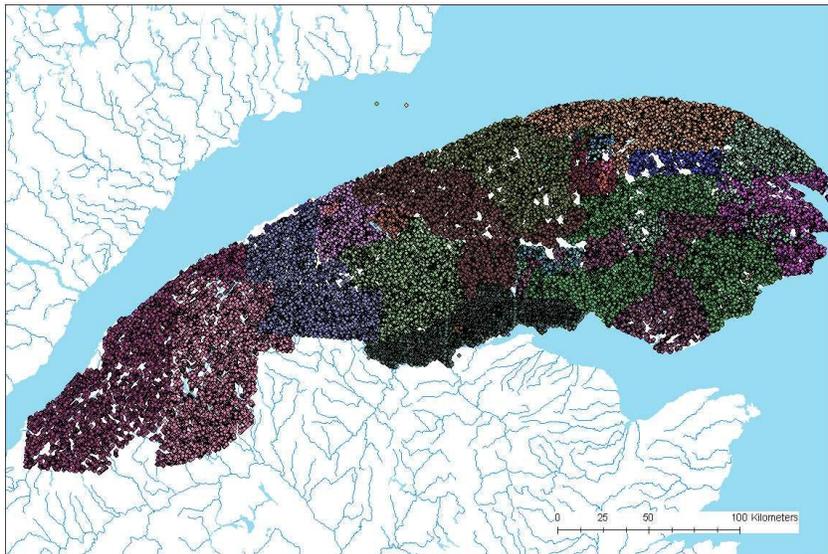

Rehaussement et interprétation des levés de sédiments de ruisseaux

Partie A : Sédiments de ruisseaux de la Gaspésie-Bas-Saint-Laurent



Projet 2009-02A

Par Sylvain Trépanier
Avril 2010



CONSOREM

Consortium de recherche
en exploration minérale

AVERTISSEMENT

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

Bien que ce document ait subi un processus d'évaluation interne, des erreurs ou omissions peuvent s'y retrouver et seul CONSOREM en assume la responsabilité.

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

Trépanier, S. 2010. Rehaussement et interprétation des levés de sédiments de ruisseaux. Partie A : Sédiments de ruisseaux de la Gaspésie-Bas-Saint-Laurent. Rapport du projet CONSOREM 2009-02A, 79 pages.

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

CONSOREM

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

Tél. : (418) 545-5011 poste 5634

Courriel : consorem@uqac.ca
Site Web: www.consorem.ca

RÉSUMÉ

La géochimie des sédiments de ruisseaux est un outil important pour l'exploration minière. Toutefois, cette technique soulève plusieurs questions comme le choix des éléments à considérer, les méthodes de détermination d'anomalies et les distances de dispersion pour différents métaux et types de minéralisations. Ces différentes questions sont abordées dans le cadre de ce projet par une étude détaillée des données de la Gaspésie et du Bas Saint-Laurent.

La Gaspésie et le Bas Saint-Laurent ont fait l'objet de nombreuses campagnes d'échantillonnage et de réanalyses des sédiments de ruisseaux depuis les années 60. On y compte plus d'une quarantaine de levées de fractions fines de sédiments de ruisseaux.

La campagne de réanalyse de 2009 par spectromètre de masse permet de constater que la qualité des analyses plus anciennes par colorimétrie pour les métaux de base ne sont pas fiables lorsque comparées aux réanalyses. Les analyses par absorption atomique, activation neutronique, fluorimétrie et chromatographie papier semblent en général plus fiables.

Plusieurs problèmes de nivellement apparaissent lorsque les données de différentes époques et méthodes analytiques sont comparées. Pour obtenir des cartes uniformes, un exercice de nivellement a été réalisé. Des cartes nivelées pour Cu, Co, Ni, Mn, As, Zn et Pb ont été produites pour l'ensemble du territoire.

Les données disponibles ont été séparées en quatre banques de données qui représentent chacune des échantillons analysés par les mêmes méthodes. Quatre méthodes de détermination d'anomalies ont été appliquées sur les quatre banques de données. La première consiste simplement à calculer des centiles sur l'ensemble des données. Le logiciel Consorem de traitement des données de la géochimie de l'environnement secondaire a également été utilisé pour calculer la statistique U pour chacune des banques et pour traiter les réanalyses par ICP par une régression spatiale. Finalement, des centiles séparés ont été calculés sur les différentes unités lithologiques de la région.

La signature des différentes catégories de minéralisations et de différents sous-secteurs de la région a été étudiée à l'aide d'une analyse statistique basée sur les probabilités conditionnelles. Chacune des banques et des méthodes de détermination des anomalies ont été étudiées. L'analyse des résultats permet de constater que la méthode la plus efficace pour cibler les minéralisations du secteur étudié est la statistique U. Ceci indique que les minéralisations donnent des anomalies qui sont généralement visibles sur plusieurs échantillons regroupés. La régression spatiale ne permet pas de rehausser de façon efficace les anomalies, ce qui indique que les signaux des anomalies géochimiques sont clairs par rapport au bruit de fond. Certains types de minéralisations montrent des empreintes très nettes dans les sédiments de ruisseaux (épithermaux, skarns à cuivre, skarns à plomb-zinc) alors que d'autres montrent des anomalies plus faibles (ex : cuivre dans les lits rouges, Pb-Zn MVT)

Des études de cas des principaux secteurs minéralisés ont été réalisées. Ces études ont permis de constater que l’empreinte dans les sédiments de ruisseaux des principaux secteurs minéralisés est très importante (ex : mines Gaspé, dôme de Lemieux, minéralisations de la Faille du Grand Pabos). Les sédiments de ruisseaux permettent dans plusieurs cas de cartographier les zonations dans les systèmes hydrothermaux responsables des minéralisations. Ces zonations sont en général cohérentes avec les modèles métallogéniques de ces minéralisations. Plusieurs cas de dispersion par l’environnement secondaire ont également été répertoriés.

À partir des études de cas et des statistiques, différents indices composites basés sur des centiles sont proposés. Ces indices permettent de cibler différentes minéralisations selon les éléments disponibles de chaque banque de données.

TABLE DES MATIERES

AVERTISSEMENT	I
RÉSUMÉ	II
TABLE DES MATIERES.....	IV
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	VIII
1 INTRODUCTION	1
2 DONNEES DE SEDIMENTS DE RUISSEAUX DE LA GASPESIE.....	1
2.1 LOCALISATIONS ET METHODES ANALYTIQUES	2
2.2 ÉVALUATION DE LA QUALITE DES DONNEES DES FRACTIONS FINES.....	8
2.3 PRETRAITEMENT DES DONNEES SELON L'ÉVALUATION DE LA QUALITE	16
3 NIVELLEMENT DES DONNEES	17
3.1 METHODE DE NIVELLEMENT	18
3.2 ÉLÉMENTS NIVELES.....	19
3.3 RESULTATS DU NIVELLEMENT	19
4 MODELISATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE	20
5 ÉTUDE STATISTIQUE DES VARIATIONS DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE	21
5.1 INFLUENCE DE L'ENVIRONNEMENT SECONDAIRE.....	21
5.1.1 <i>Analyse factorielle</i>	22
5.2 INFLUENCE DES GRANDS ENSEMBLES LITHOLOGIQUES	29
5.2.1 <i>Teneurs en métaux selon les unités, réanalyses ICP</i>	30
6 DETERMINATION DES ANOMALIES	30
7 ASSOCIATIONS STATISTIQUES MINERALISATIONS-SEDIMENTS DE RUISSEAUX ..	35
7.1 METHODOLOGIE	35
7.1.1 <i>Régions d'étude et éléments considérés</i>	35
7.1.2 <i>Catégorisation des minéralisations de la Gaspésie</i>	35
7.1.3 <i>Probabilités conditionnelles d'association entre teneurs et minéralisations</i>	36
7.2 RESULTATS	37
8 ÉTUDES DE CAS DETAILLEES	43
8.1 DOME DE LEMIEUX (IOCG, EPITHERMAUX NEUTRES).....	43
8.2 SULLIPEK (PORPHYRE A CUIVRE, SKARNS A CUIVRE)	49
8.3 MINES GASPE (PORPHYRE A CUIVRE, SKARNS A CUIVRE, SKARNS A PLOMB-ZINC)	56
8.4 MONT ALEXANDRE (CUIVRE DANS LITS ROUGES VOLCANIQUES)	62
8.5 REBOUL (SKARNS A CUIVRE-PLOMB-ZINC-OR-ARGENT).....	66
8.6 SAINT-ANDRE-DE-RESTIGOUCHE (SKARNS A CUIVRE, EPITHERMAL NEUTRE)	69
8.7 SECTEUR TRANSFIGURATION	71
9 INDICES COMPOSITES POUR L'EXPLORATION	73
REMERCIEMENTS	74
RÉFÉRENCES	75
ANNEXE 1 METHODES ANALYTIQUES, LEVES DE SEDIMENTS DE RUISSEAUX DE LA GASPESIE	77

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Ensemble des différents levés de sédiments de ruisseaux de la Gaspésie.	1
Figure 2.	Levés de sédiments de ruisseaux des années 60, analysés par colorimétrie pour les métaux de base.	2
Figure 3.	Levés de SOQUEM réalisés dans les années 60-70 et analysés par absorption atomique.	3
Figure 4.	Levés du MRN réalisés dans les années 60-70-80 et analysés par absorption atomique.	4
Figure 5.	Réanalyses de l'arsenic par colorimétrie, 1987.	4
Figure 6.	Levés 1992030 et 1992030 du Bas-Saint-Laurent, analysés par émission de plasma et activation neutronique.	5
Figure 7.	Réanalyses par activation neutronique, 1992.	6
Figure 8.	Analyses et réanalyses par spectromètre de masse, 2002.	7
Figure 9.	Réanalyses par ICP, 2009.	8
Figure 10.	Relation entre les valeurs analysées en Zn par AA et ICP. N = 7000.	10
Figure 11.	Relation entre les valeurs analysées en Mo par AA et ICP.	11
Figure 12.	Relation entre les valeurs analysées en Co par AA et ICP.	11
Figure 13.	Relation entre les valeurs analysées en Sb par AA et ICP.	12
Figure 14.	Relation entre les valeurs analysées en Ag par AA et par ICP.	12
Figure 15.	Relation entre les valeurs analysées en Zn par CO et ICP.	13
Figure 16.	Relation entre les valeurs analysées en Au par AN vs ICP.	14
Figure 17.	Relation entre les valeurs analysées en W par AN vs ICP.	15
Figure 18.	Relation entre les valeurs analysées en U par AN vs ICP.	15
Figure 19.	Problème de nivellement pour pCo entre 1972030 et 1977030.	17
Figure 20.	Problème de nivellement pour pPb entre 1983030 et 1992030.	18
Figure 21.	Valeurs nivelées pour pCo.	19
Figure 22.	Valeurs nivelées pour pPb.	20
Figure 23.	Analyses par ICP contenant la perte au feu et la couleur, pour l'analyse factorielle. La géologie du SIGEOM est mise pour référence (voir Figure 33 pour la légende).	21
Figure 24.	Contributions des facteurs de l'analyse factorielle.	22
Figure 25.	Corrélations entre les éléments et les facteurs 1 et 2.	23
Figure 26.	Relation entre le facteur 1 et la couleur de l'échantillon.	24
Figure 27.	Distribution des valeurs du facteur 1 par rapport à la topographie.	24
Figure 28.	Relation entre le facteur 2 et la couleur de l'échantillon.	25

Figure 29. Géologie détaillée du secteur nord-est du feuillet 22A12. Beige-orangé: mudstones, grès. Vert: basaltes. Brun foncé: gabbros. Rose: intrusions felsiques.....	26
Figure 30. Corrélations entre les éléments et les facteurs 3 et 4.....	27
Figure 31. Distribution des valeurs du facteur 3 par rapport à la topographie.	27
Figure 32. Distribution des valeurs du facteur 4 par rapport à la géologie.	28
Figure 33. Unités définies pour la détermination des seuils par ensembles lithologiques.....	29
Figure 34. Ensemble de la banque de données, analysée pour Cu-Pb-Zn-Ni-Co-Mn-U.....	31
Figure 35. Échantillons avec analyses par activation neutronique (1992-1993).....	32
Figure 36. Réanalyses par ICP (2009), centre de la Gaspésie.....	32
Figure 37. Analyses par PL et AN, Bas Saint-Laurent	33
Figure 38. Types de gites de la Gaspésie définis dans le cadre du projet (Données SIGEOM).	36
Figure 39. Secteurs faisant l'objet d'études de cas détaillées.	43
Figure 40. Géologie simplifiée du secteur du Dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation).....	44
Figure 41. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Cu par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	45
Figure 42. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Au, Bi, W, Be par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	45
Figure 43. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Cu, In, Mo par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	46
Figure 44. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Zn, Pb, Sb, As par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	47
Figure 45. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Zn, Pb par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	47
Figure 46. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Mo, Tl, Ce et Be par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	48
Figure 47. Géologie et minéralisations du secteur de Sullipek (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	49
Figure 48. Principales anomalies dans les sédiments de ruisseaux par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux, secteur Sullipek (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	50
Figure 49. Anomalies de sols horizon B (carrés) et de ruisseaux (cercles), secteur de Sullipek.	51
Figure 50. Conditions eH-pH probable en surface dans le secteur du gîte Sullipek.	51

Figure 51. Diagramme eH-pH pour le zinc (stabilité de relation à 25 °C et 1 atm). Tiré de Sangameshwar, 1983.....	52
Figure 52. Diagramme eH-pH pour le plomb (stabilité de relation à 25 °C et 1 atm). Tiré de Sangameshwar, 1983.....	53
Figure 53. Diagramme eH-pH pour le cuivre.....	54
Figure 54. Diagrammes eH-pH pour l'argent et le molybdène. Tiré de Letowski <i>et al.</i> , 1966.....	55
Figure 55. Diagramme eH-pH pour l'arsenic (stabilité de relation à 25 °C et 1 bar). Tiré de Smedley et Kinniburgh, 2002.	56
Figure 56. Géologie locale du secteur de Mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	57
Figure 57. Examen de la contamination directe possible dans les sédiments de ruisseaux du secteur de Mines Gaspé. Les zones de déblais et de mines proviennent des photos aériennes de 1976.	58
Figure 58. Principaux assemblages métalliques par centiles sur valeurs brutes, secteur de Mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	59
Figure 59. Anomalies en Bi par centiles sur valeurs brutes, secteur de mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).	60
Figure 60. Anomalies en In par centiles sur valeurs brutes, secteur de Mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).	61
Figure 61. Anomalies en Sn par centiles sur valeurs brutes secteur de mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).	61
Figure 62. Anomalies en Te par centiles sur valeurs brutes, secteur de Mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).	62
Figure 63. Géologie et minéralisations du secteur du Mont Alexandr (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	63
Figure 64. Anomalies en cuivre par centiles sur valeurs brutes, secteur du mont Alexandre (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	64
Figure 65. Anomalies en uranium par centiles sur valeurs brutes, secteur du mont Alexandre (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	64
Figure 66. Anomalies en cuivre par centiles sur statistique U, secteur du Mont Alexandre (voir Figure 39 pour localisation du secteur).	65
Figure 67. Anomalies en uranium par centiles sur statistique U, secteur du Mont Alexandre (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	66
Figure 68. Anomalies par centiles bruts sur analyses ICP, secteur Reboul. (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	67
Figure 69. Anomalies par centiles bruts sur analyses AA, AN, secteur Reboul (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	68
Figure 70. Géologie du secteur Saint-André-de-Restigouche (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	69
Figure 71. Anomalies du secteur de Saint-André-de-Restigouche par ICP (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	70

Figure 72. Anomalies en arsenic par colorimétrie du secteur de Saint-André-de-Restigouche (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	71
Figure 73. Géologie du secteur de Transfiguration (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	72
Figure 74. Cuivre dans les sédiments de ruisseaux, secteur Transfiguration (voir Figure 39 pour localisation du secteur).....	73

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Évaluation statistique de la qualité des analyses pour les échantillons réanalysés	9
Tableau 2. Teneurs en métaux des différentes unités lithologiques de la Région.....	30
Tableau 3. Meilleures associations entre probabilités conditionnelles des centiles 97,5-100, minéralisations de différents types, différentes sous-banques de données et méthodes de traitement.....	41

1 INTRODUCTION

Les sédiments de ruisseaux constituent un outil important pour l'exploration. Leur utilisation soulève toutefois une série de questions concernant :

- la nature des éléments montrant les anomalies les plus claires associées à différents types de minéralisations et dans différents contextes (ex : sud du Québec vs Moyen-Nord?);
- les meilleures méthodes de détermination des anomalies selon les types de minéralisation et le contexte (ex : densité des levés);
- les distances de dispersion à partir des minéralisations;
- l'effet de l'environnement secondaire sur les teneurs, comme par exemple la valeur du bruit de fond par rapport au signal des minéralisations.

