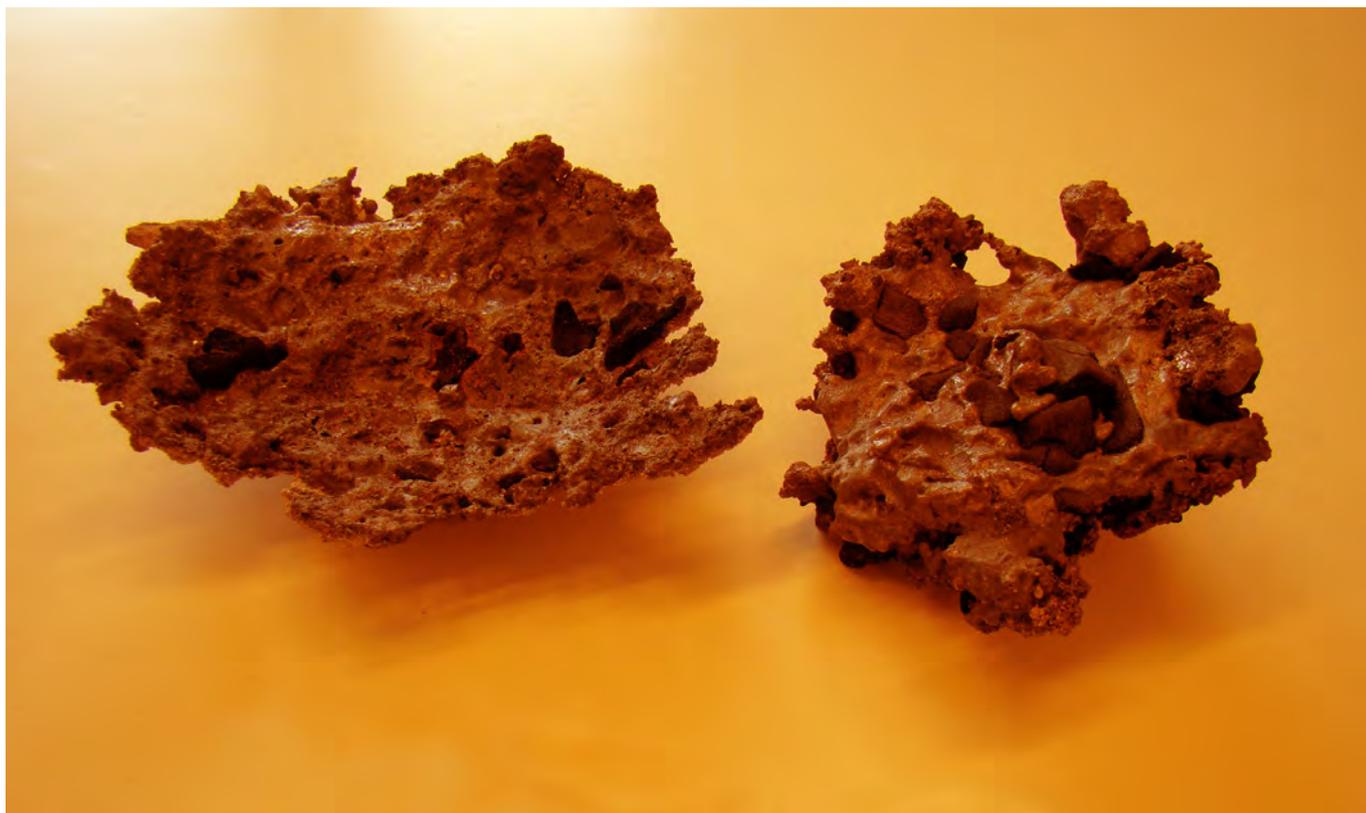


Raphaëlle Soullignac

## Les Scories de forge du Pays dogon (Mali)

Entre ethnoarchéologie,  
archéologie expérimentale et archéométrie





# **Catalogue des Scories de forge du Pays dogon**

Thèse de Raphaëlle Soullignac  
Université de Fribourg

© 2017, Raphaëlle Soullignac and LIBRUM Publishers & Editors LLC, Hochwald/Basel (Switzerland)



ISBN 978-3-906897-02-8  
DOI 10.19218/3906897028



## Avertissement au lecteur

Ce volume constitue un catalogue des scories de forge qui ont été étudiées. Ainsi, le lecteur peut ainsi s'y référer, à titre de document complémentaire, afin d'obtenir leur carte d'identité complète.

Ce catalogue contient de nombreuses informations telles que :

- le résumé des conditions du ou des forgeages ayant produit chacune des scories,
- des informations de métrologie et de morphologie de chaque scorie ( pièce principale et petites pièces),
- des photographies des pièces, sous différents angles,
- des descriptions macro- et microscopiques de la coupe,
- des micrographies illustrant les descriptions,
- des données de composition chimique,
- des données de composition minéralogique.

Ces renseignements respectent une mise en page, une nomenclature de couleur et une terminologie spécifiques.

Les scories sont classées par ordre croissant, de 1 à 126.

### Ateliers d'origine

Fiko

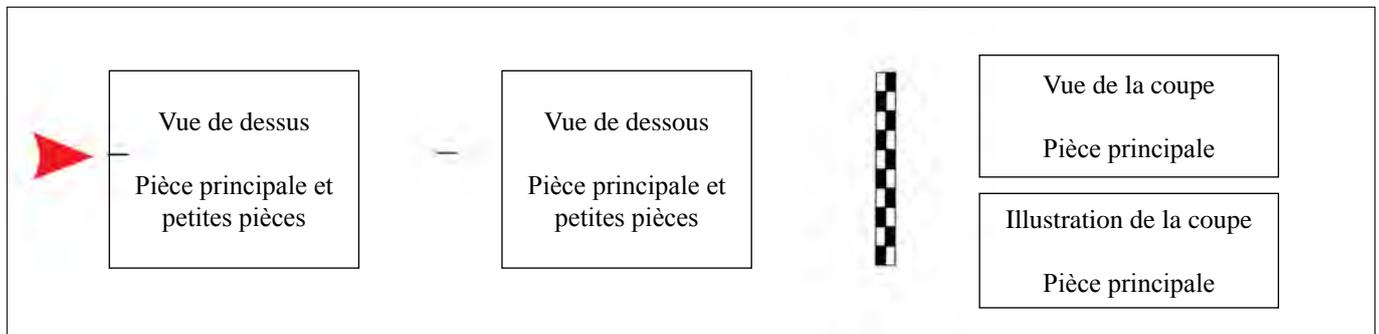
Kakoli

Kobo

Doundé

Un code couleur renvoie à l'atelier d'origine

### Photographies des scories



Indique l'orientation **déterminée** de la scorie par rapport à la tuyère.

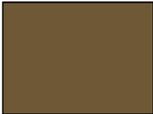
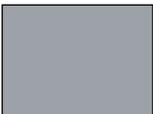
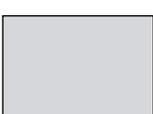
Pas de  
signe

Orientation de la scorie par rapport à la tuyère : **incertaine** ou **indéterminée**.

— —

Indique l'axe de sciage de la scorie, selon l'orientation déterminée ou supposée.

## Matériaux dans les scories

	<b>Argilo-sableux</b> Matériau siliceux clair plus ou moins fondu.		<b>Roche</b> Cailloux ou tuyère, sable (grains de quartz).
	<b>Fayalitique</b> Matériau grisé ou jaunâtre plus ou moins poreux.		<b>Métal</b> Fragments de métal et croûtes d'oxydes.
	<b>Ferreux et rouillé</b> Matériau rougêatre contenant des zones d'hydroxydation du métal.		<b>Charbons</b>
	<b>Autre</b> Matériau calcique : kirschstéinite, wollastonite, ferrobustamite ...		<b>Porosités</b> Empreintes de charbons, trous de dégazage ou de non compaction, fractures.

## Minéralogie

### Proportions

X = 15-20 %

(X) = < 5 %

Total des croix = 100 %

### Groupe minéralogique

Q = quartz + cristobalite 75-100 % et fayalite < 5 %

QF = quartz + cristobalite 45-80 % et fayalite 15-40 %

FQ = fayalite 60-80 % et quartz + cristobalite 20-25 %

F = fayalite 75-10 % et quartz + cristobalite < 10 %

K = kirschstéinite 15-60 %

MO = métal + oxydes 20-45 %

A = autres minéraux

Q = quartz+cristobalite

F = fayalite

K = kirschstéinite

M = fer métallique

O = oxydes de fer

A = autres minéraux

( ) = présent en faible quantité (< 5 %)

Gras = majoritaire





## Echantillon : S001

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie de forge non comptabilisée  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** M2S (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 1000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 49 min / 39 min / 88 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 30  
**Nombre et type de soudures :** -  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 3945 g  
**Observations particulières :** Fond du foyer non nettoyé

**Perte en fer cumulée g / % :** 137 g / 13.7 %  
**Répartition scorie g / % :** 32 g / 23 %  
**Répartition battitures g / % :** 105 g / 77 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 375 g - 84 %  
**Longueur :** 16.0 cm  
**Largeur :** 15.6 cm  
**Hauteur maximale :** 5.7 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.6 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.0 / 2.8  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Concave - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 31 %  
**Aimantation (coupe) :** Faible, locale

### Informations petites pièces

**Poids :** -  
**Nombre :** -  
**Forme :** -  
**Nature :** -

**SAS** 38 %                      **SGD** -  
**SFR** 1 %                        **Autre** 62 %

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot entier, lourd, circulaire, avec peu de relief.

Sur la surface supérieure, un cœur vitreux de couleur gris-bleu entouré d'une auréole vitrifiée vert-jaune, montre l'endroit où se trouvait l'embout de la tuyère. Partout ailleurs, le matériel est de couleur gris-violet et comporte une dizaine d'empreintes de charbon et de très nombreuses porosités de dégazage (< 2 mm). Le centre de la pièce est moyennement magnétique et on observe une oxydation importante autour des charbons.

Sa surface inférieure, non magnétique, est recouverte d'une couche de sable aggloméré où sont inclus des morceaux de scorie plus anciens, des petits cailloux mais aussi une fine couche d'argile beige provenant du foyer.

### Observations macroscopiques - Coupe

Sur toute l'épaisseur du côté proximal ainsi que la couche supérieure au centre de la scorie, on trouve une zone vitreuse jaunâtre.

Sur tout le côté distal ainsi que la couche inférieure se trouvant au centre de la scorie, on trouve un matériau grisé.

Porosité abondante (31 %), fine mais aussi grossière et circulaire (> 1 cm). Autres matériaux présents : charbons (1 %) et roches (1 %).

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	60.61
TiO <sub>2</sub>	0.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.38
MnO	0.16
MgO	2.01
CaO	13.24
Na <sub>2</sub> O	0.25
K <sub>2</sub> O	3.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.75
Total	99.25

g fer extrait par tamisage

Fe extrait	0.67 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	8.56 %
--------	--------

Eléments traces  
 ppm

Rb	50	Sc	60
Sr	730	Cr	140
Co	120	La	270
Ni	30	Zr	610
Cu	510	V	40
Zn	260	S	1780
Ba	1480	Mo	70
Total		6150	

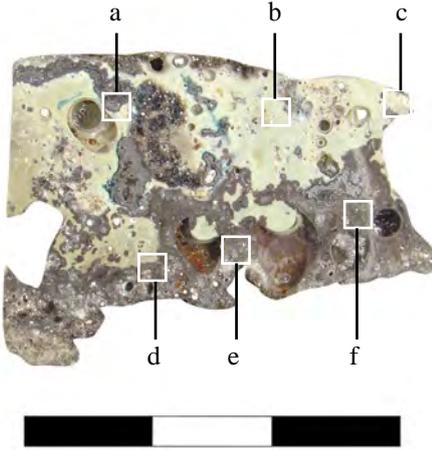
- Quantité importante de Sr, Zn, Ba, Sc, La, Zr et S

- Ces éléments chimiques proviennent de travaux antérieurs

- Absence d'ajout volontaire de poudre de barytine dans le foyer

- Teneurs élevées en TiO<sub>2</sub>, MgO, CaO, et Na<sub>2</sub>O

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

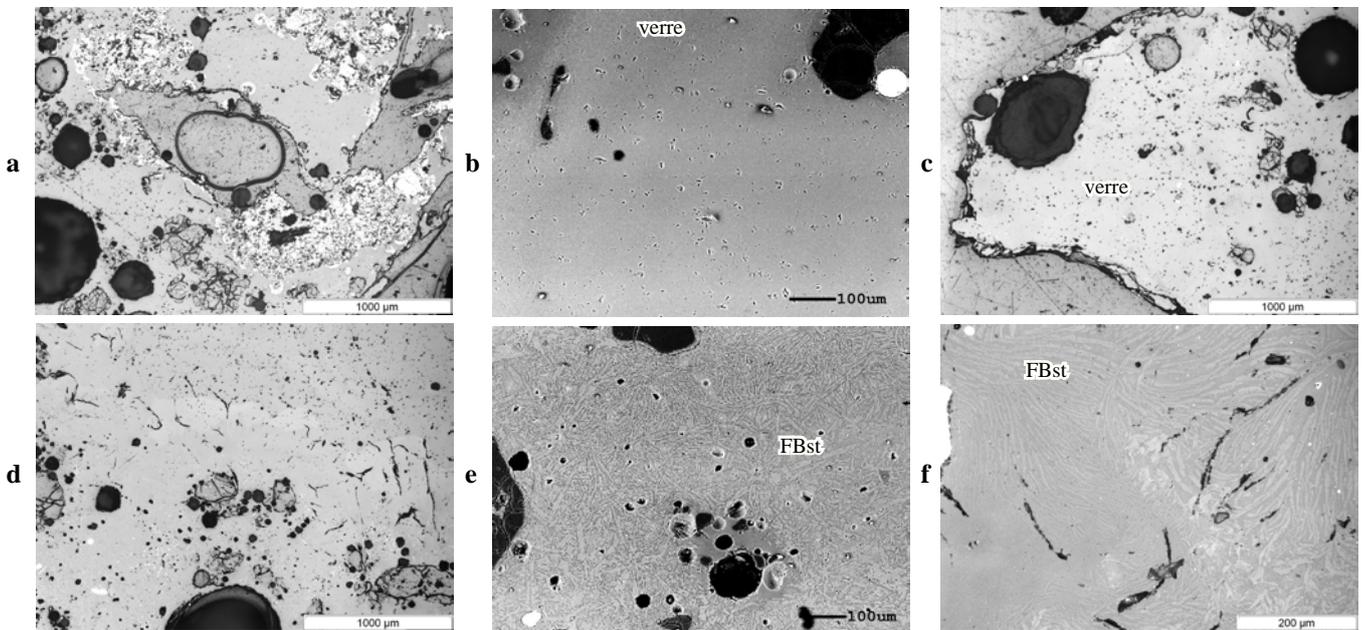
La lame épaisse montre un matériau vitreux jaunâtre (a-b-c) dans la partie haute de la lame, enchevêtré avec matériau grisé (d-e-f) dans la partie basse. Des grains de quartz ovales et fracturés (a-b-c-d-e) ainsi que des particules de métal (b-c-d-e-f) d'environ 50 µm de longueur sont répartis sur toute la surface de la lame. Il ne s'agit que de ferrite.

Le verre jaunâtre (b) est riche en Fe et en Ca : [wt% : - Ca 12.49 - Fe 10.76]. Hormis des volutes d'oxydes de fer (a), des porosités et les inclusions citées précédemment, la surface reste homogène.

Le matériau grisé, au contraire, révèle de grandes plages (d) de cristaux fins, allongés et souples (e-f). Ces baguettes ont pour composition chimique moyenne qui se rapproche de la composition des wollastonites  $\text{CaSiO}_3$ .

La matrice interstitielle (b), a la composition d'un verre riche en Fe et en Ca.

## Micrographies - Lame épaisse

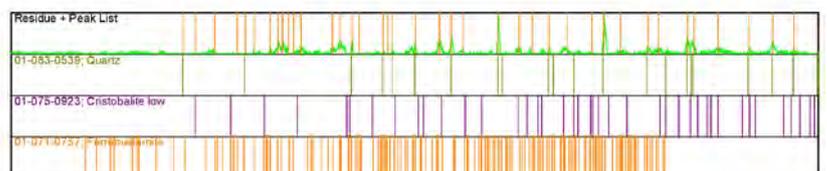
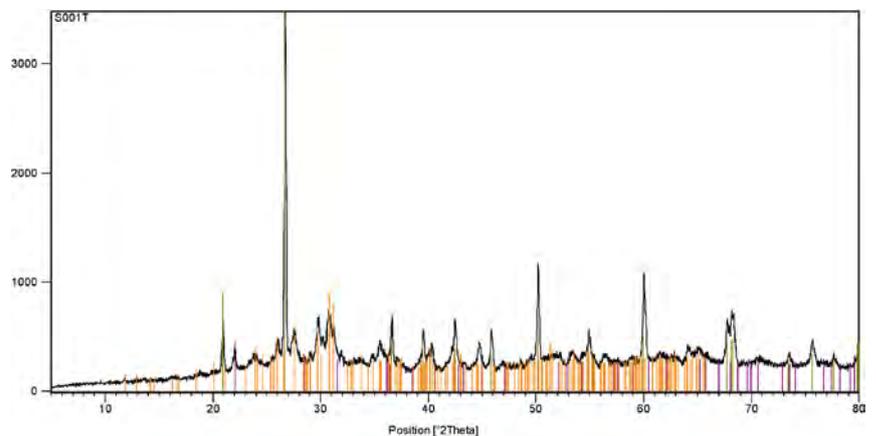


## Diffraction des rayons X

Quartz	$\text{SiO}_2$	XXX
Cristobalite	$\text{SiO}_2(\text{HT})$	(X)
Ferrobustamite	$\text{Ca}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{SiO}_3$	XX

Minéralogie A : Q+A

- Oxydes de fer non identifiés
- Wollastonite ferreuse sous la forme de ferrobustamite
- Bruit de fond élevé à cause de la présence de matière non cristalline (verre)



## Echantillon : S002

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** M2D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 52 min / 38 min / 90 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 32  
**Nombre et type de soudures :** 1 (repli avec insert)  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 2475 g  
**Observations particulières :** -

**Perte en fer cumulée g / % :** 339 g / 33.9 %  
**Répartition scorie g / % :** 88 g / 26 %  
**Répartition battitures g / % :** 251 g / 74 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 220 g - 90 %  
**Longueur :** 15.4 cm  
**Largeur :** 13.0 cm  
**Hauteur maximale :** 5.8 cm  
**Epaisseur moyenne :** 3.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.2 / 2.4  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Bourrelet-Convexe  
**Porosité (coupe) :** 24 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte, locale

### Informations petites pièces

**Poids :** 95 g  
**Nombre :** 3  
**Forme :** Plat, rognon, irr.  
**Nature :** Fayalitique

<b>SAS</b> 29 %	<b>SGD</b> 52 %
<b>SFR</b> 19 %	<b>Autre</b> -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot sur 2 niveaux, triangulaire et lourd, avec 3 fragments fayalitiques.

Sur la surface supérieure, un bourrelet indique l'emplacement de la liaison de la pièce avec le foyer. Le niveau le plus haut montre un aspect fondu. Les teintes vont du gris au gris-violet avec des reflets métalliques. En contrebas de ce niveau, le pourtour est incrusté de charbons (50 % de la surface). On trouve des billes et zones de fer fondu. Cette zone est moyennement aimantée.

Du côté proximal, la surface inférieure est couverte de matériel sableux aggloméré en une couche d' 1 cm d'épaisseur. Partout ailleurs, on trouve des charbons incrustés ainsi qu'une aimantation importante.

### Observations macroscopiques - Coupe

Le côté proximal est fait d'un matériel fayalitique contenant quelques fragments de roche (3 %). Les zones en contact avec la sole sont vitrifiées.

Au centre de la pièce, un fragment de métal allongé de 3 cm de longueur est recouvert d'une couche vitrifiée poreuse.

Du côté distal, des charbons, fragments et filets de métal et charbons sont disposés essentiellement au fond de la pièce.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	56.08
TiO <sub>2</sub>	0.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.58
MnO	0.26
MgO	1.49
CaO	8.73
Na <sub>2</sub> O	0.21
K <sub>2</sub> O	2.33
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.56
Total	99.40

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	18.01 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

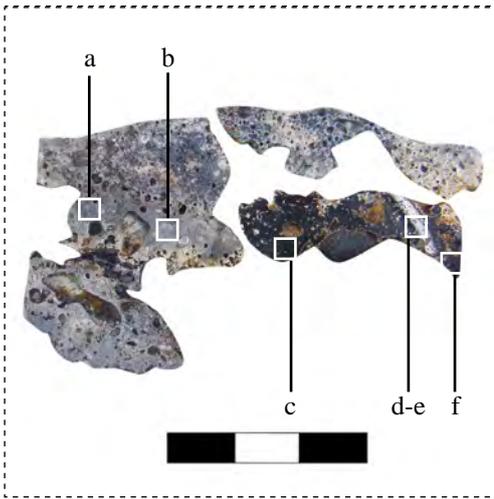
Fe tot	28 %
--------	------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	410	Cr	520
Co	190	La	<
Ni	<	Zr	490
Cu	270	V	60
Zn	140	S	1340
Ba	750	Mo	50
		Total	4260

- Quantité importante de S qui pourrait provenir d'une pollution due au forgeage précédent.

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

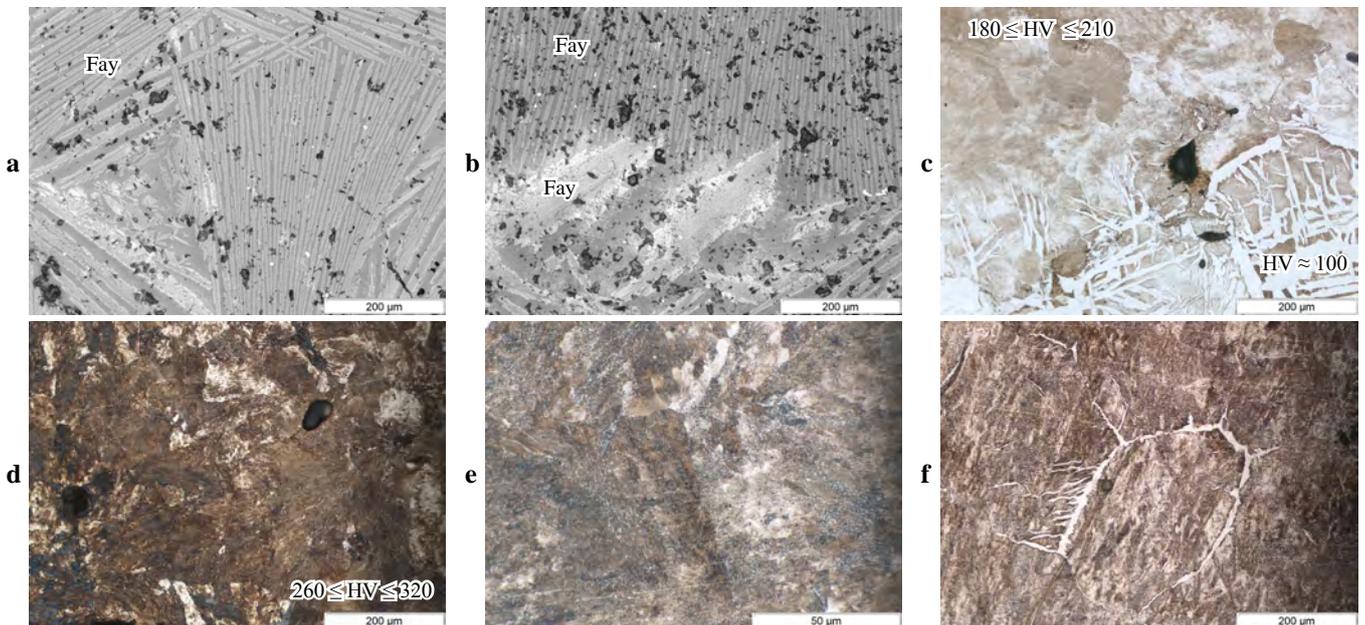
La surface de la scorie est faite d'un verre dans lequel croissent des cristaux anguleux d'oxyde de fer (hématite, magnétite ?) et des baguettes de silicates de fer. Dans la partie médiane de la scorie, ces cristaux sont allongés en chaîne (a-b) plus ou moins épais (b).

Après attaque chimique au Nital, le bloc de métal révèle 2 zones correspondant à 2 microstructures distinctes :

- Du côté de la soufflerie, le métal est constitué de ferrite aciculaire (c) dans les zones externes et de perlite dans les zones internes (c). Il s'agit d'un métal entre 0.05 %C et 0.5 %C.

- A l'opposé de la soufflerie, le métal est entièrement constitué de perlite brune (d-e). Il s'agit d'un acier proche de l'eutectoïde (d-e). Il est parfois possible d'observer des joints de grain de ferrite proeutectoïde (f).

## Micrographies - Lame épaisse

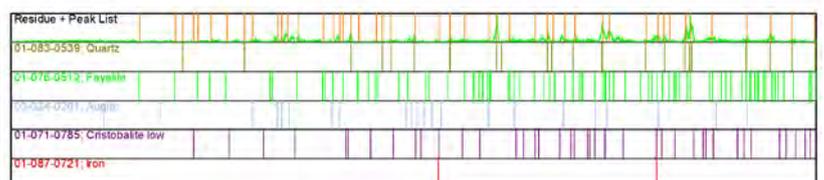
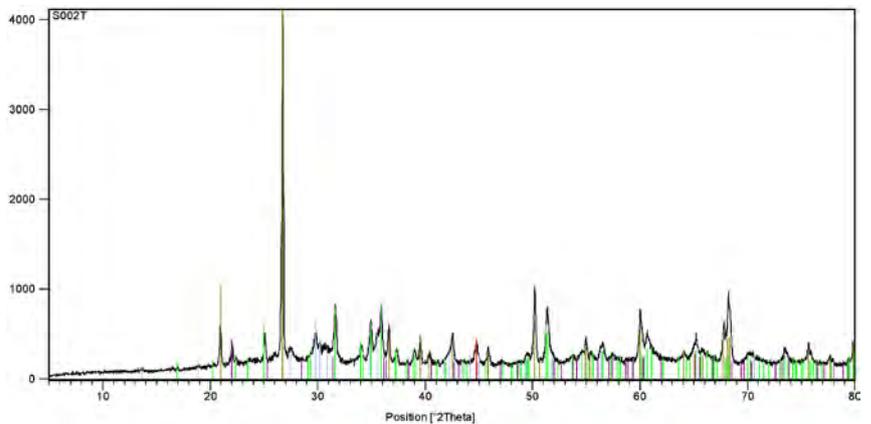


## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XX
Augite	Ca(Fe,Mg)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+F+(A)

- Un minéral proche de la composition de l'augite Ca(Fe,Mg)Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub> s'est formé pendant la formation de la scorie.



## Echantillon : S003

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SAS  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M2S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 51 min / 32 min / 83 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 33  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 2285 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 189 g / 18.9 %  
 Répartition scorie g / % : 25 g / 13 %  
 Répartition battitures g / % : 164 g / 87 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 220 g - 71 %  
 Longueur : 15.9 cm  
 Largeur : 10.8 cm  
 Hauteur maximale : 5.0 cm  
 Epaisseur moyenne : 3.0 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.5 / 2.7  
 Orientation : Déterminée  
 Profil Dessus-Dessous : Concave - Convexe  
 Porosité (coupe) : 43 %  
 Aimantation (coupe) : Faible locale

### Informations petites pièces

Poids : 80 g  
 Nombre : 2  
 Forme : Irrégulier  
 Nature : Argilo-sableux

SAS 99 %  
 SFR 1 %

SGD -  
 Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot allongé, lourd et de 2 fragments. Un des fragments comporte encore un morceau de la paroi argileuse du foyer.

La surface supérieure comporte des zones sableuses fondues, d'aspect lisse : une extrémité est de couleur gris bleu foncé, avec au centre de la pièce une zone gris jaune à l'aspect coulé. Partout ailleurs, le matériel est gris avec des nodules (< 3 cm) en relief, des pores de dégazage, des inclusions de charbon et leurs empreintes.

La surface inférieure est recouverte de sables gris clair, foncé et d'argile orange. Au centre, on observe une zone parsemée d'empreintes de petits charbons. On observe qu'un fragment d'une scorie plus ancienne est pris dans la masse de cette scorie.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle une scorie argilo-sableuse comprenant quelques fragments de roche apparents (8 %).

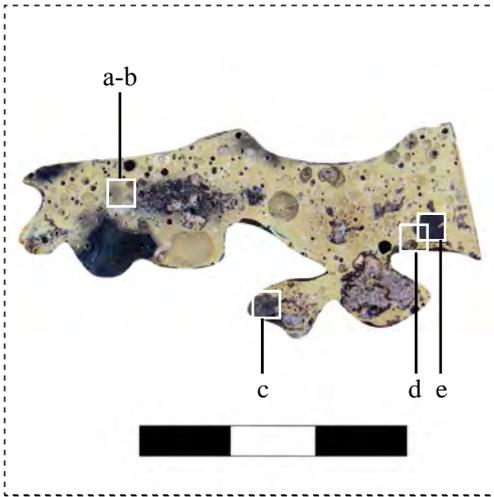
Seules 2 pièces de charbon (6 %) sont incluses et on observe quelques croûtes d'oxydes du côté distal.

La porosité, abondante (43 %), est répartie sur toute la coupe : de forme essentiellement circulaire, les plus larges (5 mm) sont dispersées surtout en surface et les plus fines sont dans la masse.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie			g fer extrait par tamisage	Eléments traces ppm	- Teneurs élevées en Zr et S
Eléments majeurs % de poids	SiO <sub>2</sub>	64.65	Fe extrait 0.69 g	Rb	<
	TiO <sub>2</sub>	0.68		Sr	150
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.47		Co	<
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.96		Ni	610
	MnO	0.15		Cu	50
	MgO	1.53		Zn	1290
	CaO	9.43		Ba	50
	Na <sub>2</sub> O	0.24			
	K <sub>2</sub> O	2.69			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.64			
Total	99.43			Total	4030
- Teneurs élevées en TiO <sub>2</sub>			Recalcul fer total % de poids		
			Fe tot 8.42 %		

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Après polissage, on observe que la scorie est en fait constituée d'un matériau vitrifié jaune pâle, amalgame de deux phases plus ou moins riches en Fe (a-b), respectivement phase claire et phase sombre.

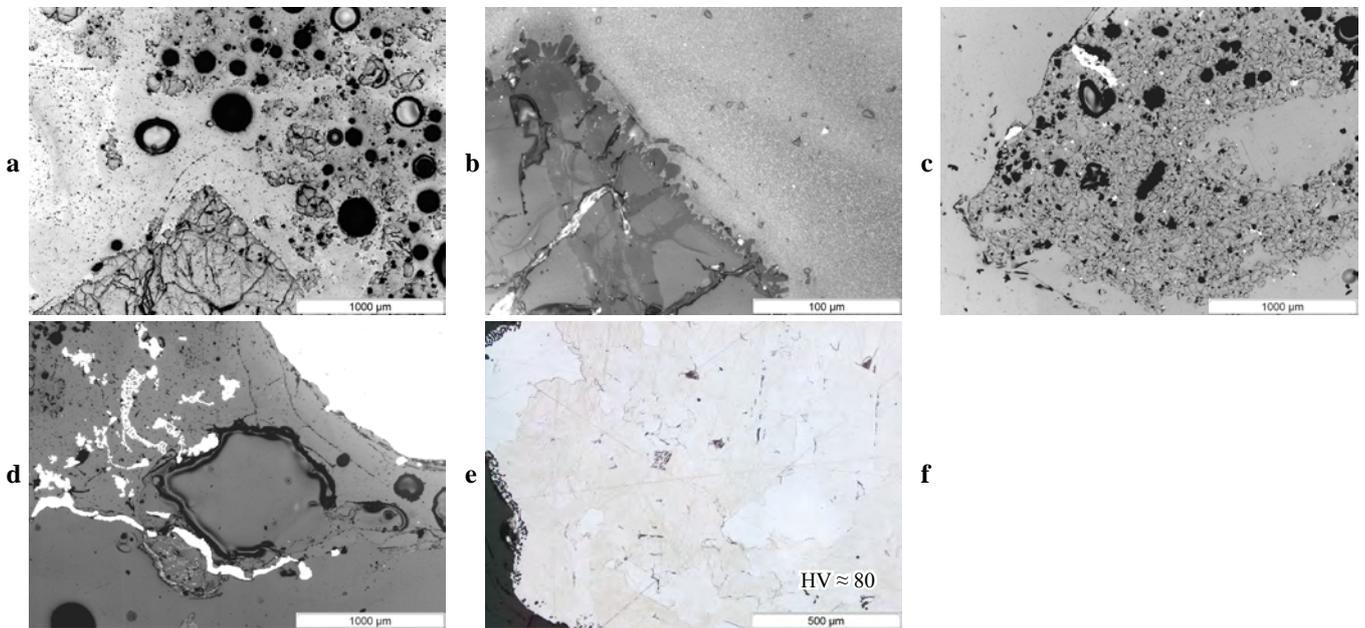
On observe de nombreuses inclusions de fragments de roche (a-b-c) contenant des quartz. Des cristaux de cristobalite (b) d'une dizaine de  $\mu\text{m}$  sont dispersés en périphérie des quartz, zone qui a surchauffé pendant le forgeage.

Dans le fond de la pièce, sont disposés quelques rares croûtes d'oxydes plates (c-d) ou fins filets de métal (d).

Un seul fragment de métal arrondi est visible (d-e). On remarque que sa périphérie est en train de se désagréger. Après attaque au Nital, il s'avère qu'il est constitué uniquement de gros grains de ferrite (f).

Cette pièce témoigne d'une décarburation des fragments de métal lors des chauffés oxydantes dans le foyer de forge.

## Micrographies - Lame épaisse

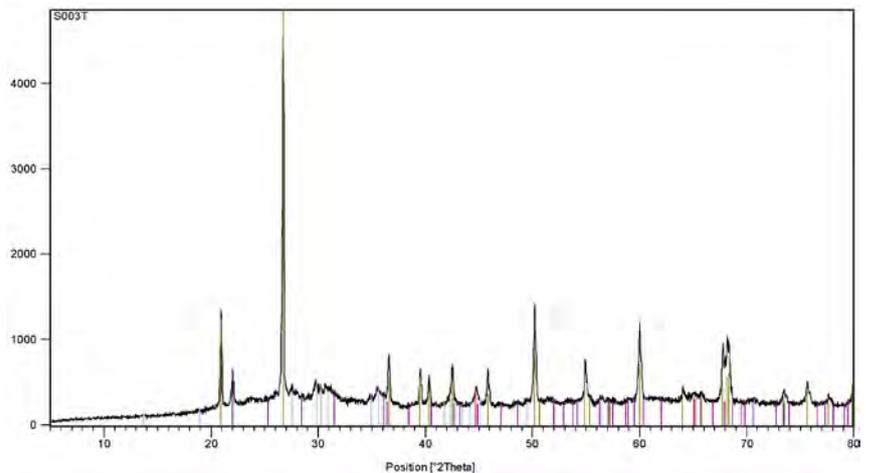


## Diffraction des rayons X

Quartz	$\text{SiO}_2$	XXXX
Augite	$\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$	(X)
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	$\text{SiO}_2(\text{HT})$	X

Minéralogie Q : Q+(M)+(A)

Un minéral proche de la composition de l'augite  $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$  s'est cristallisé pendant la formation de la scorie.



Residue + Peak List
01-083-0533; Quartz
01-087-0721; Fer
01-082-1232; Cristobalite SiO2

## Echantillon : S004

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SGD-SFR  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M2D (0.45 %C)

Poids du fer initial : 2x500 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 51 min / 32 min / 83 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 29  
 Nombre et type de soudures : 1 (simple)  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 3595 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 244 g / 24.4 %  
 Répartition scorie g / % : 60 g / 24 %  
 Répartition battitures g / % : 184 g / 76 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 165 g - 79 %  
 Longueur : 14.0 cm  
 Largeur : 10.8 cm  
 Hauteur maximale : 3.5 cm  
 Epaisseur moyenne : 3.2 cm  
 Ellipticité / planéité : 0.8 / 3.5  
 Orientation : Incertaine  
 Profil Dessus-Dessous : Plat - Plat  
 Porosité (coupe) : 33 %  
 Aimantation (coupe) : Moyenne

### Informations petites pièces

Poids : 50 g  
 Nombre : 3  
 Forme : Irrégulier  
 Nature : Fayalitique

SAS 12 %	SGD 69 %
SFR 19 %	Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot fragmenté, quart-circulaire et de 3 fragments fayalitiques.

La surface supérieure comporte un cœur vitreux gris avec des reflets métalliques jaunes ; aimantation moyenne. En périphérie on a une zone gris mat, dont la moitié de la surface est recouverte de charbons et d'empreintes de charbons ; aimantation importante.

Sa surface inférieure présente un aspect très granuleux. Environ les 3/4 de la surface sont recouverts de charbons (< 20 mm), de sable et de cailloux agglomérés . Sur le 1/4 restant de la surface on observe une grande quantité de charbons inclus.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe de la scorie, très hétérogène, montre une organisation verticale.

Dans la partie haute, la matrice fayalitique contient de larges porosités irrégulières (≈ 1 cm) affleurant la surface. La surface inférieure est oxydée avec des petits fragments de métal (< 1 cm).

Toute la coupe est parsemée de pièces de charbons (< 1 cm, 17 %). La base distale de la scorie est nappée d'une couche argilo-sableuse.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	50.75
TiO <sub>2</sub>	0.53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.19
MnO	0.35
MgO	0.96
CaO	5.88
Na <sub>2</sub> O	0.22
K <sub>2</sub> O	2.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.43
Total	99.50

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	7.92 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

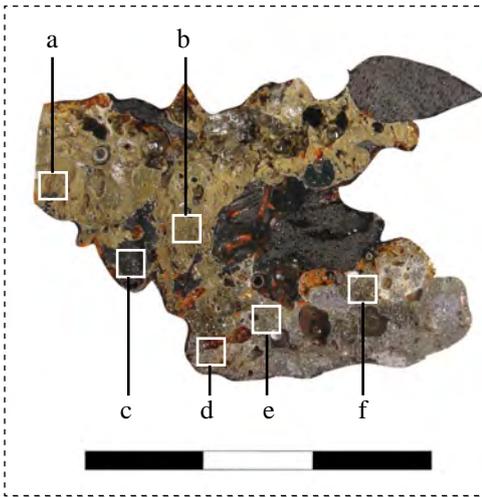
Fe tot	27.76 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	270	Cr	570
Co	190	La	10
Ni	<	Zr	440
Cu	210	V	40
Zn	60	S	1070
Ba	500	Mo	70
Total		3470	

- Quantité importante  
 de S par rapport aux  
 autres scories

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

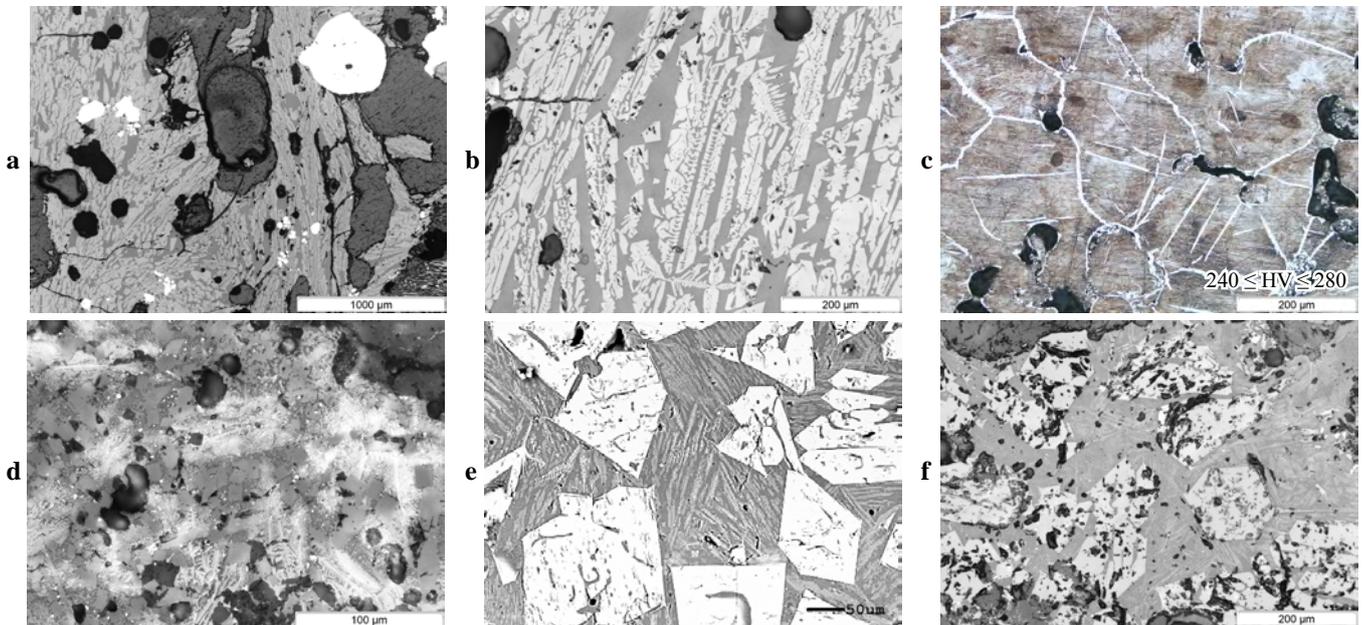
La partie supérieure, jaunâtre, est constituée de cristaux allongés de fayalite, en chaîne avec des lacunes de croissance (a-b), dans dans un verre riche en fer.

La partie inférieure, brune, est constituée de cristaux équi-granulaires idiomorphes de fayalite (e-f). Ces larges cristaux anguleux sont le témoin d'un refroidissement lent de la base de la scorie. Ils sont inclus dans un verre riche en fer puisqu'on y observe des cristaux squelettiques de fayalite en début de cristallisation (e).

La base de la scorie est hétérogène (d) : la matière est un amalgame poreux de grains de quartz, fragments de roche et de fayalites en formation dans un verre.

Après attaque chimique, la microstructure des particules métalliques révèle des grains délimités par des joints blancs de ferrite et couverts d'une perlite très fine (c). Il s'agit d'un acier à 0.4 - 0.5 %C, similaire à la barre de fer forgée. Plus anodectiquement, on peut observer des billes de métal (800 µm) ou particules plus petites (< 50 µm) (a).

## Micrographies - Lame épaisse

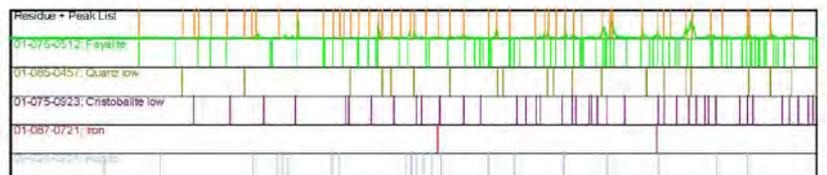
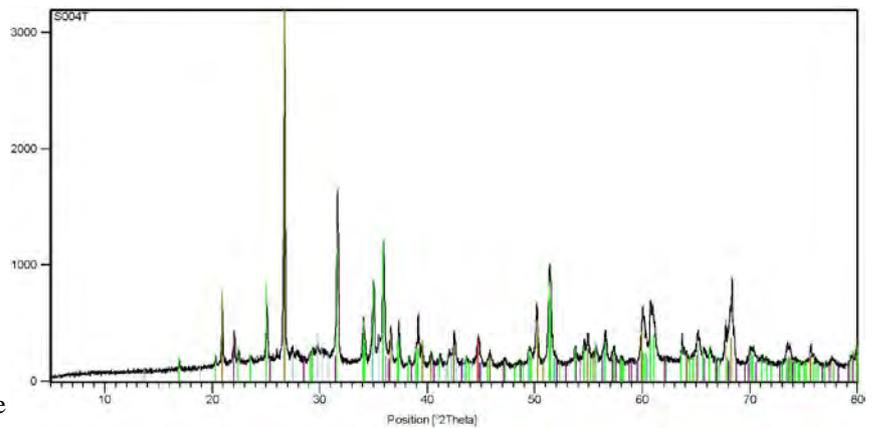


## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XX
Quartz	$\text{SiO}_2$	XXX
Cristobalite	$\text{SiO}_2(\text{HT})$	(X)
Fer	Fe	(X)
Augite	$\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+F+(A)

- De l'augite  $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$ , s'est formée pendant la formation de la scorie.



## Echantillon : S005

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SAS  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M2S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 56 min / 35 min / 91 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 34  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 1980 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 198 g / 19.8 %  
 Répartition scorie g / % : 7 g / 4 %  
 Répartition battitures g / % : 191 g / 96 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 75 g - 78 %  
 Longueur : 9.5 cm  
 Largeur : 7.3 cm  
 Hauteur maximale : 3.0 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.2 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.3 / 2.8  
 Orientation : Déterminée  
 Profil Dessus-Dessous : Plat - Plat  
 Porosité (coupe) : 45 %  
 Aimantation (coupe) : Non

### Informations petites pièces

Poids : 5 g  
 Nombre : 4  
 Forme : Rognon, irr, bille  
 Nature : Sableux

SAS 100 %  
 SFR -

SGD -  
 Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une scorie sableuse, légère, de petite taille, allongée, avec des excroissances arrondies et d'aspect lisse. Elle est accompagnée de trois fragments vitreux (< 1 cm) et d'un fragment argilo-sableux plus gros. Pas d'aimantation.

Sa surface supérieure, vitrifiée et d'aspect lisse, présente des teintes vert foncé et gris-jaune. Aucune inclusion en surface.

Sa surface inférieure, vitrifiée également, est partiellement recouverte de sable gris-foncé aggloméré ainsi que de charbons pris dans la scorie.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe de la scorie montre une forte proportion de matériel sableux vitrifié (28 %) englobant des fragments de roches et des cailloux (27 %).

On y voit de très nombreuses porosités, parfois circulaires et de petite taille (< 1 mm), mais aussi de taille plus élevée (< 1 cm) soit circulaires soit étirées.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	67.90
TiO <sub>2</sub>	0.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.33
MnO	0.14
MgO	1.14
CaO	6.82
Na <sub>2</sub> O	0.16
K <sub>2</sub> O	2.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.27
Total	99.58

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	-
------------	---

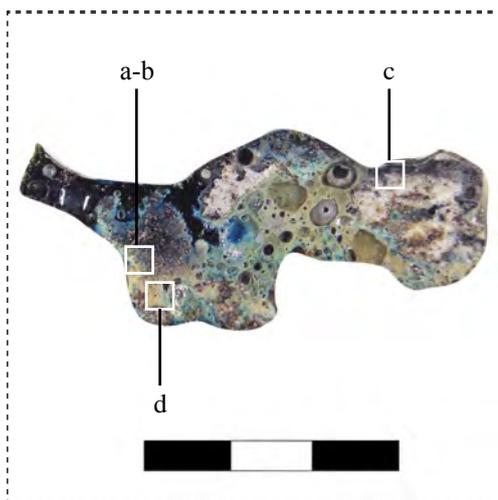
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	9.36 %
--------	--------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	310	Cr	150
Co	240	La	<
Ni	20	Zr	520
Cu	110	V	70
Zn	40	S	410
Ba	620	Mo	50
Total		2580	

## Lame épaisse



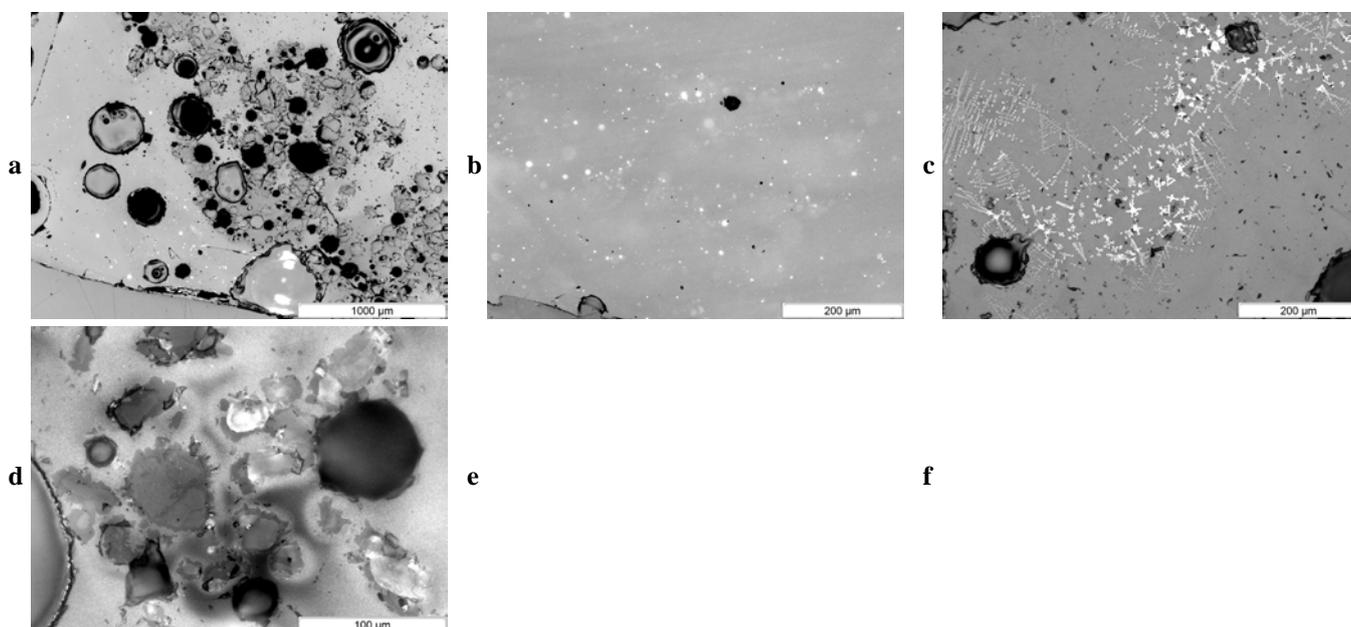
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Après polissage, on observe que cet échantillon est constitué exclusivement d'un matériel vitreux de multiples couleurs, contenant des fragments de roche et des quartz.

A l'extrémité proximale on trouve un verre de couleur vert sombre et lisse en surface. En profondeur, on observe des fragments de roche qui sont des grains de quartz (a-d), dont la périphérie est couverte de cristaux de cristobalite (d). Dans cette région, quelques minuscules particules métalliques circulaires ( $< 10 \mu\text{m}$ ) sont dispersées dans un verre jaunâtre (b).

Plus loin, on observe en surface de rares cristaux anguleux ( $< 10 \mu\text{m}$ ) et formations dendritiques ferreuses (spinelles) dans un verre sombre (c).

## Micrographies - Lame épaisse



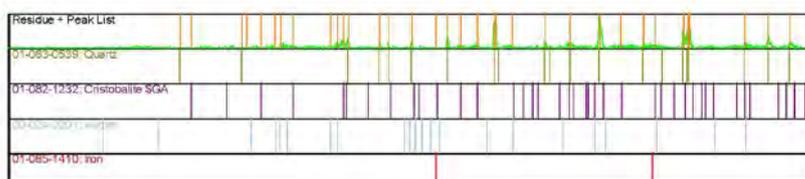
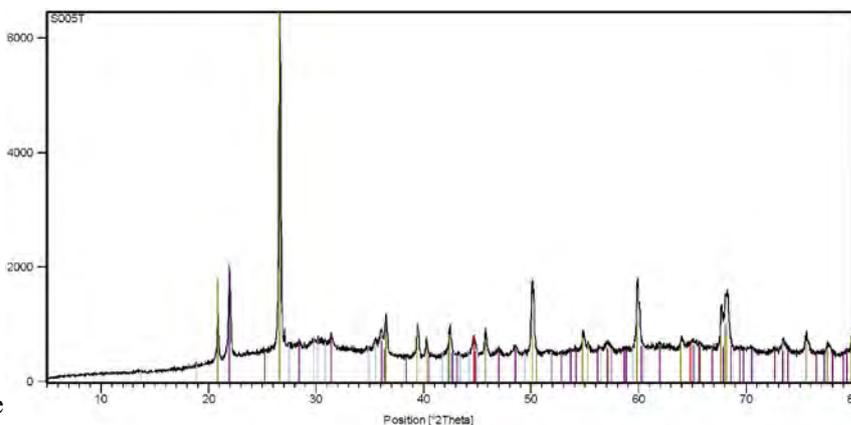
## Diffraction des rayons X

Quartz	$\text{SiO}_2$	XXXX
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	X
Augite	$\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie Q : Q+(M)+(A)

- Bruit de fond élevé à cause de matière vitreuse

- Spinelles (c) en quantité insuffisante pour être identifiées



## Echantillon : S006

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SFR  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M4S (0.17 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 50 min / 27 min / 77 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 29  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 2910 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 233 g / 23.3 %  
 Répartition scorie g / % : 61 g / 26 %  
 Répartition battitures g / % : 172 g / 74 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 100 g - 95 %  
 Longueur : 10.4 cm  
 Largeur : 7.8 cm  
 Hauteur maximale : 2.7 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.6 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.3 / 3.4  
 Orientation : Incertaine  
 Profil Dessus-Dessous : Plat - Plat  
 Porosité (coupe) : 24 %  
 Aimantation (coupe) : Forte

### Informations petites pièces

Poids : 25 g  
 Nombre : 2  
 Forme : Irrégulier  
 Nature : Argilo-sableux

SAS - SGD 54 %  
 SFR 46 % Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une scorie comportant des pièces de natures diverses : la pièce principale est ferreuse, de couleur gris et d'aspect mat, allongée et moyennement dense ; les deux petites pièces sont plus petites, légères et argilo-sableuses.

La surface supérieure de la pièce principale est légèrement concave et très aimantée. On y trouve : une dizaine d'empreintes de charbons, une quinzaine de charbons aux pourtours oxydés ainsi qu'une petite zone de dégazage (diamètre < 1 mm).

La surface inférieure montre un relief plus important et un aspect déchiqueté. La moitié de la superficie est parsemée de charbons, l'autre moitié est recouverte de sable gris-foncé et de petits cailloux. Aimantation très forte.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle une grande quantité de fragments métalliques (15 %) englobés dans un matériau fayalitique sombre (37 %).

Les porosités les plus larges et distordues ( $\approx 1$  cm) se concentrent dans la partie supérieure et médiane de la scorie.

La surface inférieure est, quant à elle, nappée d'une fine couche oxydée (17 %).

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	29.76
TiO <sub>2</sub>	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60.07
MnO	0.43
MgO	0.63
CaO	3.22
Na <sub>2</sub> O	0.15
K <sub>2</sub> O	0.88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.18
Total	99.53

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	2.23 g
------------	--------

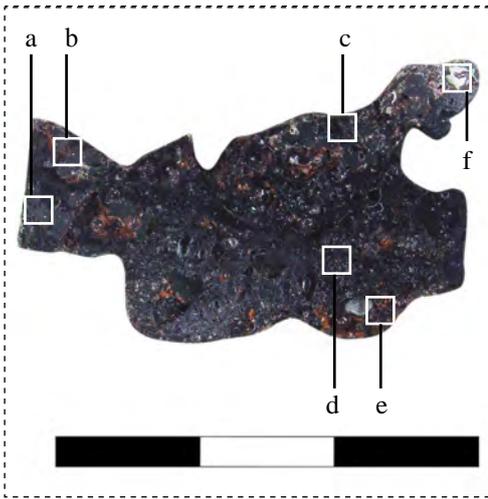
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	48.79 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	110	Cr	1490
Co	280	La	30
Ni	<	Zr	160
Cu	200	V	30
Zn	<	S	480
Ba	160	Mo	110
Total		3070	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

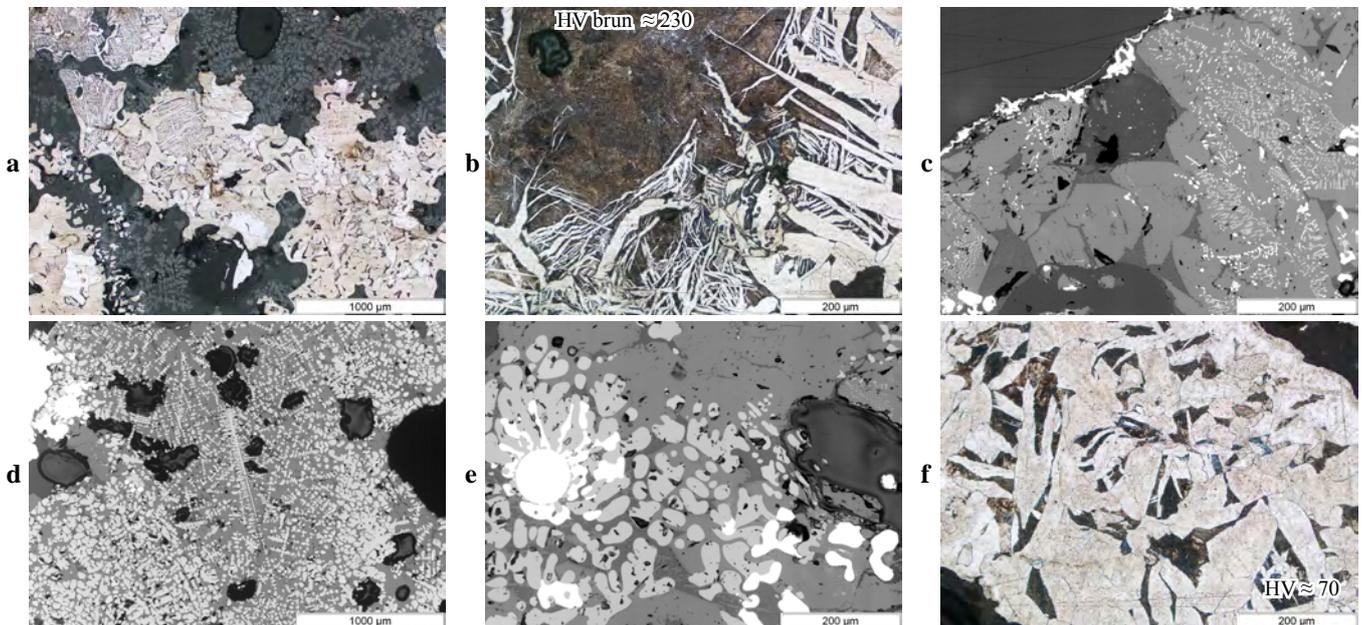
La microstructure révèle la prépondérance de fer sous plusieurs formes : des grandes particules de plusieurs mm (a), des particules plus petites comme des billes éclatées (d-e) ou des fins filets (< 10 µm) de métal (c).

De plus, tout le fond de la lame est couvert de plaques de wüstite en nodules ou dendrites (a-d-e). Ceux-ci sont en fait des reliquats de croûtes d'oxydes de fer.

Après attaque au Nital, toutes les particules de métal de la lame sont des aciers à 0.05-0.40 %C (f), constitués de grains de ferrite parfois aciculaires (a) et de perlite brune (b-f). Les parties les moins carburées se trouvent généralement en périphérie de la particule (a-b).

A part les phases ferreuses, on observe de larges cristaux (200-800 µm) équi-granulaires de silicates de fer tassés les uns contre les autres (c-e). De nombreuses zones montrent des cristaux piquetés (b) : il s'agit de phases de fayalite-wüstite de composition eutectique.

## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

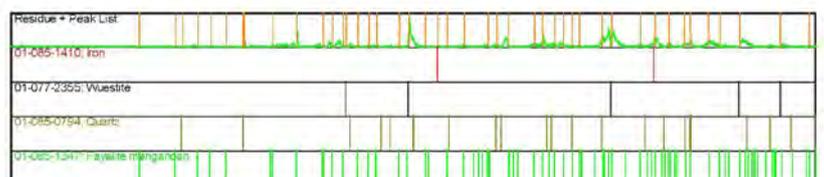
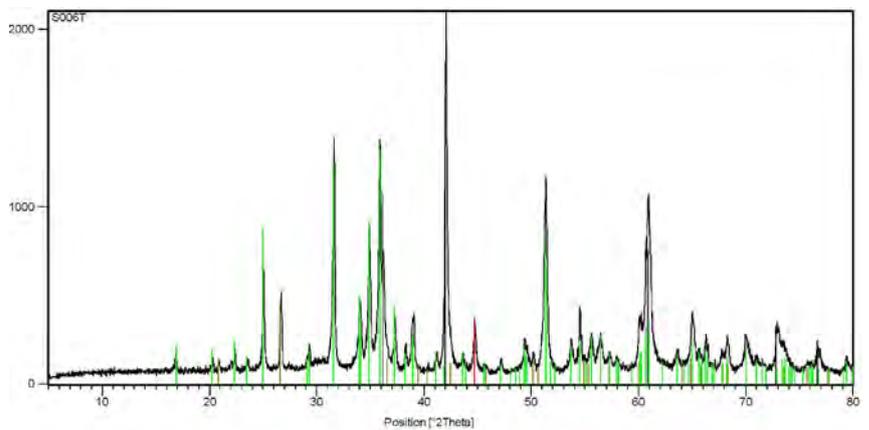
Fer	Fe	(X)
Wüstite	FeO	XX
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Fayalite	(Fe,Mn)SiO <sub>4</sub>	XX

Minéralogie MO : Q+(M)+O+F

-Quantités importantes de wüstite

- Du quartz en faible proportion, adhérent à la surface inférieure de la scorie, est identifié

- Fayalite manganifère



## Echantillon : S007

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** A1D (F107-310 g et F109-390 g)

**Poids du fer initial :** 700 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 40 min / 29 min / 69 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 30  
**Nombre et type de soudures :** 1 (multiple)  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 2575 g  
**Observations particulières :** Casse d'une tige pendant le repli d'une barre

**Perte en fer cumulée g / % :** 232 g / 33.1 %  
**Répartition scorie g / % :** 66 g / 29 %  
**Répartition battitures g / % :** 166 g / 71 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 165 g - 79 %  
**Longueur :** 12.3 cm  
**Largeur :** 9.6 cm  
**Hauteur maximale :** 2.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.3 / 4.4  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Bourrelet - Plat  
**Porosité (coupe) :** 30 %  
**Aimantation (coupe) :** Moyenne

### Informations petites pièces

**Poids :** -  
**Nombre :** -  
**Forme :** -  
**Nature :** -

<b>SAS</b> 9 %	<b>SGD</b> 80 %
<b>SFR</b> 11 %	<b>Autre</b> -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot, relativement aplati.

Sa surface supérieure montre :

- du côté proximal, une zone vitrifiée de couleur gris sombre et entourée d'une auréole, vitrifiée elle aussi, plus claire; non magnétique.
- du côté distal, une zone de couleur gris-mat, avec des parties oxydées de couleur rouille (autour de quelques charbons); très magnétique.

La moitié de sa surface inférieure est recouverte de sable aggloméré; l'autre moitié de charbons incrustés. Une zone en particulier est fortement aimantée, preuve d'une importante perte en fer.

### Observations macroscopiques - Coupe

Le côté proximal est nappé d'une couche argilo-sableuse (4 %) et contient des fragments de roche (2 %).

Partout ailleurs, la matrice fayalitique comporte de nombreuses porosités : les plus importantes sont distordues et se concentrent dans la partie haute, les plus fines sont circulaires et sont dispersées dans la partie basse.

La surface inférieure comporte des fragments de métal (5 %) englobés dans une fine couche oxydée (3 %) orangée.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	37.64
TiO <sub>2</sub>	0.48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47.74
MnO	0.12
MgO	0.86
CaO	5.75
Na <sub>2</sub> O	0.18
K <sub>2</sub> O	1.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32
Total	99.60

g fer extrait par tamisage

Fe extrait	5.53 g
------------	--------

Recalcul fer total  
% de poids

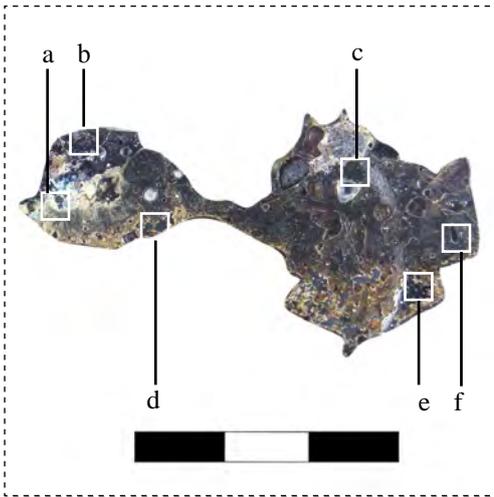
Fe tot	40.28 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	250	Cr	160
Co	310	La	50
Ni	<	Zr	640
Cu	140	V	90
Zn	40	S	470
Ba	460	Mo	70
Total			2710

- Quantité importante en Zr

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

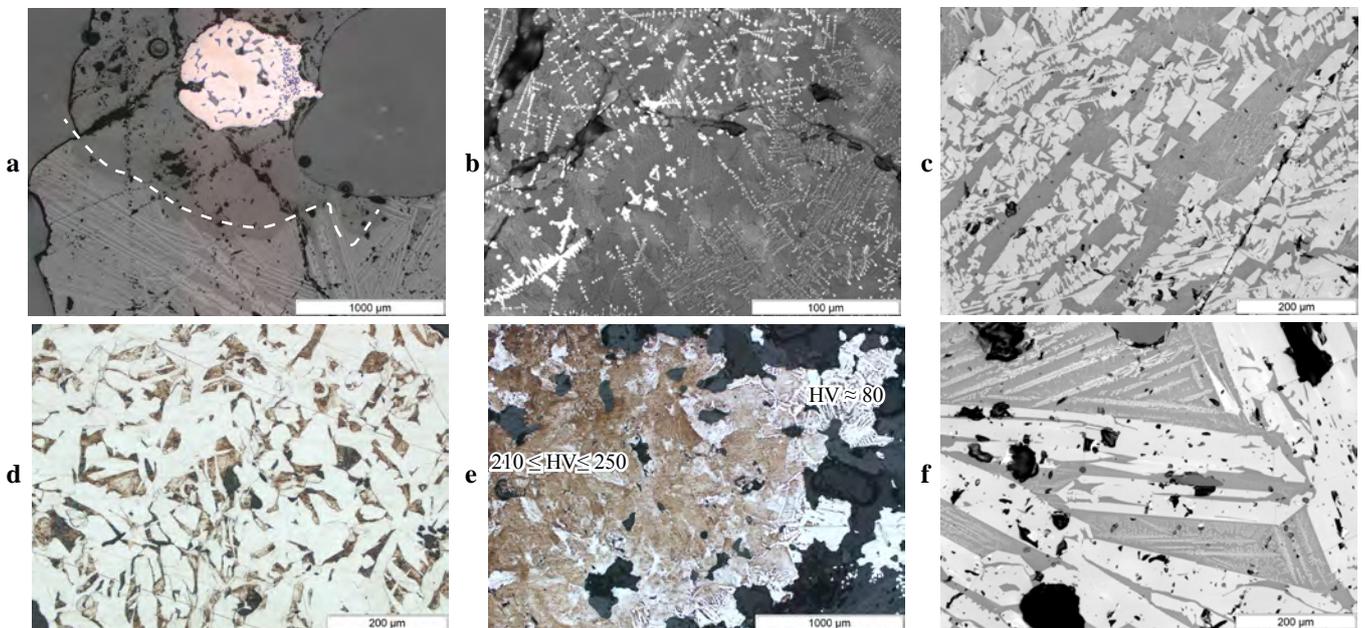
L'extrémité proximale de la scorie est nappée d'un verre contenant une bille (1 mm) de ferrite (a haut). Dans la même zone, on observe les prémices de cristaux de fayalite (a bas) mais aussi de rares formations de cristaux anguleux ou dendrites de spinelles (b).

Ailleurs, la matrice de cette scorie est fayalitique : on observe des baguettes allongées en chaîne fines (< 20 µm) ou épaisses (100 µm) (f) ainsi que des cristaux en pavé, épais (100 µm) avec des lacunes de croissance (c).

Quelques particules métalliques irrégulières (jusqu'à 1 cm de longueur) sont réparties le long de la base de la scorie.

Après attaque au Nital, il s'avère qu'il s'agit toujours d'aciers peu carburés : de la ferrite pure jusqu'à de l'acier à 0.2 %C (d). Les particules disposées dans le fond de la pièce sont des aciers à 0.6-0.7 %C décarburés en périphérie (e).

## Micrographies - Lame épaisse



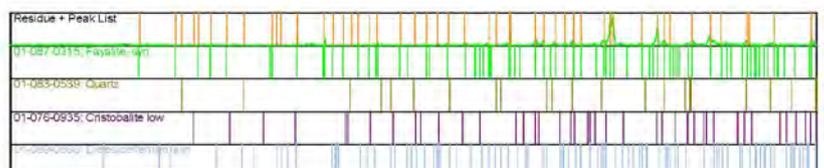
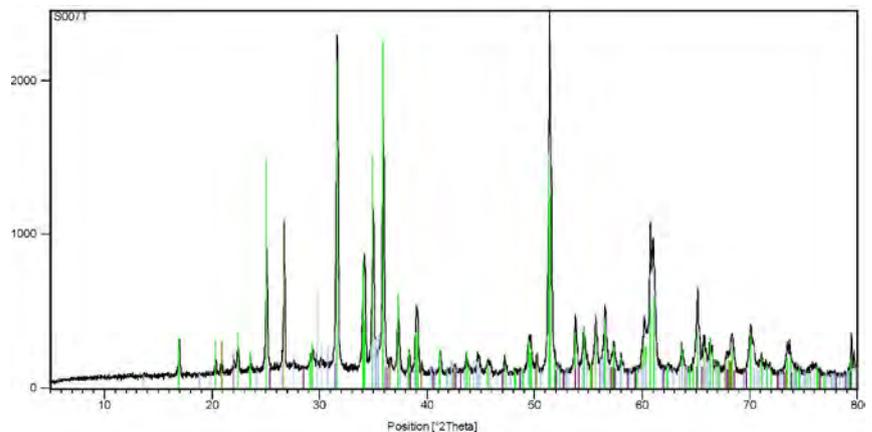
## Diffraction des rayons X

Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XXXX
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Augite	Ca(Fe,Mg)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(X)

Minéralogie FQ : Q+F+(A)

- Le quartz identifié provient des grains de sable adhérents à la surface inférieure de la scorie et de fragments de roche

- Formation d'augite pendant la formation de la scorie



## Echantillon : S008

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-SFR  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** A2D (F219-390 g et F213-305 g)  
  
**Poids du fer initial :** 695 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 58 min / 27 min / 85 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 35  
**Nombre et type de soudures :** 1 (multiple)  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 3380 g  
**Observations particulières :** Cassure d'une tige pendant le repli d'une barre  
  
**Perte en fer cumulée g / % :** 321 g / 46.2 %  
**Répartition scorie g / % :** 96 g / 30 %  
**Répartition battitures g / % :** 225 g / 70 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 150 g - 100 %  
**Longueur :** 9.1 cm  
**Largeur :** 8.0 cm  
**Hauteur maximale :** 4.0 cm  
**Epaisseur moyenne :** 5.0 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.9 / 2.1  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Convexe - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 39 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** -  
**Nombre :** -  
**Forme :** -  
**Nature :** -

<b>SAS</b> 15 %	<b>SGD</b> 85 %
<b>SFR</b> ?	<b>Autre</b> -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot complet, sphérique, très dense et de petite taille.

Sa surface supérieure est recouverte d'une très fine couche vitreuse jaunâtre. A l'extrémité proximale se dresse un nodule gris et rouille. Partout ailleurs, on observe une importante quantité d'inclusions et d'empreintes de charbons de bois aux contours oxydés. Aimantation moyenne.

Sa surface inférieure présente un aspect déchiqueté. La moitié de la superficie est recouverte de charbons. L'autre moitié est recouverte de sable gris-foncé et de petits cailloux (< 2 mm) agglomérés entre eux. Aimantation très forte.

### Observations macroscopiques - Coupe

**La découpe a complètement ôté un nodule de fer (3 x 2 x 1.5 cm) se trouvant dans le coeur de la pièce.**

La coupe montre un matériel fayalitique (52 %) englobant un nodule sableux (9 %) mais également un nodule ferreux.

La porosité est abondante (39 %), parfois grossière (+ 1 cm), parfois plus fine (< 1 mm).

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	39.36
TiO <sub>2</sub>	0.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50.07
MnO	0.06
MgO	0.47
CaO	2.78
Na <sub>2</sub> O	0.14
K <sub>2</sub> O	1.19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20
Total	99.73

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	12.26 g
------------	---------

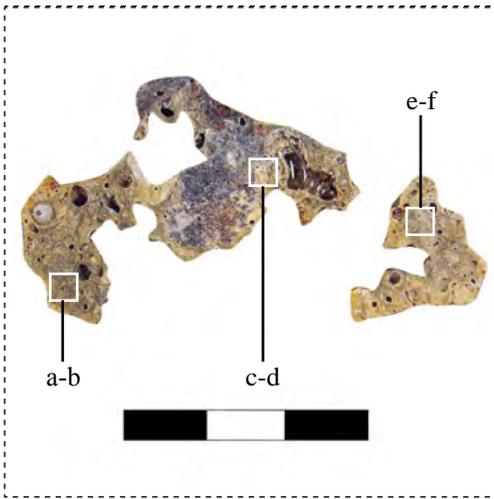
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	64.23 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	130	Cr	70
Co	270	La	30
Ni	<	Zr	370
Cu	10	V	100
Zn	<	S	160
Ba	290	Mo	60
Total			1510

## Lame épaisse



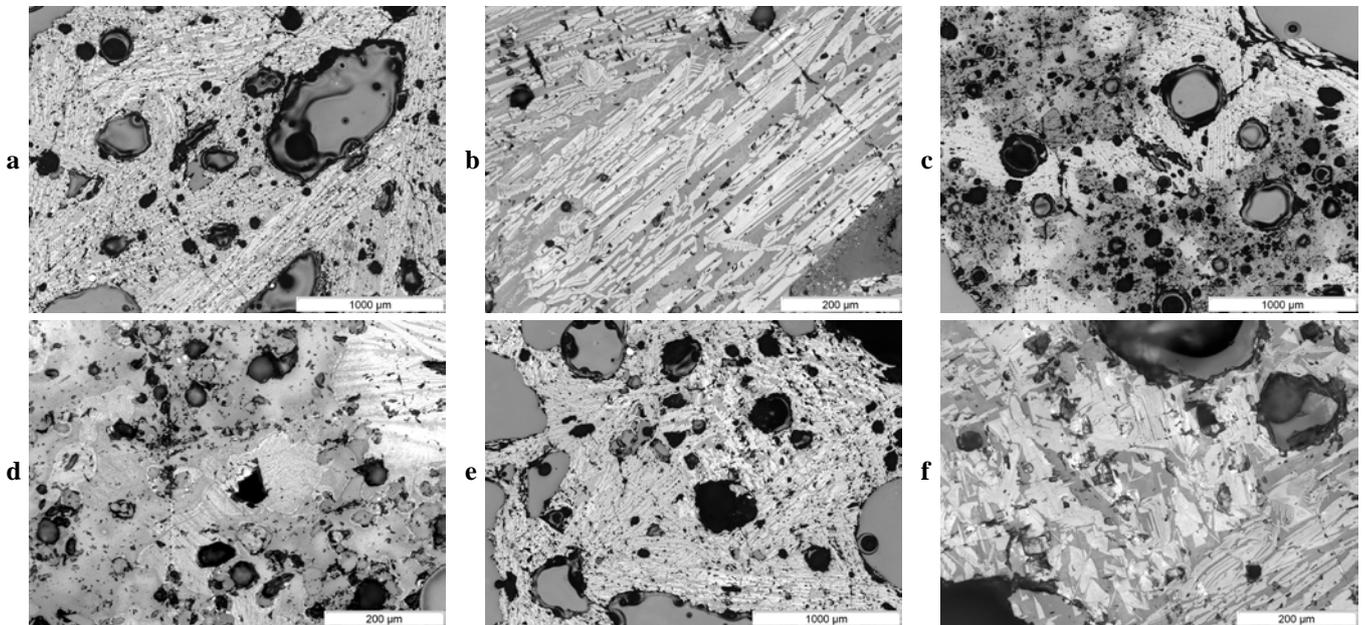
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La microstructure de la pièce est très homogène. Toute la surface de la lame est brun-jaune, couverte de cristaux de fayalite (a-e).

On observe différents habitus : des cristaux allongés en chaîne (b) fins ( $< 10 \mu\text{m}$ ) ou plus épais ( $50 \mu\text{m}$ ) mais également des cristaux en pavé et anguleux (f) ( $100 \mu\text{m}$ ).

Le nodule sableux est en fait un agglomérat de grains de quartz (entre autres) (c) cimentés par des cristaux de fayalite (c). Dans certaines zones, les fayalites ne sont pas encore bien formées (d).

## Micrographies - Lame épaisse

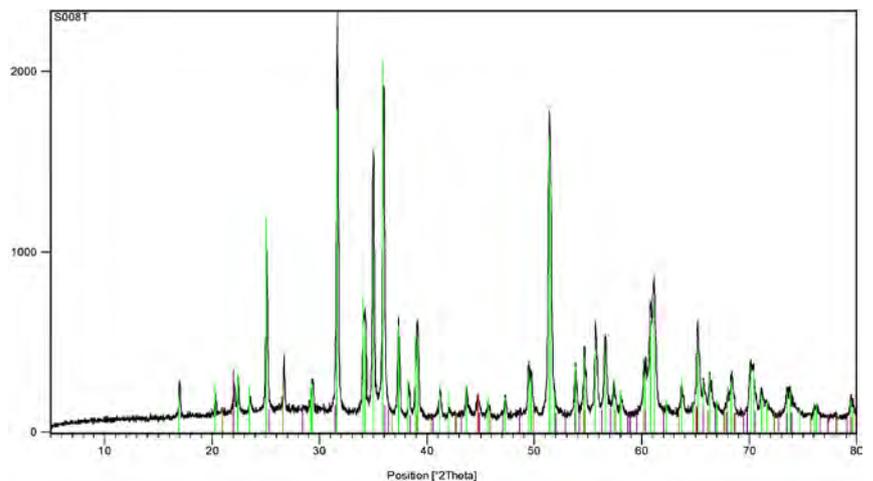


## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXXX
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)
Quartz	$\text{SiO}_2$	(X)

Minéralogie F : (Q)+(M)+F

- Le fer métallique identifié provient certainement de petites particules du nodule de fer qui sont restées dans la scorie



Residue = Peak List
00-034-0178, Fayalite, syn
01-087-0721, Iron
01-082-1232, Cristobalite, SGA
01-085-1780, Quartz, low

## Echantillon : S010

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SAS-M  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M2S (0.17 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 57 min / 35 min / 92 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 30  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 3065 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 159 g / 15.9 %  
 Répartition scorie g / % : 42 g / 20 %  
 Répartition battitures g / % : 117 g / 80 %

### Informations pièce principale

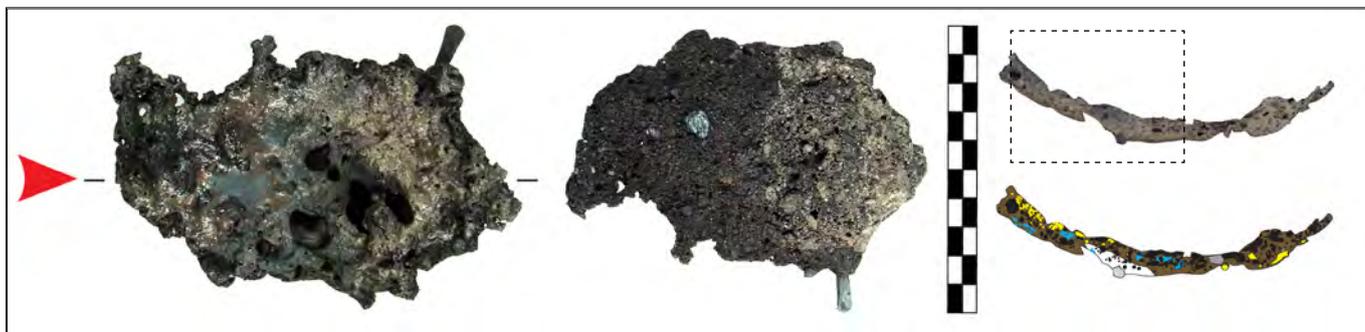
Poids - % conservation : 125 g - 76 %  
 Longueur : 13.5 cm  
 Largeur : 9.5 cm  
 Hauteur maximale : 3.0 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.1 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.4 / 3.8  
 Orientation : Déterminée  
 Profil Dessus-Dessous : Bourrelet - Convexe  
 Porosité (coupe) : 21 %  
 Aimantation (coupe) : Moyenne

### Informations petites pièces

Poids : -  
 Nombre : -  
 Forme : -  
 Nature : -

SAS 76 %	SGD 22 %
SFR 2 %	Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot entier, elliptique, peu épais et au faible relief. Une tige de fer (3.0 x 0.5 x 0.2 cm) est plantée dans la scorie.

Sur la surface supérieure, l'extrémité proximale est vitreuse avec des teintes sombres. Tout le contour de la scorie est légèrement vitrifié, de couleur gris-jaune avec des reflets métalliques. Le centre est gris mat, avec des zones couleur rouille fortement aimantées. On trouve une dizaine de charbons et leurs empreintes.

La surface inférieure est couverte d'une fine couche de sable et de cailloux. La moitié proximale, de couleur gris foncé et fortement magnétique, contient plusieurs billes de fer (< 5 mm) ainsi qu'un nodule ferreux (≈ 1 cm). L'autre moitié de la pièce, plus claire, comporte un nodule (3 mm) d'un autre métal (cuivre?) avec une aimantation moins importante.

