

# Une nouvelle macle de la pyrrhotite sur un échantillon de la mine El Potosi, Santa Eulalia, Chihuahua, Mexique

Simon PHILIPPO<sup>(1)</sup> et Frédéric HATERT<sup>(2)</sup>

(1) Section Géologie-Minéralogie, Musée national d'Histoire naturelle, Rue Münster 25, L-2160 Luxembourg, Grand-Duché de Luxembourg  
(2) Laboratoire de minéralogie, Université de Liège B18, B-4000 Liège, Belgique

A sample of pyrrhotite from the Santa Eulalia mine (Mexico) has been investigated by goniometric techniques. The crystals are characterized by the {20-21}{0001} combination and are affected by a contact twin along the (10-13) plane. The description of this new twin in pyrrhotite is exceptional, since only the (10-12) twin was previously reported on a sample from Elizabethtown, Canada.



Le gisement de Santa Eulalia est mondialement reconnu pour ses échantillons remarquables d'acanthite, d'argent natif, d'hémimorphite, de mimérite, de pyrrhotite et de rhodochrosite. Récemment, le Musée national d'Histoire naturelle de Luxembourg a acquis un échantillon de pyrrhotite maclée provenant de ce gisement. Des mesures angulaires réalisées au goniomètre d'application ont mis en évidence, sur cet échantillon, la présence d'une nouvelle macle pour la pyrrhotite. Le but de cet article est de décrire en détail la morphologie de ces cristaux exceptionnels et la cristallographie de la macle qui les affecte.

## LE GISEMENT DE SANTA EULALIA : CONTEXTE HISTORIQUE ET GÉOLOGIQUE

Le district minier de Santa Eulalia est situé au Mexique, à 19 kilomètres au sud de la ville de Chihuahua, elle-même capitale de l'Etat de Chihuahua (Figure 1). La concession s'étend sur 8 kilomètres de large et 24 kilomètres de long. Ce district et la ville de Santa Eulalia ont été rebaptisés en 1932 par le gouvernement mexicain et

portent maintenant le nom d'Aquiles Serdán. Depuis 1703, ce secteur est connu pour être un riche producteur d'argent et de plomb. Les premières mines, dont l'exploitation débuta en 1737, sont San Antonio et Santo Domingo. La mine El Potosi est exploitée depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle. En plus de sa production d'argent, elle est renseignée depuis 1920 comme le quatrième plus grand producteur de plomb au monde. Actuellement, les mines El Potosi (avec 3 puits d'exploitation) et San Antonio fournissent la majeure partie de la production du district.

Le gisement est de type remplacement dans des roches calcaires d'âge crétacé avec une structure en couches et cheminées. Les roches régionales sont des séries de calcaires impurs,

