

Analyse combinée chimique et minéralogique XRF-XRD sur site

Cas d'application sur les résidus miniers de l'ancienne mine à étain
d'Abbaretz (France) pollué en As

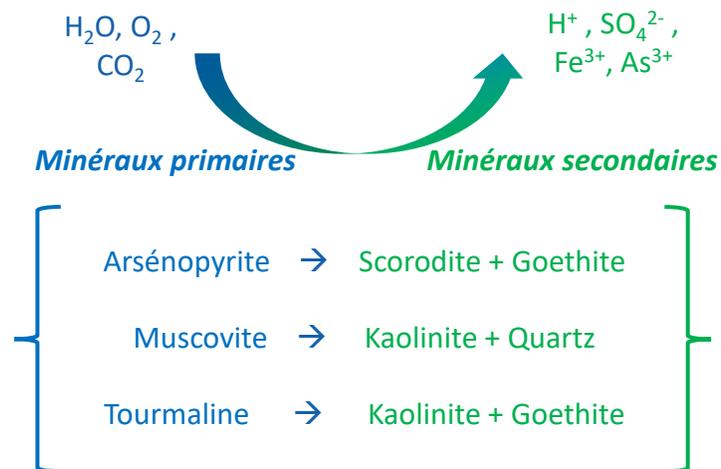


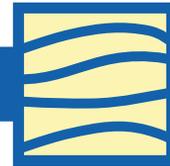


CONTEXTE : ANCIENNE MINE D'ÉTAIN D'ABBARETZ

Site sous surveillance par le BRGM/DPSM depuis 2011.

- Les eaux de pluie s'infiltrent et contribuent à la transformation des résidus miniers riches en métaux et métalloïdes (As, Cu, Ni, Cr, Zn)
- La dispersion de ces polluants dans l'environnement entraîne une contamination des milieux :
 - Présence d'un drainage minier acide et d'une pollution en As
 - Importance de la compréhension des phénomènes de mobilisation de l'arsenic
 - La stabilité/solubilité des déchets solides contenant de l'arsenic dépend ainsi de la cristallinité et de la nature des phases contenant de l'arsenic



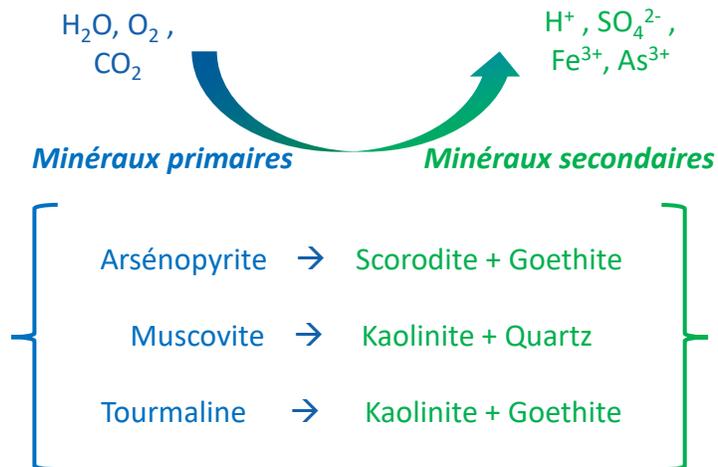


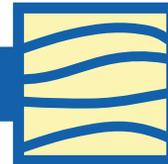
CONTEXTE : ANCIENNE MINE D'ÉTAIN D'ABBARETZ

Site sous surveillance par le BRGM/DPSM depuis 2011.

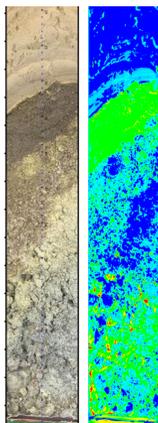
- Les eaux de pluie s'infiltrent et contribuent à la transformation des résidus miniers riches en métaux et métalloïdes (As, CuNi, Cr)
- La dispersion de ces polluants dans l'environnement entraîne une contamination des milieux :

Besoin de connaître les teneurs en métaux et métalloïdes et la minéralogie associée afin de proposer des solutions de traitement adaptées aux zones polluées





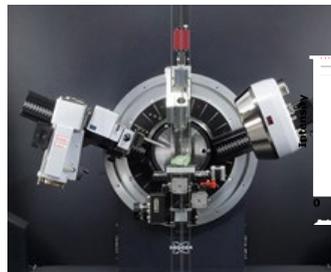
LES TECHNIQUES D'ANALYSES ACTUELLES



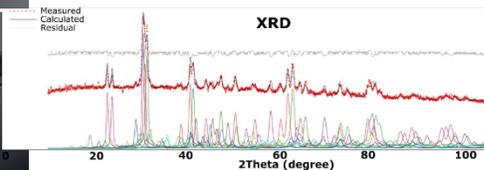
Imagerie
hyperspectrale



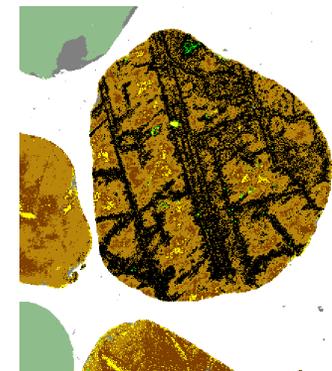
Chimie quantitative
(pXRF, XRF, ICP)



Minéralogie (DRX)



Minéralogie
quantitative (Rietveld)

