



SEEQ - NOVEMBRE 2017

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

S. Guido & M. Grenon



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

Problématique & Objectifs

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

2015-08-09

Overcut
Drift

Undercut
Drift

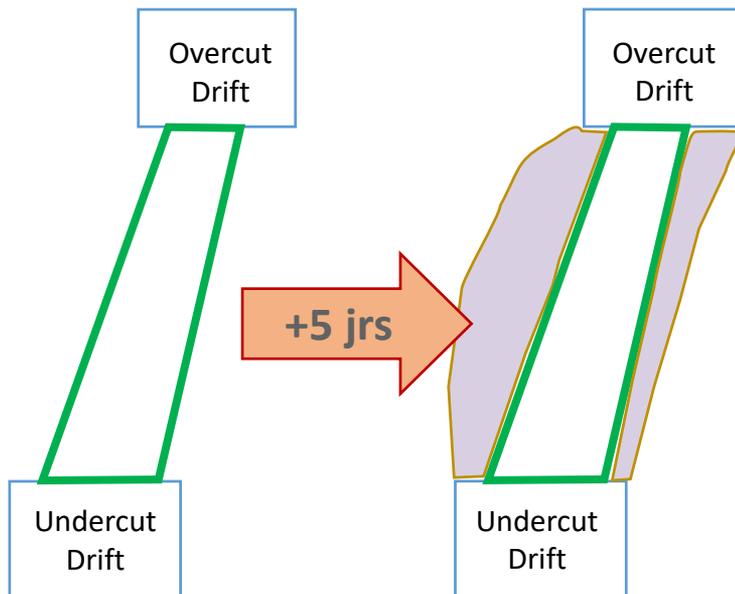


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Problématique & Objectifs

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

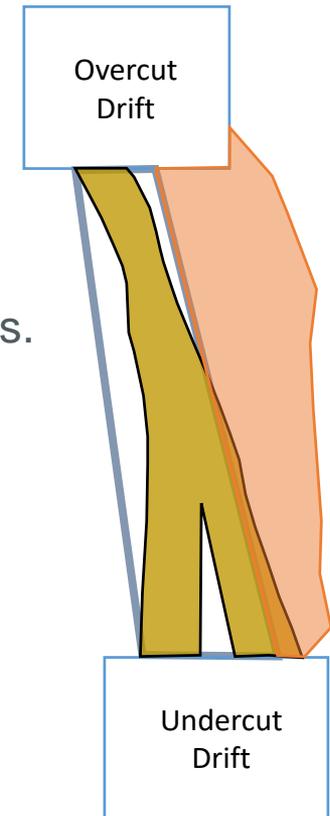
2015-08-09



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Problématique & Objectifs

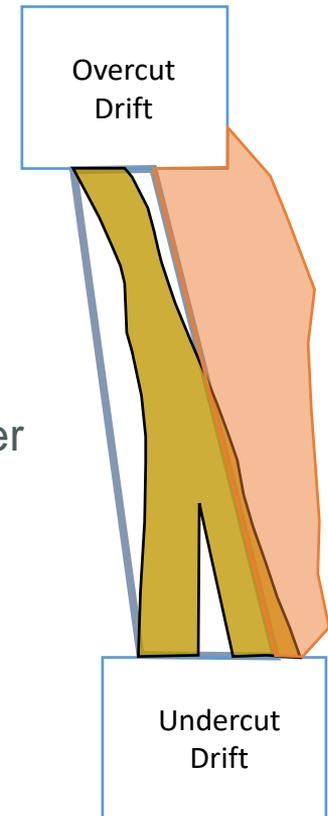
- Problématique : bris hors-profil
 - Augmentation des coûts de minage;
 - Risque d'endommager des équipements (e.g. chargeuse-navette);
 - Risque de compromettre la stabilité de chantiers adjacents.



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

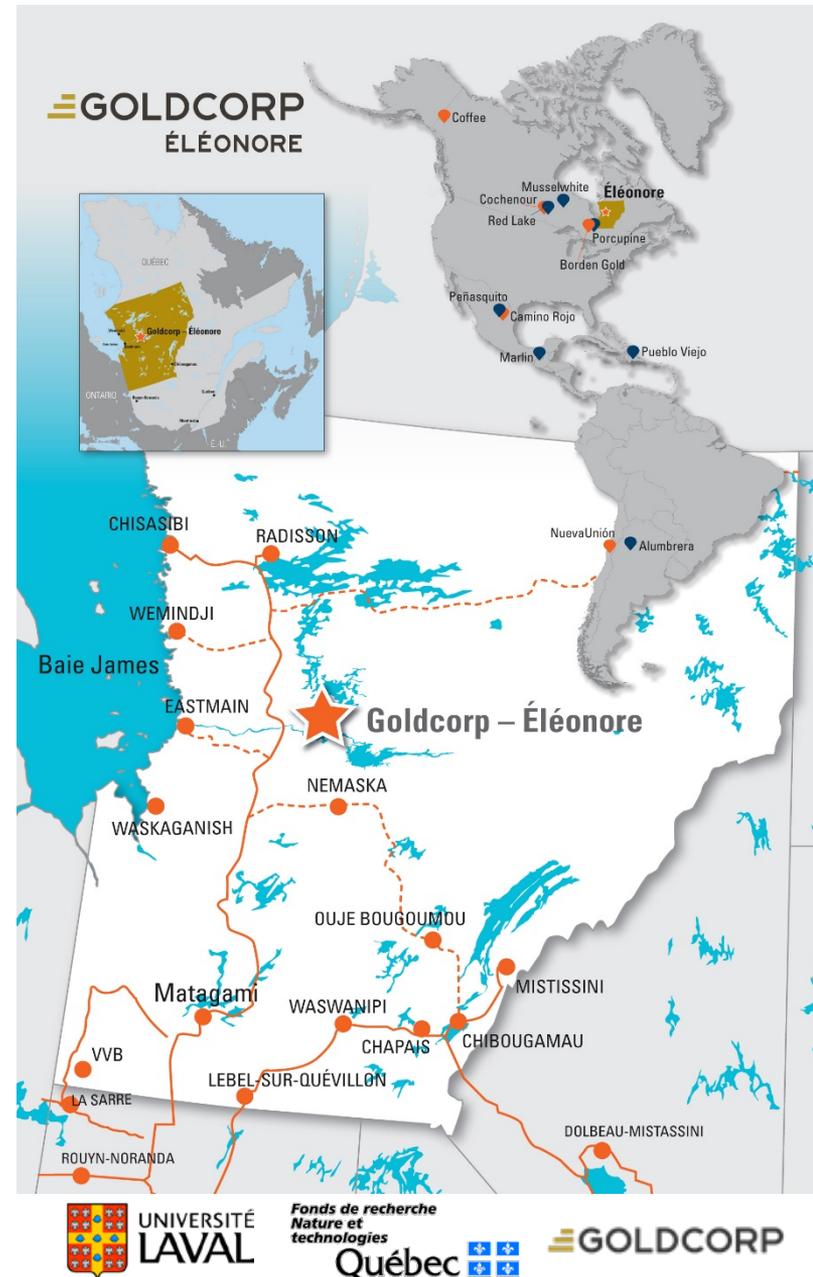
Présentation

- 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

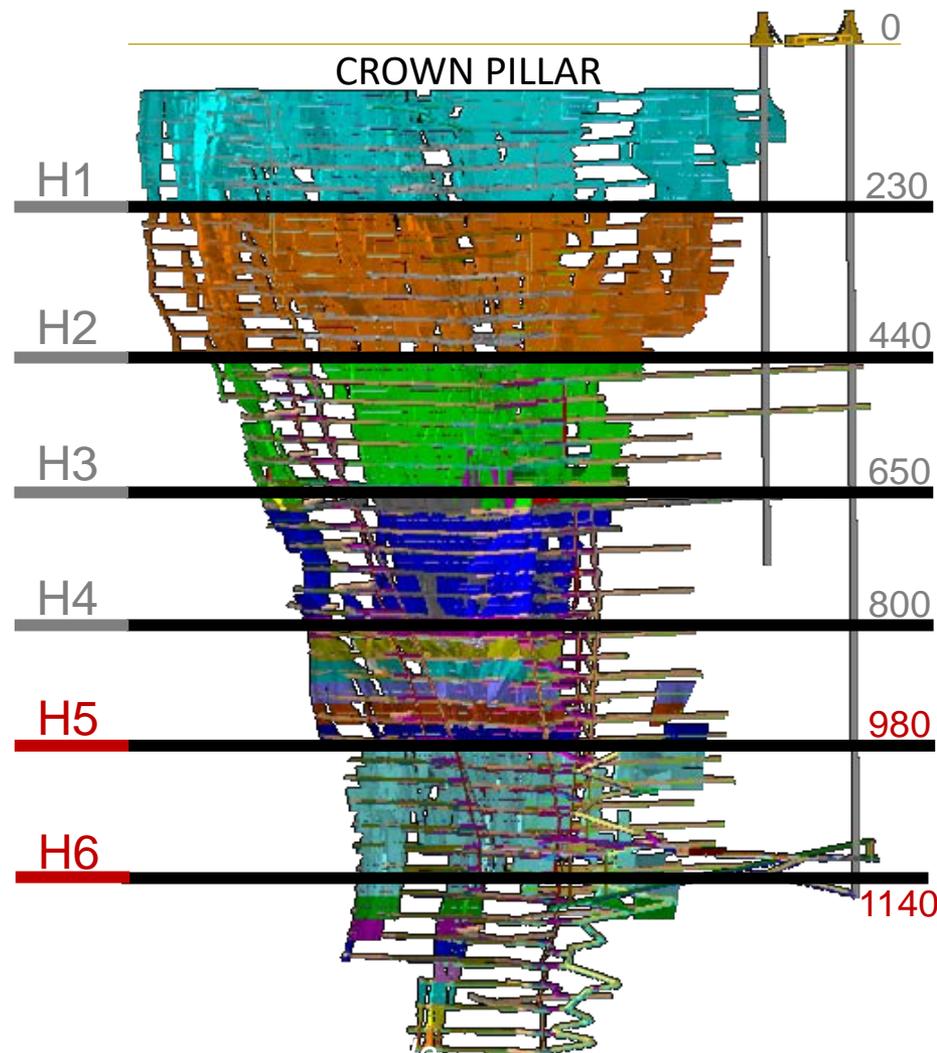


<http://www.goldcorp.com/English/Investor-Resources/News/News-Details/2005/GoldcorpToAcquirelonoreGoldProjectFromVirginiaGold/default.aspx>