Le projet 2008-09 du CONSOREM a abordé ces questions par l'étude des sédiments de ruisseaux du sud-ouest du Grenville. Ce rapport présente les résultats pour la région de la Gaspésie.

2 DONNEES DE SEDIMENTS DE RUISSEAUX DE LA GASPESIE

La banque de données des fractions fines des sédiments de ruisseaux de la Gaspésie (< 177 microns) comprend environ 99 000 échantillons (MRNF, 2009) (**Figure 1**). La densité d'échantillons y est l'une des plus élevées du Québec.

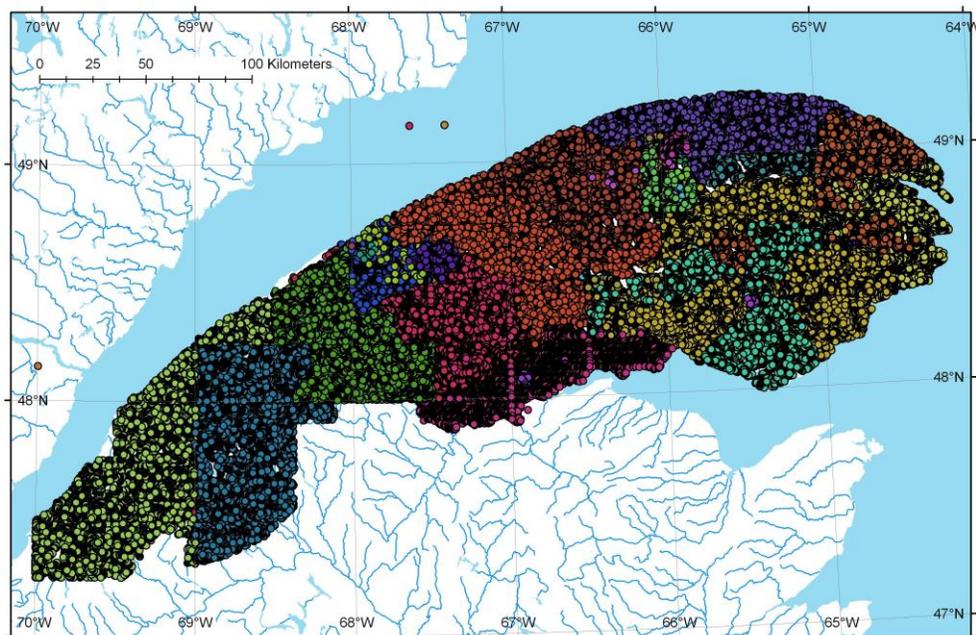


Figure 1. Ensemble des différents levés de sédiments de ruisseaux de la Gaspésie.

2.1 Localisations et méthodes analytiques

L'**Annexe 1** contient la liste complète des levés et des méthodes analytiques utilisées pour les fractions fines des sédiments de ruisseaux de la Gaspésie. Cette section présente des descriptions sommaires de ces levés.

Levés analysés par colorimétrie et chromatographie, années 60

Les premiers levés de sédiments de ruisseaux de la Gaspésie datent des années 60. Plusieurs de ces levés étaient réalisés en parallèle avec les campagnes de cartographie géologique. Ils comportent habituellement un nombre assez restreint d'échantillons (quelques dizaines à quelques centaines) couvrant des régions assez restreintes (**Figure 2**). La densité d'échantillons était toutefois élevée.

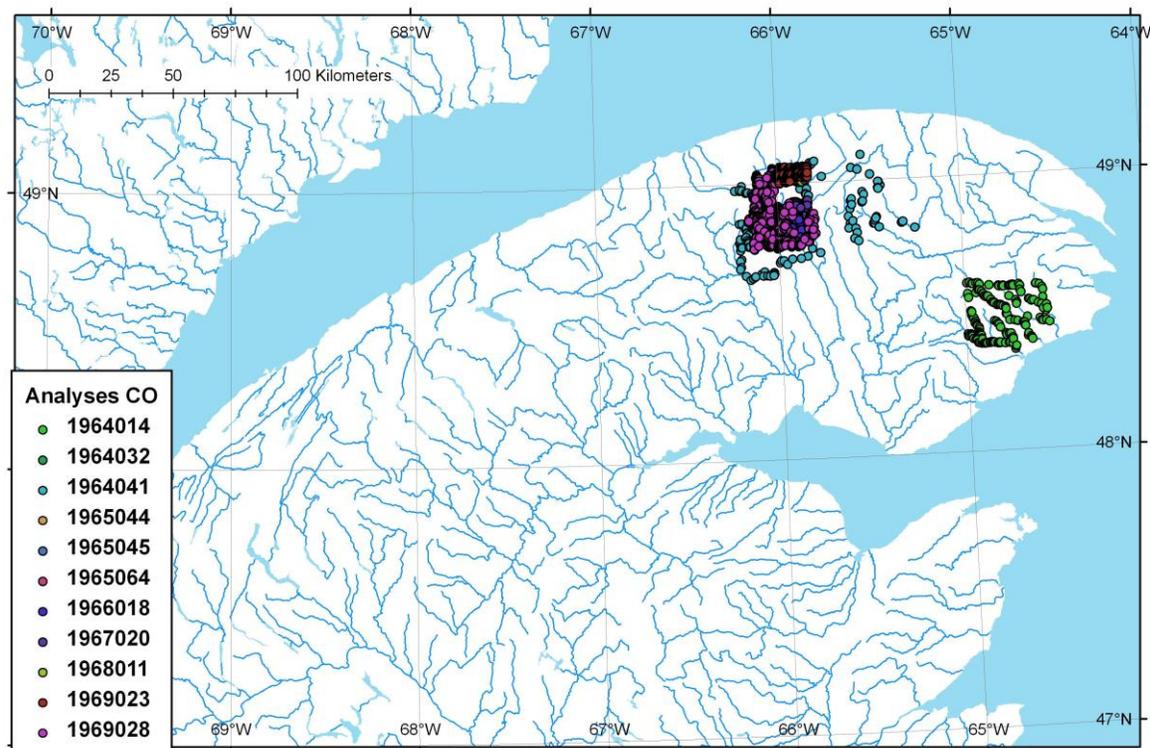


Figure 2. Levés de sédiments de ruisseaux des années 60, analysés par colorimétrie pour les métaux de base.

Ces échantillons ont été en général analysés par colorimétrie suivant des attaques par acide nitrique ou chlorhydrique pour les métaux de base (Cu, \pm Co, \pm Ni, Pb, Zn), et par chromatographie papier pour U. La liste des métaux rapportés varie d'un levé à l'autre. Dans quelques cas, Mn, Sn ou Ag ont été analysés par absorption atomique.

Levés analysés par absorption atomique et réalisés par SOQUEM, années 60

Ces levés (1967500, 1968500, 1969500 et 1978500) de grande envergure ont été réalisés par SOQUEM et publiés par le gouvernement provincial dans les années 60 (Kelly et Tremblay, 1971; **Figure 3**). Les 23 187 échantillons ont été analysés par absorption atomique pour les métaux de base et par chromatographie papier pour U.

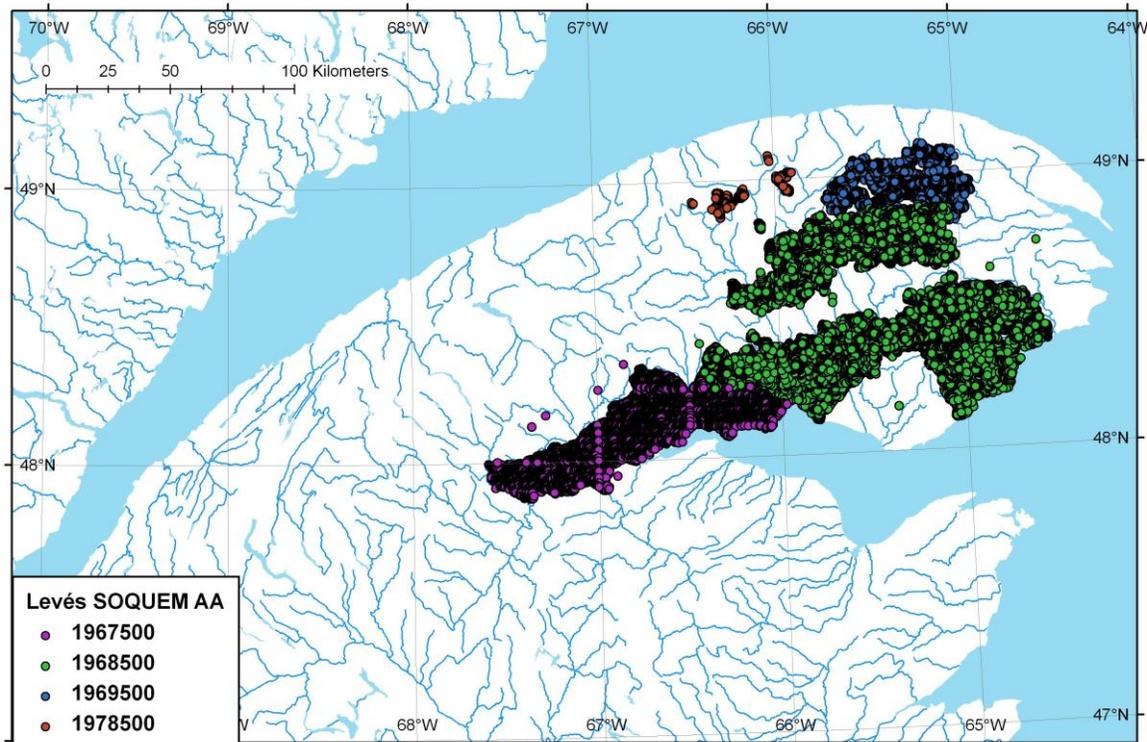


Figure 3. Levés de SOQUEM réalisés dans les années 60-70 et analysés par absorption atomique.

Levés analysés par absorption atomique, années 70 et début des années 80

Ces levés ont été réalisés par le MRNF. Certains levés sont de grande envergure alors que d'autres sont plus petits (**Figure 4**). Les métaux de base y sont analysés par absorption atomique suite à des attaques d'acide nitrique ou chlorhydrique. L'uranium a été analysé par chromatographie papier durant les premiers levés puis par fluorimétrie par la suite. La liste exacte des métaux analysés varie d'un levé à l'autre (p.ex. : Sn analysé dans certains levés seulement).

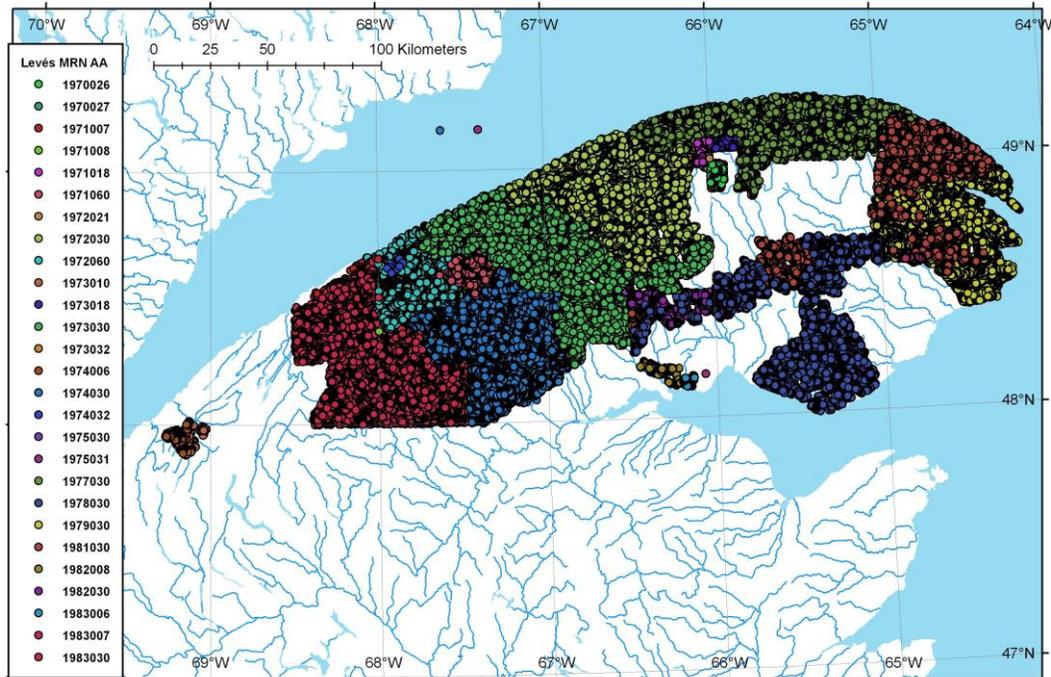


Figure 4. Levés du MRN réalisés dans les années 60-70-80 et analysés par absorption atomique.

Réanalyses par colorimétrie pour l'arsenic

Plusieurs levés ont été réanalysés pour l'arsenic par colorimétrie au milieu des années 80 (Choinière, 1987). Un total de 8 587 échantillons ont été ainsi réanalysés (**Figure 5**).

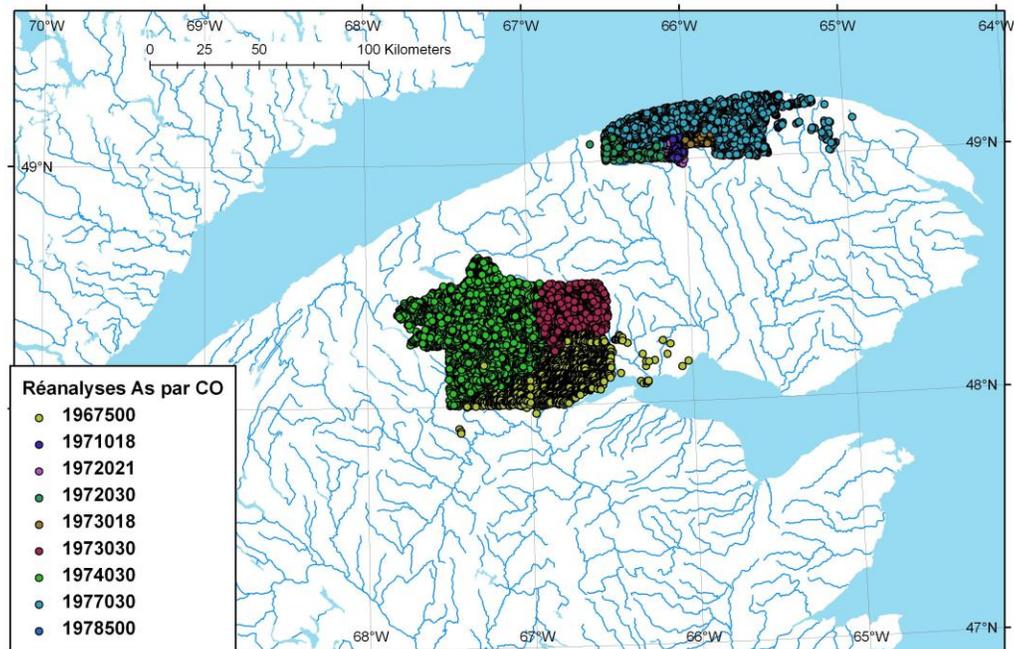


Figure 5. Réanalyses de l'arsenic par colorimétrie, 1987.

