

## BULLETIN MENSUEL

DE LA

**SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE LYON**

FONDÉE EN 1822

RECONNUE D'UTILITE PUBLIQUE PAR DECRET DU 9 AOUT 1937

des SOCIÉTÉS BOTANIQUE DE LYON, D'ANTHROPOLOGIE ET DE BIOLOGIE DE LYON  
REUNIES

et de leurs GROUPES REGIONAUX : ROANNE, VALENCE, etc

**Siège Social et Secrétariat Général : 33, rue Bossuet, Lyon (6<sup>me</sup>)**Trésorier : M. H. BONVALLET, 20, rue Molière, Lyon (6<sup>e</sup>).

---

<b>ABONNEMENT ANNUEL :</b>	France et Union .....	14 F	— C.C.P. Lyon 101-98
	Etranger .....	15 F	
	Scolaires, Lycéens ...	Réduction de 50 %	
	Frais d'inscription : plaque adresse, carte de membre : 1,50 F en sus		
	N.B. — Les virements à notre C.C.P. Lyon 101-98 doivent être rédigés au nom de la <b>SOCIÉTÉ LINNÉENNE DE LYON</b>		
	Pour tout changement d'adresse, prière de nous faire parvenir la dernière bande et la somme de 1,50 F. (Timbres acceptés).		

---

dantes pour disparaître par évaporation dans les zones descendantes, (Effet de foehn).

Et M. MELLIER en conclut que pour nos régions, ces phénomènes signifient que le mauvais temps dépressionnaire dû aux masses d'air atlantique, n'est pas aussi absolu que dans des régions de plaine. Il en résulte une dissymétrie considérable entre les deux bordures de la plaine en ce qui concerne l'ensoleillement, les précipitations et les températures, avec les conséquences que cela implique sur la végétation, la culture et l'habitat.

L. DELOGE.

---

## DONS

M. VOISIN : 5 F ; M. MAURICE : 4.50 F.

---

## PARTIE SCIENTIFIQUE

---

### L'ANTIQUE FONDERIE DE FER DE SOLEINES (COMMUNE DE VENOY, YONNE) ETUDES GEOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES

par J. MOMOT.

#### GÉNÉRALITÉS

Les « Soleines » sont constitués par un groupe de hameaux dépendant de la commune de Venoy. Le village de Venoy se trouve lui-même situé sur le bord de la pente douce d'un vaste plateau calcaire et argilo-sableux, appartenant aux niveaux géologiques du Portlandien et du Barrémien, à 6 kilomètres à l'est de la ville d'Auxerre.

Cet ensemble de hameaux se divise en un certain nombre de petites agglomérations proches les unes des autres, les 3 plus importantes étant : le « Haut Soleine », le « Soleine Milieu » et le « Bas Soleine ». Ce groupe de hameaux se trouve sur le versant droit de la vallée du Sinotte, nom d'un modeste cours d'eau qui coule au fond de cette pittoresque vallée.

L'origine, l'amorce de cette vallée se situe sur un plateau calcaire de l'époque Portlandienne et Kimeridgienne, en amont du village de Montallery. Le creusement de cette vallée et de beaucoup d'autres, du reste, dans cette région, pourrait remonter au Néogène.

Le fond de cette vallée est bien souvent marécageux et, pendant l'hiver, les prairies sont en grande partie inondées. La flore porte, bien entendu, l'empreinte profonde de ces conditions écologiques. Dans les prés humides, on peut remarquer : *Senecio aquaticus*, *Lychnis flos-cuculi*, *Drosera rotundifolia*, etc. Près du ruisseau et des marécages : *Caltha palustris*, *Lythrum salicaria*, *Salix alba*, *Alnus glutinosa*, *Carex riparia*, *Alisma lanceolatum*, *Alisma plantago*, *Typha angustifolia*, *Sparganium ramosum*, etc.

Sur le versant opposé au hameau du « Haut Soleine », non loin de la rive gauche du Sinotte, on rencontre dans les champs labourés, éparses, de nombreuses scories métallurgiques ferrugineuses, mais, sur une superficie d'environ 400 m<sup>2</sup>, le nombre de ces scories augmente très

fortement. C'est justement à l'intérieur de cette surface, à densité élevée en éléments scoriacés, que nous avons effectué de nombreux sondages à la sonde-tarière, dans le but, d'une part, de connaître la stratigraphie de ce gisement archéologique et, d'autre part, de délimiter le pourtour et l'importance de cet ancien établissement de fonderie.

Il est à noter que le nombre de ces scories diminue très rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de ce périmètre ; cette diminution des scories en fonction de la distance semble suivre une loi exponentielle.

La région immédiatement voisine est d'ailleurs relativement riche en vestiges archéologiques. Non loin des hameaux « Les Soleines », les terrains, dans le voisinage de l'ancien moulin de « La Coudre », montrent, en grand nombre, des débris de tuiles à rebords, d'origine gallo-romaine, ainsi que divers fragments céramiques et de pierres de taille ; ce ne sont plus là que les traces ultimes d'une antique villa.

Le présent travail a été divisé en quatre chapitres :

I. - *Les données stratigraphiques :*

- a) Succession des couches et niveaux.
- b) Profils de résistivité électrique.

II. - *Les études physico-chimiques des scories proprement dites :*

- a) L'étude des caractères organoleptiques.
- b) Les résultats de l'analyse chimique.
- c) La constitution des scories et les facteurs de la morphogénèse scoriacée.
- d) Les observations optiques.

III. - *Le minerai utilisé.*

IV. - *Le réfractaire : Origine géologique des sables et argiles employés.*

I. - LES DONNÉES STRATIGRAPHIQUES

a) *Succession des couches et niveaux.*

Le puits d'essai, qui avait pour but de nous renseigner sur la structure interne des couches archéologiques, a été creusé au centre de la zone la plus riche en scories. Ce puits d'essai, de section carrée, avait 2 mètres de côté ; sa profondeur atteignait au substratum rocheux géologique : 1,60 m environ.

La stratigraphie en était la suivante :

- Sol arable, de teinte brun-gris, assez pauvre en humus, montrant quelques scories éparses ..... 0,40 m
- Niveaux, brun foncé, entièrement composés de blocs et débris scoriacés noirâtres de toutes sortes, avec quelques fragments de bois charbonnés et terre cuite ..... 0,90 m
- Couches, de coloration rouge et brun-rouge, présentant en plus grand nombre des charbons de bois et des éléments réfractaires, ainsi que quelques minerais limonitiques profondément altérés par les actions thermiques ..... 0,30 m

Le substratum rocheux est constitué par les marnes ostréennes et argiles à *Astarte subformosa* du Barrémien inférieur de cette région.

Notons enfin que toutes ces couches montrent une inclinaison de 5 % en direction du fond de la vallée.

Vers 0,60 m de profondeur, nous avons découvert, mêlés aux scories, deux éclats de silex taillés. Cette découverte ne doit pas trop surprendre ; il nous suffira, en effet, de rappeler que la construction d'un fourneau était, bien souvent, une opération rituelle. La magie des armes et des outils de pierre s'est transmise, amplifiée, aux nouveaux instruments forgés en métal. Des restes et vestiges d'anciennes mythologies des temps lithiques se sont probablement surajoutés et intégrés à la mythologie des métaux. On peut donc considérer ces silex taillés comme des outils rituels.

