Analyse métallographique de scories et objets ferreux issus du site de Stavelot

Line Van Wersch, Alexandre Disser

▶ **To cite this version:**

Line Van Wersch, Alexandre Disser. Analyse métallographique de scories et objets ferreux issus du site de Stavelot. 2025. ⟨hal-05188401⟩

HAL Id: hal-05188401

https://hal.science/hal-05188401v1

Preprint submitted on 26 Jul 2025

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

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

HAL Authorization

inventaire	type	nombre	magnétique	note	
STV 94/885	clou ou tige corrodées	3	o		
STV 94/1501	tiges et plaques corrodées	10	o		
STV 94/1618	culot de forge	2	o	culot de forge - forte chuffe - perte de pas mal de métal	Analyse
STV 94/1618	clou ou tige	3	o		Analyse
STV 94/1618	plaquette	2	o		Analyse
STV 94/579	corrosion - scorie ferreuse rouillée ou gangue de corrosion	3	o		
STV 88/5540/5545	clou ou tige	2			
STV 88/5540/5545	corrosion	1			
STV 88/5540/5545	paroi	1			
STV 88/5364	gangue de corosion	9	o		
STV 88/5364	forme avec métal ?	9	o		Analyse
STV 96/21	paroi	3	o		
STV 96/21	clou ou tige	11	o		Analyse
STV 88/5323-5352	objet ?	1		1 isolé a voir	Analyse
STV 88/5323-5352	clou ou tige	2			
STV 88/5323-5352	culot de forge	1			
STV 88/5323-5352	corrosion	5			
STV 88/5323-5352	pt fgt de cuivre	3			cuivre
STV 88/5323-5352	scorie siliceuse fgt de paroi	9			cuivre
STV 88/5323-5352	paroi - scorie grise dense	1			cuivre
STV 05/293/003	fragment de paroi	1	b		
STV 05/896/002	corrosion/ tige tordue	1	o		
STV 05/622/009	corrosion	1	o		
STV 05/622/009	paroi	1	o		
STV 05/1859/005	scorie siliceuses	4	o		
STV 05/1574/003	clou ou tige	2	o		
STV 05/1574/003	clou - scorie falayitique - fgt de paroi	2	n		

STV 05/1429/014	hématite	1		hématite	
STV 05/1429/014	paroi scoréfiée	1			
STV 05/1845/009	culot forge	1	o	culot forge	Analyse
STV 05/1845/009	corrosion	5	o	corrosion	
STV 05/1845/009	fgt de paroi	1	o		
STV 93/2173	scorie falayitique	3	o		Analyse
STV 93/2173	paroi scorifiée	3	o		
STV 93/2173	paroi	8	o		
STV 94/1252	parois	4	o		
STV 94/1273	scorie grise dense (falayitique)	2	o		Analyse
STV 94/1273	paroi vitrifiée	5	o		
STV 94/1273	bloc de foyer avec oxyde	3	o		
STV 94/1273	scorie grises dense	7	o		
STV 94/1308	scorie falayitique	2	o		Analyse
STV 94/1308	coeur de foyer	12	o		
STV 94/1308	paroi	11	o		
STV 94/1308	paroi vitrifiée	2	o		
STV 94/1331	1 bloc de foyer + 3 verre	1	o		
STV 94/1405	bloc de foyer	1	o		
STV 94/1272	paroi de foyer	1	b		
STV 05/401/005	scorie argilo sableuse - fragment de culot et scorie ferreuse rouillée	1	b		
STV 05/362/005	scorie falayitique	1	b		
STV 05/606/009	scorie	1	o		
STV 05/606/006	scorie	1	o		
STV 05/460/006	corrosion	1	n		
STV 05/400/007	corrosion	1	n		
STV 05/253/012	geol	1	n		

Analyse métallographique de scories et objets ferreux issus du site de Stavelot

Les analyses ont porté sur des scories de forge et de réduction, ainsi que sur des objets métalliques (clous, fragment de tôle) issus du site de Stavelot, en particulier des couches du haut Moyen Âge, afin d'en identifier les caractéristiques techniques.

Après découpe, les échantillons ont été inclus dans une résine, découpés puis polis à l'aide de disques au carbure de silicium et de suspensions diamantées (granulométries 9, 3 et 1 µm) utilisés successivement. Une attaque chimique au nital à 4 %, diluée dans l'éthanol, a été appliquée afin de révéler les structures métallographiques, suivie d'un rinçage à l'eau, d'un nettoyage à l'éthanol et d'un séchage.

Les observations ont été réalisées à l'aide d'un microscope optique Axio (Zeiss). Les résultats sont présentés ci-dessous, échantillon par échantillon.

1. Scories de forge

STV 94/1618

Cet échantillon présente une grande homogénéité minéralogique, avec une forte contribution siliceuse. Les zones plus claires observées autour des porosités correspondent à des oxydes de fer. La cristallisation est typique d'un culot de forge, avec de gros cristaux en forme de lattes identifiés comme de l'olivine, très probablement de la fayalite. La taille importante de ces lattes indique un refroidissement lent. La cristallisation se développe de manière radiale autour de noyaux.

Des billes de métal oxydées, parfois filamenteuses, sont piégées dans la matrice : il s'agit vraisemblablement de wustite (FeO) ou de magnétite (Fe_3O_4), témoignant de petites pertes métalliques lors du travail de forge. Ces billes mesurent majoritairement entre 5 et 10 µm, mais quelques exemplaires plus grands (jusqu'à 100 µm) ont été observés. Les oxydes sont particulièrement concentrés autour des porosités.

La morphologie en feuillets des produits d'oxydation est caractéristique d'une corrosion environnementale lors de l'enfouissement, postérieure à la fabrication, bien que des indices ponctuels de corrosion à chaud soient également présents. Un fragment de charbon a été observé, avec des vaisseaux médullaires bien conservés.

La forte présence de pertes métalliques suggère un travail de forge moins maîtrisé.

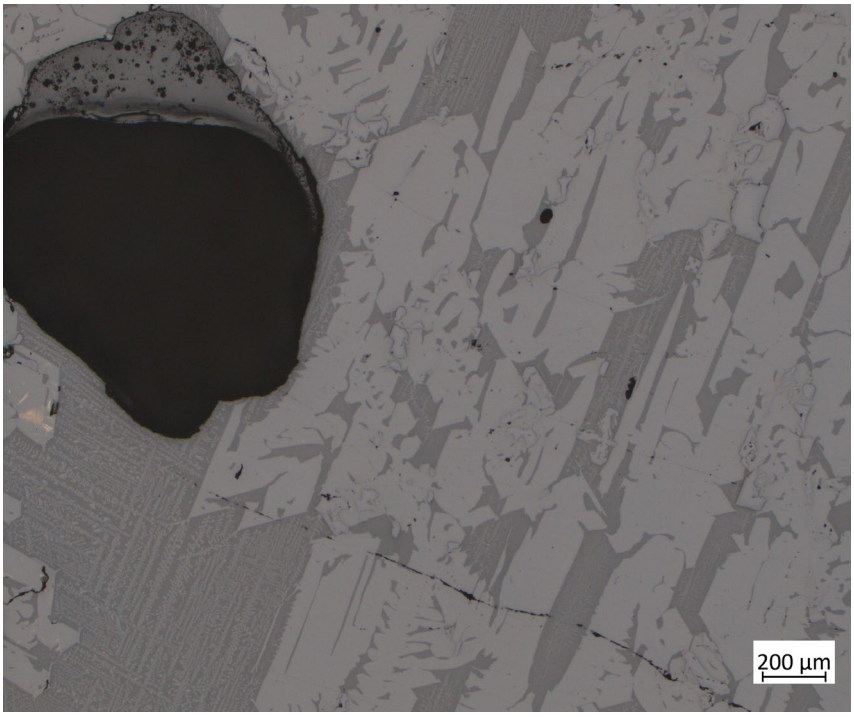

Figure 1 : matrice dominante. Olivine cristallisant sous forme de grandes lattes avec d'autres minéraux non-identifiables.

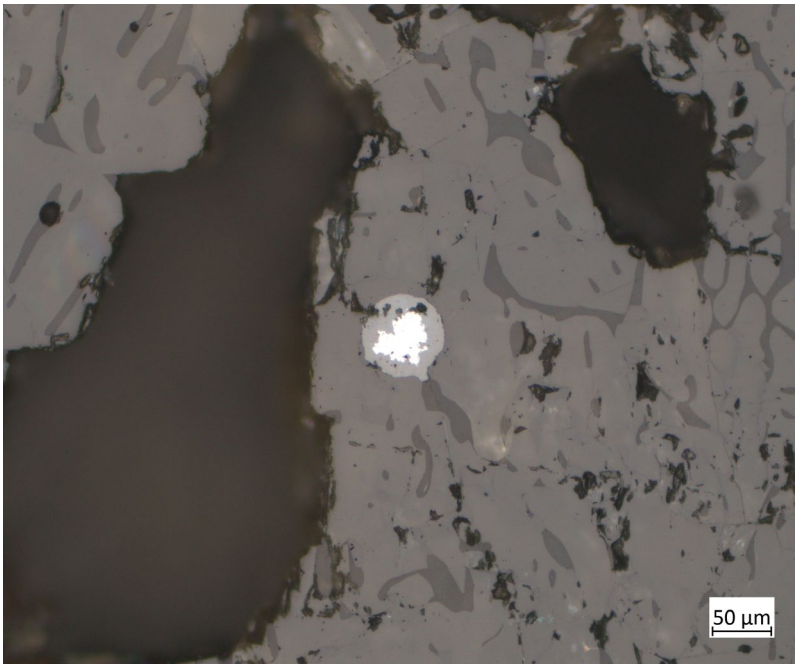

Figure 2 : inclusion métallique en cours d'oxydation lors du piégeage

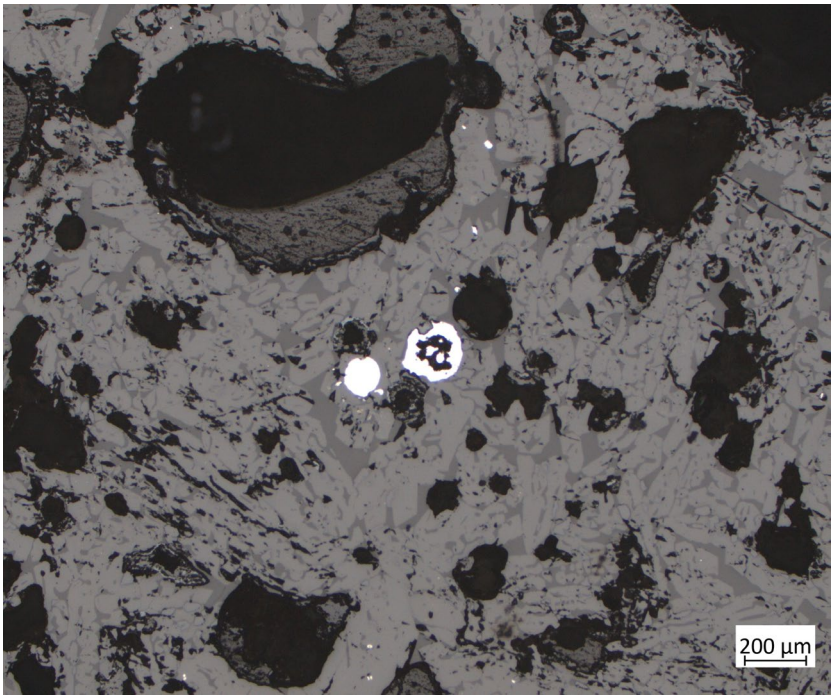

Figure 3 : autres inclusions métalliques, petites parcelles métalliques.

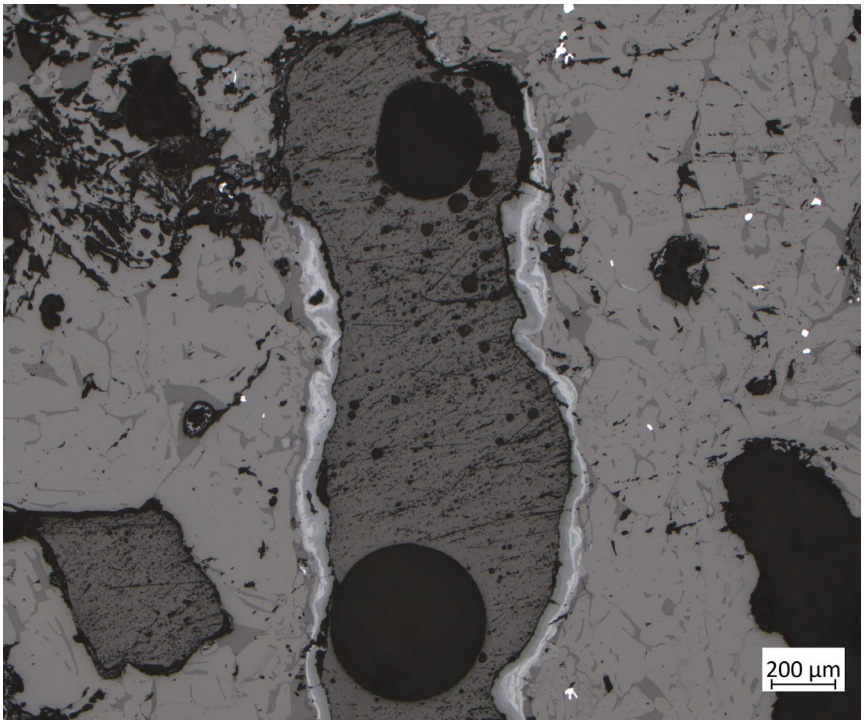

Figure 4 : filaments d'oxydes, développement de feuillets d'oxydation autour des porosités

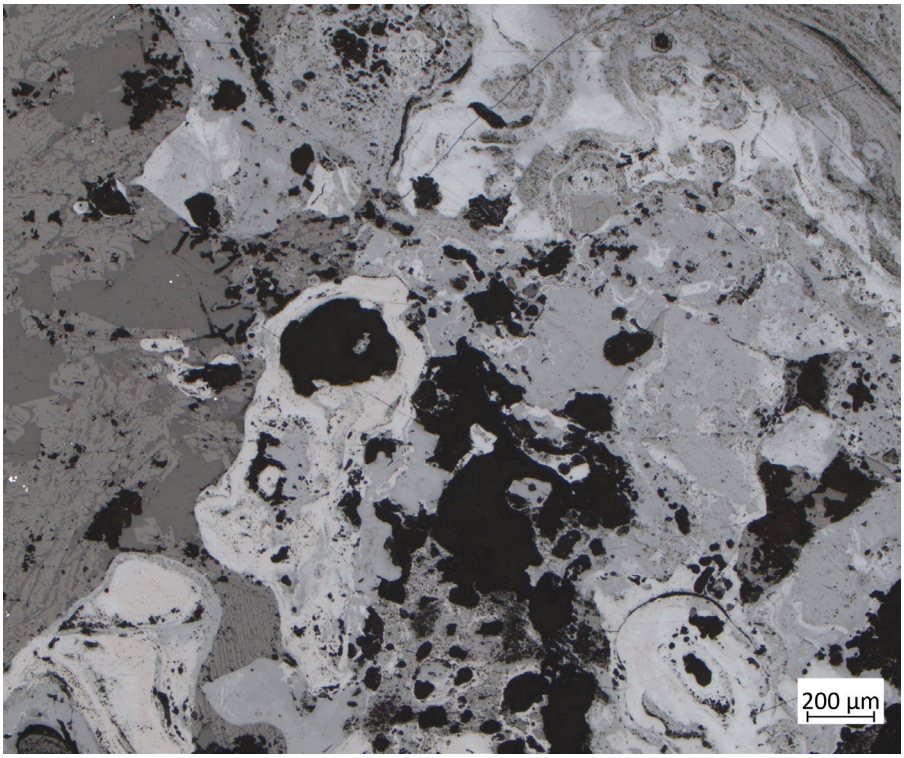

Figure 5 : oxydation à chaud.