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

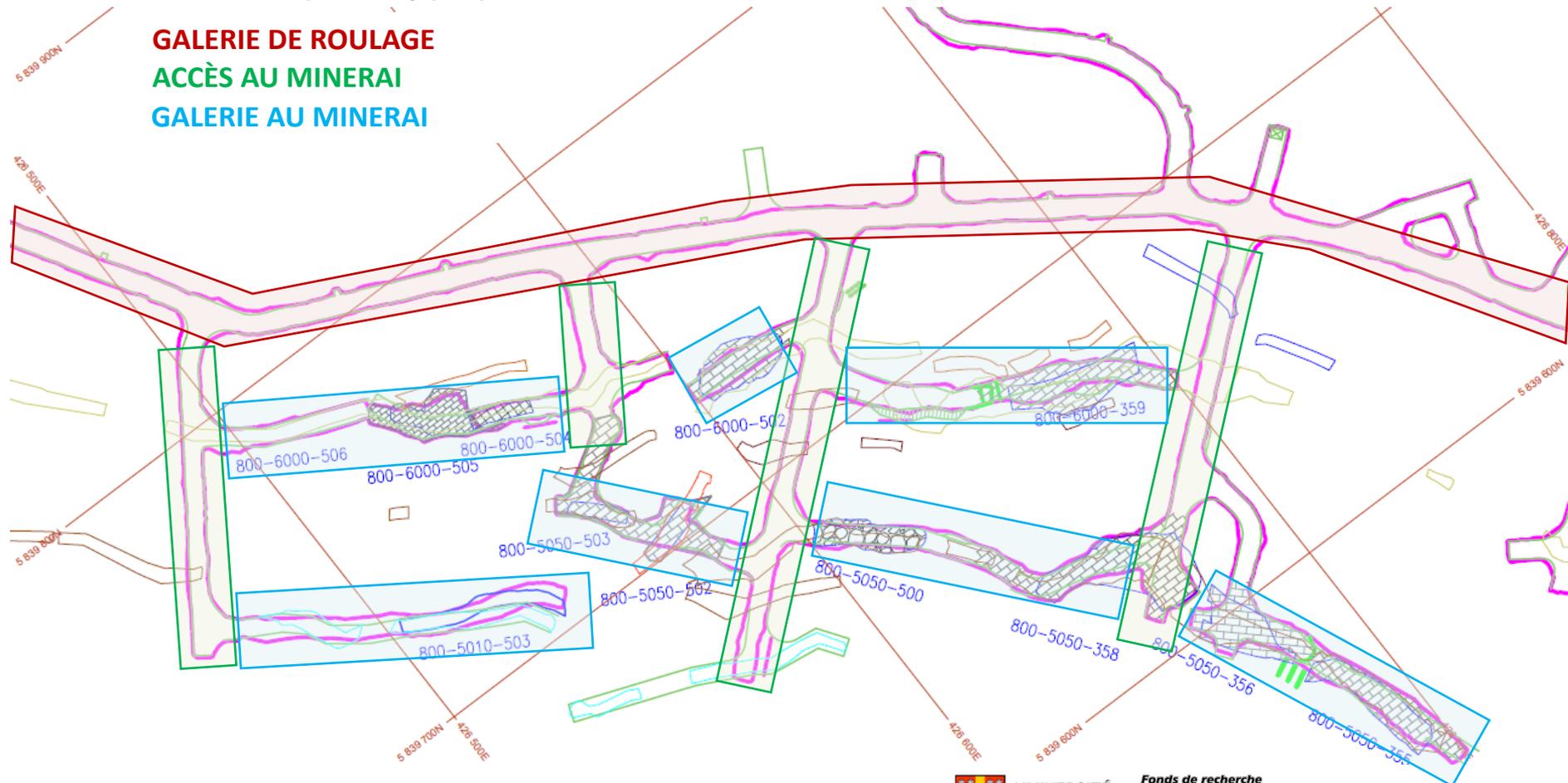
Mine Éléonore

- Vue en plan typique d'un niveau

GALERIE DE ROULAGE

ACCÈS AU MINÉRAI

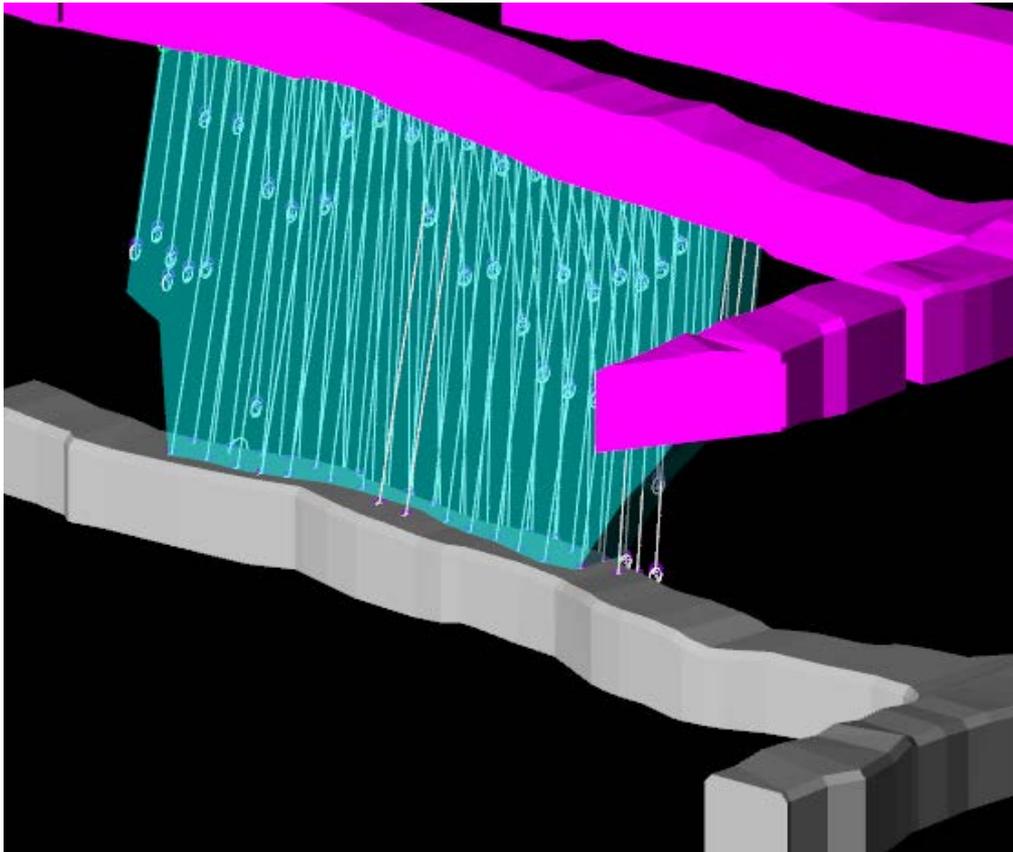
GALERIE AU MINÉRAI



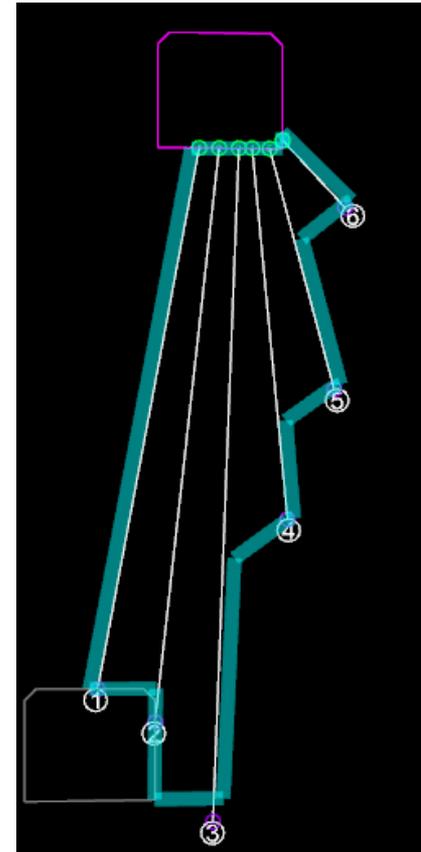
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