Ce four antique semble se présenter comme une grande dépression elliptique, de 15 à 20 mètres de grand diamètre, établie en pleine pente du sol. Cette fosse est donc installée sur le flanc bas, à peine déclive, de la petite vallée et à peu de distance du ruisseau. L'ellipse de cette dépression est sensiblement orientée du sud au nord et son petit diamètre de l'ouest à l'est. D'après ces dispositions, la sortie des scories devait s'opérer du sud au nord.

Ces fours étaient soufflés : une étroite tuyère débouchait directement au-dessus du foyer. Les scories en fusion étaient enlevées du four soit de façon intermittente, soit de façon continue par un tunnel d'évacuation. Il y avait formation d'une loupe de fer compact. La présence de cette loupe au débouché de la tuyère produisait une réoxydation considérable, des pertes de fer et une décarburation du métal. Pourtant, le fer avait, partiellement, les propriétés de l'acier.

La méthode directe, au bas foyer, peut être présentée de la manière suivante. Le minerai préparé pour la réduction, après avoir été soumis au concassage, au lavage, au grillage ou au séchage, se présente sous la forme d'oxyde :  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Sous l'influence de l'agent de réduction, cet oxyde perd progressivement son oxygène. Un des traits caractéristiques de cet ancien procédé était l'arrivée de l'oxyde de départ  $\text{FeO}$  dans la zone de haute température au moment où cet oxyde devient fluide pour la silice, formant ainsi une phase liquide de fayalite.

Il en résultait qu'une part considérable de métal restait dans la scorie ; il en était de même pour le silicium et le manganèse. La réduction de l'oxyde de fer,  $\text{FeO}$ , se faisait à des températures relativement basses.

D'autre part, à une température d'environ  $900^\circ\text{C}$ , point où se terminait la réduction en fer métallique, au-dessus du point de transformation du fer « alpha » en fer « gamma », la carburation se faisait assez rapidement, grâce à la concomitance de 2 réactions :

- dissociation du monoxyde de carbone :  $2\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$  ;
- carburation par le carbone :  $3\text{Fe} + \text{C} = \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$ .

Et résultat final :  $3\text{Fe} + 2\text{CO} = \text{Fe}_3\text{C} + \text{CO}_2$ .

Par ailleurs, le foyer contenait un excès de  $\text{FeO}$  sous forme libre ou en fayalite.

Pour obtenir 1 kg de fer en loupe, il fallait environ 10 kg de minerai ; la réduction donnait 1 kg de métal et 4,5 à 5 kg de scories. Il fallait compter jusqu'à 12 kg de charbon pour 1 kg de fer en loupe, non forgé, y compris le charbon destiné à la chauffe du four.

La réduction étant opérée dans des fours de faible capacité, le carbone se présentait sous forme de charbon de bois. Des fragments de

charbon de bois, le « carbo » de PLINE L'ANCIEN furent examinés sous forme de préparation microscopique à la loupe binoculaire et au microscope ordinaire. La disposition des rayons médullaires, des couches concentriques montre que ces échantillons appartiennent au genre « *Quercus* ». Actuellement, il est encore possible de trouver : *Quercus pedunculata, sessiliflora, pubescens*.

Notons enfin que des restes de briques, de tuiles à rebords existent tout autour de ce ferrier, et dont l'origine remonte à l'époque gallo-romaine.

b) *Profils de résistivité électrique.*

Les mesures de résistivité apparente ont été effectuées à l'aide d'un résistivimètre, inspiré du montage d'AITKEN avec un dispositif d'écartement des électrodes du type WENNER.

Les résultats obtenus sont les suivants :

— Terre végétale .....	de 200 à	180 $\Omega$ m
— Niveaux à scories, avec faciès plus ou moins argileux .....	de 200 à	350 $\Omega$ m
— Couches à blocs compacts scoriacés. Anomalies importantes de la résistivité apparente, pouvant varier .....	de 900 à 10 000 $\Omega$ m	et plus
— Argiles diverses, plus ou moins saturées d'eau, formant une sorte de niveau aquifère vers la base du four, au-dessous de ces blocs de scories	de 50 à	120 $\Omega$ m
— Calcaires marneux du Barrémien inférieur formant le substratum géologique .....	de 250 à	400 $\Omega$ m

La résistivité peut dépendre de la température, mais surtout de la teneur en eau du sol: variations par dessèchement ou par humidification à la suite de pluies.

A titre de comparaison, la résistivité de l'eau du ruisseau « Le Sinotte » varie de 50 à 70  $\Omega$ m. La salinité, la teneur en suspensions colloïdales, l'activité biologique, les équilibres ioniques sont parmi les facteurs les plus importants qui régulent la résistivité des eaux.

Quelques essais modestes utilisant des ondes hertziennes de 200 mètres environ de longueur d'onde, ont été effectués avec un certain succès. Les zones à masses scoriacées peuvent être facilement localisées ; en effet, les ondes hertziennes traversent les diélectriques, mais sont absorbées facilement par les sols et les roches. Ces anomalies dans la propagation des ondes hertziennes permettent de localiser des contours, des volumes, de résistivités différentes. En fait, c'est déceler une perturbation due à une masse résistante constituée par les scories.

## II. - PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DES SCORIES

a) *Les caractères organoleptiques.*

Les scories de ce ferrier présentent, dans leurs aspects morphologiques, une assez grande diversité. En général de couleur brune, certains échantillons sont massifs, plats, assez épais ; d'autres, par contre, sont cordés, étirés, figés dans le sens de l'écoulement du magma ferrique en fusion ; tel est le cas, en particulier, des scories provenant

du canal d'évacuation. Certaines scories retiennent des fragments d'argile cuite et de bois charbonné.

On peut diviser ces scories en plusieurs catégories aisément reconnaissables :

- des scories vitreuses, en premier lieu, de teinte très brune ; ces scories vitreuses, noirâtres, montrant parfois des nuances colorées verdâtres, forment la plus grande partie de ces déchets de crassiers . . . . . au moins 80 %
- des scories spongieuses, très poreuses et très légères (d : 1,9 à 2,2), en assez faible quantité . . . . . environ 6 %
- des plaquettes très plates de scories denses (leur épaisseur varie de quelques millimètres à plusieurs centimètres ; ce sont des débris des nappes qui recouvraient intérieurement la voûte du four) . . . . . 7 %
- des plaques épaisses de scories, coulées sur le sol, à plat ou dans une petite dépression. Ces plaques sont de densité élevée . . . . . 3 %
- enfin, des scories dites « glaçons », qui révèlent bien leur fluidité . . . . . 4 %

Visuellement, par un examen sommaire, il est possible de distinguer sur ces échantillons de plaquettes et de plaques une zone interne massive, cristalline, et une zone externe, riche en bulles gazeuses ; la surface de cette zone externe présente, grâce à la viscosité de la matière, des formes assez plastiques, contournées, étirées.

Notons que l'aspect final des scories dépend, en grande partie, de leur composition chimique et des conditions physiques de leur refroidissement. Refroidies brusquement dans une lingotière, les masses en fusion, les scories sont vitreuses et seule, leur partie centrale, refroidie plus lentement, présente un début de cristallisation.