### Observations macroscopiques - Coupe

L'extrémité proximale est faite d'un matériau argilo-sableux poreux comportant des grains de quartz et des battitures visibles à l'oeil nu.

Ailleurs, la matrice est argilo-sableuse avec des zones fayalitiques. Les porosités sont plus larges (< 1 cm) et affleurent la surface. De nombreuses croûtes d'oxydes parsèment la partie centrale de la coupe.

Le fond de la scorie comporte quelques fragments de roche.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	52.79
TiO <sub>2</sub>	0.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.76
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34.52
MnO	0.26
MgO	0.59
CaO	3.47
Na <sub>2</sub> O	0.17
K <sub>2</sub> O	1.29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.27
Total	99.54

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	3.35 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	33.66 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	140	Cr	390
Co	260	La	30
Ni	<	Zr	370
Cu	760	V	60
Zn	270	S	290
Ba	340	Mo	90
Total		3030	

- Teneur élevée en Zn

## Lame épaisse

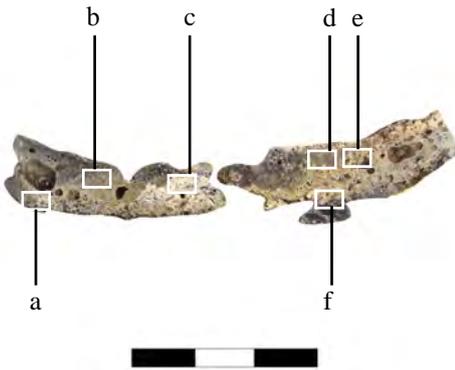
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

L'extrémité proximale (a-b) se compose d'un verre riche en Fe (Fe 20.17 wt%) très poreux, dans lequel se répartissent des grains de quartz (b) et de nombreuses croûtes d'oxydes (plates, irrégulières) en train d'être assimilées dans le verre (a).

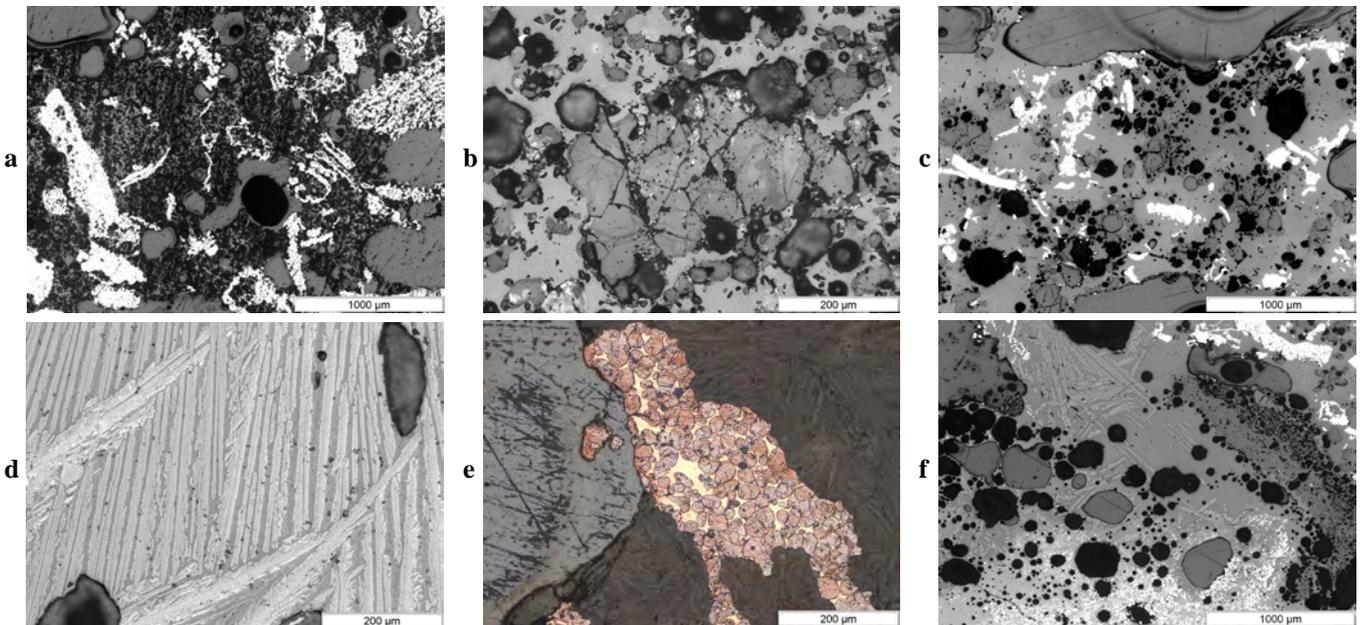
Une zone vitrifiée jaune pâle (c) révèle de nombreuses croûtes d'oxydes plates et irrégulières en cours d'assimilation dans un verre ferreux (Fe 29.92 wt%). Ce verre montre d'ailleurs les prémices de baguettes de fayalite.

Le reste de la lame est couvert de silicates de fer, sous la forme de fines baguettes allongées (d-e-f). Plus près de la sole (f), la microstructure est hétérogène : on observe des baguettes de fayalite, des croûtes d'oxydes plates, des petites particules métalliques arrondies, des zones vitrifiées, des fragments de roche.

Après attaque au Nital, les particules ferreuses sont constituées de grains de ferrite. La zone (e) n'est pas clairement identifiée.



## Micrographies - Lame épaisse

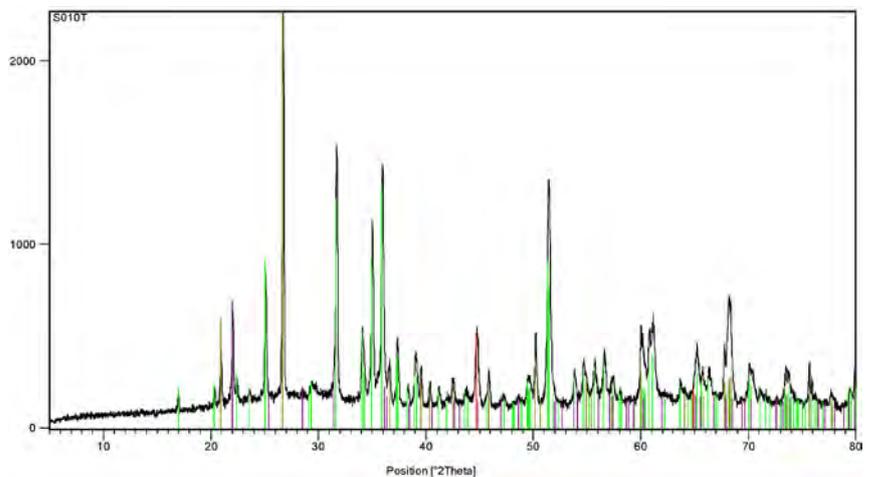


## Diffractométrie des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	X
Quartz	$\text{SiO}_2$	XXX
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	X

Minéralogie QF : Q+(M)+F

- Bruit de fond élevé



Residue - Peak List
01-078-0312; Fayalite
01-075-0443; Quartz
01-085-1410; Iron
01-078-0935; Cristobalite low

## Echantillon : S011

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SGD-SFR  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M2D (0.17 % C)

Poids du fer initial : 2x500 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 48 min / 31 min / 79 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 31  
 Nombre et type de soudures : 1 (simple)  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 1955 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 245 g / 24.5 %  
 Répartition scorie g / % : 71 g / 29 %  
 Répartition battitures g / % : 174 g / 71 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 145 g - 69 %  
 Longueur : 10.5 cm  
 Largeur : 10.0 cm  
 Hauteur maximale : 4.2 cm  
 Epaisseur moyenne : 2.3 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.0 / 2.4  
 Orientation : Déterminée  
 Profil Dessus-Dessous : Irrégulier - Plat  
 Porosité (coupe) : 30 %  
 Aimantation (coupe) : Forte

### Informations petites pièces

Poids : -  
 Nombre : -  
 Forme : -  
 Nature : -

SAS - SGD 86 %  
 SFR 14 % Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot entier, à fort relief et quart circulaire.

La surface supérieure est grise et mate. A l'extrémité proximale, on trouve un nodule couleur rouille en relief. Ailleurs, on observe quelques nodules plus petits gris jaune à reflets métalliques. Présence de charbons aux contours oxydés et d'empreintes. Moyennement magnétique.

La surface inférieure est recouverte aux 2/3 d'une fine couche sableuse et charbonneuse et comporte une dizaine de billes de fer. Le 1/3 restant est riche en inclusions de charbons ; les deux extrémités de la scorie sont très fortement magnétiques.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle une matrice fayalitique (47%) comportant une vacuole étirée sur toute la longueur de la pièce (≈ 5 cm de long) et affleurant la surface.

De nombreux fragments de métal (8 %) se sont déposés au fond de la scorie et dans sa partie médiane.

De plus, des pièces de charbons (16 %) provenant de la sole sont inclus sur la surface inférieure de la pièce.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	32.19
TiO <sub>2</sub>	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57.01
MnO	0.53
MgO	0.56
CaO	3.44
Na <sub>2</sub> O	0.17
K <sub>2</sub> O	1.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25
Total	99.51

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	5.89 g
------------	--------

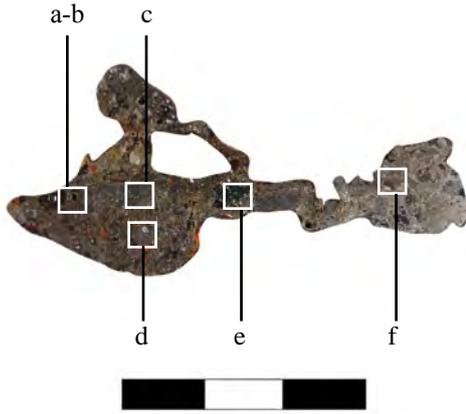
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	48.67 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	150	Cr	1270
Co	260	La	30
Ni	<	Zr	240
Cu	240	V	50
Zn	20	S	640
Ba	250	Mo	100
Total		3270	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Toute la surface de cette pièce est couverte de cristaux de fayalite : allongés plus ou moins épais (a-b-c), équi-granulaires (b) ou même en pavé (c). Des baguettes squelettiques de fayalite se développent entre les cristaux les plus gros, dans un verre riche en Fe (Fe : 20 wt%).

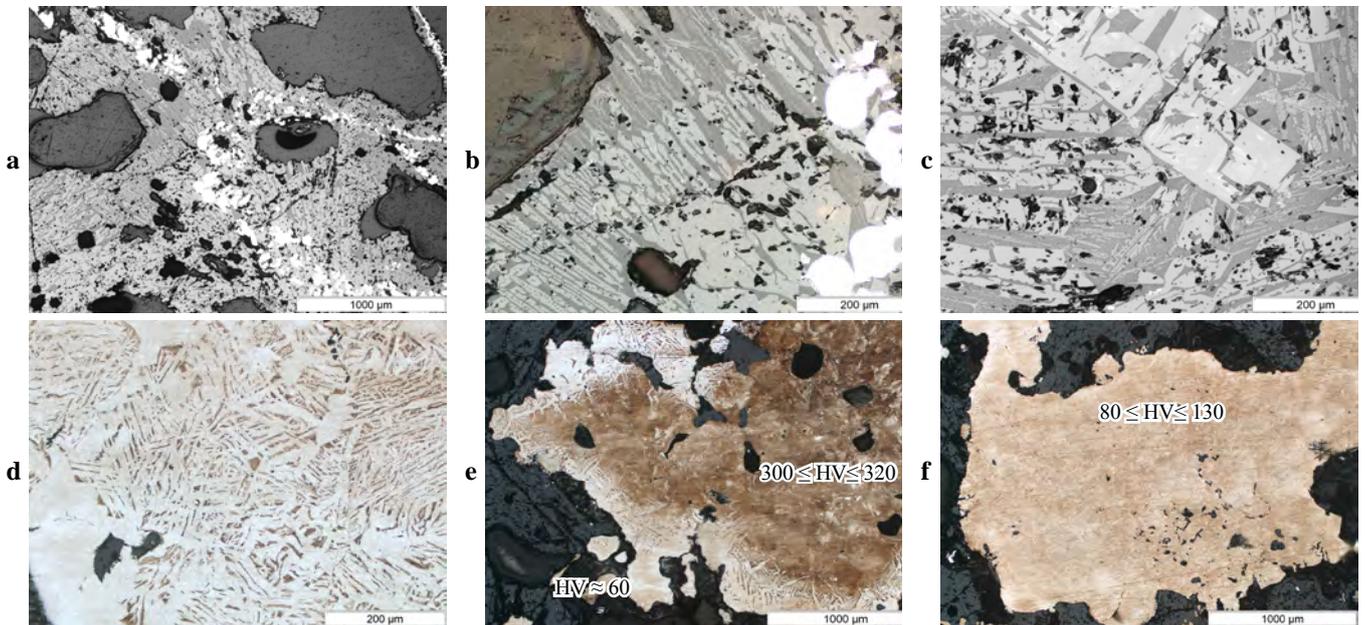
Cet échantillon est constellé de particules de métal de toutes tailles (a-b-e-f).

Après attaque chimique au Nital et observation de la microstructure du métal à plusieurs endroits de la lame, on observe que :

- les particules proches de la soufflerie (d) sont constituées de grains de ferrite aciculaire et de perlite (0.2 %C), décarburées en périphérie
- les particules éloignées de la soufflerie (f) sont de teinte brun clair, sans distinction des joints de grain, avec une fine couverture de perlite (0.1 %C).

Au centre de la pièce (e) la plus grosse des particules est faite d'acier eutectoïde (0.8 %C) sans délimitation des joints de grain et décarburée en périphérie.

## Micrographies - Lame épaisse

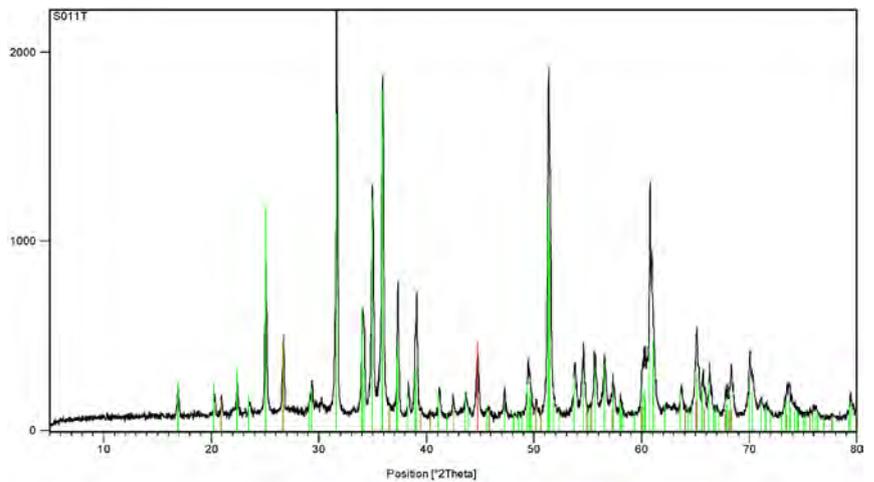


## Diffraction des rayons X

Fayalite	$Fe_2SiO_4$	XXXXX
Fer	Fe	(X)
Quartz	$SiO_2$	(X)

Minéralogie F : (Q)+(M)+F

-Minéral fayalite clairement dominant



Residue + Peak List
01-076-0512; Fayalite
01-087-0721; Fe
01-070-3755; Quartz

## Echantillon : S012

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie réduite SAS  
Lieu de forge : Kobo  
Matériel de départ : M2S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g

Temps chauffe / martelage / total : 78 min / 76 min / 154 min

Nombre cycles chauffe-martelage : 40

Nombre et type de soudures : -

Nature des ajouts : -

Utilisation des ajouts : -

Consommation de charbon : 4945 g

Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 189 g / 18.9 %

Répartition scorie g / % : 3 g / 2 %

Répartition battitures g / % : 186 g / 98 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 40 g - 28 %

Longueur : 9.2 cm

Largeur : 4.8 cm

Hauteur maximale : 1.9 cm

Epaisseur moyenne : 1.5 cm

Ellipticité / planéité : 1.9 / 3.7

Orientation : Indéterminée

Profil Dessus-Dessous : Concave - Convexe

Porosité (coupe) : 38 %

Aimantation (coupe) : Non

### Informations petites pièces

Poids : 10 g

Nombre : 2

Forme : Rognon, irrégulier

Nature : Argilo-sableux

SAS 95 %

SGD 3 %

SFR 2 %

Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite scorie argilo-sableuse, légère, allongée et de 2 fragments argilo-sableux également.

Sur la surface supérieure, on observe une zone de sable aggloméré, à l'aspect granuleux et de couleur gris clair. A l'opposé, la vitrification est plus avancée, d'aspect réfléchissant et de couleur gris. Surface insensible à l'aimantation.

Sa surface inférieure est homogènement recouverte d'un agglomérat de sable très fin, de petits cailloux (< 5 mm) et de croûtes d'oxydes visibles à l'oeil nu. Cette surface, faiblement aimantée, est de couleur gris sombre.

### Observations macroscopiques - Coupe

En coupe, on observe un niveau supérieur brun clair, formé de matériel argilo-sableux aggloméré et comportant des croûtes d'oxydes (1%) visibles à l'oeil nu.

Le niveau inférieur, brun foncé, est constitué de fragments de roches et cailloux (25 %) du fond du foyer.

La porosité est fine, abondante et régulière.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	80.14
TiO <sub>2</sub>	0.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.20
MnO	0.08
MgO	0.43
CaO	1.06
Na <sub>2</sub> O	0.06
K <sub>2</sub> O	1.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25
Total	99.73

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	-
------------	---

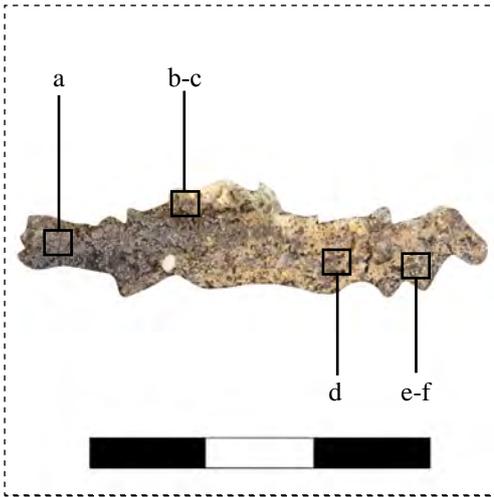
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	6.45 %
--------	--------

Eléments traces  
ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	110	Cr	40
Co	210	La	20
Ni	20	Zr	360
Cu	20	V	40
Zn	<	S	50
Ba	380	Mo	30
Total		1320	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

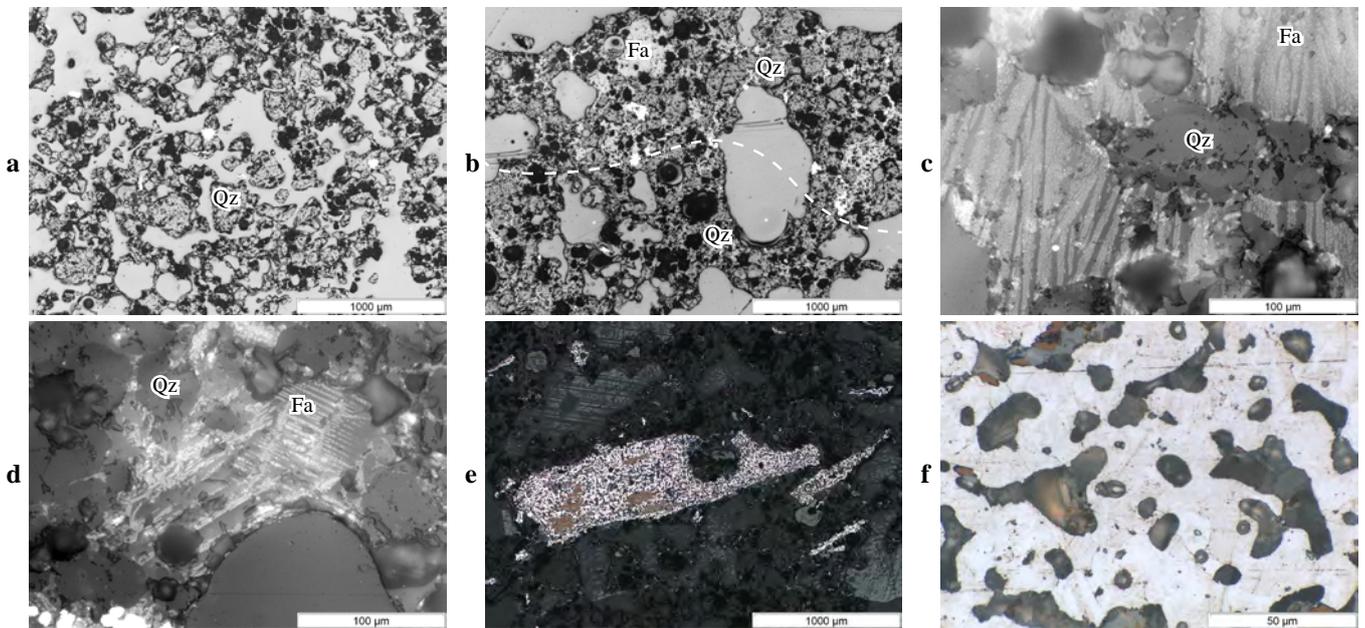
Cette pièce révèle deux niveaux, correspondant à deux microstructures différentes.

Le niveau supérieur brun clair (b haut), est constitué par des grains de quartz agglomérés entre eux par des cristaux de silicates de fer. Ces cristaux se trouvent sous la forme de baguettes allongées (c), squelettiques (d), ou même de cristaux équi-granulaires.

Le niveau inférieur brun foncé est très poreux puisqu'il est uniquement composé de grains de quartz d'environ 300 µm de longueur (a-b bas).

Les pertes de métal dans la scorie sont limitées à petites particules sub-arrondies en cours de décomposition, mais également de nombreuses croûtes d'oxydes plates (e). Après attaque chimique, ces particules se révèlent être des aciers ferritiques (f).

## Micrographies - Lame épaisse

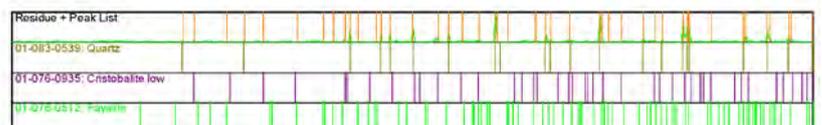
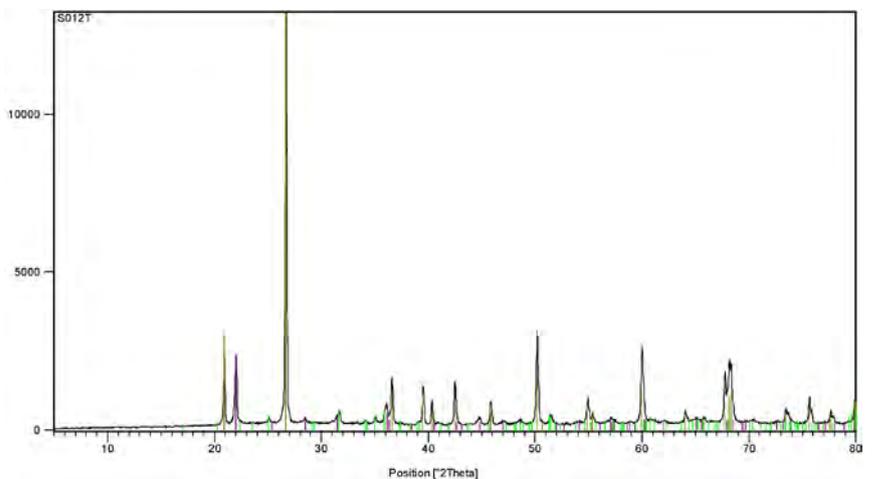


## Diffractométrie des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	(X)

Minéralogie Q : Q+(F)

- Quartz et cristobalite sont clairement les minéraux majoritaires



## Echantillon : S013

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SGD-B  
 Lieu de forge : Kobo  
 Matériel de départ : M2D (0.45 %C)

Poids du fer initial : 2x500 g

Temps chauffe / martelage / total : 121 min / 61 min / 182 min

Nombre cycles chauffe-martelage : 40

Nombre et type de soudures : 4 (2 simples - 2 replis)

Nature des ajouts : Poudre d'argile+grès+barytine

Utilisation des ajouts : Jette dans foyer-Roule barres poudre

Consommation de charbon : 6720 g

Observations particulières : 1<sup>er</sup> jour : préformage (1 cassure, apparition d'une gerce, 2 replis), 2<sup>ème</sup> jour : formage et finitions (défaut toujours visible)

Perte en fer cumulée g / % : 440 g / 44 %

Répartition scorie g / % : 138 g / 31 %

Répartition battitures g / % : 302 g / 69 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 380 g - 87 %

Longueur : 14.6 cm

Largeur : 10.8 cm

Hauteur maximale : 5.5 cm

Épaisseur moyenne : 3.2 cm

Ellipticité / planéité : 1.4 / 2.3

Orientation : Déterminée

Profil Dessus-Dessous : Bourrelet - Convexe

Porosité (coupe) : 20 %

Aimantation (coupe) : Moyenne locale

### Informations petites pièces

Poids : 15 g

Nombre : 4

Forme : Rognon, irrégulier

Nature : Sableux, fayalitique

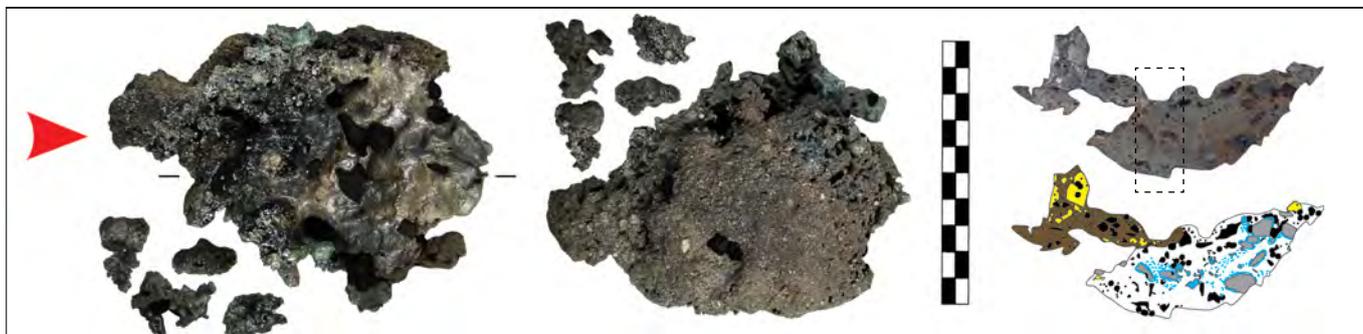
SAS

SGD

SFR

Autre

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot, triangulaire, dense, épais et de ses 4 fragments (2 sont fayalitiques, 2 sont argilo-sableux).

Un bourrelet argilo-sableux s'est formé du côté proximal : on observe une zone sombre, vitrifiée et lisse. Autour de cette zone, le matériel est plus clair, moins vitrifié et d'aspect granuleux. Pas d'aimantation et importante porosité.

Le côté distal est recouvert d'une couche superficielle vitreuse, gris à gris-jaune. On compte une dizaine de charbons (<1.5 cm) ainsi que des empreintes. Porosités de dégazage importantes, forte aimantation.

Sur la surface inférieure, le côté proximal est recouvert d'une couche sableuse grisée. Le côté distal présente un aspect déchiqueté, au relief important, et comporte une grande quantité de petits charbons. Pas de porosités, faible aimantation.

### Observations macroscopiques - Coupe

Le bourrelet argilo-sableux proximal avec ses fragments de roche (4 %) est bien visible. De nombreuses larges porosités allongées sont disposées en surface de la pièce.

Ailleurs, la matrice est fayalitique et comporte : des petits fragments et filets de métal (3 %), des pièces de charbon (10%) aux contours oxydés. Ils sont dispersés essentiellement dans la partie médiane de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	47.98
TiO <sub>2</sub>	0.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.77
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43.52
MnO	0.38
MgO	0.38
CaO	0.89
Na <sub>2</sub> O	0.05
K <sub>2</sub> O	1.22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13
Total	99.49

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	8.24 g
------------	--------

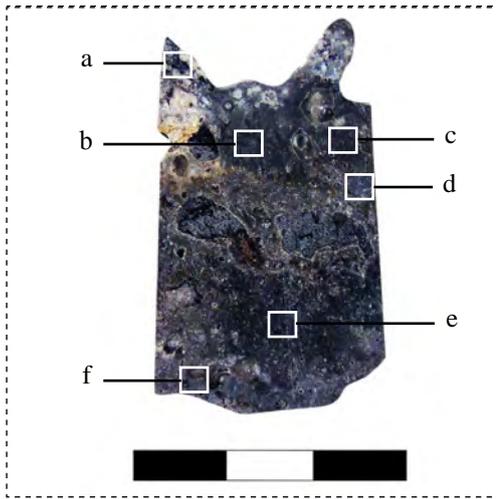
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	34.85 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	140	Cr	680
Co	230	La	70
Ni	<	Zr	110
Cu	150	V	20
Zn	<	S	200
Ba	2240	Mo	100
Total		Total	4220

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

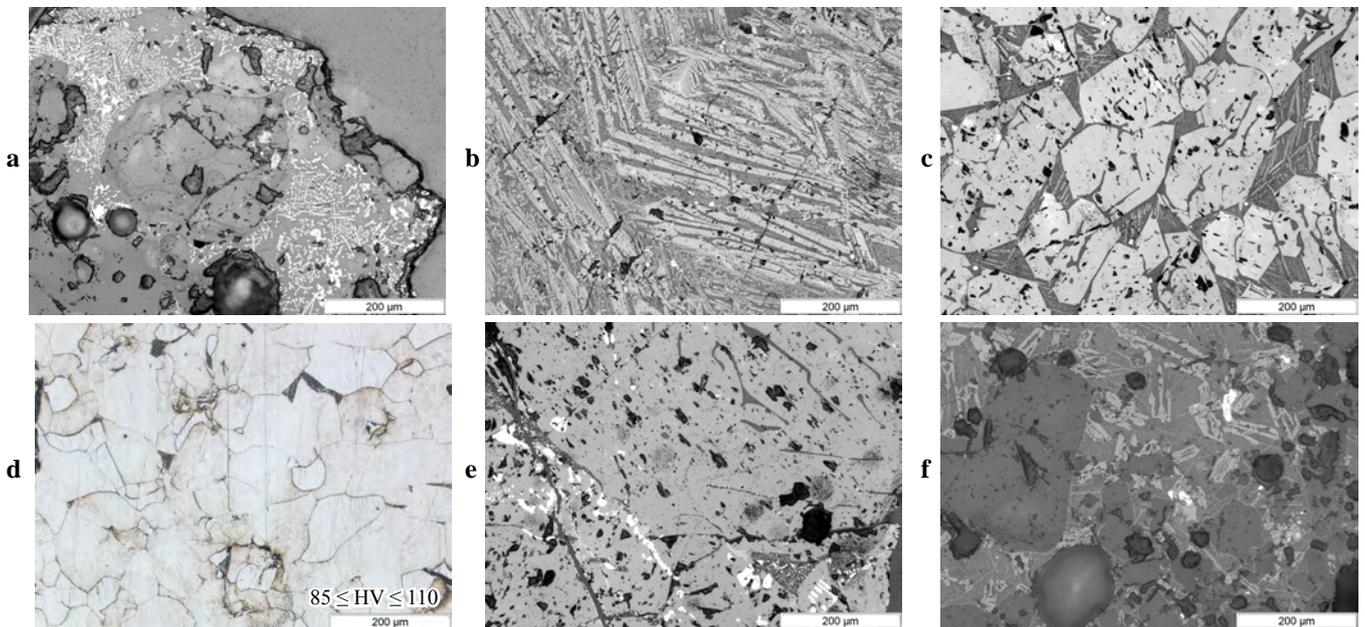
La partie supérieure de la lame est nappée d'une fine couche vitrifiée comprenant des grains de quartz cimentés entre eux par du verre (a) ou des prémices de cristaux de fayalite. Seule une zone est parsemée de dendrites d'oxydes de fer et de cristaux anguleux (magnétite? hercynite?) (a).

Ailleurs, la surface est sombre et couverte de cristaux de fayalite. Ils sont fins allongés en chaîne (b), sous la forme de cristaux équigranulaires massifs avec des lacunes de croissance (c) ou sous la forme de plaques de fayalite (e).

Le métal se rencontre essentiellement dans la partie médiane de la scorie. Après attaque au Nital, l'ensemble du métal de la lame apparaît ferritique (d), ce qui témoigne d'une décarburation dans le foyer de forge.

La base de la scorie (f) est un amalgame poreux de croûtes d'oxydes (100 µm), grains de quartz et verre dans lequel se forment des cristaux de fayalite (100 µm).

## Micrographies - Lame épaisse

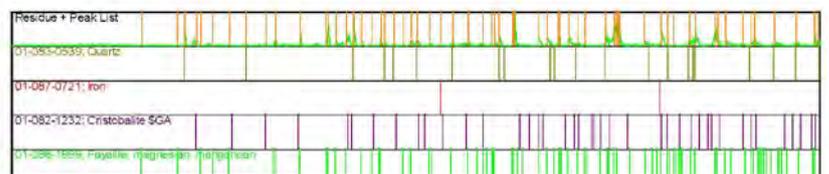
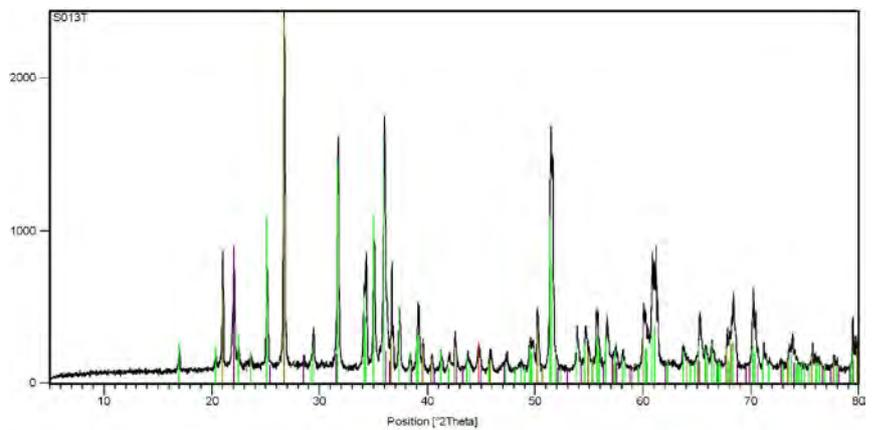


## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XX
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fayalite	(Fe, Mn)SiO <sub>4</sub>	XX

Minéralogie QF : Q+(M)+F

- Fayalite manganifère



## Echantillon : S014

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Kobo  
**Matériel de départ :** A1D (F104-365 g et F111-335 g)

**Poids du fer initial :** 700 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 57 min / 50 min / 107 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 33  
**Nombre et type de soudures :** 3 (2 replis avec insert - 1 repli)  
**Nature des ajouts :** Poudre grès+tuyère  
**Utilisation des ajouts :** Jette dans le foyer  
**Consommation de charbon :** 2810 g  
**Observations particulières :** Cassure d'une tige pendant le repli d'une barre et 1 repli obligatoire

**Perte en fer cumulée g / % :** 327 g / 46.7 %  
**Répartition scorie g / % :** 62 g / 19 %  
**Répartition battitures g / % :** 265 g / 81 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 200 g - 55 %  
**Longueur :** 12.3 cm  
**Largeur :** 8.5 cm  
**Hauteur maximale :** 4.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.4 / 2.3  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Bourrelet - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 26 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte locale

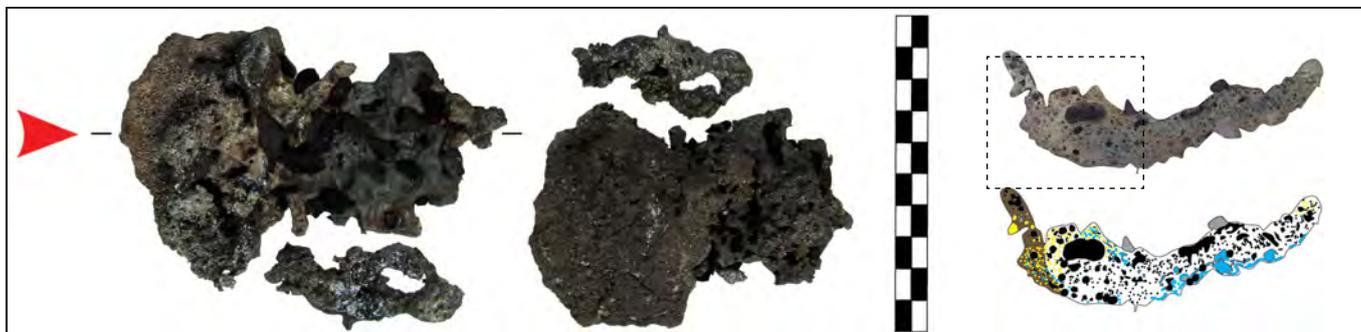
### Informations petites pièces

**Poids :** 20 g  
**Nombre :** 1  
**Forme :** Irrégulier  
**Nature :** Argilo - sableux

**SAS** 12 %  
**SFR** 5 %

**SGD** 83 %  
**Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot allongé, dense, et d'un fragment argilo-sableux vitrifié.

Le côté proximal est argilo-sableux, vitrifié, de couleur très sombre mais aussi jaunâtre ; autour de cette zone, on observe du sable aggloméré partiellement vitrifié. Sans aimantation.

Le côté distal est gris-mat, avec des inclusions de charbons aux contours oxydés ainsi que des empreintes de charbons. Faible aimantation.

Concernant la surface inférieure, le côté proximal est recouvert d'une fine couche de sable ainsi que de croûtes d'oxydes millimétriques ; aimantation moyenne. Le côté distal est recouvert de petits charbons (< 1cm) aux pourtours oxydés ; aimantation moyenne.

### Observations macroscopiques - Coupe

Le bourrelet vitrifié proximal comporte des grains de quartz (1%).

Le reste de la scorie révèle une matrice fayalitique poreuse. Les plus larges sont irrégulières et affleurent la surface.

Le fond de la pièce comporte des fragments de métal (3 %) tandis que les croûtes d'oxydes (1 %) se répartissent au fond mais aussi en surface.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	51.73
TiO <sub>2</sub>	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38.38
MnO	0.08
MgO	0.39
CaO	1.41
Na <sub>2</sub> O	0.11
K <sub>2</sub> O	1.37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15
Total	99.77

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	1.37 g
------------	--------

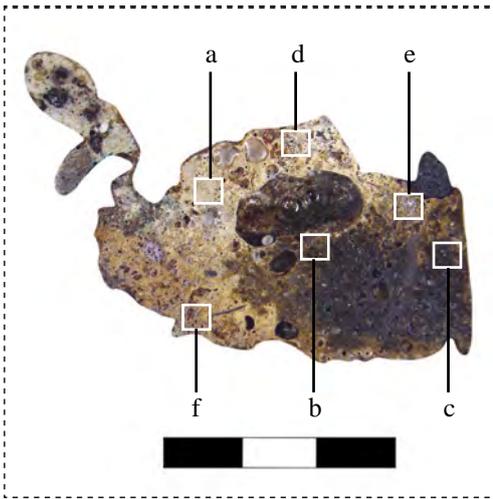
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	28.29 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	100	Cr	50
Co	230	La	50
Ni	<	Zr	220
Cu	<	V	40
Zn	<	S	120
Ba	680	Mo	60
Total		1590	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Du côté de la soufflerie, les nombreux grains de quartz sont cimentés entre eux par des cristaux de fayalite en gerbe (a) ou en chaîne.

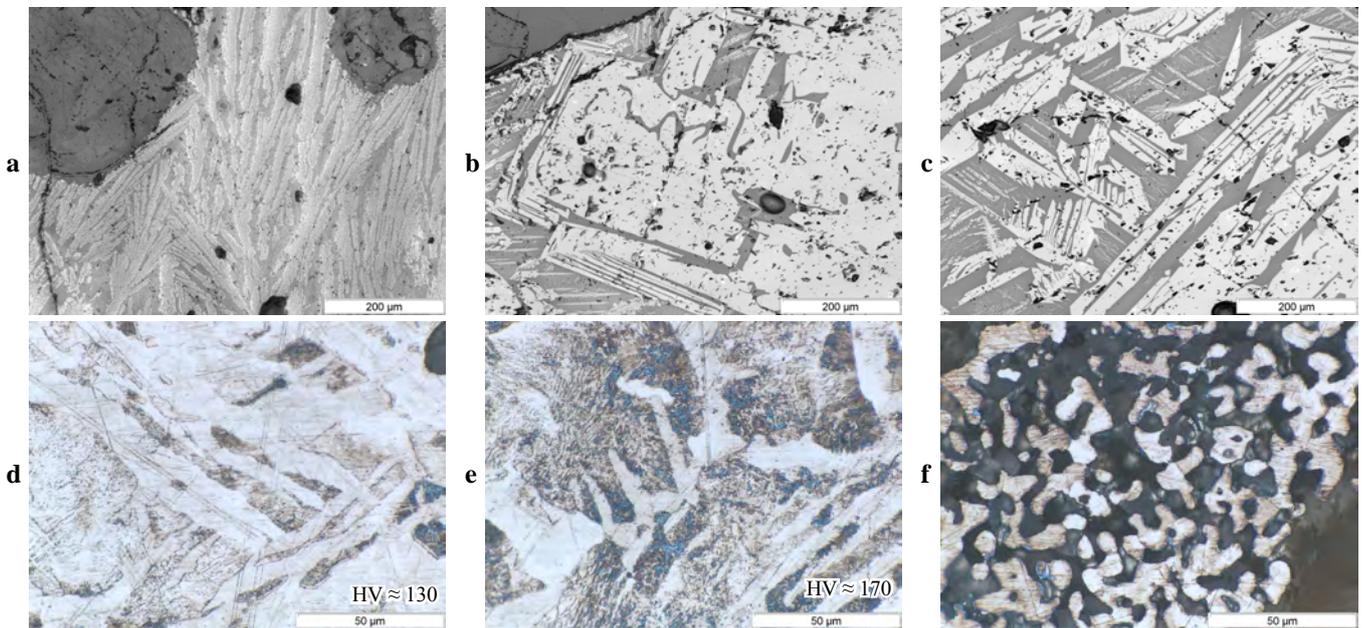
Le coeur de la scorie montre une teinte très sombre. La microstructure de cette zone montre des cristaux de fayalite de grandes dimensions (jusqu'à 1 mm de longueur). On observe des formes équigranulaires (c), en pavé (b) ou en baguette (c).

Des particules métalliques sont dispersées en surface du côté de la soufflerie mais aussi au fond de la scorie. On y trouve de nombreuses croûtes d'oxydes plates (jusqu'à 1 mm de longueur) (f) mais aussi des particules irrégulières plus petites.

Après attaque chimique au Nital, les particules dispersées sont toutes constituées de ferrite aciculaire et de perlite, jusqu'à 0.4 %C.

Les croûtes d'oxydes et autres oxydes de fer sont plus ou moins décomposés dans la matrice vitreuse. Il sont uniquement formés de grains de ferrite (f).

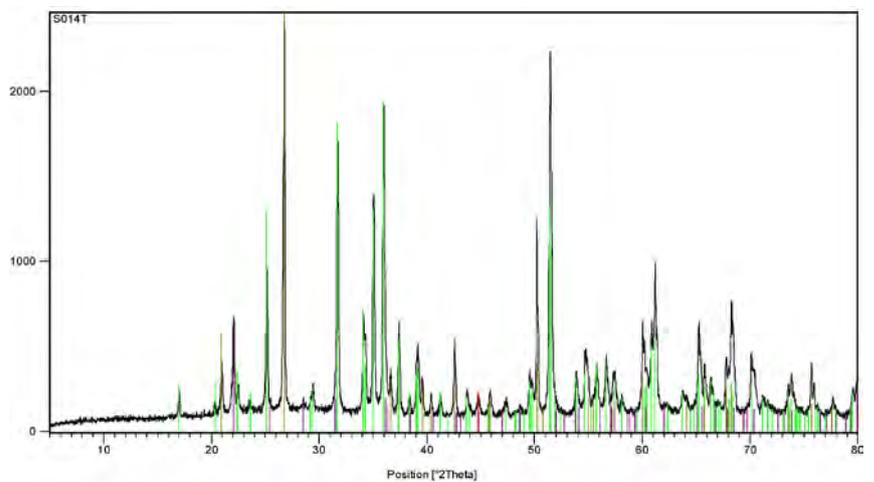
## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XX
Quartz	$\text{SiO}_2$	XX
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	$\text{SiO}_2(\text{HT})$	X

Minéralogie QF : Q+(M)+F



Residue + Peak List
01-087-0215: Fayalite syn
01-085-0457: Quartz low
01-087-0721: Iron
01-078-0935: Cristobalite low

## Echantillon : S015

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Kobo  
**Matériel de départ :** A2D (F207-380 g et F209-320 g)

**Poids du fer initial :** 700 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 86 min / 67 min / 153 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 39  
**Nombre et type de soudures :** 2 (1 repli avec insert - 1 multiple)

**Nature des ajouts :** Poudre grès+tuyère+sable  
**Utilisation des ajouts :** Jette dans le foyer

**Consommation de charbon :** 4395 g

**Observations particulières :** 2 cassures de tige pendant le repli des barres, 1 repli obligatoire supplémentaire

**Perte en fer cumulée g / % :** 373 g / 53.3 %

**Répartition scorie g / % :** 128 g / 34 %

**Répartition battitures g / % :** 245 g / 66 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 390 g - 92 %

**Longueur :** 12.3 cm

**Largeur :** 12.0 cm

**Hauteur maximale :** 5.0 cm

**Epaisseur moyenne :** 4.0 cm

**Ellipticité / planéité :** 1.0 / 2.4

**Orientation :** Déterminée

**Profil Dessus-Dessous :** Bourrelet - Convexe

**Porosité (coupe) :** 21 %

**Aimantation (coupe) :** Faible

### Informations petites pièces

**Poids :** -

**Nombre :** -

**Forme :** -

**Nature :** -

**SAS** 6 %

**SGD** 89 %

**SFR** 5 %

**Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot complet, circulaire, dense et épais.

A l'extrémité proximale, on rencontre une zone vitrifiée sombre. La partie centrale de la pièce est grise avec des reflets métalliques, à faible relief, et comporte une quinzaine de charbons ainsi que des empreintes de charbons. Toute la bordure externe de la scorie est couverte d'une fine couche vitreuse plus ou moins fondue de couleur jaunâtre, d'aspect lisse ou granuleuse. Faible aimantation.

La surface inférieure est nappée de sable qui s'est aggloméré sous l'effet de la chaleur. Présence de charbons incrustés (jusqu'à 15 mm de longueur). Aimantation moyenne.

### Observations macroscopiques - Coupe

La zone argilo-sableuse (4 %) proximale comporte quelques grains de quartz (<1 %).

La scorie se compose d'une matrice faylaitique sombre parsemée de porosités. Les plus larges (1 cm) se situent dans la partie haute et au contact des charbons. Des fragments de charbon (10 %) se trouvent en périphérie.

Des filaments de métal et des croûtes d'oxydes (3 %) sont répartis dans le fond de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	43.85
TiO <sub>2</sub>	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46.25
MnO	0.07
MgO	0.37
CaO	1.12
Na <sub>2</sub> O	0.07
K <sub>2</sub> O	1.15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.31
Total	99.79

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait 0.60 g

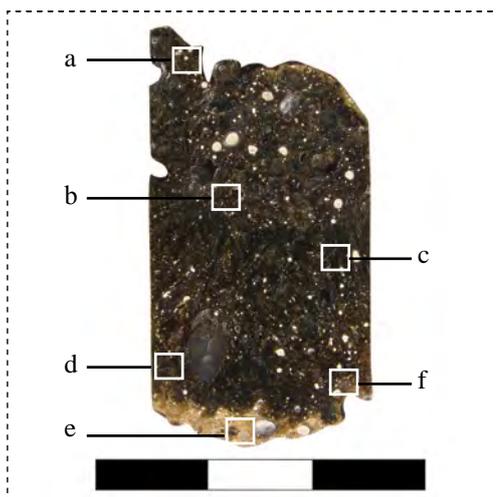
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot 32.71 %

Eléments traces  
 ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	90	Cr	60
Co	260	La	40
Ni	<	Zr	160
Cu	30	V	50
Zn	10	S	140
Ba	540	Mo	80
Total		1490	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

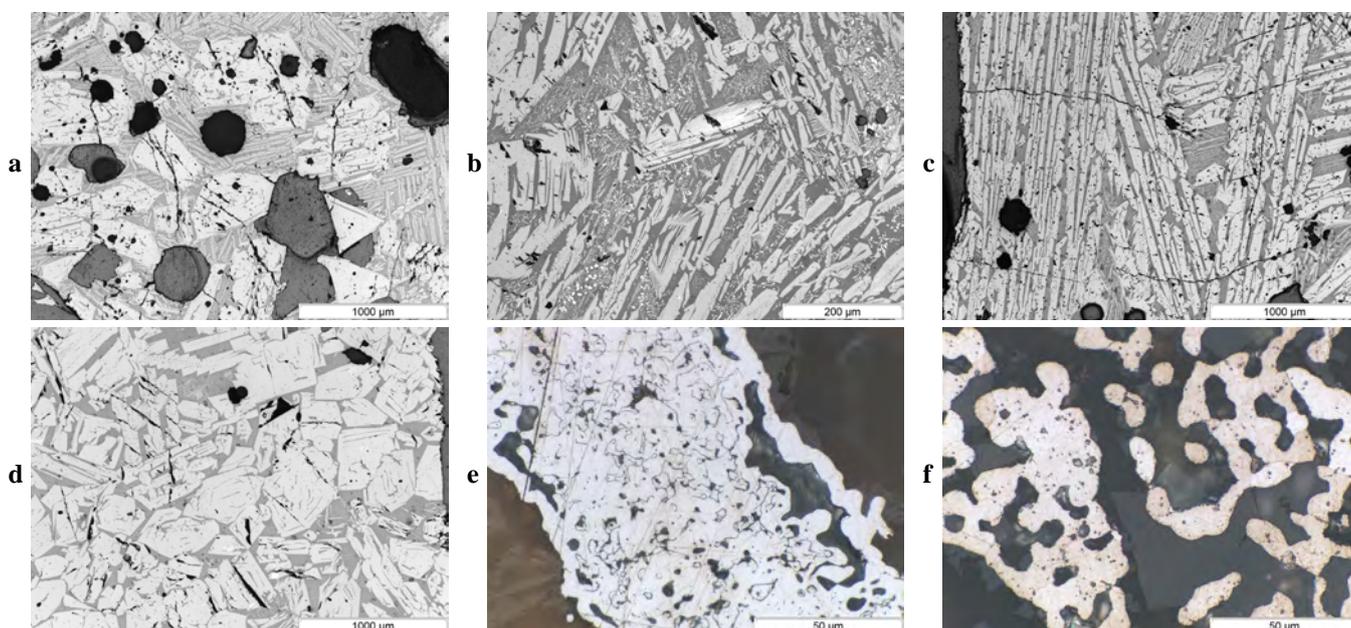
La microstructure de cette pièce révèle l'omniprésence de silicates de fer baignant dans un verre riche en fer (Fe 22 wt% minimum). Ce minéral est observé sous différents habitus :

- de larges polyèdres à base rectangulaire, carrée ou triangulaire (a-d), pouvant résulter de la fusion de plusieurs cristaux allongés,
- des cristaux allongés en chaîne (c), parfois dispersés entre les grands cristaux (a-b),

Les zones vitreuses les plus riches en Fe laissent voir la formation de spinelles anguleuses (magnétite?) de teinte claire (c).

A la base de la scorie, on observe des croûtes d'oxydes (e) parfois en cours de décomposition dans le verre (f), ce qui provoque la formation de cristaux de silicates de fer. Ces particules métalliques sont exclusivement formées de grains de ferrite (e-f).

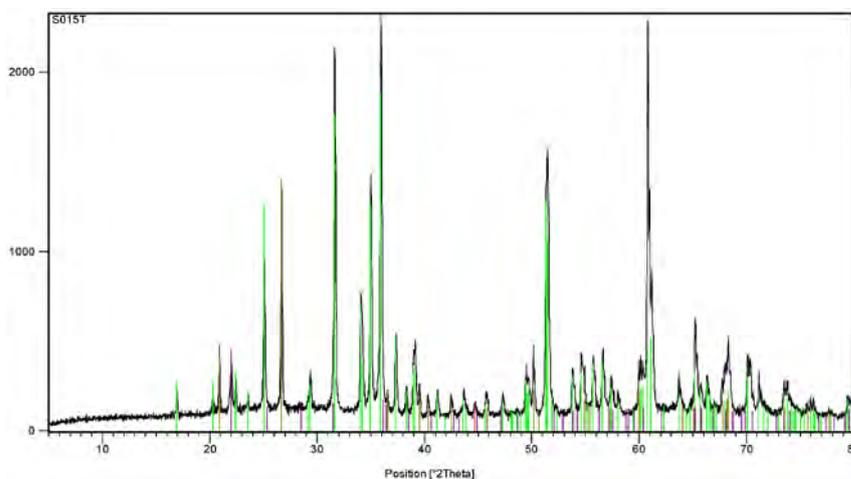
## Micrographies - Lame épaisse



## Diffractométrie des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXX
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)

Minéralogie FQ : Q+(M)+F



Residue = Peak List
01-087-0315; Fayalite, cyn
01-088-2237; Quartz
03-085-8130
01-075-0923; Cristobalite low

## Echantillon : S016

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Kobo  
**Matériel de départ :** M1D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x350 g

**Temps chauffe / martelage / total :** 78 min / 51 min / 129 min

**Nombre cycles chauffe-martelage :** 38

**Nombre et type de soudures :** 4 (2 simples-1 repli insert-1 multiple)

**Nature des ajouts :** Poudre grès+tuyère

**Utilisation des ajouts :** Jette dans le foyer

**Consommation de charbon :** 3175 g

**Observations particulières :** Coupe chaque barre en deux avant de souder. Cassure d'un morceau de barre pendant une soudure. 2 replis obligatoires supplémentaires

**Perte en fer cumulée g / % :** 304 g / 43.4 %

**Répartition scorie g / % :** 116 g / 38 %

**Répartition battitures g / % :** 188 g / 62 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 250 g - 91 %

**Longueur :** 10.4 cm

**Largeur :** 9.6 cm

**Hauteur maximale :** 4.7 cm

**Epaisseur moyenne :** 3.8 cm

**Ellipticité / planéité :** 1.1 / 2.1

**Orientation :** Déterminée

**Profil Dessus-Dessous :** Bourrelet - Convexe

**Porosité (coupe) :** 35 %

**Aimantation (coupe) :** Forte locale

### Informations petites pièces

**Poids :** 20 g

**Nombre :** 4

**Forme :** Irrégulier

**Nature :** Sableux, fayalitique

**SAS** 11 %

**SGD** 72 %

**SFR** 17 %

**Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot dense, épais, circulaire avec un bras argilo-sableux et de 4 fragments (2 sont fayalitiques, 2 sont argilo-sableux).

Sur la surface supérieure, du côté proximal, un bras argilo-sableux vitrifié et sombre s'est formé; une de ses bordures, recouverte d'une fine couche de sable jaunâtre en cours de vitrification, remontait sur la paroi du foyer. Le reste de la pièce est gris avec des reflets métalliques et des incrustations de charbon. Moyennement magnétique.

Sa surface inférieure présente un aspect fondu du côté proximal, et un aspect décheté partout ailleurs (dû au lit de charbon sur lequel la scorie s'est formée). La bordure qui remontait sur la paroi du foyer est couverte de sable gris et de petits charbons. Fortement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

Le bras argilo-sableux proximal (4 %) comporte quelques fragments de roches (2 %).

La matrice fayalitique, très poreuse, comporte deux larges vacuoles horizontales (≈ 3-4 cm) l'une sous l'autre et affleurant la surface.

La partie inférieure de la scorie est couverte de métal (10 %). Les fragments les plus gros (4 - 5 mm) ont répartis dans la partie médiane tandis que le fond de la pièce est tapissé de petites particules (< 1 mm).

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	34.66
TiO <sub>2</sub>	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54.18
MnO	0.36
MgO	0.44
CaO	1.00
Na <sub>2</sub> O	0.08
K <sub>2</sub> O	1.71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14
Total	99.65

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	9.35 g
------------	--------

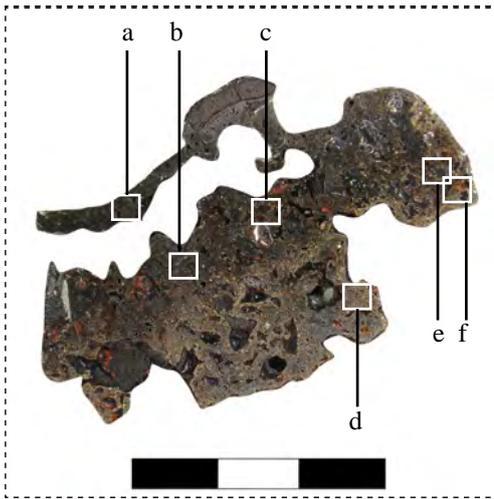
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	42.93 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	50	Sc	<
Sr	80	Cr	790
Co	260	La	40
Ni	<	Zr	100
Cu	340	V	30
Zn	<	S	120
Ba	420	Mo	80
Total		2310	

## Lame épaisse



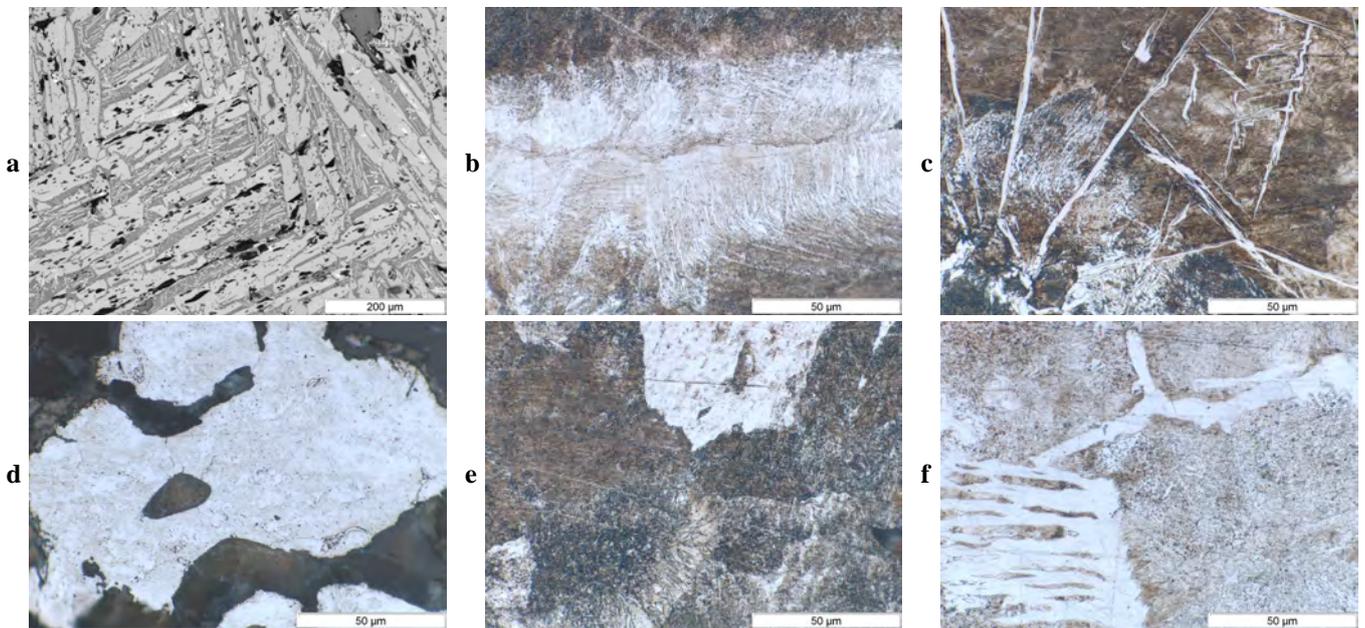
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La microstructure révèle la présence de cristaux de fayalite sur toute la surface de la lame. On observe des baguettes allongées (a) mais aussi des prismes massifs (1 mm de longueur). Le verre interstitiel contient des spinelles (a).

Le forgeage a généré de nombreuses des pertes de métal concentrées essentiellement dans moitié inférieure de la pièce. L'attaque chimique au Nital, révèle divers faciès.

- Pour 50 % des particules on observe des plages brunes recouvertes d'une perlite dense et des plages claires nues (e) : aciers entre 0.6 et 0.8 %C.
- Environ 20 % montrent des joints de cémentite (c) : aciers à 1 %C.
- Environ 20 % sont des petites particules dispersées au fond de la scorie (d). Elles sont formées de grains de ferrite : aciers ferritiques.
- Environ 10 % des particules sont formées de ferrite aciculaire et de perlite (f) : aciers à 0.2 %C max.
- Anecdote : un joint de soudure formé de perlite lamellaire (b).

## Micrographies - Lame épaisse

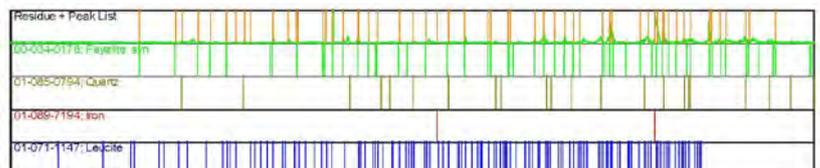
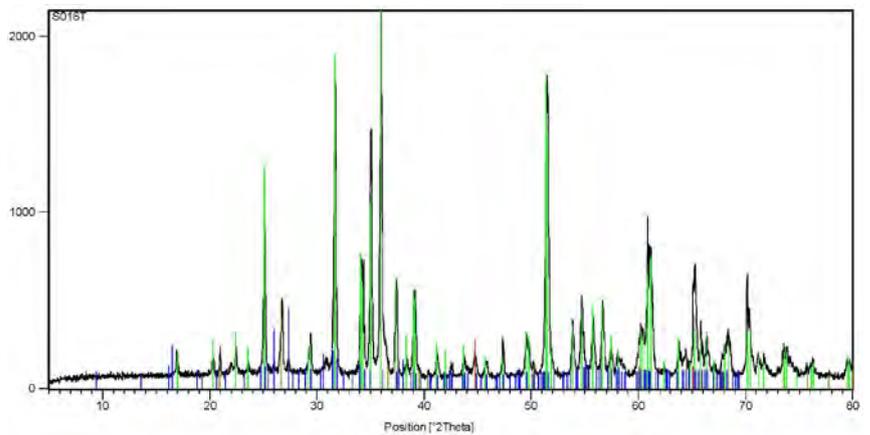


## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXXX
Quartz	$\text{SiO}_2$	(X)
Fer	Fe	(X)
Leucite	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	(X)

Minéralogie F : (Q)+(M)+F+(A)

- Présence de leucite cependant non observée au microscope



## Echantillon : S017

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SGD-B  
Lieu de forge : Kobo  
Matériel de départ : M1D (0.35 %C)

Poids du fer initial : 2x350 g

Temps chauffe / martelage / total : 97 min / 64 min / 161 min

Nombre cycles chauffe-martelage : 38

Nombre et type de soudures : 3 (2 replis - 1 simple)

Nature des ajouts : Poudre grès+tuyère+barytine

Utilisation des ajouts : Jette dans le foyer

Consommation de charbon : 4985 g

Observations particulières : 2 cassures des barres de fer au préfor-  
mage. 1 trempe avant de souder

Perte en fer cumulée g / % : 298 g / 42.6 %

Répartition scorie g / % : 108 g / 36 %

Répartition battitures g / % : 190 g / 64 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 320 g - 89 %

Longueur : 12.5 cm

Largeur : 13.7 cm

Hauteur maximale : 5.5 cm

Épaisseur moyenne : 3.0 cm

Ellipticité / planéité : 0.9 / 2.4

Orientation : Déterminée

Profil Dessus-Dessous : Bourrelet - Convexe

Porosité (coupe) : 29 %

Aimantation (coupe) : Moyenne locale

### Informations petites pièces

Poids : -

Nombre : -

Forme : -

Nature : -

SAS 15 %

SGD 80 %

SFR 5 %

Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot entier, dense, circulaire avec un bras.

Sur la surface supérieure (non aimantée), on trouve :

- du côté proximal : une zone vitreuse sombre
- sur la partie centrale de la scorie : une fine couverture vitrifiée jaunâtre, des inclusions de gros charbons (< 25 mm), des empreintes de charbons et une importante quantité de porosités de dégazage (< 0.5 mm)
- sur les bordures : du matériel argilo-sableux (ajouts, petits cailloux) clair et granuleux

La surface inférieure est recouverte par une couche grise de sable, petits cailloux et charbons (< 10 mm) aux pourtours oxydés ; certaines zones centrales sont très aimantées.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe est hétérogène. L'extrémité proximale est argilo-sableuse (8 %).

La matrice fayalitique est parsemée de larges porosités irrégulières (1 cm) et de porosités fines verticales (0.5 cm) réparties au fond de la scorie.

Près de la surface on compte une grande quantité de porosités fines et circulaires (< 1 mm) contiguës des charbons (11 %).

Toute la surface inférieure est couverte de fines particules de métal (3 %).

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	34.66
TiO <sub>2</sub>	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54.18
MnO	0.36
MgO	0.44
CaO	1.00
Na <sub>2</sub> O	0.08
K <sub>2</sub> O	1.71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14
Total	99.65

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	13.26 g
------------	---------

Recalcul fer total  
% de poids

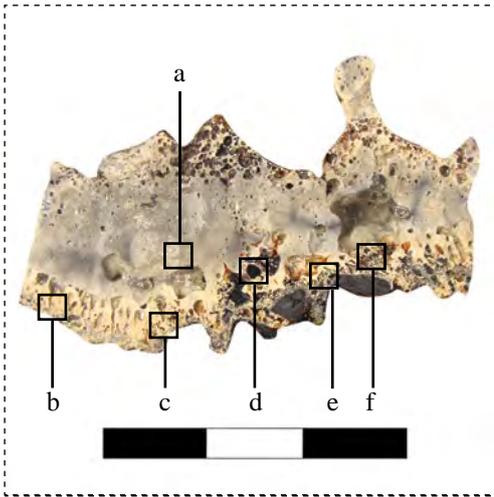
Fe tot	33.65 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	70	Sc	<
Sr	220	Cr	370
Co	180	La	30
Ni	<	Zr	190
Cu	130	V	20
Zn	<	S	210
Ba	3590	Mo	70
Total		5080	

- Teneur importante  
en Ba du fait d'ajout  
de barytine comme  
fondant

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La microstructure révèle l'omniprésence de cristaux allongés de silicates de fer sur toute la surface de la lame (a). Deux sortes de cristaux sont visibles : des baguettes «en plume» très épatées (a) correspondant à des zones jaune clair situées à la base et à la surface de la scorie, mais aussi des baguettes fines et resserrées (a) correspondant à des zones jaune sombre au coeur de la pièce.

De fines particules de métal sont dispersées au fond de la scorie.

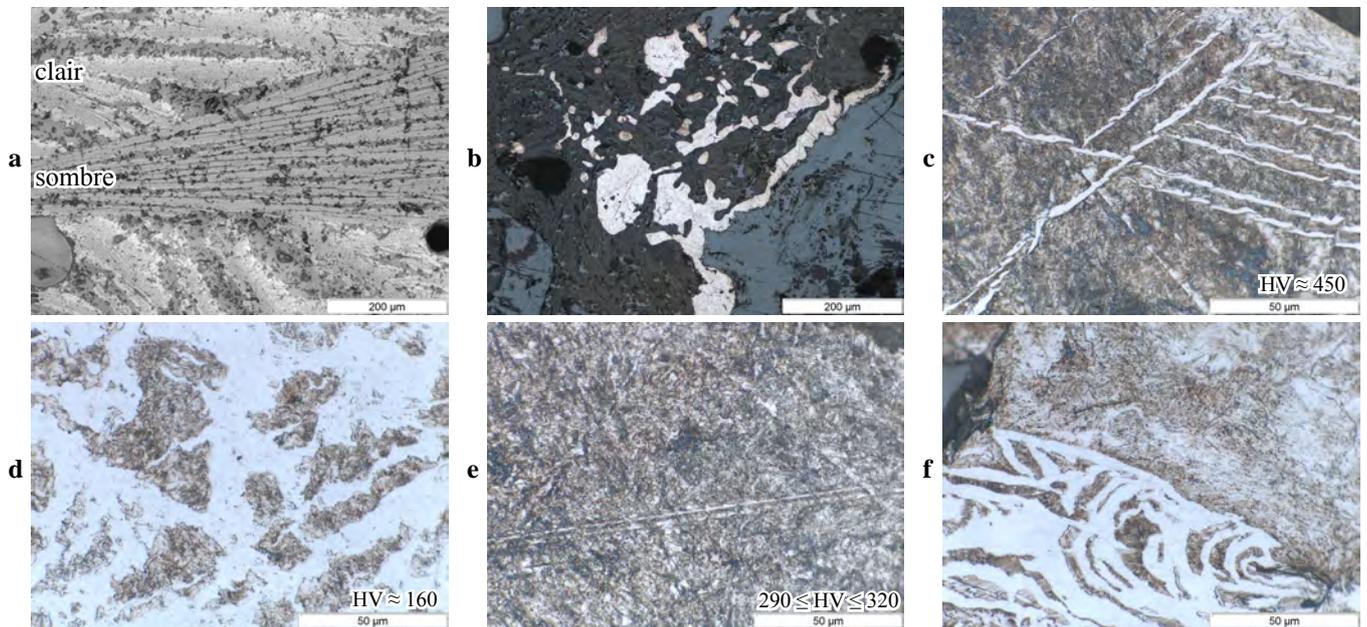
- Après attaque au Nital, les particules placées le plus en hauteur (60 %) montrent une texture homogène, couverte d'une pellicule brune de perlite fine (c-e-f) ; il s'agit d'aciers eutectoïdes à 0.8 %C.

- Environ 20 % (dont la plus grande particule de la lame - nodule de 1.5 mm de diamètre - d) sont formées exclusivement de grains de ferrite aciculaire et de perlite (d-f). Elles sont formées d'un acier à 0.4 %C max.

- Une seule particule, plus carburée, montre des bandes de cémentite (c).

- Dans la partie la plus basse de la scorie se trouvent des fins filets de métal (20 %) qui sont des aciers ferritiques (b).

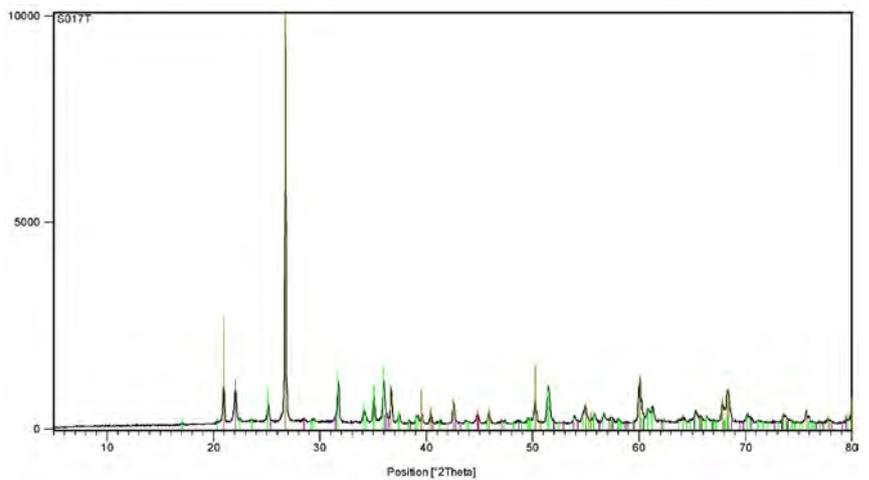
## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+F



Residue + Peak List
01-078-2315; Quartz
01-078-0512; Fayalite
01-087-0721; Iron
01-077-1315; Cristobalite low. syn

## Echantillon : S018

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie réduite SAS  
Lieu de forge : Kobo  
Matériel de départ : M2S (0.17 %C)

Poids du fer initial : 1000 g

Temps chauffe / martelage / total : 101 min / 87 min / 188 min

Nombre cycles chauffe-martelage : 44

Nombre et type de soudures : -

Nature des ajouts : -

Utilisation des ajouts : -

Consommation de charbon : 5235 g

Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 150 g / 15 %

Répartition scorie g / % : 7 g / 5 %

Répartition battitures g / % : 143 g / 95 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 85 g - 46 %

Longueur : 11.5 cm

Largeur : 9.9 cm

Hauteur maximale : 3.9 cm

Épaisseur moyenne : 1.3 cm

Ellipticité / planéité : 1.2 / 2.7

Orientation : Indéterminée

Profil Dessus-Dessous : Concave - Convexe

Porosité (coupe) : 42 %

Aimantation (coupe) : Non

### Informations petites pièces

Poids : 15 g

Nombre : 3

Forme : Rognon, irrégulier

Nature : Argilo - sableux

SAS 95 %

SGD 5 %

SFR -

Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une pièce légère, circulaire à l'origine, au relief faible et de 3 fragments.

La surface supérieure est constituée de petits cailloux blancs (< 2 mm) et de sables gris et gris clair partiellement fondus, ce qui lui donne un aspect granuleux. Porosité abondante et régulière due aux matériaux qui constituent la scorie; pas d'aimantation.

Sa surface inférieure est constituée de sable gris foncé et de petits charbons (< 5 mm) provenant de la sole sur laquelle la scorie s'est formée. On trouve par endroits quelques billes de fer oxydées. Faible aimantation sur ces zones.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle deux catégories de matériaux : du matériel vitrifié ou cristallisé ou sableux non vitrifié.

La couche haute est formée de grains de quartz visibles à l'oeil nu, cimentés par un matériel vitrifié.

La couche basse, plus sombre, comporte des grains de quartz, quelques pièces de charbon (6 %) et de rares particules de métal (< 1 %).

La porosité est fine, régulière et importante.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Éléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	80.08
TiO <sub>2</sub>	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.02
MnO	0.10
MgO	0.48
CaO	1.58
Na <sub>2</sub> O	0.07
K <sub>2</sub> O	1.35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22
Total	99.68

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	-
------------	---

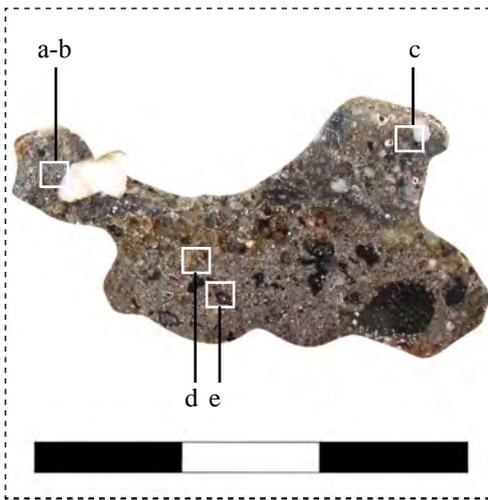
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	7.03 %
--------	--------

Éléments traces  
ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	140	Cr	70
Co	160	La	10
Ni	10	Zr	320
Cu	50	V	20
Zn	<	S	130
Ba	1040	Mo	40
Total		2030	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

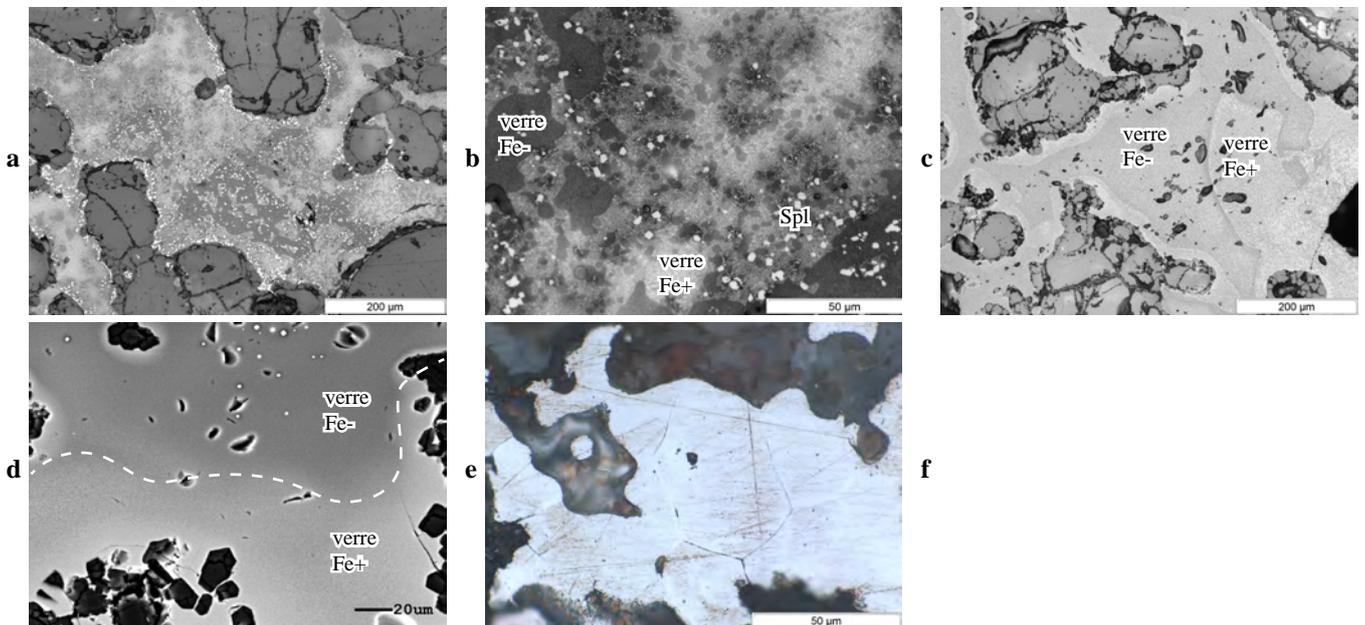
La microstructure révèle la forte proportion ( $\approx 75\%$ ) de grains de quartz (a-c-e) sur toute la surface de la lame. Dans la partie basse, ces grains sont libres tandis que dans la partie haute ils sont cimentés par du verre (a-b-c-d). La microtexture de ces zones montre soit un verre hétérogène (a-b-c) soit un verre lissé et homogène (d).

- Les zones les plus riches en Fe, de teinte claire, sont principalement réparties le long des grains de quartz (a-c-d). Elles voient la formation de cristaux de spinelles (a-b) mais aussi de prémisses de silicates de fer (b).  
Composition : (a) wt% : Fe 16.68 - K 3.48 et (d) wt% : Fe 23.78 - K 1.87.

- Les zones les moins riches en Fe sont plus sombres.  
Composition : (a) wt% : Fe 11.07 - K 4.01 et (d) wt% : Fe 16.14 - K 3.30.

Les rares particules de métal au fond de la scorie sont formées de ferrite exclusivement (e).

## Micrographies - Lame épaisse

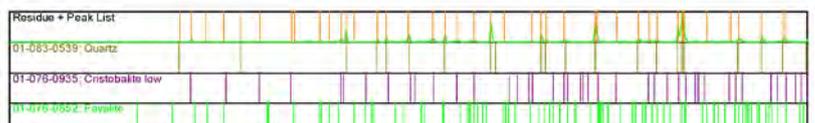
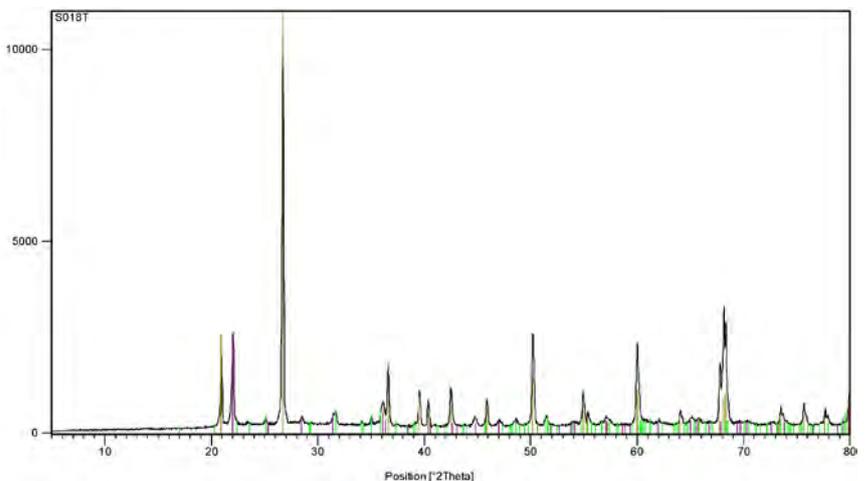


## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	(X)

Minéralogie QF : Q+(F)

- Peu de fayalite en présence car peu d'apport en fer



## Echantillon : S020

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SGD-SFR  
Lieu de forge : Kobo  
Matériel de départ : M2D (0.17 %C)

Poids du fer initial : 2x500 g  
Temps chauffe / martelage / total : 76 min / 55 min / 131 min  
Nombre cycles chauffe-martelage : 32

Nombre et type de soudures : 1

Nature des ajouts : Poudre grès+tuyère+barytine

Utilisation des ajouts : Jette dans le foyer

Consommation de charbon : 4500 g

Observations particulières : Soudure «latérale» créant un large entaille dans le lopin. Nombreux cycles de travail pour tenter de résorber l'entaille dans la lame

Perte en fer cumulée g / % : 347 g / 34.7 %

Répartition scorie g / % : 198 g / 57 %

Répartition battitures g / % : 149 g / 43 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 315 g - 94 %

Longueur : 11.5 cm

Largeur : 9.5 cm

Hauteur maximale : 4.5 cm

Épaisseur moyenne : 4.0 cm

Ellipticité / planéité : 1.2 / 2.3

Orientation : Incertaine

Profil Dessus-Dessous : Plat - Convexe

Porosité (coupe) : 33 %

Aimantation (coupe) : Moyenne locale

### Informations petites pièces

Poids : -

Nombre : -

Forme : -

Nature : -

SAS 1 %

SGD 93 %

SFR 6 %

Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une pièce entière, circulaire, dense et épaisse.

