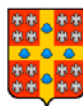




SEEQ - NOVEMBRE 2017

# Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

S. Guido & M. Grenon



UNIVERSITÉ  
**LAVAL**

Fonds de recherche  
Nature et  
technologies

Québec



 **GOLDCORP**

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Présentation

- Problématique & Objectifs
- Mine Éléonore
  - Description générale
  - Historique
  - Ossature de la mine
  - Géologie
  - Méthode de minage
- Base de données
  - Intrants
  - Extrants
- Analyses statistiques
  - Univariées
  - Bivariées
- Conclusion
- Questions

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Présentation

- Problématique & Objectifs
- Mine Éléonore
  - Description générale
  - Historique
  - Ossature de la mine
  - Géologie
  - Méthode de minage
- Base de données
  - Intrants
  - Extrants
- Analyses statistiques
  - Univariées
  - Bivariées
- Conclusion
- Questions



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Problématique & Objectifs

- Problématique: bris hors-profil
  - Chantier 0620-5050-356

2015-08-09

Overcut  
Drift

Undercut  
Drift

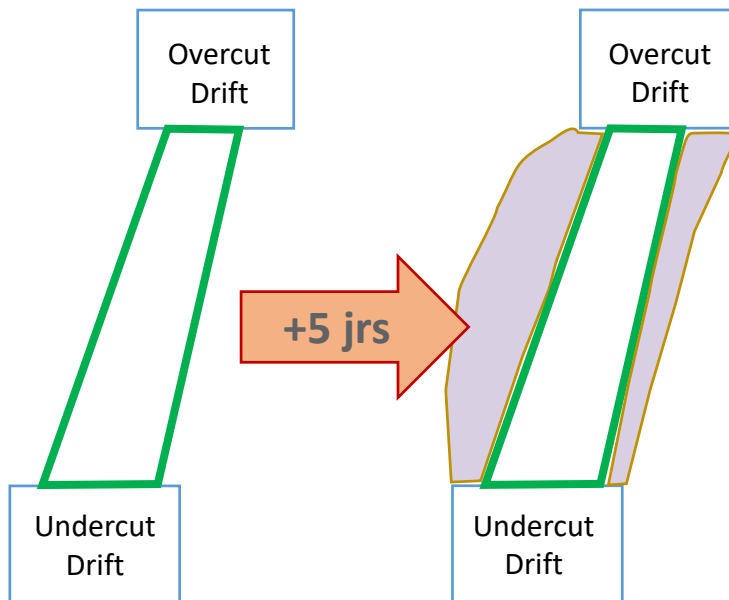


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Problématique & Objectifs

- Problématique: bris hors-profil
  - Chantier 0620-5050-356

2015-08-09



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Problématique & Objectifs

- Problématique : bris hors-profil
  - Augmentation des coûts de minage;
  - Risque d'endommager des équipements (e.g. chargeuse-navette);
  - Risque de compromettre la stabilité de chantiers adjacents.



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Problématique & Objectifs

### ■ Objectifs

1. Déterminer les paramètres affectant potentiellement le bris hors-profil;
2. Création d'une base de données :
  - i. Intrants : paramètres de conception & de site
  - ii. Extrants : mesures de performance
3. Analyses statistiques univariées & bivariées afin d'identifier des tendances et paramètres clés.



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Présentation

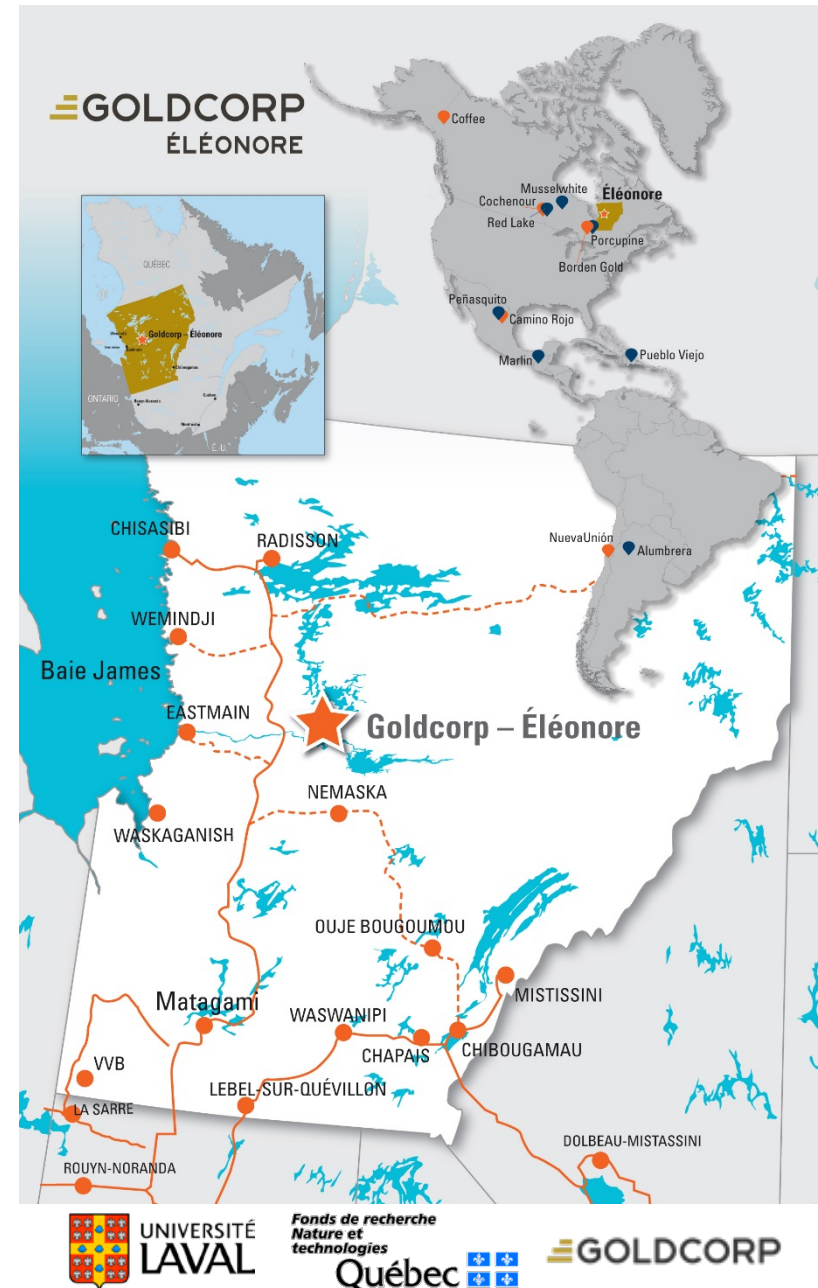
- Problématique & Objectifs
- Mine Éléonore
  - Description générale
  - Historique
  - Ossature de la mine
  - Géologie
  - Méthode de minage
- Base de données
  - Intrants
  - Extrants
- Analyses statistiques
  - Univariées
  - Bivariées
- Conclusion
- Questions



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Mine Éléonore

- Description générale
  - Mine aurifère souterraine
  - Propriété de Goldcorp
  - Située dans la région de la Baie James dans le nord du Québec
  - Accessible par route via Matagami
  - Vols fréquents de Chibougamau, Rouyn-Noranda, Val-d'Or et Montréal



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Mine Éléonore

- Historique
  - Goldcorp acquiert la propriété de Virginia Gold Mines en 2006
  - Investissement d'environ ~2G \$ (incluant ~420M \$ d'acquisition de Virginia Gold Mines)
  - Production commerciale en 2015-Q2
  - Production d'environ ~280-300k oz

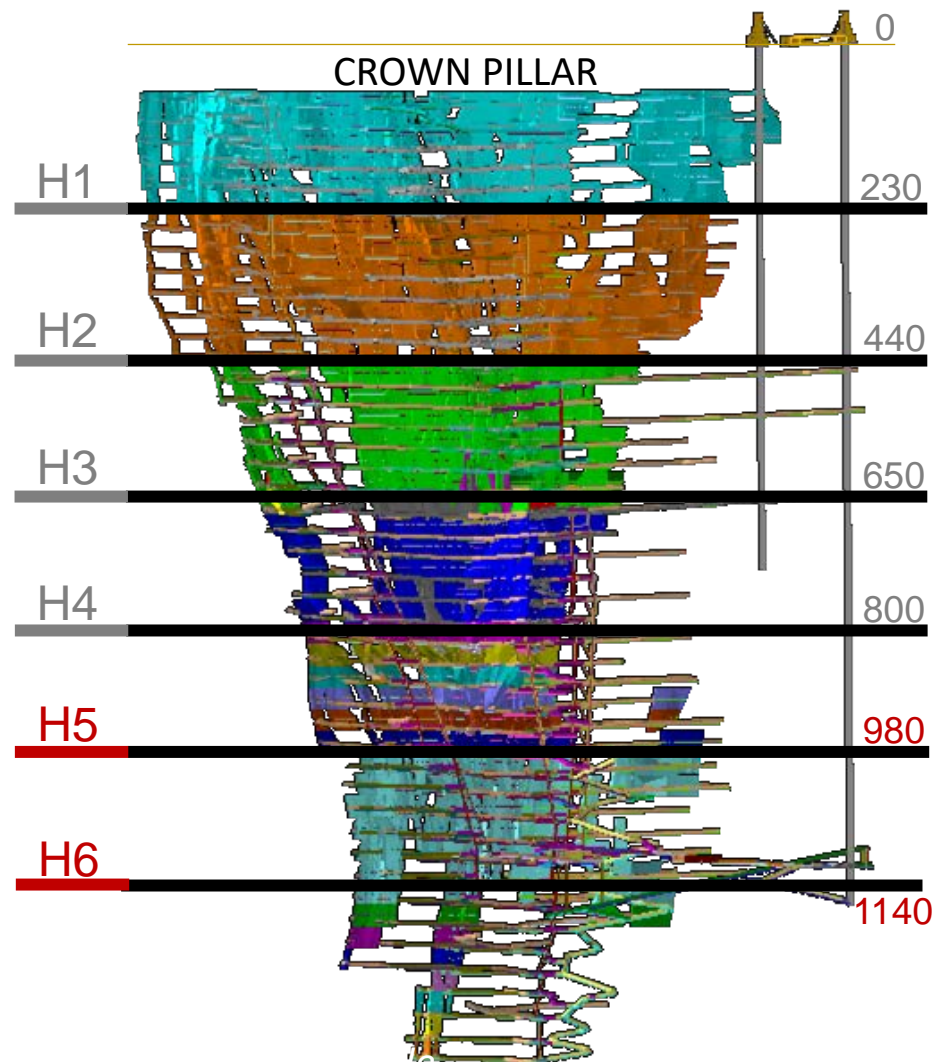


<http://www.goldcorp.com/English/Investor-Resources/News/News-Details/2005/GoldcorpToAcquirelonoreGoldProjectFromVirginiaGold/default.aspx>