Comme on le voit, la structure de ces échantillons scoriacés est très hétérogène. Dans leur ensemble, tous ces laitiers métalliques évoquent, par leurs formes, les scories volcaniques basaltiques, si répandues en Auvergne par exemple. Quant aux scories vitreuses brunâtres, elles montrent des ressemblances profondes avec les obsidiennes ou verres des volcans.

La dimension de tous ces échantillons est très variable ; il est difficile de donner des chiffres valables : certains blocs peuvent mesurer en moyenne de 20 à 30 cm de longueur sur 15 cm de largeur. Par contre, les scories proprement dites ne dépassent guère une longueur de 10 à 15 cm, les dimensions les plus répandues se situant entre 2-3 et 8 cm.

Si nous examinons les densités, rappelons tout d'abord que celle du fer est de 7,8. Celles des déchets de fer, lourds et massifs, peu silicatés, peuvent atteindre de 5,8 à 6,5. En général, les densités s'échelonnent le plus couramment de 3,2 à 4,8. Pour les échantillons les plus vitrifiés, elles baissent à une valeur comprise entre 1,9 et 2,6.

b) *Les résultats de l'analyse chimique.*

*Composition chimique moyenne :*

Les pourcentages que nous avons déterminés sont reportés dans le tableau suivant, où nous mentionnons également, à titre de compa-

raison, quelques résultats d'analyses intéressant d'autres scories appartenant à divers ferriers et anciens établissements de fonderie.

	Ferriers " Les Soleines "		Données comparatives (autres ferriers)		
	Scories vitreuses de couleur brune	Plaquettes et plaquettes scolariacées	Ferriers gallo-rom. Groupe de la forêt d'Othes : Dilo, Arces, etc. (Yonne)	Scories anciennes. Fonderie du 18 <sup>e</sup> s. Marcenay (Côte-d'Or)	Anc. fonderie 19 <sup>e</sup> s. Précý-sous-Thil (Côte-d'Or)
SiO <sub>2</sub> .....	49,30 %	31,80 %	36,70 %	50,30 %	33,10 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	11,80	9,90	7,80	12,10	10,32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0	4,80	6,90	1,14	0
FeO .....	17,30	47,10	42,10	13,20	0,67
MnO .....	3,50	2,20	2,10	1,30	2,04
MgO .....	1,10	0,70	0,62	2,09	1,34
CaO .....	12,00	2,10	1,40	16,16	49,70
Na <sub>2</sub> O .....	0,25	0,30	0,28	0,30	
K <sub>2</sub> O .....	2,35	0,45	0,50	1,85	
TiO <sub>2</sub> .....	0,90	0,35	0,45	0,78	0,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,35	0,20	0,20	0,46	
H <sub>2</sub> O (100°) .....	0,40	0,10	0,01	0,10	
H <sub>2</sub> O (combiné) ....	0,30	0,20	0,15	0,15	
Total ...	99,55 %	100,20 %	99,21 %	99,93 %	

*Interprétation et discussion :*

Toutes les valeurs de ce tableau ne sont que des données moyennes C'est ainsi que la teneur en silice varie très largement suivant les types d'échantillons : certaines scories antiques, lourdes, plus riches en FeO, ne titrent que 25 ou 30 % de SiO<sub>2</sub> ; par contre, d'autres dépassent 45 ou 50 % de SiO<sub>2</sub> ; ce sont des scories très vitreuses, assez légères, de véritables verres plus ou moins colorés en vert noirâtre-bleu par le manganèse.

Comme nous sommes en présence de silicates de fer, il en est de même pour FeO, dont les valeurs moyennes oscillent entre 15 % et 47 %.

Les teneurs extrêmes peuvent se répartir de la manière suivante :

— de 47 à 68 % de FeO pour certains déchets de fer, scories très denses ;

— de 15 à 28 % de FeO pour des scories vitreuses.

L'oxyde ferrique Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> donne des chiffres relativement constants et peu élevés. Les scories très siliceuses ne contiennent le fer qu'à l'état de protoxyde FeO, base beaucoup plus énergique que le sesquioxyde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dans les fours de réduction antiques, la présence d'une loupe de fer compacte au débouché de la tuyère produisait une réoxydation considérable, des pertes de fer importantes sous forme de FeO et, secondairement, de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et, également, une décarburation du métal.

Alumine : de 14 % à 6,9 % d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. En fait, peu de variations.

Oxyde de manganèse : de 3,8 % à 1,3 % de MnO. Des expériences actuelles ont montré que les scories riches en MnO manifestent une forte tendance à mousser, lorsqu'elles sont encore liquides et mises en présence d'oxygène (air par exemple). Des auteurs attribuent cette écume à une oxydation superficielle du MnO libre de la scorie, qui donnerait de l'oxyde salin de manganèse. Celui-ci réagirait dans les couches profondes en donnant du silicate manganeux avec libération d'oxygène, auquel serait dû le moussage observé. Ce phénomène permettrait indirectement à l'oxygène de l'air de venir au contact du métal.

Calcium exprimé sous forme de CaO : de 1,1 % à 49,7 %. Suivant les types de scories étudiées, leur âge, leur origine, etc., les proportions en CaO peuvent varier d'une manière considérable. Les scories antiques, obtenues par les procédés directs qui utilisaient, en fait, peu ou pas de fondant, montrent, en général, des valeurs en CaO assez faibles (de 1 % à 12 %). Par contre, les scories plus modernes, élaborées par des procédés métallurgiques qui tirent largement parti des fondants et des additions diverses, donneront des valeurs en CaO beaucoup plus importantes (de 15 % à 68 %).

Rappelons que l'emploi des fondants a pour but de scorifier les gangues des minerais. On choisit les fondants de telle sorte que la composition de la scorie produite et sa température de fusion concourent à la bonne marche de l'opération métallurgique que l'on a en vue. Signalons enfin, que le facteur fondamental de la désulfuration est l'indice de basicité :  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ .

Magnésium exprimé sous forme de MgO .....	de 2 % à 0,5 %
Sodium exprimé sous forme de Na <sub>2</sub> O .....	de 0,30 % à 0,25 %
Potassium exprimé sous forme de K <sub>2</sub> O .....	de 2,35 % à 0,40 %
Titane exprimé sous forme de TiO <sub>2</sub> .....	de 0,90 % à 0,35 %
Phosphore exprimé sous forme de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	de 0,46 % à 0,20 %

Tous ces composés chimiques ont, à la fois, comme origine, le minerai de fer employé, plus ou moins mêlé d'argile, et le revêtement argileux du four.

### c) Constitution des scories et facteurs de la morphogénèse scoriacée.

#### Constitution des scories :

Ces scories sont du type acide (SiO<sub>2</sub>, FeO, MnO par ex.). Elles sont loin d'être homogènes dans toute leur épaisseur. La couche immédiatement en contact avec le bain en fusion ne contient comme oxyde de fer, sur une épaisseur de 5 mm environ, que du FeO ; seul, cet oxyde de fer est en équilibre avec le fer aux températures élevées. Par contre, la couche supérieure en contact avec l'atmosphère du four contient un mélange de FeO et de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Le principal composé présent dans ces scories acides est le métasilicate de fer (SiO<sub>2</sub>, FeO ou SiO<sub>3</sub>, Fe).

