MB 2021-01

Étude métallogénique de la minéralisation en Zn dans des roches sédimentaires (paragneiss, marbre, roches calcosilicatées, quartzite, grenatite) du Complexe de Barrois, partie centrale de la Province de Grenville, Québec. Rapport préliminaire.

Documents complémentaires

Additional Files





Licence



License

Cette première page a été ajoutée au document et ne fait pas partie du rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources naturelles
Québec



Étude métallogénique de la minéralisation en Zn dans des roches sédimentaires (paragneiss, marbre, roches calcosilicatées, quartzite, grenatite) du Complexe de Barrois, partie centrale de la Province de Grenville, Québec

Gaëlle Saint-Louis, Bertrand Rottier et Abdelali Moukhsil

MB 2021-01

Énergie et Ressources naturelles
Québec

Avertissement

Ce document est une copie fidèle du manuscrit soumis par l'auteur, sauf pour une vérification sommaire destinée à assurer une qualité convenable de diffusion.

Étude métallogénique de la minéralisation en Zn dans des roches sédimentaires (paragneiss, marbre, roches calcosilicatées, quartzite, grenatite) du Complexe de Barrois, partie centrale de la Province de Grenville, Québec

Rapport préliminaire

Présenté par :

Gaëlle Saint-Louis, Bertrand Rottier

et

Abdelali Moukhsil

Rapport présenté au

Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec



Faculté des sciences et de génie

Département de géologie et de génie géologique
Université Laval

Table des matières

Rapport préliminaire 1
Liste des tableaux 2
Liste des figures 3
Introduction 4
Section 1 : Contexte géologique 5
Section 2 : Méthodologie 7
2.1 Cartographie de détail 7
2.2 Sélection de la première série de lames-minces au micro-XRF 7
2.3 Géochimie 7
Section 3 : Résultats préliminaires 8
3.1 Campagne de terrain – été 2020 8
3.2 Description des lames-minces 11
3.3 Géochimie des éléments majeurs et traces 14
Section 4 : Interprétation et analyse partielle des résultats 16
4.1 19-AM-02-A2 16
4.2 : 19-AM-02-A3 16
4.3 Géochimie 17
Section 5 : Travaux à venir 17
Conclusion 18
Références 19
Annexe 1 : Figures 21

Liste des tableaux

Tableau 1: Liste des affleurements de la campagne 2020 8
Tableau 2: Liste des lames-minces de la campagne de terrain de 2020 9
Tableau 3: Compilation des échantillons géochimiques envoyés pour la campagne estivale de 2020 avec le numéro SGDAC 10
Tableau 4: Pourcentage poids (wt.%) des éléments majeurs et traces obtenus au XRF pour quatre phyllosilicates choisis dans la lame 19-AM-02-A2 13

Liste des figures

Figure 1: Localisation du secteur à l'étude 21
Figure 2: Localisation des 12 affleurements décrits à l'été 2020. ..... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 3: Coupe de l'affleurement 20-GS-6001 + échantillons 23
Figure 4: Carte micro-XRF de la lame 19-AM-02-A2 du Ca+P+Mg. Le P est ajouté pour différencier les carbonates de l'apatite qui contient également du Ca. 24
Figure 5: Séricisitisation des feldspaths (pl + kfs) + exemple de symplectite de quartz dans une biotite (19-AM-02-A2). 25
Figure 6: Carte micro-XRF Mn+Ti (total: mauve) qui illustre les biotites riches en ces deux éléments (19-AM-02-A2) 26
Figure 7: Carte micro XRF Mn+Ti (total : mauve) qui illustre les biotites riches en ces deux éléments (19-AM-02-A2)Carte micro XRF Mn+Ti (total : mauve) qui illustre les biotites riches en ces deux éléments (19-AM-02-A2) 27
Figure 8: Carte Ca+Zn illustrant l'association spatiale entre les phyllosilicates zincifères et la calcite (flèches) (19-AM-02-A2) 27
Figure 9: Exemple 1 de texture de remplacement entre le phyllosilicate et la calcite. Observe des filaments de phyllosilicate au travers de la calcite (19-AM-02-A2). 28
Figure 10: 2e exemple de texture de remplacement (flèche) des phyllosilicates par la calcite (19-AM-02-A2). 29
Figure 11: Carte micro-XRF de la lame 19-AM-02-A2 illustrant le Zn+S 30
Figure 12: Chlorite interprétée comme pseudomorphe d'un pyroxène (19-AM-02-A2). 31
Figure 13: Carte micro-XRF du Zn+Si+Ca localisant les trois phyllosilicates sélectionnés pour estimer leurs compositions (19-AM-02-A2) 32
Figure 14: Objet 1 en lumière analysée encadré (19-AM-02-A2). 33
Figure 15: Objet 2 en lumière analysée encadré(19-AM-02-A2). 34
Figure 16: Objet 3 en lumière analysée encadré (19-AM-02-A2). 35
Figure 17: Carte micro-XRF Mn) +Ti lame 19-AM-02-A3. Le rose foncé illustre les amphiboles et le rose pâle illustre les biotites à Mn+Ti. 36
Figure 18: Biotite chloritisée + symplectite de quartz dans la biotite (19-AM-02-A3). 37
Figure 19: Relation de recoupement entre les amphiboles et les biotites(19-AM-02-A3). 38
Figure 20: Carte micro-XRF du Zn+S (19-AM-02-A3) 39
Figure 21: Phyllosilicate zinzifère (19-AM-02-A3) + sphaléerite transparente en lumière transmise (19-AM-02-A3). 40
Figure 22: Grains de sphalérite (19-AM-02-A3). 41
Figure 23: Grain de sphalérite remplaçant à la pyrite (19-AM-02-A3). 42
Figure 24: Agrandissement de la sphalérite en lumière analysée ou la réflexion interne couleur miel est observée. La sphalérite est transparente en lumière transmise (19-AM-02-A3). 43
Figure 25: Diagramme en boîte (wt. %) comparant la composition en élément majeurs des paragneiss du Complexe de Barrois anomaliques (500 ppm et plus, orange) et non anomaliques en Zn (noir) 44
Figure 26: Diagramme en boîte (ppm) du Ba, Ge, Pb, Zn, S(ppm) et Cu pour les paragneiss du Complexe de Barrois anomaliques (500 ppm et plus) et non anomaliques en Zn 45

Introduction

Le Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec (MERNQ) a pour mission d'assurer la gestion et soutenir la mise en valeur des ressources énergétiques et minérales ainsi que du territoire du Québec, dans une perspective de développement durable. Plus spécifiquement, le bureau de la connaissance géologique du Québec (BCGQ) une direction de Géologie Québec (DGGQ), a le mandat d'acquérir et de traiter des connaissances géoscientifiques sur l'ensemble du territoire québécois en produisant entre autres des levés géologiques et de mettre en valeur le potentiel minéral de la province. Chaque été, des équipes constituées de géologues et d'assistant.es effectuent une campagne de terrain afin de recueillir des données dans une région spécifique du Québec.

La campagne de terrain effectuée à l'été 2019 par l'équipe dirigée par Abdelali Moukhsil et Mhamed El Bourki a trouvé une anomalie en zinc dans la région de Normandin, au Lac-Saint-Jean. Cette dernière est associée aux paragneiss du Complexe de Barrois, situés dans la Province de Grenville (Fig. 1). La curiosité de cet indice est que le zinc est en grande partie présent dans la structure des silicates. De la sphalérite (ZnS) en quantité mineure a été observée. Les données recueillies n'ont pas permis de déterminer ce type de minéralisation. Est-ce qu'il s'agit d'une minéralisation de type SEDEX ou de tout autre type de minéralisation zincifère (Moukhsil et El Bourki, 2019). Un projet de maîtrise en partenariat avec l'Université Laval a été initié pour étudier cette minéralisation. Cette étude se penche sur la caractérisation de la minéralisation et sa continuité vers l'est et le nord dans le but d'apporter une meilleure compréhension du potentiel zincifère de la Province de Grenville central.

Le présent rapport comporte les résultats préliminaires obtenus de la campagne de terrain de à l'été 2020 qui se séparent en trois différents chapitres. Le premier est une description sommaire des principales lithologies observées à l'été 2020. Le deuxième consiste en une description pétrographique de deux lames-minces polies montrant des teneurs élevées en zinc. Ces dernières ont été sélectionnées sur neuf lames actuellement étudiées (pétrographie et micro-XRF) car elles mettent en valeur les deux types de minéralisations zincifères actuellement observées qui consistent en de la sphalérite et un phyllosilicate inconnu riche en Zn, Cu et Mn. Finalement, une rapide compilation de la signature géochimique des paragneiss riches en zinc (> 500 ppm) et des autres paragneiss du Complexe de Barrois est présentée.

Section 1 : Contexte géologique

La Province de Grenville est la plus jeune orogénèse du Bouclier canadien. Elle représente les racines d'une chaîne de montagnes de type Himalaya à la suite de la collision entre les continents Laurentia et Amazonia, il y a plus de 1 Ga d'années (Rivers, 1983; Davidson, 1998). Ses roches ont subi un métamorphisme de haut grade caractérisé, entre autres, par des structures gneissiques complexes et leur remaniement polyphasé rendant l'identification et l'interprétation des protolithes ardue (Rivers, 2014). Au nord, elle est séparée de la Province du Supérieur par une discontinuité tectonique importante appelée le Front du Grenville et au sud par la Province des Appalaches (Davidson, 1998).

Le Grenville est subdivisé en deux parties soit le Parautochtone, qui sont des roches supracrustales métamorphiques archéennes à protérozoïques ainsi que l'Alloctone qui regroupe les roches localisées au sud du Parautochtone (Rivers et al., 1989). Ces dernières sont d'âge paléoprotérozoïque mésoprotérozoïque (1800 à 985 Ga). Le Parautochtone et l'Alloctone sont séparés par une zone de chevauchement majeure appelée la Zone de charriage de l'Alloctone (Alloctone Boundary Thrust, ABT; Rivers et coll., 1989). Le Grenville est le résultat d'une succession de plusieurs cycles d'accrétion d'arcs volcaniques, d'arcs continentaux et de leurs magmatismes associés s'échelonnant sur plus de 900 Ma (1900 à 985 Ma; Gower et Krogh, 2002). De nombreuses études ont proposé des modèles tectoniques depuis les 20 dernières années (Rivers, 1997; Rivers *et al*., 1989; Dickin et Higgins, 1992; Gower, 1996; Carr *et al*., 2000; Dickin, 2000; Hanmer *et al*., 2000; Rivers et Corrigan, 2000; Gobeil *et al*., 2003; Gower et Krogh, 2002; Perreault et Heaman, 2003; Hynes et Rivers, 2010; Rivers *et al*., 2012; Corriveau, 2013; Rivers, 2014). Ceux retenus pour la base du modèle publié dans le lexique stratigraphique du MERNQ (Moukhsil, 2018) est celui de Gower et Krogh (2002). Les paragneiss minéralisé en zinc font partie du Complexe de Barrois (Moukhsil et El Bourki, 2020). Un quartzite de ce complexe a retourné un âge maximal du dépôt de 1224 ±18 Ma (Papapavlou, 2020) et coïnciderai à l'orogenèse elzévirienne (1230 à 1180 Ma) comme définie par la classification Gower et Krogh (2002).

Gower et Krogh (2002) séparent l'évolution du Grenville en trois phases principales : la première, d'une durée de 110 Ma, regroupe les évènements pré-Labradoriens (> 1710 Ma) et Labradorien (1710-1600 Ma) qui consiste à la formation, puis la destruction d'une marge continentale par l'accrétion d'un premier arc magmatique formé grâce à une zone de subduction plongeant vers le sud. La fin de la subduction aurait été marquée par la création d'une marge continentale passive. La deuxième phase qui est la plus longue, a une durée de 320 Ma (1600- 1230 Ma) et regroupe la fin de la marge passive il y a 1520 Ma. Le cycle

orogénique Pinwarien (1520-1460), quant à lui, est caractérisé par la construction d'un arc continental et du cycle magmatique Elsonien (1460-1230) qui est marqué par du magmatisme mafique et anorthositique. Le terme « Elsonien » a d'abord été introduit par Stockwell (1964) entre autres pour caractériser la suite magmatique AMCG (Anorthosite-Mangérite-Charnockite-Granite). Finalement, la troisième phase, d'une durée de 275 Ma (1230-955 Ma) est constituée de l'orogenèse elzévirienne (1230-1180), de l'évènement Adirondien (1180-1080) et finalement de l'orogenèse grenvillienne (1080-985 Ma). L'orogenèse elzévirienne est interprétée comme l'accrétion sur le continent Laurentia d'arcs insulaires dont le résultat est aujourd'hui appelé la Ceinture centrale métasédimentaire (Rivers 1999). Jusqu'à présent, cette ceinture commence au nord de l'état de New-York et se poursuit jusqu'à la frontière entre l'Ontario et le Québec. Elle comprend des roches supracrustales et des intrusions qui sont plus jeunes que 1300 Ma. Tous les contacts étudiés entre les terranes et les domaines sont d'origine tectonique (Rivers, 1999). Elle est subdivisée en deux soit la terrane Bancroft–Cabonga–Elzevir–Mazinaw– Sharbot Lake (BCEMS, carbonate-silisiclastique-volcanique ≈ 1290-1250 Ma, tonalite 1280-1240 Ma, gabbro 1250-1230 Ma et granodiorite 1250-1240 Ma) et la terrane de Frontenac–Mont Laurier–Morin (FMM; carbonate-quartzite-pelite <1301 Ma, granite 1280-1230 Ma). Or, plusieurs bassins sédimentaires également interprétés comme des bassins d'arrière-arc et ayant des âges semblables, sont reportés jusqu'à l'extrême est du Grenville. Il y a, à titre d'exemple, la terrane de Western Wakeham (arénite, rhyolite, basalte ≈ 1277-1246 Ma, granite 1246-1239 Ma, quartz et arénite feldspathique > 1177 Ma) localisée à la hauteur de l'île d'Anticosti sur la Côte-Nord et le Groupe de Seal Lake (quartz arénite-arkose-quartzite-shale-flood-basalte 1273-1250 Ma) à la frontière du Front du Grenville également sur la Côte-Nord (Rivers 1999). La zone à l'étude, quant à elle, est localisée dans le Complexe de Barrois qui est principalement formé de séquences de paragneiss et de quartzite d'âge semblable à ces bassins d'arrière-arc (environ 1224 Ma). Il serait légitime de se questionner sur le lien possible entre ces Terranes et Groupes, plus particulièrement entre la Ceinture centrale métasédimentaire et le Complexe de Barrois puisqu'elle est porteuse du dépôt de zinc non-sulfuré hypogène stratiforme de classe mondiale Franklin and Sterling Hill (Hitzman et al., 2003). Pour l'instant, le manque d'études ne permet pas la création d'hypothèses concrètes à ce sujet.

Plus spécifiquement, la zone à l'étude est localisée dans le Complexe de Barrois, formellement nommé en 2015, lui-même subdivisé en quatre unités principales: l'orthogneiss granodioritique à tonalitique et gneiss granitique qui représente la lithologie principale (mPboi1), en plus de l'orthogneiss à orthopyroxène, charnockite, enderbite (mPboi2), ainsi que l'orthogneiss à boudins d'amphibolite (mPboi3) et finalement le paragneiss (mPboi4) qui est soit rouillé à grenat, sulfure et graphite ou avec interlits de quartzite (Morfin et al., 2015, Moukhsil et Daoudene 2019).

Section 2 : Méthodologie

2.1 Cartographie de détail

La campagne de terrain de l'été 2020 s'est déroulée dans la semaine du 24 au 28 juillet 2020 sur le camp du ministère à Normandin. Le but était d'abord d'effectuer une sélection des affleurements clés et ensuite d'en faire une cartographie détaillée. La figure 2 illustre leur localisation.

La cartographie a été effectuée par l'étudiante graduée (Mlle Gaëlle Saint-Louis) qui était supervisée par Dr. Rottier et assistée d'un étudiant-stagiaire engagé pour la saison par le MERN. Un échantillonnage systématique a été réalisé et était nécessaire, car la minéralisation zincifère est principalement composée de phyllosilicates enrichies en Zn non discernables de la biotite par des observations macroscopiques. Sur l'ensemble des affleurements, une utilisation intensive du Zinc-Zap a été réalisée et aucune réaction positive n'a été observée, suggérant qu'effectivement, la majeure partie de la minéralisation zincifère se trouve sous forme de silicate et/ou d'oxyde. Une géofiche sur tablette a été complétée pour chaque affleurement suivant la procédure du MERN.

Les échantillons pour la géochimie des éléments majeurs et traces et les biscuits recueillis ont été préparés sur le terrain avant d'avoir été postés au laboratoire de IOS géoscientifique (Chicoutimi) pour la réalisation des lames polies et au laboratoire AGAT pour les analyses géochimiques.