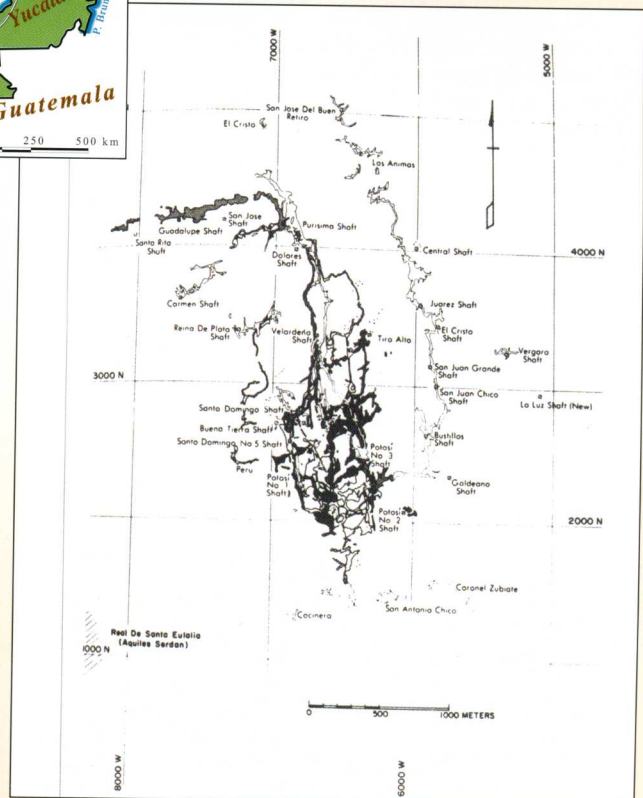


Figure 1 : cartes du Mexique et du district minier de Santa Eulalia.

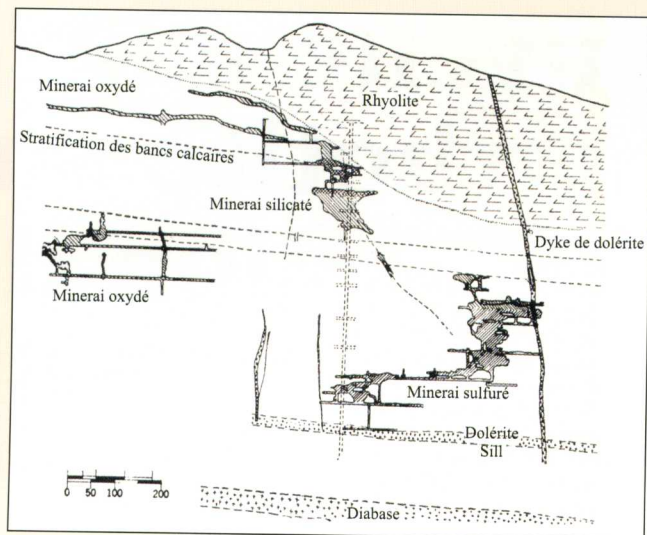


Figure 2 : coupe géologique de la mine El Potosi, Santa Eulalia, Mexique.

d'évaporites et de bancs épais de calcaires purs. Ces roches sédimentaires sont faillées, plissées et intrudées par des roches ignées en dykes ou en sills (Figure 2). Elles sont partiellement recouvertes d'une séquence volcanique épaisse de type rhyolitique (Panczner, 1987). La minéralisation forme une série de couches et de colonnes de grandes dimensions. Certaines colonnes atteignent 489 mètres de hauteur en continu, avec un diamètre de 18 à 40 mètres (Panczner, 1987). On note trois types de minerais, localisables sur la coupe de la figure n°2 : un premier minerai riche en sulfures, un second silicaté à basse teneur en sulfures, et un dernier d'oxydation, largement exploité actuellement (Bateman, 1950).

Des spécimens exceptionnels de pyrrhotite sortent de manière intermittente depuis des décades de plusieurs localités mexicaines, et principalement des mines de la région de Santa Eulalia. Ce sont des cristaux bien formés, hexagonaux, allongés, atteignant 20 centimètres et associés au quartz, à la calcite et à d'autres sulfures comme la galène, la sphalérite et l'arsénopyrite. Les autres espèces décrites pour la localité sont les suivantes (Bernard et Hyrsi, 2004 ; Panczner, 1987) : anglésite, aragonite, brochantite, creedite, hémimorphite, jeanbandyite, legrandite, miméteite, natanite, rhodochrosite et vanadinite. On notera également des cristaux de gypse exceptionnels atteignant 4 mètres de longueur. Bateman (1950) note que le minerai silicaté contient les minéraux suivants : ilvaïte, actinolite, hédénbergite, fayalite, magnéteite et hématite.

### LA PYRRHOTITE : STRUCTURE CRISTALLINE, MORPHOLOGIE ET MACLES

La pyrrhotite est un sulfure de composition générale  $Fe_{1-x}S$ , dont la structure cristalline est basée sur celle de la nickéline, NiAs (groupe spatial  $P6_3/mmc$ ,  $a = 3,619 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,034 \text{ \AA}$  ; Kostov et Minceva-Stefanova, 1982).