Dans les laitiers acides à base de silice et d'oxyde de fer, il y a aussi de l'oxyde de manganèse stable dans les scories (d'après les travaux de KRUCKL) ; le manganèse ne peut pas s'oxyder davantage.

Dans ces laitiers acides, en définitive, on peut admettre les combinaisons suivantes :

- SiO<sub>2</sub>, FeO
- SiO<sub>2</sub>, 2 MnO

- $\text{Fe}_2\text{O}_3, 2 \text{FeO}$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3, 2 \text{MnO}$ .

On admet que les verres, les scories, les silicates sont totalement dissociés en ions  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  et en cations métalliques. Les ions complexes  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  forment des tétraèdres réguliers, dont l'atome de silicium occupe le centre de gravité et les 4 atomes d'oxygène, les sommets. Le nombre de coordination du silicium est toujours égal à 4, celui de l'oxygène peut être égal à 1 ou à 2, ce qui permet à chaque atome d'oxygène de relier 2 tétraèdres. On obtient de cette manière, des édifices compliqués et variables suivant la température, les rayons ioniques des cations, leurs charges, le rapport, des teneurs O/Si, etc. Lorsque le rapport Si/O décroît, ce réseau à 3 dimensions s'effondre par noyaux et chaînes plans en ions uniques  $(\text{SiO}_4)^{-4}$ , puis finalement en ions  $\text{Si}^{+4}$  et  $\text{O}^{--}$  libres. L'élévation de la température au-dessus du point de fusion peut être regardée comme ayant le même effet.

La nature visqueuse de la plupart des scories à des températures peu supérieures au point de fusion, indique la persistance de la structure d'agrégats ; le point de fusion est ainsi mal défini.

#### *Facteurs de la morphogénèse scoriacée :*

On sait que les scories proviennent de l'oxydation du fer en fusion et de ses éléments, garniture du four aussi bien que les additions voulues. Tout cet ensemble coopère à la formation des scories. En fait, ce sont donc des substances vitrifiées qui surnagent à la surface des métaux en fusion et qui, en général, sont assez légères et de structure bulleuse.

Au cours des opérations participant à l'élaboration des métaux, les gaz dissous dans la matière en fusion s'échappent ; la masse ignée prend alors l'aspect d'une émulsion magmatique et de gaz. La texture cellulaire que conservent, en se refroidissant, ces masses en fusion, traduit cet effet. Chaque minuscule cavité correspond à l'emplacement d'une bulle de gaz : la « cavité bullaire ».

En fait, la question des facteurs qui peuvent influencer ce dégagement gazeux est complexe. La composition chimique, les mouvements mécaniques, courants de convection, turbulence thermique qui agite le magma, doivent favoriser également le dégazage. De plus l'augmentation de la cristallinité, qui se traduit au sein du magma fluide par une apparition de petits cristaux, favorise activement le dégagement gazeux. Ces cristaux, par leur nombre considérable, leurs dimensions réduites, le développement énorme de leur surface, agissent comme un facteur catalytique sur les vitesses de dégazage.

MAC CAFFERY et ses collaborateurs ont étudié la viscosité et la fluidité des scories de hauts-fourneaux. Des modèles représentant dans l'espace la viscosité en poises des mélanges :  $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$  avec 5 % de  $\text{MgO}$ , pour une température de  $1400^\circ \text{C}$ , ont été établis. Sur chaque section du diagramme de fusibilité sont portés les viscosités, les teneurs en  $\text{CaO}$  et en  $\text{SiO}_2$ , les indices et les zones normales de travail pour différents hauts-fourneaux.

Grâce à ces diagrammes on peut constater l'influence considérable de l'indice sur la viscosité. Avec 15 % d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ , la viscosité, de l'ordre de 70 à 80 poises pour un indice de 1,5, tombe à 12 poises pour un indice

de 1. En superposant les 2 diagrammes : fusibilité — température de fusion et fluidité en poises, pour une même section, même teneur en alumine, on peut juger des conditions optima de fusibilité et de fluidité pour un indice défini  $\text{CaO/SiO}_2$ .

Il existe également une étroite relation entre la viscosité et la structure des verres. L'ensemble des liens Si—O forme une structure en réseau, chaque Si étant lié tétraédriquement à 4 oxygènes et chaque oxygène à 1 ou 2 Si. A une température élevée, la viscosité est celle d'un liquide ordinaire. Le réseau est continuellement brisé et reformé par un changement de configuration. A mesure que la température est abaissée, la rupture des liens Si—O devient rapidement plus difficile et la viscosité augmente fortement. Le refroidissement continuant, il n'y a pratiquement plus de liens Si—O brisés et, dès lors, la structure reste fixe.

Dans les tétraèdres, le silicium peut être remplacé par l'aluminium ou le fer ferrique. Plus le nombre d'atomes d'éléments tétraédriques Si, Al,  $\text{Fe}^{+++}$ , sera grand, plus le liquide opposera de résistance au mouvement. On voit alors que la viscosité s'abaisse en même temps que le nombre d'atomes d'éléments tétraédriques diminue. La présence d'oxydes  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ , etc., conditionne l'apparition de liaisons rompues supplémentaires. Un tel processus augmente la mobilité des tétraèdres  $\text{SiO}_4$  et, à la suite de cela, facilite l'arrangement cristallin.

Rappelons que les magmas riches en Mg, Fe, Ca sont fluides.

La viscosité, qui varie en sens inverse de la fluidité, se présente comme un facteur morphologique essentiel. L'éclatement des bulles à la surface d'un bain de fusion est entravé par la tension superficielle du bain, elle-même proportionnelle à sa viscosité. Pour vaincre cette résistance, la bulle doit posséder une surtension considérable qui permet une expansion explosive du gaz. De plus, la vitesse d'ascension des bulles gazeuses dans une masse fondue vitreuse est, d'après la loi de STOKES, proportionnelle au carré de leur rayon, mais inversement proportionnelle à la résistance du milieu, donc à sa viscosité, laquelle diminue quand la température augmente. Ainsi, la vitesse à laquelle les bulles se déplacent, est en rapport avec la résistance au frottement due à la viscosité.

Au cours de l'ascension et de l'évolution de ces cavités bullaires, le volume d'une bulle de gaz est susceptible de varier considérablement par le mécanisme complexe de la diffusion gazeuse au sein d'un magma silicaté par exemple.

L'étude des tensions interfaciales, des phénomènes superficiels, a également une très grande importance. Les expériences de S. M. MIKHASHVILI, A. M. SAMARIN et L. M. TOTYLEV, portant sur des mélanges en fusion de fer et de scories à base de  $\text{MnO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  ont montré que les tensions interfaciales superficielles sont particulièrement sensibles à la composition chimique du bain en fusion. C'est ainsi que la substitution de  $\text{SiO}_2$  au MnO abaisse considérablement la tension de surface,  $\text{SiO}_2$  ayant la propriété de diminuer cette tension de surface à l'interface magma en fusion-air.

Entr'autres auteurs, KAZUMI MORI et TADATO FUJIMURA ont étudié les tensions interfaciales entre un bain de fer en fusion et les scories issues de ce bain.

Aux propriétés des interfaces, on rattache la notion de travail d'adhésion et de cohésion. De plus l'équation de GIBBS prévoit une adsorption aux interfaces. Les films formés aux interfaces ont, d'une manière générale, une importance considérable sur le plan physico-chimique ; il en est de même de la viscosité interfaciale.

