

Projet intégrateur : Filière TDI, ENSA Beni Mellal

Le directeur d'une compagnie minière Alfa est convaincu que les technologies digitales pourraient avoir un impact critique sur l'industrie minière d'aujourd'hui. Le mandat donné à l'ENSA-BM par cette compagnie minière est de faire une digitalisation de ses différentes activités pour améliorer à la fois la gestion opérationnelle, la sécurité et la gouvernance environnementale. Le recours à la digitalisation permettra aussi d'optimiser les opérations et tirer parti de nouveaux modèles économiques.

En étant qu'ingénieur spécialiste en digitalisation, le directeur vous demande :

1. Que peut apporter la digitalisation à sa compagnie minière Alfa afin de rentabiliser les opérations minières.
2. Connaître le statut et la distribution de l'or et des autres métaux d'intérêt.
3. Dresser un flowsheet préliminaire pour le traitement du minerai et l'extraction de la matière utile que le minerai contient en se basant sur tous les résultats de caractérisation.
4. Proposer une solution digitale pour une meilleure reconnaissance de ses ressources.
5. A l'aide d'une combinaison de l'équipement minier, des capteurs digitaux et des plateformes et de l'analytique de l'Internet des Objets (IoT) développer une façon de procéder pour accroître l'efficacité opérationnelle de ces opérations, et ce, à partir de l'extraction à la fermeture du site.
6. Développer une solution digitale pour améliorer la sécurité des employés durant les opérations afin de réduire les risques.
7. Proposer une solution digitale pour prédire à quel moment un équipement peut tomber en panne
8. et enfin, de connaître le comportement environnemental prévisionnel du rejet à l'aide d'une solution digitale sachant que la récupération des minéraux d'intérêt économique est de 90%.

La caractérisation détaillée du minerai polymétallique qu'elle veut exploiter est donnée dans les tableaux suivants :

1- Résultats de l'analyse de diffraction des rayons X (DRX)

Minéral	Teneur (%massique)
Quartz	28.25
Muscovite	16.2
Chlorite	6.23
Albite	4.23
Dolomite	27.8
Pyrite	3.5
chalcopryrite	7.59
sphalérite	6.2
Total	100

2- Analyse chimique ICP

	Al	Ca	Mg	Mn	Fe	As*	Cu	Pb	S	Ti	Zn
Éléments (%massique)	4.84	5.2	3.2	0.037	7.58	1.16	3	0	8.19	0.138	4.5

3- Four à induction

	Ctotal	TOC	Stotal
Éléments (%massique)	3.15	0.11	8.25

4- Analyse d'or par pyroanalyse

L'échantillon contient 9.81 g/t d'or.

5- Microscopie optique

Les observations microscopiques ont révélé la présence de la chalcoppyrite, la sphalérite, la pyrite et l'arsénopyrite. Cette dernière se présente sous deux formes différentes. Une arsénopyrite libre (type 1, Figure 1-A) sous forme de cristaux de grande taille (jusqu'à 200 µm), et une arsénopyrite sous forme de grains le plus souvent automorphes (type 2, Figure 1-B), d'une taille inférieure à 10 µm, et toujours encapsulées dans les minéraux de gangue.

Les différentes formes d'or observé au microscope optique et électronique sont présentées dans à figure 2. L'observation montre qu'environ 60% de l'or est libre, grossier est récupérable donc par gravimétrie.