Ce minéral montre une composition chimique non-stoechiométrique variable, à l'origine de différentes superstructures liées aux modes de distribution des lacunes dans les couches de la structure cristalline (Kostov et Minceva-Stefanova, 1982). Au-dessus de  $300^\circ\text{C}$ , la pyrrhotite est hexagonale et présente des paramètres de maille proches de ceux de la nickéline :  $a \sim 3,45 \text{ \AA}$  et  $c \sim 5,8 \text{ \AA}$ . Pour cette raison, on l'appelle pyrrhotite 1C.

A plus basse température, quatre types de pyrrhotites monocliniques existent dans la nature, de compositions chimiques  $Fe_8S_8$  (4C),  $Fe_9S_{10}$  (5C),  $Fe_{10}S_{11}$  (11C) et  $Fe_{11}S_{12}$  (6C). La troïllite,  $FeS$ , se rencontre dans les météorites et présente une superstructure 2C hexagonale.

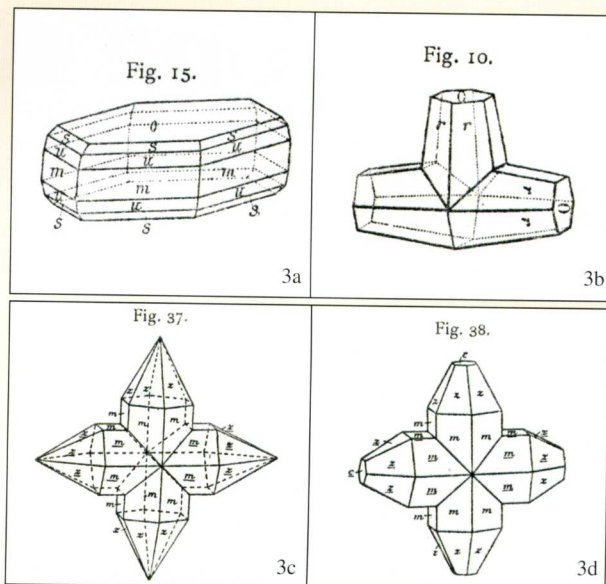


Figure 3 : Morphologie de la pyrrhotite (Goldschmidt, 1918).  
a. Cristal tabulaire  $\{10\bar{1}0\}(m)\{0001\}(o)\{20\bar{2}1\}(u)\{10\bar{1}2\}(s)$  provenant des îles Eoliennes, Sicile, Italie.  
b. Cristaux  $\{10.0.\bar{1}0.3\}(r)\{0001\}(o)$  maclés selon le plan  $\{10\bar{1}2\}$  et provenant de Elizabethtown, Ontario, Canada.  
c. Cristaux synthétiques  $\{10\bar{1}0\}(m)\{10\bar{1}1\}(x)$  maclés selon le plan  $\{10\bar{1}2\}$ .  
d. Cristaux synthétiques  $\{10\bar{1}0\}(m)\{10\bar{1}1\}(x)\{0001\}(c)$  maclés selon le plan  $\{10\bar{1}2\}$ .

Les mesures d'inclusions fluides, réalisées par Megaw *et al.* (1988) sur les gisements à Ag-Pb-Zn(Cu) du Nord du Mexique, montrent que ces minéralisations se sont mises en place à haute température, probablement entre 200 et  $500^\circ\text{C}$ . Le diagramme de phases établi par Nakazawa et Morimoto (1971) indique que sous ces conditions, la pyrrhotite de Santa Eulalia devrait être hexagonale, ou contenir une grande proportion de pyrrhotite hexagonale peut-être associée à de plus faibles proportions de pyrrhotites monocliniques. L'étude cristallographique de Carpenter et Desborough (1964) a toutefois montré que la pyrrhotite de Santa Eulalia était de type monoclinique 4C, avec un paramètre  $c$  de  $22,77 \text{ \AA}$ . Il est donc probable que la pyrrhotite de Santa Eulalia ait cristallisé à haute température sous sa forme hexagonale 1C, pour ensuite adopter la superstructure monoclinique 4C lors du refroidissement du gisement. Cette transformation n'a pas affecté la morphologie des cristaux, qui témoignent encore de la symétrie hexagonale originelle. Dans les descriptions morphologiques qui vont suivre, toutes les notations se référeront à la maille hexagonale 1C de la pyrrhotite de haute température.