L'électrocapillarité, les formules de LIPP MANN nous enseignent que l'adsorption d'ions (cations et anions), modifiant la tension superficielle, agirait, de ce fait, sur la morphologie d'une surface. Cette remarque peut intéresser directement la forme et la structure des cavités bullaires des scories. L'apparition de charges électriques de surface entre la phase gazeuse de la cavité bulleuse et la phase plus ou moins visqueuse du magma, générateur de scories, peut-être, par le mécanisme de l'effet électrocapillaire, un facteur morphologique non négligeable.

En particulier, les travaux de O. A. ESIN et de Yu. P. NIKITIN ont montré l'importance de certains phénomènes électrocapillaires dans le domaine de la métallurgie, tout spécialement dans les études des tensions interfaciales entre bains métalliques en fusion et scories. Le mécanisme électro-capillaire pourrait dans une certaine mesure, expliquer l'origine, l'existence, ainsi que l'évolution et la migration de petites particules et fragments métalliques, tel que le fer à l'état métallique, présent dans les scories antiques de l'Yonne, sous forme de petits globules sphériques d'un diamètre inférieur en moyenne à 1 mm ; la teneur très faible de ce fer oscille entre 0,14 et 0,30 %.

En résumé, le chimisme des magmas, les températures, les actions thermiques diverses règlent et conditionnent un certain nombre de facteurs de la morphogénèse scoriacée, tels que la viscosité, les phénomènes capillaires, électro-capillaires, d'adsorption, de mouillage et de collage, qui sont notamment reliés à la tension superficielle et interfaciale.

Quant aux faits d'observation intéressant cette texture bulleuse et pour introduire dans ce domaine une note quantitative, on mesure très soigneusement le grand diamètre (D) et le petit diamètre (d) d'un certain nombre de cavités bullaires. On obtient alors le rapport D/d, qui est l'indice morphologique de la cavité bulleuse ou bulle.

Cet indice définit et caractérise non seulement la morphologie même d'une bulle, mais il traduit également l'état physico-chimique du magma qui a donné naissance à la cavité bulleuse. La forme, en effet, peut être définie comme une surface d'échanges physico-chimiques. Plus la valeur de cet indice morphologique sera voisine de l'unité, plus la forme de la bulle se rapprochera de celle d'une sphère ; dans le cas contraire, cette forme tendra à devenir plus ou moins elliptique.

Cette morphologie bulleuse est liée principalement au chimisme du magma générateur, à sa viscosité. Un magma très fluide donnera des cavités bullaires de forme sphérique ; par contre, un magma plus visqueux, qui a pour effet d'abaisser la vitesse de l'ascension bulleuse jusqu'à la rendre nulle, donnera des formes ellipsoïdales plus ou moins déformées.

Les dimensions, les indices morphologiques d'un très grand nombre de bulles appartenant aux scories étudiées, sont reportés dans le tableau suivant :

	Scories antiques "Les Soleines" (Yonne)	Scories antiques Aillant-sur-Tholon (Yonne)	Scories 18 <sup>e</sup> siècle Marcenay (Côte-d'Or)	Scories 19 <sup>e</sup> siècle Précý-sous-Thil (Côte-d'Or)
Valeurs de D (en mm) .....	de 40 à 0,06 mm	de 10 à 0,08 mm	de 28 à 0,07 mm	de 9 à 0,07 mm
Pourcentages sur le nombre des mesures effectuées :				
— de 10 à 20 %	de 40 à 5 mm	de 10 à 4 mm	de 28 à 5 mm	de 9 à 4 mm
— de 30 à 40 %	de 4 à 1,2 mm	de 3 à 1,1 mm	de 4 à 0,8 mm	de 4 à 1,2 mm
— de 40 à 60 %	de 1,2 à 0,06 mm	de 1 à 0,08 mm	de 0,8 à 0,07 mm	de 1,2 à 0,07 mm
Indices morphologiques D/d .....	1,030	1,030	1,025	1,015

Les bulles dont les diamètres dépassent 4 ou 5 mm donnent des indices morphologiques qui peuvent atteindre 1,3 par exemple. Elles montrent, en général, une section elliptique assez marquée. L'écoulement des fluides magmatiques en fusion, le voisinage et la compression des bulles entre elles, la viscosité différentielle sont des facteurs qui déforment plus ou moins les cavités bullaires.

Bien souvent, l'intérieur d'une cavité bullaire montre une surface qui est, elle-même, tapissée de bulles de taille beaucoup plus réduite. Les bulles peuvent communiquer entre elles par un réseau de fins canalicules et par d'autres petites cavités bullaires. C'est bien le fait d'une texture poreuse.

Les cavités bullaires étudiées sont de forme assez sphérique ; toutefois, les scories plus récentes montrent un indice morphologique plus bas : leurs cavités bullaires sont, dans l'ensemble, un peu plus sphériques ( $D/d = 1,015$ ).

On sait que la métallurgie moderne utilise les fondants d'une manière courante et, en particulier, le spath fluor. La fluorine,  $\text{CaF}_2$ , a par ses ions  $\text{F}^-$ , une action fluidifiante supérieure à celle des ions  $\text{O}^{--}$ . Cette fluidité peut s'interpréter à l'aide des coupures qui se produisent dans le réseau. L'action du  $\text{CaF}_2$  est double de celle du  $\text{CaO}$  ; une molécule de  $\text{CaF}_2$  provoque, en effet, 2 coupures. L'ion  $\text{F}^-$ , de rayon plus petit, (1,32 Angst.) que l'ion  $\text{Cl}^-$  (1,81 Angst.), a une action plus fluidifiante que lui. Plus un magma en fusion est fluide, plus les bulles issues de ce magma seront de forme sphérique.

d) *Les observations optiques — Examens microscopiques et examens de lames minces.*

Des lames minces ou préparations microscopiques de scories vitreuses de Soleines ont pu être montées entre lame et lamelle dans du

baume du Canada. Au microscope, ces lames éclairées en lumière naturelle et polarisée montrent une surface vitreuse légèrement craquelée, avec :

— des vides circulaires répandus çà et là et qui sont des emplacements de bulles gazeuses ;

— des fragments de roches locales ; ce sont des débris de calcaire du Portlandien et du Barrémien inférieur, plus ou moins altérés, digérés, emprisonnés dans la masse en fusion ;

— des grains de quartz émoussés ou non usés, ayant pour origine les lambeaux argilo-sableux du Barrémien supérieur et de l'Albien. Ces grains de quartz sont fissurés par les effets thermiques subis et ce réseau de fissures montre de nombreuses ramifications et enchevêtrements complexes ;

— des cristallites plus ou moins orientées dans le sens des courants de convection qui ont agité la masse pendant le phénomène de refroidissement. La plupart des cristallites sont isolées ; d'autres se groupent, formant parfois des amas cristallins rappelant des formes de croix ou d'oursins.

Ces cristallites, d'après les observations optiques : indice de réfraction, extinction, biréfringence, signe de l'élongation, pléochroïsme, etc., et les études chimiques, sont :

— d'une part, des fayalites, de formule générale  $\text{SiO}_2, 2\text{FeO}$  (orthosilicate de fer) ;

— d'autre part, de la cristobalite  $\text{SiO}_2$ , de la tridymite  $\text{SiO}_2$  et de la mullite  $3\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2$ , beaucoup plus rare.

