

14. ANALYSE MINÉRALOGIQUE DE TROIS POIDS DE BALANCE PROVENANT DE TELL AMARNA (SYRIE)

Frédéric HATERT *

14.1. Introduction

Lors de fouilles archéologiques menées à Tell Amarna (Syrie), des objets brunâtres relativement denses, de formes sphérique, ovoïde ou cylindrique, ont été découverts et interprétés comme poids de balance (cf. *supra* COLONNA D'ISTRIA, 2026). Les masses de ces objets correspondent précisément à des multiples ou fractions des unités de masse utilisées en Syrie au Bronze ancien IVB ou *Early Middle Euphrates* 5 (ca 2350-2100 / 2230-2040 av. J.-C.) et au Bronze moyen I-II ou *Old Middle Euphrates* 1-2 (ca 1950-1600 / 1935-1500 av. J.-C.) ¹.

Dans le présent article, nous envisagerons la caractérisation minéralogique de ces poids de balance, et émettrons des hypothèses quant à leur origine géologique.

14.2. Caractérisation visuelle

Trois poids de balance ont été soumis à l'analyse. Le premier (AM 1494, masse 12,69 g) était à l'origine de forme sphérique, mais a probablement été cassé en deux parties afin d'obtenir la masse désirée (COLONNA D'ISTRIA, 2026, p. 00). Sa surface externe révèle une série de fissures formant un réseau pseudo-hexagonal (Pl. 14.1a) et l'intérieur du nodule montre une structure fibro-radiée grossière, ainsi qu'une cavité localisée en son centre (Pl. 14.1b). Un examen attentif indique également que la surface de ce nodule est parcourue de nombreuses rayures peu profondes, démontrant qu'il a été façonné afin d'atteindre la masse requise.

Le deuxième nodule est plus petit (AM 1526, masse 4,15 g). Il est de forme globalement sphérique mais sa surface n'est pas du tout régulière. En effet, on y voit de nombreux cristaux bien proéminents, montrant une forme cubique caractéristique ainsi que des faces plus petites de l'octaèdre (Pl. 14.1c). Certains de ces cristaux ne montrent plus leur forme originelle à cause d'un processus de façonnage qui a laissé des rayures similaires à celles observées sur le premier nodule AM 1494.

Le troisième nodule (AM 1040, masse 17,23 g) est parfaitement sphérique et sa surface montre des fractures pseudo-hexagonales semblables à celles qui parcourent le premier nodule AM 1494 (Pl. 14.1d). Bien que très régulière, la

* Université de Liège, Laboratoire de minéralogie (Département de Géologie), fhatert@uliege.be.

¹ Les dates absolues citées sont, dans l'ordre, celles des chronologies dites moyenne et courte (cf. *supra* TUNCA, 2026a, p. 6).

surface de ce nodule n'a pas été façonnée et elle est parsemée de petits cristaux dont on distingue des faces sommitales triangulaires. Ces cristaux ressortent très peu par rapport à la surface sphérique.

La présence de cristaux sur la surface de deux des trois nodules (AM 1526 et AM 1040), ainsi que la structure interne radiaire du nodule AM 1494, démontrent qu'il s'agit de rognons de pyrite goethitisée² semblables, notamment, à ceux observés dans le dépôt de craie du Cap Blanc-Nez en France (TAMBUYSER, 1976).

En guise de comparaison, nous présentons les photos de nodules provenant du Cap Blanc-Nez, France (Pl. 14.1e-f-g) et de Büdeheim, Eifel, Allemagne (Pl. 14.1h). On y observe bien la surface externe brune de goethite (Pl. 14.1e-f), sur laquelle il est possible de distinguer soit des fractures pseudo-hexagonales similaires à celles des poids de balance AM 1494 et AM 1040 (Pl. 14.1a, d), soit des cristaux proéminents montrant les formes caractéristiques de la pyrite (Pl. 14.1h). A l'intérieur de ces nodules, on observe une structure fibro-radiée identique à celle de l'échantillon AM 1494 (Pl. 14.1b), mais lorsque l'oxydation est moins poussée, la pyrite originelle est parfois présente (Pl. 14.1g).

