

Centre Eau Terre Environnement

**Contrôles lithologiques et structuraux sur la nature, le style et la géométrie des zones aurifères de la Zone 5 du complexe minier LaRonde, Abitibi, Québec**

Par  
**Émile Boily-Auclair**

Mémoire par article présenté pour l'obtention du grade de  
Maître ès Sciences (M.Sc.)  
en sciences de la terre

**Jury d'évaluation**

Président du jury et  
examineur interne

Dr. Benoît Dubé  
Commission géologique du Canada

Examineur externe

Prof. Sean H. McClenaghan  
School of Natural Sciences  
Trinity College Dublin, University of  
Dublin

Co-Directeur de recherche

Patrick Mercier-Langevin  
Commission géologique du Canada

Co-Directeur de recherche

Pierre-Simon Ross  
INRS-ETE

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement mon directeur de thèse, Patrick Mercier-Langevin, pour m'avoir aidé à mener à terme ce projet de recherche. J'ai eu la chance de rencontrer Patrick lors de ma dernière session d'étude en Génie géologique à l'Université Laval. Sans cette rencontre fortuite, je n'aurais probablement jamais poursuivi des études de deuxième cycle. Il m'a épaulé tout au long de ma maîtrise et a partagé tout son savoir sur le camp Doyon-Bousquet-LaRonde et sur les sulfures massifs volcanogènes. Patrick, merci d'avoir cru en moi et de m'avoir donné l'opportunité de réaliser un projet de recherche de cette envergure.

Je tiens aussi à remercier mon co-directeur de thèse, Pierre-Simon Ross, pour la qualité de ses critiques et sa contribution inestimable à ce projet de recherche. Pierre-Simon, merci d'avoir toujours été disponible. J'aimerais aussi remercier Benoit Dubé de la Commission géologique du Canada pour avoir accepté de faire partie de mon comité d'évaluation et d'avoir collaboré à ce projet de recherche.

Ce projet n'aurait pu voir le jour sans la contribution financière de la Commission géologique du Canada et des Mines Agnico Eagle Ltd, division LaRonde. Ce projet de recherche est une contribution au projet Or de l'Initiative géoscientifique ciblée (IGC-5) de Ressources naturelles Canada. Le soutien à cette étude a été fourni par l'activité G-1.1 : L'or à travers l'espace et le temps à l'Archéen.

Toute l'équipe de géologie de la mine LaRonde est remerciée pour les nombreuses discussions constructives, ainsi que l'accès aux carottes de forage, aux chantiers miniers souterrains et à la carothèque de la mine LaRonde. L'accueil et le soutien de David Fortin, David Pitre, Dominic Lussier et Mathieu Bernier ont également été fort appréciés et nécessaires à la réalisation de ce projet. Merci de m'avoir accueilli à bras ouverts dans la famille LaRonde et d'avoir rendu mes étés de terrain inoubliables.

Enfin, je n'aurais jamais assez de mots pour remercier mon père, François Auclair, qui m'a transmis son amour pour la géologie et qui m'a appuyé tout au long de ma maîtrise. Papa, tu m'as appris à ne jamais baisser les bras et à persévérer même dans les moments difficiles. Finalement, j'aimerais remercier ma conjointe, ma mère et mes amis(es) pour leur soutien moral et émotionnel. Merci pour vos encouragements, votre patience et votre soutien.

## RÉSUMÉ

La mine LaRonde Zone 5 (LZ5) fait partie du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde (DBL) et est située dans la partie sud de la Sous-province de l'Abitibi. Le gisement LZ5 est constitué de trois corridors minéralisés superposés dans la stratigraphie : la Zone 4, la Zone 4.1 et la Zone 5. Les zones 4 et 4.1 sont des corridors minéralisés satellites discontinus situés au sud du corps minéralisé principal (Zone 5). La minéralisation dans les trois zones de la LZ5 consiste en des réseaux discordants de veines et de veinules de pyrite  $\pm$ chalcopyrite  $\pm$ sphalérite  $\pm$ pyrrhotite (10-20 % en volume) et, dans une moindre mesure, de pyrite très finement disséminée et de veines boudinées ( $\leq$ 5 % en volume) dans des roches hôtes fortement altérées. L'or se présente sous forme d'inclusions microscopiques dans la pyrite granoblastique, à la jonction triple des grains recristallisés. Les zones minéralisées, y compris les veines, les stockworks et les disséminations, ont été intensément plissées et transposées dans la schistosité régionale est-ouest. Le réseau filonien est au moins partiellement discordant par rapport à la stratigraphie. Les réserves totales (prouvées et probables) et les ressources (indiquées et présumées) à la fin de l'année 2021 pour LZ5 ont été estimées à 18,5 Mt de minerai à 1,96 g/t pour un total de 36,3 t Au (1,17 Moz).

Les zones minéralisées du gisement LZ5 sont encaissées dans une série de roches volcaniques et volcanoclastiques de composition intermédiaire et d'affinité transitionnelle à calco-alcaline du membre supérieur de la Formation de Bousquet (2699 à 2695 Ma), faisant partie du Groupe de Blake River, daté entre 2704 à 2695 Ma. L'unité hôte de la LZ5, la dacite-rhyodacite de Westwood (unité 5.1a), forme la base du membre supérieur de la Formation de Bousquet. Les roches de la formation de Bousquet sont fortement déformées, c.-à-d. modérément à intensément foliées, localement cisillées et altérées. Une schistosité régionale est-ouest, à fort pendage vers le sud ( $\sim$ 75 à 90°) est développée dans la quasi-totalité des unités.

L'étude actuelle montre que les corridors minéralisés de la LZ5 sont d'origine hydrothermale synvolcanique et ont probablement été formés par la convection de l'eau de mer sous le plancher océanique. Un influx important de fluide magmatique provenant probablement du pluton synvolcanique de Mooshla pourrait expliquer l'enrichissement en or des lentilles minéralisées. Les preuves d'une minéralisation synvolcanique et pré-déformation de la LZ5 comprennent la déformation et la recristallisation des sulfures, la nature superposée et sub-concordante de ses zones minéralisées, les halos d'altération symétriques de part et d'autre des corridors minéralisés, et le contrôle de la minéralisation par des facteurs tels que la perméabilité et la porosité des roches volcaniques qui encaissent le gisement.

## ABSTRACT

The LaRonde Zone 5 (LZ5) mine is part of the Doyon-Bousquet-LaRonde (DBL) mining camp and is located in the southern part of the Abitibi Subprovince. The LZ5 deposit consists of three stacked mineralized corridors: Zone 4, Zone 4.1 and Zone 5. Zones 4 and 4.1 are discontinuous satellite mineralized corridors, whereas Zone 5 represents the main mineralized body. Mineralization in all three zones of the LZ5 consists of discordant networks of millimeter- to centimeter-thick pyrite  $\pm$ chalcopyrite  $\pm$ sphalerite  $\pm$ pyrrhotite veins and veinlets (10-20 vol. %) and, to a lesser extent, very finely disseminated pyrite and boudinaged veins ( $\leq$ 5 vol. %) in strongly altered host-rocks. Gold commonly occurs as microscopic inclusions in granoblastic pyrite, at the triple junction of the recrystallized grains. The mineralized zones, including veins, stockworks and disseminations, were intensely folded and transposed in the steeply south-dipping east-west trending regional schistosity. The vein network is at least partly discordant to the stratigraphy. Total reserves (proven and probable) and resources (indicated and inferred) were estimated at 18.5 Mt of ore at 1.96 g/t for a total of 36.3 t Au (1.17 Moz) at the end of 2021.

The mineralized zones of the LZ5 mine are hosted in the 2699-2695 Ma transitional to calc-alkaline, intermediate to felsic, volcanic and volcanoclastic rocks of the Bousquet Formation upper member, part of the Blake River Group (2704-2695 Ma). The ore is hosted in intermediate volcanic and volcanoclastic units of the Westwood dacite-rhyodacite (unit 5.1a) which forms the base of the upper member of the Bousquet Formation. The rocks of the Bousquet Formation are highly deformed, i.e., moderately to intensely foliated, locally sheared, and altered. A regional east-west, steeply south-dipping ( $\sim$ 75 to 90°) schistosity is developed in nearly all units.

The current study shows that the LZ5 mineralized corridors are of synvolcanic hydrothermal origin and have probably been formed by convective circulation of seawater under the seafloor. An important influx of magmatic fluid from the Mooshla synvolcanic pluton could explain the gold enrichment of its mineralized lenses. Evidence for a pre-deformation synvolcanic mineralization at LZ5 includes deformation and recrystallization of the sulfides, the stacked nature of the ore zones, sub-concordant alteration halos that envelop the mineralized corridors, and control on mineralization by parameters such as the permeability and porosity of the volcanic rocks.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>ii</b>
<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>ix</b>
<b>1 INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
1.1 Contexte de l'étude .....	3
1.1.1 <i>Minéralisations aurifères</i> .....	3
1.1.2 <i>Minéralisations orogéniques</i> .....	5
1.1.3 <i>Minéralisations syngénétiques</i> .....	6
1.1.4 <i>Minéralisations volcanogènes</i> .....	7
1.1.5 <i>Sulfures massifs volcanogènes riches en or</i> .....	8
1.2 Problématique et objectifs .....	11
1.3 Méthodologie .....	12
1.3.1 <i>Travaux de terrain</i> .....	12
1.3.2 <i>Travaux de laboratoire</i> .....	13
1.4 Organisation de la thèse .....	17
1.5 Contributions des auteurs .....	18
<b>2 GÉOLOGIE RÉGIONALE ET LOCALE</b> .....	<b>19</b>
2.1 Ceinture de roches vertes de l'Abitibi .....	19
2.2 Géologie du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde .....	19
2.3 Géologie du gisement LaRonde Zone 5 .....	22
2.4 Genèse des minéralisations du camp DBL – Études antérieures .....	23
<b>3 CADRE STRATIGRAPHIQUE</b> .....	<b>27</b>
3.1 Abstract .....	28
3.2 Introduction.....	28
3.3 Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp .....	29
3.4 Stratigraphy of the LZ5 project and Ellison property .....	32
3.4.1 <i>LZ5 and Ellison Mineralized Zones</i> .....	33
3.4.1 <i>Footwall and host units of the LZ5 and Ellison mineralized zones</i> .....	36
3.4.2 <i>Hanging-wall units of the LZ5 and Ellison mineralized zones</i> .....	46
3.5 Discussion .....	46
3.5.1 <i>Stratigraphic setting of the LZ5 and Ellison mineralized zones</i> .....	46

3.6	Conclusion.....	51
<b>4</b>	<b>ALTERATION ET MINERALISATION .....</b>	<b>53</b>
4.1	Abstract .....	54
4.2	Introduction.....	55
4.3	Regional geological setting .....	58
4.4	Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp .....	60
4.5	Summary of the LaRonde Zone 5 and Ellison property host rocks .....	63
4.5.1	<i>Footwall units of the LZ5 and mineralized zones of the Ellison property.....</i>	<i>64</i>
4.5.2	<i>Host and hanging-wall units of the LZ5 and mineralized zones of the Ellison property ...</i>	<i>66</i>
4.6	Mineralization styles of the LZ5 and Ellison ore zones .....	67
4.6.1	<i>LZ5 mineralized corridors .....</i>	<i>69</i>
4.6.1	<i>Ellison property mineralized zones .....</i>	<i>70</i>
4.7	Alteration assemblages.....	75
4.7.1	<i>Metamorphosed hydrothermal alteration assemblages at LZ5.....</i>	<i>75</i>
4.7.2	<i>Alteration assemblages associated with zones A and B of the Ellison property .....</i>	<i>81</i>
4.7.3	<i>Alteration indices at LZ5 and Ellison.....</i>	<i>83</i>
4.8	Mass changes in the LZ5 and Ellison ore zone .....	86
4.8.1	<i>Mass change calculation.....</i>	<i>86</i>
4.8.2	<i>Major elements mass changes .....</i>	<i>89</i>
4.9	Discussion .....	93
4.9.1	<i>Relative timing of events.....</i>	<i>93</i>
4.9.2	<i>Conditions and nature of the alteration at the Bousquet and Ellison properties.....</i>	<i>95</i>
4.9.3	<i>Geological model for the formation of the LZ5 deposit.....</i>	<i>96</i>
4.10	Conclusion.....	100
<b>5</b>	<b>SYNTHÈSE ET CONCLUSION.....</b>	<b>103</b>
5.1	Sommaire des observations.....	103
5.2	Comparaison avec d'autres gisements aurifères synvolcaniques .....	106
5.2.1	<i>Bousquet Zone 3.....</i>	<i>106</i>
5.2.2	<i>Westwood .....</i>	<i>107</i>
5.2.3	<i>Chevrier.....</i>	<i>107</i>
5.2.4	<i>Conical Seamount.....</i>	<i>108</i>
5.3	Modèle de formation de la LZ5 .....	109
5.4	Implication pour l'exploration.....	110
5.5	Recommandations et travaux futurs .....	111
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>112</b>
<b>7</b>	<b>ANNEXE I SOMMAIRE D'ACTIVITÉ DE 2018 .....</b>	<b>120</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Distribution schématique des gîtes d'or selon leurs contextes tectoniques .....	4
Figure 1.2 : Principaux gisements de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi.....	6
Figure 1.3 : Vue en plan d'un SMV classique en formation sur le fond marin .....	8
Figure 1.4 : Diagramme des teneurs et tonnages des gisements SMV .....	9
Figure 2.1 : Géologie du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde.....	20
Figure 2.2 : Stratigraphie simplifiée du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde.....	22
Figure 2.3 : Coupe longitudinale composite (en regardant vers le nord).....	24
Figure 3.1 : Geology of the Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp .....	30
Figure 3.2 : Simplified stratigraphic columns .....	31
Figure 3.3 : Plan view of mineralized zones 4, 4.1, and 5 .....	34
Figure 3.4 : Mineralization style of the LZ5 and Ellison mineralized corridors.....	35
Figure 3.5 : Host-rocks of the LZ5 and Ellison mineralized corridors .....	37
Figure 3.6 : Geochemical classification diagrams.....	38
Figure 3.7 : Geochemical profile of drillhole S11-44 .....	40
Figure 3.8 : C1 chondrite-normalized (McDonough and Sun, 1995) multi-element patterns .....	41
Figure 3.9 : Geochemical profile of drillhole 121-06-11 .....	45
Figure 3.10 : C1 chondrite-normalized (McDonough and Sun, 1995) multi-element patterns comparison	49
Figure 3.11 : C1 chondrite-normalized (McDonough and Sun, 1995) multi-element patterns comparison	51
Figure 4.1 : Location and distribution of the major ore deposits found within the Abitibi greenstone belt..	56
Figure 4.2 : Simplified geology of the Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp .....	57
Figure 4.3 : Simplified stratigraphic columns of the Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp.....	61
Figure 4.4 : Simplified geological map (plan view) of level 18 (180 m below surface) .....	62
Figure 4.5 : Composite longitudinal section of the Westwood, Ellison, and Bousquet properties .....	63
Figure 4.6 : Geochemical classification diagrams.....	65
Figure 4.7 : Plan view of level 300 (300 meters below the surface) .....	69
Figure 4.8 : Mineralization style of the LZ5 mineralized corridors .....	72
Figure 4.9 : Mineralization style of the LZ5 and Ellison mineralized corridors.....	74
Figure 4.10 : Simplified schematic cross-section of the alteration assemblages of the LZ5 .....	76
Figure 4.11 : Alteration assemblages of the LZ5 mineralized corridors .....	78
Figure 4.12 : Alteration assemblages of the LZ5 and Ellison mineralized corridors .....	81
Figure 4.13 : Geochemical profile along drillhole S11-44 .....	84
Figure 4.14 : Geochemical profile along drillhole 121-06-11 .....	85
Figure 4.15 : Immobile to weakly mobile elements binary diagrams .....	88
Figure 4.16 : Major-oxide relative mass changes along drillhole S11-44 .....	90

Figure 4.17 : Major oxide relative mass changes along drillhole 121-06-11 .....	91
Figure 4.18 : Temporal and magmatic evolution.....	98

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Éléments analysés et méthodes d'analyses utilisées par Activation Laboratories .....	15
Tableau 1.2 : Éléments analysés et méthodes d'analyses utilisées par ALS Minerals .....	16
Table 4.1 : Principal characteristics of the LaRonde Zone 5 and Ellison zone A and B.....	68
Table 4.2 : Calculated mass changes for the LZ5 and Ellison ore zones altered host rocks .....	92

# 1 INTRODUCTION

---

La ceinture de roches vertes de l'Abitibi représente l'un des terranes néo-archéens les plus grands et les mieux préservés au monde (Monecke et al., 2017). Elle est d'une importance économique considérable pour le Canada en raison des nombreux gisements d'or et de métaux de base que l'on y retrouve. Son apport total en or est actuellement estimé à plus de 9 375 t hébergées dans différents styles de gisements formés à divers moments de l'évolution volcanique, sédimentaire et tectonique de la ceinture (Dubé et Mercier-Langevin, 2020). En termes de production aurifère et de teneur totale en or, le camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde (DBL), dans le sud de l'Abitibi, se classe au quatrième rang de la ceinture et au sixième rang de la Province du Supérieur, avec plus de 790,1 t or en production totale, en réserves actuelles et en ressources mesurées et indiquées (Dubé et Mercier-Langevin, 2020; Mercier-Langevin et al., 2020).

Trois principaux styles de minéralisation se retrouvent dans le camp minier DBL : 1) les sulfures massifs volcanogènes riches en or incluant les veines, veinules et disséminations de sulfures aurifères (p. ex. : Bousquet 2-Dumagami, Bousquet 1 (Zone 3) et LaRonde Penna) ; 2) les réseaux de veines or ±cuivre épizonales « associés à des intrusions » et riches en sulfures (p. ex. : Doyon et Westwood Zone 2 Extension) ; et 3) les réseaux de veines or-cuivre riches en sulfures hébergés dans des zones de cisaillements (p. ex. : Mouska : Mercier-Langevin et al., 2017). Ces styles de minéralisation contrastés font partie d'un vaste système magmatique-hydrothermal synvolcanique archéen sur lequel la déformation et le métamorphisme se sont superposés. Le plus récent gisement à être entré en production dans le camp DBL est la mine LaRonde Zone 5 (LZ5) du complexe minier LaRonde, exploitée par Les Mines Agnico Eagle Limitée sur la propriété Bousquet.

