

Zeitschrift:	Cahiers d'archéologie romande
Herausgeber:	Bibliothèque Historique Vaudoise
Band:	61 (1993)
Artikel:	Archéométrie des scories de fer : recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale
Autor:	[s.n.]
Anhang:	Annexes
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-836182

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 31.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Annexe 1: chimie et minéralogie

NOM	SYMBOLE	N°	MASSE	VALENCES	NOM	SYMBOLE	N°	MASSE	VALENCES	NOM	SYMBOLE	N°	MASSE	VALENCES
Actinium	Ac	89	227	+3	Hafnium	Hf	72	178.49	+4	Radium	Ra	88	226	+2
Aluminium	Al	13	26.981	+3	Hélium	He	2	4.002	0	Radon	Rn	86	222	0
Antimoine	Sb	51	121.75	-3,+3,+5	Holmium	Ho	67	164.930	+3	Rhéniump	Re	75	186.2	+2,+3,+4,+5,+7
Argent	Ag	47	107.87	+1,+2	Hydrogène	H	1	1.007	-1,+1	Rhodium	Rh	45	102.905	+3
Argon	Ar	18	39.948	0	Indium	In	49	114.82	+1,+2,+3	Rubidium	Rb	37	85.47	+1
Arsenic	As	33	74.921	-3,+2,+3,+5	Iode	I	53	126.904	-1,+1,+3,+5,+7	Ruthénium	Ru	44	101.07	+3,+4,+6,+7,+8
Azote	N	7	14.006	-2,-3,+2,+3,+5	Iridium	Ir	77	192.2	+3,+4	Samarium	S	62	150.35	+2,+3
Barium	Ba	56	137.34	+2	Krypton	Kr	36	83.80	0	Scandium	Sc	21	44.956	+3
Béryllium	Be	4	9.012	+2	Lanthane	La	57	138.91	+3	Sélénium	Se	34	78.96	-2,+2,+4,+6
Bismuth	Bi	83	208.980	+3,+5	Lithium	Li	3	6.939	+1	Silicium	Si	14	28.08	-4,+4
Bore	B	5	10.81	+3	Lutécium	Lu	71	174.97	+3	Sodium	Na	11	22.898	+1
Brome	Br	35	79.90	-1,+1,+3,+5	Magnésium	Mg	12	24.312	+2	Soufre	S	16	32.06	-2,+2,+4,+6
Cadmium	Cd	48	112.40	+2	Manganèse	Mn	25	54.938	+2,+3,+4,+6,+7	Strontium	Sr	38	87.62	+2
Calcium	Ca	20	40.08	+2	Mercure	Hg	80	200.59	+1,+2	Tantale	Ta	73	180.948	+5
Carbone	C	6	12.011	-4,+4	Molybdène	Mo	42	95.94	+2,+3,+4,+5,+6	Tellure	Te	52	127.60	-2,+2,+4,+6
Cérium	Ce	58	140.12	+3,+4	Néodyme	Nd	60	144.24	+3,+4	Terbium	Tb	65	158.924	+3,+4
Césium	Cs	55	132.905	+1	Néon	Ne	10	20.183	0	Thallium	Tl	81	204.37	+1,+3
Chlore	Cl	17	35.45	-1,+1,+3,+5,+7	Nickel	Ni	28	58.71	+2,+3	Thorium	Th	90	232.038	+4
Chrome	Cr	24	51.99	+2,+3,+6	Niobium	Nb	41	92.906	+3,+5	Thulium	Tm	69	168.934	+3
Cobalt	Co	27	58.933	+2,+3	Or	Au	79	196.967	+1,+3	Titane	Ti	22	47.90	+3,+4
Cuivre	Cu	29	63.54	+1,+2	Osmium	Os	76	190.2	+2,+3,+4,+6,+8	Tungstène	W	74	183.85	+2,+4,+5,+6
Dysprosium	Dy	66	162.50	+3	Oxygène	O	8	15.999	-2	Uranium	U	92	238.03	+3,+4,+6
Erbium	Er	68	167.26	+3	Palladium	Pa	46	106.4	+2,+4	Vanadium	V	23	50.942	+2,+3,+4,+5
Etain	Sn	50	118.69	+2,+4	Phosphore	P	15	30.973	-3,+3,+5	Xénon	Xe	54	131.30	0
Europium	Eu	63	151.96	+2,+3	Platine	Pt	78	195.09	+2,+3,+4	Ytterbium	Yb	70	173.04	+2,+5
Fer	Fe	26	55.84	+2,+3	Plomb	Pb	82	207.19	+2,+4	Yttrium	Y	39	88.905	+2,+3
Fluor	F	9	18.9984	-1,+1	Polonium	Po	84	210	+2,+4	Zinc	Zn	30	65.37	+2
Gadolinium	Gd	64	157.25	+3	Potassium	K	19	39.102	+1	Zirconium	Zr	40	91.22	+2,+3,+4
Galium	Ga	31	69.72	+1,+2,+3	Praséodyme	Pr	59	140.907	+3,+4					
Germanium	Ge	32	72.59	+4,+1,+2,+4	Protactinium	Pa	91	231	+4					

Fig. 204. Liste alphabétique des éléments chimiques naturels. Nom, symbole, numéro atomique, masse atomique et principaux états de valence possibles.

Group	I	II	transitional elements														III	IV	V	VI	VII	O
Period 1	H																He					
2	Li	Be																				
3	Na	Mg																				
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br ⁵⁺				Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te					Xe	
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re ⁶⁺	Os	Ir	Pt		Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po				Rn	
7	Fr	Ra	Ac																			
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							
	Ac	Th	Pa	U																		

Fig. 205. Tableau périodique des éléments chimiques.

Méthode d'analyse chimique par la fluorescence des rayons X et son application aux corps riches en fer

Les analyses chimiques globales ont été réalisées au Centre d'analyse minérale (CAM) de la Section des sciences de la Terre de l'Université de Lausanne (chef du centre, H.-R. Pfeifer, 1^{er} laborantin, J.-C. Lavanchy).

Principes de la méthode XRF et problèmes spécifiques

La méthode d'analyse qui a été utilisée est celle de la spectrométrie de fluorescence des rayons X (XRF; Jenkins 1976). Lorsqu'un atome est bombardé avec des rayons X, il capte de l'énergie. Celle-ci permet à certains électrons gravitant autour du noyau de quitter leur orbitale pour en gagner une autre, de plus haute énergie. Dans cette configuration, l'atome est instable et lorsque les électrons reviennent à leur orbitale d'origine, ils émettent des rayons X secondaires, dits de fluorescence, qui sont caractéristiques de l'élément. C'est l'intensité de ce signal, le pic, qui est utilisée pour mesurer la concentration de l'élément.

Pour obtenir une analyse quantitative, l'intensité du pic mesuré doit être comparée à celles de pics correspondant à des substances dont les compositions sont connues. Ces standards doivent non seulement contenir l'élément chimique analysé en concentrations comparables à celles des échantillons inconnus, mais aussi être d'une nature aussi proche que possible, de manière à présenter le même type d'effet de matrice. L'importance de cet étalonnage est à souligner car cette méthode est avant tout une démarche comparative.

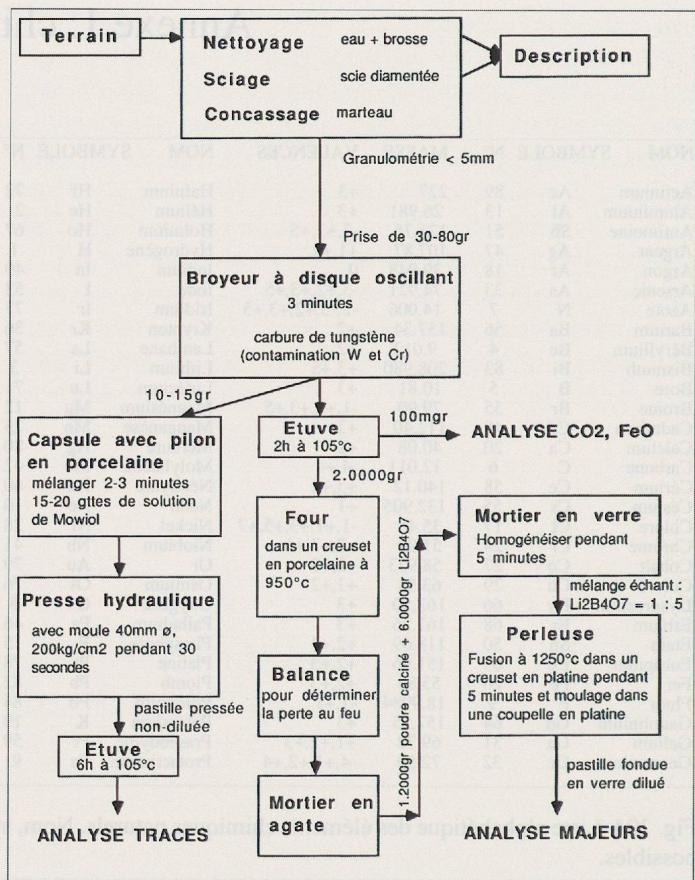


Fig. 206. Préparation des échantillons pour les analyses chimiques globales des matériaux riches en oxydes de fer. Centre d'analyse minérale, Section des sciences de la Terre, Université de Lausanne.

Elément	Raie	Col ¹	Det ²	Cristal ³	UPL ⁴	LWL ⁵	Angle ⁶	Angle 2θ fond continu	Temps ⁷	Corrections	
Ba	Kα	F	S	LiF220	75	27	15.540	--.--	16.20	80	fond continu
Sb	Kα	F	S	LiF220	75	25	19.030	18.50	19.50	80	compton
Zr	Kα	F	S	LiF220	75	25	32.065	31.64	32.48	80	compton, interf.Sr Kβ
Y	Kα	F	S	LiF220	75	30	33.870	33.00	35.00	80	compton
Sr	Kα	F	S	LiF220	75	25	35.825	--.--	37.00	80	compton
Rb	Kα	F	S	LiF220	75	25	37.970	--.--	38.50	80	compton
Zn	Kα	F	F	LiF220	80	20	60.585	--.--	62.00	100	compton, 8)
Co	Kα	F	F	LiF220	75	20	77.925	74.00	--.--	100	fond continu, interf.Fe Kβ
V	Kα	F	F	LiF220	75	25	123.195	122.00	--.--	100	fond continu, interf.Ti Kβ
Ag	Kα	F	S	LiF200	75	25	15.990	15.00	16.50	200	fond continu
Pb	Lβ	F	FS	LiF200	80	20	28.285	27.00	30.00	100	fond continu
As	Kβ	F	FS	LiF200	70	25	30.470	29.90	31.00	100	fond continu
Cu	Kα	F	FS	LiF200	80	20	45.050	44.00	46.00	100	compton
Ni	Kα	F	FS	LiF200	80	20	48.700	48.00	49.40	100	fond continu
Cr	Kα	F	F	LiF200	70	15	69.410	68.40	70.40	100	compton
Sn	Lα	F	F	LiF200	75	25	126.865	126.00	--.--	100	fond continu, interf.V kβ
										compton	

1) Col : Collimateur, F = 150 µm, C = 550 µm.

