

---

# DISCRIMINATION DE L'ALTERATION POTASSIQUE PAR LES NOUVEAUX OUTILS PORTATIFS D'ANALYSE

---

Projet 2017-04

Par : Jérôme Lavoie, Ing., M.Sc.A.  
O.I.Q. #127 127



**CONSOREM**

Consortium de recherche  
en exploration minérale

---

## AVERTISSEMENT

---

Ce document présente certains résultats des travaux de recherche du CONSOREM (Consortium de Recherche en Exploration minière) rendus publics pour le bénéfice de l'ensemble de la communauté géologique, ceci après la période de confidentialité prévue aux règlements généraux du CONSOREM.

Le contenu du document demeure la propriété de son auteur et du CONSOREM et peut être reproduit en totalité ou en partie à des fins non-commerciales en citant la référence suivante :

*Lavoie, J., 2019. Discrimination de l'altération potassique par les nouveaux outils portatifs d'analyse. Rapport, Projet CONSOREM 2017-04, 59 p.*

Toutefois, la reproduction multiple de ce document, en tout ou en partie, pour diffusion à des fins commerciales est interdite, sauf avec la permission écrite de CONSOREM.

### CONSOREM

Université du Québec à Chicoutimi  
555, boulevard de l'Université  
Chicoutimi, QC, G7H 2B1

Tél. : (418) 545-5011 poste 5634

Courriel : [consorem@U.Q.A.C..ca](mailto:consorem@U.Q.A.C..ca)

Site Web: [www.consorem.ca](http://www.consorem.ca)

---

## SOMMAIRE EXÉCUTIF

---

Avec la prolifération de nouveaux appareils de détection portatifs (ADP) sur le marché et une offre de plusieurs technologies, quelle méthode choisir entre toutes celles disponibles selon les besoins spécifiques des entreprises d'exploration? La réponse à cette question peut avoir une implication sur les campagnes d'exploration lorsque que vient le temps de prendre des décisions en temps réel sur le terrain pour vectoriser, par exemple, l'altération ou la minéralisation. Le projet 2017-04 a pour objectifs d'établir les performances et les limites de certains appareils de détection portatifs à partir d'une validation expérimentale pour une application en contexte géologique connu. Deux (2) méthodes d'analyses furent sélectionnées dans le cadre de ce projet, soit la Fluorescence-X et la Spectroscopie infrarouge.

La première partie du projet fut l'élaboration d'un protocole d'utilisation unifié pour deux types d'appareils de détection portatifs par le biais d'une revue de la littérature. Le protocole élaboré provient majoritairement des travaux de Gazley et *al.* (2015) et de Fisher et *al.* (2014). Le protocole d'utilisation englobe tout le processus d'utilisation des ADP à partir de la relation et de la sélection des échantillons, en passant par la calibration des appareils, de la préparation des échantillons, du protocole d'analyse jusqu'au traitement des données. Cette revue a également permis de produire une synthèse des avantages et des désavantages de chacune des deux méthodes d'analyse ainsi qu'un tableau de quelques études de cas provenant de la littérature.

Le projet a également permis d'établir les performances et les limites pour la discrimination et la quantification de l'altération potassique (altération phyllique et biotitisation), une altération commune associée à plusieurs contextes de minéralisation et qui est difficile à reconnaître sur le terrain. Ainsi des carottes de forages ont été prélevées chez les partenaires du CONSOREM, ceci pour différents contextes métallogéniques: (1) des minéralisations en métaux de base associées à des sulfures massifs volcanogènes (SMV); (2) des minéralisations aurifères encaissées dans des intrusions et (3) des minéralisations aurifères associées à des zones de cisaillement. Des lames minces et des analyses lithogéochimiques ont été réalisées sur ces échantillons pour les fins de la comparaison.

Le projet a permis de démontrer que les résultats de la fluorescence-X représentent bien l'altération potassique. La quantification de de cette altération obtenue par la méthode des bilans de masse par précurseurs modélisés (Trépanier et *al.*, 2016) et calculée à partir des analyses lithogéochimiques effectuées en laboratoire, est reflétée par les contenus en  $K_2O\%$  mesurés avec l'ADP à fluorescence-X. Plus l'altération potassique augmente en intensité (visible par le bilan de masse absolue calculé pour 100 g. de roche), plus la valeur en  $K_2O\%$  mesurée à la fluorescence-X augmente. Cette relation a été observée sur 2 des 3 sites d'études sélectionnés (secteurs B26 et Canadian Malartic). La quantification de cette altération peut donc se mesurer rapidement, nécessite peu de manipulation et peut se faire *in-situ*, directement sur les carottes de forage au site d'exploration. Les géologues sont alors en mesure de suivre et de vectoriser en temps réel l'altération potassique, et ainsi optimiser les campagnes d'exploration.

Finalement, les analyses effectuées à la spectroscopie infrarouge ont été comparées aux minéraux calculés par la Norme CONSONORM\_LG (Trépanier et *al.*, 2015) et la Norme CONSONORM\_HG (Mathieu et *al.*, 2016) à partir des analyses lithogéochimiques. Dans le deux tiers des cas (30 échantillons), les minéraux d'altération potassique détectés par cette méthode

concordent avec les minéraux d'altération potassique calculés par les deux CONSONORM ( $\Sigma$ Micas Blancs% et  $\Sigma$ Biotite%). Seuls 2 des échantillons montrent des résultats non concordants. La méthode d'analyse par spectroscopie infrarouge fonctionne bien sur chacun des secteurs choisis et plus particulièrement sur les échantillons provenant du secteur B26 (contexte SMV).

Le projet 2017-04 a permis l'élaboration d'un protocole complet et unifié pour l'utilisation des appareils de détection portatifs (ADP) à la Fluorescence-X et à la Spectroscopie infrarouge. De plus, le projet a pu démontrer que les résultats de la fluorescence-X représentent bien l'altération potassique. Plus l'altération potassique augmente en intensité, plus la valeur en  $K_2O\%$  mesurée à la fluorescence-X augmente. Cette relation permet, avec une simple analyse rapide de quelques minutes à la fluorescence-X, de quantifier et de vectoriser en temps réel l'altération potassique lors d'une campagne d'exploration. En connaissant l'intensité de cette altération, les géologues seront en mesure d'optimiser leurs campagnes. La méthode peut également être couplée avec une analyse à la spectroscopie infrarouge pour valider la présence des minéraux d'altération potassique (micas blancs et biotite). La combinaison des deux ADP permet ainsi d'augmenter la performance de détection des altérations potassiques.

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

Avertissement .....	i
SOMMAIRE EXÉCUTIF .....	1
Table des matières .....	3
Liste des figures .....	4
Liste des Tableaux.....	6
Liste des Annexes .....	7
1 INTRODUCTION .....	8
1.1 Problématique .....	8
1.2 Objectifs .....	9
2 THÉORIES ET CONCEPTS .....	9
2.1 Fluorescence-X.....	9
2.2 Spectroscopie infrarouge.....	11
3 APPAREILS DE DÉTECTION PORTATIFS UTILISÉS .....	12
4 PROTOCOLE D'UTILISATION UNIFIÉ DES ADP .....	13
4.1 Introduction .....	13
4.2 Description du protocole .....	13
4.2.1 Recommandations analyseur portatif à la fluorescence-X.....	16
4.2.2 Recommandations analyseur portatif à la spectroscopie infrarouge.....	17
5 MÉTHODOLOGIE DE LA VALIDATION EXPÉRIMENTALE .....	17
5.1 Introduction .....	17
5.2 Descriptions des sites d'études .....	17
5.2.1 Gîte B26 (SOQUEM) .....	18
5.2.2 Gisement Canadian Malartic (Partenariat Yamana Gold Inc. Et Mines Agnico Eagle Ltée.) .....	19
5.2.3 Gisement Lapa (Mines Agnico Eagle Ltée.) .....	19
5.3 Relation et sélection des échantillons .....	19
5.4 Analyses .....	21
5.4.1 Fluorescence-X.....	21
5.4.2 Spectroscopie infrarouge.....	22
5.4.3 Lithogéochimie .....	23
5.4.4 Lames minces .....	24
5.5 Traitement des données .....	24
6 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS .....	25
6.1 QA/QC fluorescence-X.....	25
6.1.1 Blanc .....	25
	3

6.1.2	Limite de détection ( <i>LOD</i> ).....	26
6.1.3	Variabilité des analyses par la fluorescence-X sur le $K_2O\%$ .....	27
6.1.4	Précision et justesse des analyses par la fluorescence-X sur le $K_2O\%$ de l'étalon KPT-1 30	
6.2	Comparaison entre la méthode d'analyse à la fluorescence-X et la lithogéochimie (Bilan de masse par modélisation des précurseurs).....	32
6.2.1	Résultats.....	32
6.2.2	Synthèse.....	36
6.3	Comparaison entre la méthode d'analyse à la spectroscopie infrarouge et la lithogéochimie (CONSONORM_LG et CONSONORM_HG) .....	37
6.3.1	Résultats.....	37
6.3.2	Synthèse.....	41
7	DISCUSSION .....	42
8	CONCLUSIONS .....	42
	LIVRABLES .....	43
	REMERCIEMENTS.....	43
	RÉFÉRENCES .....	44
	ANNEXES.....	47

---

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1 : Schématisation d'un impact d'un faisceau de rayons X sur un atome et les réactions typiques qui en découleront. L'électron de la couche L prendra l'espace laissé vacant dans la couche K et un rayon $X K\alpha$ est alors émis. Si l'électron provient de la couche M, un rayon $X K\beta$ serait alors produit. Figure modifiée de Hall et <i>al.</i> (2007). .....	10
Figure 2 : Transition d'un électron d'une couche à une autre couche d'électrons dans un atome et qui donne lieu à différentes émissions de lignes de rayons X. Les rayons X émis sont caractéristique de chaque atome et fournis une identification qualitative de l'élément tandis que l'intensité fournis une analyse semi-quantitative à quantitative. Figure tirée de Hall et <i>al.</i> (2007).11	
Figure 3 : Exemples de spectre d'absorption (VNIR et SWIR) de quelques minéraux d'altération hydrothermale et métamorphique, provenant de la librairie de l'U.S. Geological Survey splib06a (Clark et <i>al.</i> , 2007). Figure tirée de Ross et <i>al.</i> , (2013). .....	12
Figure 4a : Protocole d'utilisation unifié des appareils d'analyse portatif à la fluorescence-X et à la spectroscopie infrarouge élaboré dans le cadre de ce projet. Figure modifiée de Gazley et <i>al.</i> (2015) et Fisher et <i>al.</i> (2014). .....	14
Figure 4b : Liste de paramètres concernant l'information analytique à compiler dans la base de données.....	15
Figure 5 : Localisation des 3 sites d'études (étoiles jaunes): 1) gisement B26 (Zn-Cu; SOQUEM); 2) gîte Canadian Malartic (Au; Partenariat Canadian Malartic) ; et.3) le gîte Lapa (Au; Mines Agnico Eagle Ltée). Géologie SIGÉOM et portail CONSOREM. ....	18
Figure 6 : Schéma illustrant la sélection des échantillons sur le terrain et les analyses effectuées sur les échantillons une fois transportés dans les laboratoires de l'U.Q.A.C. ....	20
Figure 7 : Photographie des 47 échantillons de forage prélevés sur les 3 sites d'études. ....	20

Figure 8 : Installation avec le *Bench-Top* utilisé avec l'analyseur Olympus® Vanta (Série M) pour les analyses à la fluorescence-X. ....21

Figure 9 : Exemple d'un échantillon (demi-carotte de forage) avec un gabarit permettant de produire des analyses systématiques avec une résolution spatiale (distance constante) à chaque 3 cm. Nombres de stations par échantillon (I) = 7 ; nombres de mesures par station (J) = 2 ; nombres de mesures totales par échantillon (N) = 14. Nombres total d'analyses à la fluorescence-X et/ou à la spectroscopie infrarouge pour le projet : N = 658 analyses sur les 47 échantillons. ....22

Figure 10 : Analyse à la main effectuée avec l'appareil TerraSpec® HALO sur un échantillon pour les analyses par la spectroscopie infrarouge. ....23

Figure 11 : Schéma illustrant la base de données combinée à partir des moyennes des 14 analyses de chaque échantillon à la fluorescence-X et à la spectroscopie infrarouge et la correspondance avec la caractérisation lithogéochimique. ....24

Figure 12 : A) Graphique des valeurs en SiO<sub>2</sub>% analysées sur le blanc par la fluorescence-X par rapport à l'ordre d'analyse dans le temps (axe des x). La ligne rouge représente la valeur théorique du blanc (99.995% SiO<sub>2</sub>), la ligne bleue représente la valeur moyenne en SiO<sub>2</sub>% analysée sur les blancs (98.9266%) et les 2 lignes noires représentent l'intervalle  $\pm 2\sigma$ . B) Blanc de type « *Silicon (IV) oxide* » utilisé dans le cadre de cette étude. ....26

Figure 12 : Oxydes et/ou éléments traces analysés par la fluorescence-X avec une excellente qualité analytique (cercle vert) et éléments traces avec une qualité analytique médiocre (cercle rouge). Les oxydes et/ou éléments traces qui se retrouvent dans la zone d'intersection (p. ex. K<sub>2</sub>O%) avaient des valeurs au-dessus et en-dessous de la limite de détection sur les 14 analyses par échantillon. ....27

Figure 13 : A) Variabilité sur le K<sub>2</sub>O% des 14 analyses par échantillon effectué par la fluorescence-X sur chacun des 3 sites d'étude. Le losange vert représentent la moyenne, le rectangle rouge les 25<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> et 75<sup>e</sup> centile et la ligne noire le minimum et la maximum K<sub>2</sub>O%. B) L'écart-type relatif en pourcentage (*RSD%*) sur le K<sub>2</sub>O% des 14 analyses par échantillon effectué par la fluorescence-X sur chacun des 3 sites d'étude. ....28

Figure 14 : A) Variabilité sur le K<sub>2</sub>O% des 14 analyses des échantillons #40958, provenant du gîte Canadian Malartic (plus forte RSD de 1.34%) et #V422758, provenant du gisement B26 (plus faible RSD de 0.07%). B) Échantillon #40958 ; roche métasédimentaire. C) Échantillon #V422758 ; roche volcanique felsique dacitique. ....29

Figure 15 : Analyses K<sub>2</sub>O% prédites (laboratoire) versus analyses K<sub>2</sub>O% non corrigées obtenues par la fluorescence-X (n = 47). Le coefficient de corrélation R<sup>2</sup> de 0.9793 et l'équation de la droite de régression représente le facteur de correction entre les valeurs prédites et les valeurs de la fluorescence-X. ....29

Figure 16 : A) Graphique des valeurs en K<sub>2</sub>O% analysées sur l'étalon KPT-1 (axe y) par la fluorescence-X par rapport à l'ordre d'analyse dans le temps (axe x). La ligne rouge représente la valeur théorique du K<sub>2</sub>O% de l'étalon (1,65%  $\pm 0,053\%$ ), la ligne bleue représente la valeur moyenne en K<sub>2</sub>O% analysée sur les 25 analyses de l'étalon KPT-1 (3,17%  $\pm 0,03\%$ ) et les 2 lignes noires représentent l'intervalle  $\pm 2\sigma$ . B) Échantillon à main de l'étalon KPT-1 (diomite quartzifère) utilisé dans le cadre de cette étude. ....30

Figure 17 : A) Graphique des valeurs en K<sub>2</sub>O% analysées sur l'étalon KPT-1 (axe y) par la fluorescence-X par rapport à l'ordre d'analyse dans le temps (axe x). La ligne rouge représente la valeur moyenne du K<sub>2</sub>O% de l'étalon (poudre) en laboratoire (1,66%  $\pm 0,06\%$ ), la ligne bleue représente la valeur moyenne en K<sub>2</sub>O% analysée sur les 59 analyses de l'étalon à main KPT-1 (3,08%  $\pm 0,06\%$ ) et les lignes noires représentent l'intervalle  $\pm 2\sigma$ . ....31

Figure 18 : Valeurs de K<sub>2</sub>O% corrigées (moyenne 14 analyses par échantillon) mesurées par la fluorescence-X (axe x) et les bilans de masse calculés selon la méthode de Trépanier et al. (2016) en K<sub>2</sub>O (g) en valeur absolue pour 100g d'échantillon (axe y) sur les échantillons provenant des 3 sites d'études. ....33

Figure 19 : Valeurs de K<sub>2</sub>O% corrigées (moyenne 14 analyses par échantillon) mesurées par la fluorescence-X (axe x) et les bilans de masse calculés selon la méthode de Trépanier et al.



(2016) en K <sub>2</sub> O (g) en valeur absolue pour 100g d'échantillon (axe y) sur les échantillons provenant du gisement B26. ....	34
Figure 20 : Valeurs de K <sub>2</sub> O% corrigées (moyenne 14 analyses par échantillon) mesurées par la fluorescence-X (axe x) et les bilans de masse calculés selon la méthode de Trépanier et al. (2016) en K <sub>2</sub> O (g) en valeur absolue pour 100g d'échantillon (axe y) sur les échantillons provenant du gîte Canadian Malartic. ....	35
Figure 21 : Valeurs de K <sub>2</sub> O% corrigées (moyenne 14 analyses par échantillon) mesurées par la fluorescence-X (axe x) et les bilans de masse calculés selon la méthode de Trépanier et al. (2016) en K <sub>2</sub> O (g) en valeur absolue pour 100g d'échantillon (axe y) sur les échantillons provenant du gîte Lapa. ....	36
Figure 22 : Diagramme en pointes de tarte illustrant le grade métamorphique calculé sur les 47 échantillons selon les Normes CONSONORM_LG et CONSONORM_HG à partir des analyses lithogéochimiques. ....	38
Figure 23 : Diagramme en pointes de tarte illustrant l'efficacité des analyses du TerraSpec® HALO pour la détection des minéraux d'altération potassique (ΣMicas Blancs% et ΣBiotite%) par rapport aux minéraux d'altération potassique calculés par les Normes CONSONORM_LG (Trépanier et al., 2015) et CONSONORM_HG (Mathieu et al., 2016). ....	40
Figure 24 : Histogramme illustrant l'efficacité des analyses du TerraSpec® HALO pour la détection des minéraux d'altération potassique (ΣMicas Blancs% et ΣBiotite%) par rapport aux minéraux d'altération potassique calculés par les Normes CONSONORM_LG (Trépanier et al., 2015) et CONSONORM_HG (Mathieu et al., 2016) par secteur d'étude. Les minéraux d'altération potassique observés dans les roches volcaniques felsiques du gisement B26 répondent particulièrement bien à la spectroscopie infrarouge. ....	40

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

Tableau 1 – Tableau résumé des paramètres d'analyses à la fluorescence-X et à la spectroscopie infrarouge. ....	22
Tableau 2 – Statistiques des analyses de SiO <sub>2</sub> % effectuées sur le blanc par la fluorescence-X. 26	
Tableau 3 – Tableau de concordance entre les minéraux d'altération potassique observés à la spectroscopie infrarouge (spectres calculés par la compagnie AUSSPEC) et les minéraux d'altération potassique calculés par les Normes CONSONORM. La ΣMicas blancs% CONSONORM_SV350 = %Paragonite + %Pyrophyllite +%Séricite; la ΣMicas blanc% CONSONORM_SV450 = %Pyrophyllite +%Séricite; La ΣMicas blanc% CONSONORM_AMP575 = %Muscovite; la ΣBiotite% CONSONORM_SV450 et _AMP575 = %Biotite_Mg + %Biotite_Fe. Les cases jaunes = micas blanc détectés par la spectroscopie infrarouge et les Normes CONSONORM; les cases brunes = biotite-phlogopite détectées par la spectroscopie infrarouge et les Normes CONSONORM. ....	39



---

## LISTE DES ANNEXES

---

Annexe 1 – Caractéristiques techniques des appareils analyseurs portatifs Olympus® Vanta (Série M) et TerraSpec® HALO. ....	47
Annexe 2 – Tableau résumé des avantages/désavantages des appareils de détection portatifs à la fluorescence-X et à la spectroscopie Infrarouge. ....	48
Annexe 3 – Protocole pour la relation et la sélection des échantillons. ....	51
Annexe 4 – Certificat d'analyse VO17268101, ALS Global. ....	52
Annexe 5 – Description physique des échantillons. ....	53
Annexe 6 – Résultats obtenus par l'analyse à la fluorescence-X (moyenne des analyses par échantillon).....	55
Annexe 7 – Résultats obtenus par l'analyse à la spectroscopie infrarouge (moyenne des analyses par échantillon).....	56
Annexe 8 – Certificat d'analyse blanc de type « Si IV Oxide » : #88777; No. lot G01W019. ....	57

---

# 1 INTRODUCTION

---

## 1.1 Problématique

De nos jours, il existe plusieurs méthodes d'analyses à partir d'appareils portatifs de détection (ADP) pouvant mesurer différentes propriétés physico-chimiques ou minéralogiques de la roche (Ross, 2006). Ces méthodes sont souvent une excellente alternative à une approche d'échantillonnage lithogéochimique plus conventionnelle effectuée en laboratoire. Selon Jones et al. (2005), puisque ces instruments peuvent être utilisés directement sur le terrain (*in-situ* ou *ex-situ*) et placé en contact direct avec la surface de la roche pour une analyse, plusieurs limitations logistiques sont ainsi éliminées. Ces appareils sont petits, compacts et faciles d'utilisation. Les analyses effectuées sont généralement non-destructives et la capacité de traitement peut être plus élevée (plusieurs échantillons) en augmentant la productivité. De plus, le coût par analyse est peu coûteux et le temps de préparation, selon le média, est minime. Il est possible d'avoir une analyse détaillée du média (20 à 30 éléments ou plusieurs minéraux) et ce, en un temps très rapide (quelques secondes à quelques minutes) avec des précisions généralement très bonne (< 5% RSD ; Brand et Brand, 2014). L'analyse sera semi-quantitative à quantitative ou qualitative selon la méthode utilisée. Ces méthodes peuvent être appliquées sur différents médias (c.-à-d. poudre, carottes de forage, échantillons à main, affleurement, etc.), dans différents contextes métallogéniques (épithermal, sulfures massifs volcanogènes, Au-Orogénique, uranium, kimberlitique, *Intrusion-related* ou *Intrusion-hosted*, IOCG, etc.) et dans différent stade d'avancement d'un projet minier (de l'exploration; à l'exploitation jusqu'à la fermeture). Les potentiels d'applications de ces méthodes sont donc nombreuses : cartographie géologique; exploration géochimique des sols, des roches ou des sédiments; détermination du contenu en métaux; identification minérale durant les campagnes; contrôle de qualité et de teneur; environnement; etc. C'est pour toutes ces raisons et plusieurs autres que les méthodes d'analyses à partir d'appareils portatifs de détection (ADP) sont très populaires aujourd'hui dans le domaine minier.