Sa surface supérieure est recouverte d'une très légère vitrification jaunâtre. On dénombre une quinzaine de charbons inclus dans la masse (< 25 mm) et une quinzaine d'empreintes. Le pourtour de quelques uns de ces charbons est oxydé. Quelques zones moyennement à fortement magnétiques.

Sa surface inférieure est recouverte de sable gris foncé. Deux cailloux clairs sont pris dans la scorie. Le ¼ de la surface inférieure est recouvert de charbons (dont le pourtour est parfois oxydé). Moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle une matrice fayalitique comportant de nombreuses porosités : les plus larges (< 2 cm) sont irrégulières et affleurent la surface, les plus fines sont circulaires se rencontrent préférentiellement dans la partie basse.

Le métal (4 %) se rencontre dans la partie inférieure de la scorie. Les fragments de métal (< 1 cm) sont répartis du côté distal dans la partie médiane. Les petites particules (< 1 mm) et les charbons (5 %) sont, eux, dispersés à la base de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	39.01
TiO <sub>2</sub>	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54.56
MnO	0.42
MgO	0.26
CaO	0.99
Na <sub>2</sub> O	0.05
K <sub>2</sub> O	0.73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10
Total	99.29

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	31.13 g
------------	---------

Recalcul fer total  
% de poids

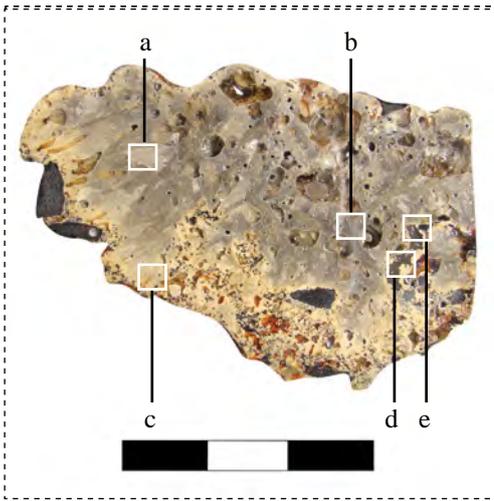
Fe tot	62.91 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	170	Cr	1060
Co	280	La	30
Ni	<	Zr	120
Cu	250	V	20
Zn	<	S	170
Ba	3090	Mo	120
Total		5330	

- Teneur importante  
en Ba du fait d'ajout  
de barytine comme  
fondant

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

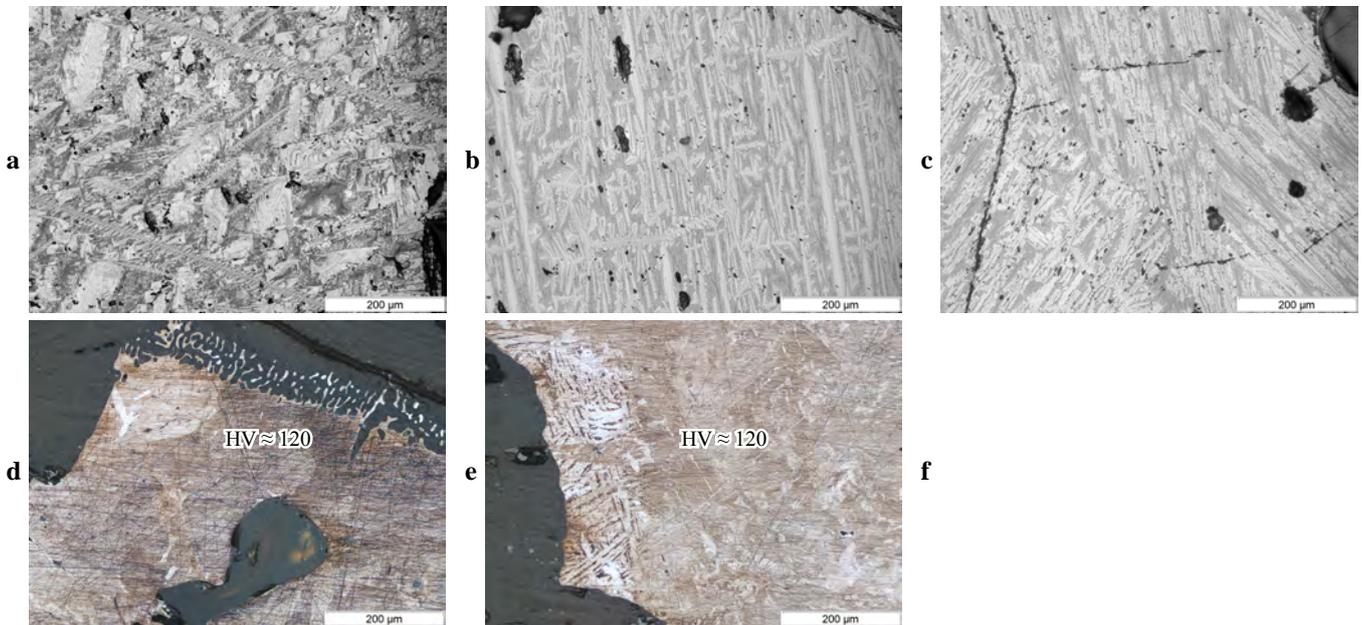
Cette scorie montre des zones de teintes variées.

- Le coeur de la scorie présente une teinte brune. Sa microstructure révèle une succession de zones de couleur brun clair composées de fayalites «en plume» (a) et de zones de couleur brun foncé composées de fayalites en fines baguettes (b).

- La périphérie de la scorie montre une teinte jaune. Sa microstructure révèle des fayalites en baguettes.

Des particules de métal sont disposées au fond de la pièce. A part une particule massive (1 cm) en décomposition (d), les autres sont de petites dimensions (< 200 µm). Après attaque chimique au Nital, la particule massive est un acier peu carburé à 0.2 %C. Elle est formée par des grains de ferrite couverts d'une couche clairsemée de perlite (d-e). Certaines zones périphériques sont décarburées (e).

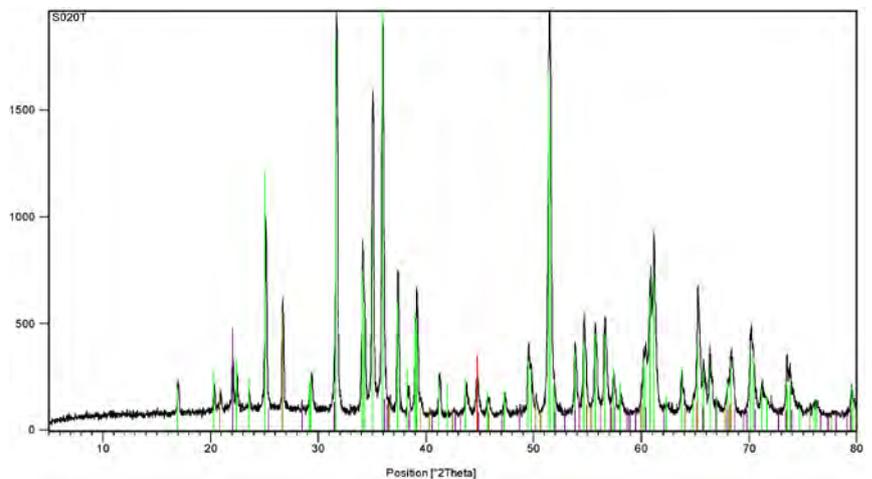
## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXX
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Cristobalite	$\text{SiO}_2(\text{HT})$	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie FQ : Q+(M)+F



Residue - Peak List
00-034-0178; Fayalite; syn
01-088-8934; Quartz; SGA
01-077-1316; Cristobalite low; syn
01-087-0721; Fe

## Echantillon : S021

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie réduite SAS  
Lieu de forge : Kobo  
Matériel de départ : M2S (0.17 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
Temps chauffe / martelage / total : 81 min / 86 min / 167 min  
Nombre cycles chauffe-martelage : 43  
Nombre et type de soudures : -  
Nature des ajouts : -  
Utilisation des ajouts : -  
Consommation de charbon : 5500 g  
Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 134 g / 13.4 %  
Répartition scorie g / % : 5 g / 4 %  
Répartition battitures g / % : 129 g / 96 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
Longueur : -  
Largeur : -  
Hauteur maximale : -  
Epaisseur moyenne : -  
Ellipticité / planéité : -  
Orientation : -  
Profil Dessus-Dessous : -  
Porosité (coupe) : -  
Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 60 g  
Nombre : 3  
Forme : Irrégulier  
Nature : Argilo - sableux

SAS ?                      SGD ?  
SFR ?                      Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 3 petits fragments argilo-sableux faisant partie d'une scorie allongée à l'origine. Un des fragments, le plus gros, qui se trouvait collé à la tuyère, a en a emporté un morceau.

La surface supérieure est recouverte de sable plus ou moins fondu, ce qui donne un aspect granuleux ; le fragment comportant un morceau de tuyère montre une zone vitrifiée noire et jaunâtre ; pas d'aimantation.

Sa surface inférieure est recouverte de sable plus foncé aggloméré et de petits charbons provenant de la sole du foyer ; on trouve une zone fayalitique sous l'extrémité proximale ; pas d'aimantation.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	72.20
TiO <sub>2</sub>	0.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.96
MnO	0.13
MgO	0.86
CaO	2.13
Na <sub>2</sub> O	0.07
K <sub>2</sub> O	2.57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22
Total	99.30

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	-
------------	---

Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	8.42 %
--------	--------

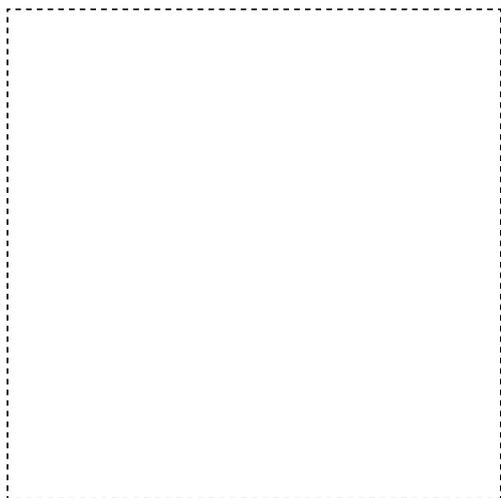
Eléments traces  
ppm

Rb	80	Sc	<
Sr	280	Cr	110
Co	230	La	10
Ni	30	Zr	240
Cu	60	V	30
Zn	<	S	130
Ba	3840	Mo	30
Total		5070	

- Contamination en  
Ba du fait du forgeage  
précédent

**Lame épaisse**

**Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse**



**Micrographies - Lame épaisse**

**a**

**b**

**c**

**d**

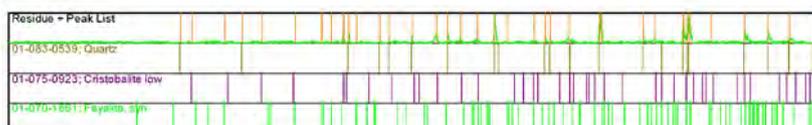
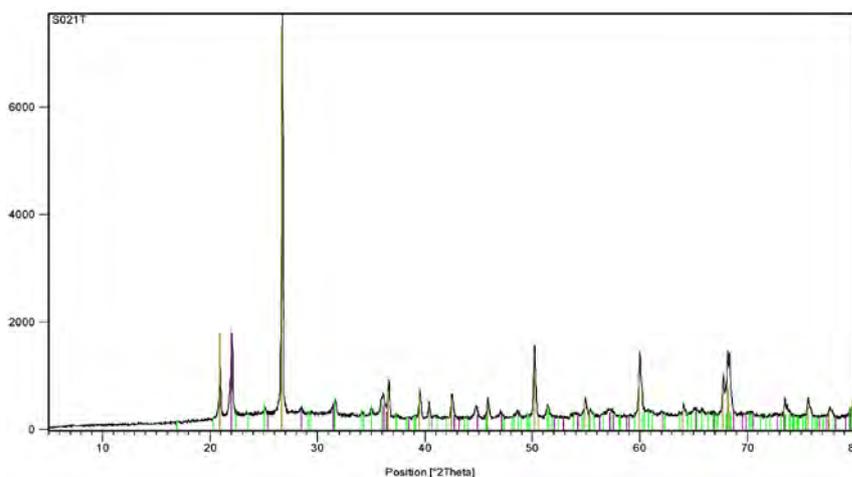
**e**

**f**

**Diffractométrie des rayons X**

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	(X)

Minéralogie Q : Q+(F)



## Echantillon : S022

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SGD-B  
Lieu de forge : Kobo  
Matériel de départ : M2D (0.45 %C)

Poids du fer initial : 2x500 g  
Temps chauffe / martelage / total : 94 min / 68 min / 162 min  
Nombre cycles chauffe-martelage : 22  
Nombre et type de soudures : 1 (simple)  
Nature des ajouts : Poudre grès+barytine  
Utilisation des ajouts : Jette dans le foyer  
Consommation de charbon : 5570 g  
Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 240 g / 24 %  
Répartition scorie g / % : 52 g / 22 %  
Répartition battitures g / % : 188 g / 78 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 175 g - 74 %  
Longueur : 10.4 cm  
Largeur : 10.2 cm  
Hauteur maximale : 4.5 cm  
Epaisseur moyenne : 2.2 cm  
Ellipticité / planéité : 1.0 / 2.3  
Orientation : Déterminée  
Profil Dessus-Dessous : Bourrelet - Convexe  
Porosité (coupe) : 38 %  
Aimantation (coupe) : Moyenne locale

### Informations petites pièces

Poids : -  
Nombre : -  
Forme : -  
Nature : -

SAS 20 %                      SGD 71 %  
SFR 8 %                        Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un petit culot, entier, moyennement dense et circulaire.

Sur la surface supérieure, l'extrémité proximale est sombre et partiellement fondue. De plus, on remarque deux gouttes vitrifiées sombres. Le reste de la pièce est recouvert d'une très légère vitrification jaunâtre. On compte une quinzaine de petits charbons (< 10 mm) inclus dont le pourtour est oxydé. On a aussi des empreintes de charbons et des pores de dégazage (< 3 mm). Aimantation moyenne seulement du côté distal.

La surface inférieure est couleur rouille car elle est recouverte d'une fine couche de sable fin comportant des particules oxydées et des petits charbons (< 5 mm). Aimantation moyenne à forte.

### Observations macroscopiques - Coupe

La partie proximale est argilo-sableuse (10%) avec des grains de quartz (1 %).

La coupe révèle une matrice fayalitique poreuse. De larges porosités horizontales affleurent la surface tandis que dans le fond de la scorie, elles sont verticales. A l'opposé de la tuyère, elles sont fines, circulaires et abondantes.

Le métal (5%) est dispersé au fond de la scorie, sous la forme de gros fragments de métal (< 1 cm) mais aussi de petites particules.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	55.88
TiO <sub>2</sub>	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37.33
MnO	0.45
MgO	0.29
CaO	1.18
Na <sub>2</sub> O	0.05
K <sub>2</sub> O	0.77
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12
Total	99.39

g fer extrait par tamisage

Fe extrait	2.56 g
------------	--------

Recalcul fer total  
% de poids

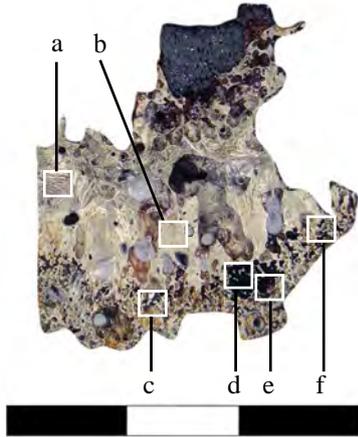
Fe tot	29.69 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	170	Cr	730
Co	290	La	40
Ni	<	Zr	140
Cu	70	V	20
Zn	20	S	290
Ba	2720	Mo	40
Total		4560	

- Teneur importante en Ba du fait d'ajout de barytine comme fondant

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

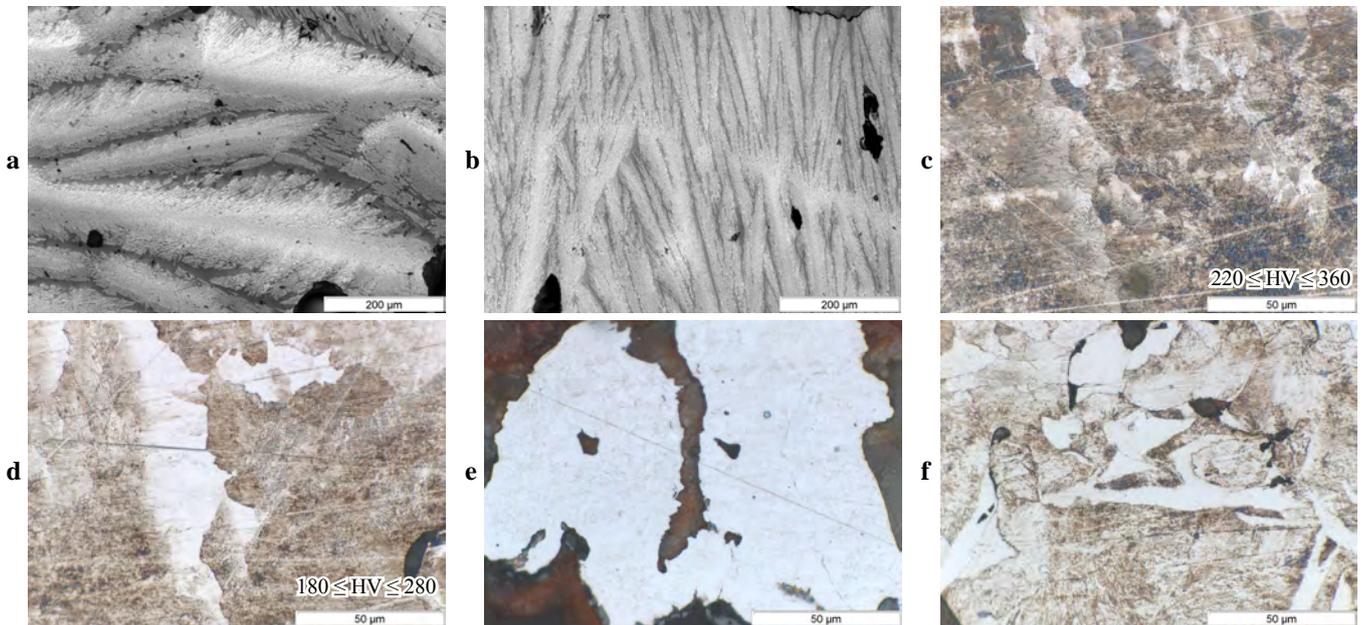
La microstructure révèle une surface recouverte de silicates de fer avec très peu de verre interstitiel (a-b). Il s'agit de cristaux déployés «en plume», essentiellement en gerbe. Dans la partie haute de la scorie ces cristaux sont épais jusqu'à 200 µm de largeur (a) tandis que dans la partie basse ils sont plus fins (b).

Le fond de la scorie est jonché de nombreuses particules de métal.

- Les plus grandes particules (5 mm max) sont dispersées sans ordre. On observe des zones recouvertes (brunes) ou non (claires) de perlite lamellaire et globulaire (c-d). Il s'agit d'aciers entre 0.4 %C (d) et 0.8 %C (c).

- Les petites particules, à la base de la pièce, sont alignées sur les contours des matériaux. Il s'agit d'aciers peu carburés, entre du fer pur (e) et des aciers jusqu'à 0.5 %C (f).

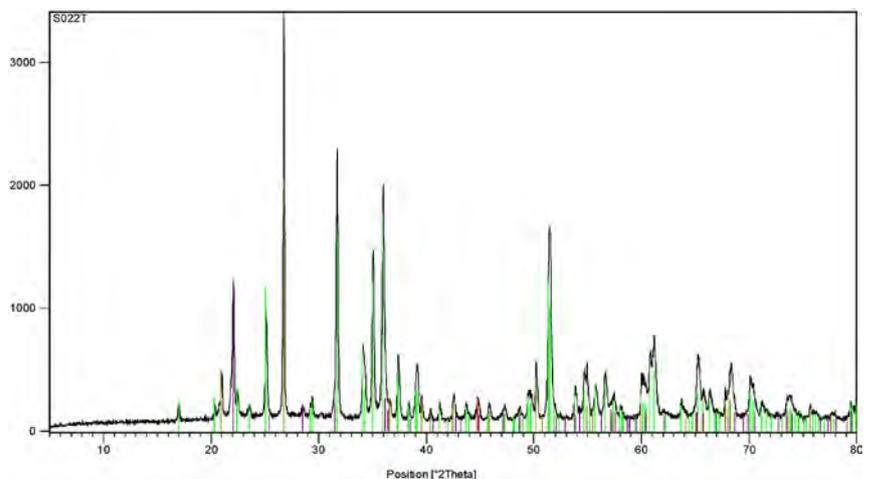
## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XX
Quartz	SiO <sub>2</sub>	XX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fer	Fe	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+F



Residue = Peak List
01-076-0512; Trisylvite
01-035-0457; Quartz low
01-077-1318; Cristobalite low, syn
01-087-0721; Fer

## Echantillon : S023

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie réduite SAS  
 Lieu de forge : Kobo  
 Matériel de départ : M2S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 73 min / 73 min / 146 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 34  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 3625 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 155 g / 15.5 %  
 Répartition scorie g / % :  
 Répartition battitures g / % :

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 50 g  
 Nombre : 8  
 Forme : Rognon, irrégulier  
 Nature : Argilo - sableux

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                      Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 8 petits et légers fragments argilo-sableux faisant partie d'une scorie circulaire à l'origine.

La surface supérieure est recouverte de grains de sable plus ou moins fondus et de cailloux incrustés (< 15 mm). L'aspect est granuleux avec une porosité importante. Cette surface n'est pas sensible à l'aimantation.

La surface inférieure est recouverte de sable plus foncé qui provient du fond du foyer et qui s'est partiellement aggloméré sous l'effet de la chaleur ; aspect granuleux ; porosité importante ; pas d'aimantation.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	78.24
TiO <sub>2</sub>	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.94
MnO	0.14
MgO	0.47
CaO	2.07
Na <sub>2</sub> O	0.05
K <sub>2</sub> O	1.21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16
Total	99.53

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait -

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot 9.09 %

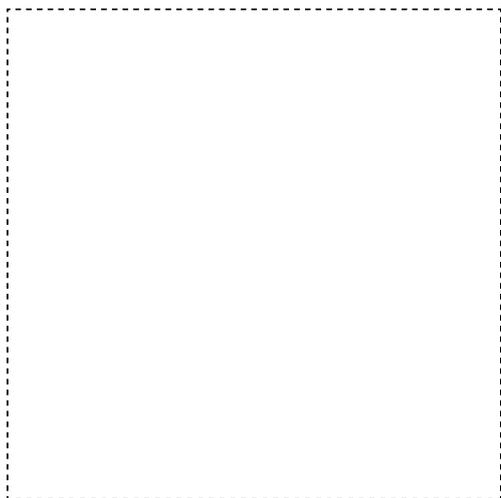
Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	210	Cr	100
Co	200	La	<
Ni	<	Zr	250
Cu	30	V	10
Zn	<	S	100
Ba	2330	Mo	40
Total		3310	

- Contamination en Ba  
 à cause du forgeage  
 précédent

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

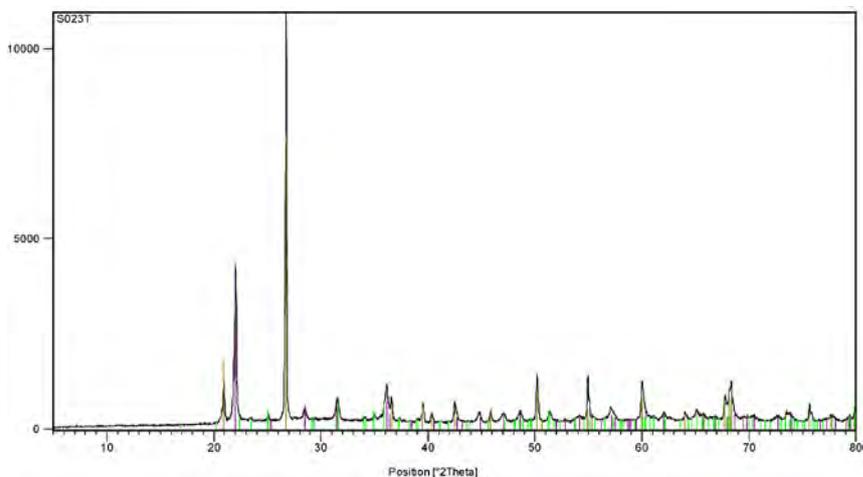
f

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	(X)

Minéralogie Q : Q+(F)

- Quasiment pas de fayalite dans cette pièce



Residue + Peak List
01-083-0539: Quartz
01-077-1316: Cristobalite low, sym
01-076-0512: fayalite

## Echantillon : S024-025

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Kobo  
**Matériel de départ :** A1D (F113-345 g et F114-365 g)  
 A1D (F119-380 g et F120-320 g)  
**Poids du fer initial :** 710 g + 700 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 117 min / 138 min / 255 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 68  
**Nombre et type de soudures :** 4 (2 multiples - 2 replis)  
**Nature des ajouts :** Poudre grès  
**Utilisation des ajouts :** Jette dans le foyer  
**Consommation de charbon :** 7345 g  
**Observations particulières :** F024 matin - F025 après midi.  
 Réalise 2 replis supplémentaires car le lopin est trop allongé  
  
**Perte en fer cumulée g / % :** 538 g / 38.2 %  
**Répartition scorie g / % :** 147 g / 27 %  
**Répartition battitures g / % :** 391 g / 73 %

### Informations pièce principale

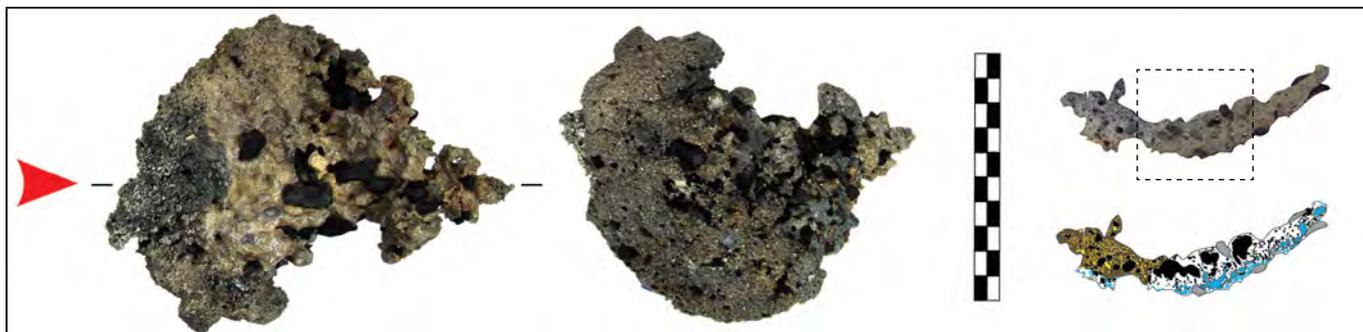
**Poids - % conservation :** 335 g - 88 %  
**Longueur :** 15.8 cm  
**Largeur :** 13.6 cm  
**Hauteur maximale :** 5.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 3.0 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.2 / 2.7  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Bourrelet - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 35 %  
**Aimantation (coupe) :** Moyenne locale

### Informations petites pièces

**Poids :** -  
**Nombre :** -  
**Forme :** -  
**Nature :** -

**SAS 30 %**                      **SGD 58 %**  
**SFR 12 %**                      **Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot complet, dense et demi-circulaire.

Sur la surface supérieure, du côté proximal, on observe deux zones plus ou moins vitrifiées et sombres. Juste à proximité, on rencontre des zones sableuses partiellement fondues jaunâtres, sans aimantation. Le reste est recouvert d'une fine couche vitreuse jaunâtre. Quelques charbons, aux pourtours oxydés et quelques empreintes sont présentes. Faible à moyenne aimantation.

La surface inférieure est recouverte, du côté proximal, de sable fin gris foncé aggloméré et de charbons (< 2 cm) de la sole du foyer, sans aimantation.

Du côté distal, on a une zone incrustée de charbons oxydés, et d'empreintes sur la ½ de sa superficie. Moyenne à forte aimantation.

### Observations macroscopiques - Coupe

La partie proximale est vitrifiée avec quelques grains de roche (2 %).

La coupe révèle une matrice fayalitique qui comporte de grosses porosités (< 2 cm) irrégulières affleurant la surface. Ailleurs, la porosité est fine et préférentiellement allongée.

La base de la scorie comporte de nombreuses particules ferreuses : des gros fragments (< 1 cm) ainsi que des petites particules.

Quelques pièces de charbons (8 %) sont inclus en périphérie de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Éléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	49.90
TiO <sub>2</sub>	0.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43.69
MnO	0.08
MgO	0.27
CaO	1.06
Na <sub>2</sub> O	0.05
K <sub>2</sub> O	0.89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11
Total	99.72

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	22.56 g
------------	---------

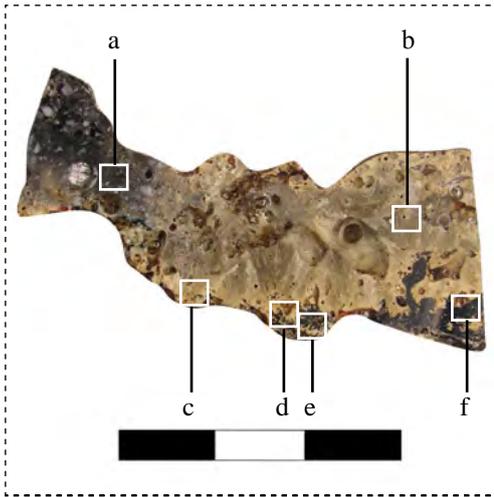
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	43.85 %
--------	---------

Éléments traces  
ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	110	Cr	80
Co	250	La	10
Ni	<	Zr	260
Cu	10	V	40
Zn	<	S	140
Ba	870	Mo	50
Total		Total	1850

## Lame épaisse



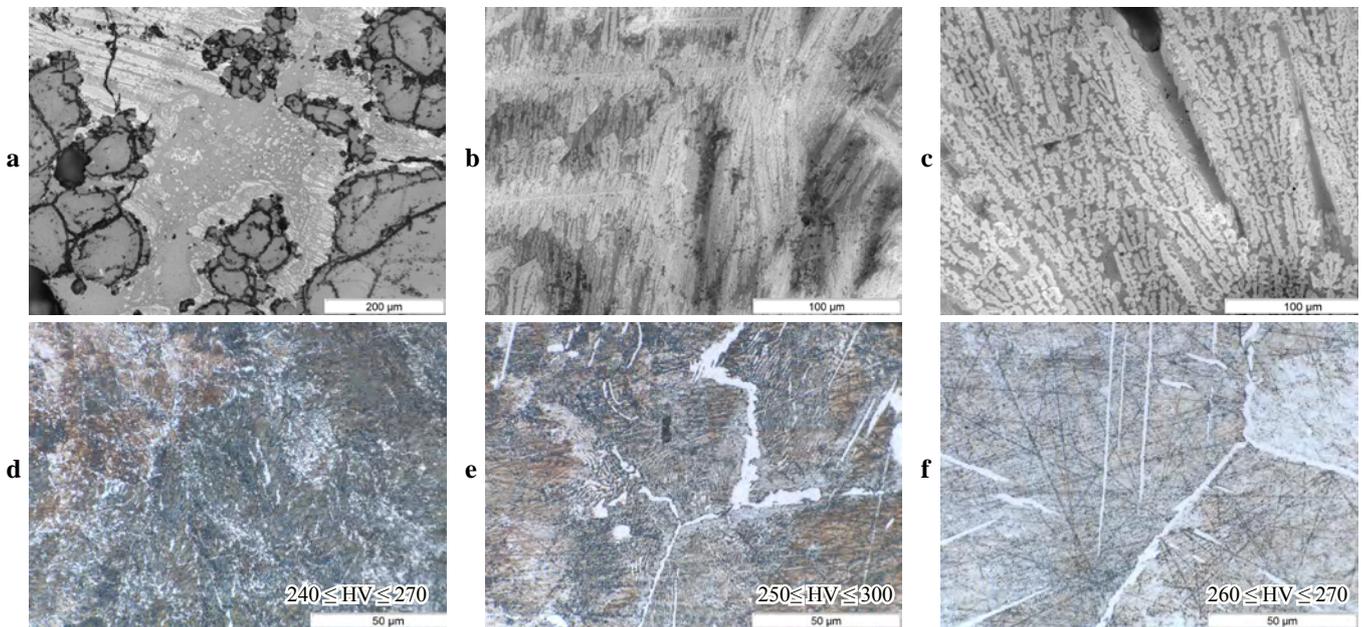
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Au plus près de la soufflerie, la microstructure de la scorie révèle de nombreux grains de quartz cimentés par un verre. Plus loin, le verre s'enrichit en Fe jusqu'à la formation de silicates de fer (a).

le coeur de la scorie montre un enchevêtrement de cristaux de silicates de fer déployés «en plumes» (b) ou en baguettes resserrées. Dans certaines zones, Fe est en défaut, induisant la formation de cristaux squelettiques (c).

La base de la scorie comporte de nombreuses particules de métal (billes éclatées, etc). Après attaque chimique au Nital, toutes les particules révèlent une teinte sombre et sont recouvertes de perlite fine, lamellaire (e) ou globulaire (d-e-f). Il s'agit toujours d'aciers entre 0.8 %C (d) et 1 %C (e-f).

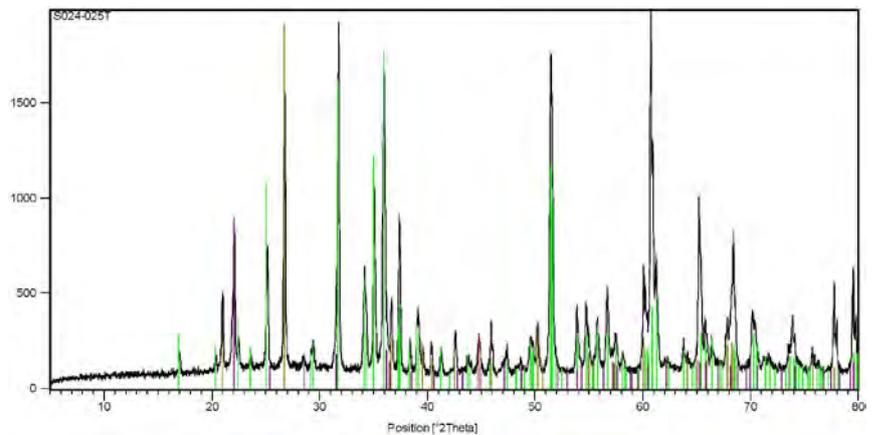
## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXX
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie FQ : Q+(M)+F



Phase	PDF Card No.	Phase Name
01-075-1207	7	fayalite
00-046-1040		Quartz, sym
01-075-0923		Cristobalite low
01-087-0721		Iron

## Echantillon : S026

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie réduite SAS-M  
Lieu de forge : Kobo  
Matériel de départ : M4S (0.17 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
Temps chauffe / martelage / total : 65 min / 68 min / 133 min  
Nombre cycles chauffe-martelage : 33  
Nombre et type de soudures : -  
Nature des ajouts : -  
Utilisation des ajouts : -  
Consommation de charbon : 4220 g  
Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 134 g / 13.4 %  
Répartition scorie g / % : 3 g / 2 %  
Répartition battitures g / % : 131 g / 98 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 20 g - 31 %  
Longueur : 7.2 cm  
Largeur : 6.1 cm  
Hauteur maximale : 1.7 cm  
Epaisseur moyenne : 1.0 cm  
Ellipticité / planéité : - / 3.9  
Orientation : Indéterminée  
Profil Dessus-Dessous : Irrégulier-Convexe  
Porosité (coupe) : + 50 %  
Aimantation (coupe) : Non

### Informations petites pièces

Poids : -  
Nombre : -  
Forme : -  
Nature : -

SAS ?                      SGD ?  
SFR ?                      Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit d'un petit et léger fragment d'une scorie quart circulaire à l'origine. Une tige ferreuse de 15 mm de long y est plantée.

Sa surface supérieure est constituée de sable plus ou moins fondu de couleur beige à gris foncé, ce qui lui donne un aspect granuleux ; importante porosité due au dégazage et à la nature de la scorie ; aimantation seulement au niveau de la tige.

Sa surface inférieure est homogènement recouverte de fin sable gris plus ou moins aggloméré et de charbons (< 7 mm ) provenant de la sole du foyer ; pas d'aimantation.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	74.56
TiO <sub>2</sub>	0.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.27
MnO	0.12
MgO	0.38
CaO	1.47
Na <sub>2</sub> O	0.04
K <sub>2</sub> O	0.98
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15
Total	99.60

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	-
------------	---

Recalcul fer total  
% de poids

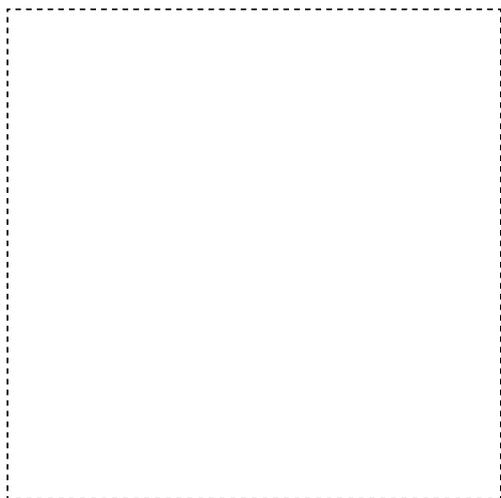
Fe tot	12.83 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	130	Cr	130
Co	320	La	<
Ni	<	Zr	190
Cu	80	V	20
Zn	<	S	140
Ba	950	Mo	50
Total		Total	2040

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

**a**

**b**

**c**

**d**

**e**

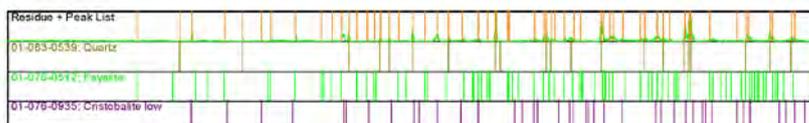
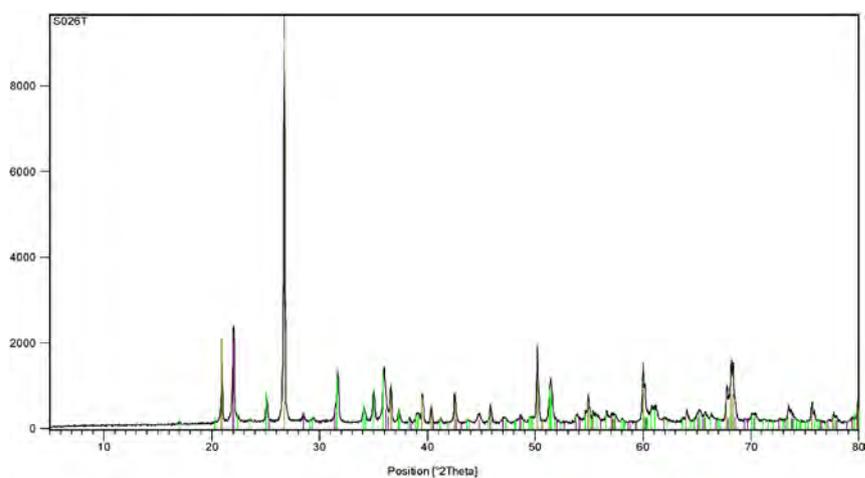
**f**

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X

Minéralogie QF : Q+F

- Quasiment pas de fayalite dans cette pièce



## Echantillon : S027-028

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Kobo  
**Matériel de départ :** A2D (F208-325 g et F211-375 g)  
 A2D (F203-345 g et F215-330 g)  
**Poids du fer initial :** 700 g + 675 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 115 min / 114 min / 229 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 64  
**Nombre et type de soudures :** 4 (2 multiples - 2 replis)  
**Nature des ajouts :** Poudre grès  
**Utilisation des ajouts :** Jette dans le foyer  
**Consommation de charbon :** 6730 g  
**Observations particulières :** F027 matin - F028 après midi. 2 cassures des tiges ont impliqué 2 replis supplémentaires et 4 trempes ont été faites  
**Perte en fer cumulée g / % :** 530 g / 38.5 %  
**Répartition scorie g / % :** 64 g / 12 %  
**Répartition battitures g / % :** 466 g / 88 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 295 g - 77 %  
**Longueur :** 13.0 cm  
**Largeur :** 11.7 cm  
**Hauteur maximale :** 4.5 cm  
**Épaisseur moyenne :** 1.7 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.1 / 2.7  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Bourrelet - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 30 %  
**Aimantation (coupe) :** Moyenne locale

### Informations petites pièces

**Poids :** -  
**Nombre :** -  
**Forme :** -  
**Nature :** -

**SAS 4 %**                      **SGD 91 %**  
**SFR 5 %**                      **Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot complet, dense et circulaire.

Sa surface supérieure comporte, du côté proximal, une zone sombre vitrifiée; non magnétique. Le centre est gris et mat avec des charbons aux contours oxydés ainsi que des profondes empreintes sur la moitié de sa surface; moyennement magnétique. Les bordures sont faites de sable clair plus ou moins aggloméré ce qui donne un aspect granuleux; non magnétique.

Sa surface inférieure est recouverte de sable fin et gris aggloméré, de cailloux clairs (< 15 mm) et de charbons (< 15 mm); on trouve des zones d'oxydation couleur rouille partout. Moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La section révèle une matrice fayalitique comportant de grosses porosités (2-3 cm) horizontales au niveau de la surface. Du côté de la soufflerie, des grains de quartz (3 %) sont observés.

Le métal (3 %) est réparti dans la moitié inférieure de la scorie. Les gros fragments (< 5 mm) sont mitoyens des larges porosités tandis que des petites particules et croûtes d'oxydes sont dispersées au fond de la pièce.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Éléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	65.44
TiO <sub>2</sub>	0.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.91
MnO	0.14
MgO	0.16
CaO	0.86
Na <sub>2</sub> O	0.04
K <sub>2</sub> O	0.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14
Total	99.78

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	0.78 g
------------	--------

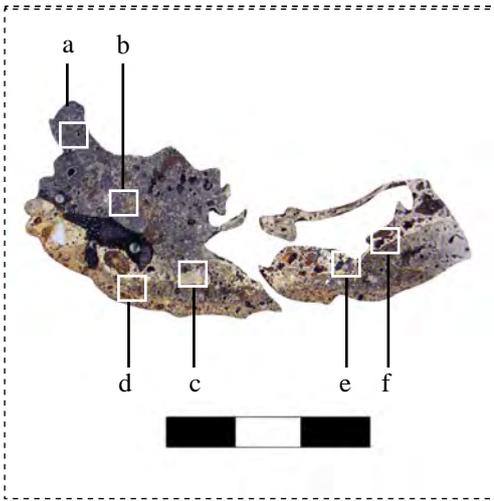
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	21.75 %
--------	---------

Éléments traces  
ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	80	Cr	80
Co	270	La	30
Ni	10	Zr	160
Cu	40	V	20
Zn	<	S	210
Ba	420	Mo	60
Total		1400	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

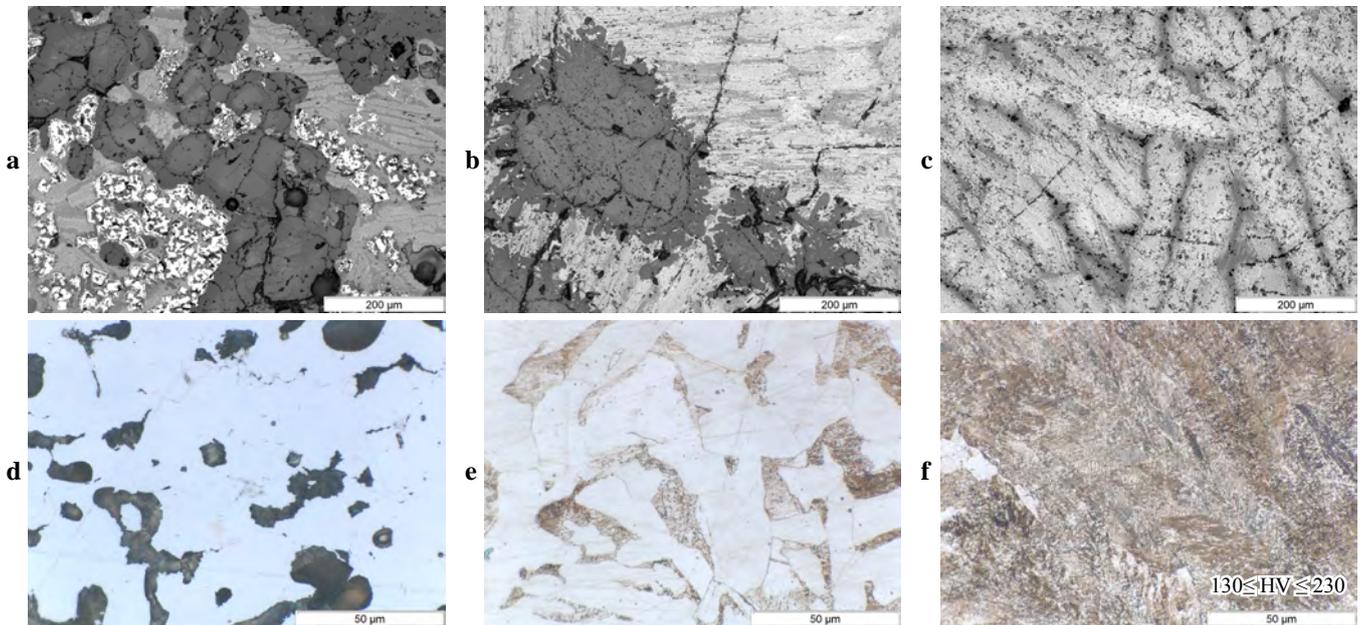
Dans la partie haute, près de la soufflerie, la scorie montre une teinte sombre. Elle est essentiellement constituée de grains de quartz entourés de cristaux de cristobalite. Ces grains sont cimentés par des baguettes de fayalite épatées (a-b). Seule une zone montre de nombreux grains anguleux de spinelles (magnétite? hercynite?) dispersés entre les grains de quartz (a).

En dessous de ce niveau sombre est disposée une couche jaune clair ( $\approx 2$  mm d'épaisseur) constituée de baguettes courtes «en plume» épatées (c).

Le niveau en contact avec la sole est un amalgame de quartz, de fayalites, de croûtes d'oxydes ( $500 \mu\text{m}$ ) et de particules de métal.

Seules 2 particules sont très brunes jusqu'à 0.7-0.8 %C et couvertes de perlite lamellaire, ferrite et cémentite (f). Toutes les autres particules sont des aciers peu carburés à 0.2 %C max (e). Les croûtes d'oxydes sont composées de grains de ferrite en décomposition (d).

## Micrographies - Lame épaisse

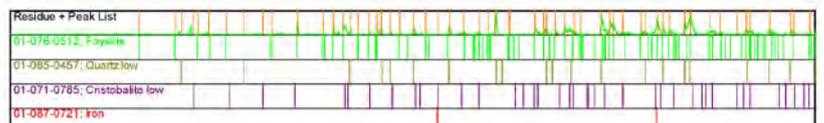
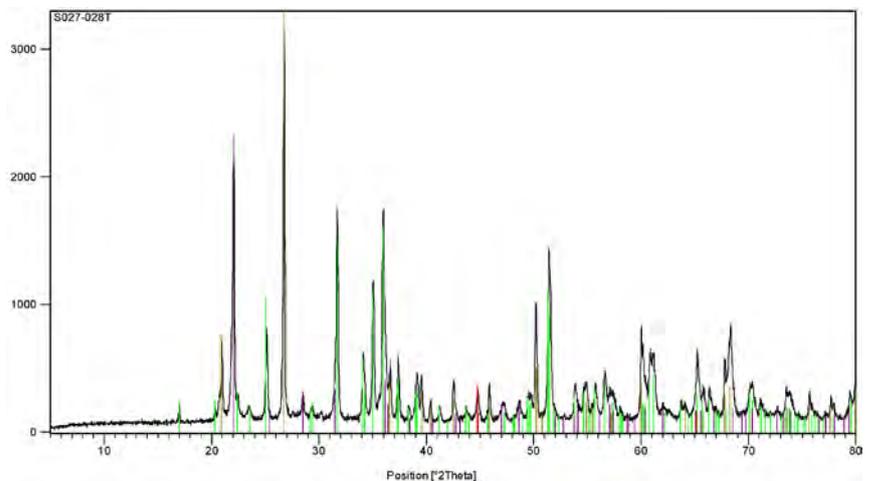


## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XX
Quartz	$\text{SiO}_2$	XX
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	X
Fer	Fe	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+F

- Les spinelles ne sont pas identifiés



## Echantillon : S029

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie réduite SAS-M  
Lieu de forge : Kobo  
Matériel de départ : M4S (0.17 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
Temps chauffe / martelage / total : 54 min / 57 min / 111 min  
Nombre cycles chauffe-martelage : 31  
Nombre et type de soudures : -  
Nature des ajouts : -  
Utilisation des ajouts : -  
Consommation de charbon : 4360 g  
Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 137 g / 13.7 %  
Répartition scorie g / % : 4 g / 3 %  
Répartition battitures g / % : 133 g / 97 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 25 g - 26 %  
Longueur : 8.0 cm  
Largeur : 5.7 cm  
Hauteur maximale : 1.7 cm  
Épaisseur moyenne : 0.8 cm  
Ellipticité / planéité : - / 4.0  
Orientation : Indéterminée  
Profil Dessus-Dessous : Irrégulier - Convexe  
Porosité (coupe) : + 50 %  
Aimantation (coupe) : Non

### Informations petites pièces

Poids : 5 g  
Nombre : 1  
Forme : Rognon  
Nature : Sableux

SAS ?                      SGD ?  
SFR ?                      Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 2 petits et légers fragments, de faible épaisseur et provenant d'une scorie allongée à l'origine.

La surface supérieure est constituée de sable gris foncé à gris clair partiellement fondu. La porosité est importante ; elle est due aux empreintes laissées par les charbons et à la nature argilo-sableuse des matériaux. Cette surface n'est pas aimanté.

Sa surface inférieure est composée de sable gris foncé aggloméré et de petits charbons. La porosité est importante et la surface n'est pas sensible à l'aimantation.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Éléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	71.56
TiO <sub>2</sub>	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.25
MnO	0.13
MgO	0.25
CaO	1.45
Na <sub>2</sub> O	0.03
K <sub>2</sub> O	0.70
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12
Total	99.73

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	-
------------	---

Recalcul fer total  
% de poids

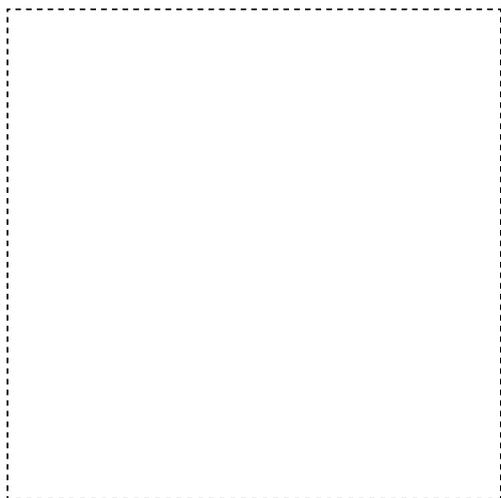
Fe tot	16.30 %
--------	---------

Éléments traces  
ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	110	Cr	210
Co	260	La	30
Ni	<	Zr	130
Cu	90	V	10
Zn	<	S	90
Ba	480	Mo	60
Total		1490	

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

**a**

**b**

**c**

**d**

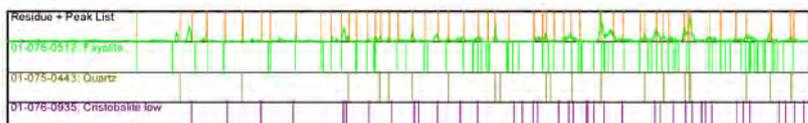
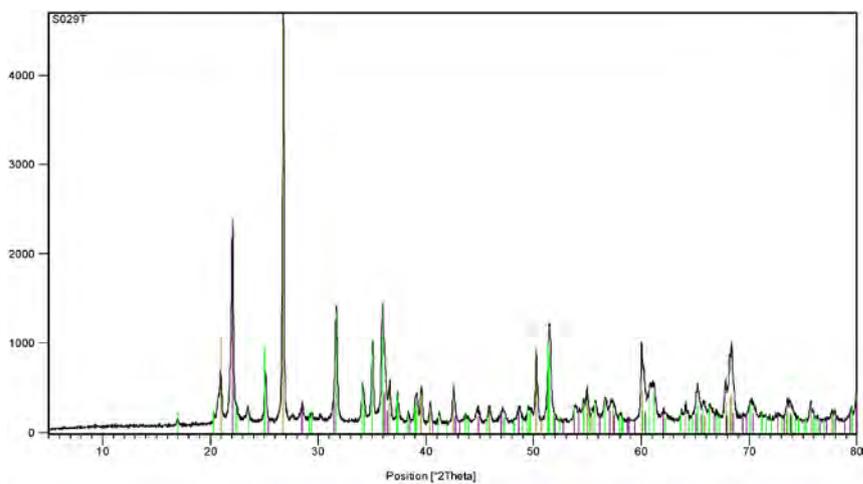
**e**

**f**

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X

Minéralogie QF : Q+F



## Echantillon : S030

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SAS-M  
Lieu de forge : Kobo  
Matériel de départ : M4S (0.45 % C)

Poids du fer initial : 1000 g

Temps chauffe / martelage / total : 62 min / 89 min / 151 min

Nombre cycles chauffe-martelage : 43

Nombre et type de soudures : -

Nature des ajouts : -

Utilisation des ajouts : -

Consommation de charbon : 4445 g

Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 190 g / 19 %

Répartition scorie g / % : 14 g / 8 %

Répartition battitures g / % : 176 g / 92 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 135 g - 49 %

Longueur : 11.7 cm

Largeur : 11.5 cm

Hauteur maximale : 3.0 cm

Épaisseur moyenne : 1.2 cm

Ellipticité / planéité : 1.0 / 3.9

Orientation : Déterminée

Profil Dessus-Dessous : Concave - Convexe

Porosité (coupe) : 28 %

Aimantation (coupe) : Non

### Informations petites pièces

Poids : -

Nombre : -

Forme : -

Nature : -

SAS 90 %

SGD 10 %

SFR 1 %

Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot unique, fin et circulaire à l'origine.

Sa surface supérieure est composée de sable partiellement fondu, gris foncé sur les bordures et jaunâtre au centre. Des cailloux sont également pris dans la masse (< 3 cm). La porosité est fine, abondante et irrégulière (< 1 mm). Cette surface n'est pas aimantée.

Sa surface inférieure est constituée des matériaux comme : du sable gris foncé, des petits cailloux (< 3 mm) et des charbons. Un seul caillou plus gros dépasse de 15 mm. La porosité est due aux empreintes de charbons et à la nature argilo-sableuse des matériaux. Quelques zones rouillées existent. L'aimantation est moyenne sur cette surface.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre une scorie fine d'environ 0.5 cm d'épaisseur. La porosité est fine, régulière et abondante.

Du côté de la soufflerie, le matériel vitrifié sombre englobe de nombreux grains de quartz.

À l'opposé de la soufflerie, la scorie est composée de grains de quartz cimentés par du matériel fayalitique. Des petites particules de métal sont également visibles.

D'autre part, du sable ainsi que des pièces de charbon adhérent à la base de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Éléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	77.10
TiO <sub>2</sub>	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.14
MnO	0.13
MgO	0.41
CaO	1.91
Na <sub>2</sub> O	0.04
K <sub>2</sub> O	1.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19
Total	99.72

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait 0.03 g

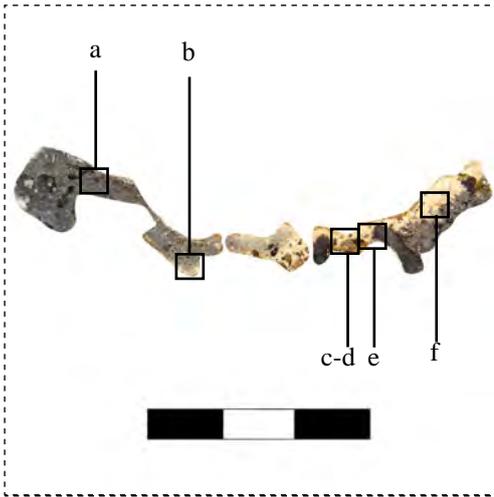
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot 10.70 %

Éléments traces  
ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	150	Cr	50
Co	210	La	30
Ni	<	Zr	200
Cu	30	V	10
Zn	<	S	70
Ba	820	Mo	40
Total		1640	

## Lame épaisse

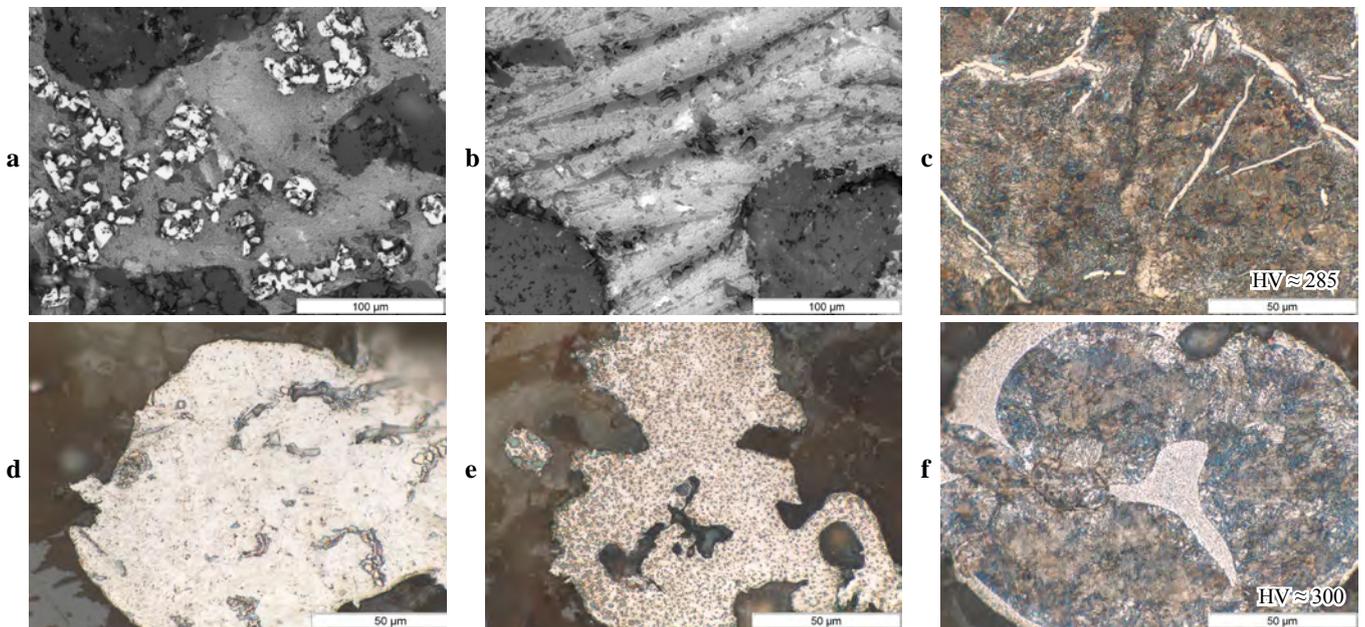


## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La microstructure montre la présence constante de grains de quartz (a-b) dont la périphérie comporte des baguettes de cristobalite (b). Ces quartz sont cimentés entre eux soit par du matériel vitreux et ferreux (Fe 20 wt%) (a), soit par des baguettes de fayalite épatées (b). C'est uniquement du côté de la soufflerie que l'on observe de nombreux cristaux anguleux de magnétite (hercynite ?) répartis dans le verre (a).

La part de métal dans cet échantillon est très limitée (1%) et d'autre part, les particules observées sont toujours de petites dimensions (400 µm max). Il s'agit soit d'aciers jusqu'à 0.1 %C (d-e), soit d'aciers hypereutectoïdes (c-f).

## Micrographies - Lame épaisse

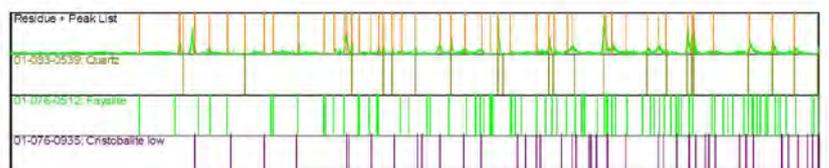
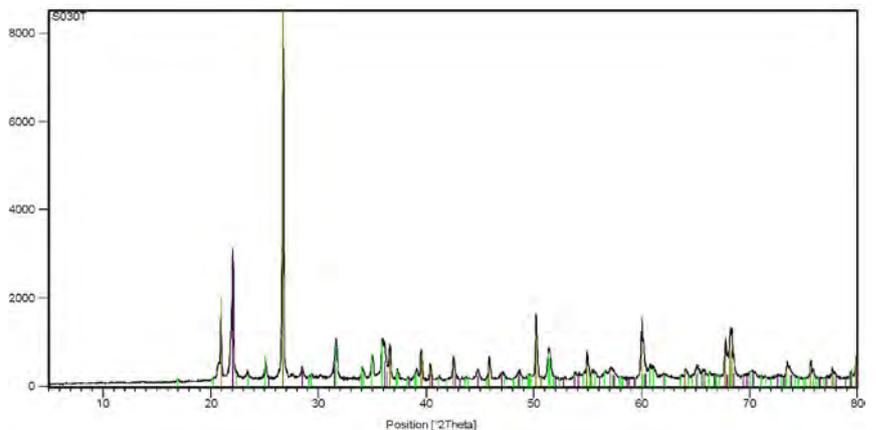


## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X

Minéralogie QF : Q+F

- Les spinelles ne sont pas présents en quantité suffisante pour être identifiés



## Echantillon : S031

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie de forge non comptabilisée  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** M4S (0.45 %C)

**Poids du fer initial :** 1000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 52 min / 26 min / 78 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 24  
**Nombre et type de soudures :** -  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 3305 g  
**Observations particulières :** Fond du foyer non nettoyé

**Perte en fer cumulée g / % :** 195 g / 19.5 %  
**Répartition scorie g / % :** 19 g / 10 %  
**Répartition battitures g / % :** 176 g / 90 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 155 g - 84 %  
**Longueur :** 13.8 cm  
**Largeur :** 13.8 cm  
**Hauteur maximale :** 2.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 1.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.0 / 5.5  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Concave - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 38 %  
**Aimantation (coupe) :** Faible local

### Informations petites pièces

**Poids :** -  
**Nombre :** -  
**Forme :** -  
**Nature :** -

**SAS 13 %**                      **SGD -**  
**SFR -**                              **Autre 87 %**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot complet, circulaire, à faible relief et peu épais.

La surface supérieure présente, du côté proximal, une zone vitreuse d'aspect fondu couleur gris-vert clair. Partout ailleurs, le matériel est grisé, avec une dizaine d'inclusions de charbons (5 à 25 mm de long) oxydés sur leur pourtour. Peu de porosités de dégazage. Zone fortement magnétique au centre de la pièce et moyennement magnétique ailleurs.

La surface inférieure, non magnétique, est recouverte d'une couche de cailloux plus ou moins grossiers ainsi que d'argile beige provenant du foyer.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe de cet échantillon se révèle hétérogène.

Elle comporte de larges porosités irrégulières (< 1 cm) dans la partie haute et centrale, des fines porosités circulaires dans la partie basse, incluses dans un matériau grisé.

Une couche argilo-sableuse est disposée à l'extrémité proximale. Une fine couche oxydée semble enrober la scorie. Des pièces de charbons mais aussi des fragments de roche sont cimentés dans la masse.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	47.72
TiO <sub>2</sub>	0.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.61
MnO	0.20
MgO	2.96
CaO	18.66
Na <sub>2</sub> O	0.18
K <sub>2</sub> O	4.61
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.32
Total	99.26

- Teneurs importantes  
 en MgO, CaO, et K<sub>2</sub>O

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	0.73 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	12.13 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

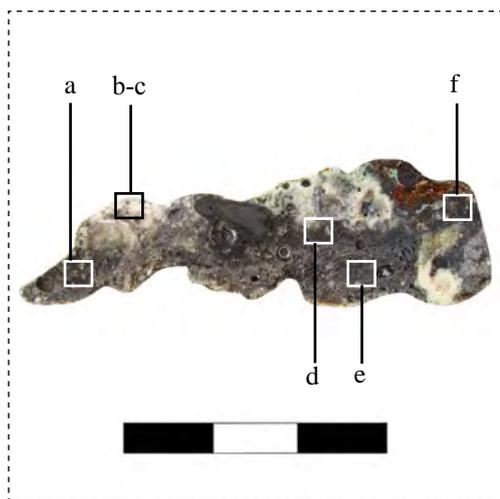
Rb	60	Sc	80
Sr	790	Cr	190
Co	160	La	260
Ni	10	Zr	420
Cu	150	V	80
Zn	170	S	2090
Ba	1450	Mo	50
Total		5960	

- Teneurs importantes  
 en Sr, Ba, Sc, La, et S

- Ces éléments  
 chimiques proviennent  
 de travaux antérieurs

- Absence d'ajout  
 volontaire de poudre  
 de barytine dans le  
 foyer

## Lame épaisse

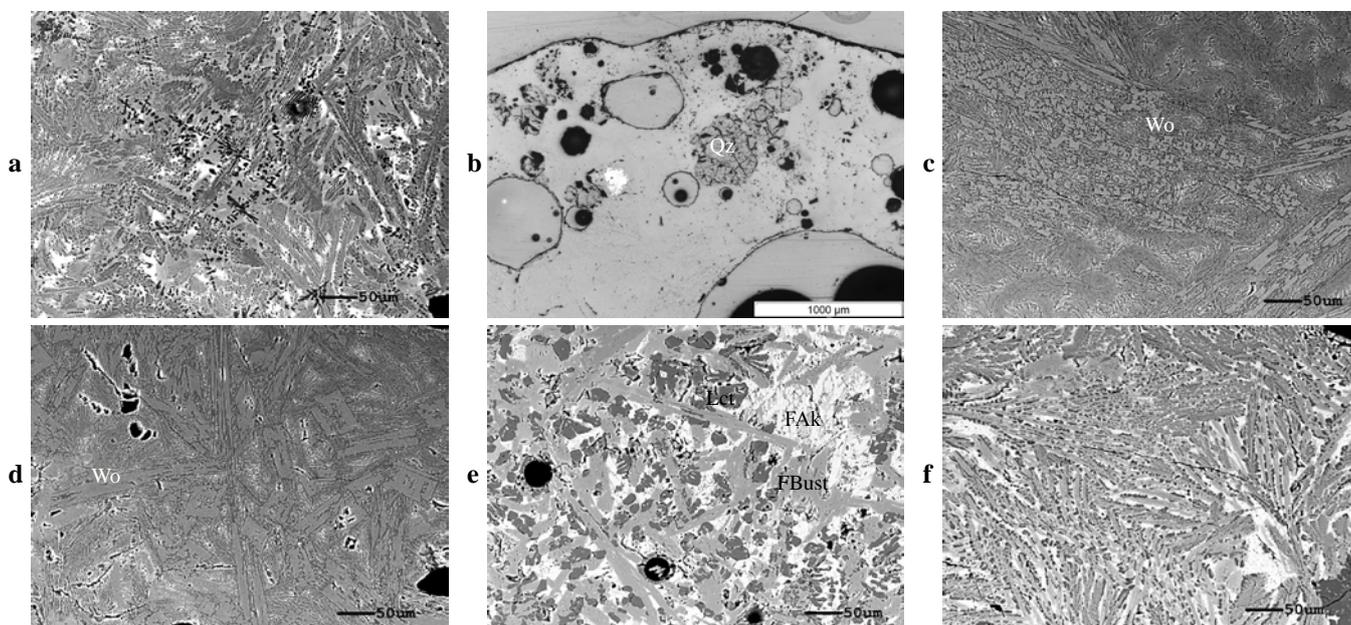


## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

En surface, les zones vitreuses blanchâtres contenant des quartz paraissent ne sembler pas contenir des minéraux (b). Cependant, en microscopie électronique, on peut observer des cristaux en baguette, allongés, d'environ 50 µm de section (c-d). Ces cristaux ont la composition de wollastonites  $\text{CaSiO}_3$  [wt% moyen (d) : O 29.28 - Si 27.36 - Ca 34.43 - Fe 1.82].

Ailleurs, les zones sont plus complexes puisqu'on rencontre régulièrement :  
 - des cristaux sombres (50 µm) de leucite  $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$  en dendrites (a) ou non (e-f) [wt% moyen (e) : O 27.66 - Al 12.70 - Si 25.82 - K 18.55]  
 - des baguettes allongées gris moyen de wollastonites ferreuses [wt% moyen (e) : O 29.35 - Si 25.70 - Ca 28.95 - Fe 9.60]  
 - dans un amalgame blanchâtre de ferro-akermanite  $\text{Ca}_2\text{FeSi}_2\text{O}_7$  (a-e-f) [wt% moyen (f) : O 25.47 - Si 15.58 - Ca 11.83 - Fe 34.16].

## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

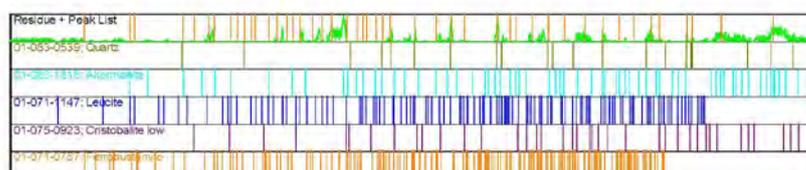
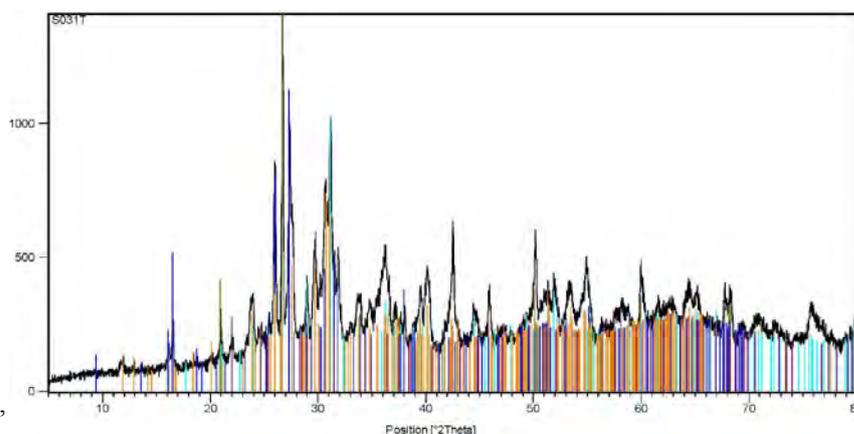
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Akermanite	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	X
Leucite	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	X
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)
Ferrobustamite	$\text{Ca}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{SiO}_3$	XX

Minéralogie A : Q+A

- La wollastonite n'est pas clairement identifiée, ni la ferro-akermanite.

- Wollastonite ferreuse sous la forme de ferrobustamite

- Bruit de fond élevé



## Echantillon : S032

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M4S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 55 min / 35 min / 90 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 35  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 4000 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 215 g / 21.5 %  
 Répartition scorie g / % : 5 g / 2 %  
 Répartition battitures g / % : 210 g / 98 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 15 g - 50 %  
 Longueur : 5.2 cm  
 Largeur : 4.5 cm  
 Hauteur maximale : 1.5 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.3 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.2 / 3.2  
 Orientation : Incertaine  
 Profil Dessus-Dessous : Plat - Plat  
 Porosité (coupe) : 44 %  
 Aimantation (coupe) : Faible

### Informations petites pièces

Poids : 10 g  
 Nombre : 1  
 Forme : Rognon  
 Nature : ?

SAS	8 %	SGD	-
SFR	5 %	Autre	87 %

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une scorie de petite taille, de forme elliptique, à faible relief ainsi que d'une autre pièce plus petite.

La surface supérieure comporte de nombreux petits points d'oxydation orangés. On ne compte qu'un seul charbon pris dans la masse (1 cm de longueur). Cette surface est moyennement magnétique.

La surface inférieure est recouverte de petits cailloux et d'argile beige. Un caillou plus grand (1 cm de diamètre) est inclus. Cette surface n'est pas magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre une grande vacuole horizontale ( $\approx 2$  cm de longueur) affleurant la surface. Les porosités de moyen gabarit ( $< 1$  cm) sont étirées verticalement. Les plus fines sont circulaires.

La matrice, sombre, comprend quelques fragments de roche ainsi qu'une zone vitrifiée en surface.

Une particule de métal allongée est répartie en surface de la pièce tandis que des croûtes d'oxydes sont en profondeur.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

- Teneurs importantes en MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O et K<sub>2</sub>O

SiO <sub>2</sub>	47.23
TiO <sub>2</sub>	0.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.30
MnO	0.26
MgO	1.81
CaO	11.50
Na <sub>2</sub> O	0.33
K <sub>2</sub> O	4.22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.66
Total	99.32

g fer extrait par tamisage

Fe extrait	-
------------	---

Recalcul fer total  
 % de poids

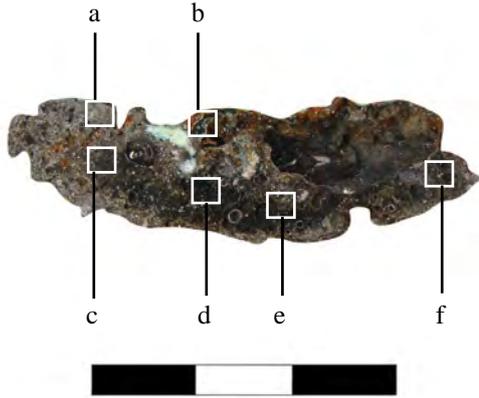
Fe tot	17.81 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	50	Sc	<
Sr	440	Cr	220
Co	280	La	<
Ni	<	Zr	330
Cu	430	V	70
Zn	120	S	2070
Ba	540	Mo	50
Total			4600

- Quantité importante en S : contamination par le forgeage précédent ?

## Lame épaisse



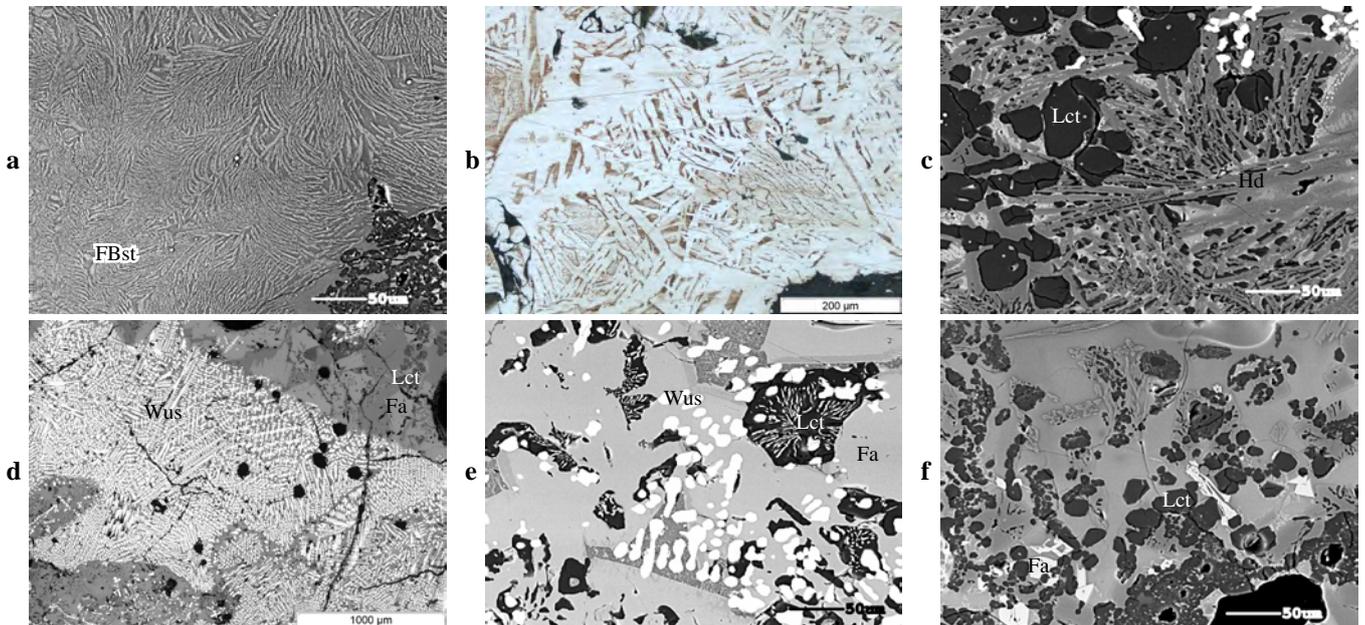
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

À l'extrémité proximale (a), des baguettes allongées et souples de ferrobustamite  $\text{Ca}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{SiO}_3$ : [wt% moyen (a) : O 26.32 - Si 26.81 - Ca 23.16 - Fe 8.09] sont dispersées dans un verre contenant des grains de quartz et des cristobalites.

En profondeur, des cristaux sombres de leucite  $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$  tapissent la surface de la lame (c-d-e-f). On observe des composés eutectiques leucite/wüstite (e). Ils sont en présence de petits cristaux (100  $\mu\text{m}$ ) (f) ou de larges cristaux équi-granulaires idiomorphes (300  $\mu\text{m}$ ) de fayalite  $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$  (d-e). Dans un milieu riche en Ca, ce sont des baguettes allongées d'hedenbergite  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$  (c) qui cristallisent: [wt% moyen (c) : O 30.13 - Si 24.99 - Ca 16.34 - Fe 23.08].

Concernant les pertes de métal (5 %), on trouve : des croûtes d'oxydes assimilées dans le milieu en plaques de dendrites de wüstite (d) et quelques fins filets de ferrite. Les rares petites particules de métal sont < 1 mm et sont ferritiques. Seule la plus grande particule ( $\approx 500 \mu\text{m}$ ) est un acier à 0.3-0.4 %C (b).

## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

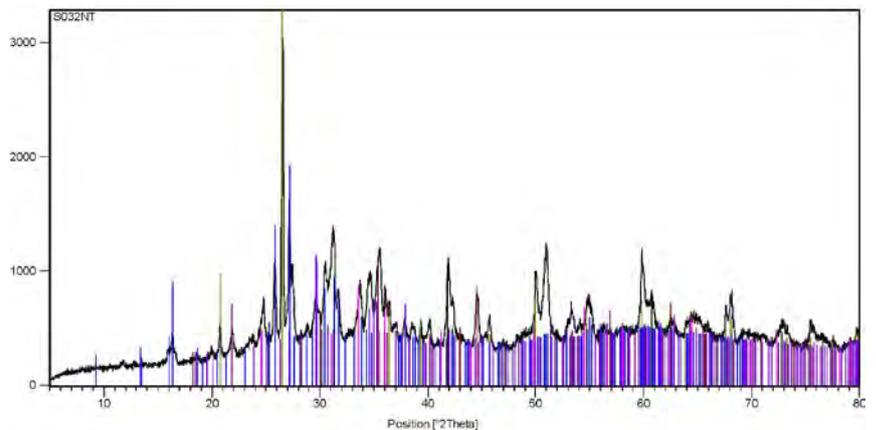
Quartz	$\text{SiO}_2$	XX
Wüstite	$\text{FeO}$	(X)
Leucite	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	XX
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)
Fer	$\text{Fe}$	(X)
Magnétite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	(X)
Hedenbergite	$\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$	X
Hématite	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	(X)

Minéralogie A : Q+(M)+(O)+A

- Bruit de fond élevé

- Présence de tous les oxydes de fer en faible quantité

- Ferrobustamite en quantité insuffisante pour être détecté



Residue + Peak List
01-093-0939; Quartz
01-074-1882; Wüstite, syn
01-071-1147; Leucite
01-076-0935; Cristobalite low
01-087-0721; Iron
01-072-2303; Magnétite
01-071-1498; Hedenbergite, syn
00-013-0534; Hématite, syn

## Echantillon : S033

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SFR  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M1D (0.35 %C)

Poids du fer initial : 2x350 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 58 min / 34 min / 92 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 35  
 Nombre et type de soudures : 4 (1 simple - 3 replis)  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 2690 g  
 Observations particulières : 1 repli supplémentaire car le lopin formé était finalement trop long

Perte en fer cumulée g / % : 265 g / 37.9 %  
 Répartition scorie g / % : 67 g / 25 %  
 Répartition battitures g / % : 198 g / 75 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 65 g - 93 %  
 Longueur : 8.3 cm  
 Largeur : 4.5 cm  
 Hauteur maximale : 3.0 cm  
 Epaisseur moyenne : 2.0 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.8 / 2.1  
 Orientation : Incertaine  
 Profil Dessus-Dessous : Plat - Plat  
 Porosité (coupe) : 44 %  
 Aimantation (coupe) : Forte

### Informations petites pièces

Poids : 100 g  
 Nombre : 9  
 Forme : Rognon, irrégulier  
 Nature : Arg.-sabl., ferreux

SAS - SGD 58 %  
 SFR 42 % Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite pièce allongée et de 9 fragments denses dont un seul a emporté l'extrémité de la tuyère.