Analyses par spectrométrie d'émission de plasma

Deux levés réalisés dans le secteur du Bas-Saint-Laurent ont été réalisés au début des années 90 (Choinière 1994; Choinière, 1996). Il s'agit des levés 1992030 et 1993030 (**Figure 6**). Ces levés ont été analysés par spectrométrie d'émission de plasma (PL) pour 38 éléments et par activation neutronique pour As, Au, Br, Cs, Sm, Se, Tm et W. Ils contiennent environ 14 000 échantillons.

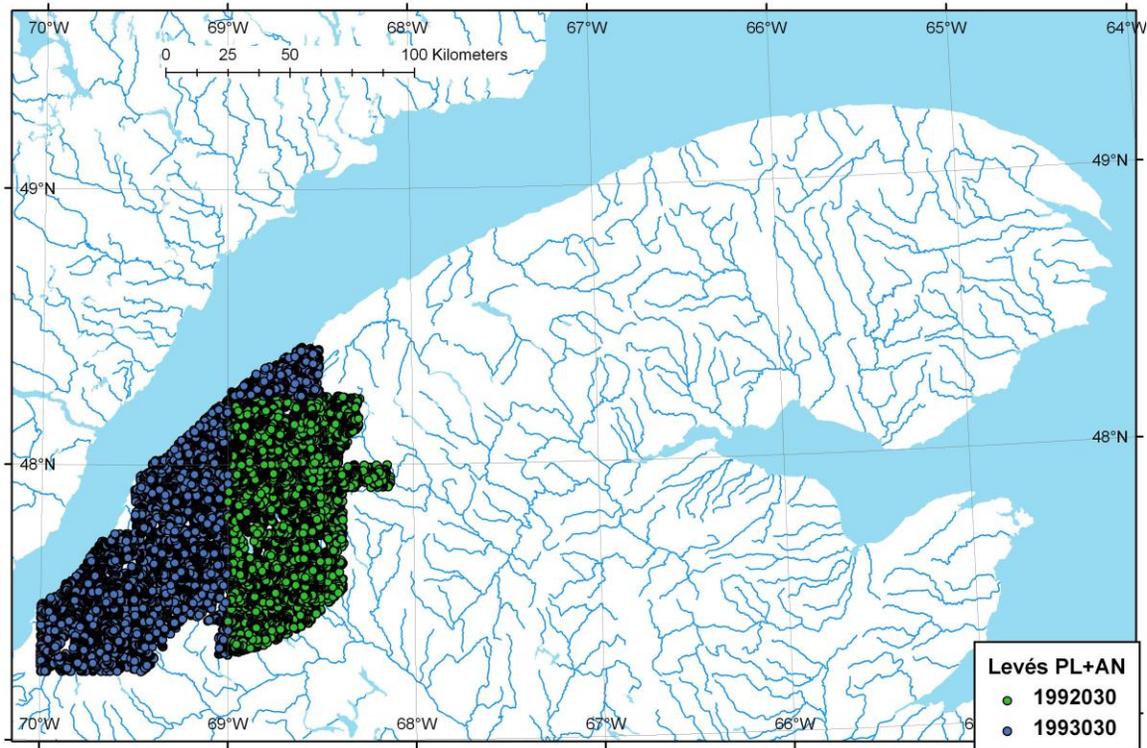


Figure 6. Levés 1992030 et 1992030 du Bas-Saint-Laurent, analysés par émission de plasma et activation neutronique.

Réanalyses par activation neutronique

Des réanalyses d'environ 25 000 échantillons ont été publiées en 1992 (Choinière, 1992a et b; **Figure 7**). Ces analyses ont été réalisées par activation neutronique et incluent As, Au, Br, Cs, Sm, Se, Tm et W.

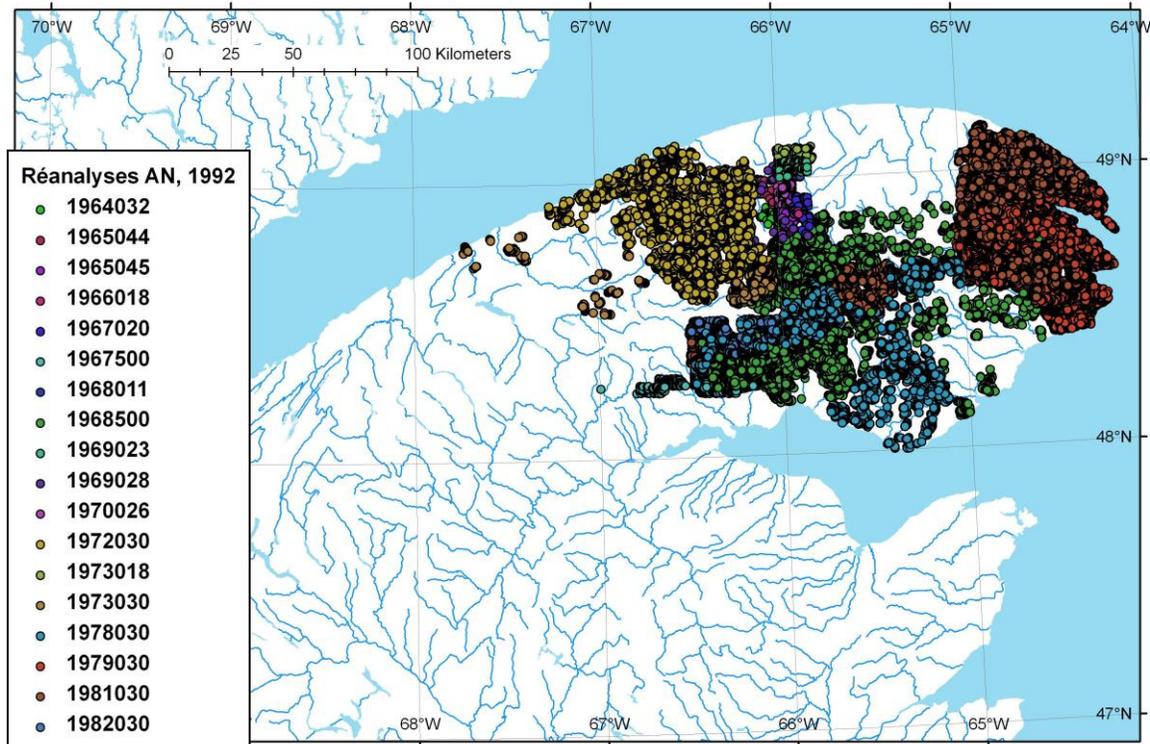


Figure 7. Réanalyses par activation neutronique, 1992.

Analyses et réanalyses par spectrométrie de masse de plasma, 2002

En 2002, 406 échantillons ont fait l'objet d'analyses par spectromètre de masse. Cent quarante-quatre (144) de ces analyses ont été faites sur des échantillons anciens et le reste sur de nouveaux échantillons. Ces analyses sont localisées sur deux gîtes de la partie sud de la Gaspésie (Reboul et Saint-André; **Figure 8**). Notons que, dans le SIGEOM, on ne trouve pas de rapport technique décrivant ces analyses.

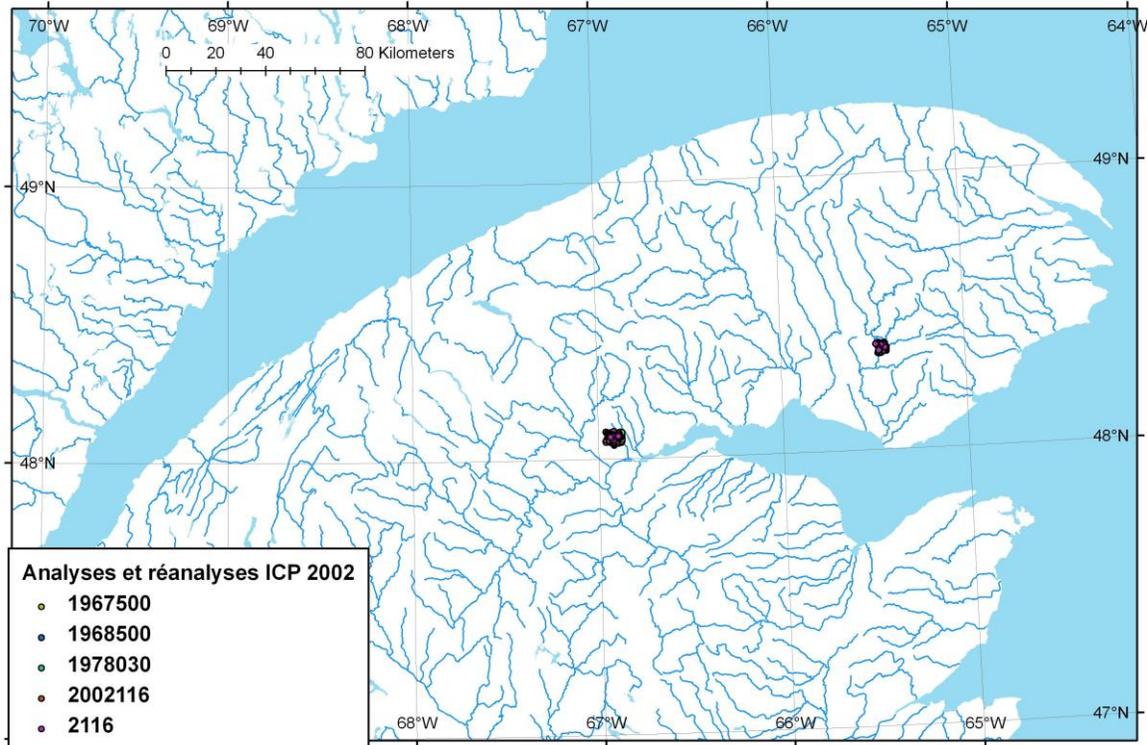


Figure 8. Analyses et réanalyses par spectromètre de masse, 2002.

Réanalyses par spectrométrie de masse de plasma, 2009

Une série d'environ 7 500 échantillons du centre de la Gaspésie ont fait l'objet de réanalyses par ICP pour une cinquantaine d'éléments en 2009 (Boulaïcen *et al.*, 2009) (**Figure 9**). Ce sont les analyses les plus récentes et les plus complètes de la région. Elles seront utilisées pour comparer les analyses antérieures et comme base pour réaliser le nivellement de plusieurs éléments.

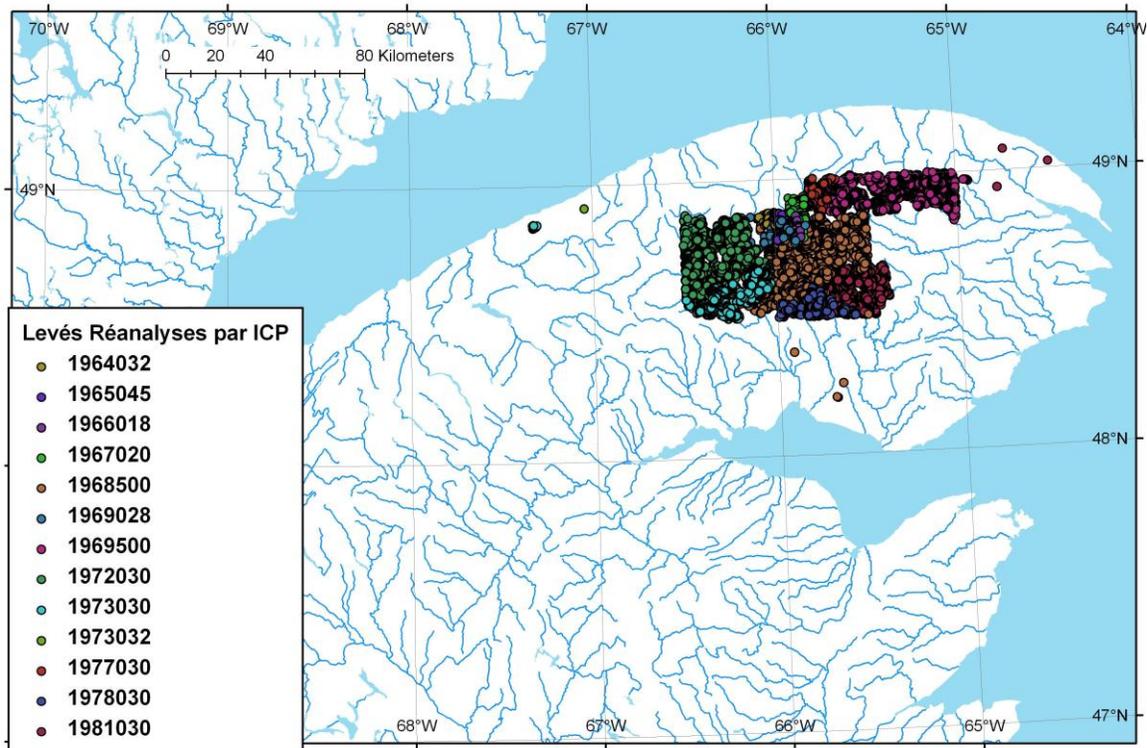


Figure 9. Réanalyses par ICP, 2009.

2.2 Évaluation de la qualité des données des fractions fines

Statistiques d'évaluation de la qualité

Les différentes phases de réanalyses (ICP, AN) permettent d'évaluer la qualité des analyses plus anciennes. On peut comparer, échantillon par échantillon, les valeurs des analyses plus anciennes avec celles de réanalyses. La première statistique qui a été calculée est le coefficient de corrélation de Spearman (corrélation basée sur le rang). Cette mesure permet de connaître la relation globale entre les deux analyses. On peut également calculer la récurrence des anomalies entre deux méthodes analytiques. Pour ce faire, on a mesuré les proportions des anomalies du 99^e centile ou plus sur une méthode qui ont un centile d'au moins 96 par l'autre méthode. On a également mesuré la proportion des anomalies du 95^e centile qui ont un centile d'au moins 90 par l'autre méthode. Seuls les éléments pour lesquels au moins 200 échantillons ont été réanalysés ont été considérés dans ces calculs. Le **Tableau 1** présenté ici montre des résultats moyens pour tous les levés.