2.2 Sélection de la première série de lames-minces au micro-XRF

En juillet 2020, il y a eu un total de neuf lames qui ont été choisies pour être analysées au micro-XRF (Tornado M4, Laboratoire de microanalyses à l'Université Laval) sur les 16 qui avaient été recueillies en 2019 (Moukhsil et El Bourki, 2019). Le but est de pouvoir faire une meilleure analyse pétrographique, particulièrement pour les sulfures et identifier les phases minérales qui contiennent le zinc. Les deux principaux critères de sélection étaient donc la présence de sulfure et la présence de phyllosilicates. La première sélection s'est effectuée pour l'affleurement dont l'anomalie est la plus importante (2940 ppm de Zn), c'est-à-dire 19-AM-02. Les résultats sont expliqués dans la section suivante.

2.3 Géochimie

Seule la géochimie des éléments majeurs et traces des affleurements de 2019 du Complexe de Barrois ont été traités, puisque les données de la campagne de l'été 2020 ne sont pas encore disponibles. La géochimie est principalement utilisée afin de comparer les paragneiss riches en zinc (>500 ppm) en zinc et ceux qui ne sont pas enrichis. Deux diagrammes en boîte sont produits et sont présentés dans la section suivante.

Section 3 : Résultats préliminaires

3.1 Campagne de terrain – été 2020

La campagne de terrain de l'été 2020 s'est conclue avec une description détaillée de 12 affleurements (20-GS-6001 à 6012). Le tableau suivant montre la liste des affleurements ayant une carte détaillée ainsi que ceux qui n'ont seulement qu'une géofiche.

Tableau 1: Liste des affleurements de la campagne 2020

Feuillet SNRC	Estant	Nordant	Type roche	No terrain (roche)	Carte détaillée en plus de la géofiche
32A15	646364	5427451	M4	20-GS-6001	oui
32A15	646342	5427458	M22	20-GS-6002	oui
32A14	646103	5427579	M4	20-GS-6003	non
32A15	659502	5426110	M14	20-GS-6004	non
32A15	659448	5426163	M6	20-GS-6005	non
32A15	659544	5426074	M13	20-GS-6006	oui
32A15	659478	5425985	M12	20-GS-6007	non
32A15	660019	5423775	M4	20-GS-6008	non
32A15	659173	5423429	M22	20-GS-6009	oui
32A15	659198	5423378	M22	20-GS-6010	oui
32A15	659177	5432175	M22	20-GS-6011	non
32A15	659214	5423302	M22	20-GS-6012	non

**L'ensemble des affleurements est dans le 18^{e} fuseau*

Un total de 43 lames-minces polies ont été produites et 35 échantillons géochimiques ont été envoyés au laboratoire pour l'ensemble de la campagne de terrain 2020 du projet. Les listes sont présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 2: Liste des lames-minces de la campagne de terrain de 2020

Numéro de l'échantillon	Numéro de l'échantillon
20-GS-6001-F2	20-GS-6006-B1
20-GS-6001-A1	20-GS-6006-C1
20-GS-6001-G1A	20-GS-6006-C2A
20-GS-6001-G1B	20-GS-6006-C2B
20-GS-6001-A2	20-GS-6006-C3
20-GS-6001-C1	20-GS-6006-C4
20-GS-6001-C2	20-GS-6009-A2
20-GS-6001-H2	20-GS-6009-E1
20-GS-6001-C3	20-GS-6009-G
20-GS-6001-D3	20-GS-6009-F1
20-GS-6001-C4	20-GS-6009-I
20-GS-6002-A	20-GS-6007-B2
20-GS-6002-B	20-GS-6008-B
20-GS-6002-C	20-GS-6008-C
20-GS-6003-A2	20-GS-6010-A1
20-GS-6003-A1	20-GS-6010-A2
20-GS-6004-A	20-GS-6010-A3
20-GS-6004-B2	20-GS-6010-C1
20-GS-6004-B4	20-GS-6010-C2
20-GS-6004-C1	20-GS-6010-D
20-GS-6006-A1	

Tableau 3: Compilation des échantillons géochimiques envoyés pour la campagne estivale de 2020 avec le numéro SGDAC

No SGDAC	Feuillet SNRC	Estant	Nordant	Type roche	No terrain (roche)	Caractéristique 1	Caractéristique 2
68434	32A15	646364	5427451	M4	20-GS-6001-F2	G	N
68435	32A15	646364	5427451	M4	20-GS-6001-A1	G	N
68436	32A15	646364	5427451	M4	20-GS-6001-G	G	N
68437	32A15	646364	5427451	M4	20-GS-6001-A2	G	N
68438	32A15	646364	5427451	M4	20-GS-6001-C1	G	N
68439	32A15	646364	5427451	M4	20-GS-6001-C2	G	N
68440	32A15	646364	5427451	M13	20-GS-6001-H2	G	N
68441	32A15	646364	5427451	M4	20-GS-6001-C3	G	N
68442	32A15	646364	5427451	M4	20-GS-6001-C4	G	N
68443	32A15	646342	5427458	M22	20-GS-6002-A	G	N
68444	32A15	646342	5427458	M22	20-GS-6002-B	G	N
68445	32A15	646342	5427458	M4	20-GS-6002-C	G	N
68446	32A14	646103	5427579	M4	20-GS-6003-A2	G	N
68447	32A14	646103	5427579	M4	20-GS-6003-A1	G	N
68448	32A15	659502	5426110	M13	20-GS-6004-A	G	N
68449	32A15	659502	5426110	M12	20-GS-6004-B4	G	N
68451	32A15	659502	5426110	M14	20-GS-6004-C1	G	N
68452	32A15	659544	5426074	M13	20-GS-6006-A1	G	N
68453	32A15	659544	5426074	M4	20-GS-6006-B1	G	N
68454	32A15	659544	5426074	M14	20-GS-6006-C2	G	N
68455	32A15	659544	5426074	M14	20-GS-6006-C3	G	N
68456	32A15	659544	5426074	M14	20-GS-6006-C4	G	N
68457	32A15	659544	5426074	M12	20-GS-6006-E	G	N
68458	32A15	659173	5423429	M22	20-GS-6009-A1	G	N
68459	32A15	659173	5423429	M4	20-GS-6009-H	G	N
68460	32A15	659173	5423429	M22	20-GS-6009-A2	G	N
68461	32A15	659173	5423429	M22	20-GS-6009-E1	G	N
68462	32A15	659173	5423429	M4	20-GS-6009-F1	G	N
68464	32A15	659173	5423429	M4	20-GS-6009-F1	G	N
68465	32A15	659478	5425985	M12	20-GS-6007-B2	G	N
68466	32A15	660019	5423775	M4	20-GS-6008-C	G	N
68467	32A15	659198	5423378	M22	20-GS-6010-A1	G	N
68468	32A15	659198	5423378	M22	20-GS-6010-A2	G	N
68469	32A15	659198	5423378	M22	20-GS-6010-A3	G	N
68470	32A15	659198	5423378	M14	20-GS-6010-C	G	N
68471	32A15	659198	5423378	M4	20-GS-6010-D	G	N

Dans un souci de concision et de cohérence, ce rapport ne présente qu'une description détaillée des lithologies de l'affleurement 20-GS-6001 (Fig. 3), anomalique en zinc, sur lequel des résultats du micro-XRF préliminaires ont été obtenus. Les informations sur les autres affleurements sont disponibles dans les géofiches dans la base de données SIGEOM du MERNQ.

3.1.1 Description lithologique de l'affleurement 20-GS-6001

L'affleurement 20-GS-6001 avait été brièvement décrit antérieurement (Moukhsil et El Bourki, 2019). La géofiche est publique sur le SIGEOM et peut être retrouvée sous le nom de 19-AM-02. Il s'agit de l'affleurement ayant la plus forte anomalie en zinc (2950 ppm).

L'affleurement, en rupture de pente, est majoritairement composé d'une alternance de 3 types de paragneiss riches en biotite très légèrement à moyennement migmatitisés en alternance avec des bancs de quartzites rubanés impurs. Certains niveaux de paragneiss sont recoupés par des dykes continus d'aplite beige-rosé, de gabbro ou de pegmatite de composition granitique. Les textures communes à l'ensemble des paragneiss sont la recristallisation de tous les minéraux à l'exception de certains niveaux contenant des orthopyroxènes. Ces derniers montrent un clivage clair et une taille légèrement plus grossière que les autres. Le quartz et les feldspaths, quant à eux, sont équigranulaires et forment une texture poivre et sel avec la biotite. Le paragneiss qui compose majoritairement l'affleurement contient en moyenne 20 % de biotite et est légèrement à moyennement migmatitisé. Le deuxième paragneiss contient, en plus de la biotite, des ortho et des clinopyroxènes en proportion variable. Le dernier, lui, est généralement plus compétant et contient comme minéraux mafiques, de l'orthopyroxène et de la biotite. C'est d'ailleurs dans un des bancs qui contient une poche décimétrique de roche calco-silicatée riche en quartz. Il y a également deux bancs de quartzite impur décimétrique à métrique qui sont en alternance avec les paragneiss.

Pour ce rapport, le niveau étudié est un horizon de paragneiss à biotite faiblement migmatitisé. Il s'agit de l'échantillon 19-AM-02-A2. Il contient 2 % de leucosomes rosés différenciables, non seulement par le contraste des couleurs mais aussi par leur granulométrie qui est plus grossière que la roche encaissante.

3.2 Description des lames-minces

Les lames-minces sont décrites à l'aide des cartes des éléments majeurs et traces obtenus au micro-XRF. Cette section décrit d'abord les observations directes effectuée au microscope et détaille ensuite celles avec les cartes micro-XRF. Sur les neuf lames choisies en juillet 2020, seulement deux montrent des anomalies notables en zinc. Il s'agit, en ordre d'importance, des lames 19-AM-02-A2 ainsi que 19-AM-02-

A3 qui sont respectivement présentées dans les sous-sections suivantes. Les abréviations des minéraux utilisées pour décrire les photos en légende sont celles de Kretz 1986.

3.2.1 Descriptions au microscope couplé au micro-XRF

Lame 19-AM-02-A2

Proportion modale

Il s'agit d'un paragneiss riche en biotite peu à légèrement migmatitisé. Elle contient environ 20 % de biotite, 20 % de feldspath potassique, 25 % de plagioclase, 15 % de quartz, 5 % de calcite, 5 % de phyllosilicate zincifère et des reliques d'amphiboles et de pyroxènes en traces. Les minéraux accessoires sont l'épidote, le zircon, la titanite et l'apatite. Il y a également des traces de sulfures (pyrrhotite, chalcopyrite, pyrite, sphalérite) et d'oxyde (ilménite). La carte du Ca couplée avec celle du Mg confirme que les carbonates présents sont très majoritairement de la calcite (Fig. 4) sans être un mélange de calcite et dolomie. Le phosphore est ajouté à l'image pour différencier la calcite des grains d'apatite qui sont riches en Ca.

Textures et relations

Les feldspaths et le quartz ont souvent une texture granoblastique, mais ce n'est pas systématiquement le cas dans l'ensemble de la lame. Ils sont généralement les phases les plus grossièrement grenues. Les feldspaths sont légèrement à moyennement séricitisé (Fig. 5).

Les biotites sont en fines lamelles et sont presque systématiquement déformées sans donner une orientation claire à l'ensemble de la lame. La combinaison de ces deux textures peut lui donner une allure anastomosée (Fig. 6, flèche). Elles sont regroupées en amas dans du quartz ainsi que du quartz symplectique et montrent régulièrement des pointes concaves de silice dans les biotites (Fig. 5). Ces dernières sont orientées aléatoirement à l'échelle de la lame et recoupent régulièrement les phyllosilicates zincifères (Fig. 6). Elles sont aisément identifiables avec les cartes du Mn+Ti (Fig. 7).

La calcite, quant à elle, est allotriomorphe et est étroitement associées aux phyllosilicates zincifères. Cette association est visible, non seulement par la carte du micro-XRF du Zn et du Ca où le calcium est entouré ou couplé au Zn (Fig. 8), mais en plus par les textures de remplacement des phyllosilicates par les carbonates (Figs. 9 et 10).

Phyllosilicate zincifère

Le phyllosilicate zincifère a été identifié grâce au micro-XRF et montre qu'il n'y a pas d'association spatiale claire avec les sulfures et notamment avec la sphalérite (Fig. 11). Son pléochroïsme est jaune clair à jaune, rarement vert plus ou moins foncé. Il montre un clivage parfait (001), sa teinte de polarisation est dans le

début du premier ordre et est souvent anomale (bleuté). Il ne montre pas d'orientation préférentielle à l'échelle de la lame. En revanche, quelques phyllosilicates semblent avoir conservé des reliques de clivage à 90° et des teintes de polarisation supérieure au 1er degré. Certaines ont également une forme octogonale rappelant celle des pyroxènes ou possiblement des grenats. Un exemple d'un pseudomorphe observé est illustré à la figure 12.

Composition des phyllosilicates

La composition en éléments majeurs a été quantifiée pour trois phyllosilicates représentatifs choisis dans la lame. Les emplacements approximatifs sont illustrés dans la carte micro-XRF du Zn+Si+Ca (Fig. 13) et leurs photos sont illustrées aux figures 14 à 16. Les résultats sont dans le tableau suivant.

Tableau 4: Pourcentage poids (wt.%) des éléments majeurs et traces obtenus au XRF pour quatre phyllosilicates choisis dans la lame 19-AM-02-A2

Élement	Objet 1	Objet 2	Objet 3
	[wt.%]	[wt.%]	[wt.%]
Na_2O	0,00	0,00	0,00
O	0,00	0,00	0,00
MgO	6,79	4,13	5,96
Al_2O_3	12,41	12,20	11,49
SiO_2	38,73	36,96	44,01
P_2O_5	0,00	0,00	0,00
SO_3	0,00	0,00	0,00
Cl	1,46	3,25	2,41
K_2O	0,24	0,11	0,28
CaO	1,31	1,23	3,30
MnO	13,91	15,52	11,64
Fe_2O_3	19,88	21,44	16,82
NiO	0,00	0,00	0,06
Cu	2,29	2,23	1,77
ZnO	2,98	2,92	2,25

Les résultats les plus marquants sont soulignés en jaune et sont expliqués dans la section analyse et interprétation partielles des résultats.

Minéraux opaques

Des sulfures en trace ont été observés. Il s'agit de la pyrite, de la chalcopyrite, de la pyrrhotite et d'un grain de sphalérite d'une taille d'environ 20µm. De l'ilménite est également observée.

Lame 19-AM-02-A3

Proportion modale

La lame est composée de 50 % de plagioclase, 30 à 35 % de biotite, 5 % de quartz, 5 % de feldspath potassique et de 5 % d'amphibole verte qui montre un clivage clair. Les minéraux accessoires sont l'apatite, cette dernière étant en proportion relativement significative (3 %), la titanite et le zircon. La carte du micro-XRF Mn+Ti illustre que les amphiboles contiennent du manganèse (rose), alors que les biotites contiennent du titane en plus du manganèse (mauve) (Fig. 17). La lame contient également quelques grains de sphalérite, de pyrite et de chalcopyrite et moins de 1 % de phyllosilicate zincifère. Contrairement à la première lame, elle ne contient pas de calcite ou tout autre carbonate.

Texture et relations

Il est possible de différencier au moins deux types de biotite : la première est significativement déformée et a parfois une texture lamellaire (la texture apparaît moins fréquemment), alors que la seconde n'est pas ou est peu déformée et orientée aléatoirement. Les biotites déformées ont fréquemment des bordures d'oxyde de fer épais parallèle au clivage 001. Il y a également des textures de remplacement évidentes de biotite en chlorite. Cependant, les plus évidentes sont en bordures de lame et sont hors de la zone analysée au micro-XRF (Fig. 18). Il n'est donc pas possible de savoir si ces dernières sont zincifères.

Des symplectites de quartz sont observés dans la biotite en proportion nettement plus faible que la première lame (Fig. 18).

La relation de recoupement la plus commune est les amphiboles qui sont recoupées par la première génération de biotite, qui elles-mêmes sont recoupées par la deuxième génération de biotite (Fig. 19).

Description des phases zincifères

Les phases zincifères sont nettement moins abondantes que dans la première lame étudiée (Fig. 20). Pour cette raison, il n'est pas possible d'approximer l'abondance des phases. Néanmoins, les deux phases (non-sulfurée et sulfuré) identifiables sont 1) un silicate ressemblant à de la biotite (Fig. 21) et les grains de sphalérite (Figs. 22, 23 et 24).

Les grains de sphalérite sont transparents en lumière analysée et identifiables, entre autres par la couleur miel en réflexion interne typique de sphalérite pauvre en fer (< 5 wt.% Fe) (Fig. 24).