La surface supérieure est ferreuse, de couleur violacé, gris mat, avec parfois des reflets métalliques. Cette partie est moyennement magnétique.

La surface inférieure comporte une trentaine de petits charbons (< 5 mm) ainsi que de la terre agglomérée du foyer, ce qui donne un aspect granuleux. Cette zone est très fortement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

L'observation de la coupe révèle la prépondérance du métal disséminé dans cette pièce.

Une grande vacuole (≈ 5 cm de longueur) affleurant la surface, contient un noyau métallique de forme allongée (2 cm).

Des filaments de métal mais aussi des petites particules de fer sont disposées dans tout le fond de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	31.87
TiO <sub>2</sub>	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50.58
MnO	0.54
MgO	1.04
CaO	6.76
Na <sub>2</sub> O	0.18
K <sub>2</sub> O	1.83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.37
Total	99.63

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	6.77 g
------------	--------

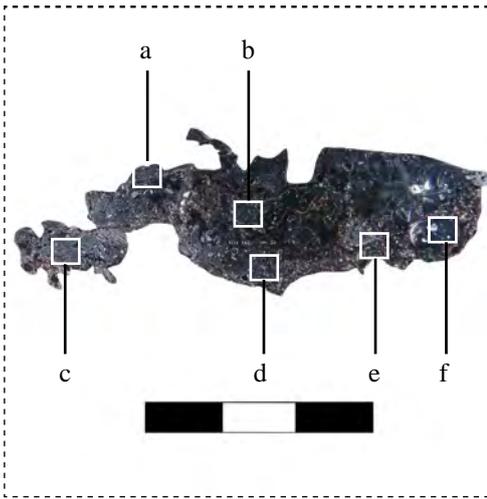
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	40.90 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	290	Cr	690
Co	250	La	20
Ni	<	Zr	230
Cu	300	V	60
Zn	<	S	370
Ba	340	Mo	120
Total		Total	2690

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Les observations microscopiques montrent que la surface de la scorie est couverte de cristaux de fayalite (a-d) baignant dans un verre riche en Fe, ce qui favorise la cristallisation de magnétite (a-d).

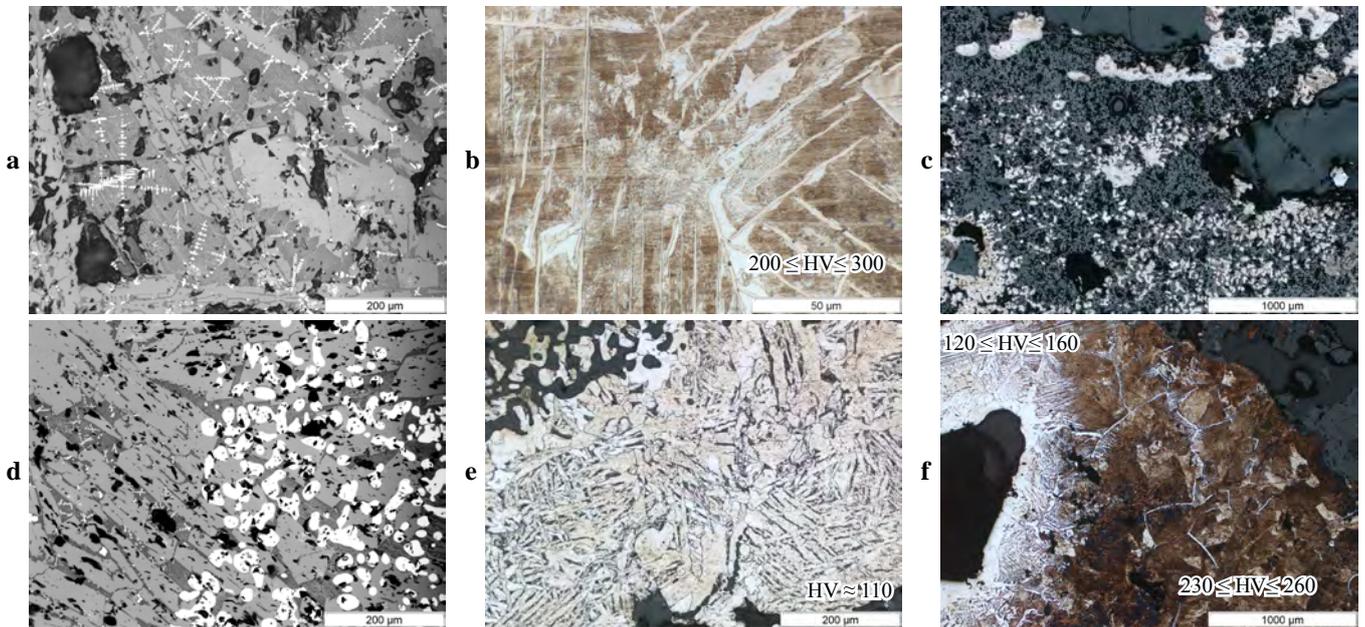
Les pertes de fer sont importantes dans cet échantillon. Des petites particules de ferrite ou de métal peu acieré (c) sont réparties à la base de la scorie.

Certaines croûtes d'oxydes assimilées par le milieu laissent place à des domaines de wüstite (d), tandis que celles qui ne le sont pas encore, sont formées de ferrite aciculaire et de perlite à 0.1 %C.

Dans la partie médiane de la scorie, l'appendice métallique est très carburé (1 %C) sur toute sa longueur (b). La microstructure révèle des grains de perlite délimités par des joints de cémentite.

Le nodule disposé au fond de la scorie (f) est un acier proche de l'eutectoïde (0.6-0.7 %C) dont les zones en contact avec les pores sont décarburées (0.1-0.2%C).

## Micrographies - Lame épaisse

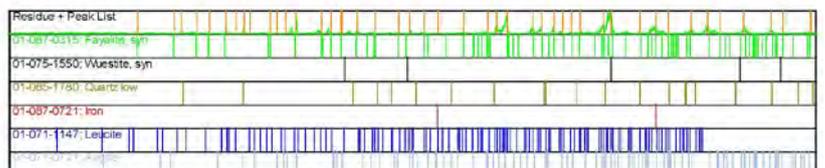
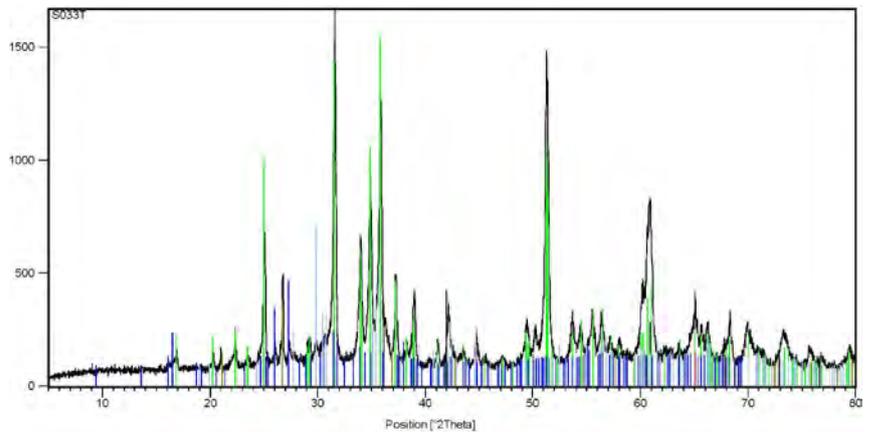


## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXX
Wüstite	$\text{FeO}$	X
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Fer	$\text{Fe}$	(X)
Leucite	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	(X)
Augite	$\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})\text{Si}_2\text{O}_6$	(X)

Minéralogie MO : Q+(M)+O+F+(A)

- Un clinopyroxène calcique (augite) semble s'être formé



## Echantillon : S034

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SFR  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : MID (0.17 % C)

Poids du fer initial : 2x350 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 66 min / 35 min / 101 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 40  
 Nombre et type de soudures : 5 (1 simple - 4 replis)  
 Nature des ajouts : Sable  
 Utilisation des ajouts : Jette dans le foyer  
 Consommation de charbon : 3390 g  
 Observations particulières : 2 petits replis au cours du formage à cause d'une lame déformée sur un côté et d'un bord qui dépasse

Perte en fer cumulée g / % : 305 g / 43.6 %  
 Répartition scorie g / % : 64 g / 21 %  
 Répartition battitures g / % : 241 g / 79 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 50 g - 77 %  
 Longueur : 6.5 cm  
 Largeur : 5.5 cm  
 Hauteur maximale : 2.3 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.5 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.2 / 2.6  
 Orientation : Incertaine  
 Profil Dessus-Dessous : Plat - Plat  
 Porosité (coupe) : 35 %  
 Aimantation (coupe) : Forte

### Informations petites pièces

Poids : 100 g  
 Nombre : 8  
 Forme : Rognon, irr., plat  
 Nature : Fayalitique, ferreux

SAS - SGD 60 %  
 SFR 40 % Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

s'agit de 9 petites pièces de formes irrégulières et de natures différentes.

La pièce qui est plus grosse que les autres est ferreuse sur la surface supérieure, avec peu de relief, de couleur gris-mat et rouille, dense et fortement magnétique. La surface inférieure est granuleuse du fait des empreintes de sable du fond du foyer ; quelques inclusions de petits charbons (< 10 mm) ; présence d'argile beige plus ou moins agglomérée ; moyennement magnétique.

Cinq autres fragments sont ferreux, de couleur gris-mat et rouille, denses et fortement magnétiques.

Trois fragments sont fayalitiques, gris avec des reflets métalliques, moins denses et moins magnétiques.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre que ce petit échantillon est riche en métal. Les particules les plus grosses sont groupées dans la partie médiane de la pièce. Tout le reste du métal est disséminé sous la forme de filaments le long des différents matériaux (porosités, charbons, fond de la pièce etc).

Des vacuoles étirées horizontalement affleurent la surface.

Un seul charbon est inclus à la base de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	29.68
TiO <sub>2</sub>	0.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56.50
MnO	0.32
MgO	0.90
CaO	5.49
Na <sub>2</sub> O	0.17
K <sub>2</sub> O	1.44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32
Total	99.39

g fer extrait par tamisage

Fe extrait	5.17 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

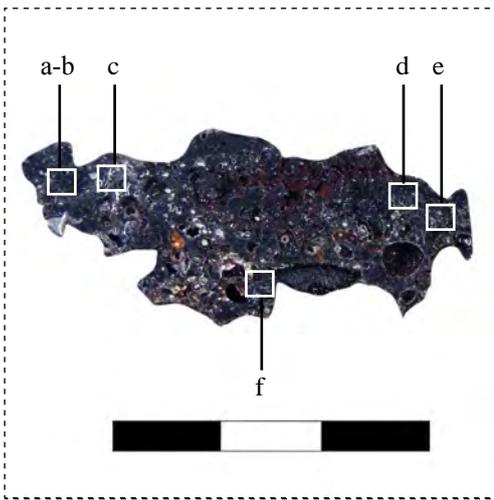
Fe tot	42.37 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	290	Cr	710
Co	290	La	10
Ni	<	Zr	250
Cu	1080	V	80
Zn	120	S	510
Ba	220	Mo	210
Total		3800	

- Teneur importante en  
 Cu et Mo

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

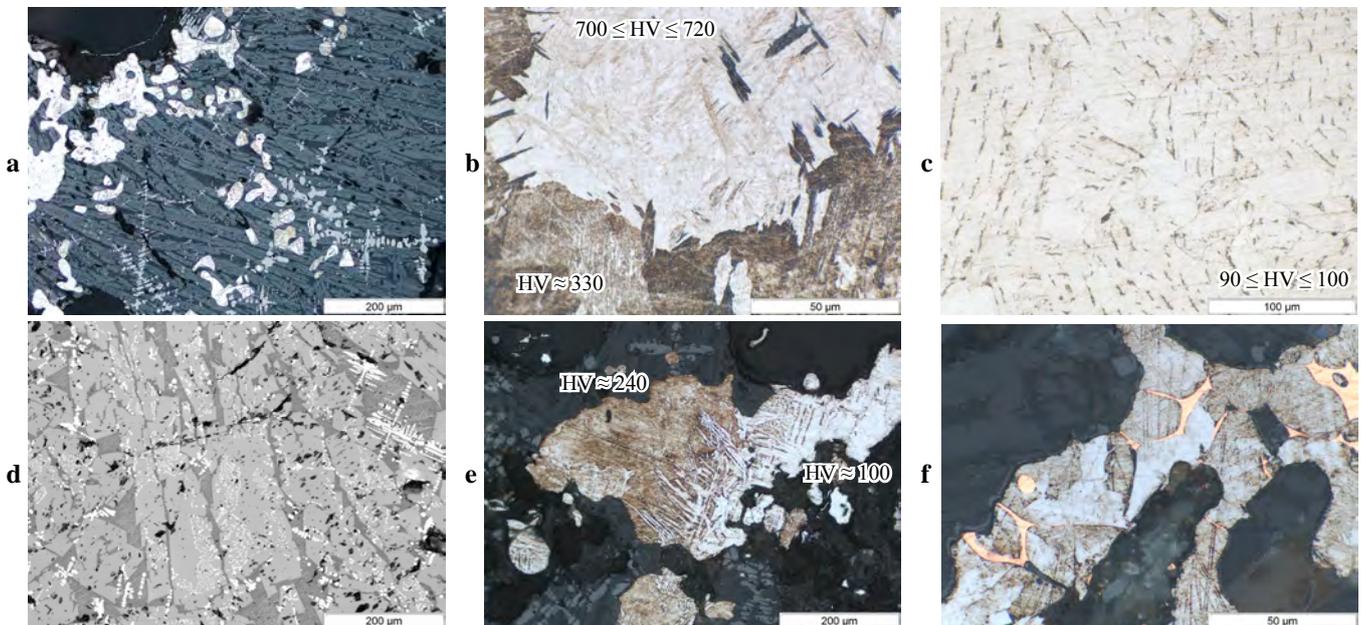
Cet échantillon montre une teinte sombre. Des cristaux de fayalite allongés (a), équi-granulaires ou plus massifs (d), sont répartis sur toute la coupe. Ils sont toujours en présence de nodules de wüstite (a) ou dendrites aux cristaux anguleux de magnétite (d).

Le métal est disséminé sur toute la coupe. La majorité des petites particules est composée de grains de ferrite (a). Seule une minorité est plus aciérée (e), jusqu'à 0.6 %C. Des filets de métal de ferrite et des globules de wüstite suivent le contour des matériaux présents (f).

Dans la partie médiane de la lame, les grosses particules sont toutes peu carburées (c), à 0.1-0.2 %C.

Toutefois, une seule particule est différente des autres puisqu'elle montre une dureté très importante (b). Sa nature n'est pas déterminée.

## Micrographies - Lame épaisse



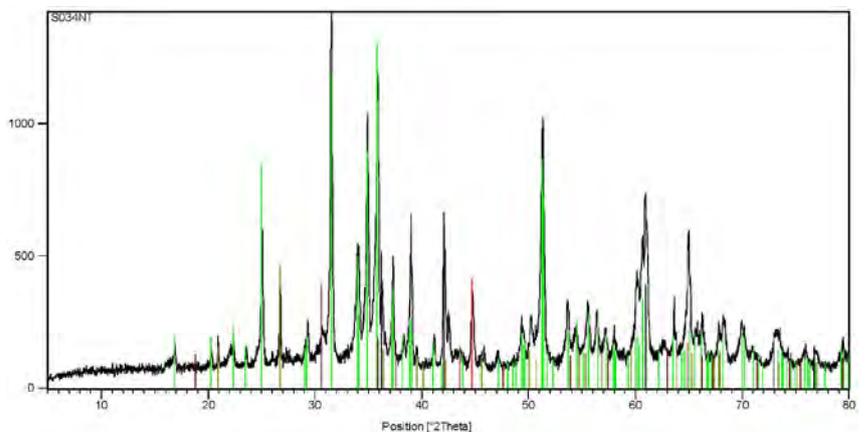
## Diffraction des rayons X

Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XXX
Fer	Fe	(X)
Wüstite	FeO	(X)
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Magnétite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	(X)

Minéralogie MO : Q+(M)+O+F

- Du quartz provenant de la surface inférieure de la scorie est également détecté

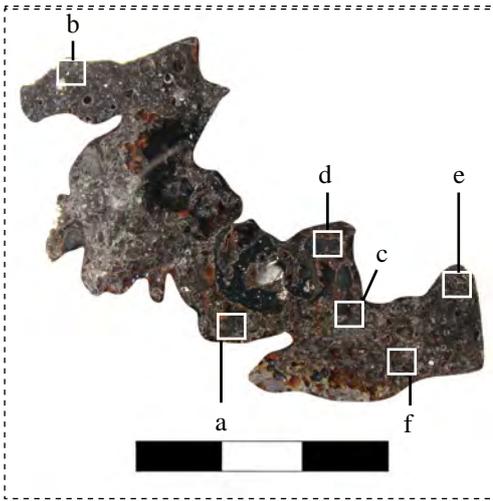
- La magnétite est également détectée



Residue + Peak List
01-075-0912; Fayalite
01-085-1410; Iron
01-075-1550; Wuestite; syn
01-074-1811; Quartz
01-085-0950; Magnetite



## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

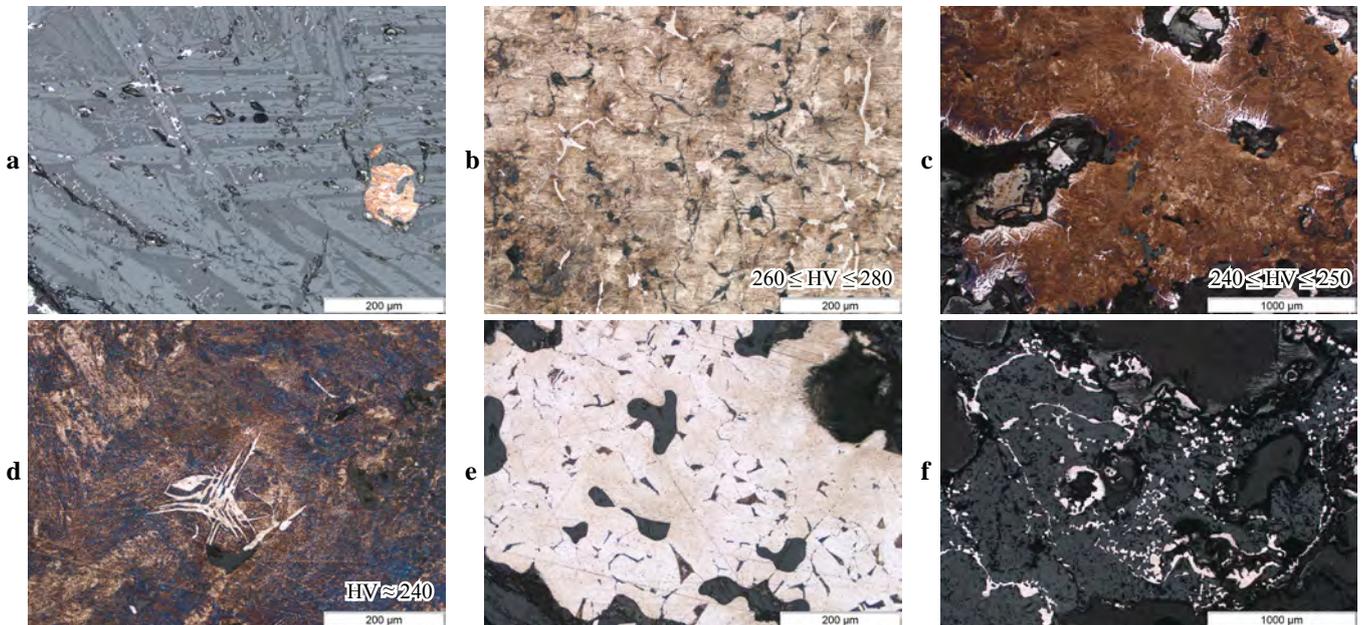
Cet échantillon, de teinte sombre, est couvert de cristaux de fayalite (a). Entre ces cristaux, baignent de fines baguettes de fayalite (a-b-f), accompagnées de formations dendritiques anguleuses de magnétite (a).

Le métal est présent en quantité importante dans la scorie, notamment des petites particules arrondies constituées de grains de ferrite (a-e). Au fond de la scorie, des filets de métal longent les contours des matériaux (f).

Les fragments de métal les plus importants sont des aciers proches de l'eutectoïde (0.6-0.8 %C). Les joints de grains sont rarement visibles (d) et parfois seule la périphérie montre une décarburation superficielle (c).

Une seule particule globulaire (1mm), différente du reste déjà observé, est assimilable à un acier à 1 %C (b).

## Micrographies - Lame épaisse



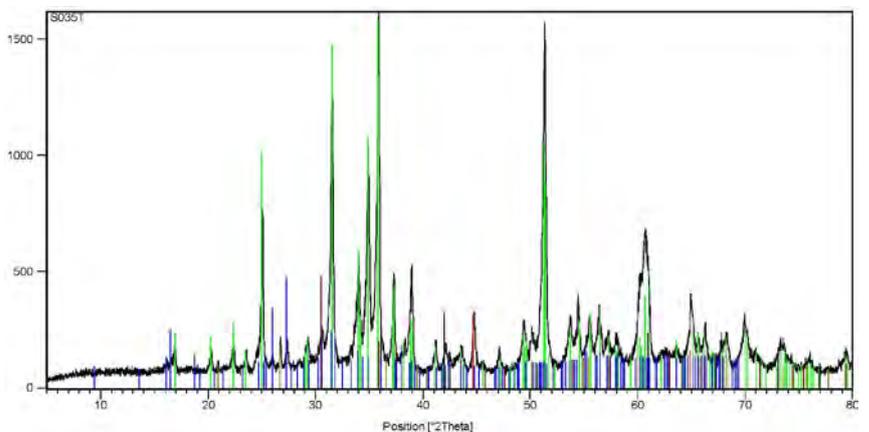
## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXX
Magnétite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	(X)
Wüstite	$\text{FeO}$	(X)
Fer	$\text{Fe}$	(X)
Leucite	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	(X)
Quartz	$\text{SiO}_2$	X

Minéralogie MO : Q+(M)+O+F+(A)

- Présence d'oxydes de fer

- Du quartz est identifié



Phase	Peak List
01-076-0512; Fayalite	[Liste de pics]
01-089-0950; Magnétite	[Liste de pics]
01-073-2144; Wüstite, syn	[Liste de pics]
01-085-1410; Iron	[Liste de pics]
01-071-1147; Leucite	[Liste de pics]
01-089-0795; Quartz	[Liste de pics]

## Echantillon : S036

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-SFR  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** R1D (daba D033-435 g et daba D034-395 g)  
**Poids du fer initial :** 830 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 47 min / 33 min / 80 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 29  
**Nombre et type de soudures :** 2 (1 multiple - 1 simple)  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 2145 g  
**Observations particulières :** Replie lame, bordures, épaulements des deux dabas avant soudure. Cassure d'un morceau de la soie.  
  
**Perte en fer cumulée g / % :** 190 g / 22.9 %  
**Répartition scorie g / % :** 71 g / 38 %  
**Répartition battitures g / % :** 119 g / 62 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 130 g - 100 %  
**Longueur :** 8.0 cm  
**Largeur :** 6.0 cm  
**Hauteur maximale :** 4.6 cm  
**Epaisseur moyenne :** 3.3 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.8 / 1.5  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Convexe - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 38 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 30 g  
**Nombre :** 6  
**Forme :** Rognon, irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux

**SAS 4 %                      SGD 92 %**  
**SFR 4 %                      Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un petit culot quart-circulaire et de 6 fragments. Quatre sont ferreux, denses, gris-mat et fortement magnétiques ; deux sont fayalitiques, moins denses et faiblement magnétiques.

La surface supérieure de couleur gris mat et rouille présente un bourrelet à l'extrémité proximale. On compte quelques petits charbons (< 5 mm) inclus sur la périphérie distale de la scorie. Cette partie est moyennement magnétique.

La surface inférieure est recouverte de petits cailloux inclus dans la masse et d'une fine couche de sable et d'argile blanche. Cette partie est faiblement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La matrice fayalitique sombre se révèle très poreuse (38 %). Les larges porosités affleurent la surface, notamment une large vacuole horizontale ( $\approx$  3 cm) du côté proximal. Les autres porosités sont en général étirées.

La part de métal reste très limitée (2 %). Des petites particules < 5 mm sont incluses uniquement dans la partie médiane de la scorie.

Des fragments de roche (3 %) sont répartis dans le fond de la pièce.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	28.49
TiO <sub>2</sub>	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55.19
MnO	0.50
MgO	0.77
CaO	6.67
Na <sub>2</sub> O	0.19
K <sub>2</sub> O	1.84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.37
Total	99.63

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	6.88 g
------------	--------

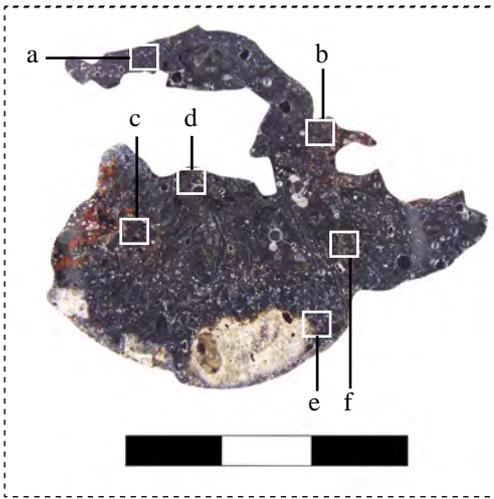
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	44.64 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	290	Cr	730
Co	280	La	20
Ni	<	Zr	200
Cu	320	V	50
Zn	<	S	290
Ba	410	Mo	120
Total		Total	2740

## Lame épaisse



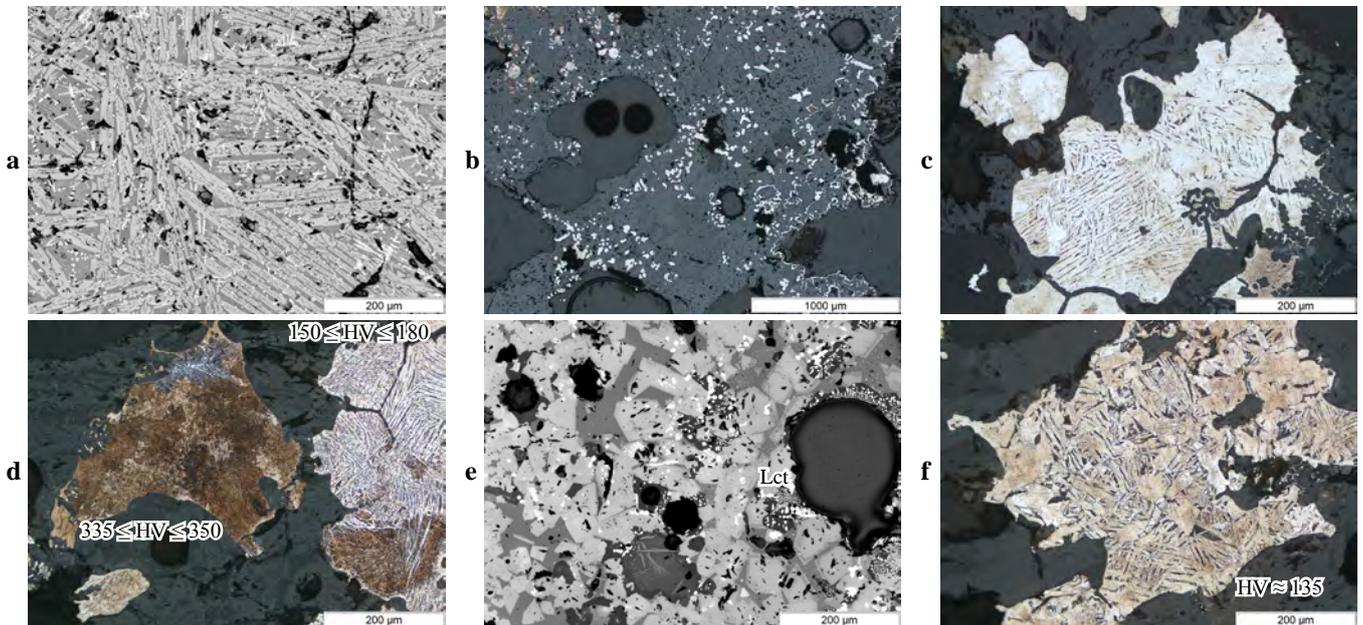
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Cet échantillon, de teinte sombre, est couvert de cristaux de fayalite : ils sont allongés et fins (a), plus épais en pavé, en plaque ou équi-granulaires (e). Il est possible d'observer des composés eutectiques entre la leucite et la wüstite (e). Des dendrites de wüstite et de magnétite croissent dans le verre interstitiel (a-e).

Après attaque chimique au Nital, sur toute la surface de la lame, les petites particules métalliques réparties en filets ou en nodules sont faites d'aciers ferritiques (b).

Dans la partie médiane de la scorie, la majorité des particules de métal sont formées de ferrite aciculaire et de perlite jusqu'à 0.2 %C (c-d-f). Seules quelques unes, très sombres, sont plus carburées : elles sont couvertes de perlite, sans délimitation des joints de grain et contiennent jusqu'à 0.8 %C (d).

## Micrographies - Lame épaisse



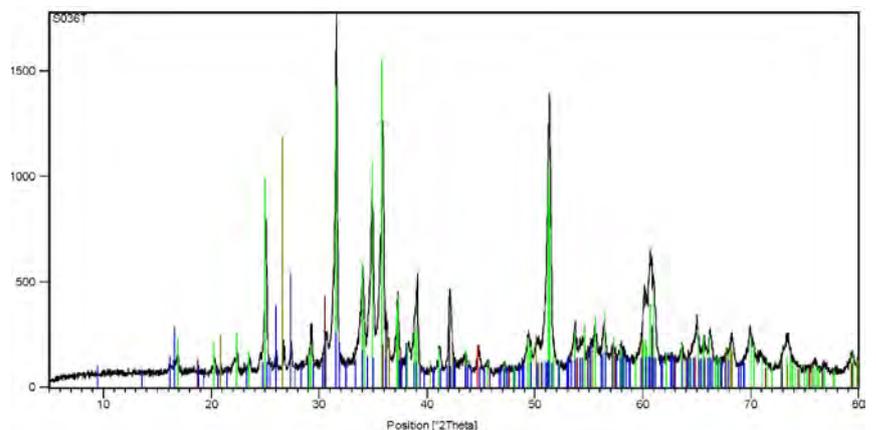
## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXX
Wüstite	$\text{FeO}$	(X)
Magnétite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	(X)
Fer	$\text{Fe}$	(X)
Leucite	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	X
Quartz	$\text{SiO}_2$	(X)

Minéralogie F : (Q)+(M)+(O)+F+(A)

- Présence d'oxydes de fer et de leucites en faible quantité

- Du quartz est identifié



Residue + Peak List
01-076-0012, Fayalite
01-074-1884, Wuestite, syn
01-089-0950, Magnetite
01-085-1410, Iron
01-071-1147, Leucite
00-045-1045, Quartz, syn

## Echantillon : S037

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : R1S (jante de camion)

Poids du fer initial : 860 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 33 min / 31 min / 64 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 21  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 2080 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 105 g / 12.2 %  
 Répartition scorie g / % : 9 g / 9 %  
 Répartition battitures g / % : 96 g / 91 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 40 g - 100 %  
 Longueur : 7.4 cm  
 Largeur : 5.4 cm  
 Hauteur maximale : 2.6 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.5 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.4 / 2.5  
 Orientation : Déterminée  
 Profil Dessus-Dessous : Irrégulier - Irrégulier  
 Porosité (coupe) : 27 %  
 Aimantation (coupe) : Faible

### Informations petites pièces

Poids : 20 g  
 Nombre : 1  
 Forme : Irrégulier  
 Nature : ?

SAS 42 %      SGD 58 %  
 SFR -          Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit de 2 pièces fragmentées aux formes irrégulières.

La pièce principale comporte encore un morceau de la tuyère et comprend des fragments scorifiés de pièces plus anciennes. La face supérieure est vitreuse et sombre, d'aspect fondu. La surface inférieure est plane, grise avec des reflets métalliques et non magnétique.

La seconde pièce, plus petite, est sombre et vitreuse sur sa face supérieure. Elle comporte des cailloux clairs et des fragments scorifiés plus anciens également. La surface inférieure est plane, grise à reflets métalliques et non magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

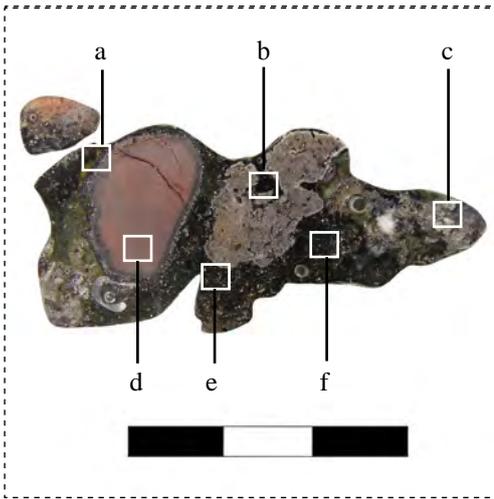
La coupe révèle l'inclusion d'un nodule (13 %) au milieu de la pièce, mais ainsi la présence de matériel argilo-sableux (17 %) en périphérie.

La matrice (42 %) contient des grains de roche à l'extrémité distale, des larges pores circulaires (< 1 cm) dispersés dans le fond de la pièce. Les porosités les plus fines sont elles réparties dans la partie médiane de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie			g fer extrait par tamisage	Eléments traces ppm	- Teneur élevée en V																																						
Eléments majeurs % de poids	SiO <sub>2</sub>	50.50	<table border="1" style="margin: 5px;"> <tr><td>Fe extrait</td><td>0.01 g</td></tr> <tr><td>Recalcul fer total % de poids</td><td></td></tr> <tr><td>Fe tot</td><td>14.92 %</td></tr> </table>	Fe extrait	0.01 g	Recalcul fer total % de poids		Fe tot	14.92 %	<table border="1" style="margin: 5px;"> <tr><td>Rb</td><td>50</td><td>Sc</td><td>&lt;</td></tr> <tr><td>Sr</td><td>400</td><td>Cr</td><td>210</td></tr> <tr><td>Co</td><td>210</td><td>La</td><td>&lt;</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>10</td><td>Zr</td><td>430</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>170</td><td>V</td><td>200</td></tr> <tr><td>Zn</td><td>70</td><td>S</td><td>250</td></tr> <tr><td>Ba</td><td>540</td><td>Mo</td><td>60</td></tr> <tr><td colspan="2">Total</td><td></td><td>2600</td></tr> </table>	Rb	50	Sc	<	Sr	400	Cr	210	Co	210	La	<	Ni	10	Zr	430	Cu	170	V	200	Zn	70	S	250	Ba	540	Mo	60	Total			2600	
	Fe extrait	0.01 g																																									
	Recalcul fer total % de poids																																										
	Fe tot	14.92 %																																									
	Rb	50		Sc	<																																						
	Sr	400		Cr	210																																						
	Co	210		La	<																																						
	Ni	10		Zr	430																																						
	Cu	170		V	200																																						
	Zn	70		S	250																																						
Ba	540	Mo	60																																								
Total			2600																																								
TiO <sub>2</sub>	0.59																																										
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.28																																										
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.18																																										
MnO	0.15																																										
MgO	1.46																																										
CaO	9.25																																										
Na <sub>2</sub> O	0.28																																										
K <sub>2</sub> O	3.24																																										
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.68																																										
Total	99.60																																										
- Teneurs élevées en TiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et Na <sub>2</sub> O																																											

## Lame épaisse



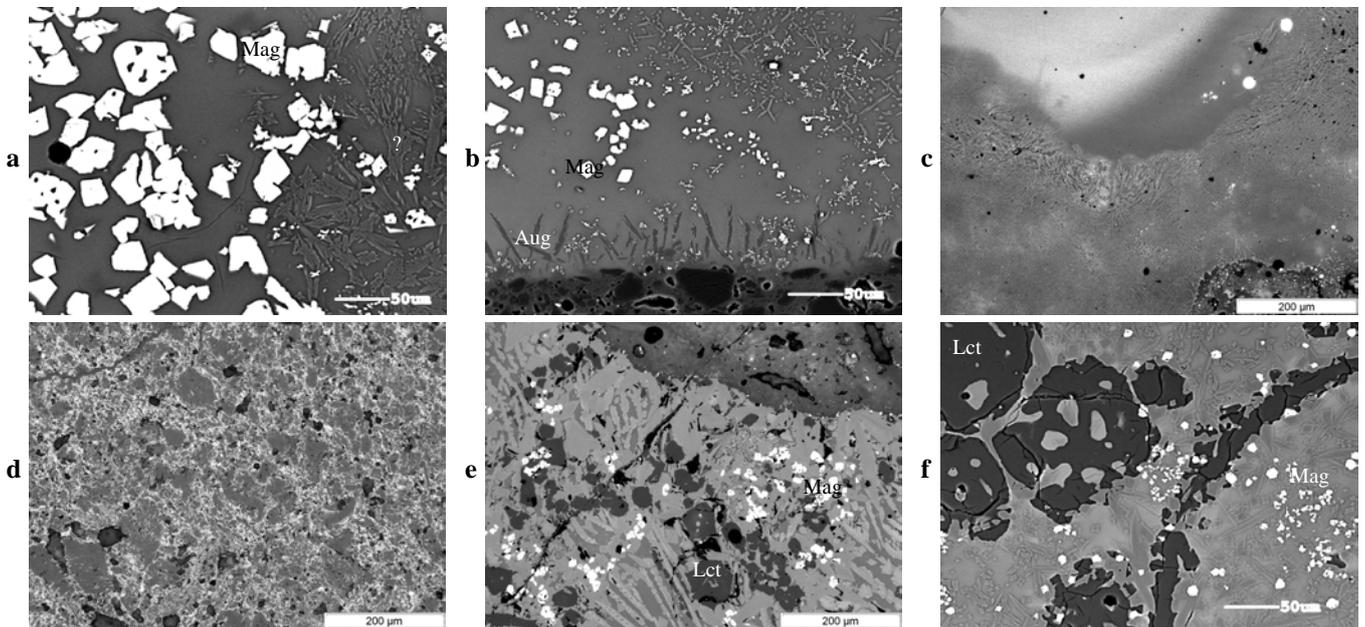
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Le nodule inclus est en fait un fragment de roche scorifié (d).

Des colonies de cristaux anguleux de magnétite (a-b-e-f) et de leucite sombres (e-f) sont répartis sur la surface de la lame. Des baguettes souples (ferrobustamite ?) sont concentrée dans la zone (c). Ce qui ressemble à de l'hedenbergite est visualisé dans la zone (e) avec de la leucite. Des baguettes d'augite sont situées en surface de grains de quartz (b).

En (a-f), des cristaux similaires à S032 (f), non identifiés, ont leur composition très proche de celle du verre : [wt % moyen (a) : O 35.00 - Al 6.85 - Si 28.63 - K 3.91 - Ca 13.21 - Fe 10.67].

## Micrographies - Lame épaisse

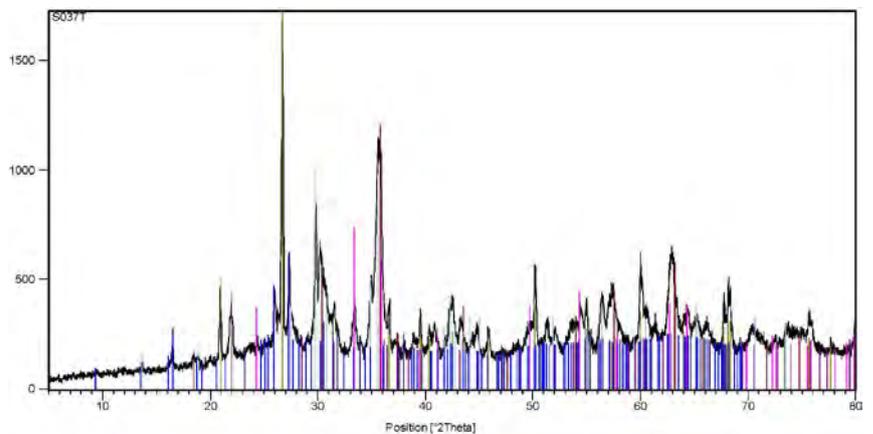


## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Augite	Ca(Fe,Mg)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	XX
Magnétite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	(X)
Hématite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(X)
Leucite	KAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	X

Minéralogie A : Q+(O)+A

- Présence d'hématite non observée précédemment



Phase	Reference
Quartz	01-083-0538
Cristobalite SGA	01-081-1232
Magnetite	01-075-0449
Hématite, syn	01-089-8103
Leucite	01-071-1147

## Echantillon : S038

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SI  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** R1S (jante de camion)  
  
**Poids du fer initial :** 835 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 34 min / 25 min / 59 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 19  
**Nombre et type de soudures :** -  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 2150 g  
**Observations particulières :** -

**Perte en fer cumulée g / % :** 105 g / 12.6 %  
**Répartition scorie g / % :** 1 g / 1 %  
**Répartition battitures g / % :** 104 g / 99 %

### Informations pièce principale

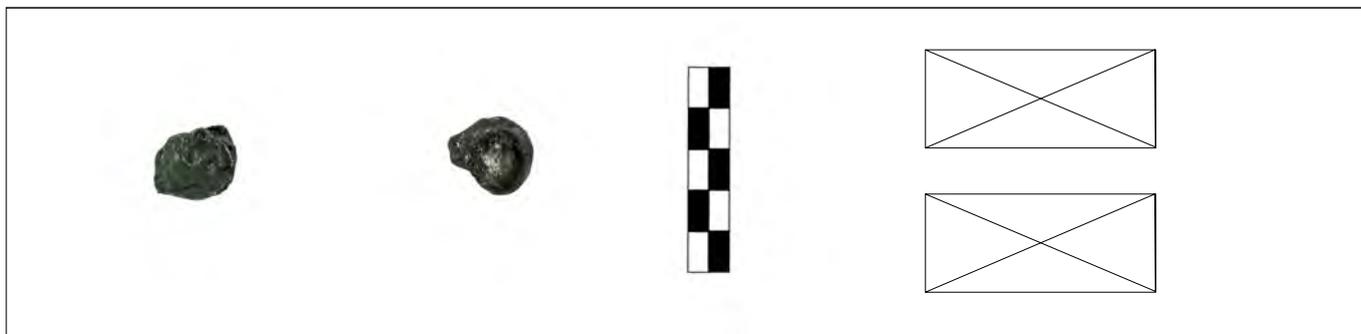
**Poids - % conservation :** -  
**Longueur :** -  
**Largeur :** -  
**Hauteur maximale :** -  
**Epaisseur moyenne :** -  
**Ellipticité / planéité :** -  
**Orientation :** -  
**Profil Dessus-Dessous :** -  
**Porosité (coupe) :** -  
**Aimantation (coupe) :** -

### Informations petites pièces

**Poids :** 5 g  
**Nombre :** 1  
**Forme :** Bille  
**Nature :** Argilo-sableux

**SAS ?**                      **SGD ?**  
**SFR ?**                      **Autre ?**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit d'une pièce nodulaire de petite taille (2 x 2 cm).

La face supérieure est lisse et vitreuse de couleur noire, avec un fragment de cailloux blanc qui semble ressortir de la masse ; pas d'aimantation.

La face inférieure est gris mat sans aimantation.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	68.48
TiO <sub>2</sub>	0.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.82
MnO	0.08
MgO	1.07
CaO	7.23
Na <sub>2</sub> O	0.12
K <sub>2</sub> O	2.92
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.40
Total	99.64

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	0.02 g
------------	--------

Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	9.44 %
--------	--------

Eléments traces  
ppm

Rb	50	Sc	<
Sr	420	Cr	300
Co	90	La	<
Ni	10	Zr	370
Cu	40	V	310
Zn	60	S	120
Ba	590	Mo	40
Total		Total	2400

- Teneur élevée en V

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

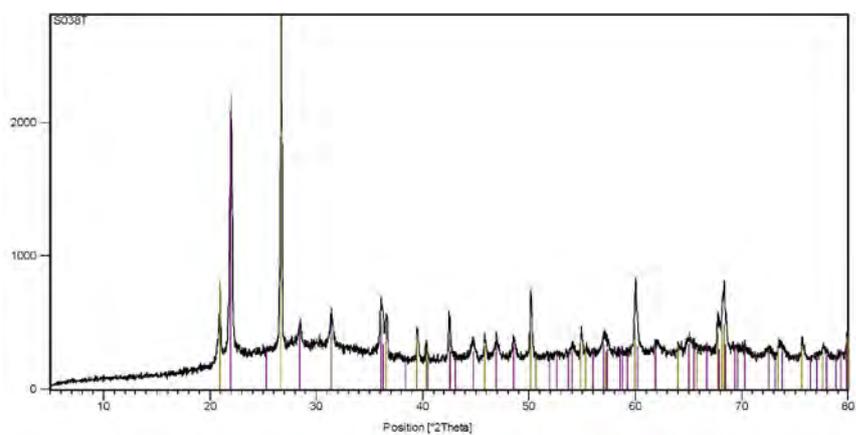
f

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	XX

Minéralogie Q : Q

- Le bruit de fond élevé suggère la présence d'une phase vitreuse importante



## Echantillon : S039

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : R1S (jante de camion)

Poids du fer initial : 780 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 32 min / 32 min / 64 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 25  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 1690 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 105 g / 13.5 %  
 Répartition scorie g / % : 2 g / 2 %  
 Répartition battitures g / % : 103 g / 98 %

### Informations pièce principale

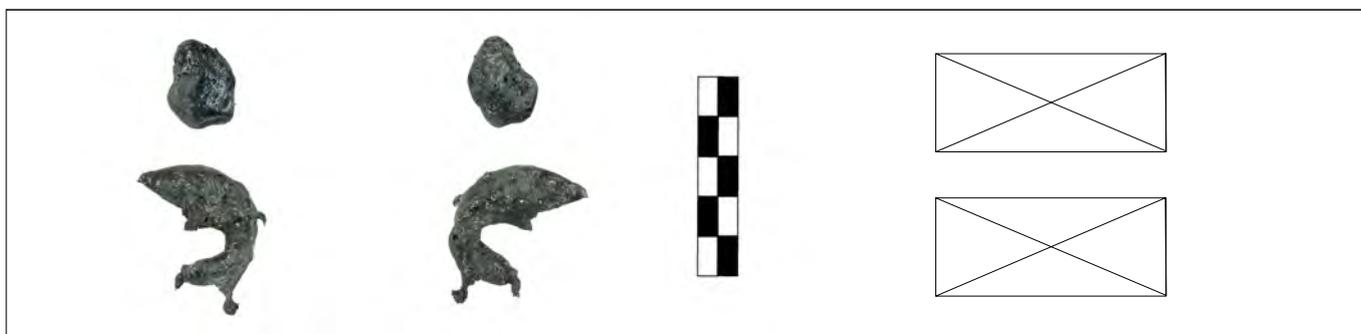
Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 10 g  
 Nombre : 2  
 Forme : Bille, irrégulier  
 Nature : Fayalitique

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                      Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de deux pièces de petite taille.

L'une est globulaire, moyennement dense, de couleur grise avec des reflets métalliques et moyennement magnétique.

L'autre est peu dense, de forme allongée et recourbée, de couleur grise avec des reflets métalliques et faiblement magnétique.

### Fluorescence des rayons X

	SiO <sub>2</sub>	44.19	g fer extrait par tamisage	Eléments traces ppm					
Poudre de scorie Eléments majeurs % de poids  - Teneur élevée en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	0.33	Fe extrait 0.21 g	Rb	30	Sc	20	- Teneur élevée en V	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.45		Sr	500	Cr	380		
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.14	Recalcul fer total % de poids	Co	230	La	<		
	MnO	0.16		Ni	<	Zr	460		
	MgO	1.44	Fe tot 23.57 %	Cu	60	V	370		
	CaO	8.66		Zn	10	S	130		
	Na <sub>2</sub> O	0.15	Total	Ba	560	Mo	60		
	K <sub>2</sub> O	1.73		Total		2810			
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.31							
	Total	99.55							

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

f

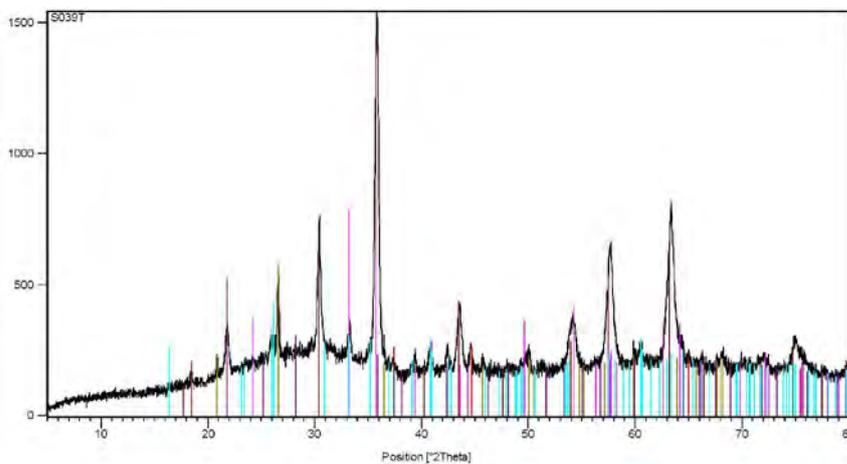
## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XX
Magnétite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	XX
Hématite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Mullite	3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub>	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie MO : Q+(M)+O+(A)

- Présence d'oxydes de fer en quantité importante

- Présence de mullite : provenance de la paroi du foyer ?



Residue + Peak List
01-083-0539; Quartz
01-075-0449; Magnetite
01-089-8104; Hematite, syn
01-089-3607; Cristobalite JGB (high)
01-075-1215; Mullite -ref
01-088-7184; Iron

## Echantillon : S040

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Dounde  
 Matériel de départ : M2S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 42 min / 35 min / 77 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 31  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 4870 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 115 g / 11.5 %  
 Répartition scorie g / % : 1 g / 1 %  
 Répartition battitures g / % : 114 g / 99 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 5 g  
 Nombre : 3  
 Forme : Bille, rognon, irr.  
 Nature : Arg.-sabl., ferreux

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                      Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 3 petites pièces, de formes irrégulières et de natures différentes.

La première pièce est ferreuse, globulaire, lisse, de couleur gris et d'aspect mat et est fortement magnétique.

Les deux autres sont argilo-sableuses et proviennent de l'agglomération et de la vitrification du sable du foyer ; non magnétiques.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie Eléments majeurs % de poids			g fer extrait par tamisage	Eléments traces ppm			
	SiO <sub>2</sub>	51.82		Rb	40	Sc	<
	TiO <sub>2</sub>	0.14		Sr	160	Cr	570
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.91		Co	140	La	<
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.08	Fe extrait   0.38 g	Ni	<	Zr	160
	MnO	0.23		Cu	60	V	30
	MgO	0.68		Zn	10	S	360
	CaO	8.33		Ba	440	Mo	70
	Na <sub>2</sub> O	0.36				Total	2040
	K <sub>2</sub> O	2.41					
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7.71					
	Total	99.67	Recalcul fer total % de poids Fe tot   28.26 %				

- Teneurs élevées en Na<sub>2</sub>O et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

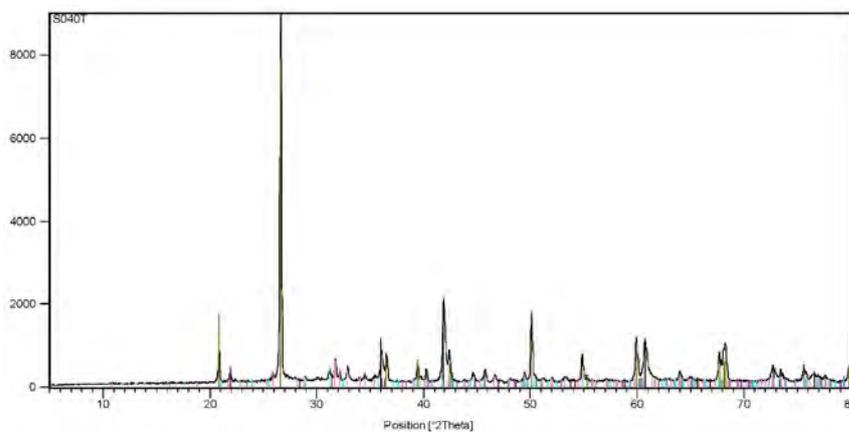
f

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXXX
Wüstite	FeO	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Akermanite	Ca <sub>2</sub> MgSi <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	(X)
divers	Ca-Na-Mg-P- ...?	(X)

Minéralogie A : Q+(O)+A

- Présence d'akermanite et d'autres minéraux riches en Ca, Na, Mg, P



Residue + Peak List
01-075-1910; Quartz
01-074-1682; WpLaitite, syn
01-077-1316; Cristobalite low, syn
01-075-0541; Akermanite
00-024-1227; Isidellite, syn
01-081-0041

## Echantillon : S041

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M2D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 53 min / 32 min / 85 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 32

**Nombre et type de soudures :** 2 (simples)  
**Nature des ajouts :** Poudre argile+charbon ; boue argile  
**Utilisation des ajouts :** Jette dans foyer ; enduit les barres

**Consommation de charbon :** 3535 g  
**Observations particulières :** Un morceau de barre se détache lors d'une soudure. Trempe les barres 2 fois

**Perte en fer cumulée g / % :** 315 g / 31.5 %  
**Répartition scorie g / % :** 139 g / 44 %  
**Répartition battitures g / % :** 176 g / 56 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 155 g - 97 %  
**Longueur :** 8.2 cm  
**Largeur :** 6.6 cm  
**Hauteur maximale :** 3.1 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.8 / 2.4  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Convexe - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 24 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 10 g  
**Nombre :** 2  
**Forme :** Irrégulier  
**Nature :** Arg.-sabl., ferreux

**SAS -** SGD 35 %  
**SFR 65 %** Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un petit culot, très dense, quart-circulaire et de 3 fragments (un est argilo-sableux, deux sont ferreux).

La surface supérieure est grise d'aspect mat avec une vingtaine de charbons inclus (< 25 mm) aux pourtours oxydés. On note un relief important du aux nombreuses empreintes de charbon. L'aimantation de cette surface est forte.

La surface inférieure est recouverte de sable aggloméré provenant du fond du foyer ce qui donne un aspect granuleux. On observe aussi de nombreuses inclusions de charbon (<15mm). Cette partie est également fortement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle un enchevêtrement de différents matériaux.

On observe une importante proportion de fer à l'état métallique englobé dans un matériel fayalitique sombre et poreux comportant des pièces de charbon (6 %).

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	39.42
TiO <sub>2</sub>	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44.09
MnO	1.33
MgO	0.84
CaO	2.34
Na <sub>2</sub> O	0.15
K <sub>2</sub> O	2.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24
Total	99.39

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	31.11 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

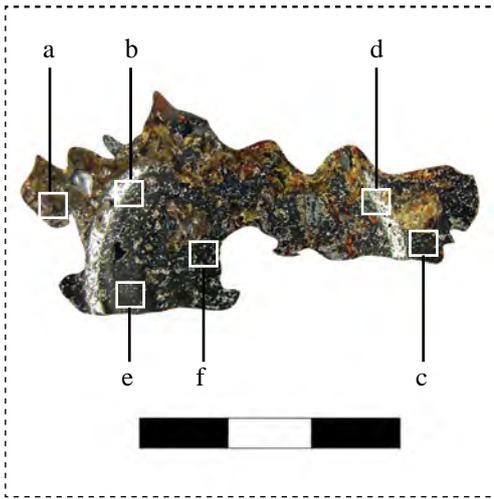
Fe tot	84.40 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	60	Sc	<
Sr	150	Cr	1810
Co	370	La	<
Ni	<	Zr	130
Cu	130	V	40
Zn	<	S	240
Ba	340	Mo	100
		Total	3370

- Teneurs élevées en  
 Co et Cr

## Lame épaisse

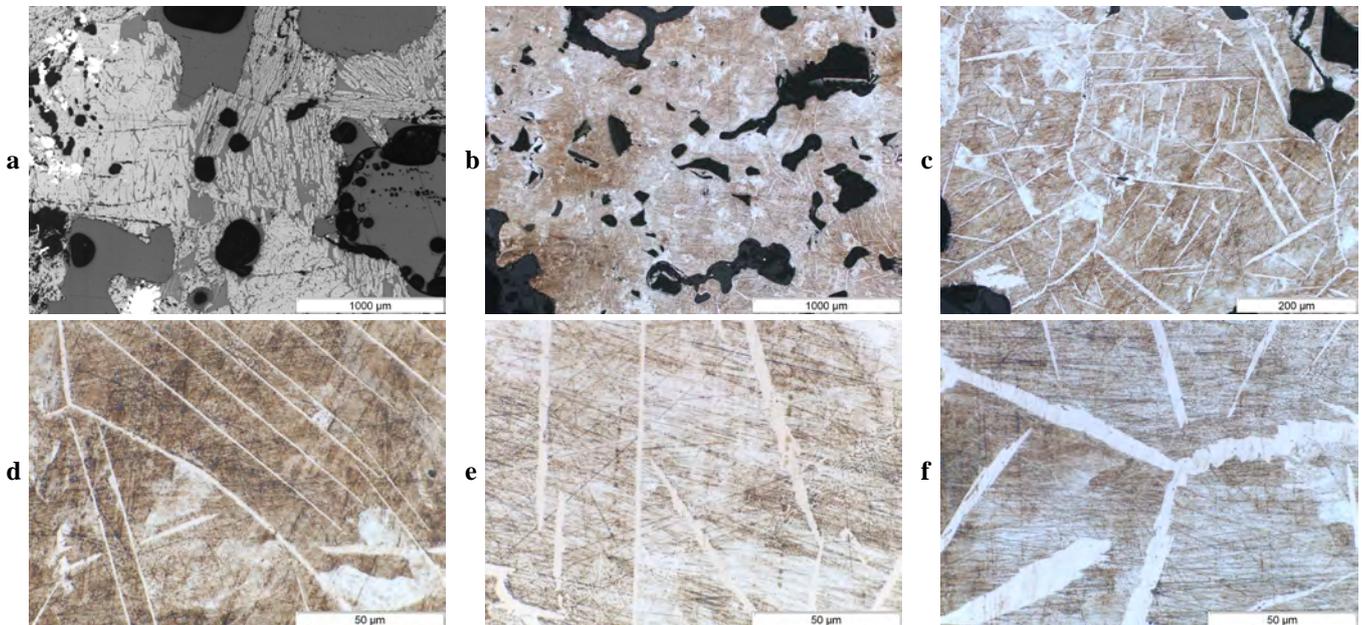


## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Le matériel sombre est composé de cristaux de silicates de fer soit allongés en chaîne soit équiaxiaux et tassés les uns autres (a).

Le métal quant à lui est mal compacté puisqu'on observe un matériel toujours très poreux (b). La microstructure du métal est homogène : toute la surface est faite d'un acier avec des joints de grain de cémentite (c). Il s'agit d'acier hypereutectoïde à 1 %C. Tous ces grains comportent des structures en bande de cémentite (d-e-f).

## Micrographies - Lame épaisse

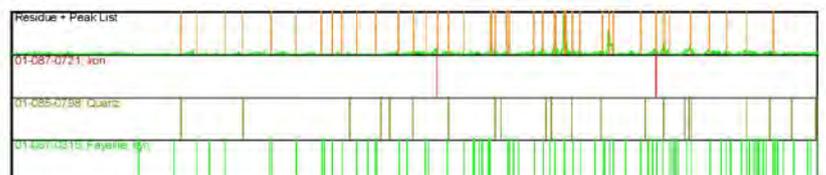
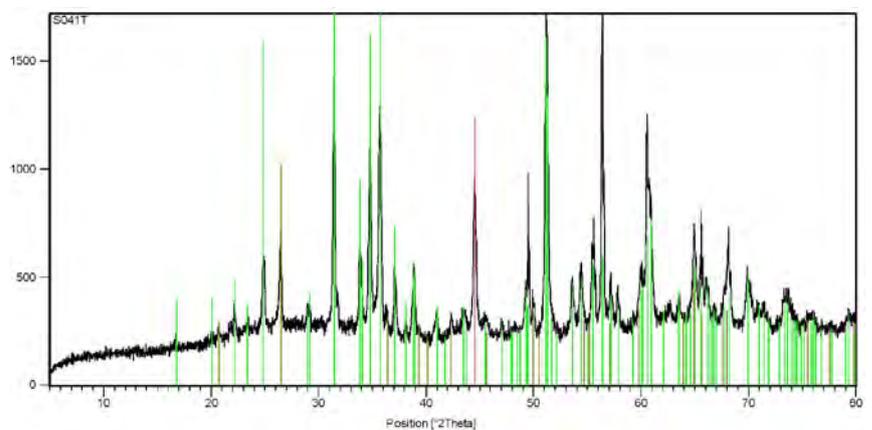


## Diffraction des rayons X

Fer	Fe	(X)
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XXXX

Minéralogie FQ : Q+(M)+F

- Bruit de fond élevé: verre et/ou fluorescence du fer métallique ?



## Echantillon : S042

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Dounde  
 Matériel de départ : M4S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 40 min / 27 min / 67 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 24  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 1690 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 120 g / 12 %  
 Répartition scorie g / % : 2 g / 2 %  
 Répartition battitures g / % : 118 g / 98 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 15 g - 75 %  
 Longueur : 6.3 cm  
 Largeur : 5.0 cm  
 Hauteur maximale : 2.4 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.5 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.3 / 2.4  
 Orientation : Incertaine  
 Profil Dessus-Dessous : Irrégulier - Irrégulier  
 Porosité (coupe) : 41 %  
 Aimantation (coupe) : Non

### Informations petites pièces

Poids : 15 g  
 Nombre : 5  
 Forme : Irr., bille, rognon  
 Nature : Arg.-sabl., fay.

SAS 100 %      SGD -  
 SFR -            Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite scorie allongée et de 5 pièces de natures différentes. Une pièce est un nodule fayalitique gris à reflets métalliques et faiblement magnétique. Les autres sont argilo-sableux, vitrifiés et non magnétiques.

La scorie montre une surface supérieure vitreuse, d'aspect fondu, dans de couleur vert clair et violacé. On observe également un bourrelet vitreux sombre indiquant l'extrémité de la tuyère.

La surface inférieure est plane et recouverte d'une couche de sable aggloméré provenant de la sole du foyer. L'aimantation est inexistante.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle l'inclusion d'un fragment de roche nodulaire (20 %) dans un matériel vitrifié (39 %) comportant des grains de quartz.

La porosité est fine, régulière et abondante.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	70.31
TiO <sub>2</sub>	0.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.65
MnO	0.20
MgO	0.97
CaO	4.30
Na <sub>2</sub> O	0.27
K <sub>2</sub> O	5.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.56
Total	99.60

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	-
------------	---

Recalcul fer total  
 % de poids

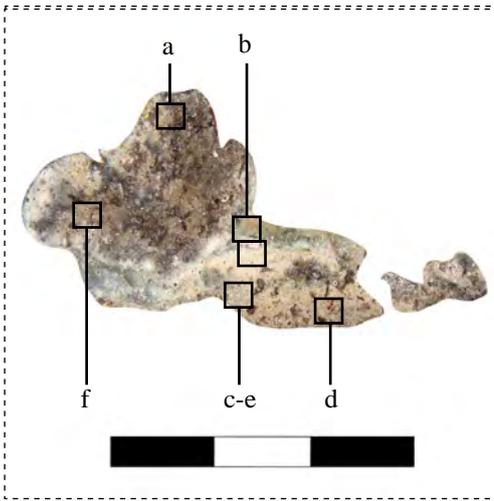
Fe tot	7.48 %
--------	--------

Eléments traces  
 ppm

Rb	90	Sc	<
Sr	280	Cr	100
Co	250	La	<
Ni	20	Zr	300
Cu	90	V	80
Zn	20	S	110
Ba	650	Mo	30
Total		2020	

- Teneurs élevées en  
 Na<sub>2</sub>O et K<sub>2</sub>O

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

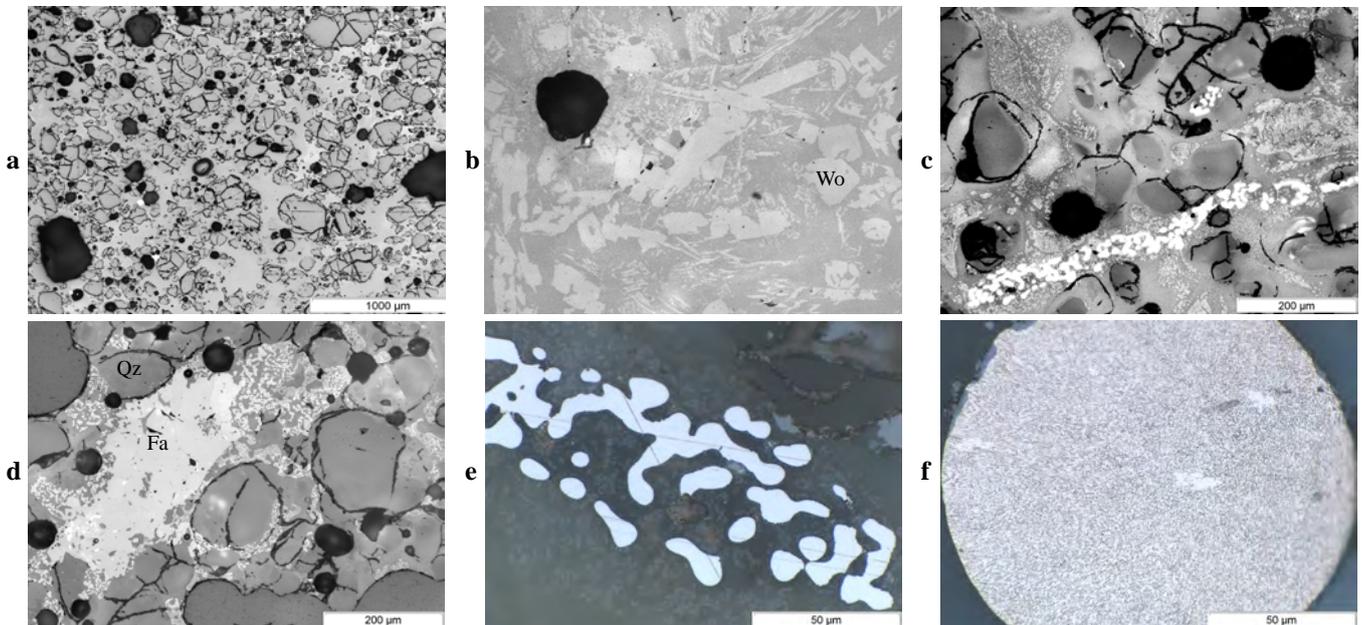
Le fragment de roche central est un agrégat de grains de quartz dans un verre poreux (a).

Certaines zones vitreuses montrent des cristaux clairs (b) de composition [wt% moyen (b): O 28.81 - Si 27.37 - Ca 35.28], similaire à celle de la wollastonite.

Ailleurs, la surface est parsemée de quarts cimentés par un verre. Des croûtes d'oxydes plates (c) et autres petites particules de métal en décomposition (d) fournissent le fer nécessaire à la formation de fayalites (e).

Après attaque chimique au Nital, le rare métal dispersé est un acier ferritique (e-f).

## Micrographies - Lame épaisse

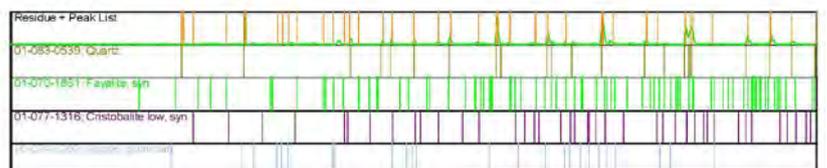
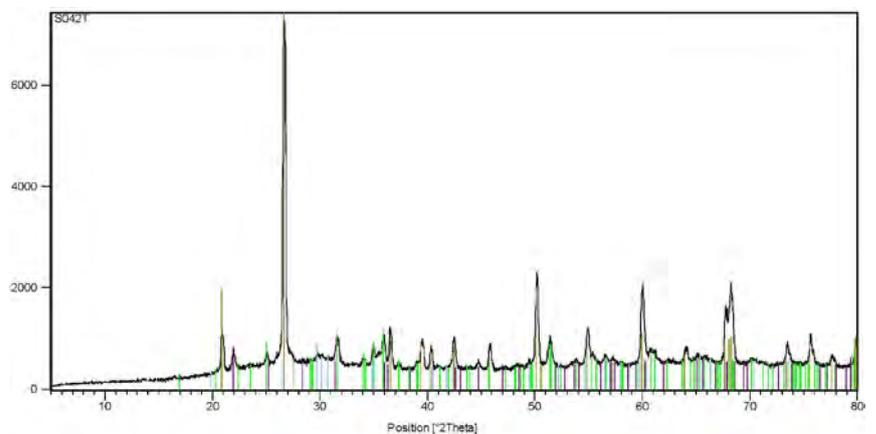


## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Augite	Ca(Fe,Mg)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(X)

Minéralogie QF : Q+F+(A)

- Wollastonites non identifiées



## Echantillon : S043

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M4S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 44 min / 32 min 76 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 23  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 4675 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 140 g / 14 %  
 Répartition scorie g / % : 6 g / 4 %  
 Répartition battitures g / % : 134 g / 96 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 17 g  
 Nombre : 8  
 Forme : Irr., bille, rognon  
 Nature : Arg.-sabl., fay., ferr.

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                      Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 8 pièces de petite taille, aux formes irrégulières et de natures différentes.

Deux pièces sont ferreuses, globulaires, très denses, de couleur gris métallique et très aimantées.

Trois pièces sont fayalitiques, de couleur gris-violet, gris d'aspect mat ou gris recouvert d'une fine couche vitrifiée jaunâtre ; aimantation faible à moyenne.

Trois pièces sont argilo-sableuses, constituées de sable aggloméré plus ou moins vitrifié, sans aimantation.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie Eléments majeurs % de poids			g fer extrait par tamisage	Eléments traces ppm			
	SiO <sub>2</sub>	60.19		Rb	30	Sc	30
- Teneur importante en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	0.24	Fe extrait 4.83 g	Sr	150	Cr	480
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.22		Co	110	La	<
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.77	Recalcul fer total % de poids	Ni	30	Zr	400
	MnO	0.32		Cu	110	V	60
	MgO	0.39		Zn	10	S	60
	CaO	10.33		Ba	440	Mo	40
	Na <sub>2</sub> O	0.10		Fe tot 36.78 %		Total 1930	
	K <sub>2</sub> O	0.88					
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	9.27					
	Total	99.71					

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

f

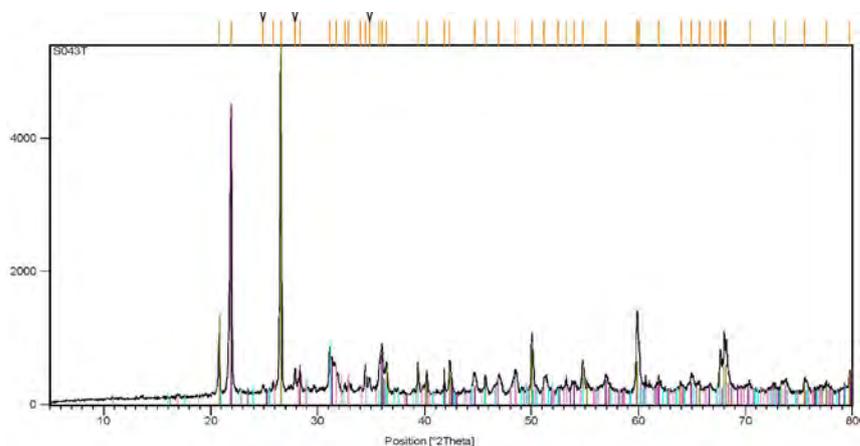
## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	XX
Wüstite	FeO	(X)
Akermanite	Ca <sub>2</sub> MgSi <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	(X)
divers	Ca-Na-Mg-P-?	(X)

Minéralogie A : Q+(O)+A

- 3 pics non attribués

- Présence d'akermanite et d'autres minéraux riches en Ca, Na, Mg et P.



Residue - Peak List
01-083-0539; Quartz
01-075-0935; Cristobalite low
01-089-0686; Wuestite, syn
00-024-1227; Eristalite, syn
01-076-0341; Akermanite
01-029-0619

## Echantillon : S044

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M4S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 39 min / 29 min / 63 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 20  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 2355 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 120 g / 12 %  
 Répartition scorie g / % : 10 g / 9 %  
 Répartition battitures g / % : 110 g / 91 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 25 g  
 Nombre : 4  
 Forme : Irrégulier, rognon  
 Nature : Arg.-sabl., fay., ferr.

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                     Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 4 pièces de petite taille, de formes irrégulières.

La plus grosse est fayalitique, moyennement dense, de couleur gris-violet avec des reflets métalliques ; la surface supérieure présente une excroissance globulaire vitreuse, lisse, noire indiquant la position de l'embout de la tuyère ; pas d'aimantation.

La surface inférieure présente un aspect plus granuleux car elle est recouverte de sable provenant du fond du foyer ; pas d'aimantation.

Deux pièces plus petites sont argilo-sableuses, composées de cailloux et de sable agglomérés sous l'effet de la chaleur, peu denses, pas d'aimantation.

La dernière pièce est ferreuse, dense, grise, avec une forte aimantation.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	67.30
TiO <sub>2</sub>	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.19
MnO	0.20
MgO	0.98
CaO	2.95
Na <sub>2</sub> O	0.16
K <sub>2</sub> O	4.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23
Total	99.73

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	7.73 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	41.91 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	120	Sc	<
Sr	250	Cr	130
Co	110	La	<
Ni	60	Zr	370
Cu	60	V	60
Zn	40	S	60
Ba	690	Mo	50
Total		Total	2000

- Teneur importante en  
 Rb

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

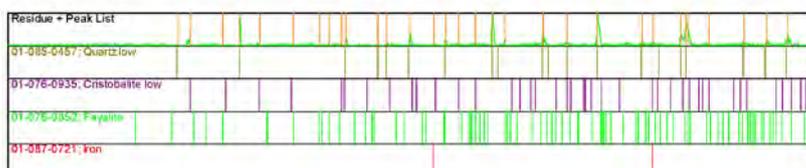
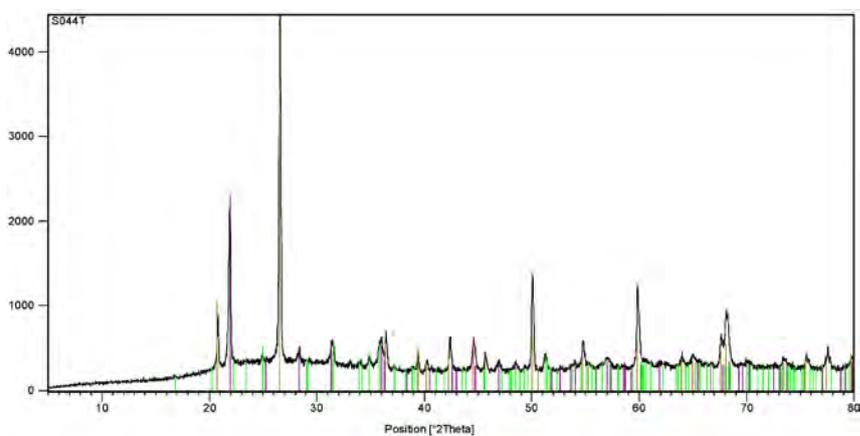
e

f

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Fer	Fe	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+F



## Echantillon : S045-046-047

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M3D-M3D-M3D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g + 2x500 g + 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 134 min / 81 min / 215 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 66  
**Nombre et type de soudures :** 3 (simples)  
**Nature des ajouts :** Boue d' argile+tuyère ; charbon  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres ; jette dans foyer  
**Consommation de charbon :** 11785 g  
**Observations particulières :** F045-F046 matin, F047 après-midi.  
 6 trempes ont été pratiquées

**Perte en fer cumulée g / % :** 950 g / 31.7 %  
**Répartition scorie g / % :** 511 g / 54 %  
**Répartition battitures g / % :** 439 g / 46 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 555 g - 98 %  
**Longueur :** 12.8 cm  
**Largeur :** 10.5 cm  
**Hauteur maximale :** 6.6 cm  
**Epaisseur moyenne :** 4.0 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.2 / 1.8  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Concave - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 17 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 50 g  
**Nombre :** 1  
**Forme :** Rognon  
**Nature :** Ferreux

**SAS -** SGD 29 %  
**SFR 71 %** Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot stratifié, circulaire avec un bras ferreux, très dense, très épais et de 2 fragments également ferreux.

La surface supérieure, plate au relief peu élevé, est ferreuse de couleur gris-violet et rouille ; aspect poreux à cause d'empreintes de charbon ; fortement magnétique.

La surface inférieure est ferreuse, à l'aspect granuleux à cause du sable du fond de foyer aggloméré ou d'empreintes ; on trouve de nombreux charbons inclus (< 25 mm) ; fortement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle une grande proportion de métal (56 %) formant un bloc compact dans la partie haute et médiane de la scorie.

La base de la scorie est constituée d'une matrice foncée fayalitique comportant des porosités fines et abondantes, des petites particules de métal et des charbons (4 %).

De larges porosités (< 2 cm) sont réparties à la jonction des deux niveaux.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	32.05
TiO <sub>2</sub>	0.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60.73
MnO	0.94
MgO	0.28
CaO	1.17
Na <sub>2</sub> O	0.08
K <sub>2</sub> O	0.95
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13
Total	99.48

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	174.6 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

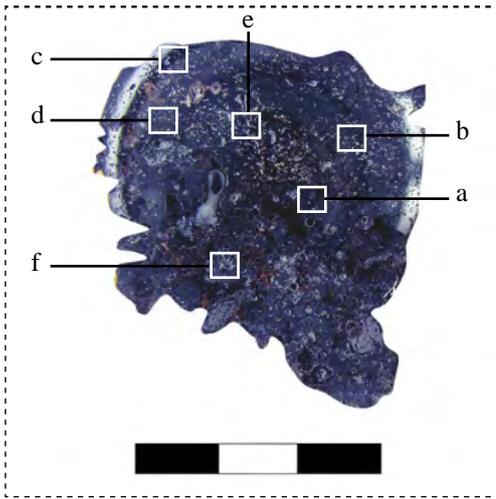
Fe tot	84.50 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	70	Cr	2240
Co	370	La	80
Ni	30	Zr	90
Cu	180	V	30
Zn	<	S	160
Ba	120	Mo	90
		Total	3480

- Teneurs importantes  
 en Sr et Cr

## Lame épaisse



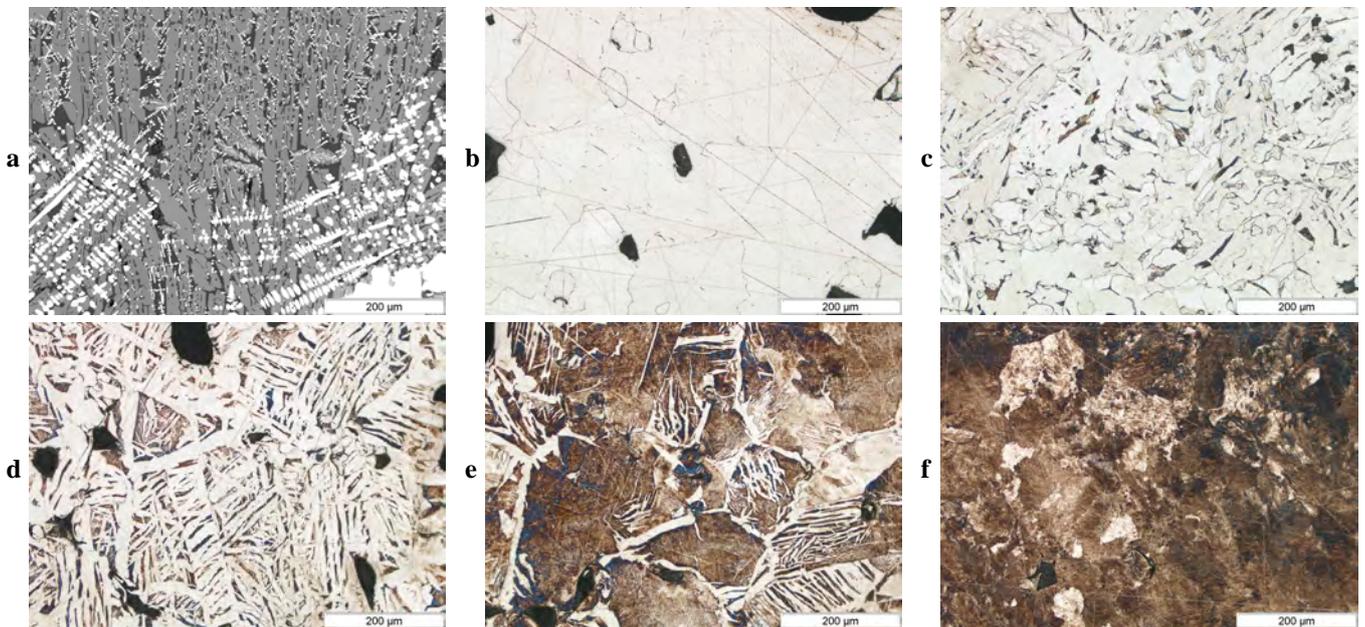
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La matrice foncée est formée de cristaux allongés de fayalite (a). Le verre sombre interstitiel, riche en Fe, voit la formation de dendrites de wüstite (a). D'anciennes particules de métal assimilées dans le milieu laissent des plages de globules et dendrites de wüstite (a).