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Mine Éléonore

- Opération souterraine
  - 50 à 800 m de profondeur (rampe à 1040 m)
  - Deux puits & une rampe
  - Actuellement quatre (4) horizons de minage
  - Deux (2) horizons à venir



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

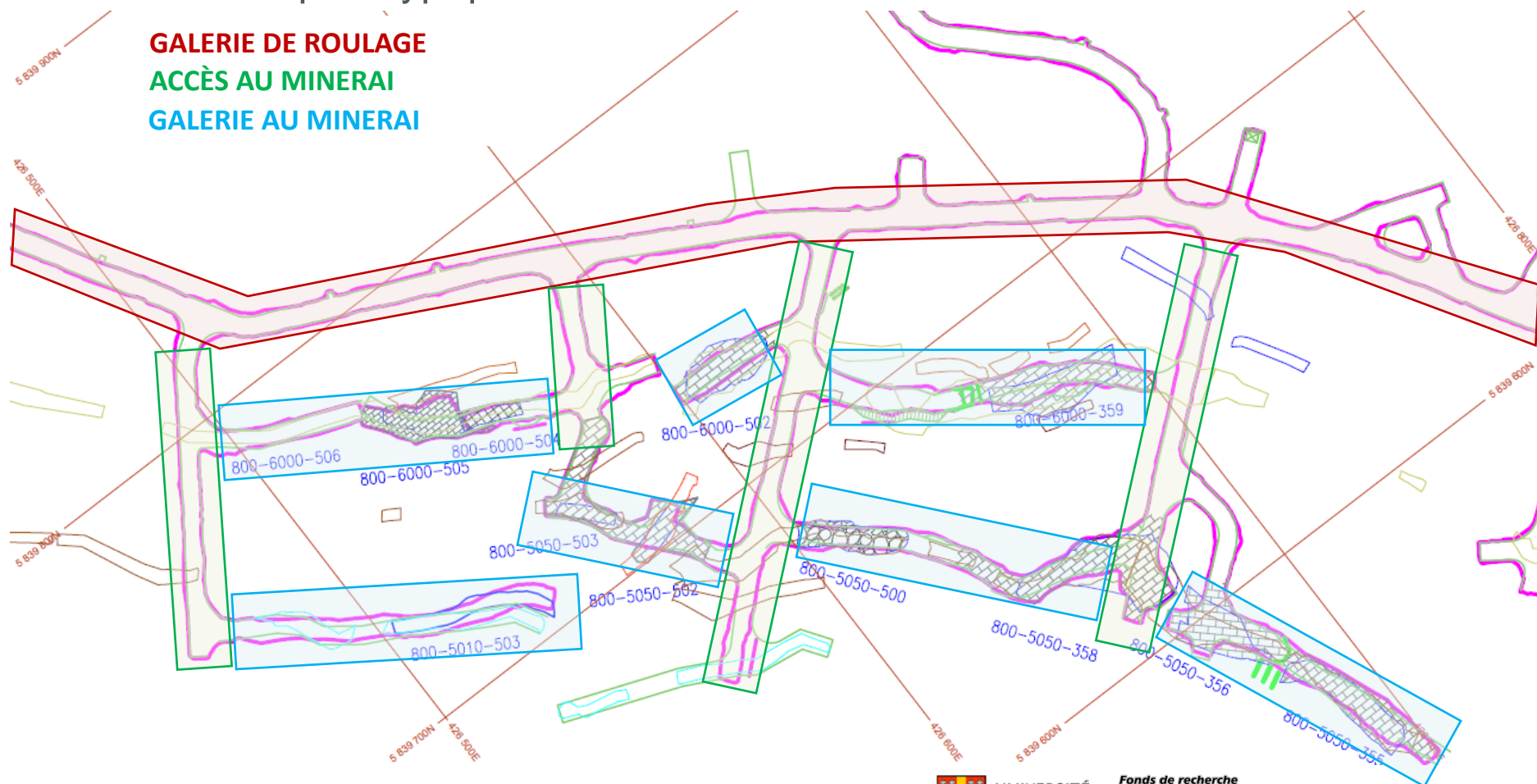
# Mine Éléonore

## ■ Vue en plan typique d'un niveau

**GALERIE DE ROULAGE**

**ACCÈS AU MINERAI**

**GALERIE AU MINERAI**

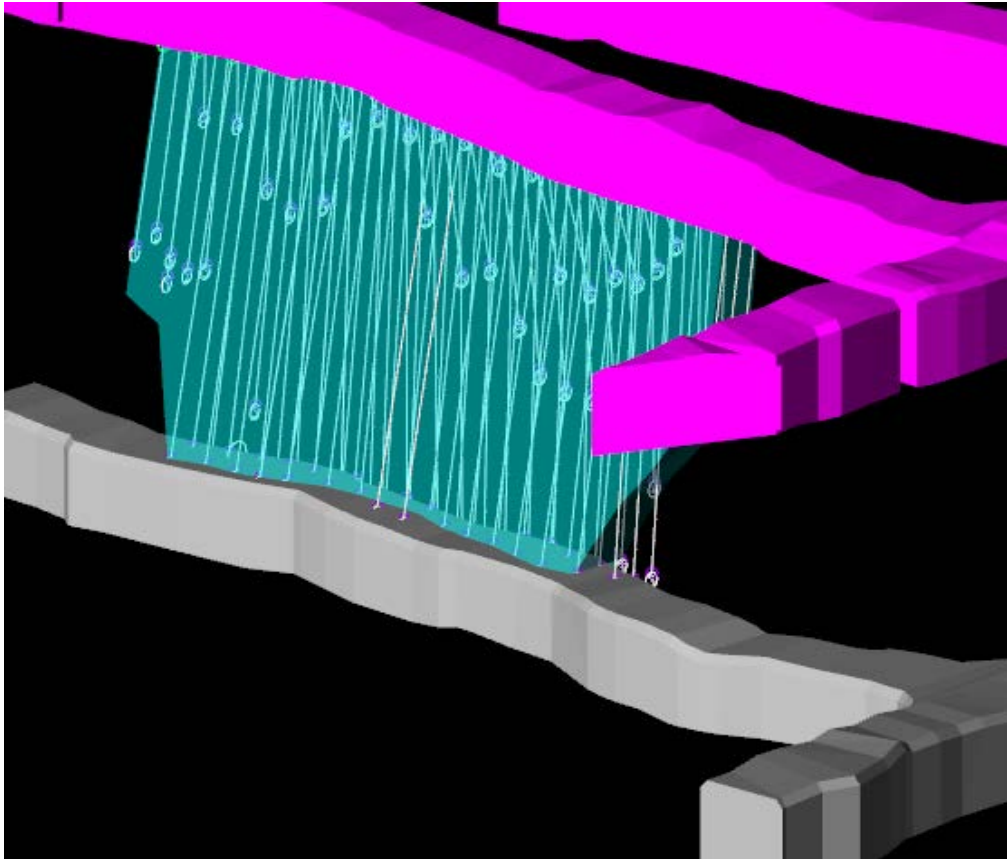




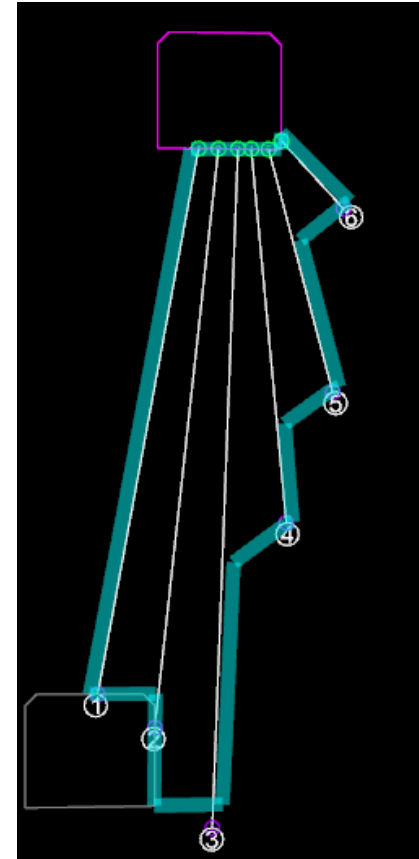
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Mine Éléonore

- Méthode de minage : chantiers ouverts longitudinaux (retrait vertical)



*Vue isométrique*



*Vue transversale*



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

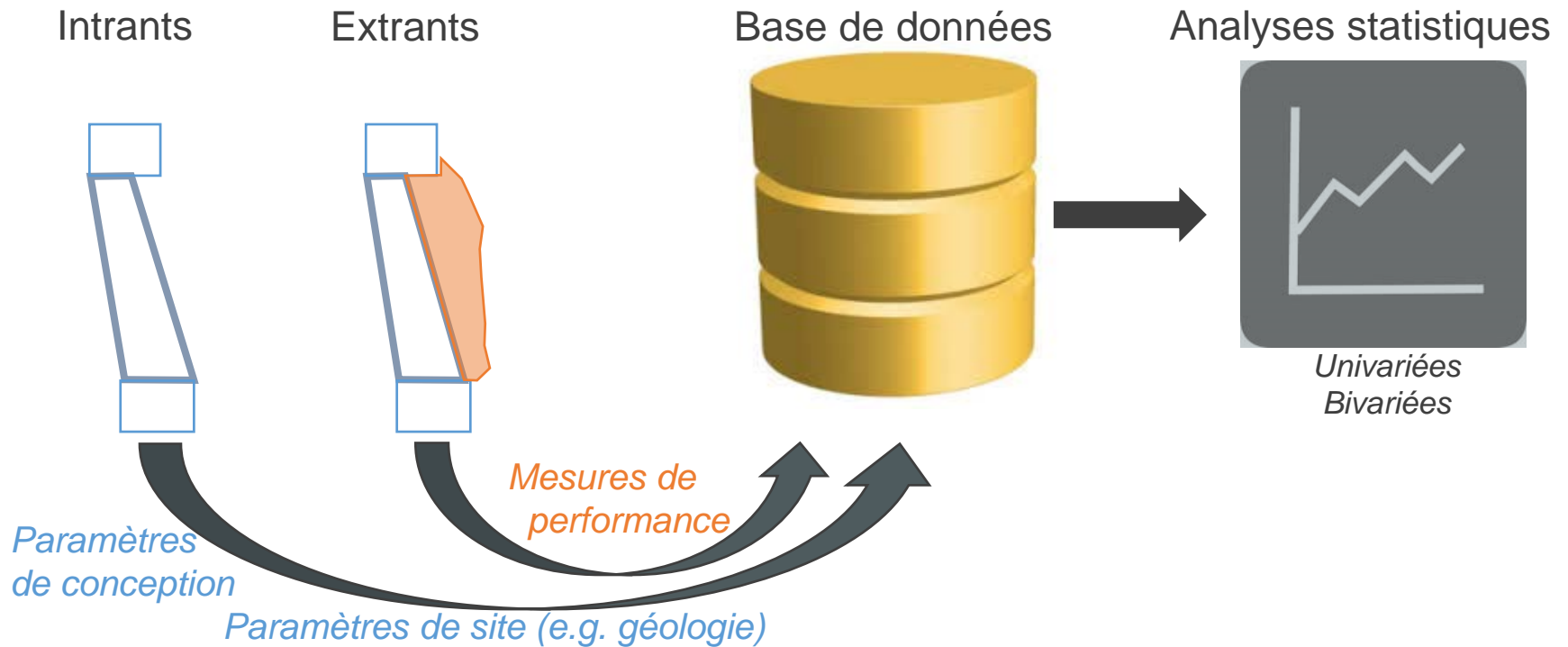
# Présentation

- Problématique & Objectifs
- Mine Éléonore
  - Description générale
  - Historique
  - Ossature de la mine
  - Géologie
  - Méthode de minage
- Base de données
  - Intrants
  - Extrants
- Analyses statistiques
  - Univariées
  - Bivariées
- Conclusion
- Questions

