

#### Premiers essais d'évaluation de la disponibilité des éléments traces CRM dans les minerais aurifères et cuprifères européens pour la récupération par ionométallurgie (Projet H2020 Ion4Raw)

Isabelle Duhamel-Achin, Pauline Moreau, Catherine Lerouge, Blandine

Gourcerol

#### ► To cite this version:

Isabelle Duhamel-Achin, Pauline Moreau, Catherine Lerouge, Blandine Gourcerol. Premiers essais d'évaluation de la disponibilité des éléments traces CRM dans les minerais aurifères et cuprifères européens pour la récupération par ionométallurgie (Projet H2020 Ion4Raw). Journées scientifiques du GDR Prométhée, Mar 2022, Toulouse, France. hal-03597963v2

#### HAL Id: hal-03597963 https://brgm.hal.science/hal-03597963v2

Submitted on 20 Jun2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers. L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

#### JS GDR Prométhée Toulouse 2022







brgm RÉPUBLIQUE FRANÇAISE Liberté Égalité Fraternité

Géosciences pour une Terre durable

Premiers essais d'évaluation de la disponibilité des éléments traces CRM dans les minerais aurifères et cuprifères européens pour la récupération par ionométallurgie (Projet H2020 Ion4Raw)

Isabelle Duhamel-Achin\*, Pauline Moreau, Catherine Lerouge, Blandine Gourcerol BRGM Bureau de Recherches Géologiques et Minières <u>\*i.duhamelachin@brgm.fr</u>

 $\langle \bigcirc \rangle$ 

Ce projet a reçu l'aide financières européennes H2020 pour du programme de recherche et d'innovation sous l'accord de consortium n°815748. Cette présentation reflète le point de vue de ses auteurs uniquement. La Commission Européenne n'est pas tenue responsable de l'usage des données et des informations qu'elle contient.



### **Objectifs du projet Ion4Raw**

Tester la récupération des sous-produits ou co-produits stratégiques et/ou critiques pour l'UE dans divers gisements de cuivre (Cu) et métaux précieux (Au-Ag)

- Récupérer les 9 petits métaux ciblés, stratégiques et/ou critiques pour le développement industriel UE, en une seule étape hydrométallurgique supplémentaire
- Développer un procédé de ionométallurgie et récupération électrochimique innovant des métaux plus respectueux de l'environnement à partir de solvants eutectiques profonds (DES Deep Eutectic Solvents)
- Maximiser le taux de récupération en amont et minimiser l'impact environnemental à l'aval
- Identifier des gisements européens où cette étape de traitement peut s'appliquer
- Evaluation technico-économique de préfaisabilité intégrée dans la chaine des procédés d'origine pour les opérateurs : approche multidisciplinaire, optimisation du design global & réduction des coûts opérationnels



NB Relative proportions of product and by-product are exaggerated for clarity.

ION RAW Ionometallurgy of primary sources an enhanced raw materials recovery

### **Organisation : 16 partenaires et 8 pays**





Supply Risk

intermédiaire LGI avec contribution BRGM)



# **Objectifs du WP2 (BRGM Leader)**



Soutenir et encourager la récuperation des sous-produits ou co-produits en ameliorant la connaissance des gisements cibles, et la caractérisation des minerais pour identifier les porteurs et moyens de pré-concentration

- 1. Inventaire et distribution des sous-produits métalliques recherchés dans les gisements et occurrences minéralisées Européens et identification de cibles pour l'exploration
- 2. Compiler les données existantes sur les minerais testés cibles
- 3. Echantillonner avec les opérateur des lots représentatifs
- 4. Analyser et mesurer les éléments ciblés dans les minerais (chimie)
- 5. Identifier les espèces minerales porteuses (caractérisation minéralogique détaillée)
- 6. Estimer le potentiel et évaluer les taux prédictifs de récupération en fonction des mailles de libération, variations granulométriques des phases porteuses, des associations minérales et des paramètres de préconcentration minéralugique en amont des essais du traitement hydrométallurgique (disponibilité)



# Marché potentiel



25,000,000

Analyse de marché (D7.2 Dkhissi et al. 2021 Rapport intermédiaire LGI avec contribution BRGM)



#### 

World Mine Production by Target Metal (2019)

30,000,000	Raw Materials	World Min Productior (2019)
20,000,000	Antimony	160,000 t
G	Bismuth	19,000 t
2	Cobalt	140,000 t
15.000.000	 Copper	20 Mt
	Germanium*	130 t
{	Gold	3,300 t
	Indium*	760 t
10,000,000	 Molybdenum	290,000 t
;	Platinum	180 t
	Rhenium	49 t
2	Selenium**	2,8 t
5,000,000	Silver	2,7000 t
	Tellurium*	470 t
0	 -	