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

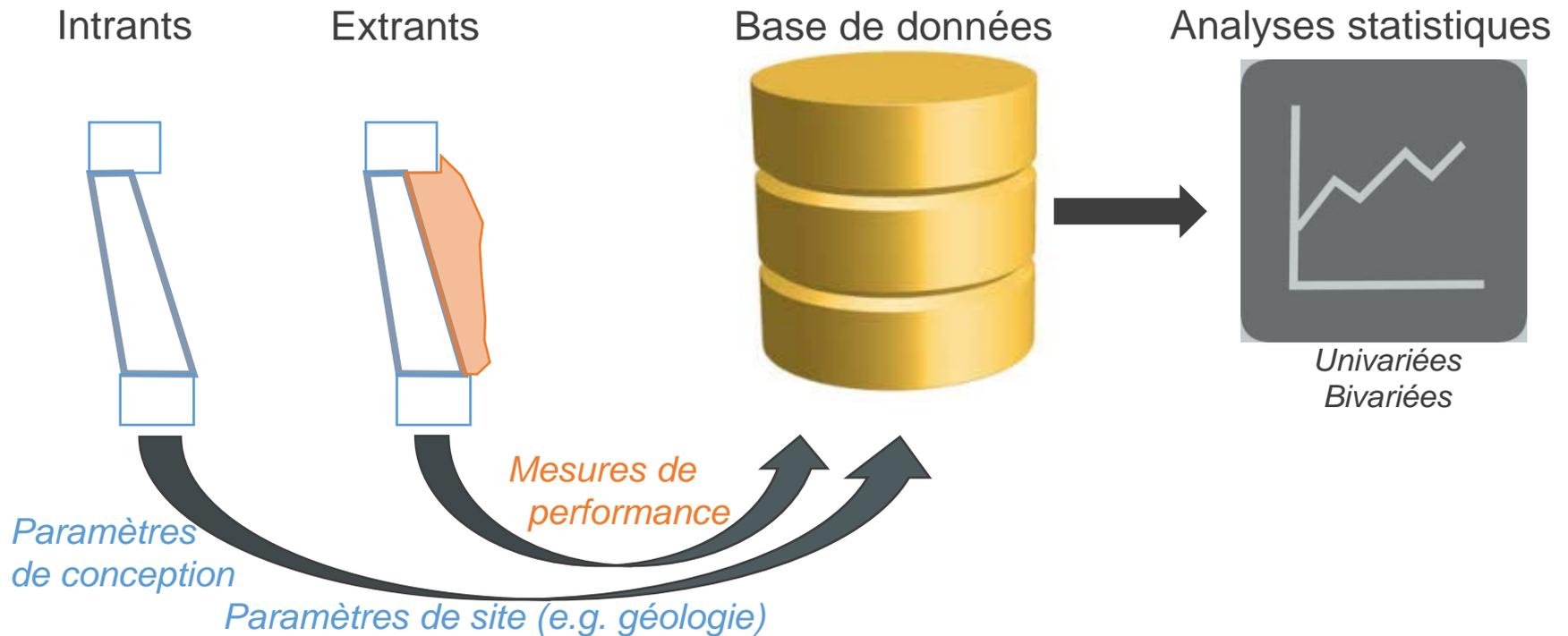
Présentation

- 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

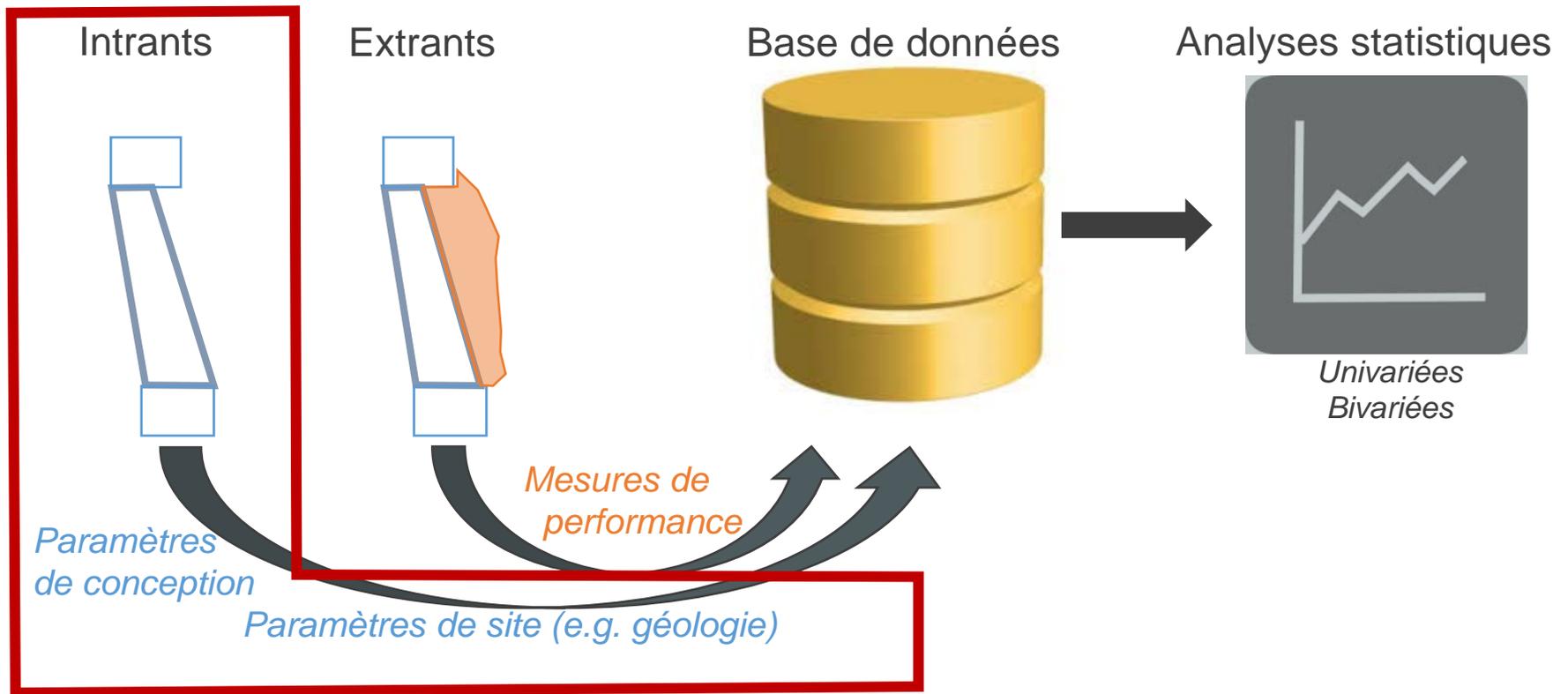
Flux de travail de l'analyse



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
 - Géométrique
 - Géologique
 - Forage-saut.
 - Temporel

{ - Centre de gravité (x,y,z)
- Niveau/Horizon

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
 - Géométrique { - 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
 - Géométrique
 - Géologique
 - Forage-saut.
 - Temporel
- Distance à la structure
- Orientation de la structure par rapport au chantier
[NA, perpendicular, parallel to HW, parallel to FW]

Base de données

Intrants

- 105 chantiers avec de multiples intrants :
 - Localisation
 - Minage
 - Géométrie
 - Géologique
 - Forage-saut. {
 - 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 [*Parallele, Fanned, 50-50*]
 - Temporel

Base de données

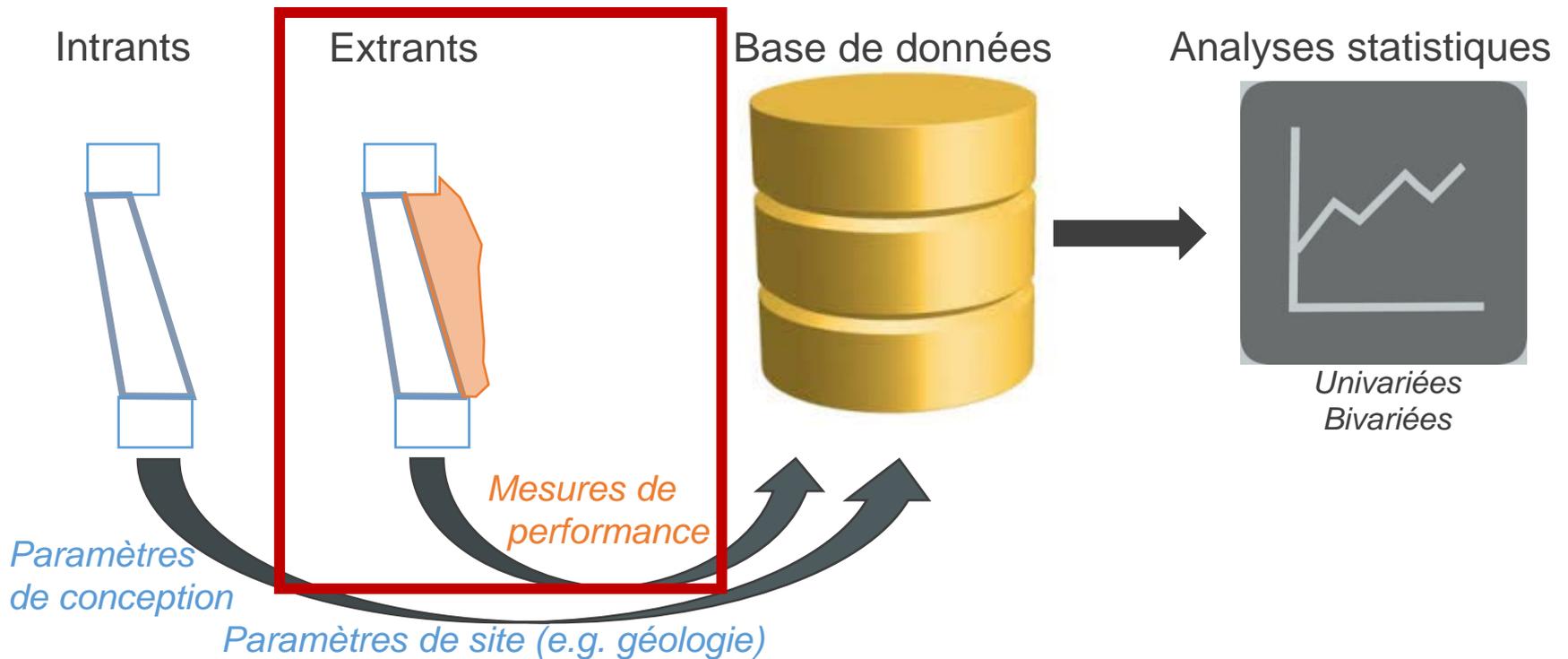
Intrants

- 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



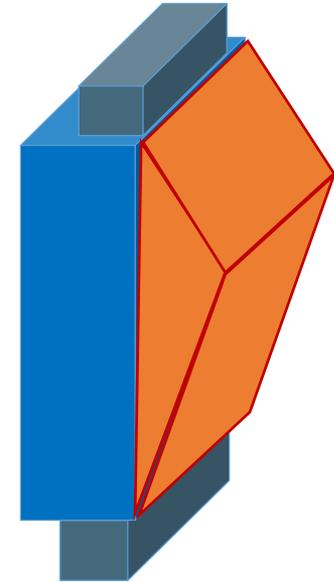
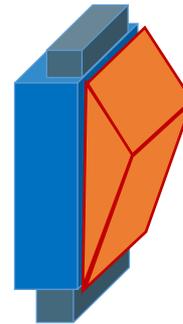
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