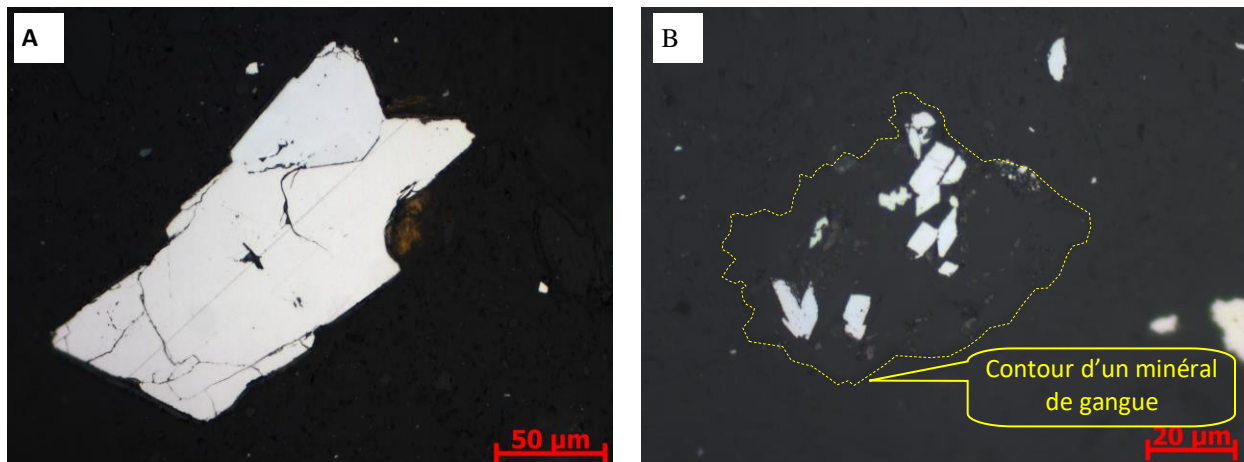


Figure 1 : Deux types d'arsénopyrite observés, A) Type1 : grands cristaux (jusqu'à 200 μm), B) Type 2 : petits cristaux automorphes et de taille inférieure à 10 μm

Microscopie optique

Microscopie électronique

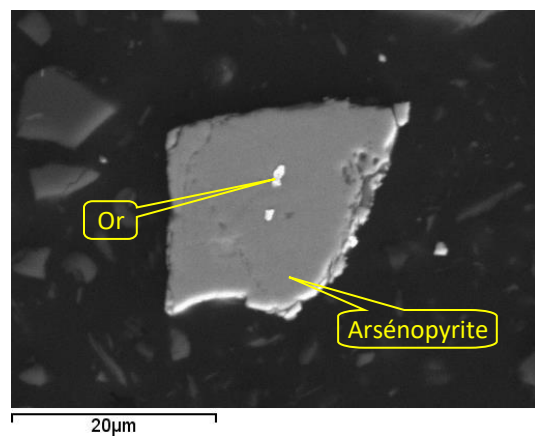
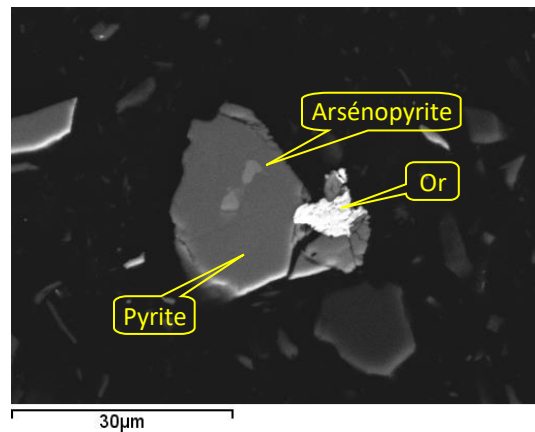


Figure 2 : Deux types d'arsénopyrite observés, A) Type1 : grands cristaux (jusqu'à 200 μm), B) Type 2 : petits cristaux

6- Microsonde électronique

L'étude minéralogique au microscope optique a été complétée par une analyse chimique ponctuelle des pyrites et arsénopyrites à la microsonde électronique pour le dosage de l'or avec une limite de détection d'environ 60 ppm. Toutes les analyses ponctuelles des pyrites et arsénopyrites sont présentées au tableau ci-bas