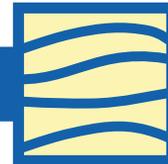


Minéralogie automatisée
basée sur le MEB

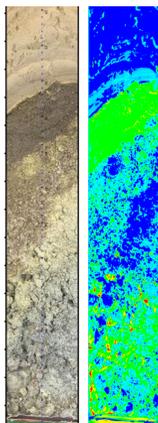
< 10 min
< 30 €

Coût et temps

> 5 j
> 1000 €



LES TECHNIQUES D'ANALYSES ACTUELLES



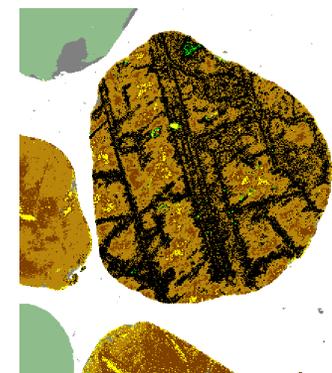
Imagerie
hyperspectrale

Analyse combinée chimique et minéralogique XRF-XRD

Chimie quantitative
(pXRF, XRF, ICP)

Minéralogie (DRX)

Minéralogie
quantitative (Rietveld)



Minéralogie automatisée
basée sur le MEB

XRF-XRD

Beaucoup d'analyse - Sur site - Forte statistique

Minéralogie

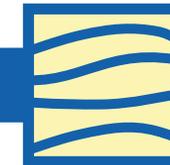


Chimie



Carotte de forage





LE LABORATOIRE MOBILE D'ANALYSES COMBINÉES XRF-XRD (VANLAB)

Le VanLab est équipé :

- D'un espace de préparation des échantillons
- D'un instrument compact permettant de réaliser des analyses combinées XRF-XRD sur site en temps réel



Transportable

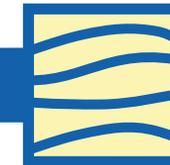
Robuste

Rapidité

Flexibilité

Automatisation

Précision



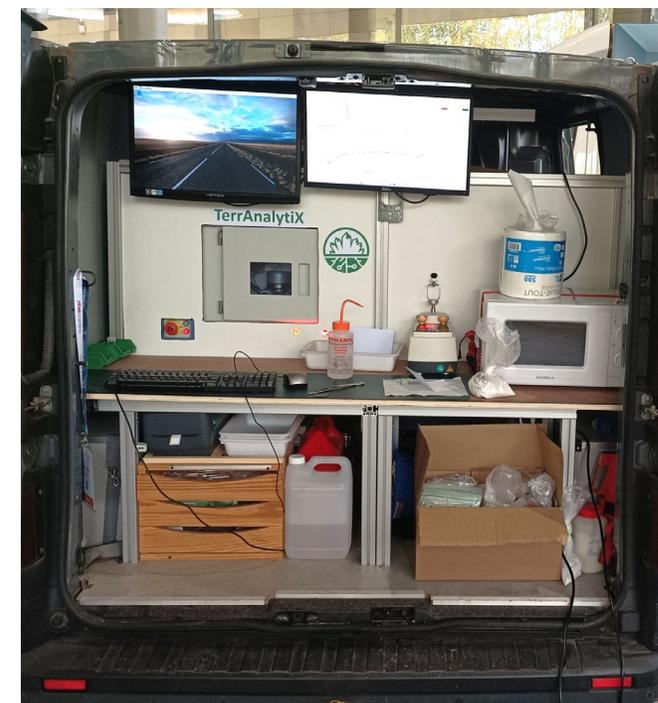
LE LABORATOIRE MOBILE D'ANALYSES COMBINÉES XRF-XRD (VANLAB)

Le VanLab est équipé :

- D'un espace de préparation des échantillons
- D'un instrument compact permettant de réaliser des analyses combinées XRF-XRD sur site en temps réel

Méthodologie sur site :

- Un temps total de préparation, d'acquisition et de traitement de 45 min par échantillon directement sur site
- 20 à 25 échantillons analysés / jour