### **Exploration stratégique EU « Data driven »**







Secteurs sélectionnés pour le minerai composite

- 1994: Découverte du gisement dans la ceinture Ibérique (Volcanic Massive Sulfides)
- 2009: début de la production de cuivre 72kt Cu/an
- 2015 : réserves estimées 17.6 Mt @ 6.2% Cu
- Echantillonnage réalisé sur stockpile preservé en juin 2019





Portugal

CLC

FIRST OUANTUM

France

Spain



ION RAW Ionometallurgy of primary sources an enhanced raw materials recovery

### **Cobre Las Cruces (CLC)**

#### **Future project : PMR**



FIRST QUANTUM

Current projet

Open pit mine

Copper

Secondary sulphide

CLC

**PMR projet** 

Underground mine

Copper, zinc,

silver and lead

Primary sulphides

plant







Cobre Las Cruces Mineralogy	Ideal Formula (theoretical composition)				
Ore Minerals	(inconcinear composition)				
Pyrite	FeS <sub>2</sub>				
Galena	PbS				
Chalcopyrite	CuFeS <sub>2</sub>				
Bornite	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>				
Covellite	CuS				
Chalcocite	Cu <sub>2</sub> S				
Digenite	Cu <sub>9</sub> S <sub>5</sub>				
Sphalerite	ZnS				
Copper sulfosalt minerals*	Tennantite (Cu <sub>6</sub> [Cu <sub>4</sub> (Fe,Zn) <sub>2</sub> ]As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> )				
	Tetrahedite(Cu <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub> ) series				

\* mineral phase bearing critical targeted metals

Tennantite pôle As avec faibles concentrations en Sb (moy.1.14 wt%) et Bi (0.34 and 1.89 wt%) correspondant aux zonations de contrastes BSE, et Se erratique (0 to 0.11wt%) + Tetrahedrite tardive associée à de fines veinules.







ION RAW Ionometallurgy of primary sources an enhanced raw materials recovery

#### **Cobre Las Cruces (CLC) Espagne** FIRST QUANTUM CLC Composition minéralogique au Qemscan (BRGM & Eramet Ideas Lab, France) 100 -**Contrôle qualité** Minerai 90 composite 80 -(Bulk) 70 Pyrite Ag AI 60 Mass (%) Mass (%) Au 50 QEMSCAN A Pyrite **Pyrrhotite** Bi Pyrrhotite 40 Arsenopyrite Са Chalcopyrite Chalcopyrite 30 Covellite Cu Galena 20 -Fe Alunite Quartz Quartz Κ 10. Kfeldspar Kaolinite Ρ Chemical Assay Pb 1-5mm 250µm-1mm <250 5-2mm 34 Bloc S μm 32 Fractions 30 Sb 28 Si 26 90 -Тi 80 Zn Pyrite Chalcopyrite 14 Bornite 50 -12 Quartz 40 30 -Pyrite 20 Chalcopyrite Bornite Quartz 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 Chemical Assay



- Corrélation des concentrations en Antimoine (Sb) avec bornite, covellite et galène (phases 2<sup>nd</sup>) et baisse relative dans les fractions riches en Quartz et Pyrite
- Microanalyses des phases porteuses de Sb : sulfosels (cuivres gris) type tétrahedrides (freibergite)





Associations minérales pour le Cobalt (0,03wt%) : 80% associé à des enrichissements ponctuels très disséminés (<10µm) dans la matrice de la Pyrite > Chalcopyrite, Bornite et micro-inclusions de sulfures disséminés dans le Quartz



# **Cononish (Scotgold Inc.) Ecosse**

- **Opérateur :** acquisition par Scotgold Inc. en 2007
- Localisation : Highlands écossaises
- Gitologie : Or orogénique dans veines de quartz formées par des fluides magmatiques circulant dans les roches métamorphiques du Dalradian intrudées par des granites entre 435 et 395 Ma (Spence-Jones *et al.* 2018 Ore Geology Review Vol. 102)
- Elements : Au (11.1g/t), Ag (47.7g/t), Cu, Zn, Pb and Te (Te/Au ≈ 2.4) Scotgold Resources Ltd. 2021
- 5,3 tonnes échantillonnées en Août 2019 sur un stockpile de minerai extrait entre 1989 et 1991