Les petits cristaux de fayalite présentent une forte réfringence et polarisent dans les teintes vives des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> ordres. Il est naturel de trouver, dans ces scories vitreuses riches en fer, des essais cristallins ou ébauches que sont ces cristallites de fayalites.

Quant à la cristobalite, sa présence est attestée par de nombreuses cristallites. Elle est souvent observée, en croissance, en forme de pins, le plus souvent en dentrites, à 90° de l'arête principale ou en grains lamellaires maclés. La biréfringence est très faible. En général, son faible indice de réfraction et l'aspect arborescent des cristaux permettent aisément son identification.

La tridymite ( $\text{SiO}_2$ ) est orthorhombique, pseudo-hexagonale ; ses cristaux sont ordinairement de minces plaquettes hexagonales apparaissant en aiguilles. La tridymite est la forme stable de la silice entre 870° et 1470°. Le point de fusion est défini à  $1670 \pm 10$  degrés.

La mullite, assez fréquente dans les scories montrant des inclusions de fragments de réfractaires argileux, cristallise le plus souvent en aiguilles, bâtonnets, etc.

L'étude des scories en lames minces permet de mesurer les températures de fusion. Rappelons que, vers 1470° C, nous obtenons la cristobalite haute B (variété stable cubique, variété allotropique de silice, visible dans la plus grande partie des scories vitreuses étudiées). Entre 1470° et 1710°, nous observons une dévitrification rapide par formation en surface de cristobalite gagnant toute la masse. Le maximum de cette dévitrification se situe vers 1500°. Les matières réfractaires employées pour la confection des fours de fusion pouvaient donc supporter

des températures dépassant 1 500 à 1 600° ; elles étaient analogues à nos meilleurs produits utilisés dans la sidérurgie actuelle.

### III. - LE MINERAI UTILISÉ

Le mode de gisement de ce minerai, de la zone d'oxydation, se classe dans les gîtes résiduels. Plus exactement, ce sont des gîtes d'alluvions où le lessivage des couches supérieures provoque la formation d'incrustations, de concrétions ou de cémentations dans les couches sous-jacentes.

Le minerai de fer le plus couramment utilisé par les anciens métallurgistes de nos provinces était l'oxyde de fer limonithique ou hématite brune ou encore goëthite, de formule générale :  $2\text{Fe}_2\text{O}_3, 3\text{H}_2\text{O}$ .

Signalons que nous donnons le nom de goëthite à tous les oxydes de fer limonithiques contenant au moins 2 % de  $\text{SiO}_2$ .

Ces minerais peuvent avoir 4 origines différentes :

a) Les restes albiens si fréquents sur ces plateaux jurassiques. Ils présentent des grès ferrugineux et des fragments limonithiques avec des éléments quartzeux figurés plus ou moins visibles. L'Albien a une extension géographique qui dépasse sensiblement les limites des affleurements actuels ; en effet, à la surface des plateaux jurassiques de Serigny, Saint-Cyr, Sambourg, Villon, on recueille, épars, des grès quartzeux à débris végétaux, qui sont d'âge albien.

b) Les puissantes formations argilo-sableuses du Barrémien supérieur donnent des éléments et des masses de fer hydroxyde sous forme de plaquettes, granules, ainsi que des blocs compacts où les grains de quartz ne sont pas toujours visibles.

c) Quelques très rares poches sidérolithiques qui fournissent des échantillons limonithiques en assez grande abondance. On peut considérer ces gisements sidérolithiques, de forme plus ou moins lenticulaire, comme des centres, des sites de concentration. Ces dépôts montrent une roche compacte, consolidée, sorte de conglomérat de coloration jaune rougeâtre comprenant :

— des pisolithes de fer d'une dimension allant de celle de la tête d'épingle à celle du pois ;

— des fragments d'hématite brune ou limonite à l'état le plus souvent roulé ;

— des débris de grès quartzeux ferrugineux, etc.

d) Enfin, quelques nappes d'argile dites « de décalcification » qui recouvrent les surfaces d'aplanissement.

Ces argiles fournissent 2 formes bien différentes de matériels limonithiques :

— la première sous forme de grains de pisolithe ;

— la seconde sous forme d'agrégats plus ou moins brunâtres, montrant bien souvent un assemblage de cristaux cubiques et de structures géométriques dérivées du cube. Ces cristaux cubiques de limonite ne sont que d'anciens cristaux de pyrite entièrement transformés en oxydes par suite de processus d'oxydation totale et profonde. Nous sommes en présence d'un phénomène de pseudo-morphose.

Les traces des exploitations profondes des minerais de fer nous ont été conservées, sinon dans le sol du moins dans la toponymie. Les

lieux-dits : puits, fosse, cave, etc., sont caractéristiques des emplacements d'antiques exploitations minières et de ferriers.

C'est ainsi que, tout près du ferrier des « Soleines », à moins d'une centaine de mètres, un lieu-dit porte le nom de « les Caves ». Sur cet emplacement, les minerais de fer limonitiques d'origine barrémienne sont particulièrement nombreux. Il en est de même vers Bleigny-le-Carreau où un lieu-dit « Ravin des Caves » est à signaler.

Un peu plus loin, vers la région de Beine, au lieu-dit « Gueule noire », une surface d'aplanissement très argileuse, reposant sur des calcaires portlandiens et surplombant la pittoresque vallée de Vau de Longue, montre de nombreux grès ferrugineux albiens et des fragments de goëthite.

#### *Analyses chimiques.*

Les résultats de diverses analyses chimiques, reproduites dans le tableau ci-dessous, nous apprennent que les limonites apparaissent comme d'excellents minerais de fer.

#### *Analyses de quelques échantillons limonitiques.*

	<i>Limonite compacte d'origine albienne</i>	<i>Limonite d'origine barrémienne</i>	<i>Limonite de plateau (ou Goëthite)</i>
SiO <sub>2</sub> .....	12,8 %	6,8 %	1,8 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	0,6	0,9	0,7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	76,2	80,2	86,6
MnO <sub>2</sub> .....	0,4	0,9	0,8
CaO .....	Traces	Traces	Traces
TiO <sub>2</sub> .....	Traces	0,04	0,02
S-- .....	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,01	0,01	0,02
H <sub>2</sub> O .....	10,3	11,2	10,5

Le soufre est inexistant. L'élément phosphore est en quantité très faible : de 0,01 à 0,02 %.

Il n'y a pas de grandes quantités de SiO<sub>2</sub> ; la teneur peut varier de 1,8 à 7,8 %. Bien entendu, les grès ferrugineux albiens, par exemple, donnent, en général, des valeurs beaucoup plus élevées : de 12 à 32 % ; tout dépend de l'échantillon, de sa plus ou moins forte densité en grains de quartz.

La teneur en manganèse oscille entre 0,9 et 0,4 %.

En ce qui concerne le titane, depuis 0,04 % jusqu'à l'état de traces.