Transportable

Robuste

Rapidité

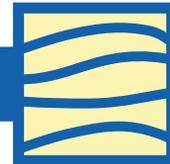
Flexibilité

Automatisation

Précision

VanLab chronogram

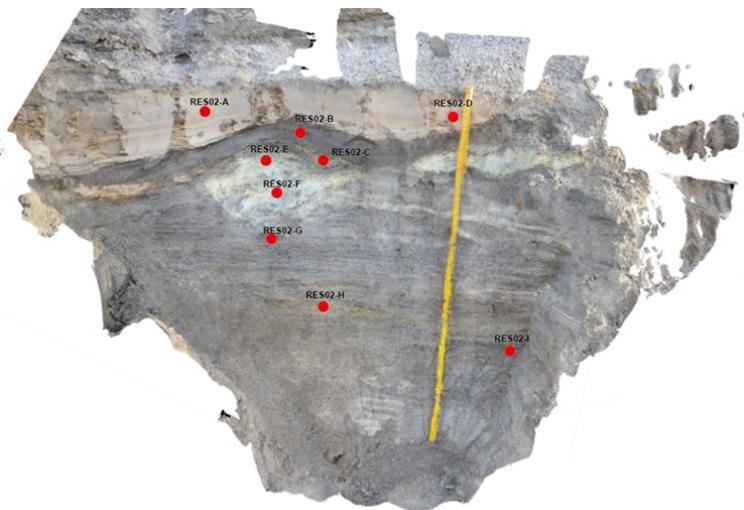




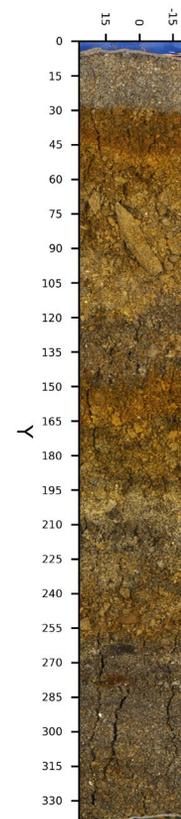
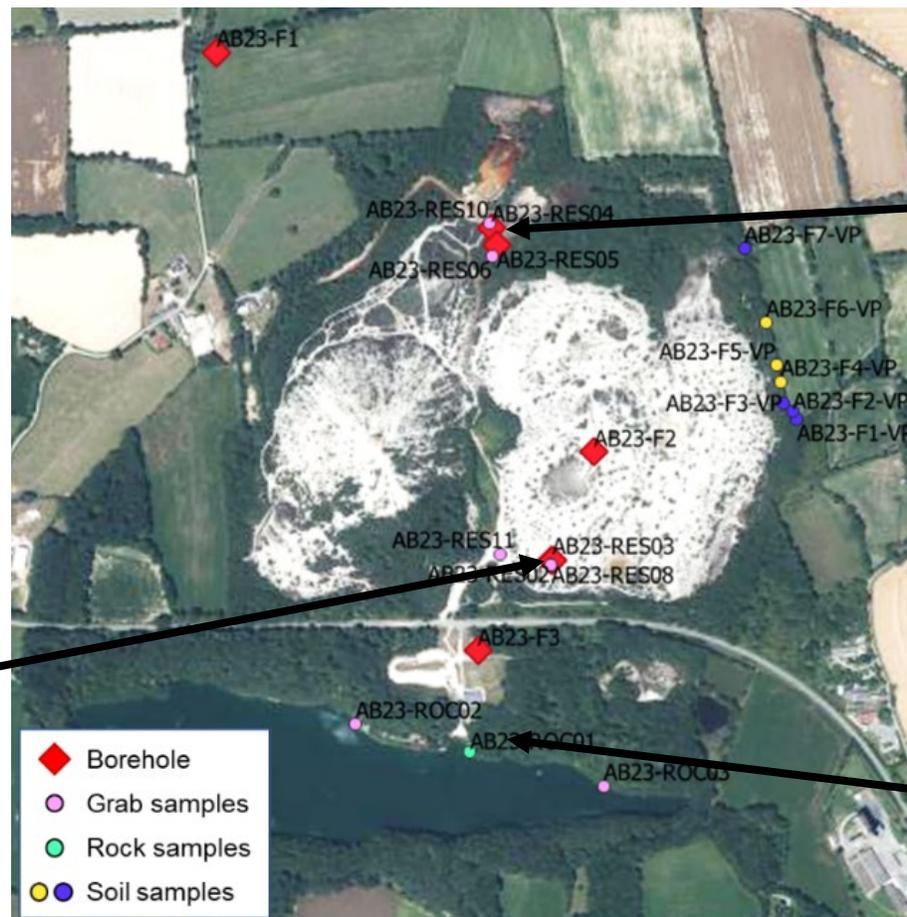
RÉSULTATS : ANALYSE SUR SITE AVEC LE VANLAB

97 échantillons analysés :

- Résidus miniers (73)
- Roches (19)
- Sols (5)



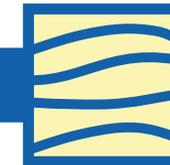
Résidus miniers de traitement



Carotte de forage à proximité
du drainage minier acide



Tourmalinite à sulfures & veine de quartz



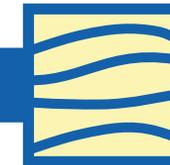
RÉSULTATS : CONTRÔLE DE LA FIABILITÉ DES RÉSULTATS

Afin de montrer la fiabilité des résultats, 20 échantillons collectés lors de la campagne de terrain ont été analysés en laboratoire avec des équipements conventionnels pour caractériser :

- La chimie (XRF pour les éléments majeurs et ICP-AES pour les éléments traces)
- La minéralogie (DRX avec la méthode d'affinement Rietveld)