Par contre, avec la prolifération de ces nouveaux appareils disponibles actuellement sur le marché, laquelle ou lesquelles seront le ou les mieux adaptées aux besoins des compagnies minières? Quelle méthode sera la plus optimale pour discriminer un type d'altération en particulier? Dans quel contexte métallogénique une méthode d'analyse portative fonctionnera le mieux comparativement à une autre méthode? En d'autres termes, comment faire le bon choix d'une méthode d'analyse en particulier?

Pour répondre à cette question, il est important de se rappeler que chaque site d'étude à ses propres particularités géologiques qui doivent être prises en considération lorsque vient le temps de décider quelle méthode choisir. Selon la ou les problématiques, le choix d'une méthode d'analyse ou d'une autre variera en fonction de ces dernières. Il est important de mentionner ici que le projet provient de plusieurs problématiques différentes soumises par plusieurs compagnies membres du CONSOREM. Nous avons tenté de circonscrire la problématique le plus équitablement possible avec une vue globale des différentes demandes.

## 1.2 Objectifs

Le projet 2017-04 a pour objectif, dans un premier temps, de produire une méta-analyse par une revue non-exhaustive de la littérature scientifique. Cette méta-analyse a permis de développer : (1) un protocole d'utilisation unifié des ADP (*c.-à-d.* de la relation et sélection des échantillons jusqu'au traitement et la gestion des données); et (2) une synthèse des avantages et des désavantages des méthodes d'analyses ainsi qu'un tableau de quelques études de cas provenant de la littérature.

Dans un deuxième temps, le projet propose d'établir les performances et les limites de certains appareils de détection portatifs à partir d'une validation expérimentale pour une application en contexte géologique connu. Pour atteindre cet objectif, l'auteur a privilégié de discriminer et de quantifier l'altération potassique (altération phyllique et biotitisation), une altération commune associée à plusieurs contextes de minéralisation et qui est souvent difficile à reconnaître sur le terrain. Trois (3) contextes métallogéniques ont été choisis pour effectuer cette validation expérimentale : 1) sur des minéralisations en métaux de bases associée à des sulfures massifs volcanogènes (SMV); sur des minéralisations aurifères encaissées dans des intrusions (*Intrusion-hosted*); et 3) sur des minéralisations aurifères associées à des zones de cisaillements (*Orogenic Gold Deposit*).

Pour atteindre ces objectifs, deux (2) méthodes d'analyses furent sélectionnées : (1) la Fluorescence-X et (2) la Spectroscopie infrarouge. Ces deux méthodes ont fait l'objet d'une analyse comparative avec de la lithogéochimie et de la pétrographie (lames minces).

---

## 2 THÉORIES ET CONCEPTS

---

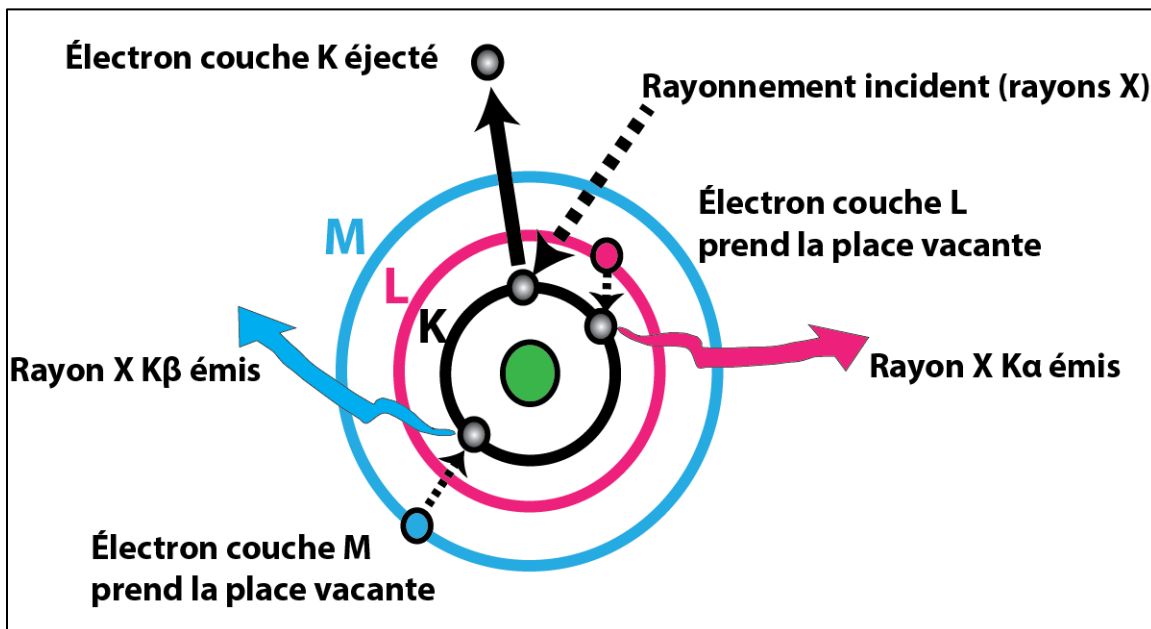
Les principes et les concepts derrière la fluorescence-X et la spectroscopie infrarouge sont très différents. La prochaine section fera un bref rappel des principes de bases de ces deux méthodes d'analyses.

### 2.1 Fluorescence-X

La fluorescence au rayon-X est une technologie qui est utilisée depuis plus de 70 ans dans les laboratoires commerciaux pour déterminer la lithogéochimie des échantillons géologiques (Glanzman et Closs, 2007). En raison des progrès scientifiques réalisés au cours des dernières années, les appareils portatifs à énergie dispersive utilisant la fluorescence-X (pXRF) se sont développés très rapidement (Hall et al., 2007). Ces appareils portatifs se sont grandement améliorés et démocratisés durant les dernières années grâce à l'industrie des semi-conducteurs, à la miniaturisation de certaines composantes comme les tubes à rayons X et le développement de détecteurs plus sensibles comme les détecteurs de dérive en silicium ou détecteurs au silicium à diffusion (Hall et al., 2011).

Le principe fondamental de ces instruments implique une libération contrôlée de l'énergie de radiation aux rayons X, générée soit par des isotopes radioactifs ou par un tube à rayons X, appliquée directement sur un échantillon (Glanzman et Closs, 2007). Ce flux d'énergie de rayons X frappe les couches intérieures d'électrons des atomes des éléments d'un échantillon avec une

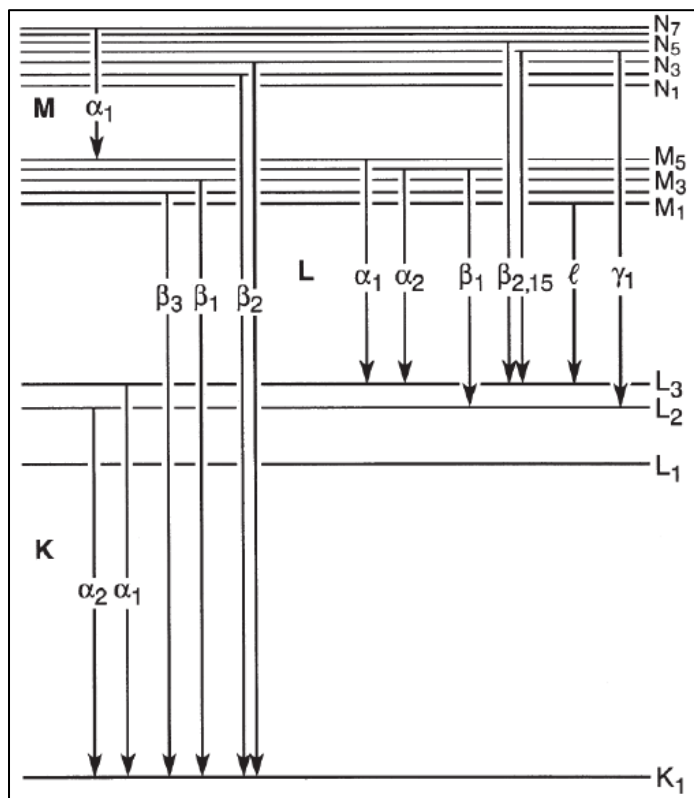
énergie suffisante pour engendrer le déplacement d'un électron dans les couches K et L (Glanzman et Closs, 2007). La **figure 1** schématise un impact d'un faisceau de rayons X sur un atome et les réactions typiques qui en découleront (Hall et al., 2007).



**Figure 1** : Schématisation d'un impact d'un faisceau de rayons X sur un atome et les réactions typiques qui en découleront. L'électron de la couche L prendra l'espace laissé vacant dans la couche K et un rayon X K $\alpha$  est alors émis. Si l'électron provient de la couche M, un rayon X K $\beta$  serait alors produit. Figure modifiée de Hall et al. (2007).

Quand un échantillon de roche est irradié par les rayons X, un électron de la couche interne de l'atome, avec une énergie d'absorption appropriée, peut être alors éjecté, comme illustré à la **figure 1** où un électron de la couche K est éjecté. Un électron de la couche suivante peut alors prendre la place laissée vacante par l'électron éjecté de la couche interne. L'atome peut alors reprendre son état fondamental. Ce processus, appelé l'effet photo-électrique, produit des photons d'une énergie équivalente à la différence de l'énergie entre les deux couches (Hall et al., 2007). Ce sont typiquement les électrons des couches K et L qui sont affectés par les analyses à la fluorescence-X. Chaque atome possède un spectre de lignes de rayons X unique lorsqu'une de ces transitions s'effectue (**Figure 2**). Les rayons X émis (p. ex. rayons X K $\alpha$  et K $\beta$  à la **figure 1**) sont caractéristiques de chaque atome et fournissent une identification qualitative de l'élément tandis que l'intensité fournit une analyse semi-quantitative à quantitative (Hall et al., 2007). Les éléments avec des numéros atomiques bas auront des spectres relativement simples tandis que ceux avec des numéros atomiques plus élevés auront des spectres de plus en plus complexes. Les éléments #1 à #11 (hélium à sodium) sont trop légers pour être analysés au moyen d'appareils portatifs à fluorescence-X. Suite à une exposition d'un échantillon par des rayons X, les appareils portatifs effectuent une suite étonnamment complexe d'opérations et qui est propre à chaque appareil, selon la compagnie qui l'a développée, et sera en mesure d'identifier de

manière qualitative et quantitative le ou les éléments. Chaque compagnie a développé leurs propres technologies, leurs propres algorithmes de calcul et leurs logiciels internes de correction.

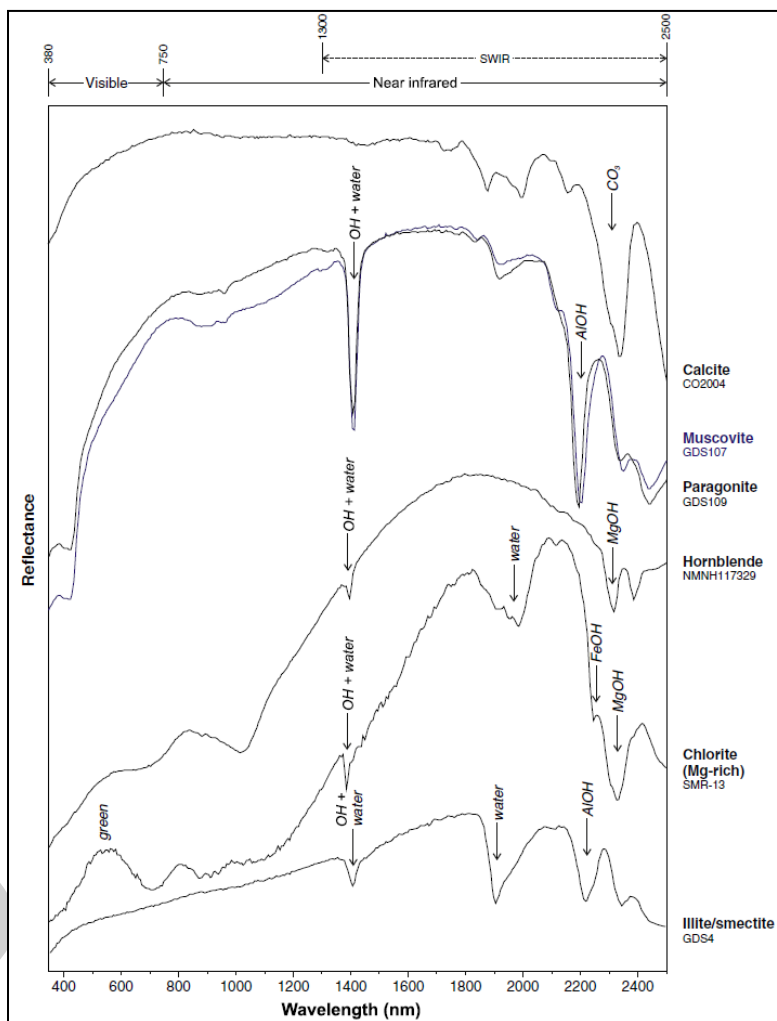


**Figure 2 :** Transition d'un électron d'une couche à une autre couche d'électrons dans un atome et qui donne lieu à différentes émissions de lignes de rayons X. Les rayons X émis sont caractéristique de chaque atome et fournis une identification qualitative de l'élément tandis que l'intensité fournis une analyse semi-quantitative à quantitative. Figure tirée de Hall et *al.* (2007).

## 2.2 Spectroscopie infrarouge

La spectroscopie est l'étude de la lumière en fonction de la longueur d'onde qui est émise, réfléchi ou diffuse provenant d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz (Clark, 1999). La spectroscopie infrarouge (parfois désignée comme spectroscopie IR) est une classe de spectroscopie qui traite de la région infrarouge du spectre électromagnétique (de 350 à 2500 nm). Les appareils portatifs utilisant cette méthode détectent bien : 1) l'infrarouge proche ou visible (VNIR pour *visible-near infrared*); et 2) l'infrarouge à ondes courtes (SWIR pour *short-wave infrared*; 1300 à 2500 nm). Le premier est sensible aux changements de couleurs et des états d'oxydation (p. ex. fer et chrome) qui sont observés (Thompson et *al.*, 1999). Par contre, elle n'est pas reliée directement à la composition minérale. Le deuxième (SWIR) détecte l'énergie générée par les vibrations de certains liens moléculaires, radicaux et cations (p. ex. Al-OH, Mg-OH, Fe-OH, OH+H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub>, et CO) et idéal pour la détection des minéraux hydratés et les carbonates. La spectroscopie infrarouge mesure également l'intensité ou la réflectance de la lumière (ratio de l'énergie réfléchi sur l'énergie incidente exprimée en %). La **figure 3** illustre

des spectres d'absorption infrarouge de quelques minéraux d'altération hydrothermale et métamorphique (Clark et al., 2007). En exploration minière, les appareils portatifs utilisant la spectroscopie infrarouge sont largement utilisés pour l'évaluation et la cartographie de la distribution des assemblages d'altération affectant la roche encaissante (spécialement pour les minéralisations hydrothermales).



**Figure 3 :** Exemples de spectre d'absorption (VNIR et SWIR) de quelques minéraux d'altération hydrothermale et métamorphique, provenant de la librairie de l'U.S. Geological Survey splib06a (Clark et al., 2007). Figure tirée de Ross et al., (2013).

### 3 APPAREILS DE DÉTECTION PORTATIFS UTILISÉS

Pour ce projet, un partenariat a été établi avec la compagnie REFLEX®, distributeur des appareils analyseur Olympus® Vanta (Série M) pour la fluorescence-X et TerraSpec® HALO

pour la spectroscopie infrarouge. La compagnie REFLEX® garantissait la gratuité locative des appareils ainsi que le support technique de l'équipe de recherche et développement et des géochimistes. Le CONSOREM, pour sa part, donnait accès aux livrables du projet (c.-à-d. la base de données d'acquisition, les présentations PowerPoint et le présent rapport). Les paramètres techniques de chacun des appareils analyseurs portatifs sont présentés à l'**Annexe 1**.

---

## **4 PROTOCOLE D'UTILISATION UNIFIÉ DES ADP**

---

### **4.1 Introduction**

Par une revue et une méta-analyse exhaustive de la littérature scientifique, le projet devait permettre: 1) d'élaborer un protocole d'utilisation unifié des deux appareils d'analyse portatifs utilisés et 2) d'énumérer les avantages et les désavantages concernant les deux méthodes d'analyse (**Annexe 2**).

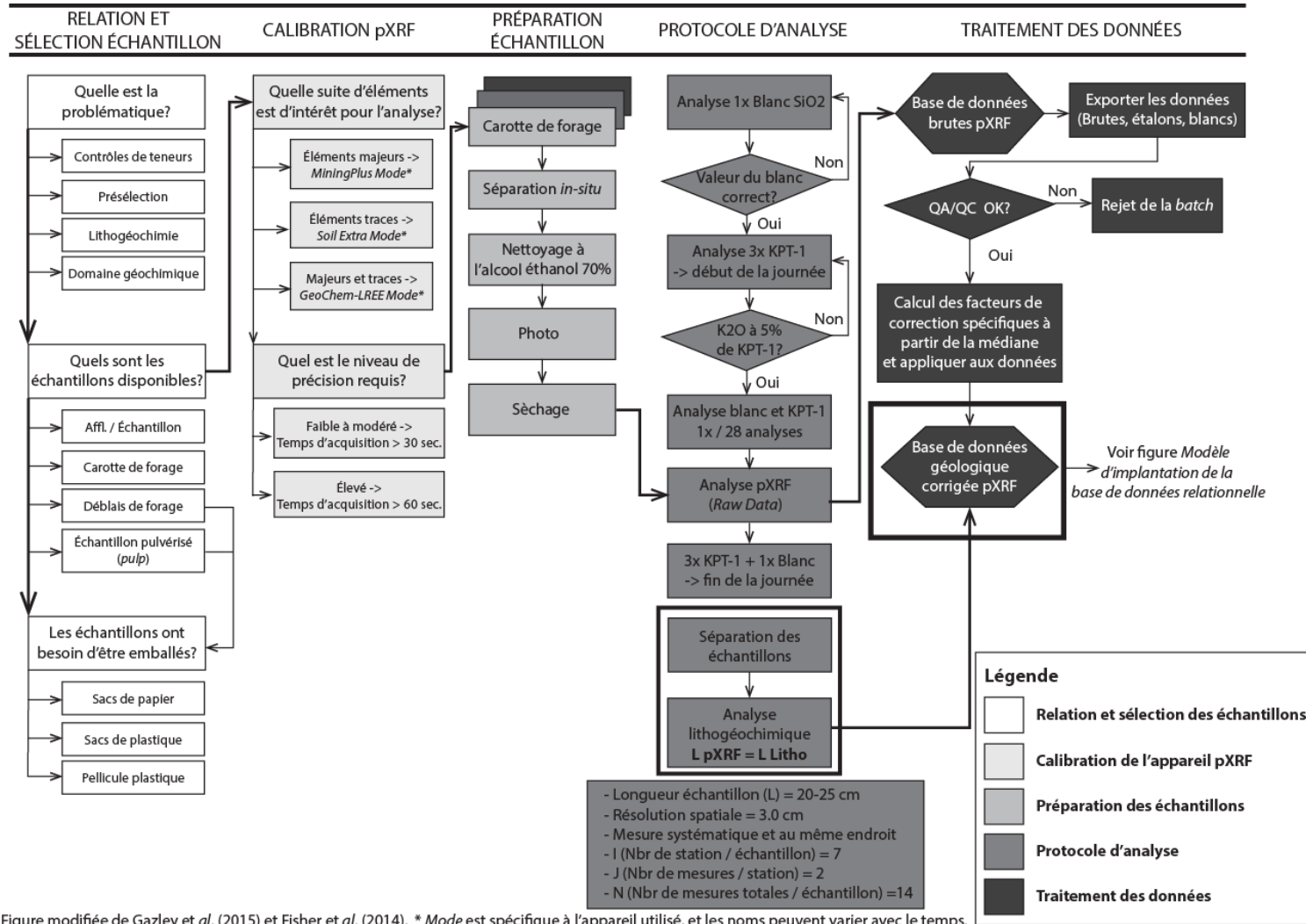
### **4.2 Description du protocole**

Le protocole élaboré pour ce projet est inspiré en majeure partie de 2 articles scientifiques :

- Gazley, M. F., Duclaux, G., Fisher, L. A., Tutt, C. M., Latham, A. R., Hough, R. M., DeBeer, S.J. & Taylor, M. D. (2015). A comprehensive approach to understanding ore deposits using portable X-ray fluorescence (pXRF) data at the Plutonic Gold Mine, Western Australia. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 15(2-3), 113-124.
- Fisher, Louise, et al. "Resolution of geochemical and lithostratigraphic complexity: a workflow for application of portable X-ray fluorescence to mineral exploration." *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 14.2 (2014): 149-159.

Le protocole se veut simple, efficace et adaptable et qui aborde les problématiques de la prise de décision, la sélection des échantillons, de la calibration des appareils, de la préparation des échantillons, du QA-QC, des analyses jusqu'au traitement des données (**Figure 4**). Ce protocole, adaptable selon le projet ou l'étude, est un livrable direct et constitue un apport important de ce projet.





**Figure 4a :** Protocole d'utilisation unifié des appareils d'analyse portatif à la fluorescence-X et à la spectroscopie infrarouge élaboré dans le cadre de ce projet. Figure modifiée de Gazley et al. (2015) et Fisher et al. (2014).