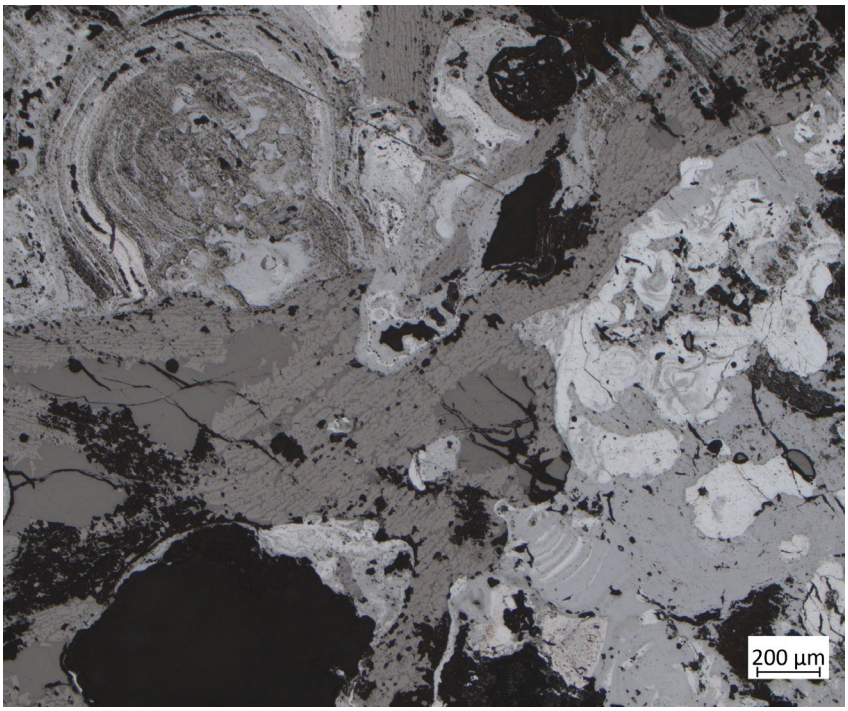

Figure 6 : filaments d'oxydation.

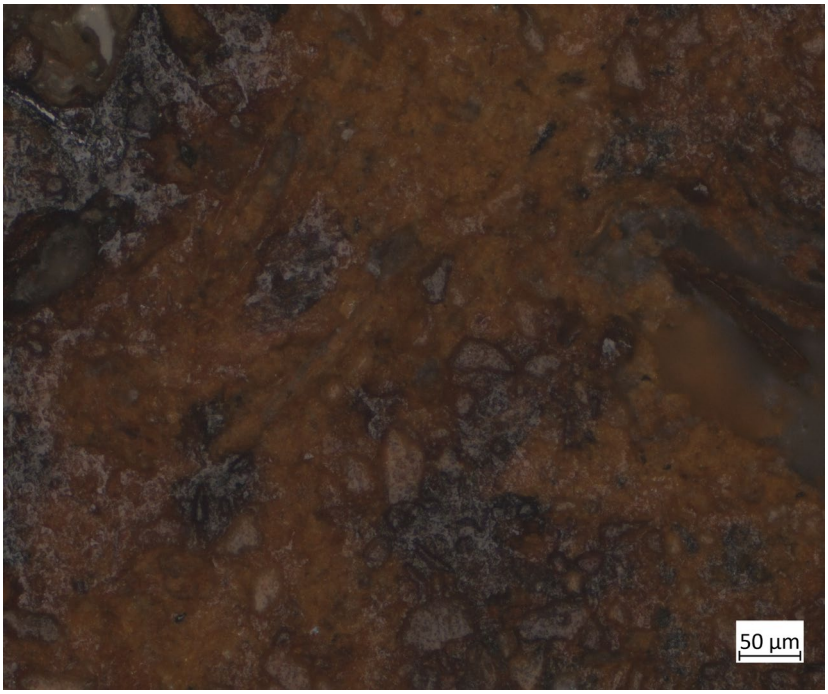

Figure 7 : élément rougeâtre non identifié.

STV 05/1845/009

Ce second échantillon présente une morphologie très différente. Il est moins dense, avec de nombreuses lacunes et microfissures, mais contient davantage de métal que le précédent. Comme pour STV 94/1618, on observe des cristaux en lattes, identifiés comme de la fayalite. Certaines de ces lattes présentent une forme squelettique, typique d'un stade précoce de cristallisation.

La matrice est parcourue par un réseau de filaments métalliques corrodés. Des fragments métalliques de taille plus importante sont également présents, bien que partiellement dégradés. Deux gros fragments de charbon ont été identifiés, dont l'un présente des rayons de parenchyme bien visibles.

Un globule métallique avec porosité centrale a également été observé, suggérant une désintégration partielle. Les pertes métalliques sont ici plus importantes que dans le précédent échantillon et réparties sur l'ensemble de la section.

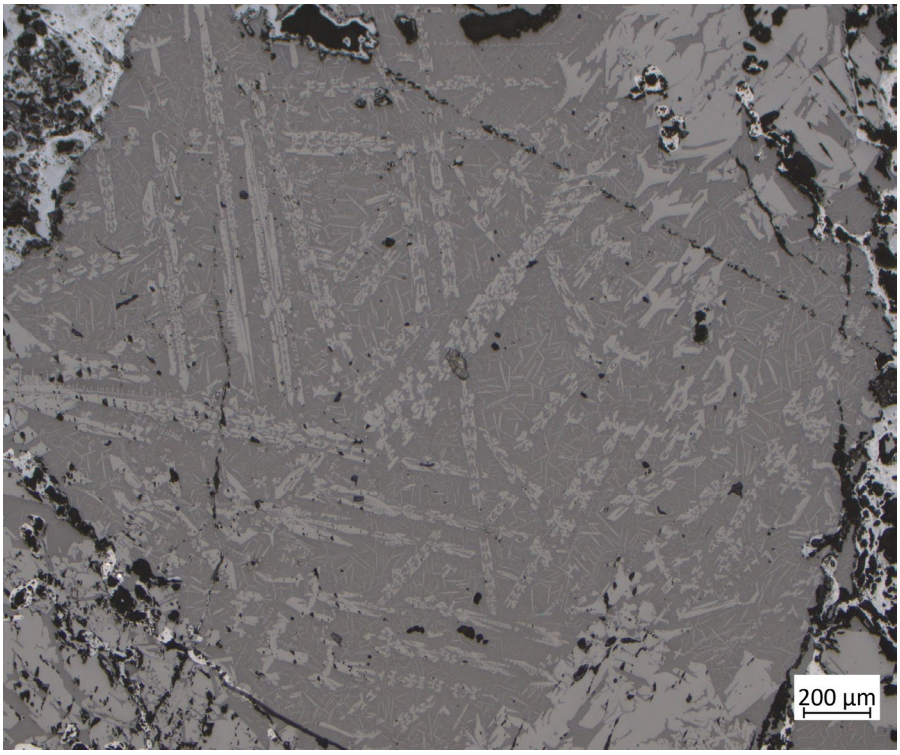

Figure 8 : lattes squelettiques en cours de transformation en grandes lattes.

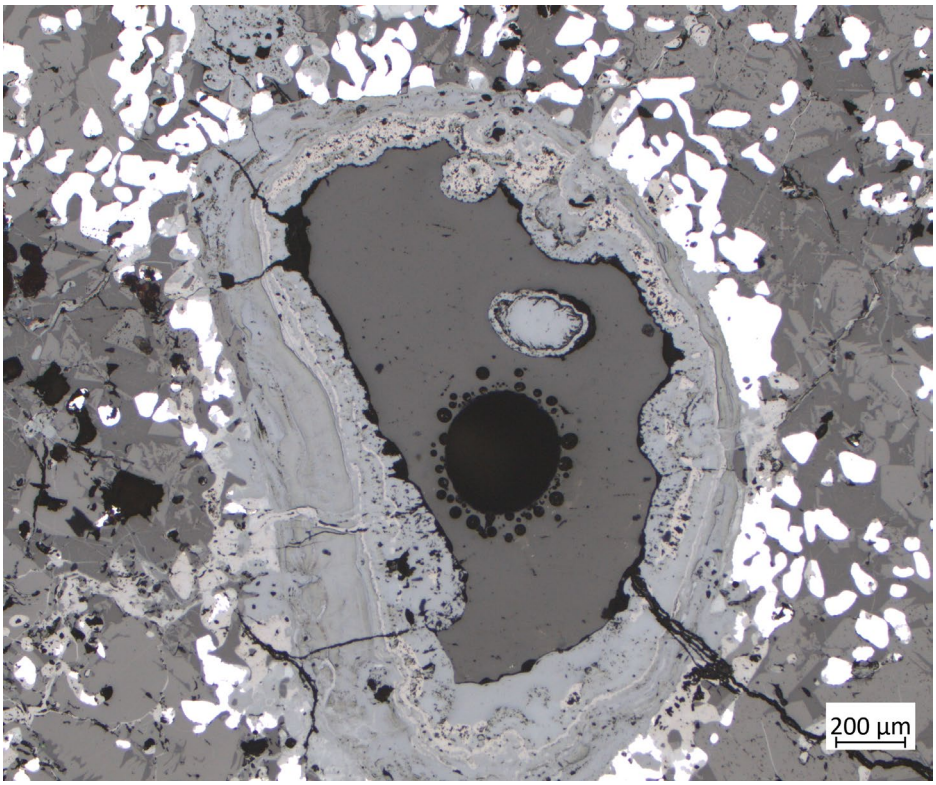

Figure 9 : fragment de métal en cours de désintégration avec porosité au centre.