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Flux de travail

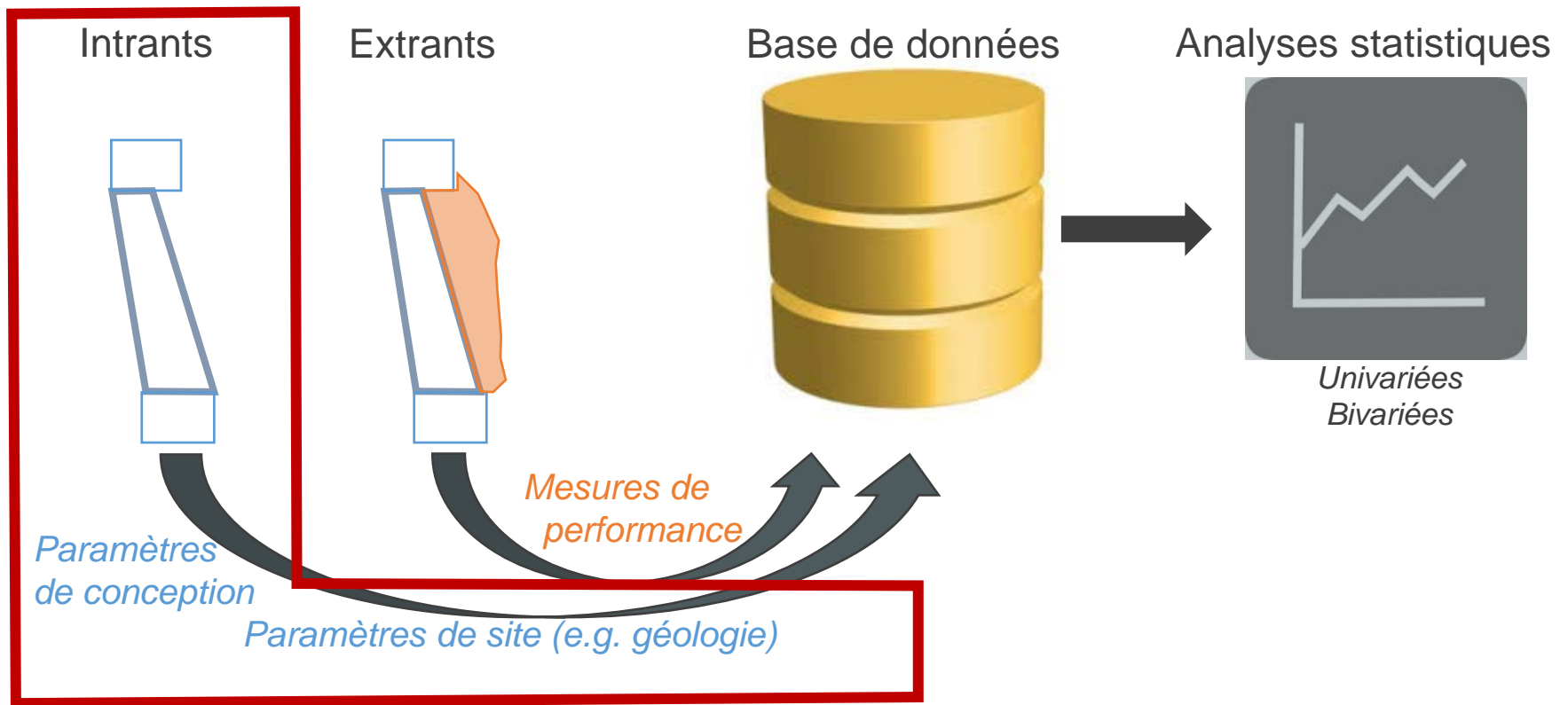
### Flux de travail de l'analyse



## Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Flux de travail

## Flux de travail de l'analyse



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Base de données

### Intrants

- 105 chantiers avec de multiples intrants :
  - Localisation
  - Minage
  - Géométrie
    - Centre de gravité (x,y,z)
    - Niveau/Horizon
  - Géologique
  - Forage-saut.
  - Temporel

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Base de données

### Intrants

- 105 chantiers avec de multiples intrants :
  - Localisation
  - Minage
  - Géométrie
    - Méthode [*transverse, intersection, longitudinal*]
    - Vide initial [*drift, double lift, double length*]
  - Géologique
  - Forage-saut.
  - Temporel



# Base de données

## Intrants

- 105 chantiers avec de multiples intrants :
  - Localisation
  - Minage
  - Géométrie
    - Volume planifié
  - Géologique
    - Rayon hydraulique
  - Forage-saut.
    - Puissance (épaisseur)
  - Temporel
    - Variation de l'orientation [*straight, undulating, irregular*]
    - Variation du pendage [*regular, irregular, switch*]
    - Undercutting
      - average (m)
      - portion (%)
      - equivalent (%\*m)

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Base de données

### Intrants

- 105 chantiers avec de multiples intrants :
    - Localisation
    - Minage
    - Géométrie
    - Géologique
    - Forage-saut.
    - Temporel
- Distance à la structure  
- Orientation de la structure par rapport au chantier  
*[NA, perpendicular, parallel to HW, parallel to FW]*

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Base de données

### Intrants

- 105 chantiers avec de multiples intrants :
    - Localisation
    - Minage
    - Géométrie
    - Géologique
    - Forage-saut.
    - Temporel
- Type de monterie d'ouverture [*Dropraise, raisebore, V30*]
  - Facteur de forage (t/m)
  - Patron de forage général [*Dice 5, Fan, 50-50*]
  - Patron de forage de l'éponte supérieure [*Parallel, Fanned, 50-50*]

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Base de données

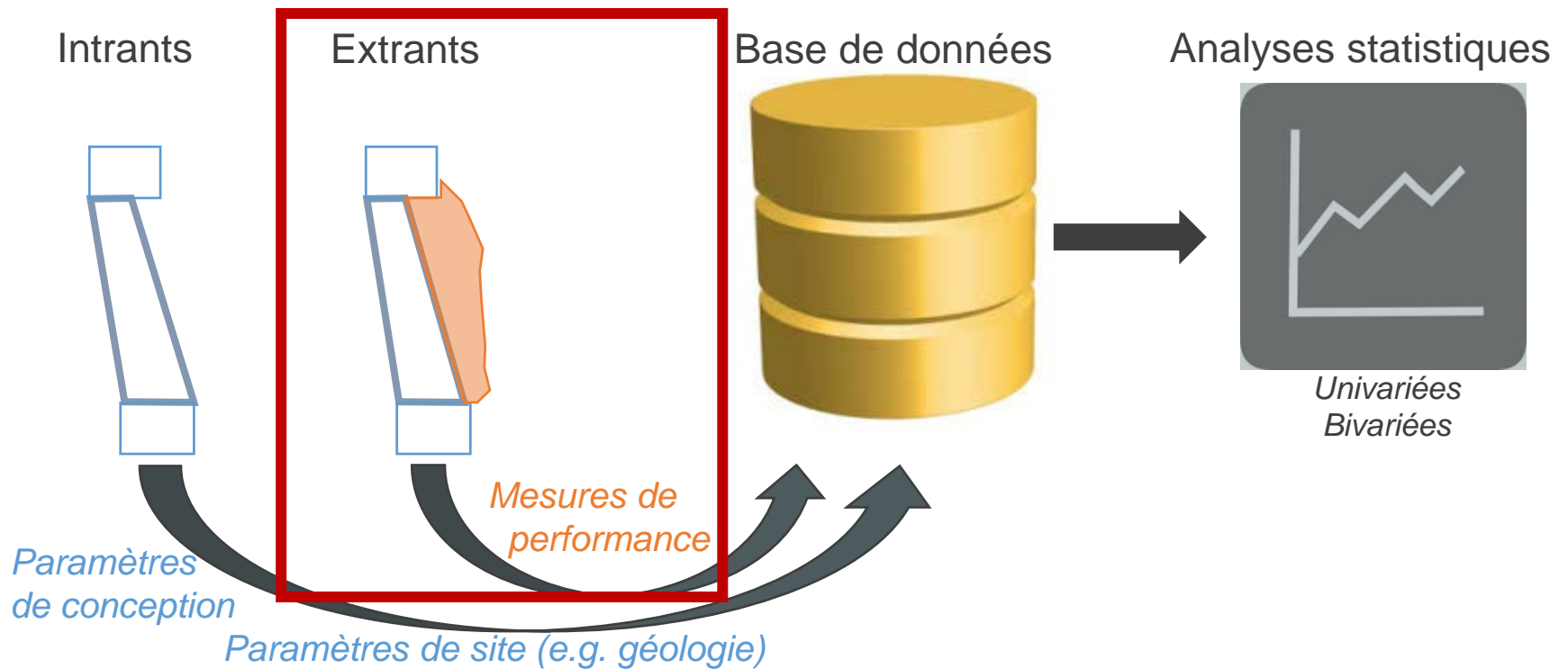
### Intrants

- 105 chantiers avec de multiples intrants :
  - Localisation
  - Minage
  - Géométrie
  - Géologique
  - Forage-saut.
  - Temporel
    - Date du sautage final
    - Stand-up time (fin du soutirage - date du sautage final)

## Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Flux de travail

## Flux de travail de l'analyse





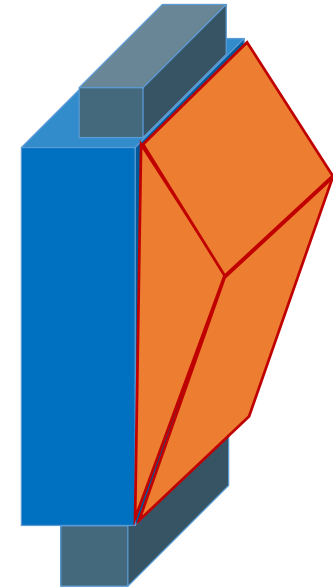
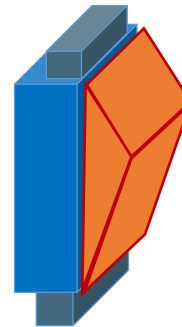
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Base de données

Extrants (HW, FW, murs, toit)

- Bris hors-profil (%)

- $OB = \frac{\text{Volume de bris hors-profil}}{\text{Volume planifié du chantier}}$



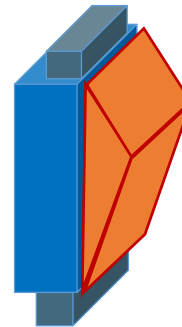
- *Equivalent linear overbreak slough (ELOS, m)*

## Base de données

Extrants (HW, FW, murs, toit)

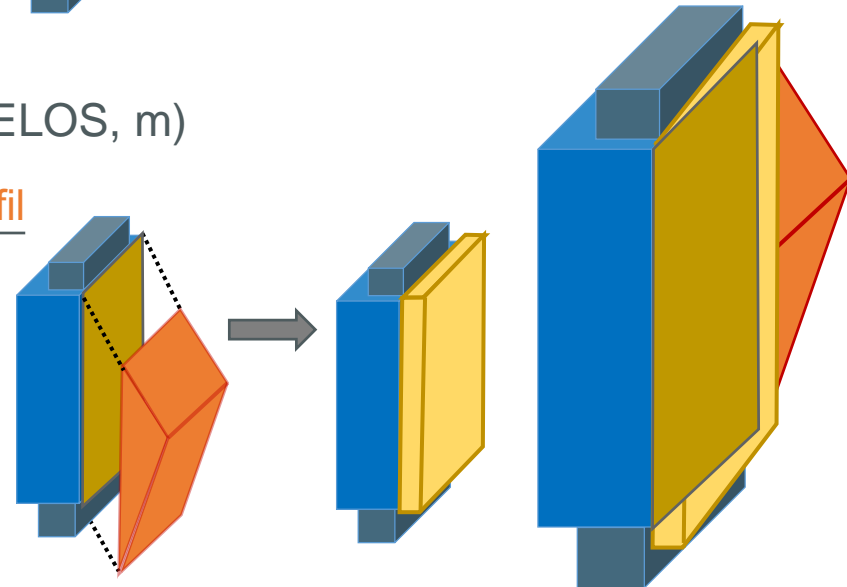
- Bris hors-profil (%)

- $OB = \frac{\text{Volume de bris hors-profil}}{\text{Volume planifié du chantier}}$



- *Equivalent linear overbreak slough* (ELOS, m)

- $ELOS = \frac{\text{Volume de bris hors-profil}}{\text{Aire}}$

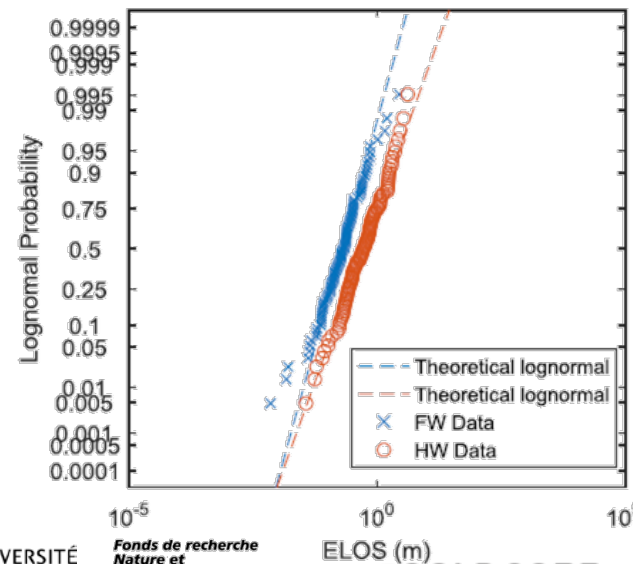
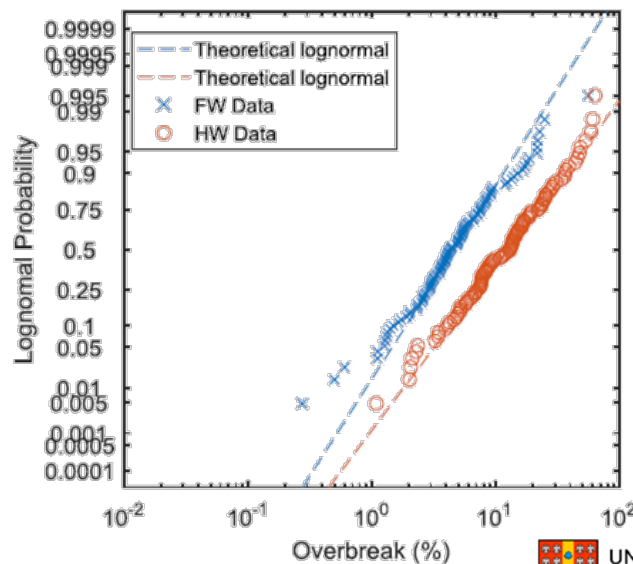
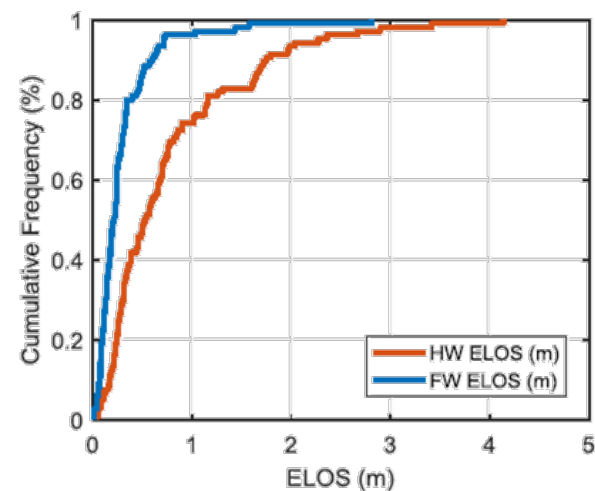
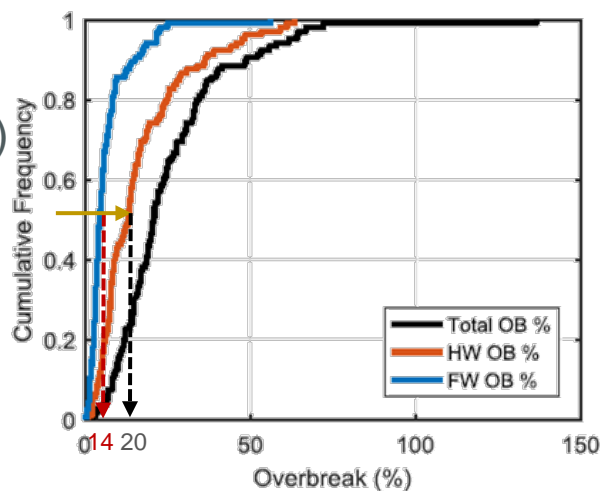


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Base de données

### Extrants

- Bris hors profil - OB (%)
- ELOS (m)



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

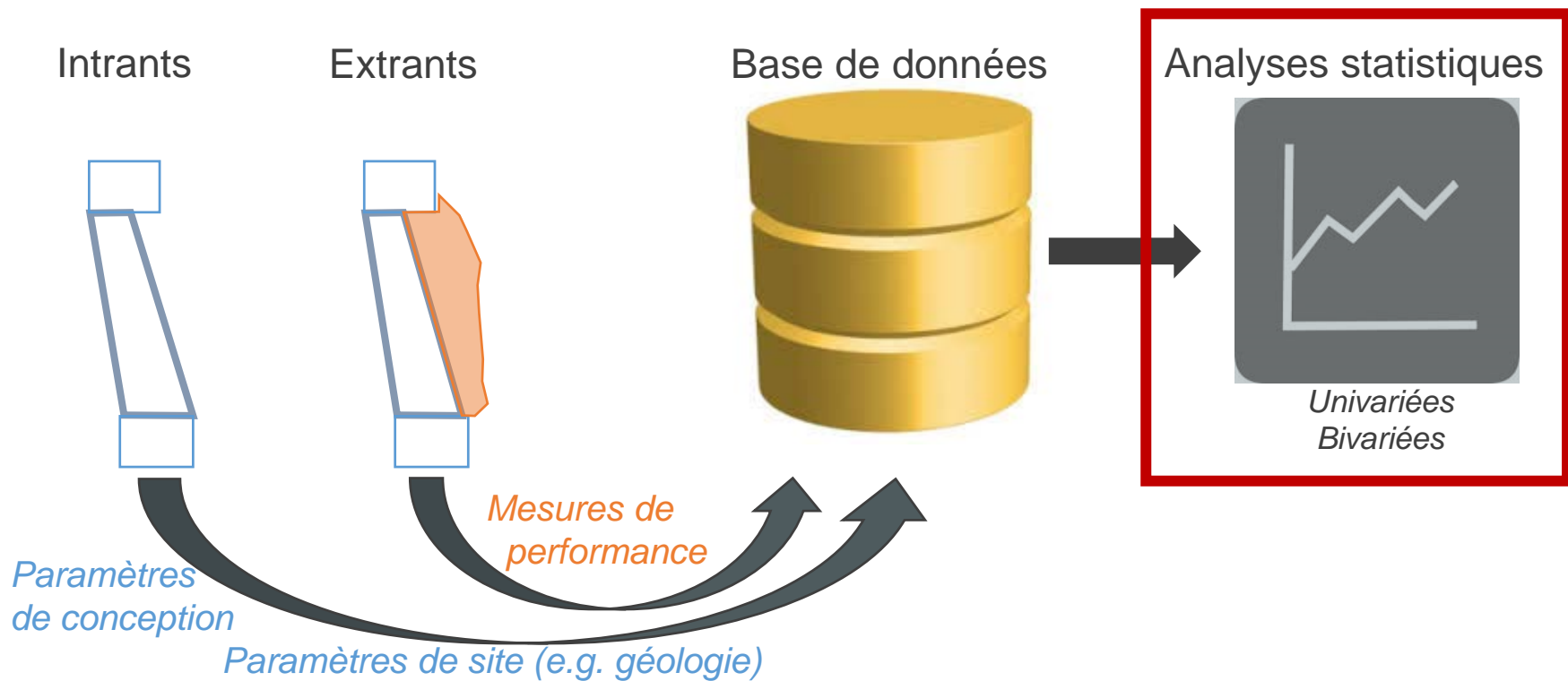
# Présentation

- Problématique & Objectifs
- Mine Éléonore
  - Description générale
  - Historique
  - Ossature de la mine
  - Géologie
  - Méthode de minage
- Base de données
  - Intrants
  - Extrants
- Analyses statistiques
  - Univariées
  - Bivariées
- Conclusion
- Questions