De nombreux gisements du camp DBL ont fait l'objet d'études approfondies au cours des deux dernières décennies (p. ex. : Bousquet 2-Dumagami, LaRonde Penna et Westwood). Cependant, l'accès très restreint au secteur de l'ancienne mine Bousquet 1 (désormais appelé mine LZ5) et à du matériel (échantillons, carottes de forage, etc.) a fortement limité l'intégration de toutes les zones minéralisées aux modèles métallogéniques plus récents et révisés du camp DBL (p. ex. : Dubé et al., 2007b, 2014; Mercier-Langevin et al., 2007a-d, 2009, 2017; Yergeau, 2015; Yergeau et al., 2022a, b).

La LZ5 a été la première découverte sur la propriété Bousquet en 1937 par Thompson Bousquet Gold Mines Ltd et était autrefois appelée la Zone 5. Toutefois, ce corridor minéralisé à faible

teneur ne pouvait pas être exploité économiquement à l'époque. Des travaux d'exploration plus poussés sur la propriété ont cependant mené à la découverte du gisement à haute teneur de la Zone 3, à quelques dizaines de mètres au sud de la Zone 5. Cette dernière a été exploitée par Long Lac Mining et Barrick Gold Corporation à partir de la mine Bousquet 1 de 1978 à 1996 (Mercier-Langevin et al., 2021). À l'époque, seule une petite partie de la Zone 5 a été exploitée en surface à la mine Bousquet 1 par Barrick Gold. La majeure partie de la minéralisation en profondeur n'a toutefois pas été minée en raison des teneurs relativement faibles. La mine Bousquet 1 a produit 42 t d'or, soit 1,36 Moz, dont seulement une petite partie de la production cumulative provient de la Zone 5. Les Mines Agnico Eagle Limitée a acquis la propriété Bousquet en 2003 et a lancé un vaste programme d'exploration sur la Zone 5 en 2010, confirmant le potentiel de ce corps minéralisé. À la suite de résultats positifs, le développement de la LZ5 a débuté en 2017, et la mine a amorcé la production commerciale le 1er juin 2018 (Mines Agnico Eagle Limitée, 2021). Un total de 2,39 t (75 875 oz) d'or a été produit en 2018 et 2019 à partir d'une exploitation souterraine de 1 975 tonnes/jour (Mercier-Langevin et al., 2021). Le budget total en or (production in situ, réserves et ressources) est estimé à 18,5 Mt à 1,96 g/t or pour un total de 36,3 t or (1,17 Moz) en date de 2021 (Mercier-Langevin et al., 2021).

Les zones minéralisées d'Ellison, situées à environ 500 m à l'ouest des lentilles de la LZ5, pourraient potentiellement prolonger le développement de la Zone 5 en profondeur et en longueur (Mines Agnico Eagle Limitée, 2021). La Zone A et la Zone B sont le prolongement vers l'ouest de certaines des zones minéralisées de la LZ5 dans la propriété Ellison, qui est adjacente à la propriété Bousquet. Les ressources (indiquées et inférées) pour les zones minéralisées de la propriété Ellison ont été estimées à 8,5 Mt à 2,4 g/t Au à la fin de 2020 (Mines Agnico Eagle Limitée, 2021). Les zones A et B d'Ellison sont similaires en termes de style de minéralisation, mais de minces (10-20 cm) veines ou bandes de pyrite disséminée semi-massive à massive, finement recristallisée (0,1-1 mm) sont distinctives. La chalcopryrite et la sphalérite sont également légèrement plus abondantes dans les couloirs minéralisés de la propriété Ellison et sont généralement associées à des teneurs élevées en or. Les zones sont également légèrement plus riches qu'à LZ5 en termes de teneur en or et en argent, mais plus étroites et moins continues en général.

La minéralisation de la LZ5 est actuellement considérée comme une minéralisation volcanogène de type disséminations et stockworks riche en or (Mercier-Langevin et al., 2017). Des incertitudes subsistent quant à la chronologie relative des événements, y compris la mise en place de la minéralisation aurifère de la LZ5, par rapport à la déformation régionale et au métamorphisme.

De plus, le style de la minéralisation de la LZ5 (veines et veinules de pyrite,  $\pm$ chalcopyrite,  $\pm$ pyrite disséminée, son faible contenu en métaux de base (Cu, Pb et Zn), son environnement (principalement des roches de composition intermédiaire à la base du membre supérieur de la Formation de Bousquet) et la géométrie de ses zones minéralisées (corridors superposés de veines et veinules de sulfures, sans lentilles de sulfures massifs) diffèrent grandement des autres corps minéralisés du camp minier DBL, qui sont pour la plupart considérés d'origine synvolcanique et associés au volcanisme du Groupe de Blake River. En raison de ses caractéristiques uniques, la mise en place de l'or de la LZ5 a été décrite dans le passé comme étant d'origine syntectonique, c'est-à-dire plutôt associée à la déformation régionale. Le développement et la mise en production de la mine LZ5 offrent une excellente occasion d'étudier ce gisement atypique, et ainsi de l'intégrer aux modèles métallogéniques révisés du camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde et d'élargir davantage nos connaissances sur les gisements aurifères archéens.

## **1.1 Contexte de l'étude**

La section suivante présente une revue des connaissances actuelles sur les gisements aurifères, sur les gisements syngénétiques et, plus particulièrement, sur les gisements de sulfures massifs volcanogènes (SMV), les gisements de SMV aurifères et les processus d'enrichissement en or associés. La géologie de la LZ5 est présentée dans les sections subséquentes.

### **1.1.1 Minéralisations aurifères**

Les gisements aurifères s'expriment sous différentes formes en fonction de leur mode et contexte de formation (p.ex. : gites épithermaux, gites porphyriques, gites de SMV riches en or et gites orogéniques), lesquels sont formés épisodiquement depuis l'Archéen, à partir de fluides qui transportent et remobilisent les métaux en solution (Goldfarb et al., 2005). Les épisodes de formation des gites d'or reflètent des changements d'activité tectonique dans une Terre en constante évolution (Groves et al., 2005). Les minéralisations se forment autant en contexte d'extension (p.ex. : rift océanique, rift continental et bassin arrière-arc) qu'en contexte de compression (arc océanique, arc continental et terrane d'accrétion : Goldfarb et Groves, 2015) (Figure 1.1). Les gites aurifères peuvent être encaissés dans des roches sédimentaires, volcaniques, intrusives et métamorphiques. Ainsi, les minéralisations peuvent être d'origine syngénétique ou épigénétique en fonction du moment de formation des minéralisations par rapport à l'âge des roches hôtes.

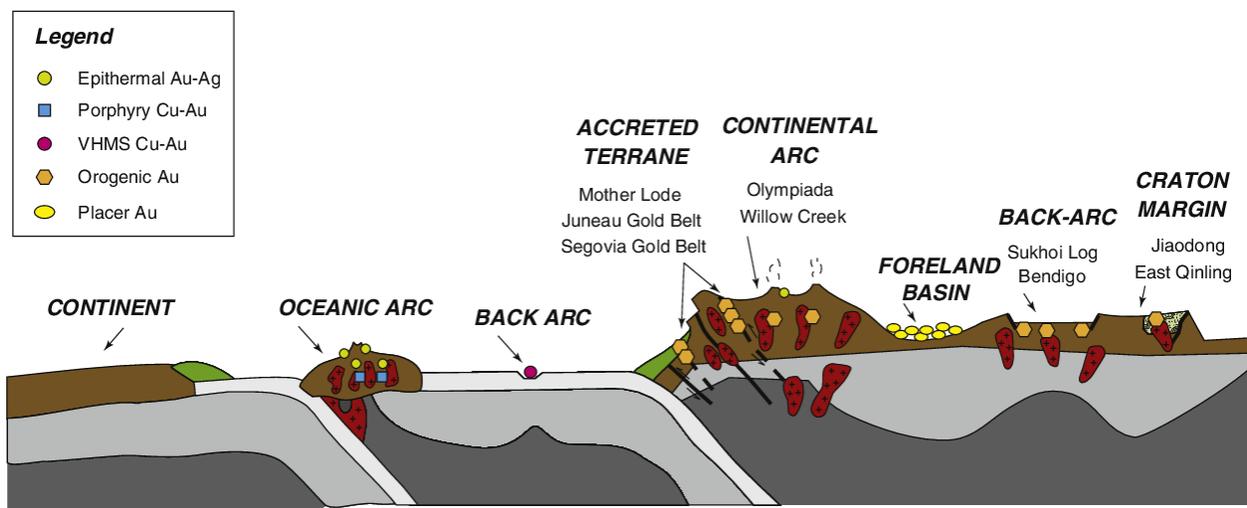


Figure 1.1 : Distribution schématique des gîtes d'or selon leurs contextes tectoniques

Noter que la figure ci-haut n'est pas à l'échelle. Les SMV se forment aussi aux dorsales médio-océaniques (non illustré) (tirée de Goldfarb et Groves, 2015).

Les minéralisations aurifères peuvent être formées lors d'un seul évènement, ou par la superposition de plusieurs systèmes minéralisés. En fait, la plupart des gisements de classe mondiale se formeraient par des processus d'enrichissements multiphasés (Meffre et al., 2016). Par exemple, plusieurs des plus grands gisements porphyriques du monde montrent une dualité dans leur mode de formation, soit avec une minéralisation épithermale superposée à une minéralisation porphyrique antérieure (« télescopage »), ou par la superposition de plusieurs évènements magmatiques qui contribuent au bilan métallogénique total de la minéralisation (Sillitoe, 1994, 2010; Sillitoe et Mortensen, 2010; Meffre et al., 2016). Les fluides qui transportent les métaux peuvent être d'origine magmatique, hydrothermale et/ou métamorphique (Goldfarb et al., 2015). L'or peut être transporté en solution sulfurée ( $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ ) par des fluides de basses températures ( $< 350\text{ }^\circ\text{C}$ ), de pH neutre et de forte concentration en  $\text{H}_2\text{S}$ , mais aussi, en moindre mesure, par des fluides de plus hautes températures ( $\geq 350\text{ }^\circ\text{C}$ ), de faible pH et de salinité élevée, sous la forme de complexes d' $\text{AuCl}_2^-$ . L'or précipite en réponse au changement de pression, de température, de pH, du potentiel oxydato-réducteur et de concentration en soufre (Seward, 1973; Hannington et al., 1988; Huston et Large, 1989). Dans le cas des gisements associés à des quantités de sulfures tels la pyrite, l'or précipite à partir de complexe sulfuré ( $\text{Au}(\text{HS})_2^-$  :Hannington et al., 1988). L'or transporté par des fluides de plus hautes températures par des complexes chlorés ( $\text{AuCl}_2^-$ ) précipite sous la forme d'assemblage de pyrite  $\pm$  pyrrhotite  $\pm$  magnétite riche en cuivre.

### 1.1.2 Minéralisations orogéniques

Les gisements aurifères orogéniques se retrouvent le plus souvent dans des ceintures de roches vertes archéennes, mais aussi dans des ceintures orogéniques phanérozoïques comme la Cordillère des Andes (Hodgson, 1993). Bien que certaines variations existent, ces gisements consistent généralement en des veines de quartz-carbonates retrouvées dans des zones de cisaillements fragiles-ductiles à pendages élevés et localement dans les fractures d'extension à faible pendage qui y sont associées (Poulsen et al., 2000). Les gisements sont répartis le long des zones de déformation majeures qui pourraient représenter des frontières entre différents blocs géologiques accrétés (Hodgson, 1993). À l'échelle du district, les filons sont généralement associés aux failles secondaires et tertiaires.

La ceinture de roches vertes de l'Abitibi, et particulièrement sa partie sud, est bien connue pour l'abondance et la taille des gisements d'or orogéniques qui sont spatialement et génétiquement associés aux zones de déformation Destor-Porcupine et Larder-Lake Cadillac (Figure 1.2). Une ressource totale de 3 471 t d'or (105,4 Moz) a été estimée pour les gisements aurifères orogéniques situés le long de la zone de déformation Larder-Lake Cadillac et 2 766 t d'or (88,9 Moz) pour ceux situés le long de la zone de déformation Destor-Porcupine (Dubé et al., 2020). Les zones de déformation Sunday Lake et Lower Detour, dans la partie nord de la ceinture, ont connu un regain d'intérêt économique et d'exploration avec la remise en production du gisement aurifère de classe mondiale de Detour Lake en 2013, la découverte du gisement Bug Lake/Martinière par Balmoral Resources Limitée, et la découverte des zones minéralisées Tabasco et Area 51 par Wallbridge Mining sur la propriété aurifère Fenelon en 2018 (Kirkland Lake Gold, 2020; Wallbridge Mining, 2020). Le gisement de classe mondiale de Detour Lake est la seule mine actuellement exploitée le long des zones de déformation de Sunday Lake et de Lower Detour. Il est donc difficile d'estimer la dotation totale en or le long de ces deux importantes zones de déformation. Cependant, les ressources et réserves de la mine de Détour Lake sont présentement estimées à plus de 1 080 t or (~25 Moz). Les zones de déformation de Sunday Lake et de Lower Detour ont donc un fort potentiel pour l'exploration et l'exploitation aurifères (Monecke et al., 2017).

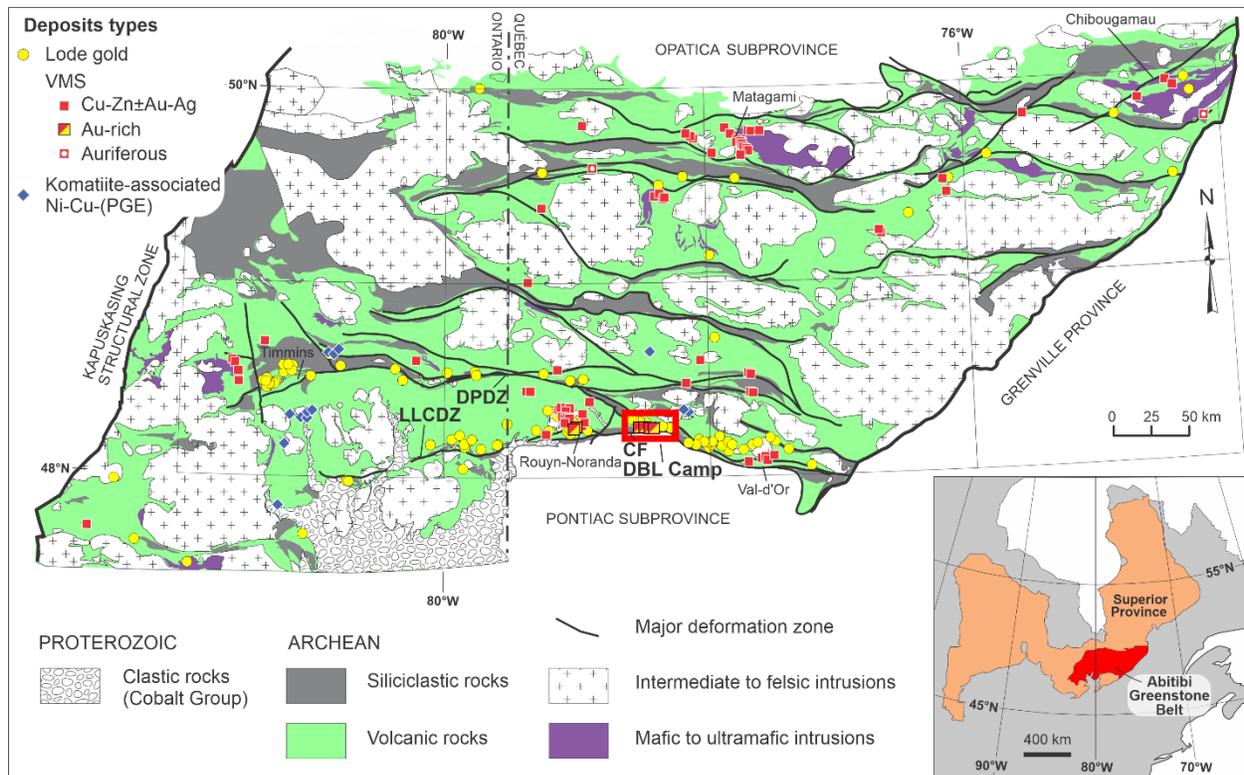


Figure 1.2 : Principaux gisements de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi

Notez que les gisements sont principalement de type SMV (VMS) et orogénique (« Lode gold »). Abréviations : LLCZDZ = Zone de déformation de Larder Lake-Cadillac. DPDZ = Zone de déformation de Destor-Porcupine (tirée de Mercier-Langevin et al., 2014).

### 1.1.3 Minéralisations syngénétiques

Les minéralisations syngénétiques regroupent toutes les minéralisations qui se forment en même temps que la roche encaissante, ce qui inclut les gisements synvolcaniques comme les SMV qui se forment au même moment que, ou immédiatement après, les roches volcaniques qui les encaissent.

Certains gisements aurifères retrouvés dans la Province du Supérieur sont d'origine synvolcanique. Les gisements d'or synvolcaniques regroupent différents types de gisements (SMV riche en or, système de veines, veinules et disséminations de sulfures et gisements associés à des intrusions synvolcaniques) qui se forment au même moment que les séquences volcaniques et volcano-sédimentaires dans lesquelles les minéralisations sont encaissées (Poulsen et Hannington, 1996). On les retrouve généralement dans des séquences magmatiques transitionnelles à calco-alcalines de composition intermédiaire à felsique (Poulsen et Hannington, 1996). Ces gisements se forment avant les épisodes de métamorphisme et de déformation régionale qui, très souvent, peuvent remobiliser l'or présent dans le système (Poulsen et

Hannington, 1996; Hannington et al., 1999; Huston, 2000; Dubé et al., 2007a; Mercier-Langevin et al., 2011a, 2015). En somme, ces processus post-minéralisation complexifient l'interprétation de la chronologie relative et absolue entre volcanisme, minéralisation, déformation et métamorphisme dans les gisements synvolcaniques.