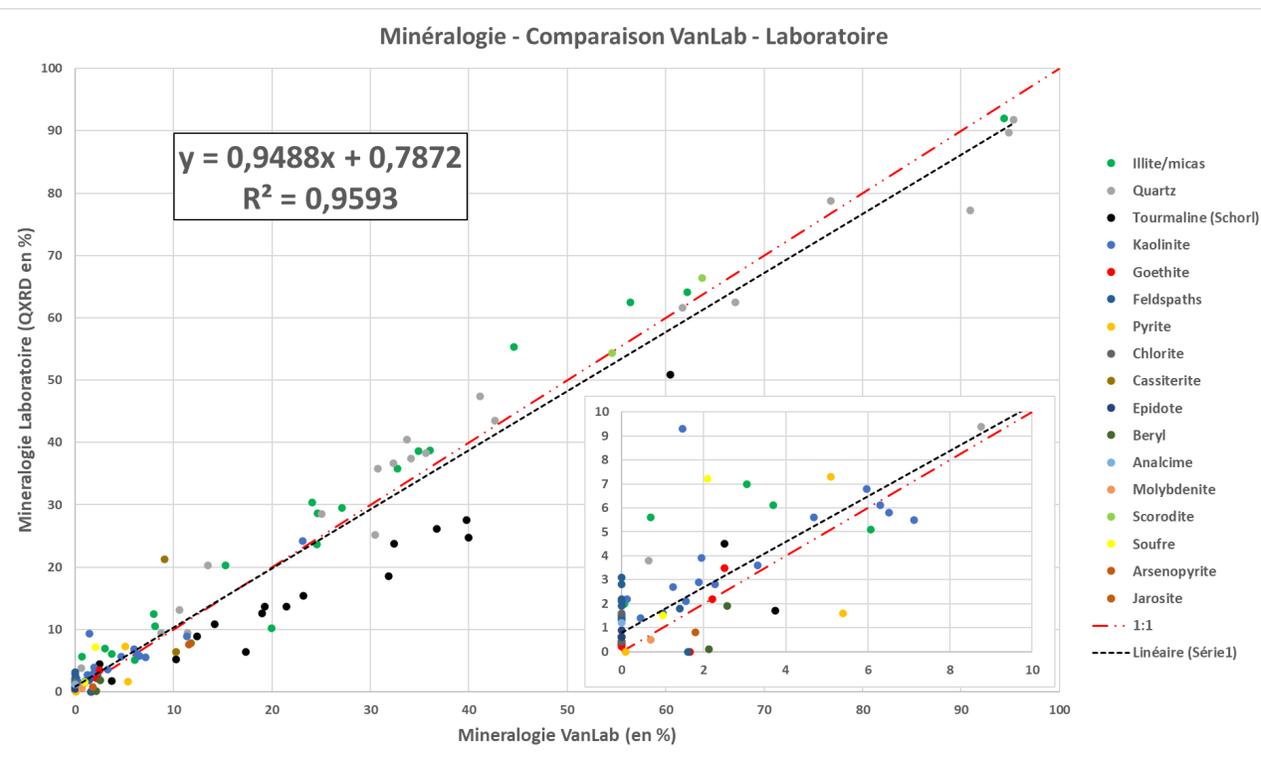
Comparaison des temps de préparation, d'acquisition et de traitement pour un échantillon

Type d'analyse	Laboratoire	VanLab
Minéralogique (DRX)	> 3 jours	45 min <ul style="list-style-type: none"> • 15 min de préparation • 15 min d'acquisition • 15 min de traitement automatisé
Chimique	> 2 jours	



RÉSULTATS : CONTRÔLE DE LA FIABILITÉ DES RÉSULTATS

Comparaison des résultats minéralogiques VanLab et des analyses de laboratoire



■ Bonne corrélation ($R^2 = 0.96$) entre les résultats laboratoires et du VanLab

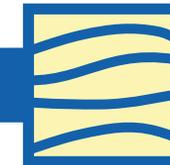
■ Relation linéaire très proche de la droite $Y = X$

■ Certains minéraux peuvent présenter une déviation plus ou moins importante par rapport à la droite de régression linéaire :

■ Surestimation de la tourmaline

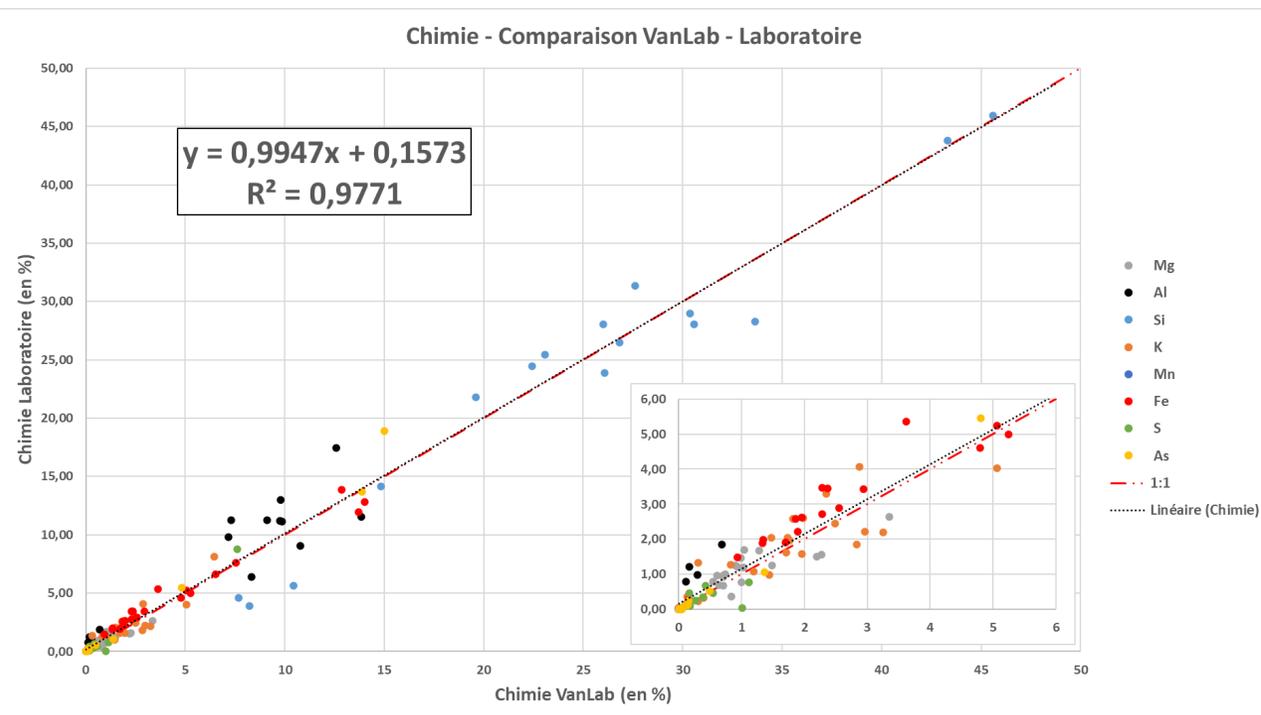
■ Sous-estimation du quartz et des illites/micas