Signalons que le cœur du nodule AM 1494, actuellement creux, aurait pu, à l'origine, être rempli de pyrite, qui aurait été soit retirée par les utilisateurs de l'objet, soit altérée par les agents météoriques.

Considérant que ces nodules étaient à l'origine constitués de pyrite, maintenant épigénisée en goethite³, nous pouvons interpréter les formes cristallines observées sur la surface des nodules comme des cubes $\{100\}$ ⁴ majoritaires, auxquels s'ajoutent les faces triangulaires de l'octaèdre $\{111\}$ moins

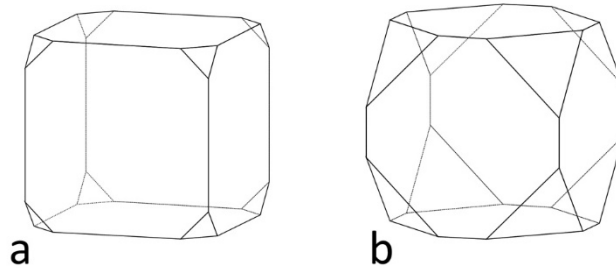


Fig. 14.1. Combinaison du cube $\{100\}$ et de l'octaèdre $\{111\}$ dans les cristaux de pyrite.
 a : Forme avec le cube dominant et de petites faces de l'octaèdre, semblable aux cristaux de l'échantillon AM-1526.
 b : Cristaux montrant les faces octaédriques plus développées, comme ceux de l'échantillon ULG-1120 provenant de Büdeheim, Allemagne.
 Les dessins ont été réalisés à l'aide du programme Faces (FAVREAU, 2006).

² La pyrite est un sulfure de formule FeS_2 . La goethite est un minéral d'oxydation de formule $\text{FeO}(\text{OH})$.

³ L'épigénie est un phénomène où un minéral en remplace un autre, souvent suite à une oxydation.

⁴ Les notations de Miller $\{100\}$ et $\{111\}$ sont celles qui représentent le cube et l'octaèdre,

développé. Cette morphologie caractéristique de la pyrite est illustrée sur la Figure 14.1, où l'on voit des cristaux avec le cube dominant comme ceux de l'échantillon AM 1526 (Fig. 14.1a), et des cristaux où l'octaèdre est plus marqué comme ceux de l'échantillon de Büdeheim (Fig. 14.1b).

14.3. Analyses par diffraction des rayons X

Un fragment du poids de balance AM 1494 a été prélevé en son cœur, broyé puis soumis à une analyse par diffraction des rayons X sur poudres. La poudre a été disposée sur un support en silicium "Zero background", lui-même inséré dans un diffractomètre Bruker D8 Eco utilisant une source CuK_α ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$). La gamme angulaire parcourue était de 2 à $70^\circ 2\theta$, avec un temps de comptage d'une seconde par pas de $0,1^\circ 2\theta$.

Les phases présentes sur le diffractogramme de poudres (Fig. 14.2) ont été identifiées à l'aide du logiciel EVA, et ensuite quantifiées à l'aide du logiciel TOPAS (BRUKER, 2008). Cette analyse a permis de confirmer que les poids de balance étaient bien constitués en majorité de goethite, étayant ainsi l'hypothèse de nodules de pyrite épigénisés en ce minéral.

Les paramètres de maille, calculés sur cet échantillon de goethite, sont $a = 9,965(1)$, $b = 3,022(1)$, $c = 4,609(1) \text{ \AA}$, similaires à ceux des goethites synthétisées par WOLSKA & SCHWERTMANN, 1989. La présence de pyrite dans l'échantillon (7 %) confirme que ce minéral était bien à l'origine du nodule de goethite. Son altération météorique directe peut conduire à la formation de sulfates, comme par exemple le gypse⁵ qui constitue plus de 2 % de l'échantillon étudié (Fig. 14.2).