#### **1.1.4 Minéralisations volcanogènes**

Les SMV sont des gîtes minéraux qui se forment sur les fonds marins, dans des zones de rifts ou à l'intérieur de calderas, à partir de fluides hydrothermaux enrichis en métaux, provenant de cellules de convections hydrothermales associées au volcanisme sous-marin (Franklin et al., 1981, 2005). Les lentilles minéralisées des SMV sont riches en métaux de base (Zn, Cu et Pb), mais peuvent aussi être riches en métaux précieux (Au et Ag : Galley et al., 2007). Les SMV sont composés d'une lentille de sulfures semi-massifs à massifs (>40 % poids) monticulaire à tabulaire, reposant généralement au-dessus d'une zone discordante à semi-concordante composée de minéralisation filonienne (stockwerk) de sulfures (chalcopryrite, pyrite et pyrrhotite) (Figure 1.3). Les lentilles reposent dans des séquences de roches volcaniques effusives mafiques à felsiques, de sédiments volcaniques et, parfois, de sédiments terrigènes, pélagiques et chimiques (Franklin et al., 1981, 2005; Hannington et al., 2005).

À l'échelle du district minier, les dépôts de SMV ont tendance à se présenter sous forme de grappes, confinées dans des zones de rifts linéaires ou à l'intérieur de calderas. Ils sont entourés par des zones d'altération semi-conformes environnantes qui ressemblent à des faciès métamorphiques régionaux de bas grade (prehnite-pumpellyite et schistes verts) en termes d'assemblages minéralogiques (Figure 1.3). La taille et la morphologie de ces zones d'altérations locales et régionales reflètent la taille et la forme des amas de SMV et peuvent donc être utilisées comme vecteurs pour l'exploration minérale (Galley et al., 2007).

Les gisements de SMV représentent l'un des plus importants types de minéralisation retrouvés dans la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, avec un total de ~ 775 millions de tonnes de sulfures massifs formés au cours d'épisodes distincts de volcanisme sous-marin (Monecke et al., 2017). Les divers épisodes de volcanisme sous-marin sont caractérisés par différents styles de SMV (Mercier-Langevin et al., 2011; Dubé et Mercier-Langevin, 2020). Par exemple, l'un des plus grands SMV du monde, le gisement de Cu-Zn de Kidd Creek, est encaissé dans une succession de roches volcaniques mafiques-ultramafiques et felsiques de l'Assemblage Kidd-Munro daté entre 2719-2711 Ma (Bleeker, 1999; Monecke et al., 2017). En revanche, le SMV riche en Au de classe mondiale de LaRonde Penna est encaissé dans des roches volcaniques mafiques à

felsiques du Groupe de Blake River (2704 à 2695 Ma) (Mercier-Langevin et al., 2007a). Près de 40 % des gisements de SMV de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi sont encaissés dans le Groupe de Blake River, ce qui représente environ 46 % du tonnage total des SMV de la ceinture. Cependant, 90 % de l'or synvolcanique de la ceinture est contenu dans les dépôts du Groupe de Blake River, ce qui indique un héritage favorable d'or synvolcanique qui n'a pas d'équivalent dans les autres assemblages volcaniques archéens de la ceinture de l'Abitibi (Dubé et al., 2007a ; Mercier-Langevin et al., 2011a, b; Dubé et Mercier-Langevin, 2020).

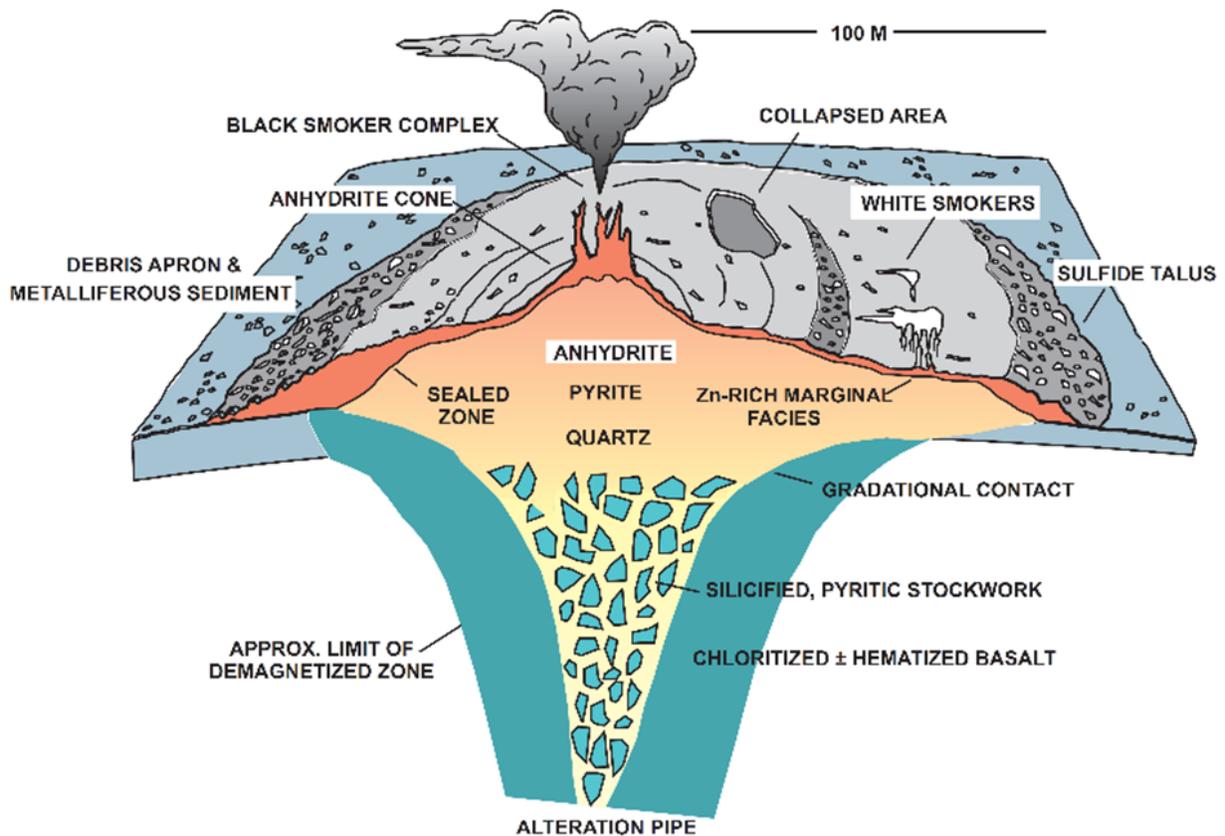


Figure 1.3 : Vue en plan d'un SMV classique en formation sur le fond marin

La lentille de sulfure se retrouve au-dessus d'une zone discordante de veinules de sulfures (stockwerk). Observer les halos d'altérations typiques autour de la minéralisation (tirée de Galley et al., 2007).

### 1.1.5 Sulfures massifs volcanogènes riches en or

Les dépôts de SMV se forment dans une grande variété d'environnements tectoniques : dorsale océanique, arc volcanique sous-marin, rift intracontinental, bassin d'arrière-arc intra-océanique et marge continentale divergente (Hannington et al., 1999; Franklin et al., 2005; Hannington et

al., 2005; Galley et al., 2007). Les SMV riches en or se trouvent toutefois plus souvent dans les environnements d'arc volcanique, d'arc volcanique rifté et de bassin d'arrière-arc, qu'ils soient riftés ou non (Huston, 2000; Dubé et al., 2007b). Les SMV riches en or sont aussi préférentiellement encaissés dans des séquences volcaniques qui contiennent une proportion importante de roches intermédiaires à felsiques et d'intrusions synvolcaniques tonalitiques à granitiques, de préférence d'affinité transitionnelle à calco-alkaline (p. ex. : Mercier-Langevin et al., 2011, 2015).

Une étude statistique des teneurs et des tonnages en or de 513 gisements de SMV par Mercier-Langevin et al. (2011b) a permis le développement d'une nomenclature modifiée de Poulsen et Hannington (1996), Dubé et al. (2007a) et Hannington et al. (1999) qui regroupe les SMV selon quatre catégories : les SMV ordinaires, les SMV aurifères, les SMV anomaux et les SMV riches en or (Figure 1.4). Selon cette classification, un SMV est considéré aurifère lorsque la teneur en or du système dépasse 3,46 g/t Au, un SMV est considéré anomal lorsque son tonnage en or égale ou dépasse 31 t Au et un SMV est considéré riche en or quand le tonnage dépasse 31 t Au et les teneurs dépassent 3,46 g/t Au (Mercier-Langevin et al., 2011b).

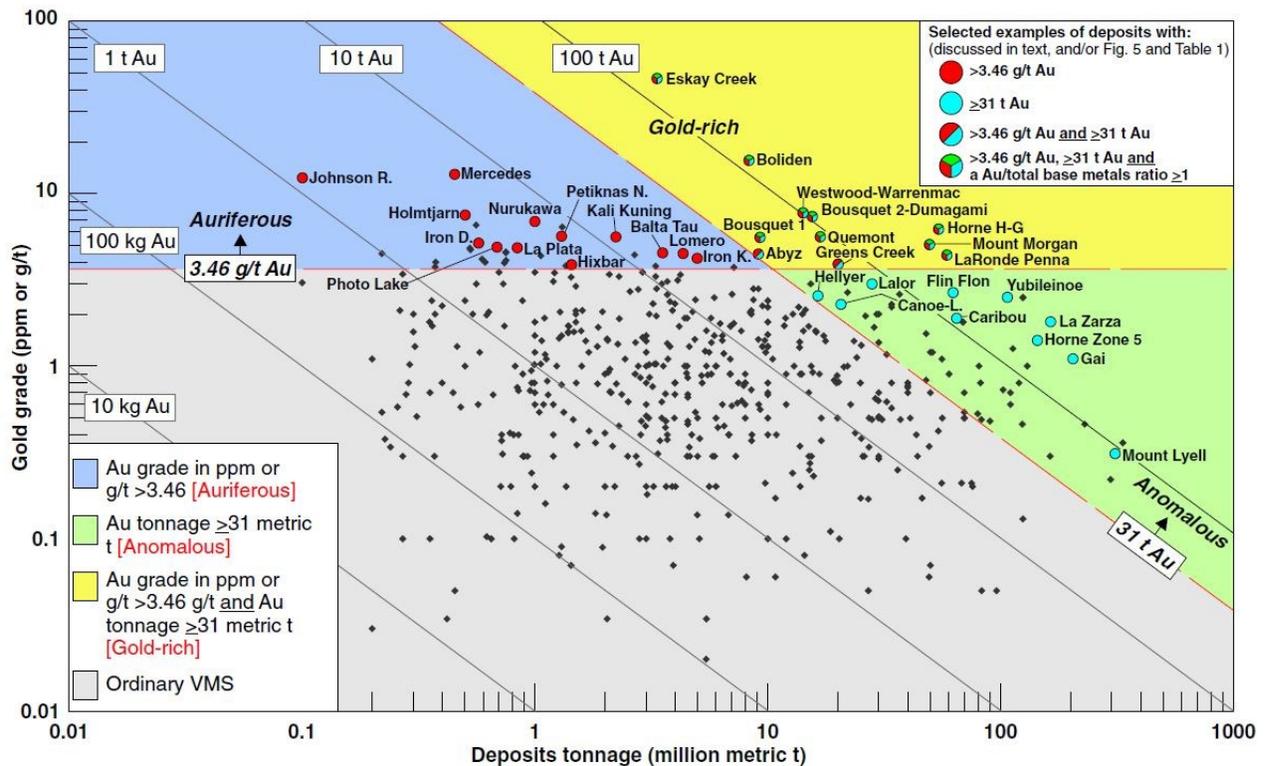


Figure 1.4 : Diagramme des teneurs et tonnages des gisements SMV

Les gisements sont distribués selon leurs teneurs en or (ppm ou g/t) et leurs tonnages (millions de tonnes métriques) (tirée de Mercier-Langevin et al., 2011b).

Les SMV riches en or (SMV-Au) forment un sous-groupe des SMV généralement associés à des roches volcaniques calco-alcalines à transitionnelles, de composition intermédiaire à felsique. La nature plus évoluée des roches peut refléter un environnement géodynamique particulièrement fertile et/ou une pétrogenèse particulière (Mercier-Langevin et al., 2011a). En effet, les environnements d'arcs volcaniques semblent être plus favorables à la formation de minéralisations volcanogènes riches en or (Dubé et al., 2007a; Mercier-Langevin et al., 2015). La présence de nombreux dykes et d'intrusions est également une caractéristique importante des gîtes de SMV-Au (Dubé et al., 2007a). Le minerai des gisements de SMV riches en or est évidemment riche en Au, Ag et Cu ou Zn, mais des concentrations élevées en As, Bi, Hg, Sb et Te peuvent être localement présentes. L'or se retrouve normalement dans le stockwerk, dans l'éponte inférieure de la lentille de sulfures massifs, lorsqu'associé au Cu. Dans les gisements de SMV-Au avec une association au Zn, l'or se retrouve généralement dans la lentille de sulfures massifs, soit au sommet de celle-ci, soit distribué à travers la lentille (Dubé et al., 2007a). Une altération argileuse acide est commune dans les gisements de SMV-Au avec une forte association au Cu, tandis qu'une altération potassique se développe plus souvent dans les gisements de SMV-Au avec une association au Zn, particulièrement dans l'éponte inférieure telle qu'observée dans le SMV-Au d'Eskay Creek en Colombie-Britannique (Dubé et al., 2007a). Par exemple, dans le camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde, l'altération argileuse acide, ou son équivalent métamorphisé, se retrouve à l'intérieur ou près des zones minéralisées. On y observe un assemblage minéral métamorphisé au faciès des schistes verts composé de quartz, de séricite, de pyrophyllite, d'andalousite et/ou de kyanite. Une altération siliceuse massive avec un lessivage du sodium, du calcium, du magnésium et du potassium est aussi présente à proximité ou à l'intérieur des lentilles minéralisées (p.ex. : Bousquet 2-Dumagami : Tourigny et al., 1993; Dubé et al., 2014). Une altération à quartz et grenat manganifère caractérisée par un assemblage minéral à grenat, staurolite, chloritoïde, biotite, muscovite et chlorite se retrouve en retrait des zones minéralisées, principalement dans l'éponte inférieure du gisement (p.ex. : LaRonde Penna : Dubé et al., 2007b).

L'introduction de l'or dans les minéralisations volcanogènes peut se produire au même moment que la formation de la lentille de sulfures massifs. Cependant, l'or peut aussi être introduit de manière tardive dans le système par la superposition d'un système aurifère sur le système volcanique. Mercier-Langevin et al. (2015) proposent les termes enrichissement primaire et enrichissement secondaire pour décrire les processus d'enrichissements syn- et post-minéralisation dans les gîtes de SMV-Au. Dans le premier cas, l'or proviendrait de sources mantéliques et/ou de fluides hydrothermaux enrichis en or. Dans le deuxième cas, les processus

d'enrichissement secondaire peuvent se produire par la superposition d'un autre système hydrothermal (orogénique, épithermal, etc.) pendant ou légèrement après la formation du gisement, ou encore beaucoup plus tard, lors de l'exhumation et de l'exposition du gisement aux eaux de surface et à l'air par les phénomènes d'érosion. L'or peut aussi être déjà présent dans le système, mais remobilisé et concentré lors du métamorphisme et de la déformation (Mercier-Langevin et al., 2015).

Les zones minéralisées de la LZ5 sont quelque peu atypiques en termes de style de minéralisation, tel que discuté ci-dessus, et se distinguent clairement des types de gisements aurifères archéens plus courants tels que les SMV et les systèmes orogéniques. Néanmoins, certains gisements de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi et reste du monde présentent des similitudes avec LZ5 qui pourraient aider à sa classification génétique.

## **1.2 Problématique et objectifs**

Plusieurs modèles ont été proposés jusqu'à maintenant pour expliquer l'origine des lentilles aurifères sur la propriété Bousquet, incluant une origine synvolcanique pour la minéralisation en or (p. ex. : Valliant et al., 1982, 1983; Stone, 1990; Mercier-Langevin et al., 2007d; Dubé et al., 2014) et une origine synvolcanique pour les sulfures, suivi d'un épisode de minéralisation en or relié au métamorphisme et à la déformation régionale (p. ex. : Tourigny et al., 1989a, b, 1993; Marquis et al., 1990a, b). Cependant, certains doutes persistent quant à la nature réelle de ces zones minéralisées aux caractéristiques particulières. La minéralisation des lentilles de la LZ5, puisque située dans le camp minier DBL, est présentement considérée comme étant une minéralisation volcanogène de types disséminations et stockworks riche en or (Mercier-Langevin et al., 2017a). Le style de la minéralisation (veines et de veinules de pyrite  $\pm$ chalcopyrite  $\pm$ sphalérite  $\pm$ pyrrhotite) contraste cependant fortement avec les autres minéralisations du camp minier (sulfures massifs et semi-massifs, stockworks et disséminations) et la distribution de l'or montre certaines complexités dues à la déformation et au métamorphisme superposé. Par exemple, des veines de quartz-carbonate minéralisées en sulfures (pyrite,  $\pm$ chalcopyrite) discordantes recoupent la minéralisation. Des teneurs pouvant atteindre 60 g/t or y ont été obtenues, appuyant l'hypothèse d'une remobilisation de l'or lors de la déformation et du métamorphisme (Boily-Auclair et al., 2019). De plus, la seule commodité de la mine LZ5 est l'or. Le gisement LZ5 peut donc être classifié comme étant atypique pour une minéralisation aurifère archéenne retrouvée dans une ceinture de roches vertes. Le développement et la mise en production du gisement LZ5 offrent une occasion d'étudier les lithologies plus anciennes de la

Formation de Bousquet et les minéralisations qui y sont encaissées. C'est aussi une excellente opportunité d'approfondir nos connaissances de la métallogénie de l'or dans un secteur à fort potentiel et de contribuer à l'élaboration de meilleurs guides d'exploration.

L'objectif principal de ce projet de recherche est de définir la nature des zones minéralisées en or du gisement LZ5 et l'importance relative des principaux éléments exerçant un contrôle sur la distribution de ce métal précieux à diverses échelles. Plusieurs objectifs spécifiques découlent de l'objectif général :

1. Établir avec précision la position stratigraphique des corridors minéralisés et la nature des roches hôtes (composition géochimique et minéralogique);
2. Caractériser les assemblages d'altération hydrothermale associés aux corridors minéralisés (minéralogie, géochimie et distribution spatiale);
3. Définir les principaux types de minéralisation en termes de style et en faire la comparaison avec des gisements connus au Québec et à travers le monde ;
4. Illustrer la distribution des métaux incluant l'or par rapport à d'autres éléments géologiques clés (p.ex. : enveloppe minéralisée, unités hôtes, assemblages d'altération, etc.);
5. Définir la paragenèse minérale et la chronologie relative des événements avec une emphase sur les métaux précieux, c.-à-d. leur introduction dans le système et les modifications potentiellement subies subséquemment;
6. Intégrer les résultats et observations aux travaux de l'Initiative géoscientifique ciblée 5 (IGC-5).