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)*

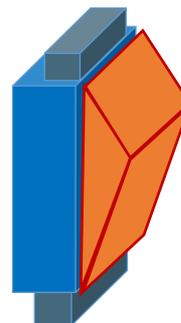
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Base de données

Extrants (HW, FW, murs, toit)

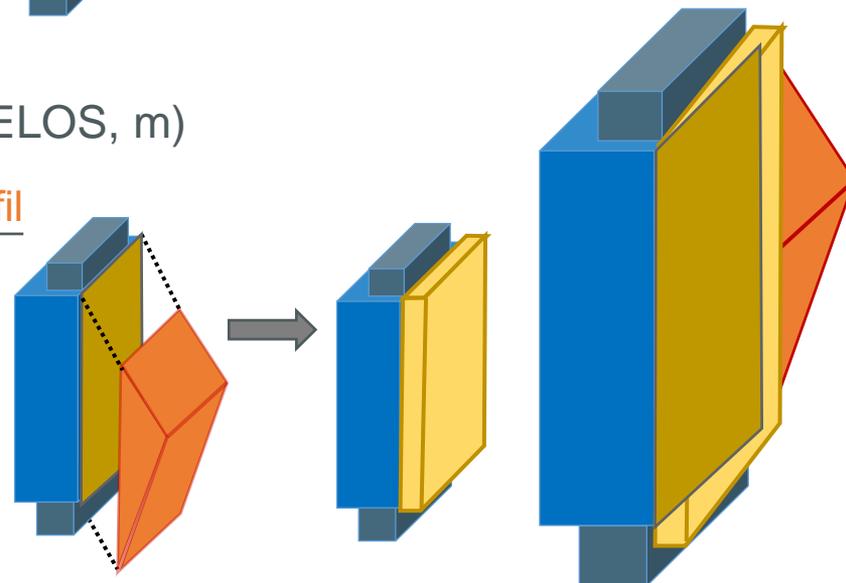
- Bris hors-profil (%)

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



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

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

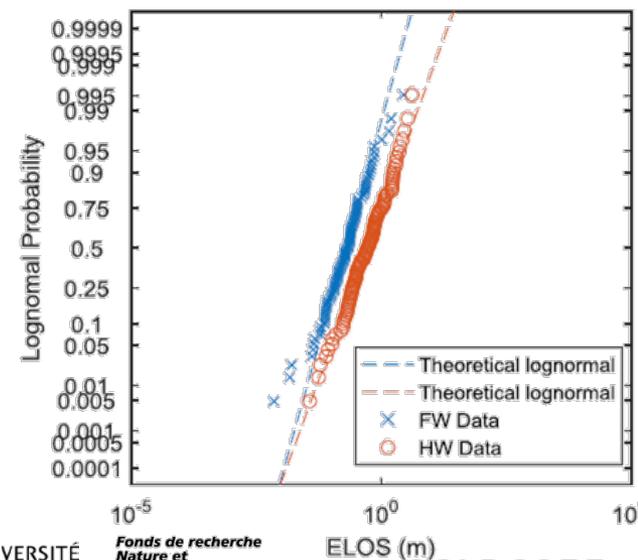
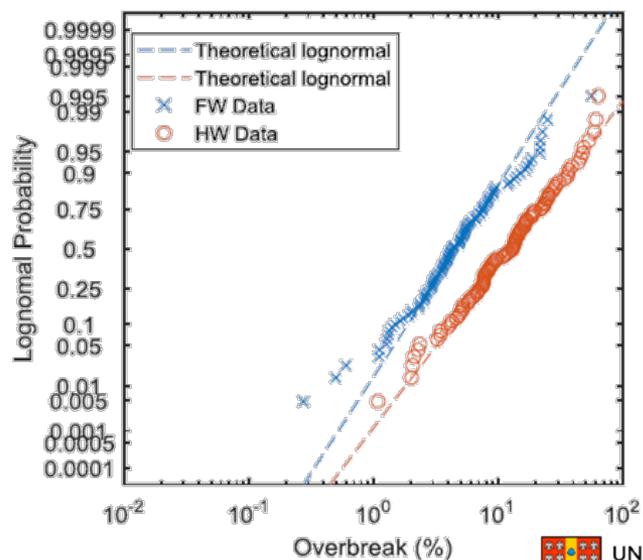
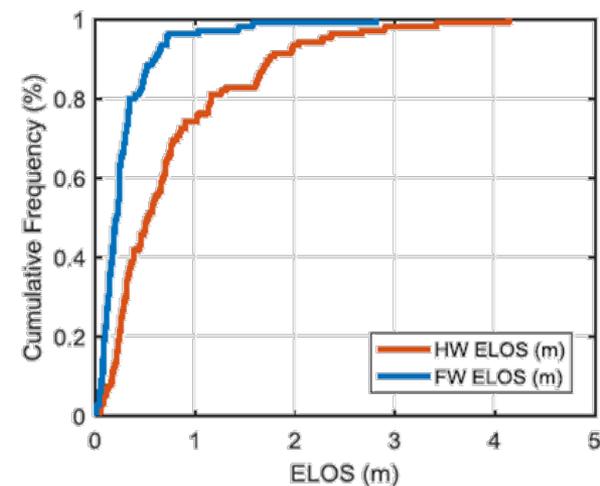
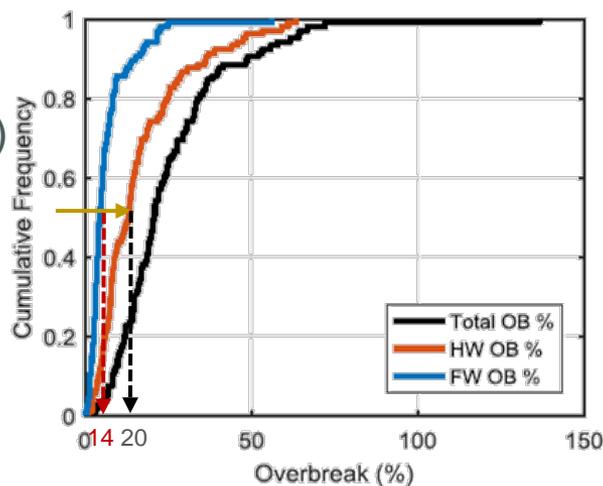


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Base de données

Extrants

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



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

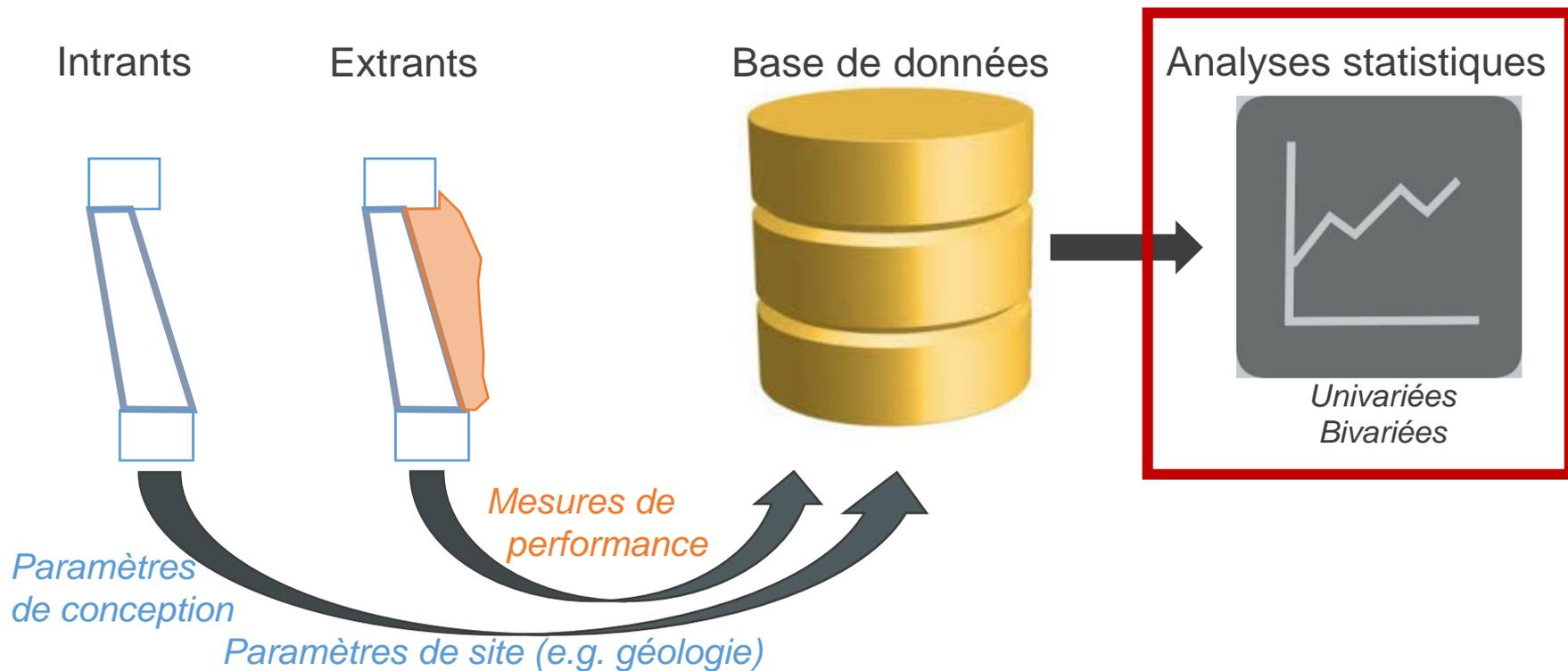
Présentation

- 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)