2) Det : DéTECTEURS, S = Scintillation, F = flux gazeux (argon-méthane)

3) Cristal : LiF(200), LiF(220) = Lithium fluoride, PE(002) = Pentaerythritol, Ge(111) = Germanium, PX1 = cristal multicouche organique, entre parenthèses: indices de Miller du plan de réflexion.

4) UPL : Limite supérieure de la fenêtre d'énergie en %.

5) LWL : Limite inférieure de la fenêtre d'énergie en %.

6) Angle pratique (2q) de la raie de l'élément.

7) Temps de mesure du pic exprimé en secondes; pour le fond continu: T/2.

Fig. 207. Paramètres techniques de mesure des éléments traces par XRF.

Standards	Zr	Y	Sr	Rb	Ba	V	Sn	Sb	Ag	As	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Co
IF-G	<5 2.4	8 9	4 3	<2 0.4	<7 1.5	<5 4	<5 0.6	<5 0.63	3 2	<8 2	<6 6.5	34 27	17 13	25 22.5	8 10	36 29
Fer-1	17 13	13 90	97	6	1008	82	32	<5 5	4 6	<8 11	5169 2751	105	8 100	6 8	14 7	12
Fer-2	33 39	15 15	56 58	67 66	243 240	35 37	<5 2.6	<5 0.7	<2 2	<8 11	14 43	42 45	39 45	26 40	40 47	8 7
Fer-3	<5 2	6 6	30 31	<2 10	6 11	<5 8	<5 1	<5 1	<2 1	<8 9	12 36	33 36	7 6	11 10	5 6	<6 2
Fer-4	18 18	9 8	56 62	15 16	42 43	13 11	<5 3	<5 3.6	<2 8	<8 27	7 13	29 13	11 6	6 9	10 9	<6 2
SARM12	44 61	6 111	132	<2 520	17	519	6 2	<5 3	16 19	15 140	133 502	487 281	279 21	27 213	213 223	
SARM11	17	8	198	4	82	52	<5 40	<5 2	23 19	12 18	32 23	14 11	25 30	43 41	16 27	
627-2	73	29	202	8	118	401	<5 123	<5 3	196 200	65 38	147 175	20 10	100 134	35		
629-1	89 86	27 158	153	7	116	731	<5 4	<5 ≤8	<2 230	236 205	50 72	163 205	12 10	110 129	57 55	
680-1	30 26	7 26	47	5	3391	50	117 123	181	4	782	3387	1026 630	654 70	47 50	130 130	
681-1	161 160	43 245	743	23	172	761	<5 772	<5 2	112 109	75 72	216 205	<3 163	439 413	85 80		
301/1	61 62	25 200	203	14	81	421	<5 190	<5 190	<2 58	191 101	66 58	97 101	6 5	105 88	46 43	
628-1	17 28	73 12	11	162	<7	1191	52 47	9	<2 31	<6 ≤10	105 100	5	75 100	<4	24	

15 analyse XRF CAM
14 valeur proposée
15 XRF (ppm)
14 valeur certifiée
15 XRF (ppm)
14 valeur ICP
 valeur utilisée
 pour l'étalonnage

Fig. 208. Valeurs utilisées pour l'étalonnage des éléments traces par XRF.

Dans le cas des corps riches en oxydes de fer, les standards disponibles sont des minéraux de fer (fig. 209). Ils sont relativement peu nombreux et dans certains cas, mal connus. Pour pallier ce problème, une étude complémentaire a été nécessaire (Pfeifer *et al.* 1991).

Préparation des échantillons et mesures

Sur l'échantillon nettoyé soigneusement, on prélève 50 à 100 gr de matière qui est broyée et réduite en poudre homogène. 15 gr de poudre sont utilisés pour fabriquer une pastille pressée. Les éléments traces sont dosés sur cette préparation à l'aide du spectromètre (appareil Philips PW 1400, tube Mo/Sc). Les paramètres techniques de mesure des éléments traces, les valeurs retenues pour l'étalonnage et les gammes couvertes ainsi que les incertitudes sont donnés aux fig. 207, 208 et 210. Les effets de matrice induits par la présence des autres constituants sont corrigés par calcul (facteurs alpha, De Jongh 1976). La fig. 206 résume les étapes de la préparation des échantillons.

Le soufre n'a pas été dosé de manière systématique (problème de standards). En métallurgie, il peut avoir un rôle important et mérite donc une attention particulière. A de rares exceptions près, dans les corps analysés dans le cadre de ce travail, les concentrations en S sont très basses en raison de la nature des minéraux traités et des combustibles utilisés.

D'autre part, 2 gr de poudre sèche sont calcinés à 1000°C dans un four en présence d'air pendant 1 h. La perte au feu est déterminée par pesée de l'échantillon avant et

Standard	Type de roche	% Fe	Source*
Fer-1	Iron ore (magnetite-quartz)	53.05	CCRMP
Fer-2	Iron ore (magnet.-amphibole-qtz)	27.42	CCRMP
Fer-3	Iron ore (hematite-quartz)	31.12	CCRMP
Fer-4	Iron ore (hematite-quartz)	27.92	CCRMP
Sch-1	Iron ore (hydrorous Fe-oxide)	60.73	CCRMP
IF-G	Iron formation, Isua/Greenland	39.06	GIT-IWG
SARM 11	Sishen iron ore (hematite)	66.16	SABS
SARM 12	Iron ore (magnetite)	66.63	SABS
627-2	Sediment.iron ore ("Minette")	31.77	BAM
629-1	Sediment.iron ore ("Minette")	36.21	BAM
631-1	Iron ore, Venezuela	61.09	BAM
678-1	Iron ore, Kiruna D, Sweden	60.75	BAM
680-1	Iron ore ("Purpurerz")	59.98	BAM
682-1	Iron ore	68.74	BAS
301/1	Lincolnshire iron ore	23.85	BAS
378	Iron ore sinter	61.80	BAS
681-1	Iron ore	33.21	BAS

* Adresses des laboratoires qui fournissent ces standards

CCRMP : Canada Centre for Mineral and Energy Technology Energy,Mines and Resources 555 booth Street OTTAWA, Canada K1A OG1 GIT-IWG : K.Govindaraju Centre de Recherche Petrogr. et Geochim.(CRPG) B.P.N°20 54501 VANDOEUVRE France

SABS : South African Bureau of Standards Private Bag X191 PRETORIA 0001 South Africa BAM : Bundesanstalt für Materialprüfung Unter den Eichen 87 D 1000 BERLIN 45

BAS : Bureau of Analysed Samples Newham Hall, Newby, Middlesbrough, Cleveland, England, TS8 9EA

Oxyde	Gamme couverte par l'étalonnage (% poids)	Nombre de standards	incertitude 2 dev. std. (% poids)
SiO ₂	0 --> 50 %	15	0.20
TiO ₂	0 --> 1 %	17	0.02
Al ₂ O ₃	0 --> 12 %	15	0.10
Fe ₂ O ₃	40 --> 90 %	14	0.50
MnO	0 --> 2 %	17	0.02
MgO	0 --> 3 %	14	0.07
CaO	0 --> 20 %	15	0.15
Na ₂ O	0 --> 1 %	10	0.04
K ₂ O	0 --> 2 %	15	0.04
P ₂ O ₅	0 --> 4 %	17	0.04

Fig. 210. Gammes de concentration couvertes par les étalonnages et incertitudes de mesure pour les éléments traces.

Elément	Gamme couverte par l'étalonnage ppm	incertitude 2 std. dév. (ppm)	Limite de détection (ppm)
Ba	0 --> 1000	3	7
Sb	0 --> 100	3	5
Zr	0 --> 200	4	5
Y	0 --> 20	1	2
Sr	0 --> 800	4	2
Rb	0 --> 100	1	2
Zn	0 --> 200	8	5
Co	0 --> 250	7	6
V	0 --> 800	10	5
Ag	0 --> 100	2	2
Pb	0 --> 100	3	6
As	0 --> 250	9	8
Cu	0 --> 100	4	3
Ni	0 --> 300	4	4
Cr	0 --> 400	16	4
Sn	0 --> 150	3	5

Fig. 211. Gammes couvertes par l'étalonnage et incertitudes de mesure pour les éléments majeurs.

après calcination. Au cours de celle-ci, certains éléments volatils sont perdus (H_2O et CO_2) entraînant une perte de poids (PAF négative). En même temps, les éléments se trouvant à l'état réduit (Fe, FeO, etc) passe à l'état oxydé en captant des atomes d'oxygène de l'air. Il s'en suit un gain de poids de l'échantillon (PAF positive).

Oxyde	Raie	Col ¹	Det ²	Cristal ³	UPL ⁴	LWL ⁵	Angle ⁶	Angle 2θ fond continu	Temps ⁷	Commentaires
SiO ₂	Kα	C	F	PE	80	20	109.095	--.--	50	Corr.par facteurs α
TiO ₂	Kα	F	F	LiF200	80	30	86.180	--.--	100	"
Al ₂ O ₃	Kα	C	F	PE	80	20	145.020	--.--	50	"
Fe ₂ O ₃	Kα	F	F	LiF200	80	15	57.565	--.--	10	"
MnO	Kα	F	F	LiF220	80	15	95.265	--.--	97.26	50
MgO	Kα	C	F	PX1	70	20	23.580	22.00	25.00	40
CaO	Kα	F	F	LiF200	80	25	113.200	--.--	20	"
Na ₂ O	Kα	C	F	PX1	70	20	28.510	27.00	30.00	100
K ₂ O	Kα	F	F	LiF200	80	25	136.780	--.--	10	"
P ₂ O ₅	Kα	C	F	Ge	80	20	141.060	--.--	143.06	40

1) Col : Collimateur, F = 150 µm, C = 550 µm.
 2) Det : DéTECTEURS, S = Scintillation, F = flux gazeux (argon-méthane)
 3) Cristal : LiF(200), LiF(220) = Lithium fluoride, PE(002) = Pentaerythritol, Ge(111) = Germanium,
 PX1 = cristal multicouche organique, entre parenthèses: indices de Miller du plan de réflexion.
 4) UPL : Limite supérieure de la fenêtre d'énergie en %.
 5) LWL : Limite inférieure de la fenêtre d'énergie en %.
 6) Angle pratique (2θ) de la raie de l'élément.
 7) Temps de mesure du pic exprimé en secondes; pour le fond continu: T/2.

