

Stratégie d'échantillonnage des mesures LIBS in situ de la teneur en or dans des échantillons miniers – Optimisation par analyse statistique



Blandine Nguegang K.

Marcel Laflamme

Marc Constantin

Kheireddine Rifai

Maryline Castello

Mohamad Sabsabi

Alain Blouin

Paul Bouchard

François Vidal

Konstantinos Fytas

Plan

- Objectifs de la présentation
- Mise en contexte du projet
- Besoins identifiés par l'industrie
- Spectroscopie du plasma produit par laser (LIBS)
- Méthodologie
 - LIBS
 - Analyse statistique
- Résultats de l'analyse statistique
- Conclusion

Objectifs de la présentation

- Démontrer que la méthode LIBS fonctionne pour avoir les teneurs d'or dans les échantillons miniers
- Optimiser le nombre de points LIBS d'une surface analysée tout en étant représentatifs

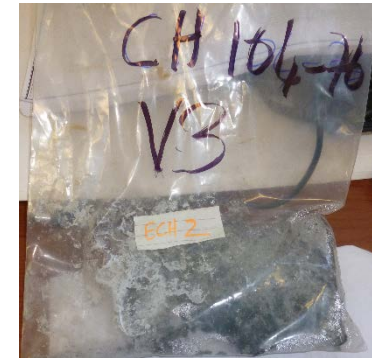
Mise en contexte du projet

- **Teneur en or dans les mines actives:**

- Obtention des résultats de concentration en or du laboratoire (24-48h)

- Délai dans la prise de décision

↳ **Analyse in situ de l'or**



- **Échantillonnage dans les mines d'or:**

- Mine à ciel ouvert

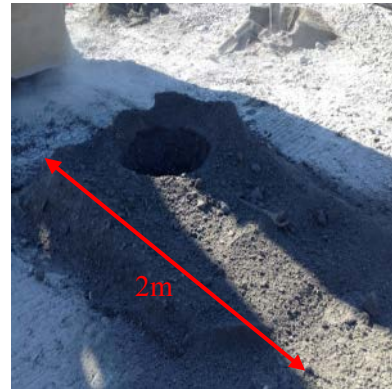
- Mines souterraines

Besoins identifiés par l'industrie

Mines à ciel ouvert - copeaux de forage (cuttings)