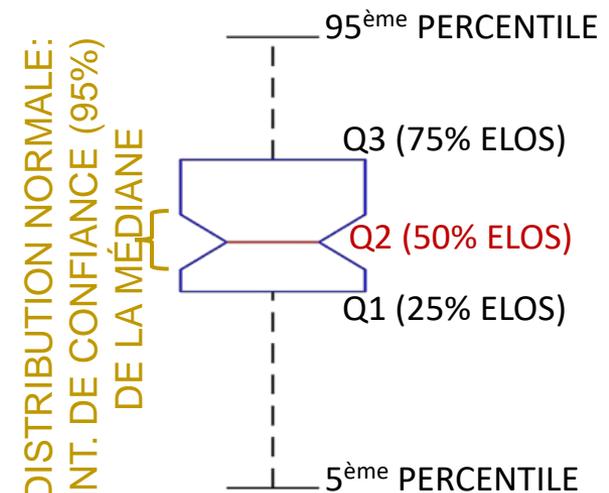
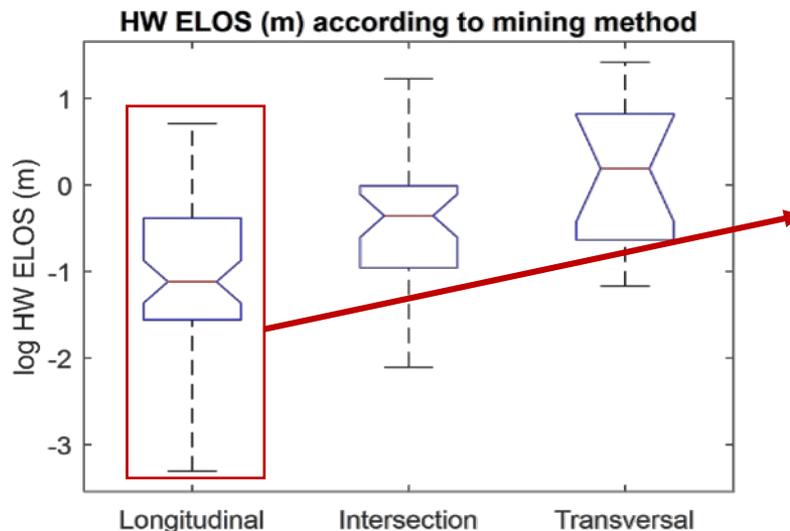
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

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)



Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

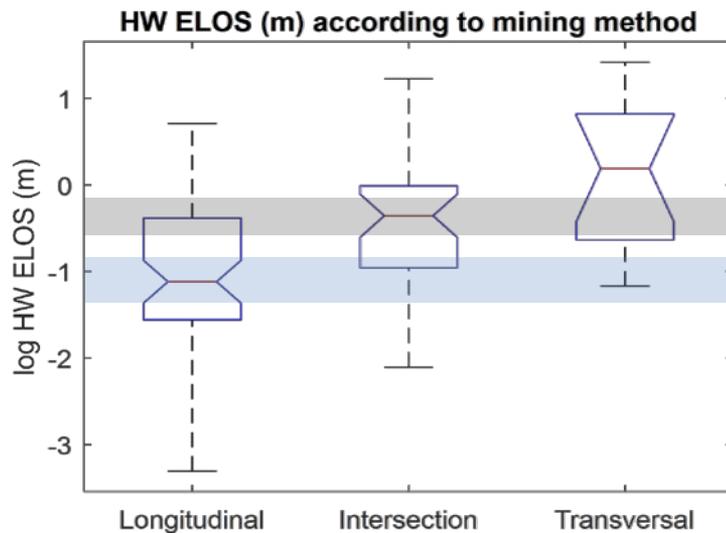
Analyses statistiques

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

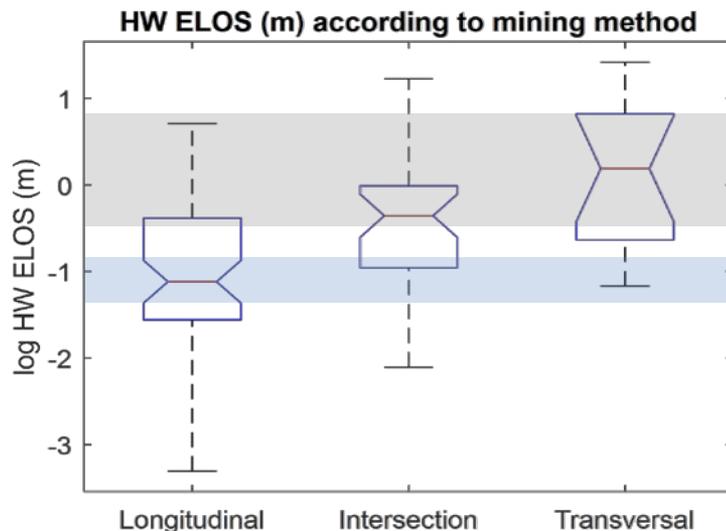
Analyses statistiques

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.)

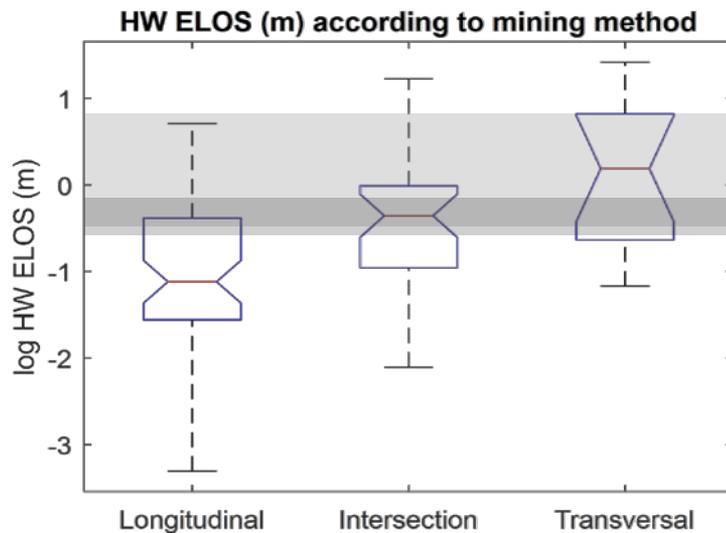
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

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)



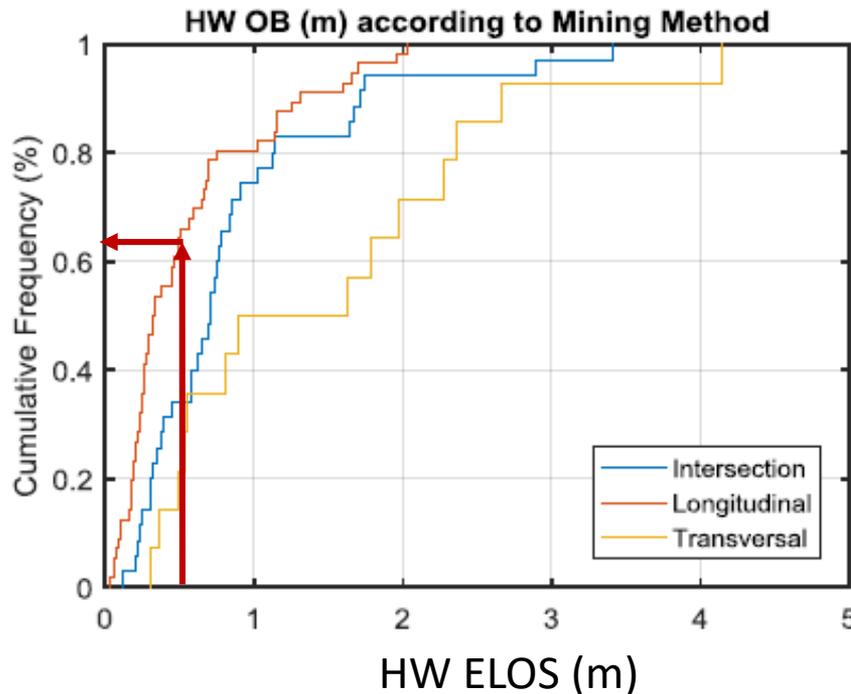
Transversal et Intersection ne sont pas significativement différents (95% conf.)

Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Analyses statistiques

Analyses bivariées

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



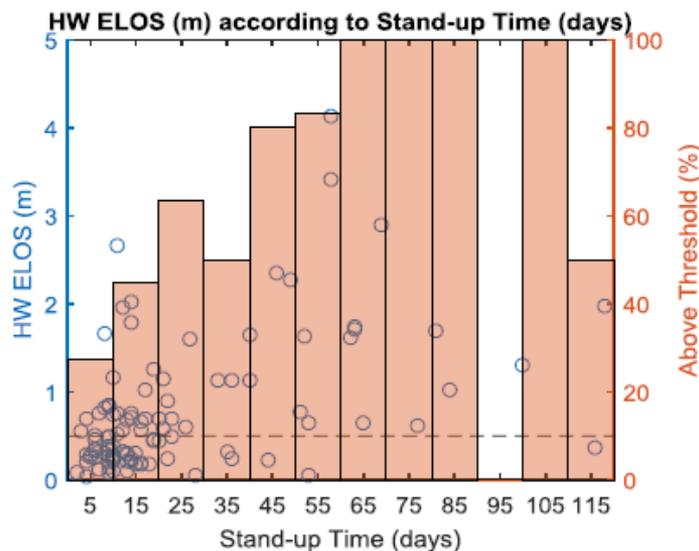
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

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



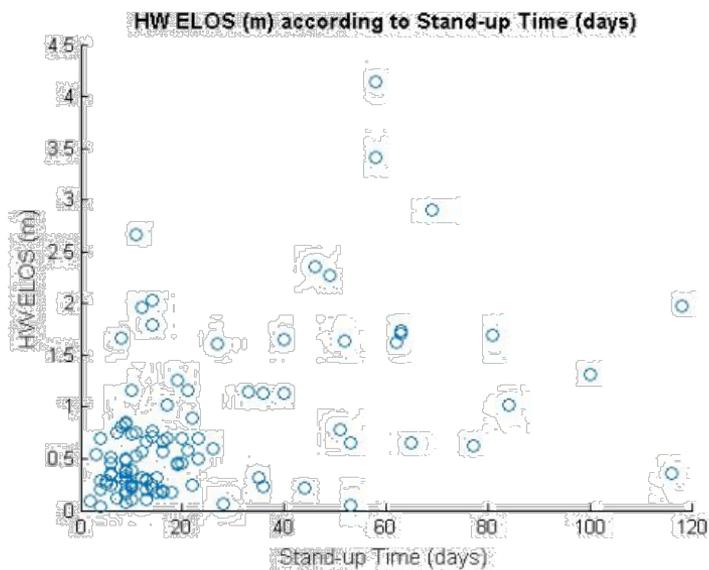
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

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 ?

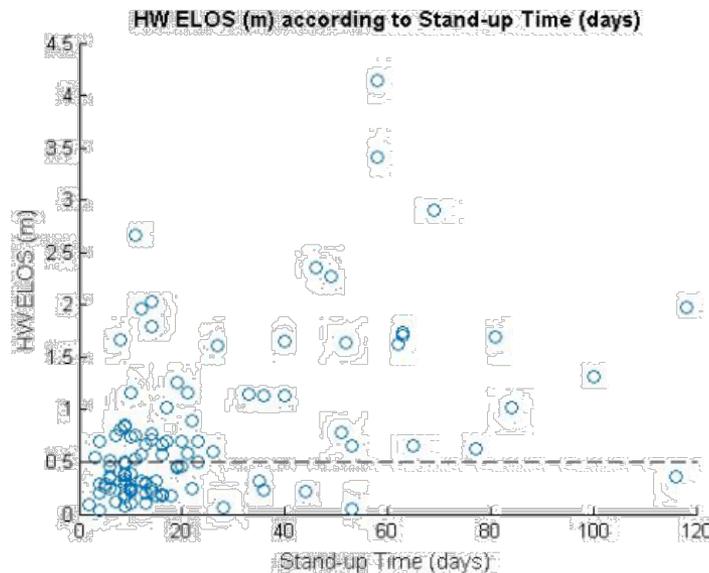
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

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

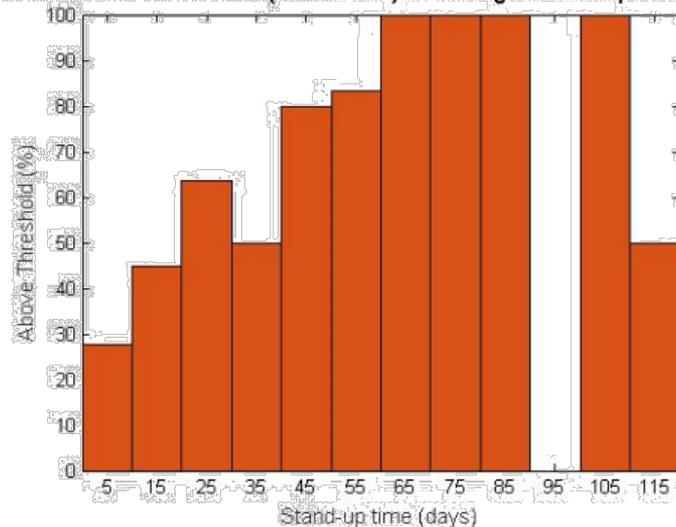
Analyses statistiques

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

Percent above threshold (0.5 m ELOS) according to Stand-up Time (days)



- 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

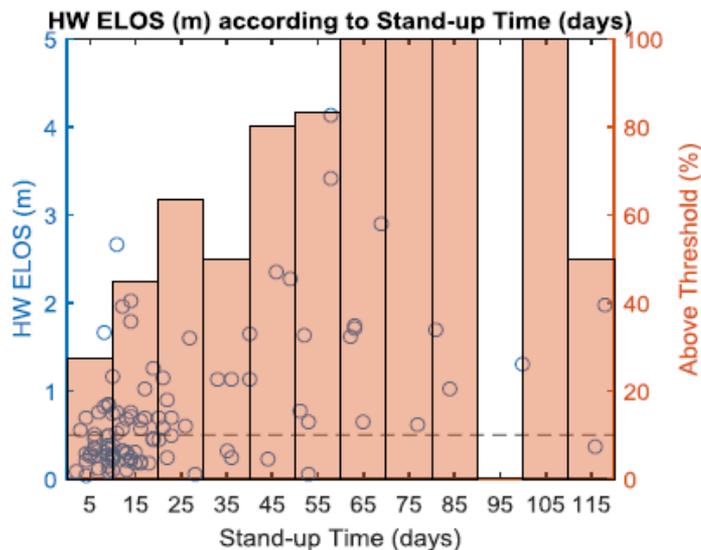
Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

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



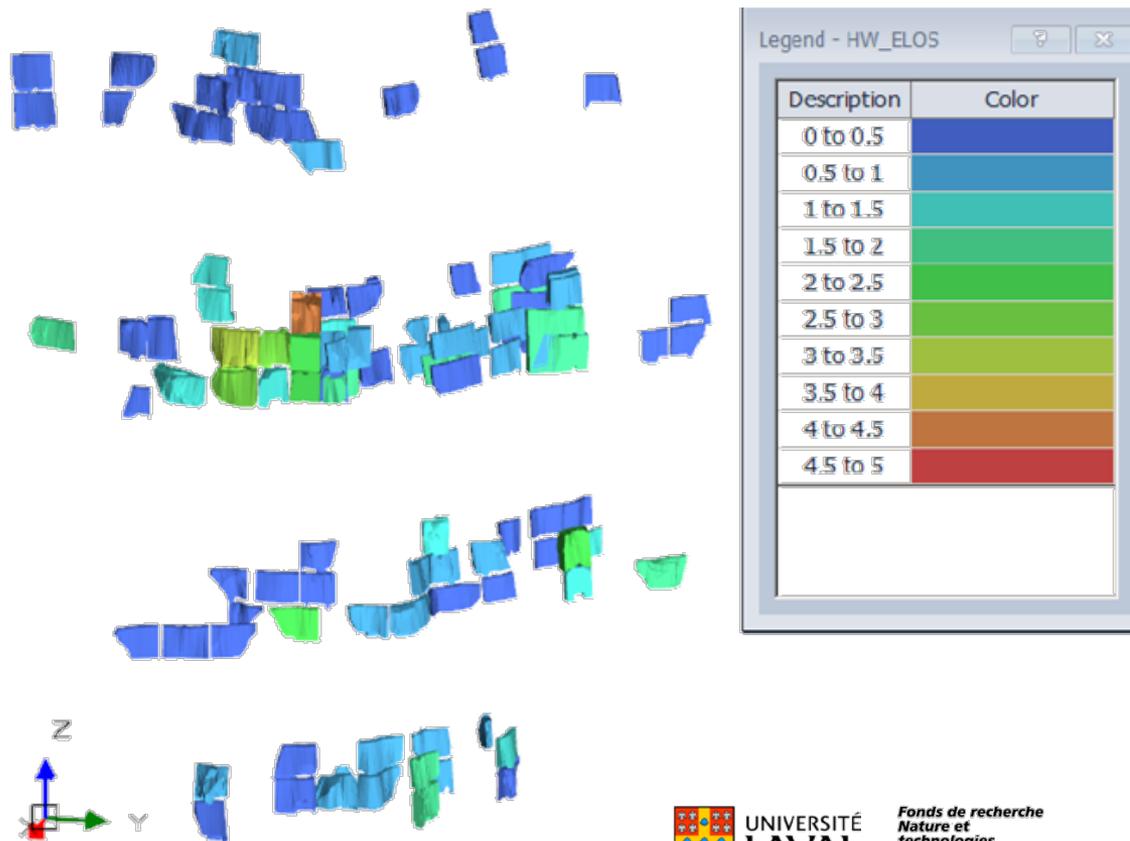
- 1) **Marqueurs bleus** :
nuage de points → corrélation faible ?
- 2) **Ligne pointillée**:
seuil acceptable de 0.5 m ELOS
- 3) **Barres rouges**:
histogramme du % au-dessus du seuil