### Formulaire information analytique

ID	<input type="text" value="Nouv."/>	Date d'échantillonnage	<input type="text"/>
No. Projet	<input type="text"/>	Date d'analyse	<input type="text"/>
Type d'analyse	<input type="text" value="v"/>	Température (0C)	<input type="text"/>
Instrument	<input type="text" value="v"/>	Nom opérateur	<input type="text"/>
No. série appareil	<input type="text"/>	Temps d'intégration B1 (sec)	<input type="text" value="v"/>
No. de série batterie	<input type="text"/>	Temps d'intégration B2 (sec)	<input type="text" value="v"/>
Anode	<input type="text"/>	Mode d'analyse	<input type="text" value="v"/>
Voltage du tube (kV)	<input type="text"/>	Type d'échantillon	<input type="text" value="v"/>
Puissance du tube (uA)	<input type="text"/>	No. standard	<input type="text"/>
Resolution (eV)	<input type="text"/>	Type de blanc	<input type="text" value="v"/>
Surface detecteur (mm2)	<input type="text"/>	Resolution spatiale (cm)	<input type="text"/>
Électronique	<input type="text"/>	Commentaires	<input type="text"/>

**Figure 4b :** Liste de paramètres concernant l'information analytique à compiler dans la base de données .

#### 4.2.1 Recommandations analyseur portatif à la fluorescence-X

Suite à la revue exhaustive de la littérature et à l'élaboration du protocole unifié, voici quelques recommandations lors de l'utilisation des appareils portatifs utilisant la fluorescence-X :

- La relation et la sélection des échantillons seront fonction de la problématique et des échantillons disponibles.
- Le niveau de précision requis des analyses (temps d'acquisition) sera un compromis entre l'optimisation du nombre d'échantillons analysés et l'exactitude analytique (Ross et *al.*, 2014; Bourke et Ross, 2016). Un temps de 30 à 60 sec / faisceau (*beam*) est un bon compromis.
- Pour assurer une bonne qualité des données, un bon nettoyage des échantillons avec une brosse de nylon, une éponge à vaisselle et/ou un linge est fortement conseillé. Par la suite, l'étape la plus importante est de bien nettoyer la surface sciée et lisse de l'échantillon (de carotte de forage, échantillon à main) avec de l'alcool éthanol 70% (alcool à friction) en vente dans les pharmacies.
- La profondeur de pénétration du rayon X est directement proportionnelle à la densité de la roche. Les premiers millimètres analysés sur la surface géologique du matériel peuvent représenter 60% à 80% de la profondeur totale analysée (Glanzman et Closs, 2007).
- La précision, l'exactitude et les limites de détection sur les mesures du pXRF sont affectés par l'eau (Ge et *al.*, 2005). Les études recommandent un temps de séchage des échantillons d'au minimum 10 minutes (Ross et *al.*, 2013) et ainsi avoir un contenu en H<sub>2</sub>O de moins de 20% dans l'échantillon (Glanzman et Closs, 2007).
- Un QA/QC est fortement conseillé pour surveillance de la contamination, de la précision et de l'exactitude des données : 1) analyse blanc : 1X chaque début de journée, 1X chaque 28 analyses et 1X chaque fin de journée; 2) analyse d'un échantillon étalon : 3X chaque début de journée, 1X chaque 28 analyses, 3X chaque fin de journée.
- L'utilisation du *Bench-Top* augmente la précision et les limites de détections sont meilleures pour plusieurs éléments (Peter et *al.*, 2009).
- Bourke et Ross (2016) concluent qu'entre 1 et 3 mesures in-situ sur une même station produisent des résultats satisfaisant (10% d'erreur et moins) sur des roches non minéralisées et faiblement altérées.
- Idéalement, effectuer la mesure sur une surface lisse et montrant une absence d'altération supergène (Potts et *al.*, 2006).
- Si l'analyse est produite avant la séparation *in-situ*, il peut y avoir des différences sur la moyenne des mesures du côté plat versus le côté arrondi (Kelloway et *al.*, 2014).
- La variation des mesures dû à l'effet de matrice de l'échantillon (hétérogénéité minéralogique naturelle, granulométrie) est plus élevée que l'erreur aléatoire de l'instrument lui-même (Ross et *al.*, 2015).
- Les résultats des analyses pour les échantillons dont la granulométrie est de l'ordre du millimètre seront probablement peu représentatifs (Fisher et *al.*, 2014).
- Les mesures provenant de plusieurs instruments ne devraient pas être combinées dans une même base de données, sauf si il y a des processus post-analyse et re-calibration des mesures (Hall et *al.*, 2012).
- Le numéro de série des batteries au lithium (Li) devrait être enregistré dans la base de données pour surveiller les effets de celles-ci et appliquer les corrections nécessaires (Brand et Brand, 2014).
- Sur une courte période de temps (2 à 3 mois), la performance d'un appareil peut se détériorer significativement et affecter la précision et l'exactitude des analyses des éléments légers. Une calibration périodique est recommandée (Brand et Brand, 2014).

#### 4.2.2 Recommandations analyseur portatif à la spectroscopie infrarouge

Suite à la revue exhaustive de la littérature et à l'élaboration du protocole unifié, voici quelques recommandations lors de l'utilisation des appareils portatifs utilisant la spectroscopie infrarouge :

- Les analyses ont une faible profondeur de pénétration dans la roche et est proportionnelle à la densité de la roche (Ross et *al.*, 2013).
- La présence d'eau a pour effet d'ajouter ou d'atténuer le spectre d'absorption et le décalage de longueur d'onde sur certains pics d'absorption (Ross et *al.*, 2013 et références citées).
- QA/QC : l'utilisation d'un échantillon blanc de type spectralon 100% réflectance est obligatoire (fournie avec l'appareil).
- Nettoyage et séchage des échantillons : même procédure que la fluorescence-X.
- Un temps d'acquisition de 15 secondes est suffisant pour une analyse.
- L'utilisation de lumière fluorescente est déconseillée (Ross et *al.*, 2013).

---

## 5 MÉTHODOLOGIE DE LA VALIDATION EXPÉRIMENTALE

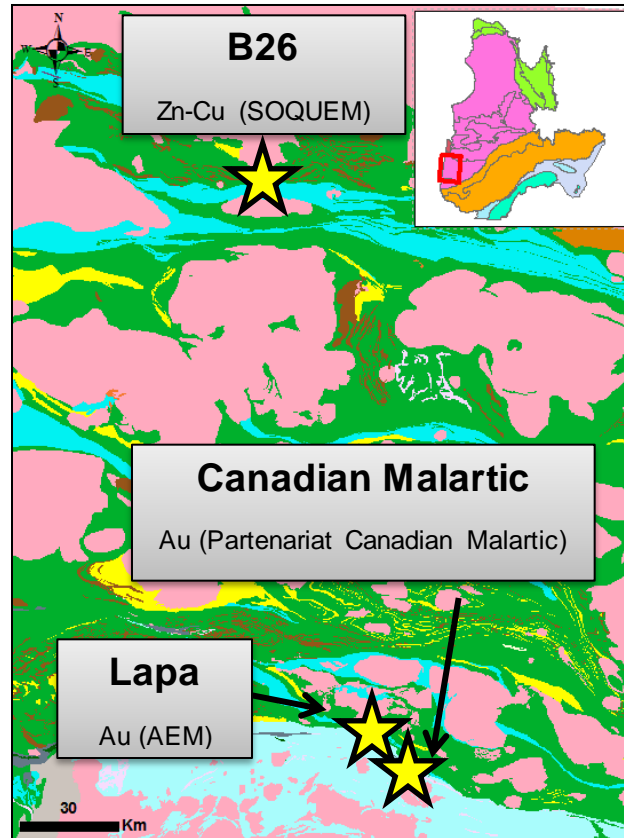
---

### 5.1 Introduction

La deuxième partie du projet consistait à établir les performances et les limites des deux méthodes (fluorescence-X et spectroscopie infrarouge) pour la discrimination et la quantification de l'altération potassique (altération phyllique et biotitisation), une altération commune associée à plusieurs contextes de minéralisation et qui est difficile à reconnaître sur le terrain. Ainsi des carottes de forages ont été prélevées chez les partenaires du CONSOREM, ceci pour différents contextes métallogéniques: (1) des minéralisations en métaux de base associées à des sulfures massifs volcanogènes (SMV); (2) des minéralisations aurifères encaissées dans des intrusions et (3) des minéralisations aurifères associées à des zones de cisaillement. Des lames minces et des analyses lithogéochimiques ont été réalisées sur ces échantillons pour les fins de la comparaison.

### 5.2 Descriptions des sites d'études

Trois sites d'études ont été sélectionnés pour effectuer la validation expérimentale (**Figure 5**): 1) le gîte B26 appartenant à la compagnie parapublique SOQUEM (minéralisations en métaux de bases associée à des sulfures massifs volcanogènes); 2) le gisement Canadian Malartic appartenant au « Partenariat Canadian Malartic », soit les compagnies Yamana Gold Inc. et les Mines Agnico Eagle Ltée. (minéralisations aurifères encaissées dans des intrusions); et 3) le gisement Lapa appartenant aux Mines Agnico Eagle Ltée. (minéralisations aurifères associées à des zones de cisaillements).



**Figure 5** : Localisation des 3 sites d'études (étoiles jaunes): 1) gisement B26 (Zn-Cu; SOQUEM); 2) gîte Canadian Malartic (Au; Partenariat Canadian Malartic) ; et.3) le gîte Lapa (Au; Mines Agnico Eagle Ltée). Géologie SIGÉOM et portail CONSOREM.

### 5.2.1 Gîte B26 (SOQUEM)

Le gisement polymétallique B26 (Cu-Zn-Au-Ag) a été retenu pour la portion VMS de l'étude. La propriété B26-Brouillan est détenue à 100% par SOQUEM. Le gisement B26 est localisé dans la partie nord-ouest de la Sous-province volcano-sédimentaires d'Abitibi et encaissé dans des roches volcaniques felsiques au contact des roches volcaniques du Groupe de Brouillan-Fénelon (Nord) et du Groupe d'Enjalran-Bapst 1 (Sud). La minéralisation se présente sous forme de veinules et de brèches hydrauliques dans une rhyolite massive et dans des tufs rhyolitiques à lapilli de la séquence volcanique de Brouillan. On reconnaît du nord au sud (de la base au sommet) la stratigraphie suivante en association avec la zone minéralisée : tufs andésitiques à lapilli; tufs rhyolitiques à cristaux de quartz; rhyolite; exhalite; andésite; rhyolite et tufs rhyolitiques à lapilli; andésites et basaltes. La minéralisation est limitée aux unités sous l'exhalite, particulièrement la rhyolite et les tufs rhyolitiques. Le gisement est situé à environ 9 km au sud-est de l'ancienne mine Selbaie (56,5 Mt à 0,9% Cu, 1.9% Zn, 38 g/t Ag et 0,6 g/t Au).

### 5.2.2 Gisement Canadian Malartic (Partenariat Yamana Gold Inc. Et Mines Agnico Eagle Ltée.)

Le gîte aurifère Canadian Malartic a été retenu pour la portion de l'étude des minéralisations aurifères encaissées dans des intrusions. Le gîte de Canadian Malartic est situé dans les roches métasédimentaires (grauwackes) du Groupe de Pontiac recouvrant des intrusions porphyriques épizonales cataclasées, à un demi-kilomètre au sud des roches volcanique du Groupe de Piché et de la Faille de Cadillac-Larder Lake. La minéralisation se concentre également dans les parties supérieures des intrusions porphyriques (GM 67343). La mine est détenue par le consortium Yamana Gold (50%) et Mines Agnico Eagle Ltd (50%). Le lecteur peut se référer aux travaux de De Souza et *al.* (2016) ou Perrouty et *al.* (2017) et les références associées pour plus de détail sur le gîte Canadian Malartic.

### 5.2.3 Gisement Lapa (Mines Agnico Eagle Ltée.)

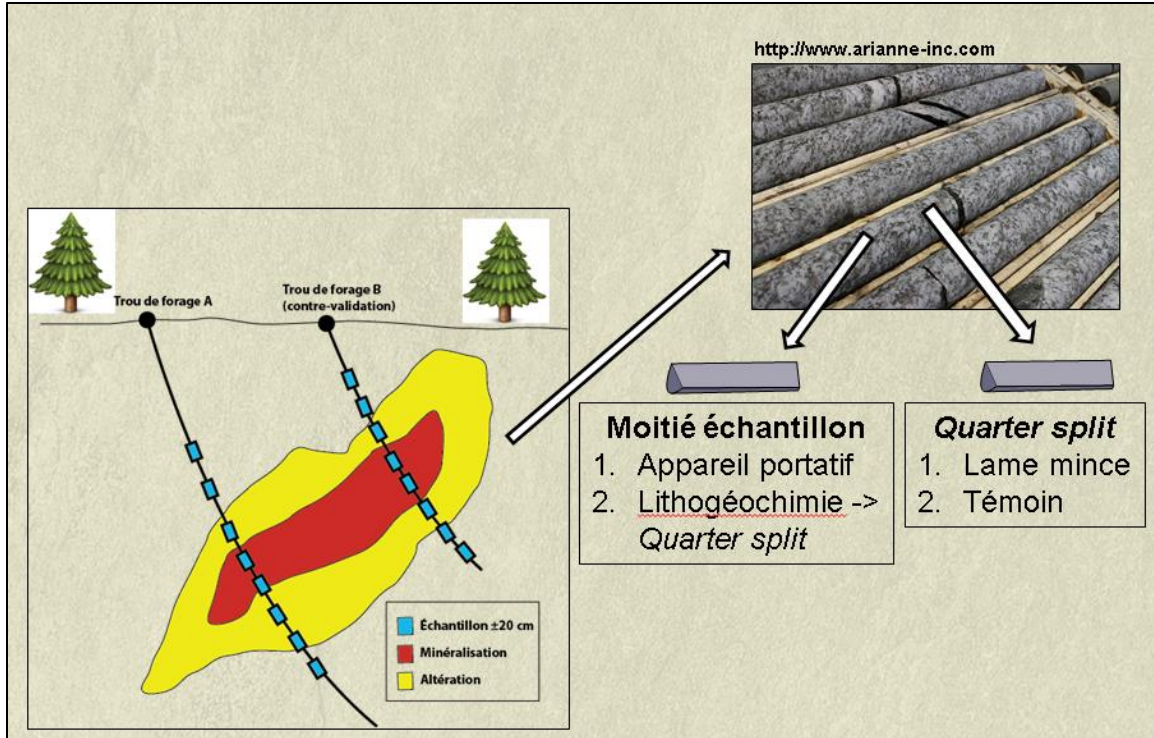
Le gisement aurifère Lapa a été retenu pour la portion de l'étude des minéralisations aurifères associées à des zones de cisaillements (Au-Orogénique). Selon la fiche du SIGEOM, la zone minéralisée chevauche la faille Cadillac-Larder Lake. Cette zone correspond aux roches volcaniques du Groupe de Piché et marque le contact entre le Groupe de Cadillac au Nord et le Groupe de Pontiac au Sud. Ces formations de directions ouest/ nord-ouest sont quasi verticales. Les zones plissées avec des charnières constituent des métallotectes pour les minéralisations aurifères. La minéralisation est associée à des zones de déformation. La minéralisation aurifère est encaissée dans des veines de quartz bleu-gris elles-mêmes encaissées dans des roches volcaniques riches en biotite et séricite. La mine Lapa est en opération depuis le 27 août 2009 et détenue à 100% par Agnico-Eagle (AEM).

## 5.3 Relation et sélection des échantillons

L'**annexe 3** et la **figure 6** présentent le protocole élaboré pour la relation et la sélection des échantillons sur le terrain ainsi que le transport de ceux-ci vers l'U.Q.A.C. et vers le laboratoire d'ALS Global. Au total, 47 échantillons furent prélevés dans 6 trous de forage (**Figure 7**). Chaque échantillon a été photographié avant les analyses.

- **B26** : trous de forage 1274-14-221M (8 échantillons) et 1274-16-226 (7 échantillons) + 1 standard KPT-1 (Webb et *al.*, 2006).
- **Canadian Malartic** : trous de forage BA10-3988 (8 échantillons) et CM08-1885 (8 échantillons) + 1 standard KPT-1 (Webb et *al.*, 2006).
- **Lapa** : trous de forage 118-03-35D (8 échantillons) et 118-03-43 (8 échantillons) + 1 standard KPT-1 (Webb et *al.*, 2006).





**Figure 6 :** Schéma illustrant la sélection des échantillons sur le terrain et les analyses effectuées sur les échantillons une fois transportés dans les laboratoires de l'U.Q.A.C.



**Figure 7 :** Photographie des 47 échantillons de forage prélevés sur les 3 sites d'études.



## 5.4 Analyses

Cette section décrit brièvement la méthodologie employée pour les analyses effectuées avec les 2 appareils portatifs.

### 5.4.1 Fluorescence-X

Pour les analyses à la fluorescence-X avec l'analyseur Olympus® Vanta (Série M), l'utilisation du *Bench-Top* (**Figure 8**) a été priorisée au analyse à la main car selon Peter et *al.* (2009), ce dernier augmente la précision et les limites de détections sont meilleures pour plusieurs éléments. Le **tableau 1** résume les paramètres d'analyses et la **figure 9** illustre le protocole utilisé pour effectuer les analyses à la fluorescence-X sur chaque échantillon.



**Figure 8 :** Installation avec le *Bench-Top* utilisé avec l'analyseur Olympus® Vanta (Série M) pour les analyses à la fluorescence-X.

**Tableau 1** – Tableau résumé des paramètres d’analyses à la fluorescence-X et à la spectroscopie infrarouge.

Paramètres	Nombre
Longueur échantillon (L)	20-25 cm
Mesure systématique	Même endroit
Résolution spatiale (distance constante)	3 cm
Nbr de station / échantillon (I)	7
Nbr de mesures / station (J)	2
Nbr de mesures totales / échantillon (N)	14
N total (pXRF)	658



**Figure 9** : Exemple d’un échantillon (demi-carotte de forage) avec un gabarit permettant de produire des analyses systématiques avec une résolution spatiale (distance constante) à chaque 3 cm. Nombres de stations par échantillon (I) = 7 ; nombres de mesures par station (J) = 2 ; nombres de mesures totales par échantillon (N) = 14. Nombres total d’analyses à la fluorescence-X et/ou à la spectroscopie infrarouge pour le projet : N = 658 analyses sur les 47 échantillons.

## 5.4.2 Spectroscopie infrarouge

### 5.4.2.1 TerraSpec® HALO

Pour les analyses par la spectroscopie infrarouge avec l’analyseur TerraSpec® HALO, l’analyse à la main a été priorisée en absence d’un *Bench-Top* (**Figure 10**). Les paramètres d’analyses et le protocole utilisé pour effectuer les analyses par la spectroscopie infrarouge sur chaque échantillon sont les mêmes que la fluorescence-X (**Tableau 1** et **Figure 9**).



**Figure 10** : Analyse à la main effectuée avec l'appareil TerraSpec® HALO sur un échantillon pour les analyses par la spectroscopie infrarouge.

#### 5.4.2.2 Compagnie AUSSPEC

Les spectres d'absorption calculés par le logiciel interne du TerraSpec® HALO ont tous été envoyés à la compagnie AUSSPEC-aiSIRIS pour un traitement supplémentaire. Le traitement effectué sur les spectres d'absorption par cette compagnie est plus précis que le traitement obtenu par le logiciel interne du TerraSpec® HALO. Ce traitement permettra une meilleure correspondance entre les analyses à la fluoresce-X, la spectroscopie infrarouge et la lithogéochimie.

#### 5.4.3 Lithogéochimie

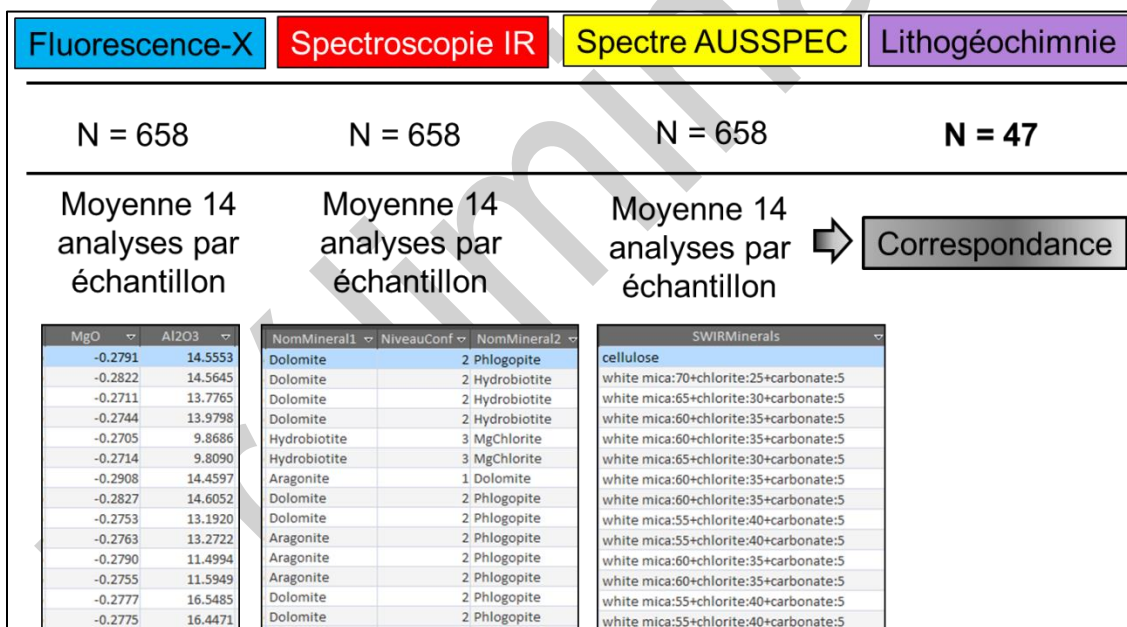
Un quart de la carotte de forage de chacun des 47 échantillons ont été envoyé à l'analyse pour une caractérisation lithogéochimique pour les fins de la comparaison entre les deux méthodes d'analyses. Les échantillons furent expédiés au laboratoire d'ALS Global en Abitibi et à Vancouver. Les métaux ont été analysés par digestion 4 acides, la roche entière par ICP-AES, une perte par calcination à 1000<sup>0</sup>C et une fusion Lithium Borate (ICP-MS). Le certificat d'analyse VO17268101 est présenté à l'**annexe 4**.

### 5.4.4 Lames minces

Une lame mince a été produite pour chacun des 47 échantillons au laboratoire d'IOS Services Géoscientifiques Inc. de Chicoutimi pour une caractérisation pétrographique, si nécessaire.

### 5.5 Traitement des données

Pour être en mesure d'effectuer des comparaisons entre les 2 méthodes d'analyse et la caractérisation lithogéochimique, une correspondance doit être effectuée entre les 14 analyses par échantillon et l'analyse unique de la lithogéochimie (**Figure 11**). Une moyenne des 14 analyses prises pour chaque échantillon avec les deux appareils portatifs est calculée pour être en mesure d'effectuer cette correspondance. Une moyenne sur les données qualitatives pour chaque échantillon a également été produite (**Figure 11**). Une base de données Excel a été construite à partir de chaque moyenne de toutes les analyses et la lithogéochimie pour chacun des 47 échantillons.



**Figure 11** : Schéma illustrant la base de données combinée à partir des moyennes des 14 analyses de chaque échantillon à la fluorescence-X et à la spectroscopie infrarouge et la correspondance avec la caractérisation lithogéochimique.

Par la suite, deux traitements géochimiques ont été effectués sur les résultats de la caractérisation lithogéochimique au moyen du logiciel CONSOREM LithoModeleur: 1) la méthode des bilans de masse par modélisation des précurseurs (Trépanier et al., 2016) et; 2) la Norme CONSONORM\_LG (Trépanier et al., 2015). Ces traitements permettront d'identifier et de les échantillons qui sont affectés par une altération potassique et de quantifier cette dernière. Les

résultats de ces deux traitements ont été combinés à la base de données. Cette étape permettra de comparer les analyses par la fluorescence-X au bilan de masse par modélisation des précurseurs (Trépanier et *al.*, 2016) et les analyses par la spectroscopie infrarouge aux minéraux calculés par les Normes CONSONORM\_LG et CONSONORM\_HG (Trépanier et *al.*, 2015).