Minéral	Cu	Co	Fe	Ni	S	As	Au (g/t)	Total	Micro sulfures
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.8	0.1	23.2	41.5	0	99.6	
Arsénopyrite	0.0	0.1	34.5	0.0	22.8	41.1	0	98.5	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.4	0.0	21.8	43.6	143	99.9	
Arsénopyrite	0.0	0.0	35.4	0.0	22.9	40.9	0	99.3	
Arsénopyrite	0.0	0.0	35.0	0.0	22.5	42.4	0	99.9	
Arsénopyrite	0.0	0.0	35.0	0.0	22.4	42.5	0	100.0	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.9	0.1	23.1	41.3	0	99.4	
Arsénopyrite	0.0	0.1	34.4	0.0	21.4	43.2	0	99.1	
Arsénopyrite	0.1	0.1	33.4	0.0	20.7	44.8	7	99.1	
Arsénopyrite	0.1	0.0	35.1	0.0	23.6	40.5	18	99.3	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.5	0.0	21.1	44.1	0	99.7	
Arsénopyrite	0.1	0.0	35.0	0.0	22.3	42.3	0	99.7	
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.7	0.1	22.3	42.0	0	99.1	
Pyrite	0.0	0.0	45.4	0.0	52.6	2.1	107	100.2	
Arsénopyrite	0.1	0.1	34.4	0.0	22.9	41.8	27	99.4	
Pyrite	0.0	0.0	46.1	0.0	54.2	0.1	0	100.4	
Pyrite	0.1	0.0	46.0	0.0	53.3	0.7	0	100.1	
Pyrite	0.0	0.0	45.9	0.0	54.3	0.1	0	100.3	
Pyrite	0.0	0.1	45.6	0.0	52.8	1.5	73	100.0	
Pyrite	0.1	0.0	45.5	0.0	52.9	1.3	0	99.9	
Pyrite	0.0	0.0	45.4	0.0	52.8	1.6	0	99.8	
Pyrite	0.0	0.0	46.3	0.1	54.0	0.3	0	100.7	
Pyrite	0.1	0.0	46.1	0.1	54.1	0.1	0	100.4	
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.8	0.2	23.8	40.5	597	99.2	Type 2
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.8	0.2	22.9	41.6	0	99.5	
Arsénopyrite	0.0	0.0	35.1	0.0	23.2	41.1	0	99.5	
Pyrite	0.0	0.0	45.6	0.1	53.7	0.4	0	99.8	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.3	0.1	21.1	43.1	0	98.7	
Arsénopyrite	0.0	0.0	35.0	0.0	22.8	41.4	0	99.2	
Pyrite	0.2	0.0	45.4	0.0	52.5	2.0	0	100.1	
Arsénopyrite	0.0	0.1	34.6	0.0	22.3	42.6	0	99.6	
Arsénopyrite	0.0	0.0	35.2	0.3	24.0	39.5	33	99.1	
Pyrite	0.2	0.0	46.1	0.0	53.6	0.7	44	100.6	

Minéral	Cu	Co	Fe	Ni	S	As	Au (g/t)	Total	Micro sulfures
Arsénopyrite	0.1	0.0	35.1	0.0	24.1	40.9	0	100.2	Type 2
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.5	0.0	22.8	41.4	296	98.8	Type 2
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.6	0.0	23.4	40.2	9	98.4	Type 2
Arsénopyrite	0.0	0.0	33.5	0.0	21.2	44.0	177	98.7	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.1	0.1	22.1	42.2	444	98.4	Type 2
Arsénopyrite	0.1	0.0	33.8	0.0	20.7	44.8	47	99.5	Type 2
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.9	0.0	22.7	41.5	0	99.2	
Arsénopyrite	0.0	0.1	32.9	0.1	20.9	43.0	53	96.9	Type 2
Arsénopyrite	0.1	0.0	32.7	0.1	20.0	44.1	41	97.0	Type 2
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.3	0.0	22.2	42.5	147	99.2	Type 2
Arsénopyrite	0.1	0.1	34.4	0.1	20.9	44.0	50	99.5	Type 2
Arsénopyrite	0.0	0.1	34.3	0.1	22.2	42.5	85	99.2	Type 2
Pyrite	0.0	0.0	46.4	0.0	53.9	0.1	0	100.3	
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.7	0.1	21.8	42.5	0	99.2	
Pyrite	0.0	0.0	45.6	0.0	52.3	2.2	23	100.1	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.1	0.0	20.8	43.8	0	98.7	
Arsénopyrite	0.0	0.0	35.9	0.0	24.7	38.7	0	99.4	
Pyrite	0.0	0.0	45.9	0.0	53.6	0.2	0	99.7	
Pyrite	0.0	0.0	43.8	0.0	50.3	0.4	0	94.5	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.9	0.0	22.1	42.0	0	99.0	
Pyrite	0.0	0.0	45.2	0.0	50.7	3.7	31	99.6	
Arsénopyrite	0.0	0.1	34.8	0.1	21.5	43.0	0	99.4	
Pyrite	0.0	0.1	45.8	0.0	53.6	0.6	0	100.0	
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.7	0.0	21.3	42.9	223	99.0	
Arsénopyrite	0.1	0.1	33.8	0.1	21.5	43.2	400	98.8	Type 2
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.2	0.0	23.0	41.0	38	98.3	Type 2
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.4	0.0	22.8	41.2	53	98.4	Type 2
Arsénopyrite	0.1	0.0	32.7	0.0	21.2	41.7	0	95.8	Type 2
Arsénopyrite	0.1	0.0	33.6	0.2	21.3	43.2	124	98.4	Type 2
Arsénopyrite	0.0	0.0	33.3	0.0	20.1	45.5	29	98.9	Type 2
Pyrite	0.0	0.0	46.0	0.0	53.2	0.8	56	100.0	
Pyrite	0.1	0.0	44.8	0.1	52.9	1.0	47	98.8	
Pyrite	0.1	0.0	45.8	0.0	52.6	1.4	56	99.9	
Pyrite	0.0	0.0	43.8	0.0	51.5	1.7	0	97.0	
Arsénopyrite	0.1	0.0	35.1	0.0	22.7	41.4	0	99.4	
Pyrite	0.0	0.1	46.0	0.0	52.7	1.3	0	100.0	
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.2	0.0	21.2	42.6	113	98.2	
Pyrite	0.2	0.0	46.3	0.0	54.0	0.0	0	100.5	