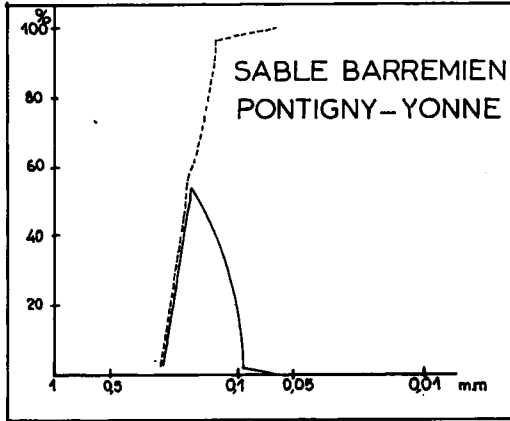
Le fer, bien entendu, est en grande quantité : 81 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en moyenne.

#### IV. — LE RÉFRACTAIRE — ORIGINE GÉOLOGIQUE DES SABLES ET ARGILES EMPLOYÉS.

Pour cette région, les anciens métallurgistes recherchaient pour la construction de leurs fours les argiles du Barrémien supérieur.

*Etudes mécaniques et physico-chimiques de ces argiles.*

Les couches argilo-sableuses du Barrémien supérieur (faciès néritique : argiles et sables panachés) montrent des colorations aux nuances très vives, allant du violet au rouge aux teintes grisâtres ; ces diverses teintes proviennent des différents degrés d'oxydation de l'oxyde de fer (limonite, goethite, etc.).



COURBE GRANULOMETRIQUE

1) *Analyse morphoscopique et granulométrique* du sable barrémien supérieur contenu dans ces argiles.

Analyse d'un sable quartzeux, appartenant à la couche géologique Barrémien supérieur (Crétacé inférieur), venant de Bleigny-le-Carreau et de Pontigny (Yonne).

Le faciès du Barrémien supérieur est, pour ces localités du sable à grains fins siliceux, sans fossile. Il existe également des strates dont les grains de sable quartzeux sont recouverts d'une fine couche de limonite.

Les formations typiquement argileuses présentent un rapport : Poids du résidu sec/Poids total de l'échantillon, qui peut varier de 0,24 à 0,10 ; soit, par exemple, 24 % à 10 % de sable.

Poids du sable au départ : 100 grammes.

Tamis	Largeur en mm	%	% cumulé
N° 60 .....	0,258	2,1	2,1
N° 100 .....	0,182	54,7	56,8
N° 150 .....	0,129	40,2	97
N° 200 .....	0,091	2	99
N° 300 .....	0,064	1	100

L'analyse morphoscopique de ces sables de Bleigny et de Pontigny (Barrémien supérieur) nous montre l'importante participation du facteur éolien dans la genèse de ce dépôt. En effet, la proportion des émoussés mats (EM) et des ronds mats (RM) est relativement importante : 72 %.

Notons toutefois que les nus (NU) proviennent, bien souvent, d'éroussés mats et de ronds mats qui ont été ultérieurement fracturés par un agent d'érosion plus violent. Si nous considérons l'âge géologique de ces couches, il faut songer à l'érosion marine.

Comment peut-on expliquer le modelé de ce sable marin ? La courbe granulométrique indique cette origine. On sait que l'action éolienne se manifeste par le transport et l'accumulation en dunes des sables apportés par la mer. La formation des dunes est liée à la présence d'une côte basse ayant des marées assez sensibles pour recouvrir et ensuite livrer à l'action du vent la plage sableuse.

Nous sommes bien en présence d'un sable dunaire maritime repris par la mer, ainsi qu'en témoigne l'examen morphoscopique ci-dessous, par numéro de tamis :

<i>N° de tamis</i>	<i>Rapport</i>	
<i>—</i>	<i>Minéraux lourds/quartz</i>	
<i>—</i>	<i>—</i>	
N° 60 ....	Poids : 21 g	
	NU ..... 25 %	
	EM ..... 52 %	ML/Q = 1/100
	EL ..... 0	
	RM ..... 23 %	
N° 100 ....	Poids : 54,7 g	
	NU ..... 26 %	
	EM ..... 59 %	ML/Q = 1/100
	EL ..... 2 %	
	RM ..... 13 %	
N° 150 ....	Poids : 40,2 g	
	NU ..... 20 %	
	EM ..... 62 %	ML/Q = 1/100
	EL ..... 4 %	
	RM ..... 14 %	
N° 200 ....	Poids : 2 g	
	NU ..... 18 %	
	EM ..... 62 %	ML/Q = 8,4/100
	EL ..... 5 %	
	RM ..... 15 %	
N° 300 ....	Poids : 1 g	
	NU ..... 18 %	
	EM ..... 56 %	ML/Q = 25/100
	EL ..... 10 %	
	RM ..... 16 %	

On observe dans les dimensions les plus petites un enrichissement en minéraux lourds.

Ces minéraux lourds comprennent :

— 75 % de limonite ;

— 25 % de zircon. Formes géométriques les plus répandues : prismes bipyramidés assez courts.

*Récapitulation générale de la morphoscopie :*

NU ..... 22 %

EM .....	58,2 %
EL .....	4,5 %
RM .....	15,3 %

Ces formations argilo-sableuses du Barrémien supérieur contiennent déjà en elles-mêmes un dégraissant de choix.

2) *Analyses chimiques.*

Analyses effectuées sans préparation particulière, ni séparation de la fraction sable.

Echantillons argileux moyens prélevés dans les carrières de la tuilerie de Pontigny (Yonne) :

SiO <sub>2</sub> .....	52,85	53,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	28,70	26,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	2,90	4,60
FeO .....	0,20	0,30
MnO .....	Traces	0,07
MgO .....	0,50	0,40
CaO .....	0,45	0,62
Na <sub>2</sub> O .....	0,20	0,30
K <sub>2</sub> O .....	2,50	1,3
TiO <sub>2</sub> .....	1,40	1,60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,13	0,10
H <sub>2</sub> O 100° C .....	2,55	2,30
H <sub>2</sub> O combiné .....	8,25	8,30
CO <sub>2</sub> .....	—	—
	100,63	100,30
	(PATUREAU)	(MOMOT)

La teneur en oxyde ferrique est éminemment variable : 1,2 % pour de l'argile de couleur blanche, par exemple. Par contre, certains échantillons plus riches en oxydes de fer limonithiques peuvent atteindre les valeurs suivantes en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 4,8 — 5,9 — 6,4 — 7,2, etc. Cette argile, devenant alors très ocreuse, est voisine de rognons limonithiques, assez nombreux dans les formations du Barrémien supérieur.

La valeur relativement élevée en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (26 à 28 % en moyenne) laisse supposer que l'argile barrémienne supérieure est fortement kaolinique.

Les teneurs en oxydes sont assez faibles : CaO, 0,30 à 0,40 % — Na<sub>2</sub>O, 0,15 à 0,30 %, etc. La somme des oxydes Fe<sup>+++</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> est égale à 6,5 environ. Cette somme peut descendre à 5.