---

## 6 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

---

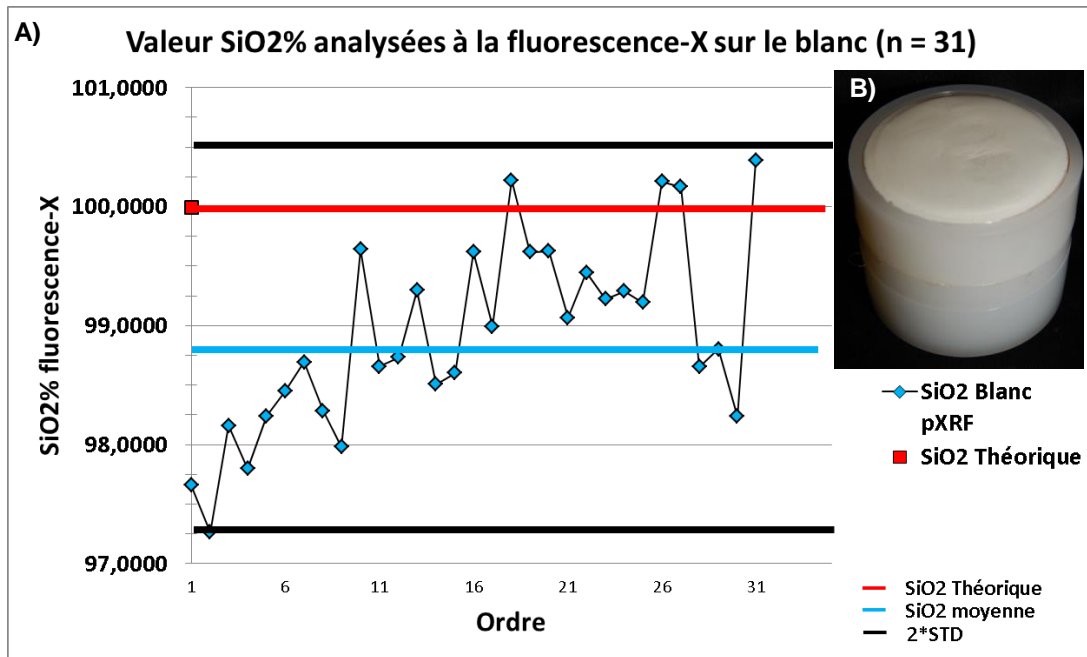
La présentation des résultats se fera en trois volets : 1) QA/QC sur la méthode d'analyse par la fluorescence-X; 2) comparaison entre la méthode d'analyse par la fluorescence-X et la lithogéochimie via la méthode du calcul des bilans de masse par modélisation des précurseurs (Trépanier et *al.*, 2016) et; 3) comparaison entre la méthode d'analyse par la spectroscopie infrarouge et la lithogéochimie via la méthode du calcul des minéraux normatifs par les Normes CONSONORM\_LG et CONSONORM\_HG (Trépanier et *al.*, 2015). La liste descriptive des échantillons est présentée en **Annexe 5**, les résultats obtenus par l'analyse à la fluorescence-X (moyenne des analyses par échantillon) à l'**Annexe 6** et les résultats obtenus à la spectroscopie infrarouge (moyenne des analyses par échantillon) à l'**Annexe 7**. Le lecteur peut se référer à l'**Annexe 1** pour la correspondance des colonnes et la définition des scalaires pour : 1) le logiciel interne TerraSpec® HALO et 2) les traitements AUSSPEC-aiSIRIS dans le tableau des résultats de la spectroscopie infrarouge de l'**Annexe 7**.

### 6.1 QA/QC fluorescence-X

#### 6.1.1 Blanc

Cette étape du QA/QC permet de surveiller la contamination de l'appareil tout au long du levé. Le graphique à la **figure 12** montre les valeurs en SiO<sub>2</sub>% analysées par la fluorescence-X sur le blanc fourni par la compagnie REFLEX® (**Figure 12b et Annexe 8**; valeur théorique 99.995% SiO<sub>2</sub>). La quasi-totalité des valeurs sont comprises à l'intérieur des droites égales à  $\pm 2\sigma$  (à l'exception d'un échantillon). L'auteur considère, par ces résultats, que les analyses sont exemptes de contamination. Les statistiques sur les valeurs en SiO<sub>2</sub>% analysées par la fluorescence-X sont présentées au **Tableau 2**.





**Figure 12 :** A) Graphique des valeurs en SiO<sub>2</sub>% analysées sur le blanc par la fluorescence-X par rapport à l'ordre d'analyse dans le temps (axe des x). La ligne rouge représente la valeur théorique du blanc (99.995% SiO<sub>2</sub>), la ligne bleue représente la valeur moyenne en SiO<sub>2</sub>% analysée sur les blancs (98.9266%) et les 2 lignes noires représentent l'intervalle  $\pm 2\sigma$ . B) Blanc de type « Silicon (IV) oxide » utilisé dans le cadre de cette étude.

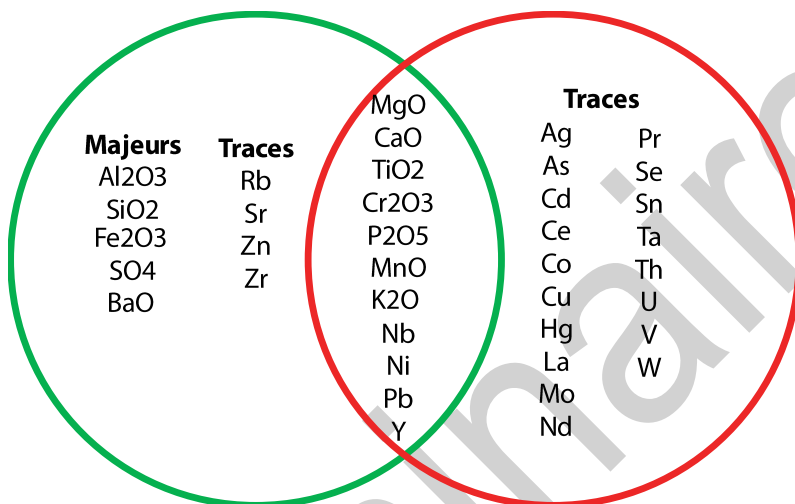
**Tableau 2 –** Statistiques des analyses de SiO<sub>2</sub>% effectuées sur le blanc par la fluorescence-X.

<b>Moyenne SiO<sub>2</sub>%</b>	98,9266%
<b>Médiane SiO<sub>2</sub>%</b>	98,8019%
<b>Écart-Type SiO<sub>2</sub>%</b>	0,7947%

### 6.1.2 Limite de détection (LOD)

Certains oxydes et/ou éléments traces avaient des valeurs sous la limite de détection (partiellement ou en partie). Le cercle vert à la **figure 13** montre les oxydes/éléments traces dont les valeurs étaient à 100% au-dessus de la limite de détection et ce, pour les 14 analyses par échantillon (qualité analytique excellente) tandis que le cercle rouge (**Figure 13**) montre les éléments traces dont les valeurs étaient à 100% en deçà de la limite de détection et ce, pour les 14 analyses par échantillon (qualité analytique médiocre). Les oxydes/éléments traces dans la zone d'intersection des 2 cercles avaient des valeurs au-dessus et également en-dessous de la limite de détection sur les 14 analyses par échantillon. Au total, sur les 658 analyses effectuées sur les 47 échantillons, 58 analyses avaient des valeurs de K<sub>2</sub>O% sous la limite de détection, ce qui représente 8.8% du total des analyses. Quatre échantillons provenant du gîte Lapa ont plus de 10 analyses sur 14 inférieures à la limite de détection de l'appareil (échantillons #CAEXD234479, #CAEXD234480, #CAEXD234482 et #CAEXD234489) et 2 échantillons ont

entre 2 et 4 analyses sur 14 analyses inférieures à la limite de détection de l'appareil (échantillons #CAEXD234481 et #CAEXD234490). Un échantillon provenant du gîte Canadian Malartic a entre 2 et 4 analyses sur 14 analyses inférieures à la limite de détection de l'appareil (échantillons #40951). Finalement, un échantillon provenant du gisement B26 a entre 2 et 4 analyses sur 14 analyses inférieures à la limite de détection de l'appareil (échantillon #V422757). En règle générale, l'appareil analyseur Olympus® Vanta (Série M) a bien détecté le potassium contenu dans les échantillons utilisés dans le cadre de l'étude.

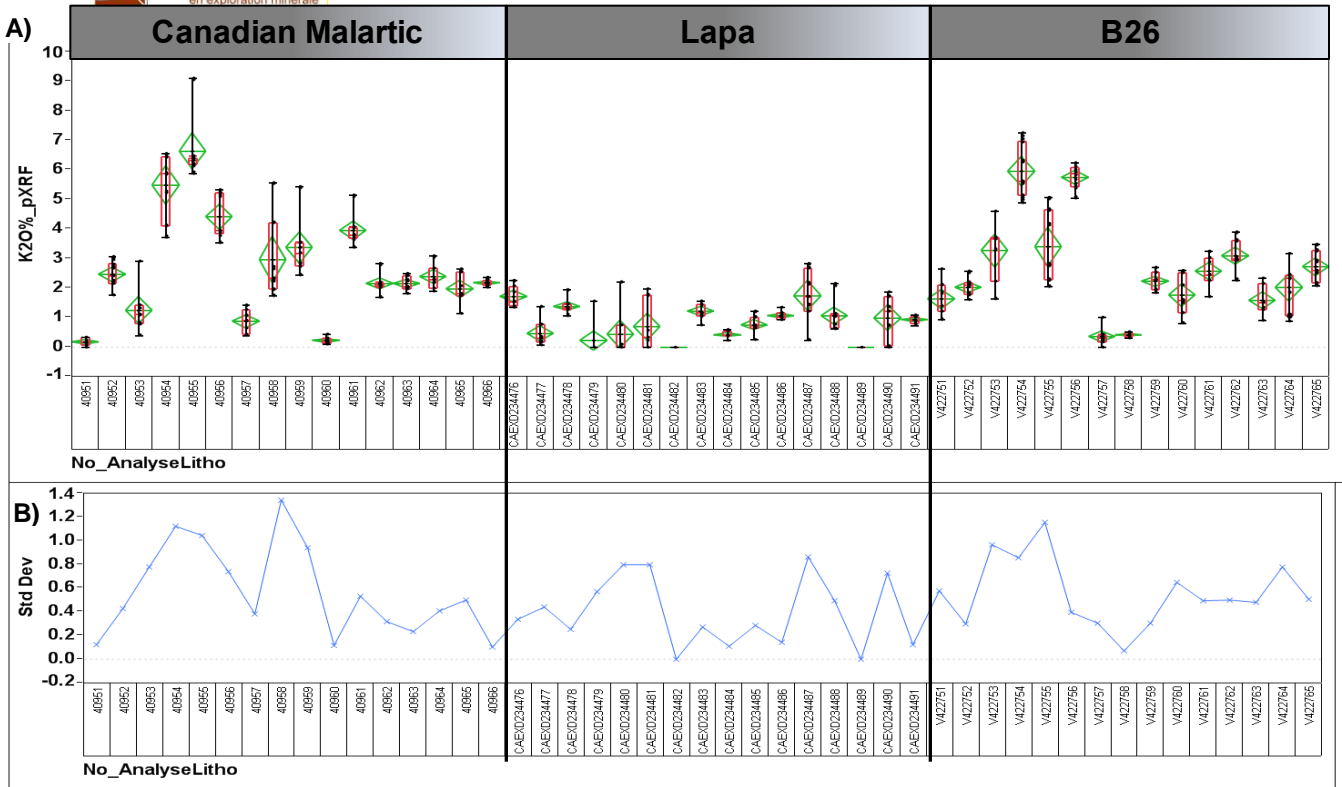


**Figure 12** : Oxydes et/ou éléments traces analysés par la fluorescence-X avec une excellente qualité analytique (cercle vert) et éléments traces avec une qualité analytique médiocre (cercle rouge). Les oxydes et/ou éléments traces qui se retrouvent dans la zone d'intersection (p. ex. K<sub>2</sub>O%) avaient des valeurs au-dessus et en-dessous de la limite de détection sur les 14 analyses par échantillon.

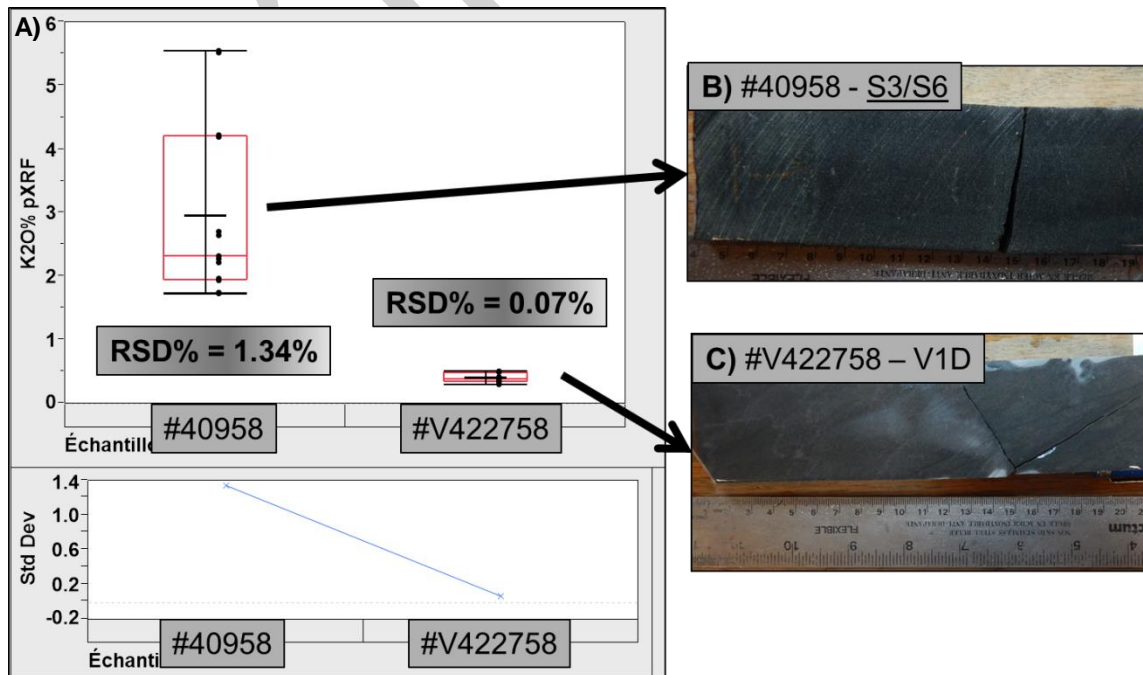
### 6.1.3 Variabilité des analyses par la fluorescence-X sur le K<sub>2</sub>O%

Cette section traite de la variabilité des analyses par la fluorescence-X sur le K<sub>2</sub>O%. Le graphique de la **figure 13a** illustre la variabilité, avec des boîtes à moustaches, et la **figure 13b** l'écart-type relatif (*RSD*) en pourcentage (%) des 14 analyses effectuées sur chaque échantillon. La variabilité des analyses du K<sub>2</sub>O% est somme toute très faible avec la plus forte *RSD* de 1.34% sur l'échantillon #40958 provenant du gîte Canadian Malartic (**Figure 14a**) et la plus faible *RSD* de 0.07% sur l'échantillon #V422758 provenant du gisement B26 (**Figure 14a**). L'échantillon #40958 (**Figure 14b**) est décrit comme étant une roche métasédimentaire (S3/S6) et l'échantillon #V422758 (**Figure 14c**) est décrit comme étant une roche volcanique felsique dacitique (V1D).





**Figure 13 :** **A)** Variabilité sur le K<sub>2</sub>O% des 14 analyses par échantillon effectué par la fluorescence-X sur chacun des 3 sites d'étude. Le losange vert représentent la moyenne, le rectangle rouge les 25<sup>e</sup>, 50<sup>e</sup> et 75<sup>e</sup> centile et la ligne noire le minimum et la maximum K<sub>2</sub>O%. **B)** L'écart-type relatif en pourcentage (RSD%) sur le K<sub>2</sub>O% des 14 analyses par échantillon effectué par la fluorescence-X sur chacun des 3 sites d'étude.

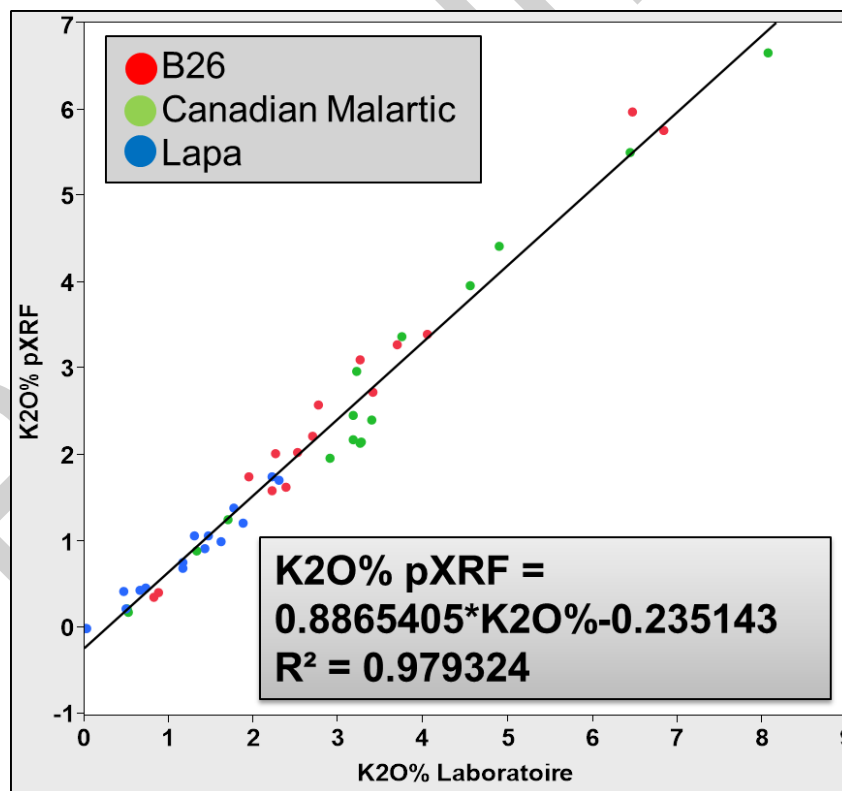


**Figure 14 :** **A)** Variabilité sur le K<sub>2</sub>O% des 14 analyses des échantillons #40958, provenant du gîte Canadian Malartic (plus forte RSD de 1.34%) et #V422758, provenant du gisement B26 (plus faible RSD de 0.07%). **B)** Échantillon #40958 ; roche métasédimentaire. **C)** Échantillon #V422758 ; roche volcanique felsique dacitique.

Une autre manière de vérifier la variabilité des analyses de K<sub>2</sub>O% à la fluorescence-X est de les comparer aux valeurs prédites, qui correspondent aux analyses lithogéochimiques du laboratoire. La **figure 15** montre un graphique binaire qui compare les analyses K<sub>2</sub>O% en laboratoire (abscisse) et la moyenne en K<sub>2</sub>O% des 14 analyses par échantillon par la fluorescence-X (ordonnée). Le facteur de correction de K<sub>2</sub>O% entre les valeurs prédites (laboratoire) et les valeurs par la fluorescence-X, représenté par la droite de régression sur le graphique, correspond à l'équation suivante:

- $K_2O\% \text{ pXRF} = 0.8865405 * K_2O\% - 0.235143$

Le coefficient de corrélation **R<sup>2</sup> de 0.9793** est très élevé entre les valeurs prédites et les valeurs obtenues par la fluorescence-X. Une bonne corrélation des valeurs de K<sub>2</sub>O% est donc observée entre la moyenne des 14 analyses mesurées par la fluorescence-X et la valeur prédite en laboratoire.



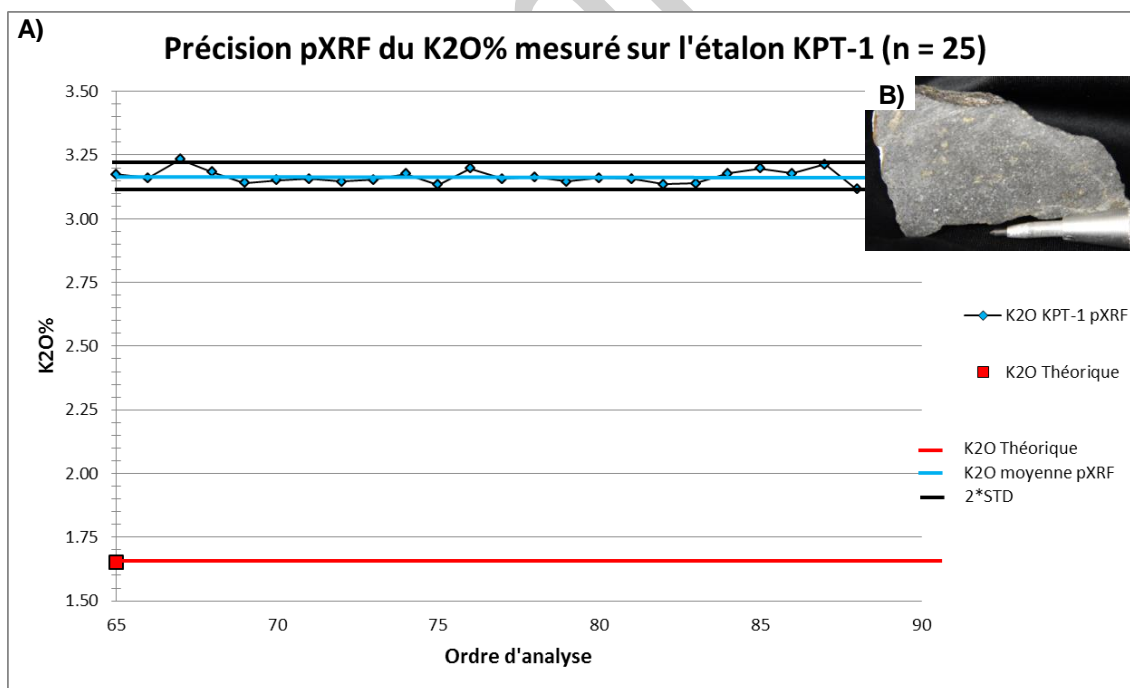
**Figure 15 :** Analyses K<sub>2</sub>O% prédites (laboratoire) versus analyses K<sub>2</sub>O% non corrigées obtenues par la fluorescence-X (n = 47). Le coefficient de corrélation R<sup>2</sup> de 0.9793 et l'équation de la droite de régression représente le facteur de correction entre les valeurs prédites et les valeurs de la fluorescence-X.