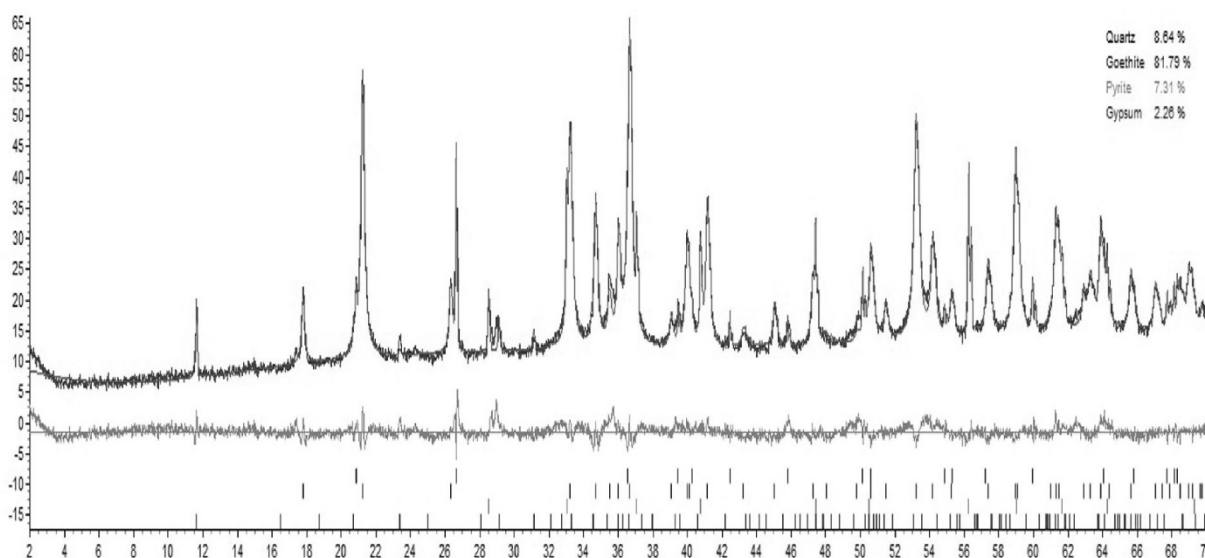


Fig. 14.2. Diffractogramme de poudres de rayons X du poids de balance AM 1494.

⁵ Sulfate de calcium de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

14.4. Interprétations géologiques

Au Cap Blanc-Nez, la craie cénomaniennne ⁶ contient des filons de pyrite qui s'altèrent ensuite en nodules bruns de goethite. La texture interne fibro-radiée des nodules laisse penser qu'ils étaient constitués à l'origine de marcasite ⁷, mais les analyses par diffraction des rayons X, ainsi que la forme des cristaux retrouvés à la surface de certains nodules, confirment l'identification de pyrite. La marcasite est toutefois bien présente dans le même gisement, en cristaux montrant des macles ⁸ en crête de coq caractéristiques.

Les poids de balance de Tell Amarna sont donc des nodules de goethite similaires à ceux du Cap Blanc-Nez. Ils sont certainement issus de contextes géologiques semblables, comme des gisements de craie. L'examen de la carte géologique de Syrie (PONIKAROV & MIKHAILOV, 1986) indique que la moitié ouest du pays contient de nombreux dépôts de calcaires crayeux du Paléogène ⁹, ainsi que des gisements de craie et de marnes datés du Crétacé. Par exemple, la pointe extrême nord-ouest du pays, au nord de Sheik El-Hadid, est constituée de dépôts de craie, susceptibles de contenir des nodules de goethite, et localisés à seulement une centaine de kilomètres à l'ouest de Tell Amarna. Sans information géologique supplémentaire et sans vérification sur le terrain, la présence de ces nodules, bien que vraisemblable, reste toutefois à confirmer.