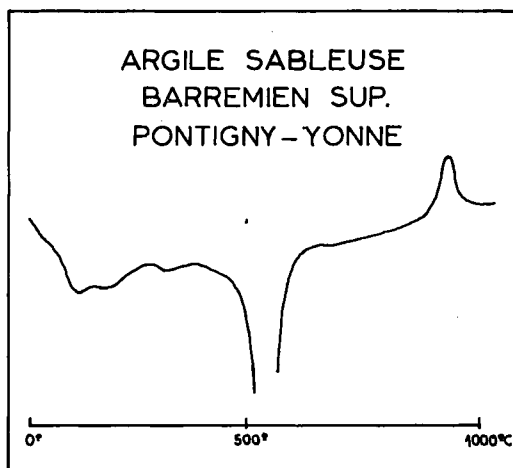
3) *Analyse thermique différentielle.*

La courbe montre :

— d'abord, 3 réactions endothermiques entre 50° C et 250°-300° C. Ces réactions endothermiques sont d'intensité relativement faible (indice possible d'illite) (rappelons qu'en général une réaction endothermique en dessous de 200° C peut indiquer la présence d'illite) ;

— ensuite, vient un fort crochet endothermique, largement ouvert, débutant à 500° C, atteignant un développement maximum vers 600° C et disparaissant aux environs de 700° C ;

— enfin, le crochet exothermique qui suit commence vers 940° C, passe par un maximum vers 980° C et se termine à 1 020° C.



#### ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE

Ce crochet endothermique maximum vers 570° C et ce crochet exothermique net vers 980° C, caractérisent la kaolinite. En général, le crochet exothermique de 980° est plus développé. La présence d'illite a affaibli et annénué son développement.

#### 4) Courbe dilatation-retrait.

Chez les argiles illito-kaoliniques (bravaisites) contenant plus de 50 % d'illite par exemple, c'est la courbe dilatométrique de l'illite qui l'emporte. Elle masque le retrait caractéristique de la kaolinite vers 500° C.

De plus, la présence de quartz dans une argile kaolinique relève la première partie de la courbe et étouffe très souvent, une partie du premier retrait (entre 500 et 870° C).

\*\*\*

*Nota.* — Des observations optiques faites sur un certain nombre de préparations microscopiques appartenant à des fragments réfractaires, ont montré la présence de mullite, tridymite, etc.

#### BIBLIOGRAPHIE

- AITKEN. — *Physics and Archaeology*. Interscience Publishers Ltd. London (1961).  
C. BODSWORTH. — The activity of ferrous oxide in silicate melts (Univ. Liverpool, Engl.). *Journ. Iron Steel Inst. London*, 193, 13-24 (1959).  
N. M. CHUIKO. — Determination of the active components of slags when present as ions or undissociated compounds. *Izvest Akad. Nauk. S.S.S.R., Otdel Tekh. Nauk.* n° 11, 7-14 (1958).  
J. CRANK. — *The mathematics of diffusion*. Clarendon Press. Oxford, Cumberlege, London (1956).  
B. GILLE. — *Histoire de la Métallurgie*. Presses Universitaires de France. Coll. « Que sais-je ? », n° 96 (1966).

- A. HESSE. — Prospections géophysiques à faible profondeur. Applications à l'archéologie. Edit. Dunod, Paris (1966).
- Yu. I. KIRYUSHKIN. — Electroconductivity of slags of the system  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3$ . Sbornik Nauch Trudov Zhdanov. Met. Inst. n° 4, 88-96 (1957).
- P. KOZAKEVITCH. — Viscosité et éléments structuraux des alumino-silicates fondus : laitiers  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  entre 1500° C et 2100° C. I.R.S.I.D., St-Germain-en-Laye, octobre 1959, n° catalogue 5 580.
- P. KOZAKEWITCH, G. URBAIN, M. SAGE. — Interfacial tension between iron and slag and the formation of iron shot in blast-furnace slags. I.R.S.I.D., St-Germain-en-Laye. Iron and Coal Trades. Rev. n° 4 542, 963-7 (1955).
- V. A. KOZEUROV. — La thermodynamique des solutions solides et liquides d'oxydes de fer. Zurnal Fizieskoj Khimii, 25, n° 6, p. 614-709 (1951).
- LO CHING CHANG and GERHARD DERGE. — (Carnegie Inst. of Techn. Pittsburgh). An electrochemical study of the properties of molten slags of the systems :  $\text{CaO-SiO}_2$  and  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ . Amer. Inst. Mining Met. Engrs. Metals Technol., 13, n° 7. Techn. Publ. n° 2 101, 27 p. (1946).
- JOHN LUMSDEN. — The thermodynamics of liquid iron silicates. Imp. Smelting Corp. Ltd, Avonmouth, Engl. Met. Soc. Conf., 7, 165-205 (1961).
- E. J. MICHEL and R. SCHUHMAN JR. — Thermodynamics of iron silicates slags. Journ. Metals 4, Trans. 723-8 (1952).
- V. I. MUSIKHIN, O. A. EISIN. — Diffusion Coefficients of ions in molten slags. Doklady Akad. Nauk. S.S.S.R., 136, 388-90 (1961).
- Yu. P. NIKITIN, O. A. EISIN and S. I. POPEL. — (S.M. Kirov Ural. Polytechn. Inst. Sverdlovsk.). Electrocapillary phenomena for various compositions of metal and slag. Doklady Akad. Nauk. S.S.S.R., 87, 813-15 (1952).
- B. V. PATROV. — Charge and capacitance of double layer in the cast iron slag system. Polytechn. Inst. Leningrad. Izvest. Vysshikh. Ucheb. Zavedenii, Chernaya Met. 1961, n° 7, 33-5.
- A. V. VANYUKOV and N. I. UTKIN. — Effect of the temperature on the surface-tension of silicate slags. Izvest. Vysshikh. Ucheb. Zavedenii, Tsvetnaya Met. 1958, n° 6, 43-8.
- S. B. YAKOBASHVILI, I. I. FRUMIN. — The interfacial tension on the slag-metal boundary and the surface-tension of welding slags. Avtomat, Svaska. 14, 14-19 (1961).
- YAWATA. — Technical report n° 249. Déc. 1964. Yawata Iron and Steel Co Ltd.
- YOHEI YAMAGUTI and SYUNSUKE SISIDO. — The electrolytic conduction of fused salts. Journ. Chem. Soc. Japan, 62, 304-07 (1941).

---

## CENTRE ORNITHOLOGIQUE RHONE-ALPES <sup>1</sup> COMPTE RENDU DE BAGUAGE POUR L'ANNEE 1967 <sup>2</sup>

Dans les 9 départements dépendant du Centre Régional de Baguage (Ain, Ardèche, Hautes-Alpes, Drôme, Isère, Loire, Rhône, Savoie, Haute-Savoie), 8 359 oiseaux ont été bagués en 1967. La pose des bagues a été effectuée :

- soit au cours d'opérations collectives de baguage <sup>3</sup> :
  - 935 oiseaux bagués par les membres du Centre Ornithologique Rhône-Alpes,
  - 388 oiseaux bagués par les membres du Groupe Ornithologique Savoyard,
- soit individuellement par les bagueurs du Centre :

---

1. Laboratoire de Zoologie Générale, 16, quai Claude-Bernard, Lyon-7<sup>e</sup>.  
2. 5<sup>e</sup> C.R. de Baguage ; précédent C.R., ce bulletin (1968), 37, n° 1 : 44-48.  
3. Les résultats obtenus par la Station Ornithologique de la Golèze (Samoëns, Haute-Savoie) ont fait cette année l'objet d'un compte rendu distinct paru dans *Le Jean le Blanc* (Bull. C.E.O.B., Fac. Sci. Dijon).