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Flux de travail

### Flux de travail de l'analyse





Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Analyses statistiques

## Analyses bivariées

- Données qualitatives
- Données quantitatives

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Analyses statistiques

## Analyses bivariées

- Données qualitatives
  - Box-and-Whisker
  - Distribution de fréquences cumulées

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Analyses statistiques

## Analyses bivariées

- Données qualitatives

- Box-and-Whisker

- Distribution de fréquences cumulées

- Q1
- Q2/médiane
- Q3
- Extremums (min & max)
- Comparaison des médianes (95% de confiance)

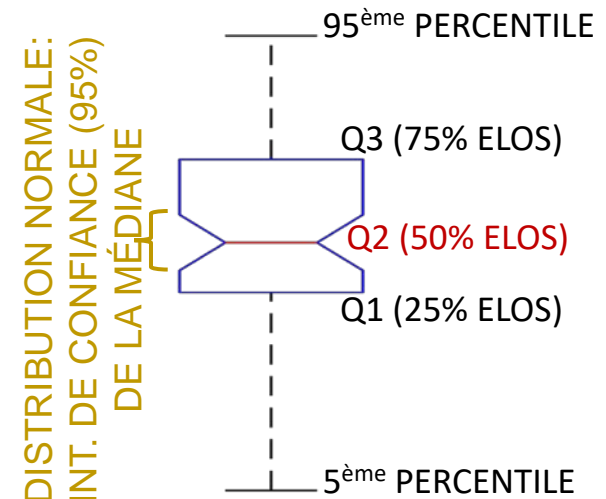
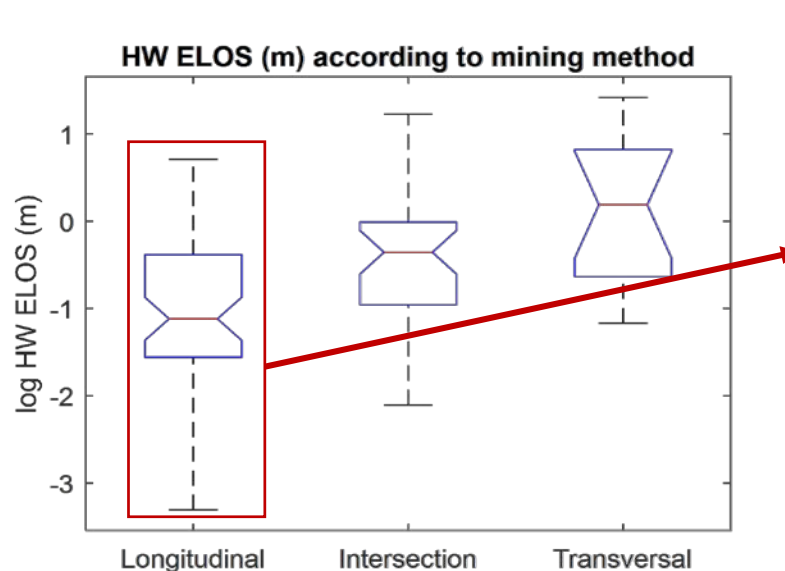
# Analyses statistiques

## Analyses bivariées

- Données qualitatives

- Box-and-Whisker
- Distribution de fréquences cumulées

- Q1
- Q2/médiane
- Q3
- Extremums (min & max)
- Comparaison des médianes (95% de confiance)



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

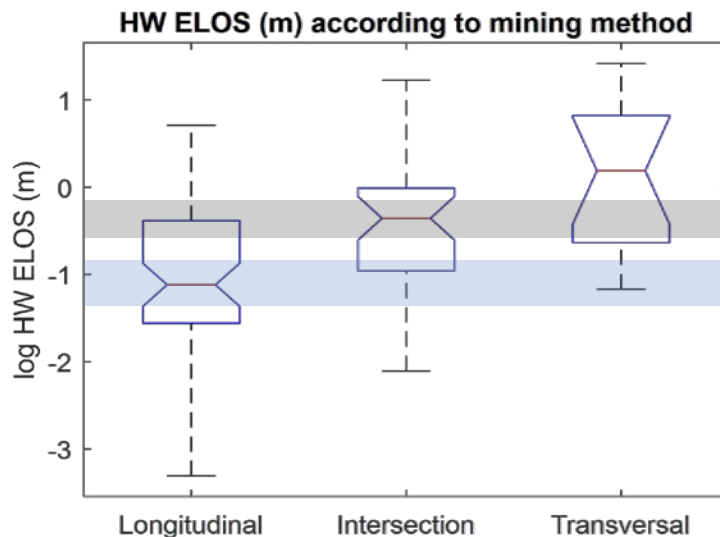
# Analyses statistiques

## Analyses bivariées

- Données qualitatives

- Box-and-Whisker
- Distribution de fréquences cumulées

- Q1
- Q2/médiane
- Q3
- Extremums (min & max)
- Comparaison des médianes (95% de confiance)



Longitudinal et Intersection sont significativement différents (95% conf.)

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

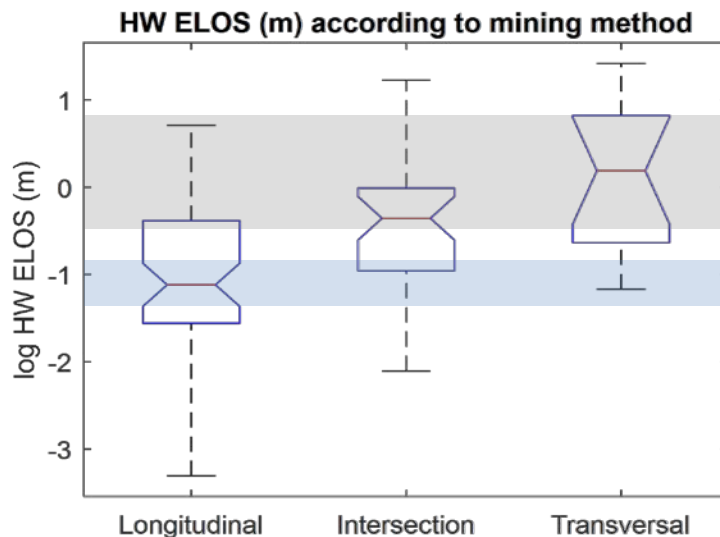
## Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Données qualitatives

- Box-and-Whisker
- Distribution de fréquences cumulées

- Q1
- Q2/médiane
- Q3
- Extremums (min & max)
- Comparaison des médianes (95% de confiance)



Longitudinal et Transversal sont significativement différents (95% conf.)

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

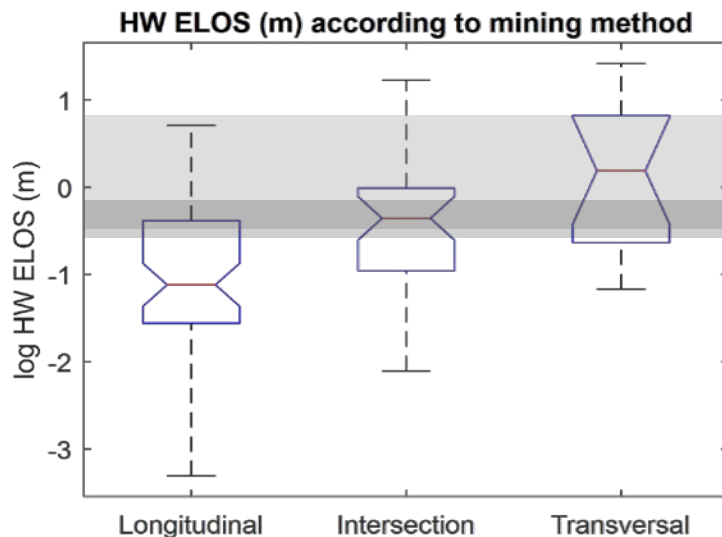
## Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Données qualitatives

- Box-and-Whisker
- Distribution de fréquences cumulées

- Q1
- Q2/médiane
- Q3
- Extremums (min & max)
- Comparaison des médianes (95% de confiance)



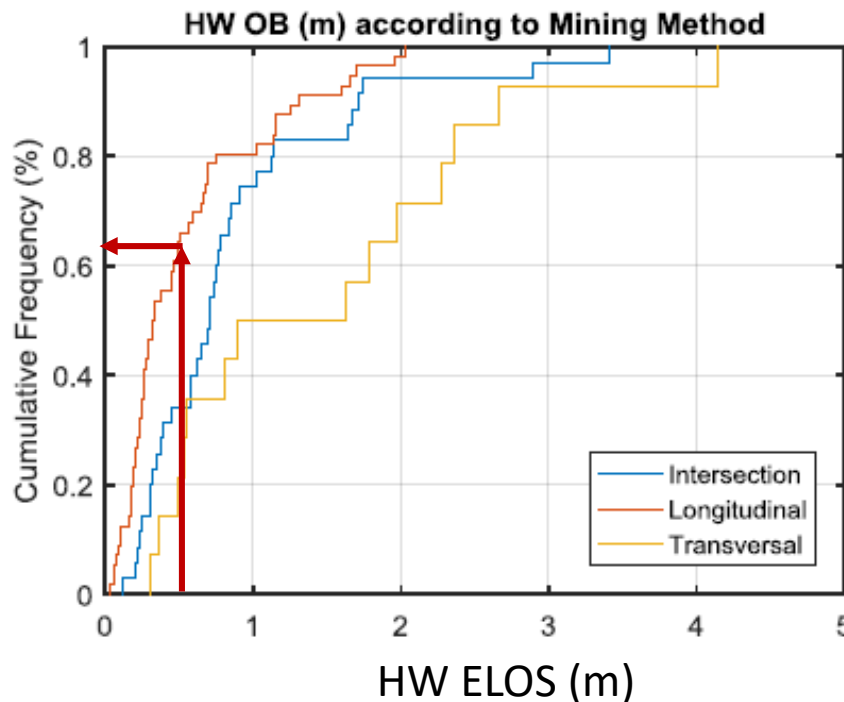
Transversal et Intersection ne sont pas significativement différents (95% conf.)