Tableau 1. Évaluation statistique de la qualité des analyses pour les échantillons réanalysés

Élément	Méthode 1	Méthode 2	Corrélation	Récurrence des anomalies du 99 ^e centile (%)	Récurrence des anomalies du 95 ^e centile (%)
Ag	AA	ICP	0,20	25,62	17,28
As	AA	AN	0,90	100,00	97,66
As	AA	ICP	0,95	91,67	93,65
As	AN	ICP	0,94	98,50	99,24
Au	AN	ICP	0,03	30,72	32,0
Co	AA	ICP	0,79	74,65	79,07
Cs	AN	ICP	0,70	82,98	75,16
Cu	AA	ICP	0,82	95,47	94,04
Cu	CO	ICP	0,65	91,67	58,77
Mn	AA	ICP	0,95	99,09	96,55
Mo	AA	ICP	0,41	91,53	30,38
Mo	CO	ICP	0,37	27,72	62,03
Ni	AA	ICP	0,92	98,94	94,79
Pb	AA	ICP	0,75	96,52	97,25
Pb	CO	ICP	0,43	66,67	77,72
Sb	AA	AN	-0,15	33,33	24,62
Sb	AN	ICP	0,72	91,43	87,68
Se	AN	ICP	0,25	24,75	34,94
Sn	AA	ICP	0,04	4,05	12,50
Sn	CO	ICP	0,14	30,60	25,83
U	AA	AN	0,70	100,00	75,33
U	AN	CP	0,66	78,25	80,24
U	AN	FL	0,84	92,86	97,05
U	AN	ICP	0,90	97,86	99,46
U	CP	ICP	0,74	82,20	83,40
U	FL	ICP	0,91	98,86	98,45
W	AN	ICP	0,20	65,15	63,41
Zn	AA	ICP	0,94	97,94	95,93
Zn	CO	ICP	0,79	58,33	58,77

Absorption atomique

On constate d'abord que les analyses par absorption atomique pour As, Cu, Mn, Ni, Pb et Zn sont globalement assez fiables. Les corrélations varient de 0,75 (Pb) à 0,95 (Mn) lorsque comparées aux analyses par ICP. La récurrence des anomalies du 99^e centile est excellente et varie de 95,5 % (Cu) à 100 % (U). La **Figure 10** montre un exemple de relation entre les analyses par AA et ICP pour le zinc. On peut toutefois noter sur ce graphique des problèmes avec 3 réanalyses par ICP (gauche du graphique) et avec une vingtaine d'analyses du levé 1972030. L'examen des résultats par levés indique que ceux réalisés par SOQUEM (1967500 à 1969500) sont également de bonne qualité pour ces éléments.

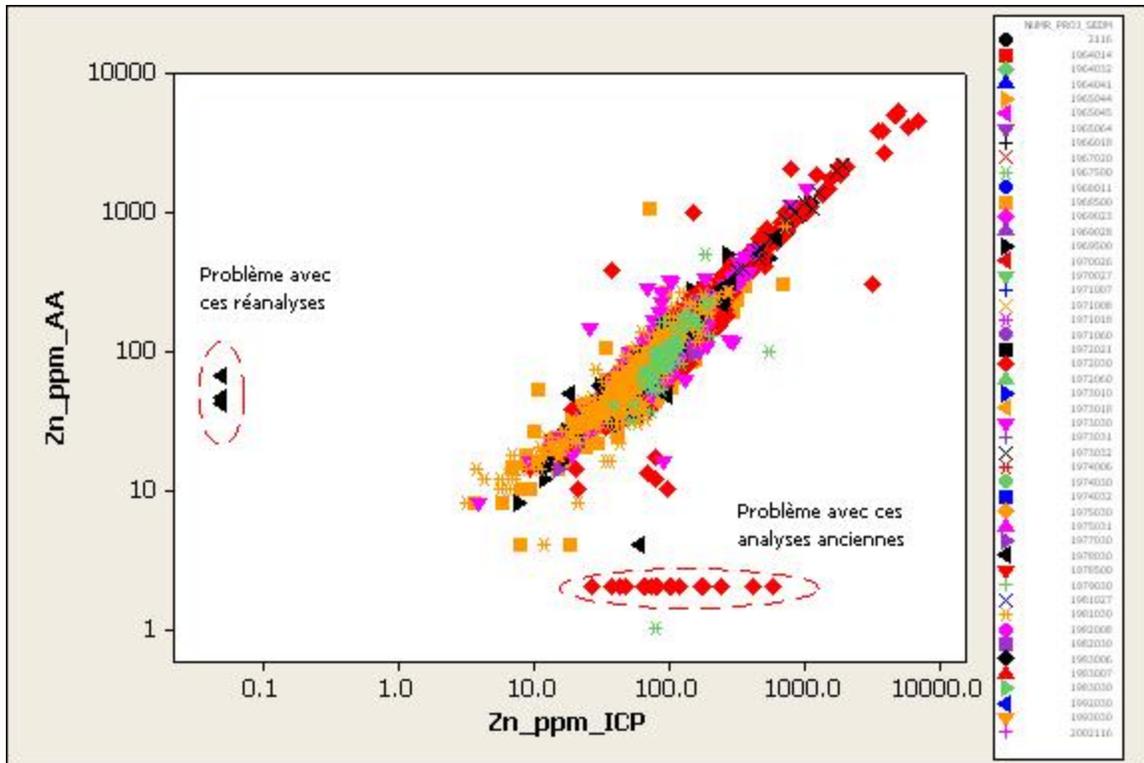


Figure 10. Relation entre les valeurs analysées en Zn par AA et ICP. N = 7000.

Pour Mo, les corrélations sont faibles (0,41) mais le taux de récurrence des anomalies est excellent. Le faible taux de corrélation est essentiellement dû à la limite de détection élevée de l'absorption atomique pour cet élément (**Figure 11**). Toutefois, le taux de récurrence indique que les anomalies en Mo sont bel et bien correctes.

Co est un cas intermédiaire, avec une corrélation entre 0,76 et 0,8 et un taux de récurrence de 74,6 % (**Figure 12**). Ces plus faibles statistiques semblent être dues à des problèmes sur certaines analyses des levés 1967500 et 1972030.

Ag, Sb et Sn montrent plutôt des corrélations inférieures à (0,02-0,4) et des récurrences d'anomalies faibles (4 à 33 %). Sn a, en particulier, une limite de détection très élevée par absorption atomique, qui fait que presque toutes les analyses sont sous le niveau de détection. Pour Sb, les valeurs par absorption atomiques sont en moyenne plusieurs fois plus élevées que celles par ICP, ce qui est anormal puisque les deux analyses utilisent des extractions partielles (**Figure 13**). Finalement, pour Ag, les différences entre différents levés analysés par absorption atomique sont si grandes que des problèmes analytiques sérieux sont suspectés (**Figure 14**).

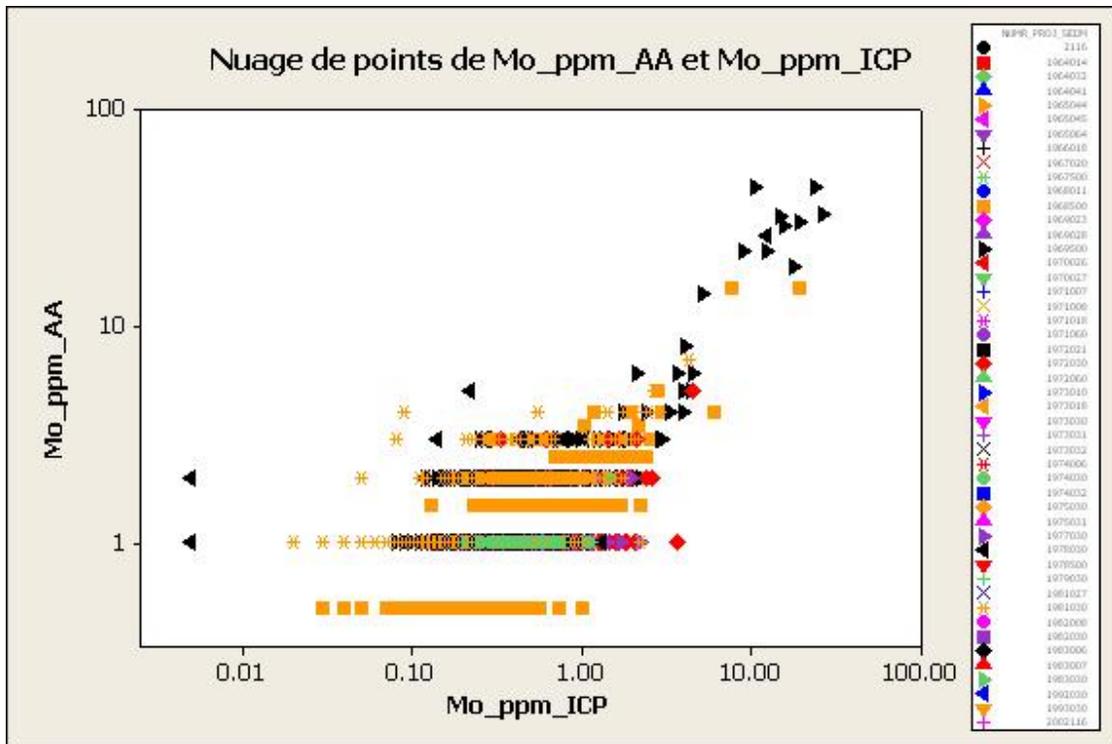


Figure 11. Relation entre les valeurs analysées en Mo par AA et ICP.

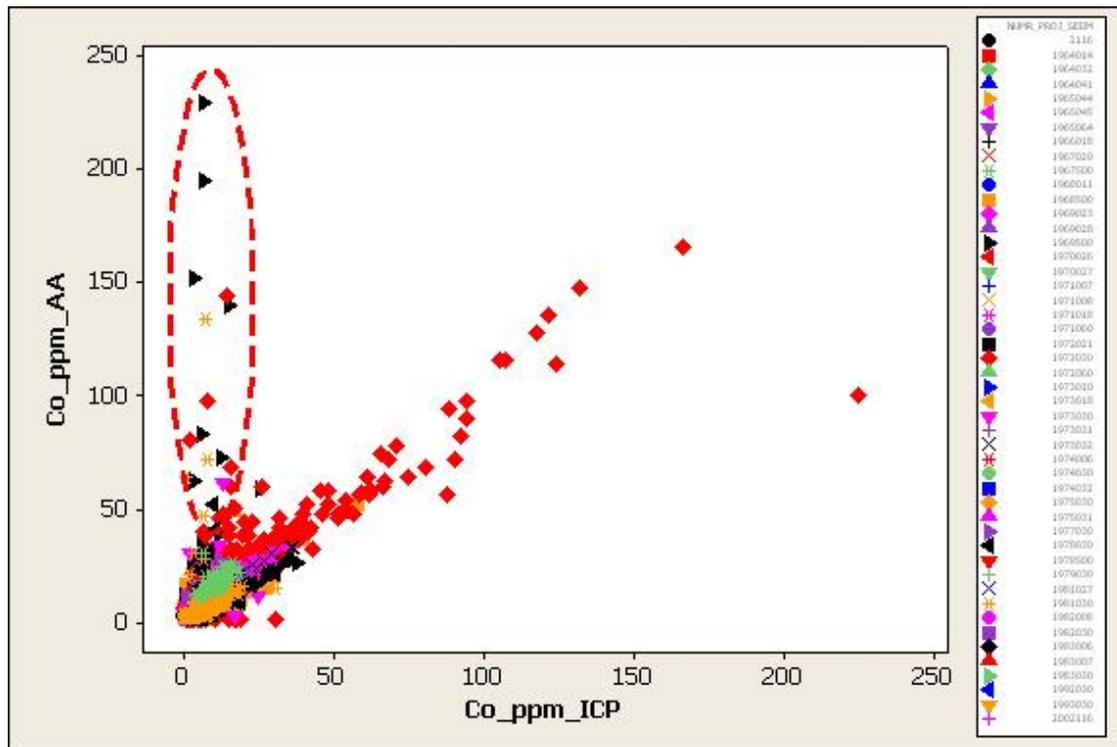


Figure 12. Relation entre les valeurs analysées en Co par AA et ICP.

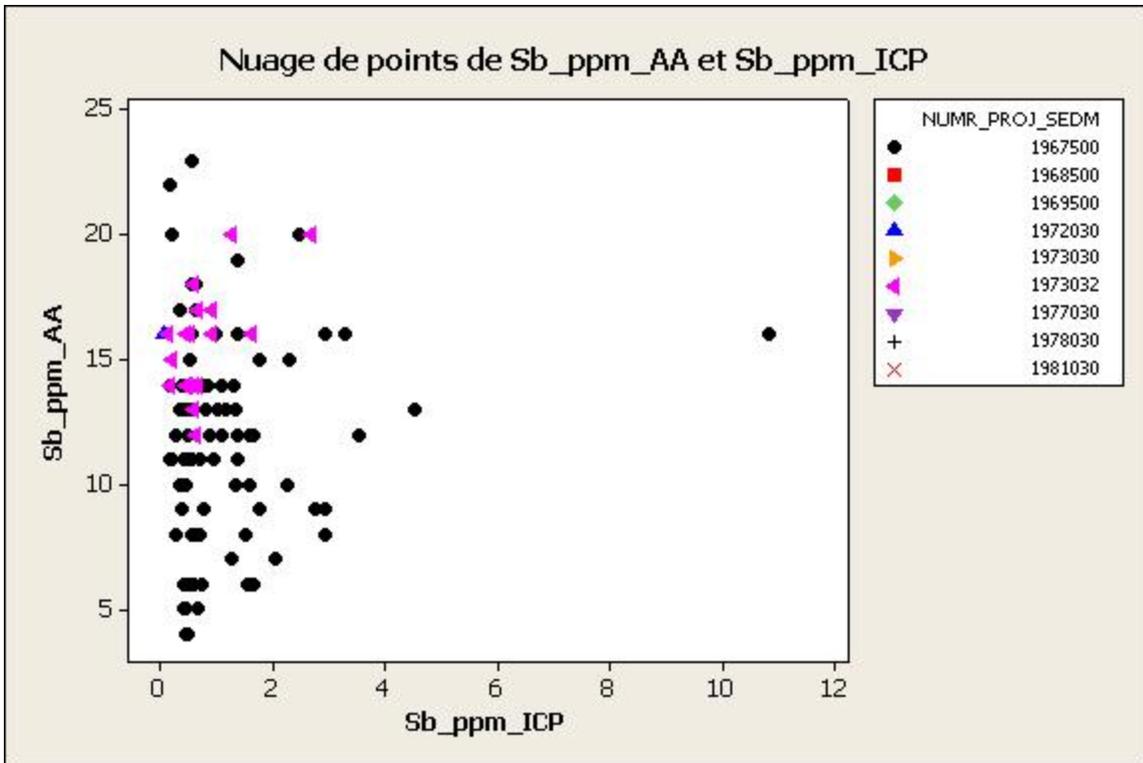


Figure 13. Relation entre les valeurs analysées en Sb par AA et ICP

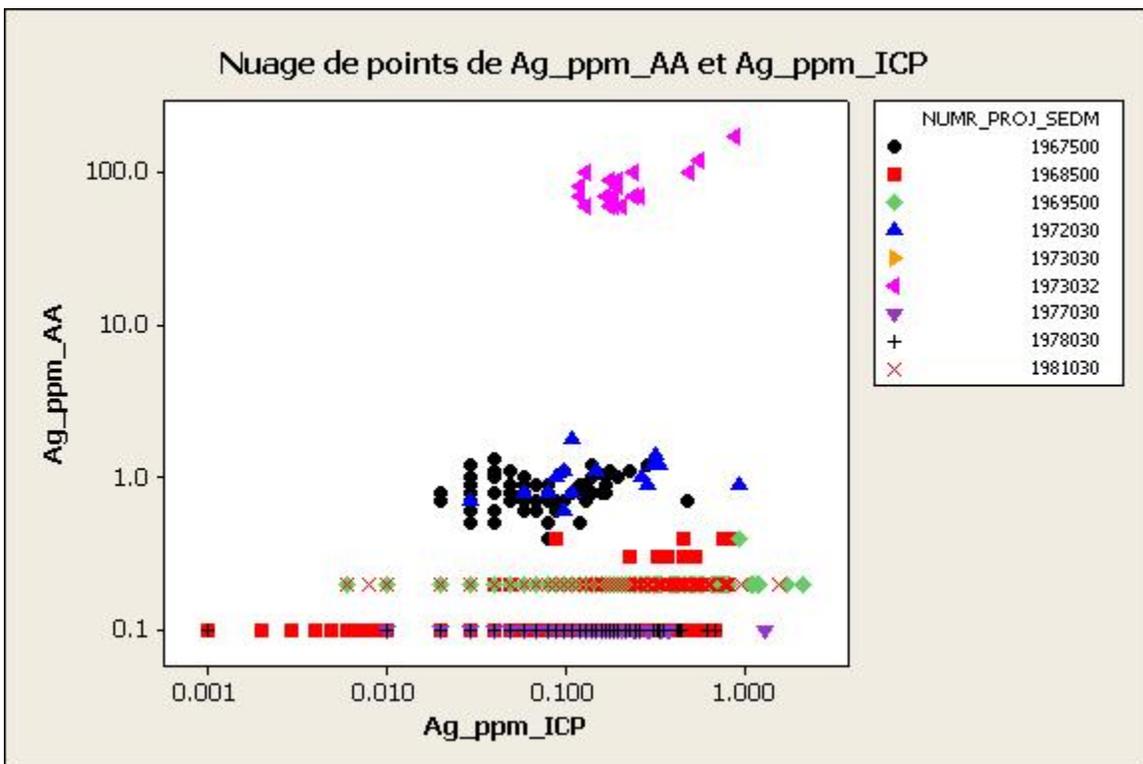


Figure 14. Relation entre les valeurs analysées en Ag par AA et par ICP.