Le métal dans la scorie s'avère de différentes qualités, toujours entre 0 et 0.8%C. Les parties proches de la surface supérieure de la pièce (c) ont tendance à être moins carburées qu'en profondeur (f).

Dans le détail, la microstructure montre une succession de zones plus ou moins carburées formées de ferrite de Widmanstätten et de perlite. On rencontre des aciers ferritiques (b), des aciers peu carburés à 0.05 %C (c), à 0.1 %C (d), en profondeur des aciers à 0.6 %C (e) et dans la partie basse des aciers eutectoïdes à 0.8 %C (f).

## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

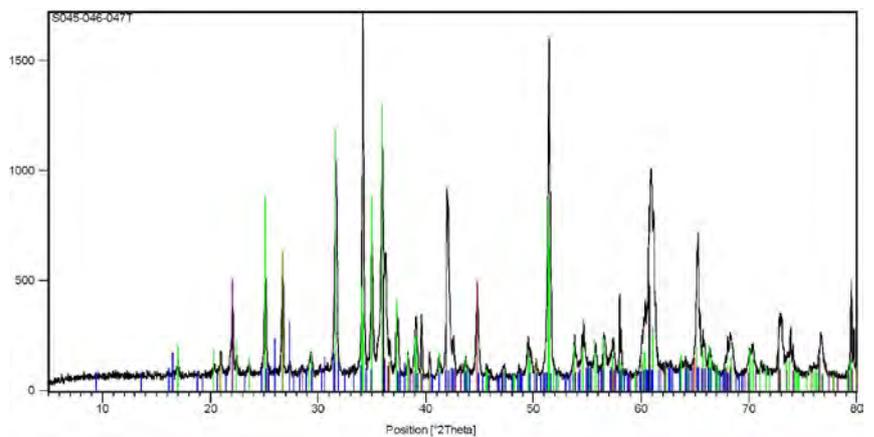
Fer	Fe	(X)
Fayalite	(Fe,Mn)SiO <sub>4</sub>	XXX
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Wüstite	FeO	X
Leucite	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>6</sub>	(X)

Minéralogie MO : Q+(M)+O+F+(A)

- Le quartz provient de la surface inférieure de la pièce

- Fayalite manganifère

-Présence de leucite, non observée auparavant



Residue + Peak List
01-085-1410; Iron
01-087-0816; Fayalite; manganese
01-085-0795; Quartz
01-075-0923; Cristobalite low
01-089-0588; Wuestite, syn
01-071-1147; Leucite

## Echantillon : S048-049

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SAS-M  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** 1 barre de 2 kg coupée en 2 au burin M4S\* (985 g et 1015 g - 0.35 %C)  
**Poids du fer initial :** 2000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 82 min / 52 min / 134 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 46  
**Nombre et type de soudures :** -  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 9385 g  
**Observations particulières :** Après découpe au burin, 2 forgeages standards successifs  
  
**Perte en fer cumulée g / % :** 285 g / 14.2 %  
**Répartition scorie g / % :** 51 g / 18 %  
**Répartition battitures g / % :** 234 g / 82 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 150 g - 75 %  
**Longueur :** 11.6 cm  
**Largeur :** 8.5 cm  
**Hauteur maximale :** 3.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.2 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.4 / 2.9  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Concave - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 39 %  
**Aimantation (coupe) :** Faible

### Informations petites pièces

**Poids :** 35 g  
**Nombre :** 4  
**Forme :** Irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux

**SAS** 90 %  
**SFR** 5 %

**SGD** 5 %  
**Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot elliptique et de 4 fragments dont un est ferreux et trois sont fayalitiques.

La surface supérieure montre une zone vitrifiée jaunâtre étroite à l'extrémité proximale, d'aspect fondu. Un côté est grisé et mat, l'autre est argilo-sableux, plus clair et composé de sable plus ou moins aggloméré. On compte moins d'une dizaine de charbons inclus. Cette face n'est pas aimantée.

La surface inférieure est recouverte d'une couche épaisse de sable roussi (10 mm) plus ou moins aggloméré provenant de la sole du foyer ; pas d'aimantation.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre un matériel clair plus ou moins fondu comportant de nombreuses croûtes d'oxydes et autres particules ferreuses visibles à l'oeil nu (2 %).

De larges porosités (< 1 cm) affleurent la surface de la pièce. Ailleurs, la porosité est fine et régulière.

Le fond de la scorie est encroûté d'une couche sableuse friable.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	67.02
TiO <sub>2</sub>	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.23
MnO	0.35
MgO	0.45
CaO	1.79
Na <sub>2</sub> O	0.07
K <sub>2</sub> O	1.54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16
Total	99.76

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	6.05 g
------------	--------

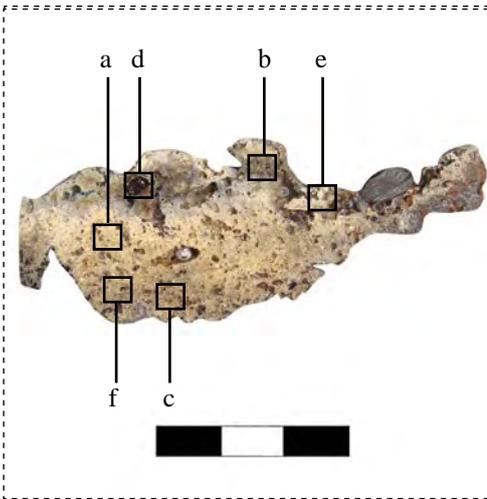
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	27.49 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	100	Cr	270
Co	200	La	60
Ni	<	Zr	190
Cu	50	V	20
Zn	<	S	170
Ba	260	Mo	50
Total		1410	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

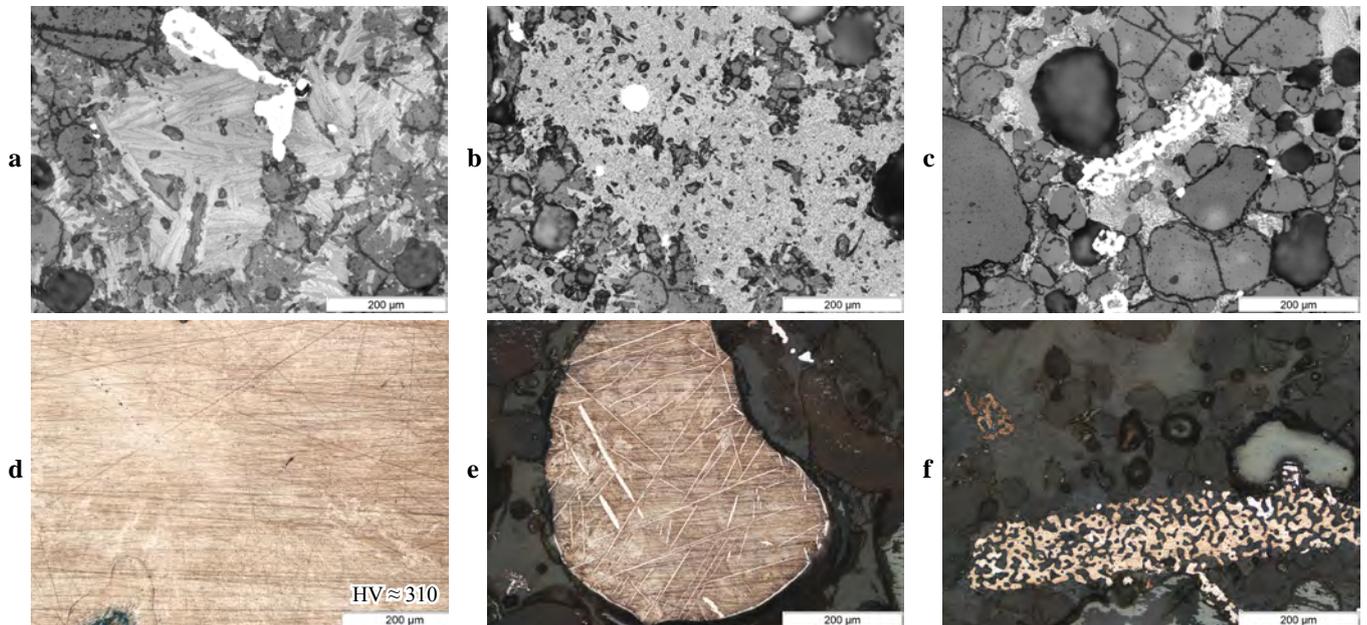
La microstructure de cette scorie montre une forte proportion de grains de quartz primaires, dont la périphérie, surchauffée, révèle des baguettes de cristobalites (a-b-c).

Ces grains de quartz sont cimentés entre eux par un verre riche en Fe comportant de très nombreuses petites particules de métal (a-b-c). En se décomposant dans le milieu, ces particules fournissent le Fe nécessaire à la cristallisation de silicates de fer (a-b-c).

Les particules de métal observées sont en majorité des croûtes d'oxydes plates (a-c-f) mais aussi des petites particules diverses souvent arrondies (b-e). Elles sont toutes formées de domaines de ferrite sur lesquels sont dispersés de la cémentite perlitique globulaire (d). Il s'agit d'acier proches de 0.8 %C.

Seule une seule particule montre des bandes de cémentite (e). Il s'agit d'un acier hypereutectoïde à 1 %C.

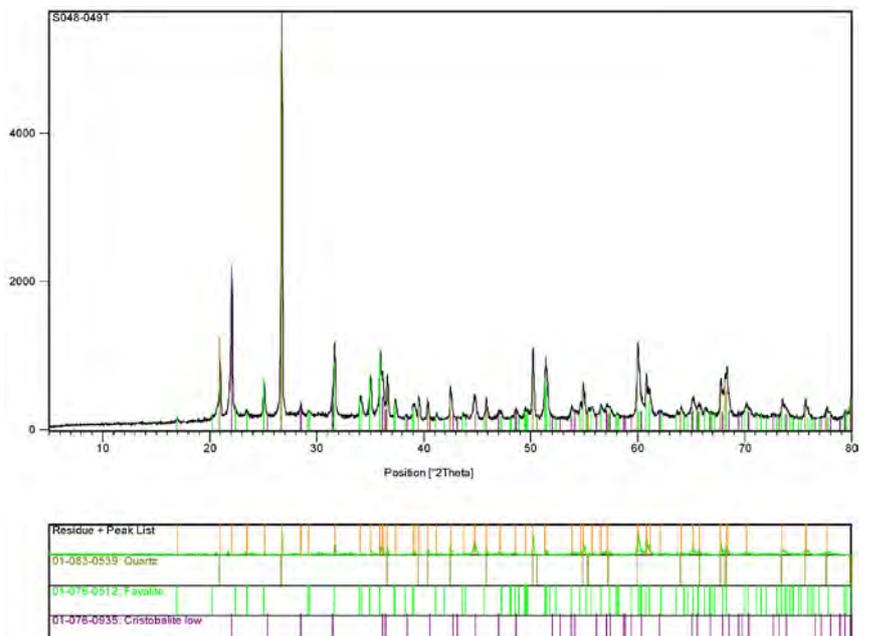
## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X

Minéralogie QF : Q+F



# Echantillon : S050-051

## Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M3D-M3D (0.45%C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g + 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 112 min / 60 min / 172 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 50  
**Nombre et type de soudures :** 2 (simples)  
**Nature des ajouts :** Boue d'argile ; charbon  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres ; jette dans le foyer  
**Consommation de charbon :** 10475 g  
**Observations particulières :** F050 : 1<sup>er</sup> jour, F051 : 2<sup>ème</sup> jour  
 4 trempes ont été pratiquées

**Perte en fer cumulée g / % :** 590 g / 29.5 %  
**Répartition scorie g / % :** 278 g / 47 %  
**Répartition battitures g / % :** 312 g / 53 %

## Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 300 g - 91 %  
**Longueur :** 11.0 cm  
**Largeur :** 10.4 cm  
**Hauteur maximale :** 8.0 cm  
**Epaisseur moyenne :** 5.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.1 / 1.3  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Bourrelet - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 30 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

## Informations petites pièces

**Poids :** 110 g  
**Nombre :** 2  
**Forme :** Rognon, irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux

**SAS 25 %**                      **SGD 44 %**  
**SFR 31 %**                      **Autre -**

## Photographies - Scorie



## Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot dense, allongé avec un bras, épais, bombé et de deux fragments. L'un est fayalitique recouvert d'une fine couche vitreuse jaunâtre, l'autre est ferreux, gris, mat et très magnétique.

La partie supérieure montre un fort relief car on voit un bourrelet couleur gris et rouille d'aspect fondu à l'extrémité proximale. On compte de nombreux charbons inclus (< 20 mm) aux pourtours oxydés et de nombreuses empreintes de charbons. Cette face est faiblement magnétique.

La partie inférieure est recouverte d'une fine couche de sable aggloméré provenant du fond du foyer où elle la scorie s'est formée. On note la présence de charbons inclus (< 200 mm). Cette face est également faiblement magnétique.

## Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre une nette stratification.

La couche haute comporte un bourrelet fayalitique poreux encastré entre deux bourrelets argilo-sableux.

Le corps de la scorie est fait d'un matériau clair fayalitique poreux comprenant dans sa partie médiane une proportion non négligeable de métal sous toutes les tailles, notamment des blocs (> 10 mm).

## Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	49.74
TiO <sub>2</sub>	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.15
MnO	0.78
MgO	0.34
CaO	1.07
Na <sub>2</sub> O	0.09
K <sub>2</sub> O	1.39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11
Total	99.70

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	92.82 g
------------	---------

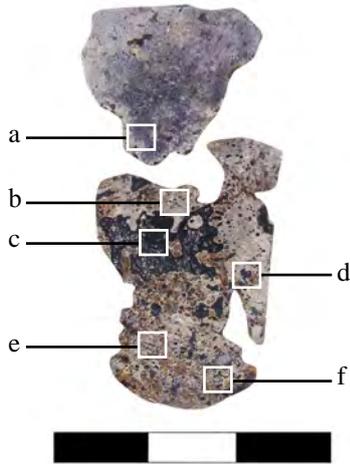
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	67.72 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	80	Cr	800
Co	210	La	90
Ni	<	Zr	190
Cu	80	V	20
Zn	<	S	200
Ba	200	Mo	60
Total		1970	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Le bourrelet argilo-sableux constituant le niveau supérieur de la scorie est uniquement constitué de grains de quartz cimentés par un verre. Les zones les plus riches en Fe voient la cristallisation de baguettes de silicates de fer (a).

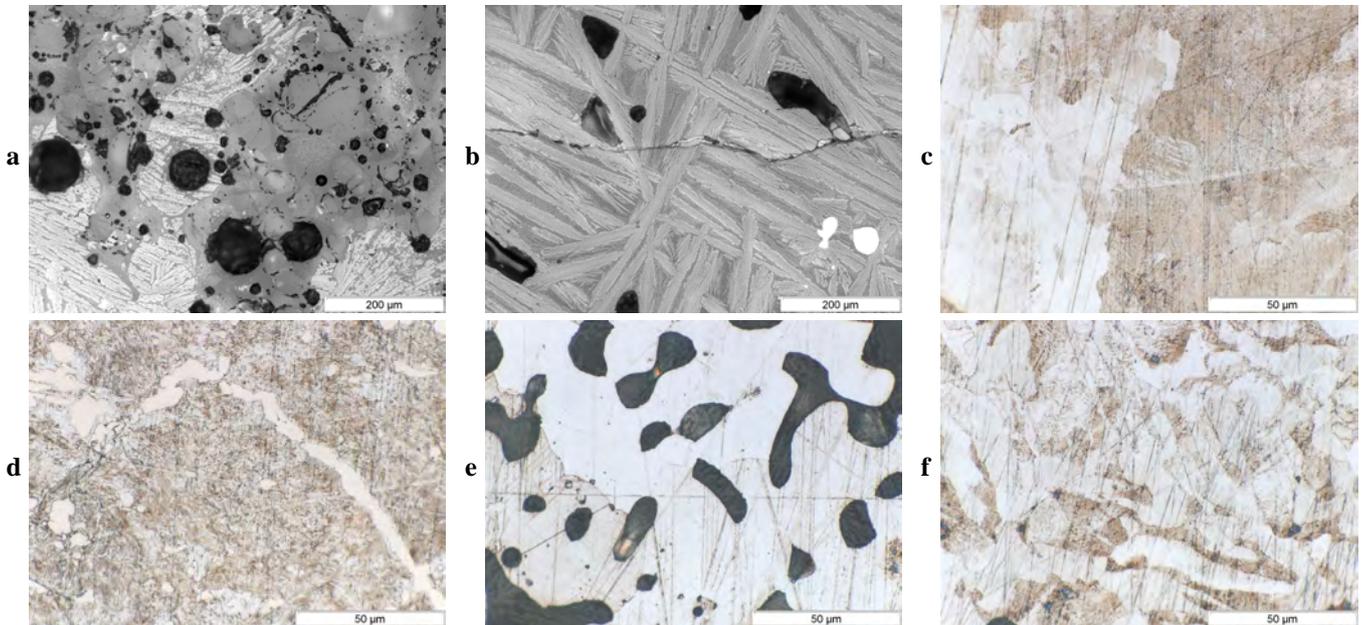
Le corps de la scorie est fait de fayalite en baguettes épatées «en plume» (c).

Le bloc de métal central est un acier couvert d'une couche de perlite (c). Dans certaines zones les grains s'organisent en cristaux aciculaires (f). Il s'agit d'aciers à 0.6 %C max.

Quelques particules sont des aciers hypereutectoïdes à 1 %C (d).

Dans la partie basse, l'assimilation dans le verre de croûtes d'oxydes plates ou particules de métal diverses, laisse place à des domaines de ferrite (e).

## Micrographies - Lame épaisse

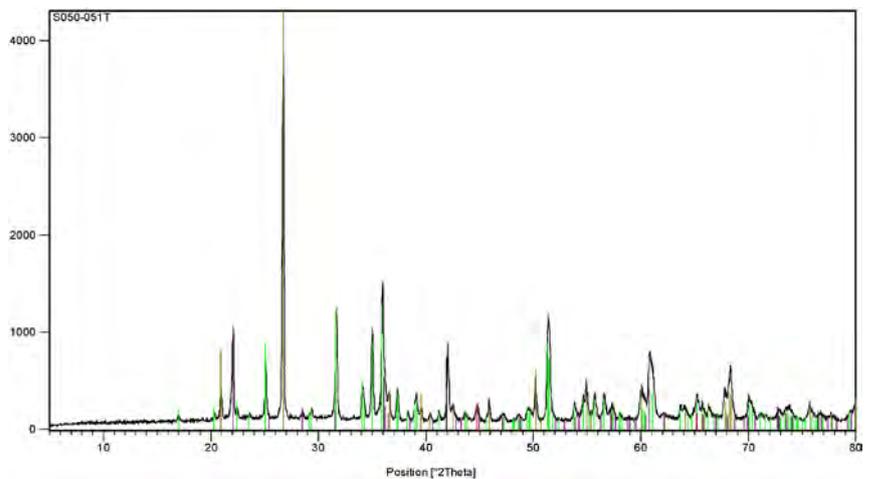


## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	X
Quartz	$\text{SiO}_2$	XXX
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	X
Wüstite	FeO	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+(O)+F

- De la wüstite est identifiée



Residue + Peak List
01-078-0512: Fayalite
01-085-0798: Quartz
01-087-0721: Fe
01-075-0923: Cristobalite low
01-077-2355: Wuestite

## Echantillon : S052

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Dounde  
 Matériel de départ : M3S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 30 min / 22 min / 52 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 23  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 2925 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 140 g / 14 %  
 Répartition scorie g / % : 17 g / 12 %  
 Répartition battitures g / % : 123 g / 88 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 25 g  
 Nombre : 6  
 Forme : Rognon, irrégulier  
 Nature : Arg.-sabl., fay., ferr.

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                     Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 6 petites pièces de forme irrégulière et de nature diverses.

Deux pièces sont ferreuses, denses, de couleur grise et d'aspect mat et très magnétiques.

Trois pièces sont fayalitiques, moins denses, grises avec des reflets métalliques et sont moyennement magnétiques.

Une pièce est argilo-sableuse, composée de sable aggloméré et en cours de vitrification, sans aimantation.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	61.26
TiO <sub>2</sub>	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.44
MnO	0.53
MgO	0.63
CaO	1.17
Na <sub>2</sub> O	0.25
K <sub>2</sub> O	2.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.09
Total	99.73

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	11.20 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	66.09 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	80	Sc	<
Sr	270	Cr	560
Co	130	La	20
Ni	10	Zr	260
Cu	70	V	70
Zn	10	S	140
Ba	320	Mo	50
Total		Total	1990

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

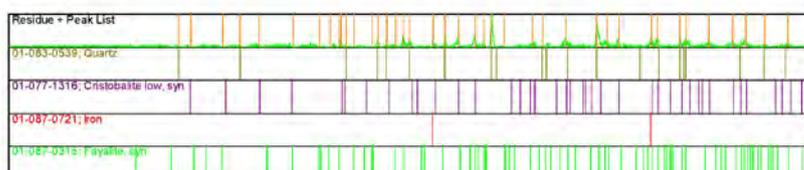
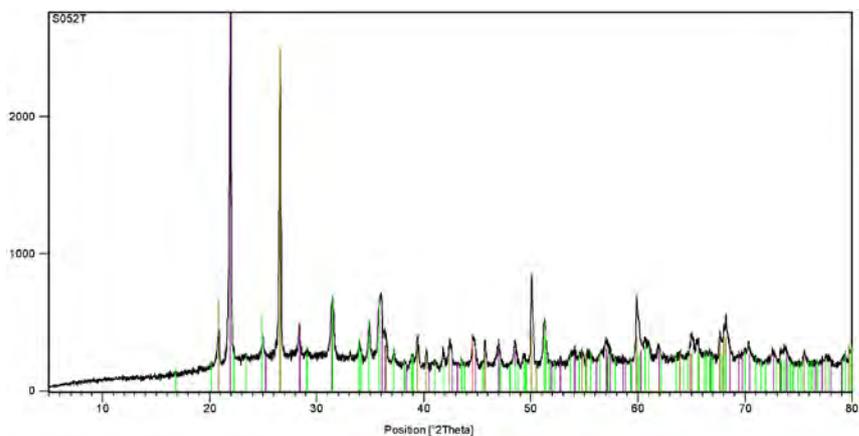
f

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	XX
Fer	Fe	(X)
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X

Minéralogie QF : Q+(M)+F

- Présence importante de cristobalite



## Echantillon : S053-054

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M3D-M3D (0.35 %)

**Poids du fer initial :** 2x500 g + 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 129 min / 66 min / 195 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 57  
**Nombre et type de soudures :** 4 (2simples-1repli avec insert-1repli)  
**Nature des ajouts :** Boue d'argile  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres  
**Consommation de charbon :** 8880 g  
**Observations particulières :** Deux forgeages successifs. On compte en tout 1 cassure du fer, 2 replis supplémentaires et 5 trempes pratiquées  
**Perte en fer cumulée g / % :** 560 g / 28 %  
**Répartition scorie g / % :** 115 g / 20 %  
**Répartition battitures g / % :** 445 g / 80 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 130 g - 96 %  
**Longueur :** 7.4 cm  
**Largeur :** 6.2 cm  
**Hauteur maximale :** 3.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.8 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.2 / 1.9  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Convexe-Convexe  
**Porosité (coupe) :** 21 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 10 g  
**Nombre :** 2  
**Forme :** Irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux

**SAS -**                      **SGD** 33 %  
**SFR** 67 %                **Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une scorie de petite taille, très dense et de 2 fragments : un est fayalitique, l'autre est ferreux.

La surface supérieure est ferreuse, et présente un aspect déchiqueté et granuleux à cause des charbons qui l'entouraient lors de la formation de la scorie ; couleur grise et aspect mat ; inclusions de quelques charbons (< 20 mm) ; forte aimantation.

La surface inférieure est également ferreuse, avec un aspect déchiqueté à cause des nombreuses inclusions de charbons et d'empreintes ; couleur grise et aspect mat ; forte aimantation.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre la prédominance de métal.

Près de la soufflerie, la scorie est uniquement faite d'une masse compacte de métal. A l'opposé de la soufflerie, la coupe montre un enchevêtrement de métal et de matériel grisé et sombre fayalitique.

Les larges porosités sont essentiellement réparties à la jonction entre le métal et la matrice fayalitique. Quelques pièces de charbon (9 %) sont prises dans la fond de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	45.24
TiO <sub>2</sub>	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37.51
MnO	1.53
MgO	0.80
CaO	1.81
Na <sub>2</sub> O	0.09
K <sub>2</sub> O	2.80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11
Total	99.51

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	31.83 g
------------	---------

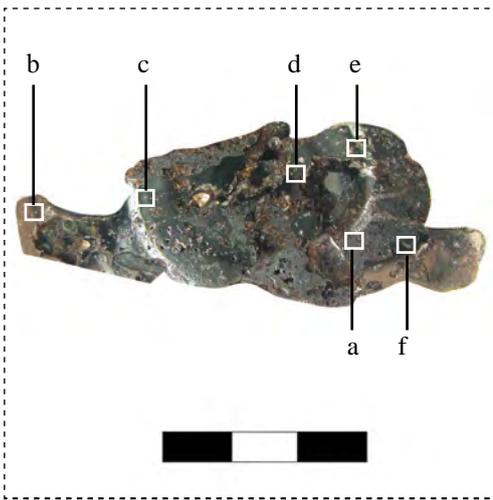
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	81.89 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	70	Sc	<
Sr	120	Cr	1540
Co	320	La	10
Ni	10	Zr	120
Cu	90	V	50
Zn	<	S	250
Ba	240	Mo	60
Total		2880	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

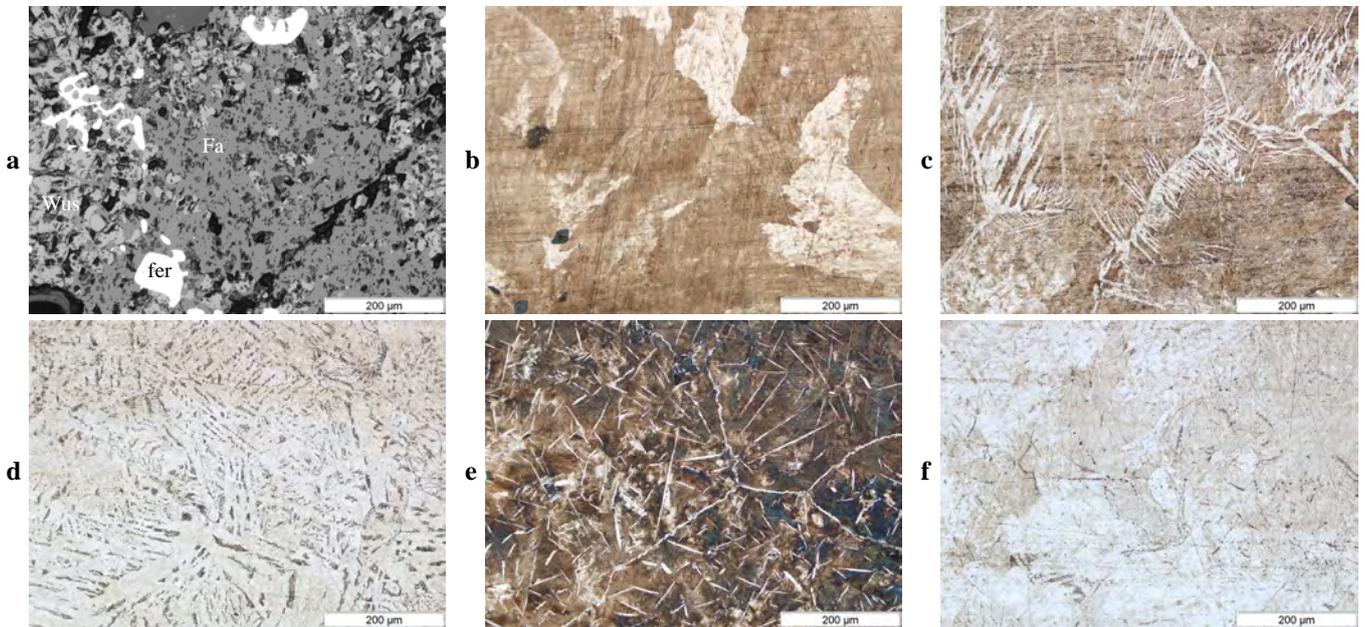
Les seules zones non métalliques révèlent des plages de fayalite en plaque, parsemées de globules de wüstite et de particules ferreuses (a).

La pointe proximale de la scorie montre régulièrement un acier proche de l'eutectoïde, à 0.6 %C (b).

Ailleurs, la majorité du métal de la pièce possède une teneur en carbone qui varie entre 0.05 %C (d-f) et 0.6 %C (c). Pour les aciers peu carburés, on observe soit de la ferrite à structure aciculaire (d) soit des plages de ferrite couverts de cémentite perlitique éparse (f).

Seule une zone montre une microstructure typique d'acier hypereutectoïde. Elle est formée de cémentite proeutectoïde aux joints de grain et comporte de nombreuses bandes du même matériau (e). La teneur en carbone est supérieure à 0.8 %C.

## Micrographies - Lame épaisse

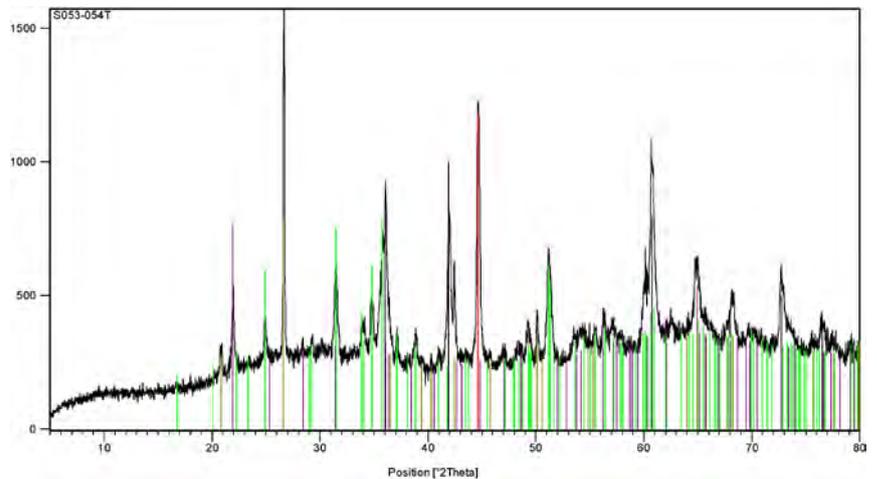


## Diffraction des rayons X

Wüstite	FeO	X
Fer	Fe	X
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)

Minéralogie MO : Q+M+O+F

- Bruit de fond élevé



Residue = Peak List
00-008-0615; Wüstite, syn
00-008-0896; Iron, syn
03-065-0486; Quartz low, syn
01-070-0512; Fayalite
01-075-0923; Cristobalite low

## Echantillon : S055

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Dounde  
 Matériel de départ : M5S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 44 min / 29 min / 73 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 22  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 2750 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 160 g / 16 %  
 Répartition scorie g / % : 11 g / 7 %  
 Répartition battitures g / % : 149 g / 93 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 20 g  
 Nombre : 6  
 Forme : Rognon, irrégulier  
 Nature : Arg.-sabl., fay., ferr.

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                     Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 6 petites pièces de formes irrégulières et de natures diverses.

Deux pièces sont ferreuses, denses, grises d'aspect mat et très aimantées.  
 Trois pièces sont fayalitiques, moins denses, grises avec des reflets métalliques et moyennement aimantées.  
 Une pièce est argilo-sableuse, à l'aspect vitreux et est collé à un petit morceau de sable aggloméré ; non magnétique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	57.62
TiO <sub>2</sub>	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.91
MnO	0.56
MgO	0.65
CaO	1.62
Na <sub>2</sub> O	0.12
K <sub>2</sub> O	3.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11
Total	99.67

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	8.46 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	54.44 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	90	Sc	<
Sr	170	Cr	680
Co	190	La	<
Ni	10	Zr	260
Cu	40	V	80
Zn	10	S	100
Ba	430	Mo	60
Total		Total	2120

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

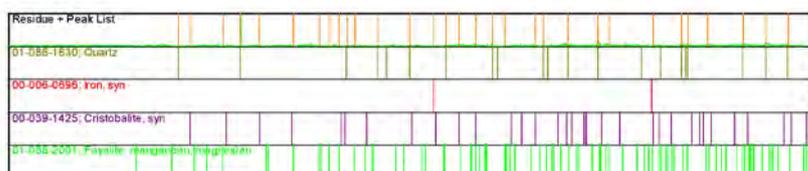
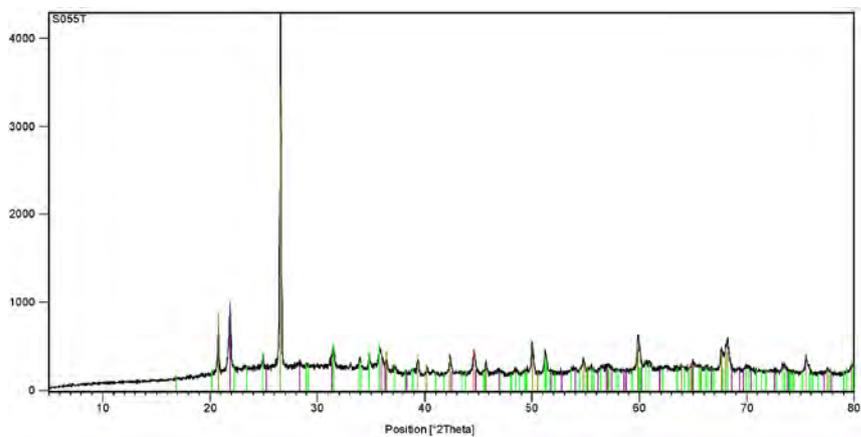
f

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fayalite	(Fe,Mn)SiO <sub>4</sub>	X

Minéralogie QF : Q+(M)+F

- Fayalite manganifère



## Echantillon : S056

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M1D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x350 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 55 min / 29 min / 84 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 29  
**Nombre et type de soudures :** 4 ( 3 replis - 1 simple)  
**Nature des ajouts :** Boue d'argile  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres  
**Consommation de charbon :** 5595 g  
**Observations particulières :** 1 repli à été nécessaire et 5 trempes ont été pratiquées

**Perte en fer cumulée g / % :** 205 g / 29.3 %  
**Répartition scorie g / % :** 53 g / 26 %  
**Répartition battitures g / % :** 152 g / 74 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 80 g - 94 %  
**Longueur :** 7.8 cm  
**Largeur :** 7.5 cm  
**Hauteur maximale :** 2.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.0 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.0 / 3.1  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Convexe-Convexe  
**Porosité (coupe) :** 25 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 10 g  
**Nombre :** 1  
**Forme :** Irrégulier  
**Nature :** Ferreux

**SAS -**                      **SGD** 29 %  
**SFR** 71 %                **Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot dense, triangulaire, épais, bombé et de deux fragments : l'un est fayalitique recouvert d'une fine couche vitreuse jaunâtre, l'autre est ferreux, gris et mat, très magnétique.

La partie supérieure montre un fort relief. Elle présente un bourrelet couleur gris et rouille et d'aspect fondu à l'extrémité proximale. On recense de nombreux charbons inclus (< 2 cm) aux pourtours oxydés et de nombreuses empreintes de charbons. Cette face est faiblement magnétique.

La partie inférieure est recouverte d'une fine couche de sable aggloméré provenant du fond du foyer où la scorie s'est formée. Présence de charbons inclus (< 2 cm). Surface faiblement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe relève une importante proportion de particules de métal.

Du côté de la soufflerie, le métal est majoritaire et compact tandis qu'à l'opposé de la tuyère, il est entremêlé à une matrice grise et sombre fayalitique. De larges porosités (< 1 cm) sont réparties entre ces particules de métal.

Quelques pièces de charbon (4 %) sont incluses en périphérie de la pièce.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	35.78
TiO <sub>2</sub>	0.18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57.45
MnO	0.50
MgO	0.26
CaO	0.81
Na <sub>2</sub> O	0.07
K <sub>2</sub> O	0.75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16
Total	99.63

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	7.17 g
------------	--------

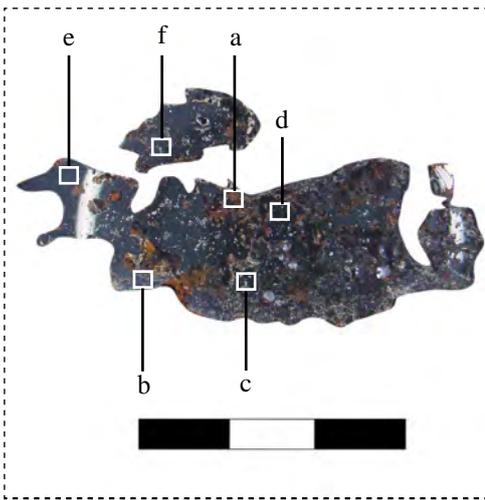
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	58.67 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	50	Cr	1110
Co	310	La	40
Ni	20	Zr	120
Cu	200	V	30
Zn	<	S	190
Ba	70	Mo	110
Total		2270	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

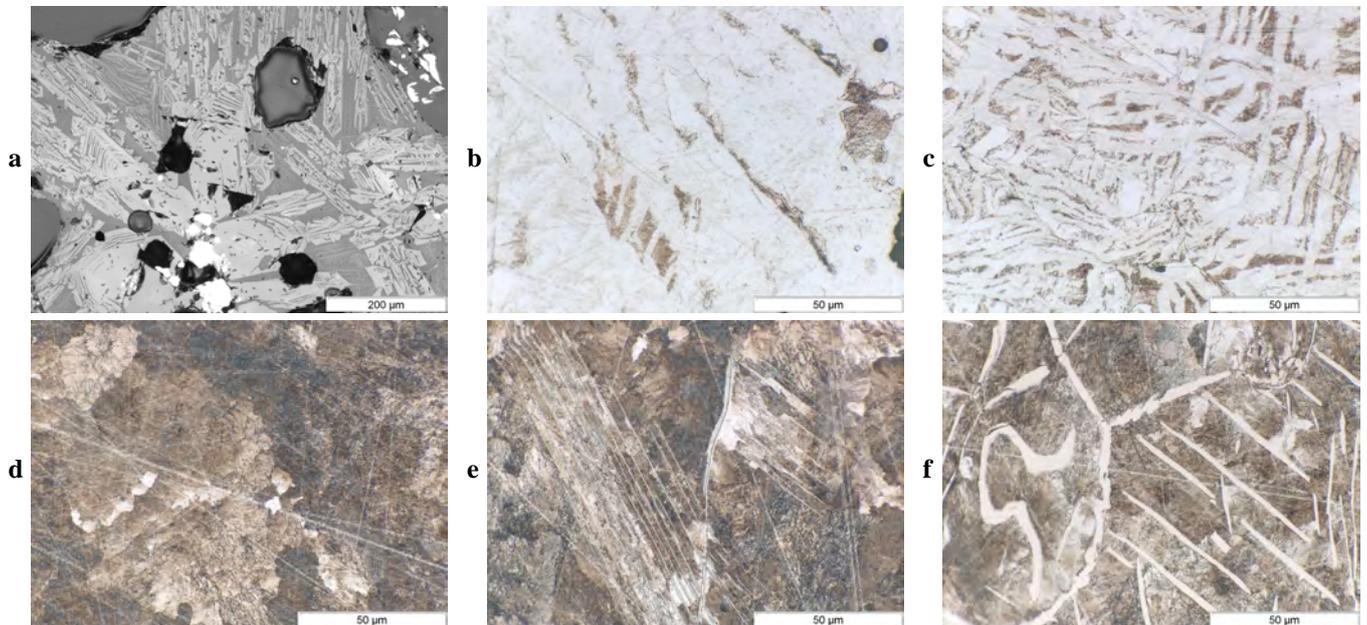
La matrice grise et sombre est formée de cristaux de fayalite allongés en baguettes, équi-granulaires (a) ou même en larges plaques.

Le métal réparti dans la scorie montre de nombreux faciès.

Dans la moitié supérieure de la scorie, la microstructure des morceaux de métal révèle préférentiellement un acier carburé entre 0.8 % (d) et 1 %C (e-f). Les grains de perlite sont délimités par des joints de cémentite plus ou moins épais (e-f). On observe également de nombreuses structures en bande à l'intérieur des grains (e-f).

Dans la moitié inférieure de la pièce, les petites particules de métal sont appauvries en carbone. On observe invariablement des grains de ferrite aciculaire plus ou moins larges (b-c) en compagnie de perlite. Il s'agit d'aciers entre 0.05 %C (b) et 0.1 %C (c).

## Micrographies - Lame épaisse



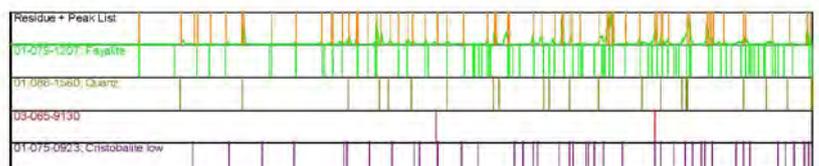
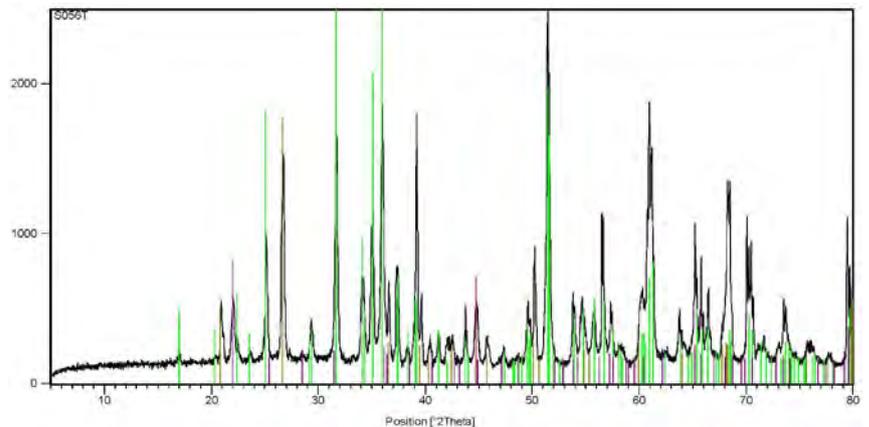
## Diffractométrie des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXX
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)

Minéralogie FQ : Q+(M)+F

- De la wüstite est identifiée

- Le quartz provient de la surface inférieure de la pièce



## Echantillon : S057

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Dounde  
 Matériel de départ : MID (0.35 %C)

Poids du fer initial : 2x350 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 57 min / 34 min / 91 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 36

Nombre et type de soudures : 4 (3 replis - 1 simple)

Nature des ajouts : Boue d'argile

Utilisation des ajouts : Enduit les barres

Consommation de charbon : 2655 g

Observations particulières : 5 trempes ont été pratiquées, apparition d'un travers du côté de la soie, 1 repli supplémentaire

Perte en fer cumulée g / % : 180 g / 25.7 %

Répartition scorie g / % : 15 g / 8 %

Répartition battitures g / % : 165 g / 92 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 17 g  
 Nombre : 1  
 Forme : Irrégulier  
 Nature : Ferreux

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                      Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit d'une pièce dense, ferreuse, de couleur grise, d'aspect mat et de forme irrégulière.

La surface supérieure compte 4 à 5 charbons (< 15 mm) inclus ; fortement magnétique.

La surface inférieure est plate et granuleuse à cause de l'empreinte du sable du fond du foyer ; fortement magnétique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie Eléments majeurs % de poids	SiO <sub>2</sub>	17.27	g fer extrait par tamisage	Fe extrait	11.92 g	Eléments traces ppm				- Teneur élevée en Cr	
	TiO <sub>2</sub>	0.11									
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.28									
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72.27									
	MnO	2.22									
	MgO	0.31									
	CaO	0.96									
	Na <sub>2</sub> O	0.08									
	K <sub>2</sub> O	0.74									
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12									
Total	99.35	Recalcul fer total % de poids		Fe tot	87.16 %	Rb	20	Sc	<		
- Teneur élevée en MnO						Sr	80	Cr	2420		
						Co	330	La	<		
						Ni	<	Zr	70		
						Cu	120	V	90		
						Zn	10	S	530		
						Ba	180	Mo	120		
								Total	3970		

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

f

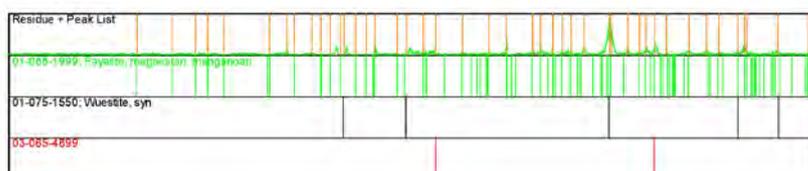
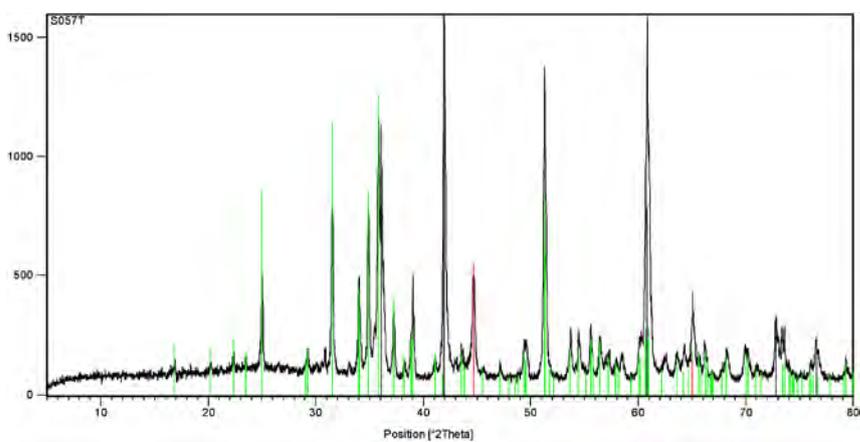
## Diffraction des rayons X

Fayalite	(Fe,Mn)SiO <sub>4</sub>	XX
Wüstite	FeO	XX
Fer	Fe	X

Minéralogie MO : M+O+F

- Fayalite manganifère

- Wüstite détectée en proportion importante



## Echantillon : S058

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Dounde  
 Matériel de départ : M2S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 61 min / 39 min / 100 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 35

Nombre et type de soudures : 4 (2 replis - 2 consolidations)

Nature des ajouts : Boue d'argile

Utilisation des ajouts : Enduit les barres

Consommation de charbon : 6560 g

Observations particulières : Replie la barre au lieu de la refouler.  
 Préformage: 2 trempes, apparition de gerces. Formage: 2 trempes, 1 repli supplémentaire

Perte en fer cumulée g / % : 335 g / 33.5 %

Répartition scorie g / % : 19 g / 6 %

Répartition battitures g / % : 316 g / 94 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 22 g  
 Nombre : 3  
 Forme : Irrégulier  
 Nature : Ferreux, fayalitique

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                     Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 3 petites pièces aux formes irrégulières.

Deux sont ferreuses, denses, de couleur grise, aspect mat, très magnétiques et contiennent au moins un charbon.

La dernière est fayalitique, moins dense, de couleur grise avec des reflets métalliques et peu magnétique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	16.47
TiO <sub>2</sub>	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	80.12
MnO	0.81
MgO	0.10
CaO	0.27
Na <sub>2</sub> O	0.05
K <sub>2</sub> O	0.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06
Total	99.61

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	14.33 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	85.58 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	10	Sc	<
Sr	20	Cr	1430
Co	100	La	<
Ni	<	Zr	60
Cu	240	V	40
Zn	<	S	330
Ba	<	Mo	180
		Total	2410

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

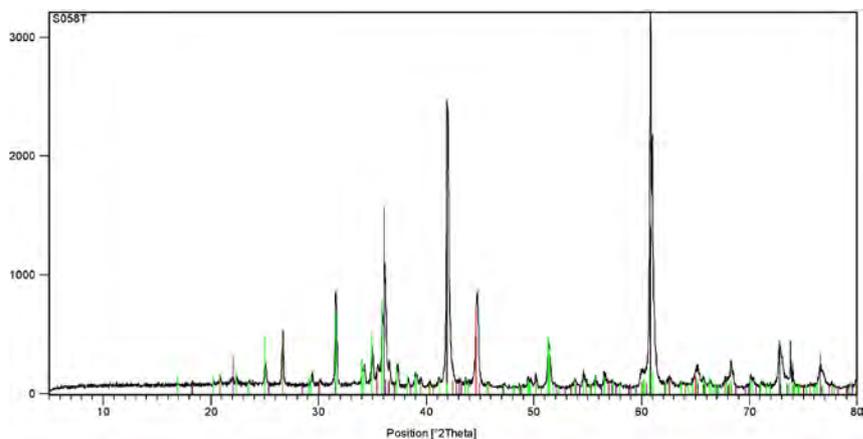
e

f

## Diffraction des rayons X

Wüstite	FeO	XX
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Magnétite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	(X)
Fayalite	(Fe,Mn)SiO <sub>4</sub>	XX
Fer	Fe	(X)

Minéralogie MO : Q+(M)+O+F  
- Fayalite manganifère



Residue + Peak List
01-089-0686; Wuestite, syn
01-075-0443; Quartz
01-075-0923; Cristobalite low
01-075-0033
01-085-1998; Fayalite, magnésiano-manganos
01-089-7194; Iron

## Echantillon : S059

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Dounde  
 Matériel de départ : M2D (0.45 %C)

Poids du fer initial : 2x500 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 61 min / 39 min / 100 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 39  
 Nombre et type de soudures : 3 (1 simple - 2 consolidations)

Nature des ajouts : Boue d'argile  
 Utilisation des ajouts : Enduit les barres

Consommation de charbon : 3655 g  
 Observations particulières : 2 trempes au préformage, apparition d'une paille à consolider jusqu'aux finitions

Perte en fer cumulée g / % : 240 g / 24 %  
 Répartition scorie g / % : 15 g / 6 %  
 Répartition battitures g / % : 225 g / 94 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 20 g  
 Nombre : 5  
 Forme : Rognon, irrégulier  
 Nature : Arg.-sabl., fay., ferr.

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                     Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 5 petites pièces aux formes irrégulières et de natures diverses.

Deux pièces sont ferreuses, denses, grises d'aspect mat et réagissent très fortement à l'aimant.

Deux sont fayalitiques, recouvertes d'une fine couche vitreuse jaunâtre et faiblement magnétiques.

Une pièce est argilo-sableuse, vitrifiée et sombre, collée à un morceau de sable aggloméré et non magnétique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	78.10
TiO <sub>2</sub>	0.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.98
MnO	0.16
MgO	0.35
CaO	0.98
Na <sub>2</sub> O	0.16
K <sub>2</sub> O	1.47
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15
Total	99.74

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	13.29 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	74.51 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	50	Sc	<
Sr	120	Cr	290
Co	90	La	<
Ni	30	Zr	500
Cu	130	V	50
Zn	20	S	60
Ba	450	Mo	40
Total		1830	

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

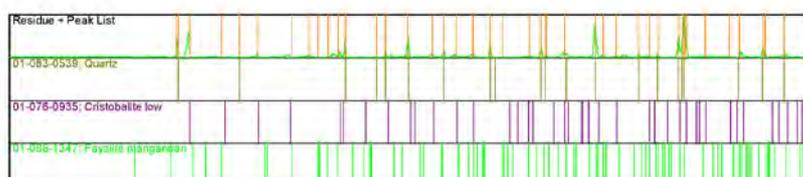
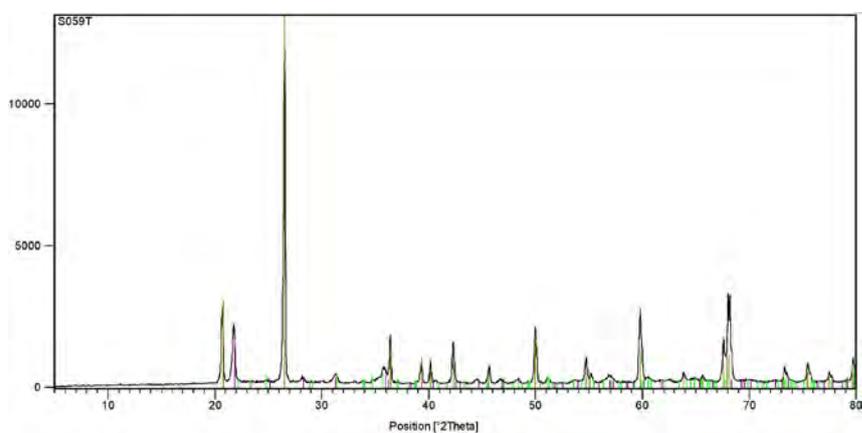
f

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fayalite	(Fe,Mn)SiO <sub>4</sub>	(X)

Minéralogie Q : Q+(F)

- Fayalite manganifère



## Echantillon : S060

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Dounde  
 Matériel de départ : R1S (traverse de voie ferrée)

Poids du fer initial : 1025 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 19 min / 28 min / 47 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 18  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 1620 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 85 g / 8.5 %  
 Répartition scorie g / % : 3 g / 3 %  
 Répartition battitures g / % : 82 g / 97 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 5 g  
 Nombre : 1  
 Forme : Rognon  
 Nature : Fayalitique

SAS ?                      SGD ?  
 SFR ?                     Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit d'une pièce fayalitique grise, en nodule

Elle présente un aspect granuleux à cause de la terre du fond de foyer qui a partiellement fondu et qui s'y est accrochée ; moyennement magnétique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	36.94
TiO <sub>2</sub>	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	58.76
MnO	0.49
MgO	0.19
CaO	0.82
Na <sub>2</sub> O	0.07
K <sub>2</sub> O	0.57
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.13
Total	99.70

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	0.39 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	45.65 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	10	Sc	30
Sr	80	Cr	900
Co	340	La	<
Ni	50	Zr	90
Cu	250	V	40
Zn	40	S	130
Ba	70	Mo	130
Total		2160	

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

f

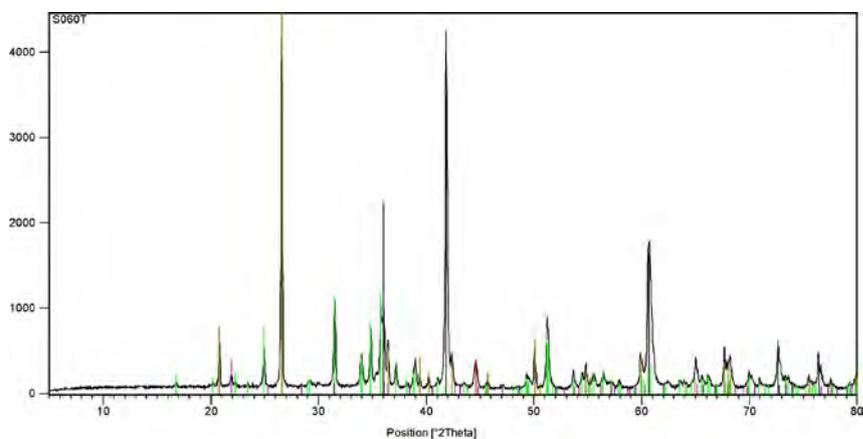
## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XX
Wüstite	FeO	XX
Fayalite	(Fe,Mn)SiO <sub>4</sub>	X
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)

Minéralogie MO : Q+(M)+O+F

- Fayalite manganifère

- Wüstite en quantité non négligeable



Residue	Peak List
00-046-1045; Quartz, syn	
01-074-1885; WPlustite, syn	
01-087-0823; Fayalite; manganifère, syn	
01-087-0721; iron	
01-075-0923; Cristobalite low	

## Echantillon : S061-062

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SI  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** 1 barre de 2 kg coupé en 2 au burin M4S\* (1020 g et 980 g - 0.45 %C)  
**Poids du fer initial :** 2000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 80 min / 58 min / 138 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 49  
**Nombre et type de soudures :** -  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 6670 g  
**Observations particulières :** Après découpe au burin, forgeages standards successifs  
  
**Perte en fer cumulée g / % :** 300 g / 15 %  
**Répartition scorie g / % :** 3 g / 1 %  
**Répartition battitures g / % :** 297 g / 99 %

### Informations pièce principale

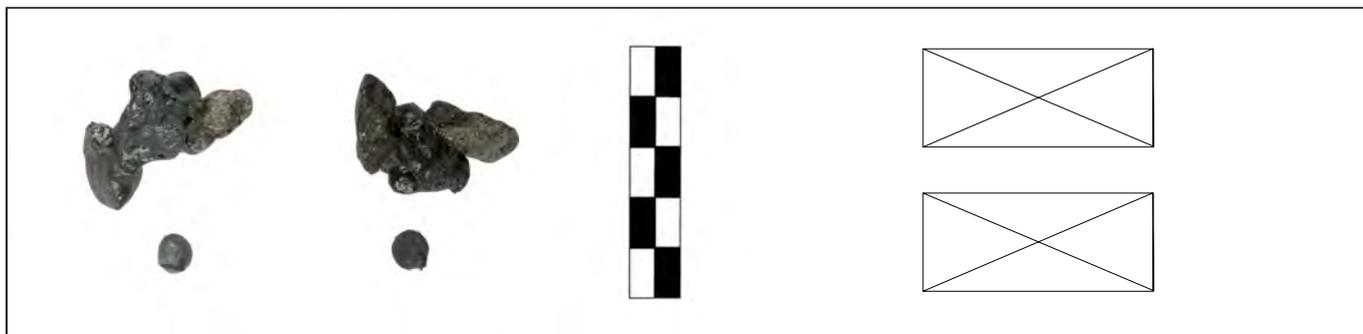
**Poids - % conservation :** -  
**Longueur :** -  
**Largeur :** -  
**Hauteur maximale :** -  
**Epaisseur moyenne :** -  
**Ellipticité / planéité :** -  
**Orientation :** -  
**Profil Dessus-Dessous :** -  
**Porosité (coupe) :** -  
**Aimantation (coupe) :** -

### Informations petites pièces

**Poids :** 10 g  
**Nombre :** 2  
**Forme :** Bille, irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux

**SAS ?**                      **SGD ?**  
**SFR ?**                      **Autre ?**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de deux petites pièces de formes irrégulières et de nature différente.

L'une est fayalitique, peu dense, grise avec des reflets métalliques, sans aimantation et est accolé à un bloc de sable aggloméré.

L'autre est une petite bille de métal fondu de couleur grise et mate, très magnétique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie Eléments majeurs % de poids			g fer extrait par tamisage	Eléments traces ppm	- Teneur importante en Rb
	SiO <sub>2</sub>	67.07			
	TiO <sub>2</sub>	0.48			
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.23			
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.98	Fe extrait   1.72 g	Rb	160
	MnO	0.12		Sr	120
	MgO	1.03		Co	60
	CaO	0.71		Ni	30
	Na <sub>2</sub> O	0.07		Cu	10
	K <sub>2</sub> O	3.91		Zn	30
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10		Ba	730
	Total	99.70			
			Recalcul fer total % de poids		
			Fe tot   27.15 %		
				Total	1870

- Teneur élevée en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

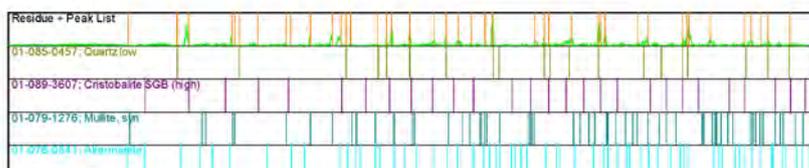
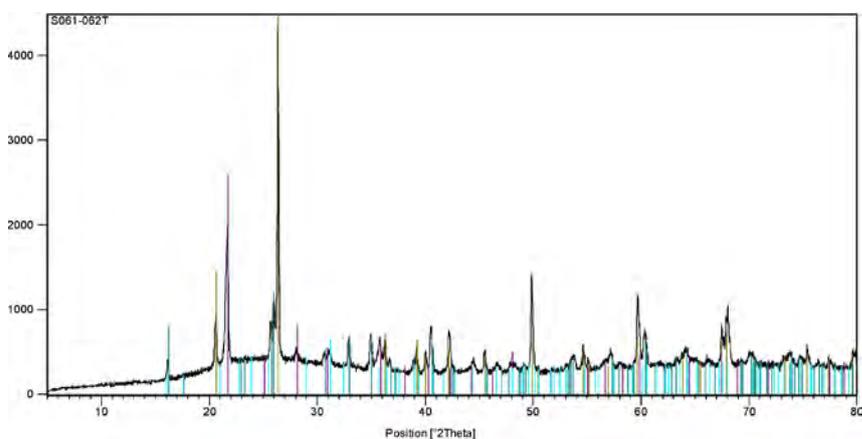
f

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Mullite	3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 2SiO <sub>2</sub>	X
Akermanite	Ca <sub>2</sub> MgSi <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	(X)

Minéralogie A : Q+A

- La mullite provient de la proi du foyer ?



## Echantillon : S063-064-065

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SI  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** A1D (F112-240 g, F115-390 g), M2S (0.35 %C), R1S (traverse voie ferrée)  
**Poids du fer initial :** 630 g + 1000 g + 1620 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 102 min / 98 min / 200 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 80  
**Nombre et type de soudures :** 5 (3 simples - 2 replis)  
**Nature des ajouts :** Boue d'argile (F063 uniquement)  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres  
**Consommation de charbon :** 11795 g  
**Observations particulières :** F063 et F064 : matin; F064: après-midi. 2 trempes a été effectuées au cours du préformage de F063  
  
**Perte en fer cumulée g / % :** 535 g - 29.4 %  
**Répartition scorie g / % :** 26 g / 5 %  
**Répartition battitures g / % :** 509 g / 95 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** -  
**Longueur :** -  
**Largeur :** -  
**Hauteur maximale :** -  
**Epaisseur moyenne :** -  
**Ellipticité / planéité :** -  
**Orientation :** -  
**Profil Dessus-Dessous :** -  
**Porosité (coupe) :** -  
**Aimantation (coupe) :** -

### Informations petites pièces

**Poids :** 45 g  
**Nombre :** 14  
**Forme :** Rognon, irrégulier  
**Nature :** Arg.-sabl., fay., ferr.

**SAS ?**                      **SGD ?**  
**SFR ?**                      **Autre ?**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 13 petites pièces de formes irrégulières.

Cinq morceaux sont ferreux, denses, gris et mats, très magnétiques et comportent quelques parties oxydées.

Six sont plus fayalitiques, plus légers, avec des reflets métalliques, des formes plus arrondies, faiblement à moyennement magnétiques.

Le dernier est composé de sable aggloméré en cours de vitrification et n'est pas magnétique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	57.40
TiO <sub>2</sub>	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.42
MnO	0.09
MgO	0.60
CaO	2.83
Na <sub>2</sub> O	0.18
K <sub>2</sub> O	2.38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.11
Total	99.57

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	19.18 g
------------	---------

Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	52.20 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	60	Sc	<
Sr	120	Cr	1420
Co	130	La	<
Ni	70	Zr	350
Cu	30	V	100
Zn	10	S	170
Ba	330	Mo	60
Total		2850	

## Lame épaisse

## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse



## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

e

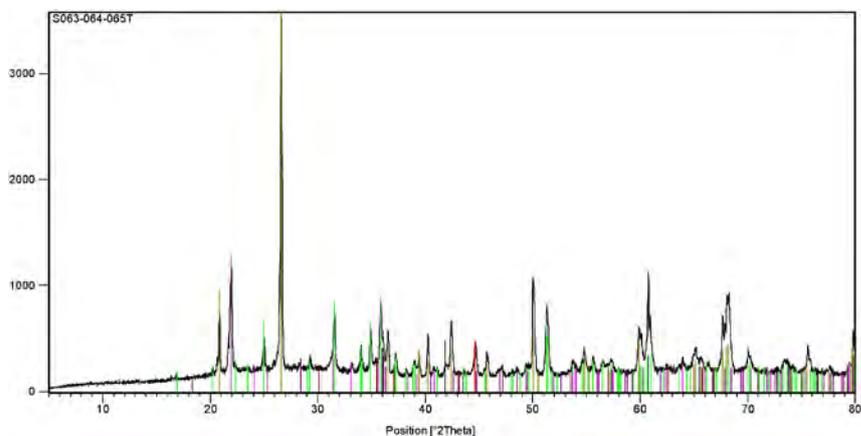
f

## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fer	Fe	(X)
Hématite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(X)
Wüstite	FeO	(X)
Magnétite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+(O)+F

- Dominance de quartz, avec des oxydes de fer notamment l'hématite qui est rarement identifiée



Residue - Peak List
01-083-0539; Quartz
01-076-0512; Fayalite
01-076-0935; Cristobalite low
01-087-0721; Iron
01-089-0596; Hematite, syn
01-075-1550; Wuestite, syn
01-072-2303; Magnetite

## Echantillon : S066

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SGD-K  
 Lieu de forge : Kakoli  
 Matériel de départ : M3S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 55 min / 48 min / 103 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 37  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 5215 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 245 g / 24.5 %  
 Répartition scorie g / % : 76 g / 31 %  
 Répartition battitures g / % : 169 g / 69 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 265 g - 95 %  
 Longueur : 12.5 cm  
 Largeur : 10.8 cm  
 Hauteur maximale : 4.2 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.5 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.2 / 2.8  
 Orientation : Déterminée  
 Profil Dessus-Dessous : Concave - Convexe  
 Porosité (coupe) : 21 %  
 Aimantation (coupe) : Faible

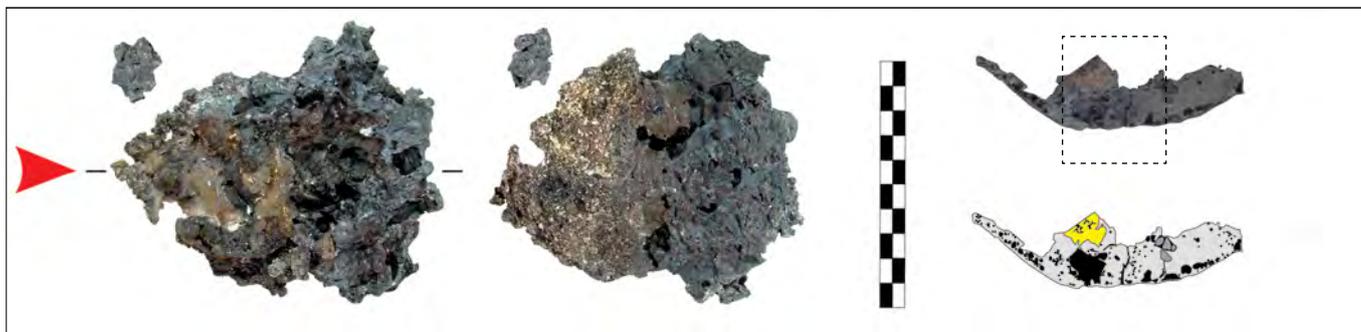
### Informations petites pièces

Poids : 10 g  
 Nombre : 1  
 Forme : Irrégulier  
 Nature : Kirschstéinite

SAS 8 %  
 SFR

SK 92 %  
 Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot dense, triangulaire, plat et d'un fragment.

La surface supérieure est hétérogène avec du relief. Du côté proximal un fragment de tuyère est accolé à la pièce. Tout le pourtour de la surface est gris, mat et rugueux, seule une zone centrale est plus oxydée. Une quinzaine de petits charbons sont inclus (< 1 cm) et on observe une foule d'empreintes de charbons. Surface non magnétique.

La surface inférieure est plus lisse. Une couche d'argile beige des parois, de cendres et de petits cailloux a recouvert la partie proximale. La partie distale quant à elle est nue, grise et mate à gris violacé. On observe des empreintes de charbons ainsi qu'une dizaine de petits charbons inclus (< 5 mm). Surface non magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La section de l'échantillon révèle la prédominance d'un matériau sombre (67 %) comportant des porosités circulaires (< 0.5 cm) réparties le long de la base. Une large vacuole arrondie (2 cm) est située à l'aplomb de la tuyère

Un fragment de tuyère (6 %) est visible à la surface de la pièce du côté de la soufflerie. Quelques pièces de charbons (6 %) sont incluses en périphérie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	33.76
TiO <sub>2</sub>	0.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39.31
MnO	0.53
MgO	1.17
CaO	12.70
Na <sub>2</sub> O	0.12
K <sub>2</sub> O	2.37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.56
Total	99.61

- Teneur élevée en CaO

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	0.06 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

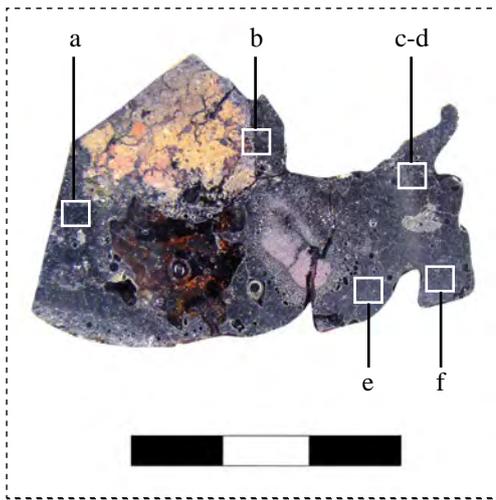
Fe tot	27.64 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	100
Sr	390	Cr	190
Co	240	La	400
Ni	<	Zr	250
Cu	170	V	90
Zn	30	S	370
Ba	610	Mo	80
Total		2960	

- Quantités importantes  
 de Sc et La

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

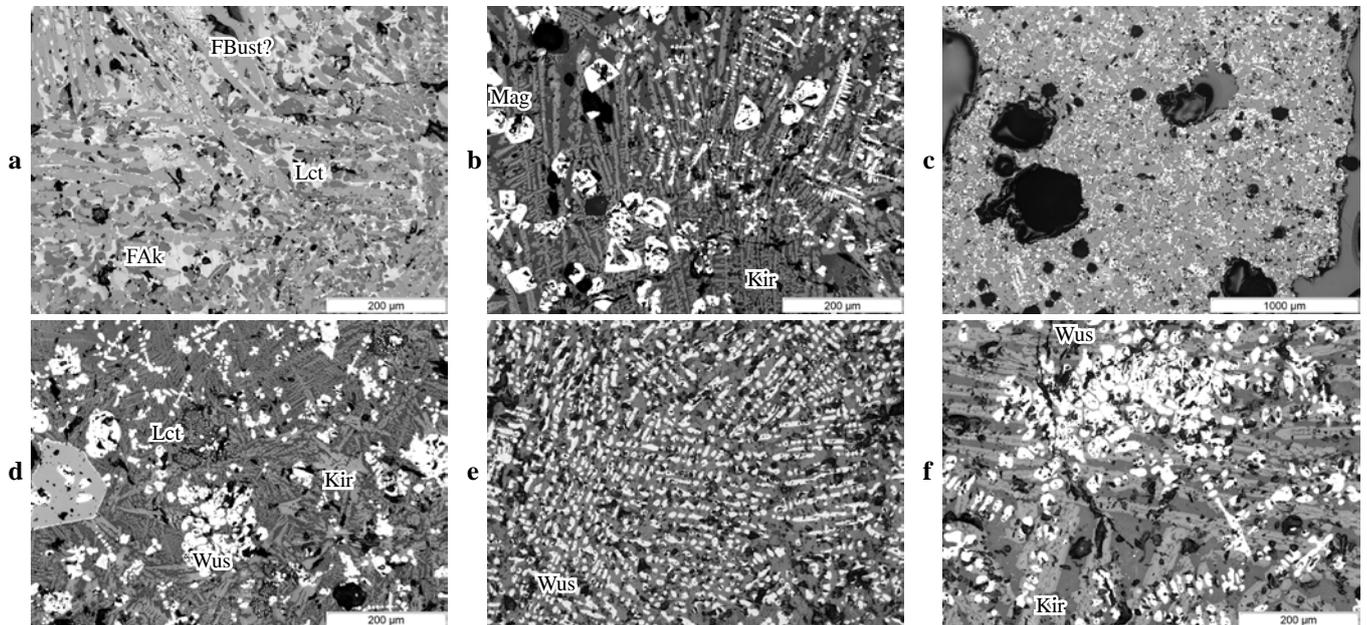
La microstructure est complexe. En périphérie du fragment de tuyère (a), elle est similaire à S032 (e-f), c'est-à-dire des cristaux sombres de leucite mêlés à des baguettes gris moyen (ferrobustamite?) dans une matrice blanchâtre de (ferro)akermanite.

A part ces zones particulières de pourtour de roche, la surface est parsemée de fines baguettes allongées de kirschstéinite  $\text{CaFeSiO}_4$  (b-d-f) baignant dans un verre sombre.

Par ailleurs, la quantité d'oxydes de fer dans l'échantillon est importante (c). On trouve non seulement des cristaux anguleux solitaires (b-d) mais aussi des formations dendritiques anguleuses de magnétite (b). Les plages de nodules de wüstite (e-f) sont en fait des reliquats de croûtes d'oxydes.

On observe enfin des formations sombres piquetées de blanc (d), de composition eutectiques leucite/wüstite.

## Micrographies - Lame épaisse



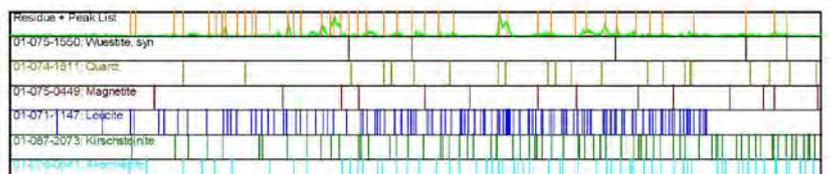
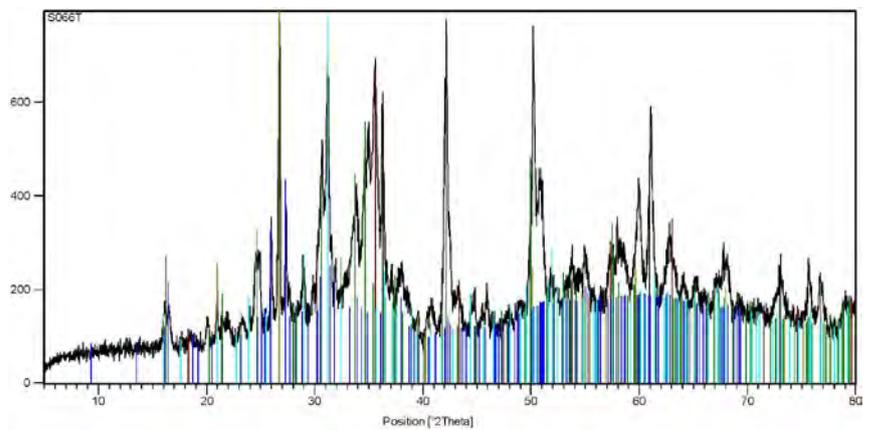
## Diffraction des rayons X

Wüstite	$\text{FeO}$	X
Quartz	$\text{SiO}_2$	(X)
Magnétite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	X
Leucite	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	X
Magnétite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	X
Kirschstéinite	$\text{CaFeSiO}_4$	X
Akermanite	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	X

Minéralogie K : (Q)+O+K+A

- Bruit de fond élevé pouvant masquer des pics

- Si elle existe, la ferrobustamite n'est toutefois pas détectée



## Echantillon : S067

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SGD-K  
 Lieu de forge : Kakoli  
 Matériel de départ : M2S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 58 min / 47 min / 105 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 36  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 3740 g  
 Observations particulières : Un coin de la houe se détache pendant les finitions (cassure)

Perte en fer cumulée g / % : 245 g / 24.5 %  
 Répartition scorie g / % : 27 g / 11 %  
 Répartition battitures g / % : 218 g / 89 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 100 g - 100 %  
 Longueur : 12.0 cm  
 Largeur : 7.5 cm  
 Hauteur maximale : 3.0 cm  
 Epaisseur moyenne : 0.8 cm  
 Ellipticité / planéité : 0.6 / 3.3  
 Orientation : Incertaine  
 Profil Dessus-Dessous : Plat - Plat  
 Porosité (coupe) : 11 %  
 Aimantation (coupe) : Faible

### Informations petites pièces

Poids : 35 g  
 Nombre : 2  
 Forme : Irrégulier  
 Nature : Kirschstéinite

SAS - SK 100 %  
 SFR - Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot demi-circulaire, moyennement dense, plat, de faible épaisseur et de 2 fragments.

La surface supérieure est recouverte d'une fine couche vitrifiée très sombre. On compte une dizaine de charbons de petite taille (< 1 cm) incrustés ainsi qu'une dizaine d'empreintes de charbons. Légère aimantation.

La surface inférieure est recouverte d'une fine couche blanchâtre de cendres et d'argile et de petits cailloux. Surface légèrement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe de l'échantillon est constituée d'une matrice sombre (89 %) parcourue de porosités fines et circulaires. Celle-ci sont réparties essentiellement dans la partie haute et médiane de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	38.11
TiO <sub>2</sub>	0.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.81
MnO	0.35
MgO	2.11
CaO	27.19
Na <sub>2</sub> O	0.12
K <sub>2</sub> O	2.89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.97
Total	99.54

- Teneur élevée en CaO

g fer extrait par tamisage

Fe extrait	1.52 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

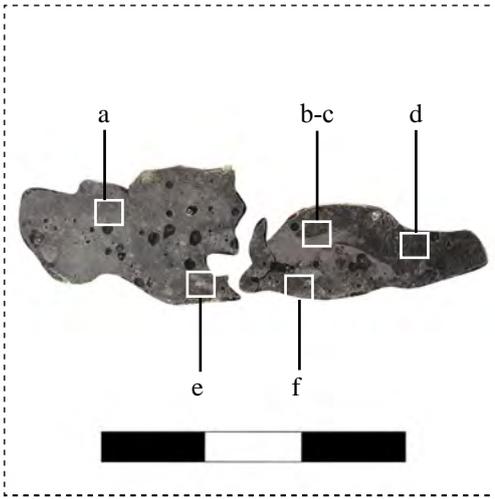
Fe tot	20.35 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	130
Sr	830	Cr	110
Co	150	La	350
Ni	<	Zr	270
Cu	120	V	50
Zn	40	S	680
Ba	780	Mo	60
Total		3610	

- Quantités importantes de Sr, Sc et La

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La microstructure de cet échantillon met en évidence la présence majoritaire de cristaux de kirchstéinite  $\text{CaFeSiO}_4$ , soit allongés selon leur grand axe (b-c-d), soit selon leur petit axe (a-e). La composition moyenne de ces cristaux est la suivante (b) : [wt: O 26.01 - Si 16.66 - Ca 23.22 - Fe 30.09].

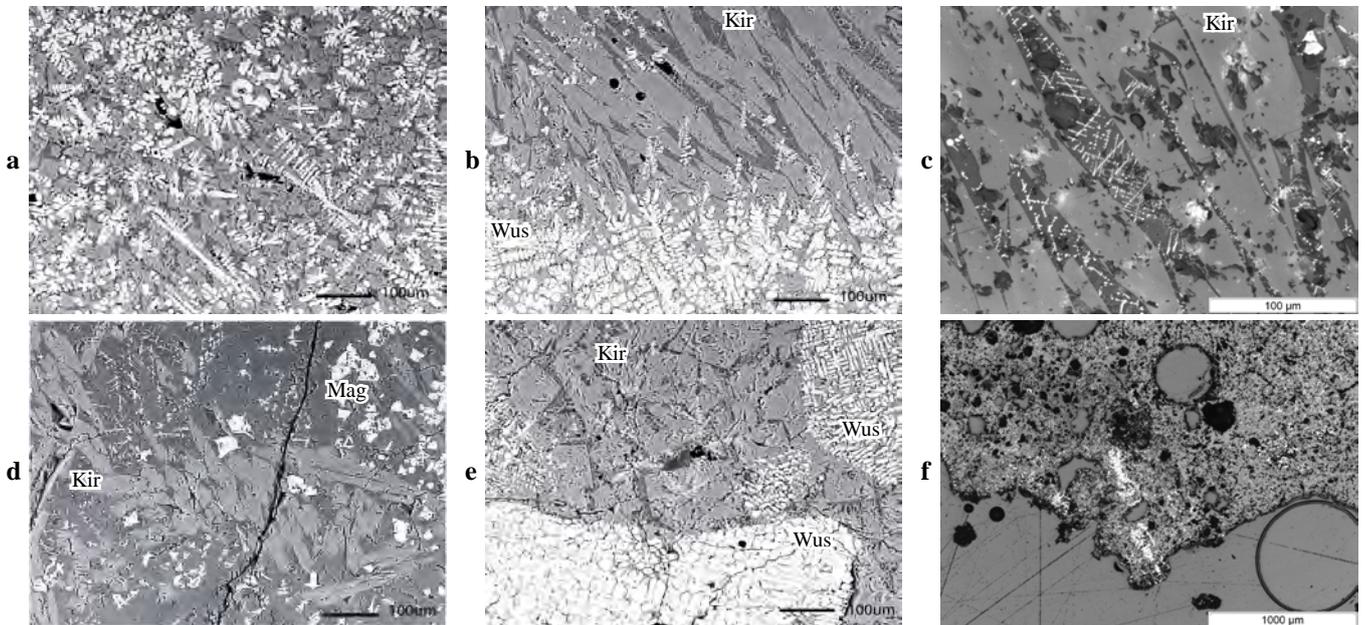
La matrice interstitielle est verre riche en Ca et en Fe (d) :

[wt% moyen : O 28.87 - Al 4.05 - Si 19.82 - K 3.14 - Ca 25.56 - Fe 17.03].