Fig. 212. Paramètres techniques de mesure des éléments majeurs.

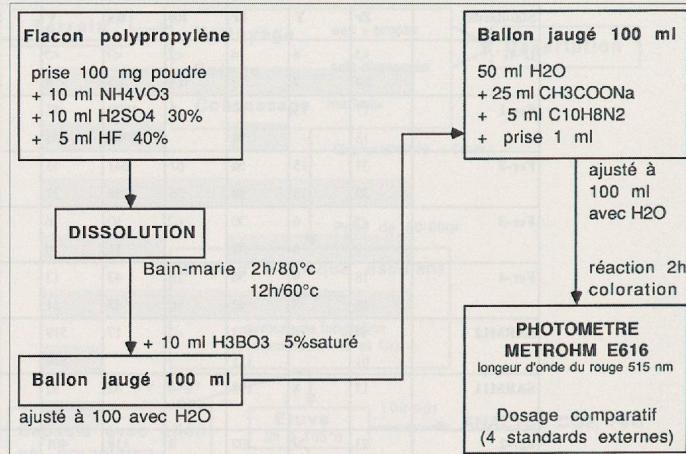


Fig. 213. Méthode de dosage du Fe^{2+} par colorimétrie, modifié d'après Wilson 1960.

Un prélèvement de 1,2 gr de poudre calcinée est ensuite mélangé avec 6gr de $Li_2B_4O_7$ (rapport 1:5). Cette mixture est ensuite fondu dans un creuset en platine à la température de 1250°C (cycle de 3 minutes). Le liquide est moulu en forme de disque. On obtient une pastille de verre homogène dans laquelle l'échantillon est dilué. Cette préparation est analysée au spectromètre. Les paramètres techniques de mesure, les gammes couvertes et les incertitudes sont donnés aux fig. 211 et 212.

Pour les échantillons sortant de la gamme d'étalonnage spécifique aux matériaux riches en oxydes de fer, les analyses ont été faites à l'aide des standards utilisés au CAM pour les roches silicatées (parois de fourneau, certains minéraux) ou carbonatées (certains minéraux). Les intensités mesurées à l'aide du spectromètre sont ensuite corrigées et comparées avec l'étalonnage. On en déduit des valeurs de concentration en élément. Par la suite, on calcule les éléments majeurs sous forme d'oxydes en utilisant les facteurs stoechiométriques (fig. 214).

Mesures et calculs complémentaires

La XRF permet de connaître la concentration du fer sous forme d'élément. Par contre, il faut doser séparément le Fe²⁺ afin de connaître le degré d'oxydation du fer. Cette mesure est faite par colorimétrie après mise en solution aqueuse de l'échantillon (Wilson 1960). Cette méthode a été modifiée de manière à éviter l'oxydation du Fe²⁺ pendant la dissolution (fig. 213). L'incertitude sur cette mesure est de 10% relatifs environ.

Le carbone n'est pas dosable par XRF. Il fait également l'objet d'une analyse séparée, par coulométrie (appareil Coulomat 702, Ströhlein). On mesure séparément C (organique) et CO₂ (minéral). L'incertitude est de 1% relatif.

Ces deux mesures ainsi que la PAF à 1000°C permettent de déterminer la présence d'eau (H₂O) ou de fer à l'état métallique (Fe). Si

$$\text{PAF\%} + \text{C\%} + \text{CO}_2\% - (0,1113 \text{ FeO\%})$$

est négative, on considère que cette différence est due à la présence d'eau.

On néglige les autres éléments chimiques pouvant intervenir; S, Cl, F, etc., se trouvent en général en très faibles proportions dans les échantillons. Les matériaux étudiés dans ce travail sont pauvres en soufre, mais ce n'est pas le cas de toutes les scories. Le cas échéant, cet élément doit être pris en compte.

Dans le cas contraire, le gain de poids est attribué à l'oxydation de fer à l'état métallique. On calcule alors la quantité de fer métallique nécessaire pour provoquer ce gain de poids:

$$\text{PAF\%} + \text{C\%} + \text{CO}_2\% - (0,1113 \text{ FeO\%}) = 2.3267 \text{ FeM\%}$$

Ce Fe métallique (FeM) est déduit de la concentration en Fe₂O₃ calculée par soustraction du FeO dosé. On néglige les autres éléments qui peuvent fausser le calcul (Mn, V et traces

Nom de l'élément		facteur	Nom de l'oxyde		facteur	
Silicium	Si	x 2.1390	SiO ₂	Silice	SiO ₂	x 0.4675
Titane	Ti	x 1.6681	TiO ₂		TiO ₂	x 0.5995
Aluminium	Al	x 1.8896	Al ₂ O ₃	Alumine	Al ₂ O ₃	x 0.5292
Fer	Fe	x 1.2865	FeO	Fer ferreux	FeO	x 0.7773
		x 1.4298	Fe ₂ O ₃	Fer ferrique	Fe ₂ O ₃	x 0.6994
	FeO	x 1.1113	Fe ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃	x 0.8998
Manganèse	Mn	x 1.2913	MnO		MnO	x 0.7744
Magnésium	Mg	x 1.6581	MgO	Magnésie	MgO	x 0.6031
Calcium	Ca	x 1.3992	CaO	Chaux	CaO	x 0.7147
Sodium	Na	x 1.3481	Na ₂ O	Soude	Na ₂ O	x 0.7418
Potassium	K	x 1.2045	K ₂ O	Potasse	K ₂ O	x 0.8302
Phosphore	P	x 2.2915	P ₂ O ₅		P ₂ O ₅	x 0.4364
Carbone	C	x 3.6666	CO ₂	dioxyde de C	CO ₂	x 0.2727

Fig. 214. Liste des éléments majeurs mesurés par XRF et des facteurs de conversion éléments / oxydes.

Exemple de calcul :

poids atomique de Fe = 55.84

poids atomique de O = 15.999

poids moléculaire de FeO = 55.84 + 15.999 = 71.839

Fe x 71.839 / 55.84 = Fe x 1.2865 = FeO

métalliques). Dans quelques cas, des échantillons de scories, très riches en manganèse ont été analysés et il est clair que ce calcul ne reflète pas la réalité. Dans d'autres scories, certains métaux (Cu, Pb, etc) peuvent être présents en quantités non négligeables (> 1000 ppm).

Si l'échantillon contient à la fois H₂O et FeM, le calcul est faussé. Cela peut se produire dans les scories par oxydation secondaire partielle. Généralement, la conséquence est une surévaluation du Fe métallique. Le cas échéant, il faudra recourir à d'autres méthodes de mesure (chromatographie en phase gazeuse, spectrométrie de masse), ce qui n'a pas été fait dans le cadre de ce travail.

Compte tenu des limitations qui ont été exposées, cette procédure de calcul doit donc être appliquée avec quelque discernement.

Représentativité des analyses

L'analyse chimique porte toujours sur un volume restreint de matériel et n'est, à proprement parler, représentative que de celui-ci. Il est donc essentiel de choisir cet échantillon selon une procédure qui permette de connaître sa représentativité à une plus grande échelle.

Dans la plupart des cas, les scories sont relativement homogènes (scories de réduction). Ce fait a pu être vérifié maintes fois par l'analyse de plusieurs prélèvements sur la même pièce. Mais ce n'est pas toujours le cas et certaines scories sont constituées de zones chimiquement très différentes (en particulier les scories en forme de calotte du travail post-réduction). L'interprétation des analyses s'en trouve grandement compliquée. Les minerais de fer sont également complexes à analyser. Il est souvent très difficile de définir ce qui a réellement été utilisé. Dans la mesure du possible, le mineraï naturel et le mineraï enrichi par des méthodes simples (concassage + lavage) ont été étudiés.

Présentation des analyses

Les analyses sont présentées sous forme de tableaux (Annexe 3 à 7). Les descriptions sommaires des échantillons sont placées en regard. La partie de l'échantillon qui a été analysée est indiquée.

Pour la plupart des calculs (production, contamination, etc.), les données initiales ont été recalculées en «norme anhydre». Cette procédure consiste à soustraire de la somme totale les composés volatils (C, CO₂ et H₂O) et à additionner les teneurs des éléments traces. Ce nouveau total est normé à 100.

Ensuite, on exprime les concentrations en % poids de cations ou en milliatomes pour 100 gr d'échantillon. Cette procédure permet de comparer plus judicieusement les minerais, hydratés, avec les scories, généralement anhydres. On s'affranchit ainsi des difficultés liées aux différents états de valence du fer.

Diverses méthodes de présentation des résultats sont utilisées dans le texte (histogrammes, diagrammes bivariants X-Y et projections triangulaires X-Y-Z). Des diagrammes de phases sont également présentés (VDE 1981, 12-25, fig. 215). Leur utilisation est avant tout régie par la règle des phases de Gibbs :

$$F = K + T + p - P$$

F = nombre de degrés de liberté
 T = température

p = pression
 P = nombre de phases

En métallurgie, la pression peut être considérée comme constante (1 atm). Dans un système à n composants, seules $n-1$ concentrations sont variables.

Dans les cas étudiés, les variables sont donc les $n-1$ compositions et la température. Dans les systèmes binaires tels que Fe-O ou Fe-C, on peut utiliser un diagramme à deux dimensions compositions / températures. Pour un système à trois composants tels que $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeOn}$, il faudrait travailler à trois dimensions (fig. 215). Généralement, on simplifie la représentation en projetant sur le plan des compositions chimiques les isothermes du liquidus (température à laquelle la solidification débute). Les courbes cotectiques indiquent la cristallisation simultanée de deux phases. Au point eutectique, on atteint la température de cristallisation la plus basse du système. Le problème de la représentation devient extrêmement complexe pour les systèmes qui ont plus de 3 constituants.

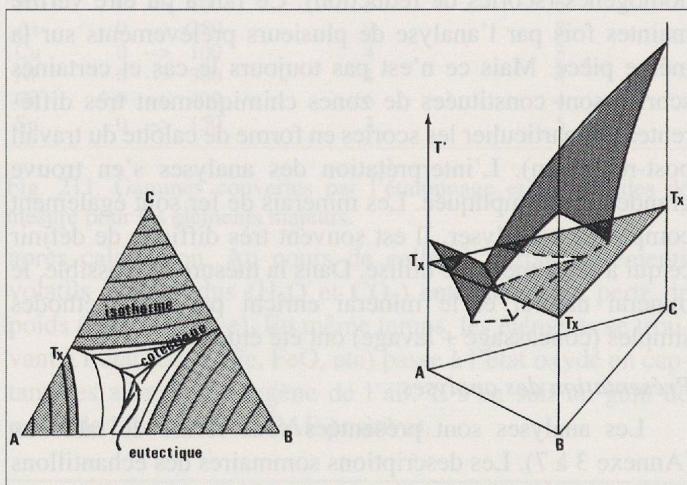


Fig. 215. Diagramme de phase d'un système à 3 constituants et projection sur le plan des compositions chimiques.