## **1.3 Méthodologie**

### **1.3.1 Travaux de terrain**

Des travaux de terrain qui se sont déroulés à l'été 2018 ont permis d'acquérir de l'information sur la géologie de la mine LZ5. Un échantillonnage systématique des roches hôtes du système et des zones minéralisées, une cartographie détaillée de chantiers miniers souterrains, ainsi qu'une description détaillée de carottes de forages ont été effectués. Lors de cette première campagne, 172 échantillons ont été prélevés afin d'atteindre les objectifs spécifiés ci-haut. De plus, 97 échantillons prélevés par la Commission géologique du Canada en 2012 ainsi qu'en 2017 à partir de forages recoupant la LZ5 ont été intégrés à cette étude de maîtrise, pour un total de 269 échantillons. Une analyse lithogéochimique et une lame mince ont été faites sur chaque échantillon.

Une seconde phase de travaux a eu lieu à l'été 2019 pendant deux semaines. Cette seconde phase a permis d'assurer un suivi du développement de la mine LZ5, de cartographier de nouveaux chantiers et de compléter la prise de données. Aucun échantillon n'a été ajouté lors de cette seconde phase, compte tenu du grand nombre d'échantillons déjà disponibles.

### **1.3.2 Travaux de laboratoire**

Les échantillons prélevés durant l'été 2018 ont été préparés au laboratoire de l'Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement (INRS-ETE) ainsi qu'à la carothèque de la mine LaRonde à l'aide d'une scie à lame aux diamants. Les échantillons ont été analysés chez Activation Laboratories à Ancaster (Ontario) et à ALS Minerals de Val-d'Or (Québec) pour les analyses lithogéochimiques.

Pour les échantillons analysés chez Activation Laboratories, les éléments majeurs et certains éléments traces ont été analysés par fusion au métaborate-tétraborate de lithium suivi de mesures par spectrométrie par émission atomique au plasma (ICP-AES (FUS)). Les éléments traces et les terres rares ont été déterminés par une fusion au métaborate-tétraborate de lithium suivi d'une spectrométrie de masse au plasma à couplage inductif (ICP-MS (FUS)). Les concentrations en Cd, Co, Cr, Cu, In, Li, Mn, Mo, Ni, Pb et Zn ont été déterminé par une digestion totale (quatre acides) suivie d'une spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS (TD-MS)). L'or et l'argent ont été analysés par une combinaison d'absorption atomique (FA-AA), de gravimétrie (FA-GRA) et de pyroanalyse. Pour les éléments chalcophiles, une méthode de digestion à quatre acides ICP-MS (TD-MS) a été utilisée. Le carbone et le soufre total ont été déterminés par analyse infrarouge par combustion (IR). Le mercure a été déterminé par injection de vapeur froide (FIMS) après digestion à l'Aqua regia. L'Aqua regia (AR-MS) couplé à l'ICP-MS a été choisi pour analyser les éléments As, Sb, Bi, Se et Te. Le FeO a été déterminé par titrage en utilisant une digestion acide à froid (métavanadate d'ammonium et acide fluorhydrique) dans un système ouvert (TITR). Le tableau 1.1 présente les éléments analysés, ainsi que les méthodes d'analyses utilisées et leurs limites de détections. Pour plus d'information sur les méthodes utilisées et les limites de détection, se référer à Pelletier et al. (2016).

Les méthodes d'analyses utilisées chez ALS Minerals, ainsi que les limites de détections, diffèrent légèrement de celles d'Activation Laboratories. Les éléments majeurs ont été analysés par fusion au métaborate-tétraborate de lithium suivi de mesures par spectrométrie par émission atomique au plasma (ICP-AES (FUS)). Les éléments traces, ainsi que les terres rares ont été analysés par fusion au métaborate-tétraborate de lithium suivi d'une spectrométrie de masse au plasma à

couplage inductif (ICP-MS (FUS)). Les éléments Ag, Cd, Co, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sc et Zn ont été déterminés par une digestion à quatre acides suivis d'analyses par spectrométrie par émission atomique au plasma (ICP-AES (TD-MS)). Les éléments As, Bi, Hg, In, Re, Sb, Se et Te ont été déterminés par digestion à l'aqua regia (ICP-MS (AR-MS)) suivi d'une analyse à l'ICP-MS. Le carbone et le soufre total ont été déterminés par analyse infrarouge par combustion (IR). Finalement, l'or a été analysé par une combinaison d'absorption atomique (FA-AA), de gravimétrie (FA-GRA) et de pyroanalyse. Le tableau 1.2 présente les éléments, ainsi que les méthodes d'analyses utilisées par ALS Minerals dans le cadre de ce projet de recherche.

De plus, les échantillons ont été envoyés à Vancouver Petrographics pour la préparation de lames minces polies. La description des lames minces à l'aide d'un microscope polarisant (lumière transmise et réfléchi) permet l'identification des phases minérales, des textures, de la minéralisation et de l'altération présentes dans la roche. Une description approfondie de lames minces permet aussi de retracer la paragenèse des minéraux métamorphiques présents dans la roche, ainsi que les relations de recoupement entre les structures. Les lames minces ont été décrites au laboratoire de microscopie de l'INRS-ETE.

**Tableau 1.1 : Éléments analysés et méthodes d'analyses utilisées par Activation Laboratories**

Éléments	Limite de détection	Méthode
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01 %	ICP-AES (FUS)
CaO	0,01 %	ICP-AES (FUS)
CO <sub>2</sub>	0,01 %	IR
FeO	0,1 %	TITR
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01 %	ICP-AES (FUS)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ( <sup>T</sup> )	0,01 %	ICP-AES (FUS)
K <sub>2</sub> O	0,01 %	ICP-AES (FUS)
MgO	0,01 %	ICP-AES (FUS)
MnO	0,001 %	ICP-AES (FUS)
Na <sub>2</sub> O	0,01 %	ICP-AES (FUS)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01 %	ICP-AES (FUS)
SiO <sub>2</sub>	0,01 %	ICP-AES (FUS)
TiO <sub>2</sub>	0,001 %	ICP-AES (FUS)
Ag	0,5 ppm	FA-AA
As	5 ppm	ICP-MS (AR-MS)
Au	5 ppb	FA-AA
Au	0,03 ppm	FA-GRA
B	1 ppm	PGNAA
Ba	2 ppm	ICP-AES (FUS)
Be	1 ppm	ICP-AES (FUS)
Bi	0,1 ppm	ICP-MS (AR-MS)
C (total)	0,01 %	IR
Cd	0,2 ppm	ICP-MS (TD-MS)
Ce	0,05 ppm	ICP-MS (FUS)
Co	0,5 ppm	ICP-MS (TD-MS)
Cr	1 ppm	ICP-MS (TD-MS)
Cs	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)
Cu	0,5 ppm	ICP-MS (TD-MS)
Dy	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Er	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Eu	0,005 ppm	ICP-MS (FUS)
Ga	1 ppm	ICP-MS (FUS)
Gd	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Ge	0,5 ppm	ICP-MS (FUS)
Hf	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)

Éléments	Limite de détection	Méthode
Hg	5 ppb	FIMS
Ho	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
In	0,1 ppm	ICP-MS (TD-MS)
La	0,05 ppm	ICP-MS (FUS)
Li	1 ppm	ICP-MS (TD-MS)
Lu	0,002 ppm	ICP-MS (FUS)
Mn	2 ppm	ICP-MS (TD-MS)
Mo	1 ppm	ICP-MS (TD-MS)
Nb	0,2 ppm	ICP-MS (FUS)
Nd	0,05 ppm	ICP-MS (FUS)
Ni	1 ppm	ICP-MS (TD-MS)
Pb	2 ppm	ICP-MS (TD-MS)
Pr	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Rb	1 ppm	ICP-MS (FUS)
S (total)	0,01 %	IR
Sb	0,02 ppm	ICP-MS (AR-MS)
Sc	1 ppm	ICP-AES (FUS)
Se	0,1 ppm	ICP-MS (AR-MS)
Sm	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Sn	1 ppm	ICP-MS (FUS)
Sr	2 ppm	ICP-AES (FUS)
Ta	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Tb	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Te	0,02 ppm	ICP-MS (AR-MS)
Th	0,05 ppm	ICP-MS (FUS)
Tl	0,05 ppm	ICP-MS (FUS)
Tm	0,005 ppm	ICP-MS (FUS)
U	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
V	5 ppm	ICP-AES (FUS)
W	0,5 ppm	ICP-MS (FUS)
Y	0,5 ppm	ICP-MS (FUS)
Yb	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Zn	0,5 ppm	ICP-MS (TD-MS)
Zr	1 ppm	ICP-AES (FUS)

Tableau 1.2 : Éléments analysés et méthodes d'analyses utilisées par ALS Minerals

Éléments	Limite de détection	Méthode
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01 %	ICP-AES (FUS)
BaO	0,01 %	ICP-AES (FUS)
CaO	0,01 %	ICP-AES (FUS)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00%	ICP-AES (FUS)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01 %	ICP-AES (FUS)
K <sub>2</sub> O	0,01 %	ICP-AES (FUS)
MgO	0,01 %	ICP-AES (FUS)
MnO	0,01 %	ICP-AES (FUS)
Na <sub>2</sub> O	0,01 %	ICP-AES (FUS)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01 %	ICP-AES (FUS)
SiO <sub>2</sub>	0,01 %	ICP-AES (FUS)
SrO	0,01 %	ICP-AES (FUS)
TiO <sub>2</sub>	0,01 %	ICP-AES (FUS)
Ag	0,5 ppm	ICP-AES (TD-MS)
As	0,1 ppm	ICP-MS (AR-MS)
Au	5 ppb	FA-AA
Au	0,03 ppm	FA-GRA
Ba	1 ppm	ICP-MS (FUS)
Bi	0,1 ppm	ICP-MS (AR-MS)
C (total)	0,01 %	IR
Cd	0,2 ppm	ICP-AES (TD-MS)
Ce	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)
Co	1 ppm	ICP-AES (TD-MS)
Cr	10 ppm	ICP-MS (FUS)
Cs	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Cu	0,5 ppm	ICP-AES (TD-MS)
Dy	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Er	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Eu	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Ga	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)
Gd	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Ge	0,5 ppm	ICP-MS (FUS)
Hf	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)
Hg	5 ppb	ICP-MS (FUS)

Éléments	Limite de détection	Méthode
Ho	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
In	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)
La	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Li	1 ppm	ICP-AES (TD-MS)
Lu	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Mo	1 ppm	ICP-AES (TD-MS)
Nb	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)
Nd	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)
Ni	1 ppm	ICP-AES (TD-MS)
Pb	2 ppm	ICP-AES (TD-MS)
Pr	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Rb	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)
Re	1 ppm	ICP-MS (FUS)
S (total)	0,01 %	IR
Sb	0,2 ppm	ICP-MS (AR-MS)
Sc	1 ppm	ICP-AES (TD-MS)
Se	0,1 ppm	ICP-MS (AR-MS)
Sm	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Sn	1 ppm	ICP-MS (FUS)
Sr	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Ta	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)
Tb	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Te	0,02 ppm	ICP-MS (AR-MS)
Th	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Tl	0,5 ppm	ICP-MS (FUS)
Tm	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
U	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
V	1 ppm	ICP-MS (FUS)
W	1 ppm	ICP-MS (FUS)
Y	0,1 ppm	ICP-MS (FUS)
Yb	0,01 ppm	ICP-MS (FUS)
Zn	0,5 ppm	ICP-AES (TD-MS)
Zr	1 ppm	ICP-MS (FUS)

## 1.4 Organisation de la thèse

Ce mémoire par article est séparé en trois parties. La première partie du mémoire contient les deux premiers chapitres (chapitre 1 : Introduction; chapitre 2 : Géologie régionale et locale). La deuxième partie du mémoire (chapitres 3 et 4) est constituée de deux articles dont l'auteur du présent mémoire est l'auteur principal. Le premier article (Boily-Auclair et al., 2020) a été publié sous forme de court article dans la synthèse du projet *Gold* du programme Initiative géoscientifique ciblée phase 5 en 2020 ; il traite de la position stratigraphique des zones minéralisées de la mine LZ5 et de la propriété voisine Ellison. Le premier article propose que la mine LZ5 se situe plus haut dans la séquence stratigraphique que ce qui avait été précédemment interprété. Le deuxième article a été publié sous forme de Dossier Public à la Commission géologique du Canada au début de l'année 2022 (Boily-Auclair et al., 2022); il présente les styles de minéralisation et d'altération retrouvés à LZ5 et sur la propriété Ellison. Le second article est aussi une synthèse de l'étude et propose des concepts sur la formation de gisements archéens aurifères synvolcanique atypiques tel que le gisement LZ5. La troisième partie (Chapitre 5) de ce mémoire présente les conclusions générales de cette étude. De plus, un court article présentant l'avancement des travaux a été publié en 2019 dans le cadre d'un des rapports d'activités annuels de l'Initiative géoscientifique ciblée (Boily-Auclair et al., 2019), et est présenté dans l'Annexe 1.

Bien que le secteur Ellison (propriété adjacente à la propriété Bousquet) a été discuté brièvement dans les articles inclus dans ce mémoire (chapitres 3 et 4), il n'est qu'effleuré dans les chapitres 2 et 5, car ce secteur reste moins bien compris et le présent travail de recherche est centré sur le système LZ5 de la propriété Bousquet. De plus, le secteur Ellison n'apporte pas vraiment d'informations critiques quant à l'interprétation de la genèse des minéralisations aurifères du secteur à l'étude et son intégration à cette partie du mémoire alourdirait le texte indument. Également, le secteur Ellison a été préalablement documenté et étudié (Mercier-Langevin, 2006; Lair, 2007; Nadim, 2007).

## **1.5 Contributions des auteurs**

Les articles présentés ci-dessus sont le fruit du travail collaboratif de plusieurs chercheurs et professionnels travaillant dans le monde de l'exploration et de l'exploitation minérale. Émile Boily-Auclair (EBA), Patrick Mercier-Langevin (PML), Pierre-Simon Ross (PSR), ainsi que David Pitre (DP) sont les auteurs des deux articles qui composent les chapitres 3 et 4 de ce mémoire. EBA a effectué le travail de terrain sous la supervision de DP et de PML. EBA a également effectué la description des carottes de forages, la préparation des échantillons et la pétrographie. EBA a compilé les données et rédigé plusieurs versions des articles mentionnés ci-haut, incluant les figures et les tableaux. PML et PSR ont travaillé sur plusieurs versions des articles et ont aidé l'auteur principal à structurer ses idées. DP a agi à titre de professionnel expert et a encadré EBA durant les deux étés de terrain.

## 2 GÉOLOGIE RÉGIONALE ET LOCALE

---

### 2.1 Ceinture de roches vertes de l'Abitibi

La ceinture de roches vertes de l'Abitibi s'étend au Québec et en Ontario et fait partie de la Province du Supérieur (Chown et al., 1992). La ceinture de l'Abitibi est principalement composée d'assemblages volcaniques ultramafiques à felsiques dont l'âge varie de ~2795 Ma à 2695 Ma et qui sont recoupés par des intrusions synvolcaniques à post-tectoniques (Figure 1.2) (Chown et al., 1992; Ayer et al., 2002; Thurston et al., 2008; Monecke et al., 2017; Dubé et Mercier-Langevin, 2020). La ceinture de l'Abitibi est délimitée au nord par la Sous-province d'Opatoca, au sud-est par la Sous-province métasédimentaire du Pontiac, au sud et au sud-ouest par les roches paléoprotérozoïques du Supergroupe Huronien, à l'est par la zone tectonique mésoprotérozoïque de Grenville et à l'ouest par les gneiss de la zone structurale de Kapuskasing (Figure 1.2) (Robert, 1989; Sawyer et Benn, 1993; Calvert et al., 1995; Clowes et al., 1996; Perry et al., 2006; Monecke et al., 2017).

### 2.2 Géologie du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde

Le camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde (DBL) (camp minier majeur avec 865 t or, ou 28,8 millions d'onces en production cumulative *in situ* et en ressources et réserves estimées : Mercier-Langevin et al., 2017b), se situe à l'intérieur de la partie sud de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi et à environ 2 km au nord de la zone de faille majeure Larder Lake-Cadillac (Figure 1.2). Le camp DBL est compris dans l'Assemblage de Blake River, le plus jeune des sept assemblages volcaniques sub-alkalins de l'Abitibi (Lafrance et al., 2003, 2005; McNicoll et al., 2014). Dans ce secteur, l'Assemblage de Blake River se compose du Groupe de Blake River (Lafrance et al., 2003, 2005) (2704 à 2695 Ma), lequel comprend une succession de roches volcaniques et volcanoclastiques des formations d'Hébécourt et de Bousquet, montrant une polarité stratigraphique vers le sud et formant un empilement volcanique basculé d'orientation est-ouest à pendage subvertical ( $75^\circ - 90^\circ$ ) vers le sud (Figure 2.1). De nombreux gisements ont été, ou sont actuellement exploités, dans ce camp minier : Doyon, Mouska, Mic Mac, Mooshla B, Bousquet 1, Bousquet 2-Dumagami, LaRonde Penna, Westwood et LaRonde Zone 5 (Mercier-Langevin et al., 2021).



membre supérieur, qui est principalement de composition dacitique à sa base et rhyolitique au sommet (Figure 2.1). La formation évolue de tholéiitique à calco-alcaline (Lafrance et al., 2003; Mercier-Langevin et al., 2007a). De plus, à la base du membre inférieur de la Formation de Bousquet, on retrouve de 80 à 300 m d'épaisseur de roches volcanoclastiques de composition basaltique à andésitique (Figure 2.1) (Lafrance et al., 2003; Mercier-Langevin et al., 2008).