On trouve de très nombreuses croûtes d'oxydes (f) en train d'être assimilées dans le milieu, se décomposant naturellement en globules (e) ou en dendrites (a-b) de wüstite. Des formations squelettiques (wüstite ? magnétite ?) sont également réparties dans les interstices vitreux (c).

Des cristaux octaédriques de magnétite d'environ 50  $\mu\text{m}$  de longueur (d) sont réparties sur cette coupe.

## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

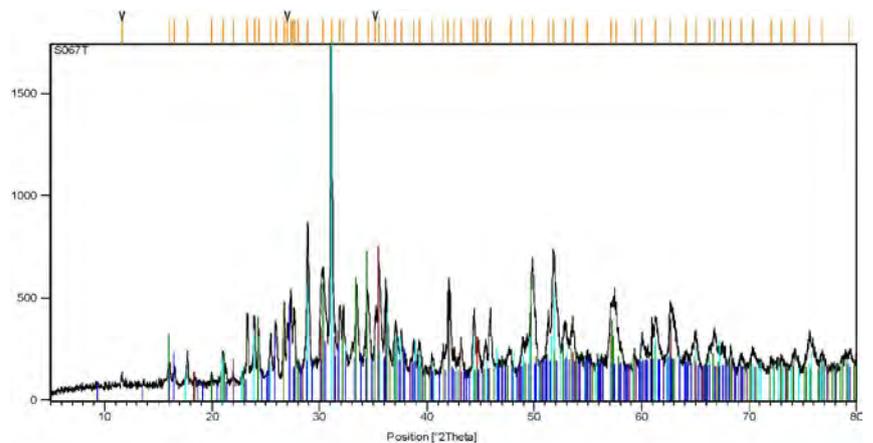
Magnétite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	(X)
Wüstite	$\text{FeO}$	(X)
Quartz	$\text{SiO}_2$	(X)
Fer	$\text{Fe}$	(X)
Cristobalite	$\text{SiO}_2(\text{HT})$	(X)
Akermanite	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	XX
Kirchstéinite	$\text{CaFeSiO}_4$	X
Leucite	$\text{KAlSi}_3\text{O}_6$	X

Minéralogie K : (Q)+(M)+(O)+K+A

- Présence d'akermanite et de leucite non observés au microscope

- Bruit de fond élevé pouvant masquer des pics

- 3 pics non attribués



Peak List
01-088-0315; Magnétite; syn
01-074-1883; Wüstite; syn
01-085-0795; Quartz
01-087-0721; iron
01-082-1232; Cristobalite; SGA
01-074-0424; Akermanite; syn
01-087-2074; Kirchstéinite
01-071-1147; Leucite

## Echantillon : S068

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-K  
**Lieu de forge :** Kakoli  
**Matériel de départ :** M2D (0.45 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g

**Temps chauffe / martelage / total :** 88 min / 49 min / 137 min

**Nombre cycles chauffe-martelage :** 51

**Nombre et type de soudures :** 3 (2 replis - 1 repli avec ajout)

**Nature des ajouts :** Poudre charbon

**Utilisation des ajouts :** Jette dans le foyer

**Consommation de charbon :** 6435 g

**Observations particulières :** Apparition de nombreuses gerces sur les deux côtés de la houe, 2 replis et 1 trempe au cours du formage de la lame

**Perte en fer cumulée g / % :** 410 g / 41 %

**Répartition scorie g / % :** 118 g / 29 %

**Répartition battitures g / % :** 292 g / 71 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 160 g - 97 %

**Longueur :** 12.0 cm

**Largeur :** 9.0 cm

**Hauteur maximale :** 3.5 cm

**Epaisseur moyenne :** 1.8 cm

**Ellipticité / planéité :** 1.3 / 3.0

**Orientation :** Incertaine

**Profil Dessus-Dessous :** Concave - Convexe

**Porosité (coupe) :** 31 %

**Aimantation (coupe) :** Faible

### Informations petites pièces

**Poids :** 130 g

**Nombre :** 11

**Forme :** Rognon, irrégulier

**Nature :** Kirschsteinite

**SAS -**

**SK 97 %**

**SFR 3 %**

**Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot elliptique, dense, avec peu de relief mais d'aspect déchiqueté, ainsi que de 11 fragments.

La surface supérieure est grise et mate. Elle montre une forte porosité due à une couverture d'empreintes de charbons ; seuls une quinzaine de charbons sont encore présents et leur contour est légèrement oxydé (couleur orangé). Cette surface est très magnétique.

La surface inférieure est couverte d'empreintes de charbons ; seuls quelques charbons bien incrustés sont encore présents, avec quelques petites zones d'oxydation sur leur périphérie. Cette surface est également très magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La matrice contient une large vacuole (2 cm) à la surface de la pièce. D'autres porosités (< 0.5 cm) sont régulièrement réparties sur suivant les contours de la pièce. Les porosités les plus fines (< 1 mm) se trouvent préférentiellement dans la partie basse.

Des filaments de métal (2 %) sont déposés à la base de la scorie. Un charbon (6 %) est inclus du côté proximal.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	22.67
TiO <sub>2</sub>	0.27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56.74
MnO	0.57
MgO	0.71
CaO	10.43
Na <sub>2</sub> O	0.08
K <sub>2</sub> O	1.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.49
Total	99.69

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait 2.63 g

Recalcul fer total  
 % de poids

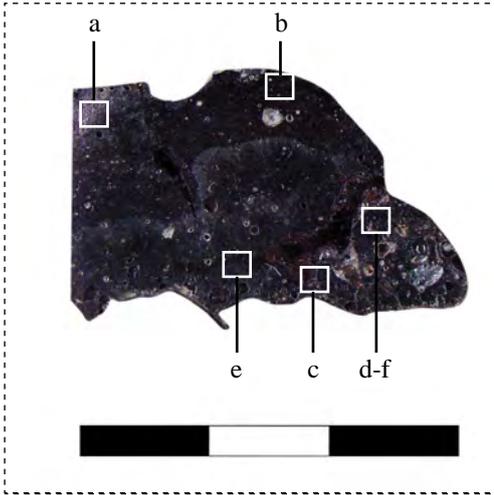
Fe tot 40.62 %

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	310	Cr	320
Co	260	La	10
Ni	<	Zr	180
Cu	250	V	90
Zn	10	S	370
Ba	320	Mo	90
Total		2230	

- Teneur élevée en CaO

## Lame épaisse



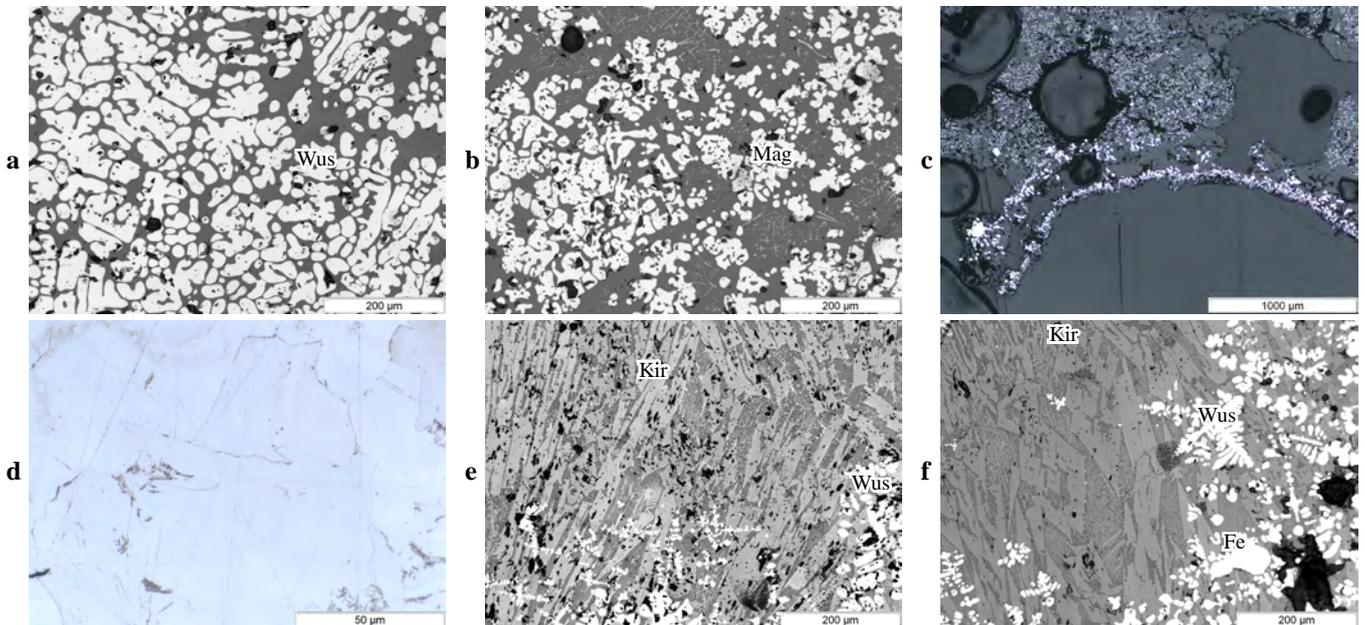
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Les observations microscopiques mettent en évidence la prédominance des phases métalliques. On observe des oxydes de fer sous la forme de globules arrondis (a-c) et dendrites (f) de wüstite, mais aussi des cristaux anguleux de magnétite (b-e). Ces oxydes résultent de la décomposition des croûtes d'oxydes.

Le fond de la scorie est tapissé de nombreuses petites particules de fer, notamment des chapelets de fer (c). Après attaque chimique au nital, toutes ces particules sont en fait des aciers ferritiques (d).

A part des phases métalliques, la surface de la lame est couverte de cristaux de kirschstéinite  $\text{CaFeSiO}_4$ , en baguette (e) ou en losange (f).

## Micrographies - Lame épaisse

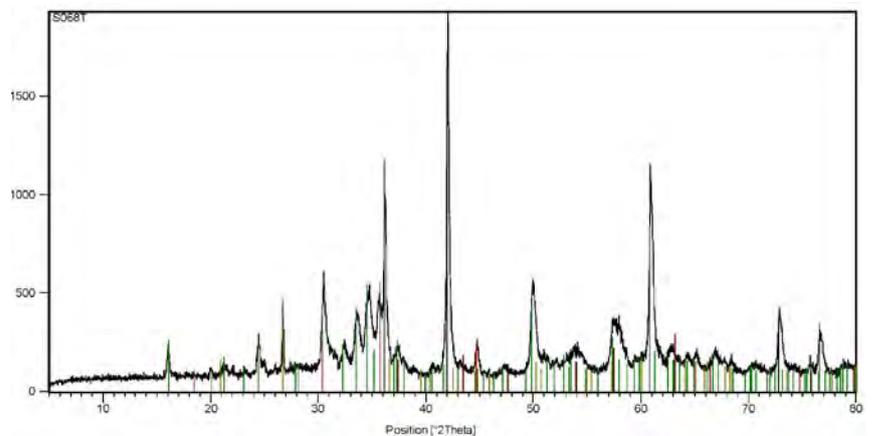


## Diffraction des rayons X

Wüstite	FeO	XX
Kirschstéinite	$\text{CaFeSiO}_4$	XX
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Magnétite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie K : Q+(M)+O+K

- Présence de quartz



Residue + Peak List
01-089-7100; Wüstite, syn
01-087-2073; Kirschstéinite
01-087-2090; Quartz, low
01-075-0449; Magnétite
01-087-0721; Iron

## Echantillon : S069

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-K  
**Lieu de forge :** Kakoli  
**Matériel de départ :** M2D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g

**Temps chauffe / martelage / total :** 75 min / 42 min / 117 min

**Nombre cycles chauffe-martelage :** 39

**Nombre et type de soudures :** 2 (1 repli ajout - 1 consolidation)

**Nature des ajouts :** Poudre de charbon

**Utilisation des ajouts :** Jette dans le foyer

**Consommation de charbon :** 5530 g

**Observations particulières :** Deux trempes ont été réalisées.  
Apparition d'une paille dans le fer

**Perte en fer cumulée g / % :** 395 g / 39.5 %

**Répartition scorie g / % :** 176 g / 45 %

**Répartition battitures g / % :** 219 g / 55 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 455 g - 99 %

**Longueur :** 13.4 cm

**Largeur :** 13.4 cm

**Hauteur maximale :** 4.5 cm

**Épaisseur moyenne :** 2.0 cm

**Ellipticité / planéité :** 1.0 / 3.0

**Orientation :** Déterminée

**Profil Dessus-Dessous :** Concave - Convexe

**Porosité (coupe) :** 21 %

**Aimantation (coupe) :** Forte, locale

### Informations petites pièces

**Poids :** -

**Nombre :** -

**Forme :** -

**Nature :** -

**SAS** 16 %

**SK** 83 %

**SFR** 1 %

**Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot unique, très dense, large, plat et circulaire.

La surface supérieure est rougie du côté proximal, avec une auréole sombre et vitrifiée. Toutes les bordures de la scorie sont grises, mates et rugueuses au toucher. La porosité est faible sans aucun charbon inclus mais seulement quelques empreintes de charbons. Cette surface est très magnétique au centre de la scorie.

La surface inférieure est plane mais extrêmement rugueuse au toucher à cause d'empreintes du sable, de cailloux ou de charbons qui se trouvaient sur la sole du foyer. Présence de cendres agglomérées du côté distal. Cette surface est moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre un SK matériel dense (66 %), hormis quelques porosités allongées suivant les contours de la pièce mais aussi le long de craquelures verticales.

Dans la partie haute se trouvent des fragments de roche (9 %) et du matériel vitrifié (3 %).

Un fragment de métal (< 0.5 cm) est déposé à l'extrémité distale de la scorie (1 %).

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	24.93
TiO <sub>2</sub>	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55.06
MnO	0.38
MgO	0.88
CaO	12.02
Na <sub>2</sub> O	0.08
K <sub>2</sub> O	1.23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.42
Total	99.57

- Teneur élevée en CaO

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	0.34 g
------------	--------

Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	38.79 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	20	Sc	110
Sr	340	Cr	420
Co	280	La	440
Ni	160	Zr	150
Cu	600	V	20
Zn	40	S	310
Ba	200	Mo	110
Total		3200	

- Teneurs importantes  
en Ni, Sc et La

## Lame épaisse



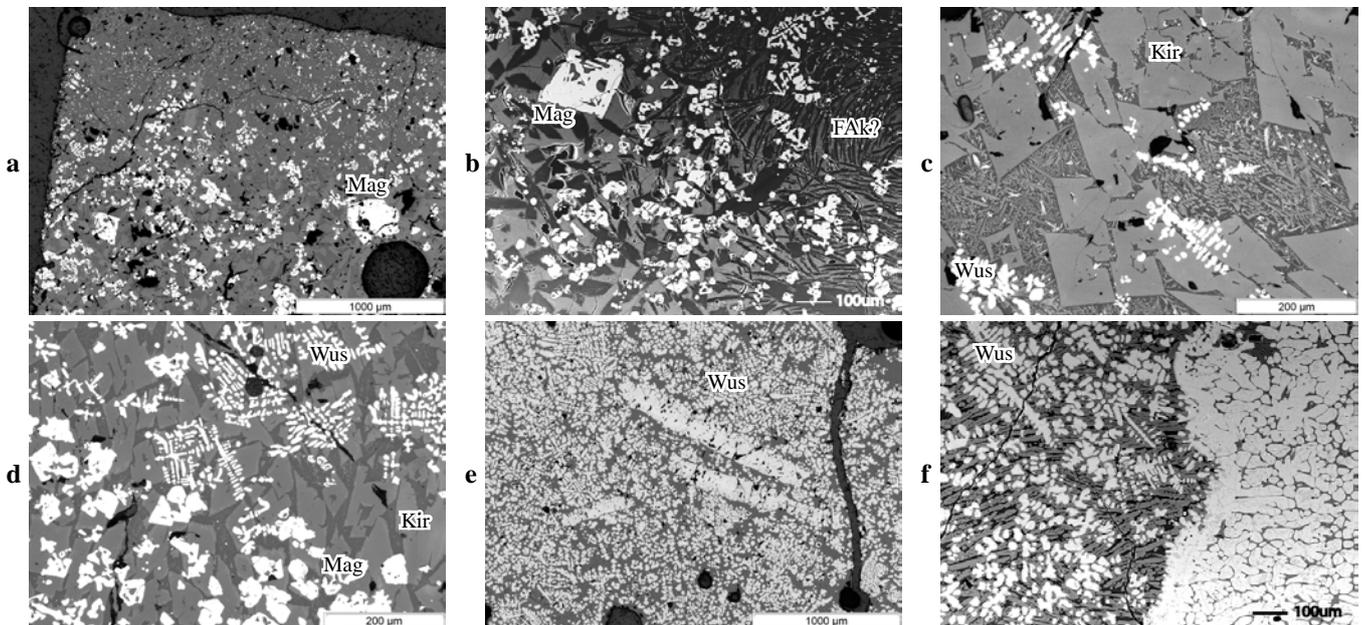
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La microstructure révèle la forte proportion d'oxydes de fer de cette pièce. En effet, toute la surface est constellée de cristaux anguleux de magnétite (a-b-d), parfois larges, jusqu'à 200 µm de diamètre (b). De plus, on observe de larges domaines de nodules (e-f) ou de dendrites (d) de wüstite provenant de la décomposition de croûtes d'oxydes (e).

Des cristaux de kirschstéinite sont répartis sur toute la surface de la coupe. Ils sont soit allongés en baguettes fines (f), soit en losange et massifs (c-d). La matière interstitielle est composée de squelettes de kirschstéinite en formation (c) dans un verre riche en Fe et en Ca (d).

De manière plus anecdotique, les zones (a) et (b) montrent des baguettes (b haut) ainsi que des cristaux allongés (b bas) sombres (ferro-akermanite?), dans un verre riche en Fe et Ca.

## Micrographies - Lame épaisse



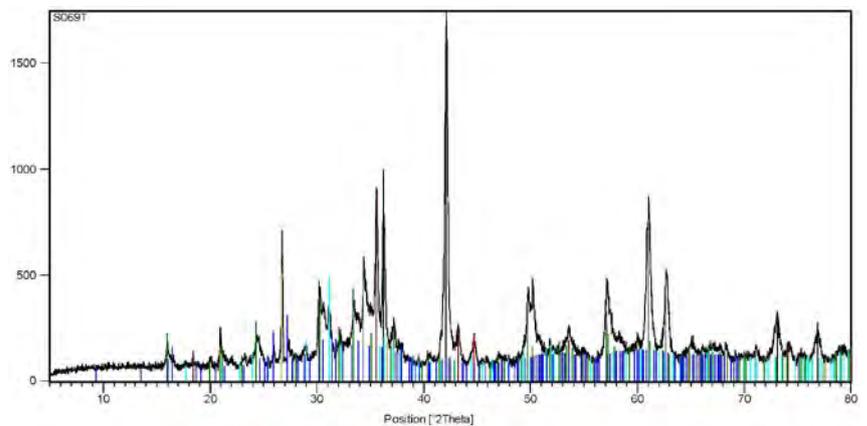
## Diffraction des rayons X

Magnétite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	X
Wüstite	FeO	XX
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Kirschstéinite	CaFeSiO <sub>4</sub>	X
Akermanite	Ca <sub>2</sub> MgSi <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	(X)
Fer	Fe	(X)
Leucite	KAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(X)

Minéralogie K : Q+(M)+O+K+(A)

- Du quartz et de la leucite sont identifiés

- L'akermanite identifiée correspondrait-elle aux baguettes sombres de la zone (b) ?



Phase	Peak List
01-075-1372; Magnétite	
01-074-1880; Wüstite, syn	
01-085-0457; Quartz, low	
01-087-2074; Kirschstéinite	
01-073-1343; Akermanite, syn	
01-085-1410; Iron	
01-071-1147; Leucite	

## Echantillon : S070

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-K  
**Lieu de forge :** Kakoli  
**Matériel de départ :** M4S (0.45 %C)

**Poids du fer initial :** 1000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 57 min / 32 min / 89 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 30

**Nombre et type de soudures :** -

**Nature des ajouts :** -

**Utilisation des ajouts :** -

**Consommation de charbon :** 4725 g

**Observations particulières :** Un coin de la houe se détache pendant les finitions (cassure)

**Perte en fer cumulée g / % :** 280 g / 28 %

**Répartition scorie g / % :** 77 % / 28 %

**Répartition battitures g / % :** 203 g / 72 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 240 g - 94%

**Longueur :** 12.0 cm

**Largeur :** 12.0 cm

**Hauteur maximale :** 3.5 cm

**Epaisseur moyenne :** 2.0 cm

**Ellipticité / planéité :** 1.0 / 3.4

**Orientation :** Incertaine

**Profil Dessus-Dessous :** Plat - Convexe

**Porosité (coupe) :** 29 %

**Aimantation (coupe) :** Moyenne

### Informations petites pièces

**Poids :** 20 g

**Nombre :** 3

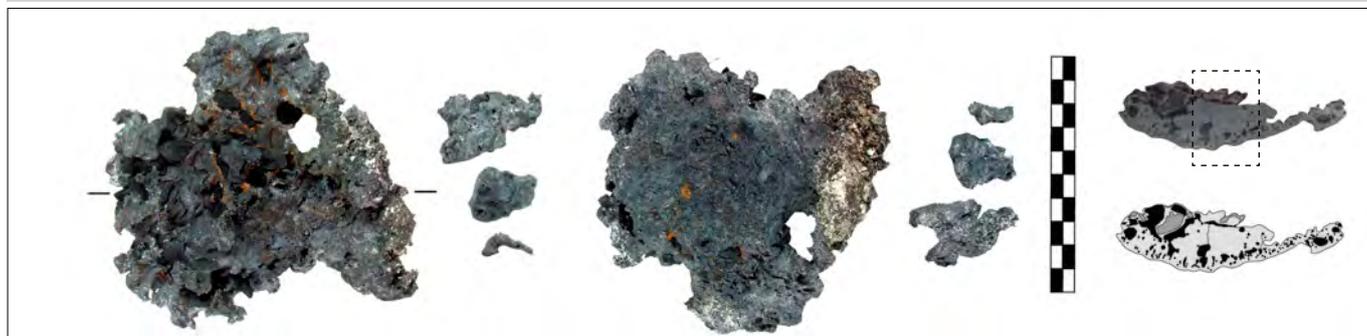
**Forme :** Rognon, irrégulier

**Nature :** Kirschsteinite

**SAS - SK :** 100 %

**SFR - Autre :** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot dense, peu épais et 3 fragments.

La surface supérieure est grise et mate. Au centre, plus en relief, on trouve une zone de charbons bien incrustés (< 1 cm) dont les contours, orangés, sont plus oxydés. Cette surface est légèrement magnétique.

La surface inférieure est également grise et mate. Une extrémité de la pièce est couverte de cendres blanches et de petits cailloux. Partout ailleurs, la surface comprend des empreintes du sable, des petits cailloux ou des charbons du foyer et rendent la surface rugueuse et accrochante au toucher. Cette surface est moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre un matériel dense sombre (64 %) contenant des porosités (larges ou fines). Elles sont orientées essentiellement verticalement le long de la base de la scorie et parfois le long des craquelures.

L'extrémité proximale contient de larges vacuoles (< 2 cm) affleurant la surface. à l'intérieur desquelles est inclus un charbon (7 %).

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	25.98
TiO <sub>2</sub>	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41.45
MnO	0.47
MgO	1.69
CaO	22.44
Na <sub>2</sub> O	0.08
K <sub>2</sub> O	1.67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.69
Total	33.58

g fer extrait par tamisage

Fe extrait 0.98 g

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot 29.71 %

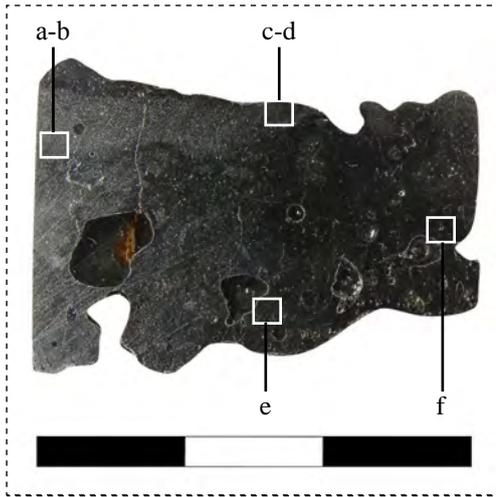
Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	140
Sr	650	Cr	240
Co	250	La	450
Ni	<	Zr	170
Cu	180	V	60
Zn	10	S	430
Ba	400	Mo	80
Total		3080	

- Teneurs importantes en Sr, Sc et La

- Teneur élevée en CaO et MgO

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La microstructure de cette pièce révèle la prédominance d'oxydes de fer.

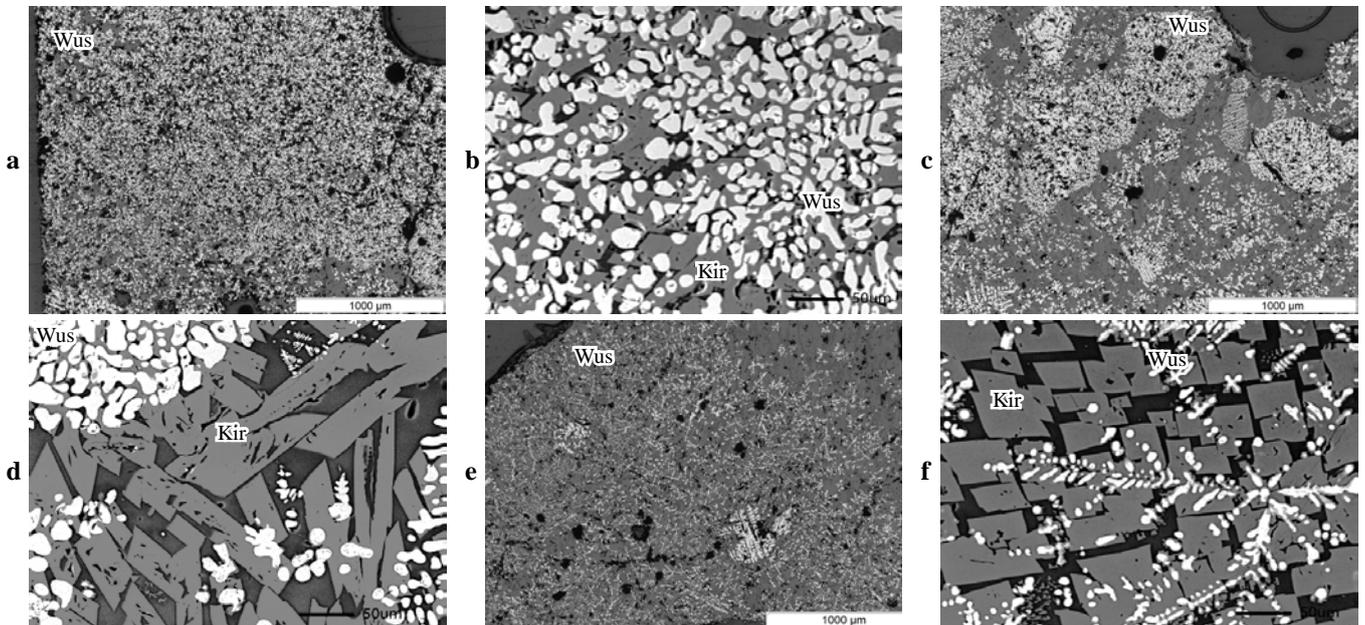
Des plages entières sont couvertes de nodules de wüstite (a-b), d'autres comportent les reliquats de croûtes d'oxydes (c) qui sont en cours de décomposition sous la forme de nodules de wustite (d). Enfin, d'autres zones montrent des dendrites de wüstite (e) et mêmes des formation «en étoile» (f).

Des cristaux de kirschstéinite sont dispersés sur toute la surface de la pièce. On observe des cristaux losangiques trapus entre 25 µm (b) et 50 µm (f), mais aussi des cristaux allongés de plus de 100 µm (d) de longueur.

Le verre interstitiel est riche en Fe, Ca et Al (f) :

[wt% moyen : O 29.45 - Al 9.10 - Si 17.29 - K 5.54 - Ca 15.06 - Fe 21.76].

## Micrographies - Lame épaisse



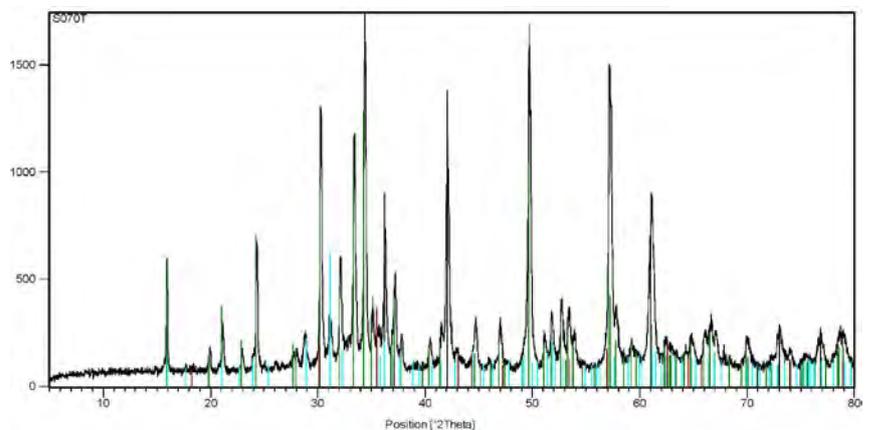
## Diffraction des rayons X

Kirschstéinite	$\text{CaFeSiO}_4$	XXX
Wüstite	$\text{FeO}$	X
Akermanite	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	X
Fer	$\text{Fe}$	(X)
Magnétite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	(X)

Minéralogie K : (M)+O+K+A

- Présence d'akermanite non observée au microscope

- Du fer métallique et de la magnétite sont également identifiés



Residue + Peak List
01-087-2074; Kirschstéinite
01-074-1881; Wüstite, syn
01-025-1811; Akermanite
01-085-1410; Iron
01-079-0417; Magnetite

## Echantillon : S071

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-K  
**Lieu de forge :** Kakoli  
**Matériel de départ :** M4D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 61 min / 34 min / 94 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 36  
**Nombre et type de soudures :** 1 (simple)  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 3515 g  
**Observations particulières :** -

**Perte en fer cumulée g / % :** 400 g / 40 %  
**Répartition scorie g / % :** 147 g / 37 %  
**Répartition battitures g / % :** 253 g / 63 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 340 g - 99 %  
**Longueur :** 12.0 cm  
**Largeur :** 11.5 cm  
**Hauteur maximale :** 5.0 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.7 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.0 / 2.4  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Plat - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 17 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** -  
**Nombre :** -  
**Forme :** -  
**Nature :** -

**SAS -** SK 91 %  
**SFR 9 %** Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot entier, dense, épais et de forme carrée.

La surface supérieure est mate, grise à gris violet. La texture est rugueuse et accrochante. Seuls deux charbons sont inclus mais on trouve de nombreuses empreintes de petits charbons (< 1 cm). Surface moyennement magnétique.

La surface inférieure est grise et mate avec des empreintes de charbons. On observe une zone couverte de sable aggloméré du foyer avec des petits charbons et des traces d'oxydation autour de ces charbons. Une autre zone comprend des cendres blanchâtres. Cette surface est très magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

En coupe, une matrice dense et sombre comporte de larges porosités aux deux extrémités ainsi que de fines porosités concentrées à la base de la scorie. De nombreuses craquelures verticales sont visibles.

La base de la scorie est couverte de fragments de métal entiers ou des filaments (7 %), mais aussi quelques pièces de charbons (5 %).

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids  
 - Teneur élevée en CaO

SiO <sub>2</sub>	20.66
TiO <sub>2</sub>	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	58.10
MnO	0.41
MgO	1.06
CaO	13.45
Na <sub>2</sub> O	0.08
K <sub>2</sub> O	0.99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.38
Total	99.47

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	6.14 g
------------	--------

Recalcul fer total  
% de poids

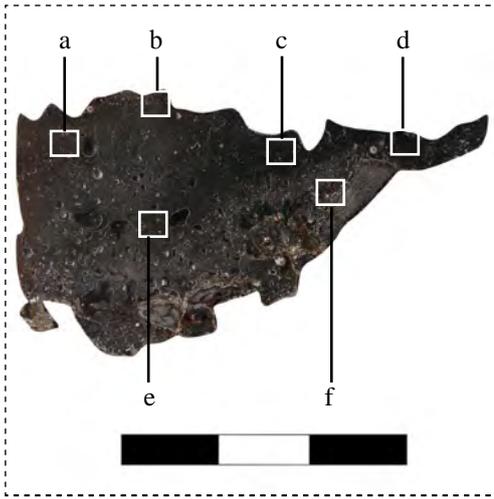
Fe tot	43.20 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	20	Sc	130
Sr	380	Cr	950
Co	290	La	480
Ni	20	Zr	120
Cu	540	V	30
Zn	<	S	360
Ba	200	Mo	220
Total		3740	

- Teneurs importantes  
en Sc, La et Mo

## Lame épaisse



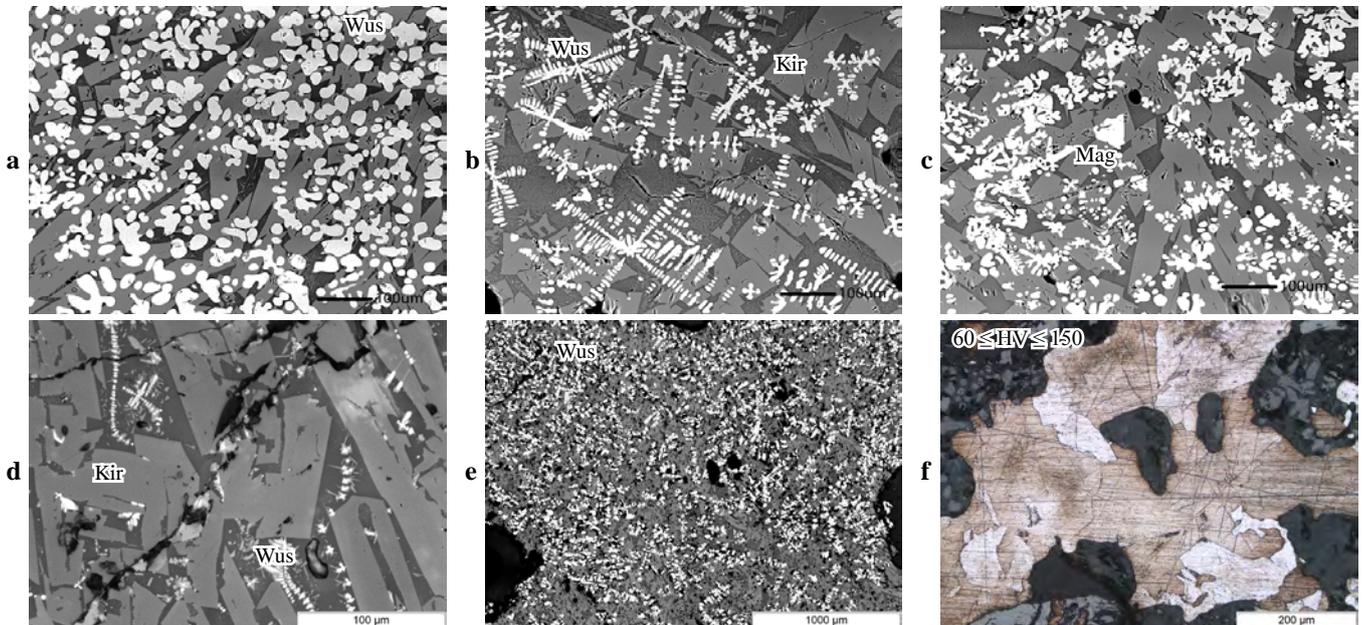
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La surface de la lame comporte une forte proportion d'oxydes de fer : des domaines recouverts de wüstite en nodules (a-e-f), en dendrites (e), des formations « en étoile » (b), des cristaux octaédriques de magnétite (c). Des squelettes de wüstite sont parfois présents dans le verre (d).

Le fond de la scorie est tapissé de particules de métal : billes éclatées, chapelets ou petites particules réparties autour des charbons et des porosités. Après attaque chimique au Nital, il s'avère qu'il s'agit d'un acier très peu carburé (jusqu'à 0.1 %C), constitué de grains de ferrite plus ou moins riches en carbone (f).

D'autre part, des cristaux de kirschstéinite sont répartis sur toute la lame : ils sont trapus, de section carrée ou losangique (b), parfois allongée (a-c-d).

## Micrographies - Lame épaisse

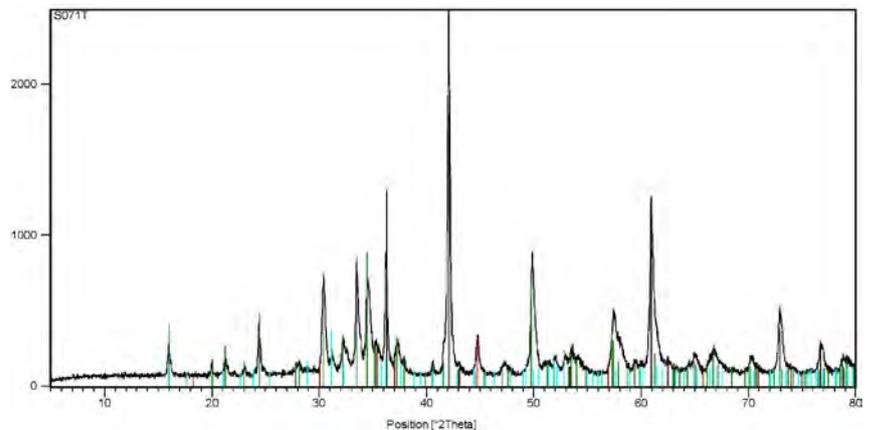


## Diffraction des rayons X

Kirschstéinite	$\text{CaFeSiO}_4$	XXX
Wüstite	$\text{FeO}$	XX
Akermanite	$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$	(X)
Fer	$\text{Fe}$	(X)
Magnétite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	(X)

Minéralogie K : (M)+O+K+(A)

- Présence d'akermanite en faible proportion



Residue	Peak List
01-087-2074	Kirschstéinite
01-089-7100	Wüstite, syn
01-089-0423	Akermanite, syn
01-087-0721	fer
00-019-0629	Magnétite, syn

## Echantillon : S072

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-K  
**Lieu de forge :** Kakoli  
**Matériel de départ :** M4D (0.45 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 69 min / 46 min / 115 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 36  
**Nombre et type de soudures :** 1 (simple)  
**Nature des ajouts :** Poudre de charbon  
**Utilisation des ajouts :** Jette dans le foyer  
**Consommation de charbon :** 5180 g  
**Observations particulières :** -

**Perte en fer cumulée g / % :** 425 g / 42.5 %  
**Répartition scorie g / % :** 140 g / 33 %  
**Répartition battitures g / % :** 285 g / 67 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 305 g - 98 %  
**Longueur :** 13.5 cm  
**Largeur :** 12.0 cm  
**Hauteur maximale :** 4.5 cm  
**Épaisseur moyenne :** 1.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.1 / 2.8  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Concave - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 10 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 50 g  
**Nombre :** 7  
**Forme :** Irrégulier, rognon  
**Nature :** Sableux, kirschstéin.

**SAS - SK** 97 %  
**SFR 3 %**      **Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot circulaire, dense, de faible épaisseur mais très rugueux et accrochant au toucher. Il est accompagné de 7 fragments (quatre sont à base de kirschstéinite, trois sont argilo-sableux).

La surface supérieure se partage en une zone couleur rouille très magnétique à l'extrémité proximale et une zone grise moyennement magnétique. Pas de charbons mais quelques rares empreintes.

La surface inférieure est couverte d'empreintes de charbons ; présence d'une dizaine de petits charbons (< 5 mm) à l'extrémité distale ; moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre la forte proportion d'un matériel gris sombre et dense.

La scorie est plus épaisse (3 cm) du côté proximal que du côté distal (< 1 cm).

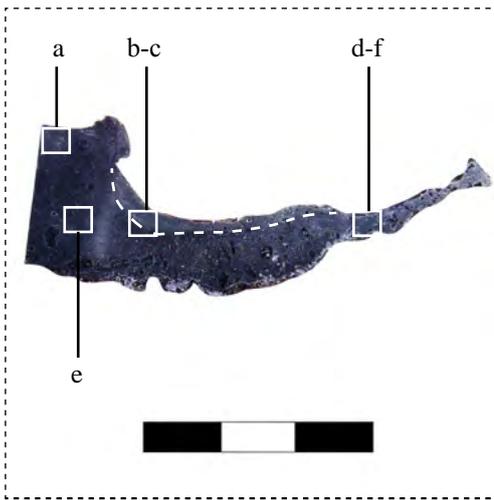
Des porosités (10 %) mais aussi du métal sous la forme de filament (2 %) sont répartis le long de la base de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie Eléments majeurs % de poids			g fer extrait par tamisage	Eléments traces ppm	- Quantité importante en Sr, Sc et La
	SiO <sub>2</sub>	18.47			
	TiO <sub>2</sub>	0.15			
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.91			
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	54.32	Fe extrait 3.79 g	Rb 20	Sc 150
	MnO	0.43		Sr 590	Cr 580
	MgO	1.14		Co 300	La 450
	CaO	20.69		Ni 90	Zr 90
	Na <sub>2</sub> O	0.06		Cu 550	V 30
	K <sub>2</sub> O	0.83		Zn 10	S 360
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.55		Ba 180	Mo 130
	Total	99.53	Recalcul fer total % de poids Fe tot 39.34 %	Total	3530

- Teneur élevée en CaO

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

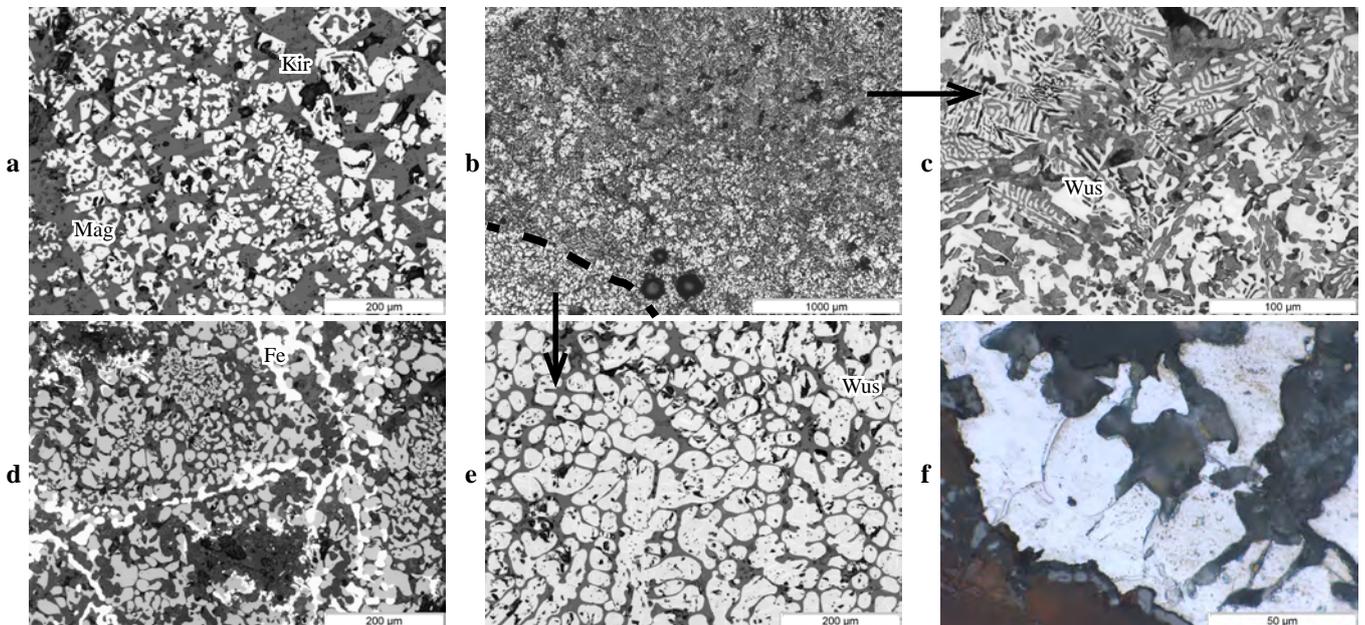
Toute la surface de la pièce est recouverte à 70 % d'oxydes de fer (a-b-c-d-e). On observe des zones nappées de cristaux anguleux de magnétite (a) mais aussi de larges domaines de nodules de wüstite (d-e).

La partie superficielle de la lame (voir lame épaisse, b) est différente puisqu'on observe de la wüstite déformée (surchauffe ?) (c).

Le fond de la scorie (d-f) comporte les marques de pertes de fer (5 %) : fins filets de métal (d) principalement le long des contours des matériaux et petites particules métalliques arrondies. Après attaque chimique au Nital, toutes ces particules sont formées de grains de ferrite pure, il s'agit d'un acier ferritique (f).

Les cristaux de kirschstéinite (25 %) sont à peine visible (a) sous toute cette quantité de d'oxydes de fer dispersés.

## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

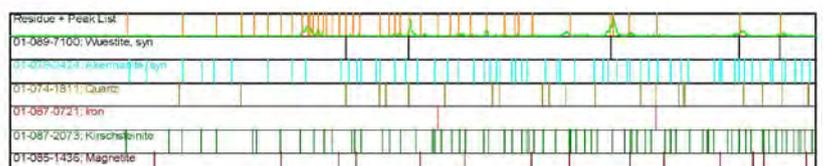
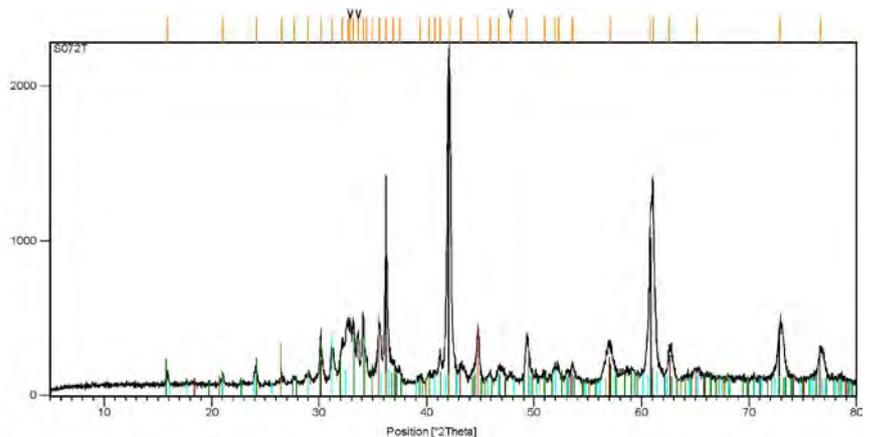
Wüstite	FeO	XX
Akermanite	$\text{Ca}_2(\text{Mg-Al})(\text{Si-Al})\text{O}_7$	X
Quartz	$\text{SiO}_2$	(X)
Fer	Fe	(X)
Kirschstéinite	$\text{CaFeSiO}_4$	X
Magnétite	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	X

Minéralogie K : (Q)+(M)+O+K+A

- 3 pics ne sont pas attribués

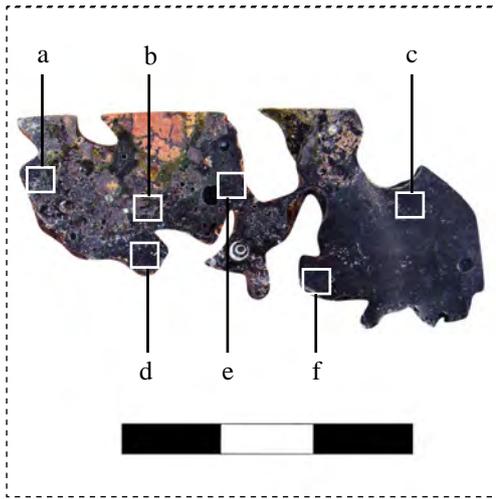
- Présence d'akermanite aluminuse

- Beaucoup d'oxydes de fer





## Lame épaisse



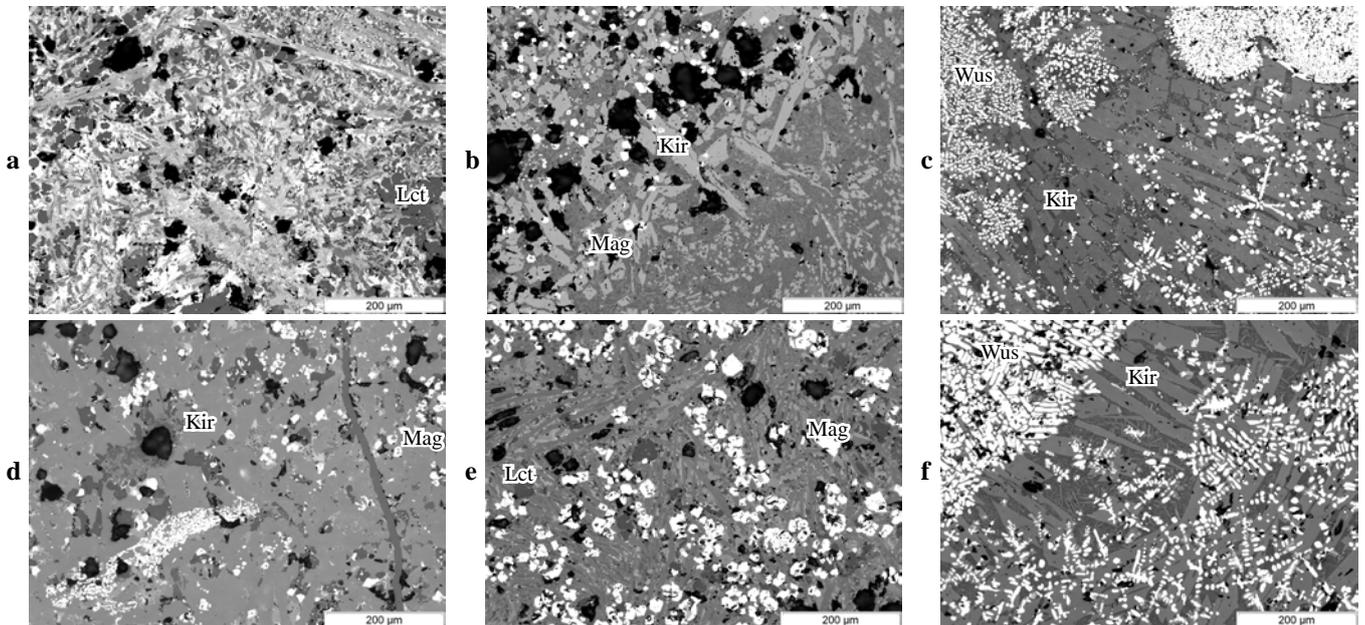
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Dans la zone d'influence du fragment de tuyère, on retrouve une microstructure particulière : des grains de leucite sombres (a-e) mêlés à des baguettes gris moyen (ferro-akermanite ?) (a-e).

Ailleurs, la surface est composée de cristaux de kirschstéinite aux angles vifs, de section allongée (jusqu'à 300-400  $\mu\text{m}$ ) (b-c-f) ou carrée (< 50  $\mu\text{m}$ ) (b).

Concernant les phases métalliques, on trouve des cristaux anguleux de magnétite (b-d-e), des nodules (c-f) ou dendrites (c-f) de wüstite, qui sont en fait des reliquats de croûtes d'oxydes (c-d-f).

## Micrographies - Lame épaisse



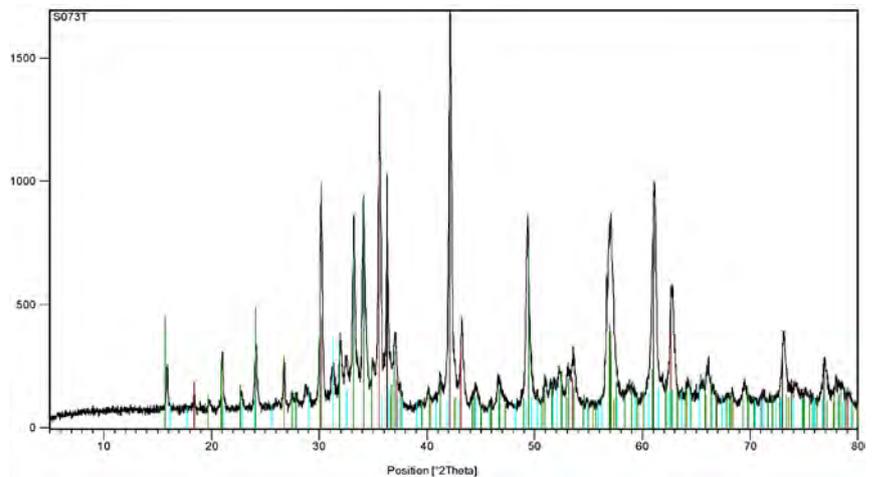
## Diffraction des rayons X

Wüstite	FeO	X
Quartz	SiO <sub>2</sub>	(X)
Magnétite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	X
Akermanite	Ca <sub>2</sub> MgSi <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	X
Kirschstéinite	CaFeSiO <sub>4</sub>	XX

Minéralogie K : (Q)+O+K+A

- Mise en évidence de l'akermanite de la zone (a)

- Leucites en quantité trop faible pour être détectés



Residue + Peak List
01-074-1883; Wüstite, syn
01-075-0443; Quartz
01-076-1849; Magnétite
01-078-0841; Akermanite
01-087-2073; Kirschstéinite

## Echantillon : S074

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SGD-B  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M4D (0.17 %C)

Poids du fer initial : 2x500 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 51 min / 24 min / 75 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 26  
 Nombre et type de soudures : 1 (simple)  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 4945 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 230 g / 23 %  
 Répartition scorie g / % : 125 g / 54 %  
 Répartition battitures g / % : 105 g / 46 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 260 g - 96 %  
 Longueur : 17.0 cm  
 Largeur : 12.0 cm  
 Hauteur maximale : 4.0 cm  
 Epaisseur moyenne : 2.8 cm  
 Ellipticité / planéité : 0.7 / 3.6  
 Orientation : Déterminée  
 Profil Dessus-Dessous : Bourrelet - Convexe  
 Porosité (coupe) : 36 %  
 Aimantation (coupe) : Moyenne, locale

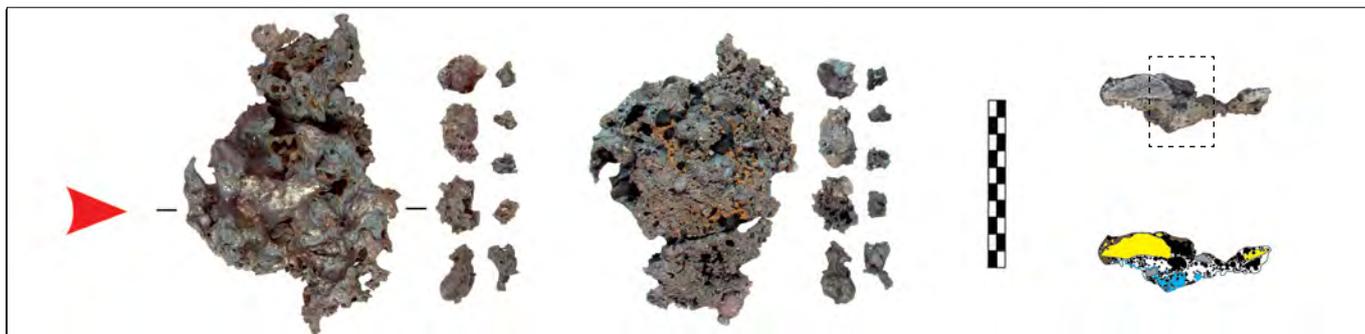
### Informations petites pièces

Poids : 45 g  
 Nombre : 9  
 Forme : Rognon, irrégulier  
 Nature : Fayalitique, ferreux

SAS 41 %  
 SFR 9 %

SGD 50 %  
 Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot, dense, allongé, à fort relief et de 9 fragments : six sont fayalitiques, trois sont ferreux.

La surface supérieure est très légèrement vitrifiée et oxydée à l'extrémité proximale : aspect lisse et couleur gris-violet. Partout ailleurs la scorie est grise, à l'aspect plus déchiqueté, avec des zones vitrifiées. Une dizaine de charbons sont incrustés. Cette face est légèrement magnétique.

La surface inférieure est recouverte de sable aggloméré et de charbons incrustés de petite taille (< 1 cm). Quelques zones orangées sont plus oxydées. Cette face est moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

Du côté proximal, un gros fragment de roche (4 cm, 17 %) demi-circulaire est recouvert d'une couche argilo-sableuse (5 %).

A proximité, de larges porosités affleurent la surface de la pièce. Les fines porosités sont circulaires et se trouvent au fond de la pièce.

Le métal (6 %) s'est déposé dans le fond de la scorie : il s'agit principalement d'un nodule (1 cm de long), de petites particules variées et de filaments répartis sur les contours des matériaux présents.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	48.31
TiO <sub>2</sub>	0.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.46
MnO	0.26
MgO	0.69
CaO	5.60
Na <sub>2</sub> O	0.10
K <sub>2</sub> O	1.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.37
Total	99.54

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	37.80 g
------------	---------

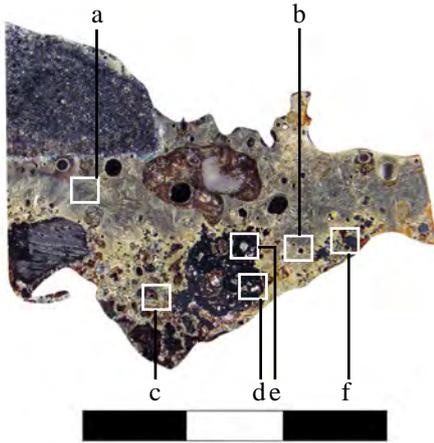
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	40.83 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	240	Cr	690
Co	190	La	30
Ni	<	Zr	420
Cu	680	V	70
Zn	100	S	540
Ba	250	Mo	100
Total		3340	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

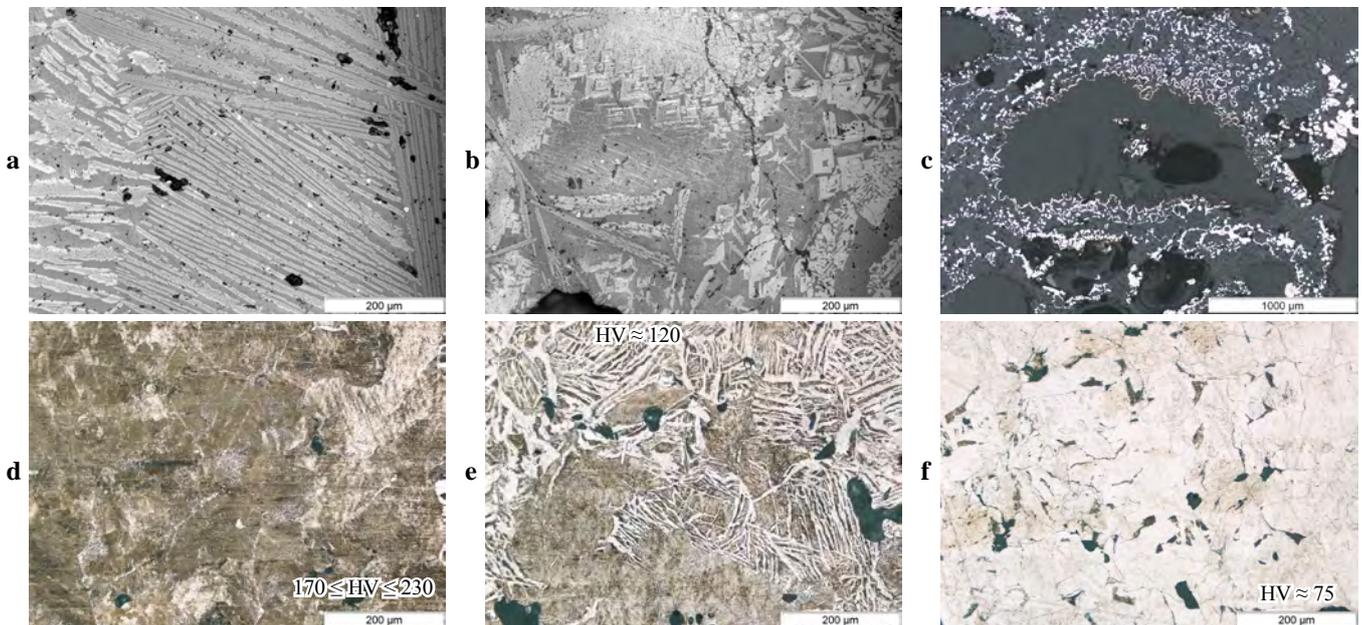
Toute la surface de la lame est couverte de cristaux de fayalite. Ils se présentent sous la forme de baguettes allongées de plusieurs mm de longueur et jusqu'à 10 µm d'épaisseur (a). Certains cristaux, plus épais, ont même des formes en pavé moins communes (b).

Le fond de la scorie est constellé de fins filets et globules métalliques, disposés le long des charbons ou des porosités (c), mais aussi de petites particules de métal (< 1 mm). L'attaque au Nital révèle que tous sont constitués de ferrite ou d'acier à 0.2 %C max (f).

Le seul morceau carburé de la lame est le nodule (d-e). Le centre, très sombre, est un acier eutectoïde à 0.8 %C puisqu'il est uniquement composé de domaines de perlite lamellaire et globulaire, sans distinction des joints de grain (d).

Tout le pourtour du nodule est décarbure : des grains de ferrite aciculaire sont mélangés à de la perlite lamellaire. En (e), il s'agit d'un acier à 0.4 %C.

## Micrographies - Lame épaisse

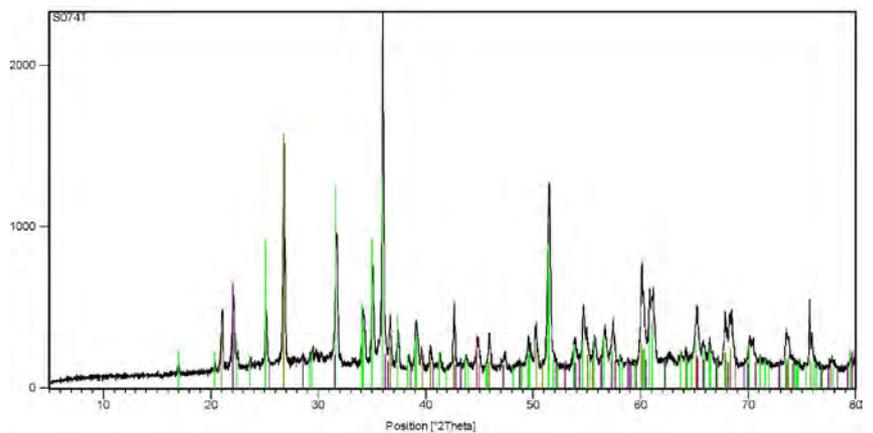


## Diffraction des rayons X

Fayalite	(Fe,Mn)SiO <sub>4</sub>	XXXX
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)

Minéralogie FQ : Q+(M)+F

- Présence de fayalite manganifère



Residue + Peak List
01-067-40023: fayalite, manganifère low
01-085-0451: Quartz low
03-065-9130
01-075-0923: Cristobalite low

## Echantillon : S075

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SAS  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M3S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 33 min / 24 min / 57 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 26  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 1700 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 165 g / 16.5 %  
 Répartition scorie g / % : 20 g / 12 %  
 Répartition battitures g / % : 145 g / 88 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 145 g - 83 %  
 Longueur : 14.0 cm  
 Largeur : 11.0 cm  
 Hauteur maximale : 4.0 cm  
 Epaisseur moyenne : 3.5 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.3 / 3.1  
 Orientation : Déterminée  
 Profil Dessus-Dessous : Plat - Convexe  
 Porosité (coupe) : 50 %  
 Aimantation (coupe) : Faible, locale

### Informations petites pièces

Poids : 20 g  
 Nombre : 12  
 Forme : Rognon, irrégulier  
 Nature : Fay., arg.-sabl.

SAS 98 %  
 SFR 2 %

SGD  
 Autre

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot moyennement dense, allongé sur 2 niveaux et de 12 fragments plus petits.

Du côté proximal (niveau haut), la surface supérieure montre une zone allongée d'aspect fondu, avec des reflets métalliques gris jaune et teintes gris violet à rougeâtre.

La surface inférieure est gris-violet et contient parfois du sable aggloméré.

Du côté distal (niveau bas), on rencontre un plateau poreux (empreintes de petits charbons et petits charbons inclus) induisant une surface rugueuse ; teintes grises, aspect mat ou brillant.

La surface inférieure est couverte de sable aggloméré, petits cailloux, argile de la paroi du foyer ; non magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La scorie est principalement composée de matériel sableux vitrifié hétérogène très poreux.

La couche haute contient des roches arrondies (2 cm de diamètre) mais également des grains de quartz visibles à l'œil nu. La couche basse est nappée d'une fine couche de sable aggloméré du fond du foyer.

Quelques petites particules de métal sont visibles dans la partie médiane de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	63.71
TiO <sub>2</sub>	0.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.51
MnO	0.20
MgO	1.33
CaO	8.65
Na <sub>2</sub> O	0.13
K <sub>2</sub> O	2.16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.50
Total	99.51

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	1.26 g
------------	--------

Recalcul fer total  
 % de poids

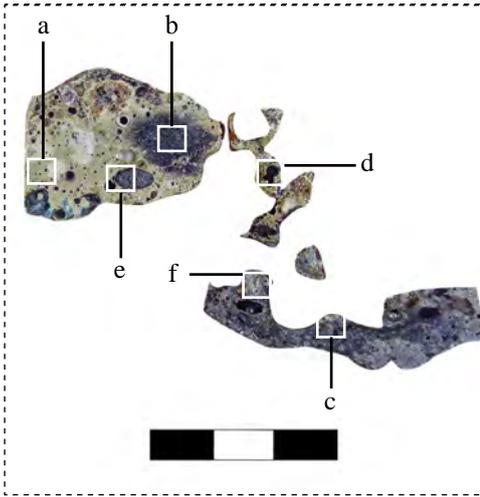
Fe tot	12.38 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	330	Cr	290
Co	140	La	<
Ni	<	Zr	480
Cu	250	V	80
Zn	240	S	1150
Ba	380	Mo	50
Total			3430

- Teneurs importantes  
 en Zn et S

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

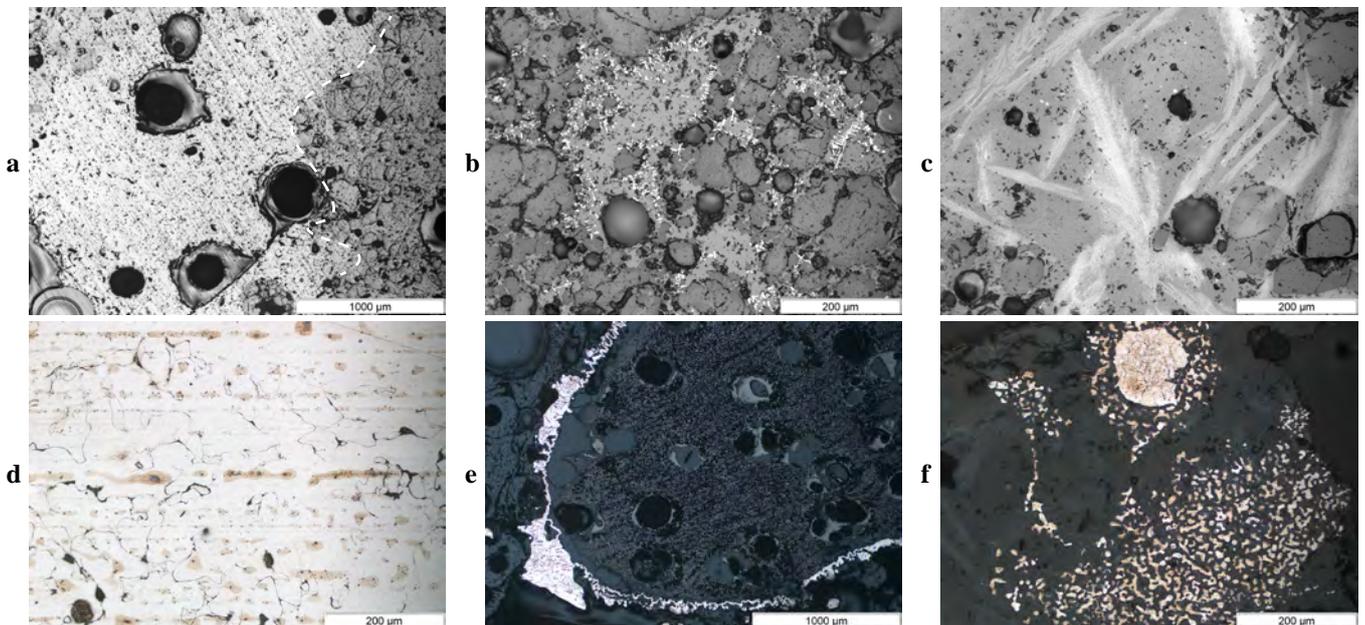
La microstructure révèle une matrice vitreuse verdâtre (a gauche) contenant des fragments de roche (a droite). L'un d'eux, sombre, était déjà scorifié quand il est tombé dans le foyer : on observe des grains de quartz avec des cristobalites périphériques, cimentés dans un verre contenant des cristaux anguleux de spinelles (magnétite?).

Les rares formations de silicates de fer sont réparties à la base de la scorie (c).

Le métal a la forme de petites particules arrondies (d-f) dont certaines sont presque complètement assimilées dans le milieu (f). Sous la forme de filaments, le métal est disposé autour des charbons (e) mais aussi sur les contours de la base de la scorie.

Après attaque au Nital, il s'avère que tout le métal de la lame est une ferrite (0.02 %C max) (d).

## Micrographies - Lame épaisse

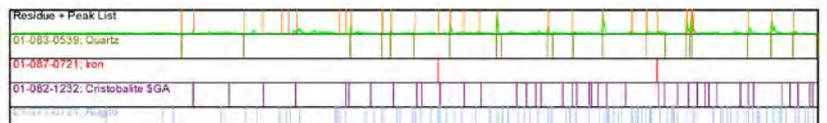
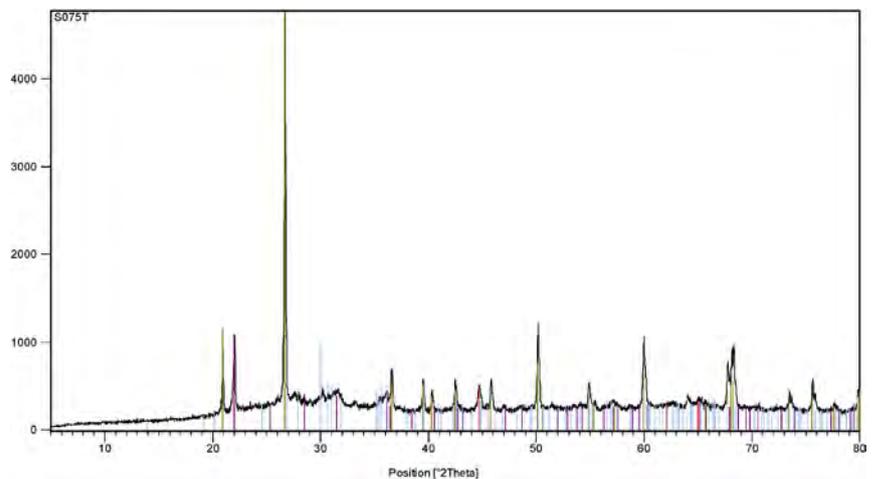


## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Augite	Ca(Fe,Mg)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie Q : Q+(M)+(A)

- De l'augite semble s'être formée en faible proportion



## Echantillon : S076-077-078

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGd-SFR  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** M4S-M4S-M4S (0.17 %C)  
  
**Poids du fer initial :** 1000 g + 1000 g + 1000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 122 min / 76 min / 198 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 70  
**Nombre et type de soudures :** -  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 7630 g  
**Observations particulières :** F076, F077 matin, F078 après-midi, forgeages standards  
  
**Perte en fer cumulée g / % :** 620 g / 20.7 %  
**Répartition scorie g / % :** 78 g / 13 %  
**Répartition battitures g / % :** 542 g / 87 %

### Informations pièce principale

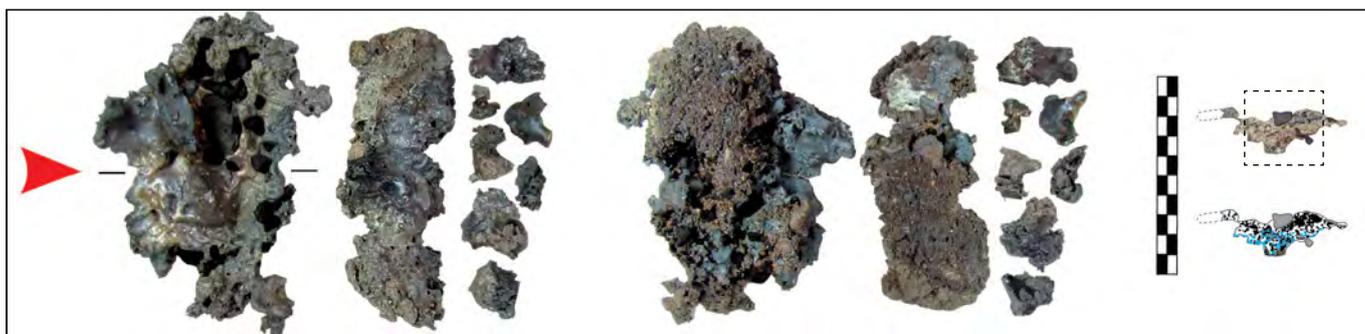
**Poids - % conservation :** 300 g - 86 %  
**Longueur :** 15.5 cm  
**Largeur :** 12.0 cm  
**Hauteur maximale :** 4.0 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.0 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.8 / 3.4  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Plat - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 28 %  
**Aimantation (coupe) :** Moyenne

### Informations petites pièces

**Poids :** 145 g  
**Nombre :** 8  
**Forme :** Rognon, irrégulier  
**Nature :** Fay., arg.-sabl., ferr.

**SAS 3 %                      SGD 85 %**  
**SFR 12 %                    Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot très dense, large, elliptique avec un fort relief, ainsi que 8 fragments (trois ferreux, trois fayalitiques et deux argilo-sableux).

La surface supérieure, insensible à l'aimant, montre:

- à l'extrémité proximale, une zone d'aspect lisse gris violet avec un contour gris violet à jaunâtre parsemée de charbons (< 20 mm) et d'empreintes
- en périphérie, une zone grise mate et lisse mais aussi jaunâtre, granuleuse et légèrement vistrifiée avec des empreintes de charbons.

La surface inférieure est couverte de sable aggloméré du fond du foyer, de charbons (< 10 mm) et d'empreintes. Cette face est légèrement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre un matériel jaunâtre fayalitique contenant de larges porosités irrégulières qui affleurent la surface, principalement du côté opposé à la soufflerie.

Des particules de métal se trouvent dans la partie médiane et basse de la scorie.

Les grosses pièces de charbon (15 %) se trouvent en périphérie alors que des petits fragments sont inclus au centre de la pièce.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Éléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	61.06
TiO <sub>2</sub>	0.39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.25
MnO	0.18
MgO	0.48
CaO	3.08
Na <sub>2</sub> O	0.09
K <sub>2</sub> O	1.28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.24
Total	99.68

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	6.58 g
------------	--------

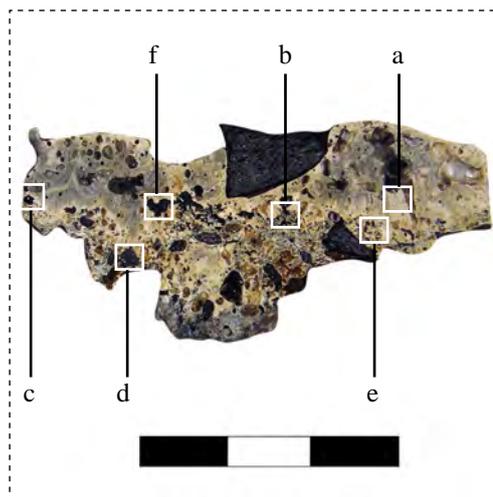
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	17.43 %
--------	---------

Éléments traces  
ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	130	Cr	460
Co	180	La	50
Ni	<	Zr	430
Cu	320	V	40
Zn	50	S	230
Ba	240	Mo	80
Total		Total	2240

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La surface de la pièce est couverte de cristaux de silicates de fer fins et allongés ou en pavé épais (a).

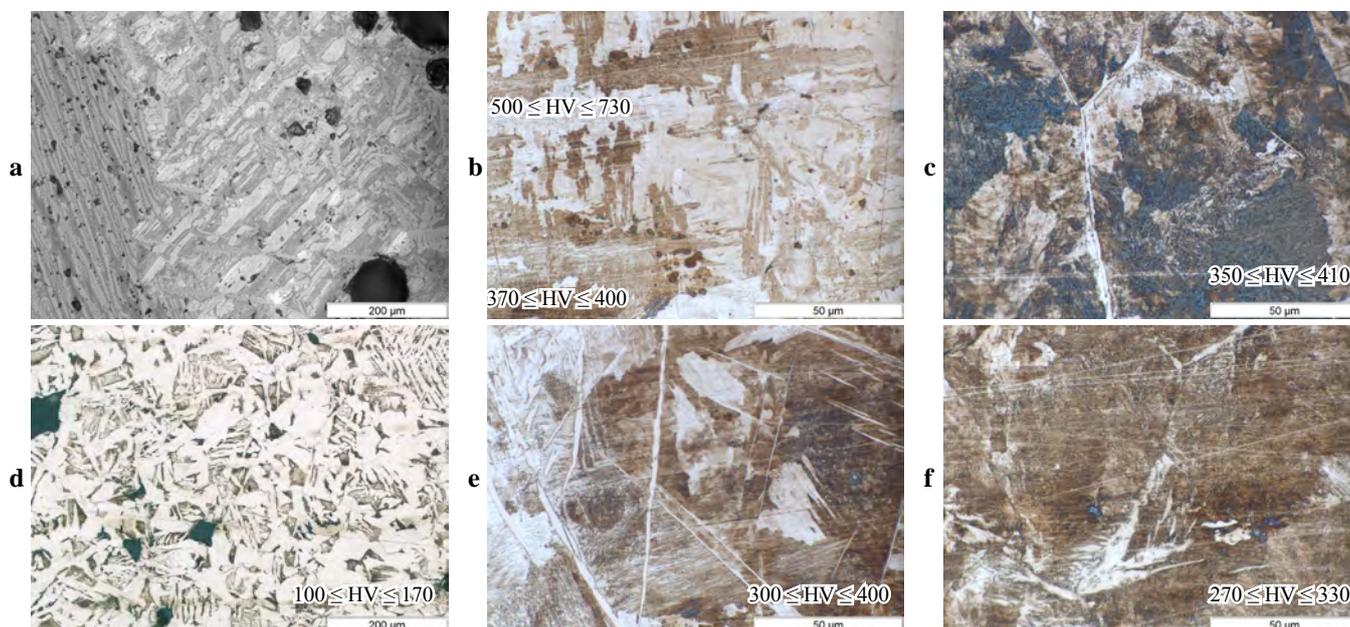
Les grandes particules de métal sont concentrées dans la partie médiane de la scorie. Les particules les plus carburées sont réparties en haut de cette bande médiane. En effet, on observe de grandes particules de ferrite proeutectoïque et de perlite à 0.6-0.7 %C (f). D'autres particules sont des aciers hypereutectoïques (> 1 %C) : les grains formés de perlite lamellaire sont délimités par des joints de cémentite (c-e). Ici, la zone (c) semble plus carburée que la zone (e).

En partie basse, plusieurs grosses particules sont des aciers peu carburés à 0.3 %C (d).

Du côté distal, seules 2 zones, d'une dureté exceptionnelle, révèlent des structures de refroidissement rapide (b).

Le fond de la scorie est couvert de filets de métal mais aussi de croûtes d'oxydes en cours d'assimilation.