Méthode de détermination des minéraux par diffraction des rayons x

Les scories sont des corps solides contenant une phase vitreuse et/ou des minéraux. Les méthodes optiques permettent l'observation d'un grand nombre de propriétés qui aident à identifier les minéraux. En lame mince, on étudie les interactions entre la lumière polarisée dans un plan et les structures cristallines (Tröger 1967 et 1979). Elles ont l'avantage d'être couplées avec l'observation directe de la position des grains les uns par rapport aux autres. Cependant, elles ont aussi de nombreuses limitations (confusions entre des minéraux proches, minéraux opaques difficilement identifiables, etc.).

Les mesures de l'interaction entre les rayons x et la structure cristalline permettent souvent une bonne identification des minéraux présents (Hutchinson 1974).

Principes de la méthode de diffraction des rayons x

Les rayons x sont caractérisés par des longueurs d'onde du même ordre de grandeur que les distances entre les plans réticulaires des cristaux (plans de densité atomique élevée). Ils seront réfléchis sur ces plans selon la loi de Bragg :

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

λ = longueur d'onde du rayonnement

d = distance interréticulaire

θ = angle d'incidence du rayonnement

La méthode de la diffraction des rayons x utilise cette propriété. Une poudre très fine est irradiée par un faisceau de rayons x incidents, ceux-ci sont réfractés dans certaines directions de l'espace. On mesure, sous différents angles, l'intensité des ces rayons déviés. Les angles mesurés sont caractéristiques des minéraux présents et l'intensité du rayonnement dans une direction donnée est fonction de la densité du plan réticulaire ainsi que de l'abondance du minéral.

Paramètres techniques de mesure

Les mesures ont été faites au moyen du diffractomètre automatique Philips du Laboratoire de rayons x de la Section des sciences de la Terre de l'Université de Lausanne (générateur PW 1730; microprocesseur PW 1710, goniomètre vertical 1771). Le responsable, Ph. Thélin et de L. Dufresne, 1^{re} laborantine, ont apportés leur concours. Les mesures ont été faites en balayage continu entre 5 et 70° 2q (CuK α 1, 40kV, 30 mA). Le Si métallique, incorporé dans chaque échantillon joue le rôle de standard interne.

Telle qu'elle a été utilisée, cette méthode reste essentiellement qualitative. Au mieux, il est possible de distinguer les minéraux abondants de ceux qui ne le sont pas. La limite de détection est assez haute car le bruit de fond pour les scories est élevé. En effet, le fer est un élément qui absorbe assez fortement les rayons x du cuivre et il est toujours très abondant. On peut estimer qu'un minéral doit former au moins 5 ou 10% de l'échantillon pour pouvoir être détecté. Par ailleurs, l'interprétation des spectres complexes reste toujours délicate. Il arrive assez souvent que certains pics ne puissent pas être attribués de manière satisfaisante.

Méthode d'analyse chimique des minéraux à la microsonde

La microsonde électronique (SEM) présente le gros avantage de mesurer la composition chimique de volumes de matière extrêmement faibles, d'un diamètre de l'ordre de quelques microns. C'est donc un outil précieux pour l'analyse des minéraux.

Principes de la méthode

L'échantillon est bombardé à l'aide d'un faisceau d'électrons de diamètre très réduit (3-10 µm). Dans la zone excitée, différentes interactions se produisent. En particulier, les éléments émettent des rayons X secondaires caractéristiques. Ceux-ci sont mesurés à l'aide de spectromètres (Potts 1992, 326-382). Les intensités sont ensuite comparées à celles des rayonnements émis par des standards de composition connue.

Paramètres techniques de mesure

Les analyses ont été réalisées à l'aide de la microsonde Cameca SX 50, munie de 5 spectromètres, du Laboratoire de microanalyse de la Section des sciences de la Terre de l'Université de Lausanne, avec l'aide des responsables, F. Bussy, 1^{er} assistant et J. Hernandez, professeur. Les analyses ont été faites en mode ponctuel (tension d'accélération 15 kV, courant 10 mA). Les paramètres techniques sont résumés à la

fig. 216. Les programmes de calcul des corrections sont ceux fournis par Cameca (Pouchou et Pichoir 1984). Le principal problème limitant les applications de cette méthode aux résidus métallurgiques anciens est l'établissement d'une gamme d'étalonnage appropriée. Les standards disponibles au moment de la réalisation des analyses ne possédaient pas toutes les qualités requises. Les résultats présentés dans ce travail ne sont donc pas très satisfaisants.

Un autre problème se pose, celui de l'analyse des minéraux contenant simultanément du Fe²⁺ et du Fe³⁺. Dans l'état actuel, il n'est pas possible de les mesurer séparément; le rapport s'établit par calcul. Or ce calcul n'est valable que si les analyses sont de première qualité.

Incontestablement, à condition de développer des procédures de mesure spécifiques, la microsonde est un outil qui peut apporter énormément à l'étude des résidus sidérurgiques.

Elément	Standard		Cristal	Durée de l'analyse sec.	Bruit de fond	
Si	Silicium	Fayalite, synthétique	Fe ₂ SiO ₄	TAP	20	± 750
Fe	Fer	Fayalite, synthétique	Fe ₂ SiO ₄	LiF	20	± 900
Mn	Manganèse	Rhodonite, Broken Hill	MnSiO ₃	LiF	20	± 800
Mg	Magnésium	Geikiélite, synthétique	MgTiO ₃	TAP	20	± 1100
Al	Aluminium	Andalousite, Minas Gerais	Al ₂ SiO ₆	TAP	20	± 800
Ca	Calcium	Hedenbergite, Broken Hill	CaFeSi ₂ O ₆	PET	20	± 700
Ti	Titane	Geikiélite, synthétique	MgTiO ₃	LiF	20	± 700
V	Vanadium	oxyde de vanadium, synth.	V ₂ O ₅	LiF	20	± 700

Fig. 216. Paramètres techniques de mesure pour la microsonde. Laboratoire de microanalyse, Section des sciences de la Terre, Université de Lausanne.

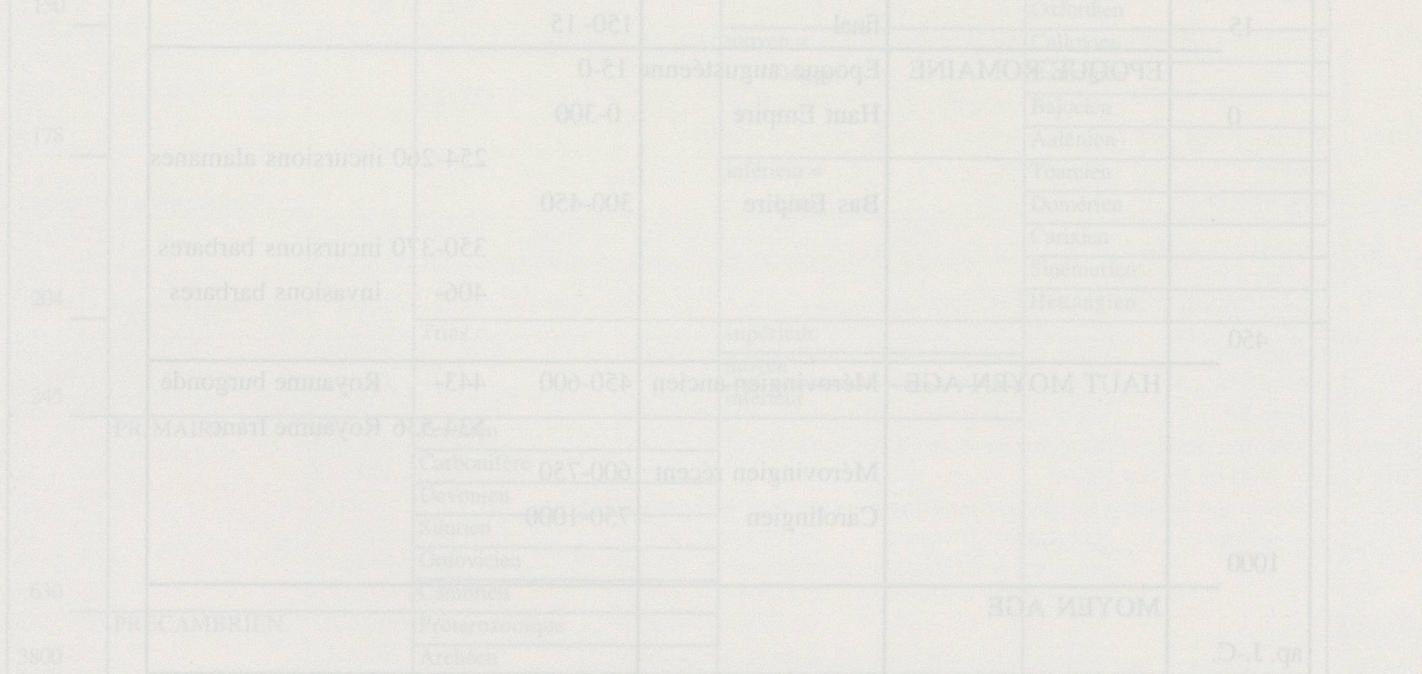


Fig. 218. Tableau chronologique des principales étapes de développement de la métallurgie sidérurgique en Europe et dans le monde. TIC, 1991.

Annexe 2: chronologie

Les nomenclatures chronologiques utilisées dans ce travail sont résumées aux fig. 217 et 218. La chronostratigraphie géologique est celle consacrée par l'usage. Les âges absolus sont basés sur les résultats des méthodes de radiochronologie (Caron *et al.* 1992, p.250-251).

L'échelle archéologique est inspirée des recommandations de la Société suisse de Préhistoire et d'Archéologie (SSPA 1986). Les datations absolues se fondent essentiellement sur les données fournies par la dendrochronologie et l'histoire.