3.3 Géochimie des éléments majeurs et traces

Les graphiques géochimiques des éléments majeurs et traces de 28 échantillons de la campagne 2019 et ayant été classées dans le Complexe de Barrois sont présentés aux figures 25 et 26. Il est intéressant de noter que la composition des paragneiss riches en zinc (> 500 ppm) et ceux pauvre en zinc (< 500 ppm) ne

présente pas de différence importante de composition en éléments majeurs et traces (Figs. 25 et 26). Les paragneiss riches en zinc ne présentent qu'un faible enrichissement en S et Cu comparés aux autres échantillons.

Section 4 : Interprétation et analyse partielle des résultats

4.1 19-AM-02-A2

Le zinc se situe dans un silicate enrichi en ZnO (±3 %), Cu (±2,5 %) et MnO (±12 %). Les proportions montrent que le minéral contient de la SiO_2 (±40 %), du Fe_2O_3 (±20 %), de l'Al_2O_3 (±12 %), du MgO (±5 %) et aucun alkali ce qui s'apparente à la famille des chlorites. Les observations pétrographiques supportent cette hypothèse par son faible relief, ses teintes de polarisation en lumière analysée qui varient du jaune pâle au jaune, sa biréfringence dans les teintes du premier ordre et souvent anomales (bleuté; Roubault, 1963).

Le phyllosilicate zincifère remplace en partie les pyroxènes comme suggéré par ses reliques de clivage orthogonaux, ses formes trapues voire octogonal et son association avec les pyroxènes les moins affectés. Cette relation tend à indiquer que ces phyllosilicates zincifères se forment durant le métamorphisme rétrograde ayant affecté ces roches.

Or, la composition de ces phyllosilicates zincifères est atypiques par leurs fortes teneurs en MnO (> 10 wt. %), ZnO (> 2 wt.%) et Cu (> 1.5 wt. %). Actuellement, les compositions chimiques obtenues ne permettent pas de classer de façon précise ces phyllosilicates. Dans la littérature scientifique, sur les gisements de zinc métamorphisés du Grenville des phyllosilicates présentant des compositions chimiques similaires ne sont pas reportés (Gauthier and Chartand 2005; Peck et al., 2007) ce qui souligne l'importance de caractériser ces minéraux qui peuvent être une ressource de Zn encore méconnue dans le Grenville. Quelques exemples de phyllosilicates ont été étudiés (Botswana) ou le gîte est un mélange sulfuré (sphalérite, galène et pyrite) et non-sulfuré (willemite, baileychlore, smithsonite, chlorite riche en Zn). Dans leur cas, la chlorite riche en Zn a cru dans les porosités de la roche encaissante, sur et entre des amas de micas préexistants et remplace localement le feldspath potassique (Mondillo et al., 2020).

De plus, l'étude pétrographique de la lame suggère que le pic métamorphique aurait atteint le faciès des granulites et aurait provoqué une certaine quantité de fusion partielle. Cela est indiqué, entre autres par les poches de liquide (qz+kfs), les biotites consommées et les symplectites de quartz dans la biotite (Sawyer, 2008).

4.2 : 19-AM-02-A3

La lame contient trop peu de phyllosilicates zincifères pour obtenir des données convaincantes. En revanche, ses proportions de sphalérites sont légèrement supérieures par rapport à la première lame et donne donc de meilleures indications sur la provenance des sulfures. Les observations montrent que les grains de sphalérite sont tardifs puisqu'ils ne sont pas déformés et qu'ils recoupent les autres phases,

notamment les biotites et les phyllosilicates zincifères. La cartographie micro-XRF de la lame, montre que les grains sphalérites recoupent la foliation générale confirmant leurs caractères tardifs.

La sphalérite a été aussi observée sous forme de texture coronitique autour des grains de pyrite suggérant que cette dernière se forme par remplacement de la pyrite. Cette texture indique que la précipitation de sphalérite est tardive comparée à celles des autres sulfures (pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite). Le remplacement de la pyrite par la sphalérite suggère que les sulfures initialement présents dans la roche ont été la source de S nécessaire à la précipitation de la sphalérite. Des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer cette observation.

4.3 Géochimie

Dans les gisements de type SEDEX ou VHMS, les minéralisations de zinc sont généralement associées à des anomalies en d'autre métaux tels que le Ba, le Pb, le Cu, le Mn et le Ge. La comparaison de la composition des paragneiss riches en zinc (> 500 ppm) et ceux pauvres en zinc (< 500 ppm), montre seulement un faible enrichissement en Cu dans les paragneiss riches en zinc. L'absence de différence de concentration pour les autres éléments (i.e., Ba, Mn, Pb…; Figs. 23 et 24) peut soit indiquer que ces éléments n'ont pas été enrichis dans les paragneiss durant la formation hypogène de la minéralisation ou que ces derniers aient été totalement remobilisés durant le métamorphisme prograde et rétrograde des paragneiss. Les analyses géochimiques des échantillons de l'été 2020 permettront de mieux contraindre la signature géochimique des paragneiss riches en zinc. Néanmoins, l'absence de différence géochimique observée entre les paragneiss riches en zinc (> 500 ppm) et ceux pauvre en zinc (< 500 ppm) a une importance pour l'exploration, car le Ba et le Mn sont souvent utilisés comme vecteurs pour tracer les minéralisations zincifères de type SEDEX et VHMS.

Section 5 : Travaux à venir

Lames-minces de l'affleurement 20-GS-6001 correspondant à l'affleurement 19-AM-02 de la campagne estivale de 2020 ainsi que les affleurements 6002 et 6003 ont été envoyées le 28 octobre au micro-XRF de l'Université Laval. Il est prévu d'envoyer la majorité des nouvelles lames afin d'identifier les phases zincifères. Aussi, la composition estimée jusqu'à présents dans les phyllosilicates zincifères doit être précisée et mieux étudiée pour ainsi confirmer l'identification de la phase enrichie en zinc et cela sera fait à la microsonde.

Le but de faire l'analyse de la géochimie est de pouvoir comparer les paragneiss minéralisés et ceux non-minéralisés. Les résultats sont peu concluants pour l'instant et devront être confirmés par les données des échantillons de l'été 2020.

Conclusion

Une anomalie en zinc principalement non-sulfurée a été découverte à l'été 2019 dans les paragneiss du Complexe de Barrois par l'équipe du Grenville du MERN. Il a été déterminé que le zinc est majoritairement dans la structure d'un phyllosilicate qui s'apparente à la chlorite (Mn) et plus rarement sous forme de sphalérite.

L'ensemble des observations (micro-XRF et pétrographique) sur les deux lames étudiées suggèrent que les phases zincifères ont cristallisé durant le métamorphisme rétrograde ayant affecté les paragneiss. Les phyllosilicates zincifères ont cristallisé de façon plus au moins contemporaine avec les biotites et les chlorites rétrogrades. La précipitation de la sphalérite est plus tardive et elle pourrait être associée à un évènement hydrothermal tardif ayant permis une remobilisation du zinc initialement présent dans les paragneiss. La source du soufre ayant permis la précipitation de ces sphalérites semble être les sulfures initialement présents dans la roche. Ces observations montrent que le métamorphisme des paragneiss à fortement affecté la distribution du zinc présent initialement dans ces roches rendant complexe l'identification de l'origine de cette minéralisation.

Les observations pétrographiques couplées aux cartes micro-XRF laissent croire le zinc a subi de multiples épisodes de remobilisation; 1) le lien de remplacement entre les phyllosilicates et la calcite dans la lame 19-AM-02-A2 2) les pseudomorphes orthogonaux qui peuvent avoir pour origine des pyroxènes et 3) de la sphalérite tardive résultant de la déstabilisation entre elle et la pyrite.

Les travaux exécutés à l'été 2020 se résument à un total de 12 géofiches. De ces 12 descriptions, cinq cartes détaillées des affleurements clés du projet de maîtrise ont été produites directement sur le terrain. Il s'agit des affleurements 20-GS-6001, 20-GS-6002, 20-GS-6006, 20-GS-6009 et 20-GS-6010.

Les prochaines étapes incluent les échantillons de ces affleurements : 14 lames minces ont été envoyées au micro-XRF de l'Université Laval afin de pouvoir caractériser les phases zincifères. De plus, les deux lames étudiées vont également être envoyées à la microsonde afin de préciser l'origine de ces phyllosilicates.

Références

Gauthier, M., & Chartrand, F. (2005). Metallogeny of the Grenville Province revisited. Canadian Journal of Earth Sciences, 42, 1719-1734.

Gower, C. F., & Krogh, T. E. (2002). A U-Pb geochronological review of the Proterozoic history of the eastern Grenville Province. Canadian Journal of Earth Sciences, 39, 795–829. https://doi.org/10.1139/e01-090

Hitzman M. W, Reynolds, N, Sangster D.F., Allen, C.R, Carman C. E, (2003) Classification, Genesis, and Exploration Guides for Nonsulfide Zinc Deposits, Economic Geology, 98, 685–714.

Kertz R., (1983). Symbols for rock-forming minerals, American Mineralogist, volume 68, pages 277-279.

Moukhsil, A., (2018). Province de Grenville, http://gq.mines.gouv.qc.ca/lexique-stratigraphique/province-de-grenville, Première publication : 14 août 2018.

Moukhsil, A., Daoudene, Y. (2019). Géologie de la région du lac des Commissaires, Province de Grenville, région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Québec, Canada. MERN. BG 2019-01, 1 plan.

Moukhsil A., El Bourki M. (2019) GRENVILLE, RÉGION DU SAGUENAY–LAC-SAINT-JEAN, QUÉBEC, CANADA, Projet visant les feuillets 32A09, 32A10, 32A15, 32A16, BG 2020-01

Mondillo, N., Boni, M., Balassone, G., Forrester, N., Putzolu, F., & Santoro, L. (2020). Mineralogy and Genesis of the Kihabe Zn-Pb-V Prospect, Aha Hills, Northwest Botswana. Minerals, 10, 685.

Morfin S., Tremblay C., Solgadi F., Moukhsil A. et Daigneault R. (2015) Géologie de la région de Chambord, Roberval et Notre-Dame-de-la-Doré (feuillets SNRC 32A08, A09 et A10) et reconnaissance des feuillets SNRC 32A06, A07.

Papapavlou, K. (2020). U-Pb geochronology report; Grenville 2019-2020. UQAM. MB 2020-09, 25 pages.

Papapavlou, K. (2019). U-Pb geochronology report, Grenville 2018-2019. UQAM. MB 2019-11, 21 pages.

Peck, W. H., Volkert, R. A., Mansur, A. T., & Doverspike, B. A. (2009). Stable isotope and petrologic evidence for the origin of regional marble-hosted magnetite deposits and the zinc deposits at Franklin and Sterling Hill, New Jersey Highlands, United States. Economic Geology,104, 1037-1054.

Rivers, T. (1997) Lithotectonic element of the Grenville province: review and tectonic implications. Precambrian Research; 86, 117-154.

Rivers, T., & Corrigan, D. (2000). Convergent margin on southeastern Laurentia during the Mesoproterozoic: tectonic implications. Canadian Journal of Earth Sciences, 37, 359-383.

Rivers, T., Martignole, J., Gower, C. F., & Davidson, A. (1989). New tectonic divisions of the Grenville Province, southeast Canadian Shield. Tectonics, 8(1), 63-84.

Roubault, M., Fabries, J., Touret, J., Weisbrod, A. (1963). — Détermination des minéraux des roches. Lamarre-Poinat Ed., 365 p.

Sawyer, E. W. (2008). Atlas of migmatites (Vol. 9). NRC Research press.

Stockwell, C. H. (1964). Age Determinations and Geological Studies: Part 2: Geological Studies: Fourth Report on Structural Provinces, Orogenies, and Time-classification of Rocks of the Canadian Precambrian Shield. Department of Mines and Technical Surveys.

Thériault, R., Beauséjour, S. 2012. Carte géologique du Québec – Edition 2012. MRN. DV 2012-06, 8 pages et 1 plan.

Annexe 1 : Figures

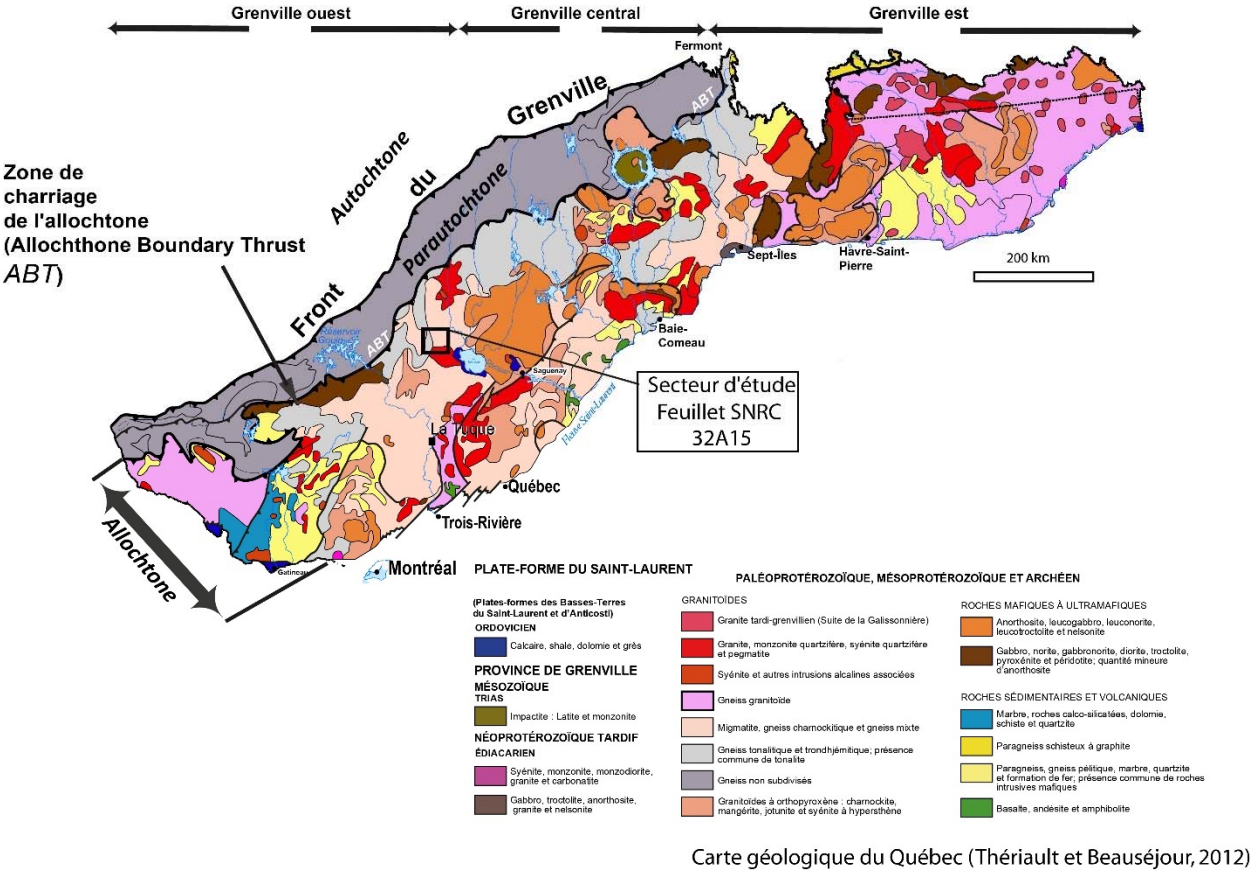


Figure 1: Localisation du secteur à l'étude

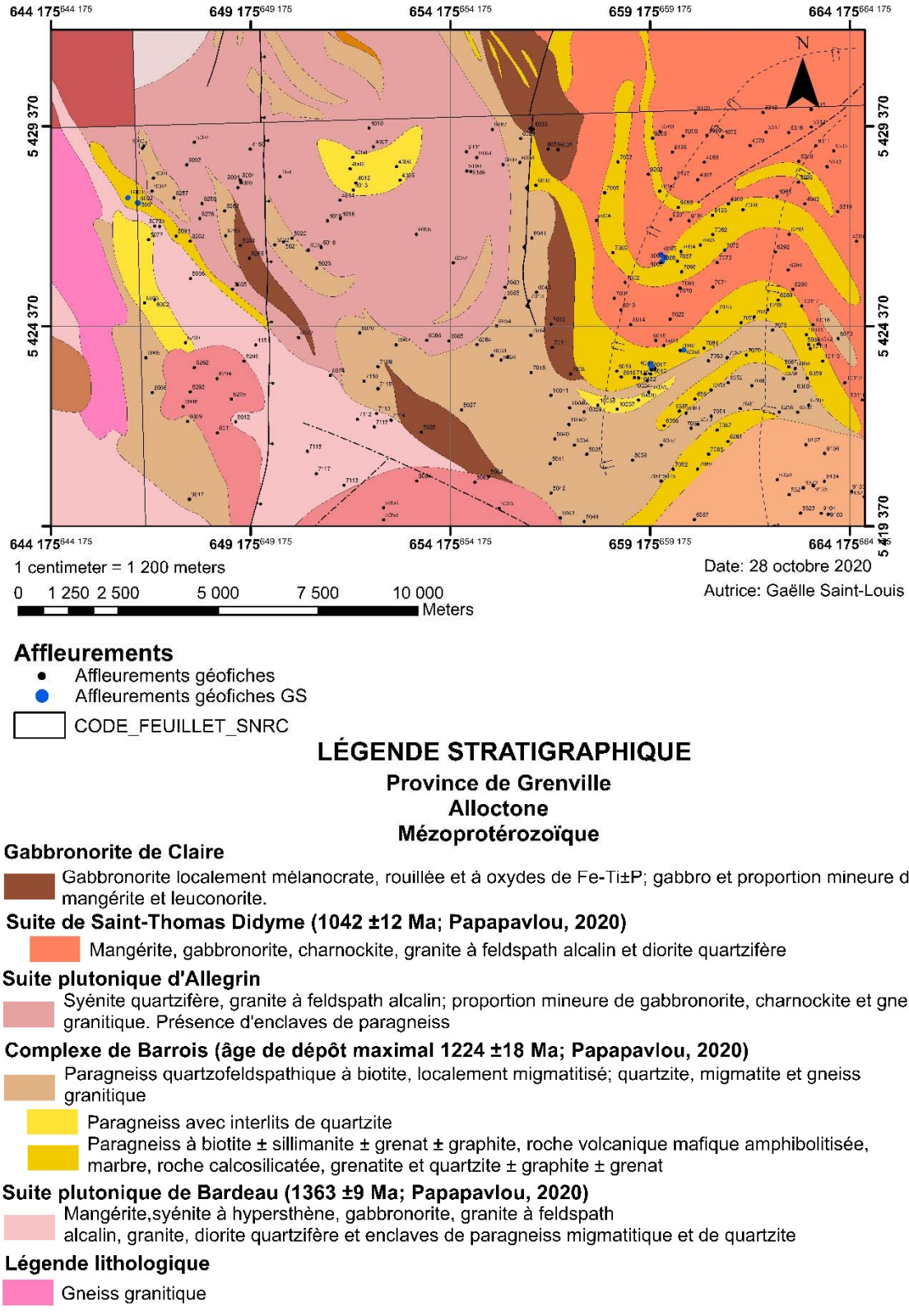


Figure 2: Localisation des 12 affleurements décrits à l'été 2020.