La pyrrhotite se caractérise par une morphologie simple constituée du prisme hexagonal  $\{10\bar{1}0\}$  associé à la base  $\{0001\}$ , formant ainsi des cristaux prismatiques ou tabulaires. Une ou plusieurs pyramides hexagonales peuvent s'ajouter à cette combinaison, comme par exemple les pyramides  $\{20\bar{2}1\}$  et  $\{10\bar{1}2\}$  observées sur un cristal provenant des îles Eoliennes, Sicile, Italie (Figure 3a ; Dana, 1895 ; Goldschmidt, 1918 ; Palache *et al.*, 1944). Les cristaux maclés sont très rares, et n'ont été observés à ce jour qu'à Elizabethtown (Ontario, Canada). Le plan de maclé est  $\{10\bar{1}2\}$ , et les deux individus présentent une combinaison simple  $\{10.0.\bar{1}0.3\}\{0001\}$  (Figure 3b ; Dana, 1895 ; Goldschmidt, 1918 ; Palache *et al.*, 1944). Goldschmidt (1918) signale la même maclé dans des cristaux synthétiques de combinaisons  $\{10\bar{1}0\}\{10\bar{1}1\}$  (Figure 3c) et  $\{10\bar{1}0\}\{10\bar{1}1\}\{0001\}$  (Figure 3d), alors que Allen *et al.* (1912) observent plutôt des maclés selon les plans  $\{20\bar{2}1\}$  et  $\{20\bar{2}3\}$  dans d'autres pyrrhotites synthétiques.

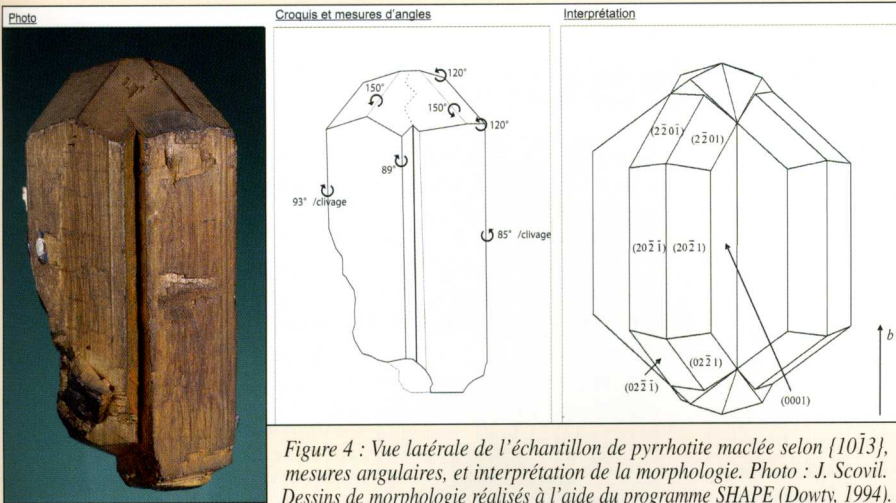


Figure 4 : Vue latérale de l'échantillon de pyrrhotite maclée selon  $\{10\bar{1}3\}$ , mesures angulaires, et interprétation de la morphologie. Photo : J. Scovil. Dessins de morphologie réalisés à l'aide du programme SHAPE (Dowty, 1994).