Colorimétrie

Les analyses par colorimétrie pour Cu, Mo, Pb et Zn montrent globalement des corrélations qui sont nettement plus faibles que les analyses par absorption atomique. Les corrélations de ces éléments sont de 0,65 (Cu), 0,37 (Mo), 0,43 (Pb) et 0,79 (Zn). Les taux de récurrence d'anomalies du 99^e centile sont en général assez variables : 27 % (Mo), 59 % (Zn), 91 % (Cu) et 66 % (Pb). Toutefois, les récurrences d'anomalies du 95^e centile sont toutes sous 80 % pour tous les éléments. On peut observer la relation entre les deux analyses pour Zn sur la **Figure 15**. Ces différences avec l'absorption atomique ne peuvent être dues à la méthode d'extraction puisque les analyses par colorimétrie et par absorption atomique utilisaient une même mise en solution (HNO₃ pour Cu, Pb, Zn et HCl pour Mo).

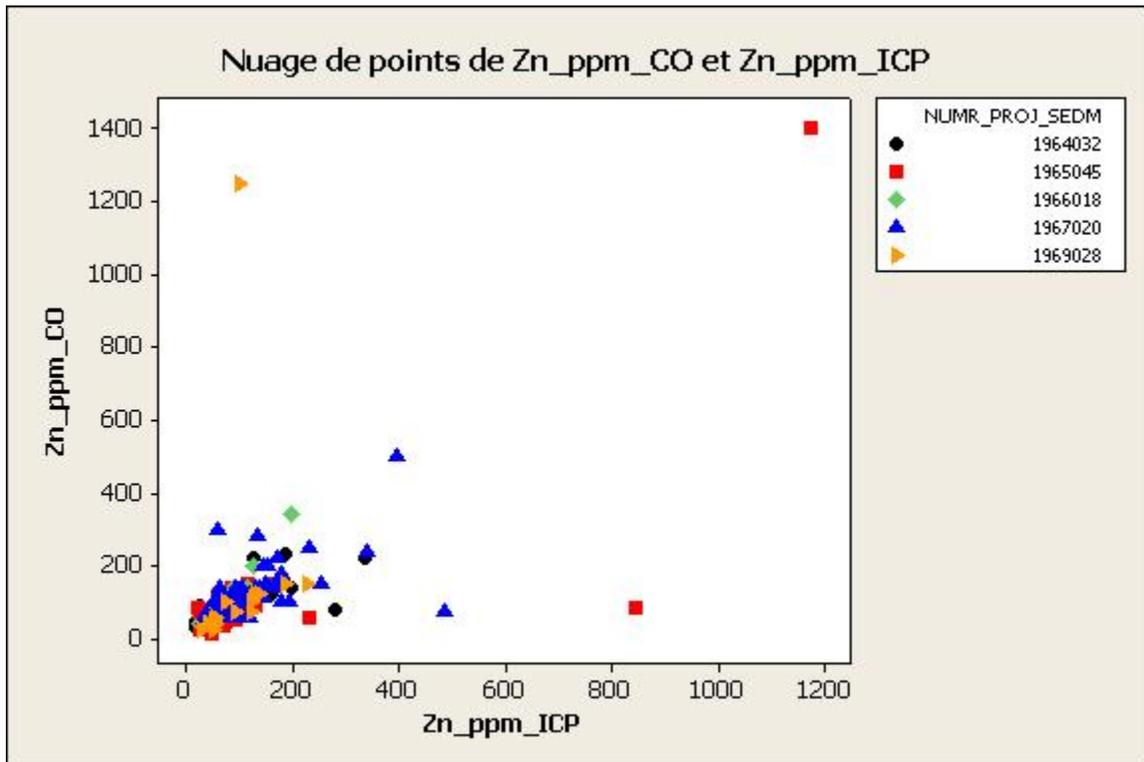


Figure 15. Relation entre les valeurs analysées en Zn par CO et ICP.

Chromatographie papier et fluorimétrie

Les analyses d'uranium par chromatographie papier des années 60 et 70 montrent des corrélations moyennes (0,66 vs AN et 0,74 vs ICP) mais des taux de récurrence des anomalies qui sont moyens à bon (78 % vs AN et 82 % vs ICP). Les analyses par fluorimétrie des années 70 et 80 semblent excellentes avec une corrélation de 0,91 et une récurrence de 99 %.

Activation neutronique (AN)

Certaines réanalyses par activation neutronique des années 90 ont fait l'objet de réanalyses par ICP en 2009. Les corrélations et récurrences d'anomalies sont excellentes pour As (0,94; 100 %) et U (0,9; 97,8 %; **Figure 18**). Les éléments Sb (0,72; 91,4 %) et Cs (0,70; 82,9 %) constituent des cas intermédiaires. Pour W (**Figure 17**), la corrélation est faible mais la récurrence d'anomalies est moyenne (0,20; 65 %). Finalement, pour Se et Au, les deux mesures sont très faibles (0,25; 24,7 %). La **Figure 16** montre la relation AN-ICP pour l'or. On y remarque en particulier que plusieurs anomalies par AN ne sont pas observées en ICP et vice-versa.

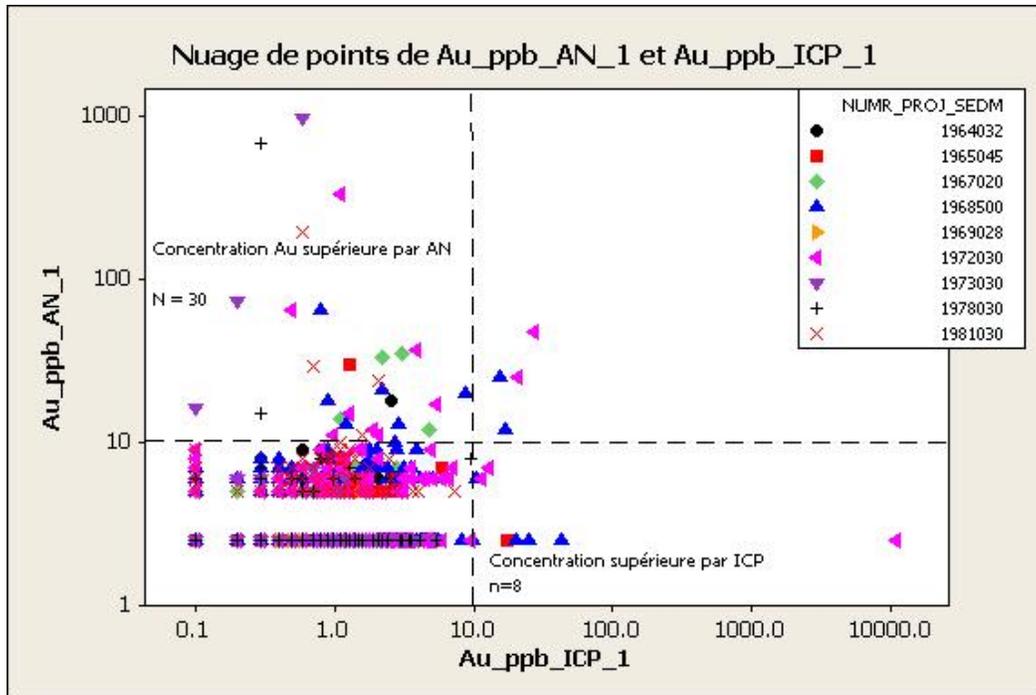


Figure 16. Relation entre les valeurs analysées en Au par AN vs ICP.

Ces résultats pour Sb, Cs, W, Au et Se sont fort probablement dus à la différence entre la dissolution partielle de l'analyse par ICP (extraction eau régale) par rapport à l'activation neutronique qui est une analyse totale. Si on considère le cas de l'or, il est connu que l'analyse de cet élément suite à des extractions par eau régale donne en général des teneurs plus basses que par activation neutronique (de 20 à 70 % plus faibles; Terashima *et al.*, 1992). Par exemple, de l'or très fin en inclusion dans du quartz pourrait ne pas être détecté par ICP suite à l'aqua regia. Ceci peut expliquer les cas où les concentrations par AN sont plus élevées que par ICP. Toutefois, ceci ne peut expliquer la présence d'anomalies par ICP qui ne sont pas visibles par AN (ex : 11 275 ppb Au par ICP et <5 par AN).

Un nombre important d'anomalies par activation neutronique n'apparaissent donc pas par spectrométrie de masse par extraction par eau régale (ICP). Cette observation suggère de remettre en question l'analyse systématique de l'or par ICP-eau régale dans les levés de géochimie de l'environnement secondaire. Il pourrait être approprié d'analyser l'or par une méthode totale (ICP-dissolution 4 acides ou activation neutronique) pour s'assurer d'obtenir la totalité de cet élément d'intérêt économique.

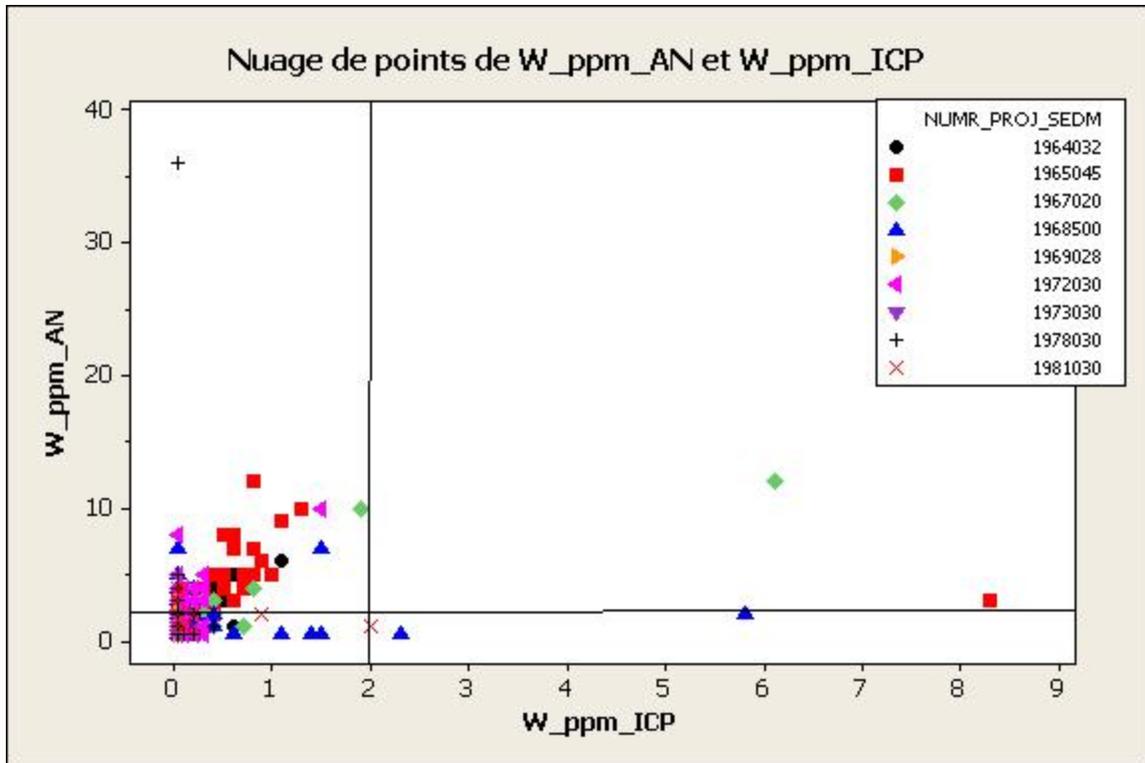


Figure 17. Relation entre les valeurs analysées en W par AN vs ICP.

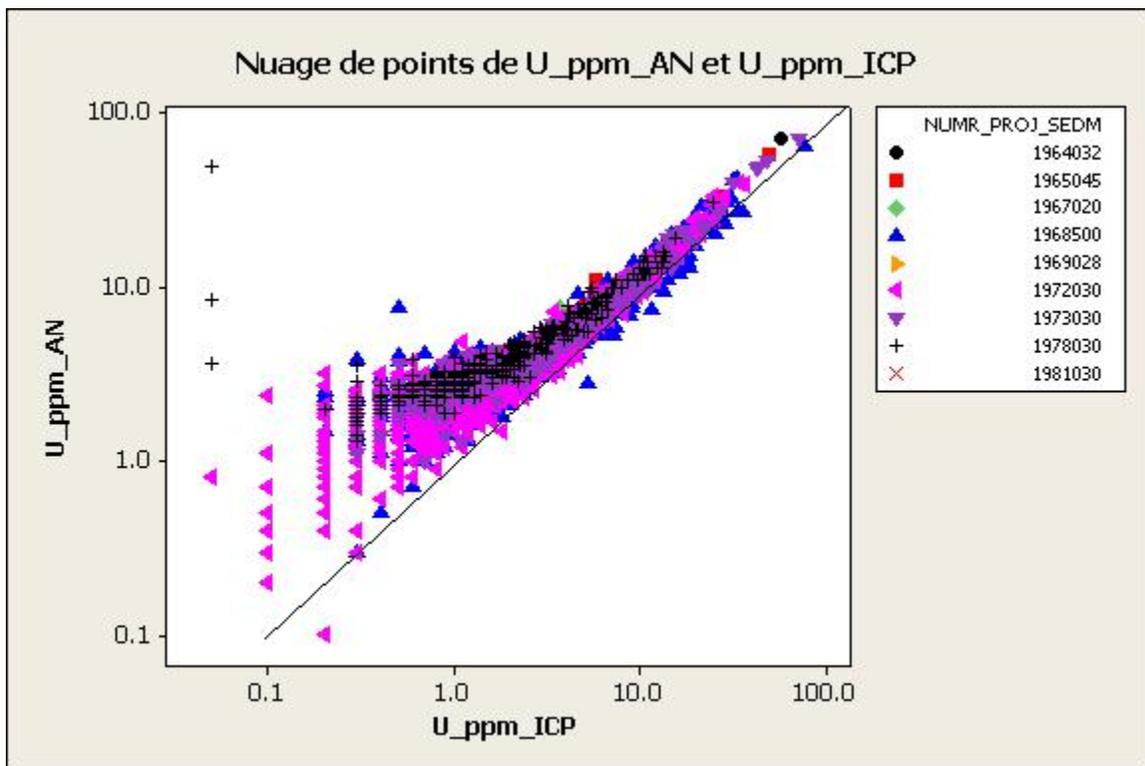


Figure 18. Relation entre les valeurs analysées en U par AN vs ICP.