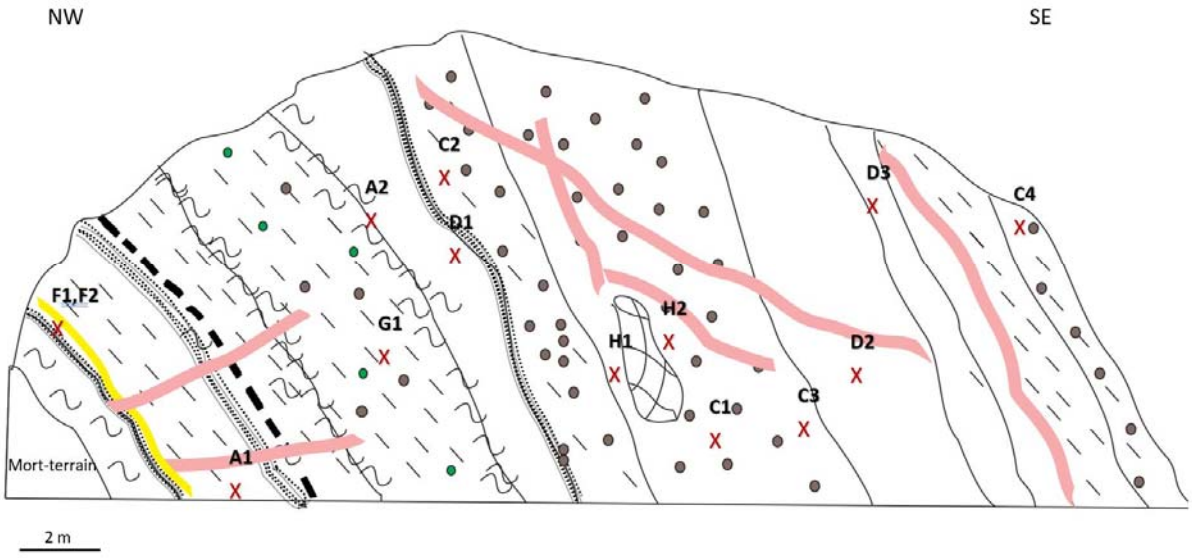
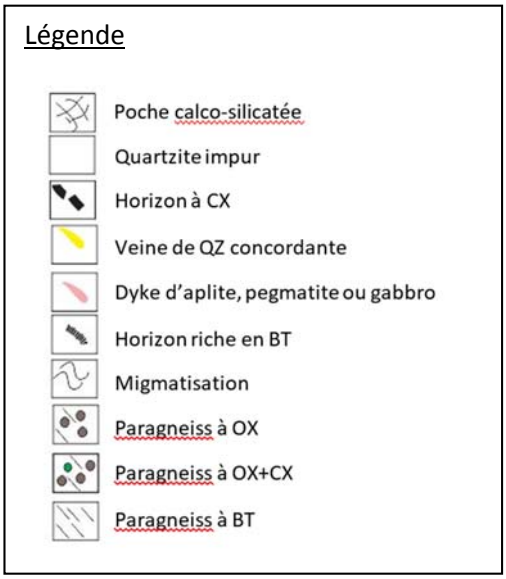


Figure 3: Coupe de l'affleurement 20-GS-6001 + échantillons



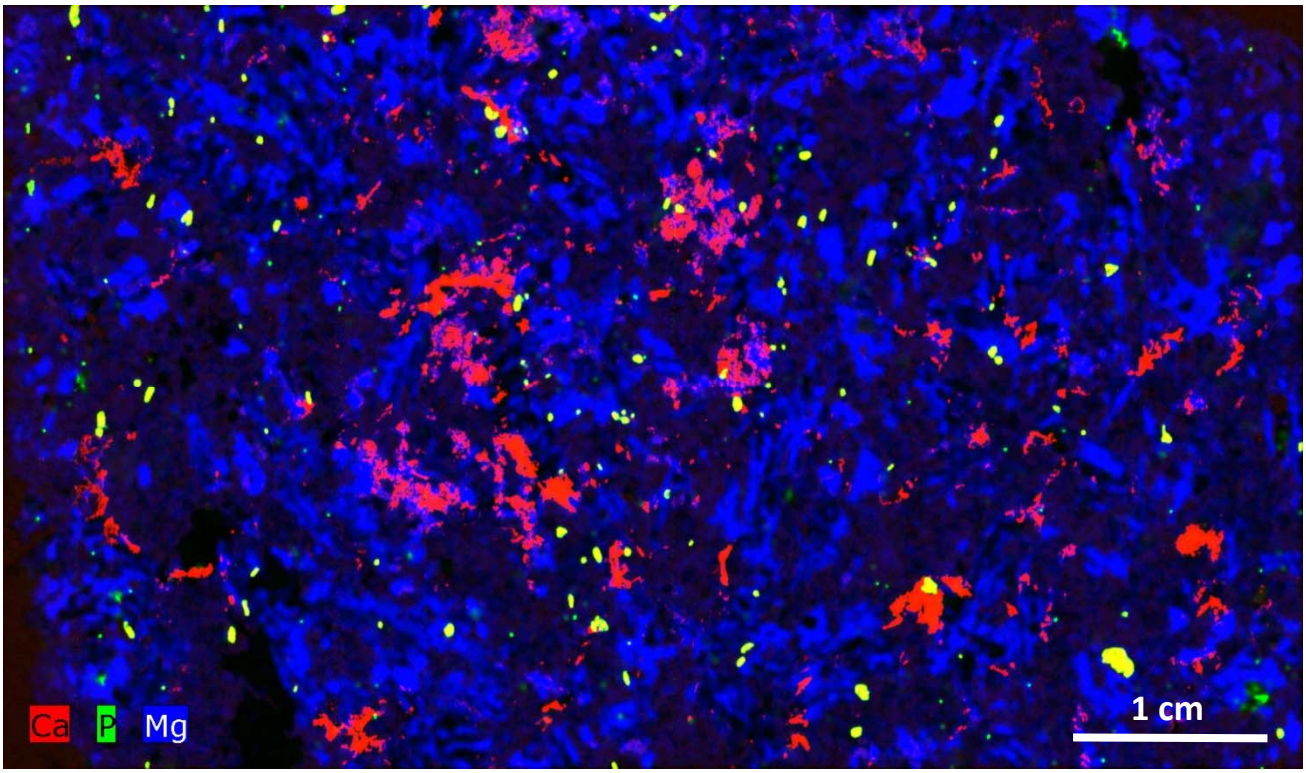


Figure 4: Carte micro-XRF de la lame 19-AM-02-A2 du Ca+P+Mg. Le P est ajouté pour différencier les carbonates de l'apatite qui contient également du Ca.

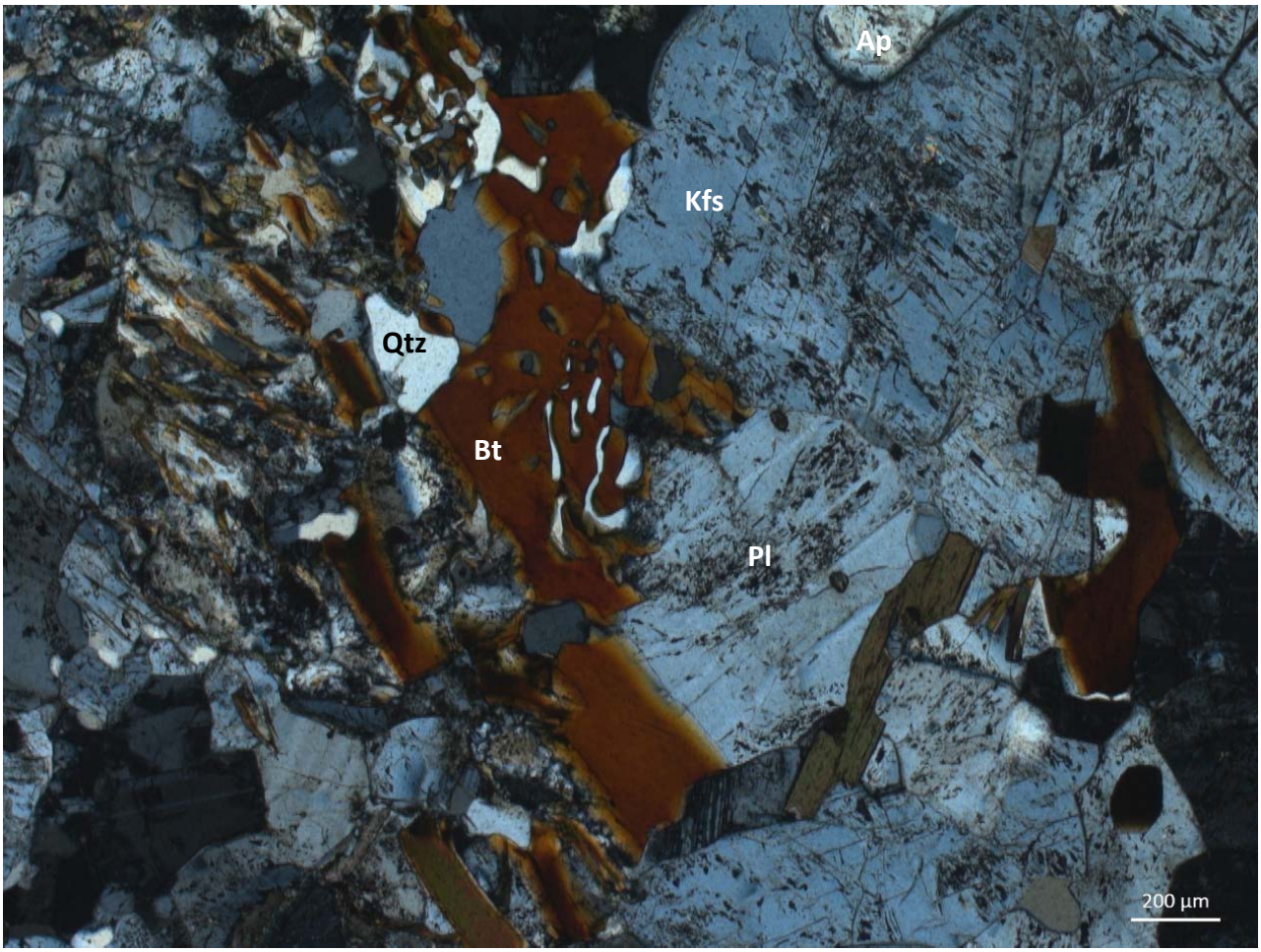


Figure 5: Séricitisation des feldspaths (pl + kfs) + exemple de symplectite de quartz dans une biotite (19-AM-02-A2).

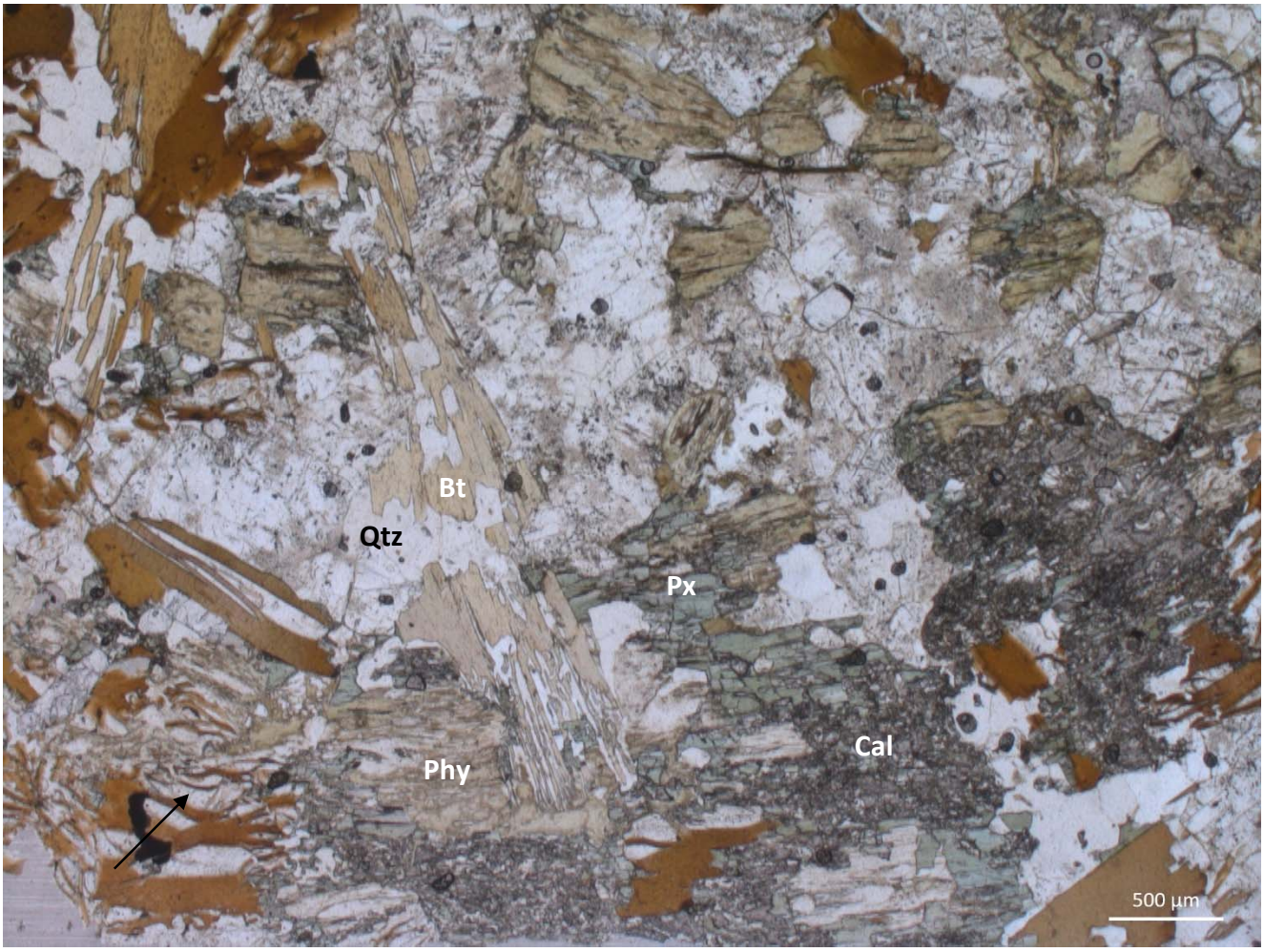


Figure 6: Carte micro-XRF Mn+Ti (total: mauve) qui illustre les biotites riches en ces deux éléments (19-AM-02-A2)