## Micrographies - Lame épaisse

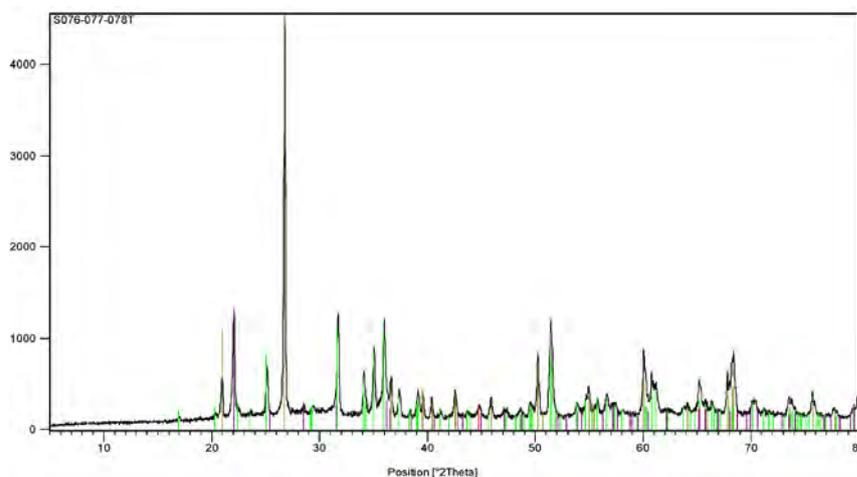


## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X

Minéralogie QF : Q+(M)+F

- Le quartz provient de la surface inférieure de la pièce



Residue - Peak List
01-078-2315: Quartz
07-067-0310: Fayalite, spm
03-065-4899
01-075-0923: Cristobalite low

## Echantillon : S079-080-081

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** M4D-M4D-M4D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g + 2x500 g + 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 169 min / 83 min / 252 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 95

**Nombre et type de soudures :** 3 (simples)

**Nature des ajouts :** -

**Utilisation des ajouts :** -

**Consommation de charbon :** 9615 g

**Observations particulières :** F079+F080 matin, F081 après-midi

**Perte en fer cumulée g / % :** 1035 g / 34.5 %

**Répartition scorie g / % :** 420 g / 41 %

**Répartition battitures g / % :** 615 g / 59 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 630 g - 99 %

**Longueur :** 13.0 cm

**Largeur :** 12.0 cm

**Hauteur maximale :** 6.5 cm

**Epaisseur moyenne :** 4.0 cm

**Ellipticité / planéité :** 1.1 / 1.9

**Orientation :** Déterminée

**Profil Dessus-Dessous :** Plat - Convexe

**Porosité (coupe) :** 23 %

**Aimantation (coupe) :** Forte, locale

### Informations petites pièces

**Poids :** 45 g

**Nombre :** 8

**Forme :** Rognon, nodule, irr.

**Nature :** Fay., arg.-sabl.

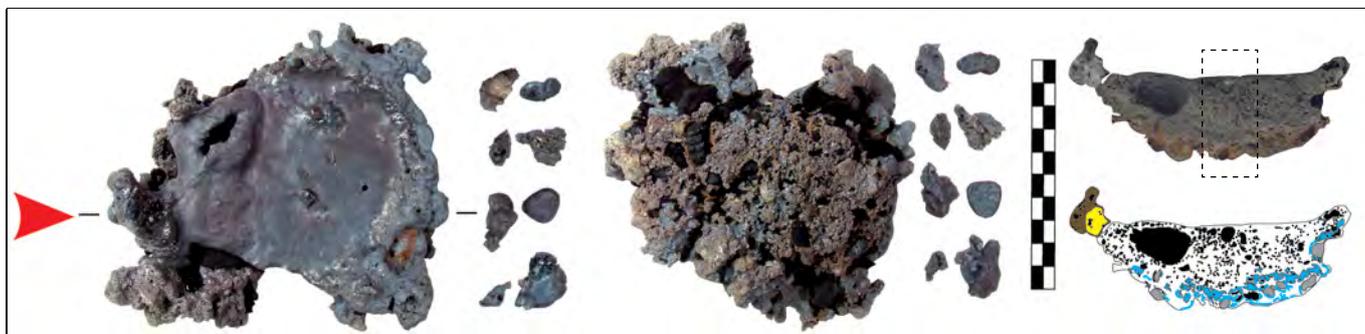
**SAS** 6 %

**SGD** 85 %

**SFR** 9 %

**Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot, très dense, épais, triangulaire, ainsi que 8 petits fragments (six sont fayalitiques, deux sont argilo-sableux).

La surface supérieure est plane et gris-violet. A l'extrémité proximale on voit un nodule vitrifié sombre ainsi qu'une cavité qui semble s'enfoncer profondément dans la scorie. La bordure distale est rugueuse, de couleur grise et d'aspect mat. Forte aimantation locale sur cette face.

La surface inférieure est couverte de sable du fond du foyer qui s'est aggloméré sous l'effet de la chaleur, de charbons plus ou moins volumineux (entre 2 et 25 mm), de petits fragments de la paroi. Surface moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle un matériel dense et sombre fayalitique comportant un appendice argilo-sableux (4 %) partiellement vitrifié du côté de la soufflerie.

Une vacuole globulaire (3 cm) affleure la surface alors que de nombreuses fines porosités circulaires ou allongées couvrent toute la surface de la pièce.

Le métal (7%) ainsi les pièces de charbon (5 %) sont réparties uniquement au fond de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	29.14
TiO <sub>2</sub>	0.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	64.06
MnO	0.36
MgO	0.24
CaO	1.15
Na <sub>2</sub> O	0.10
K <sub>2</sub> O	0.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14
Total	99.59

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	86.13 g
------------	---------

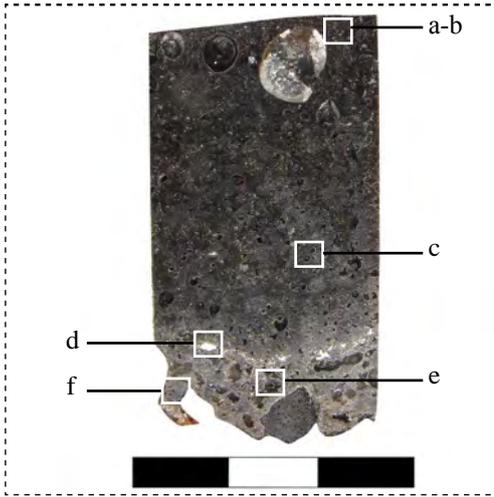
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	62.17 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	50	Cr	1230
Co	220	La	110
Ni	<	Zr	240
Cu	650	V	30
Zn	<	S	120
Ba	80	Mo	180
		Total	2930

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

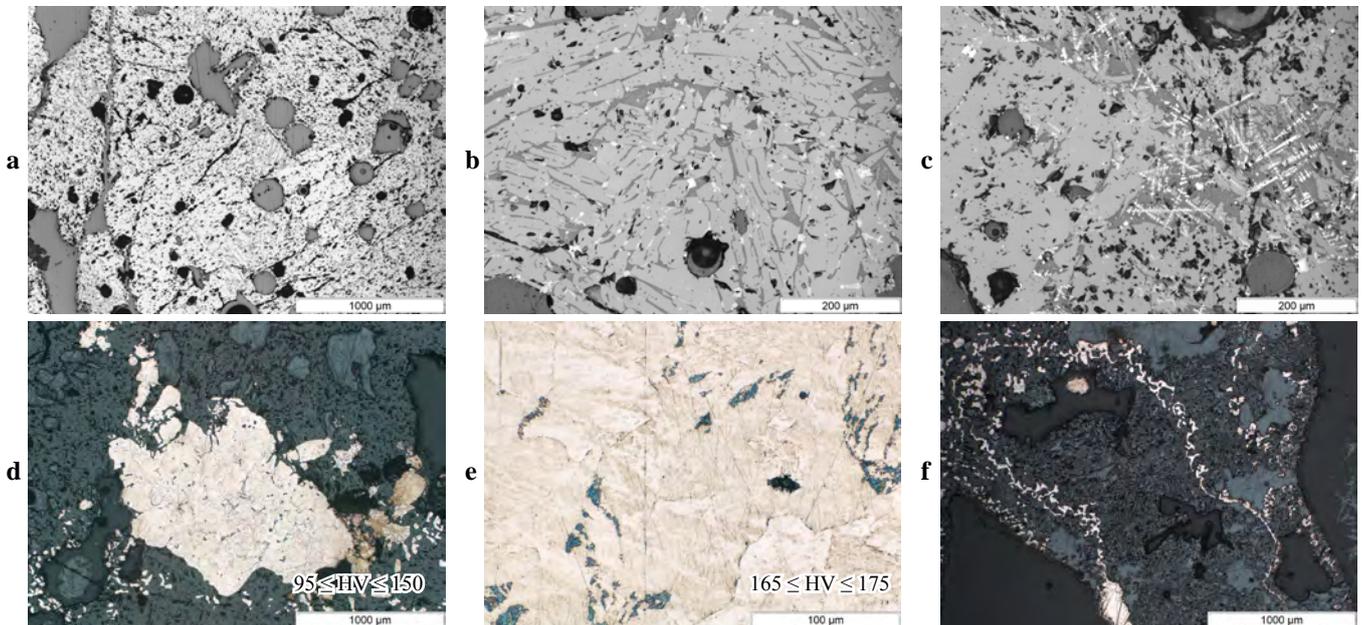
La microstructure révèle l'omniprésence de silicates de fer dispersés dans une matrice vitreuse poreuse (a). On observe des cristaux aux formes allongées ou équigranulaires (b) parfois tellement serrés qu'elles constituent de larges domaines (c).

Un excès de Fe dans la matrice sombre vitreuse aboutit à la formation de dendrites de wüstite (c) ou de cristaux de magnétite (b).

Le métal est concentré en une couche horizontale à la base de la scorie. On y rencontre de nombreuses particules dispersées (d) et des filets de métal répartis le long des charbons et des porosités (f).

Après attaque chimique au Nital, il s'avère que tout le métal de la scorie est constitué de grains de ferrite, dans un acier à 0.2 %C maximum, similaire à la teneur en carbone de l'acier qui est forgé.

## Micrographies - Lame épaisse

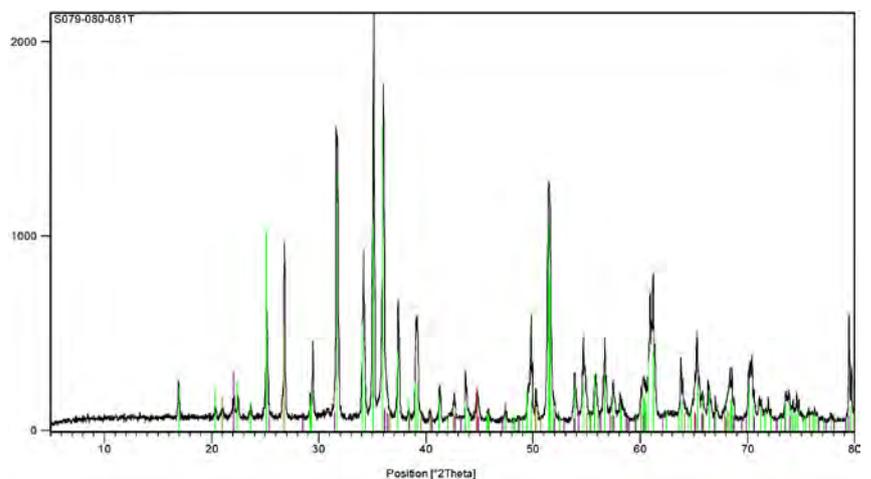


## Diffraction des rayons X

Fer	Fe	(X)
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XXXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)

Minéralogie FQ : Q+(M)+F

- Les oxydes de fer ne sont pas présents en quantité suffisante pour être identifiés



Residue = Peak List
01-087-0721: Iron
01-085-0930: Quartz
01-075-0852: Fayalite
01-082-1232: Cristobalite SiO <sub>2</sub>

## Echantillon : S082-083-084

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SAS-M  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** M2S-M2S-M2S (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 1000 g + 1000 g + 1000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 148 min / 90 min / 238 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 87  
**Nombre et type de soudures :** -  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 8920 g  
**Observations particulières :** F082+F083 matin, F084 après-midi.  
 Forgeages standards

**Perte en fer cumulée g / % :** 610 g / 20.3 %  
**Répartition scorie g / % :** 33 g / 5 %  
**Répartition battitures g / % :** 577 g / 95 %

### Informations pièce principale

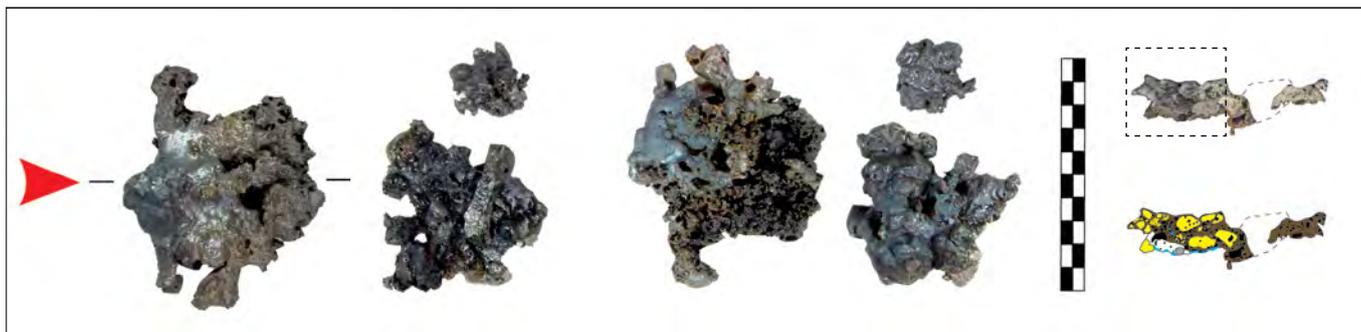
**Poids - % conservation :** 90 g - 90 %  
**Longueur :** 9.5 cm  
**Largeur :** 9.0 cm  
**Hauteur maximale :** 2.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 1.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.9 / 3.7  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Plat - Plat  
**Porosité (coupe) :** 39 %  
**Aimantation (coupe) :** Faible

### Informations petites pièces

**Poids :** 90 g  
**Nombre :** 2  
**Forme :** Plat, irrégulier  
**Nature :** Fayalitique

**SAS** 87 %      **SGD** 11 %  
**SFR** 1 %      **Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un petit culot circulaire avec des excroissances, moyennement dense, aplatis, de faible épaisseur ainsi que 2 fragments fayalitiques. On trouve un caillou en baguette (5 cm de longueur) collé sur la surface supérieure d'un des fragments.

La surface supérieure est gris-violet d'aspect mat du côté proximal et gris-jaune vitrifiée partout ailleurs. Cette zone est très légèrement magnétique.

La surface inférieure est grise et mate du côté proximal, recouverte de sable gris foncé et de petits charbons (< 5 mm) partout ailleurs. Au contraire, cette zone est moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre de nombreux fragments de roche arrondis et des grains de quartz (18 %) englobés dans un matériel vitrifié sombre.

Les quantités de métal dans la scorie restent limitées (1 %) : des fins filets de métal sont répartis dans le fond de la scorie à proximité d'une petite zone fayalitique (1 cm<sup>2</sup>). Seules 2 particules sont visibles au centre de la pièce.

La porosité reste fine et régulière.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	63.78
TiO <sub>2</sub>	0.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.51
MnO	0.19
MgO	0.64
CaO	3.51
Na <sub>2</sub> O	0.11
K <sub>2</sub> O	1.69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32
Total	99.66

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	3.84 g
------------	--------

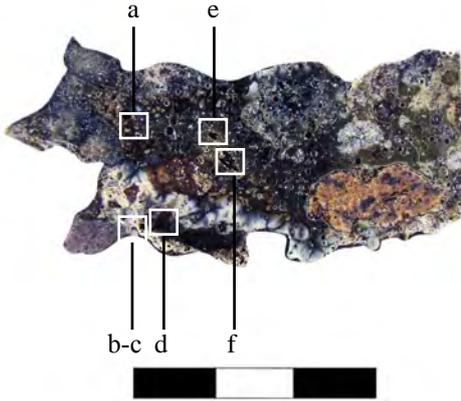
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	18.13 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	160	Cr	310
Co	160	La	20
Ni	<	Zr	490
Cu	230	V	50
Zn	170	S	140
Ba	350	Mo	70
Total		2190	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

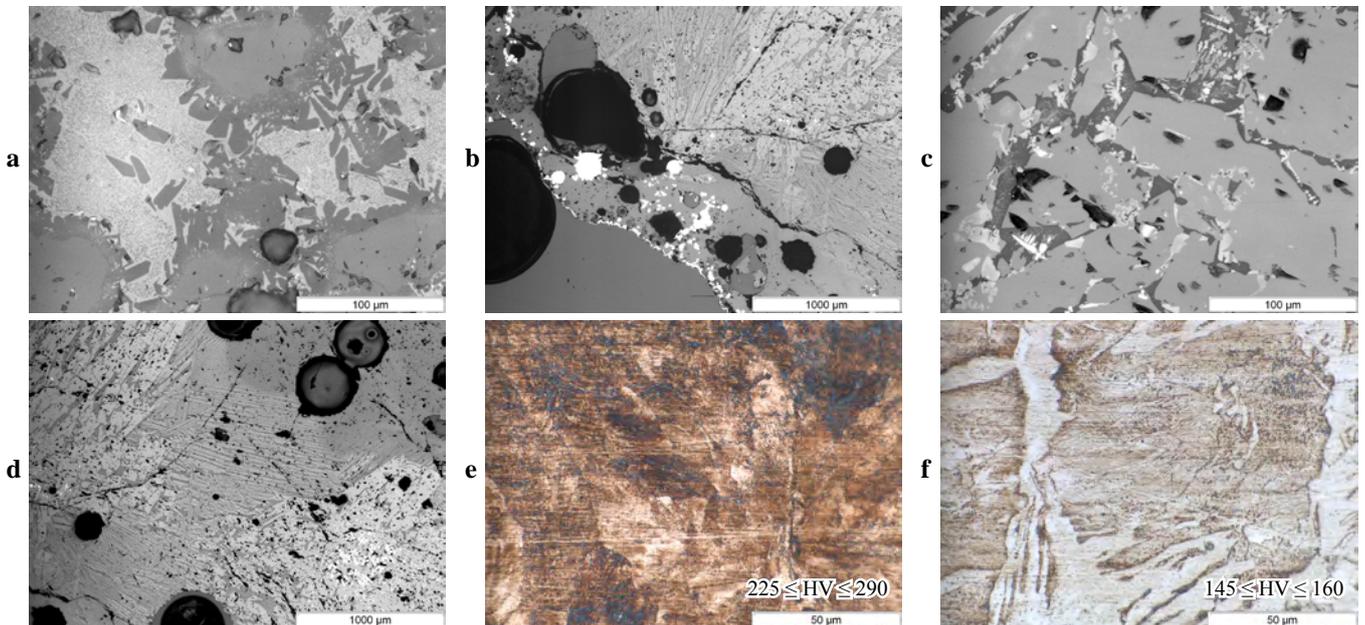
La microstructure de la scorie est complexe. La majorité de la surface de la lame formée de fragments de roche ou grains de quartz (a), inclus dans un matériel vitrifié poreux.

Seule une zone au fond de la scorie du côté de la soufflerie révèle des cristaux de fayalite allongés (b-d) et même en plaque (b-c-d).

Entre ces cristaux, le verre sombre riche en Fe permet la formation de cristaux anguleux clairs de spinelles (c).

Des fins filets de métal (ferrite) sont disposés le long de la base de la scorie (b). La scorie ne comporte que deux particules de métal (3 mm max). Celle du haut (e), couverte de perlite, est faite d'un acier proche de l'eutectoïde à 0.6-0.7 %C. La particule en bas est bien moins carburée (0.2 %C) puisqu'on observe des grains de perlite entourés par de la ferrite aciculaire (f).

## Micrographies - Lame épaisse



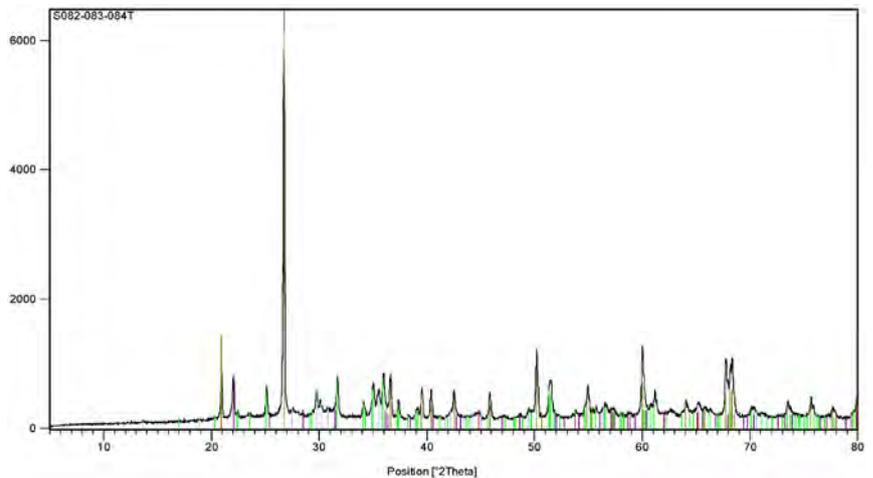
## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Augite	Ca(Fe,Mg)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Fer	Fe	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+F+(A)

- De l'augite s'est cristallisé pendant la formation de la scorie

- Les spinelles ne sont pas identifiées



Residue + Peak List
01-083-0536: Quartz
01-078-0512: Fayalite
01-078-0511: Augite
01-078-0935: Cristobalite low
01-087-0721: Iron

## Echantillon : S085-086-087

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-SFR  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** M2D-M2D-M2D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g + 2x500 g + 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 128 min / 80 min / 208 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 83  
**Nombre et type de soudures :** 3 (simples)  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 9485 g  
**Observations particulières :** F085+F086 matin, F087 après-midi.  
 Cassure d'un coin de la soie pendant le formage.

**Perte en fer cumulée g / % :** 835 g / 27.8 %  
**Répartition scorie g / % :** 132 g / 16 %  
**Répartition battitures g / % :** 703 g / 84 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 200 g - 95 %  
**Longueur :** 13.2 cm  
**Largeur :** 8.5 cm  
**Hauteur maximale :** 3.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.6 / 3.1  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Plat - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 35 %  
**Aimantation (coupe) :** Moyenne

### Informations petites pièces

**Poids :** 75 g  
**Nombre :** 10  
**Forme :** Irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux

**SAS - SGD :** 88 %  
**SFR 12 % - Autre :** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot dense, triangulaire, plat présentant avec une cavité interne, ainsi que 10 fragments (sept sont fayalitiques, trois sont ferreux).

La surface supérieure est lisse et un aspect fondu. Les bordures sont grises et mates, le centre est gris-violet et légèrement vitrifié. Quelques charbons sont présents en périphérie de la scorie, avec des traces d'oxydation orangées. Moyennement magnétique.

La surface inférieure est couverte de petits charbons (< 5 mm), de sable aggloméré, de traces d'oxydation orangées et d'empreintes de charbons. Le relief est plus important. Moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle une matrice fayalitique très poreuse. Elle contient de nombreuses et larges vacuoles étirées essentiellement à l'horizontal. Une cavité large et profonde (3x3cm) se situe du côté de la soufflerie.

Le métal est déposé dans le fond de la scorie sous la forme de petites particules (jusqu'à 3 mm) mais aussi de filaments.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	31.63
TiO <sub>2</sub>	0.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60.66
MnO	0.37
MgO	0.30
CaO	1.50
Na <sub>2</sub> O	0.10
K <sub>2</sub> O	0.84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16
Total	99.69

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	17.13 g
------------	---------

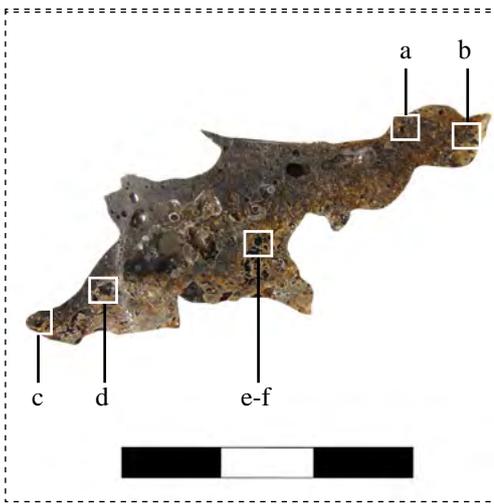
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	47.97 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	80	Cr	730
Co	280	La	80
Ni	<	Zr	280
Cu	320	V	30
Zn	<	S	110
Ba	140	Mo	100
Total		2170	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

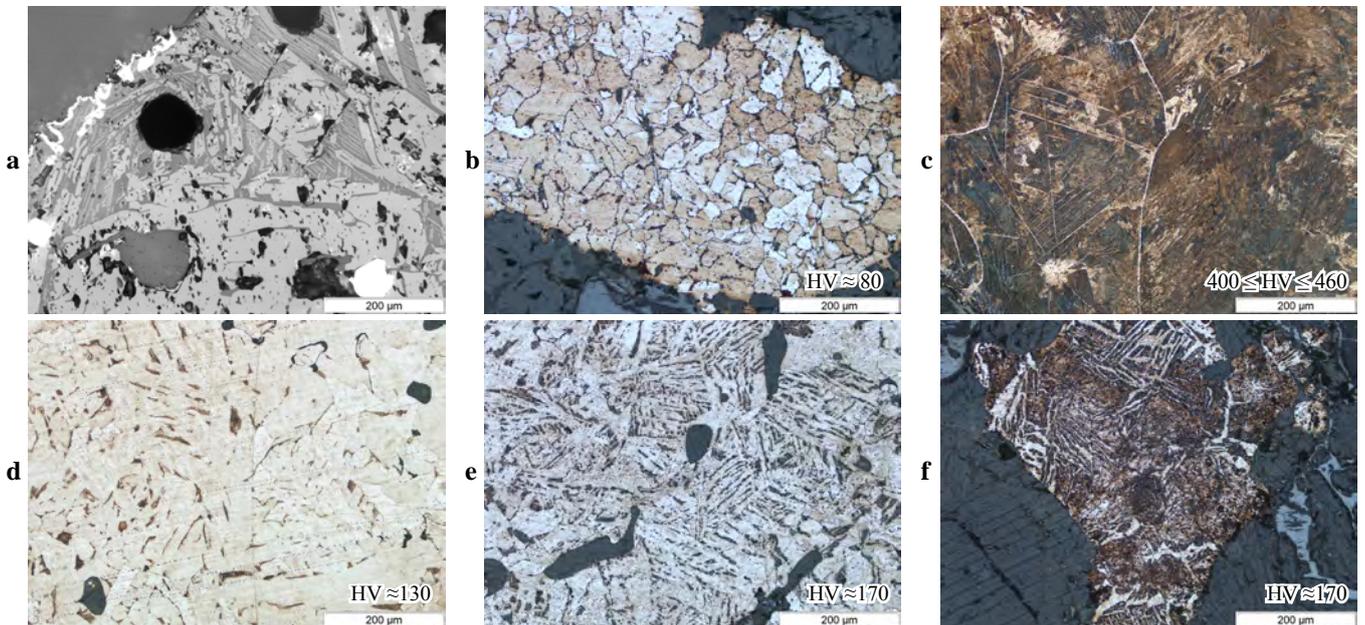
La surface de la scorie est couverte de cristaux de silicates de fer fins, allongés, équi-granulaires, en plaque ou en pavé (a). Ces grands cristaux croissent dans un verre sombre contenant des fines baguettes de silicates de fer en formation (a).

Le métal est essentiellement réparti dans la partie basse de la pièce tel que des billes éclatées, des filets de métal et même des grandes particules.

Après attaque au Nital, la majorité de ces particules sont peu carburées (jusqu'à 0.2 %C), formées de grains arrondis de ferrite ou de ferrite aciculaire (d-e). Certaines montrent des grains de petit gabarit (b) D'autres particules plus carburées sont couvertes de perlite avec des joints de grain de ferrite aciculaire. Il s'agit d'aciers proches de l'eutectoïde à 0.6-0.7 %C (f).

Seule une particule située du côté de la soufflerie est faite d'un acier hypereutectoïde à 1 %C (c).

## Micrographies - Lame épaisse

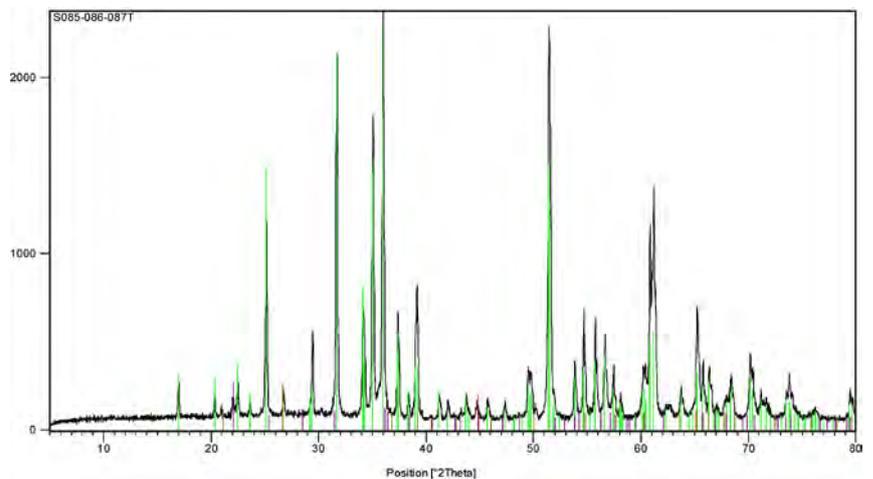


## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXXX
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)
Quartz	$\text{SiO}_2$	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie F : (Q)+(M)+F

- Le quartz provient de la surface inférieure de la pièce



Residuo	Peak List
01-070-0512	Fayalite
01-082-1232	Cristobalite SGA
01-085-1780	Quartz low
01-087-0721	Fer

## Echantillon : S088-089-090

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** M4S-M4S-M4S (0.45%C)

**Poids du fer initial :** 1000 g + 1000 g + 1000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 132 min / 67 min / 199 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 79

**Nombre et type de soudures :** -

**Nature des ajouts :** -

**Utilisation des ajouts :** -

**Consommation de charbon :** 7560 g

**Observations particulières :** F088+F089 matin, F090 après-midi.  
 Apparitions de gerces au cours du formage.

**Perte en fer cumulée g / % :** 675 g / 22.5 %

**Répartition scorie g / % :** 79 g / 12 %

**Répartition battitures g / % :** 596 g / 88 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 100 g - 91 %

**Longueur :** 10.3 cm

**Largeur :** 6.5 cm

**Hauteur maximale :** 2.5 cm

**Epaisseur moyenne :** 1.5 cm

**Ellipticité / planéité :** 0.6 / 3.4

**Orientation :** Incertaine

**Profil Dessus-Dessous :** Bourrelet - Plat

**Porosité (coupe) :** 32 %

**Aimantation (coupe) :** Moyenne, locale

### Informations petites pièces

**Poids :** 115 g

**Nombre :** 5

**Forme :** Irrégulier

**Nature :** Arg.-sabl., fay., ferr.

**SAS** 18 %

**SGD** 76 %

**SFR** 6 %

**Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot dense, de petite taille, plat et de 5 fragments (trois sont fayalitiques-ferreux et deux sont argilo-sableux).

La surface supérieure est grise et mate d'un côté, légèrement gris-violet de l'autre côté, avec des zones vitrifiées jaunâtres. Seuls 2 charbons sont présents, avec des empreintes de charbons. Moyennement magnétique uniquement sur une bordure.

La surface inférieure contient des petites empreintes peu profondes et quelques petits charbons (< 5 mm) sur les ¾ de la superficie. Le ¼ restant est couvert de sable aggloméré, de charbons et de traces d'oxydation. Surface très magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre un matériel jaunâtre fayalitique poreux : les grandes porosités, irrégulières, sont situées de long des craquelures et autour des fragments de roche tandis que les fines porosités sont principalement en surface.

Dans la partie supérieure, du matériel sableux vitrifié englobe des fragments de roche.

Le métal est déposé au fond de la scorie essentiellement sous la forme de particules arrondies jusqu'à 1 cm de longueur.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	58.95
TiO <sub>2</sub>	0.53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.32
MnO	0.30
MgO	0.50
CaO	2.44
Na <sub>2</sub> O	0.12
K <sub>2</sub> O	1.62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20
Total	99.67

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	27.24 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

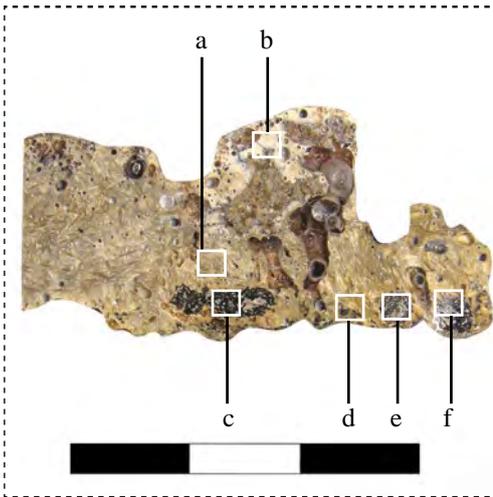
Fe tot	36.57 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	160	Cr	370
Co	140	La	20
Ni	<	Zr	550
Cu	190	V	70
Zn	230	S	90
Ba	360	Mo	70
Total		2290	

- Teneur importante en  
 Zn

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

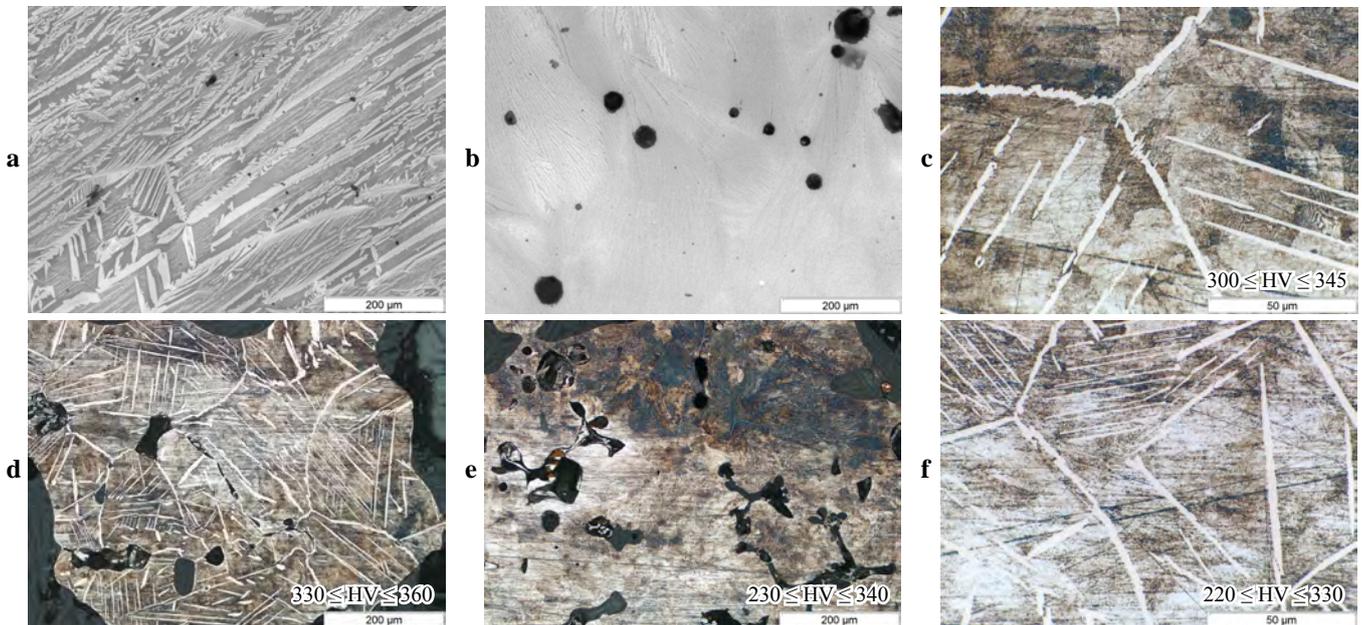
A l'oeil nu, cet échantillon montre un enchevêtrement de baguettes de fayalite sombres et claires. Au microscope, on observe sur toute la surface de la lame des cristaux allongés en chaîne jusqu'à 3-4 mm de longueur (a). La zone vitreuse superficielle est riche en Fe puisqu'elle comporte des prémices de cristaux de fayalites (b).

Le métal est regroupé au fond de la scorie : on observe des particules métalliques entre 100 µm et 1 cm de longueur.

Après attaque chimique au Niral, les particules (c-d) révèlent des grains de grande taille (200 µm) (d) recouverts de perlite lamellaire et globulaire (c-d) ou uniquement globulaire (f). Ces grains sont délimités par des joints clairs de cémentite (c-d-f). Il s'agit d'aciers hypereutectoïques à (1 %C).

Seule une particule, couverte de perlite globulaire, ne montre pas de délimitations entre les grains qui la composent (e). Il s'agit d'un acier eutectoïde (0.8 %C).

## Micrographies - Lame épaisse



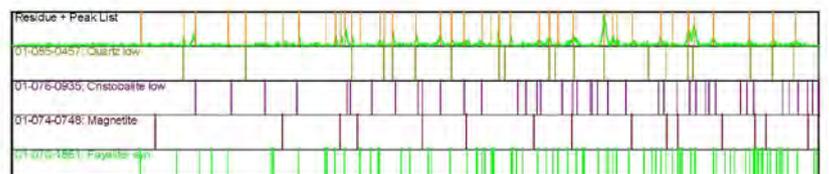
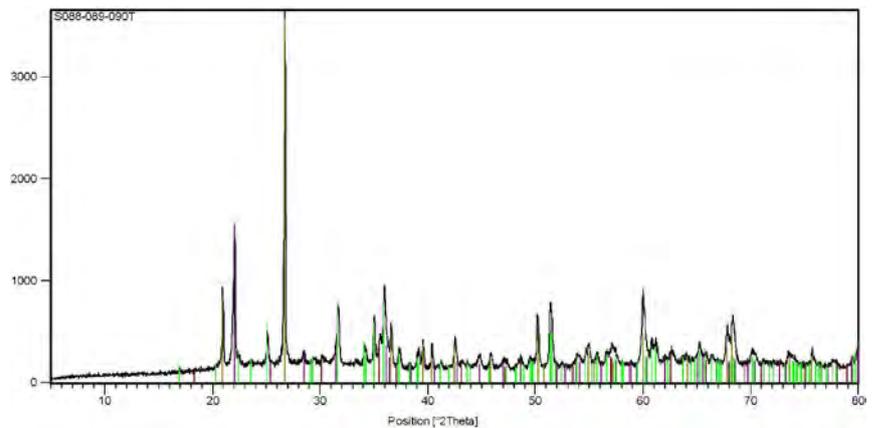
## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Magnétite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	(X)
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X

Minéralogie QF : Q+(O)+F

- Une majorité du fer métallique ayant été extrait, ce dernier n'est pas présent en quantité suffisante pour être détecté par la machine

- Présence de magnétite



## Echantillon : S091-092-093

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SFR  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M4D-M4D-M4D (0.45 %C)

Poids du fer initial : 2x500 g + 2x500 g + 2x500 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 178 min / 75 min / 253 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 86  
 Nombre et type de soudures : 3 (simples)  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 9560 g  
 Observations particulières : F091+F092 matin, F093 après-midi.

Perte en fer cumulée g / % : 935 g / 31.2 %  
 Répartition scorie g / % : 218 g / 23 %  
 Répartition battitures g / % : 717 g / 77 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 340 g - 94 %  
 Longueur : 12.0 cm  
 Largeur : 9.2 cm  
 Hauteur maximale : 4.0 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.5 cm  
 Ellipticité / planéité : 0.8 / 2.7  
 Orientation : Déterminée  
 Profil Dessus-Dessous : Concave - Convexe  
 Porosité (coupe) : 21 %  
 Aimantation (coupe) : Forte

### Informations petites pièces

Poids : 25 g  
 Nombre : 2  
 Forme : Rognon, irrégulier  
 Nature : Argilo-sableux

SAS - SGD 60 %  
 SFR 40 % Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un large culot, dense, circulaire ainsi que 2 fragments argilo-sableux.

La surface supérieure est gris-violet avec un aspect fondu. Du côté proximal, une zone circulaire comporte des reflets métalliques gris-jaune. Seulement 4 charbons sont inclus (< 1 cm), pas d'empreintes. Surface très magnétique.

La surface inférieure est couverte de sable aggloméré et de petits charbons qui se trouvaient sur le fond du foyer. Présence de traces d'oxydations orangées autour des charbons. Aspect déchiqueté à cause de nombreuses empreintes. Surface très magnétique également.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe de la scorie révèle la prédominance du métal. Les gros fragments (15 mm max) sont dispersés dans la partie supérieure de la scorie tandis que les petites particules et filets de métal sont disposés dans la partie inférieure.

Les porosités les plus larges (5 mm) se répartissent dans la partie supérieure, entre les fragments de métal.

Les rares pièces de charbon (4 %) sont incluses en périphérie de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	32.94
TiO <sub>2</sub>	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56.77
MnO	0.57
MgO	0.41
CaO	2.97
Na <sub>2</sub> O	0.12
K <sub>2</sub> O	0.94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20
Total	99.64

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	36.44 g
------------	---------

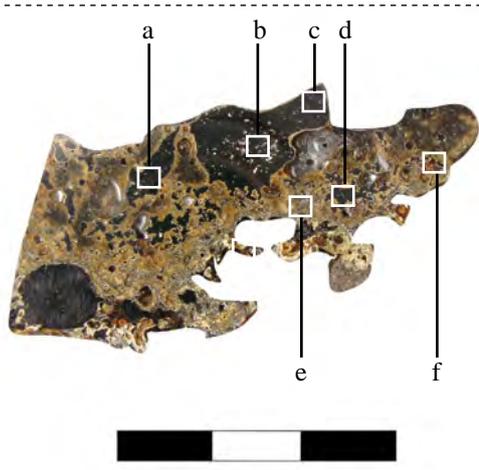
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	59.61 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	140	Cr	850
Co	240	La	70
Ni	<	Zr	290
Cu	400	V	30
Zn	10	S	290
Ba	200	Mo	110
Total		2650	

### Lame épaisse



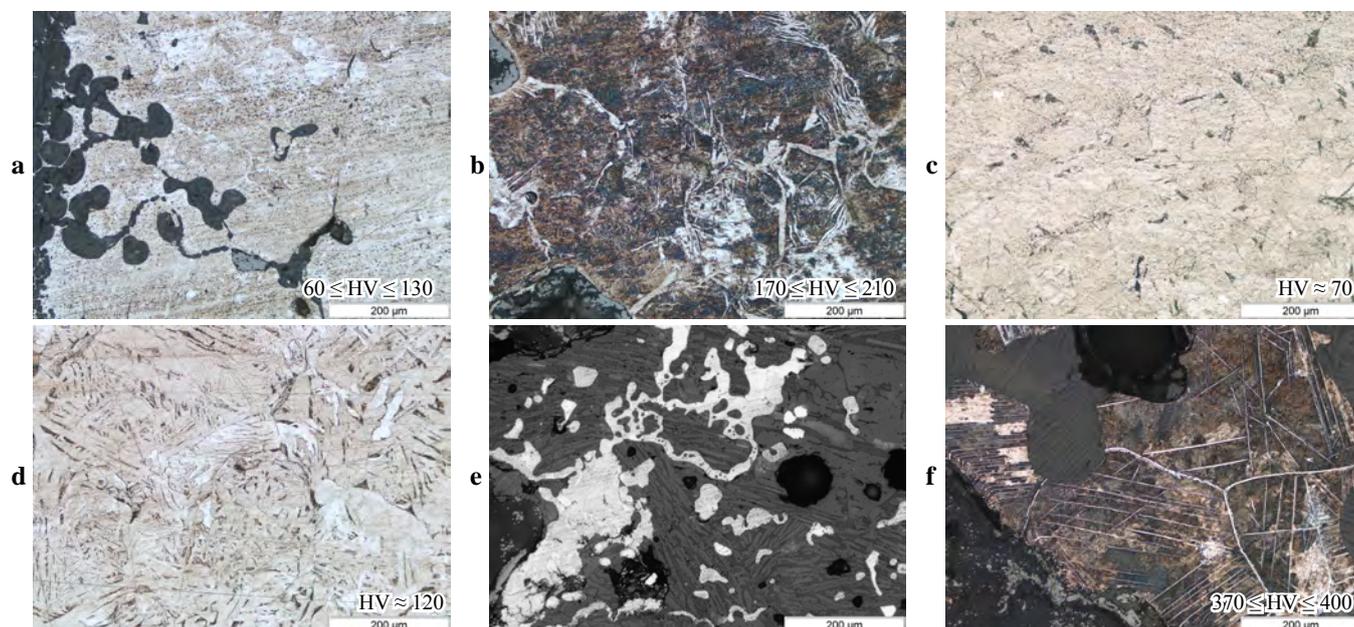
### Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La lame est couverte de cristaux de silicates de fer allongés (e) ou en plaque. Hormis ces cristaux, des grains de quartz sont inclus à la base de la scorie.

Après attaque chimique au Nital, il s'avère que la majorité des particules de métal (70 %) sont des aciers entre 0.02 et 0.1 %C (a-d). La microtexture montre soit des grains recouverts d'une fine couche cémentite perlitique globulaire (a), soit des grains de ferrite aciculaire entremêlés à de la perlite lamellaire (d). La grosse particule est constituée d'un acier proche de l'eutectoïde en son cœur (0.6 %C - b) et se décabure progressivement jusqu'en périphérie (ferrite - c). Seul un chapelet de petites particules à l'opposé de la soufflerie révèle une texture hypereutectoïque (1 %C) avec des joints clairs de cémentite (f).

Au fond de la scorie, des chapelets de métal, filets de métal, petites particules de métal sont disposés principalement le long des porosités et charbons. Tous sont des aciers ferritiques, formés de larges grains de ferrite (e).

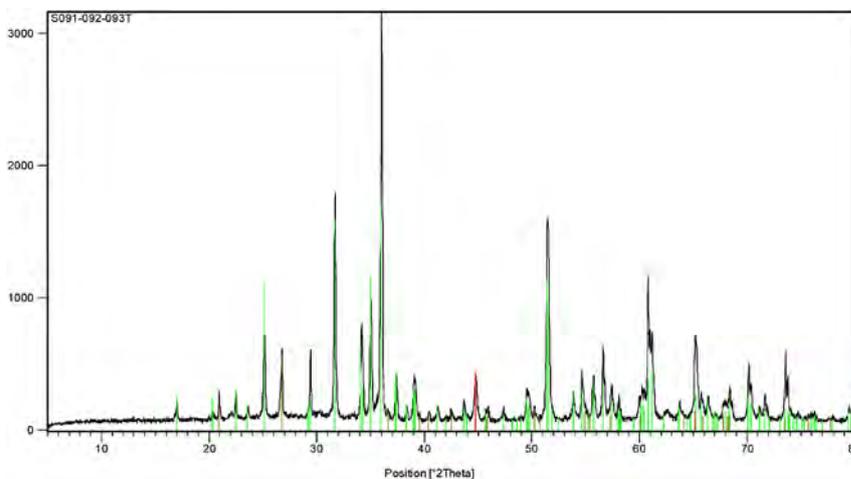
### Micrographies - Lame épaisse



### Diffraction des rayons X

Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XXXXX
Fer	Fe	(X)
Quartz	SiO <sub>2</sub>	(X)

Minéralogie F : (Q)+(M)+F



Residue - Peak List
01-078-0512; Fayalite
01-037-0721; Iron
01-037-2096; Quartz low

## Echantillon : S094

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SGD-SFR  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M4D (0.45 %C)

Poids du fer initial : 2x500 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 79 min / 24 min / 123 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 32  
 Nombre et type de soudures : 1 (simple)  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 4050 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 305 g / 30.5 %  
 Répartition scorie g / % : 109 g / 36 %  
 Répartition battitures g / % : 196 g / 64 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 115 g - 100 %  
 Longueur : 8.0 cm  
 Largeur : 5.5 cm  
 Hauteur maximale : 3.0 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.5 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.5 / 2.3  
 Orientation : Incertaine  
 Profil Dessus-Dessous : Concave - Convexe  
 Porosité (coupe) : 28 %  
 Aimantation (coupe) : Moyenne, locale

### Informations petites pièces

Poids : 155 g  
 Nombre : 7  
 Forme : Rognon, irrégulier  
 Nature : Fayalitique, ferreux

SAS 1 %	SGD 87 %
SFR 12 %	Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite scorie dense, elliptique et de 7 fragments : quatre sont ferreux, trois sont fayalitiques.

Le coeur de la surface supérieure montre une zone légèrement vitrifiée, couleur brun-gris. Le contour est mat, gris-bleu à gris-rouge. La surface est lissée avec peu de relief et légèrement magnétique.

La surface inférieure est gris-bleu, recouverte d'empreintes de petits cailloux et/ou de charbons qui étaient disposés sur la sole du foyer. Moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre un matériel fayalitique très poreux. Les porosités les plus larges (< 1 cm) affleurent la surface. Les autres sont essentiellement fines et allongées verticalement.

Le métal (9 %) est dispersé au fond de la scorie sous la forme de gros fragments (1 cm max), petites particules ou de rares filets de métal.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	37.45
TiO <sub>2</sub>	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	51.06
MnO	0.52
MgO	0.46
CaO	3.32
Na <sub>2</sub> O	0.09
K <sub>2</sub> O	1.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17
Total	99.66

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	14.21 g
------------	---------

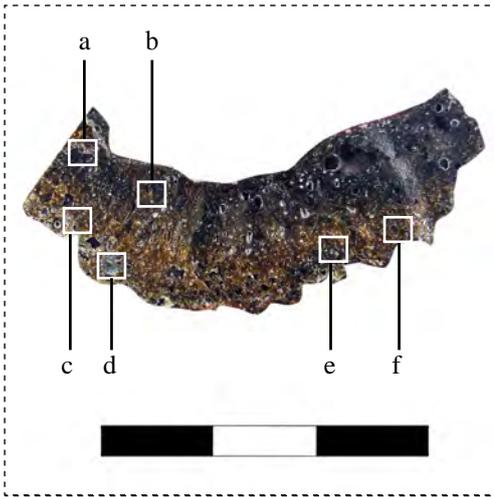
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	40.49 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	170	Cr	750
Co	230	La	110
Ni	<	Zr	320
Cu	260	V	40
Zn	20	S	100
Ba	240	Mo	70
Total			2330

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

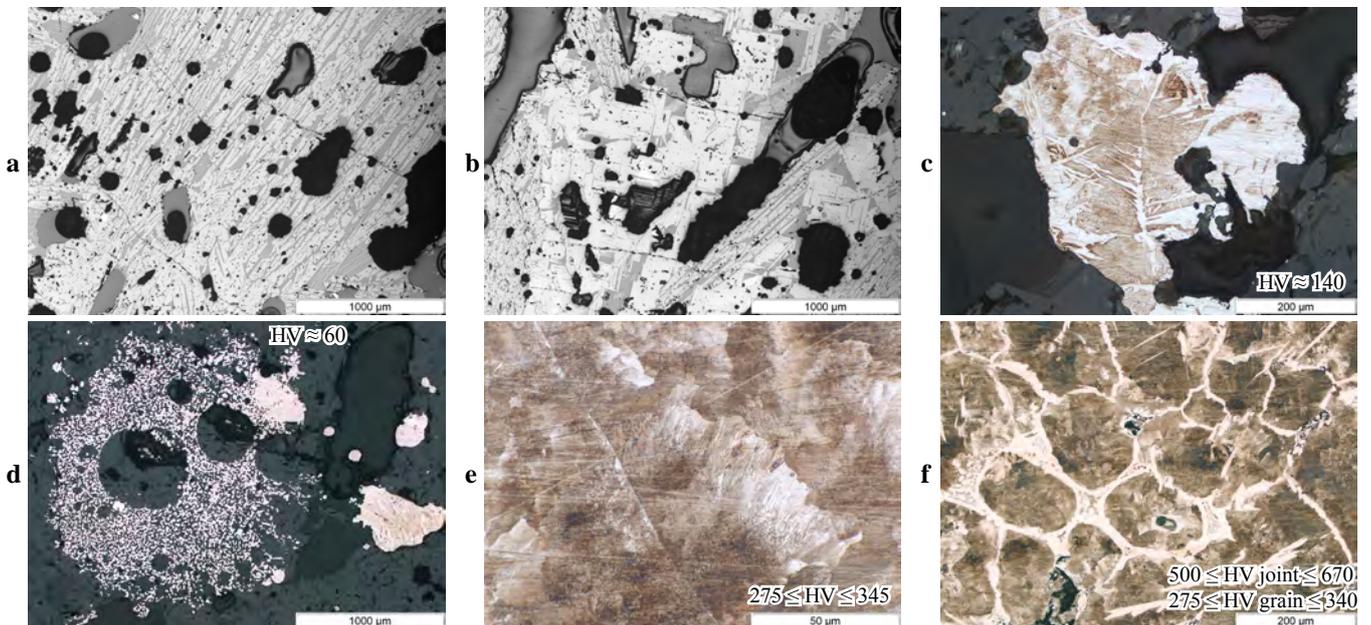
La microstructure de la pièce révèle une surface couverte de cristaux de fayalite. Dans la partie haute, les cristaux sont allongés (a) ou en pavé (b). Dans la partie basse, ils sont équi-granulaires, épais et souvent tassés.

Le métal est regroupé au fond de la scorie. On observe des petites particules irrégulières (c-d), des filets de métal le long des contours des matériaux, mais également des reliquats de billes métalliques globulaires (d). Il s'agit toujours d'un acier ferritique ou peu carburé (0.1 %C).

La majorité des particules sont brunâtres et proches de l'eutectoïde (0.6-0.8 %C), sans distinction des joints de grain (e).

Une grande particule (3 mm) et 2 plus petites (100 µm) sont une fonte blanche (f). Leur microstructure montre des grains de perlite délimités par des joints de cémentite.

## Micrographies - Lame épaisse

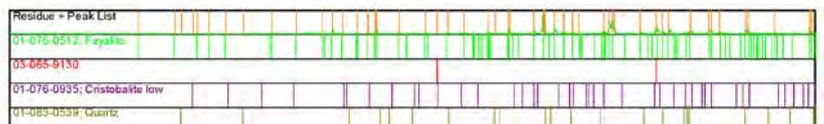
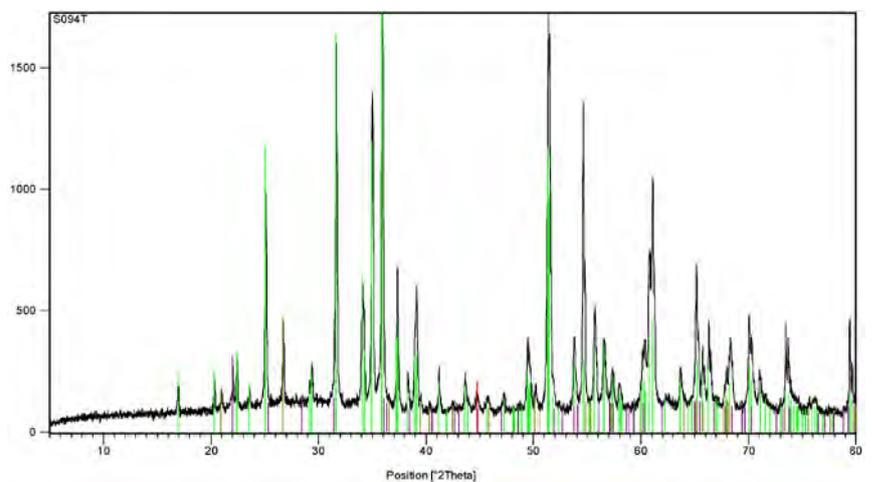


## Diffraction des rayons X

Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XXXXX
Quartz	SiO <sub>2</sub>	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie F : (Q)+(M)+F

- Le quartz provient de la surface inférieure de la pièce



## Echantillon : S095

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SFR  
 Lieu de forge : Fiko  
 Matériel de départ : M5S (0.45 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 44 min / 20 min / 64 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 23  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 1870 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 260 g / 26%  
 Répartition scorie g / % : 54 g / 21 %  
 Répartition battitures g / % : 296 g / 79 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : 65 g - 87 %  
 Longueur : 8.7 cm  
 Largeur : 6.6 cm  
 Hauteur maximale : 4.0 cm  
 Epaisseur moyenne : 1.8 cm  
 Ellipticité / planéité : 1.3 / 1.9  
 Orientation : Incertaine  
 Profil Dessus-Dessous : Comcave - Convexe  
 Porosité (coupe) : 50 %  
 Aimantation (coupe) : Moyenne, locale

### Informations petites pièces

Poids : 40 g  
 Nombre : 9  
 Forme : Irrégulier  
 Nature : Fayalitique, ferreux

SAS 1 %  
 SFR 28 %

SGD 71 %  
 Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un petit culot, épais mais léger et de 9 fragments (un seul est ferreux, les autres sont fayalitiques).

La surface supérieure est gris-violet et comporte deux zones vitrifiées jaunâtres, d'aspect fondu mais rugueux au toucher. Il n'y a pas de charbons inclus mais seulement 2 empreintes de charbons. Surface moyennement magnétique uniquement sur une bordure.

La surface inférieure est couverte de sable aggloméré brun, de petits charbons (< 5 cm) et de traces d'oxydation orangées. Cette surface est légèrement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre un matériel jaunâtre fayalitique très poreux (50 %). On compte de larges porosités irrégulières (< 2 cm) disposées dans la partie haute et médiane de la scorie.

Le métal quant à lui est réparti dans la partie médiane et le fond de la pièce, sous la forme de fragments < 5 mm mais également de fins filets de métal dispersés le long des nombreuses porosités.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	39.35
TiO <sub>2</sub>	0.32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47.86
MnO	0.63
MgO	0.57
CaO	4.65
Na <sub>2</sub> O	0.13
K <sub>2</sub> O	1.19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23
Total	99.60

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	17.01 g
------------	---------

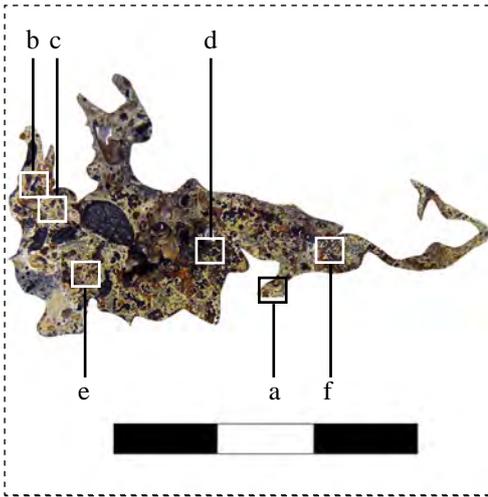
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	51.40 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	220	Cr	830
Co	240	La	70
Ni	<	Zr	360
Cu	110	V	40
Zn	60	S	350
Ba	310	Mo	80
Total		2700	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

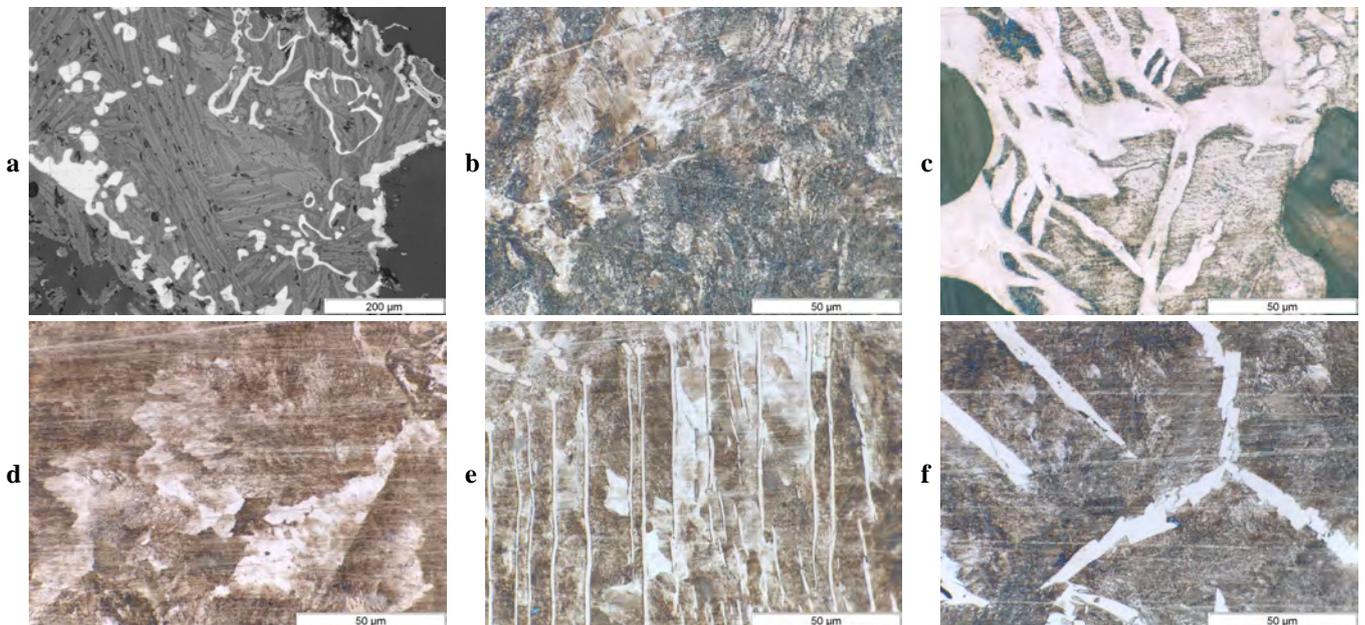
La microstructure de la pièce montre un amalgame de porosités, de métal et de cristaux de silicates de fer allongés (a)

Les pertes de métal sont importantes : des fins filets métalliques et des petites particules de ferrite sont dispersés le long des matériaux (a), des croûtes d'oxydes plates mais aussi des particules mesurant jusqu'à 5 mm de longueur.

Après attaque chimique au Nital, la majorité des particules (90 %) sont des aciers proches de l'eutectoïde, entre 0.6 et 1 %C. Leur microstructure révèle des grains couverts de perlite lamellaire ou globulaire, parfois sans distinction des joints de grain (b-d), et montrant parfois des joints clairs de cémentite (e-f).

Les autres particules, de plus petit gabarit, sont des aciers à 0.1-0.2 %C.

## Micrographies - Lame épaisse

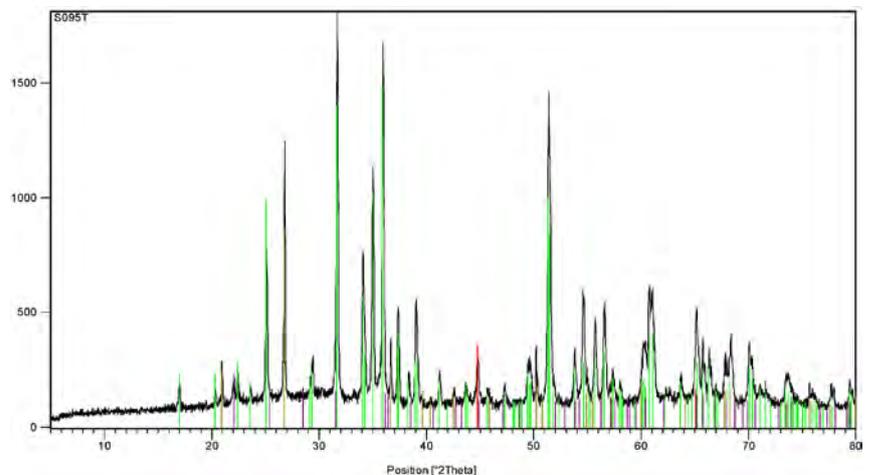


## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXX
Fer	Fe	(X)
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)

Minéralogie FQ : Q+(M)+F

- Le quartz provient de la surface inférieure de la scorie



Residue + Peak List
01-076-0312: Fayalite
01-087-0721: Iron
01-085-0457: Quartz low
01-082-1232: Cristobalite SGA

## Echantillon : S096-097-098

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SAS-M  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** M2S-M2S-M2S (0.45 %C)

**Poids du fer initial :** 1000 g + 1000 g + 1000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 199 min / 81 min / 280 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 93

**Nombre et type de soudures :** -

**Nature des ajouts :** -

**Utilisation des ajouts :** -

**Consommation de charbon :** 8710 g

**Observations particulières :** F096+F097 matin, F098 après-midi.  
 Forgeages standards

**Perte en fer cumulée g / % :** 605 g / 22.2 %

**Répartition scorie g / % :** 42 g / 7 %

**Répartition battitures g / % :** 563 g / 93 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 160 g - 100 %

**Longueur :** 9.0 cm

**Largeur :** 7.0 cm

**Hauteur maximale :** 4.0 cm

**Epaisseur moyenne :** 2.5 cm

**Ellipticité / planéité :** 0.8 / 2.0

**Orientation :** Déterminée

**Profil Dessus-Dessous :** Concave - Convexe

**Porosité (coupe) :** 40 %

**Aimantation (coupe) :** Non

### Informations petites pièces

**Poids :** 80 g

**Nombre :** 6

**Forme :** Irrégulier

**Nature :** Arg.-sabl., fay.

**SAS** 91 %

**SGD** 9 %

**SFR** -

**Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot dense, épais et demi-circulaire ainsi que 5 fragments (trois sont fayalitiques, deux sont argilo-sableux).

La surface supérieure, insensible à l'aimantation, montre 3 zones :

- une zone vitrifiée vert foncé du côté proximal

- une auréole périphérique gris-violet

- ailleurs, la périphérie est vitrifiée de couleur gris-jaune.

Seuls 3 charbons sont encore inclus mais on note une dizaine d'empreintes.

La surface inférieure est grise et mate avec des zones plus oxydées. Toute la surface est couverte d'empreintes (charbons, sable du foyer). Une dizaine de petits charbons (< 5 mm) sont visibles. Surface non magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre un matériel vitrifié brun-vert englobant de nombreux fragments de roche (1.5 cm max, 19 %) ainsi que des grains de quartz. Ces derniers sont dispersés essentiellement dans la partie haute de la pièce.

Les porosités sont généralement arrondies, dans la partie haute de la pièce, et mesurent moins de 5 mm de longueur.

Une zone fayalitique (5 %) est visible au fond de la scorie, à l'opposé de la soufflerie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	58.27
TiO <sub>2</sub>	0.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.52
MnO	0.19
MgO	0.99
CaO	8.32
Na <sub>2</sub> O	0.15
K <sub>2</sub> O	1.91
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22
Total	99.60

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait

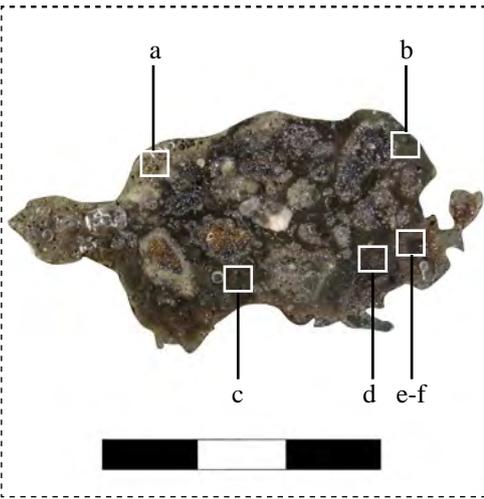
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	490	Cr	230
Co	150	La	10
Ni	10	Zr	580
Cu	380	V	60
Zn	50	S	80
Ba	660	Mo	80
Total		2820	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

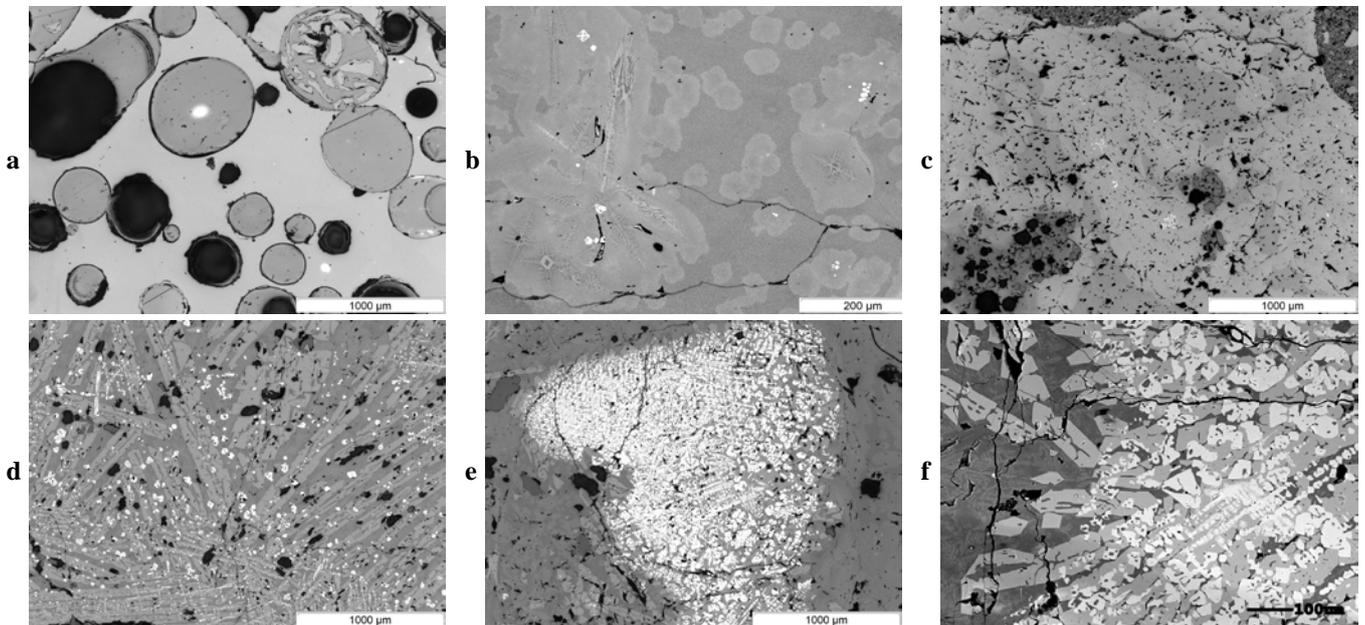
La partie supérieure de la scorie montre une zone de vitrification vert clair riche en Fe et en Ca contenant de grandes porosités circulaires (a).

A certains endroits, le verre comporte des zonations claires ou sombres relatives dont la teinte varie avec la quantité de Fe (b-c). Quand le Fe est suffisant, l'environnement est propice à la cristallisation de silicates de fer (b).

Au fond de la scorie, des zones comportant des cristaux allongés de fayalite de plusieurs mm, sont constellées de cristaux blancs anguleux de magnétite (d).

Les rares croûtes d'oxydes présentes (e), en se décomposant, fournissent le Fe nécessaire à la formation de fayalites (f) et laissent apparaître des reliquats de magnétite (et wüstite ?).

## Micrographies - Lame épaisse

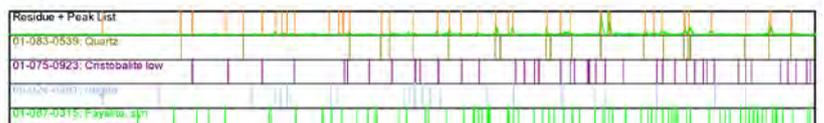
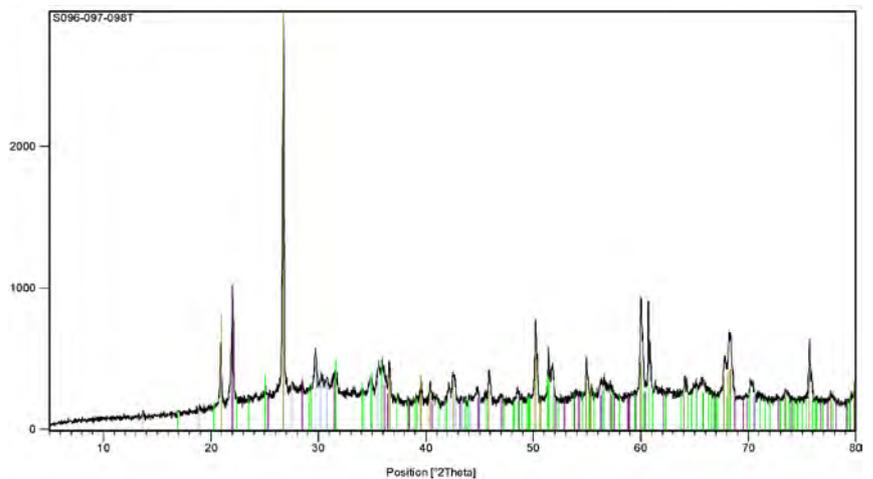


## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Augite	Ca(Fe,Mg)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	X
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X

Minéralogie QF : Q+F+(A)

- De l'augite est détectée
- Bruit de fond élevé, à cause de la présence de verre
- Les oxydes de fer ne sont pas détectés



## Echantillon : S099-100-101

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-B  
**Lieu de forge :** Fiko  
**Matériel de départ :** M2D-M2D-M2D (0.45 %C)  
  
**Poids du fer initial :** 2x500 g + 2x500 g + 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 219 min / 70 min / 289 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 90  
**Nombre et type de soudures :** 3 (simples)  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 8850 g  
**Observations particulières :** F099+F100 matin, F101 après-midi.

**Perte en fer cumulée g / % :** 745 g / 24.8 %  
**Répartition scorie g / % :** 208 g / 28 %  
**Répartition battitures g / % :** 537 g / 72 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 740 g - 99 %  
**Longueur :** 16.0 cm  
**Largeur :** 14.0 cm  
**Hauteur maximale :** 7.0 cm  
**Epaisseur moyenne :** 5.0 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.9 / 2.1  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Bourrelet - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 25 %  
**Aimantation (coupe) :** Faible, locale

### Informations petites pièces

**Poids :** 120 g  
**Nombre :** 12  
**Forme :** Rognon, irrégulier  
**Nature :** Arg.-sabl., fay., ferr.

**SAS 24 %                      SGD 76 %**  
**SFR -                            Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot large, très dense, épais, au relief important, en forme de tore auquel il manque un morceau (cassure franche sur une extrémité). Il est accompagné de 12 fragments : un est ferreux, sept sont fayalitiques, quatre sont argilo-sableux.

La surface supérieure est hétérogène : on trouve des nodules vitrifiés sombres ou clairs, des fragments de paroi, des zones grises et mates ou bien oxydées. Le relief est important (creux-bosses). Surface légèrement magnétique.

La surface inférieure, au relief moins important, est couverte de sable aggloméré rougeâtre, de fragments de paroi et de petits cailloux. Une zone est complètement couverte d'empreintes de cailloux et de charbons. Cette surface n'est pas magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre un matériel vitrifié sombre englobant de fragments de roche arrondis (8 %) qui sont répartis dans la moitié supérieure de la scorie.

La matrice fayalitique montre des porosités larges et irrégulières réparties le long des craquelures internes de la coupe. Ailleurs, elles sont plus fines et circulaires.

Quelques rares traces de métal sont dispersées.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	53.22
TiO <sub>2</sub>	0.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.47
MnO	0.23
MgO	0.57
CaO	5.02
Na <sub>2</sub> O	0.09
K <sub>2</sub> O	1.49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22
Total	99.69

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	11.20 g
------------	---------

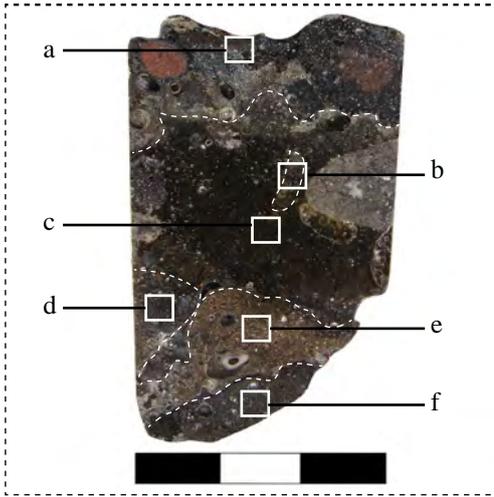
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	24.18 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	250	Cr	270
Co	200	La	40
Ni	10	Zr	420
Cu	320	V	70
Zn	40	S	120
Ba	290	Mo	70
Total		2140	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

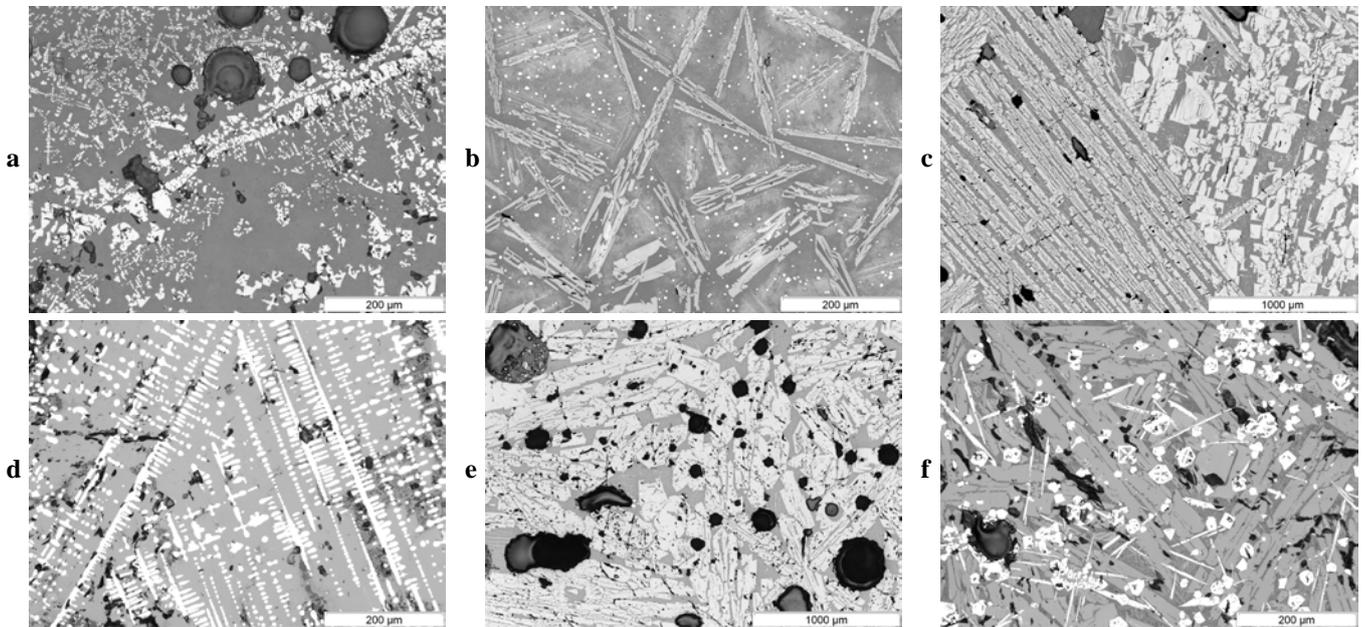
L'œil et le microscope confirment la superposition et le tassement de paquets de couleurs et de matériaux différents.

Dans la partie supérieure de la scorie, des squelettes ou cristaux anguleux de spinelles (magnétite-hercynite, Al 2.32 wt%), provenant de la décomposition de croûtes d'oxydes plates (a), sont inclus dans un verre sombre uniforme riche en Fe (a).

Dans le centre, la surface est couverte de cristaux de fayalite allongés en chaîne mais aussi en pavé (c). Seule une zone montre un verre sombre comportant des squelettes de fayalites (b).

Dans la partie basse, on observe des fayalites en plaque dans lesquelles se décomposent des croûtes d'oxydes (d). Au fond de la scorie, des cristaux aciculaires et octaédriques de spinelles (magnétite-hercynite, Al 2.82 wt%) (f) croissent dans des cristaux allongés de fayalite (f). Entre ces deux paquets, les fayalites sont épaisses, de forme équigranulaire, avec des lacunes de croissance (e). Tous ces habits de la fayalite témoignent de vitesses de refroidissement variables entre les différentes zones.