2.3 Prétraitement des données selon l'évaluation de la qualité

Suite à la discussion précédente, on peut conclure que les analyses de colorimétrie pour Zn, Mo, Sn et Pb ne sont pas de qualité suffisante lorsqu'on les compare avec les réanalyses par ICP aqua regia. Les différences ne peuvent être dues au fait que ces analyses utilisaient une extraction par acide nitrique car les levés par absorption atomique réalisés plus tard utilisaient également l'acide nitrique et ces derniers se comparent bien avec ICP pour ces éléments. En conséquence, *tous les échantillons analysés uniquement par colorimétrie seront simplement ignorés dans ce projet*. Les réanalyses d'arsenic des années 80 par colorimétrie sont toutefois conservées.

Les analyses pour Ag, Sb et Sn par absorption atomique seront ignorées en raison des problèmes évoqués à la section précédente pour ces analyses. Les analyses en Bi, Hg et W par AA seront également ignorées en raison du petit nombre d'échantillons analysés pour ces éléments (quelques centaines au plus, dans des secteurs très restreints).

Les analyses d'uranium par chromatographie papier et fluorimétrie seront conservées.

Il est probable que les différences perçues dans les analyses de Au, Cs, Sb, Se et W par AN par rapport à ICP soient essentiellement dues au fait que les analyses par AN sont totales et que celles par ICP sont partielles de par l'extraction aqua regia. Les deux séries d'analyses seront donc conservées mais seront traitées séparément. Les analyses par ICP pour ces éléments sont « partielles » et celles par activation neutronique sont « totales ».

Suite à ces observations, les règles suivantes ont été appliquées sur la base de données :

1. Les échantillons qui sont uniquement analysés par colorimétrie ont été supprimés de la banque.
2. Les analyses par ICP et PL sont toutes conservées et seront identifiées comme « partielles », avec préfixe p.
3. Les analyses par absorption atomique (sauf Ag, Bi, Hg, W, Sb et Sn) seront utilisées et identifiées comme « partielles », sauf dans le cas où des réanalyses par ICP sont disponibles (les analyses par ICP ont alors priorité).
4. Les analyses d'uranium par chromatographie papier et par fluorimétrie seront conservées et identifiées comme « partielles », sauf dans le cas où des analyses par ICP sont disponibles. La fluorimétrie a priorité sur la chromatographie.
5. Les analyses d'arsenic par colorimétrie seront conservées et identifiées comme partielles, sauf dans le cas où des réanalyses par ICP ou par absorption atomique sont disponibles. Toutes les autres analyses par colorimétrie ont été éliminées.
6. Les analyses pour U, W, Se, Au, As, Cs, Br et Sb par activation neutronique, ainsi que U par fluorimétrie, sont conservées et identifiées comme « totales », avec préfixe t.

3 NIVELLEMENT DES DONNEES

Les analyses des sédiments de ruisseaux de la Gaspésie ont été réalisées sur plus de 40 ans. Les laboratoires et les détails des méthodes analytiques ont beaucoup varié sur cet intervalle de temps. Pour obtenir une image uniforme de la géochimie, le nivellement des données est nécessaire.

Plusieurs exemples de problèmes de nivellement entre différents levés sont apparents. Les **Figures 19** et **20** montrent des exemples de problèmes de nivellement dans différents secteurs et pour différents éléments.

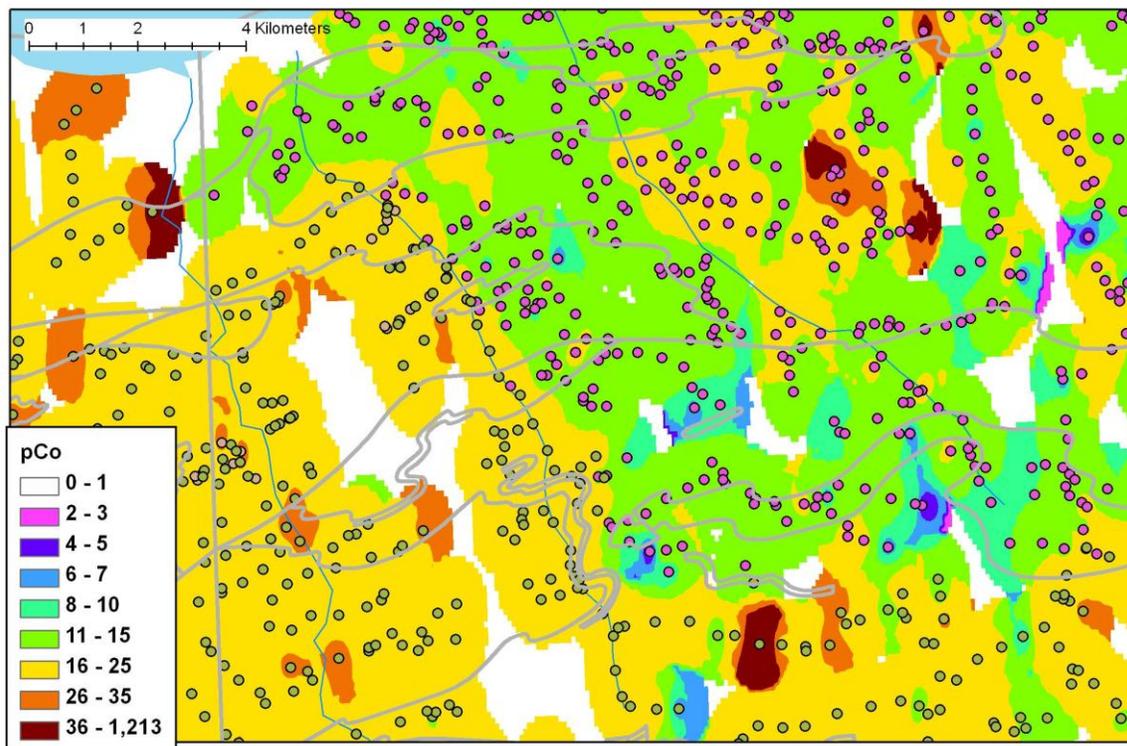


Figure 19. Problème de nivellement pour pCo entre 1972030 et 1977030.

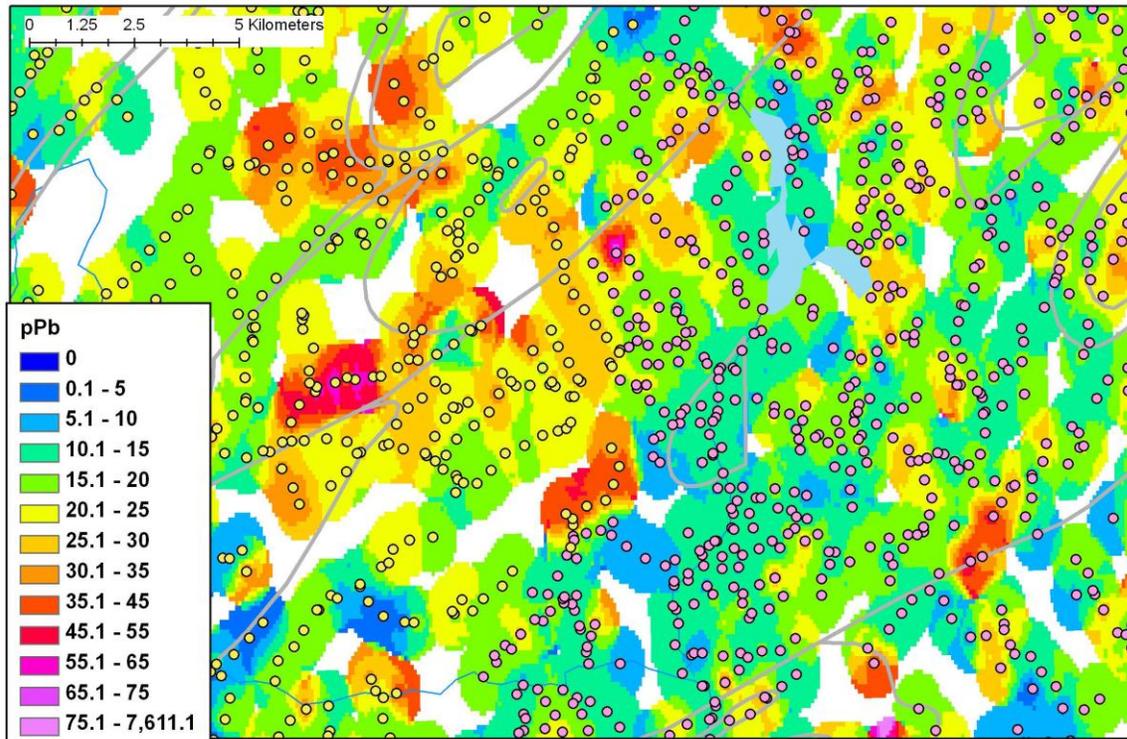


Figure 20. Problème de nivellement pour pPb entre 1983030 et 1992030.

3.1 Méthode de nivellement

En 2009, le Ministère des Ressources naturelles du Québec a procédé à la réanalyse de plus de 7 000 échantillons du centre de la Gaspésie par ICP (Boulaïhcn *et al.*, 2009). Ces échantillons appartiennent à plusieurs levés antérieurs. Ces levés sont complètement ou partiellement réanalysés. Les échantillons réanalysés ont donc plusieurs valeurs pour certains éléments. La relation entre les valeurs anciennes et les réanalyses peut être étudiée et utilisée comme base pour le nivellement.

Le reste des levés de la Gaspésie n'a pas fait l'objet de réanalyses. Ces levés peuvent toutefois être nivelés pour certains éléments en utilisant la même approche que pour les sédiments de lacs du Québec (Daneshfar et Cameron, 1998; Trépanier, 2005; Lamothe, 2010). Cette méthode repose sur la comparaison d'échantillons de levés adjacents ou partiellement coïncidents et provenant de contextes géologiques et topographiques semblables.

Le nivellement se fera donc en 2 étapes :

1. Nivellement des levés analysés par ICP en comparant les valeurs réanalysées avec les valeurs originales. Le nivellement de ces données peut s'effectuer par comparaison des centiles et régression linéaire.
2. Nivellement du reste de la Gaspésie sur la base de l'adjacence des levés entre eux.

Les fichiers représentant les zones utilisées pour le nivellement de différents éléments ainsi que les équations finales de nivellement sont fournis avec les données numériques du projet.

3.2 Éléments nivelés

Seuls les éléments analysés pour la majorité des levés de la Gaspésie peuvent être nivelés. D'autre part, pour certains éléments, les limites de détection varient considérablement d'un levé à l'autre. Lorsque c'est le cas et qu'un nombre important d'analyses se trouve sous la limite de détection, le nivellement ne peut être effectué de façon correcte (Trépanier, 2005).

En tenant compte des restrictions précédentes, les éléments suivants ont pu être nivelés pour l'ensemble de la région : pAs, pCo, pCu, pMn, pPb, pZn. PMo et pU n'ont pu être nivelés en raison de leurs seuils de détection trop élevés pour plusieurs levés. Tous les autres éléments n'ont pas pu être nivelés en raison du manque de connectivité des levés analysés pour ces éléments.

3.3 Résultats du nivellement

Le nivellement permet d'obtenir des cartes homogènes pour les éléments traités. Les **Figures 21** et **22** montrent les résultats du nivellement pour les exemples mentionnés précédemment.



Figure 21. Valeurs nivelées pour pCo.

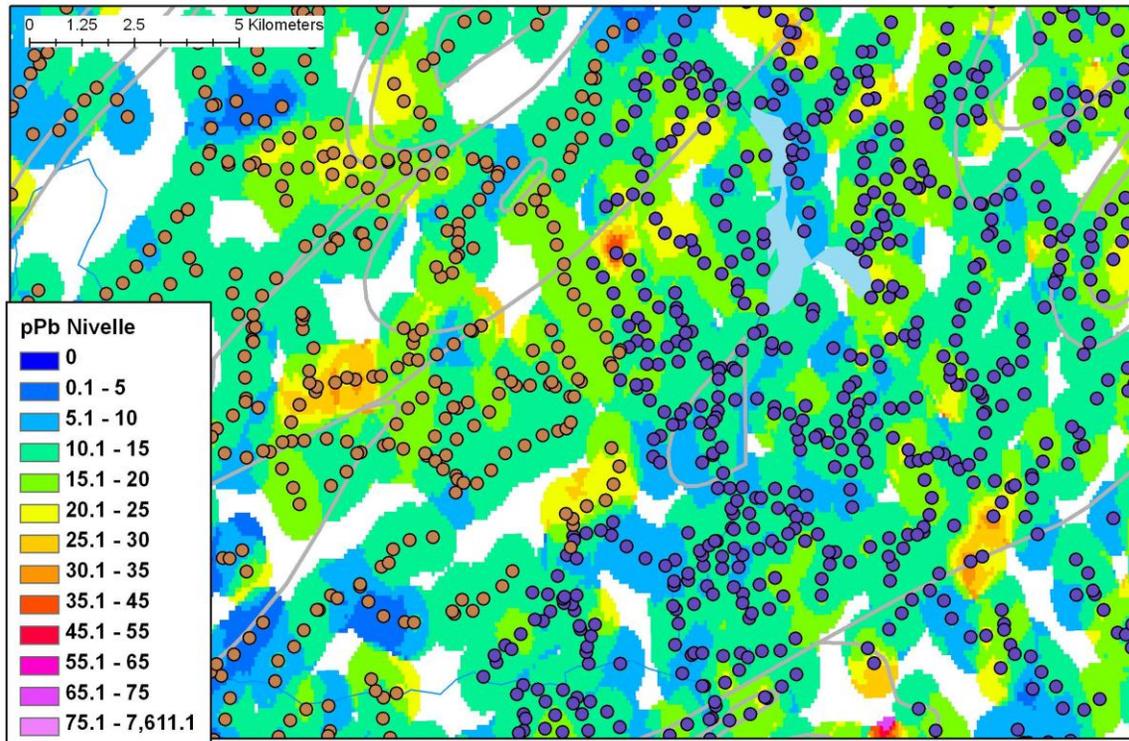


Figure 22. Valeurs nivelées pour pPb.

4 MODELISATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique de la Gaspésie a été modélisé à partir des modèles numériques de terrain. La méthode utilisée est décrite dans Trépanier (2009).

Chaque échantillon de sédiments de ruisseaux a été déplacé pour l'amener vers le ruisseau modélisé le plus proche à l'aide d'une approche automatisée incluse dans le logiciel de traitement des données de l'environnement secondaire du Consorem. Ces déplacements sont normalement de quelques dizaines de mètres et plus rarement de quelques centaines de mètres (pour environ 8 % des cas). En raison du nombre imposant d'échantillons, aucune vérification du déplacement des échantillons n'a été réalisée. Les coordonnées originales des échantillons ainsi que leurs coordonnées replacées sont fournies avec les données numériques du projet.