■ Difficulté à quantifier les minéraux en faibles proportions (< 3 %)



RÉSULTATS : CONTRÔLE DE LA FIABILITÉ DES RÉSULTATS

Comparaison des résultats chimiques VanLab et des analyses de laboratoire



■ Bonne corrélation ($R^2 = 0.98$) entre les résultats laboratoires et du VanLab

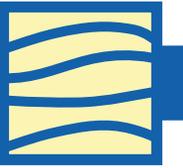
■ Relation linéaire très proche de la droite $Y = X$

■ Le sodium (Na) trop léger ($Z = 11$) n'a pas été analysé avec le VanLab

■ Limite détection :

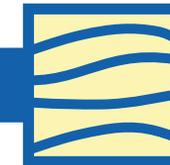
■ Élément majeurs (Mg, Al, Si, K, Fe, S) → ~0,2 à 1 %

■ Éléments traces (Mn, As) : ~ 20 mg/kg



APPORT DU VANLAB POUR OPTIMISER LA GESTION DES SITES MINIERES ABANDONNÉS

A partir des caractérisations chimiques et minéralogiques, les résidus miniers ont été classés en 3 groupes

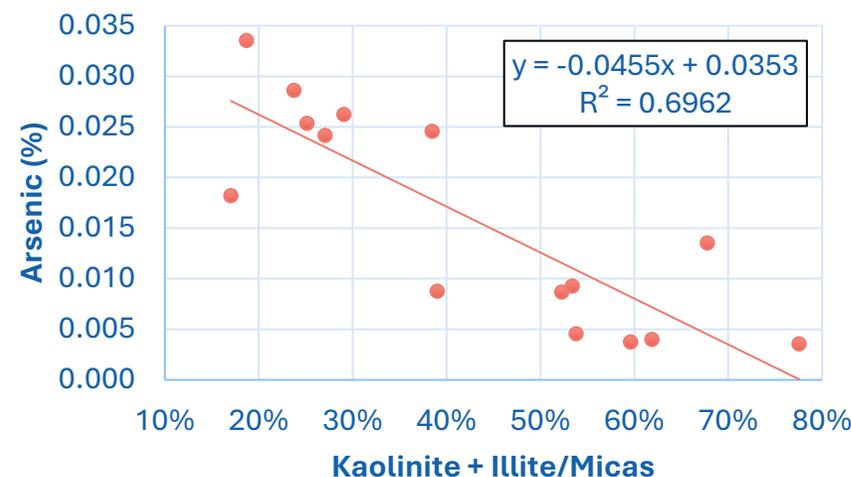
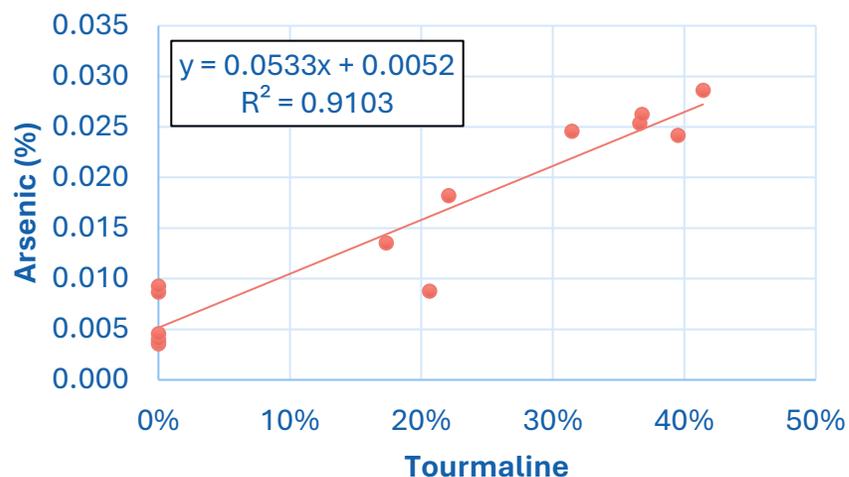


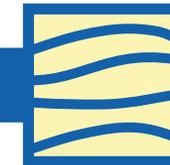
APPORT DU VANLAB POUR OPTIMISER LA GESTION DES SITES MINIERES ABANDONNÉS

A partir des caractérisations chimiques et minéralogiques, les résidus miniers ont été classés en 3 groupes

Groupe 1

- Teneur en As : < 300 mg/kg
- Forte corrélation avec la tourmaline
- Anti-corrélation avec les phyllosilicates (kaolinite + Illites/Micas)