De part et d'autre des deux formations volcaniques, on trouve des roches sédimentaires plus jeunes que les roches volcaniques (Davis, 2002; Lafrance et al., 2003; Lafrance et al., 2005) (Figure 2.1). Au nord du Groupe de Blake River, on retrouve les roches sédimentaires du Groupe de Kewagama ( $\leq 2684 \pm 1$  : Davis, 2002) et, au sud, les roches sédimentaires du Groupe de Cadillac, datées à  $\leq 2687 \pm 3$  Ma dans le secteur de la mine Doyon (Lafrance et al., 2005) et à  $\leq 2689 \pm 2$  Ma au sud de la mine LaRonde Penna (Mercier-Langevin et al., 2007a). Le Groupe de Kewagama consiste en une succession de roches sédimentaires dérivées de sources volcaniques mafiques et felsiques (Davis, 2002). Le Groupe de Kewagama repose en contact faillé sous la Formation d'Hébécourt. Le Groupe de Cadillac est composé principalement de grauwacke et d'argillites reposant en discontinuité faillée sur la Formation de Bousquet. Un hiatus d'une dizaine de millions d'années est présent entre les roches sédimentaires du Groupe de Cadillac et les roches volcaniques de la Formation de Bousquet (Mercier-Langevin et al., 2007a).

À l'ouest du camp minier DBL, on retrouve l'intrusion synvolcanique de Mooshla (Figure 2.1) qui est de nature composite et multiphasée (Lafrance et al., 2003; Galley et Lafrance, 2014). Le pluton de Mooshla a été mis en place dans la partie supérieure de la Formation d'Hébécourt et dans le membre inférieur de la Formation de Bousquet. Il a été daté à environ 2698-2697 Ma (Lafrance et al., 2003; Galley et Lafrance, 2005; McNicoll et al., 2014).

Les roches du camp minier DBL ont subi trois principaux épisodes de déformation régionale. Hubert et al. (1984) ont reconnu une première phase de cisaillement ( $D_1$ ) interprété comme étant due à une convergence oblique, suivi d'une phase de compression nord-sud ( $D_2$ ), représentée par une schistosité ( $S_2$ ) bien développée dans tout le camp minier DBL. La schistosité régionale est-ouest à fort pendage vers le sud ( $\sim 75^\circ$  à  $90^\circ$ ) affecte la majorité des roches et des lentilles minéralisées du camp DBL. Le dernier épisode de déformation ( $D_3$ ) est bien moins important que les deux premiers et n'est pas aussi apparent dans les roches du Groupe de Blake River. Il est cependant représenté par un clivage ( $S_3$ ) nord-est sud-ouest qui correspond à un épisode de déformation tardif non relié aux deux premiers épisodes (Hubert et al., 1984; Mercier-Langevin et al., 2007a; Yergeau, 2015).

Dans le camp DBL, la Formation d'Hébecourt a été divisée informellement en deux unités, numérotées 1.0 (volcanites mafiques) et 2.0 (filons-couches felsiques) (Figure 2.2; Lafrance et al., 2003, 2005). La Formation de Bousquet, quant à elle, a été divisée en trois unités, numérotées 3 à 5. L'unité 5 forme le membre supérieur alors que les deux précédentes constituent le membre inférieur (Lafrance et al., 2003, 2005). Chacune des unités 3 à 5 a été divisée en de nombreuses sous-unités (Lafrance et al., 2003; 2005; Mercier-Langevin et al., 2007a, b, d; Yergeau, 2015; Yergeau et al. 2022a, b). La majorité des zones minéralisées du camp se situent dans les unités 4 et 5 (exemples : propriétés Westwood et LaRonde), avec quelques exceptions, notamment sur la propriété Bousquet (Figure 2.2).

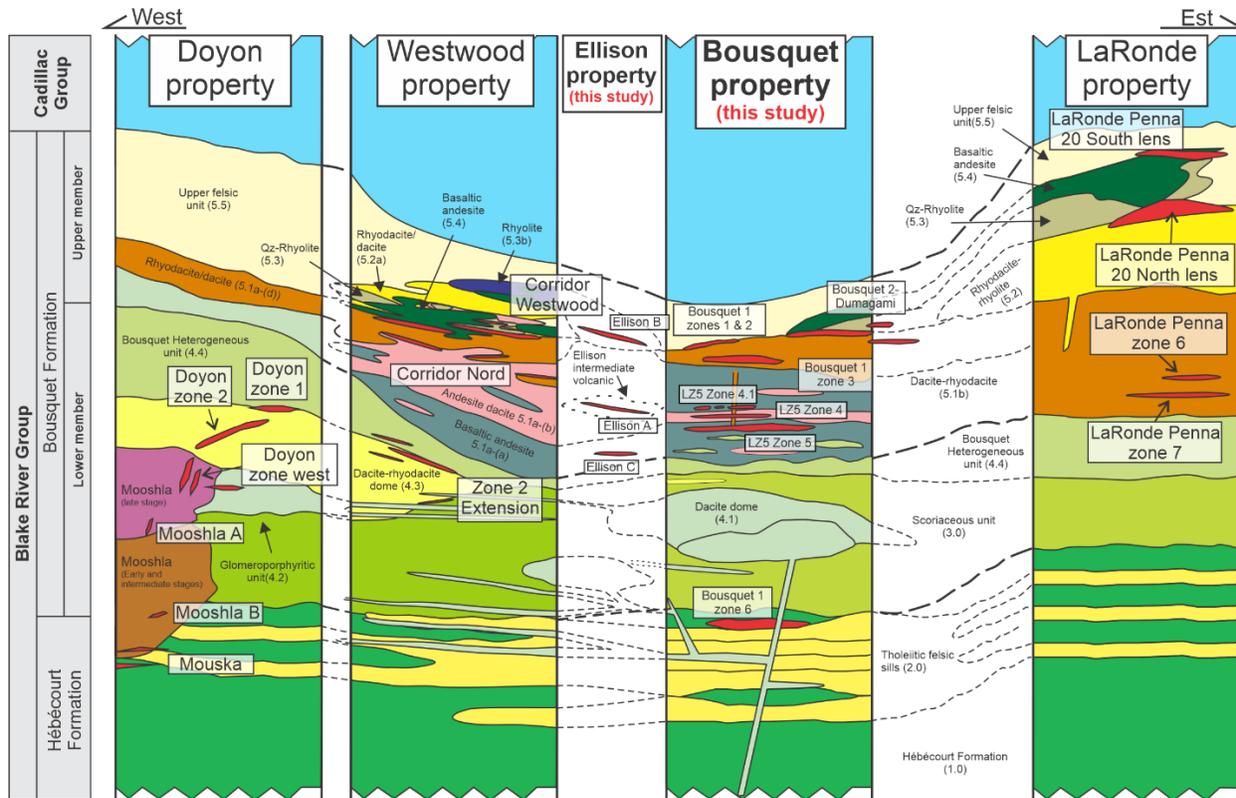


Figure 2.2 : Stratigraphie simplifiée du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde

La figure ci-haut montre l'emplacement des principales lentilles minéralisées du camp DBL. Les lentilles ne sont pas à l'échelle (modifié de Mercier-Langevin et al., 2007 et Yergeau, 2015).

### 2.3 Géologie du gisement LaRonde Zone 5

Les zones minéralisées du gisement LZ5 sont encaissées dans une succession d'unités volcaniques et volcanoclastiques, de nature intermédiaire, faisant partie du membre supérieur de la Formation de Bousquet (Boily-Auclair et al., 2020). Les roches sont fortement altérées,

déformées et métamorphosées au faciès du schiste vert. Trois corridors minéralisés distincts composent la LZ5 : la zone 4.1, la zone 4 et la zone 5 (Figure 2.2). La zone 5 est le principal corps minéralisé, tandis que les zones 4 et 4.1 sont des couloirs minéralisés minces et discontinus qui ne représentent qu'une faible proportion du bilan aurifère total de la LZ5.

Le gisement LZ5 était, jusqu'à récemment, interprété comme étant encaissé dans la partie supérieure du membre inférieur de la Formation de Bousquet, c.-à-d. dans l'unité hétérogène de Bousquet (unité 4.4 : Lafrance et al., 2003; Mercier-Langevin et al., 2007d). Les travaux rapportés aux chapitres 3 et 4 montrent que les zones minéralisées se trouvent plutôt à la base du membre supérieur de la Formation de Bousquet, c.-à-d. un peu plus haut dans la séquence stratigraphique (Figures 2.1 et 2.2). Les zones minéralisées de la LZ5 sont encaissées dans l'unité andésitique à rhyodacitique de Westwood (unité 5.1a), qui forme la base du membre supérieur de la Formation de Bousquet. L'unité hétérogène de Bousquet (unité 4.4), qui possède jusqu'à 300 m d'épaisseur sur la propriété Westwood, à l'est du gisement LZ5, n'est présente que sous forme de bandes minces et discontinues sur la propriété Bousquet (Figure 2.2).

Les zones minéralisées de la propriété Ellison sont situées à quelques centaines de mètres à l'ouest du gisement LZ5 et consistent en trois couloirs minéralisés superposés (zone A, zone B et zone C) (Figure 2.2). La zone A est encaissée dans une unité volcanique intermédiaire, à une position stratigraphique très similaire à celle des couloirs minéralisés de la LZ5. La zone B est située plus haut dans la séquence stratigraphique, dans le dôme rhyolitique feldspathique de Westwood (sous-unité 5.3a-(b) : Boily-Auclair et al., 2020). La zone C d'Ellison n'a été interceptée dans aucun des forages étudiés et ne sera donc pas discutée ici.

## **2.4 Genèse des minéralisations du camp DBL – Études antérieures**

La propriété Bousquet, qui inclut les anciennes mines Bousquet 1 et Bousquet 2, a fait l'objet de plusieurs études depuis les années 1980 et un grand nombre d'interprétations sur l'origine des minéralisations a été proposé. Huit lentilles ont été exploitées entre 1978 et 2002 pour un total de 151,75 t Au sur la propriété Bousquet à partir des mines Bousquet 1 (1978-1996) et Bousquet 2 (1990-2002) (Figure 2.3) (Mercier-Langevin et al., 2007d). Une part des minéralisations de la mine Bousquet 2 ont été exploitées par Mines Agnico Eagle Limitée à partir du complexe LaRonde en 2007.

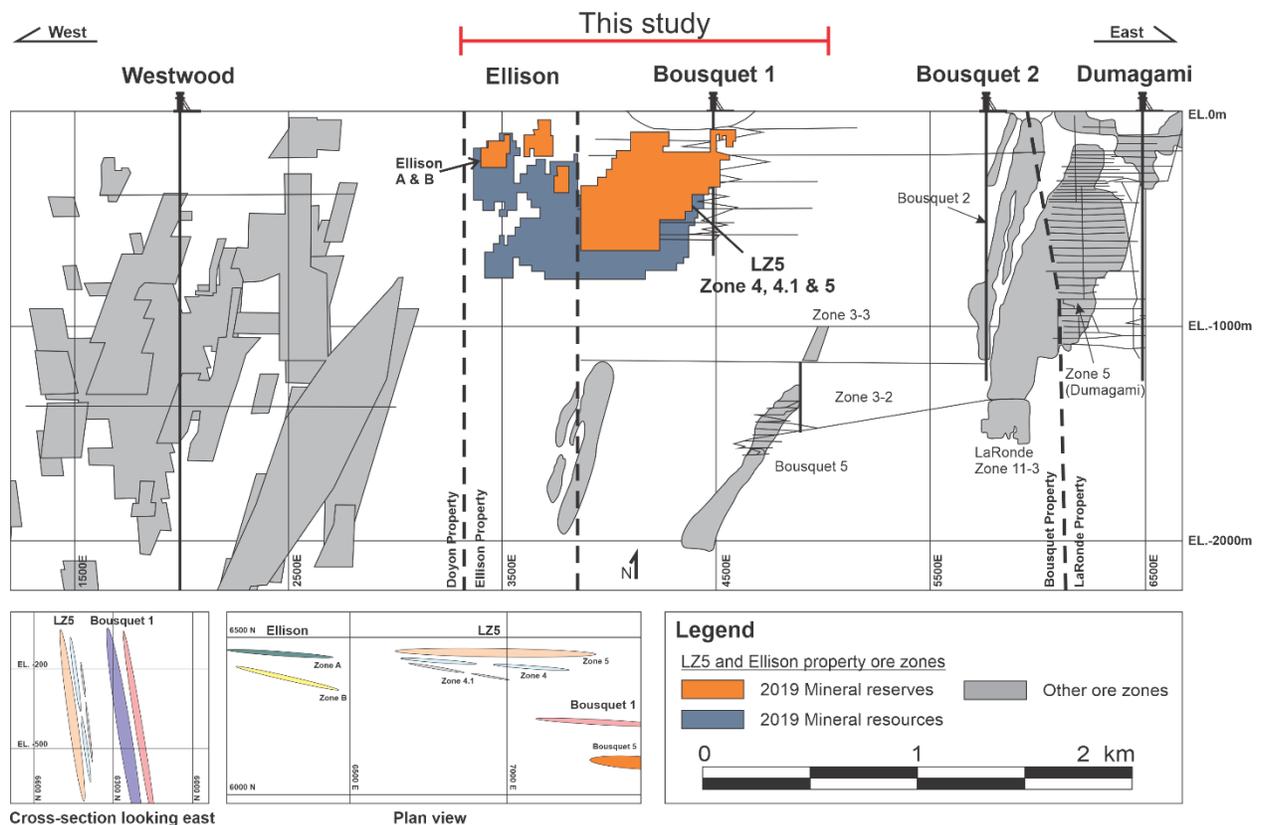


Figure 2.3 : Coupe longitudinale composite (en regardant vers le nord)

La figure ci-haut montre les mines exploitées et en exploitation des propriétés Westwood, Ellison et Bousquet (gisements Westwood, Ellison, LZ5, Bousquet 1 et Bousquet 2-Dumagami). Modifié à partir de Mercier-Langevin et al. (2009). Tirée de Boily-Auclair et al. (2022). Données provenant de Mines Agnico Eagle Limitée (2021).

La première lentille à avoir été exploitée est la lentille 3, ou zone 3, de la mine Bousquet 1. La Zone 3 était située à environ 150 m au sud du gisement LZ5 et constituait, à l'époque de son exploitation, le plus important gisement de la propriété Bousquet (Tourigny et al., 1989a). La Zone 3 a été décrite comme un gisement aurifère pyriteux stratiforme riche en quartz, séricite, pyrite et graphite contenu dans des roches volcanoclastiques massives à finement litées et des tufs à lapilli de composition andésitique (Valliant et Barnett, 1982; Valliant et Hutchinson, 1982; Valliant et al., 1982, 1983). La minéralisation se présentait sous forme de minces bandes ou lentilles de sulfure de 1 à 15 cm d'épaisseur et, dans la partie centrale du gisement, sous forme de lentilles de sulfures massifs pouvant atteindre jusqu'à 1,5 m d'épaisseur et 7 m de longueur. Similairement à la Zone 5 de la LZ5 (Chapitre 4), des veines et des veinules de pyrite riches en or transposées au travers de la foliation et des disséminations de pyrite avec des traces de chalcopryrite, de pyrrhotite et localement de sphalérite ont été décrites dans les lentilles minéralisées de la Zone 3 (Tourigny et al., 1992). L'or libre se retrouvait au contact des grains de pyrite, au contact des

fractures dans les grains de pyrite et isolé dans une matrice siliceuse. Les teneurs en or étaient directement proportionnelles à l'abondance relative de la pyrite (Valliant et Hutchinson, 1982). La mise en place de la lentille de la Zone 3 aurait été le résultat de la précipitation et de la sédimentation subséquente de sulfures provenant de fluides hydrothermaux dans un bassin sur le plancher océanique (Valliant et al., 1982). Le bassin ou la dépression pourrait s'être formé en même temps que la minéralisation, probablement par affaissement dû à l'activité hydrothermale (Valliant et al., 1982). Ainsi, Valliant et al. (1982) ont proposé une origine synvolcanique pour le gisement de la Zone 3 de la mine Bousquet 1, y compris une origine primaire pour l'or.

Cependant, Tourigny et al. (1989a, b) indiquent que les lentilles minéralisées de la mine Bousquet 1 sont encaissées dans les roches les plus déformées du Groupe de Blake River. Les lentilles minéralisées de la mine Bousquet 1 correspondraient à des zones de déformation ductile composées de plusieurs zones de cisaillement montrant une évidence de déplacements inverses et senestres (Tourigny et al., 1989a, b). Tourigny et al. (1989a, b) avancent que la minéralisation aurifère résulte d'une dissémination synvolcanique, suivie d'un épisode de minéralisation syntectonique, en partie contemporain au métamorphisme rétrograde. Les zones de déformation ductiles dans les roches du Groupe de Blake River auraient servi de pièges structuraux et, ainsi, concentré l'écoulement des fluides hydrothermaux à travers les roches cisillées et fracturées (Tourigny et al., 1989a, b). Stone (1990) propose une origine épithermale suivie d'une remobilisation syn- à tardi-tectonique pour les minéralisations de la propriété Bousquet en raison de plusieurs observations telles que les roches hôtes du système, la faible proportion de lentilles de sulfures massifs, le faible contenu en métaux de base, l'altération argileuse dans les zones minéralisées ainsi que l'altération intense des épontes de la minéralisation (Stone, 1990).

Marquis et al. (1990a, b) proposent une origine tardi-tectonique pour les minéralisations en Au-Ag-Cu relié à une minéralisation en Fe-Pb-Zn synvolcanique exhalative pour la mine Bousquet 2-Dumagami. Ils proposent un modèle similaire à celui de Tourigny et al. (1989 a, b) à Bousquet 1, dans lequel l'or aurait été introduit tardivement dans le système et aurait précipité dans les zones de déformation ductiles à partir de fluides hydrothermaux syn-déformation. Cette interprétation est appuyée entre autres par le fait que l'or est distribué de manière non homogène à l'échelle du gisement (Marquis et al., 1990a, b).

Une étude de la mine Bousquet 2 par Tourigny et al. (1993) suggère une minéralisation d'origine polyphasée. Encore une fois, Tourigny et al. (1993) avancent que la minéralisation à Au-Cu de la mine Bousquet 2 est probablement d'origine synvolcanique, mais que les métaux auraient été

remobilisés dans les structures extensionnelles lors d'un épisode de flux intense de fluides hydrothermaux.