14.5. Conclusions

Les poids de balance de Tell Amarna sont constitués de nodules de pyrite transformés, par altération météorique, en goethite. Ce type de nodule est présent à l'état naturel en de nombreux gisements, notamment dans les dépôts de craie. Leurs formes variables, sphérique, ovoïde, allongée ou irrégulière, sont communes dans la nature, et expliquent les morphologies des poids de balance décrites dans la littérature.

Les stries observées sur la surface de certains poids confirment qu'ils ont été façonnés afin de s'approcher au plus près de la masse désirée. L'utilisation de goethite est parfaitement appropriée pour ce genre de fonction, étant donné sa densité ¹⁰ particulièrement élevée ($d = 3,8$) par rapport à celle d'autres minéraux fréquents comme le quartz, par exemple ($d = 2,62$).

⁶ Premier étage du Crétacé Supérieur, entre -100,5 à -93,9 millions d'années.

⁷ Sulfure de fer de formule FeS_2 comme la pyrite, mais de structure cristalline distincte.

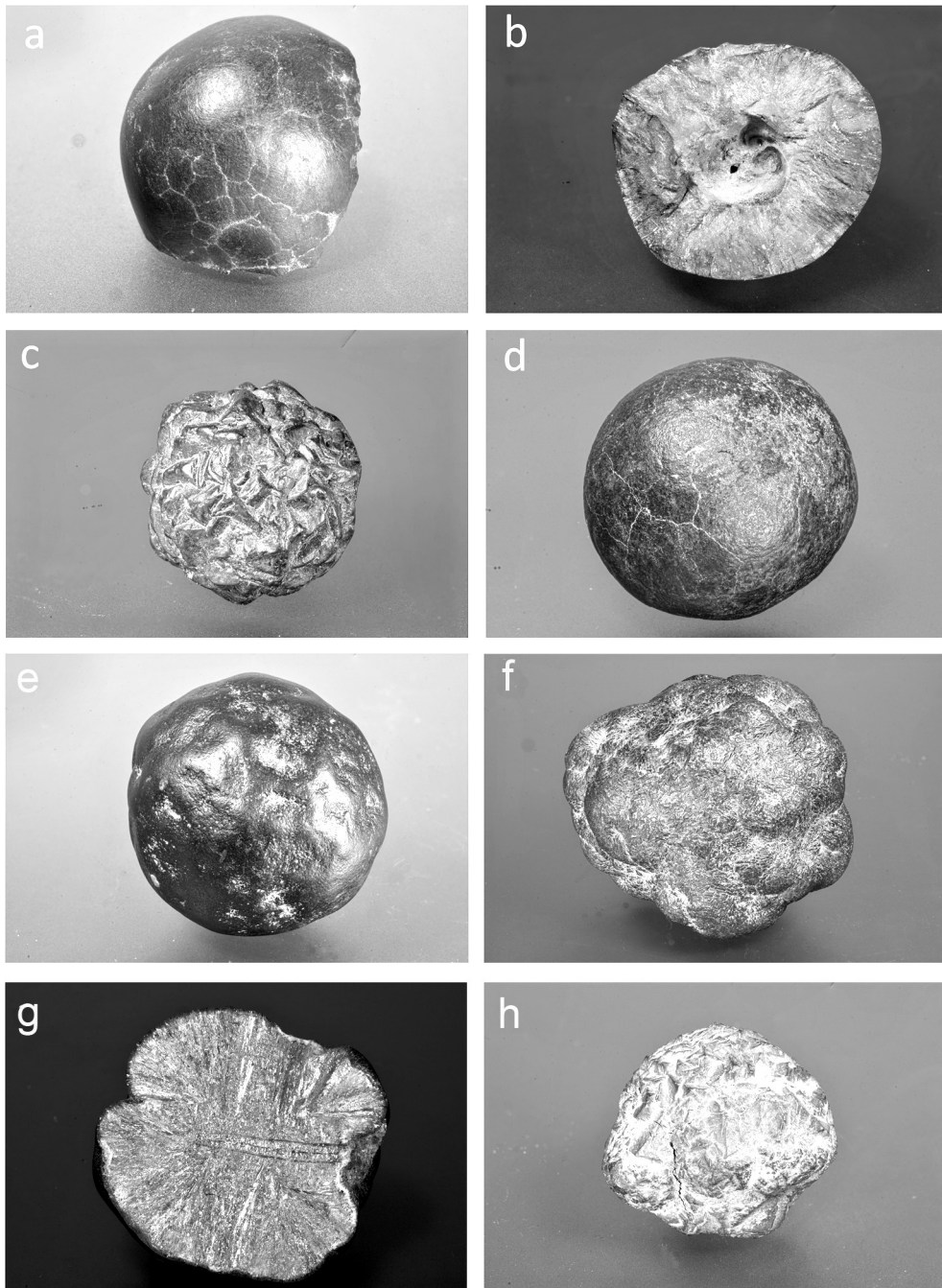
⁸ La macle est un assemblage cristallin complexe constitué par l'accolement de deux ou plusieurs cristaux de même espèce.