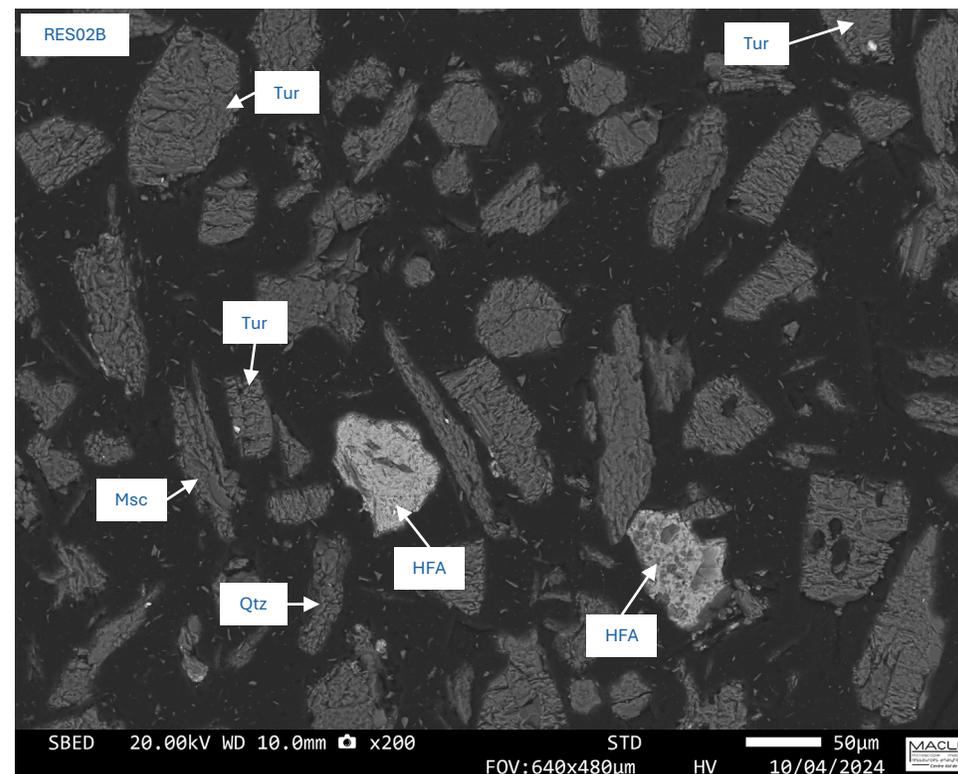
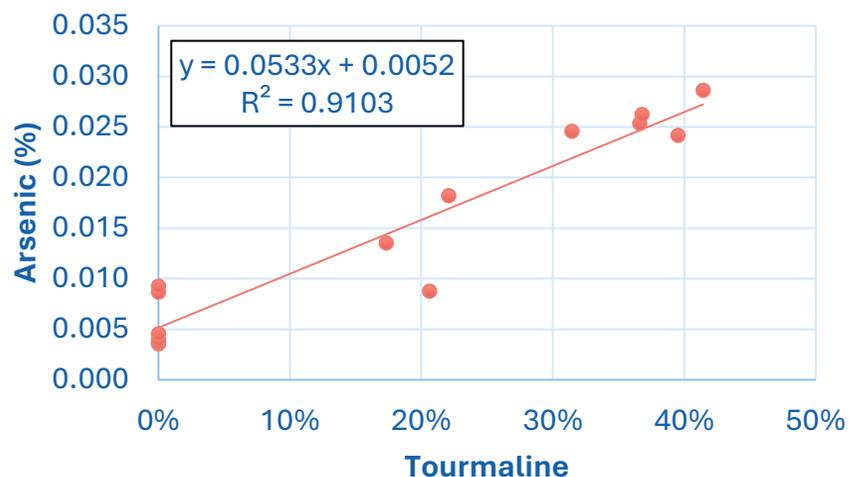


APPORT DU VANLAB POUR OPTIMISER LA GESTION DES SITES MINIERES ABANDONNÉS

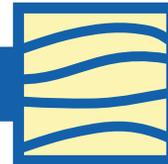
A partir des caractérisations chimiques et minéralogiques, les résidus miniers ont été classés en 3 groupes

Groupe 1

- Teneur en As : < 300 mg/kg
- Forte corrélation avec la **tourmaline**
- Anti-corrélation avec les phyllosilicates (kaolinite + Illites/Micas)



Résidus miniers de traitement riches en tourmaline associés à des « Hydroxide Ferric Arsenates (HFA) » type scorodite

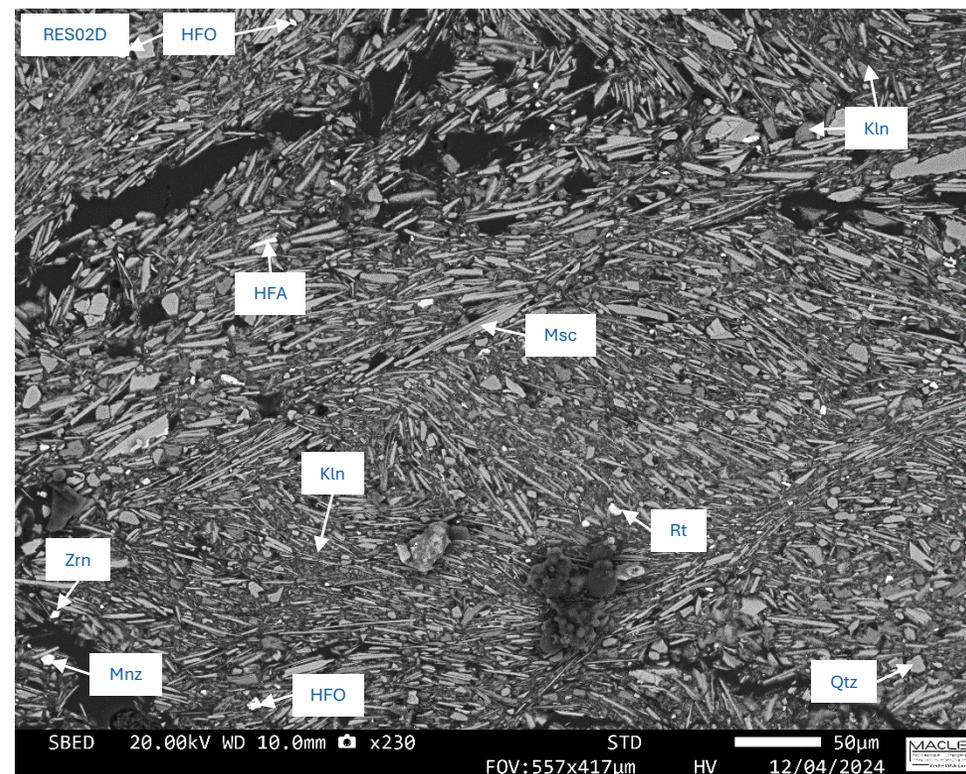
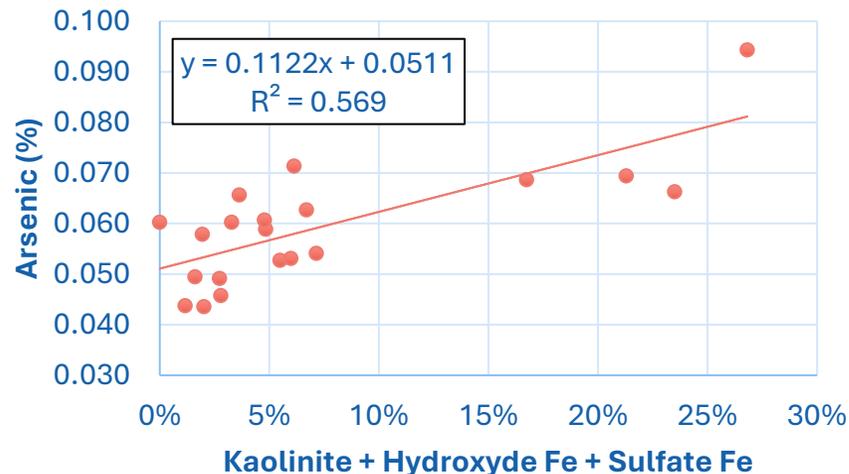