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Données qualitatives
  - Box-and-Whisker
  - Distribution de fréquences cumulées



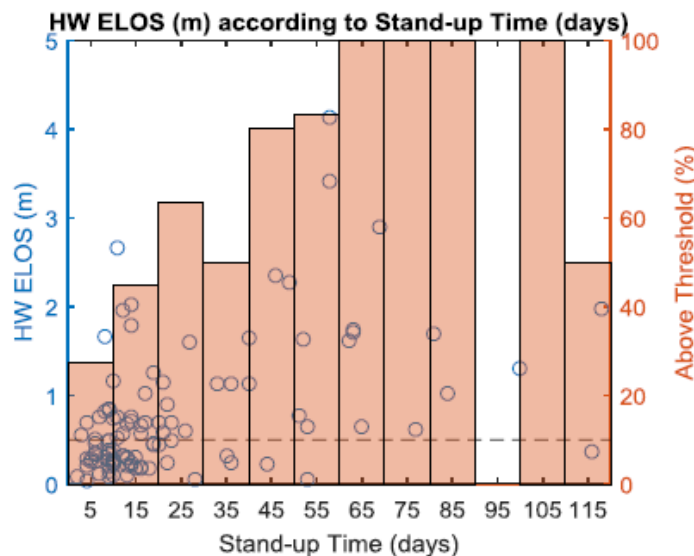


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Données qualitatives
    - Box-and-Whisker
    - Distribution de fréquences cumulées
  - Données quantitatives
    - Nuage de points + histogramme superposé
    - "Heat map"
- Histogramme avec % *au-dessus de* :
- 10% OB
  - 0.5 m ELOS

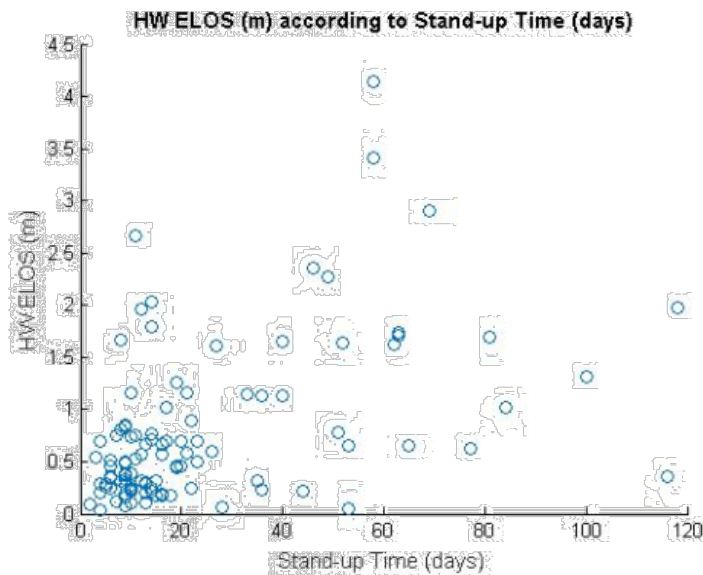


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Analyses statistiques

## Analyses bivariées

- Données qualitatives
    - Box-and-Whisker
    - Distribution de fréquences cumulées
  - Données quantitatives
    - Nuage de points + histogramme superposé
    - "Heat map"
- Histogramme avec % *au-dessus de* :
- 10% OB
  - 0.5 m ELOS



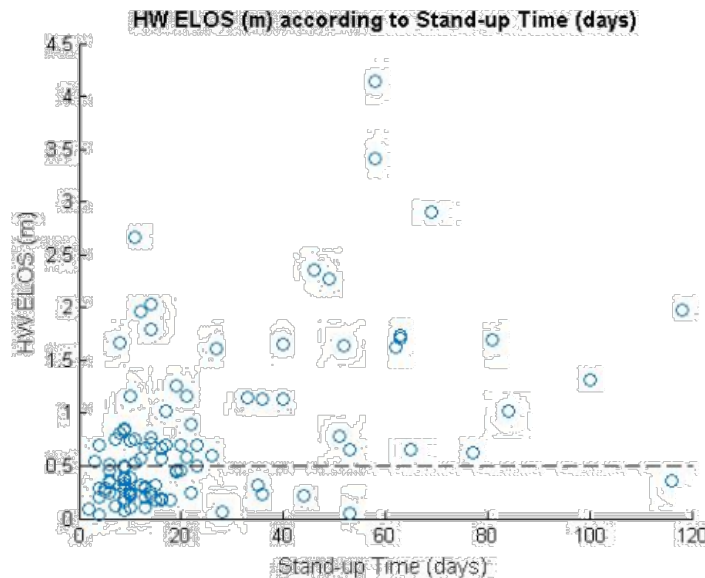
- 1) **Marqueurs bleus** :  
nuage de points → corrélation faible ?

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Analyses statistiques

## Analyses bivariées

- Données qualitatives
    - Box-and-Whisker
    - Distribution de fréquences cumulées
  - Données quantitatives
    - Nuage de points + histogramme superposé
    - "Heat map"
- Histogramme avec % *au-dessus de* :
- 10% OB
  - 0.5 m ELOS



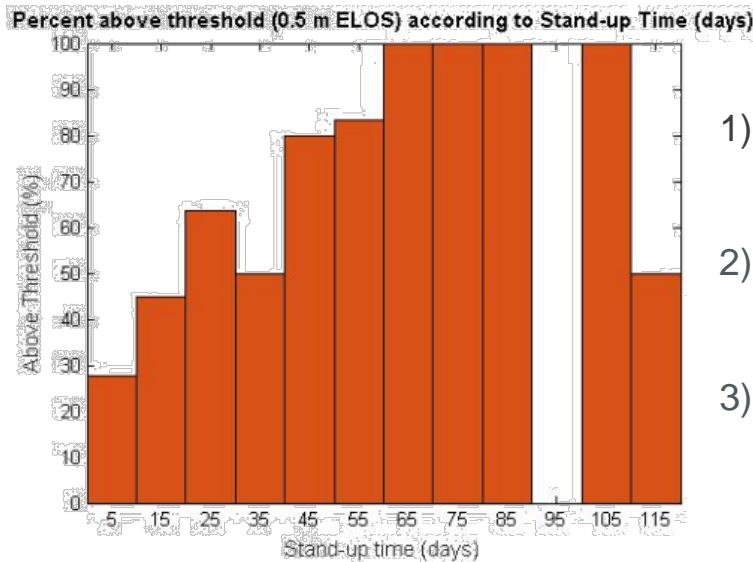
- 1) **Marqueurs bleus** :  
nuage de points → corrélation faible ?
- 2) **Ligne pointillée**:  
seuil acceptable de 0.5 m ELOS

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Données qualitatives
    - Box-and-Whisker
    - Distribution de fréquences cumulées
  - Données quantitatives
    - Nuage de points + histogramme superposé
    - "Heat map"
- Histogramme avec % *au-dessus de* :
- 10% OB
  - 0.5 m ELOS



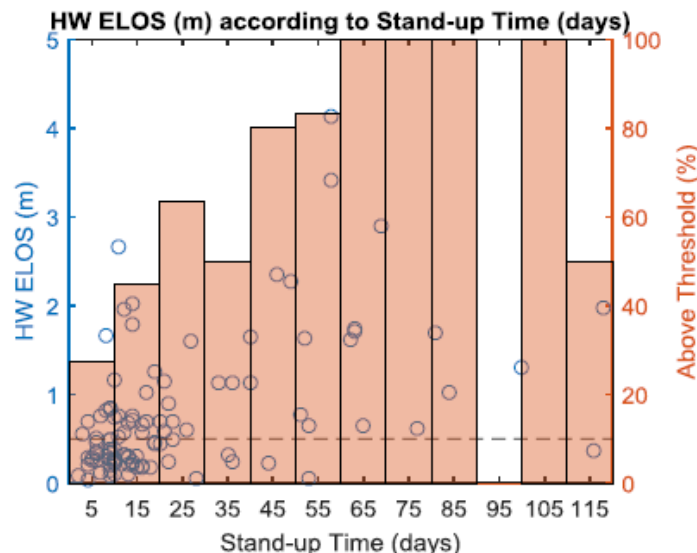
- 1) **Marqueurs bleus** :  
nuage de points → corrélation faible ?
- 2) **Ligne pointillée**:  
seuil acceptable de 0.5 m ELOS
- 3) **Barres rouges**:  
histogramme du % au-dessus du seuil

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Analyses statistiques

## Analyses bivariées

- Données qualitatives
    - Box-and-Whisker
    - Distribution de fréquences cumulées
  - Données quantitatives
    - Nuage de points + histogramme superposé
    - "Heat map"
- Histogramme avec % *au-dessus de* :
- 10% OB
  - 0.5 m ELOS



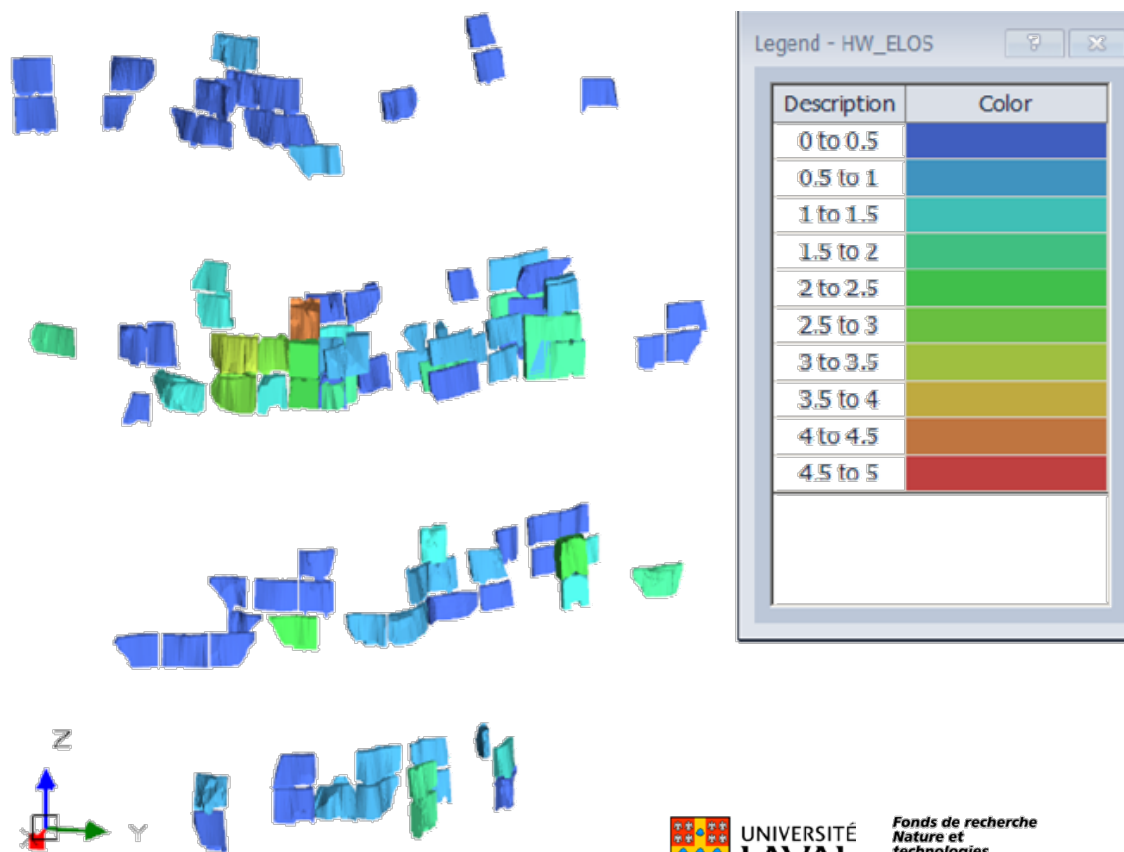
- 1) **Marqueurs bleus** :  
nuage de points → corrélation faible ?
- 2) **Ligne pointillée**:  
seuil acceptable de 0.5 m ELOS
- 3) **Barres rouges**:  
histogramme du % au-dessus du seuil