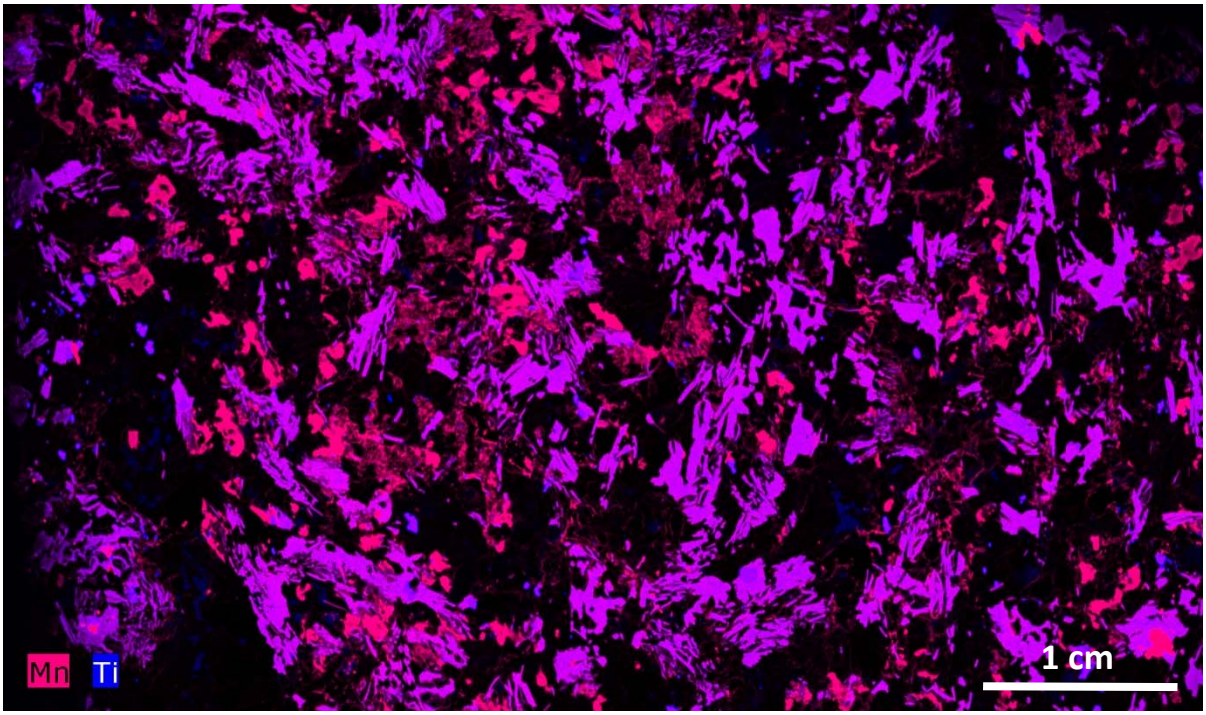


Figure 7: Carte micro XRF Mn+Ti (total : mauve) qui illustre les biotites riches en ces deux éléments (19-AM-02-A2).

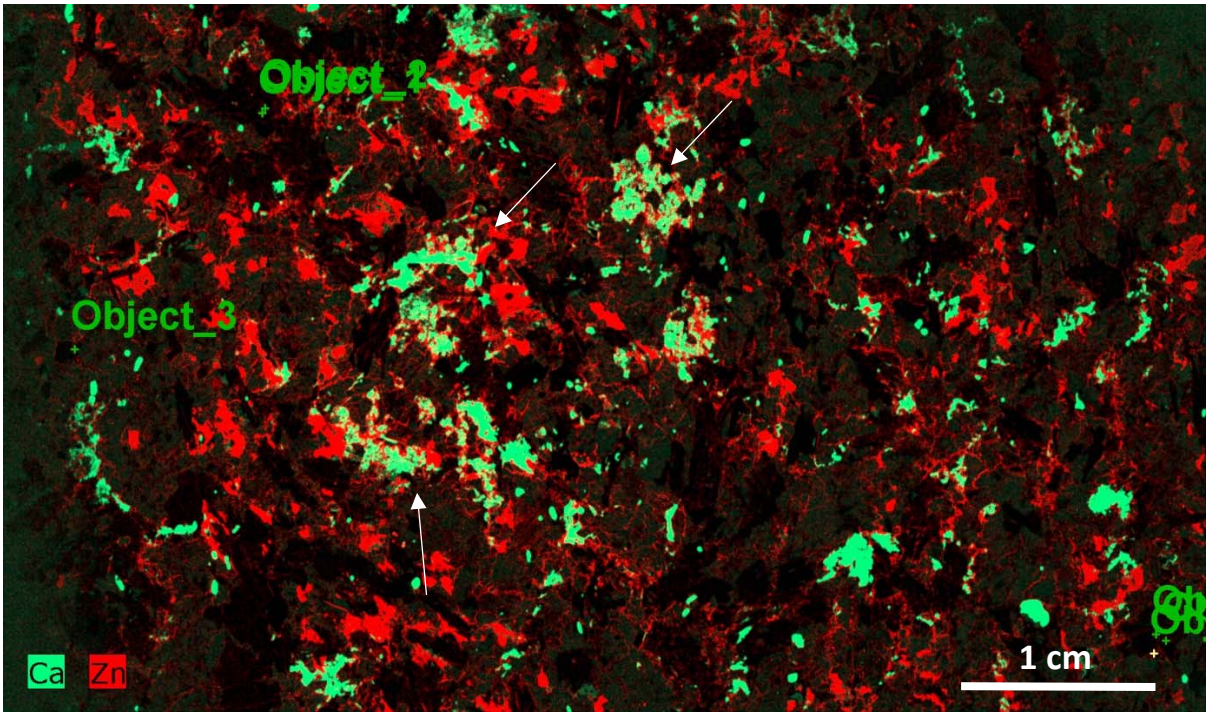


Figure 8: Carte Ca+Zn illustrant l'association spatiale entre les phyllosilicates zincifères et la calcite (flèches) (19-AM-02-A2)

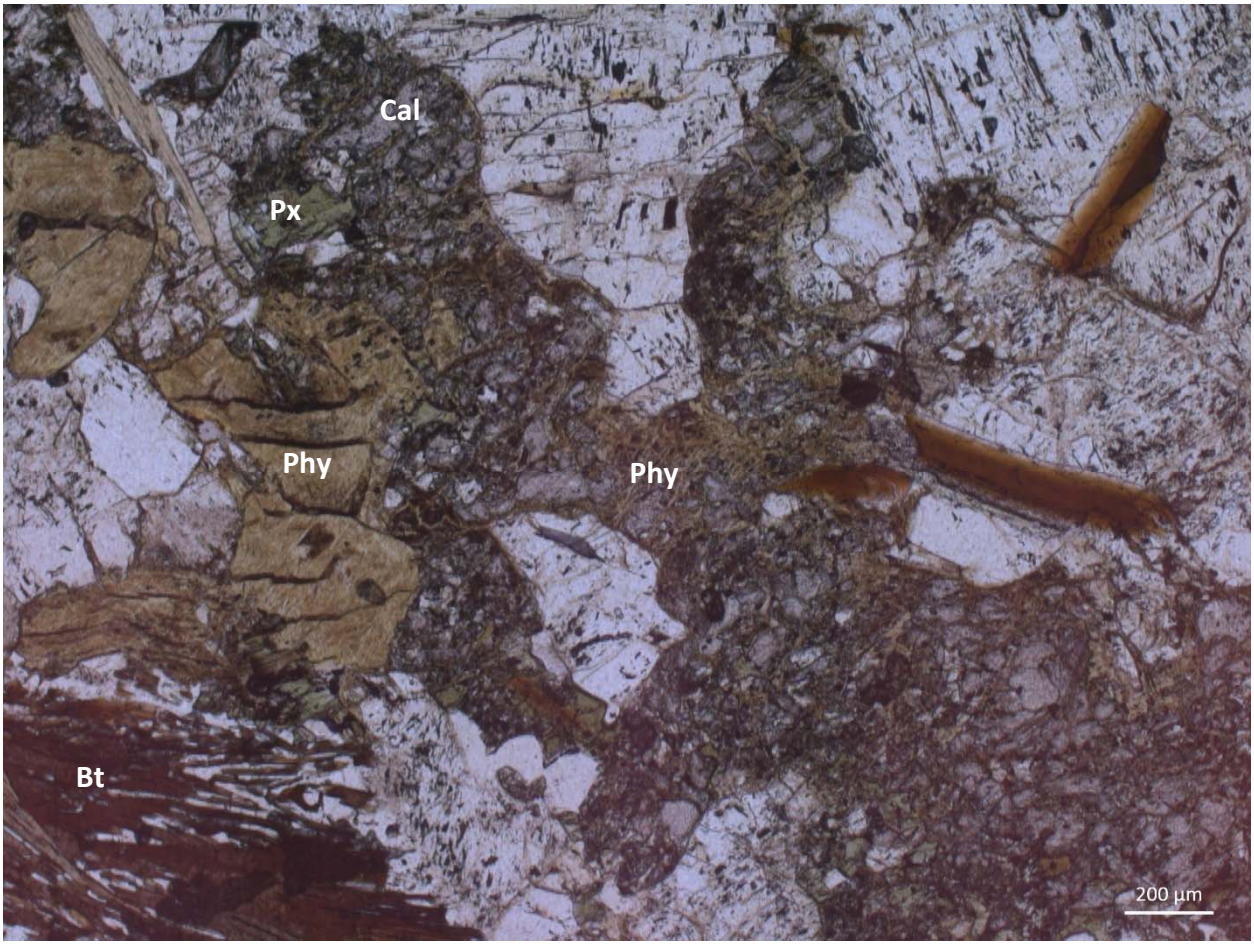


Figure 9: Exemple 1 de texture de remplacement entre le phyllosilicate et la calcite. Observe des filaments de phyllosilicate au travers de la calcite (19-AM-02-A2).

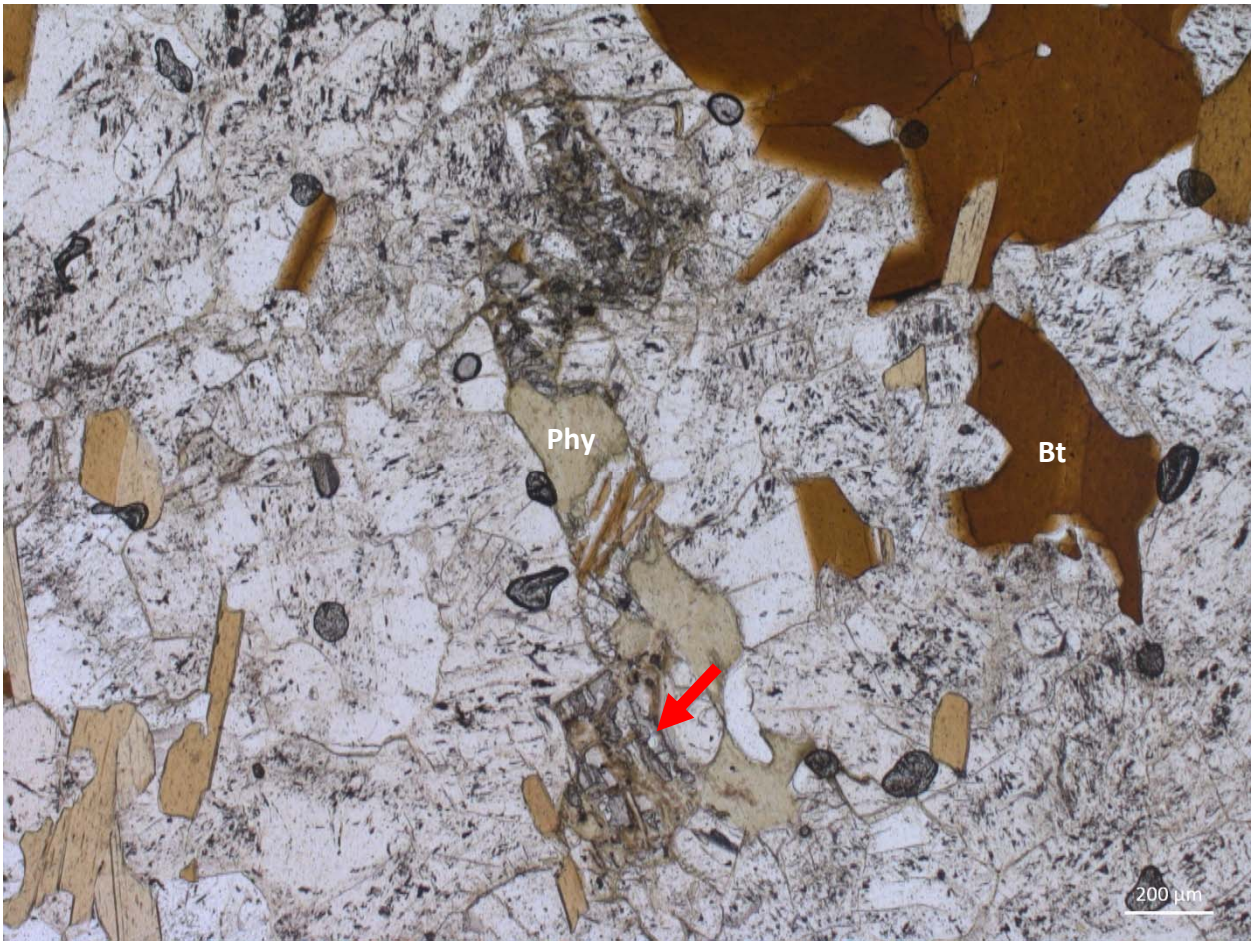


Figure 10: 2e exemple de texture de remplacement (flèche) des phyllosilicates par la calcite (19-AM-02-A2).