## Micrographies - Lame épaisse



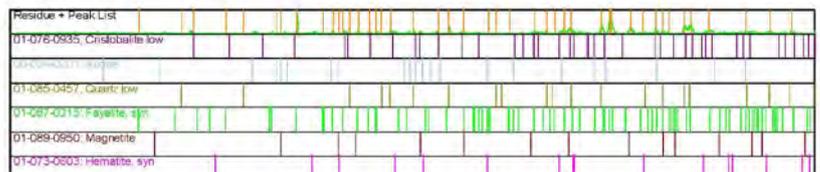
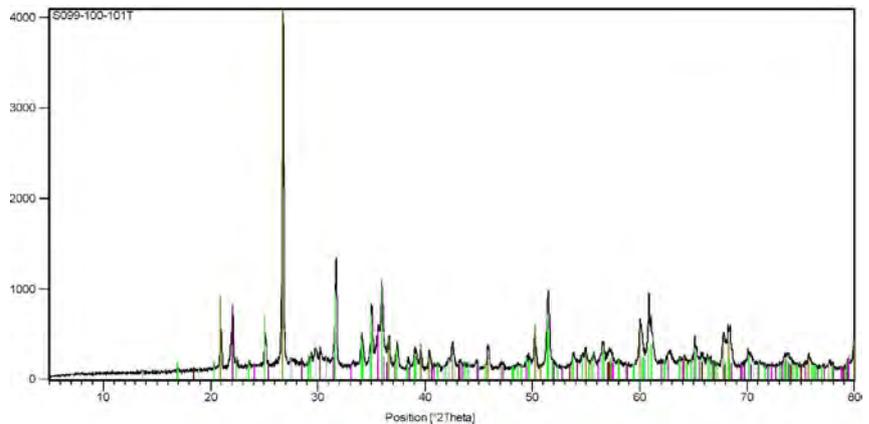
## Diffraction des rayons X

Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Augite	Ca(Fe,Mg)Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	X
Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Magnétite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	(X)
Hématite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(X)

Minéralogie QF : Q+(O)+F+(A)

- La wüstite n'est pas identifiée

- De l'augite semble s'être formée



## Echantillon : S102

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie inexistante  
 Lieu de forge : Dounde  
 Matériel de départ : M4S (0.17 %C)

Poids du fer initial : 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 37 min / 27 min / 64 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 21  
 Nombre et type de soudures : -  
 Nature des ajouts : -  
 Utilisation des ajouts : -  
 Consommation de charbon : 5720 g  
 Observations particulières : -

Perte en fer cumulée g / % : 120 g / 12 %  
 Répartition scorie g / % :  
 Répartition battitures g / % :

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -  
 Longueur : -  
 Largeur : -  
 Hauteur maximale : -  
 Epaisseur moyenne : -  
 Ellipticité / planéité : -  
 Orientation : -  
 Profil Dessus-Dessous : -  
 Porosité (coupe) : -  
 Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : -  
 Nombre : -  
 Forme : -  
 Nature : -

SAS	SGD
SFR	Autre

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	
TiO <sub>2</sub>	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
MnO	
MgO	
CaO	
Na <sub>2</sub> O	
K <sub>2</sub> O	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
Total	

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot

Eléments traces  
 ppm

Rb		Sc	
Sr		Cr	
Co		La	
Ni		Zr	
Cu		V	
Zn		S	
Ba		Mo	
		Total	

**Lame épaisse**

**Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse**



**Micrographies - Lame épaisse**

**a**

**b**

**c**

**d**

**e**

**f**

**Diffractométrie des rayons X**


Minéralogie

## Echantillon : S103

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M4D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 53 min / 29 min / 82 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 29

**Nombre et type de soudures :** 1 ( simple)  
**Nature des ajouts :** Boue de tuyère  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres

**Consommation de charbon :** 4920 g  
**Observations particulières :** Chaque barre a été trempée une fois avant soudure

**Perte en fer cumulée g / % :** 350 g / 35 %  
**Répartition scorie g / % :** 114 g / 33 %  
**Répartition battitures g / % :** 236 g / 67 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 130 g - 100 %  
**Longueur :** 7.5 cm  
**Largeur :** 7.0 cm  
**Hauteur maximale :** 4.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 3.3 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.9 / 1.6  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Irrégulier / Irrégulier  
**Porosité (coupe) :** 19 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 40 g  
**Nombre :** 9  
**Forme :** Irrégulier  
**Nature :** Ferreux, arg.-sabl.

**SAS -** SGD 10 %  
**SFR 90 %** Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite scorie très dense comportant 5 excroissances ferreuses, ainsi que 7 fragments (trois ferreux, quatre argilo-sableux).

La surface supérieure est grise avec de légers reflets jaunes. Une dizaine de charbons sont incrustés et comportent des traces d'oxydation. Cette surface est très magnétique.

La surface inférieure est grise et mate avec une vingtaine de charbons, d'empreintes et de traces d'oxydation. Zone très magnétique également.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre la prédominance de fer à l'état de métallique réparti dans la partie haute de la pièce. Ce métal est compact.

Dans la partie basse de la scorie, 3 morceaux de charbons (10 %) disposés dans une large vacuole de 2 cm de longueur, sont englobés dans un matériel grisé sombre fayalitique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	41.60
TiO <sub>2</sub>	0.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.88
MnO	1.25
MgO	1.77
CaO	6.43
Na <sub>2</sub> O	0.22
K <sub>2</sub> O	5.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.34
Total	99.22

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	37.84 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

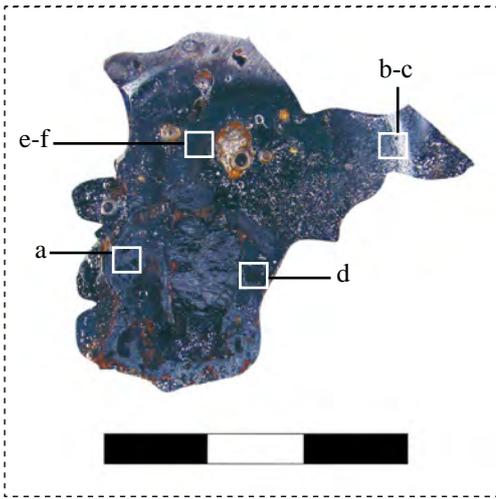
Fe tot	67.18 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	90	Sc	<
Sr	290	Cr	2950
Co	280	La	<
Ni	110	Zr	130
Cu	260	V	50
Zn	20	S	80
Ba	390	Mo	140
Total		4790	

- Teneurs importantes  
 en Ni et Cr

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

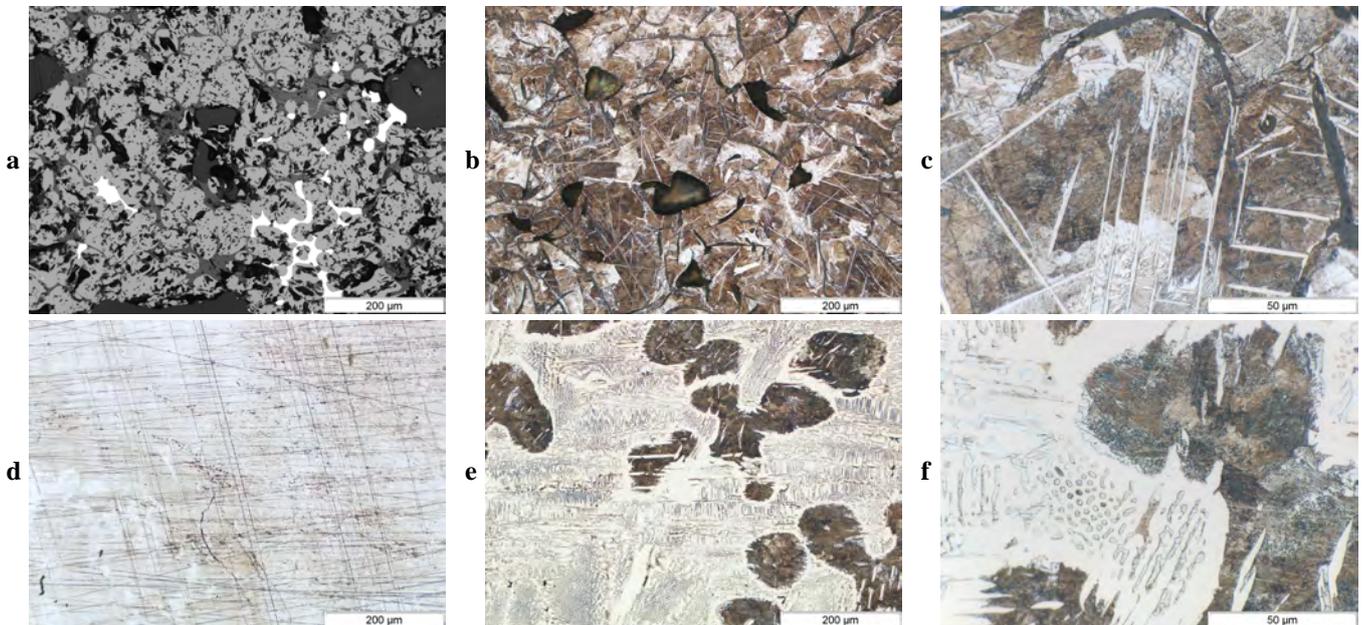
Les seules zones non métalliques, au fond de la scorie, montrent des domaines de globules de wüstite recouvrant de fines lattes de fayalite (a).

L'observation de la microstructure du métal révèle un faciès de fonte grise (b-c). Au niveau des bordures des porosités ou du métal lui-même, on observe un amalgame de perlite (brun), de cémentite (rose) et d'écaillés de graphite (gris) (c).

Au niveau des parties internes du métal (e-f) la microstructure révèle une fonte blanche avec des globules de perlite englobés dans des grains de ferrite (blanc) et couverts de cémentite (rose) (e-f).

Dans la partie basse, le métal est moins carburé, formé de grains de ferrite couverts de cémentite perlitique éparse (d).

## Micrographies - Lame épaisse



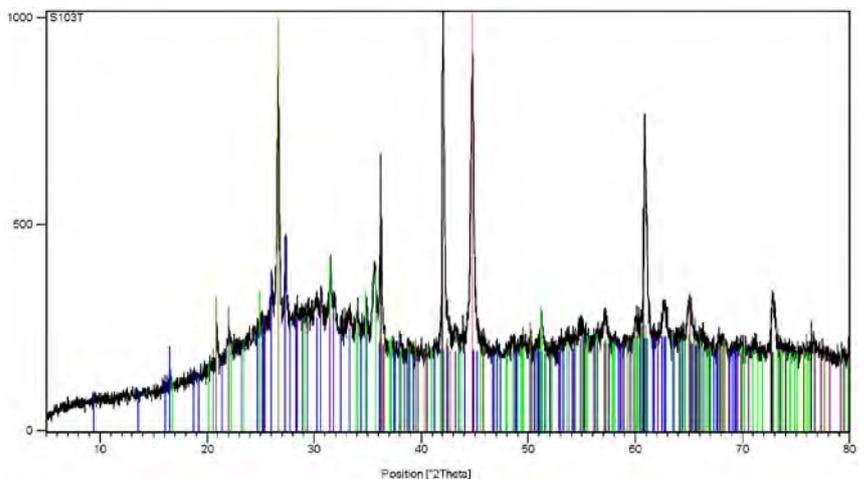
## Diffraction des rayons X

Leucite	$\text{KAlSi}_2\text{O}_6$	(X)
Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	X
Quartz	$\text{SiO}_2$	XX
Wüstite	$\text{FeO}$	X
Fer	$\text{Fe}$	X
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)

Minéralogie MO : Q+M+O+F+(A)

- Présence de quartz et de leucite

- Bruit de fond élevé



Residue	Peak List
01-071-1147	Leucite
01-079-0512	Fayalite
01-087-0598	Quartz low
01-089-0687	Wuestite, syn
03-065-4891	
01-075-0923	Cristobalite low

## Echantillon : S104

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie de forge en miettes  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M4D (0.45 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 49 min / 34 min / 83 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 28  
**Nombre et type de soudures :** 1 (simple)  
**Nature des ajouts :** Boue de tuyère  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres  
**Consommation de charbon :** 4790 g  
**Observations particulières :** Les barres ont été trempées une fois avant soudure

**Perte en fer cumulée g / % :** 260 g / 26 %  
**Répartition scorie g / % :**  
**Répartition battitures g / % :**

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 90 g - 86 %  
**Longueur :** 7.0 cm  
**Largeur :** 7.0 cm  
**Hauteur maximale :** 3.5 cm  
**Épaisseur moyenne :** 3.0 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.0 / 2.0  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Irrégulier / Irrégulier  
**Porosité (coupe) :** -  
**Aimantation (coupe) :** -

### Informations petites pièces

**Poids :** 5 g  
**Nombre :** 2  
**Forme :** Rognon, irrégulier  
**Nature :** Ferreux

SAS  
SFR

SGD  
Autre

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite scorie, légère, elliptique, épaisse au fort relief et de 2 fragments ferreux.

### Observations macroscopiques - Coupe

La surface supérieure, d'aspect fondu, montre des reflets métalliques gris-jaune. La porosité est importante à cause d'une dizaine de charbons incrustés (< 25 mm) et d'empreintes de charbons. Ces charbons sont oxydés en périphérie. Zone moyennement magnétique.

La surface inférieure est identique à la surface supérieure au détail près qu'on trouve un bourrelet ferreux gris et mat, oxydé. Zone très magnétique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Éléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	
TiO <sub>2</sub>	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
MnO	
MgO	
CaO	
Na <sub>2</sub> O	
K <sub>2</sub> O	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
Total	

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait

Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot

Éléments traces  
ppm

Rb		Sc	
Sr		Cr	
Co		La	
Ni		Zr	
Cu		V	
Zn		S	
Ba		Mo	
		Total	

**Lame épaisse**

**Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse**



**Micrographies - Lame épaisse**

**a**

**b**

**c**

**d**

**e**

**f**

**Diffractométrie des rayons X**


Minéralogie

## Echantillon : S105-106-107

### Conditions du (des) forgeage(s)

Catégorie : Scorie SI  
 Lieu de forge : Dounde  
 Matériel de départ : M4S-M4S-M4S (0.17%C)

Poids du fer initial : 1000 g + 1000 g + 1000 g  
 Temps chauffe / martelage / total : 107 min / 84 min / 191 min  
 Nombre cycles chauffe-martelage : 61

Nombre et type de soudures : -

Nature des ajouts : -

Utilisation des ajouts : -

Consommation de charbon : 10330 g

Observations particulières : F105+F106 matin, F107 après-midi.  
 Forgeages standards

Perte en fer cumulée g / % : 380 g / 12.7 %

Répartition scorie g / % : 34 g / 9 %

Répartition battitures g / % : 346 g / 91 %

### Informations pièce principale

Poids - % conservation : -

Longueur : -

Largeur : -

Hauteur maximale : -

Epaisseur moyenne : -

Ellipticité / planéité : -

Orientation : -

Profil Dessus-Dessous : -

Porosité (coupe) : -

Aimantation (coupe) : -

### Informations petites pièces

Poids : 55 g

Nombre : 12

Forme : Irrégulier

Nature : Arg.-sabl., fay., ferr.

SAS ?

SGD ?

SFR ?

Autre ?

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

### Observations macroscopiques - Coupe

Il s'agit de 13 petites pièces légères aux formes irrégulières.

Sept pièces sont ferreuses, grises et mates, très magnétiques.

Cinq pièces sont fayalitiques, avec des reflets métalliques jaunâtres, légèrement magnétiques.

Une pièce est argilo-sableuse, couleur gris-jaune, d'aspect rugueux, non magnétique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	45.50
TiO <sub>2</sub>	0.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47.74
MnO	0.30
MgO	0.20
CaO	1.07
Na <sub>2</sub> O	0.10
K <sub>2</sub> O	0.94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11
Total	99.65

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	21.86 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	61.63 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	80	Cr	1000
Co	200	La	<
Ni	<	Zr	200
Cu	360	V	70
Zn	<	S	170
Ba	120	Mo	100
Total			2330

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

## Micrographies - Lame épaisse

a

b

c

d

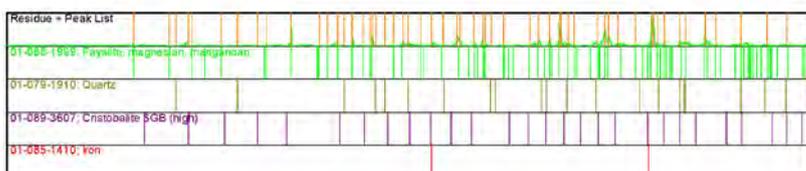
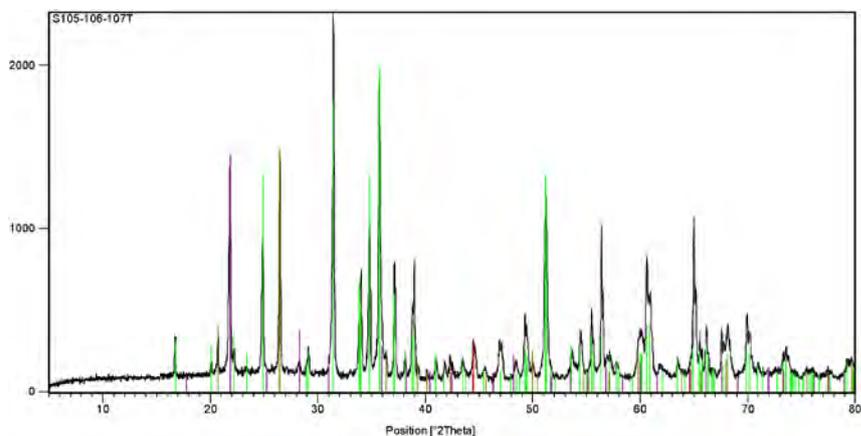
e

f

## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXX
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie FQ : Q+(M)+F



## Echantillon : S108-109-110

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SI  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M4S-M4S-M4S (0.45%C)

**Poids du fer initial :** 1000 g + 1000 g + 1000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 112 min / 69 min / 181 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 58  
**Nombre et type de soudures :** -  
**Nature des ajouts :** -  
**Utilisation des ajouts :** -  
**Consommation de charbon :** 8440 g  
**Observations particulières :** F108+F109 matin, F110 après-midi.  
 Forgeages standards

**Perte en fer cumulée g / % :** 550 g / 18.3 %  
**Répartition scorie g / % :** 34 g / 6 %  
**Répartition battitures g / % :** 516 g / 94 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 20 g - 100 %  
**Longueur :** 5.5 cm  
**Largeur :** 3.0 cm  
**Hauteur maximale :** 2.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 1.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.8 / 1.7  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Irrégulier - Irrégulier  
**Porosité (coupe) :** 42 %  
**Aimantation (coupe) :** Non

### Informations petites pièces

**Poids :** 30 g  
**Nombre :** 10  
**Forme :** Irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux

**SAS 100 %**  
**SFR -**

**SGD -**  
**Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite scorie allongée et légère, accompagnée de 10 petits fragments aux formes irrégulières.

La surface supérieure est légèrement vitrifiée, de teinte gris-jaune. Moins d'une dizaine de charbons sont inclus; du sable brun d'est aggloméré dans cette zone. On peut compter 4 nodules ferreux (2 mm). Le magnétisme local est très important.

La surface inférieure est vitrifiée gris-jaune. Trois charbons sont inclus ainsi qu'un petit nodule ferreux (< 1 mm). Le magnétisme est local et moyen.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre un matériel argilo-sableux très poreux (42 %) contenant des fragments de roche grossiers (< 1 cm) ou fins sous la forme de grains (< 1 mm).

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

- En comptant les petites pièces, cette scorie est en réalité riche en fer (62 %)

SiO <sub>2</sub>	50.35
TiO <sub>2</sub>	0.22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	39.66
MnO	0.55
MgO	0.44
CaO	3.57
Na <sub>2</sub> O	0.06
K <sub>2</sub> O	1.23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.79
Total	99.71

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	20.06 g
------------	---------

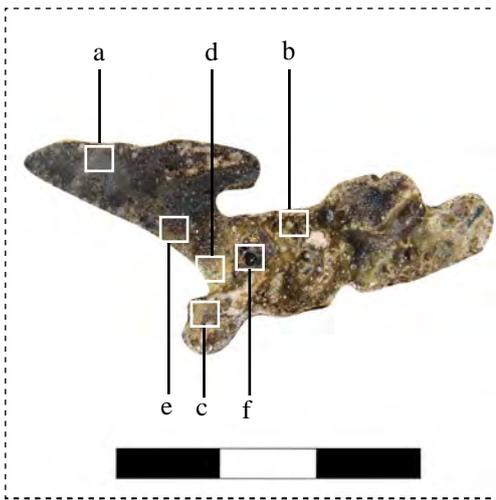
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	62.29 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	20	Sc	<
Sr	110	Cr	480
Co	310	La	30
Ni	10	Zr	130
Cu	180	V	30
Zn	30	S	120
Ba	60	Mo	60
Total		1570	

## Lame épaisse



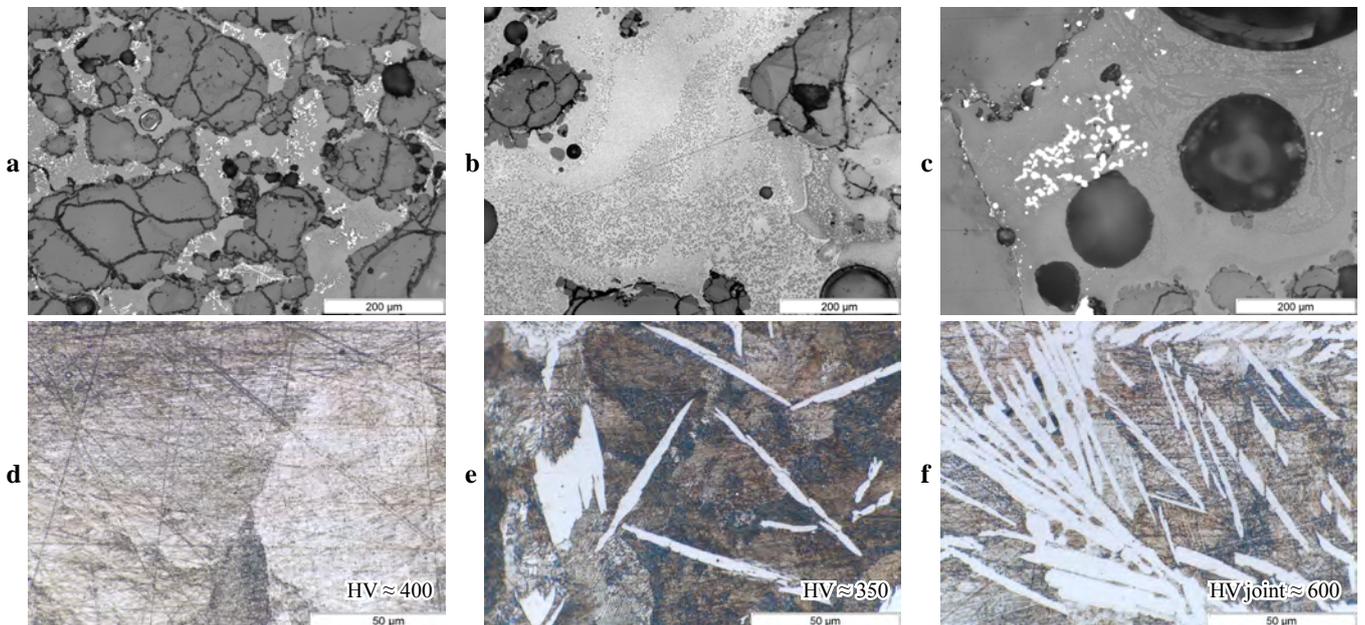
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

La microstructure de cette pièce est hétérogène. On observe une part importante de grains de quartz (a-b-c) et de cristobalites en périphérie des grains. Ces grains sont cimentés par un verre biphasé. Les zones riches en fer sont claires (b-c) et voient parfois la cristallisation de cristaux de spinelles (a). Les zones moins riches en fer sont sombres (b-c).

Les rares particules de métal sont réparties au fond de la scorie. Il s'agit essentiellement de billes entre 200 et 1000 µm.

Après attaque chimique au Nital, leur microstructure révèle des grains couverts de perlite (d) ou même des bandes (e) et joints de grain (f) de cémentite. Il s'agit d'aciers hypereutectoïdes entre 0.8 et 1.2 %C.

## Micrographies - Lame épaisse



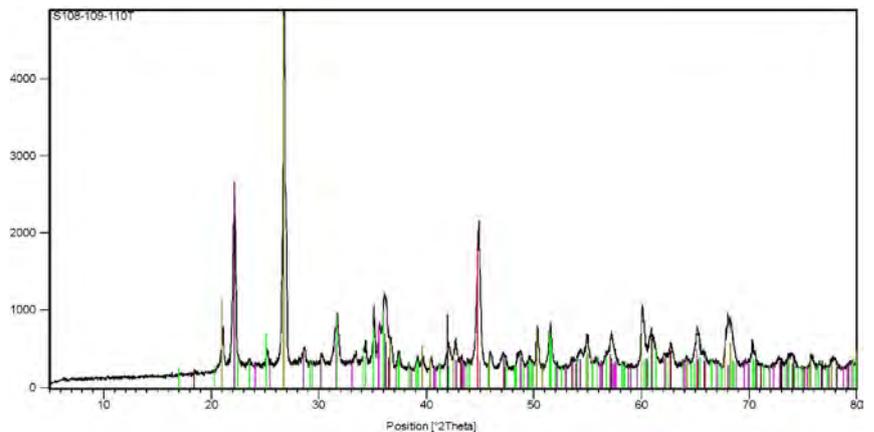
## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	X
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	X
Magnétite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	(X)
Hématite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(X)
Wüstite	FeO	(X)
Fer	Fe	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+(O)+F

- La fayalite provient des petites pièces de scorie

- De l'hématite est également identifiée



Residue - Peak List
01-085-0457; Quartz, low
01-078-1207; Fayalite
01-082-1232; Cristobalite SGA
01-085-1436; Magnetite
01-073-0603; Hematite, syn
01-074-1880; Wuestite, syn
01-087-0721; Iron

## Echantillon : S111-112-113

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M4D-M4D-M4D (0.45 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g + 2x500 g + 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 163 min / 90 min / 253 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 77  
**Nombre et type de soudures :** 4 (3 simples - 1 repli avec insert)  
**Nature des ajouts :** Boue d'argile et de tuyère  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres  
**Consommation de charbon :** 10425 g  
**Observations particulières :** F111+F112 matin, F113 après-midi.  
 Total de 6 trempes, 1 cassure au cours du martelage, 1 repli supplémentaire.  
 Retrait d'une paille au formage  
**Perte en fer cumulée g / % :** 905 g / 30.2 %  
**Répartition scorie g / % :** 248 g / 27 %  
**Répartition battitures g / % :** 657 g / 73 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 300 g - 100 %  
**Longueur :** 8.3 cm  
**Largeur :** 7.3 cm  
**Hauteur maximale :** 4.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 3.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 1.1 / 1.7  
**Orientation :** Déterminée  
**Profil Dessus-Dessous :** Plat - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 23 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 30 g  
**Nombre :** 6  
**Forme :** Rognon, irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux  
**SAS - SGD 29 %**  
**SFR 71 % Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un culot dense et elliptique ainsi que de 6 fragments (cinq sont ferreux, un est fayalitique).

La surface supérieure est de grisée, d'aspect mat avec des zones plus oxydées. La texture est accrochante au toucher. L'extrémité proximale montre un nodule sombre et vitrifié. Une dizaine de charbons sont inclus. La surface est très magnétique.

La surface inférieure est totalement recouverte d'empreintes de charbons, et de charbons (< 15 mm) ce qui donne une texture très rugueuse. On trouve des traces orangées d'oxydation partout autour des charbons. La surface est également très magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre la prédominance de fer métallique dans la partie haute de la scorie.

La partie basse de la scorie est faite d'un matériau grisé fayalitique comportant des pièces de charbon (9 %) mais aussi des filets et petites particules de métal essentiellement dispersées autour des charbons.

De grandes porosités distordues (< 2 cm) sont réparties entre ces deux niveaux.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	44.03
TiO <sub>2</sub>	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	43.07
MnO	1.17
MgO	0.48
CaO	2.19
Na <sub>2</sub> O	0.10
K <sub>2</sub> O	2.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15
Total	99.57

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	74.52 g
------------	---------

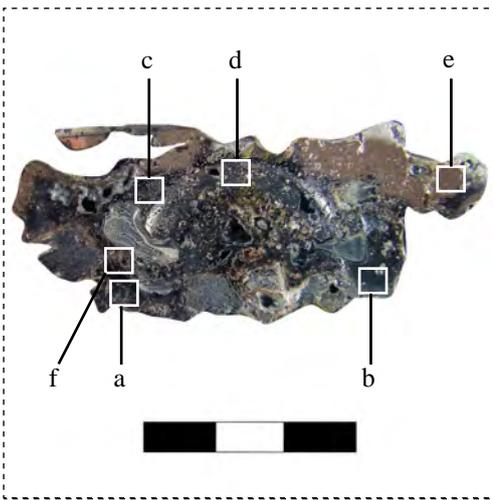
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	75.13 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	50	Sc	<
Sr	160	Cr	1580
Co	260	La	60
Ni	<	Zr	200
Cu	140	V	30
Zn	30	S	120
Ba	270	Mo	60
Total		2960	

## Lame épaisse



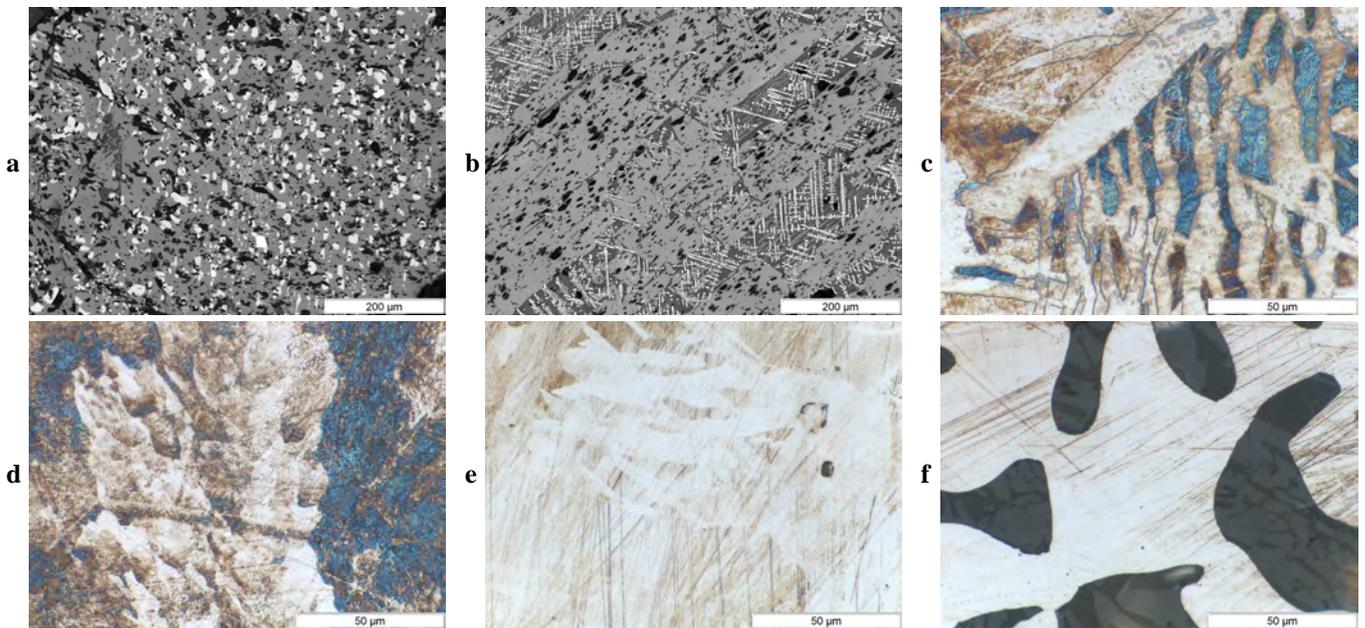
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

L'observation de la microstructure révèle différents aciers qui sont toujours hypoeutectoïdes.

- Dans la partie centrale de la pièce on trouve un acier formé de ferrite de Widmanstätten et de perlite, jusqu'à 0.6 %C (c).
- Certaines zones sont plus ou moins riches en perlite, jusqu'à 0.8 %C (d)
- A l'opposé de la soufflerie, des aciers très peu carburés (0.1 %C) contiennent des grains allongés ferritiques (e).
- Au fond de la scorie, les petites particules de métal dispersées sont formées d'aciers ferritiques (f).

La partie basse de la scorie montre un matériel fayalitique en plaque (a-b) ou en baguette. Le verre interstitiel, quand il existe, comporte des dendrites de wüstite (b). On trouve également de nombreuses plages de nodules de wüstite qui sont des reliquats de particules primaires assimilées dans le milieu (a).

## Micrographies - Lame épaisse

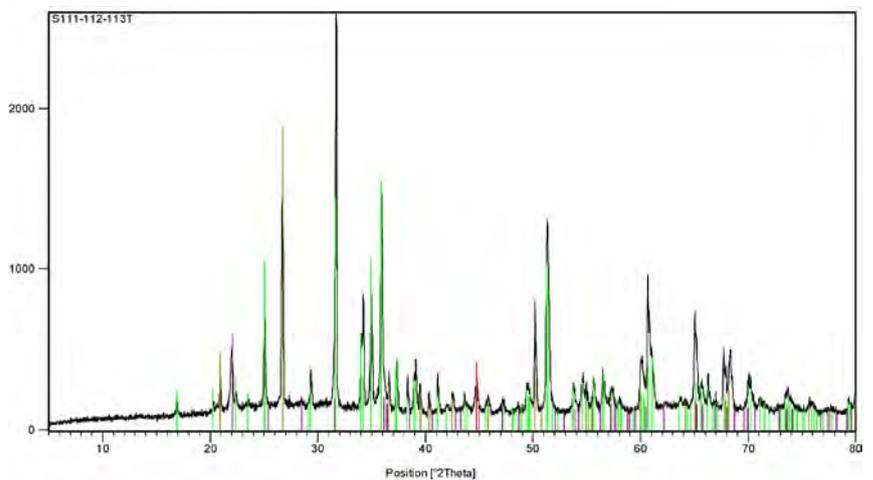


## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXX
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)

Minéralogie FQ : Q+(M)+F

- La wüstite n'est pas identifiée



Residue + Peak List
01-076-0512; Fayalite
01-085-0457; Quartz low
01-087-0721; Iron
01-075-0923; Cristobalite low

## Echantillon : S114-115-116

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M2S-M2S-M2S (0.17%C)  
  
**Poids du fer initial :** 1000 g + 1000 g + 1000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 111 min / 86 min / 197 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 72  
**Nombre et type de soudures :** 3 (replis)  
**Nature des ajouts :** Boue d'argile  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres  
**Consommation de charbon :** 8630 g  
**Observations particulières :** F114+F115 matin, F116 après-midi.  
 Replie chaque barre en deux au lieu de les raccourcir par refoulage suivi de 3 trempes pour la soudure  
  
**Perte en fer cumulée g / % :** 545 g / 18.2 %  
**Répartition scorie g / % :** 69 g / 13 %  
**Répartition battitures g / % :** 476 g / 87 %

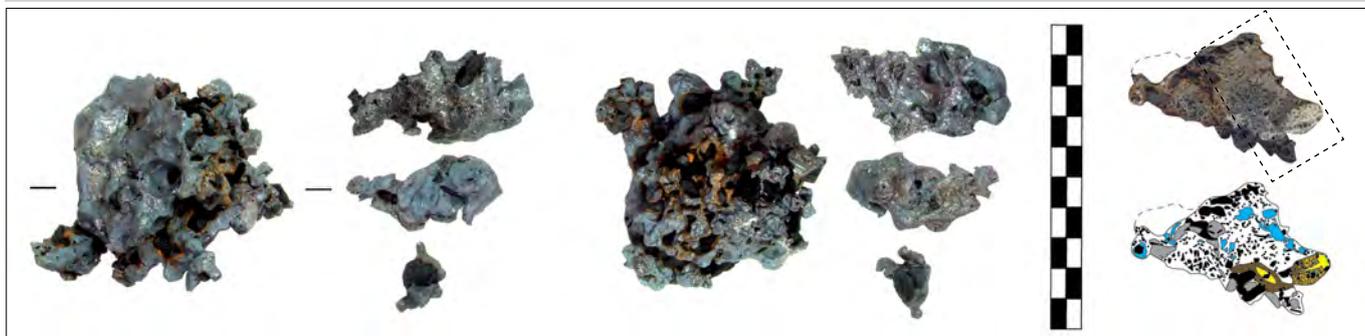
### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 130 g - 96 %  
**Longueur :** 7.7 cm  
**Largeur :** 5.8 cm  
**Hauteur maximale :** 4.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 4.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.8 / 1.5  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Convexe - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 27 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte, locale

### Informations petites pièces

**Poids :** 30 g  
**Nombre :** 3  
**Forme :** Irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux  
  
**SAS** 14 %                      **SGD** 75 %  
**SFR** 11 %                      **Autre** -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite scorie, moyennement dense, de forme inhabituelle car elle devait reposer sur la paroi inclinée de la cuve du foyer. Elle est accompagnée de 3 fragments (deux sont ferreux, un est fayalitique).

La surface supérieure est gris-violet, vitreuse du côté proximal mais grise mate du côté distal. Des empreintes de charbons mais également des petits charbons sont inclus (< 5 mm). Cette surface n'est pas magnétique.

La surface inférieure est grise et mate, au relief important à cause d'empreintes de charbons et de charbons couvrant toute la partie centrale. Leur contour est oxydé. Cette zone est légèrement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe est hétérogène. La matrice fayalitique comporte de larges porosités (< 1 cm) horizontales affleurant la surface. Partout ailleurs la porosité est abondante, fine et étirée.

Des charbons de bois (10 %) sont inclus en périphérie de la scorie. Des fragments de métal sont disposés dans la partie médiane tandis que des fragments de roche (< 2 cm, 2 %) englobés dans un verre sont répartis dans le fond de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
Eléments majeurs  
% de poids

SiO <sub>2</sub>	41.54
TiO <sub>2</sub>	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	46.16
MnO	0.37
MgO	0.51
CaO	1.69
Na <sub>2</sub> O	0.14
K <sub>2</sub> O	2.08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17
Total	99.71

g fer extrait par  
tamisage

Fe extrait	13.31 g
------------	---------

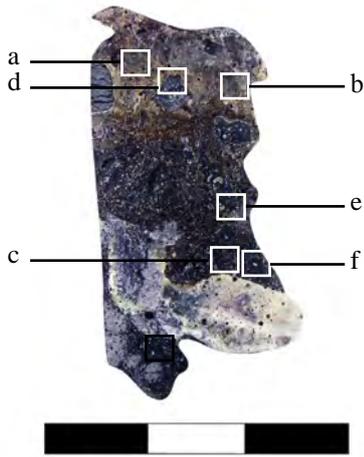
Recalcul fer total  
% de poids

Fe tot	42.92 %
--------	---------

Eléments traces  
ppm

Rb	50	Sc	<
Sr	110	Cr	680
Co	240	La	60
Ni	<	Zr	160
Cu	140	V	20
Zn	20	S	170
Ba	260	Mo	70
Total		1980	

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Dans la partie haute, de teinte claire, la scorie est formée de cristaux de fayalite allongés en branche (a) ou en pavé (b).

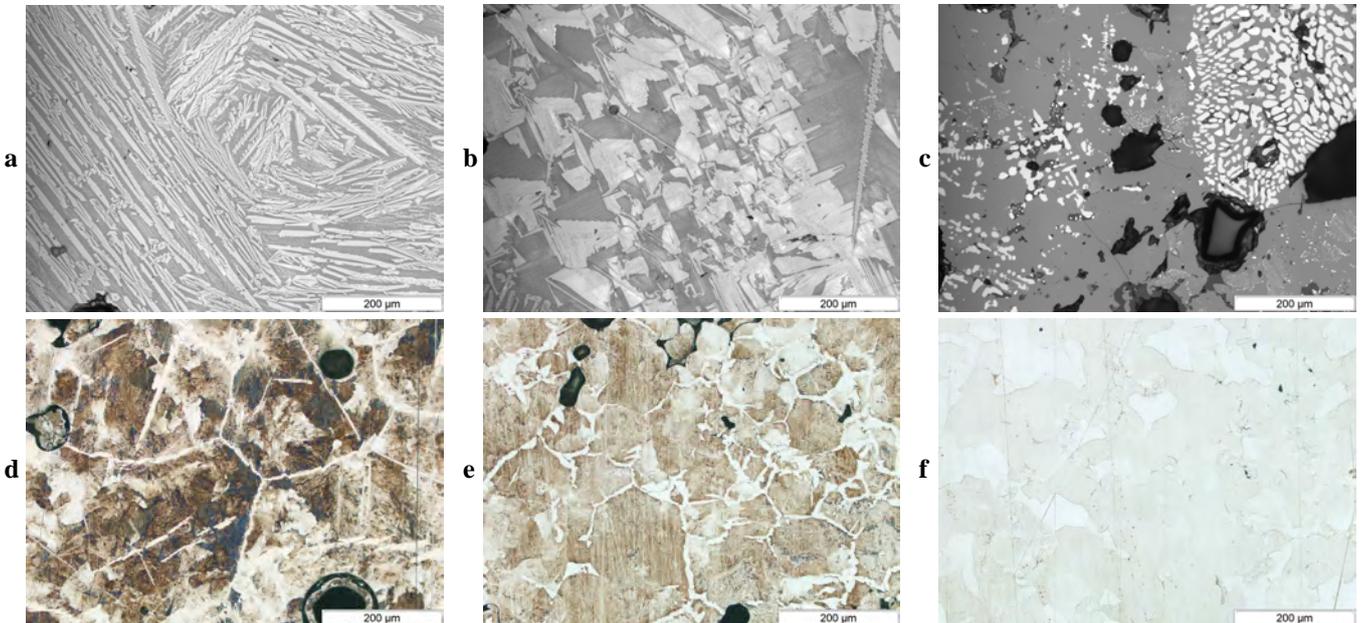
Dans la partie basse, sombre, on rencontre essentiellement des cristaux équi-granulaires ou tassés les uns contre les autres en plaque (c). De nombreuses croûtes d'oxydes en décomposition dans le milieu forment des domaines de dendrites ou globules (c) de wüstite.

Les particules métalliques sont de grande taille, jusqu'à 1 cm de longueur.

- Une seule particule est un acier hypereutectique, avec des joints de grains de cémentite (d).

- Toutes les autres sont des aciers hypoeutectiques, depuis la ferrite pure (f) jusqu'à 0.6 %C (e). En général la périphérie des particules montre une décarburation.

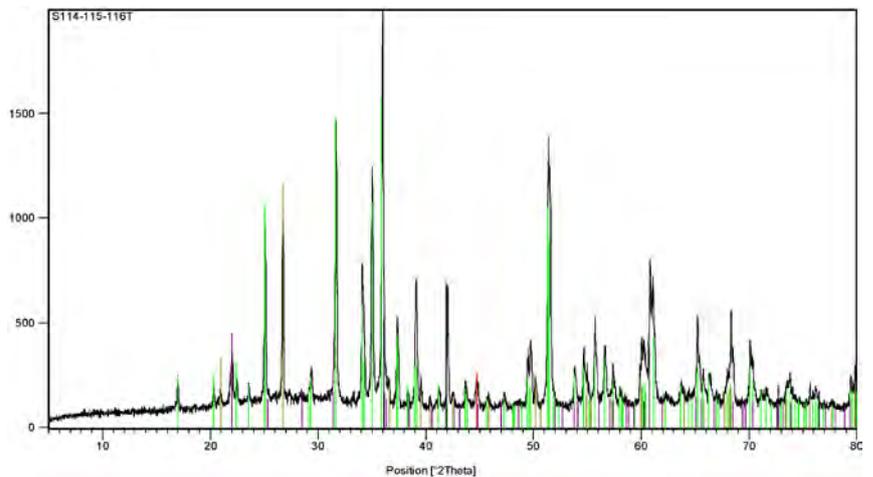
## Micrographies - Lame épaisse



## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	XXXX
Quartz	$\text{SiO}_2$	X
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	(X)
Wüstite	FeO	(X)

Minéralogie FQ : Q+(M)+(O)+F



Residue + Peak List
01-078-0512; Fayalite
01-083-0531; Quartz
01-087-0721; Fe
01-071-0785; Cristobalite low
01-077-2355; Wuestite

## Echantillon : S117-118-119

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SGD-SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M2D-M2D-M2D (0.17%C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g + 2x500 g + 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 129 min / 101 min / 230 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 81

**Nombre et type de soudures :** 5 (3 simples - 2 consolidations)

**Nature des ajouts :** Boue d'argile

**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres

**Consommation de charbon :** 7080 g

**Observations particulières :** F117+F118 matin, F119 après-midi.  
 3 trempes au préformage, 1 trempe au formage et 1 défaut dans la lame à consolider jusqu'aux finitions

**Perte en fer cumulée g / % :** 625 g / 20.8 %

**Répartition scorie g / % :** 85 g / 14 %

**Répartition battitures g / % :** 540 g / 86 %

### Informations pièce principale

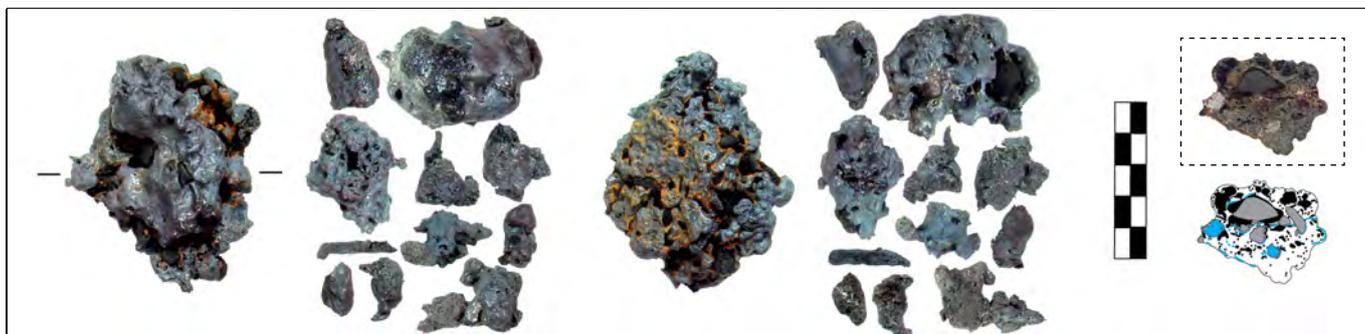
**Poids - % conservation :** 105 g - 100 %  
**Longueur :** 5.2 cm  
**Largeur :** 7.2 cm  
**Hauteur maximale :** 2.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.7 / 2.5  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Convexe - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 26 %  
**Aimantation (coupe) :** Moyenne

### Informations petites pièces

**Poids :** 70 g  
**Nombre :** 11  
**Forme :** Rognon, irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux

**SAS - SGD :** 89 %  
**SFR 11 % - Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite scorie, moyennement dense, quart-circulaire ainsi que 11 fragments (quatre sont ferreux, sept sont fayalitiques).

La surface supérieure est gris-violet et mate. Elle comporte des zones vitrifiées sombres. Les empreintes de charbons et la dizaine de charbons encore cimentés conduisent à un relief (bosse-trou) de cette zone. Des traces d'oxydation orangées sont visibles en périphérie. Cette surface est légèrement magnétique.

La surface inférieure est couverte d'empreintes de charbons, de petits charbons (< 5 mm) et de traces d'oxydation orangées autour des charbons. Cette zone est moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe est hétérogène.

La matrice fayalitique est parsemée de porosités. Les plus larges (< 1 cm) affleurent la surface et contiennent des pièces de charbon (18 %). Les porosités les plus fines, abondantes, sont dispersées dans la partie basse.

Des fragments de métal sont répartis dans la partie médiane de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	49.19
TiO <sub>2</sub>	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38.03
MnO	0.39
MgO	0.48
CaO	2.43
Na <sub>2</sub> O	0.12
K <sub>2</sub> O	2.45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17
Total	99.68

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	36.72 g
------------	---------

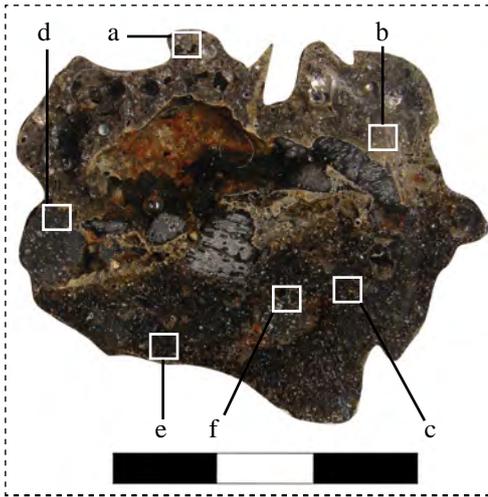
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	48.57 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	60	Sc	<
Sr	190	Cr	670
Co	210	La	90
Ni	<	Zr	210
Cu	120	V	20
Zn	10	S	180
Ba	350	Mo	50
Total		Total	2160

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

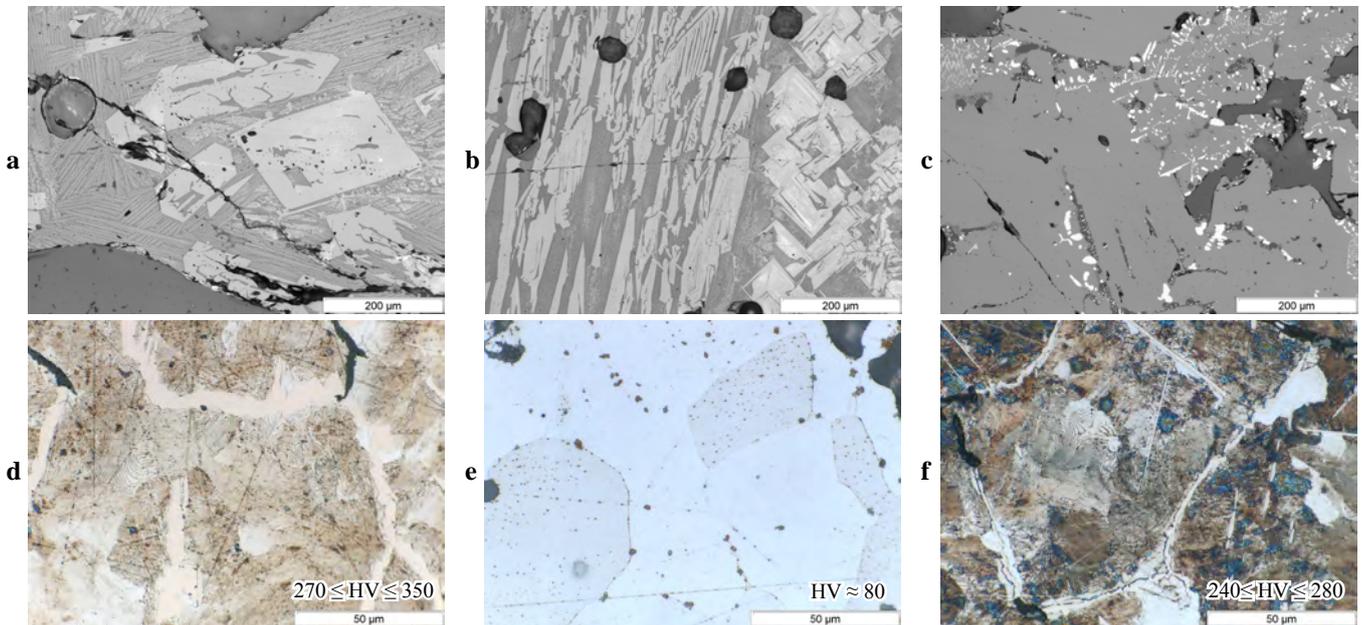
La partie haute, claire, contient des cristaux équi-granulaires (a), des cristaux en pavé (b) ou allongés (b), dans un verre sombre rempli de fines baguettes fines de fayalite (a-b).

La partie basse, sombre, ne comporte que des larges plages de cristaux de fayalite équi-granulaires, parfois tassés les uns contre les autres en plaque (c). Certains cristaux ont des compositions eutectiques fayalite/wüstite (c).

Le métal est réparti dans la partie médiane de la scorie sous forme de billes éclatées ou de fragments divers.

Après attaque chimique au Nital, la microstructure révèle des aciers ferritiques au fond de la scorie (e). Le reste des particule est formé d'aciers hypereutectoïdes, entre 0.9-1 %C (f) et 1.2-1.4 %C (d).

## Micrographies - Lame épaisse

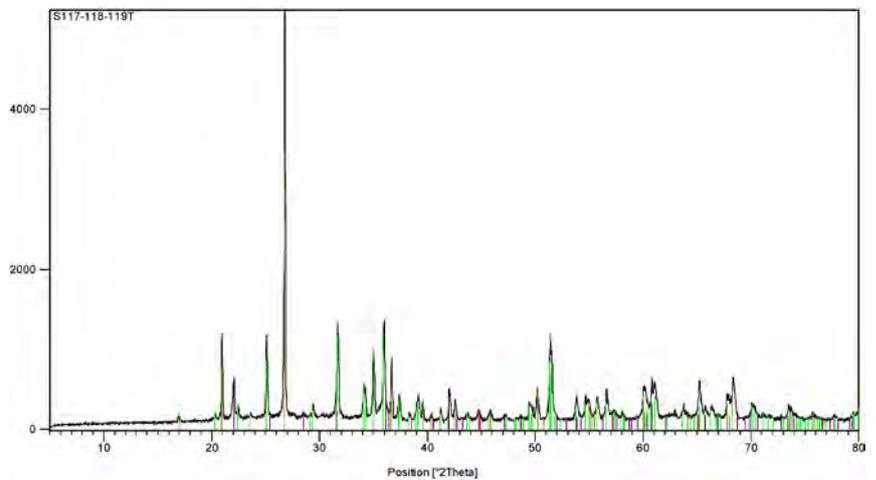


## Diffraction des rayons X

Quartz	SiO <sub>2</sub>	XXX
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XX
Fer	Fe	(X)
Cristobalite	SiO <sub>2</sub> (HT)	(X)
Wüstite	FeO	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+(O)+F

- Du quartz est identifié



Residue - Peak List
01-085-0457; Quartz low
01-078-0572; Fayalite
01-087-0721; Iron
01-082-1232; Cristobalite SGA
01-077-2355; Wuestite

## Echantillon : S120-121-122

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M2S-M2S-M2S (0.45%C)

**Poids du fer initial :** 1000 g + 1000 g + 1000 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 172 min / 103 min / 275 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 92

**Nombre et type de soudures :** 4 (replis)  
**Nature des ajouts :** Boue d'argile  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres

**Consommation de charbon :** 9475 g  
**Observations particulières :** F120+F121 matin, F122 après-midi.  
 Replie les barres au lieu de les raccourcir (replis supplémentaires)

**Perte en fer cumulée g / % :** 725 g / 24.2 %  
**Répartition scorie g / % :** 75 g / 10 %  
**Répartition battitures g / % :** 650 g / 90 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 100 g - 95 %  
**Longueur :** 6.5 cm  
**Largeur :** 6.0 cm  
**Hauteur maximale :** 2.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 2.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.9 / 2.5  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Convexe - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 37 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 80 g  
**Nombre :** 17  
**Forme :** Rognon, irrégulier  
**Nature :** Fayalitique, ferreux

**SAS -**                      **SGD 17 %**  
**SFR 83 %**                      **Autre**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite scorie, très dense avec peu de relief, ainsi que 17 petits fragments : dix sont ferreux et sept sont fayalitiques.

La surface supérieure est ferreuse, de couleur gris-violet et très magnétique.

La surface inférieure laisse percevoir des globules ferreux sous une fine couche fayalitique. Quelques charbons sont incrustés; du sable du fond du foyer adhère à la surface. Cette zone est très magnétique également.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe révèle la prédominance de fer métallique dans la partie haute de la pièce, sous la forme de 2 nodules accolés.

Ce métal est peu compacté puisqu'on y voit des porosités irrégulières, larges (< 1 cm) mais aussi plus fines (< 1 mm).

Ces blocs de fer reposent sur un mince socle grisé, sombre et poreux fayalitique.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	61.01
TiO <sub>2</sub>	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.15
MnO	0.54
MgO	0.32
CaO	1.98
Na <sub>2</sub> O	0.09
K <sub>2</sub> O	1.52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17
Total	99.68

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	29.48 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	41.40 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	30	Sc	<
Sr	120	Cr	840
Co	180	La	50
Ni	<	Zr	230
Cu	170	V	40
Zn	<	S	80
Ba	210	Mo	100
Total			2050

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

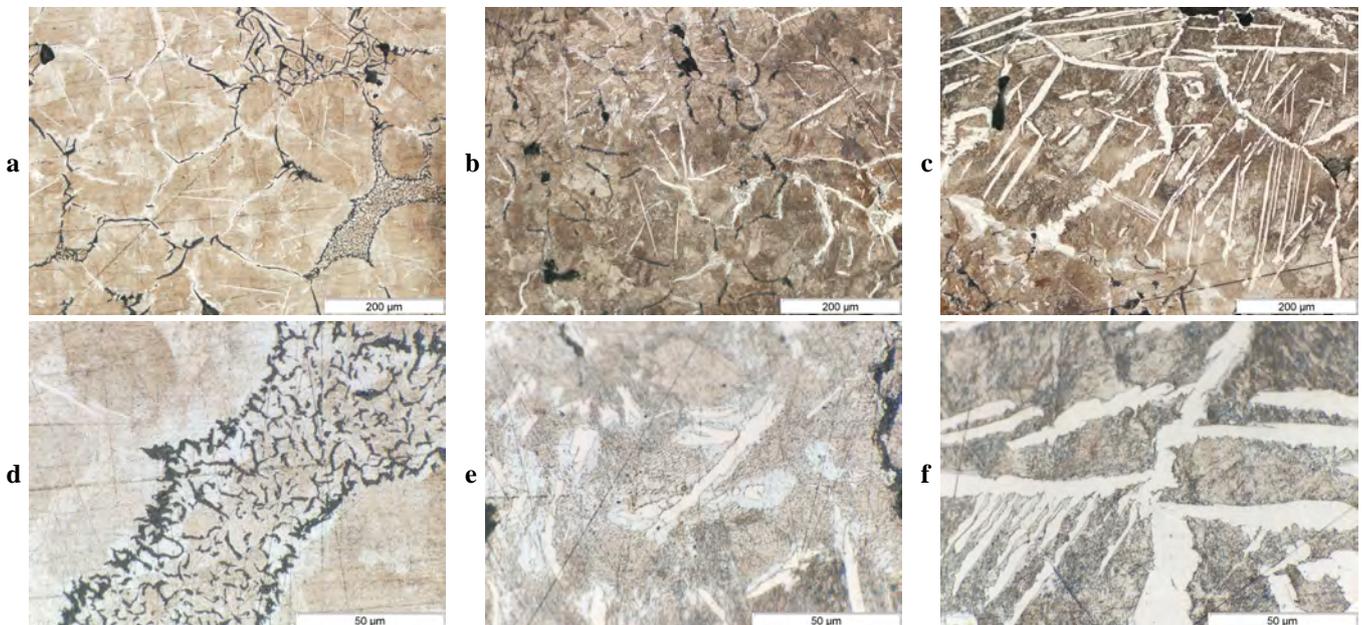
Après attaque chimique au Nital, la microstructure du métal se situe entre un acier et une fonte.

Les parties les moins carburées (c) sont des aciers hypereutectoïdes avec des joints de grain de cémentite et des structures en bande (f).

On trouve également une fonte grise peu carburée (b) montrant des écailles de graphite (e).

Enfin, les zones les plus carburées (a) montrent la précipitation de graphite aux joints de grains (d).

## Micrographies - Lame épaisse



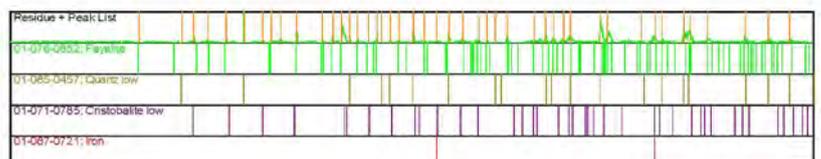
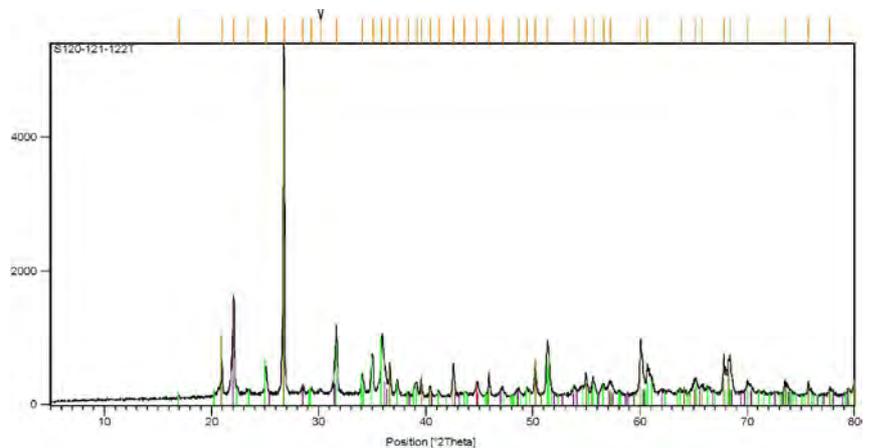
## Diffraction des rayons X

Fayalite	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$	X
Quartz	$\text{SiO}_2$	XXX
Cristobalite	$\text{SiO}_2$ (HT)	X
Fer	Fe	(X)

Minéralogie QF : Q+(M)+F

- 1 pic non attribué

-Le fer ayant été extrait, c'est seulement la la zone fayalitique qui a été analysée, d'où la minéralogie QF



## Echantillon : S123-124-125

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M2D-M2D-M2D (0.45%C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g + 2x500 g + 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 176 min / 106 min / 182 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 91  
**Nombre et type de soudures :** 7 (3 simples-3 conso-1 repli insert)  
**Nature des ajouts :** Boue argile et tuyère  
**Utilisation des ajouts :** Enduit les barres  
**Consommation de charbon :** 9575 g  
**Observations particulières :** F123+F124 matin, F125 après-midi.  
 Préf: 3 trempes, 1 repli, 1 cassure, 1 gerce. Form: 1 trempe, gerces à consolider. Finit: gerces à consolider  
**Perte en fer cumulée g / % :** 670 g / 22.3 %  
**Répartition scorie g / % :** 118 g / 18 %  
**Répartition battitures g / % :** 552 g / 82 %

### Informations pièce principale

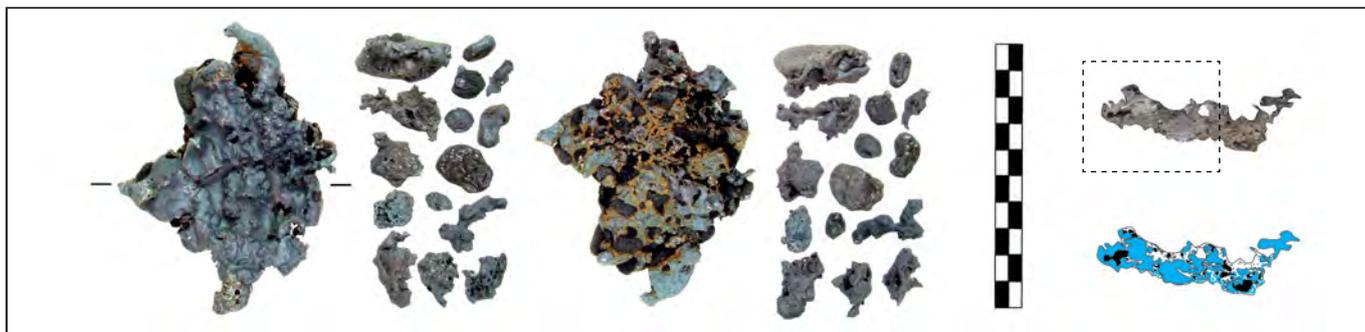
**Poids - % conservation :** 150 g - 100 %  
**Longueur :** 10.0 cm  
**Largeur :** 8.0 cm  
**Hauteur maximale :** 2.5 cm  
**Epaisseur moyenne :** 1.5 cm  
**Ellipticité / planéité :** 0.8 / 3.6  
**Orientation :** Incertaine  
**Profil Dessus-Dessous :** Concave - Convexe  
**Porosité (coupe) :** 15 %  
**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 25 g  
**Nombre :** 15  
**Forme :** Rognon, irr., bille  
**Nature :** Fayalitique, ferreux

**SAS -** SGD 32 %  
**SFR 68 %** Autre -

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'une petite scorie, très dense, quart-circulaire à l'aspect déchiquetté. Elle est accompagnée de 15 fragments (cinq sont ferreux, dix sont fayalitiques).

La surface supérieure est grise et mate, rugueuse et accrochante au toucher. Un seul nodule à l'extrémité proximale est vitrifié superficiellement, de teinte jaunâtre. Quelques charbons sont incrustés en périphérie. Cette surface est très magnétique.

La surface inférieure est recouverte sur la moitié de sa surface de charbons de petite taille (< 1 cm). On trouve des zones oxydées orangées autour des charbons. Cette surface est également très magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre une forte proportion de fer à l'état métallique sur toute la longueur de la pièce, notamment des gros fragments de métal. Ce fer est intimement mêlé avec une matrice jaunâtre fayalitique.

Des larges porosités irrégulières jusqu'à 1 cm de longueur sont disposées aux abords des fragments de métal. Le métal lui-même n'est pas compacté.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	32.46
TiO <sub>2</sub>	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56.55
MnO	1.01
MgO	0.42
CaO	2.13
Na <sub>2</sub> O	0.11
K <sub>2</sub> O	1.54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16
Total	99.65

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	39.42 g
------------	---------

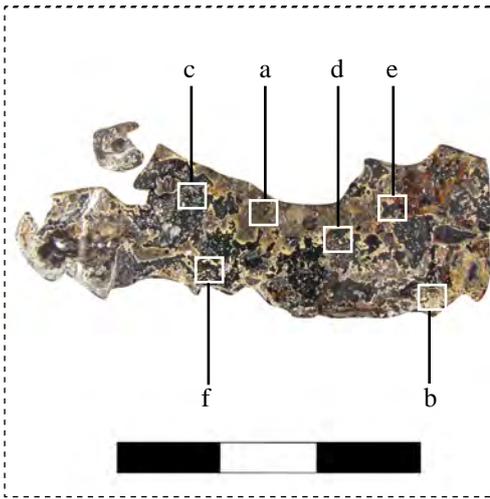
Recalcul fer total  
 % de poids

Fe tot	67.55 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	140	Cr	960
Co	280	La	50
Ni	<	Zr	150
Cu	120	V	30
Zn	50	S	120
Ba	240	Mo	70
Total		Total	2250

## Lame épaisse



## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

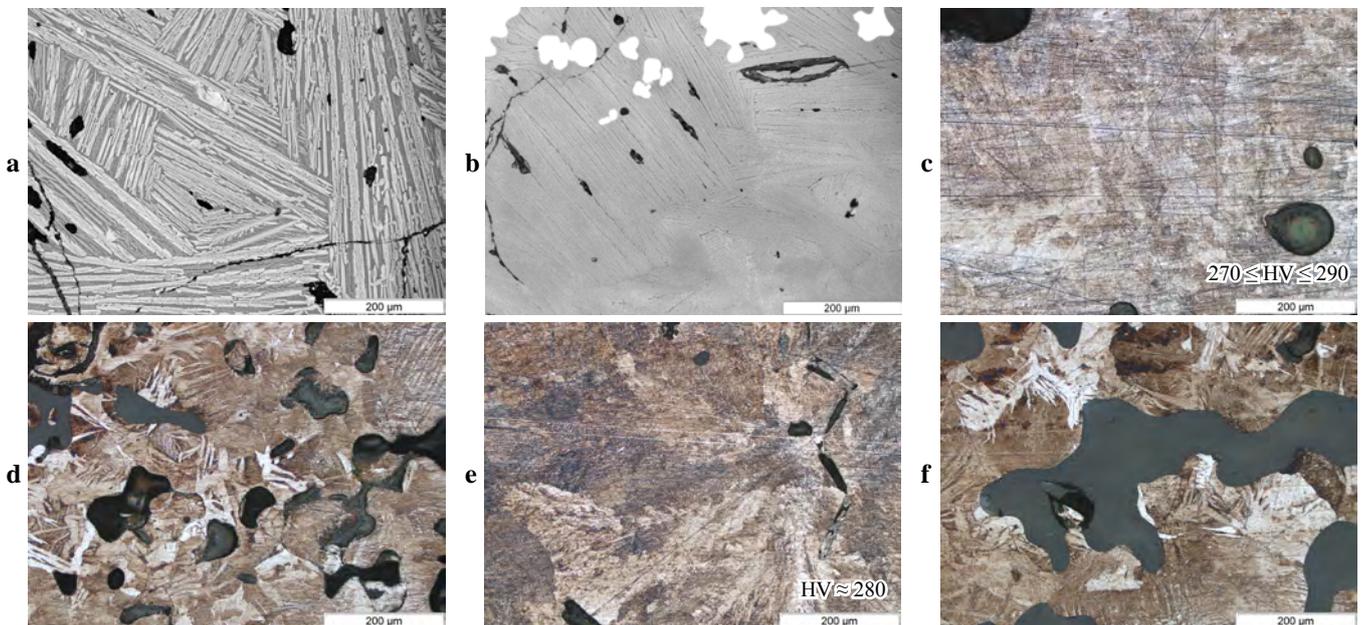
La microstructure de cet échantillon révèle une matrice jaunâtre formée de baguettes allongées de fayalite. Certaines zones montrent des cristaux fins bien formés (a) tandis que dans d'autres zones il s'agit d'un verre ferreux dans lequel commencent à croître des cristaux allongés resserrés (b).

On note l'omniprésence de particules métalliques diverses : billes éclatées, chapelets de globules de fer le long des porosités et fragments de métal.

Après attaque chimique au Nital, il s'agit toujours de métal destructuré montrant des plages claires ou sombres comportant de la perlite éparse (c-d-e-f). On note toutefois 2 faciès.

- Pour les particules compactes un faciès destructuré simple (c-e).
- Pour les particules non compactées (trouées), de nombreuses zones de décarburations périphérique (d-f).

## Micrographies - Lame épaisse



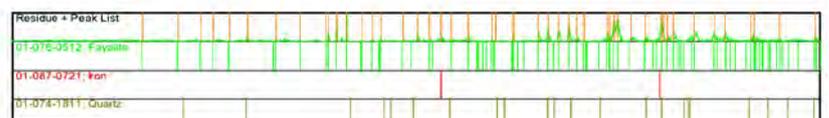
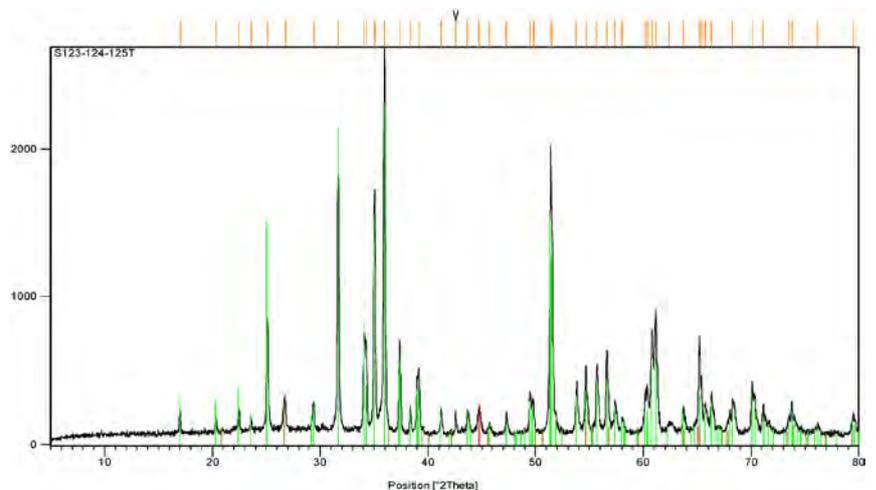
## Diffraction des rayons X

Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XXXXX
Fer	Fe	(X)
Quartz	SiO <sub>2</sub>	(X)

Minéralogie F : (Q)+(M)+F

- Présence de quartz dans la partie analysée non métallique de la scorie

- Pic non identifié ( $\approx 42.5^\circ 2\theta$ ) qui pourrait correspondre au pic de la wüstite ( $42^\circ 2\theta$ ) légèrement décalé



## Echantillon : S126-127-128

### Conditions du (des) forgeage(s)

**Catégorie :** Scorie SFR  
**Lieu de forge :** Dounde  
**Matériel de départ :** M4D-M4D-M4D (0.17 %C)

**Poids du fer initial :** 2x500 g + 2x500 g + 2x500 g  
**Temps chauffe / martelage / total :** 129 min / 89 min / 218 min  
**Nombre cycles chauffe-martelage :** 76

**Nombre et type de soudures :** 3 (simples)  
**Nature des ajouts :** Poudre de tuyère  
**Utilisation des ajouts :** Saupoudre les barres

**Consommation de charbon :** 11495 g  
**Observations particulières :** F126+F127 matin, F128 après-midi

**Perte en fer cumulée g / % :** 655 g / 21.8 %

**Répartition scorie g / % :** 176 g / 27 %

**Répartition battitures g / % :** 479 g / 73 %

### Informations pièce principale

**Poids - % conservation :** 115 g - 92 %

**Longueur :** 7.5 cm

**Largeur :** 6.0 cm

**Hauteur maximale :** 4.0 cm

**Epaisseur moyenne :** 3.0 cm

**Ellipticité / planéité :** 1.3 / 1.7

**Orientation :** Incertaine

**Profil Dessus-Dessous :** Convexe - Convexe

**Porosité (coupe) :** 12 %

**Aimantation (coupe) :** Forte

### Informations petites pièces

**Poids :** 100 g

**Nombre :** 6

**Forme :** Rognon, irrégulier

**Nature :** Arg.-sabl., ferreux

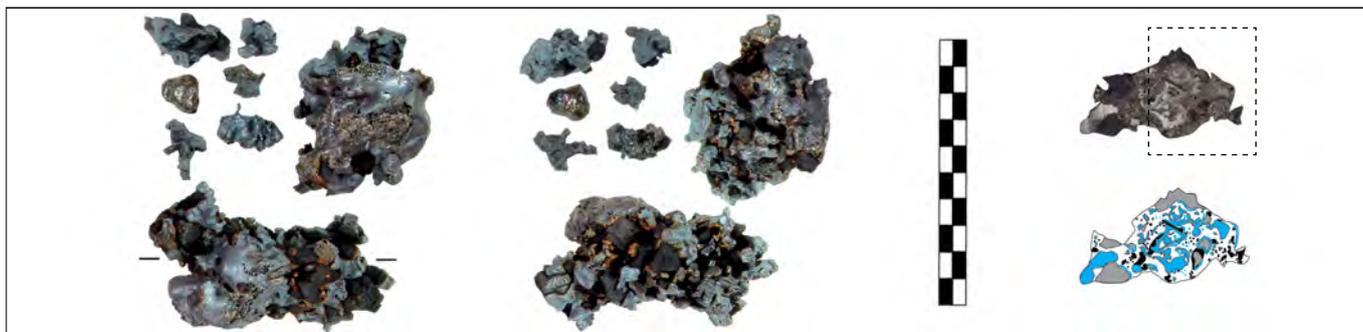
**SAS -**

**SGD 66 %**

**SFR 34 %**

**Autre -**

### Photographies - Scorie



### Morphologie - Scorie

Il s'agit d'un petit culot, dense, allongé et de 7 fragments (six sont ferreux, un seul est argilo-sableux).

La surface supérieure est de couleur grise avec un aspect mat. Une importante proportion de charbons sont incrustés; leur contours sont oxydés, de couleur orangée. Cette surface est très magnétique.

La surface inférieure est recouverte de charbons ou d'empreintes de charbons. Sa couleur est grise, d'aspect mat également. Cette surface est moyennement magnétique.

### Observations macroscopiques - Coupe

La coupe montre une importante proportion de métal sous la forme de filaments, de billes et de particules diverses jusqu'à 10mm, intimement mêlé dans un matrice sombre matrice fayalitique.

Les porosités sont essentiellement disposées à proximité des charbons et des particules de métal.

Des pièces de charbons (18 %) sont incluses en périphérie de la scorie.

### Fluorescence des rayons X

Poudre de scorie  
 Eléments majeurs  
 % de poids

SiO <sub>2</sub>	29.18
TiO <sub>2</sub>	0.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	59.74
MnO	0.87
MgO	0.37
CaO	1.36
Na <sub>2</sub> O	0.19
K <sub>2</sub> O	1.34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12
Total	99.44

g fer extrait par  
 tamisage

Fe extrait	94.59 g
------------	---------

Recalcul fer total  
 % de poids

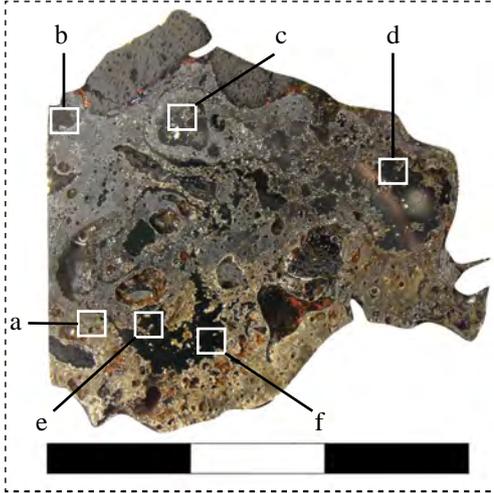
Fe tot	82.02 %
--------	---------

Eléments traces  
 ppm

Rb	40	Sc	<
Sr	100	Cr	2200
Co	280	La	70
Ni	<	Zr	150
Cu	190	V	40
Zn	50	S	150
Ba	210	Mo	70
Total			3550

- Teneur importante en  
 Cr

## Lame épaisse



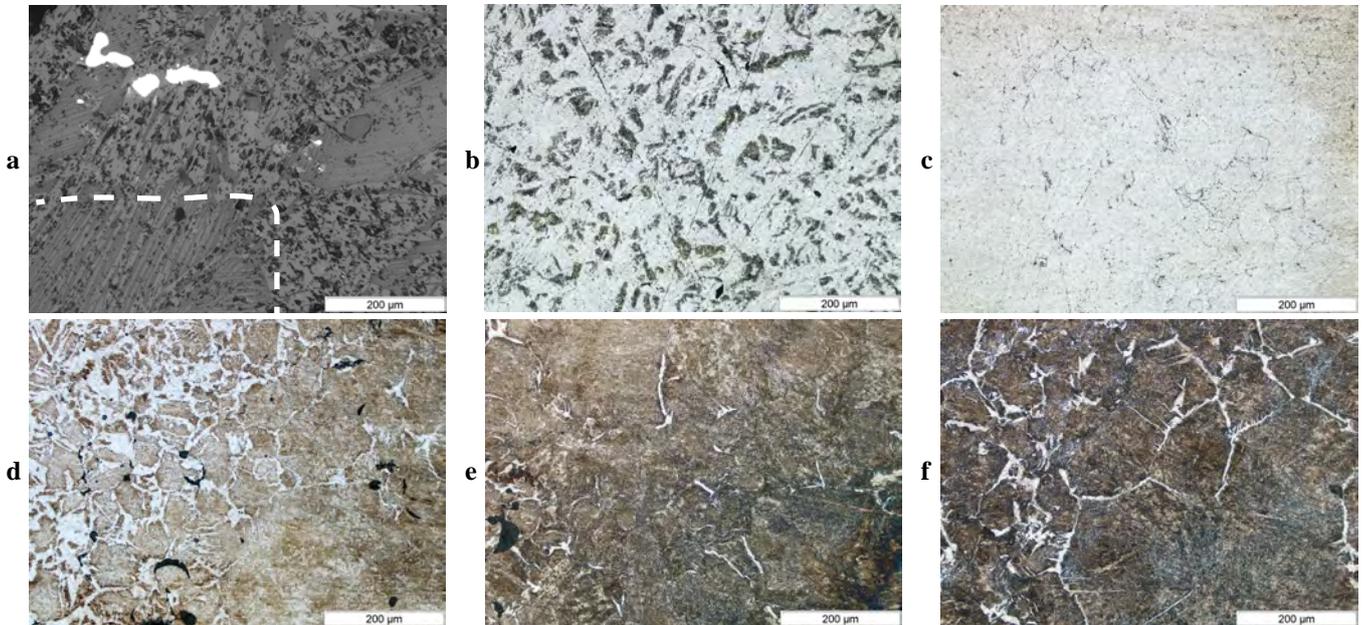
## Observations microscopiques et microanalyses EDXS - Lame épaisse

Toute la surface de la scorie est couverte de cristaux de fayalite. Dans la partie haute, sombre, ils sont allongés tandis qu'on rencontre essentiellement des formes en pavé dans la partie basse de teinte plus claire (a).

Partout, les pertes métalliques sont importantes : billes éclatées, des chapelets de particules métalliques et fragments de métal.

Après attaque chimique au Nital, la microstructure du métal révèle différents types d'aciers hypoeutectoïdes. Certaines particules, complètement décarburrées sont formées de grains de ferrite purs (c). On observe des aciers à 0.2 %C, formés de ferrite aciculaire et de perlite (b). Les particules de grande taille sont souvent carburrées au coeur et décarburrées en périphérie (d). Enfin, les particules les plus carburrées sont des aciers proches de l'eutectoïde, entre 0.6 %C (f) et 0.7 %C (e).

## Micrographies - Lame épaisse

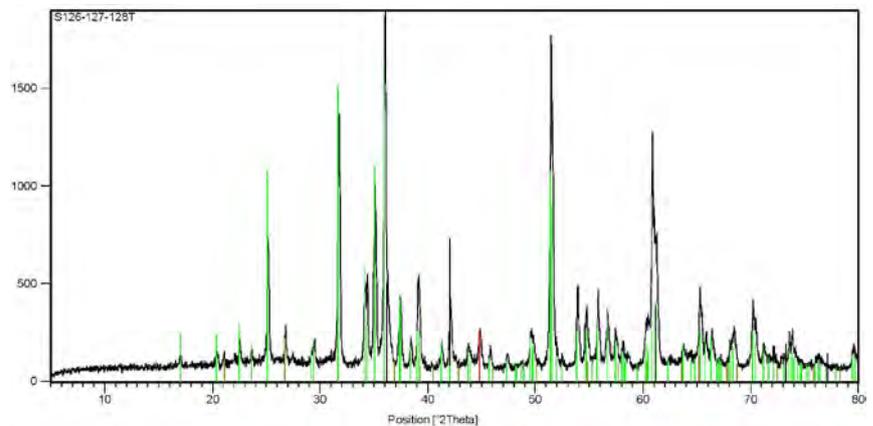


## Diffraction des rayons X

Fer	Fe	(X)
Quartz	SiO <sub>2</sub>	X
Wüstite	FeO	(X)
Fayalite	Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	XXX

Minéralogie MO : Q+(M)+O+F

- Du quartz est identifié



Residue + Peak List
03-065-9150
01-050-1180; Quartz low
01-085-0628; Wuestite
01-075-0512; Fayalite

This publication is also  
available open-access on



or as printed version at



[www.librum-publishers.com](http://www.librum-publishers.com)