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

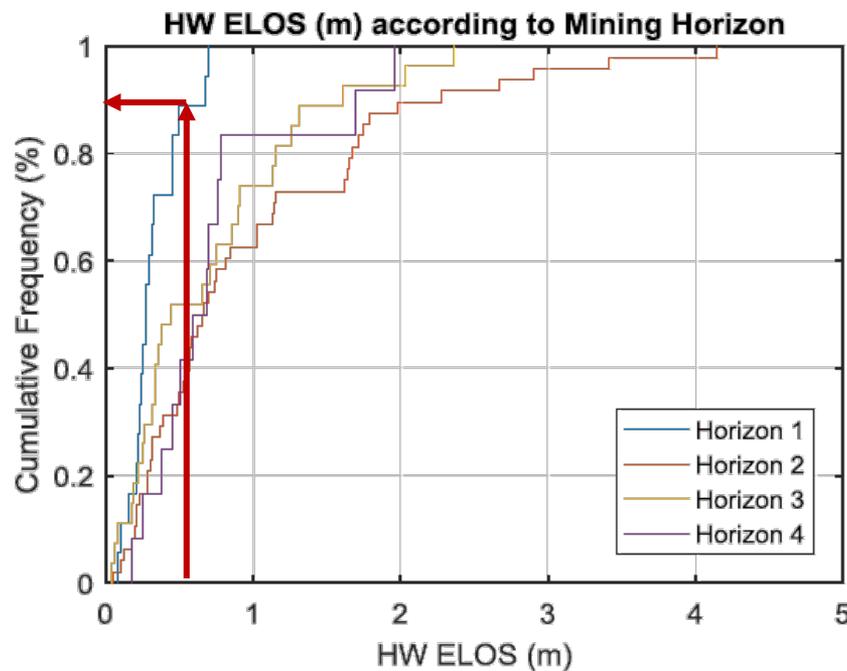


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Résultats: Analyses statistiques

Analyses bivariées

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

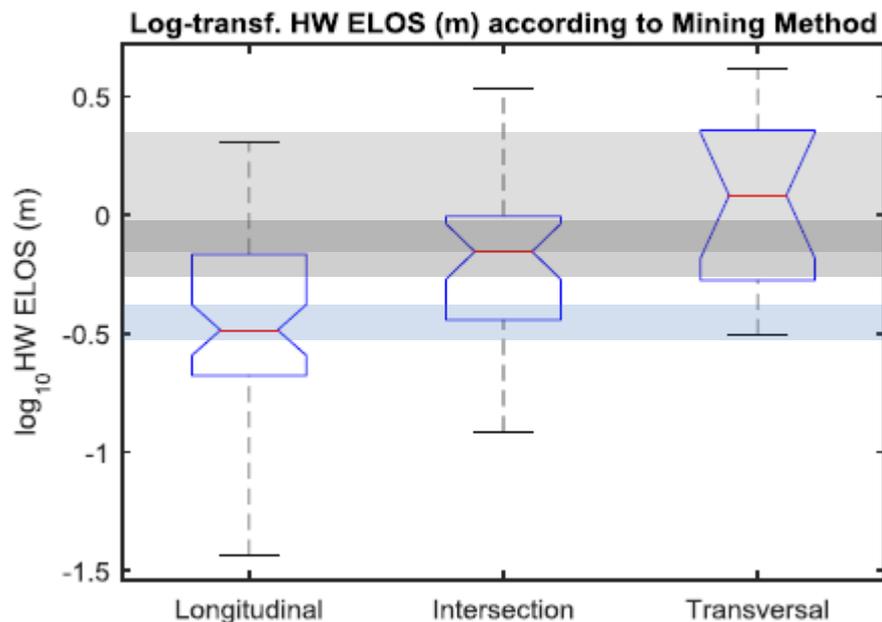


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Résultats: Analyses statistiques

Analyses bivariées

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

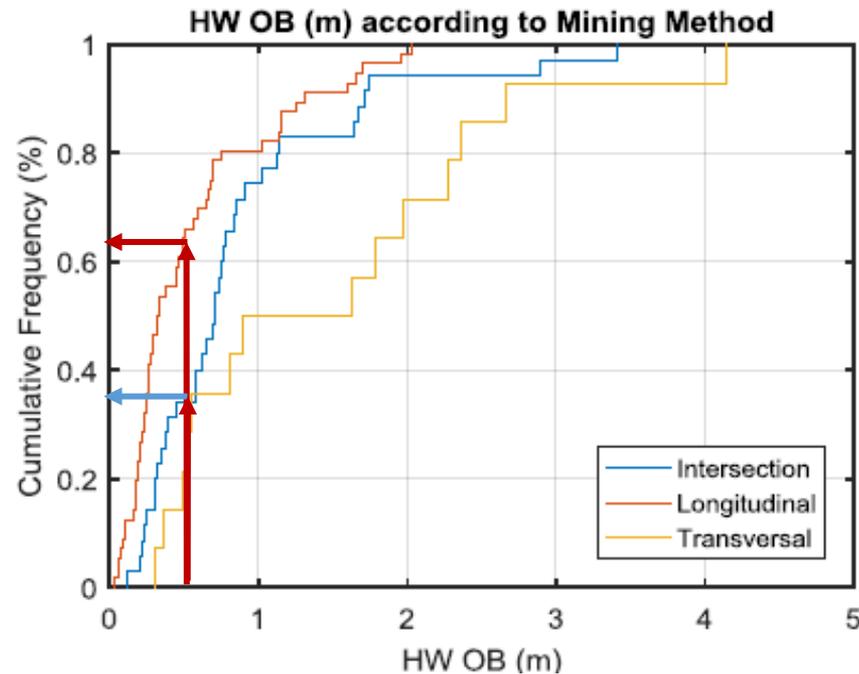
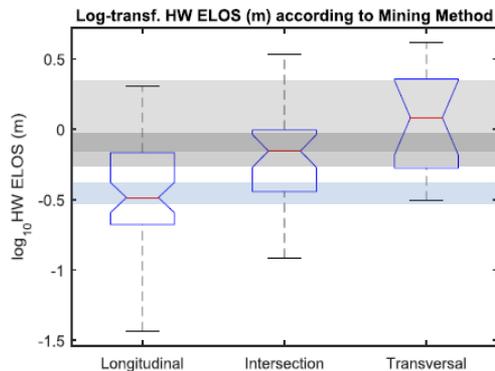


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Résultats: Analyses statistiques

Analyses bivariées

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

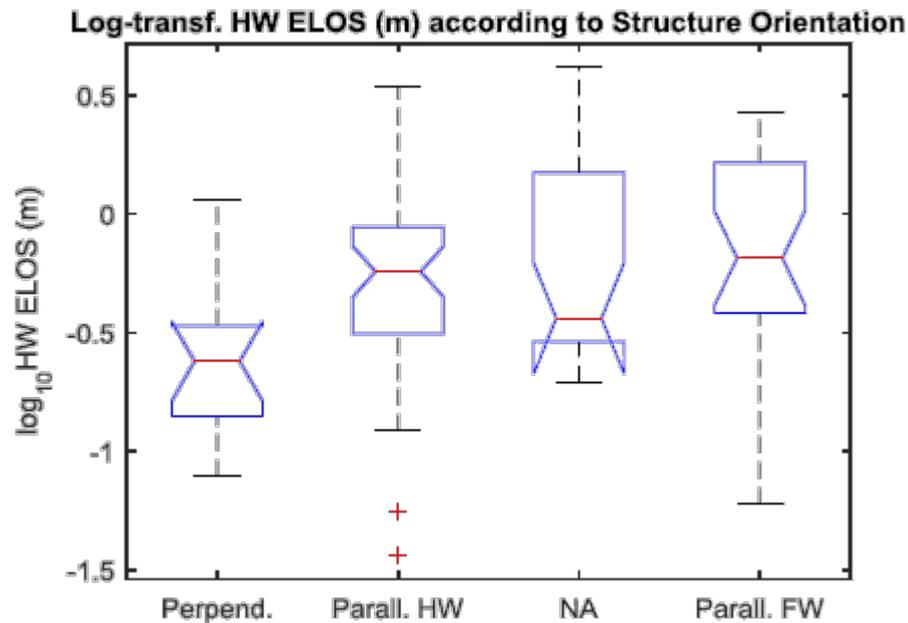


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Résultats: Analyses statistiques

Analyses bivariées

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

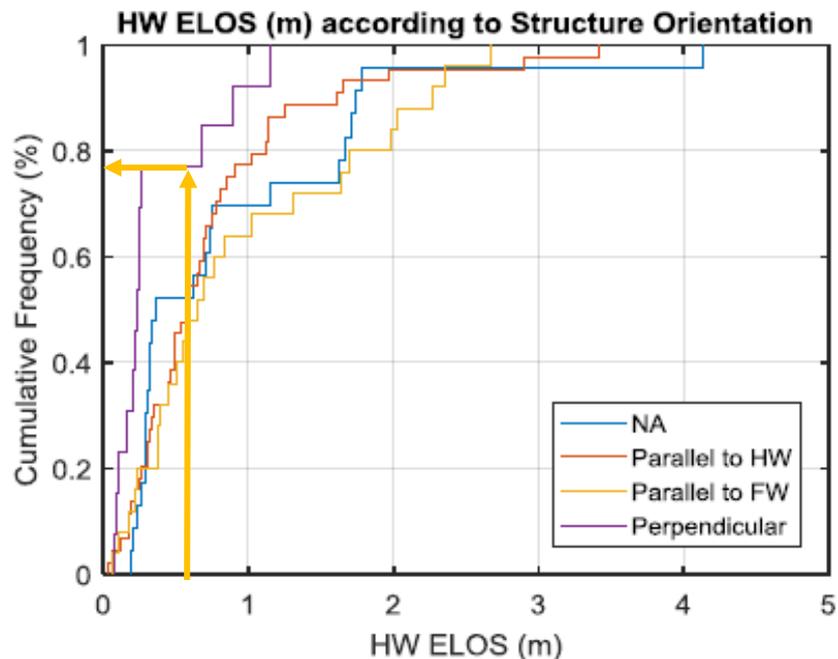
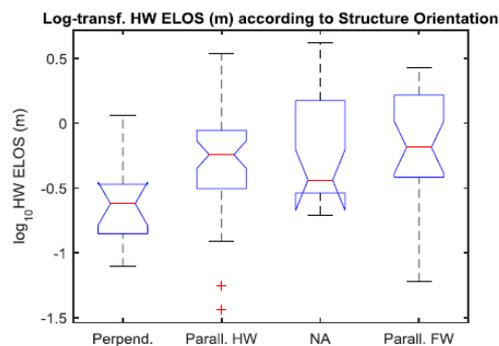