### 6.1.4 Précision et justesse des analyses par la fluorescence-X sur le K<sub>2</sub>O% de l'étalon KPT-1

Pour cette étude, un étalon de diorite quartzifère (No. KPT-1 ; Webb et al., 2006) a été analysé sur des poudres (**Figures 16a, 17et Annexe 4**) ainsi qu'avec un échantillon à main fourni par le laboratoire LabMaTer de l'Université du Québec à Chicoutimi, par la fluorescence-X (**Figures 16a et 17**). La section suivante présente les résultats de la précision et de la justesse de l'appareil et des analyses par la fluorescence-X sur le K<sub>2</sub>O% de l'étalon KPT-1 (Webb et al., 2006).

#### Précision

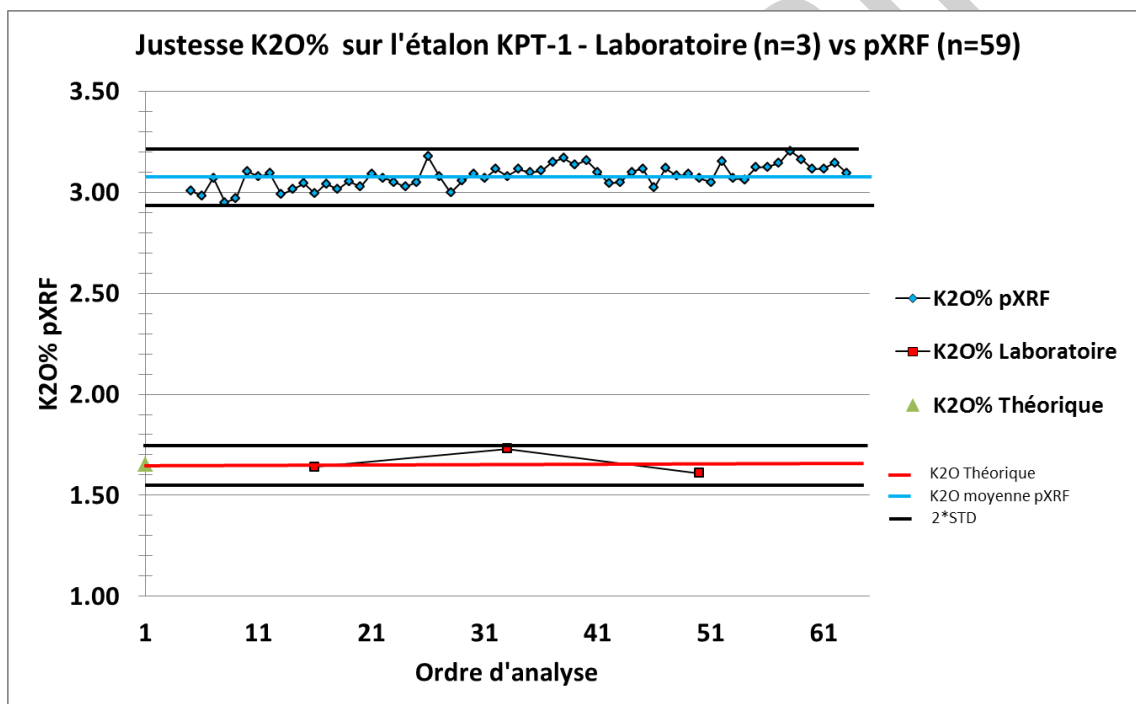
Pour vérifier la précision de l'appareil et des mesures du K<sub>2</sub>O% sur l'étalon KPT-1, une série de 25 analyses consécutives (n=25) au même endroit ont été effectués à la fluorescence-X sur l'échantillon à main KPT-1 (**Figure 16a**). Les résultats montrent que les valeurs de K<sub>2</sub>O% sont précises mais non juste. La moyenne est de 3,17% ±0,03%. On a donc une surestimation de 48% par rapport à la valeur en K<sub>2</sub>O% théorique du laboratoire (1,66% ±0,06%) et la valeur en K<sub>2</sub>O% théorique (Webb et al., 2006 ; 1,65% ±0,053%). Cette surestimation de certains oxydes est commune lors des analyses à la fluorescence-X. Pour obtenir les valeurs réelles, une correction peut alors être effectuée entre les valeurs prédites et les valeurs analysées à la fluorescence-X.



**Figure 16** : A) Graphique des valeurs en K<sub>2</sub>O% analysées sur l'étalon KPT-1 (axe y) par la fluorescence-X par rapport à l'ordre d'analyse dans le temps (axe x). La ligne rouge représente la valeur théorique du K<sub>2</sub>O% de l'étalon (1,65% ±0,053%), la ligne bleue représente la valeur moyenne en K<sub>2</sub>O% analysée sur les 25 analyses de l'étalon KPT-1 (3,17% ±0,03%) et les 2 lignes noires représentent l'intervalle ±2σ. B) Échantillon à main de l'étalon KPT-1 (diorite quartzifère) utilisé dans le cadre de cette étude.

## Justesse

Pour vérifier la précision et la justesse dans le temps des mesures du  $K_2O\%$  sur l'étalon KPT-1, plusieurs mesures à la fluorescence-X ont été prises sur l'échantillon à main (**Figure 16a**). Trois mesures consécutives à chaque début et fin de journée ainsi qu'une mesure à chaque 28 analyses (cf. protocole d'analyse du protocole d'utilisation unifié ; **Figure 4a**). Un total de 59 analyses furent prises ( $n=59$ ) pour surveiller la justesse de l'appareil et des analyses (**Figure 17**). Les résultats montrent que les valeurs de  $K_2O\%$  sont, à l'image des analyses de la section précédente, précises mais non justes. La moyenne en  $K_2O\%$  mesurée à la fluorescence-X est de  $3,08\% \pm 0,06\%$ . On a donc une surestimation de  $46,10\%$  par rapport à la valeur moyenne du  $K_2O\%$  mesurée en laboratoire ( $1,66\% \pm 0,06\%$ ). Par contre, la valeur moyenne du  $K_2O\%$  mesurée en laboratoire ( $1,66\% \pm 0,06\%$ ) est précise et juste comparativement à la valeur théorique (Webb et al., 2006 ;  $1,65\% \pm 0,053\%$ ).



**Figure 17 :** A) Graphique des valeurs en  $K_2O\%$  analysées sur l'étalon KPT-1 (axe y) par la fluorescence-X par rapport à l'ordre d'analyse dans le temps (axe x). La ligne rouge représente la valeur moyenne du  $K_2O\%$  de l'étalon (poudre) en laboratoire ( $1,66\% \pm 0,06\%$ ), la ligne bleue représente la valeur moyenne en  $K_2O\%$  analysée sur les 59 analyses de l'étalon à main KPT-1 ( $3,08\% \pm 0,06\%$ ) et les lignes noires représentent l'intervalle  $\pm 2\sigma$ .

En résumé, l'étude démontre que :

1. Les analyses à la fluorescence-X ont une bonne qualité analytique sur certains oxydes/éléments traces (p. ex.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Zn, Zr), une qualité analytique intermédiaire pour d'autres oxydes/éléments traces (p. ex.  $\text{K}_2\text{O}$ , MgO, CaO,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , MnO, Y); et une qualité analytique moins performante pour certains éléments traces (p. ex. Ag, As, Cd, etc.).
2. Seulement 58 analyses (8.8%) sur un total de 658 analyses de  $\text{K}_2\text{O}$ % par la fluorescence-X sont sous la limite de détection : i) 4 échantillons avec plus de 10 mesures sous la limite de détection de l'appareil provenant du gîte Lapa; ii) 2 échantillons ayant entre 2 et 4 mesures sous la limite de détection de l'appareil provenant du gîte Lapa; iii) 2 échantillon ayant entre 2 et 4 mesures sous la limite de détection de l'appareil provenant du gîte Canadian Malartic et B26 respectivement.
3. La variabilité sur les analyses en  $\text{K}_2\text{O}$ % par la fluorescence-X est relativement faible avec des écart-types relatifs maximum (RSD) de 1.34%.
4. Une bonne corrélation est observée entre la moyenne des 14 analyses de  $\text{K}_2\text{O}$ % par échantillon obtenues par la fluorescence-X et la valeur de  $\text{K}_2\text{O}$ % prédite au laboratoire.
5. Finalement, les valeurs en  $\text{K}_2\text{O}$ % mesurées de l'étalon KPT-1 à la fluorescence-X (échantillon à main) sont précises mais non juste.

## 6.2 Comparaison entre la méthode d'analyse à la fluorescence-X et la lithogéochimie (Bilan de masse par modélisation des précurseurs)

Cette partie du rapport présente la comparaison des résultats des analyses à la fluorescence-X et la quantification de l'altération potassique par les analyses lithogéochimiques effectuées en laboratoire. La quantification de cette altération est obtenue par la méthode des bilans de masse par précurseurs modélisés (Trépanier et al., 2016) et est reflétée par les contenus en  $\text{K}_2\text{O}$ % mesurés avec l'analyseur à la fluorescence-X. Il est à noter que les analyses à la fluorescence-X dans cette section ont été corrigées avec le facteur de correction calculé l'équation de la droite de régression de la **figure 15** ( $\text{K}_2\text{O}$ % laboratoire versus  $\text{K}_2\text{O}$ % analyseur fluorescence-X).

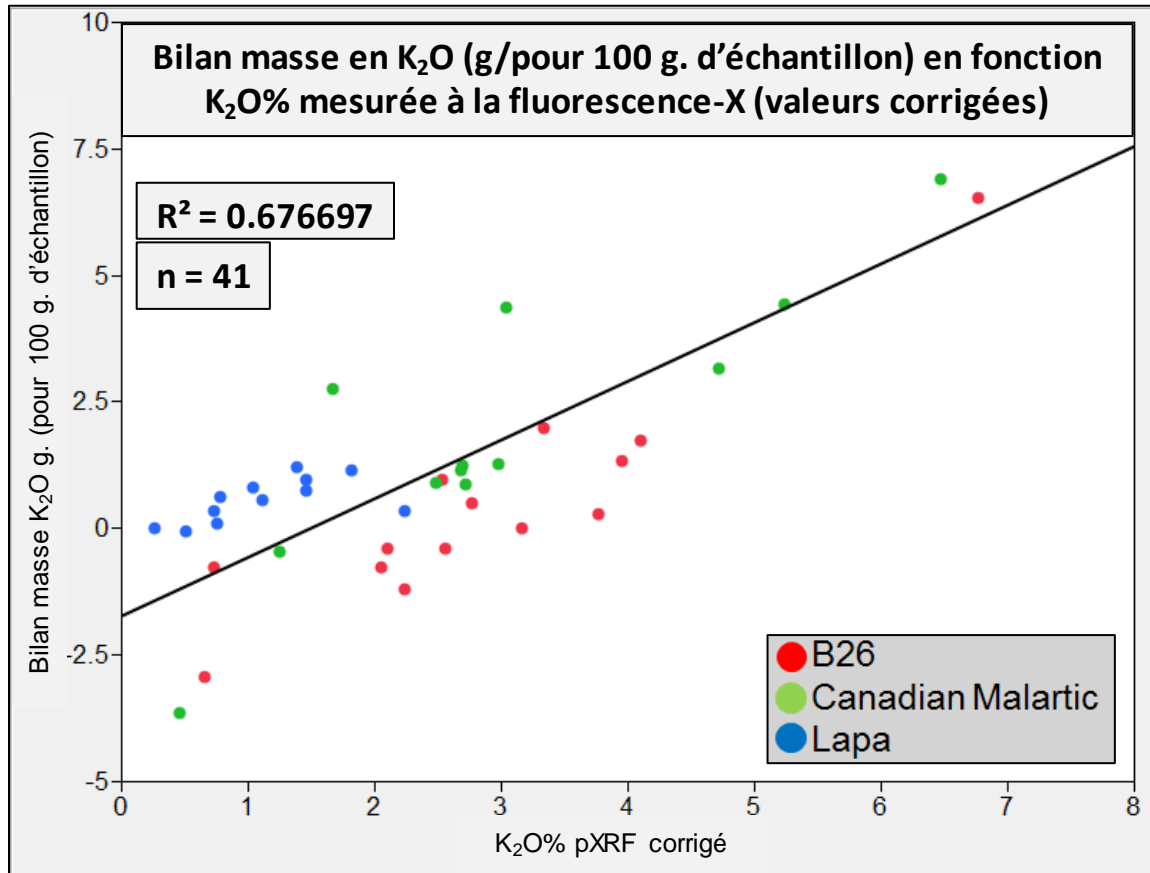
### 6.2.1 Résultats

La **figure 18** illustre les résultats obtenus au moyen d'un graphique binaire des valeurs de  $\text{K}_2\text{O}$ % mesurées par la fluorescence-X et les bilans de masse en valeur absolue en  $\text{K}_2\text{O}$  (g. /100g d'échantillon). L'analyse de ce graphique montre qu'il existe une relation partielle entre les valeurs de  $\text{K}_2\text{O}$ % mesurées par la fluorescence-X et les bilans de masse en valeur absolue en  $\text{K}_2\text{O}$  (g.). La quantification de l'altération potassique pourrait alors être estimée par l'équation de la droite de régression avec une corrélation positive d'environ 68% ( $R^2$ ):

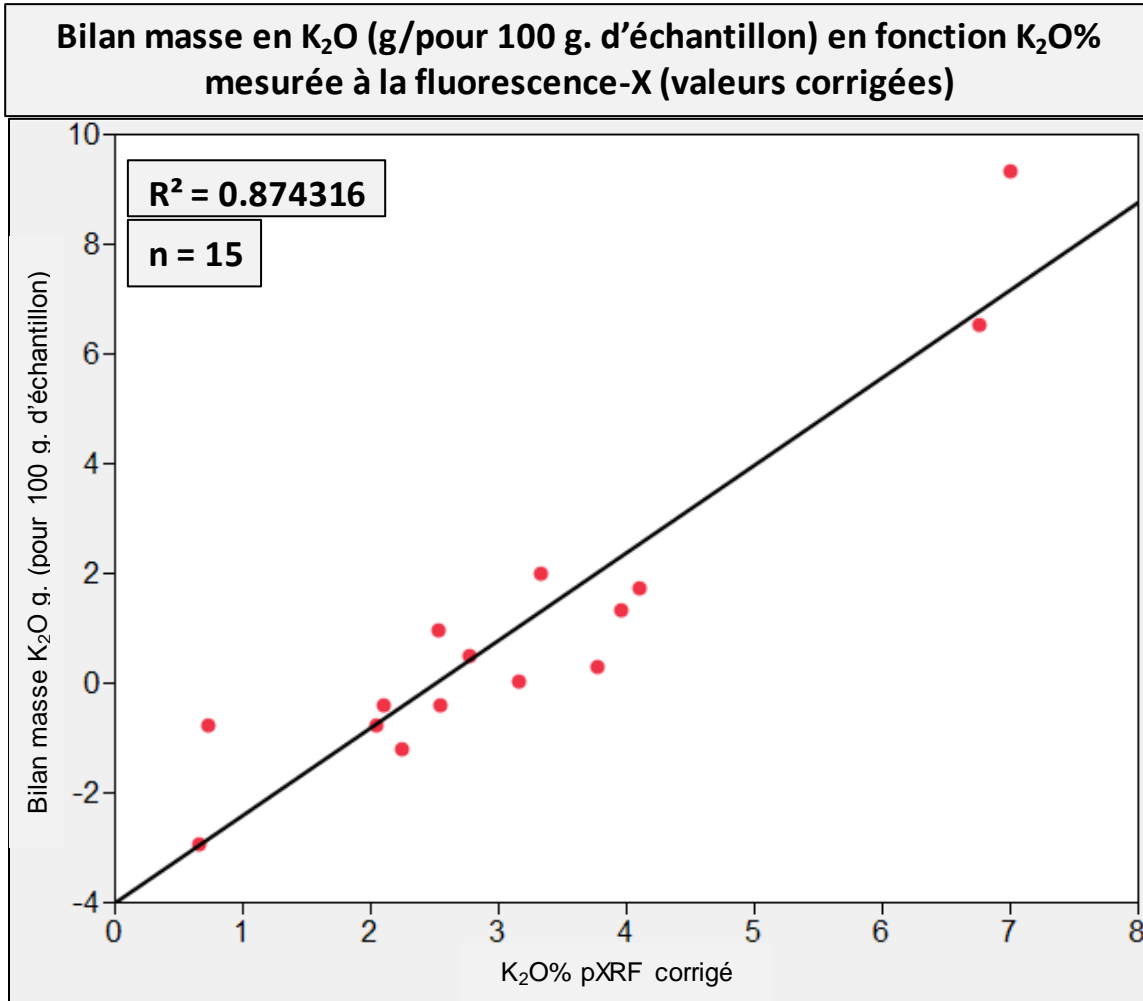
- $\text{BilanMasse\_K2O\_ABS\_g} = -1.714201 + 1.1577069 * \text{K2O\%\_pXRFcorrigé}$

Cette relation partielle fonctionne particulièrement bien sur les roches volcaniques felsiques provenant du site B26 (**Figure 19**) et sur les roches intrusives provenant du site Canadian Malartic (**Figure 20**). La quantification de l'altération potassique pourrait alors être estimée sur ces deux sites par les équations des droites de régression avec une corrélation positive d'environ 87% et 75% ( $R^2$ ) respectivement :

- $\text{BilanMasse\_K2O\_ABS\_g} = -3.988841 + 1.595028 * \text{K2O\%\_pXRFcorrige} \text{ (B26)}$
- $\text{BilanMasse\_K2O\_ABS\_g} = -2.230534 + 1.3695777 * \text{K2O\%\_pXRFcorrige} \text{ (Canadian Malartic)}$

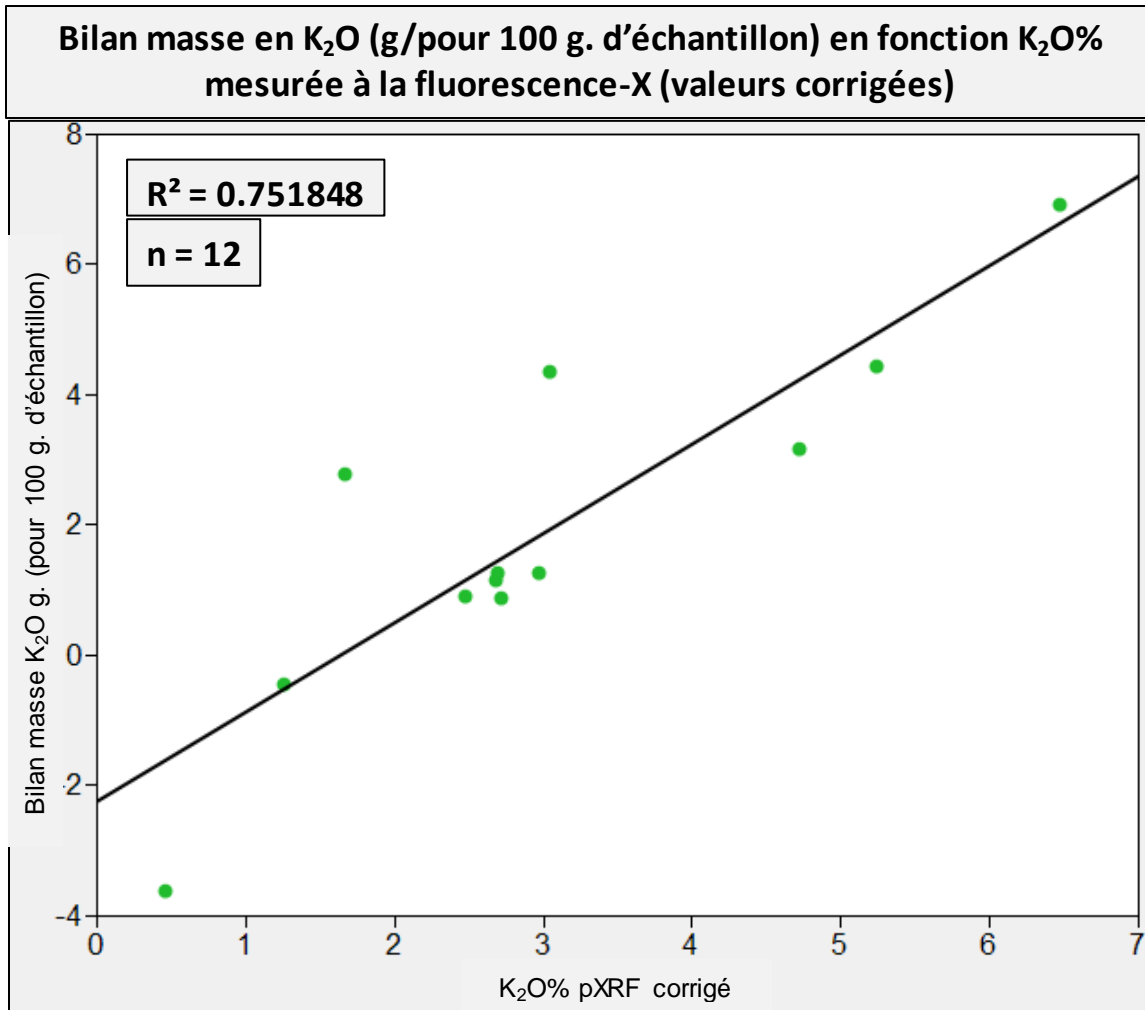


**Figure 18 :** Valeurs de K<sub>2</sub>O% corrigées (moyenne 14 analyses par échantillon) mesurées par la fluorescence-X (axe x) et les bilans de masse calculés selon la méthode de Trépanier et al. (2016) en K<sub>2</sub>O (g) en valeur absolue pour 100g d'échantillon (axe y) sur les échantillons provenant des 3 sites d'études.



**Figure 19** : Valeurs de K<sub>2</sub>O% corrigées (moyenne 14 analyses par échantillon) mesurées par la fluorescence-X (axe x) et les bilans de masse calculés selon la méthode de Trépanier et *al.* (2016) en K<sub>2</sub>O (g) en valeur absolue pour 100g d'échantillon (axe y) sur les échantillons provenant du gisement B26.