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Résultats: Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Paramètres de localisation
  - « Heat map » du **ELOS** de la mine entière

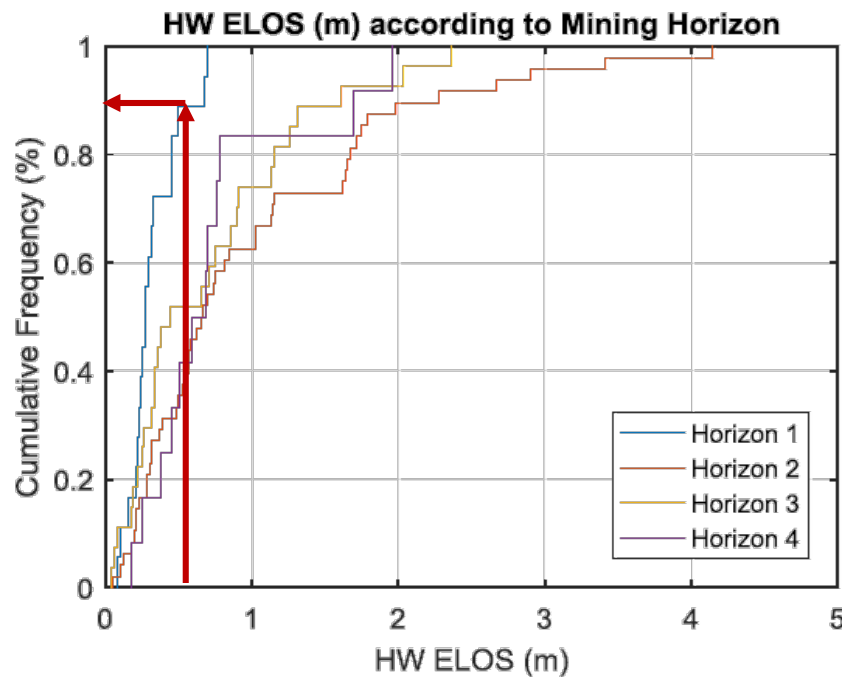


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Résultats: Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Paramètres de localisation
  - Horizon de minage : distribution de fréquences cumulées



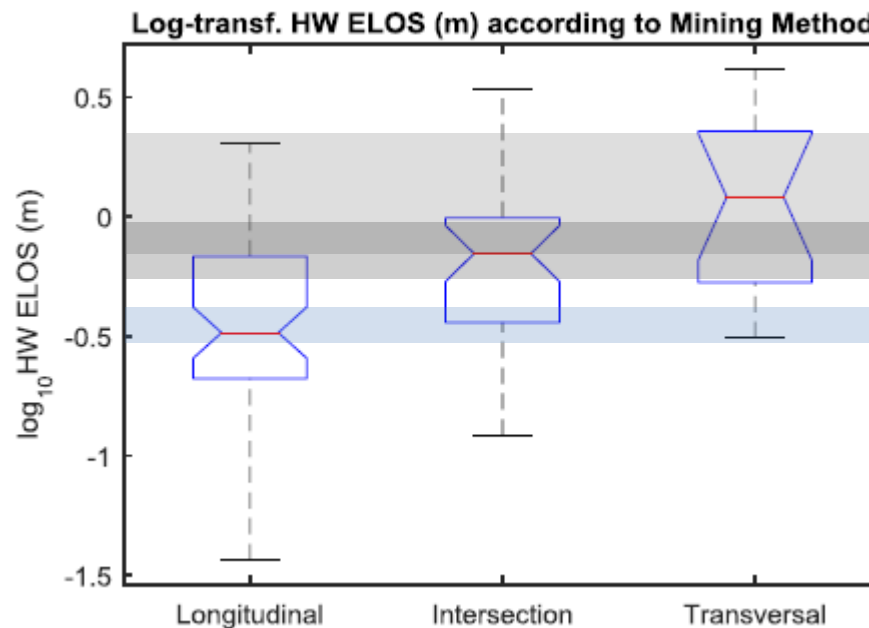


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Résultats: Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Paramètres de minage
  - Méthode de minage : Box-and-Whisker

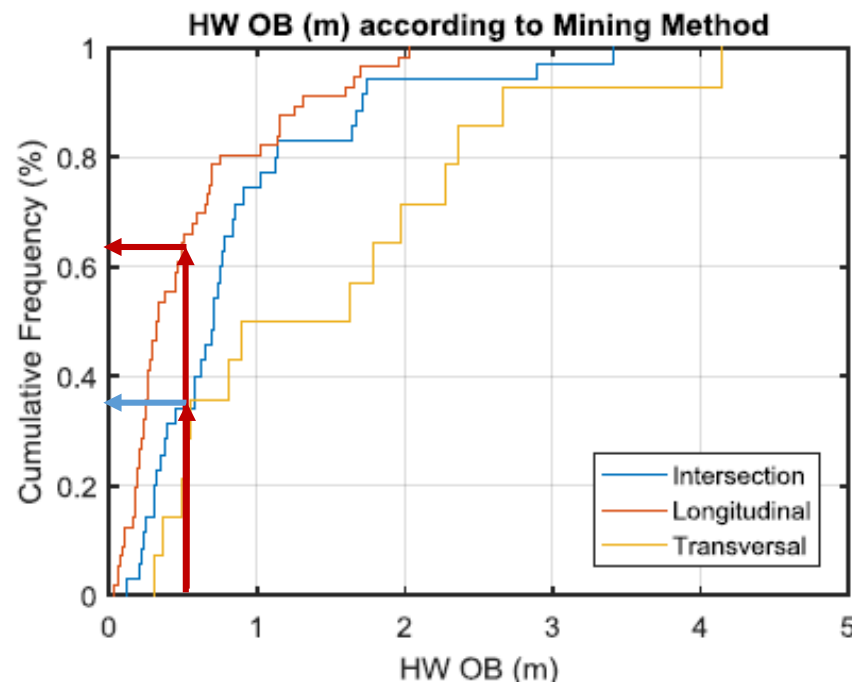
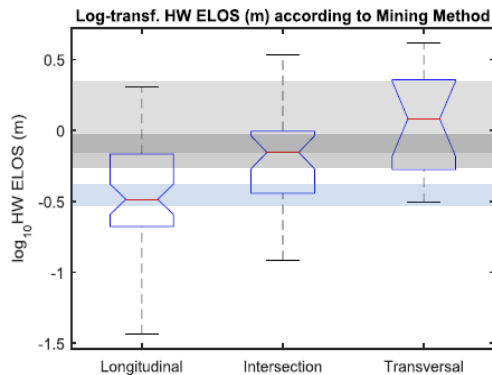


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Résultats: Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Paramètres de minage
  - Méthode de minage : distribution de fréquences cumulées

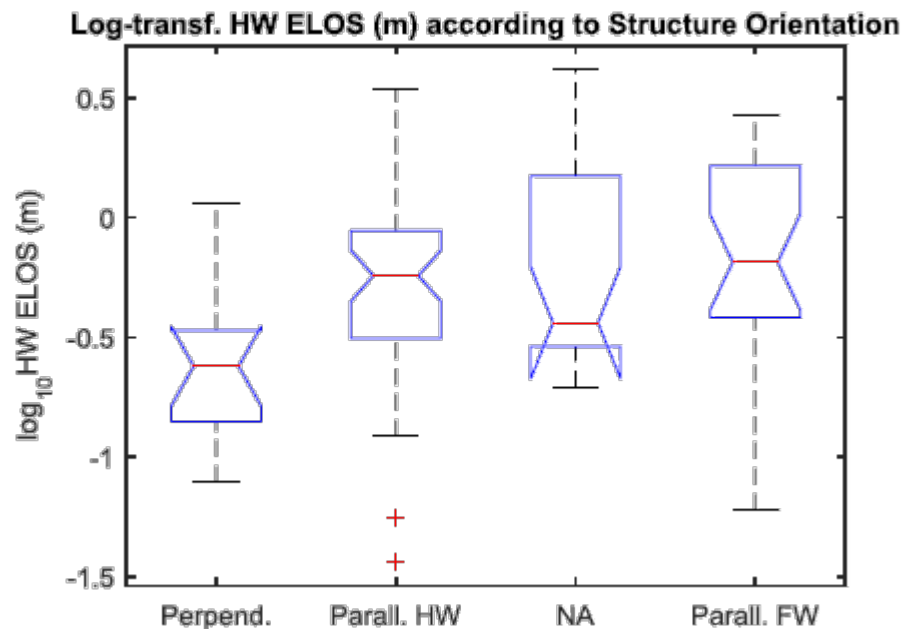


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Résultats: Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Paramètres géologiques
  - Orientation de la structure par rapport au chantier : Box-and-Whisker