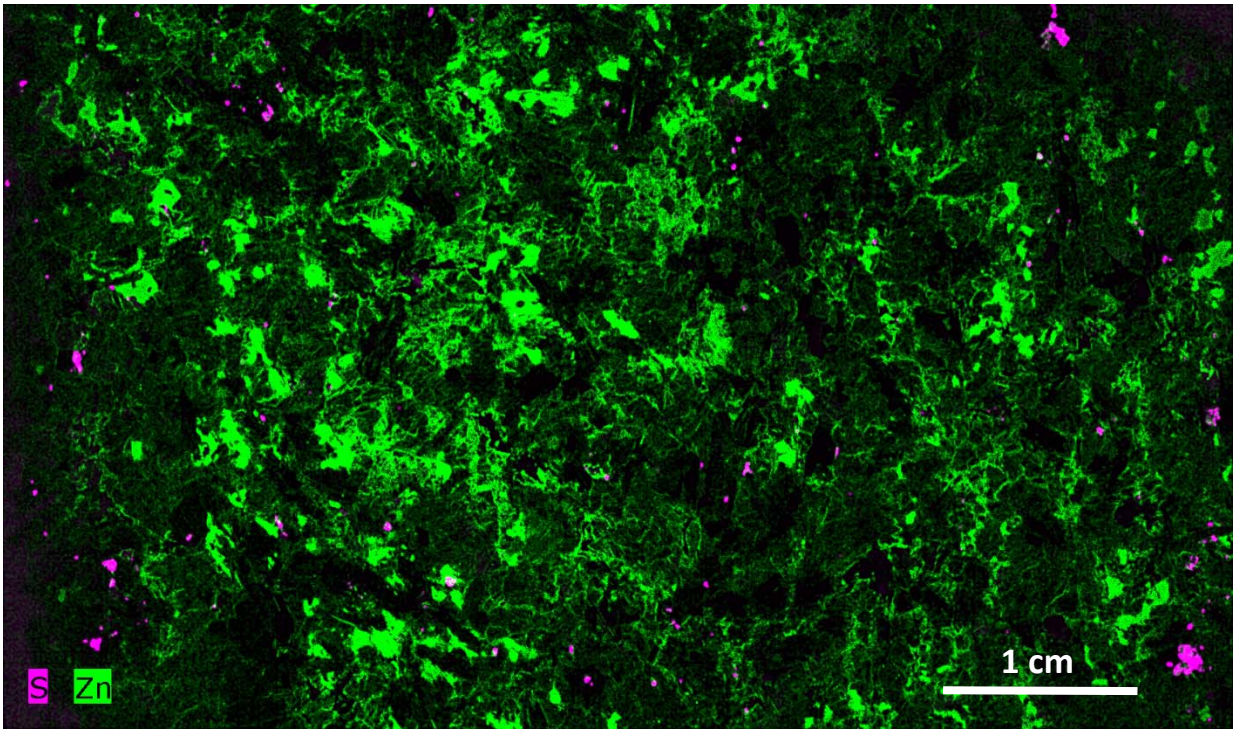


Figure 11: Carte micro-XRF de la lame 19-AM-02-A2 illustrant le Zn+S

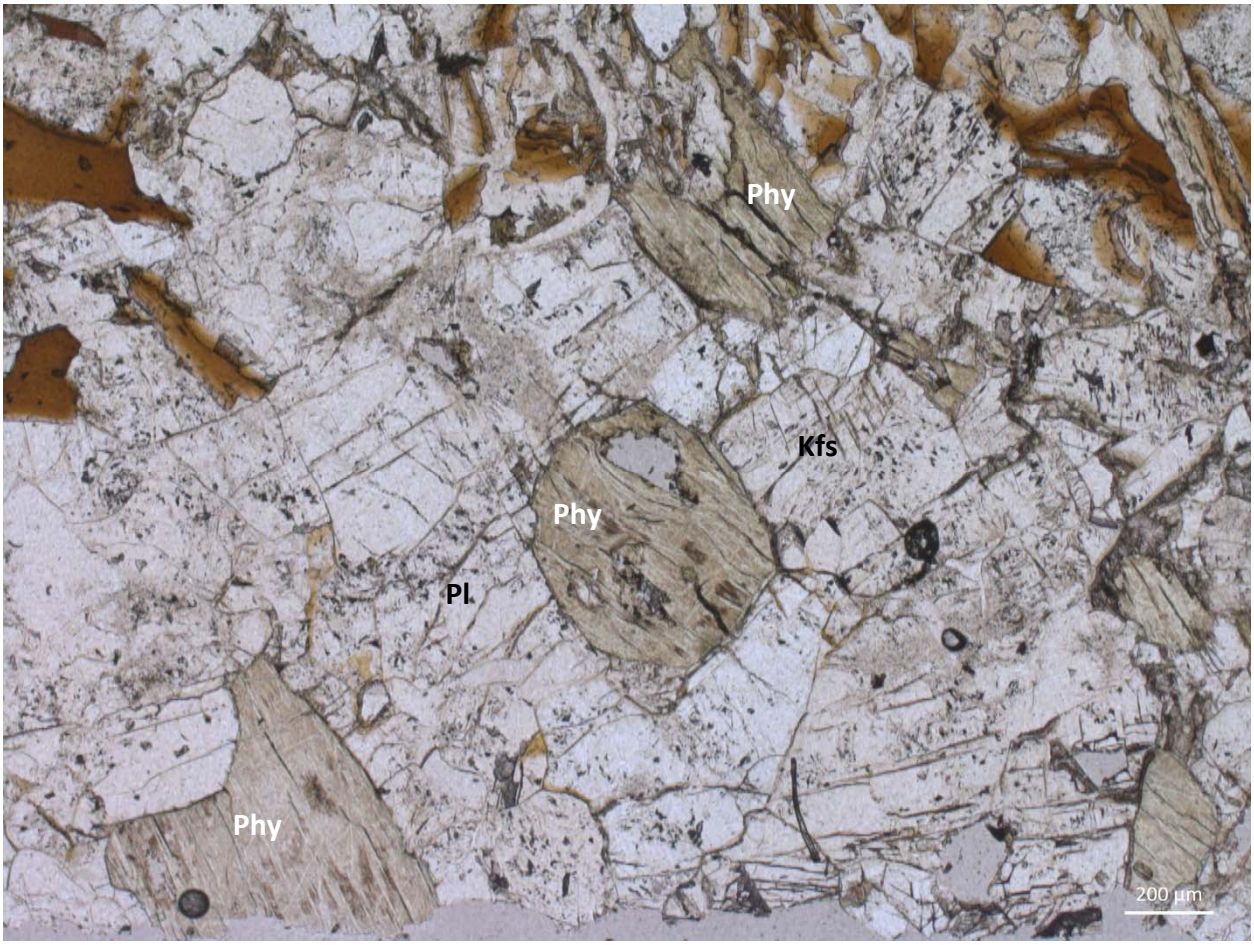


Figure 12: Chlorite interprétée comme pseudomorphe d'un pyroxène (19-AM-02-A2).

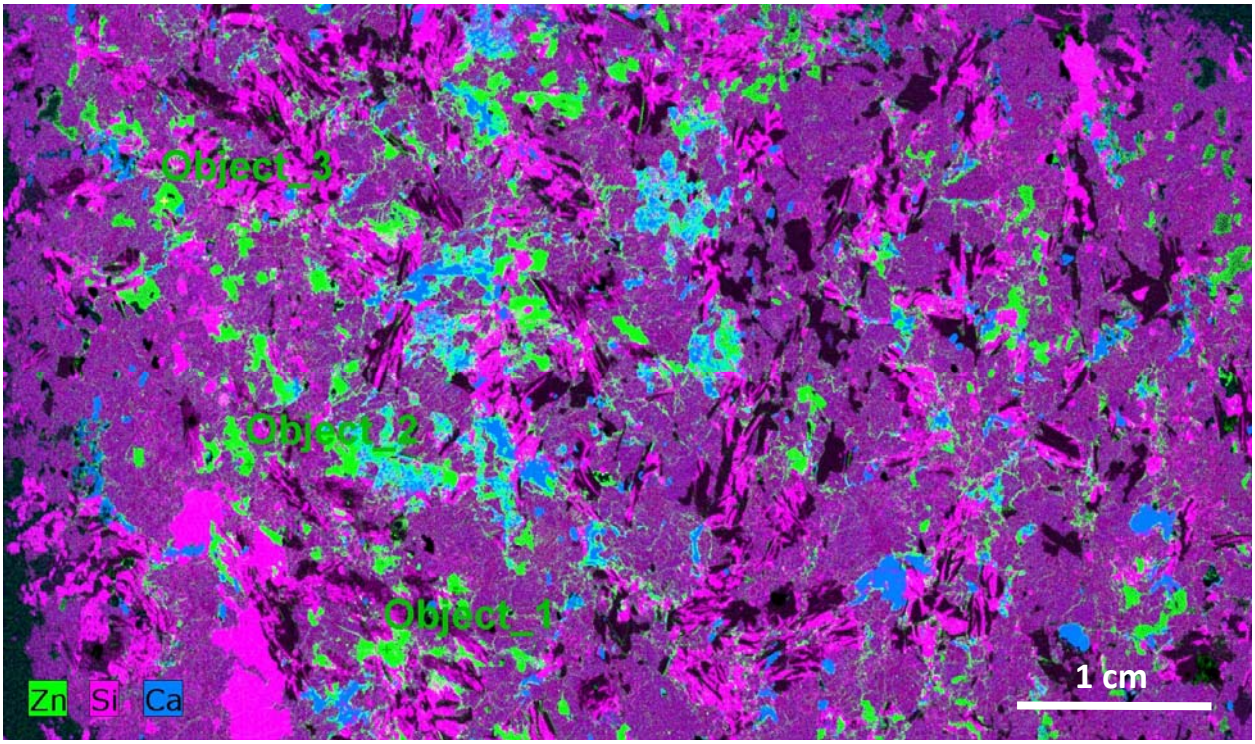


Figure 13: Carte micro-XRF du Zn+Si+Ca localisant les trois phyllosilicates sélectionnés pour estimer leurs compositions (19-AM-02-A2)

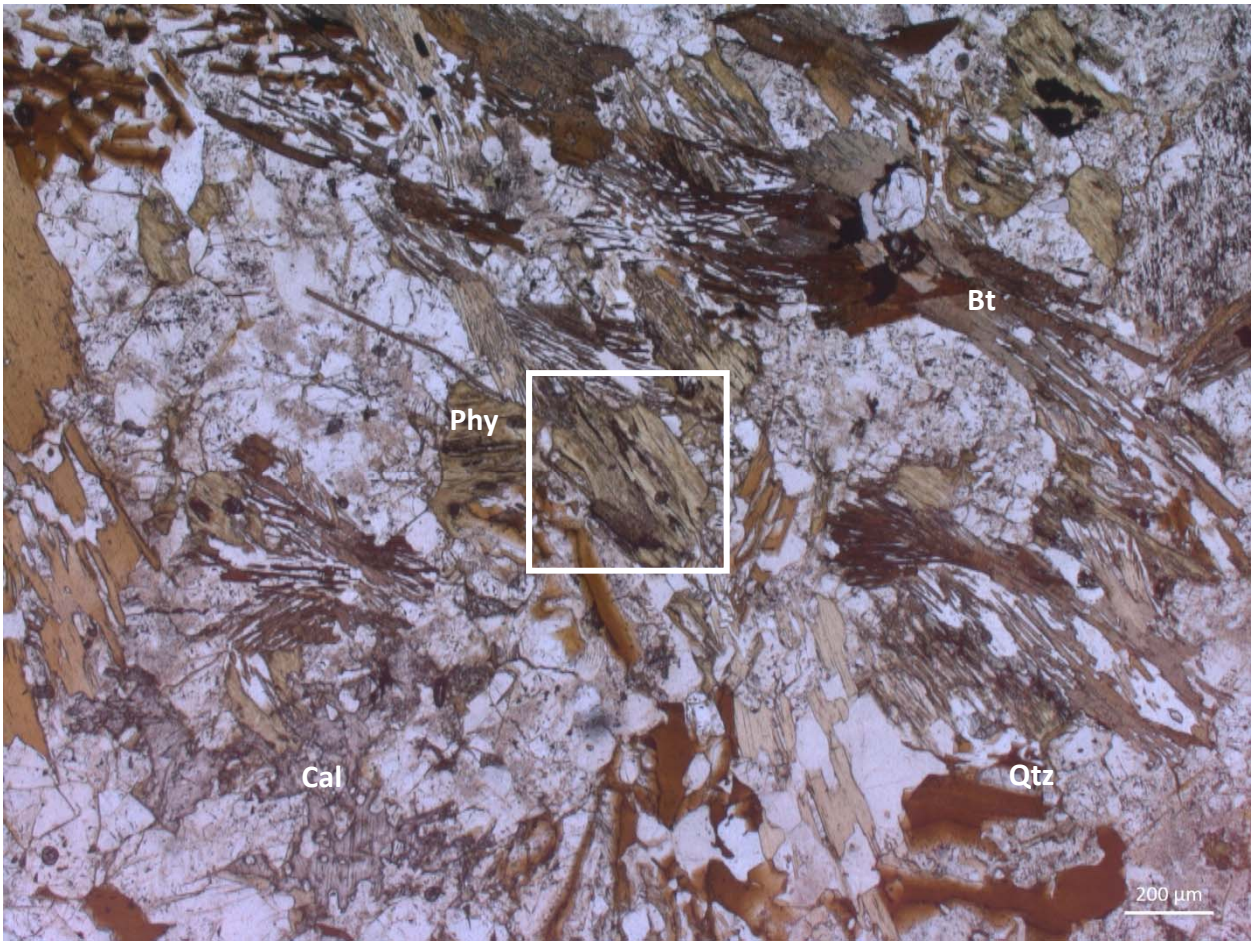


Figure 14: Objet 1 en lumière analysée encadré (19-AM-02-A2).

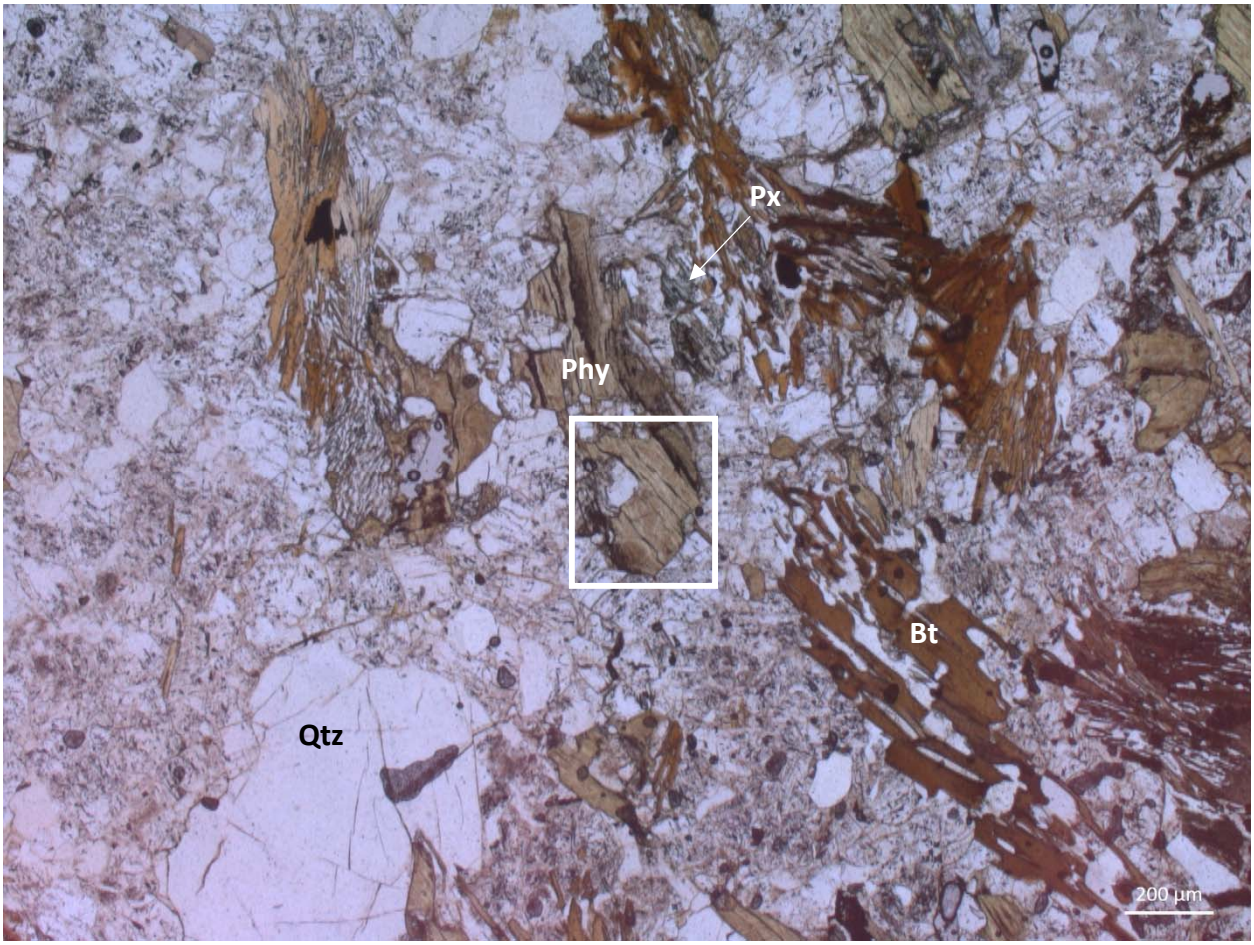


Figure 15: Objet 2 en lumière analysée encadré (19-AM-02-A2).

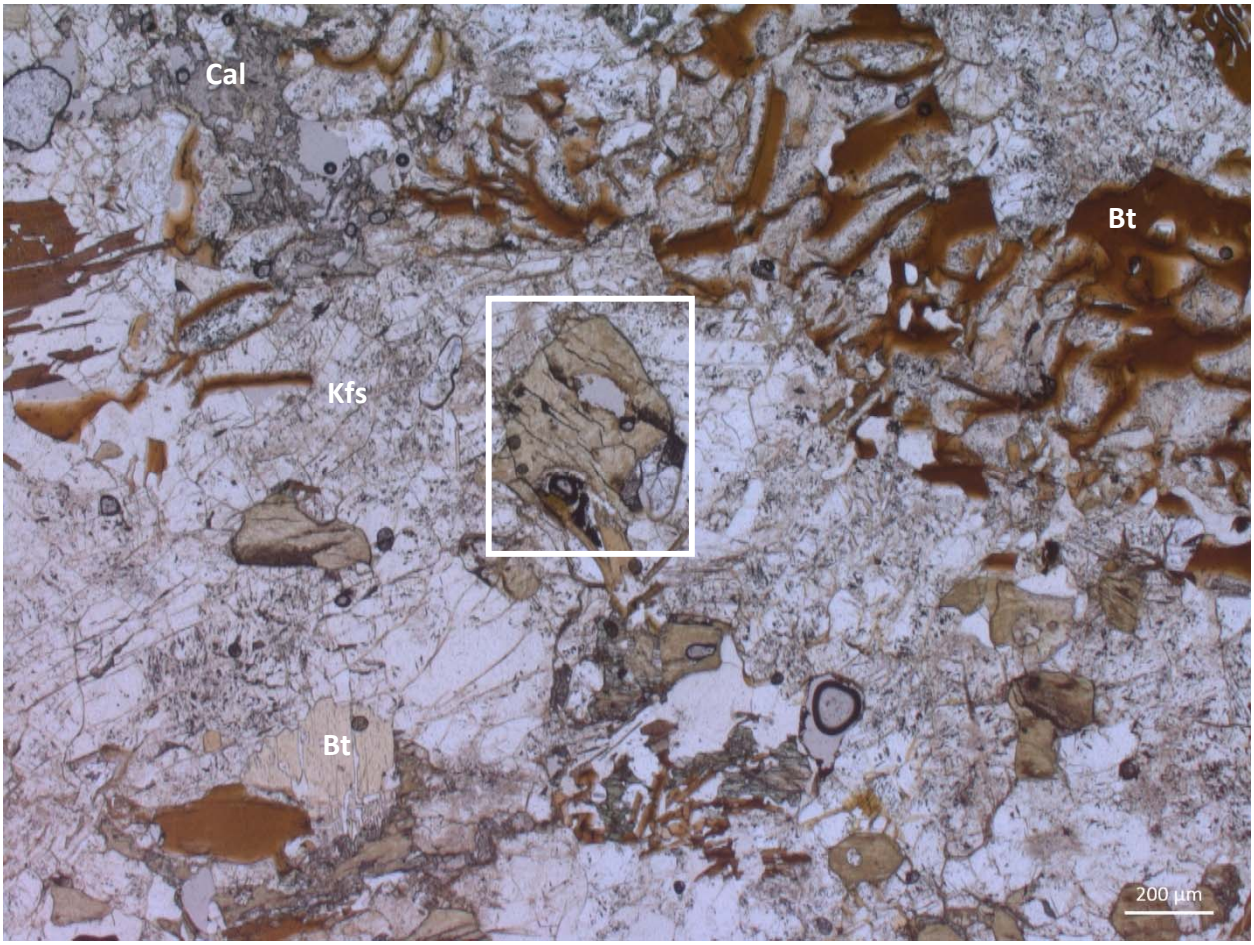


Figure 16: Objet 3 en lumière analysée encadré (19-AM-02-A2).