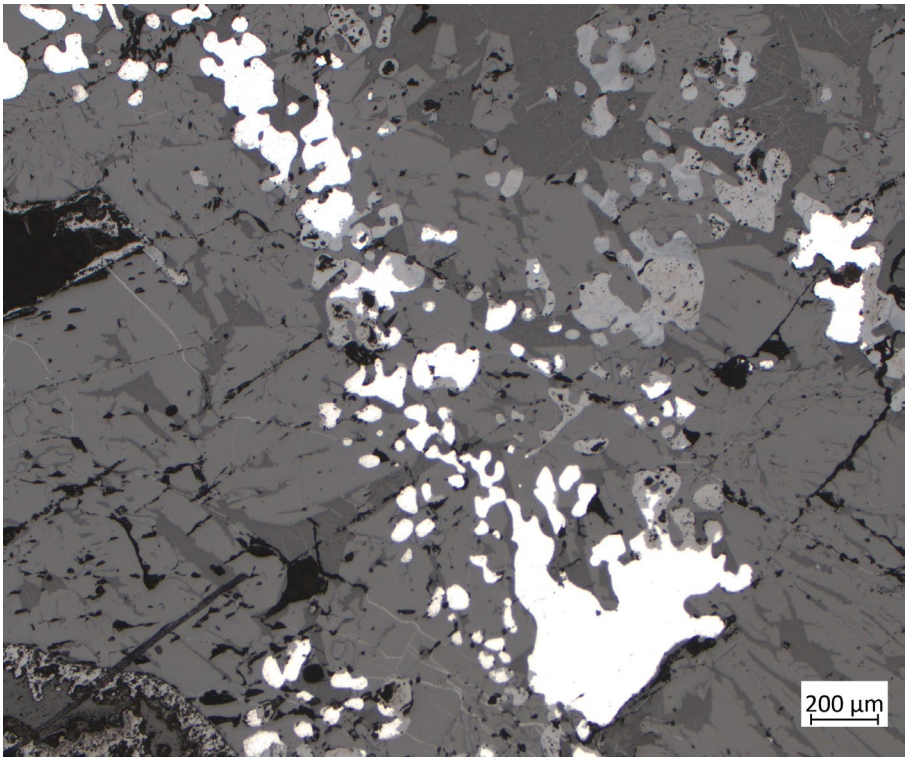

Figure 10: autre inclusion métallique en déstructuration

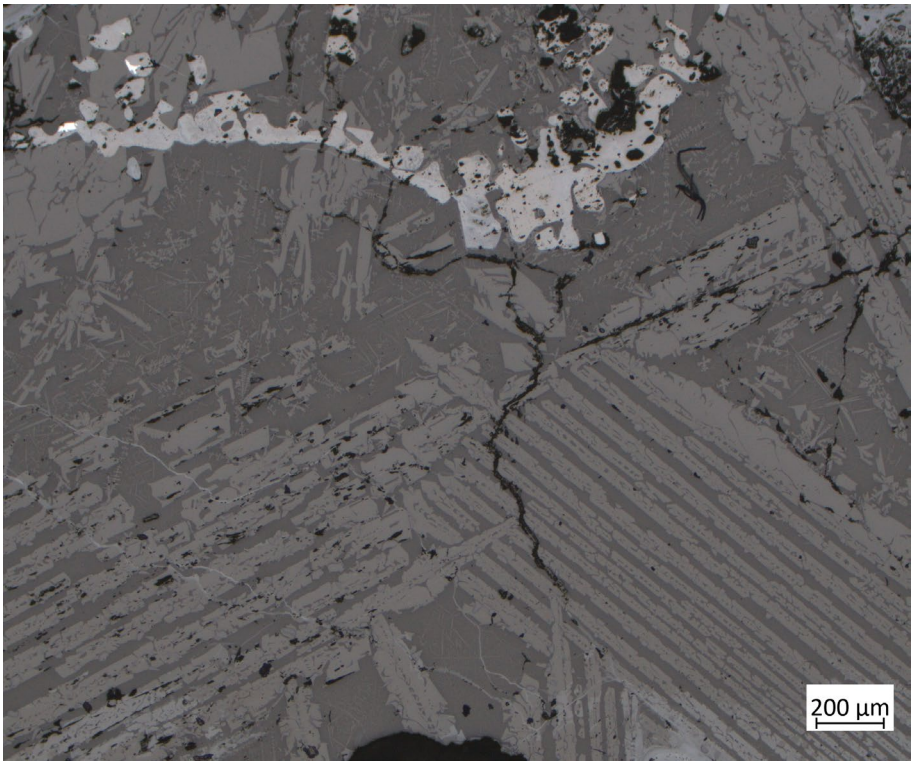

Figure 11: grandes lattes de fayalite.

STV 88/5323

Cet échantillon présente une structure très hétérogène. Le matériau de fond est faiblement cristallisé, proche d'un verre. Une portion importante de la pièce est grisâtre, très poreuse, avec de nombreuses bulles et de très petites inclusions métalliques.

Un semis de globules et de dendrites de fer est présent. Ce type de structure est souvent associé à de la wustite, possiblement issue d'un métal incomplètement réduit. Le réseau de dendrites est dense et bien formé. Certaines zones riches en fer ne semblent pas avoir été entièrement transformées en métal, ou pourraient correspondre à des reliques métalliques ayant réagi avec la matrice.

L'olivine, de type fayalite, est bien représentée, accompagnée de spinelles identifiés comme de la magnétite ou de l'hercynite. Des éléments susceptibles d'être de la leucite potassique ont également été repérés.

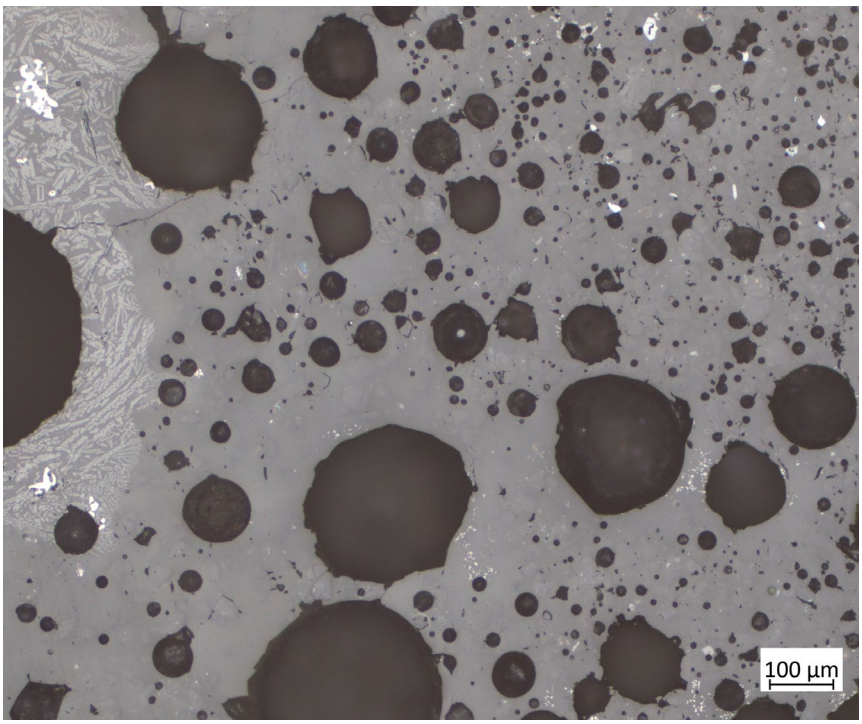

Figure 12: bulles et petites inclusions de métal.

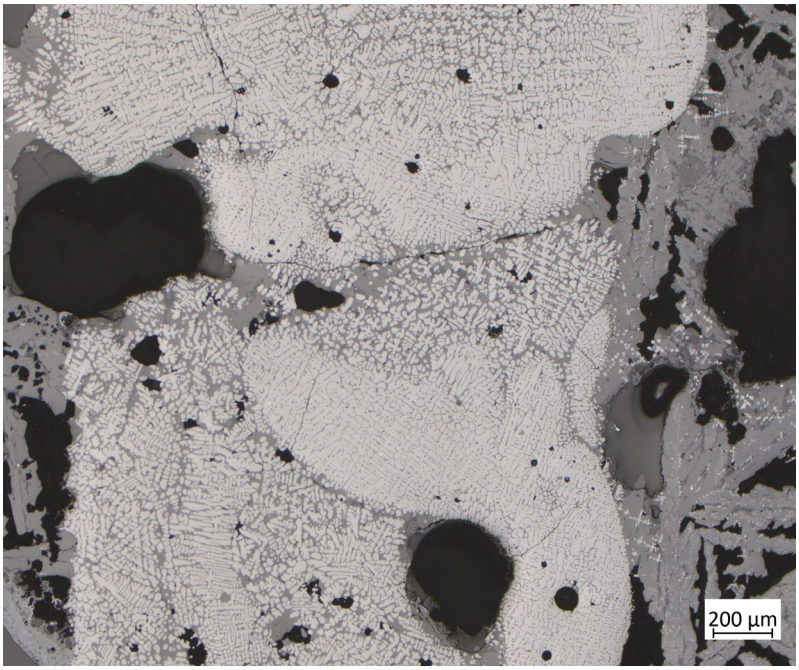

Figure 13: globule et dendrite de fer.

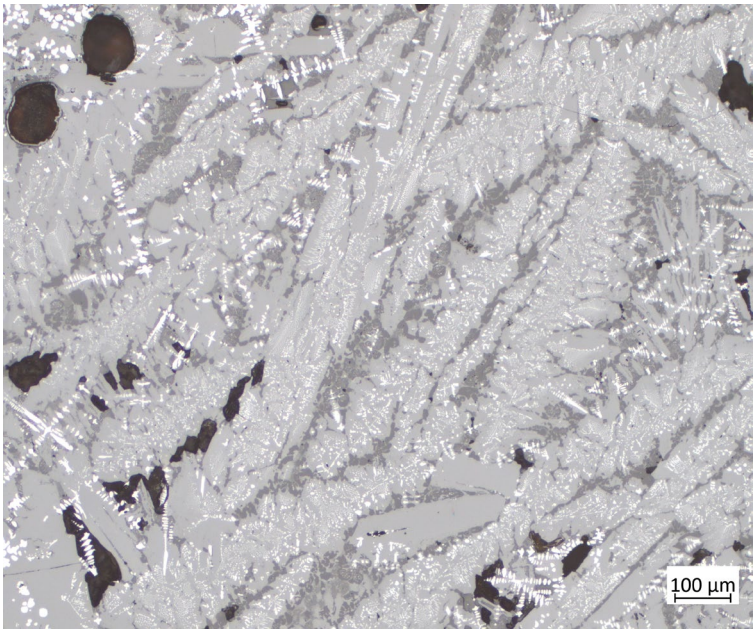

Figure 14: olivine et spinel.

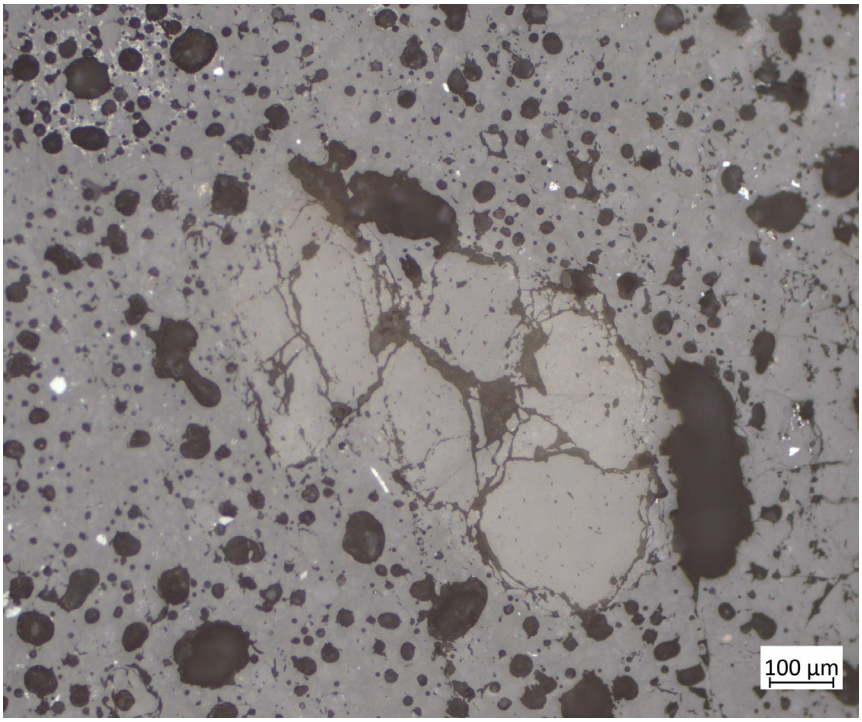

Figure 15: élément inconnu.

2. Scories de réduction ?

STV 94/1273

Cet échantillon présente une matrice saturée en wustite. On y observe des cristaux squelettiques bien développés. Un gradient net dans la transformation minéralogique est visible, avec des ruptures marquées entre différentes phases.

L'échantillon montre une interface entre une matrice fayalitique et une zone composée de lattes épaisses (olivine/fayalite), d'éléments amorphes, de cristaux squelettiques (probablement wustite ou magnétite), et d'inclusions pouvant correspondre à de la leucite. L'ensemble évoque une dynamique complexe de cristallisation et d'interactions chimiques au sein de la scorie.

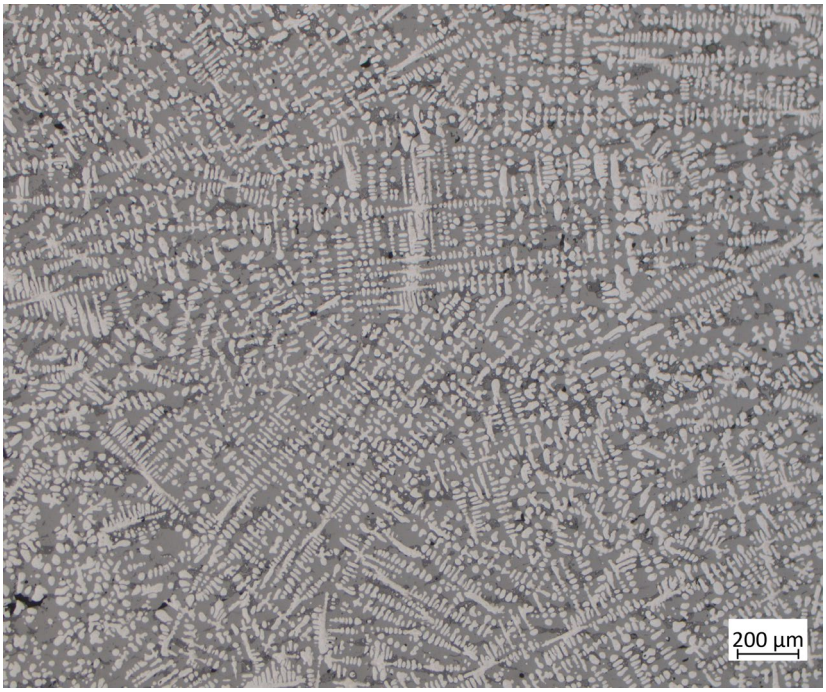

Figure 16: dendrites, bain saturé d’oxyde de fer.

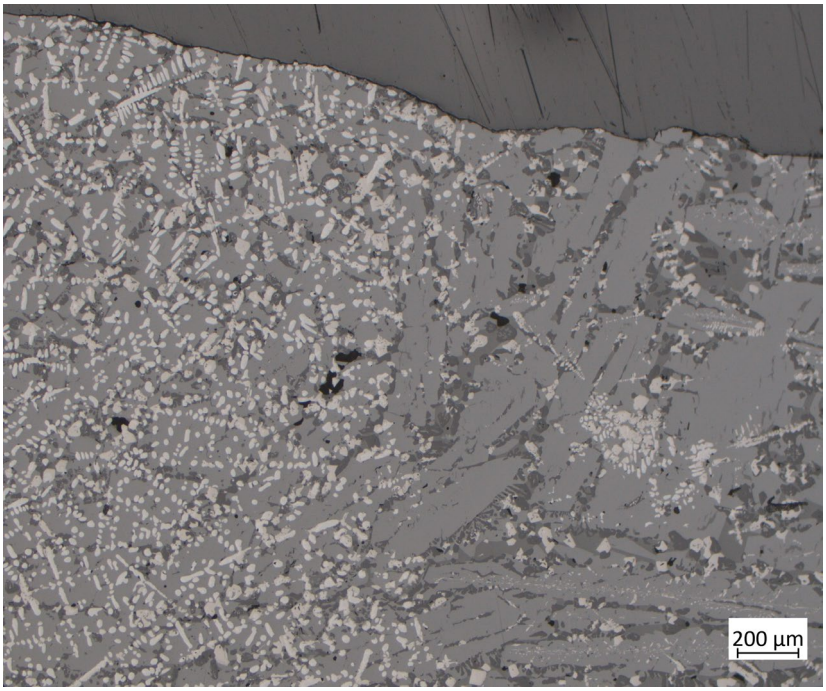

Figure 17: une bande intermédiaire.