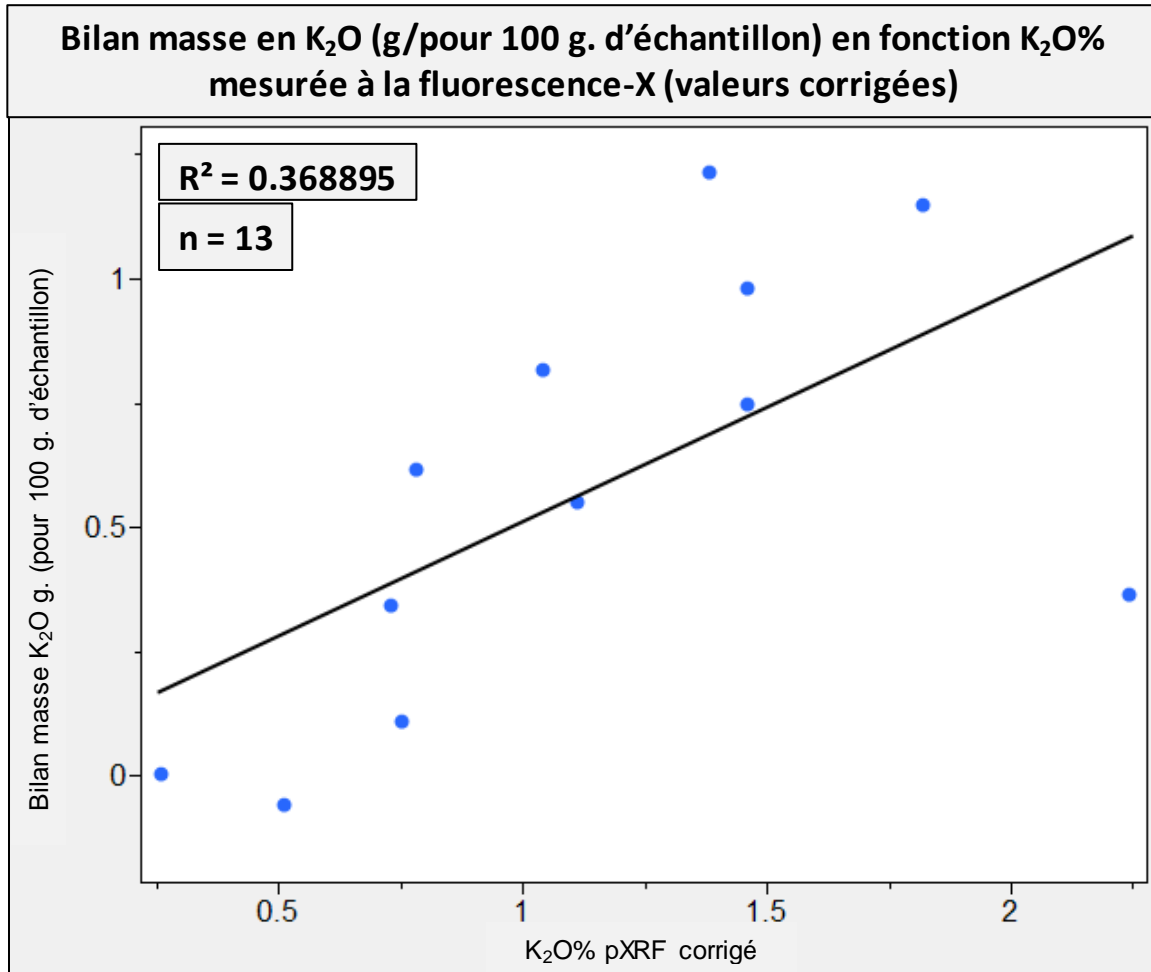




**Figure 20** : Valeurs de K<sub>2</sub>O% corrigées (moyenne 14 analyses par échantillon) mesurées par la fluorescence-X (axe x) et les bilans de masse calculés selon la méthode de Trépanier et al. (2016) en K<sub>2</sub>O (g) en valeur absolue pour 100g d'échantillon (axe y) sur les échantillons provenant du gîte Canadian Malartic.

Par contre, pour les analyses provenant du gîte de Iapa, cette relation partielle ne fonctionne pas aussi bien que les deux autres secteurs (**Figure 21**). Deux hypothèses sont avancées ici et qui pourraient expliquer ces résultats :

1. La présence majoritaire de schistes mafiques et ultramafiques dans l'échantillonnage. Le bilan de masse étant plus difficile à calculer sur les roches ultramafiques.
2. Les roches sélectionnées étant possiblement faiblement altérées.



**Figure 21** : Valeurs de K<sub>2</sub>O% corrigées (moyenne 14 analyses par échantillon) mesurées par la fluorescence-X (axe x) et les bilans de masse calculés selon la méthode de Trépanier et al. (2016) en K<sub>2</sub>O (g) en valeur absolue pour 100g d'échantillon (axe y) sur les échantillons provenant du gîte Lapa.

### 6.2.2 Synthèse

Les résultats démontrent que plus l'altération potassique augmente en intensité (visible par le bilan de masse absolue calculé pour 100 g. de roche), plus la valeur en K<sub>2</sub>O% mesurée à la fluorescence-X augmente également. Cette relation a été observée sur 2 des 3 sites d'études sélectionnés (secteurs B26 et Canadian Malartic). Pour ces deux sites, la quantification de l'altération potassique peut donc se mesurer rapidement, nécessite peu de manipulation et peut se faire *in-situ*, directement sur les carottes de forage au site d'exploration. Les géologues peuvent être alors en mesure de suivre et de vectoriser en temps réel l'altération potassique, et ainsi optimiser les campagnes d'exploration.

Dans le cas de Lapa, l'absence de cette corrélation partielle pourrait s'expliquer soit : 1) par la présence de roches mafiques et ultramafiques dans les échantillons sélectionnés (le bilan de

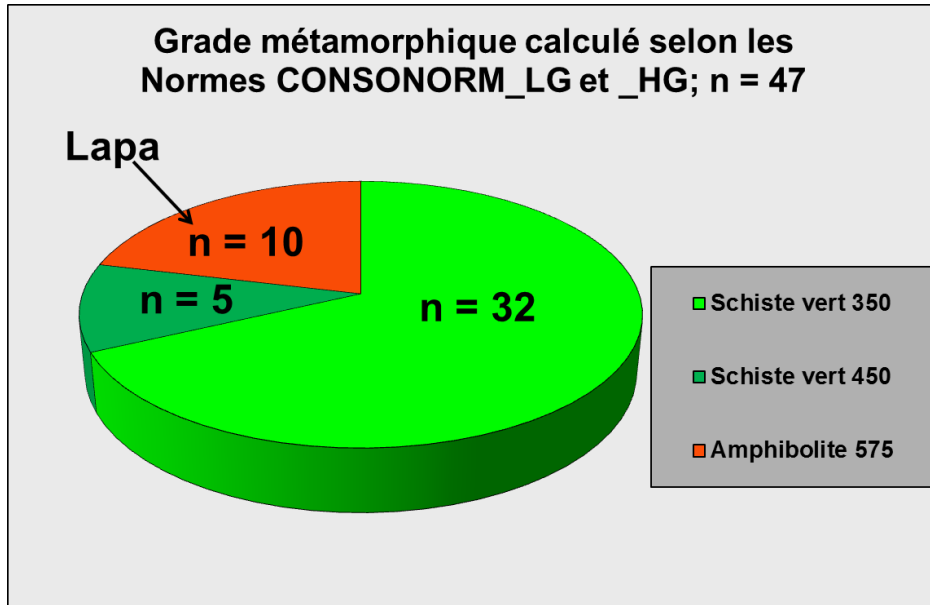
masse par précurseurs modélisés étant plus difficile à calculer ces types de roches) ; ou 2) .que les roches sélectionnées étaient faiblement altérées?

Il est à noter que les bilans de masse par précurseurs modélisés calculés selon la méthode Trépanier et *al.*, (2016) à partir des analyses à la fluorescence-X sont majoritairement invalides (rapports invalides comme p. ex. :  $TiO_2/Zr$ ,  $TiO_2/Cr$ ,  $Al_2O_3/TiO_2$ ,  $TiO_2/Nb$ ,  $Cr/Y$ ,  $Al_2O_3/TiO_2$ ) L'utilisation d'un appareil avec 3 faisceaux dont un à 40 eV (comparativement à 2 faisceaux dans notre cas) aurait grandement amélioré les limites de détections des éléments comme le titane, l'aluminium et le zircon, qui sont des éléments essentiels pour le calcul des bilans de masses. L'auteur conseille donc l'utilisation d'un appareil à 3 faisceaux pour être en mesure d'utiliser cette méthode de quantification de l'altération potassique avec les analyses obtenues au moyen d'un appareil de détection portatif par la fluorescence-X.

### 6.3 Comparaison entre la méthode d'analyse à la spectroscopie infrarouge et la lithogéochimie (CONSONORM\_LG et CONSONORM\_HG)

#### 6.3.1 Résultats

Dans un premier temps, un grade métamorphique a été calculé pour chaque échantillon ( $n = 47$ ) à partir des analyses lithogéochimiques selon la Norme CONSONORM\_LG (Trépanier et *al.*, 2015) et CONSONORM\_HG (Mathieu et *al.*, 2016). Il est important d'associer le bon faciès métamorphique à chaque échantillon pour le calcul des minéraux normatifs afin d'être en mesure de les comparer avec la spectroscopie infrarouge (p. ex.  $\Sigma$ Micas Blancs% et  $\Sigma$ Biotite%). Le diagramme en pointes de tarte de **figure 22** illustre les grades métamorphiques calculés selon les Normes CONSONORM\_LG et CONSONORM\_HG avec le logiciel LithoModeleur. La majorité des échantillons sont au faciès des schistes verts  $350^0$  ( $n=32$ ) et quelques échantillons aux faciès des schistes verts  $450^0$  ( $n=5$ ) et amphibolites  $575^0$  ( $n=10$ ). Ces derniers proviennent majoritairement du gîte Lapa à plus grande profondeur où un isograde métamorphique entre le faciès schiste vert et amphibolite est reconnu (Simard et *al.*, 2013).








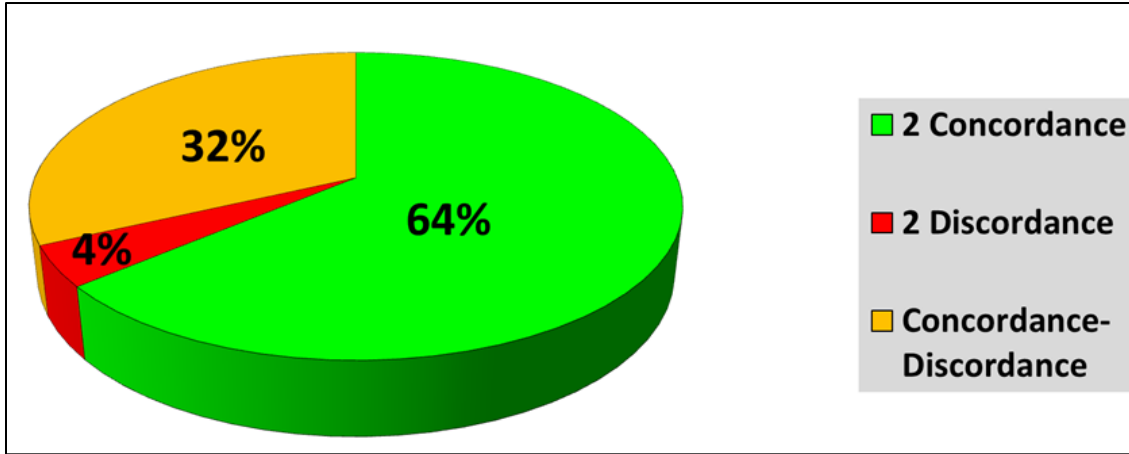
**Figure 22** : Diagramme en pointes de tarte illustrant le grade métamorphique calculé sur les 47 échantillons selon les Normes CONSONORM\_LG et CONSONORM\_HG à partir des analyses lithogéochimiques .

Par la suite, un tableau de concordance entre les minéraux d'altération potassique observés à la spectroscopie infrarouge (spectre compagnie AUSSPEC) et les minéraux d'altération potassique calculés par les Normes CONSONORM (**Tableau 3**) a été construit. Pour avoir une concordance totale, il faut soit 1) la détection de micas blancs et/ou de biotite-phlogopite par la spectroscopie infrarouge et la présence de micas blancs et/ou de biotite-phlogopite calculés par les Normes CONSONORM ou 2) l'absence de micas blancs et/ou de biotite-phlogopite par la spectroscopie infrarouge et l'absence de micas blancs et/ou de biotite-phlogopite calculés par les Normes CONSONORM (cases vertes dans le **Tableau 3**). Pour avoir une discordance totale, il faut soit 1) la détection de micas blancs et/ou de biotite-phlogopite par la spectroscopie infrarouge et l'absence de micas blancs et/ou de biotite-phlogopite calculés par les Normes CONSONORM ou 2) l'absence de micas blancs et/ou de biotite-phlogopite par la spectroscopie infrarouge et la présence de micas blancs et/ou de biotite-phlogopite calculés par les Normes CONSONORM (cases rouges dans le **Tableau 3**). Une concordance partielle correspond à la détection de micas blancs et/ou biotite-phlogopite et non calculés ou en calculés en très faible pourcentage ( $\pm 1\%$ ) par les Normes CONSONORM (cases oranges dans le **Tableau 3**). Cette comparaison a permis de constater que sur 64% des échantillons (n=30), les analyses du TerraSpec® HALO et les minéraux calculés par les Normes CONSONORM sont concordants. Sur 32% des échantillons (n=15), les résultats sont mitigés entre les analyses du TerraSpec® HALO et les CONSONORM. Par contre, seulement dans 4 % des cas (n=2 échantillons) les deux méthodes sont discordantes. L'étude permet d'affirmer que dans 2 fois sur trois, les analyses du TerraSpec® HALO sont efficaces et détectent les minéraux d'altération potassique qui sont calculés par les Normes CONSONORM (**Figure 23**). Les minéraux d'altération potassique sont spécifiquement bien détectés par la spectroscopie infrarouge sur les roches volcaniques felsiques du gisement B26 (**Figure 24**).

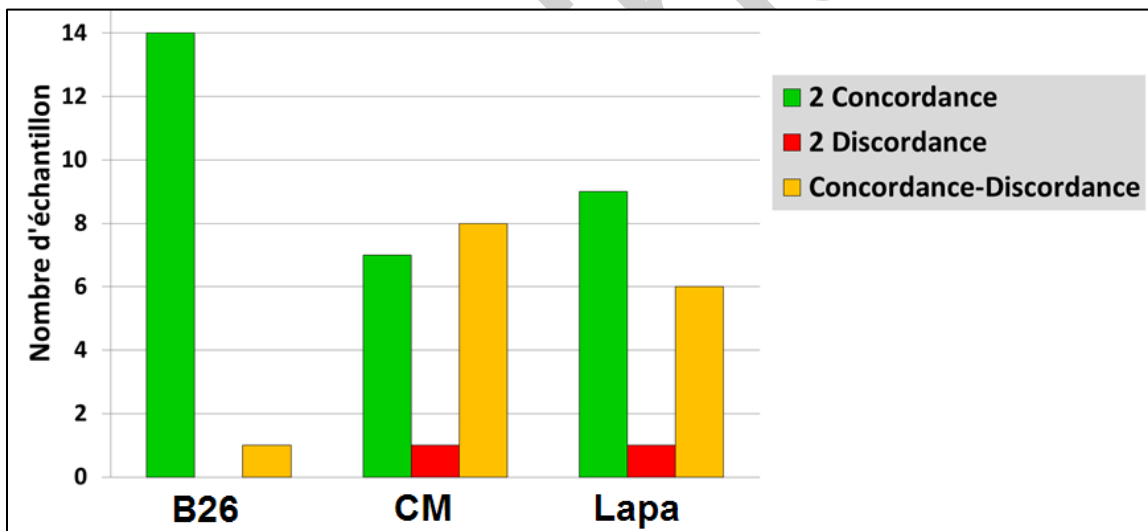
**Tableau 3** – Tableau de concordance entre les minéraux d'altération potassique observés à la spectroscopie infrarouge (spectres calculés par la compagnie AUSSPEC) et les minéraux d'altération potassique calculés par les Normes CONSONORM. La  $\Sigma$ Micas blancs% CONSONORM\_SV350 = %Paragonite + %Pyrophyllite +%Séricite; la  $\Sigma$ Micas blanc% CONSONORM\_SV450 = %Pyrophyllite +%Séricite; La  $\Sigma$ Micas blanc% CONSONORM\_AMP575 = %Muscovite; la  $\Sigma$ Biotite% CONSONORM\_SV450 et \_AMP575 = %Biotite\_Mg + %Biotite\_Fe. Les cases jaunes = micas blanc détectés par la spectroscopie infrarouge et les Normes CONSONORM; les cases brunes = biotite-phlogopite détectées par la spectroscopie infrarouge et les Normes CONSONORM.

Secteur	Analyse	Litho	BM K2O(g)	Mineral1	Mineral2	Mineral3	Mineral4	Mineral5	$\Sigma$ MB% CONSONORM	$\Sigma$ BO% CONSONORM	Concordance MB	Concordance BO	
B26	V422751	V1B	-0.4051	Muscovite	FeMgChlorite	Phengite	VNIR-NMF		19.27	0			
	V422752	V1B	-0.4015	Muscovite	FeMgChlorite	Phengite	VNIR-NMF		20.49	0			
	V422753	V1B	1.3425	Phengite	Phengite	VNIR-NMF			24.2	0			
	V422754	VTC-VTL	9.3196	Dolomite	Phengite	VNIR-NMF			0	0			
	V422755	V1B	1.7381	Muscovite	Phengite	VNIR-NMF			18.09	0			
	V422756	V1B	6.5294	Calcite	Muscovite	VNIR-NMF			0.76	0			
	V422757	V1B	-2.9401	Phengite	Ankerite	K-illite	VNIR-NMF		4.88	0			
	V422758	V1D	-0.7589	Muscovite	FeMgChlorite	VNIR-NMF			16.9	0			
	V422759	VTL-V1T	0.4958	FeChlorite	Phengite	Lazulite	VNIR-NMF		21.35	0			
	V422760	V1B	-1.1937	Margarite	FeMgChlorite	Phengite	Montebrasite	VNIR-NMF		19.33	0		
	V422761	V1B	0.0239	FeMgChlorite	Phengite	Phengite	VNIR-NMF			22.51	0		
	V422762	V1B	0.2983	Clinozoisite	Muscovite	VNIR-NMF				27.89	0		
	V422763	V1B	-0.7690	Margarite	FeChlorite	Phengite	VNIR-NMF			20.46	0		
	V422764	V1B	0.9831	Phengite	FeChlorite	VNIR-NMF				16.17	0		
V422765	V1B	1.9878	Muscovite	Phengite	VNIR-NMF				20.39	0			
Canadian Malartic	40951	I1	-3.6267	Dolomite	Phlogopite	Pargasite	VNIR-NMF		0.94	0			
	40952	V4A	4.3573	Actinolite	Phlogopite	Hydrobiotite	VNIR-NMF		0	0			
	40953	V4A	2.7745	Actinolite	Hornblende	Hydrobiotite	VNIR-NMF		0	0			
	40954	I1	6.9172	Dolomite	Phlogopite	VNIR-NMF			1.08	0			
	40955	S3	9.1354	Hornblende	Phlogopite	VNIR-NMF	Witherite	VNIR-NMF		0	25.59		
	40956	I1	4.4353	Hornblende	Siderite	Phengite	FeMgChlorite	Mg-illite		1.86	0		
	40957	I2E	-0.4438	Calcite	Tourmaline	Phengite	Phengite	Mg-illite		2.96	0		
	40958	S3	0.9150	Biotite	Phlogopite	Phengite	VNIR-NMF			12.25	16.83		
	40959	S3	1.4640	Biotite	Phengite	Mg-illite	VNIR-NMF			4.99	0		
	40960	S3	-1.4157	Biotite	Calcite	FeMgChlorite	Phengite	VNIR-NMF		1.03	0		
	40961	I2C	3.1778	Dolomite	Montmorillonite	Ankerite	Mg-illite	VNIR-NMF		0	0		
	40962	I2F	1.2590	Hornblende	Tourmaline	Mg-illite	Phengite	Phengite		4.9	0		
	40963	I2F	1.1474	Biotite	Tourmaline	Phengite	Phengite	VNIR-NMF		3.37	0		
	40964	I2F	1.2634	Biotite	Tourmaline	Phengite	VNIR-NMF			1.63	8.89		
40965	I2G	0.9195	Biotite	Phengite	Tourmaline	VNIR-NMF			0	0			
40966	I2G	0.8915	Biotite	Epidote	Mg-illite	VNIR-NMF			1.96	8.82			
Lapa	AEXD23447	S3	0.0366	FeMgChlorite	Calcite	Muscovite	Tourmaline	VNIR-NMF		1.72	20.08		
	AEXD23447	M8-V4	0.6170	Actinolite	Talc	Dolomite	MgChlorite	VNIR-NMF		0	0		
	AEXD23447	V3B	1.1501	FeMgChlorite	Pargasite	VNIR-NMF			0	16.29			
	AEXD23447	M8-V3B	-0.0563	FeMgChlorite	Phlogopite	VNIR-NMF			0	4.72			
	AEXD23448	V3B	0.1116	Muscovite	Montmorillonite	FeMgChlorite	Ankerite	VNIR-NMF		0	6.27		
	AEXD23448	V3B	0.8185	Hornblende	FeMgChlorite	VNIR-NMF			0	10.93			
	AEXD23448	M8-V4		Actinolite	FeMgChlorite	Ankerite	VNIR-NMF		0	0			
	AEXD23448	S3	-0.2017	Biotite	FeMgChlorite	Tourmaline	VNIR-NMF		0	17.92			
	AEXD23448	M8-V4	0.3434	Actinolite	Talc	MgChlorite	Ankerite	VNIR-NMF		0	0		
	AEXD23448	V3B	0.5528	Phlogopite	FeMgChlorite	VNIR-NMF			4.22	6.33			
	AEXD23448	V3B	0.9807	Biotite	Phlogopite	FeMgChlorite	VNIR-NMF		0	0			
	AEXD23448	V3B	0.3650	Biotite	Calcite	Tourmaline	Phengite	MgChlorite		2.45	18.65		
	AEXD23448	M8-V3B	0.7478	FeMgChlorite	Muscovite	Brucite	Phengite	VNIR-NMF		4.98	6.41		
	AEXD23448	V3B	0.0036	Actinolite	FeMgChlorite	VNIR-NMF			0	0	0.28		
AEXD23449	M8	1.2160	Biotite	FeMgChlorite	Brucite	Ankerite	VNIR-NMF		0	15.05			
AEXD23449	S3	-0.6380	Biotite	FeMgChlorite	VNIR-NMF			0	13.64				

	Concordance
	Concordance partielle
	Discordance
	Micas blancs (IR et CONSONORM)
	Biotite-Phlogopite (IR et CONSONORM)



**Figure 23** : Diagramme en pointes de tarte illustrant l'efficacité des analyses du TerraSpec® HALO pour la détection des minéraux d'altération potassique ( $\Sigma$ Micas Blancs% et  $\Sigma$ Biotite%) par rapport aux minéraux d'altération potassique calculés par les Normes CONSONORM\_LG (Trépanier et *al.*, 2015) et CONSONORM\_HG (Mathieu et *al.*, 2016).