Vers la fin des années 1990, la découverte et la mise en production du gisement LaRonde-Penna et son étude subséquente (Mercier-Langevin, 2005; Dubé et al., 2007b; Mercier-Langevin et al., 2007a, b) ont permis de raffiner les modèles de formation des SMV riches en or et les modèles de formation des minéralisations du camp minier DBL. Le gisement aurait une origine synvolcanique et l'or aurait été introduit de façon contemporaine aux métaux usuels lors de la formation des lentilles minéralisées du gisement LaRonde-Penna.

Dubé et al. (2014) reconnaissent que la distribution et la nature des assemblages minéralogiques autour de la minéralisation de la mine Bousquet 2-Dumagami indiquent qu'il s'agit de produits métamorphiques d'altération hydrothermale synvolcanique associée à un important système de SMV. De plus, l'or aurait été introduit en même temps que les métaux usuels et aurait donc une origine synvolcanique (Dubé et al., 2014). La zonation des métaux à l'intérieur de la lentille minéralisée (cœur riche en Au-Cu et partie supérieure riche en Zn-Pb) corrobore cette interprétation (Dubé et al., 2014).

Finalement, les études entreprises sur le gisement Westwood, situé tout juste à l'ouest de la propriété Bousquet (Mercier-Langevin et al., 2009; Wright-Holfeld et al., 2010, 2011; Yergeau 2015; Yergeau et al., 2015, 2022a, b), démontrent une fois de plus que les systèmes hydrothermaux de type SMV et magmatiques qui ont mené à la formation des minéralisations seraient contemporains au volcanisme.

### **3 CADRE STRATIGRAPHIQUE**

---

**Stratigraphic setting of the LZ5 and Ellison mineralized zones,  
LaRonde Zone 5 Project, Doyon-Bousquet-LaRonde mining  
camp, Abitibi, Quebec**

Cadre stratigraphique des zones minéralisées LZ5 et Ellison, projet  
LaRonde Zone 5, camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde, Abitibi, Québec

**Auteurs :**

Émile Boily-Auclair<sup>1</sup>, Patrick Mercier-Langevin<sup>2</sup>, Pierre-Simon Ross<sup>1</sup>, et David Pitre<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut national de la Recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement, 490 rue de la Couronne, Québec, Quebec G1K 9A9

<sup>2</sup>Geological Survey of Canada, 490 rue de la Couronne, Québec, Quebec G1K 9A9

<sup>3</sup>Agnico Eagle Mines Limited, LaRonde Division, 10200, route de Preissac, Rouyn-Noranda, Quebec J0Y 1C0

**Titre de la revue ou de l'ouvrage :**

Geological Survey of Canada, Open File 8712, p. 57-73, DOI 10.4095/323665

Soumis le 3 février 2020, publié le 11 juin 2020

<https://doi.org/10.4095/323665>

Cet article a dû être retiré de la version électronique en raison de restrictions liées au droit d'auteur.  
Vous pouvez le consulter à l'adresse ci-dessus

## 4 ALTERATION ET MINERALISATION

---

### **Alteration and ore assemblages of the Laronde Zone 5 (LZ5) deposit and Ellison mineralized zones, Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp, Abitibi, Quebec**

Altération et assemblages minéraux du gisement Laronde Zone 5 (LZ5) et des zones minéralisées Ellison, camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde, Abitibi, Québec

**Auteurs :**

Émile Boily-Auclair<sup>1</sup>, Patrick Mercier-Langevin<sup>2</sup>, Pierre-Simon Ross<sup>1</sup>, et David Pitre<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut national de la Recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement, 490 rue de la Couronne, Québec, Quebec G1K 9A9

<sup>2</sup>Geological Survey of Canada, 490 rue de la Couronne, Québec, Quebec G1K 9A9

<sup>3</sup>Agnico Eagle Mines Limited, LaRonde Division, 10200, route de Preissac, Rouyn-Noranda, Quebec J0Y 1C0

**Titre de la revue ou de l'ouvrage :**

Geological Survey of Canada, Open File 8867, 49 p., DOI 10.4095/329637

Soumis le 25 janvier 2022, publié le 2 février 2022

<https://doi.org/10.4095/329637>

Cet article a dû être retiré de la version électronique en raison de restrictions liées au droit d'auteur. Vous pouvez le consulter à l'adresse ci-dessus

## 5 SYNTHÈSE ET CONCLUSION

---

Cette section présente un sommaire des observations présentées aux chapitres 3 et 4 et compare le gisement atypique LZ5 de la propriété Bousquet à d'autres gisements retrouvés au Québec et à travers le monde. Un modèle de formation est aussi proposé pour expliquer la mine en place des corridors minéralisés de la LZ5. L'implication de ce projet de recherche pour l'exploration de gisements aurifères synvolcaniques archéens est finalement présentée en conclusion.

### 5.1 Sommaire des observations

La mine LaRonde Zone 5 (LZ5) fait partie du camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde et est située dans la partie sud de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, à mi-chemin entre les villes minières de Rouyn-Noranda et de Val-d'Or (Figure 4.1). Le gisement LZ5 se trouve sur la propriété Bousquet et est présentement exploité par Les Mines Agnico Eagle Limitée sur le complexe minier LaRonde. Le gisement LZ5 est constitué de trois corridors minéralisés superposés : la Zone 4, la Zone 4.1 et la Zone 5 (Figures 4.2 et 4.3). Les zones 4 et 4.1 sont des couloirs minéralisés satellites discontinus, tandis que la Zone 5 représente le corps minéralisé principal.

Les zones minéralisées du gisement LZ5 sont encaissées à la base du membre supérieur de la Formation de Bousquet, qui fait partie du Groupe de Blake River, daté entre 2704 et 2695 Ma (Lafrance et al., 2003, 2005) (Figure 4.3). Les zones 4, 4.1 et 5 de la mine LZ5 sont encaissées dans des unités volcaniques et volcanoclastiques de composition intermédiaire et de nature transitionnelle à calco-alkaline, faisant partie de l'unité andésitique à rhyodacitique de Westwood (unité 5.1a) (Figure 4.3). Le Chapitre 3 démontre que les couloirs minéralisés apparaissent à une position stratigraphique spécifique. Ce chapitre discute de la possibilité que l'intercalation complexe des unités lithologiques de la propriété Bousquet (c.-à-d. des roches volcaniques, volcanoclastiques et intrusives, de compositions mafiques à felsiques, et d'affinités tholéitiques à calco-alkalines) ait joué un rôle clé dans le style, la géométrie et le bilan métallique des zones minéralisées de la LZ5. Au Chapitre 4, on discute de la mise en place de la minéralisation qui a été contrôlée au moins en partie par la nature perméable des roches hôtes (c.-à-d. des roches volcanoclastiques dominantes à la base du membre supérieur de la Formation de Bousquet) permettant une circulation diffuse des fluides minéralisés.

La minéralisation dans les trois zones du gisement LZ5 consiste en des réseaux discordants de veines et de veinules de pyrite  $\pm$ chalcopyrite  $\pm$ sphalérite  $\pm$ pyrrhotite d'épaisseur millimétrique à

centimétrique (10 à 20 % du volume de la roche) et, dans une moindre mesure, de pyrite très finement disséminée et de veines boudinées ( $\leq 5$  % en volume chacune) dans des roches hôtes fortement altérées (Figure 4.8a, b). Les filons, les stockworks et les disséminations ont été intensément plissés et transposés dans la foliation S2 à fort pendage vers le sud et à orientation est-ouest (Figure 4.8e, f). Le réseau filonien est au moins partiellement discordant par rapport à la stratigraphie. Tel que présenté aux chapitres 3 et 4, des lapillis et des blocs riches en sulfures sont présents dans les roches de l'éponte inférieure des corridors minéralisés de la LZ5, ce qui indique qu'une certaine activité hydrothermale avait commencé avant que les unités de la partie supérieure de la Formation de Bousquet ne soient mises en place dans le secteur de la propriété Bousquet (Figure 4.9f, g). La présence d'amygdules remplies de sulfures dans certaines des unités volcaniques présentes dans l'éponte inférieure de la LZ5 appuie également ces observations. On a vu au Chapitre 4 que la recristallisation métamorphique à LZ5 est mise en évidence par la texture en mosaïque de la pyrite, qui présente des grains recristallisés pseudo-hexagonaux avec des jonctions à  $120^\circ$  (Tourigny et al., 1992) (Figure 4.8d). Tourigny et al. (1992) ont également suggéré que de fines inclusions de tellurures, de sphalérite et de chalcopryrite dans la pyrite avaient probablement été piégées lors de la recristallisation métamorphique de celle-ci. Ainsi, la déposition des éléments nécessaires à la formation de ces inclusions minérales est antérieure à la recristallisation métamorphique du faciès du schiste vert supérieur (Tourigny et al., 1992).

Un autre aspect important lié à la chronologie de la minéralisation aurifère de la LZ5 est fourni par des caractéristiques qui sont compatibles avec le principal événement de déformation dans le camp. Des veines de quartz-carbonate tardives, discordantes, subhorizontales et localement aurifères et riches en sulfure, d'épaisseurs centimétriques à décimétriques (veines d'extensions syn- à tardi-D<sub>2</sub>) recoupent les veines et veinules de sulfure et les zones minéralisées de type dissémination de la LZ5 (Figure 4.9a, b). Ces veines de quartz-carbonate sont seulement aurifères lorsqu'elles recoupent les couloirs altérés et minéralisés des gisements LZ5 et sont stériles en dehors des enveloppes de sulfures. Cela indique que la formation de ces veines de quartz syn- à tardi-D<sub>2</sub> ne correspond pas à un nouvel apport en métaux précieux et en métaux usuels pendant la déformation, mais plutôt à une remobilisation locale des métaux déjà présents dans les corridors minéralisés de la LZ5 lors de leurs mises en place.

Tel que discuté au Chapitre 4, la symétrie des halos d'altérations observée à LZ5 pourrait s'expliquer par la proximité des différents corridors minéralisés superposés composant la propriété Bousquet, telle que la Zone 3 de l'ancienne mine Bousquet. En effet, l'empreinte de

l'altération distale dans l'éponte inférieure de la Zone 3 de la mine Bousquet 1 pourrait avoir influencé l'intensité de l'altération présente dans l'éponte supérieure de la LZ5. Comme dans le cas du gisement Westwood, la nature semi-conforme des altérations autour des zones minéralisées de la LZ5 pourrait également s'expliquer par la circulation diffuse de fluides causée par la nature volcanoclastique (perméable) des roches hôtes (Yergeau, 2015; Yergeau et al., 2022a, b). L'intense raccourcissement N-S pendant la déformation D<sub>2</sub> a probablement accentué l'aspect symétrique de l'auréole d'altération.

L'altération hydrothermale proximale associée aux zones minéralisées de la LZ5 forme des enveloppes relativement symétriques autour de la minéralisation et s'étend tout au plus sur quelques mètres à l'extérieur des couloirs minéralisés, alors que les assemblages d'altération distaux s'étendent sur des dizaines de mètres dans l'éponte supérieure et l'éponte inférieure des zones minéralisées (Figure 4.10). L'altération augmente progressivement en intensité vers les zones minéralisées. Un halo d'altération distal enveloppe les couloirs minéralisés de la LZ5 et consiste en un assemblage à séricite-carbonate-chlorite-feldspath ± biotite, qui pourrait représenter une altération de type "propylitique", fréquente dans les gisements hydrothermaux (Figures 4.10, 4.13). Cet assemblage est aussi caractérisé par un appauvrissement en Na et un enrichissement en CaO, CO<sub>2</sub> et SiO<sub>2</sub> autour des zones minéralisées, typiques de l'altération hydrothermale liée aux gisements de SMV (Figure 4.16). Un assemblage d'altération proximal à séricite-carbonate-chlorite-pyrite-quartz-feldspath-biotite ± épidote est présent dans les zones minéralisées de la LZ5 (Figures 4.10, 4.13). Cet assemblage d'altération pourrait représenter le vestige d'une altération métamorphique de " style séricitique ", comme le suggèrent la lixiviation du CaO et du Na<sub>2</sub>O, et les gains en K<sub>2</sub>O (Figure 4.16). Un assemblage d'altération proximal local très intense à séricite-quartz-pyrite est également développé localement dans la Zone 4 et la Zone 5 du gisement LZ5 (Figures 4.10, 4.12a, b, 4.13). Cet assemblage d'altération est caractérisé par une forte augmentation des indices AAI et AI et une forte diminution de l'indice CCPI modifié, indiquant la lixiviation du CaO, du MgO et du Na<sub>2</sub>O (AAI : Williams et Davidson, 2004 ; AI : Ishikawa et al., 1976 ; CCPI : Large et al., 2001) (Figures 4.13, 4.16).

D'après les éléments présentés ci-dessus, la minéralisation de la LZ5 serait d'origine pré-tectonique et aurait été fortement affectée par des épisodes de déformation superposés et tardifs. Bien que certaines études aient conclu que l'or aurait pu être introduit au cours de la déformation et du métamorphisme dans les gisements du camp DBL (p. ex. : Tourigny et al., 1988, 1989a, b, 1992; Marquis et al., 1990a, b), l'interprétation proposée ici est en accord avec certaines des premières interprétations (p. ex. : Valliant et Barnett, 1982; Valliant et Hutchinson, 1982; Valliant

et al., 1982, 1983) et les interprétations les plus récentes pour plusieurs des minéralisations du camp (Stone, 1990; Dubé et al., 2004, 2007b, 2014; Mercier-Langevin, 2005, 2007a, b, c, 2011, 2017; Yergeau, 2015; Yergeau et al., 2022a, b). Ainsi, les preuves d'une minéralisation précoce, pré-déformation et pré-métamorphisme et fort probablement synvolcanique à LZ5 comprennent : 1) une déformation et une recristallisation majeure des sulfures et des assemblages d'altération associés ; 2) la nature et la géométrie globale des zones minéralisées et des halos d'altération associés (c.-à-d. des lentilles minéralisées empilées dans une succession volcanique et des halos d'altération sub-concordants) ; et 3) la mise en place des zones minéralisées contrôlée par des caractéristiques volcaniques telles que la perméabilité et la porosité des roches volcaniques et les contacts lithologiques.

## **5.2 Comparaison avec d'autres gisements aurifères synvolcaniques**

### **5.2.1 Bousquet Zone 3**

Le gisement historique de la Zone 3 de Bousquet, exploité de 1978 à 1996 par Lac Minerals et Barrick Gold Corporation dans le cadre de l'ancienne mine Bousquet 1 et faisant très probablement partie du même système qui est à l'origine des zones minéralisées de la LZ5, pourrait apporter des indices sur la genèse de la LZ5. Tel que présenté au Chapitre 2, la Zone 3 était à plusieurs égards similaire en termes de métallogénie à la LZ5.

La Zone 3 de Bousquet était cependant beaucoup plus riche que la LZ5, avec une teneur moyenne en or de 5,8 g/t or, et un peu plus de Cu (Tourigny, 1989). La Zone 3 était également encaissée dans des unités volcaniques et volcanoclastiques plus fortement altérées, représentant la partie supérieure du membre supérieur de la Formation de Bousquet. La présence d'un assemblage de type altération argileuse acide métamorphisée comme zone d'altération proximale – semblable à l'altération acide de Dumagami-Bousquet 2 et de LaRonde Penna – était aussi une caractéristique clé du gisement (Valliant et al., 1982). L'hypothèse d'un apport synvolcanique de l'or a été remise en question par la suite par certains chercheurs, suggérant plutôt un apport aurifère tardif par processus syndéformation (p. ex. : Tourigny et al, 1989).

Une interprétation récente favorise cependant un événement hydrothermal synvolcanique pour la minéralisation aurifère (p. ex. : LaFrance et al., 2003; Mercier-Langevin et al., 2007d). La LZ5 pourrait donc représenter le cœur du système minéralisateur, ou la « *stockwork zone* », qui a commencé avec la LZ5 et a évolué dans le temps pour former la Zone 3, à plus haute teneur et plus haut dans la séquence stratigraphique (voir chapitre 4).

### 5.2.2 Westwood

Dans le camp minier DBL, le gisement Westwood est certainement le plus proche parent du gisement LZ5, en termes de style de minéralisation. Le gisement Westwood comprend trois couloirs minéralisés distincts : le corridor Nord, le corridor Westwood, et la Zone 2 Extension.

En termes de style de minéralisation et d'altération, les zones minéralisées du corridor Nord sont très similaires à celles du gisement LZ5. La minéralisation du corridor Nord se présente sous la forme de plusieurs lentilles aurifères composées de disséminations, de veines et de veinules de sulfures (pyrite, chalcopryrite,  $\pm$ pyrrhotite, sphalérite, galène) avec, très localement, des lentilles de sulfures semi-massifs à massifs dont la mise en place est contrôlée par la perméabilité des roches volcaniques hôtes (Yergeau, 2015; Yergeau et al., 2022a, b). Les halos d'altération sont sub-concordants et consistent principalement en un assemblage à séricite-chlorite-biotite-carbonate et grenat manganifère. Les teneurs élevées en or sont généralement spatialement associées à des teneurs élevées en Cu (Yergeau, 2015). Cependant, les zones minéralisées du corridor Nord sont également riches en Zn et Pb.

La Zone 2 Extension est constituée de filons et de veinules riches en sulfures de quartz avec des zones de sulfures disséminés à semi-massifs composés de pyrite  $\pm$  chalcopryrite dont la distribution et la mise en place sont contrôlées par l'injection de dykes et de filons-couches de composition felsique à intermédiaire (Yergeau, 2015; Yergeau et al., 2022a, b). L'assemblage local à séricite-quartz  $\pm$ gypse-andalousite-kyanite-pyrophyllite typique de l'altération hydrothermale acide métamorphisée est cependant très différent de ceux des deux autres corridors.

Yergeau (2015) explique la nature riche en or du gisement Westwood par un influx de fluide magmatique provenant du pluton de Mooshla ou d'une chambre magmatique en profondeur. Dans ce système, les fluides magmatiques générés et/ou transportés pendant la mise en place et la cristallisation des phases tardives du pluton sont les principaux constituants des fluides hydrothermaux et les métaux ont donc une origine magmatique (Yergeau, 2015; Yergeau et al., 2015, 2022a, b). Cette interprétation est supportée par les résultats préliminaires d'une étude sur les inclusions magmatiques, enrichies en métaux (Neyedley et al., 2021).

### 5.2.3 Chevrier

Ailleurs dans la Sous-province de l'Abitibi, le gisement aurifère synvolcanique Chevrier, qui fait partie du camp minier de Chibougamau, partage certaines caractéristiques avec le gisement LZ5.