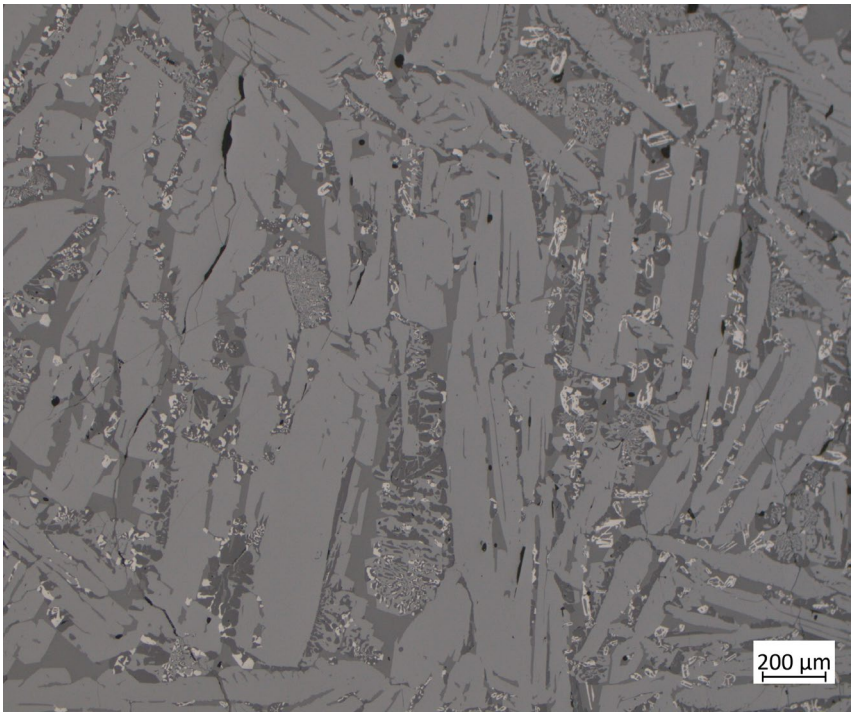

Figure 18: interface avec la matrice falayitique.

STV 93/2173

Cette scorie, également de type fayalitique, présente un réseau cristallin très régulier. Une portion de l'échantillon présente une matrice silicatée où les lattes n'ont que peu évolué, suggérant un développement partiel de la cristallisation.

De très petits nodules métalliques sont observés, mais ils restent rares. Les porosités ont été comblées par des produits de corrosion postérieurs à la fabrication, et certains éléments intrusifs ont pénétré dans ces vides. Une fissure est visible dans la masse, comblée soit par des produits de corrosion, soit par un filament métallique oxydé.

Un liseré périphérique a été observé, formé durant la chauffe : un mince feuillet métallique s'est développé en surface avant d'être réoxydé, probablement lors du refroidissement ou en raison d'une atmosphère oxydante.

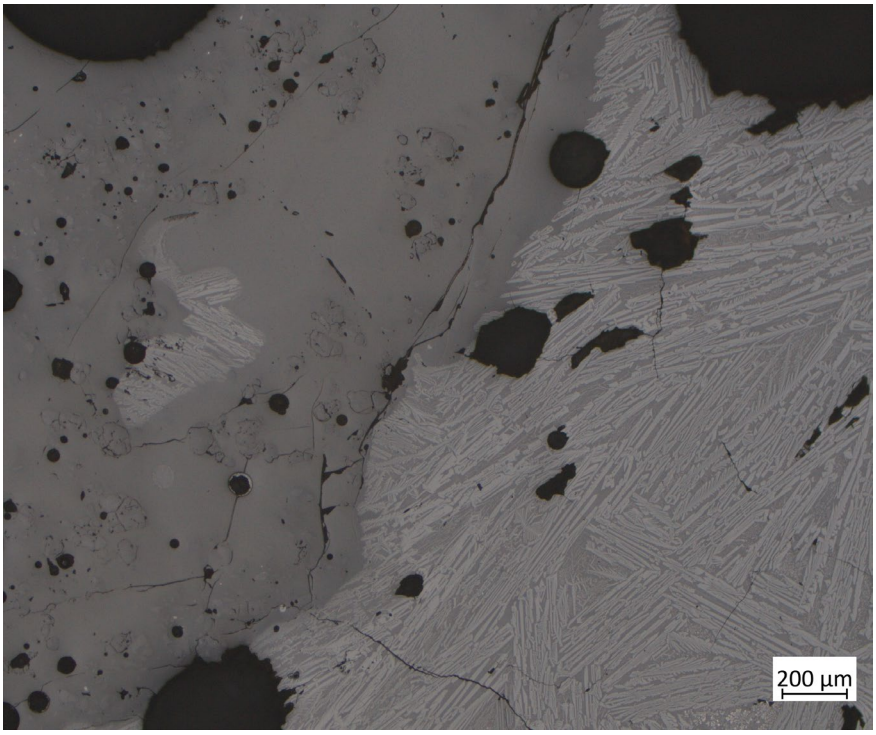

Figure 19: transition, rupture entre la phase siliceuse et la phase fayalitique.

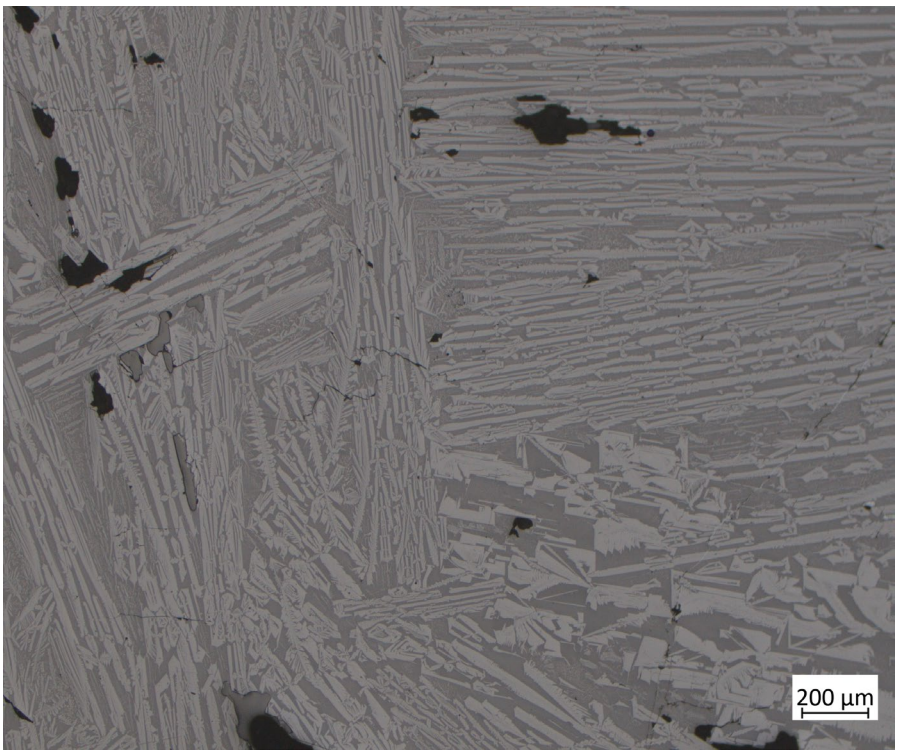

Figure 20: lattis fayalitique.

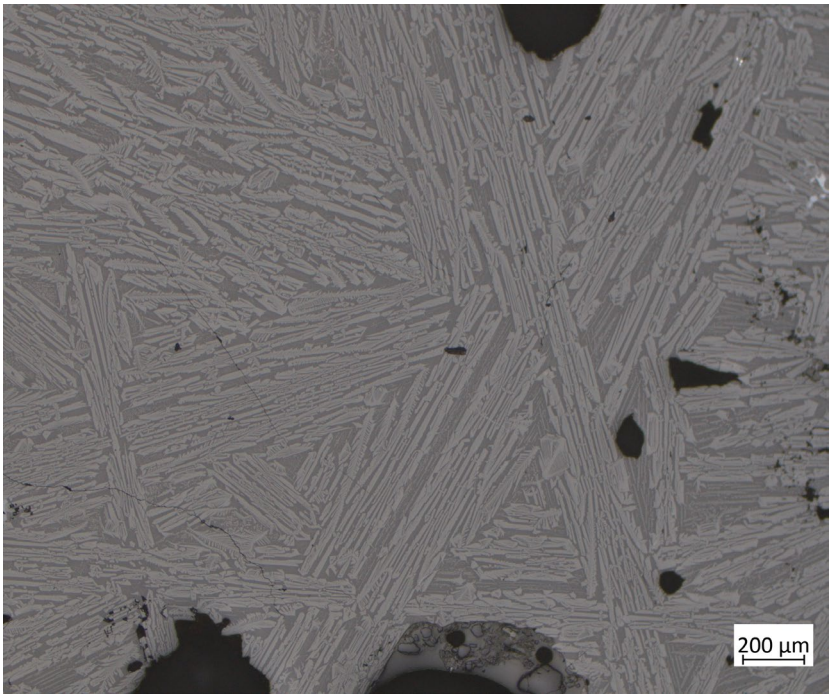

Figure 21: lattis fayalitique.

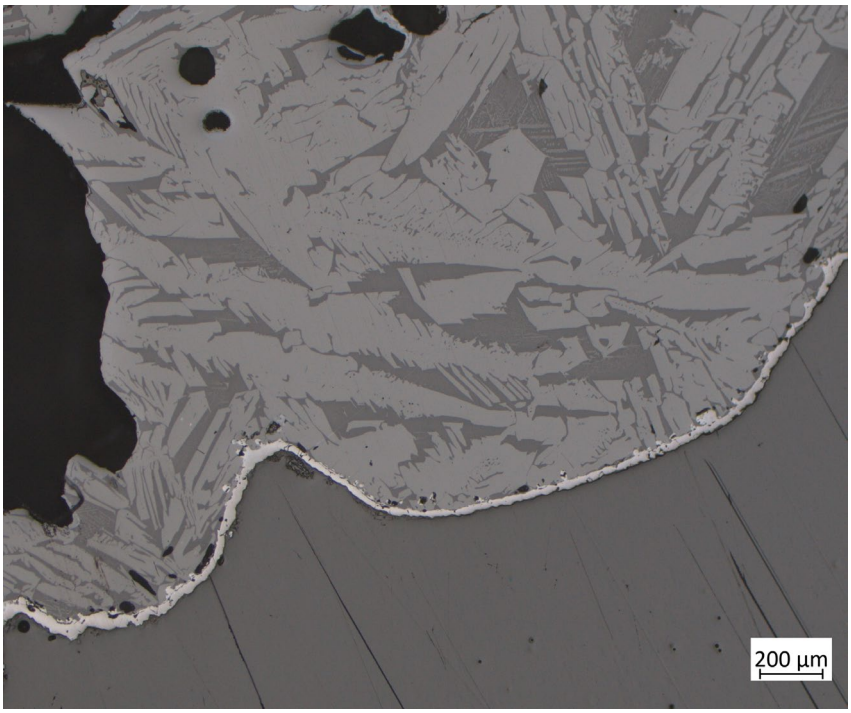

Figure 22: liseré de wustite réoxydé en surface.

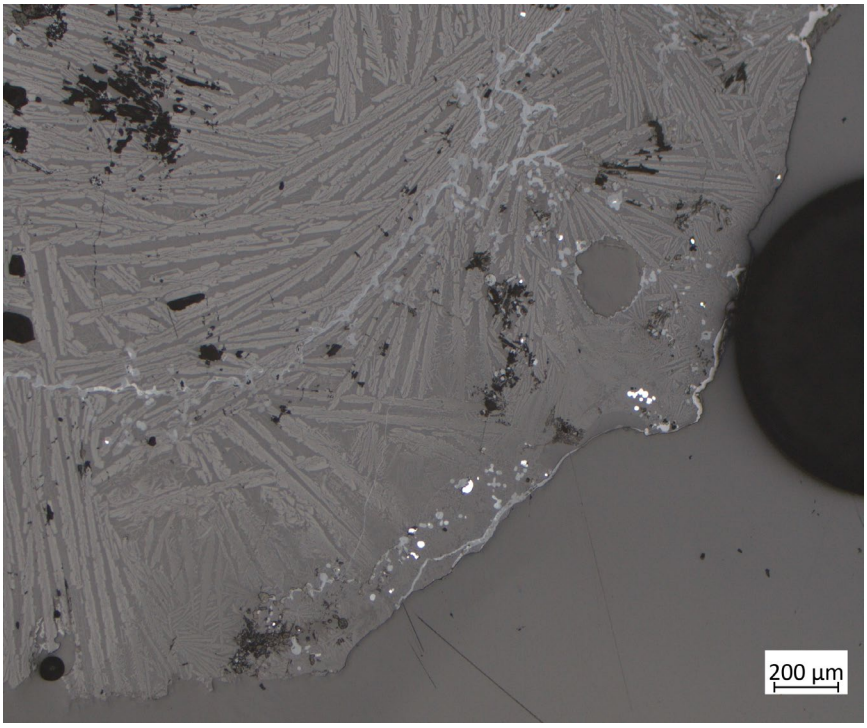

Figure 23 : microbilles de métal et filament de métal corrodé.

3. Objets métalliques

STV 94/1618 (clou)

Cet objet est majoritairement composé de ferrite, forme alpha du fer, visible sous forme de grains équiaxes de 20 à 60 µm. La structure indique un refroidissement relativement rapide à l'air, qui a permis un développement libre mais limité des grains.