**Figure 24** : Histogramme illustrant l'efficacité des analyses du TerraSpec® HALO pour la détection des minéraux d'altération potassique ( $\Sigma$ Micas Blancs% et  $\Sigma$ Biotite%) par rapport aux minéraux d'altération potassique calculés par les Normes CONSONORM\_LG (Trépanier et *al.*, 2015) et CONSONORM\_HG (Mathieu et *al.*, 2016) par secteur d'étude. Les minéraux d'altération potassique observés dans les roches volcaniques felsiques du gisement B26 répondent particulièrement bien à la spectroscopie infrarouge.

### 6.3.2 Synthèse

Les résultats démontrent que les analyses effectuées à la spectroscopie infrarouge sont corrélables avec les minéraux calculés par la Norme CONSONORM\_LG (Trépanier et *al.*, 2015) et la Norme CONSONORM\_HG (Mathieu et *al.*, 2016) à partir des analyses lithogéochimiques. Dans le deux tiers des cas (30 échantillons sur 47), les minéraux d'altération potassique détectés par cette méthode d'analyse concordent avec les minéraux d'altération potassique calculés par les deux CONSONORM ( $\Sigma$ Micas Blancs% et  $\Sigma$ Biotite%). Seuls 2 des échantillons montrent des résultats non concordants. La méthode d'analyse par spectroscopie infrarouge fonctionne bien sur chacun des trois secteurs choisis et plus particulièrement sur les échantillons provenant des roches volcaniques felsiques du gisement B26 (contexte SMV). Mais il faut garder en tête que les analyses à la spectroscopie infrarouge détecte généralement bien les minéraux d'altération potassique, mais ne les quantifie pas, du moins non de manière quantitative.



---

## 7 DISCUSSION

---

Par une revue de la littérature, l'étude a permis de d'élaborer un protocole unifié d'utilisation des appareils de détection portatifs à la fluorescence-X et à la spectroscopie infrarouge. Ce protocole d'utilisation se veut complet et va de la relation et sélection des échantillons jusqu'au traitement final des données. De plus, cette revue a permis de comparer les deux méthodes d'analyses et de faire ressortir les forces et les faiblesses de chacun des appareils de détection portatifs.

Il a été démontré également que la quantification de l'altération potassique obtenue par la méthode des bilans de masse par précurseurs modélisés (Trépanier et *al.*, 2016) est partiellement reflétée par les contenus en  $K_2O\%$  mesurés avec l'analyseur à la fluorescence-X. Les analyses effectuées sur les échantillons des trois (3) secteurs d'étude démontrent une relation partielle entre les valeurs de  $K_2O\%$  obtenues par la fluorescence-X et les bilans de masse en  $K_2O$  (g./100 g. d'échantillon). Cette relation partielle s'observe particulièrement bien sur le gîte Canadian Malartic et le gisement B26. Plus les valeurs en  $K_2O\%$  mesurées au par la fluorescence-X sont élevées, plus les bilans de masse calculés en  $K_2O$  (g./100 g. d'échantillon) sont élevés. Cette relation partielle à partir des analyses à la fluorescence-X permettrait aux compagnies d'estimer une quantification en temps réel de l'altération potassique *in-situ* avec une analyse rapide en quelques minutes au moyen d'un appareil de détection portatif et les géologues peuvent ainsi être en mesure de suivre et de vectoriser en temps réel l'altération (minéralisation ?), et ainsi optimiser les campagnes d'exploration.

L'analyse des échantillons par la spectroscopie infrarouge est également une bonne méthode pour détecter les minéraux d'altération potassique (p. ex. micas blancs, biotite, phlogopite). Les résultats démontrent que les analyses effectuées à la spectroscopie infrarouge sont corrélables avec les minéraux calculés par la Norme CONSONORM\_LG (Trépanier et *al.*, 2015) et la Norme CONSONORM\_HG (Mathieu et *al.*, 2016) à partir des analyses lithogéochimiques dans le deux tiers des cas. Cette méthode d'analyse semble surtout bien fonctionner sur le secteur B26 où les mesures ont été effectuées sur des roches volcaniques felsiques généralement homogènes.

---

## 8 CONCLUSIONS

---

Jones et *al.* (2005) posent quelques questions pertinentes dans leurs études dont celle-ci :

- Quelle est la meilleure stratégie analytique pour optimiser la caractérisation géochimique/minéralisation/altération sur un échantillon et/ou un affleurement particulier?

En d'autres termes, quel est le temps qu'une compagnie est prête à attendre versus l'argent dépenser pour ce résultat et la réponse qui accompagne ce résultat. C'est pourquoi l'utilisation des appareils de détection portatifs à la fluorescence-X et à la spectroscopie infrarouge peut s'avérer des outils très pratiques en exploration minière. Ils permettent de gagner un temps précieux selon la problématique, de vectoriser en temps réel l'altération et la minéralisation et d'optimiser les campagnes d'exploration *in situ*.

Par contre, l'utilisation d'une méthode d'analyse ou l'autre (fluorescence-X et spectroscopie infrarouge) prise individuellement ne permet pas toujours de discriminer et quantifier l'altération potassique. C'est pourquoi la lithogéochimie demeure encore la meilleure méthode pour évaluer et quantifier les processus d'altérations ayant affectées la roche encaissante dans des systèmes minéralisateurs.

---

## LIVRABLES

---

- Protocole unifié d'utilisation des appareils de détection portatifs à la fluorescence-X et à la spectroscopie infrarouge ;
- Revue de la littérature scientifique ;
- Tableau résumé des avantages et des désavantages de chaque méthode ;
- Formulaire Access adaptable d'entrée de données ;
- Une base de données d'acquisition brute et une base de données éditées ;
- Trois présentations *PowerPoint* ;
- Un rapport technique.

---

## REMERCIEMENTS

---

Je tiens à remercier dans un premier temps les partenaires et membres du CONSOREM. Particulièrement SOQUEM, Les Mines Agnico Eagle Ltée. et le Partenariat Canadian Malartic (Les Mines Agnico Eagle Ltée et Yamana Gold) pour l'accès aux cartothèques et la prise d'échantillons.

Je remercie également la compagnie REFLEX-IMDEX Limited® pour la location gratuite des appareils portatifs ainsi que de M. Dominique Huot REFLEX-IMDEX Limited® pour son aide précieuse et sa patience pour les nombreuses questions que je me suis posées tout au long du projet. Je remercie aussi mes collègues du CONSOREM, qui sont toujours disponibles pour des échanges et commentaires pertinents, spécialement M. Réal Daigneault pour son écoute et ses judicieux conseils.

---

## RÉFÉRENCES

---

Bourke, A., & Ross, P.-S. (2016). Portable X-ray fluorescence measurements on exploration drill-cores: comparing performance on unprepared cores and powders for 'whole-rock' analysis. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 16(2), 147-157.

Brand, N. W., & Brand, C. J. (2014). Performance comparison of portable XRF instruments. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2012-172.

Clark, R. N. (1981). The spectral reflectance of water-mineral mixtures at low temperatures. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B4), 3074-3086.

Clark, R. N. (1999). Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. *Manual of remote sensing*, 3(3-58), 2-2.

Clark, R. N., Swayze, G. A., Wise, R., Livo, K. E., Hoefen, T., Kokaly, R. F., & Sutley, S. J. (2007). USGS digital spectral library splib06a. *US geological survey, digital data series*, 231, 2007.

De Souza, S., Dubé, B., McNicoll, V., Dupuis, C., Mercier-Langevin, P., Creaser, R. A., & Kjarsgaard, I. (2016). Geology and Hydrothermal Alteration of the World-Class Canadian Malartic Gold Deposit: Genesis of an Archean Stockwork-Disseminated Gold Deposit in the Abitibi Greenstone Belt, Québec. *Reviews in Econ Geol*, 19.

Fisher, L., Gazley, M. F., Baensch, A., Barnes, S. J., Cleverley, J., & Duclaux, G. (2014). Resolution of geochemical and lithostratigraphic complexity: a workflow for application of portable X-ray fluorescence to mineral exploration. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 14(2), 149-159.

Gazley, M. F., Vry, J. K., du Plessis, E., & Handler, M. R. (2011). Application of portable X-ray fluorescence analyses to metabasalt stratigraphy, Plutonic Gold Mine, Western Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 110(2), 74-80.

Gazley, M. F., Duclaux, G., Fisher, L. A., Tutt, C. M., Latham, A. R., Hough, R. M., De Beer, S.J. & Taylor, M. D. (2015). A comprehensive approach to understanding ore deposits using portable X-ray fluorescence (pXRF) data at the Plutonic Gold Mine, Western Australia. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 15(2-3), 113-124.

Ge, L., Cheng, F., & Zhang, Q. (2008). Measure the constituents of geological samples by XRF intensity influence coefficient method. *Nuclear Electronics and Detection Technology*, 28(2), 425-429.

Glanzman, R. K., & Closs, L. G. (2007). Field portable X-Ray fluorescence geochemical analysis—its contribution to onsite real-time project evaluation. In *Proceedings of Exploration* (Vol. 7, pp. 291-301).

Goodale, N., Bailey, D. G., Jones, G. T., Prescott, C., Scholz, E., Stagliano, N., & Lewis, C. (2012). pXRF: A study of inter-instrument performance. *Journal of Archaeological Science*, 39(4), 875-883.

Hall, G. E. M., Buchar, A., & Bonham-Carter, G. F. (2012). CAMIRO Project 10E01 (Phase 1): Quality Control Assessment of Portable XRF Analysers: Development of Standard Operating Procedures, Performance on Variable Media and Recommended Uses.

Jones, M. C., Williams-Thorpe, O., Potts, P. J., & Webb, P. C. (2005). Using Field-Portable XRF to Assess Geochemical Variations Within and Between Dolerite Outcrops of Preseli, South Wales. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 29(3), 251-269.

Kelloway, S. J., Ward, C. R., Marjo, C. E., Wainwright, I. E., & Cohen, D. R. (2014). Calibration for ED-XRF profiling of coal cores for the Itrax Core Scanner. *Powder Diffraction*, 29(S1), S28-S34.

Le Vaillant, M., Barnes, S. J., Fisher, L., Fiorentini, M. L., & Caruso, S. (2014). Use and calibration of portable X-Ray fluorescence analysers: application to lithochemical exploration for komatiite-hosted nickel sulphide deposits. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 14(3), 199-209.

Mathieu, L., Trépanier, S., & Daigneault, R. (2016). CONSONORM\_HG: a new method of norm calculation for mid-to high-grade metamorphic rocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 34(1), 1-15.

Morris, P. A. (2009). *Field-portable X-ray fluorescence analysis and its application in GSWA*. Geological Survey of Western Australia.

Nazaroff, A. J., Prufer, K. M., & Drake, B. L. (2010). Assessing the applicability of portable X-ray fluorescence spectrometry for obsidian provenance research in the Maya lowlands. *Journal of Archaeological Science*, 37(4), 885-895.

Perrouty, S., Gaillard, N., Piette-Lauzière, N., Mir, R., Bardoux, M., Olivo, G. R., Linnen, R.L., Bérubé, C. L., Lypaczewski, P., Guilmette, C., Feltrin, L., & Morris, W.A. (2017). Structural setting for Canadian Malartic style of gold mineralization in the Pontiac Subprovince, south of the Cadillac Lake deformation zone, Québec, Canada. *Ore Geology Reviews*, 84, 185-201.

Peter, J., Mercier-Langevin, P., & Chapman, J. B. (2009, June). Application of field-portable x-ray fluorescence spectrometers in mineral exploration, with examples from the Abitibi Greenstone Belt. In *Proceedings of the 24th International Applied Geochemistry Symposium, Fredericton, New Brunswick* (Vol. 1, pp. 83-86).

Potts, P. J., Williams-Thorpe, O., & Webb, P. C. (1997). The bulk analysis of silicate rocks by portable X-ray fluorescence: effect of sample mineralogy in relation to the size of the excited volume. *Geostandards Newsletter*, 21(1), 29-41.

Potts, P. J., Bernardini, F., Jones, M. C., Williams-Thorpe, O., & Webb, P. C. (2006). Effects of weathering on in situ portable X-ray fluorescence analyses of geological outcrops: dolerite and rhyolite outcrops from the Preseli Mountains, South Wales. *X-Ray Spectrometry*, 35(1), 8-18.

Potts, P. J., & West, M. (Eds.). (2008). *Portable X-ray fluorescence spectrometry: Capabilities for in situ analysis*. Royal Society of Chemistry.

Ross, P.-S. (2006). Optimisation des données de forage. Rapport, Projet CONSOREM 2005-08, 77 p.

Ross, P.-S., Bourke, A., & Fresia, B. (2013). A multi-sensor logger for rock cores: Methodology and preliminary results from the Matagami mining camp, Canada. *Ore Geology Reviews*, 53, 93-111.

Ross, P.-S., Bourke, A., & Fresia, B. (2014). Improving lithological discrimination in exploration drill-cores using portable X-ray fluorescence measurements:(1) testing three Olympus Innov-X analysers on unprepared cores. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 2012-163.

Simard, M., Gaboury, D., Daigneault, R., & Mercier-Langevin, P. (2013). Multistage gold mineralization at the Lapa mine, Abitibi Subprovince: insights into auriferous hydrothermal and metasomatic processes in the Cadillac–Larder Lake Fault Zone. *Mineralium Deposita*, 48(7), 883-905.

Sun, Y., Seccombe, P. K., & Yang, K. (2001). Application of short-wave infrared spectroscopy to define alteration zones associated with the Elura zinc–lead–silver deposit, NSW, Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 73(1), 11-26.

Schweitzer, J. S., Trombka, J. I., Floyd, S., Selavka, C., Zeosky, G., Gahn, N., ... & Burbine, T. (2005). Portable generator-based XRF instrument for non-destructive analysis at crime scenes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 241(1-4), 816-819.

Thompson, A. J., Hauff, P. L., & Robitaille, A. J. (1999). Alteration mapping in exploration: application of short-wave infrared (SWIR) spectroscopy. *SEG newsletter*, 39(1), 16-27.

Trépanier, S., Mathieu, L., & Daigneault, R. (2015). CONSONORM\_LG: new normative minerals and alteration indexes for low-grade metamorphic rocks. *Economic Geology*, 110(8), 2127-2138.

Trépanier, S., Mathieu, L., Daigneault, R., & Faure, S. (2016). Precursors predicted by artificial neural networks for mass balance calculations: Quantifying hydrothermal alteration in volcanic rocks. *Computers & Geosciences*, 89, 32-43.

Webb, P. C., Thompson, M., Potts, P. J., & Bedard, L. P. (2006). GEOPT18—an international proficiency test for analytical geochemistry laboratories-report on round 118 / Jan 2006 (Quartz diorite, KPT-1).

---

## ANNEXES

---

**Annexe 1 – Caractéristiques techniques des appareils analyseurs portatifs Olympus® Vanta (Série M) et TerraSpec® HALO.**

Préliminaire

**Annexe 2 – Tableau résumé des avantages/désavantages des appareils de détection portatifs à la fluorescence-X et à la spectroscopie Infrarouge.**

Avantages	Références	Désavantages	Références
Méthodes d'analyses non-destructives.	Bourke et Ross, 2016 Ross et al., 2014 Ross et al., 2013 Peter et al., 2009 Glanzman et Closs, 2007 Jones et al., 2005 Thompson et al., 1999	Volume/Surface de roche analysée très petit: la concentration est très influencée par l'effet de matrice (granulométrie grossière, altération, densité de veines, etc.).	Ross et al., 2014 Fisher et al., 2014; LeVaillant et al., 2014 Glanzman et Closs, 2007 Jones et al., 2005
Temps d'analyse rapide (secondes à minutes). Évaluation rapide de la distribution des assemblages minéralogique d'altération.	Bourke et Ross, 2016 Ross et al., 2014 Ross et al., 2013 Peter et al., 2009 Glanzman et Closs, 2007 Jones et al., 2005 Thompson et al., 1999	Répétitivité des résultats et l'exactitude sont généralement pauvre à très pauvre avec de grandes différences dans la concentration de certains éléments, surtout sur de la roche intacte (non broyée). L'analyse est optimisée si le média est de la poudre (homogénéise l'échantillon en diminuant l'effet de matrice et l'effet de pépite de la distribution des éléments), les roches à grains fins ou non-cristallines, les sols, la céramique ou les alliages. Si la granulométrie des échantillons est grossière, plusieurs analyses sont alors nécessaires pour faire des moyennes des données et ainsi améliorer la précision et l'exactitude.	Bourke et Ross, 2016 Ross et al., 2014 Fisher et al., 2014 Brand and Brand, 2014 Le Vaillant et al., 2014 Hall et al., 2013 Morris, 2009 Potts et West, 2008 Potts et al., 1997 Nazaroff et al., 2010 Goodale et al., 2012 Ge, 2008 Glanzman et Closs, 2007
Analyse 20 à 30 éléments simultanément (quantitatif ou semi-quantitatif).	Bourke et Ross, 2016 Peter et al., 2009 Glanzman et Closs, 2007	N'analyse pas les éléments plus légers que Mg (No. Atomique 1 à 12). L'analyse à fluorescence-X n'est pas recommandée pour les éléments suivants: Au-Bi-Cs-Hf-Hg-Sc-Pd-Pt-Se-Ta-Te-W (interférence dans les pics).	Peter et al., 2009 Hall et al., 2011
Capacité de traitement de nombreux échantillons. Augmente la productivité de la description de la carotte et de la cartographie préliminaire géologique.	Peter et al., 2009 Glanzman et Closs, 2007 Jones et al., 2005 Thompson et al., 1999	Pour la spectroscopie infrarouge, analyse surtout les molécules et les radicaux (minéraux d'altération et/ou métamorphique) avec des cations -OH comme les liens Al-OH, Fe-OH et Mg-OH, minéraux hydratés (H <sub>2</sub> O), présence de NH <sub>4</sub> et de CO <sub>3</sub> . Donc, nécessite la mesure de longueur d'onde précise de certains pics d'absorption.	Ross et al., 2013 Thompson et al., 1999



Haute résolution spatiale (cm).	Bourke et Ross, 2016 Peter et al., 2009	Sensible à la présence d'eau (séchage de l'échantillon nécessaire).	Ross et al., 2013 Glanzman et Closs, 2007 Ge et al., 2005 Clark, 1981
Peut être utilisé dans plusieurs applications (médico-légale, archéologie, exploration minière, environnement).	Schweitzer et al., 2005 Nazaroff et al., 2010 Bourke et Ross, 2016 Glanzman et Closs, 2007 Thompson et al., 1999.	L'échantillon doit être scié (sensible aux surfaces irrégulières). À noter que si le média est dans un sac de plastique, celui-ci aura un impact significatif sur la concentration mesurée des éléments légers (No. Atomique situé entre 12 et 25; Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr et Mn). Il faut alors calculer et appliquer des facteurs de corrections.	Fisher et al., 2014 Brand and Brand, 2014 Le Vaillant et al., 2014 Morris, 2009 Potts et al., 2006
Petit, portatif et facile d'utilisation (analyse <i>in-situ</i> et <i>ex-situ</i> ).	Peter et al., 2009 Glanzman et Closs, 2007 Jones et al., 2005	Les mesures peuvent être affectées par la température, la pression atmosphérique, la présence de lumière fluorescente.	Fisher et al., 2014 Ross et al., 2013
Bonne limite de détection pour plusieurs éléments.	Ross et al., 2014 Peter et al., 2009	Les analyses provenant de 2 appareils distincts ne peuvent être combinées sans traitement post-analyse (chaque appareil est individuel)	Hall et al. 2011 Brand and Brand, 2014
Versatile et nombreux potentiel d'applications (cartographie géologique, exploration géochimique (sol, roche, sédiments), détermination du contenu en métaux, identification minière durant les campagnes, analyse possible sur de nombreux médias, contrôle de qualité et de teneur, environnement, etc.).	Peter et al., 2009 Ross et al., 2014 Ross et al., 2013 Fisher et al., 2014 Le Vaillant et al., 2014 Gazley et al., 2015 Gazley et al., 2011 Kelloway et al., 2014 Glanzman et Closs, 2007 Jones et al., 2005 Thompson et al., 1999	Détérioration de l'appareil affectant la performance (re-calibration périodique).	Fisher et al. 2014 Brand and Brand, 2014 Thompson et al., 1999
Précision est généralement très bonne (< 5% RSD).	Brand and Brand, 2014	Altération supergène et superficielle affecte les mesures.	Brand and Brand, 2014 Thompson et al., 1999
Archivage des données simple.	Fisher et al., 2014 Le Vaillant et al., 2014	Protocole de contrôle et d'analyse stricte (nettoyage des échantillons, analyse de blancs, de standards et de duplicatas, LOD).	Gazley et al., 2015 Fisher et al., 2014 Le Vaillant et al., 2014 Ross et al., 2013 Glanzman et Closs, 2007
Détection de plusieurs minéraux avec les appareils de détection à spectroscopie infrarouge.	Ross et al., 2013 Clark et al., 2007 Thompson et al., 1999	Équations de calibration nécessaires pour comparer avec de la lithogéochimie.	Bourke et Ross, 2016 Ross et al., 2014 Le Vaillant et al., 2014

			Ross et al., 2013
Faible coût et temps de préparation minime (selon le média).	Peter et al. 2009 Glanzman et Closs, 2007 Jones et al., 2005.	L'échantillonnage est laissé à l'expérience et à l'expertise du géologue de terrain.	Jones et al. 2005
Spectroscopie infrarouge fonctionne dans plusieurs contextes métallogéniques (épithermal, VMS, Au-Orogénique, Uranium, kimberlite, <i>Intrusion-related</i> , <i>Intrusion-hosted</i> ).	Thompson et al., 1999	Faible profondeur de pénétration de l'analyse (mm): premier mm de la surface géologique de l'échantillon peut représenter de 60 à 80% de la profondeur analysée.	Ross et al., 2013 Glanzman et Closs, 2009 Brand and Brand, 2014 Thompson et al., 1999
Spectroscopie infrarouge est très utile lorsque les minéraux d'altération sont difficiles à identifier dû à la granulométrie trop fine ou à l'altération supergène.	Thompson et al., 1999	Si on compare les données obtenues du pXRF et celle du laboratoire, la longueur de l'échantillon analysée pour les deux méthodes doit être égale.	Fisher et al., 2014
Spectroscopie infrarouge peut déterminer l'abondance relative de certains minéraux.	Thompson et al., 1999	Les batteries au Li peuvent avoir un effet sur la précision et l'exactitude des mesures. Il est important d'archiver cette information dans la base de données pour pouvoir appliquer les corrections nécessaires.	Brand and Brand, 2014
		Nécessite une librairie spectrale de référence.	Thompson et al., 1999
		Certains minéraux ont des spectres similaires (p.ex. ankérite versus dolomite et sidérite). Peut-être alors difficile d'identifier et d'estimer l'abondance de l'un en présence des autres.	Sun et al., 2001
		Faiblesse de la méthode d'analyse par spectroscopie infrarouge pour les roches aux couleurs foncées, spécialement les roches sédimentaires et/ou métasédimentaires avec un contenu en matière organique.	Sun et al., 2001

### Annexe 3 – Protocole pour la relation et la sélection des échantillons.

- 1- Les trous de forage et les échantillons seront sélectionnés dans un premier temps en fonction de leurs disponibilités.
- 2- Les échantillons devront idéalement représenter une bonne variété de la roche :
  - a. Fraîche;
  - b. Altérée et/ou minéralisée.
- 3- Pour chaque site d'échantillonnage, deux trous de forage seront sélectionnés. Un trou témoin et un trou pour contre-validation des résultats. Idéalement, les 2 trous de forage devront être spatialement rapprochés l'un par rapport à l'autre pour minimiser l'effet de la variabilité naturelle de la roche sur les résultats.
- 4- Au total, 8 échantillons seront prélevés par trou de forage et 1 standard (type KPT) par 2 trous de forage.
- 5- La fréquence d'échantillonnage sera fonction :
  - a. De la disponibilité des échantillons;
  - b. De la variation de la roche.
- 6- Les échantillons prélevés seront d'une longueur variant de 50 à 100 cm. Idéalement, nous tenterons de prélever la carotte en entier ou la moitié de la carotte de forage, selon le cas. Nous laisserons une moitié comme témoin dans la boîte de forage sur le site. L'autre moitié servira pour les analyses. L'autre moitié ou quart de la carotte sera utilisé pour les analyses au moyen des appareils portatifs (et pour la production de lames minces) tandis que l'autre moitié ou quart de la carotte sera envoyé au laboratoire ALS Global pour une analyse de roche entière (lithogéochimie).
- 7- Les échantillons seront identifiés par des tags d'analyses avec un identifiant ID unique (*Primary Key*). Chaque échantillon sera emballé individuellement dans un sac de plastique pour en préserver l'intégrité. Une moitié du tag d'analyse sera laissée dans la boîte de forage et l'autre moitié sera insérée dans le sac de plastique. Les tags d'analyses seront fournis par les compagnies.
- 8- Les échantillons seront transportés à l'U.Q.A.C. par Jérôme Lavoie. Ils seront sciés en deux dans les laboratoires de l'U.Q.A.C. et analysés avec les ADP dans les bureaux du CONSOREM par Jérôme Lavoie. Les échantillons pour les analyses de roche entière (lithogéochimie) passeront directement par le CONSOREM via l'U.Q.A.C.. Les échantillons seront acheminés chez ALS Global en Abitibi.
- 9- Si possible, reprendre les mêmes trous de forage qui ont été utilisés dans le cadre du projet CONSOREM 2016-02 pour les sites de la mine Lapa et du projet B26.