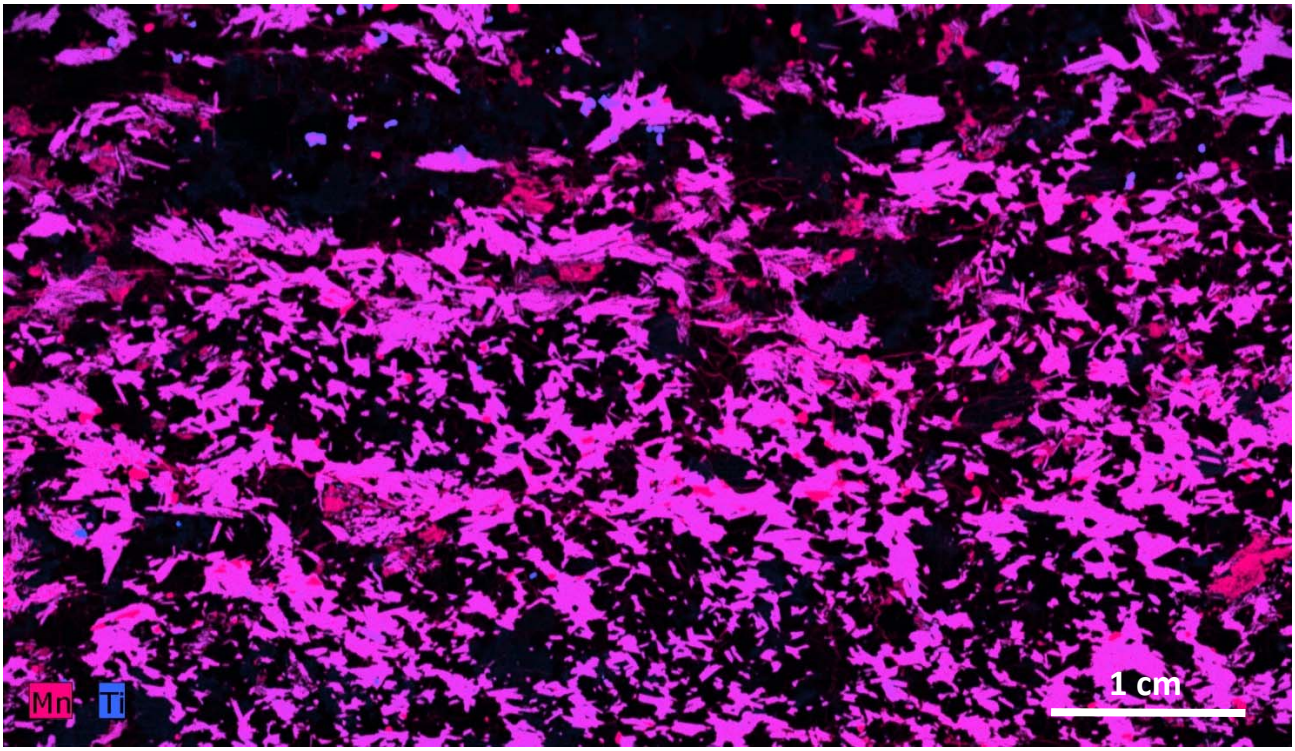


Figure 17: Carte micro-XRF Mn) +Ti lame 19-AM-02-A3. Le rose foncé illustre les amphiboles et le rose pâle illustre les biotites à Mn+Ti.

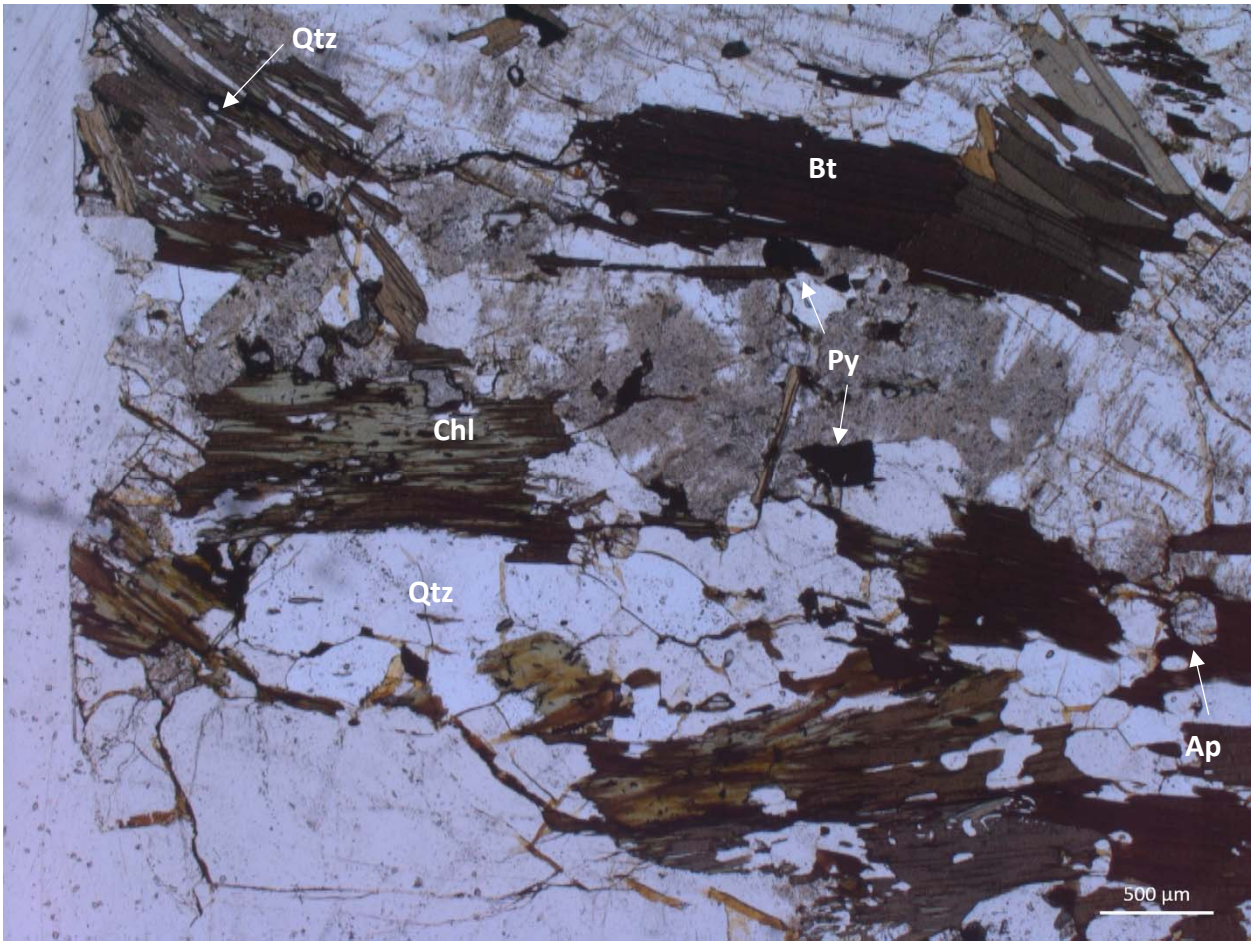


Figure 18: Biotite chloritisée + symplectite de quartz dans la biotite (19-AM-02-A3).

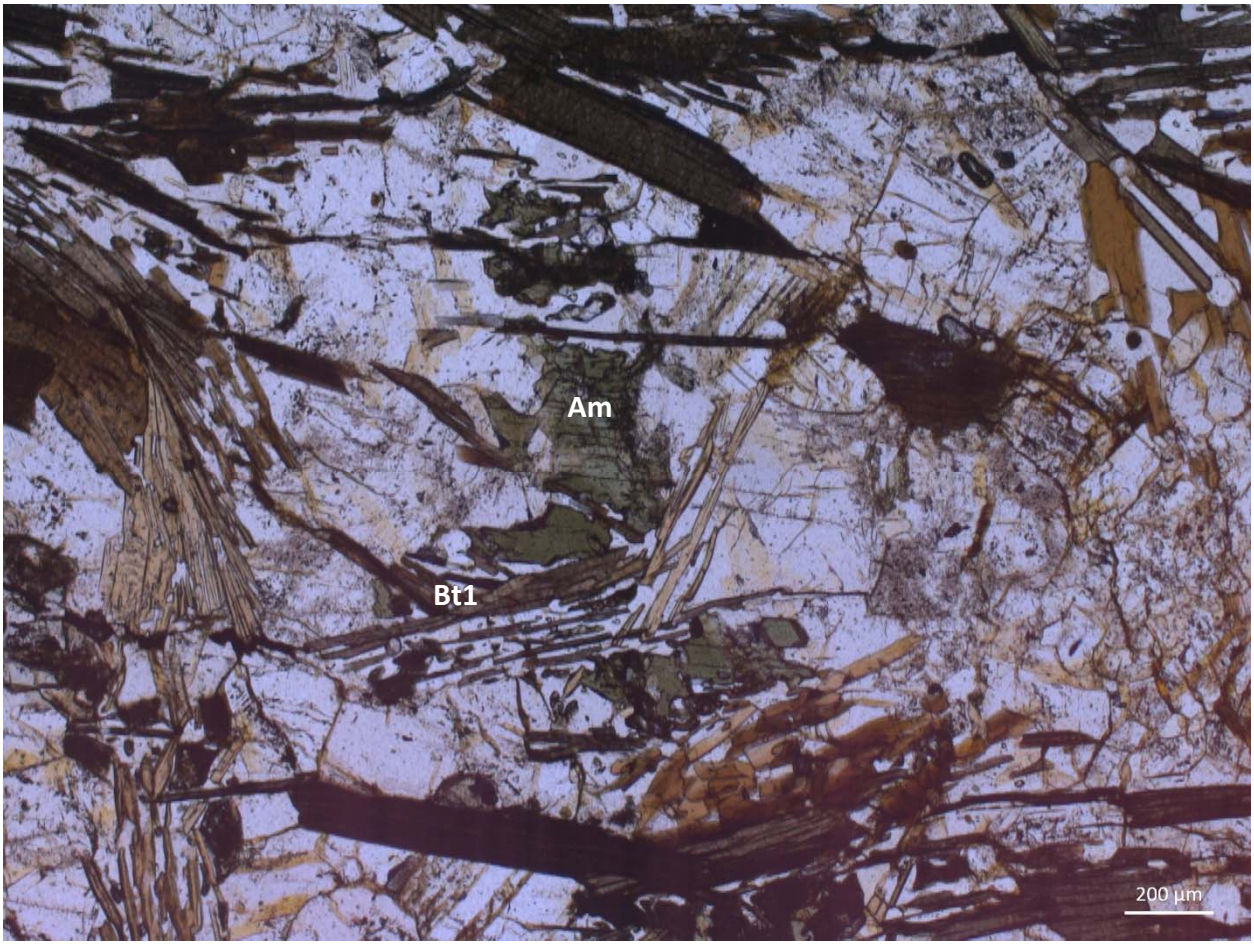


Figure 19: Relation de recoupement entre les amphiboles et les biotites (19-AM-02-A3).

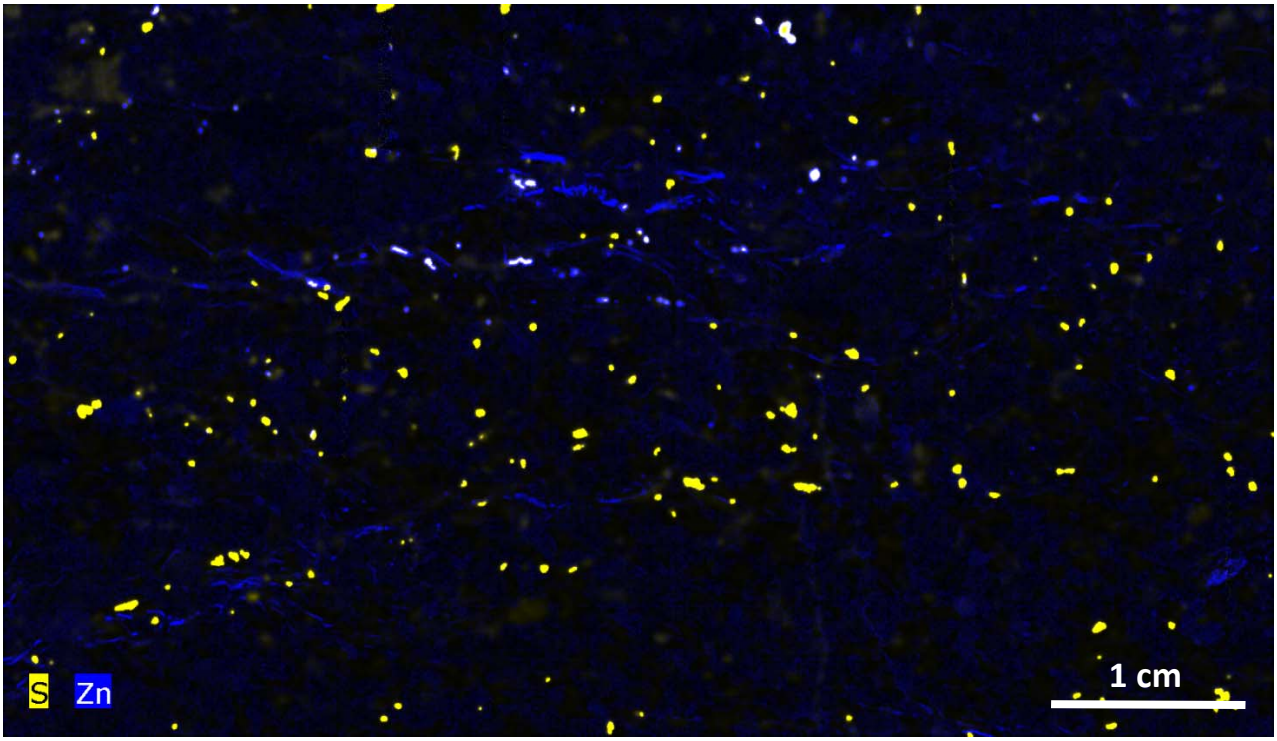


Figure 20: Carte micro-XRF du Zn+S (19-AM-02-A3)



Figure 21: Phyllosilicate zincifère (19-AM-02-A3) + sphalérite transparente en lumière transmise (19-AM-02-A3).