Date années	AGES	Périodes	Remarques		
av. JC	PALEOLITHIQUE				
8000	MESOLITHIQUE				
5500	NEOLITHIQUE				
2300	AGE DU BRONZE				
800	Hallstatt	ancien	800-675		
450	AGE DU FER	final	675-450		
	La Tène	ancien	450-250		
		moyen	250-150	60-50	Guerre des Gaules
15		final	150- 15		
0	EPOQUE ROMAINE	Epoque augustéenne	15-0		
		Haut Empire	0-300		254-260 incursions alamanes
		Bas Empire	300-450		350-370 incursions barbares
450				406-	invasions barbares
1000	HAUT MOYEN AGE	Mérovingien ancien	450-600	443-	Royaume burgonde
		Mérovingien récent	600-750	534-536	Royaume franc
		Carolingien	750-1000		
ap. J.-C.	MOYEN AGE				

Fig. 217. Tableau chronologique synthétique pour les périodes protohistoriques et historiques.

Age m.a.	ERES	Systèmes	Sous-systèmes	Etages	autres noms
	QUATERNAIRE			Holocène	
1.8				Pléistocène	
8	TERTIAIRE	Néogène	Pliocène	Plaisancien	
				Zancréen	
11			Miocène	supérieur	Pontien
				moyen	Tortoniens
15				inférieur	Serravallien
23					Langhien
		Paléogène	Oligocène		Burdigalien
34					Aquitaniens
52			Eocène	supérieur	Chattien
				moyen	Stampien s.s.
65				inférieur	Sannoisiens
	SECONDAIRE	Crétacé	supérieur	Ludien	
95				Bartonien s.s.	
			inférieur	Lutétien	Gault
130		Jurassique		Yprésien	
150			supérieur =	Thanéien	
			Malm	Montien	
178				Danien	
			moyen =	Albien	
204			Dogger	Aptien	Urgonien
245		Trias	supérieur	Barrémien	
			moyen	Hauterivien	
			inférieur	Valanginien	
	PRIMAIRE	Permien		Berriasiens	
		Carbonifère		Portlandien	
		Devonien		Kimméridgien	
		Silurien		Oxfordien	
630		Ordovicien		Callovien	
		Cambrien		Bathonien	
3800	PRECAMBRIEN	Protérozoïque		Bajocien	
		Archéen		Aalénien	
				Toarcien	
				Domérien	
				Carixien	
				Sinémurien	
				Hettangien	

Fig. 218. Tableau chronologique synthétique pour les périodes géologiques. m.a.: million d'années.

Annexe 3-7: analyses chimiques

Nomenclature des scories et matériaux associés

Au cours de ce travail, de très nombreux échantillons de scories et matériaux associés provenant de Suisse occidentale, ont été étudiés et décrits. Nous avons été amené à définir un certain nombre de catégories et à introduire une nomenclature correspondante (voir tableau). C'est, à l'échelle régionale, un outil utile. Certaines grandes distinctions pourront être employées par des chercheurs travaillant dans d'autres zones. Mais en aucun cas, il ne s'agit d'une typologie générale des scories de fer. Bien d'autres formes et bien d'autres aspects sont connus par ailleurs et non discutés dans le cadre de ce travail.

Enfin, par commodité, nous avons préféré ne pas multiplier les catégories. Pour cette raison, on retrouvera les mêmes appellations d'une région à l'autre, alors qu'en fait il existe toujours de subtiles différences, non seulement entre les zones, mais d'un site à l'autre.

CATEGORIES		N ° FIGURES			
MINERAIS : substance naturelle riche en fer, potentiellement exploitable					
Minerais «géologique» :	idem, récolté en place à l'affleurement.	31	142		
Minerais «archéologique» :	idem, récolté sur un site archéologique.				
Minerais «grillé» :	idem, modifié par un chauffage mais sans fusion.				
Minerais fondu :	idem, modifié par un début de fusion (= scorie interne rouillée)				
PAROI : matériaux constitutif des parois du fourneau					
Paroi non modifiée :	idem, cuit mais non fondu				
Paroi scorifiée :	idem, scorifié sur une seule face	67	107	108	109
Scorie de paroi :	idem, complètement scorifié	110			
SCORIES DE REDUCTION : résidu de la réduction du minerais par la méthode directe					
SGD Scorie grise, dense, cristallisée					
coulées :	en cordon (= petite coulure) ø 1-2cm	70	115		
	en amas de cordons (= en canal)	71	113	150	
	en cuvette	72			
	en plaque	114			
non coulées :	en bloc suspendu (= scories internes massives)	75			
	en rognons				
Scorie coulée, grise, vacuolaire		73			
SVN Scorie noire, vitreuses, fortement vacuolaire :					
coulées :	en cordon (= petite coulure) ø 1-2cm	115			
	en tuyau (= cordon large) ø 5-10cm	68	69	111	112
SIJ Scorie intermédiaire jaunâtre, partiellement cristallisée, fortement vacuolaire					
coulées :	en cordon (= petite coulure) ø 1-2cm				
	en tuyau (=cordon large) ø 5-10 cm	148			
SBD Scorie à reflets bleus, denses, surface vitreuse, masse cristallisée:					
coulées :	en plaque ?	155			
Scorie coulée, composite		159			
SCORIES POST-REDUCTION : résidu du travail d'élaboration du métal (forge et raffinage)					
Calotte : Scorie non coulée hémisphérique					
calotte SGD :	idem, gris sombre, dense, homogène	126	173	175	176
calotte SGC :	idem, gris sombre, dense, charbonneuse				
calotte SJD :	idem, gris-jaunâtre, dense, souvent hétérogène	135	181	183	184
calotte SJC :	idem, gris-jaunâtre, charbonneuse, vacuolaire	197	198		
Informé : Scorie non coulée informe, masse d'aspect très variable					
Petite coulure SGD ou SVN ø 1-2cm		134	177		
SAS Scorie argilo-sableuse : matériaux argilo-sableux scorifiés sur toutes les faces					
non coulées :	en rognon	194			
	en goutte ou en agglomérat de gouttes	134	174		
DIVERS					
Laitier :	résidu de la réduction par la méthode indirecte (haut fourneau)				
Mâchefer :	résidu de la forge moderne	127	128		
Battiture :	résidu du martelage (sphérique ou lamellaire)				

Annexe 3.2

L'Examen

Ech n°	SLC 351	SLC 352	THU 101	DIA 201	DIA 202	SLP 151	MOL 171
Eléments majeurs % poids							
Sio2	16.38	7.76	15.68	5.28	2.79	56.16	5.34
TiO2	0.09	0.08	0.18	0.06	0.04	0.33	0.09
Al2O3	5.68	3.96	2.64	1.31	0.88	5.55	1.73
Fe2O3	65.13	74.85	72.21	80.88	81.76	28.67	78.06
FeO	0.11	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.24	0.35	0.13	0.36	0.20	0.47	1.43
MgO	0.30	0.16	0.02	0.04	0.04	0.48	0.09
CaO	0.17	0.13	0.07	0.10	0.06	0.18	0.13
Na2O	0.03	0.16	0.00	0.00	0.12	0.03	0.00
K2O	0.66	0.31	0.16	0.11	0.08	1.15	0.19
P2O5	0.12	0.18	0.11	0.07	0.07	0.20	0.20
H2O	9.88	9.99	8.01	11.04	13.00	5.34	11.84
CO2	1.13	1.97	0.00	0.00	0.00	0.52	0.00
Total	99.92	99.96	99.21	99.23	99.04	99.08	99.10
Eléments traces ppm							
Zr	31	21	70	25	14	158	23
Y	34	29	23	11	24	23	28
Sr	9	7	10	15	6	85	12
Rb	26	12	10	8	7	49	11
Ba	29	17	49	37	24	102	50
V	85	87	110	50	92	172	47
Sn	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sb	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ag	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
As	21	29	21	25	31	25	13
Pb	15	<6	7	12	9	51	<6
Zn	219	218	118	79	126	94	508
Cu	<3	4	<3	<3	<3	<3	<3
Ni	55	88	40	31	45	63	284
Cr	60	65	53	46	45	94	40
Co	83	59	60	47	71	112	197

3.2	Sidérolithique du Salève 2		
N° échan.	Localisation	catégorie	remarque

"minérais archéologiques"

SLC 351	Les Convers, 5, ruisseau	concrétion FeOOH	
SLC 352	Les Convers, 5, ruisseau	concrétion FeOOH	
THU 101	La Thuile, 7, minière	concrétion FeOOH	
DIA 201	Grotte du Diable, 8, minière	concrétion FeOOH	
DIA 202	Grotte du Diable, 8, minière	concrétion FeOOH	
SLP 151	Le Pommier, 12, amas 12.2	concrétion FeOOH	
MOL 171	Les Molliets, 18, chemin	concrétion FeOOH	

Annexe 4.1

Ech n° FER 151 FER 171 GOU 14 GAR 102 GOU 3 GAR 101 ALV 101 GOU 1 GOU 2 GOU 11 GOU 12 GOU 13 GOU 15 PRI 251 PRI 252																
Eléments majeurs % poids																
SiO ₂	20.70	23.85	16.33	48.87	30.57	48.74	53.75	53.09	52.00	52.24	50.01	60.27	53.81	8.19	6.36	
TiO ₂	0.25	0.28		1.23	0.78	1.17	1.27	1.23	1.18				0.24	0.19		
Al ₂ O ₃	4.84	6.25	9.90	20.49	14.29	18.93	20.23	19.98	20.53	22.60	18.73	23.04	21.85	4.97	3.94	
Fe ₂ O ₃	59.52	44.31	60.22	18.97	39.33	10.46	11.53	11.32	13.87	10.40	18.30	15.83	15.79	18.88	10.19	
FeO	0.12	11.49		0.00	1.56	0.36	0.21	2.70	0.89				0.03	0.07		
MnO	0.26	0.78	0.39	0.05	0.10	0.04	0.02	0.06	0.06	0.15	0.37	0.23		5.97	0.55	
MgO	0.19	0.20	0.11	0.08	0.17	0.38	0.50	0.17	0.27	0.10	0.06	0.20		0.36	0.14	
CaO	2.09	4.10	0.29	0.22	0.55	6.43	2.26	0.23	0.27	0.30	0.36	0.33	0.09	34.23	43.63	
Na ₂ O	0.01			0.00	0.02	0.05	0.01	0.29	0.13				0.08	0.05		
K ₂ O	0.02			0.30	0.17	0.21	0.27	0.44	0.53				0.06	0.02		
P ₂ O ₅	0.19	0.87	0.25	0.07	0.20	0.06	0.14	0.07	0.12	0.07	0.08	0.08		0.08	0.05	
H ₂ O	9.15		11.54	8.79	9.64	7.14	8.59	8.26	8.14	12.94	11.42			2.78	3.71	
CO ₂	2.46		0.54	0.00	1.04	5.13	1.35	0.16	0.24	0.42	0.32			24.13	31.00	
Total	99.80	92.06	99.57	99.08	98.42	99.10	100.13	98.00	98.23	99.22	99.65	99.98	91.54	100.00	99.90	
Eléments traces ppm																
Zr	100			274	273	321	314	388	357				47	46		
Y	21			20	28	20	16	22	52				39	21		
Sr	29			57	54	129	45	48	63				80	42		
Rb	3			43	20	28	27	58	82				4	3		
Ba	56			61	68	54	54	152	129				187	85		
V	508			303	726	141	156	200	272				143	68		
Sn	<5			<5	<5	<5	<5	<5	<5				<5	<5		
Sb	<5			<5	8	<5	<5	<5	<5				6	<5		
Ag	<2			<2	<2	<2	<2	<2	<2				2	3		
As	480			70	216	50	70	53	81				405	128		
Pb	108			61	90	66	64	67	74				29	9		
Zn	148			77	144	129	92	70	77				75	38		
Cu	15			<3	11	<3	11	<3	3				32	4		
Ni	98			67	113	44	50	75	97				99	40		
Cr	108			118	511	110	111	180	164				9	5		
Co	123			31	71	15	12	31	45				42	14		

