et des débris résiduels de cuirasse ferrugineuse dans les cavités et dépressions karstiques (minerai "géodique", ou "fer géodique inférieur" de Thiria), avant l'épisode transgressif de l'Hauterivien,
- Scellement des formations résiduelles et des gisements karstiques par les dépôts transgressifs marins carbonatés du Crétacé inférieur. Dans la région de Poissons, cette couverture a été érodée, alors que plus au Nord, dans la région de St-Dizier, elle a protégé les gisements de fer "géodique", qui ont été exploités en souterrain.

4.2. LA TRANSGRESSION CRÉTACÉE ET LA FORMATION DU MINERAI "OOLITHIQUE"

La transgression marine qui scelle les formations latéritisées et karstifiées se produit dès l'Hauterivien, étage qui succède au Valanginien latéritisé. Au Barrémien, étage succédant à l'Hauterivien, une nouvelle phase d'émersion (Barrémien supérieur) se traduit à nouveau, par la formation d'un profil d'altération latéritique caractéristique, visible à l'Ouest de la Marne, et dans le graben de Nancy, à une vingtaine de km au Nord de Joinville, avec de bas en haut, des sables et grès plus ou moins ferrugineux, des argiles "panachées", équivalent probable des argiles tachetées des profils latéritiques, et un minerai de fer "oolithique", qui a été exploité dans les environs de Maizières et de Nancy. Les formations de l'Aptien et de l'Albien qui succèdent au Barrémien sont entièrement marines.

D'autres phases d'émersion altération ont pu se produire par la suite, comme c'est le cas pour les minéralisations ferrifères de la région de Montbéliard, qui sont interprétées comme "des sols anciens, témoins d'une longue période d'altération ferrallitique et de karstification, qui s'étend du Crétacé terminal à l'Eocène" (Monthel 2003). Ces minéralisations sont donc plus récentes que celles de Poissons, mais se présentent également, du moins pour partie, "en amas ou boyaux dans les calcaires jurassiques, s'agissant de remplissage de cavités karstiques par des argiles sidérolitiques". Les gisements sont recouverts par des formations tertiaires, sauf dans l'ancienne mine de Bussurel, qui affleure dans un panneau surélevé par failles. Le minerai a été exploité depuis 1440, mais surtout au 19^e siècle (Morin 1993).

Contexte géologique et gîtologique des minières de fer de la région de Poissons (Haute-Marne)
Relations avec l'histoire de leur exploitation