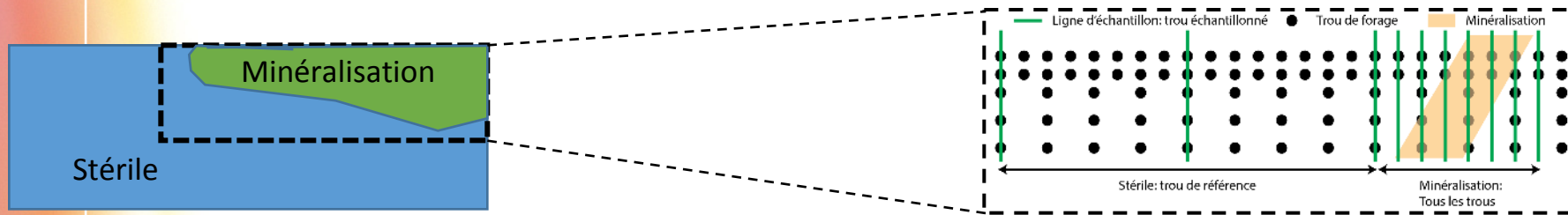
Foreuse



Copeaux de forage

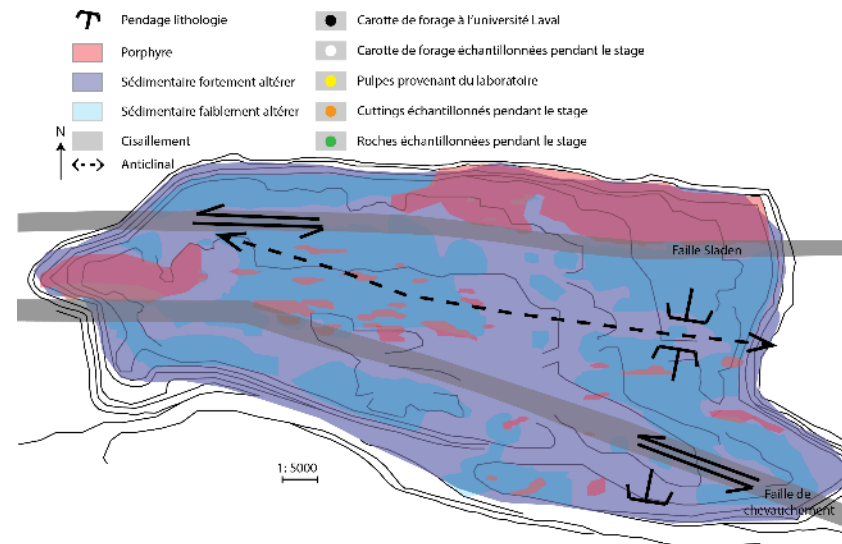


Séquence lithologique



Besoins identifiés par l'industrie (suite)

Mines à ciel ouvert - sur les **flancs rocheux**



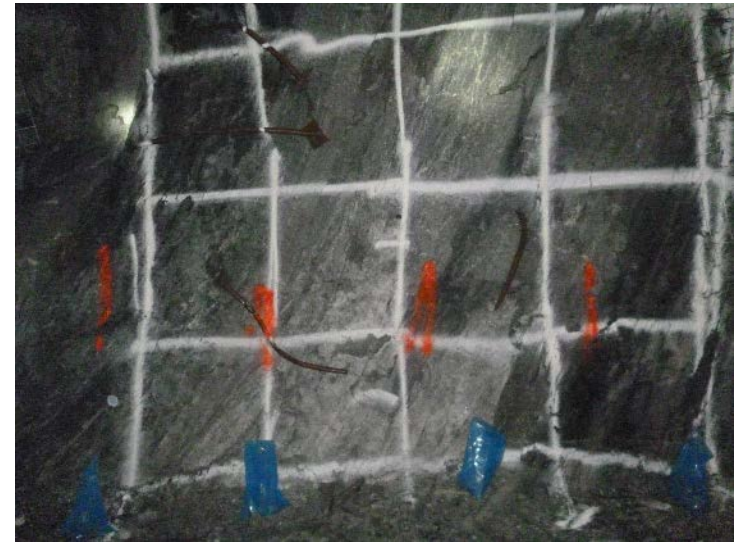
Besoins identifiés par l'industrie (suite)

- Mines souterraines - **points de soutirage:** minerais, stérile ou incertain ?



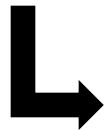
Besoins identifiés par l'industrie (suite)

- Mines souterraines – **galeries transversales ou longitudinales**



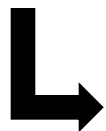
Pourquoi le LIBS?

- Échantillonnage dans les mines actives:
 - Sur les copeaux de forage
 - Sur les carottes de forages
 - Sur les roches



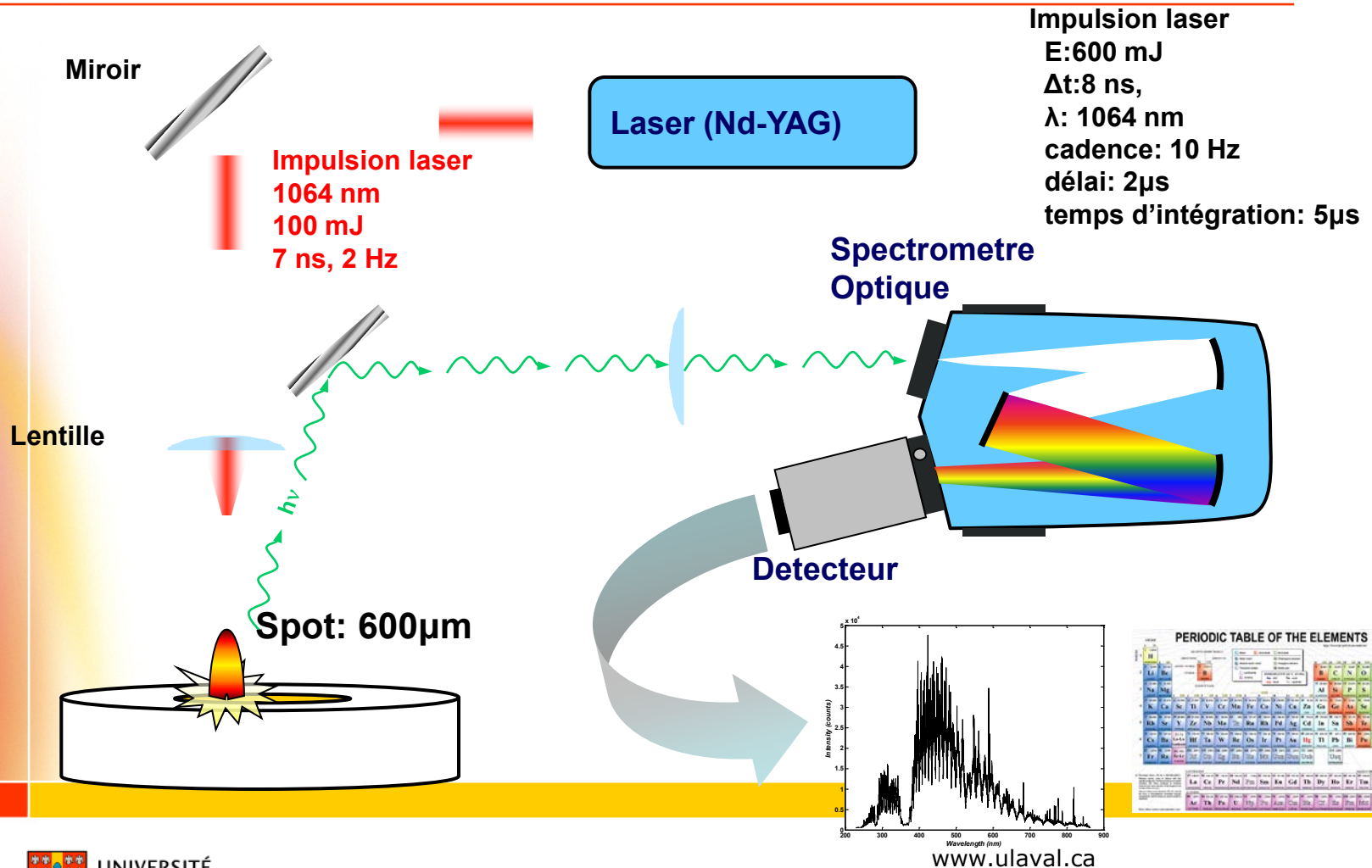
Analyse sur tous types de matériel

- Teneur moyenne des mines de l'ordre de 1 à 20 ppm

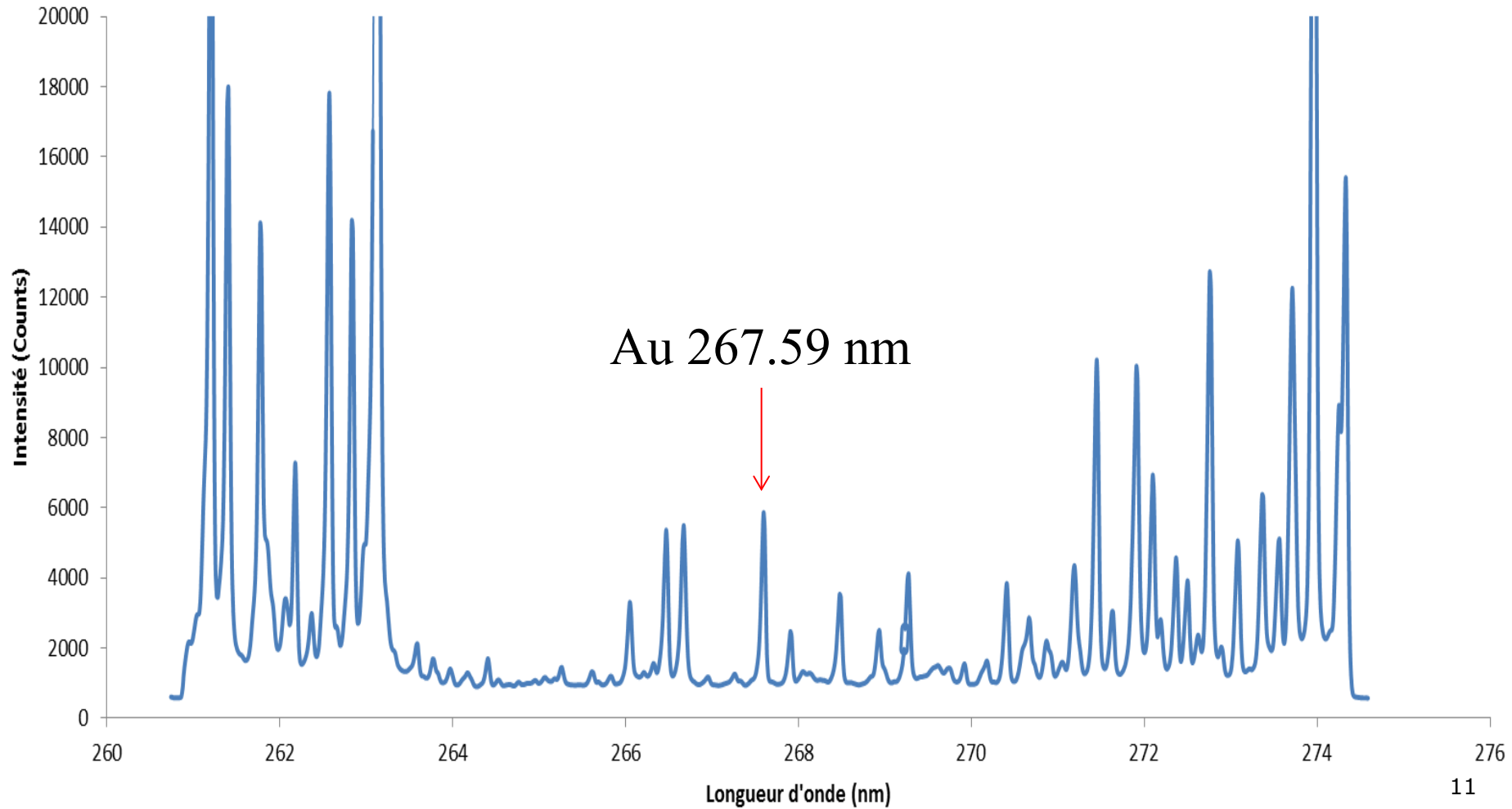


Limite de détection ~ 1 ppm

Spectroscopie du plasma produit par laser (LIBS)



LIBS: Montage expérimental au lab



Méthodologie-LIBS



Taille spot: 600 μ m

Nombre de tirs: 10 000

Nombre de lignes: 25

Temps d'acquisition: une demi-journée
en laboratoire

Surface analysée: 70-80 %

Teneur de l'or: 45.64 ppm

..... Tirs LIBS pour
l'analyse de l'or



Minimiser le nombre de points et le temps d'analyse

Méthode de calcul de l'intervalle de confiance

- Méthode de Cox modifiée

$$\bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm t \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

- Méthode de large échantillon

$$\bar{X} \pm z \sqrt{\frac{S_x^2}{n}}$$

Résultats

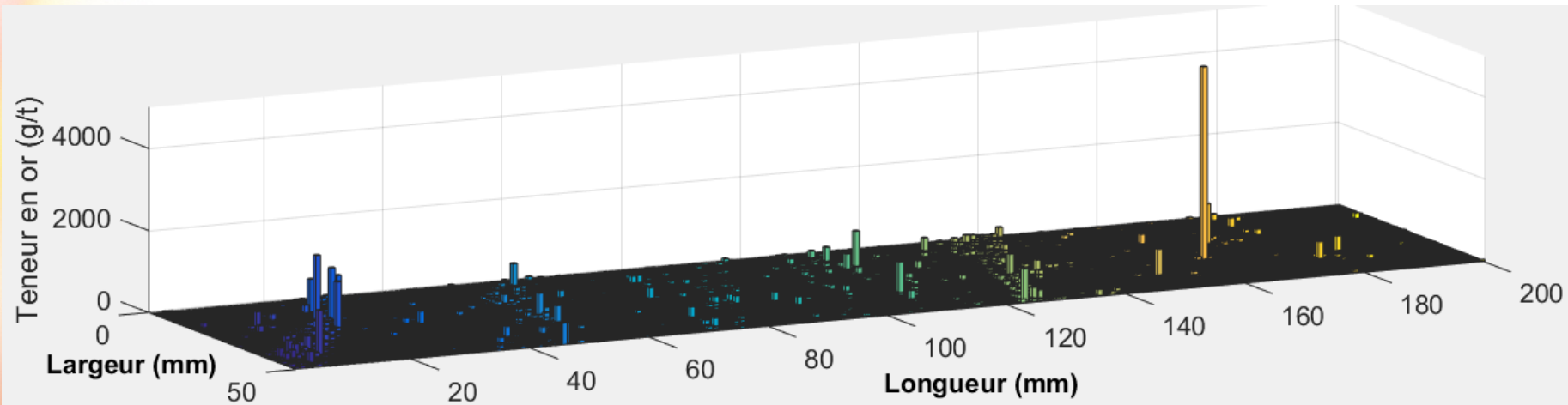
Mine	Lapa	Laronde
Matériel	Carotte	Roche
Minéralisations	Veines de quartz	Sulfures
Lithologie	Sédimentaire	Volcanique

Teneur en Or obtenue avec :

- Laboratoire partenaire des mines
- Technique LIBS

Résultats-Carotte-LAP-5 (Au=9ppm)

Cartographie LAP-5



Espacement tirs et ligne: 1 mm

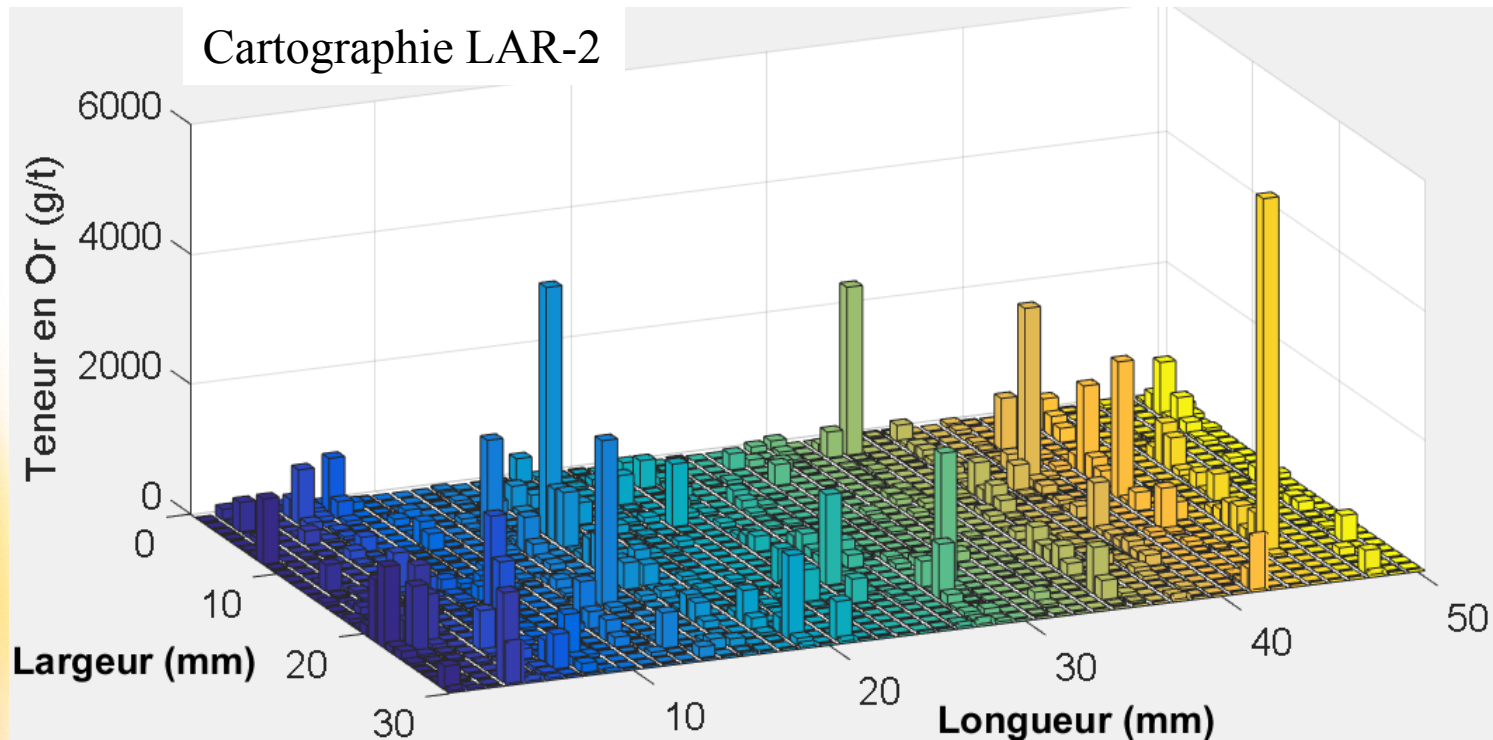
Nombre de tirs: 10 000

Teneur en Or (LIBS): 11.15 ppm

Temps d'acquisition: une demi-journée

Surface analysée: 70-80 %

Résultats-Roche-LAR-2 (Au=72ppm)



Espacement tirs et ligne: 1 mm

Nombre de tirs: 1 500

Teneur en Or (LIBS): 74.71 ppm

l.ca

Temps d'acquisition: 2h

Surface analysée: 70-80 %

Conclusion

- ✓ Reproductibilité des mesure d'or en étant représentatifs des surfaces
- ✓ Capacité d'analyser tous types d'échantillons miniers (roche, poudres...)
- ✓ Réduction du nombre de points avec une fiabilité à 95% du résultat
- ✓ Réduction de temps :
 - ✓ (Carotte Lap-5) : 6h à 1 min (lab) – 17min à 3 s (appareil portatif)
 - ✓ (Roche Lar-2) : 2h à 20 s (lab) – 3 min à moins d'1 s (appareil portatif)

Remerciements

- FRQNT Développement durable du secteur minier
- Mitacs (stages en industrie)
- Personnel des mines: Casa Berardi, Lapa, Westwood ainsi que Canadian Malartic, Goldex et Laronde
- Professeurs et chercheurs de l'Université Laval, de l'INRS et du CNRC- et à M. Pierre Therrien (GGL-GLG)
- Stagiaire postdoctoral Kheirreddine Rifai et étudiante à la maîtrise, Maryline Castello

Références

- K. Rifai, M. Laflamme, M. Constantin, K. Fytas, M. Sabsabi, A. Blouin, et Vidal, F. (2015). Spectroscopie du plasma produit par laser (LIBS) pour l'analyse de l'or dans des échantillons miniers. *Plasma Québec*, 25.
- Ulf Olsson (2005). Confidence Intervals for the Mean of a Log-Normal Distribution. *Journal of Statistics Education* Volume 13, Number 1

MERCI DE VOTRE ATTENTION