Deux zones présentent une carburation intense, jusqu'à la perlite pure (eutectoïde), localisées en surface, probablement issues d'une carburation accidentelle dans le foyer de forge. Un gradient de carburation est visible, avec des grains plus allongés vers la perlite, évoquant une structure de type Widmanstätten dans certains cas. Une ségrégation locale du carbone est observée, provoquant l'alternance de zones riches en ferrite et d'autres enrichies en perlite.

Aucun indice net de soudure n'est visible, bien qu'une ligne d'inclusions pourrait suggérer un repli ou une soudure imparfaite (« gueule de loup »). Les inclusions sont nombreuses, parfois interprétables comme de la lustite (FeO). Certaines inclusions non métalliques allongées indiquent une déformation orientée par le travail du métal. Leur morphologie varie entre allongée et trapue ; elles mesurent généralement entre 100 et 200 µm, quelques-unes atteignant 1 mm.

Une fissure comblée de produits de corrosion et d'éléments exogènes dont du quartz est présente à l'opposé de la tête du clou. La structure générale témoigne d'un martelage limité et d'un enrichissement carboné non maîtrisé.

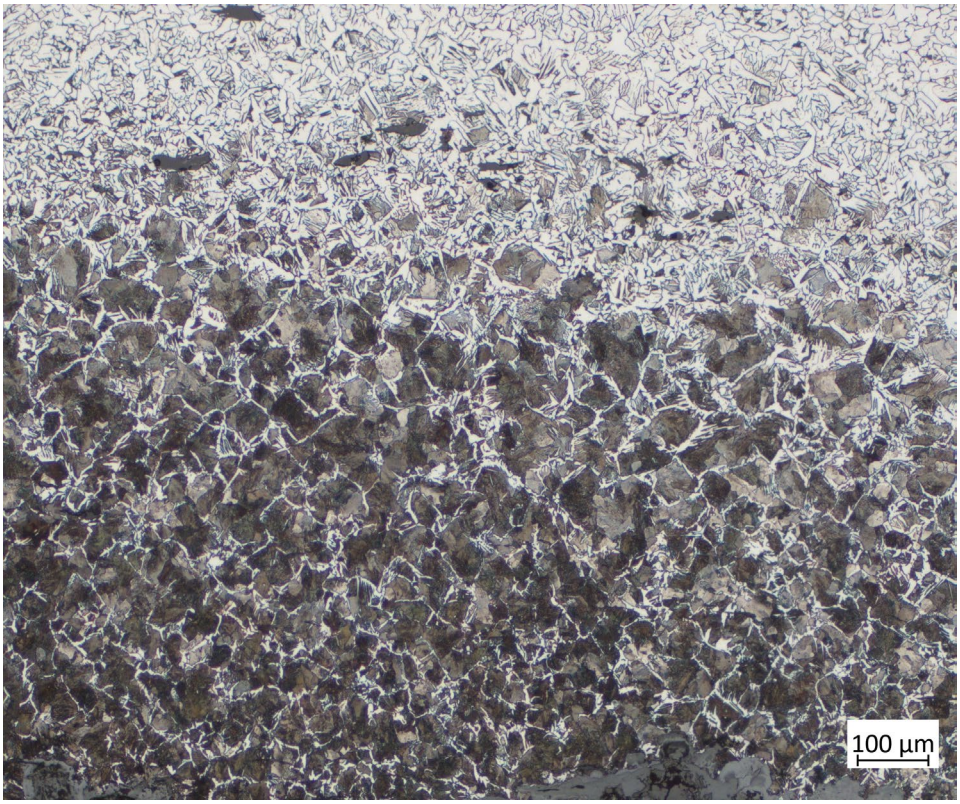

Figure 24: gradient de carburation grains plus allongés vers quelque chose de plus eutectoïde.

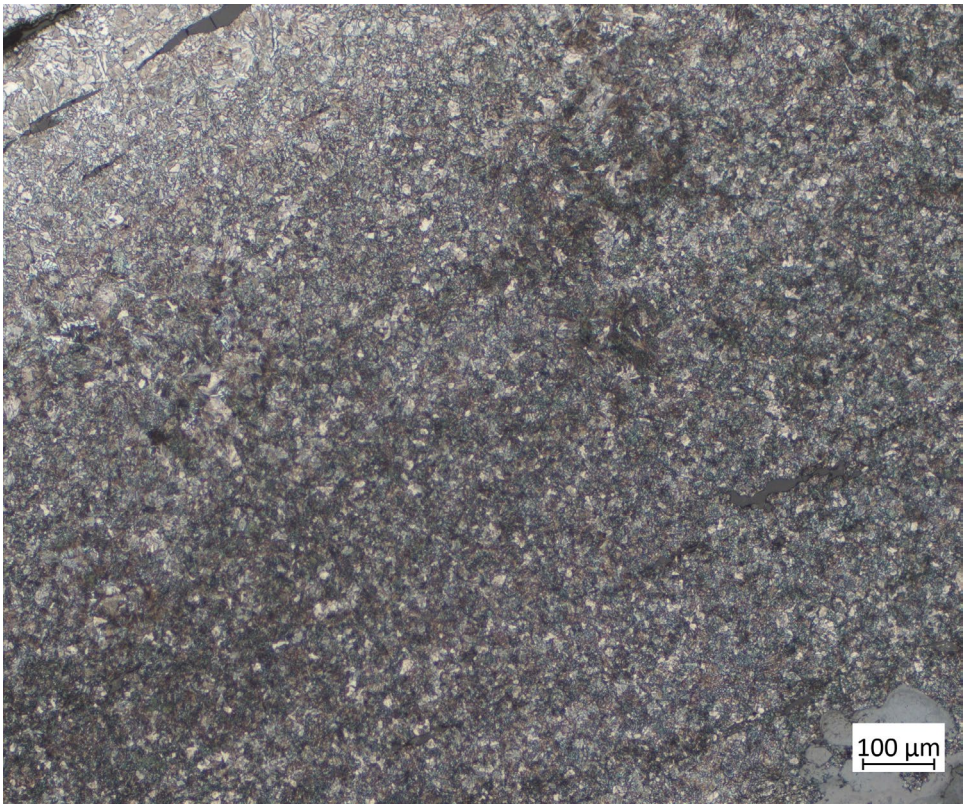

Figure 25: zone de carburation avec formation de perlite pure.

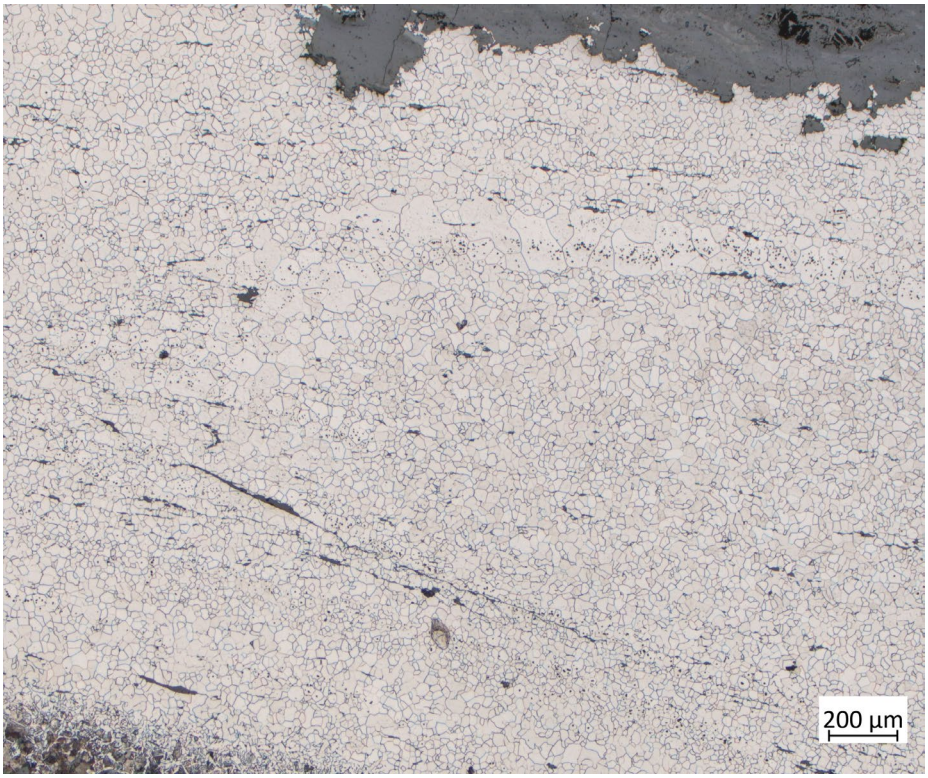

Figure 26: ligne correspondant peut-être à un repli.

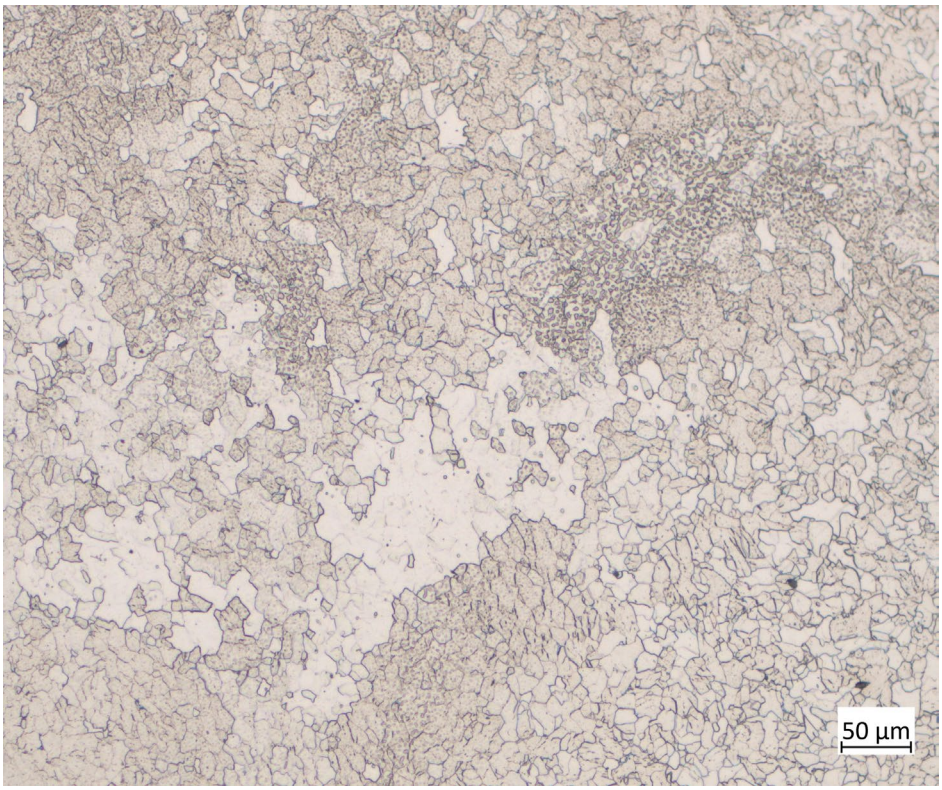

Figure 27: grains plus grands dans la matrice sans doute dus à une différence chimique.

STV 88/5364 (tôle ?)

L'échantillon présente une microstructure d'acier hyperéutectoïde, caractérisé par une sursaturation en carbone. Cette composition induit la formation de cémentite (Fe_3C) sous forme de cristaux blancs et d'aiguilles longues, en raison de l'impossibilité de constituer la structure eutectoïde normale. La matrice est constituée de perlite et de cémentite en feuillets.

La pièce montre localement des surfaces planes suggérant un martelage. Toutefois, la forte teneur en carbone la rend probablement impropre au forgeage, ce qui pourrait expliquer son abandon.

La formation d'un tel acier hyperéutectoïde est vraisemblablement accidentelle : il pourrait s'agir d'un produit issu d'une phase de réduction mal contrôlée, ou d'un résidu de forge.

Des porosités à contours arrondis (bulles de gaz) sont nombreuses, suggérant un état pâteux ou semi-liquide au moment de la formation. Certaines porosités sont comblées par des produits de corrosion. Des éléments évoquant du graphite, analogues à ceux rencontrés dans la fonte grise, ont été observés.

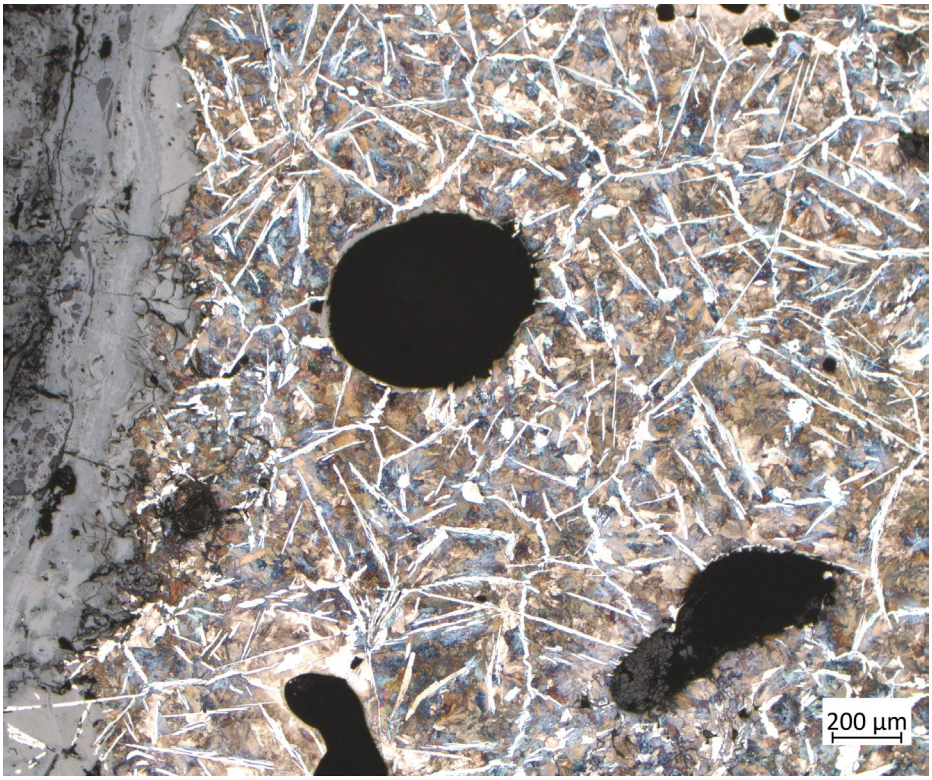

Figure 28: porosité ronde.