4.1		Sidérolithique du Mormont 1				
N° échan.	Localisation	catégorie	description	remarque	référence	

Minéraux "géologiques"

FER 151	Haut de Champs, M10	Pisolithe			
FER 171	Haut de Champs, M10	Pisolithe			
GOU 14	Goumoens-J., M11	Pisolithes lavés			
GAR 102	Gare d'Eclépens, M4	Bolus rouge	env.30% pisolithes		
GOU 3	Goumoens-J., M11	Bolus rouge	env.30% pisolithes		
GAR 101	Gare d'Eclépens, M4	Bolus rouge			
ALV 101	Les Alleveys, M8	Bolus rouge			
GOU 1	Goumoens-J., M11	Bolus rouge	env.5% pisolithes		
GOU 2	Goumoens-J., M11	Bolus rouge	env.5% pisolithes		
GOU 11	Goumoens-J., M11	Bolus jaune			Schardt 1923, n°42
GOU 12	Goumoens-J., M11	Bolus rouge			Schardt 1923, n°43
GOU 13	Goumoens-J., M11	Bolus rouge			Schardt 1923, n°44
GOU 15	Goumoens-J., M11	Bolus rouge			Schardt 1923

Minéraux "archéologiques" : calcaires

PRI 251	Prins-Bois 2, 5,2	calcaire ferrugineux	
PRI 252	Prins-Bois 2, 5,2	calcaire ferrugineux	env.10% bolus rouge

Annexe 4.2

Echan°	BEL 131	BEL 171	BEL 172	BEL 173	BEL 174	BEL 251	BEL 252	BEL 253	BEL 261	BEL 271	BEL 351	BOS 361	BOS 151	CAR 152	CAR 151	LAC 261	LAC 361	PRI 171	PRI 261
Eléments majeurs % poids																			
SiO ₂	31.86	15.28	20.58	11.53	28.42	14.80	26.81	21.16	15.17	21.62	23.44	26.00	25.21					25.60	
TiO ₂	0.83	0.27	0.28	0.26	0.62	0.48	0.65	0.52	0.26	0.77	0.51	0.64	0.69					0.55	
Al ₂ O ₃	14.45	8.72	11.79	5.72	9.78	8.85	10.96	8.95	8.38	12.48	8.64	11.26	12.92					11.50	
Fe ₂ O ₃	19.00	66.28	54.78	23.20	50.83	70.63	55.29	62.54	64.88	58.34	61.48	54.79	52.05					45.09	
FeO	21.92	0.26	0.26	0.26	4.92	0.00	0.00	0.25	0.22	0.13	0.53	0.06	0.35					2.16	
MnO	0.30	0.32	0.71	26.27	0.49	0.40	0.19	0.16	0.28	0.27	0.27	0.16	0.66					0.54	
MgO	0.32					0.11	0.13	0.13		0.12	0.10	0.11	0.30					0.06	
CaO	2.03	3.51	2.70	5.36	3.10	0.93	0.79	0.89	3.20	0.60	0.30	0.71	0.95					0.80	
Na ₂ O	0.10					0.00	0.04	0.02		0.02	0.08	0.01	0.04						
K ₂ O	0.37					0.04	0.06	0.03		0.04	0.03	0.06	0.23						
P ₂ O ₅	0.33	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.20	0.37		0.31	0.28	0.34	0.24					0.57	
H ₂ O	0.00					7.20	2.27	4.19	3.35		3.84	3.00	4.78	4.12					
CO ₂	0.89					8.40	0.34	0.48	0.98		1.09	0.71	0.91	2.15					
Total	99.19	95.12	91.60	89.00	98.66	99.15	99.79	99.35	92.39	99.63	99.37	99.83	99.91					86.87	

Eléments traces ppm
Zr
Y
Sr
Rb
Ba
V
Sn
Sb
Ag
As
Pb
Zn
Cu
Ni
Cr
Co

Scories de la région du Mormont 1

4.2	Sidérolithique du Mormont 2				
N° échan.	Localisation	catégorie description	remarque	référence	

Minéraux "archéologiques" : bolus

BEL 131	Bellaires 1, 25.1	Bolus rouge	env.5% pisolithes	grillé
BEL 171	Bellaires 1, 25.1	Minerai brun-rouge		Pelet 1973
BEL 172	Bellaires 1, 25.1	Minerai brun		Pelet 1973
BEL 173	Bellaires 1, 25.1	Minerai bleuâtre		Pelet 1973
BEL 174	Bellaires 1, 25.1	Minerai grillé		Pelet 1973
BEL 251	Bellaires 2, 25.2	Bolus rouge	env.5% pisolithes	
BEL 252	Bellaires 2, 25.2	Bolus rouge	env.5% pisolithes	
BEL 253	Bellaires 2, 25.2	Bolus rouge	env.5% pisolithes	
BEL 261	Bellaires 2, 25.2	Minerai		
BEL 271	Bellaires 2, 25.2	Minerai rougeâtre		
BEL 351	Bellaires 3, 25.3	Bolus rouge	env.5% pisolithes	
BEL 361	Bellaires 3, 25.3	Minerai		
BOS 151	Bossena 1, 18	Bolus rouge	env.5% pisolithes	
BOS 152	Bossena 1, 18	Bolus rouge	env.5% pisolithes	
CAR 151	Carolines, 16	Bolus rouge	env.5% pisolithes	
CAR 161	Carolines, 16	Minerai		
LAC 261	Petits Lacs 2, 21	Minerai		
LAC 361	Petits Lacs 3, 19	Minerai		
PRI 171	Prins Bois 1, 5.2	Minerai		
PRI 261	Prins Bois 2, 5.2	Bolus rouge	env.5% pisolithes	Pelet 1960a

Annexe 4.3

Ech n°	PRP 1	PRP 2	PRP 3	PRP 4	PRP 5	COS 1	COS 2	COS 3	COS 4	COS 5
Eléments majeurs % poids										
Sio2	26.08	22.14	9.11	24.28	6.76	37.05	45.61	40.88	59.59	46.77
Tio2	0.19	0.19	0.18	0.26	0.09	0.74	0.80	1.12	1.01	1.00
Al2O3	3.50	5.59	4.49	7.38	2.23	23.32	26.75	33.36	27.26	29.94
Fe2O3	34.07	31.35	34.34	18.30	43.08	2.11	4.85	3.47	1.06	2.24
FeO	19.20	18.40	18.26	24.53	23.15	7.31	5.33	9.54	2.30	2.00
MnO	0.54	0.09	0.23	0.21	0.39	0.16	0.24	0.12	0.08	0.16
MgO	0.70	0.54	0.59	0.83	0.18	2.03	3.26	2.61	1.20	3.15
Cao	7.90	6.47	2.00	3.61	0.83	3.25	4.22	3.17	0.45	5.44
Na2O	0.20	0.24	0.03	0.17	0.11	0.46	0.38	0.24	0.72	0.46
K2O	2.46	0.65	0.58	0.86	0.19	2.98	3.26	2.26	5.13	3.17
P2O5	0.45	0.35	0.26	0.22	0.21	0.29	0.21	0.20	0.15	0.23
H2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.29	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	0.69	1.90	8.28	5.06	4.06	13.60	1.49	2.32	0.67	1.89
Fem	3.80	11.71	21.05	14.21	18.25	0.00	3.20	0.79	0.40	3.60
Total	99.78	99.62	99.40	99.92	99.53	99.59	99.60	100.08	100.02	100.05
Eléments traces ppm										
Zr	65	72	24	72	20	110	145	178	120	138
Y	17	14	13	19	8	44	54	44	38	45
Sr	79	173	43	193	45	567	578	507	185	584
Rb	73	32	38	59	14	161	185	111	230	164
Ba	190	176	126	259	60	1729	2064	1648	1068	1857
V	28	48	67	57	47	172	155	173	129	139
Sn	<5	17	<5	<5	394	<5	<5	<5	<5	<5
Sb	7	<5	8	7	10	5	<5	<5	<5	<5
Ag	2	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2
As	12	55	364	24	85	51	35	23	<8	<8
Pb	<6	6	<6	<6	45	13	<6	<6	<6	<6
Zn	25	24	25	25	31	33	24	13	26	22
Cu	136	148	216	234	760	175	58	60	55	45
Ni	19	64	130	60	148	94	122	123	56	117
Cr	26	50	62	37	67	98	75	98	100	73
Co	12	45	67	49	96	87	80	105	23	74

4.3

Produits scorifiés modernes de la région du Mormont

N° échan.	Localisation	catégorie description	analyse minéralogique RX, lames minces	remarque référence
-----------	--------------	-----------------------	--	--------------------

Secteur Cuarnens

PRP 1	Pré Penard 2, 2	mâchefer hétérogène		
PRP 2	Pré Penard 2, 2	mâchefer homogène		
PRP 3	Pré Penard 2, 2	mâchefer hétérogène		
PRP 4	Pré Penard 2, 2	mâchefer hétérogène		
PRP 5	Pré Penard 2, 2	mâchefer homogène		Fe abondant, houille

Secteur de Cossonay

COS 1	sans précision	mâchefer, ± calotte		Fe, houille
COS 2	sans précision	mâchefer, ± calotte		Fe, houille
COS 3	sans précision	mâchefer, ± calotte		
COS 4	sans précision	matière vitrifiée blanche		
COS 5	sans précision	mâchefer		charbon