⁹ -65,5 à -23 millions d'années.

¹⁰ La densité est définie comme la masse spécifique d'une substance, rapportée à celle de l'eau.

Références

- BRUKER AXS, 2008 : *TOPAS V4. General Profile and Structure Analysis Software for Powder Diffraction Data, User's Manual*, Bruker AXS, Karlsruhe.
- COLONNA D'ISTRIA L., 2026 : « Les poids de balance découverts à Tell Amarna (Syrie) », in Ö. TUNCA (éd.), *Tell Amarna (Syrie) II. Les vestiges de l'âge du Bronze ancien et moyen*, Louvain - Paris - Bristol (CT), p. 00-00.
- FAVREAU G., 2006 : *Faces version 4.4. Logiciel interactif de tracé de cristaux*.
- PONIKAROV V. & MIKHAILOV I., 1986 : *Geological Map of Syria*, Syrian Arabic Republic, Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damas.
- TAMBUYSER P., 1976 : « Morphology of the Pyrite Aggregates from Cap-Blanc-Nez, France », *Mineralogical Record* 4, p. 179-181.
- TUNCA Ö., 2026 : « Introduction », in Ö. TUNCA (éd.), *Tell Amarna (Syrie) II. Les vestiges de l'âge du Bronze ancien et moyen*, Louvain - Paris - Bristol (CT), p. 1-23.
- WOLSKA E. & SCHWERTMANN U., 1989 : « Nonstoichiometric Structures during Dehydroxylation of Goethite », *Zeitschrift für Kristallographie* 189, p. 223-237.



Pl. 14.1

- a) Surface du poids AM 1494, montrant un réseau de fissures pseudo-hexagonal.
- b) Face fracturée du poids AM 1494, montrant une texture fibro-radiée et une cavité au centre.
- c) Poids AM 1526, dont la surface irrégulière est constituée de cristaux de forme cubique.
- d) Poids AM 1040, dont la surface craquelée est parsemée de minuscules formes cristallines.
- e) Nodule de pyrite goethitisée du Cap Blanc-Nez (France), montrant une surface de goethite sphérique, sans formes cristallines apparentes.
- f) Nodule de pyrite goethitisée du Cap Blanc-Nez (France), montrant une morphologie plus irrégulière, et une surface parsemée de minuscules formes cristallines.
- g) Nodule de pyrite goethitisée du Cap Blanc-Nez (France) fracturé, montrant la structure fibro-radiée de la pyrite originelle.
- h) Nodule de pyrite goethitisée de Büdeheim (Eifel, Allemagne, ULG-1120), montrant une surface parsemée de cristaux cubiques semblables à ceux du poids AM 1526.

(Photographies : A. Bouvy)