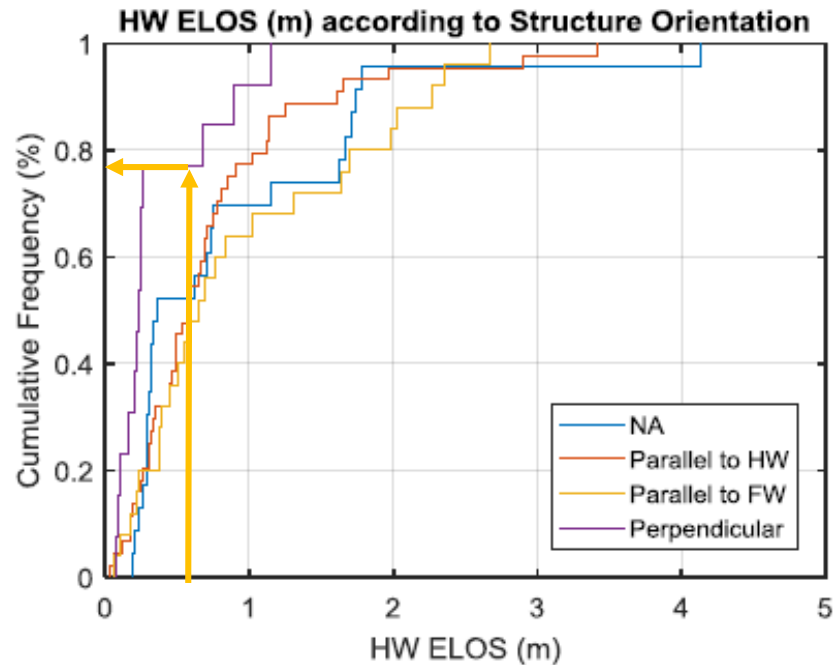
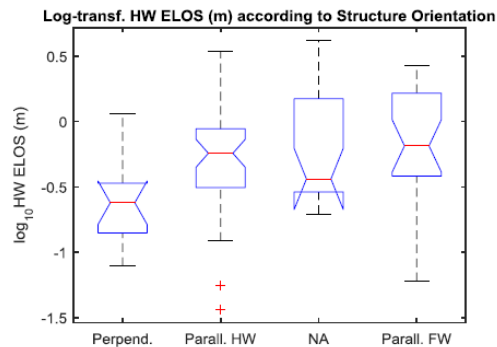


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Résultats: Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Paramètres géologiques
  - Orientation de la structure par rapport au chantier : distribution de fréquences cumulées

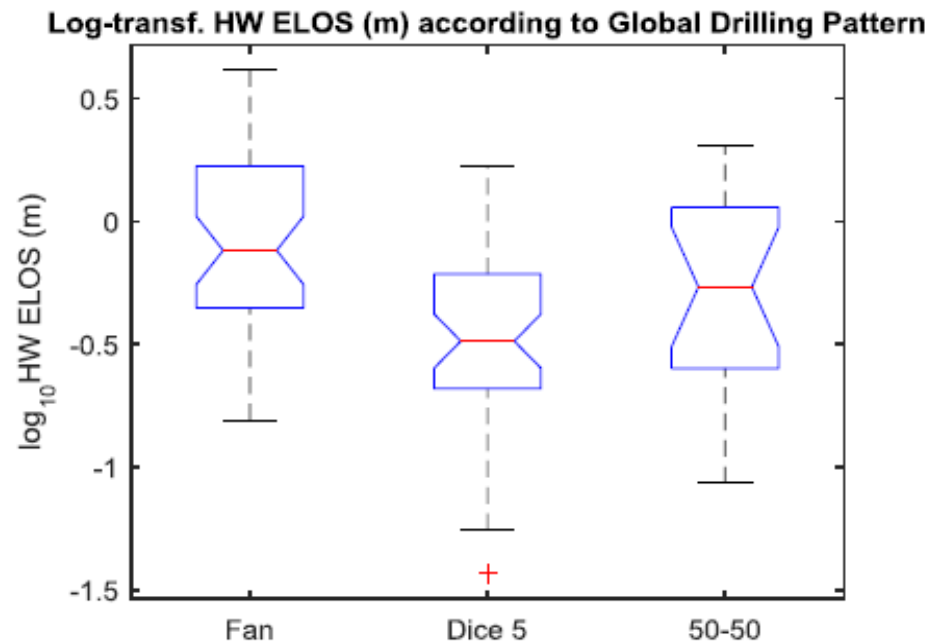


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Résultats: Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Paramètres de forage-sautage
  - Patron de forage général : Box-and-Whisker diagram

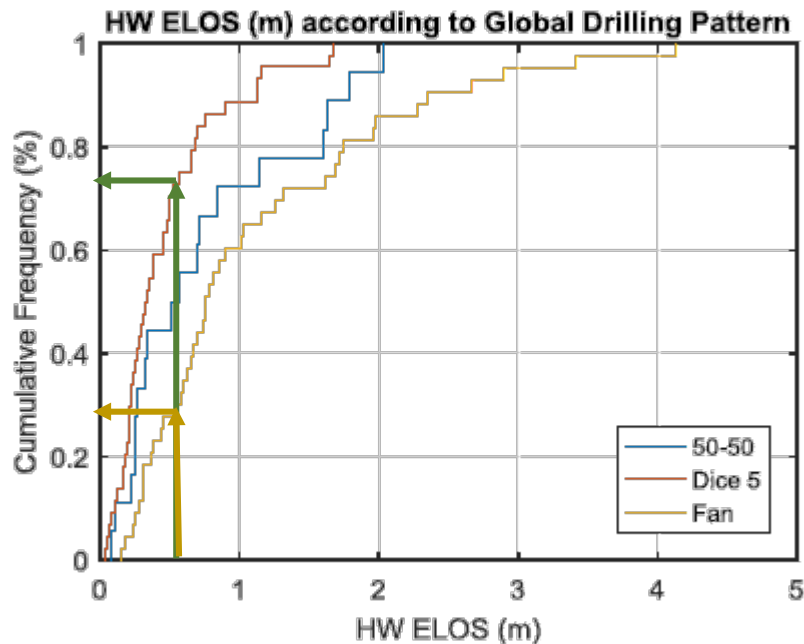
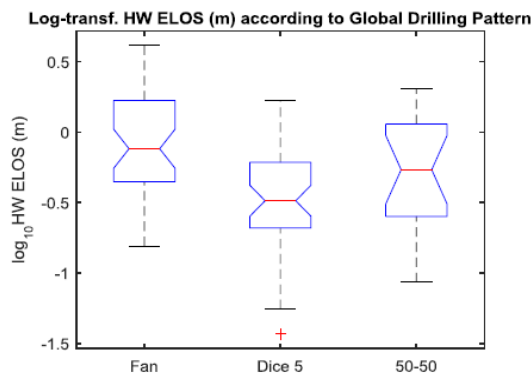


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Résultats: Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Paramètres de forage-sautage
  - Patron de forage général : distribution de fréquences cumulées

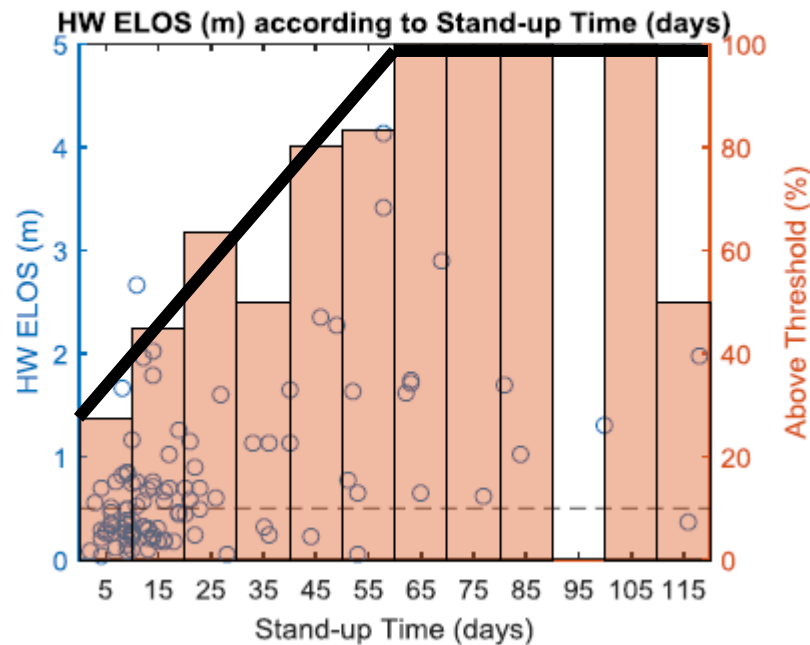


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Résultats: Analyses statistiques

### Analyses bivariées

- Paramètres temporels
  - Stand-up time : nuage de points + histogramme superposé (% > 0.5 m ELOS)





Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Présentation

- Problématique & Objectifs
- Mine Éléonore
  - Description générale
  - Historique
  - Ossature de la mine
  - Géologie
  - Méthode de minage
- Base de données
  - Intrants
  - Extrants
- Analyses statistiques
  - Univariées
  - Bivariées
- Conclusion
- Questions

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

# Conclusion

## Résultats significatifs

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| ▪ Localisation             | H2 : lentille 5050  |
| ▪ Horizon de minage        | <u>H1</u> vs H2, H3 et H4                                     |
| ▪ Méthode de minage        | <u>Longitudinal</u> vs Transversal et Intersection            |
| ▪ Géométrie                | Variation de l'orientation ( <u>straight</u> vs undulated)    |
| ▪ Géologique               | Orientation de la struct. ( <u>perpendicular</u> vs parallel) |
| ▪ Patron de forage général | <u>Dice 5</u> vs Fanned                                       |
| ▪ Temporel                 | Stand-up time   |

## Travaux à venir

Compléter la base de données :

- Qualité du massif rocheux
- Résultats de modélisation numérique

Analyses statistiques multivariées

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Remerciements

Nous désirons remercier la contribution financière des différents partenaires ainsi que Goldcorp pour nous permettre de publier les données recueillies et analysées.



UNIVERSITÉ  
LAVAL

**Fonds de recherche  
Nature et  
technologies**

Québec

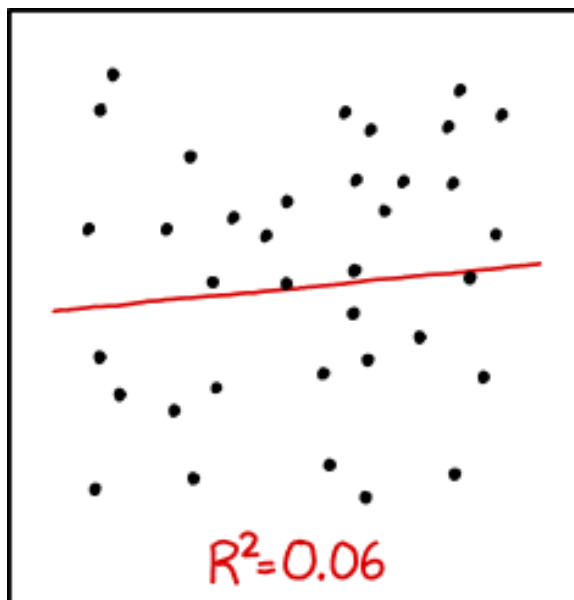


**GOLDCORP**  
ÉLÉONORE



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

## Questions



I DON'T TRUST LINEAR REGRESSIONS WHEN IT'S HARDER  
TO GUESS THE DIRECTION OF THE CORRELATION FROM THE  
SCATTER PLOT THAN TO FIND NEW CONSTELLATIONS ON IT.