Les valeurs d'accumulation du drainage des cartes matricielles ont été extraites vers les échantillons déplacés. Cette statistique sera utilisée dans les études statistiques de la Section 5.

5 ÉTUDE STATISTIQUE DES VARIATIONS DU BRUIT DE FOND GEOCHIMIQUE

5.1 Influence de l'environnement secondaire

Les données de géochimie de l'environnement secondaire, y compris celles des sédiments de ruisseaux, sont fortement influencées par les variations au sein de cet environnement secondaire. Des facteurs tels que la quantité de matière organique et la granulométrie du sédiment influencent tout autant les teneurs que les lithologies sous-jacentes. Ces relations ont été démontrées pour les sédiments de lacs de l'ensemble du Québec (Trépanier, 2005), ainsi que pour les sédiments de ruisseaux du sud-ouest du Grenville (Bellehumeur *et al.*, 1994; Trépanier, 2009).

Les réanalyses par ICP réalisées en 2009 (> 7 000 échantillons) pour le secteur du centre de la Gaspésie constituent une opportunité supplémentaire de tester ces relations.

Pour réaliser ce type d'étude, l'information complémentaire sur les échantillons est cruciale. En particulier, l'information sur la couleur et la perte au feu de l'échantillon permet de caractériser les différents types de sédiments. Dans les réanalyses par ICP, on trouve 1 409 échantillons qui ont à la fois la couleur et la perte au feu. Ces analyses sont localisées principalement dans le groupe de Fortin. Elles seront donc celles qui seront utilisées pour étudier les relations entre les teneurs et l'environnement secondaire en Gaspésie (**Figure 23**).

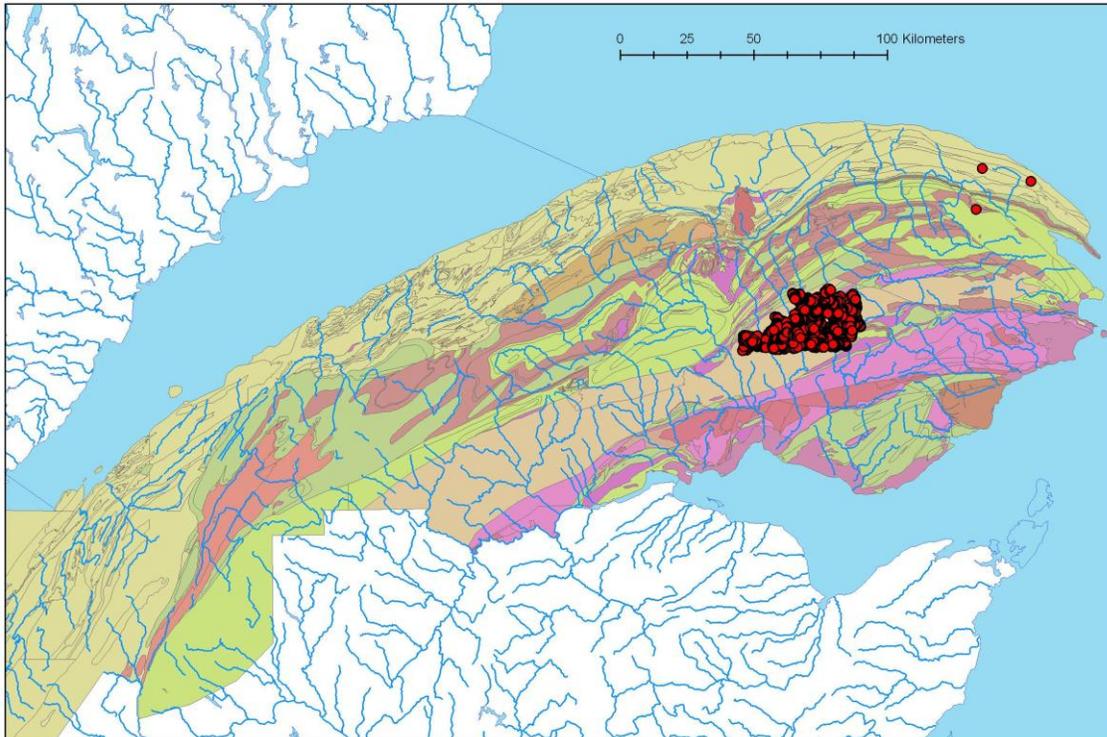


Figure 23. Analyses par ICP contenant la perte au feu et la couleur, pour l'analyse factorielle. La géologie du SIGEOM est mise pour référence (voir Figure 33 pour la légende).

5.1.1 Analyse factorielle

Une analyse factorielle a été réalisée sur les 1 409 réanalyses par ICP décrites précédemment. Quarante-huit (48) des éléments disponibles (y compris la perte au feu) ont été utilisés; quelques éléments ont été rejetés en raison du trop grand nombre de valeurs sous la limite de détection. Les données ont été transformées par la méthode log-centrée (voir Trépanier, 2009 pour les détails) avant d'effectuer l'analyse ceci pour enlever l'influence de l'effet de fermeture des analyses. La matrice de covariance a été utilisée pour l'analyse.

La **Figure 24** montre la contribution des facteurs. Ce graphique permet de constater que les quatre premiers facteurs extraits sont les plus significatifs. Seuls ces quatre facteurs seront interprétés.

L'altitude de l'échantillon et l'accumulation du drainage n'ont pas été inclus dans le calcul des facteurs mais ont été ajoutés comme variables supplémentaires pour l'examen des corrélations (coefficients de corrélation calculés avec les facteurs).

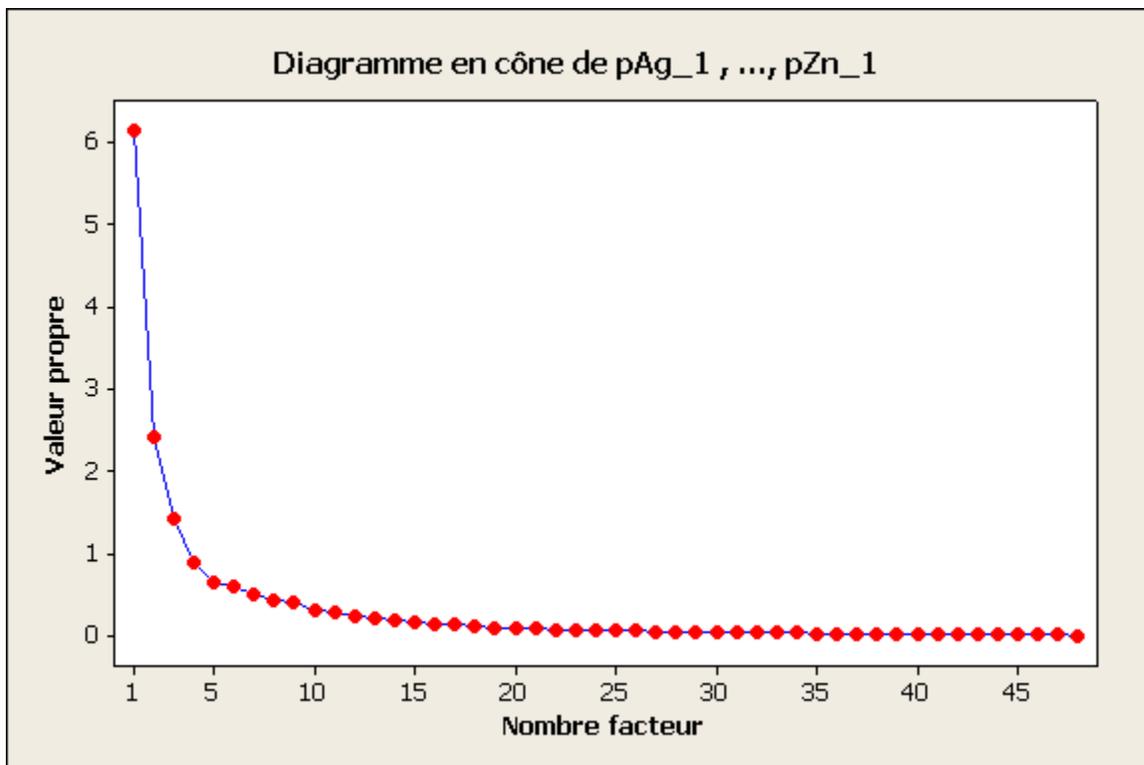


Figure 24. Contributions des facteurs de l'analyse factorielle.

Facteur 1

Le premier facteur (37 % de la variance) est caractérisé par l'opposition entre S, PAF, Cd, Hg, Ca, Se, Se, P, Sb, Mo, Ag, U et Altitude par rapport à Th, Fe, Ce, Al, K, V, Co, Rb, V, Ga, Ni, Mg, As et K (**Figure 25**). Les éléments du premier groupe sont typiquement associés à la matière organique, alors que ceux du second sont plutôt d'affinité avec la fraction clastique. Cette interprétation est confirmée par l'examen de la relation entre les couleurs d'échantillons et ce facteur (**Figure 26**). Les échantillons plus foncés sont plus riches en matière organique. Les échantillons organiques tendent à être concentrés sur les sommets alors que les inorganiques se trouvent dans les vallées (**Figure 27**).

Certains éléments montrent des comportements particuliers dans ce groupe. Il est par exemple plutôt surprenant de trouver l'arsenic du côté de l'association clastique de même que de trouver l'argent du côté organique.

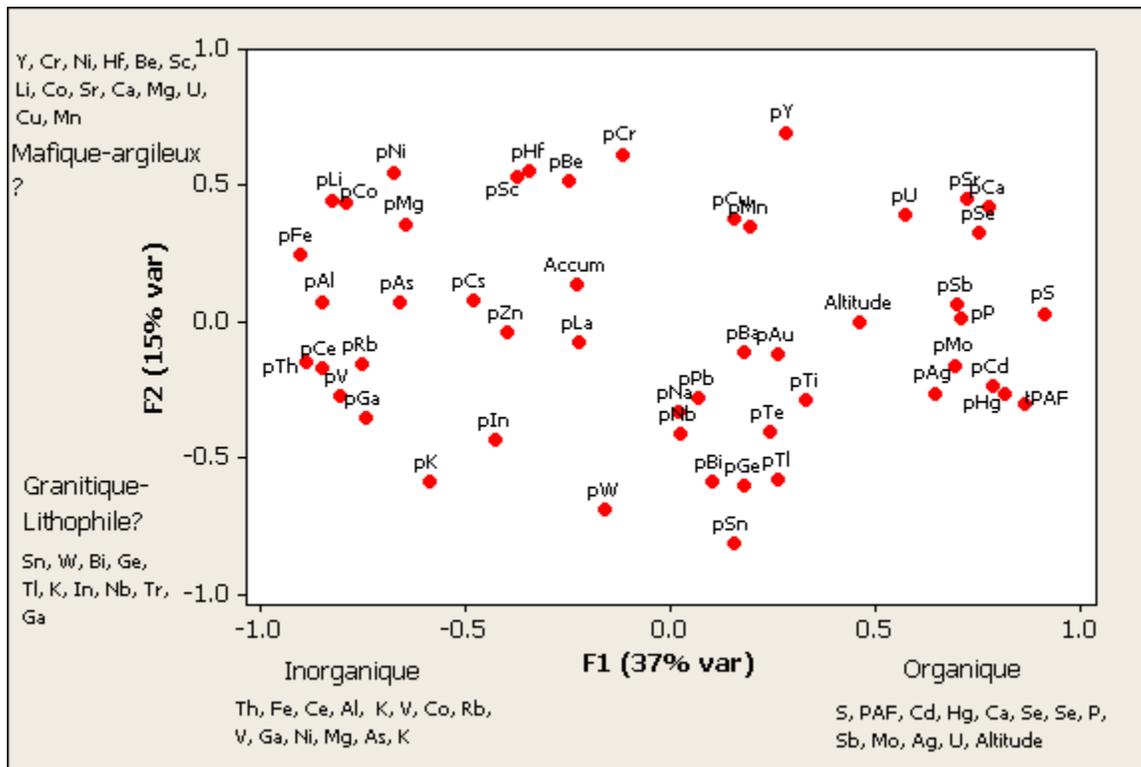


Figure 25. Corrélations entre les éléments et les facteurs 1 et 2.

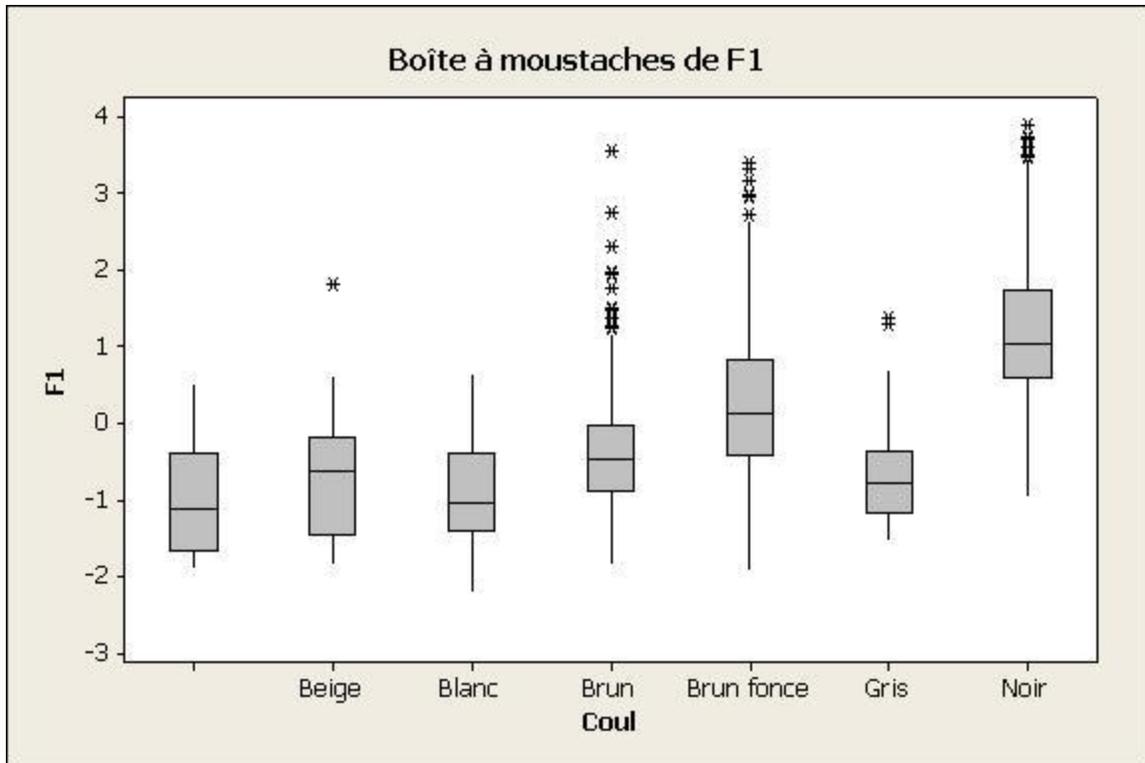


Figure 26. Relation entre le facteur 1 et la couleur de l'échantillon.