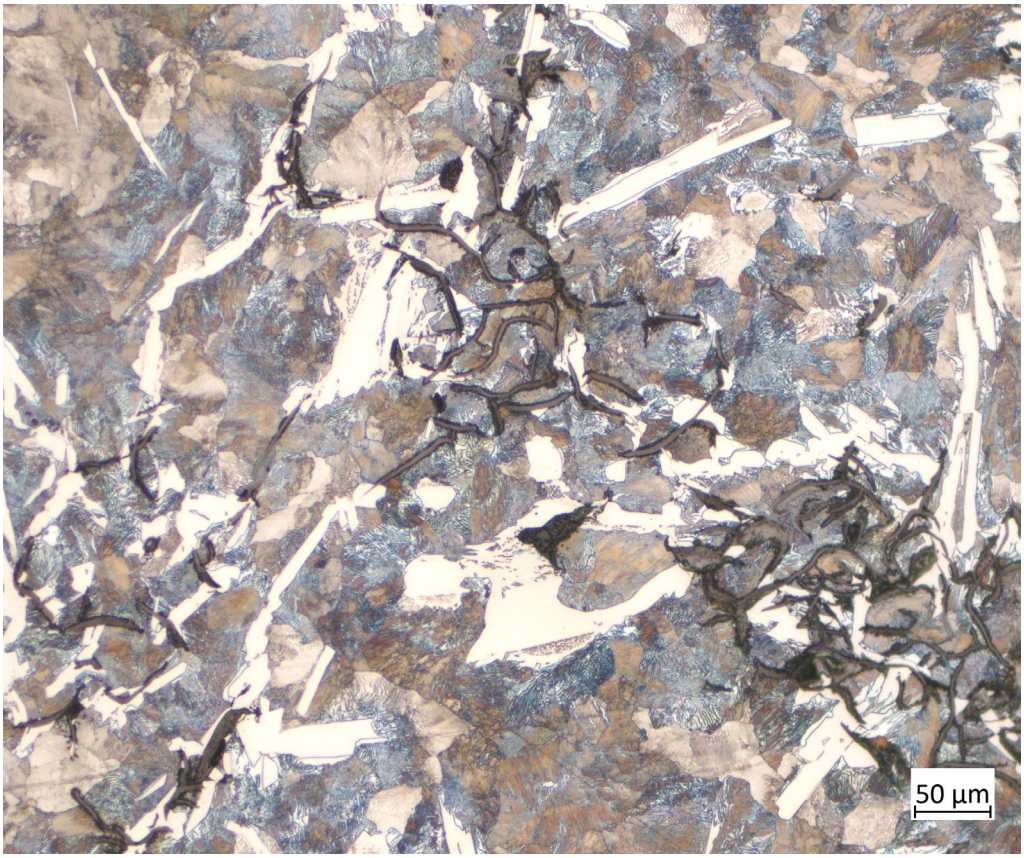

Figure 29: pseudo lamelles de graphite et microstructure type.

STV 96/21 (long clou)

Cet échantillon se compose majoritairement de ferrite équiaxe, avec des grains de 50 à 500 µm, la majorité autour de 200 µm, ce qui indique un refroidissement lent. La structure est homogène et régulière.

Cinq soudures ont été identifiées dans la pièce. Les zones soudées sont nettes, sans discontinuité majeure, suggérant une bonne maîtrise du geste technique.

Les inclusions sont nombreuses, allongées et visiblement déformées par le travail de forge. Leur largeur ne dépasse pas 10 µm. L'ensemble du clou témoigne d'un assemblage soigné, sans défauts majeurs visibles dans la masse.

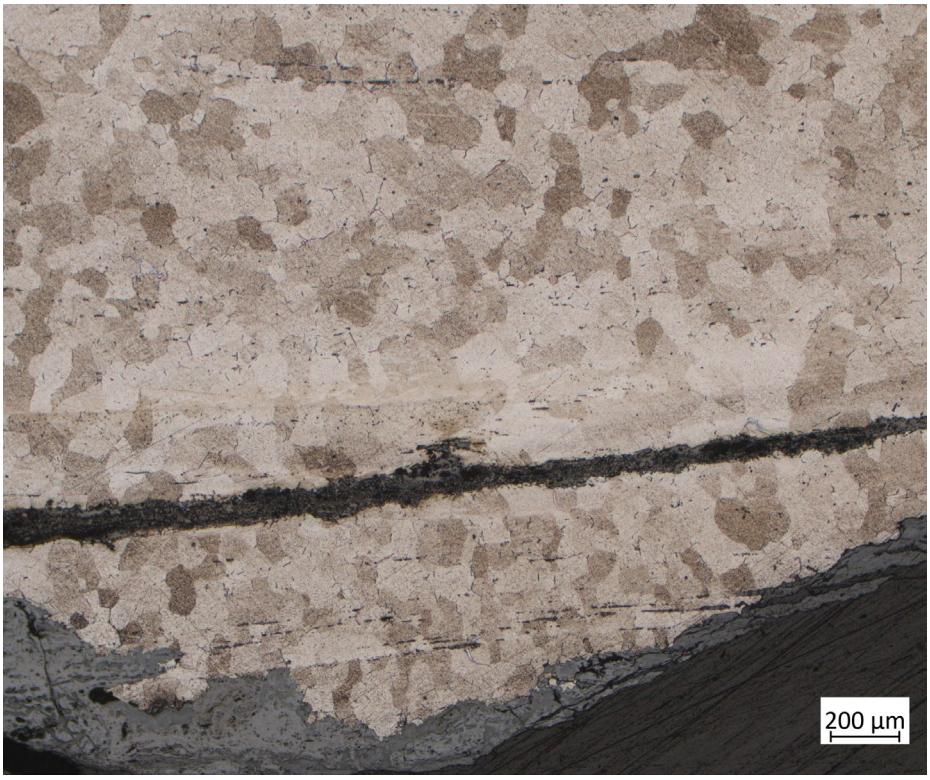

Figure 30: ferrite.

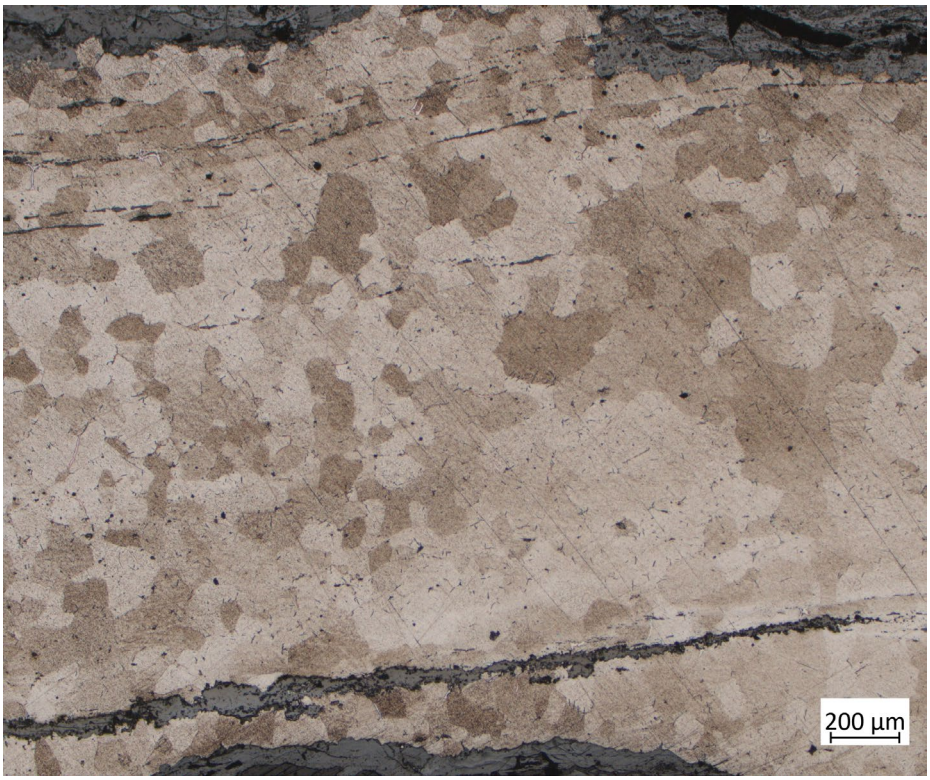

Figure 31: soudure.

Photo 3 : soudure.

STV 96/21 (clou)

Ce clou montre une ligne plus claire, interprétée comme une soudure. L'objet est composé de ferrite, avec une bande centrale d'acier hypoeutectoïde faiblement carburé. Des lignes noires marquées par des grains très fins de perlite traversent cette bande.

La carburation semble liée au processus de soudure : elle aurait eu lieu lors des chauffes préalables au soudage. Cette variation locale de composition suggère une hétérogénéité volontaire ou accidentelle dans la mise en forme de l'objet.

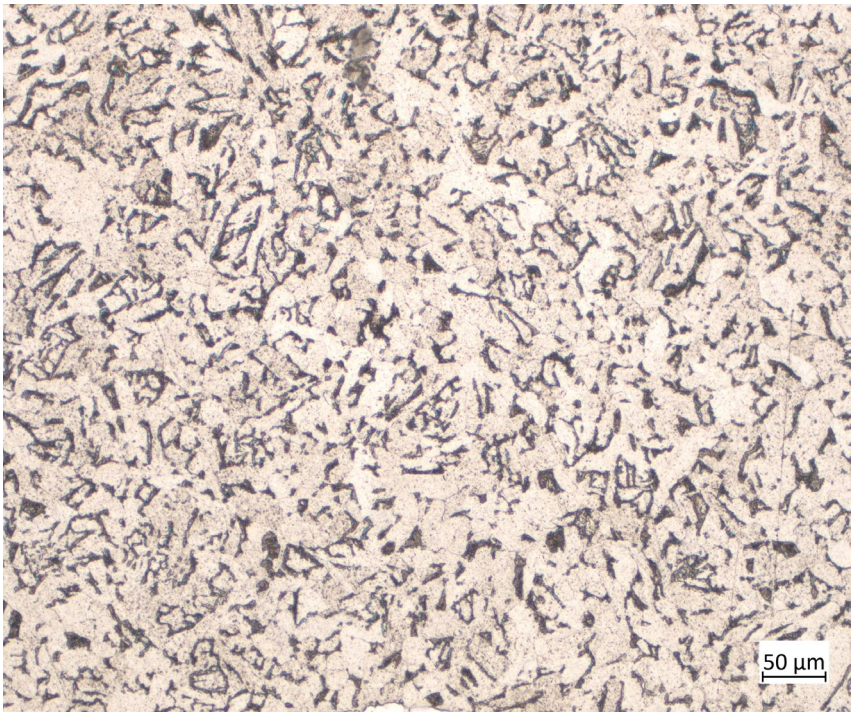

Figure 32: lignes noires avec tous petits grains de perlite.

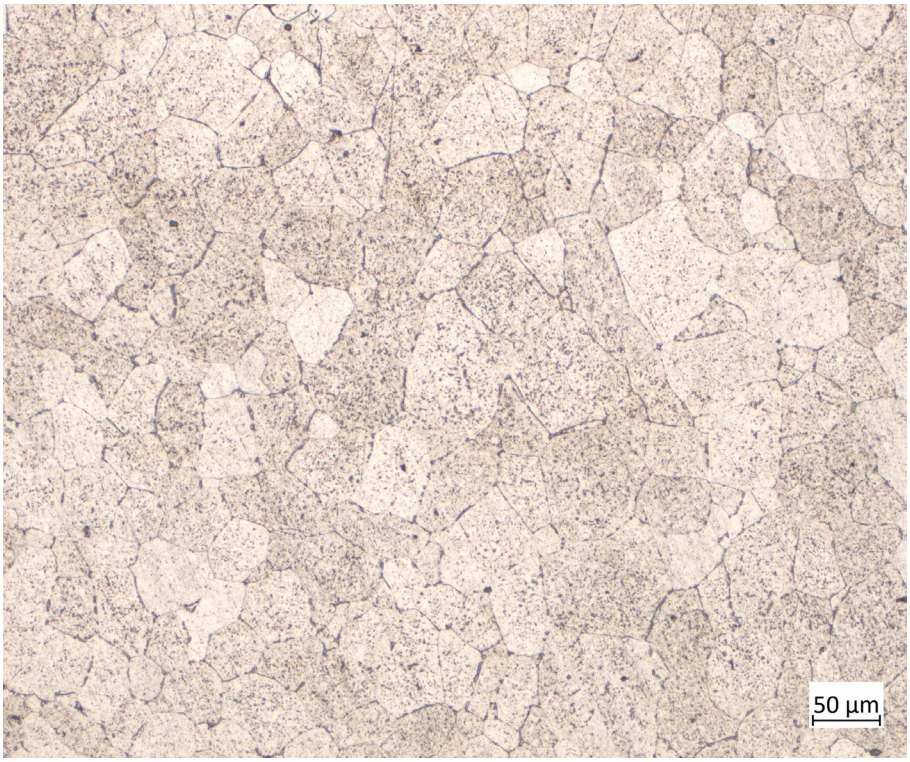

Figure 33: ferrite.