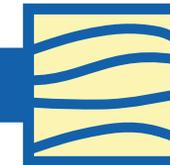
APPORT DU VANLAB POUR OPTIMISER LA GESTION DES SITES MINIERES ABANDONNES

A partir des caractérisations chimiques et minéralogiques, les résidus miniers ont été classés en 3 groupes :

Groupe 2

- Teneur en As : **300 - 1000 mg/kg**
- Contrôle mixte** de la teneur en As portée par plusieurs minéraux : **Kaolinite + HFO + HFA + (Fe-Sulfate)**



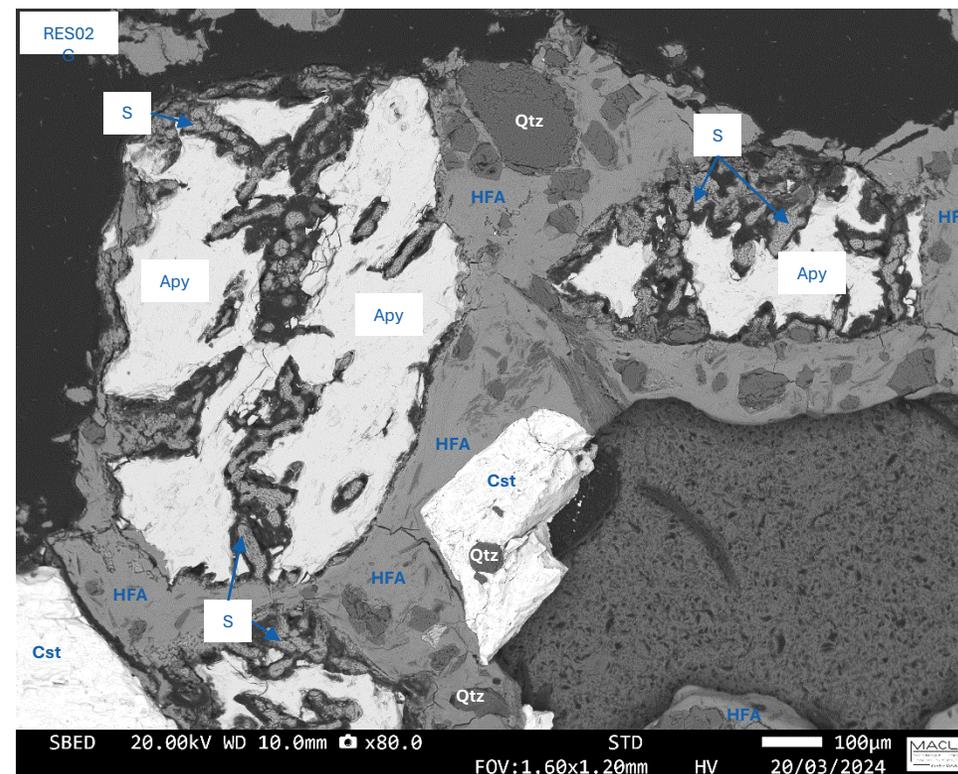
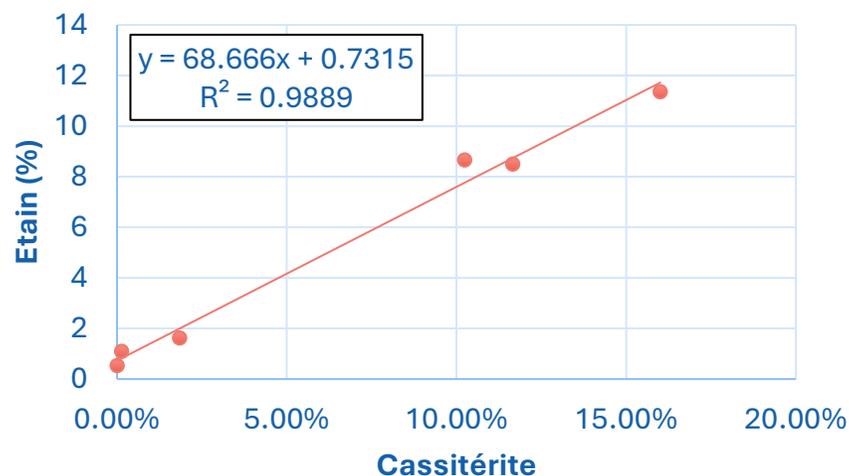