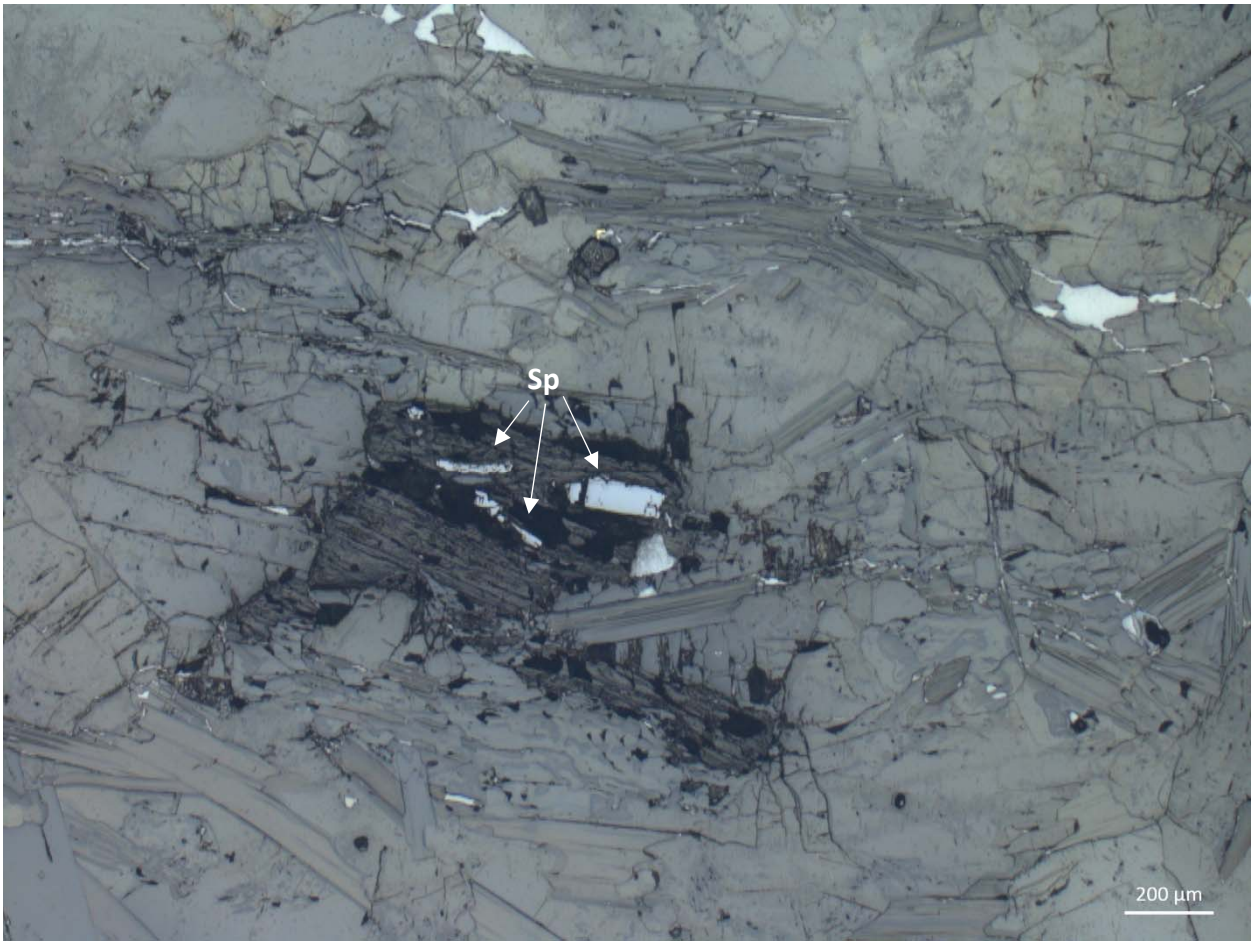


Figure 22: Grains de sphalérite (19-AM-02-A3).

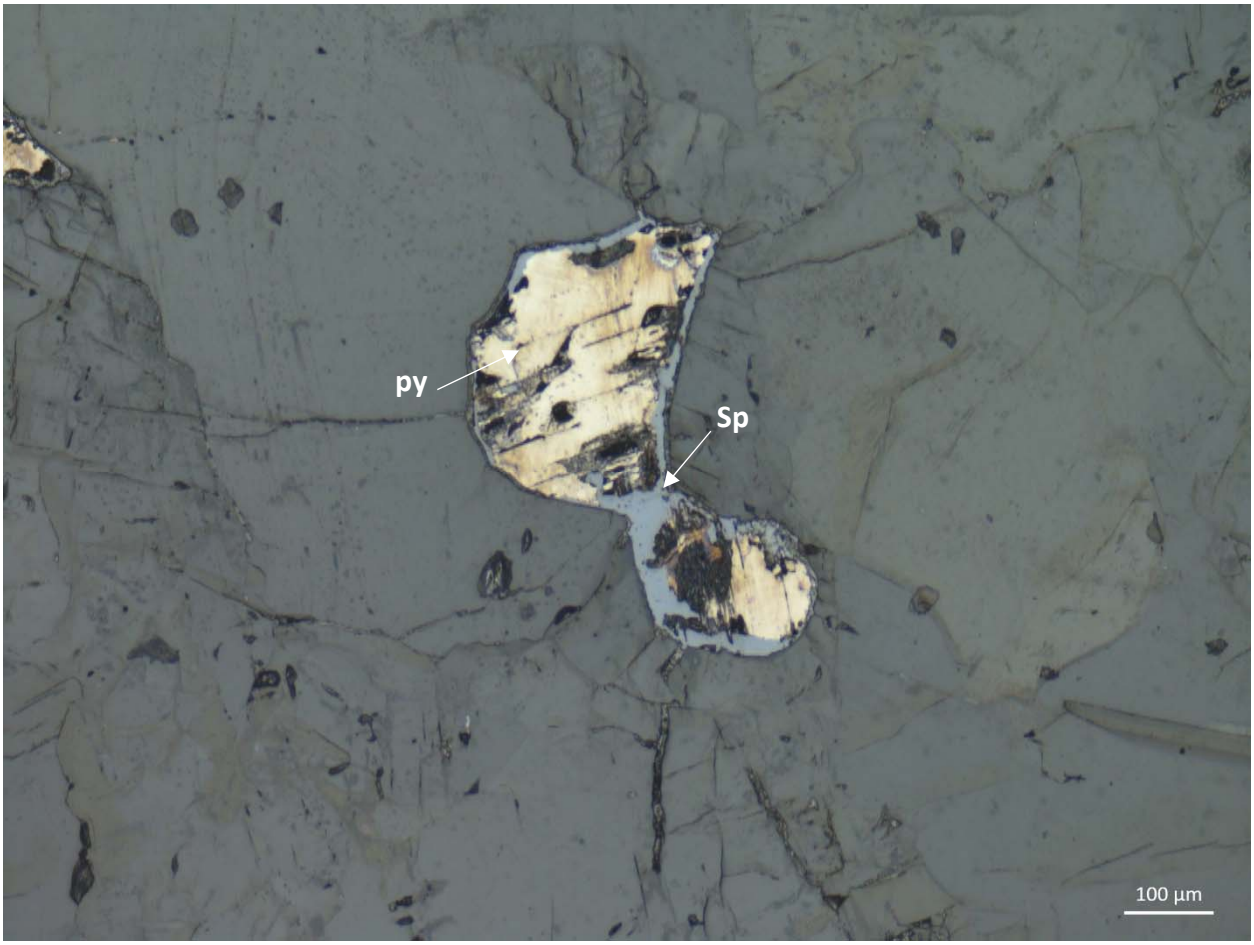


Figure 23: Grain de sphalérite remplaçant à la pyrite (19-AM-02-A3). Lumière réfléchie.

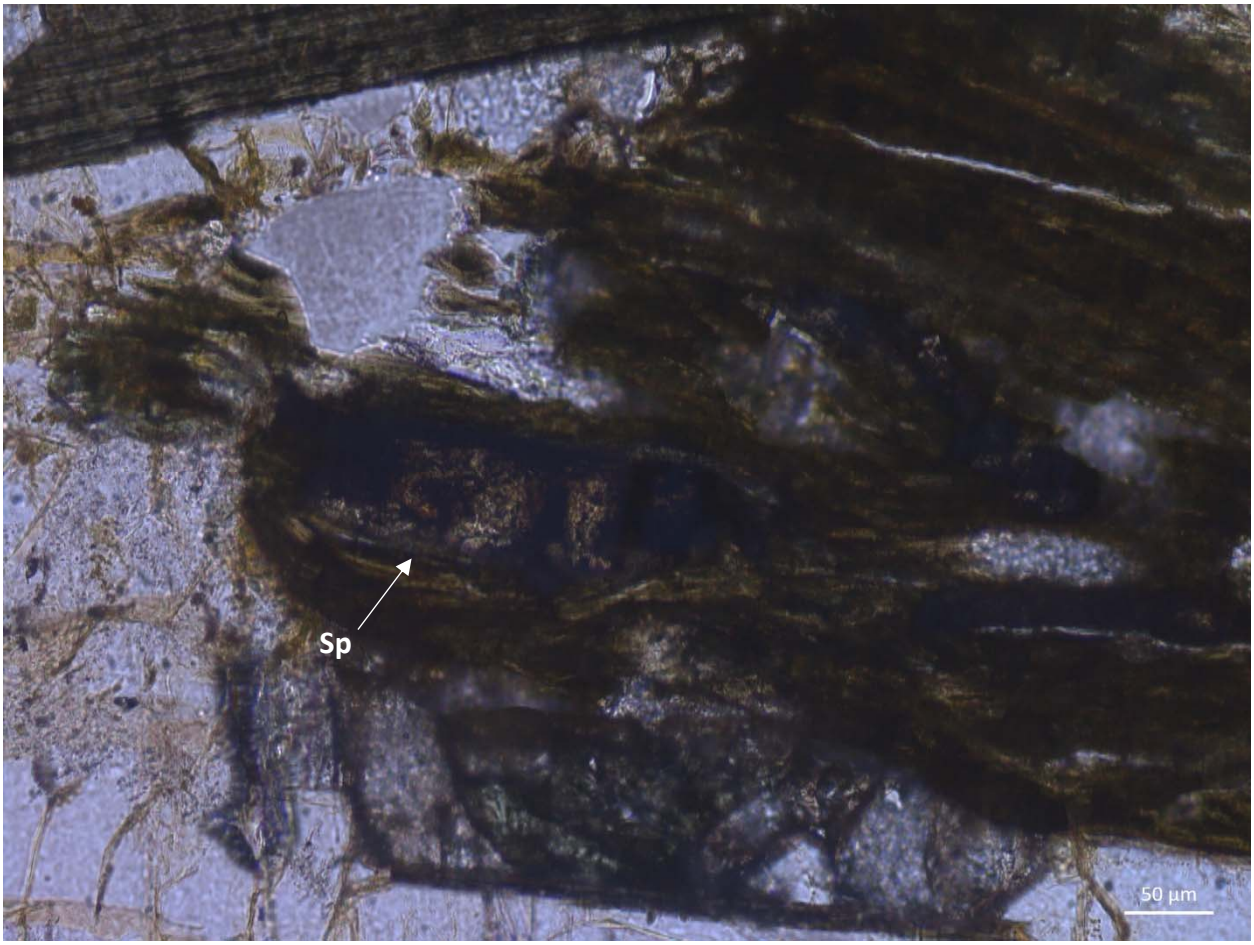


Figure 24: Agrandissement de la sphalérite en lumière analysée où la réflexion interne couleur miel est observée. La sphalérite est transparente en lumière transmise (19-AM-02-A3).

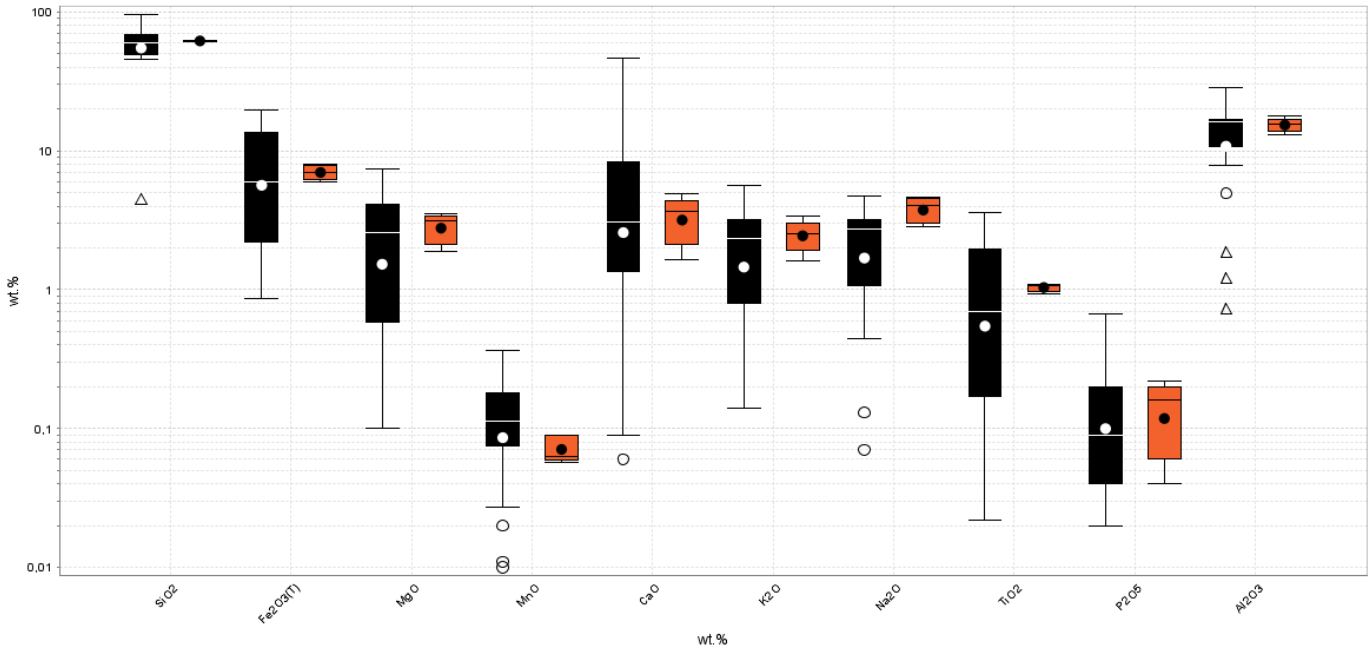


Figure 25: Diagramme en boîte (wt. %) comparant la composition en élément majeurs des paragneiss du Complexe de Barrois anomaliques (500 ppm et plus, orange) et non anomaliques en Zn (noir)

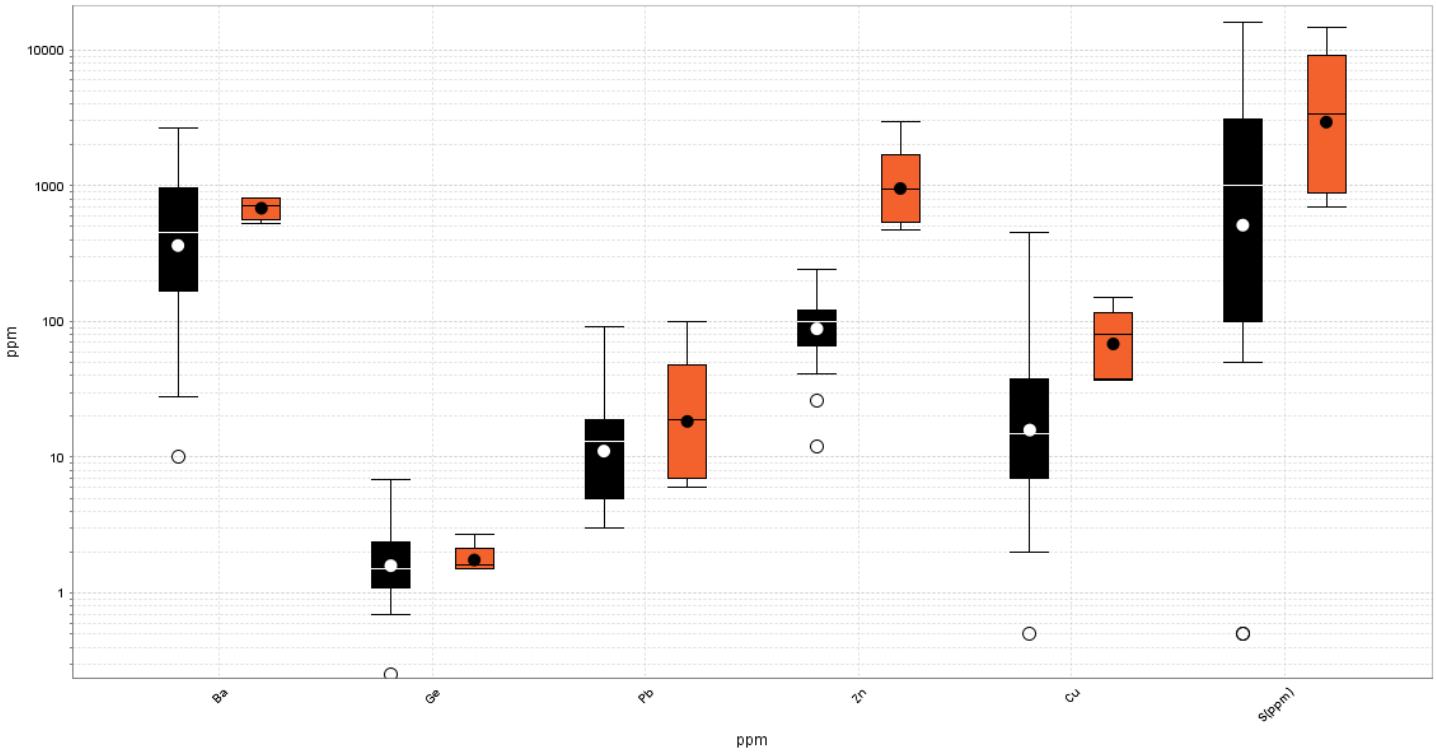


Figure 26: Diagramme en boîte (ppm) du Ba, Ge, Pb, Zn, S(ppm) et Cu pour les paragneiss du Complexe de Barrois anomaliques (500 ppm et plus) et non anomaliques en Zn

.