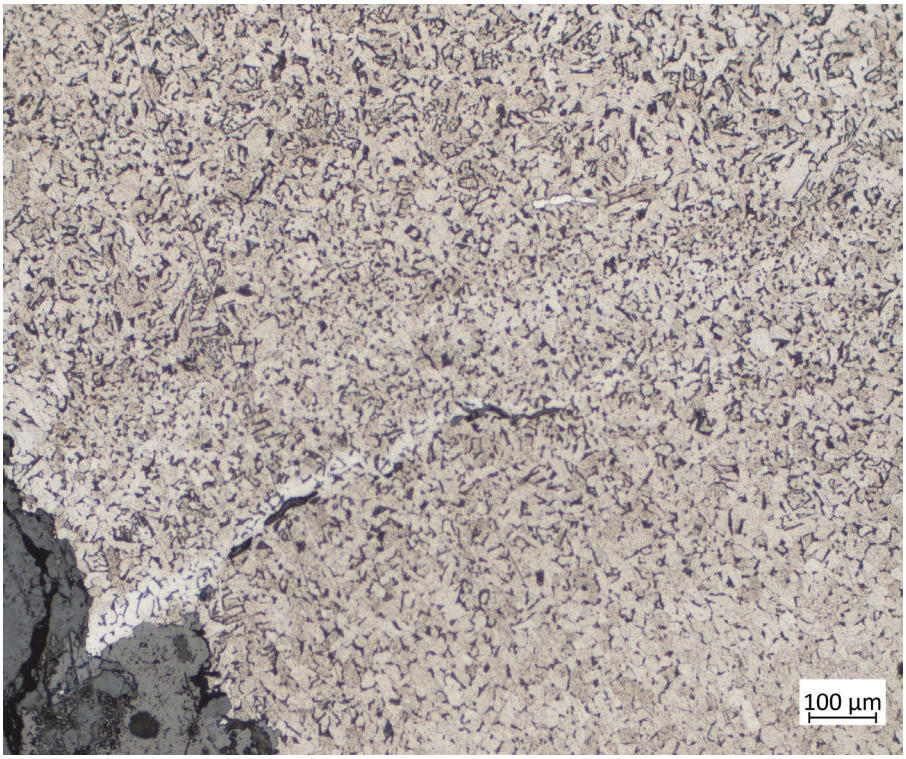

Figure 34: soudure.

STV 94/1618 (plaquette)

Il présente une structure typique d'acier eutectoïde. L'aspect feuilleté de la microstructure pourrait être dû à une teneur en phosphore. Néanmoins, l'échantillon a été fortement rayé et doit subir un nouveau polissage.

Résultats des analyses MEB

Annexes : données élémentaires MEB-EDS

Id	Categorie	Surface	Largeur	Longueur	X	Y	O	O_Sigma	Na	Na_Sigma	Mg	Mg_Sigma	Al	Al_Sigma	Si	Si_Sigma	P	P_Sigma	S	S_Sigma	Cl	Cl_Sigma	K	K_Sigma	Ca	Ca_Sigma	Ti	Ti_Sigma	V	V_Sigma	Cr	Cr_Sigma	Mn	Mn_Sigma	Fe	Fe_Sigma
477	Classe 1	Classe sf	70.69144	5.52138	23.71446	-15.185	12.8915	11.70817	0.386979	0	0.096285	0.284219	0.07551	1.520336	0.080862	6.017367	0.106466	3.48302	0.094919	0.539973	0.06126	0	0.055342	0.742355	0.060088	0.941213	0.070798	0	0.077054	0	0.082118	0	0.087127	0	0.123838	74.76335	0.382842
480	Classe 1	Classe sf	105.3349	11.43282	20.3923	-14.8593	12.90925	13.4039	0.409456	0	0.095878	0.285854	0.075586	1.453879	0.080992	6.556715	0.110481	4.168259	0.099048	0.34508	0.060576	0	0.05467	0.822586	0.067105	1.839316	0.078529	0	0.076913	0	0.084119	0	0.0856	0	0.122305	71.1244	0.393333
496	Classe 1	Classe sf	71.62755	6.468999	20.57517	-17.1786	13.10331	13.57886	0.567592	0	0.14772	0	0.109479	0.791834	0.106192	4.147914	0.134582	2.427885	0.119196	0.174552	0.080463	0	0.075941	0.7339	0.093251	1.397678	0.106431	0	0.107391	0	0.1163	0	0.120191	0	0.171884	76.75047	0.562584
497	Classe 1	Classe sf	296.1862	12.271	53.96687	-17.2351	13.12224	13.52268	0.644992	0	0.176044	0	0.130136	0.594631	0.120557	3.316014	0.143287	1.717429	0.12781	0	0.091232	0	0.087091	0.447526	0.10945	0.957053	0.113217	0	0.121656	0	0.131206	0	0.139831	0	0.20121	79.44466	0.646163
500	Classe 1	Classe sf	60.70412	7.063615	13.18484	-17.3971	13.22329	15.3575	0.502777	0	0.12792	0.24448	0.095364	0.620782	0.089673	3.472491	0.113912	4.701572	0.127009	0.225994	0.072598	0	0.06927	0.577118	0.081346	1.742023	0.097733	0	0.095878	0	0.10304	0	0.10926	0	0.152546	73.05804	0.495708
502	Classe 1	Classe sf	66.32199	5.750353	20.13053	-16.9164	13.23124	12.69405	0.418007	0	0.099788	0.207633	0.075485	1.159742	0.078506	5.902866	0.107686	4.840588	0.104695	0.3467	0.061801	0	0.055385	1.548158	0.075248	1.678682	0.07992	0	0.07876	0	0.085691	0.187456	0.09064	0	0.124659	71.43413	0.405544
505	Classe 1	Classe sf	68.35066	8.059244	14.26987	-16.6028	13.07819	13.47421	0.377069	0	0.103234	0	0.077893	0.271445	0.069555	1.244755	0.073428	3.321388	0.091343	0.295738	0.062076	0	0.055584	0	0.059982	0.655651	0.068275	0	0.076417	0	0.083065	0	0.084577	0	0.122485	80.73681	0.383477
511	Classe 1	Classe sf	114.698	8.46979	23.31916	-15.9872	13.16444	13.91241	0.361836	0	0.101112	0.190679	0.076661	0.405072	0.069645	1.687576	0.075244	2.011601	0.072267	0.190717	0.056122	0	0.054656	0.132039	0.059295	0.49104	0.066251	0	0.075081	0	0.081745	0	0.083931	0	0.120534	81.77885	0.379357
512	Classe 1	Classe sf	61.64043	7.900677	11.6625	-15.3701	13.11509	13.5801	0.397066	0	0.09599	0.333518	0.073612	0.340466	0.067206	1.063869	0.070173	3.141804	0.087995	0.23145	0.059751	0	0.052714	0.886207	0.064724	0.607219	0.074259	0	0.073257	0	0.079236	0	0.081158	0	0.116284	81.39122	0.37