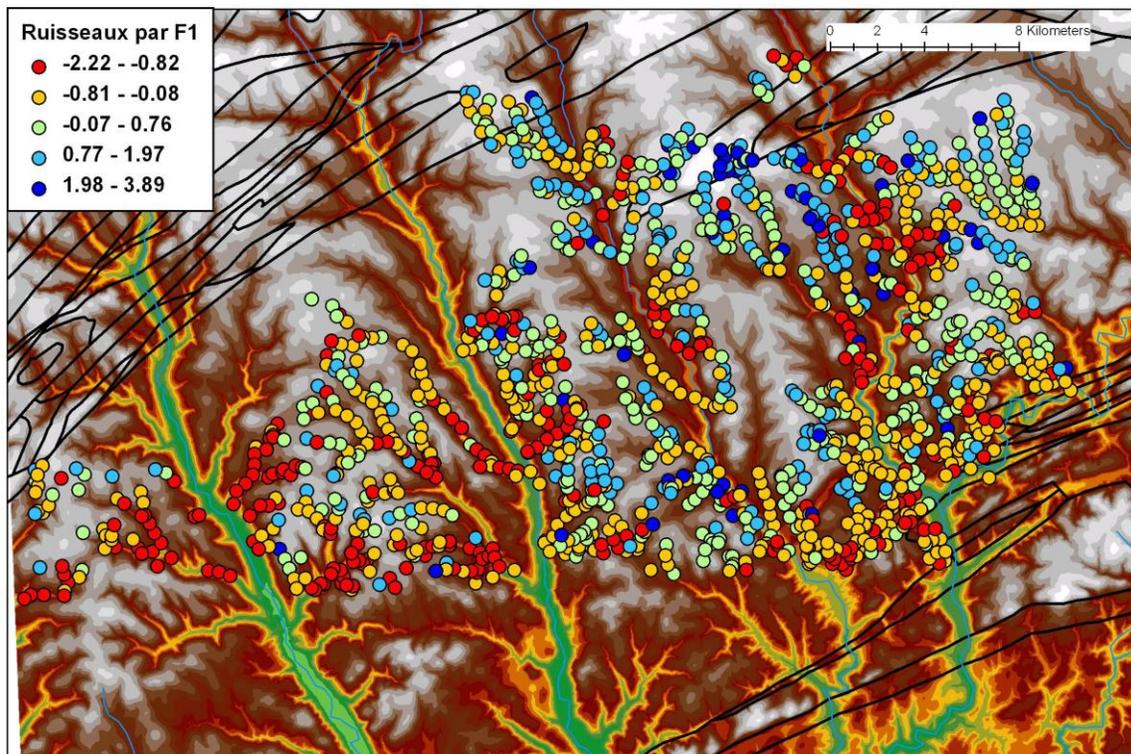


Figure 27. Distribution des valeurs du facteur 1 par rapport à la topographie.

Facteur 2

Le facteur 2 est caractérisé par une opposition entre un groupe d'éléments d'affinité lithophile-granitique (Sn, W, Bi, Ge, Tl, K, In, Nb, Tr, Ga) et un autre qui contient plusieurs éléments normalement concentrés dans les roches mafiques ou dans les argiles (Y, Cr, Ni, Hf, Be, Sc, Li, Co, Sr, Ca, Mg, U, Cu, Mn) (**Figure 26**). Les sédiments ayant des valeurs très négatives de ce groupe (pôle lithophile) ont également tendance à être plus pâles (**Figure 28**).

Une cartographie au 1 : 20 000 disponible pour le quadrant nord-est du feuillet 22A12 permet de constater que le secteur, qui apparaît d'abord assez homogène, contient en fait de nombreuses petites intrusions mafiques à felsiques de la suite intrusive de Lemieux (**Figure 29**). De petites unités de volcanites mafiques sont également observées. La signature lithophile observée dans les valeurs négatives du facteur 2 pourrait être due à la présence de dykes granitiques de la suite de Lemieux.

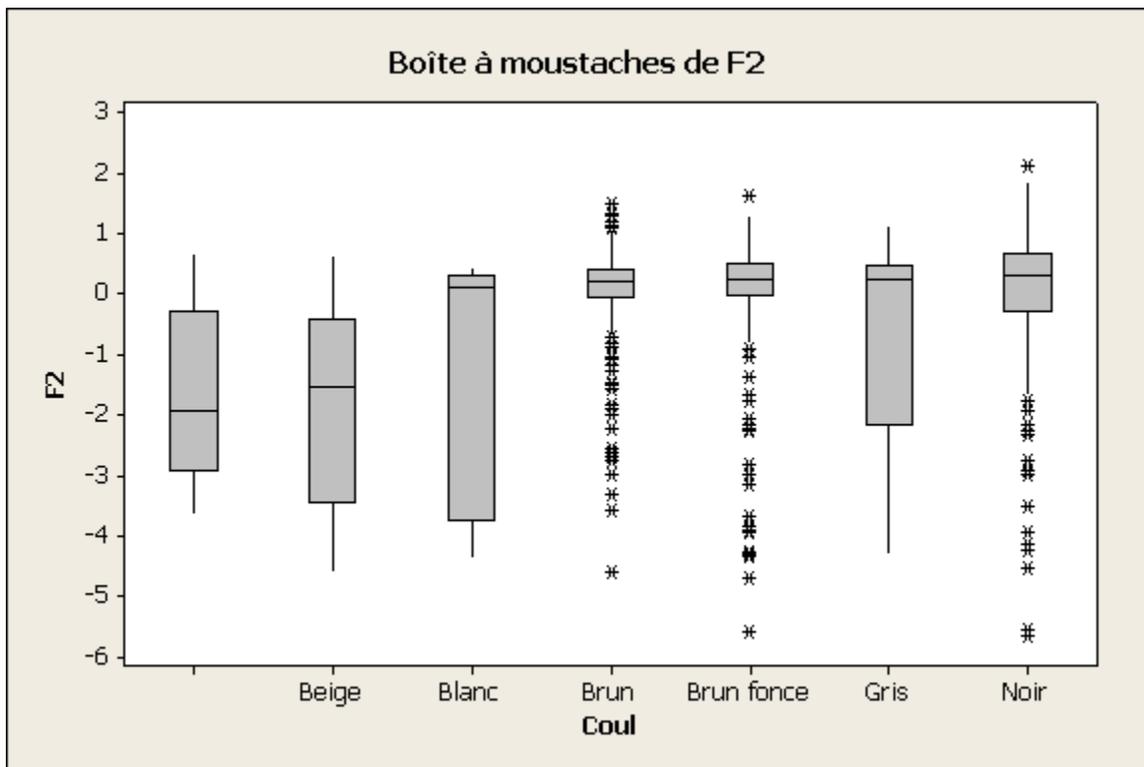


Figure 28. Relation entre le facteur 2 et la couleur de l'échantillon.

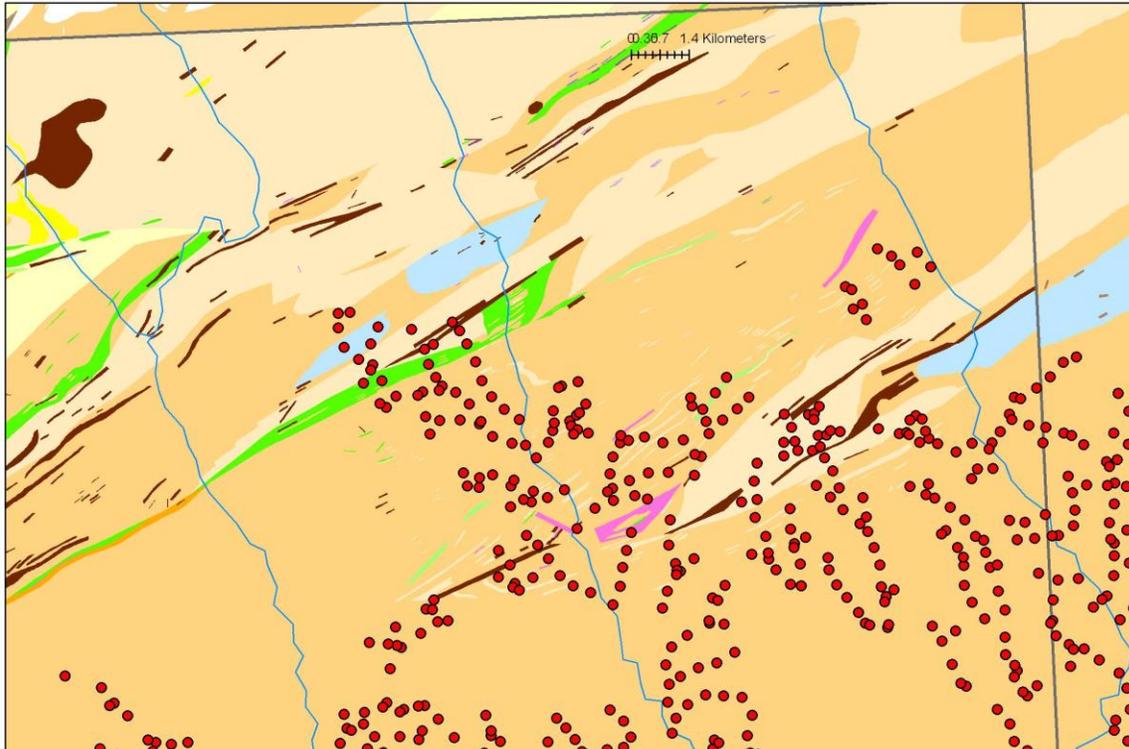


Figure 29. Géologie détaillée du secteur nord-est du feuillet 22A12. Beige-orangé: mudstones, grès. Vert: basaltes. Brun foncé: gabbros. Rose: intrusions felsiques.

Facteur 3

Le facteur 3 oppose Ba, Mn, Zn, Pb, As, Bi, Cu et Cd par rapport Cr, U, Ti, Nb, La et altitude (**Figure 30**). Le pôle à Ba, Mn, Zn pourrait être dû à la présence d'oxydes de manganèse. L'examen de la répartition des valeurs sur la carte montre que les valeurs positives (pôle Cr-U-Ti-Nb) sont concentrées sur les sommets alors que les valeurs négatives sont plutôt concentrées dans les vallées et dans les zones de plus basse altitude du sud-est du secteur (**Figure 31**).

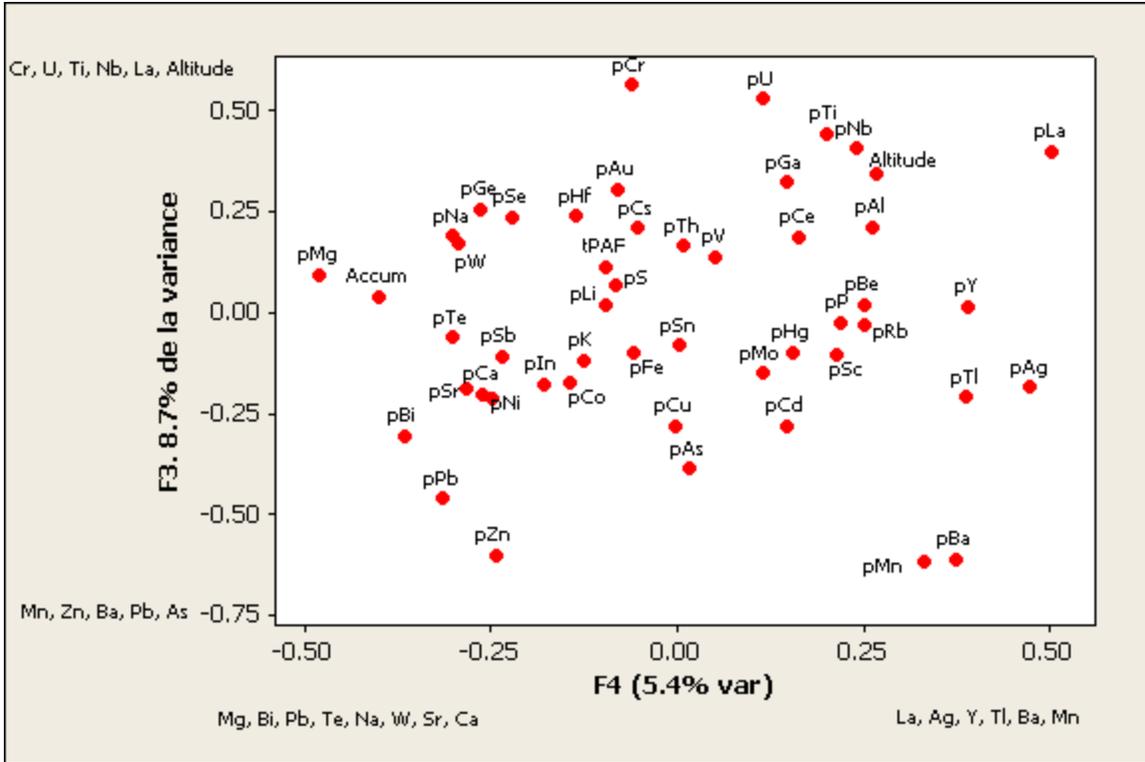


Figure 30. Corrélations entre les éléments et les facteurs 3 et 4.

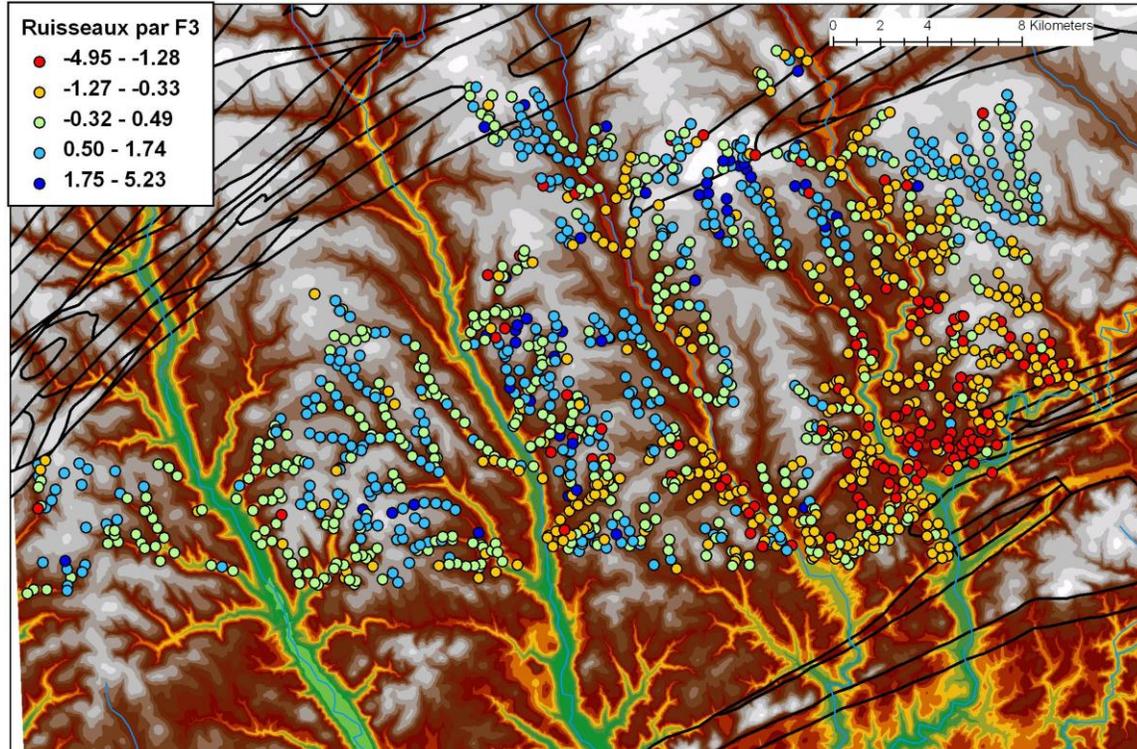


Figure 31. Distribution des valeurs du facteur 3 par rapport à la topographie.

Facteur 4

Le facteur 4 oppose La, Ag, Y, Tl, Ba par rapport à Mg, