

# 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

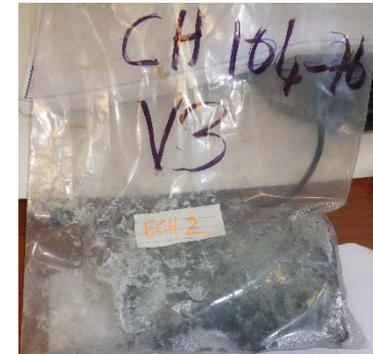
# Mise en contexte du projet

- **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)



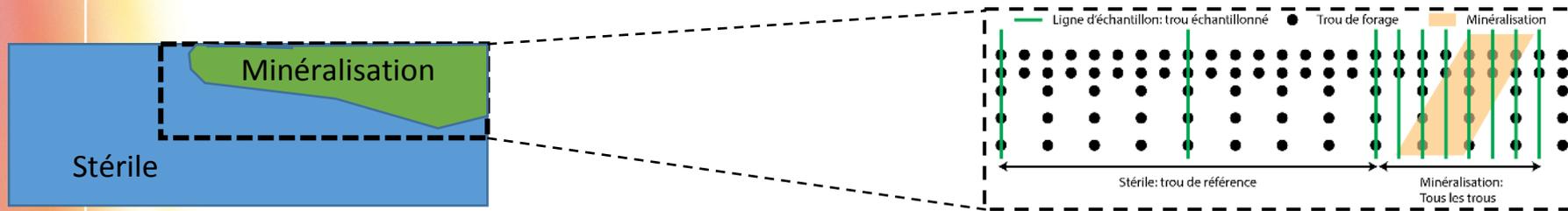
Foreuse



Copeaux de forage

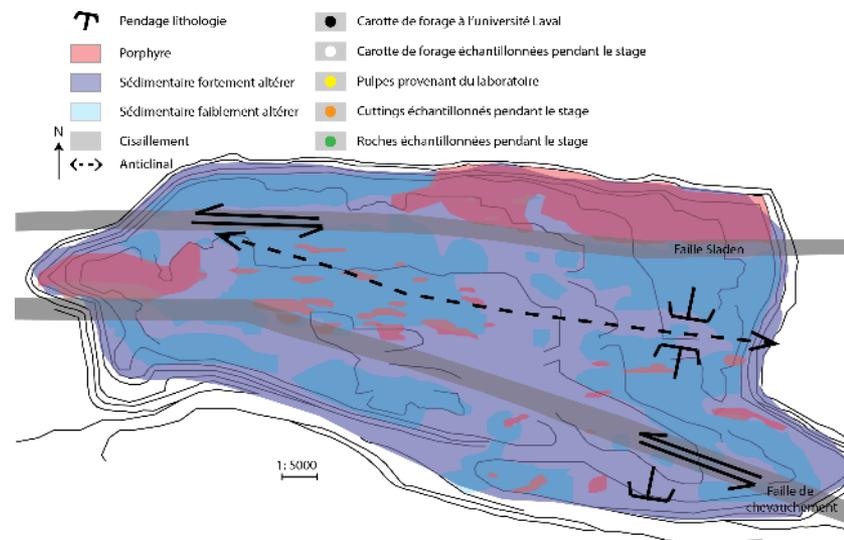


Séquence lithologique



# Besoins identifiés par l'industrie (suite)

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



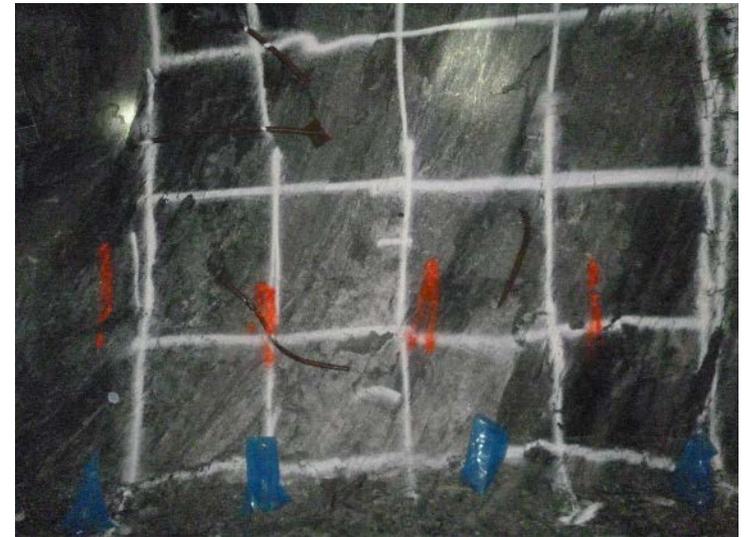
## Besoins identifiés par l'industrie (suite)

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



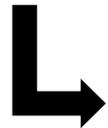
## Besoins identifiés par l'industrie (suite)

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



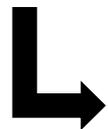
## Pourquoi le LIBS?

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



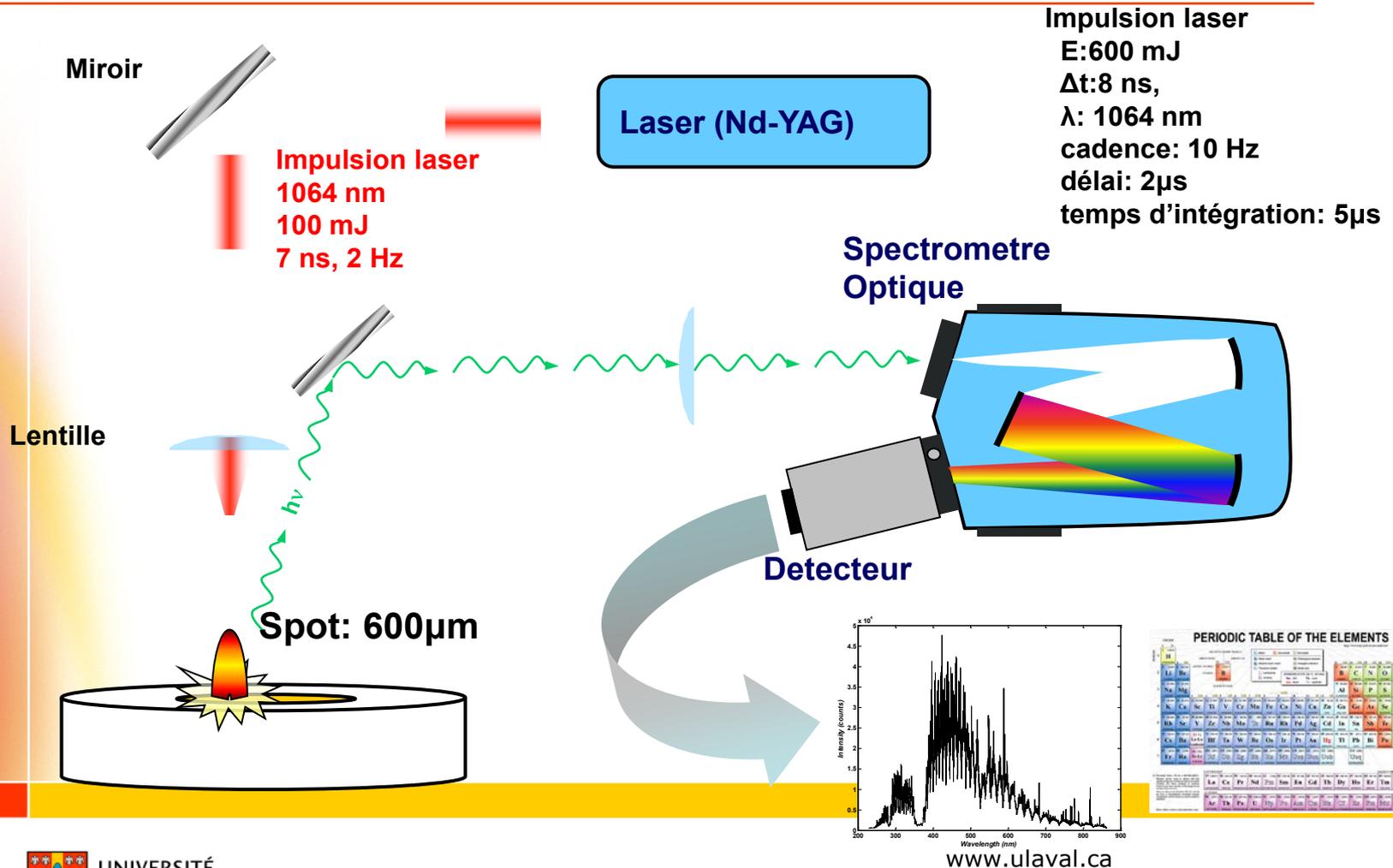
**Analyse sur tous types de matériel**

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

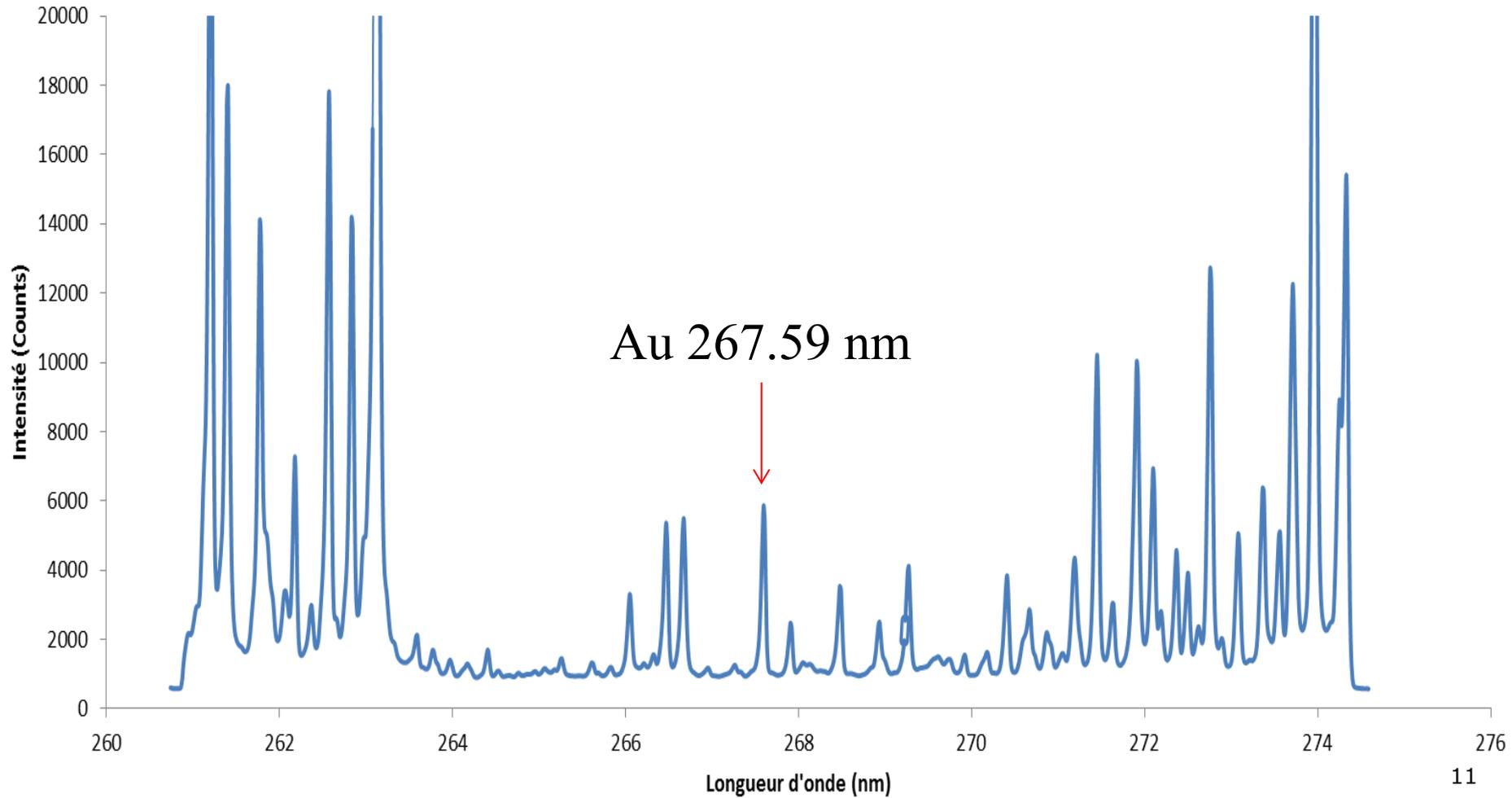


**Limite de détection ~ 1 ppm**

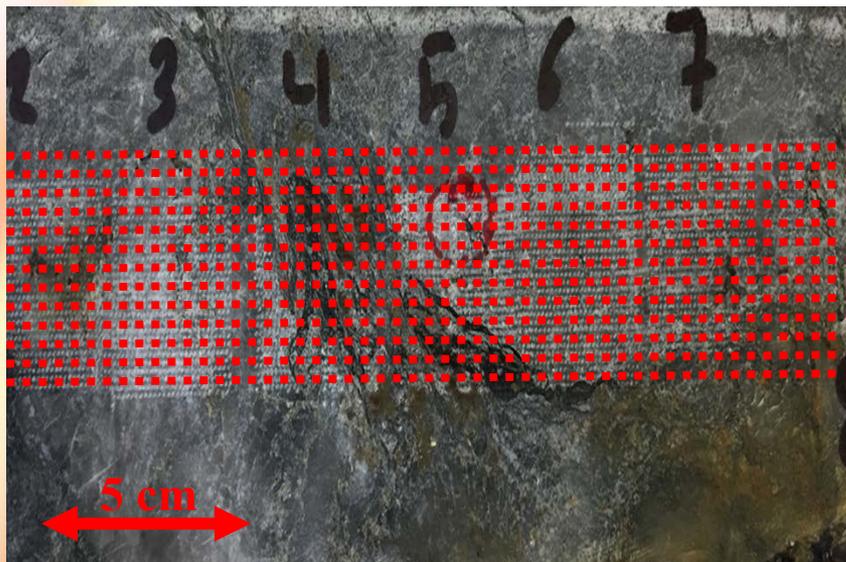
# Spectroscopie du plasma produit par laser (LIBS)



# LIBS: Montage expérimental au lab



# Méthodologie-LIBS



**Taille spot:** 600 $\mu$ 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

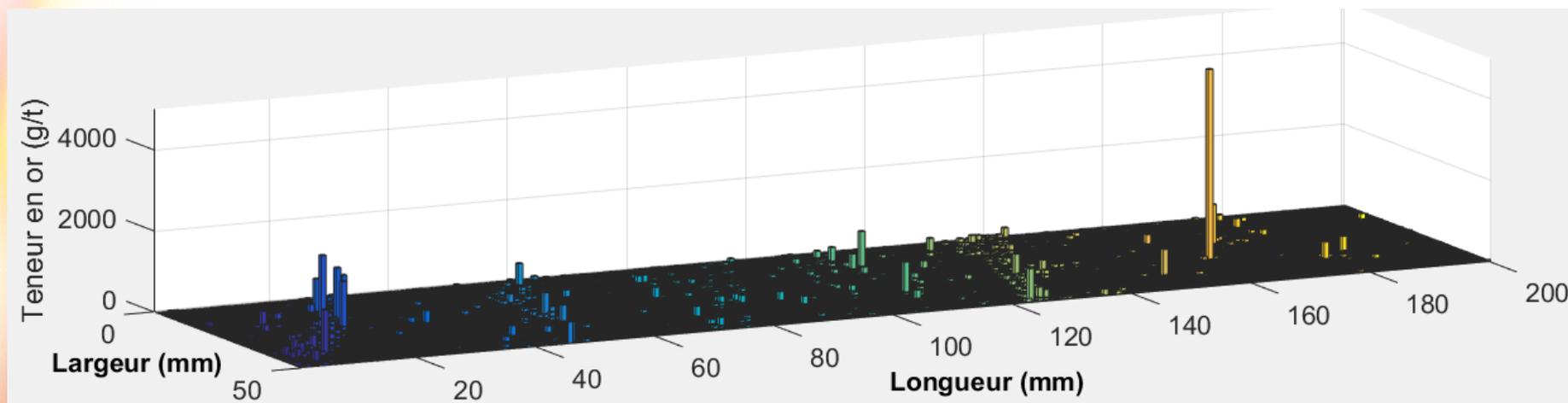
Mine	Lapa	Laronde
Matériel	Carotte	Roche
Minéralisations	Veines de quartz	Sulfures
Lithologie	Sédimentaire	Volcanique

### 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**

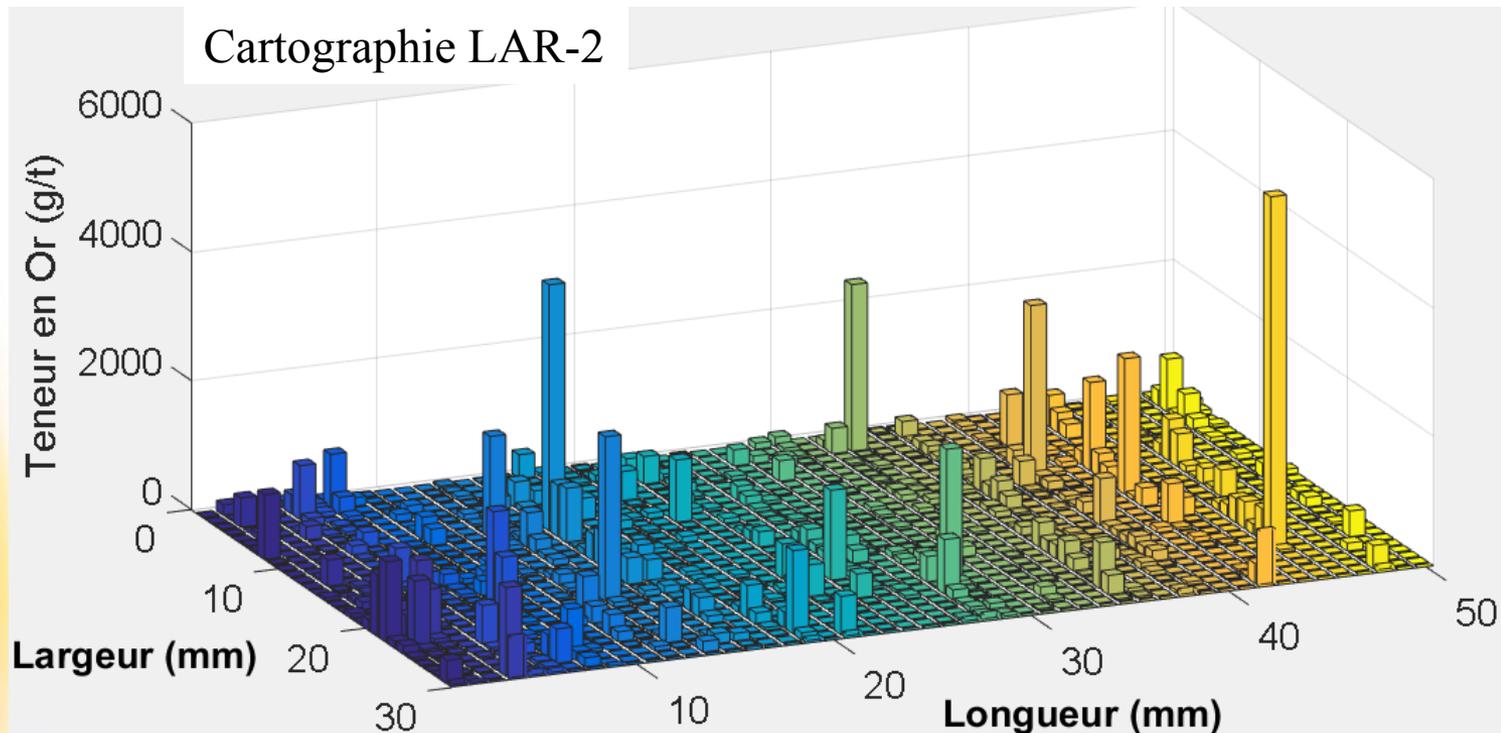
**Nombre de tirs: 10 000**

**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**

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**