# **Cononish (Scotgold Inc.) Ecosse**





Minéralisation trop disséminée (<3%) ⇒ nécessité de travailler sur un concentré



# Cononish





Cononish Ore Minerals	ldeal Formula(theoretical composition)	Relativeabundances
Pyrite	FeS <sub>2</sub>	dominant
Galena*(Bi-Ag)	PbS	dominant
Chalcopyrite	CuFeS <sub>2</sub>	dominant
Sphalerite	ZnS	subordinated frequently associated with chalcopyrite
Marcasite	FeS <sub>2</sub>	rare, probably associated withpyrhotitereplacement
Gold/Electrum	Au(Ag)	rare, free or inclusion within pyrite (associated with tellurides), quartz or more rarely in sphalerite
Au-Ag- tellurides*(petzite)	Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub>	rare, rim/coating around gold grainsin hessite (Ag- tellurides) and pyrite
Ag- tellurides*(hessite)	Ag <sub>2</sub> Te	rare, veinlets in pyrite
Ag-sulfides (acanthite)	Ag₂S	rare, inclusions in pyrite and galena
Pb- tellurides*(altaïte)	PbTe	rare, free or inclusions in pyrite and more rarely in galena)
Molybdenite*	MoS <sub>2</sub>	traces
Covellite	CuS	traces

\* targeted by-product bearing phases







Cononish - Gold grain composition



Ccp El



# **Cononish (Scotgold Inc.) Ecosse**



AgTe et Ag-Au principalement associés à la pyrite dans la gangue de silicates

Composition minéralogique du concentré sulfuré de Cononish mesurée au **Qemscan (BRGM & Eramet Ideas Lab) et distribution des porteurs** 



Pyrite

Galena

Bornite



ION 🖉 RAW an enhanced raw ma

#### DES : technique d'extraction émergente



- Lixiviation par solvants eutectiques profonds (DES: *Deep Eutectic Solvents*)
- Mélange de 2 espèces capables de former des liaisons H intermoléculaires non-covalentes pour s'associer entre elles
- Avantages :
  - Formation de solution ionique chargée en éléments métalliques par complexation
  - Facteur d'enrichissement > solvants organiques
  - Stabilité thermique et chimique ⇒ utilisable à température ambiante voire très basses et décomposition à température élevée
  - Viscosité, tension de surface et densité élevées
  - Biodégradables
  - Faible coût et disponibilité des réactifs
- Inconvénients :
  - Consommation importante de réactifs (mais recyclables en boucle fermée)
  - Faibles quantités de métaux traités à la fois

Diagramme de phase Solide-Liquide représentant un mélange de 2 solvants eutectiques hypothétiques A et B (figure modifiée de Martins et al. 2019)





Différentes voies possibles de récupération/séparation des métaux envisagés



### Simulation vs lixiviation par DES

#### Winardhi C.W. et al. 2022 soumis à Hydrometallurgy

#### Simulation numérique du taux de dissolution assisté par MLA (Mineral Liberation Analyser)



#### Essais de lixiviation par DES sur espèce minérale individuelle

W TECHNISCHE

2<sup>C</sup>

PEIB.



Perte de volume estimée par reconstruction 3D des images des particules (X-ray computed tomography)

HELMHOLTZ ZENTRUM DRESDEN ROSSENDORF

> ION RAW Ionometallurgy of primary sources for an enhanced raw materials recovery

tecnal:a

& TECHNOLOGY ALLIANCE

 $\bigcirc$ 

SINTEF

### **Simulation vs lixiviation par DES**

Taux de récupération des éléments précieux et du tellure : comparaison entre simulations numériques et expériences DES



#### Taux de récupération élémentaire

0

tecnal

 $\bigcirc$ 

SINTEF

				2 hours		4 hours		24 hours		96 hours	
	Element recovery (%)		Rec	Δ	Rec	Δ	Rec	Δ	Rec	Δ	
	Cold	Simulation	90.7	4.7	92.1	2.9	92.9	5.2	93.1	1.4	
	Gold	Experiment	86		89.2		87.7		91.7		
	Silver	Simulation	61.8	15.5	66.0	13.9	66.8	12.1	67.0	4.4	
		Experiment	46.3		52.1		54.7		62.6		
	Tollurium	Simulation	86.5	5.3	91.3	0.9	93.0	2.9	93.3	3.1	
	renurium	Experiment	91.8		90.4		95.9		96.4		

UNIVERSITÄT

#### Winardhi C.W. et al. 2022 soumis à Hydrometallurgy

\* Corresponding author: c.winardhi@hzdr.de

 ⇒ Importance de la nature des espèces minérales porteuses des éléments que l'on cherche à valoriser et des locus (libres, en inclusions dans des phases « réfractaires » ou sous forme de solution solides dans la structure cristalline ou en alliage et combinés)

Perspectives & Challenge : vérifier la sélectivité sur des batchs de concentré complexe et compréhension des interactions entre espèces et échanges ioniques + tests à plus grande échelle

### Merci de votre attention



Suivre les résultats du projet H2020 ION4RAW



Coordinatrice : María Tripiana, IDENER Contact : contact@ion4raw.eu

Portail Web: <u>www.ion4raw.eu</u>



Nous suivre sur Twitter ! @ION4RAW\_EU



Nous suivre sur LinkedIn ! ION4RAW H2020