**Annexe 4 – Certificat d’analyse VO17268101, ALS Global.**

Préliminaire

## Annexe 5 – Description physique des échantillons.

ID	No_Projet	No_AnalyseLitho	Nom_Secteur	No_Forage	De_m	A_m	Longueur_m	Contexte_Metallogénique	Type_Roche	Composition_Roche	Code_Litho	Homogénéité	Granulométrie	Couleur	Texture
1	2017-04	V422751	B26-Brouillan	1274-14-221M	651	651,28	0,28	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Aphanitique	Foncé	Foliée
2	2017-04	V422752	B26-Brouillan	1274-14-221M	657,2	657,44	0,24	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Homogène	Grains fins (< 1 mm)	Moyen	Foliée
3	2017-04	V422753	B26-Brouillan	1274-14-221M	620,1	620,33	0,23	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Aphanitique	Pâle	Rubannée
4	2017-04	V422754	B26-Brouillan	1274-14-221M	564,6	564,85	0,25	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	VTC-VTL	Hétérogène	Aphanitique	Pâle	Foliée
5	2017-04	V422755	B26-Brouillan	1274-14-221M	557,1	557,35	0,25	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Grains moyens (1-5 mm)	Moyen	Laminée
6	2017-04	V422756	B26-Brouillan	1274-14-221M	528,05	528,26	0,21	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Grains grossiers (> 5 mm)	Pâle	Porphyrique
7	2017-04	V422757	B26-Brouillan	1274-14-221M	363,5	363,75	0,25	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Pâle	Bréchique
8	2017-04	V422758	B26-Brouillan	1274-14-221M	243,9	244,15	0,25	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1D	Homogène	Grains fins (< 1 mm)	Moyen	Massif(ve)
9	2017-04	V422759	B26-Brouillan	1274-16-226	280,75	280,93	0,18	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1TL-V1TX	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Moyen	Foliée
10	2017-04	V422760	B26-Brouillan	1274-16-226	359	359,23	0,23	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Aphanitique	Moyen	Laminée
11	2017-04	V422761	B26-Brouillan	1274-16-226	448,05	448,3	0,25	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Aphanitique	Foncé	Laminée
12	2017-04	V422762	B26-Brouillan	1274-16-226	485,55	485,8	0,25	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Aphanitique	Pâle	Laminée
13	2017-04	V422763	B26-Brouillan	1274-16-226	424,05	424,3	0,25	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Aphanitique	Moyen	Laminée
14	2017-04	V422764	B26-Brouillan	1274-16-226	646,6	646,8	0,2	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Grains moyens (1-5 mm)	Foncé	Rubannée
15	2017-04	V422765	B26-Brouillan	1274-16-226	655,04	655,3	0,26	Sulfures Massifs Volcanogènes	Volcanique	Felsique	V1B	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Pâle	Rubannée
16	2017-04	40951	Canadian Malartic	BA10-3988	64,15	64,36	0,21	Au encaissé dans des intrusifs	Intrusif	Felsique	I1	Homogène	Aphanitique	Pâle	Bréchique
17	2017-04	40952	Canadian Malartic	BA10-3988	74,05	74,3	0,25	Au encaissé dans des intrusifs	Volcanique	Ultramafique	V4A	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Foncé	Schisteux
18	2017-04	40953	Canadian Malartic	BA10-3988	83,1	83,32	0,22	Au encaissé dans des intrusifs	Volcanique	Ultramafique	V4A	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Foncé	Schisteux
19	2017-04	40954	Canadian Malartic	BA10-3988	83,74	83,96	0,22	Au encaissé dans des intrusifs	Intrusif	Felsique	I1	Hétérogène	Aphanitique	Pâle	Porphyrique
20	2017-04	40955	Canadian Malartic	BA10-3988	88,58	88,8	0,22	Au encaissé dans des intrusifs	Sédimentaire	Felsique	S3	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Foncé	Laminée
21	2017-04	40956	Canadian Malartic	BA10-3988	91,93	92,14	0,21	Au encaissé dans des intrusifs	Intrusif	Felsique	I1	Homogène	Aphanitique	Pâle	Porphyrique
22	2017-04	40957	Canadian Malartic	BA10-3988	99,82	100,04	0,22	Au encaissé dans des intrusifs	Intrusif	Intermédiaire	I2E	Homogène	Aphanitique	Moyen	Porphyrique
23	2017-04	40958	Canadian Malartic	BA10-3988	111,75	111,98	0,23	Au encaissé dans des intrusifs	Sédimentaire	Felsique	S3	Homogène	Aphanitique	Foncé	Massif(ve)
24	2017-04	40959	Canadian Malartic	CM08-1885	33,23	33,45	0,22	Au encaissé dans des intrusifs	Sédimentaire	Felsique	S3	Homogène	Grains fins (< 1 mm)	Foncé	Massif(ve)
25	2017-04	40960	Canadian Malartic	CM08-1885	35	35,23	0,23	Au encaissé dans des intrusifs	Sédimentaire	Felsique	S3	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Pâle	Massif(ve)
26	2017-04	40961	Canadian Malartic	CM08-1885	43,47	43,67	0,2	Au encaissé dans des intrusifs	Intrusif	Intermédiaire	I2C	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Pâle	Porphyrique
27	2017-04	40962	Canadian Malartic	CM08-1885	50,84	51,07	0,23	Au encaissé dans des intrusifs	Intrusif	Intermédiaire	I2F	Homogène	Grains moyens (1-5 mm)	Pâle	Porphyrique
28	2017-04	40963	Canadian Malartic	CM08-1885	56,71	56,94	0,23	Au encaissé dans des intrusifs	Intrusif	Intermédiaire	I2F	Homogène	Grains moyens (1-5 mm)	Pâle	Porphyrique
29	2017-04	40964	Canadian Malartic	CM08-1885	66,91	67,12	0,21	Au encaissé dans des intrusifs	Intrusif	Intermédiaire	I2F	Homogène	Grains fins (< 1 mm)	Moyen	Porphyrique
30	2017-04	40965	Canadian Malartic	CM08-1885	74,9	75,12	0,22	Au encaissé dans des intrusifs	Intrusif	Intermédiaire	I2G	Homogène	Grains moyens (1-5 mm)	Moyen	Porphyrique
31	2017-04	40966	Canadian Malartic	CM08-1885	82,02	82,23	0,21	Au encaissé dans des intrusifs	Intrusif	Intermédiaire	I2G	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Pâle	Porphyrique
32	2017-04	CAEXD234476	Lapa	118-03-35D	979,61	979,81	0,2	Au-orogénique	Sédimentaire	Felsique	S3	Homogène	Aphanitique	Foncé	Foliée
33	2017-04	CAEXD234477	Lapa	118-03-35D	1103,4	1103,62	0,22	Au-orogénique	Volcanique	Ultramafique	M8-V4	Hétérogène	Aphanitique	Foncé	Schisteux
34	2017-04	CAEXD234478	Lapa	118-03-35D	1125,91	1126,13	0,22	Au-orogénique	Volcanique	Mafique	V3B	Hétérogène	Aphanitique	Moyen	Foliée
35	2017-04	CAEXD234479	Lapa	118-03-35D	1147,72	1147,93	0,21	Au-orogénique	Volcanique	Mafique	M8-V3B	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Pâle	Rubannée
36	2017-04	CAEXD234480	Lapa	118-03-35D	1200,32	1200,53	0,21	Au-orogénique	Volcanique	Mafique	V3B	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Moyen	Cisaillée
37	2017-04	CAEXD234481	Lapa	118-03-35D	1202,52	1202,73	0,21	Au-orogénique	Volcanique	Mafique	V3B	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Foncé	Schisteux
38	2017-04	CAEXD234482	Lapa	118-03-35D	1220,41	1220,6	0,19	Au-orogénique	Volcanique	Ultramafique	M8-V4	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Pâle	Schisteux
39	2017-04	CAEXD234483	Lapa	118-03-35D	1231,21	1231,41	0,2	Au-orogénique	Sédimentaire	Felsique	S3	Homogène	Aphanitique	Moyen	Foliée
40	2017-04	CAEXD234484	Lapa	118-03-43	288,22	288,43	0,21	Au-orogénique	Volcanique	Ultramafique	M8-V4	Hétérogène	Aphanitique	Foncé	Schisteux
41	2017-04	CAEXD234485	Lapa	118-03-43	361,62	361,83	0,21	Au-orogénique	Volcanique	Mafique	V3B	Homogène	Aphanitique	Foncé	Foliée
42	2017-04	CAEXD234486	Lapa	118-03-43	382,62	382,82	0,2	Au-orogénique	Volcanique	Mafique	V3B	Homogène	Grains fins (< 1 mm)	Foncé	Massif(ve)
43	2017-04	CAEXD234487	Lapa	118-03-43	386,53	386,77	0,24	Au-orogénique	Volcanique	Mafique	V3B	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Moyen	Cisaillée
44	2017-04	CAEXD234488	Lapa	118-03-43	393,8	394,01	0,21	Au-orogénique	Volcanique	Mafique	M8-V3B	Hétérogène	Aphanitique	Pâle	Rubannée
45	2017-04	CAEXD234489	Lapa	118-03-43	446,42	446,63	0,21	Au-orogénique	Volcanique	Mafique	V3B	Homogène	Grains fins (< 1 mm)	Foncé	Massif(ve)
46	2017-04	CAEXD234490	Lapa	118-03-43	465,8	466,01	0,21	Au-orogénique	Volcanique	Mafique	M8	Hétérogène	Grains fins (< 1 mm)	Moyen	Cisaillée
47	2017-04	CAEXD234491	Lapa	118-03-43	483,02	483,23	0,21	Au-orogénique	Sédimentaire	Felsique	S3	Homogène	Grains fins (< 1 mm)	Foncé	Schisteux

ID	No_Projet	No_AnalyseLitho	Nom_Secteur	No_Forage	De_m	A_m	Longueur_m	Commentaires_Echantillon
1	2017-04	V422751	B26-Brouillan	1274-14-221M	651	651,28	0,28	Roche décrite comme étant une volcanique felique à intermédiaire aphanitique à grains fins.
2	2017-04	V422752	B26-Brouillan	1274-14-221M	657,2	657,44	0,24	Roche décrite comme étant une volcanique felique à intermédiaire aphanitique à grains fins.
3	2017-04	V422753	B26-Brouillan	1274-14-221M	620,1	620,33	0,23	Roche décrite comme étant une volcanique felique à intermédiaire aphanitique à grains fins.
4	2017-04	V422754	B26-Brouillan	1274-14-221M	564,6	564,85	0,25	Roche décrite comme étant un tuf cherteux à lapillis. Altérée, injectée de veines de quartz blanchâtre.
5	2017-04	V422755	B26-Brouillan	1274-14-221M	557,1	557,35	0,25	Roche décrite comme étant un tuf à cristaux et/ou un tuf cherteux hétérogène et laminée.
6	2017-04	V422756	B26-Brouillan	1274-14-221M	528,05	528,26	0,21	Roche décrite comme étant une rhyolite ou une roche intrusive porphyrique à phénocristaux de quartz et feldspath.
7	2017-04	V422757	B26-Brouillan	1274-14-221M	363,5	363,75	0,25	Roche décrite comme étant une brèche de lave et de coulée altérée, roche fragmentaire.
8	2017-04	V422758	B26-Brouillan	1274-14-221M	243,9	244,15	0,25	Roche décrite comme étant une dacite aphanitique à grains fins et foliée.
9	2017-04	V422759	B26-Brouillan	1274-16-226	280,75	280,93	0,18	Roche décrite comme étant un tuf felsique à lapillis et cristaux polygénique et/ou une rhyolite fragmentaire.
10	2017-04	V422760	B26-Brouillan	1274-16-226	359	359,23	0,23	Roche décrite comme étant rhyolite aphyrique laminée à fragmentaire.
11	2017-04	V422761	B26-Brouillan	1274-16-226	448,05	448,3	0,25	Roche décrite comme étant rhyolite aphyrique laminée à fragmentaire.
12	2017-04	V422762	B26-Brouillan	1274-16-226	485,55	485,8	0,25	Contact supérieur avec lentille SF. Roche décrite comme étant rhyolite aphyrique laminée à fragmentaire.
13	2017-04	V422763	B26-Brouillan	1274-16-226	424,05	424,3	0,25	Roche décrite comme étant rhyolite aphyrique laminée à fragmentaire.
14	2017-04	V422764	B26-Brouillan	1274-16-226	646,6	646,8	0,2	Roche décrite comme étant un tuf felsique à cristaux, litée, stratifiée et laminée.
15	2017-04	V422765	B26-Brouillan	1274-16-226	655,04	655,3	0,26	Roche décrite comme étant un tuf felsique à cristaux, litée, stratifiée et laminée.
16	2017-04	40951	Canadian Malartic	BA10-3988	64,15	64,36	0,21	Roche décrite comme étant un intrusif felsique porphyrique altéré avec une mésostase aphanitique et contenant 10-20% phénocristaux de feldspath (2-3 mm).
17	2017-04	40952	Canadian Malartic	BA10-3988	74,05	74,3	0,25	Roche décrite comme étant un schiste à talc-carbonatesbiotite d'origine volcanique ultramafique ( Groupe de Piché) et cisailée.
18	2017-04	40953	Canadian Malartic	BA10-3988	83,1	83,32	0,22	Roche décrite comme étant un schiste à talc-carbonatesbiotite d'origine volcanique ultramafique ( Groupe de Piché) et cisailée.
19	2017-04	40954	Canadian Malartic	BA10-3988	83,74	83,96	0,22	Roche décrite comme étant un intrusif felsique porphyrique altéré contenant 10-20% phénocristaux de feldspath (2-3 mm).
20	2017-04	40955	Canadian Malartic	BA10-3988	88,58	88,8	0,22	Roche décrite comme étant un métagravacke interlité de lits d'argillite et/ou de silstone appartenant possiblement au Groupe de Pontiac.
21	2017-04	40956	Canadian Malartic	BA10-3988	91,93	92,14	0,21	Roche décrite comme étant un intrusif felsique porphyrique altéré avec une mésostase aphanitique et contenant 40-50% phénocristaux de feldspath (mm) et 5-7% de phénocristaux de quartz.
22	2017-04	40957	Canadian Malartic	BA10-3988	99,82	100,04	0,22	Roche décrite comme étant un intrusif intermédiaire porphyrique avec une mésostase aphanitique et contenant 40-50% phénocristaux de feldspath (mm)
23	2017-04	40958	Canadian Malartic	BA10-3988	111,75	111,98	0,23	Roche décrite comme étant un métagravacke interlité de lits d'argillite et/ou de silstone appartenant au Groupe de Pontiac.
24	2017-04	40959	Canadian Malartic	CM08-1885	33,23	33,45	0,22	Roche étant décrite comme un métagravacke du Groupe du Pontiac, grains fins et homogène.
25	2017-04	40960	Canadian Malartic	CM08-1885	35	35,23	0,23	Roche étant décrite comme un métagravacke altéré du Groupe du Pontiac, grains fins et homogène.
26	2017-04	40961	Canadian Malartic	CM08-1885	43,47	43,67	0,2	Roche étant décrite comme un intrusif porphyrique altéré à phénocristaux de feldspath (mm) et une mésostase aphanitique à grains fins.
27	2017-04	40962	Canadian Malartic	CM08-1885	50,84	51,07	0,23	Roche étant décrite comme un intrusif porphyrique faiblement altéré à phénocristaux de feldspath (mm) et mésostase à grains fins à moyens.
28	2017-04	40963	Canadian Malartic	CM08-1885	56,71	56,94	0,23	Roche étant décrite comme un intrusif porphyrique faiblement altéré à phénocristaux de feldspath (mm à 4 mm) et mésostase à grains fins à moyens.
29	2017-04	40964	Canadian Malartic	CM08-1885	66,91	67,12	0,21	Roche étant décrite comme un intrusif porphyrique faiblement altéré à phénocristaux de feldspath (mm à 8 mm) et mésostase aphanitique à grains fins.
30	2017-04	40965	Canadian Malartic	CM08-1885	74,9	75,12	0,22	Roche étant décrite comme un intrusif porphyrique faiblement altéré à phénocristaux de feldspath (mm à 8 mm), injecté de veines de quartz et mésostase aphanitique à grains fins.
31	2017-04	40966	Canadian Malartic	CM08-1885	82,02	82,23	0,21	Roche étant décrite comme un intrusif porphyrique faiblement altéré à phénocristaux de feldspath (mm à 5 mm) et mésostase aphanitique.
32	2017-04	CAEXD234476	Lapa	118-03-35D	979,61	979,81	0,2	Roche d'origine métasédimentaire appartenant au Groupe de Pontiac.
33	2017-04	CAEXD234477	Lapa	118-03-35D	1103,4	1103,62	0,22	Schiste à talc-carbonates d'origine volcanique ultramafique appartenant au Groupe de Piché.
34	2017-04	CAEXD234478	Lapa	118-03-35D	1125,91	1126,13	0,22	Roche d'origine volcanique mafique, faiblement altérée et appartenant au Groupe de Piché.
35	2017-04	CAEXD234479	Lapa	118-03-35D	1147,72	1147,93	0,21	Roche volcanique mafique cisailée, altérée et minéralisée appartenant au Groupe de Piché. Alternance de bandes mm riches en séricite et de bandes riches en quartz.
36	2017-04	CAEXD234480	Lapa	118-03-35D	1200,32	1200,53	0,21	Roche volcanique mafique cisailée, altérée et minéralisée appartenant au Groupe de Piché. Injecté de veines de quartz, quartz-carbonates et quartz flooding.
37	2017-04	CAEXD234481	Lapa	118-03-35D	1202,52	1202,73	0,21	Roche volcanique mafique cisailée, altérée et minéralisée appartenant au Groupe de Piché. Aspect rubannée.
38	2017-04	CAEXD234482	Lapa	118-03-35D	1220,41	1220,6	0,19	Schiste à talc-carbonates cisailé, minéralisé et altéré, d'origine volcanique ultramafique, appartenant au Groupe de Piché.
39	2017-04	CAEXD234483	Lapa	118-03-35D	1231,21	1231,41	0,2	Roche d'origine métasédimentaire appartenant au Groupe de Cadillac.
40	2017-04	CAEXD234484	Lapa	118-03-43	288,22	288,43	0,21	Schiste à talc-carbonates d'origine volcanique ultramafique appartenant au Groupe de Piché.
41	2017-04	CAEXD234485	Lapa	118-03-43	361,62	361,83	0,21	Roche volcanique mafique appartenant au Groupe de Piché.
42	2017-04	CAEXD234486	Lapa	118-03-43	382,62	382,82	0,2	Roche volcanique mafique appartenant au Groupe de Piché.
43	2017-04	CAEXD234487	Lapa	118-03-43	386,53	386,77	0,24	Roche volcanique mafique cisailée et altérée appartenant au Groupe de Piché. Injectée de veines de quartz-chlorite et présence de quartz flooding.
44	2017-04	CAEXD234488	Lapa	118-03-43	393,8	394,01	0,21	Roche volcanique mafique cisailée, altérée et minéralisée appartenant au Groupe de Piché. Alternance de bandes mm riches en séricite et de bandes riches en quartz.
45	2017-04	CAEXD234489	Lapa	118-03-43	446,42	446,63	0,21	Roche volcanique mafique appartenant au Groupe de Piché.
46	2017-04	CAEXD234490	Lapa	118-03-43	465,8	466,01	0,21	Roche volcanique mafique à ultramafique (?) cisailée, altérée et minéralisée appartenant au Groupe de Piché. Alternance de bandes mm riches en séricite et de bandes riches en quartz.
47	2017-04	CAEXD234491	Lapa	118-03-43	483,02	483,23	0,21	Roche d'origine métasédimentaire appartenant au Groupe de Cadillac.

**Annexe 6 – Résultats obtenus par l'analyse à la fluorescence-X (moyenne des analyses par échantillon)**

Préliminaire



**Annexe 7 – Résultats obtenus par l'analyse à la spectroscopie infrarouge (moyenne des analyses par échantillon)**

Préliminaire

**Annexe 8 – Certificat d’analyse blanc de type « Si IV Oxide » : #88777; No. lot G01W019.**

Préliminaire