Cet échantillon est catalogué au Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg sous le numéro de référence ID038. Les résultats des mesures angulaires, réalisées grâce à un goniomètre d'application, sont repris au Tableau 1. Ces valeurs mesurées sont comparables à celles calculées à partir des paramètres de maille de la pyrrhotite 1C (3,45 et 5,8 Å ; Kostov & Minceva-Stefanova, 1982), confirmant ainsi l'identification des formes  $\{20\bar{2}1\}$  et  $\{0001\}$  (Figures 4, 5).

Il est important de signaler que les cristaux ne sont pas parfaitement symétriques, car certaines faces de la forme  $\{20\bar{2}1\}$  sont absentes et remplacées par des faces  $\{10\bar{1}0\}$  (Figures 4, 5). L'angle mesuré entre la face (0001) du premier cristal et la face (000 $\bar{1}$ ) du second cristal est de 65° (Figure 5). Si l'on considère la macle selon un plan  $(10\bar{1}2)$  reportée dans la littérature (Dana, 1895 ; Goldschmidt, 1918 ; Palache *et al.*, 1944), on obtient un angle de 88,3° entre ces deux faces (Figures 3b, 3d), indiquant qu'il s'agit bien ici d'une nouvelle macle pour la pyrrhotite.

Cette nouvelle macle est par réflexion selon le plan  $(10\bar{1}3)$ , avec l'axe cristallographique  $b$  commun entre les deux individus (Figure 4). L'angle calculé entre la face (0001) du premier cristal et la face (000 $\bar{1}$ ) du second cristal est de 65,8° ; ceci est en très bon accord avec la valeur mesurée.

La description de cette nouvelle macle de la pyrrhotite reflète un intérêt particulier, car le système cristallin hexagonal ne comporte qu'un nombre de macles extrêmement limité (Fritsch, 1987a, b, 1999). Des macles selon le plan basal sont reportées, comme par exemple dans la zincite, ainsi que quelques macles selon des plans pyramidaux, comme dans le graphite et l'apatite (plan de macle  $(11\bar{2}1)$ ), dans l'iodyrite (plan de macle  $(3034)$ ), et dans la breithauptite (plan de macle  $(1\bar{1}01)$ ) (Fritsch, 1987a, b, 1999).

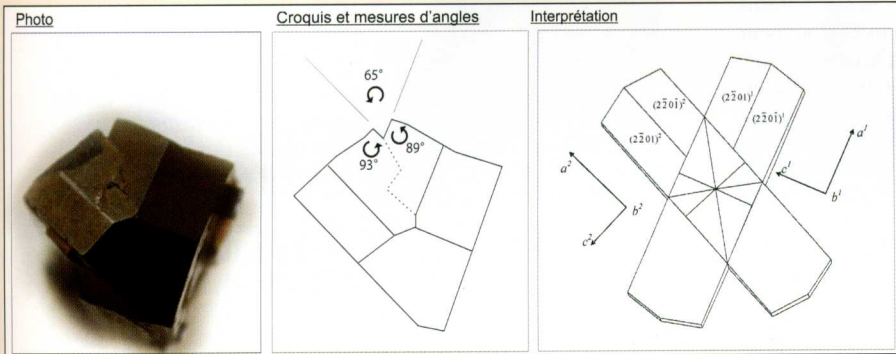


Figure 5 : Vue sommitale de l'échantillon de pyrrhotite maclée selon  $\{10\bar{1}3\}$ , mesures angulaires, et interprétation de la morphologie. Photo : S. Philippo. Dessins de morphologie réalisés à l'aide du programme SHAPE (Dowty, 1994).

Tableau 1. Mesures angulaires réalisées sur la pyrrhotite de Santa Eulalia, et comparaison avec les valeurs calculées.