APPORT DU VANLAB POUR OPTIMISER LA GESTION DES SITES MINIERES ABANDONNÉS

A partir des caractérisations chimiques et minéralogiques, les résidus miniers ont été classés en 3 groupes :

Groupe 3

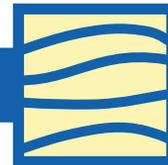
- Teneur en As : > 1000 mg/kg
- **Contrôle mixte** de la teneur en As portée par plusieurs minéraux : **Scorodite + Arsénopyrite + HFO + (Fe-Sulfate)**
- Forte corrélation entre Sn et la cassitérite





CONCLUSIONS

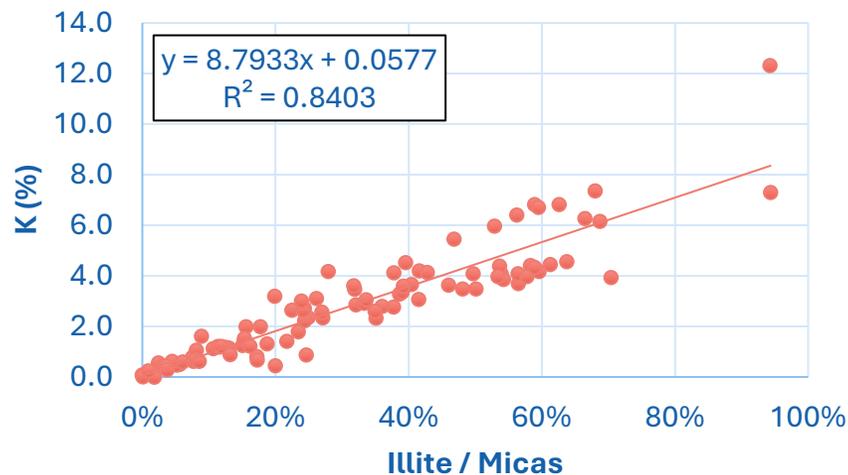
- **Caractérisation chimique et minéralogique de 97 échantillons avec le combiné XRF-XRF (< 45 min / échantillon)**
- **La comparaison des résultats minéralogiques et chimiques obtenus avec le VanLab à des analyses de laboratoires montre la fiabilité de l'approche déployée sur le terrain pour identifier et quantifier une grande variété de minéraux et d'éléments chimiques**
- **La combinaison des données chimiques et minéralogiques a permis d'identifier pour différentes teneurs d'As les minéraux porteurs ou associées (confirmé à partir d'une étude au MEB et à la microsonde) :**
 - As < 300 mg/kg → **Associé à la tourmaline** (en lien avec la présence de HFA en de trop faibles quantités pour être identifiés par XRD)
 - 300 < As < 1000 mg/kg → **Contrôle mixte** de l'As portée par plusieurs minéraux : **Kaolinite + HFO + HFA + (Fe-Sulfate)**
 - As > 1000 mg/kg → **Contrôle mixte** de l'As portée par plusieurs minéraux : **Scorodite + Arsénopyrite + HFO + (Fe-Sulfate)**
- **Ces résultats permettent d'avoir une réflexion sur la stabilité/solubilité des déchets solides contenant de l'arsenic**
 - Les minéraux primaires de gangue (Quartz, Kaolinite, Illite/Micas, Tourmaline) → stables
 - Les sulfures primaires (Arsénopyrite, Pyrite) → oxydation à l'origine du drainage minier acide
 - Les minéraux secondaires = néoformés (Hydroxyde de Fer, Arséniate de Fer, Sulfate de Fer) → stables



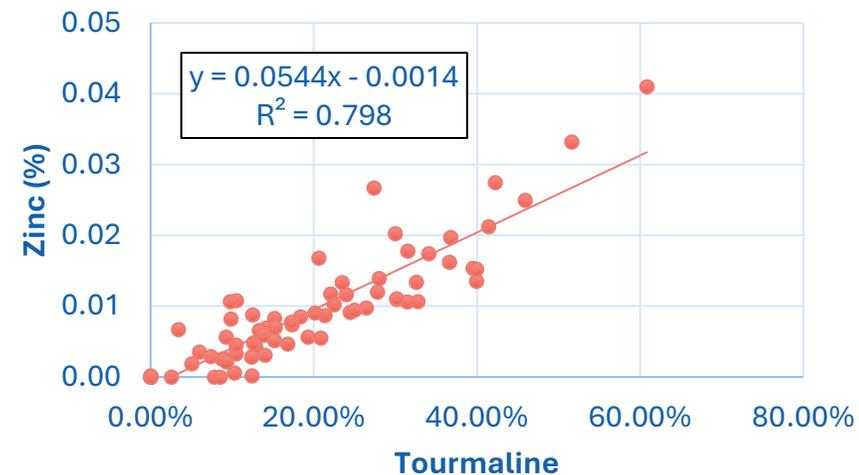
CONCLUSIONS : FORCES DE L'ANALYSE COMBINÉE XRF-XRD

■ Capacité à réconcilier la chimie et la minéralogie :

■ Éléments majeurs : K vs. Illite/Micas



■ Éléments traces : Zn vs. Tourmaline



- Apporter une décision en temps réel
- Optimiser l'échantillonnage
- Réduire les coûts d'analyses
- Suivi de process, contrôle qualité



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