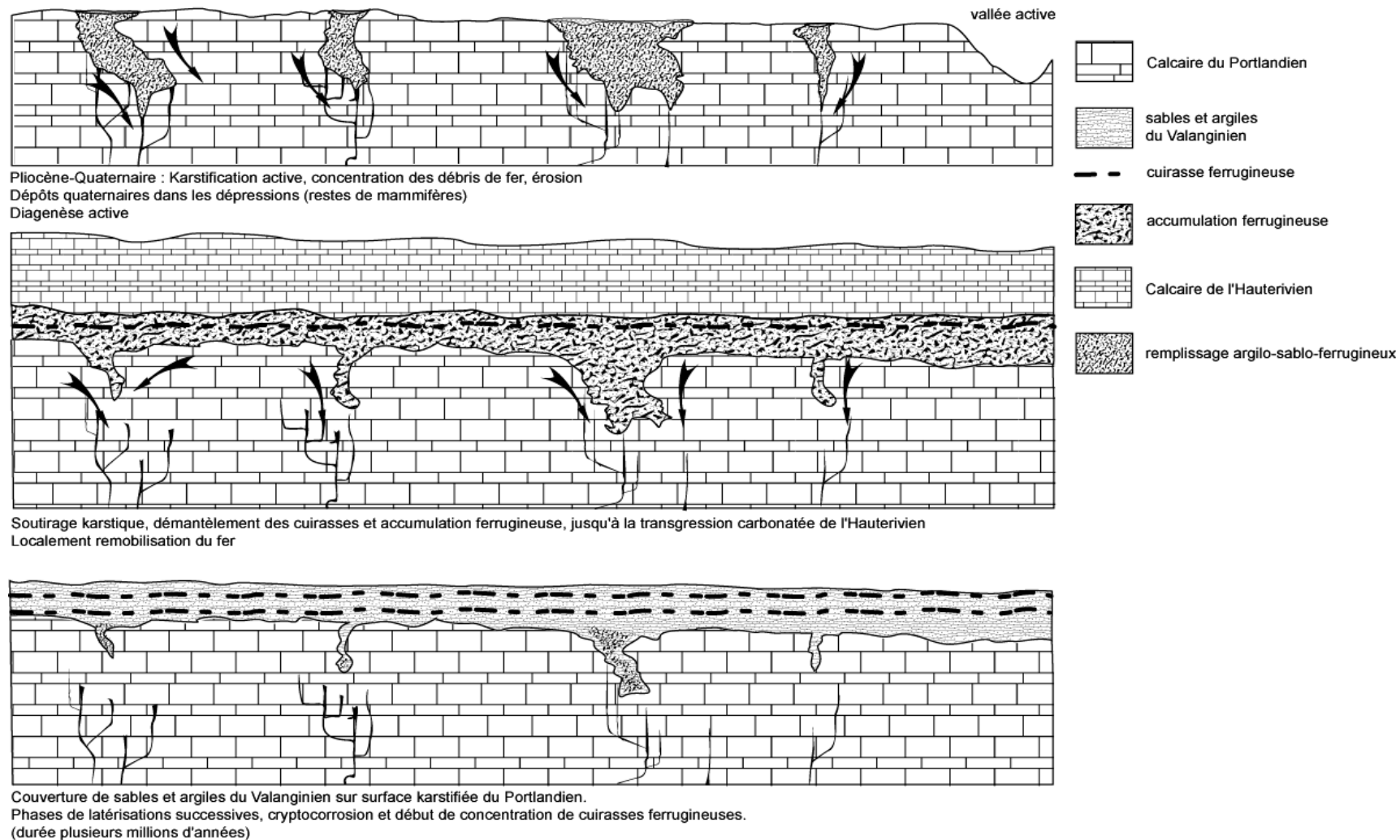


Figure 2 – Modèle de genèse des gisements de fer d'origine latéritique (région de Poissons)

4.3. EVOLUTION DES GISEMENTS APRÈS LEUR MISE EN PLACE

Il est certain que les dépôts ferrugineux piégés en système karstique ont par la suite évolué, notamment lors de la surrection définitive des terrains et de la tectonique alpine, puis de remaniement de surface au cours des périodes de glaciations et de déglaciations quaternaires.

Pendant les diverses émergences et transgressions marines du Crétacé, du minerai de type oolithique a pu se former par reprise (dissolution, diagenèse) d'un stock de minerai préexistant. Le fer sous forme oxydé étant très mobile, une évolution diagénétique des minerais avec dissolutions et cimentations s'est produite et a été à l'origine de formation de minerais secondaires, comme le grès à ciment ferrugineux trouvé sur le site des Hautes Minières.

La répartition actuelle des gisements ne correspond sans doute pas à celle d'origine, par suite d'érosion d'une partie d'entre eux. Aussi la surface formée par le substratum calcaire portlandien et concernée par le piégeage de cuirasse démantelée devait être plus importante que celle qui est maintenant observable.

5. Relations possibles entre les caractéristiques des gisements et leur exploitation historique

Les minières de Poissons sont exploitées de façon certaine depuis le XVII^e siècle, comme l'atteste un texte des titres et charte de la seigneurie de Poissons daté de 1693, mentionnant que "du minerai avait été tiré et fouillé dans les bois d'usage communs depuis plus de trente ans". Au XVIII^e siècle, certaines parties des gisements sont déjà épuisées.

Dans la vallée du Rognon (à Bourdons), le minerai a été extrait depuis le XII^e siècle (d'après les recherches documentaires de M. Philippe, membre du PCR), aussi il est possible que l'exploitation de ce minerai ait commencé dès le Moyen-Age, ou même à l'époque gallo-romaine, comme cela a été noté par Salzard (1878) à Bettancourt-la-Ferrée près de St-Dizier. Dans cette localité, la présence d'anciens crassiers sur les sites d'exploitation doit, pour cet auteur, remonter à l'époque des forges à bras gallo-romaines. A partir des alignements de dolines, les mineurs ont atteint plus facilement la couche à fer géodique, qu'ils ont alors exploité en souterrain.

Les gisements de la région de Poissons présentent dans ce cas des caractéristiques beaucoup plus favorables à une exploitation ancienne, ceci pour les raisons mentionnées ci-dessous :

- Présence du minerai très apparente à la surface du sol : au départ, la présence de blocs de minerais, de taille parfois pluridécimétrique, concentrés dans des poches karstiques et donc en grande densité au sol, a dû attirer l'attention, d'autant plus que la végétation sur place devait présenter quelques particularités compte tenu de la nature et de la composition chimique des terrains, donc des sols développés dessus (minerais de fer et argiles dominants, différents des terrains sur substratum calcaire aux alentours).
- Facilité d'extraction à partir de la surface, du moins au début de l'exploitation : l'exploitation du minerai à partir d'affleurements au sol n'a pas posé de difficultés sur le plan minier, du moins dans la phase initiale puisqu'il suffisait de creuser à partir de la surface, les blocs pouvant être recueillis à la main ou à la pelle et la pioche (exploitation épidermique) quand ils étaient erratiques. Par la suite, les moyens techniques se sont adaptés aux conditions plus complexes de l'extraction en puits ou en galeries, mais on sait que les gallo-romains maîtrisaient déjà des techniques de ce genre en d'autres endroits.

Les différentes phases d'exploitation successives, selon les époques, ont remanié et détruit les traces précédentes laissées sur les sites, tels que des amas de stériles (blocs de calcaire) et les dépressions, de plus en plus importantes. Aussi le contexte actuel très dégradé, à l'exception de galeries profondes préservées, rends la lecture des phases d'exploitation peu aisée.