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Résultats: Analyses statistiques

Analyses bivariées

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

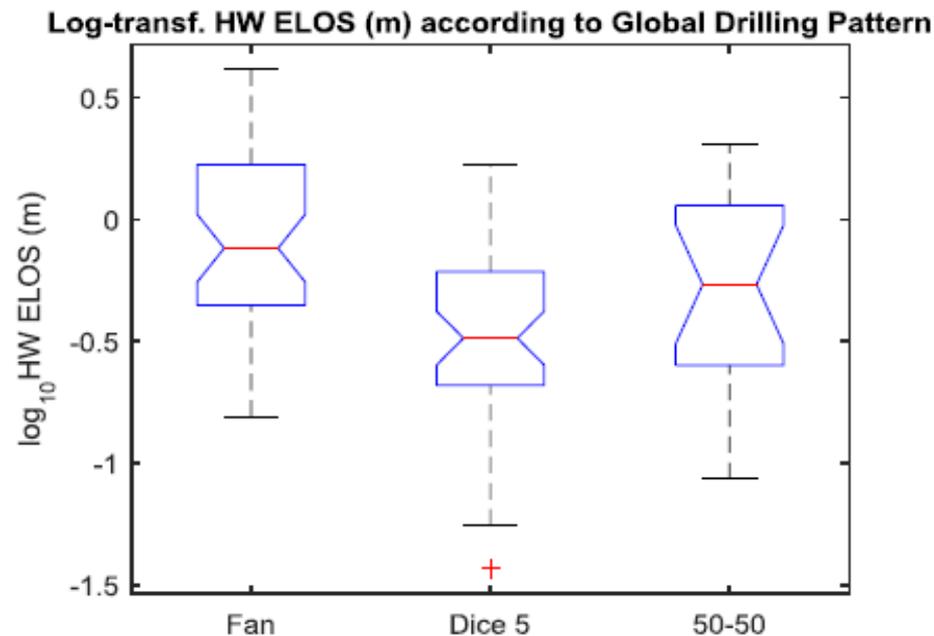


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Résultats: Analyses statistiques

Analyses bivariées

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

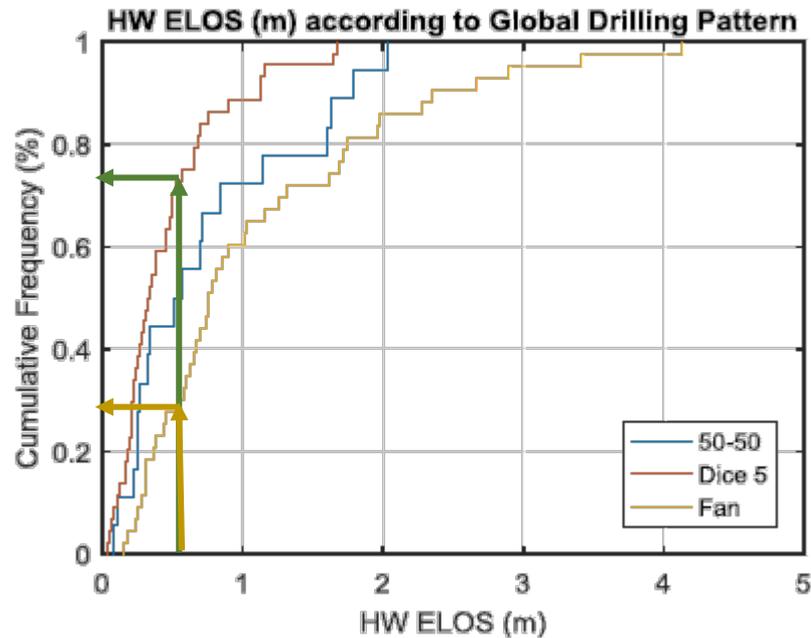
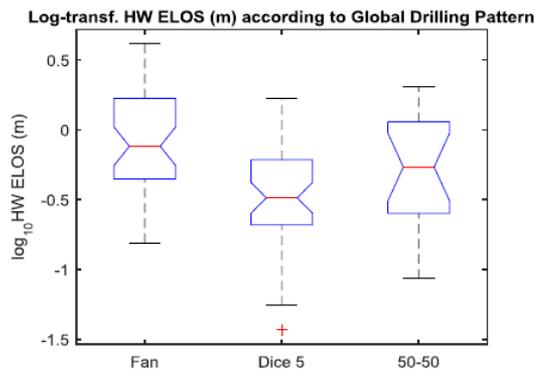


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

Résultats: Analyses statistiques

Analyses bivariées

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

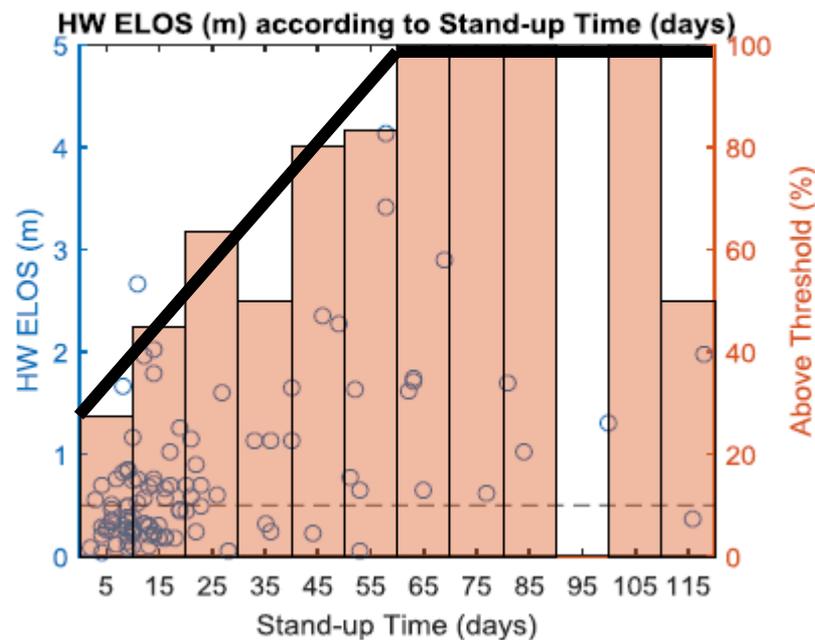


Paramètres contrôlant la stabilité des chantiers miniers à la mine Éléonore

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 |
| ▪ Géométrique | 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

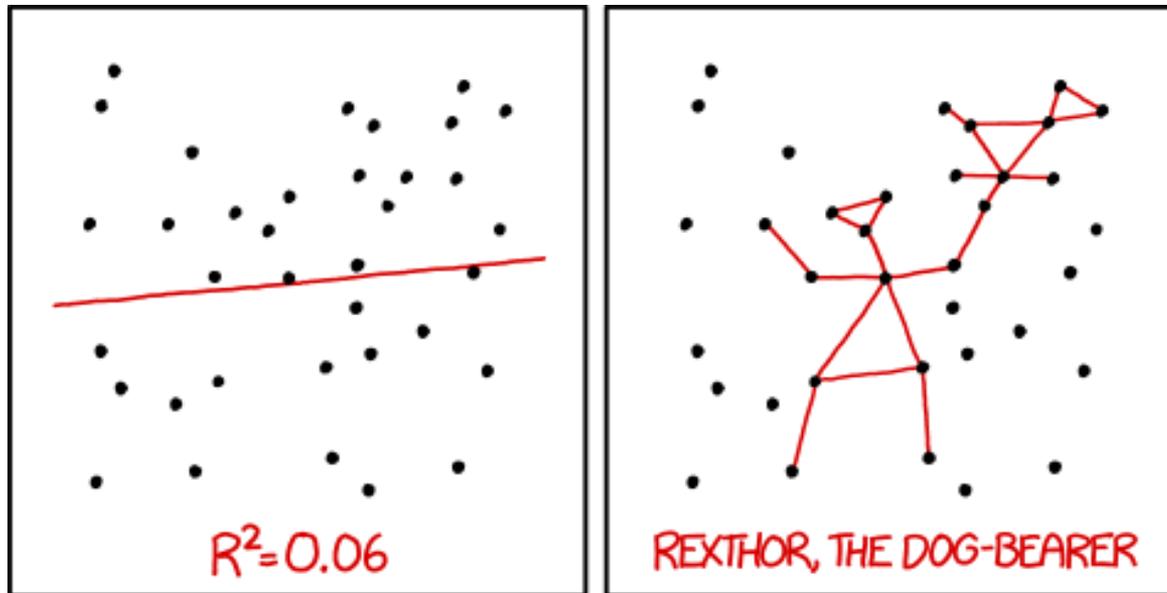
**Fonds de recherche
Nature et
technologies**

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.