| | | |

Id	Classe	Surface âum²)	Largeur (µm)	Longueur (um	X plateline	Y plateline	O % masse	O % masse e	Na % masse	Na % masse e	Mg % masse	Mg % masse	Al % masse	Al % masse e	Si % masse	Si % masse e	P % masse	P % masse e	S % masse	S % masse e	Cl % masse	Cl % masse e	K % masse	K % masse e	Ca % masse	Ca % masse e	Ti % masse	Ti % masse e	V % masse	V % masse e	Cr % masse	Cr % masse e	Mn % masse	Mn % masse e	Fe % masse	Fe % masse e
20	Classe 1	4642.07091	47.3127894	149.780279	-11.7467	27.8407031	27.6819915	0.42538699	0	0.12097429	0	0.09076523	0	0.07710183	1.16676066	0.08034868	0.10394952	0.07311917	0.34425136	0.0819134	0	0.0683448	0	0.0728222	0.65305461	0.08026747	0	0.08875404	0	0.09449642	0	0.09802113	0.30795489	0.14563765	69.5400953	0.43969555
21	Classe 1	42531.2757	205.979494	360.062317	-11.8917	27.9184483	32.6754302	0.45766684	0	0.11179548	0	0.08516375	0.82403605	0.08475983	6.72302554	0.11262067	0.80841407	0.08877429	0	0.07324922	0.3548373	0.0688224	0	0.0846137	2.6319379	0.10128545	0	0.09062776	0	0.09924199	0	0.10113228	0	0.14207565	55.9823513	0.422137
33	Classe 1	120900.157	303.385988	505.636036	-12.53825	28.19725	31.2956512	0.42277272	0	0.10698623	0	0.08051649	0.54975962	0.07655272	5.68651133	0.10898	0.58187313	0.07174439	0.14440783	0.0636178	0	0.0620571	0	0.0688758	1.24147981	0.0801761	0	0.08178729	0	0.09214907	0	0.12456241	68.5002761	0.40983914
34	Classe 1	95461.839	303.385988	505.636036	-12.166	28.1975	31.7154467	0.42610024	0	0.10490774	0	0.07973029	0.70996326	0.07813729	5.5742349	0.11974866	0.71426373	0.07163195	0.16000136	0.0650953	0.13035412	0.0622784	0	0.0689205	1.18868819	0.07879739	0.20079878	0.08369087	0	0.09885658	0	0.09321887	0	0.1268944	57.5161231	0.4073624
35	Classe 1	8050.08472	101.400521	188.441962	-11.938542	28.1218822	32.1784228	0.47122985	0	0.12047539	0	0.09156183	0.75469186	0.08845216	5.38938871	0.11914117	0.74221534	0.08346246	0.21086824	0.08302367	0.55042403	0.0762581	0	0.0959093	2.42762137	0.10958448	0	0.09727087	0	0.10426651	0	0.11091157	0	0.15218243	57.7899396	0.45293868
59	Classe 1	65.2286246	8.92586751	12.4731483	-12.266535	28.6533833	16.4956803	0.38472196	0	0.10058841	0	0.07823935	0.53058113	0.07286369	2.38978908	0.08251366	2.75875218	0.08773526	0.15777751	0.85797529	0	0.0559106	0	0.05197924	0.46938676	0.06542307	0	0.07708127	0	0.08364146	0	0.0879142	1.48715451	0.14207728	75.7110319	0.39790708
84	Classe 1	32958.7508	196.322707	324.614937	-13.009449	29.2481858	24.7589424	0.40067308	0	0.10857453	0	0.07914661	0	0.06806544	1.84046386	0.07790815	0.15723088	0.06454424	0.70283272	0.0653676	0	0.0569163	0	0.06210791	0.71669983	0.0651835	0	0.08117272	0	0.08850585	0	0.0894176	0	0.1302978	72.3053515	0.4035003
108	Classe 1	108.768058	7.84982415	21.7842332	-11.115876	29.6898536	13.4585783	0.42098463	0	0.09544399	0.69234879	0.08080333	1.06091588	0.09514444	9.67914594	0.1222385	1.37616647	0.07673886	0	0.0553287	1.09427199	0.07009939	1.72361545	0.07832149	0.1975924	0.07948818	0	0.08357002	2.94856001	0.15852595	65.7688081	0.40279599
130	Classe 1	755.662493	15.8620939	131.484332	-11.322065	29.9638059	16.4528736	0.45108757	0	0.09760655	0.30322648	0.07704381	1.64249607	0.08380251	7.77594	0.11859423	1.12003455	0.07336152	0	0.0556373	0	0.0546747	0.64912244	0.0640357	0.67305146	0.0688975	0.17024016	0.07806947	0	0.08273215	0	0.08659181	0.44343417	0.12493941	76.693873	0.40342127
131	Classe 1	47.7518304	4.58599855	20.89198	-11.424388	29.9827136	11.5680665	0.38423929	0	0.10087416	0.30714272	0.07894016	1.12965321	0.07883847	6.71082661	0.11937023	0.65203949	0.0670178	0	0.0554039	0	0.0548116	0.65113092	0.0649719	0.43955417	0.0650745	0	0.07729155	0	0.08093176	0	0.08503373	0.25208443	0.12552253	78.2884313	0.3846766
132	Classe 1	85.9845051	6.19809054	34.2513027	-10.91715	29.9233866	13.6179454	0.39536278	0	0.08923178	0.4764739	0.07803936	1.91938368	0.08542262	7.59954336	0.11801695	0.99426559	0.0720318	0	0.0561565	0	0.0558643	0.67351876	0.0633755	0.81835156	0.0698381	0	0.07831586	0	0.0839595	0	0.08780102	0.42268466	0.1252642	73.6950576	0.3981762
133	Classe 1	52.4333824	5.42836141	19.928388	-10.592416	29.9364459	14.2999068	0.37875874	0	0.09867568	0.32626798	0.07834993	1.58754503	0.08248898	6.76550791	0.11877217	0.54713804	0.06545747	0	0.0542786	0	0.0543689	0.21291843	0.06056605	0.28207086	0.0619382	0	0.07771338	0	0.08243638	0	0.08678044	0.28598874	0.12405772	75.690059	0.39832465
134	Classe 1	220.31003	10.5683195	35.5017268	-10.640215	29.9366207	17.2649905	0.40272395	0	0.09664078	0.41189066	0.078212	1.57521684	0.0834837	9.16297063	0.11666183	0.84813924	0.0718124	0	0.0562231	0	0.0533454	0.37813556	0.0636271	0.64007186	0.0680909	0	0.0775148	0	0.08339685	0	0.08665417	0	0.1274663	69.716388	0.39072926
136	Classe 1	47.1276235	6.38374386	14.5251857	-10.483004	29.9278163	11.7790647	0.38708728	0	0.10157635	0	0.07800027	1.64043266	0.08690571	6.66072806	0.11908707	1.07575614	0.0724016	0	0.0553898	0	0.0543844	0.93707312	0.0675489	0.80310227	0.0696167	0	0.08244642	0	0.08630703	0.47415169	0.12279245	76.3286948	0.39087776
157	Classe 1	776.293322	26.5263492	58.5119905	-12.342742	30.2885649	11.4889643	0.42624723	0	0.11723756	0.39318362	0.08802484	1.23616434	0.08008404	6.14000969	0.11978571	0.91648907	0.0802473	0	0.0628468	0	0.0622754	1.20104537	0.0696304	0.42072625	0.0728464	0	0.08610857	0	0.09655167	0	0.09659698	0	0.1452564	79.1681528	0.4152607
161	Classe 1	590.187656	16.1265788	60.2409571	-12.342072	30.2878394	15.868704	0.40778499	0	0.10348908	0.45420197	0.0805211	1.44683731	0.08596817	7.95615139	0.12226138	1.10286139	0.07653794	0.17202803	0.0574288	0	0.0568592	0.30569137	0.0644629	0.47590779	0.0685808	0	0.07868216	0	0.08533362	0	0.08898186	0	0.1306852	72.217387	0.40198513
181	Classe 1	164.160424	11.0286217	23.9954214	-12.573845	30.46198	15.4315233	0.5014115	0	0.10040443	1.01512438	0.0860567	0.91188122	0.07802909	6.6245192	0.11940201	1.00577712	0.0750981	0	0.0560659	0	0.0562475	0.29615227	0.0610082	0.70576649	0.06962978	0.22280938	0.07836363	0	0.08538472	0	0.08585512	3.233096	0.16112226	67.5519586	0.46548876
200	Classe 1	199.595167	12.5385084	25.4529454	-13.473562	30.8392074	8.91842309	0.48198202	0	0.11692107	0	0.08766121	0.84796455	0.08409415	3.58664454	0.09841219	1.60673585	0.08446465	0	0.0626492	0	0.0614734	0.25585131	0.0672963	0.24512953	0.0702684	0	0.0847122	0	0.09023172	0	0.09023523	0	0.1354798?	84.5413889	0.47652798
202	Classe 1	69.7551248	6.80907414	16.8063515	-13.47383	30.8394059	11.0188559	0.46873954	0	0.10814706	0.34380953	0.08164677	1.18301183	0.08312947	4.31540795	0.0988683	1.93188935	0.08225473	0.13396922	0.05836	0	0.0574472	0.58337352	0.0648095	0.2801935	0.0665243	0	0.07841789	0	0.09498892	0	0.08677799	0.27219958	0.12833629	79.9326509	0.47196178
259	Classe 1	52.7404859	7.11060909	11.3732566	-10.741621	31.1842249	13.604153	0.45221788	0	0.1025107	0.46492154	0.08074723	0.64258643	0.07382096	6.16208842	0.10972363	2.65114047	0.0880775	0	0.0570209	0	0.0562138	0.17086419	0.0602875?	0.61689727	0.0676421	0	0.0762063	0	0.08395139	0	0.0870374	1.5941666	0.14376106	74.2157578	0.44462238
288	Classe 1	111.108834	9.43192596	21.6401644	-12.309842	31.5540792	15.5877769	0.40324023	0	0.0984792	0.25140045	0.07662047	0.75573637	0.07517086	1.6576353	0.09263103	4.27967645	0.1002465	0.14656715	0.0584869	0	0.0560936	0.18763285	0.0597602	0.33610798	0.0648787	0	0.0773592	0	0.0836307	0	0.08592178	1.1857616	0.13743222	73.6117005	0.41084038
324	Classe 1	112.045145	9.45312345	21.0295775	-12.909723	31.8002193	17.7036241	0.45953694	0	0.10318325	0.31691488	0.078736	0	0.0764293	2.97689205	0.09853017	4.27414179	0.10160663	0.16610074	0.0601799	0	0.0571949	0	0.0603894	0.39790238	0.0677102?	0	0.07951031	0	0.08383155	0	0.08824411	0.56401244	0.13542927	73.9476542	0.4165191
346	Classe 1	3645.36849	77.6092908	113.429114	-16.766446	31.9833848	22.3283365	0.46266037	0	0.11503714	0.19920184	0.08523341	0	0.07331017	2.47481801	0.08762663	0.31501995	0.06836939	0.3046778	0.0633017?	0	0.0601088?	0	0.0644814?	0.98946961	0.07713184	0	0.08270284	0	0.09095512	0	0.09254231	0	0.13275077	73.3886492	0.48853386
370	Classe 1	427.883851	18.5660904	55.8849502	-12.364535	32.2479549	16.9888873	0.44404141	0	0.10033838	0	0.08205684	0	0.12254727	1.08853616	0.11400888	0.3236149	0.11746373	0.87652272	0.1511765?	0	0.1155263?	0	0.1770186?	5.22631444	0.20683777	0	0.15468072	0	0.16236136	0	0.17226382	0	0.2371862?	48.4991919	0.62965021
375	Classe 1	167.287458	9.62594029	43.4764132	-12.333093	32.2451497	29.4946223	0.49466924	0	0.14498138	0	0.10698774	0	0.08383246	1.125276	0.09533619	0.3918516	0.09057916	0.67458227	0.1096782	0	0.0857793?	0	0.1154807?	2.35202555	0.12701951	0	0.11162099	0	0.11988946	0	0.1257772	0	0.17945893	65.9618437	0.49579171
376	Classe 1	71.6277456	4.34527222	24.6464005	-12.35809	32.2542225	32.9788953	0.7431872	0	0.21199646	0	0.1575213	0	0.13694419	1.37350019	0.12994365	0.5236479	0.13220519	0.98095226	0.1720362	0	0.1351649?	0	0.2166711?	8.33158366	0.26355633	0	0.18300862	0	0.19614187	0	0.20667361	0	0.2781924	51.8034241	0.69669671
377	Classe 1	873.889707	21.1918273	53.7621307	-12.05786	32.2463852	30.8536995	0.75427387	0	0.20645453	0	0.14855757	0	0.12877873	1.67187415	0.13756781	0	0.12450503	0.67046138	0.1557437?	0.25058042	0.1224738?	0	0.2096042?	8.14944546	0.25846248	0	0.17534727	0	0.18631581	0	0.20161469	0	0.2718219?	58.2606635	0.70823575
378	Classe 1	720.802956	23.526569	69.0326426	-11.997614	32.2441417	29.3496046	0.63423798	0	0.18810624	0	0.13643631	0	0.11807792	1.3538436	0.12158046	0.41904431	0.11533838	0.74520916	0.1508222	0	0.1160822?	0	0.1703712?	6.18097728	0.19958646	0	0.14748656	0	0.15936593	0	0.16570063	0	0.2324283?	62.951529	0.62606847
382	Classe 1	1279.78227	26.4645408	107.215626	-17.527824	32.3830314	20.0657721	0.49377309	0	0.10128221	0.18862707	0.07713316	1.1384693	0.0786685	4.67251514	0.1002591	1.69879273	0.07897148	0.14067416	0.0540856	0	0.0516861	0.20936765	0.0612165?	0.18573258	0.0731402	0	0.07953931	0	0.08497588	0	0.08765183	0.7857057?	0.11611802	70.0141327	0.40992155
388	Classe 1	8118.12227	72.2919924	226.366413	-16.914268	32.4968984	22.1232295	0.39043836	0	0.10831144	0	0.08077399	0	0.07057948	1.50665585	0.07645068	0.17943096	0.06074071	0	0.0595173?	0	0.0581786?	0	0.0620304?	0	0.0655457?	0	0.0819166	0	0.08563152	0	0.0885206	0	0.1301396?	76.1906803	0.39286776
406	Classe 1	112.825463	10.0545549	18.7713766	-13.592053	32.4650121	27.8073997	0.78281071	0	0.21953497	0.39629759	0.16326844	0	0.14243627	2.41821129	0.15903685	0.41167689	0.14469094	2.09238203	0.2088375	0	0.1476266?	0	0.2217185	7.73567781	0.26813687	0	0.19930065	0	0.21428277	0	0.2272316	0	0.3156823?	59.0484381	0.73771891
407	Classe 1	495.932409	25.9250464	31.7824238	-13.479653	32.4275874	25.8718997	0.61509861	0	0.18553645	0	0.13476501	0	0.11935266	1.60708427	0.12026146	0.29491214	0.11805254	0.9946513	0.1462852?	0	0.1095201?	0	0.1516129	4.22795562	0.17759315	0	0.14338177	0	0.15081001	0	0.16237885	0	0.2233183?	67.0039415	0.60768719
408	Classe 1	167.599562	15.3877621	22.6688788	-13.661384	32.4559339	28.8205371	0.53522997	0	0.15741133	0	0.11735444	0	0.10132906	1.80861061	0.10279474	0	0.09536297	0.96616833	0.1235302?	0	0.0943723?	0	0.1247391?	3.14896612	0.13852979	0	0.1212514	0	0.1232708	0	0.1378217	0	0.1982282?	66.6838977	0.51935671
410	Classe 1	2937.36178	36.3438259	157.676744	-13.782291	32.5060394	33.376205	0.93359491	0	0.25441272	0.45036469	0.18845182	0	0.16599783	5.50022833	0.21380913	0.60536413	0.17034268	1.6741978	0.2205377?	0	0.1661281?	0	0.2556109?	9.45349708	0.32077646	0	0.22064501	0	0.23319505	0	0.2579774?	0	0.3342463?	68.9401609	0.80913482
411	Classe 1	1180.3551	62.664115	370.052693	-13.636917	32.5032508	31.0951561	0.85359599	0	0.19894917	0	0.18431015	1.00384283	0.18617173	11.9927973	0.16131596	2.18507847	0.1753894?	2.22726329	0.3746876?	0	0.2677622?	0	0.3053991?	0.75946482	0.37944122	0	0.30886122	0	0.29682022	0	0.3185257?	0	0.5004623?	0.47541688	0.12452573
420	Classe 1	173.373476	14.0058649	19.6119683	-14.740336	32.6977156	23.8681033	0.66119307	0	0.18129363	0	0.14052037	0	0.12106125	1.71586729	0.12911913	0.83872145	0.12566452	1.37002962	0.1671296?	0	0.1197710?	0	0.1675085?	5.05527138	0.19508714	0	0.15659507	0	0.16924422	0	0.1777019?	0	0.2497882?	67.1576301	0.64549441
426	Classe 1	122711.281	303.385988	505.636036	-16.26225	32.94025	28.2608015	0.9159316	0	0.09438862	0	0.07263656	0.15728417	0.06522223	1.29996676	0.06782557	0.27676669	0.0593582	0	0.0527765?	0	0.0562911?	0	0.0572859	0.14770328	0.05956209	0	0.07213611	0	0.07835133	0	0.07983666	0	0.1137616?	69.9583007	0.36084226

| | | |

Id	Classe	Surface (um²)	Largeur (um)	Longueur (um)	X platine	Y platine	O % masse	O % masse e	Na % masse	Na % masse e	Mg % masse	Mg % masse e	Al % masse	Al % masse e	Si % masse	Si % masse e	P % masse	P % masse e	S % masse	S % masse e	Cl % masse	Cl % masse e	K % masse	K % masse e	Ca % masse	Ca % masse e	Ti % masse	Ti % masse e	V % masse	V % masse e	Cr % masse	Cr % masse e	Mn % masse	Mn % masse e	Fe % masse	Fe % masse e
9455	Classe 1	225.183651	15.4406481	24.4311995	-16.958022	-28.070137	8.45768641	0.35859253	0	0.12015292	0	0.08530239	0	0.07233346	1.09552387	0.07542039	0.13680562	0.06838692	0	0.06013435	0	0.06013112	0	0.0642016	0.36846532	0.07145244	0	0.08455856	0	0.09019605	0	0.09514312	0	0.13809487	89.541465	0.37958068
9464	Classe 1	472.368597	18.0264864	36.1771054	-17.095496	-28.068654	16.5285402	0.56894668	0	0.14853869	0	0.10247476	0	0.08017683	1.53160313	0.08959766	0.19467897	0.074931	0.16200338	0.06826137	0.1925494	0.06993104	0	0.0737181	7.34023675	0.14861016	0	0.09946035	0	0.10768835	0	0.11317201	0.3322169	0.15382179	73.7181127	0.51398154
9464	Classe 1	727.668233	23.90359	41.2375623	-15.7445127	-27.973144	9.7177431	0.46320409	0	0.1518768	0	0.10440619	0	0.08755616	2.82087643	0.10746926	0.16017834	0.0754233	0	0.0698123	0	0.06841028	0	0.07431097	0.2485693	0.08089404	0	0.10035807	0	0.10821831	0	0.11007753	0	0.16933155	87.0526314	0.47069076
9543	Classe 1	541.489515	20.8681168	40.5189614	-15.353749	-27.752745	13.4421421	0.43950171	0	0.0951953	0	0.07058685	0	0.06807902	25.1879385	0.233103	0.32332765	0.07183871	0.27097873	0.05062288	0.2233834	0.05982757	0	0.06443484	0	0.09218514	0	0.08081331	0	0.08769246	0	0.09192615	0	0.13523048	60.5528038	0.37850043
9920	Classe 1	991.552714	30.4176055	99.1914925	-13.021518	-27.112999	8.62099164	0.45993633	0	0.14211371	0	0.10487587	0	0.08827018	1.1036762	0.08726646	0.47518001	0.08252756	0.17462875	0.07351457	0.15659667	0.0739467	0	0.07458387	0	0.07944738	0	0.09615946	0	0.10643011	0	0.10554863	0	0.15305651	89.4690037	0.46575232
10277	Classe 1	164842.128	485.743204	616.189848	-17.419	-27.13075	15.7403097	0.30090424	0.49020132	0.09048995	0.15902586	0.06291219	0.04930595	0.05219693	2.62082014	0.05812955	0.34843071	0.04618335	0.25002123	0.04209659	0.7641621	0.0438498	0	0.04337275	1.35805652	0.05222945	0.00294684	0.05553873	0	0.06018027	0.0418215	0.06315963	0.10992824	0.09037271	78.1327188	0.32602294
10282	Classe 1	68705.3267	289.767013	399.16703	-16.319894	-27.556702	15.83271951	0.31948226	0.26748597	0.09627414	0.11668534	0.06311593	0.0778571	0.05430947	1.36623813	0.05646667	0.2021054	0.04772456	0.20851425	0.04409889	0.2353823	0.04492565	0.01259854	0.04664343	1.01948418	0.05705374	0	0.05279946	0	0.06929265	0	0.07184771	0.09379179	0.1046091	80.1623531	0.34367861