Tout comme le gisement LZ5, le gisement Chevrier a souvent été décrit comme un gisement aurifère syndéformation en raison de la nature intensément déformée de ses zones minéralisées. Cependant, Legault et Daigneault (2006) ont suggéré que l'événement aurifère à Chevrier était antérieur à la déformation intense associée à la zone de déformation de Fancamp. Ils proposent que la minéralisation aurifère soit synchrone au volcanisme felsique de la région. La minéralisation est constituée de sulfures disséminés avec des veines et des veinules de sulfures encaissées dans des roches volcaniques felsiques d'affinité calco-alkaline (Legault et Daigneault, 2006). L'altération évolue d'un assemblage à épidote-calcite-chlorite (altération de type propylitique) loin de la minéralisation à un assemblage à calcite-chlorite et à séricite-ankérite-chlorite plus près des zones minéralisées. Les relations de recoupement du gisement aurifère de Chevrier par des dykes felsiques datés à 2703 Ma indiquent une chronologie synvolcanique pour la minéralisation aurifère. De plus, ces dykes sont temporellement et géochimiquement similaires aux dacites hôtes de la minéralisation, ce qui suggère que la minéralisation aurifère était synchrone avec la formation du centre volcanique de Chevrier.

#### **5.2.4 Conical Seamount**

Des analogues de systèmes minéralisés hydrothermaux riches en or sont documentés sur le plancher océanique actuel dans des contextes d'arc volcanique rifté, de bassin d'arrière-arc et de marge continentale riftée (Hannington et al., 1999, 2005). Par exemple, le volcan sous-marin Conical Seamount, dans le bassin d'avant-arc de New Ireland en Papouasie-Nouvelle-Guinée, abrite une minéralisation qui se compose de veines, de veinules et de disséminations de silice et de sulfures riches en or, hébergées dans des roches de composition basaltique à trachy-basaltique et d'affinité calco-alkaline (Petersen et al., 2002). Les sulfures sont constitués de sphalérite, galène, pyrite, chalcopyrite et marcasite, avec une grande proportion de sulfosels. Les teneurs élevées en or sont associées à de fortes concentrations en Ag, As, Hg et Sb. Un halo d'altération centimétrique d'illite, de smectite, de silice, de feldspath potassique, de plagioclase secondaire et localement de chlorite et de carbonate autour des filons indique que les fluides hydrothermaux étaient neutres à légèrement acides au moment de leur formation. La minéralisation s'est formée à une faible profondeur à partir de fluides hydrothermaux avec une importante contribution de fluides magmatiques et est spatialement associée au gisement épithermal subaérien de Ladolam sur l'île de Lihir (Petersen et al., 2002). Les relations génétiques entre les SMV riches en or et les gisements épithermaux acides subaériens sont souvent discutées dans la littérature et l'implication d'un fluide magmatique pour expliquer l'enrichissement en or est généralement acceptée (par exemple, Sillitoe et al., 1996; Hannington

et al., 1999; Huston, 2000; Mercier-Langevin et al., 2007a, b, c, 2011, 2015; Dubé et al., 2007a, b, 2014; Yergeau, 2015; Yergeau et al., 2022a, b). Ces minéralisations récentes peuvent donc fournir des pistes de réponses lors de l'étude de gisements archéens synvolcaniques riches en or.

### **5.3 Modèle de formation de la LZ5**

À la lumière de ce qui a été présenté au Chapitre 4 et à la section 5.1, les zones minéralisées du gisement LZ5 se sont probablement formées à partir du mélange de deux fluides. Le fluide dominant aurait été de l'eau de mer modifiée, enrichie en métaux, circulant sous le plancher océanique. Le second fluide d'origine magmatique proviendrait de dykes, de filons-couches et de cryptodômes du membre supérieur de la Formation de Bousquet ainsi que de la partie supérieure du pluton de Mooshla (ou d'une chambre magmatique mère en profondeur). Bien que sa taille en surface soit limitée, le complexe intrusif de Mooshla pourrait représenter l'équivalent superficiel d'un corps intrusif beaucoup plus grand qui aurait pu contribuer à alimenter l'activité hydrothermale dans le camp minier DBL (Valliant et Hutchison, 1982; Mercier-Langevin et al., 2007d; Dubé et al., 2007b; Galley et Lafrance, 2014; Yergeau, 2015). La faible teneur en métaux de base de la LZ5 pourrait s'expliquer par l'influx plus important de fluides magmatiques dans le système hydrothermal qui est à l'origine de ses corridors minéralisés. Les zones minéralisées du gisement LZ5 sont également enrichies en Ba, Bi, Cu, In, Sn, Te, et légèrement enrichies en Ag, Se, et W. Comme expliqué au Chapitre 4, l'enrichissement en éléments traces comme l'Ag, le Bi, le Sn et le Te peut être associé à un apport magmatique dans les systèmes hydrothermaux minéralisateurs, en accord avec la nature riche en Au ±Cu de certains des gisements du camp DBL (p. ex. : Dubé et al., 2004, 2007a, b, 2014; Mercier-Langevin, 2005; Mercier-Langevin et al., 2007c, 2011; Yergeau, 2015; Yergeau et al., 2022a, b). L'enrichissement anomal en or pourrait être expliqué par : (1) la proximité d'une source magmatique (c.-à-d. le complexe intrusif de Mooshla) ; et (2) une eau de mer modifiée et enrichie en métaux circulant par convection sous le plancher océanique. La neutralisation du pH acide des fluides minéralisateurs par l'eau de mer pourrait expliquer en partie l'absence d'altération de style argileuse acide près des zones minéralisées de la LZ5.

La LZ5 pourrait représenter un système de type stockwerk et remplacement de SMV sous le plancher océanique qui n'a cependant jamais atteint la maturité nécessaire pour former des lentilles de sulfures massifs. La nature particulière des fluides aurait aussi pu jouer un rôle clé dans la formation du gisement atypique de la LZ5. En effet, la faible concentration en métaux

usuels (Cu et Zn) dans le système minéralisé de la LZ5 est peut-être due à l'implication de fluides hydrothermaux relativement froids ( $\leq 200^{\circ}\text{C}$ ) qui ne sont pas en mesure de transporter ces métaux. Comme ce qui a été proposé pour le gisement adjacent de Westwood, l'or pourrait avoir été introduit dans le système par un afflux magmatique provenant du complexe intrusif de Mooshla ou d'une chambre magmatique plus profonde. L'altération argileuse acide riche en aluminosilicates, qui est typique du gisement Bousquet 2-Dumagami et de la partie profonde de la lentille 20 Nord du gisement LaRonde Penna, est absente à LZ5. Un apport plus faible de fluide magmatique, ou un mélange plus important avec de l'eau de mer modifiée, pourrait avoir neutralisé le caractère acide du fluide, expliquant l'absence d'altération argileuse avancée à LZ5. Cependant, l'altération argileuse métamorphisée est fréquente dans la Zone 3 de l'ancienne mine Bousquet 1, qui se situe à quelques dizaines de mètres au sud de la LZ5, plus haut dans la séquence stratigraphique. Si ces zones de minerai sont toutes associées, cela signifie que le caractère acide des fluides n'a pas pu s'exprimer, peut-être en raison de températures encore un peu trop élevées. La minéralisation de la LZ5 représente possiblement un cas intermédiaire entre un gisement de « type LaRonde » et un gisement de « type Westwood », avec un apport de fluides magmatiques et éventuellement de métaux pour former un système magmatique-hydrothermal.

#### **5.4 Implication pour l'exploration**

L'étude détaillée des corridors minéralisés riches en or de la LZ5 permet de mieux cibler l'exploration des gisements aurifères synvolcaniques archéens. Malgré la déformation et le métamorphisme superposés à LZ5, les caractéristiques primaires des zones minéralisées et des roches volcaniques et intrusives hôtes sont encore généralement identifiables, ce qui a permis de reconstituer l'histoire géologique du gisement avant la déformation et ainsi de mieux comprendre son origine synvolcanique, sa genèse et son architecture.

L'exploration de gisements archéens similaires riches en or devrait donc se concentrer sur : (1) des séquences de roches volcaniques et intrusives mafiques à felsiques (non bimodales) d'affinité transitionnelle à calco-alcaline à l'échelle du craton. En effet, les magmas alcalins et calco-alcalins sont connus pour être favorables au transport de l'or et d'autres métaux puisqu'ils sont généralement oxydés et riches en fluides (Mercier-Langevin et al., 2007a; Sinclair, 2007; Yergeau et al., 2022a); (2) la présence d'une ou de plusieurs intrusions synvolcaniques polyphasées à l'échelle régionale qui aurait pu fournir les fluides magmatiques nécessaires à la formation de corridors aurifères; (3) des faciès perméables (c.-à-d. fragmentaires) dans les

roches volcaniques différenciées intermédiaires, transitionnelles à calco-alkalines à une échelle plus locale qui auraient permis aux fluides de circuler plus facilement; (4) des halos d'altération semi-conforme constitués d'assemblages minérales de type propylitique et séricitique (c.-à-d. séricite, chlorite, biotite, carbonates et feldspaths) caractérisés par un appauvrissement important en  $\text{Na}_2\text{O}$  et un enrichissement en  $\text{CaO}$ ,  $\text{CO}_2$  et  $\text{SiO}_2$  autour des zones minéralisées.

## **5.5 Recommandations et travaux futurs**

Cette étude a documenté la géologie, l'altération et les styles de minéralisation des zones minéralisées de la Zone 5 du complexe LaRonde. Bien que les unités hôtes et les types d'altération aient été décrits en détail, une modélisation en 3 dimensions des unités volcaniques mafiques à intermédiaires, des intrusions felsiques et des zones d'altérations hydrothermales pourrait aider à encore mieux comprendre l'architecture volcanique et hydrothermale du système minéralisateur de la propriété Bousquet. De plus, une série d'analyses approfondies à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) et d'une microsonde afin de caractériser la composition des minéraux présents et d'identifier les phases minérales complexes pourrait permettre une meilleure caractérisation des types d'altérations hydrothermales retrouvés autour du gisement LZ5 et peut-être la définition de vecteurs minéralogiques vers les zones minéralisées. Finalement, une cartographie détaillée (accès sous terre et série de forages représentatifs) des unités hôtes, des zones d'altération, et des zones minéralisées de la propriété Ellison pourrait permettre une meilleure intégration de la propriété aux modèles métallogéniques récents du camp Doyon-Bousquet-LaRonde et de mieux comprendre la transition entre le gisement Westwood et le gisement LZ5 (anciennement Bousquet 1). L'ajout de nouvelles données sur la géologie et la zonalité hydrothermale entre la Zone 5 et les zones 1, 2 et 3 de l'ancienne mine Bousquet 1 pourrait permettre de raffiner la compréhension de l'évolution hydrothermale du secteur à l'étude.

## 6 BIBLIOGRAPHIE

---

Agnico Eagle Mines Limited (2019a) *LaRonde mine operations* <https://www.agnicoeagle.com/English/operations-and-development-projects/operations/laronde/default.aspx> (accès le 29 décembre 2021).

Agnico Eagle Mines Limited (2019b) LaRonde Zone 5 survey division, Agnico Eagle Mines Limited, Map of level 18 of the LaRonde Zone 5 project, scale 1 :1500.

Agnico Eagle Mines Limited (2021) *LaRonde mine operations* <https://www.agnicoeagle.com/English/operations-and-development-projects/operations/laronde/default.aspx> (accès le 19 juin 2021).

Ayer J, Amelin Y, Corfu F, Kamo S, Ketchum J, Kwok K, Trowell, N (2002) Evolution of the southern Abitibi greenstone belt based on U-Pb geochronology: autochthonous volcanic construction followed by plutonism, regional deformation and sedimentation *Precambrian Research* 115: 63-95.

Barrett TJ, MacLean WH (1994) Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks in Alteration and alteration processes associated with ore-forming systems. *Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division* 11: 433–467.

Beaudoin G, Mercier-Langevin P, Dubé B, Taylor BE (2014) Low-temperature alteration at the world-class LaRonde Penna Archean Au-rich volcanogenic massive sulfide deposit, Abitibi subprovince, Quebec, Canada: Evidence from whole-rock oxygen isotopes *Economic Geology* 109: 167-182.

Bleeker W (1999) Structure, stratigraphy, and primary setting of the Kidd Creek volcanogenic massive sulfide deposit: A semiquantitative reconstruction *SEG Monograph 10: The giant Kidd Creek volcanogenic massive sulfide deposit*: 71-122.

Boily-Auclair E (2017) Nature et style de l'altération hydrothermale associée aux minéralisations aurifères du projet LaRonde Zone 5 (LZ-5), Abitibi, Québec *Thèse B.Sc. non publiée*, Université Laval, Québec, Québec : 69 p.

Boily-Auclair E, Mercier-Langevin P, Ross P-S, Pitre D (2019) Lithological and structural controls on the nature and distribution of gold at the LaRonde Zone 5 project, Doyon-Bousquet-LaRonde gold camp, Abitibi, Quebec *Targeted Geoscience Initiative: 2018 report of activities* Geological Survey of Canada, Open File 8549: 23-32.

Boily-Auclair E, Mercier-Langevin P, Ross P-S, Pitre D (2020) Stratigraphic setting of the LZ5 and Ellison mineralized zones, LaRonde Zone 5 Project, Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp, Abitibi, Quebec *Targeted Geoscience Initiative 5, Gold Project: A summary of contributions to the understanding of Canadian gold systems* Geological Survey of Canada, Open File 8712: 57-73.

Calvert AJ, Sawyer EW, Davis WJ, Ludden JN (1995) Archean subduction inferred from seismic images of a mantle suture in the Superior Province *Nature* 375: 670-674.

- Chown EH, Daigneault R, Mueller WU (1992) Tectonic evolution of the Northern Volcanic Zone, Abitibi belt, Quebec *Canadian Journal of Earth Sciences* 29: 2211-2225.
- Clowes RM, Calvert AJ, Eaton DW, Hajnal Z, Hall J, Ross GM (1996) Lithoprobe reflection studies of Archean and Proterozoic crust in Canada *Tectonophysics* 264: 65-88.
- Davis DW (2002) U-Pb geochronology of Archean metasedimentary rocks in the Pontiac and Abitibi subprovinces, Quebec, constraints on timing, provenance and regional tectonics *Precambrian Research* 115: 97-117.
- Dubé B, Mercier-Langevin P, Hannington M, Davis DW, Lafrance B (2004) Le gisement de sulfures massifs volcanogènes aurifères LaRonde, Abitibi, Québec : altération, minéralisations, genèse et implications pour l'exploration *ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec* MB 2004-03 : 112 p.
- Dubé B, Gosselin P, Mercier-Langevin P, Hannington M, Galley A (2007a) Gold-rich Volcanogenic Massive Sulphide Deposits *Geological Association of Canada, Mineral Deposit Division Special Publication* 5: 75–94.
- Dubé B, Mercier-Langevin P, Hannington M, Lafrance B, Gosselin G, Gosselin P (2007b) The LaRonde Penna world-class Au-rich volcanogenic massive sulphide deposit, Abitibi, Québec: mineralogy and geochemistry of alteration and implications for genesis and exploration *Economic Geology* 102: 633–666.
- Dubé B, Mercier-Langevin P, Kjarsgaard I, Hannington M, Bécu V, Côté J, Moorhead J, Legault M, Bédard N (2014) The Bousquet 2-Dumagami world class Archean Au-rich volcanogenic massive sulfide deposit, Abitibi, Québec: Metamorphosed submarine advance argillic alteration footprint and genesis *Economic Geology* 109: 121–166.
- Dubé B, Mercier-Langevin P (2020) Gold deposits of the archaean Abitibi greenstone belt, Canada *Geology of the world's major gold deposits and provinces* chapitre 32 : 669-708.
- Franklin JM, Lydon JW, Sangster DF (1981) Volcanic-associated massive sulfide deposits *Economic Geology* Economic Geology 75th Anniversary Volume: 485-627.
- Franklin JM, Gibson HL, Jonasson IR, Galley, AG (2005) Volcanogenic Massive Sulfide Deposits *Economic Geology* Economic Geology 100th Anniversary Volume: 523–560.
- Finlow-Bates T, Stumpfl EF (1981) The behaviour of so-called immobile elements in hydrothermally altered rocks associated with volcanogenic submarine-exhalative ore deposits *Mineralium Deposita* 16: 319-328.
- Galley A, Lafrance B (2007) Évolution et métallogénie du Pluton de Mooshla *ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs* ET 2007-02 : 32 p.
- Galley A, Lafrance B (2014) Setting and evolution of the Archean synvolcanic Mooshla Intrusive Complex, Doyon-Bousquet-LaRonde Mining Camp, Abitibi Greenstone Belt: Emplacement History, Petrogenesis, and Implications for Au Metallogenesis *Economic Geology* 109: 205-229.
- Galley A, Hannington MD, Jonasson IR (2007) Volcanogenic Massive Sulphide Deposits *Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division Special Publication* 5:141–161.

Goldfarb RJ, Groves DI (2015) Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time *Lithos* 233: 2–26.

Goldfarb RJ, Baker T, Dubé B, Groves DI, Hart CJR, Gosselin P (2005) Distribution, Character, and Genesis of Gold Deposits in Metamorphic Terranes *Economic Geology* Economic Geology 100th Anniversary Volume: 407-450.

Goutier J (1997) Géologie de la région de Destor (SNRC 32D/07) *ministère des Ressources naturelles du Québec* RG 1996-13 : 37 p.

Gosselin G (1998) Veines de quartz aurifères précoces à la zone Ouest de la mine Doyon, Canton de Bousquet, Preissac, Abitibi *Mémoire de maîtrise* Unité d'enseignement en sciences de la Terre, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi : 128 p.

Groves DI, Condie KC, Goldfarb RJ, Hronsky JMA, Vielreicher RM (2005) Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold-bearing mineral deposits *Economic Geology* 100: 203–224.

Hannington MD, Scott S (1989) Sulfidation equilibria as guides to gold mineralization in volcanogenic massive sulfides: Evidence from sulfide mineralogy and the composition of sphalerite *Economic Geology* 84: 1978-1995.

Hannington MD, Thompson G, Rona P, Scott D (1988) Gold and native copper in supergene sulphides from the Mid-Atlantic Ridge *Nature* 333: 64-66.