Minéral	Cu	Co	Fe	Ni	S	As	Au (g/t)	Total	Micro sulfures
Arsénopyrite	0.1	0.0	35.1	0.0	22.7	40.5	0	98.6	
Arsénopyrite	0.3	0.0	34.9	0.0	23.5	39.8	0	98.5	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.7	0.0	21.1	43.4	101	99.1	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.4	0.0	19.7	44.9	35	98.9	
Arsénopyrite	0.1	0.0	35.7	0.0	21.6	43.8	0	101.2	
Pyrite	0.1	0.0	45.1	0.0	51.5	2.6	13	99.3	
Arsénopyrite	0.0	0.0	35.1	0.0	22.5	41.4	0	99.0	
Pyrite	0.1	0.0	45.0	0.0	50.8	4.1	0	100.0	
Arsénopyrite	0.1	0.0	34.8	0.0	22.2	41.3	0	98.5	
	0.0	0.0	35.0	0.0	22.4	41.4	156	98.7	
	0.1	0.0	34.9	0.0	22.7	41.4	846	99.2	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.3	0.0	20.7	43.9	0	98.9	
Pyrite	0.2	0.0	45.9	0.1	53.4	0.5	0	100.0	
Pyrite	0.0	0.0	46.2	0.0	53.7	0.2	0	100.0	
Pyrite	0.0	0.0	45.6	0.0	52.1	2.2	9	99.9	
Pyrite-Au	0.0	0.0	46.0	0.0	53.3	0.2	90	99.5	
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.3	0.1	21.0	43.5	27	99.0	Type 2
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.1	0.0	21.0	43.5	0	98.6	Type 2
Arsénopyrite	0.0	0.0	34.4	0.0	21.3	42.9	0	98.7	Type 2
Arsénopyrite	0.0	0.1	34.2	0.0	21.2	43.7	17	99.3	Type 2
Pyrite-Au	0.1	0.0	46.3	0.0	53.6	0.2	92	100.2	
Arsénopyrite	0.1	0.1	35.5	0.0	24.6	39.1	670	99.4	
Arsénopyrite	0.0	0.0	33.3	0.0	20.8	44.9	325	99.1	Type 2
Arsénopyrite	0.0	0.0	33.6	0.0	20.4	44.9	399	98.9	Type 2
Pyrite	0.2	0.0	45.5	0.0	53.4	0.2	0	99.3	
Arsénopyrite	0.1	0.0	33.5	0.1	21.4	42.3	295	97.3	Type 2
Arsénopyrite	0.0	0.0	33.7	0.0	22.4	41.1	434	97.2	Type 2
Pyrite-Au	0.1	0.0	44.9	0.0	52.2	2.4	575	99.6	
Arsénopyrite	0.2	0.0	33.9	0.0	22.4	41.6	186	98.2	Type 2

Conditions de travail : Le travail en binôme et à remettre avant le 30 novembre 2022

Bon courage

Prof. *PhD.* Mohamed Edahbi