	Angle observé	Angle calculé
$(2\bar{2}0\bar{1})_{(2\bar{2}01)}$ (cristal 1)	150°	151,1°
$(10\bar{1}0)_{(0001)}$ (cristal 1)	89°	90,0°
$(10\bar{1}0)_{(000\bar{1})}$ (cristal 1)	93°	90,0°
$(2\bar{2}0\bar{1})_{(2\bar{2}01)}$ (cristal 2)	150°	151,1°
$(2\bar{2}0\bar{1})_{(0\bar{1}10)}$ (cristal 2)	120°	119,0°
$(2\bar{2}0\bar{1})_{(10\bar{1}0)}$ (cristal 2)	120°	119,0°
$(10\bar{1}0)_{(0001)}$ (cristal 2)	85°	90,0°

## DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON DE SANTA EULALIA ET DE LA NOUVELLE MACLE

L'échantillon de pyrrhotite maclée décrit dans cette publication est prismatique et mesure 40 mm de longueur et 18 mm de diamètre (Figures 4, 5). Il est associé à de petits cristaux de galène et se présente sans gangue.

## REMERCIEMENTS

Nous en profitons ici pour remercier les nombreuses personnes qui nous permettent de mener à bien nos recherches et dans le cas particulier de cet article: René Biren, Christophe Dubois et Jeff Scovil. Frédéric Hatert remercie le FRS-F.N.R.S. (Belgique) pour un poste de Chercheur qualifié.

## BIBLIOGRAPHIE

ALLEN, E.T., CRENSHAW, J.L., JOHNSTON, J. AND LARSEN, E. (1912) - The Mineral Sulphides of Iron. *American Journal of Science*, 33, 169-236.  
 BATEMAN, A.M. (1950) - Economic mineral deposits. Ed. John Wiley & Sons, 916 pp.  
 BERNARD, J.H. & HYRŠL, J. (2004) - Minerals and their localities. Ed. Vandall T. King, 807 pp.  
 CARPENTER, R.H. & DESBOROUGH, G.A. (1964) - Range in solid solution and structure of naturally occurring troilite and pyrrhotite. *American Mineralogist*, 49, 1350-1365.  
 DANA, J.D. (1895) - The system of Mineralogy, 6<sup>e</sup> Edition. John Wiley & Sons, New York, 1134 p.  
 DOWTY, E. (1994) - Shape for Windows, version 5.0. A computer program for displaying crystal morphology. Shape Software, Kingsport, TN.  
 FRITSCH, E. (1987a) - Connaître les macles. *Monde et minéraux*, 77, 17-19.  
 FRITSCH, E. (1987a) - Connaître les macles. *Monde et minéraux*, 78, 45-49.

FRITSCH, E. (1999) - Comprendre les macles : une question de symétrie. *Le Règne minéral*, 29, 47-51.  
 GOLDSCHMIDT, V. (1918) - Atlas der Krystallformen. Carl Winters Universitätsbuchhandlung, Heidelberg, vol. V, Tafeln 115-117.  
 KOSTOV, I. & MINCEVA-STEFANOVA, J. (1982) - Sulphide Minerals: Crystal chemistry, parageneses and systematics. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 212 p.  
 MEGAW, P.K.M., RUIZ, J. & TITILEY, S.R. (1988) - High-temperature, carbonate-hosted Ag-Pb-Zn(Cu) deposits of northern Mexico. *Economic Geology*, 83, 1856-1885.  
 NAKAZAWA, H. & MORIMOTO, N. (1971) - Phase relations and superstructures of pyrrhotite, Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub>. *Materials Research Bulletin*, 6, 345-358.  
 PALACHE, C., BERMAN, H. & FRONDEL, C. (1944) - The system of Mineralogy, 7<sup>th</sup> Edition. Vol. I, Elements, sulfures, sulfosalts, oxides. John Wiley & Sons, London, 834 p.  
 PANZNER, W.D. (1987) - Minerals of Mexico. Ed. Van Nostrand Reinhold Company, 459 pp.