6. Conclusions

Les gisements de fer de Poissons (Mélaire, le Laiçon) et de sa région (Hautes Minières), connus depuis longtemps, ont toujours intrigué par la diversité, l'hétérogénéité et la complexité des contextes dans lesquelles se trouvaient les minerais. De ce fait, la genèse des gisements et l'origine des minerais n'apparaissent pas clairement compréhensibles.

Aussi, après des explications plus ou moins réalistes avancées depuis la fin du 18^e siècle, il apparaît que ces gisements se placent dans le cadre d'une évolution géologique régionale dont l'histoire commence pendant la phase d'émersion éo-crétacée et la période de latéritisation en climat tropicale ayant affecté les terrains sédimentaires émergés.

Les minerais de fer ont été formés pendant une longue période d'altération latéritique, de l'ordre d'un à plusieurs millions d'années, et sont de type cuirasse ferrugineuse légèrement alumineuse, telle que celles qui sont connues dans les régions tropicales actuelles, et qui sont aussi à l'origine des gisements de bauxite en France.

Cette cuirasse a été démantelée par l'érosion et les résidus ont été piégés de façon précoce dans les poches karstiques creusées dans le substratum calcaire sous-jacent, le phénomène de karstification ayant joué dès la phase d'émersion régionale.

Les gisements primaires ainsi formés ont été préservés par les dépôts marins du Crétacé, puis mis à jour par l'érosion, partiellement détruits, et ont subi des phases de remaniement et de diagenèse aboutissant à l'aspect qu'ils présentaient avant leur exploitation. La singularité des gisements, composés de blocs de cuirasse ferrugineuse dans une matrice argileuse rouge, affleurant au milieu des terrains calcaires, dans un contexte géomorphologique très apparent, est très probablement à l'origine d'une exploitation ancienne (Antiquité ?).

L'aspect actuel des sites, maintenant que le minerai exploité montre une grande diversité de modelé karstique, est donc le résultat d'une histoire géologique relativement longue, puis d'une intervention humaine datant probablement de plusieurs millénaires.

Les traces d'exploitation sont rares sur les sites étudiés, et celles du traitement du minerai (bocard et fourneaux) sont situées en dehors des zones exploitées. L'étude pétrographique d'un échantillon provenant du bocard de Montreuil, entre les sites de Poissons Mélaire et de Montreuil Hautes Minières, dont la composition est différente des autres échantillons prélevés sur les sites d'extraction, laisse à penser que du minerai provenant d'autres sites pouvait être traité avec celui des gisements étudiés.

Bibliographie

Abrard R., Corroy G. (1930) – Carte géologique à 1/80 000 de la France, feuille Wassy 2° édition. Service de la carte géologique de France. Paris

Cornuel J. (1839) – Sur les minerais de fer du canton de Poissons. Bull. soc.géol. France X.

Cornuel J. (1879) – Observations sur les puits naturels des calcaires portlandiens des départements de la Haute-Marne et de la Meuse et sur le minerai de fer qu'ils renferment. Bull. soc.géol. France 3° série tome 1.

Grignon (1761) – Observations sur les mines de fer par dépôt dans la province de Champagne.

Jaillet S. (2000) – Un karst couvert de bas-plateau : le Barrois. Structure, fonctionnement, évolution. Thèse. Université de Montaigne – Bordeaux 3.

Morin D. (1993) – Les systèmes d'exploitation du minerai de fer sédimentaire en Franche-Comté (XVI-XIX° siècles). Archéologie typologie et dynamique des systèmes. Thèse de doctorat de l'Université de Franche-Comté, 6 vol.

Monthel J. (2003) – Les anciennes mines de fer de Montbéliard (Doubs). Données géologiques et gîtologiques. Rapport BRGM/RP-52640-FR, 26 p., 4 fig., 2 pl.h.t.

Roussel Galle

Salzard H. (1878) – Minières et minerais de fer du département de la Haute-Marne. Notes. St-Dizier, typographie Henriot et Godard, 95 p.

Schtepinsky (1962) – Carte géologique à 1/50 000 feuille Joinville. Notice. BRGM Service de la carte géologique de France. Paris

Thibaut P.M. avec la collaboration de Ralay F (2001) – Inventaire des minières de fer de la Haute-Marne. Etat d'avancement des travaux réalisés en 2001. Rapport BRGM/RP- 51372-FR.

Thirria X. (1839) – Annales des mines XV. Paris.

Voisin L. (1994) – L'extraction du minerai de fer dans les Ardennes. Edition à compte d'auteur.

Wyns R., Quesnel F., Simon-Coinçon R., Guillocheau F., Lacquement F. (2003) – Major weathering in France related to lithospheric deformation. Géologie de la France, N°1, 2003.1



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009

45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Champagne-Ardenne

12, rue Clément Ader
BP 137

51685 – Reims Cedex 2 - France
Tél. : 03 26 84 47 70