Fe: fer métal visible

Annexe 4.8

Ech n°	AFF 1	AFF 2	AFF 3	AFF 9	AFF 10	TIG 1	TIG 2	MRD 1	MRD 2	DON 1	DON 2	DON 3	COM 1	COM 2
Eléments majeurs % poids														
Sio2	38.62	35.15	39.09	45.54	44.50	34.94	68.80	39.29	41.58	43.55	45.32	12.51	35.47	43.29
Tio2	0.90	0.96	0.86	1.08	1.21	0.86	0.66	0.80	1.07	1.14	1.15	0.12	0.88	1.13
Al2O3	15.49	17.09	15.09	18.48	21.29	15.48	9.75	14.88	19.08	20.04	19.85	1.82	15.06	19.05
Fe2O3	11.36	26.73	21.57	2.87	9.17	6.27	0.46	12.70	6.54	-1.40	4.93	46.38	13.34	5.40
FeO	22.06	5.41	9.21	20.16	10.30	13.35	14.64	21.67	20.59	8.67	20.42	32.06	17.73	23.46
MnO	0.63	0.39	0.73	0.81	0.47	16.33	0.42	2.30	0.77	16.51	1.53	0.09	2.11	0.40
MgO	0.46	0.46	0.52	0.54	0.61	0.66	0.39	0.52	0.59	0.78	0.57	0.46	0.47	0.41
Cao	4.05	2.62	3.02	3.34	3.78	6.89	2.72	2.19	3.04	5.49	3.49	3.41	4.06	1.93
Na2O	0.06	0.05	0.10	0.11	0.01	0.02	0.03	0.40	0.22	0.08	0.08	0.08	0.43	0.12
K2O	0.77	0.95	0.84	1.03	1.13	0.80	0.74	0.68	0.82	1.12	0.60	0.48	0.52	0.47
P2O5	0.24	0.40	0.28	0.12	0.09	0.25	0.23	0.28	0.21	0.04	0.10	1.39	0.41	0.13
H2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	1.09	0.66	0.33	0.64	0.76	1.03	0.36	0.67	2.33	0.29	0.74	0.40	4.18	0.38
Fem	4.24	8.23	7.43	3.15	3.92	0.68	0.00	3.55	2.83	1.22	1.25	0.72	5.41	1.16
Total	99.97	99.10	99.07	97.87	97.24	97.56	99.55	99.93	99.67	97.53	100.03	99.92	100.07	97.33
Eléments traces ppm														
Zr	278	275	268	358	353	207	293	207	321	259	301	53	248	328
Y	44	46	43	46	50	50	22	37	50	59	40	9	34	34
Sr	65	61	68	68	77	225	67	95	75	232	110	62	79	75
Rb	31	23	29	37	29	46	17	32	24	48	23	6	25	20
Ba	333	205	299	366	261	6851	277	1071	340	8681	469	41	1031	149
V	1509	1460	1480	1703	1601	794	338	860	1696	765	952	126	883	1053
Sn	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sb	<5	<5	<5	<5	5	<5	<5	<5	<5	6	<5	8	<5	<5
Ag	<2	<2	2	<2	<2	<2	2	<2	<2	2	<2	<2	<2	<2
As	23	40	28	15	23	213	23	15	73	28	30	177	50	33
Pb	9	10	<6	<6	<6	<6	12	9	<6	<6	<6	<6	42	9
Zn	96	125	116	34	51	50	198	68	51	24	47	29	131	64
Cu	13	45	41	5	7	17	<3	31	24	<3	<3	47	16	5
Ni	26	30	20	15	18	59	41	22	56	31	24	104	37	19
Cr	118	132	124	152	165	80	66	88	142	82	122	50	140	141
Co	38	46	32	11	17	34	67	30	103	18	38	98	32	71

4.8 Scories de la région du Mormont 5

N° échan.	Localisation	catégorie description	analyse minéralogique X, lames minces	remarque référence
-----------	--------------	-----------------------	---------------------------------------	--------------------

Secteur Ferreyres

AFF 1	Maison Favre, 28	SVN, tuyau		Fe
AFF 2	Maison Favre, 28	interm., gris clair	Fay, Her, (Qz)	Fe,incl.sil.,hétéro.
AFF 3	Maison Favre, 28	interm., gris jaunâtre, informe		Fe,incl.silicates
AFF 9	Maison Favre, 28	interm., gris jaunâtre, bulleux, tuyau		Fe,incl.sil.,hétéro.
AFF 10	Maison Favre, 28	SVN, tuyau aplati		Fe, hétérogène
TIG 1	Le Tignon, 30	interm., gris jaunâtre, bloc		Fe, hétérogène
TIG 2	Le Tignon, 30	scorie de paroi		Fe, hétérogène
MRD 1	Morandin 1, 31	interm., gris clair, bulleux, bloc ?		Fe, hétérogène
MRD 2	Morandin 1, 31	SVN, tuyau ?		Fe, hétérogène
DON 1	Donchires 1, 34	interm., gris clair, bloc ?		Fe, hétérogène
DON 2	Donchires 1, 34	SVN, tuyau		hétérogène
DON 3	Donchires 1, 34	SGD, calotte ?		Fe abondant structure ± radiaire
COM 1	En Combattions, 35	SVN, tuyau		hétérogène
COM 2	En Combattions, 35	SVN, tuyau		

SGD : Scorie grise dense

SVN : Scorie vitreuse noire

interm. : Scorie intermédiaire entre SVN et SGD

Fay : Fayalite

Fe: fer métal visible

Her : Hercynite

Qz : Quartz

Annexe 5.4

Ech n°	MON 5	MON 13	MON 48	MON 49	MON 50	MON 51	MON 76	MON 92	MON 93	MON 53	MON 533
Elément majeurs % poids											
Sio2	37.01	36.86	37.42	35.75	32.94	36.73	33.78	33.38	33.68	36.38	36.48
TiO2	0.43	0.42	0.44	0.42	0.37	0.43	0.38	0.36	0.37	0.58	0.58
Al2O3	7.64	7.68	7.86	7.50	6.54	7.64	6.59	6.52	6.55	11.42	11.35
Fe2O3	1.62	3.22	8.43	11.13	14.99	5.63	0.00	14.79	12.04	0.00	0.00
FeO	36.56	34.83	25.15	25.90	25.45	29.85	38.33	25.09	27.07	0.08	3.03
MnO	1.50	1.43	1.50	1.53	1.60	1.44	1.59	1.56	1.57	23.01	21.99
MgO	0.96	0.94	0.96	0.84	0.87	0.90	0.87	0.90	0.89	1.65	1.62
CaO	14.31	13.91	14.22	13.47	12.79	14.03	13.08	12.95	13.01	15.35	14.93
Na2O	0.04	0.05	0.07	0.16	0.13	0.07	0.28	0.05	0.07	1.80	0.30
K2O	0.50	0.49	0.53	0.45	0.49	0.50	0.51	0.49	0.50	1.42	1.30
P2O5	0.92	0.93	0.87	0.97	0.86	0.88	0.88	0.85	0.86	0.69	0.59
H2O	0.36	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	0.23	0.23	0.15	0.14	0.13	0.18	0.11	0.12	0.13	0.23	0.52
Fem	0.00	0.00	1.74	1.27	1.99	0.69	3.24	2.90	3.34	4.07	3.40
Total	102.08	101.32	99.34	99.53	99.15	98.97	99.64	99.96	100.08	96.68	96.09
											95.63
Elément traces ppm											
Zr	200	201	203	197	169	196	135	185	186	198	195
Y	25	26	27	26	23	25	43	22	23	42	40
Sr	105	108	111	104	104	105	115	106	106	294	287
Rb	18	21	21	18	19	20	15	21	19	42	42
Ba	133	119	136	105	115	121	86	113	116	524	502
V	939	991	976	994	755	967	1364	736	758	990	934
Sn	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sb	<5	<5	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ag	7	5	<2	2	<2	3	<2	<2	<2	5	2
As	14	14	<8	19	75	9	204	79	78	15	<8
Pb	10	<6	<6	<6	<6	<6	13	<6	6	<6	<6
Zn	76	88	74	95	71	83	103	72	70	27	19
Cu	28	27	20	30	68	30	90	62	61	34	3
Ni	24	17	18	15	65	20	135	61	64	15	18
Cr	44	45	49	46	41	47	57	41	43	42	40
Co	27	9	9	14	66	11	107	64	74	7	14
											<6

Scories de Montcherand 3				
N° échan.	Localisation	catégorie description	analyse minéralogique RX, lm	remarque référence
MON 5	Montcherand, four 1	SBD, plaque épaisse		Abetel 1992, fig.33
MON 13	Montcherand, four 2b	SBD, plaque épaisse		Abetel 1992, fig.34
MON 48	Montcherand, four 2	SBD, plaque épaisse		
MON 49	Montcherand, four 2	SBD, plaque épaisse		
MON 50	Montcherand, four 2	SBD, plaque épaisse	Fay, Rhö lm	
MON 51	Montcherand, four 2	SBD, plaque épaisse	Fay, (Rhö), (Qz) lm	
MON 76	Montcherand, four 2b	SBD, plaque épaisse		
MON 92	Montcherand, four 1	SBD, plaque épaisse		
MON 93	Montcherand, four 1	SBD, plaque épaisse		

Scorie très riche en Mn

MON 531com	Montcherand, four 2	SVN + SVJ, tuyau	lm	composite, polygones
MON 532sup		SVN	verre	
MON 533inf		SVJ	verre, (FayMn?)	

SBD : Scorie dense à reflets bleus

lm : lame mince

Fay : Fayalite

Fe: fer métal visible

SVN : Scorie vitreuse noire

voir ann. 5.6

Rhö : Rhoenite

SVJ : Scorie vitreuse jaunâtre

Qz : Quartz

FayMn : Fayalite manganésifère

Annexe 5.5

Ech n°	MON 3	MON 211	MON 212	MON 22	MON 23	MON 11	MON 12	MON 4	MON 43	MON 29	MON 72
Eléments majeurs % poids											
SiO ₂	23.21	24.06	27.47	15.66	19.18	21.84	20.08	32.37	56.14	58.78	53.50
TiO ₂	0.30	0.34	0.35	0.24	0.29	0.39	0.29	0.47	0.66	0.62	0.51
Al ₂ O ₃	6.03	6.58	6.89	4.93	5.72	7.14	5.29	9.78	23.86	10.86	11.09
Fe ₂ O ₃	46.64	47.76	48.65	62.96	58.26	37.20	29.37	15.62	7.14	0.00	0.00
FeO	10.58	8.45	4.40	1.19	3.65	10.67	30.79	26.65	5.00	18.09	6.57
MnO	1.63	1.32	1.27	3.80	1.96	2.05	1.82	3.33	0.25	0.95	0.75
MgO	0.50	0.55	0.56	0.58	0.53	0.59	0.59	1.02	0.35	0.82	2.05
CaO	3.17	2.16	2.33	4.07	2.01	5.56	3.19	5.21	4.21	5.34	10.83
Na ₂ O	0.09	0.24	0.40	0.54	0.44	0.06	0.08	0.02	0.21	0.30	0.77
K ₂ O	0.38	0.42	0.58	0.18	0.26	0.41	0.38	0.65	0.36	0.75	1.10
P ₂ O ₅	0.98	0.98	0.95	1.05	1.08	0.78	1.00	1.21	0.21	0.20	0.23
H ₂ O	4.64	3.76	3.54	1.35	3.77	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
CO ₂	3.06	2.41	1.86	2.38	2.38	9.35	6.30	0.50	0.48	0.37	3.48
FeM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.71	3.03	4.78	0.00	1.15	6.91
Total	101.21	99.03	99.25	98.93	99.53	101.75	102.21	101.61	98.96	98.23	97.79
Eléments traces ppm											
Zr	118	124	125	96	113	123	126	190	207	253	186
Y	21	23	24	24	23	26	23	35	25	28	23
Sr	70	65	71	93	64	92	69	100	122	102	162
Rb	16	17	21	7	13	23	23	28	24	25	44
Ba	107	102	117	77	92	247	141	121	102	148	203
V	1141	1190	1180	1363	1345	845	885	1534	210	555	335
Sn	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sb	6	<5	6	<5	13	6	8	<5	<5	<5	<5
Ag	<2	<2	2	<2	<2	<2	2	5	<2	2	<2
As	452	426	477	890	487	336	427	13	54	20	21
Pb	11	8	<6	56	45	56	20	11	143	<6	<6
Zn	720	1319	1220	748	2248	342	237	127	104	23	24
Cu	88	87	88	105	99	69	96	18	20	<3	15
Ni	271	238	214	350	293	227	268	16	120	18	31
Cr	59	68	69	44	60	61	65	75	83	77	93
Co	159	154	140	218	182	141	148	15	52	25	38

5.5 Produits scoriacés divers de Montcherand

N° échan.	Localisation	catégorie description	analyse minéralogique RX, lames minces	remarque référence
-----------	--------------	-----------------------	--	--------------------

Fond de Fourneau

MON 3	Montcherand, site	FDF, bloc, ± calotte		Abetel 1992, fig.37
MON 211	Montcherand, four 2b	FDF, bloc, ± cuvette		double de 212
MON 212				double de 212
MON 22	Montcherand, four 2b	FDF, bloc, ± cuvette		
MON 23	Montcherand, four 2b	FDF, bloc, ± calotte		

Grenaille

MON 11	Montcherand	grenaille		Abetel 1992
MON 12	Montcherand	grenaille		Abetel 1992

Divers

MON 4	Moncherand , four 2b	SGD, interne	lm	analyse composite Abetel 1992, fig.38
MON 43	Montcherand, site	scorie collée à la paroi		Fe
MON 29	Montcherand, four 5	paroi scorifiée		argileuse
		SVJ, tuyau	verre, Qz, (Kal?)	très riche en grains silicatés non fondus
		scorie de paroi ?		très riche en grains silicatés non fondus
MON 72	Montcherand, site	SVN, bloc informe		
		scorie de paroi ?		

SGD : Scorie grise dense

SVJ : Scorie vitreuse jaunâtre

SVN : Scorie vitreuse noire

FDF : Fond de fourneau

lm : lame mince

voir ann. 5.6

Qz : Quartz

Kal : Kalsilite

Fe: fer métal visible

Annexe 5.6

5.6		Scories de Montcherand : Etude des lames minces					
N° éch.	Catégorie Descript.	estimation modale en %					remarques
		porosité	verre	Fayalite	Opaque*	autre	
MON 4	SGD interne+ paroi	40	15	35 B+C+T	10	Quartz Feldspaths Micas	contact avec la paroi. au moins 2 couches de scorie adhérentes.
MON 6	SGD cuvette	5	7 recrist.	65 B+C+(H) plume	20	Rhönite 3 (tardive)	grains très grossiers -> 2.5 cm. fayalites orientées parallèlement par zone. voir fig. 154
MON 24	SGD cordons	40 variable	20	30 B+C+P B+H	10	Rhönite ? (tardive) hydroxydes Quartz	les habitus et orientations des cristaux de fayalite sont répartis par zones (structure de refroidissement des cordons).
MON 28	SVN tuyau	60	35			métal 5 hydroxydes	voir fig. 147
MON 36	SVJ tuyau	80 - 40 variable	0 - 20	20 - 40 B+C+P T (tardive)		métal 3	voir fig. 149
MON 45	SGD cordons	20	15	55 B+C+P B+H P+C	10		les habitus et orientations des cristaux de fayalite sont répartis par zones (structure de refroidissement des cordons).
MON 46	SVJ tuyau	60 - 20 variable	20 - 60	10 - 30 P+T P		métal 1	
MON 47	SGD informe	20	20	50 C+P+T B+H	10	métal ? Quartz	texture de mélange de 2 liquides ?
MON 50	SBD plaque	5	10	60 C T (tardive)	?	Rhönite 20 tardive	voir fig. 157 aiguilles de fayalite très longues -> 2 cm.
MON 51	SBD plaque	10	60	20 sphérolites	?	Rhönite ? métal ? Quartz 10	
MON 53	SVJ+SVN Mn riche	5	0 - 90	0-90 B+T plume			
MON 71	SBD informe	10	70	20 plume		métal 1	voir fig. 158

SGD : Scorie grise dense

SVN : Scorie vitreuse noire

SVJ : Scorie vitreuse jaune

SBD : Scorie dense à reflets bleus

habitus de la fayalite

H : forme de Hopper

B : en branche

C : en chaîne

P : en plaque

T : en treillis

Opaque* : probablement spinelle

proche de la ferri-hercynite

Annexe 6.3

Ech.N°	VUL 1	VUL 2	VUL 3	VUL 4	VUL 5	VUL 21	MOR 1	MOR 21	MOR 22	MOR 3	MOR 4	MOR 5
Eléments majeurs % poids												
SiO ₂	26.98	13.03	31.11	28.30	26.02	19.70	63.67	21.49	43.07	24.67	63.42	18.32
TiO ₂	0.17	0.09	0.21	0.19	0.21	0.13	0.41	0.15	0.30	0.17	0.39	0.11
Al ₂ O ₃	3.98	2.20	5.01	4.51	4.42	3.06	8.91	3.24	6.64	3.06	9.44	2.50
Fe ₂ O ₃	33.40	45.90	26.44	37.04	38.81	4.62	9.64	40.99	13.73	43.33	3.55	50.40
FeO	22.20	21.45	22.95	17.40	18.80	68.61	1.60	22.75	19.55	23.45	8.85	15.50
MnO	0.08	0.05	0.13	0.10	0.06	0.03	0.18	0.08	0.13	0.09	0.15	0.05
MgO	0.60	0.51	0.98	0.84	0.59	0.42	1.21	0.52	0.82	0.55	1.09	0.33
CaO	2.41	5.19	5.57	4.81	1.90	0.80	7.15	6.07	7.12	2.13	6.11	2.97
Na ₂ O	0.29	0.22	0.55	0.45	0.42	0.68	1.54	0.32	0.90	0.17	1.30	0.39
K ₂ O	2.73	1.44	2.28	1.86	1.63	0.93	3.12	1.13	2.20	1.18	3.01	1.02
P ₂ O ₅	0.43	0.53	0.66	0.54	0.47	0.38	0.65	0.85	1.07	0.38	0.60	0.49
H ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.19	0.19	0.00	1.27	0.11	0.55	6.51
CO ₂	0.88	0.46	0.42	0.43	1.18	0.00	0.62	0.48	0.99	0.37	0.59	1.14
FeM	5.70	8.92	3.13	3.19	5.23	0.00	0.00	2.04	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.85	99.99	99.44	99.66	99.74	100.55	98.89	100.11	97.79	99.66	99.05	99.73
Eléments traces ppm												
Zr	65	34	78	71	88	38	141	59	114	87	140	49
Y	13	8	13	12	12	9	19	12	18	15	23	9
Sr	64	121	104	92	49	31	151	140	186	189	160	93
Rb	51	22	45	40	45	28	83	36	81	66	98	25
Ba	273	178	304	239	153	93	588	313	601	362	685	172
V	18	14	24	19	30	13	35	22	32	16	37	14
Sn	<5	<5	<5	<5	<5	243	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Sb	<5	5	<5	<5	<5	6	<5	5	<5	<5	<5	<5
Ag	2	2	2	2	2	2	<2	3	<2	2	2	3
As	33	47	19	13	46	335	<8	49	27	10	15	392
Pb	<6	<6	<6	<6	<6	41	7	<6	7	<6	9	<6
Zn	27	36	24	27	25	20	27	29	34	21	24	22
Cu	85	73	105	95	44	144	15	45	48	33	14	147
Ni	256	80	118	155	229	263	43	148	92	43	50	633
Cr	27	15	39	41	67	25	47	22	34	21	46	12
Co	263	139	105	128	174	261	14	142	85	81	37	534

6.3	Scories du Mont Vully et de Morens				
N° échan.	Localisation	catégorie description	analyse minéralogique (diffraction RX)	remarque	
VUL 1	Vully, sondage 32	informe SGD			
VUL 2	Vully, sondage 32	informe SGD			
VUL 3	Vully, sondage 5	informe SGD			
VUL 4	Vully, sondage 5	informe			
VUL 5	Vully, sondage 5	informe SGD			
VUL 21	Vully	calotte			
		ø 7 cm, h 5 cm, 300 gr			

Mont Vully FR : oppidum du Plan Châtel

VUL 1	Vully, sondage 32	informe SGD			
VUL 2	Vully, sondage 32	informe SGD			
VUL 3	Vully, sondage 5	informe SGD			
VUL 4	Vully, sondage 5	informe			
VUL 5	Vully, sondage 5	informe SGD			
VUL 21	Vully	calotte			
		ø 7 cm, h 5 cm, 300 gr			
			Fe hétérogène		

Morens FR : Derrière la Cure

MOR 1	Morens, Derrière la Cure	paroi de foyer			
MOR 21	Morens, Derrière la Cure	frgt calotte ?			
MOR 22	Morens, Derrière la Cure	frgt calotte ?			
MOR 3	Morens, Derrière la Cure	paroi et scorie			
MOR 4	Morens, Derrière la Cure	paroi de foyer			
MOR 5	Morens, Derrière la Cure	calotte			
		ø 10 cm, h 5 cm, 340 gr			
			charbonneux		

SGD : scorie grise dense

ø diamètre
h épaisseur

Fe : Fer métal visible