Hannington MD, Poulsen KH, Thompson JFH, Sillitoe R (1999) Volcanogenic gold in the massive sulfide environment *Reviews in Economic Geology*, 8: 325–356.

Hannington MD, de Ronde CEJ, Petersen S (2005) Sea-floor tectonics and submarine hydrothermal systems *Economic Geology* Economic Geology 100th Anniversary Volume: 523–560.

Hubert C, Trudel P, Gélinas L, (1984) Archean wrench fault tectonics and structural evolution of the Blake River Group, Abitibi belt, Quebec *Canadian Journal of Earth Sciences* 21: 1024–1032.

Huston DL (2000) Gold in volcanic-hosted massive sulfide deposits: Distribution, genesis and exploration *Reviews in Economic Geology* 13: 401–426.

Huston DL, Large RR (1989) A chemical model for the concentration of gold in volcanogenic massive sulphide deposits *Ore Geology Reviews* 4: 171– 200.

Ishikawa Y, Sawaguchi T, Iwaya S, Horiuchi M (1976) Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism of underlying dacite and alteration haloes *Mining Geology* 26: 105–117.

Kirkland Lake Gold Limited (2021) *Detour Lake Mine Kirkland Lake Gold Ltd* <https://www.kl.gold/our-business/canada/detour-lake-mine/default.aspx> (accéder le 24 janvier 2021).

Lafrance B, Moorhead J, David DW (2003) Cadre géologique du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde *ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec* ET 2002-07 : 45 p.

- Lafrance B, Davis DW, Goutier J, Moorhead J, Pilote P, Mercier- Langevin P, Dubé B, Galley AG, Mueller WU (2005) Nouvelles datations isotopiques dans la portion québécoise du Groupe de Blake River et des unités adjacentes *Ressources Naturelles et Faune Québec* RP 2005–01 :15 p.
- Lair M (2007) Caractérisation pétrographique et géochimique des altérations et des minéralisations aurifères de la Zone A, propriété Ellison, camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde *Thèse B. Sc non publié*, Université Laval, Québec, Québec : 33 p.
- Large RR, Gemmell JB, Paulick H, Huston D L (2001) The alteration box plot: A simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and litho geochemistry associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits *Economic Geology* 96 : 957-971.
- MacLean WH, Kranidiotis P (1987) Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration; Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec *Economic Geology* 82: 951-962.
- MacLean WH, Barrett TJ (1993) Litho geochemical techniques using immobile elements *Journal of Geochemical Exploration* 48: 109-133.
- Marquis P, Hubert C, Brown AC, (1990a) Gold deposits in deformed massive sulphide and pyretic alterites in the Bousquet district, southern Abitibi Subprovince *Short Course Notes, University of Western Australia* 24: 243-273.
- Marquis P, Hubert C, Brown AC, Rigg DM (1990b) An evaluation of genetic models for gold deposits of the Bousquet district, Quebec, based on their mineralogic, geochemical, and structural characteristics *The Northwestern Quebec Polymetallic Belt : a summary of 60 years of mining exploration*, CIM Special Volume 43: 383-399.
- McDonough WF, Sun SS (1995) The composition of the Earth *Chemical Geology* 120 : 223-253.
- McNicoll V, Goutier J, Dubé B, Mercier-Langevin P, Ross P-S, Dion C, Monecke T, Legault M, Percival J, Gibson, H (2014) U-Pb Geochronology of the Blake River Group, Abitibi Greenstone Belt, Quebec, and Implications for Base Metal Exploration *Economic Geology* 109: 27–59.
- Meffre S, Large RR, Steadman JA, Gregory DD, Stepanov AS, Kamenetsky VS, Ehrig K, Scott RJ (2016) Multi-stage enrichment processes for large gold-bearing ore deposits *Ore Geology Reviews* 76: 268-279.
- Mercier-Langevin P (2005) Géologie du gisement de sulfures massifs volcanogènes aurifères LaRonde, Abitibi, Québec; *Thèse de doctorat, Institut national de la Recherche scientifique – Centre Eau, Terre et Environnement* : 694 p.
- Mercier-Langevin P (2006) Campagne de forage – Propriété Ellison, Hiver 2006, Mines Agnico-Eagle Ltée, Division Exploration, Canton Bousquet, Abitibi, Québec *Rapport déposé au ministère des Ressources Naturelles et de la Faune* GM 62983 : 305 p.
- Mercier-Langevin P, Dubé B, Hannington MD, Davis D, Lafrance B, Gosselin G (2007a) The LaRonde Penna Au-rich volcanogenic massive sulphide deposit, Abitibi greenstone belt, Quebec: Part I. Geology and geochronology *Economic Geology* 102: 585–609.

Mercier-Langevin P, Dubé B, Hannington MD, Richer-Lafèche M, Gosselin G (2007b) The LaRonde Penna Au-rich volcanogenic massive sulphide deposit, Abitibi greenstone belt, Quebec: Part II. Lithogeochemistry and paleotectonic setting *Economic Geology* 102: 611–631.

Mercier-Langevin P, Dubé B, Lafrance B, Hannington MD, Galley A, Moorhead J, Gosselin P (2007c) Metallogeny of the Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp, Abitibi greenstone belt, Quebec; in Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods *Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division Special Publication No. 5*: 673–701.

Mercier-Langevin P, Dubé B, Lafrance B, Hannington MD, Galley A, Moorhead J (2007d) A group of papers devoted to the LaRonde Penna Au-rich volcanogenic massive sulfide deposit, eastern Blake River Group, Abitibi greenstone belt, Quebec *Economic Geology* 102: 577-583.

Mercier-Langevin P, Wright-Holfeld A, Dubé B, Bernier C, Houle N, Savoie A, Simard P (2009) Stratigraphic setting of the Westwood-Warrenmac ore zones, Westwood Project, Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp, Abitibi, Québec *Geological Survey of Canada* 2009-3: 20 p.

Mercier-Langevin P, Goutier J, Ross P-S, McNicoll V, Monecke T, Dion C, Dubé B, Thurston P, Bécu V, Gibson H, Hannington M, Galley A (2011a) The Blake River Group of the Abitibi Greenstone Belt and its unique VMS and gold-rich VMS endowment *Geological Survey of Canada Open File* 6869: 61 p.

Mercier-Langevin P, Hannington MD, Dubé B, Bécu V (2011b) The gold content of volcanogenic massive sulfide deposits *Mineralium Deposita* 46: 509–539.

Mercier-Langevin P, Gibson HL, Hannington MD, Goutier J, Monecke T, Dubé B, Houlié MG (2014) A special issue on Archean magmatism, volcanism and ore deposits: Part 2. Volcanogenic massive sulfide deposits *Economic Geology* 109: 1–9.

Mercier-Langevin P, Hannington MD, Dubé B, Piercey SJ, Peter JM, Pehrsson SJ (2015) Precious metal enrichment processes in volcanogenic massive sulphide deposits — A summary of key features, with an emphasis on TGI-4 research contributions *Geological Survey of Canada Open File* 7853: 117–130.

Mercier-Langevin P, Dubé B, Blanchet F, Pitre D, Laberge A (2017a) The LaRonde Penna Au-rich volcanic-hosted massive sulfide deposit *Economic Geology* 19: 225–245.

Mercier-Langevin P, Rogers N, Dubé B, Bleeker W, Castonguay S, Mnicoll VJ, Chapman JB, Lawley CJM, Bellefleur G, Houlié MG, Pinet N, Jackson SE, Davis WJ, Bécu V, Peters JM, Paradis S, Potter EG, Bjerkelund C, Villeneuve ME, Evans R (2017b) *Targeted Geoscience Initiative: 2016 report of activities- An overview* Geological Survey of Canada, Open File 8199-7-16.

Mercier-Langevin P, Lawley C, Castonguay S, Dubé B, Bleeker W, Pinet N, Bécu V, Pilote J-L, Jackson S, Wodicka N, Honsberger I, Davis W, Petts D, Yang Z, Jautzy J, Lauzière K (2020) *Targeted Geoscience Initiative 5, Gold Project: A summary of contributions to the understanding of Canadian gold systems* Geological Survey of Canada, Open File 8712 : 1-30.

Mercier-Langevin P, Dubé B, Fortin D (2021) Le camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde – Aperçu historique et géologique d'un camp exceptionnel *Magazine Ressources et Industrie – Mines* 1 : 46-63.

Mines Agnico Eagle Limitée (2021) *LaRonde mine operations* <https://www.agnicoeagle.com/English/operations-and-development-projects/operations/laronde/default.aspx> (accès le 19 juin 2021).

Monecke T, Mercier-Langevin P, Dube B, Frieman BM (2017) Geology of the Abitibi greenstone belt *Reviews in Economic Geology* 19: 7–49.

Nadim L-M (2007) Caractérisation pétrographique et géochimique des altérations et des minéralisations aurifères de la Zone B, propriété Ellison, camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde *Thèse B. Sc non publié*, Université Laval, Québec, Québec : 40 p.

Neyedley K, Hanley JJ, Mercier-Langevin P, Fayek M (2021) Ore mineralogy, pyrite geochemistry, and S isotopes of magmatic-hydrothermal Au mineralization associated with the Mooshla Intrusive Complex (MIC), Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp, Abitibi greenstone belt, Québec *Geological Survey of Canada Open File 8755* : 129-148.

Osisko Mining Inc (2021) *Windfall Project, Osisko Mining Inc.* <https://www.osiskominig.com/projects/windfall/> (accès le 13 novembre 2021).

Pacey A, Wilkinson J, Boyce A, Cooke D (2016) Propylitic alteration and metal mobility in porphyry systems: a case study of the Northparkes Cu-Au deposits, NSW, Australia *Applied Earth Science* 125 : 93 p.

Perry HKC, Mareschal JC, Jaupart C (2006) Variations of strength and localized deformation in cratons: The 1.9 Ga Kapuskasing uplift, Superior Province, Canada *Earth and Planetary Science Letters* 249: 216-228.

Pelletier M (2015) The rainy river gold deposit, wabigoon subprovince, western ontario: style, geometry, timing and structural controls on ore distribution and grades *Mémoire de maîtrise, Institut national de la Recherche scientifique – Centre Eau, Terre et Environnement* 404 p.

Pelletier M, Mercier-Langevin P, Dubé B, Crick D, Tolman J, McNicoll VJ, Jackson SE, Beakhouse GP (2015) The Rainy River “atypical” Archean Au deposit, western Wabigoon Subprovince, Ontario *Geological Survey of Canada Open File 7852:177-191*.

Pelletier M, Mercier-Langevin P, Dubé B, Bécu V, Lauzière K, Richer-Lafèche M (2016) Wholerock lithogeochemistry of the Archean Rainy River gold deposit, western Wabigoon, Ontario *Geological Survey of Canada Open File 8048*, 5 p.

Poulsen KH, Hannington MD (1996) Volcanic-associated massive sulphide gold *Geological Survey of Canada* 8:183–196.

Robert F (1989) Internal structure of the Cadillac tectonic zone southeast of Val d'Or, Abitibi greenstone belt, Quebec *Canadian Journal of Earth Sciences* 26: 2661-2675.

Rogers R, Ross P-S, Goutier J, Mercier-Langevin P (2014) Using physical volcanology, chemical stratigraphy, and pyrite geochemistry for volcanogenic massive sulfide exploration: An example from the Blake River Group, Abitibi greenstone belt *Economic Geology* 109:61–88.

Ross P-S, Bédard JH (2009) Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams *Canadian Journal of Earth Sciences* 46 : 823-839.

- Seward TM (1973) Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37:370-399.
- Sillitoe RH (1994) Erosion and collapse of volcanoes: Causes of telescoping in intrusion-centered ore deposits *Geology* 22: 945-948.
- Sillitoe RH (2010) Porphyry Copper Systems *Economic Geology* 105: 3-41.
- Sillitoe RH, Mortensen JK (2010) Longevity of porphyry copper formation at Quellaveco, Peru *Economic Geology* 105: 1157–1162.
- Sillitoe RH, Hannington MD, Thompson JFH (1996) High sulfidation deposits in the volcanogenic massive sulfide environment *Economic Geology* 91: 204-212.
- Sinclair WD (2007) Porphyry deposits *Special Publication 5* Geological Association of Canada : 223-243.
- Stone WE (1990) Archean volcanism and sedimentation in the Bousquet gold district, Abitibi greenstone belt, Quebec: implications for stratigraphy and gold concentration *Geological Society of America Bulletin* 102: 147-158.
- Thurston PC, Ayer JA, Goutier J, Hamilton MA (2008) Depositional gaps in Abitibi Greenstone Belt stratigraphy: A key to exploration for syngenetic mineralization *Economic Geology* 103: 1097-1134.
- Törmänen TO, Koski RA (2005) Gold enrichment and the Bi-Au association in pyrrhotite-rich massive sulfide deposits, Escabana trough, southern Gorda Ridge *Economic Geology* 100 : 1135–1150.
- Tourigny G (1993) Géologie de la mine Bousquet No. 2, un gisement aurifère polymétallique de type pyriteux, Abitibi, Québec *Ministère des Ressources Naturelles* DV 1992-07 : 75-115.
- Tourigny G, Hubert C, Brown AC, Crépeau R (1988) Structural geology of the Blake River at the Bousquet mine, Abitibi, Quebec *Canadian Journal of Earth Sciences* 25: 581–592.
- Tourigny G, Brown AC, Hubert C, Crépeau R (1989a) Synvolcanic and syntectonic gold mineralization at the Bousquet mine, Abitibi greenstone belt, Quebec *Economic Geology* 84: 1875–1890.
- Tourigny G, Hubert C, Brown AC, Crépeau R (1989b) Structural control on gold mineralization at the Bousquet mine, Abitibi, Quebec *Canadian Journal of Earth Sciences* 26: 157–175.
- Tourigny G, Hubert C, Brown AC, Crépeau R, Trudel P, Hoy L, Kheang L (1992) Géologie de la mine Bousquet *ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec* ET 1989-09 : 99 p.
- Tooth B, Brugger J, Ciobanu C, Liu W (2008) Modeling of gold scavenging by bismuth melts coexisting with hydrothermal fluids *Geology* 36 : 815–818.
- Valliant RI, Barnett RL (1982) Manganiferous garnet underlying the Bousquet gold orebody, Quebec: metamorphosed manganese sediment as a guide to gold ore *Canadian Journal of Earth Sciences* 19: 993–1010.

- Valliant RI, Hutchinson RW (1982) Stratigraphic distribution and genesis of gold deposits, Bousquet region, Northwestern Quebec *Geology of Canadian Gold Deposits* Special Volume 24: 27–40.
- Valliant RI, Mongeau C, Doucet R (1982) The Bousquet pyritic gold deposit, Bousquet region, Quebec: descriptive geology and preliminary interpretations on genesis *Geology of Canadian Gold Deposits* Special Volume 24: 41–49.
- Valliant RI, Barnett RL, Hodder RW (1983) Aluminium silicate-bearing rock and its relation to gold mineralization: Bousquet mine, Bousquet township, Quebec *Canadian Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum Bulletin* 76: 81–90.
- Wallbridge Mining Company Limited (2021) *Fenelon Gold Project, Wallbridge Mining Company Ltd.* <https://wallbridgeminig.com/our-projects/fenelon-gold/> (accès le 13 janvier 2021).
- Wartman JM (2011) Physical volcanology and hydrothermal alteration of the Rainy River Gold Project, northwest Ontario *Thèse de maîtrise, University of Minnesota*: 163 p.
- Williams NC, Davidson GJ (2004) Possible submarine advanced argillic alteration at the Basin Lake prospect, western Tasmania, Australia *Economic Geology* 99: 987–1002.
- Winchester JA, Floyd PA (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements *Chemical Geology* 20: 325–343.
- Wright-Holfeld A, Mercier-Langevin P, Dubé B (2010) Contrasting alteration mineral assemblages associated with the Westwood deposit ore zones, Doyon-Bousquet-LeRonde mining camp, Abitibi, Quebec *Geological Survey of Canada Current Research* 2010-9: 25 p.
- Wright-Holfeld A, Mercier-Langevin P, Dubé B (2011) Mass changes and element mobility associated with the Westwood deposit ore zones, Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp, Abitibi, Quebec *Geological Survey of Canada Current Research* 2011-8: 15 p.
- Yergeau D (2015) Géologie du gisement synvolcanique aurifère atypique Westwood, Abitibi, Québec *Thèse de doctorat, Institut national de la Recherche scientifique – Centre Eau, Terre et Environnement* 643 p.
- Yergeau D, Mercier-Langevin P, Dubé B, Malo M, McNicoll VJ, Jackson SE, Savoie A, La Rochelle F (2015) The Archean Westwood Au deposit, southern Abitibi: telescoped Au-rich VMS and intrusion-related Au systems *Targeted Geoscience Initiative 4: Contributions to the understanding of Precambrian lode gold deposits and implications for exploration* Geological Survey of Canada, Open File 7852: 177–191.
- Yergeau D, Mercier-Langevin P, Dubé B, Malo M, Savoie A (2022a) The Westwood deposit, southern Abitibi greenstone belt, Canada: An Archean Au-rich polymetallic magmatic-hydrothermal system - Part 1. Volcanic architecture, deformation, and metamorphism *Economic Geology* DOI 10.5382/econgeo.4878.
- Yergeau D, Mercier-Langevin P, Dubé B, McNicoll V, Jackson SE, Malo M, Savoie A (2022b) The Westwood deposit, southern Abitibi greenstone belt, Canada: An Archean Au-rich polymetallic magmatic-hydrothermal system – Part 2. Hydrothermal alteration, mineralization, and geological model *Economic Geology* DOI 10.5382/econgeo.4879.

## **7 ANNEXE I SOMMAIRE D'ACTIVITÉ DE 2018**

---

Cet article a dû être retiré de la version électronique en raison de restrictions liées au droit d'auteur.

Vous pouvez le consulter à l'adresse suivante :

Boily-Auclair É, Mercier-Langevin P, Ross P-S et Pitre D (2019).  
Lithological and structural controls on the nature and distribution of gold at the LaRonde Zone 5 project, Doyon-Bousquet-LaRonde gold camp, Abitibi, Quebec, in Targeted Geoscience Initiative: 2018 report of activities, (ed.) N Rogers; Geological Survey of Canada, Open File 8549, p. 23-32.  
URL: <https://doi.org/10.4095/313631>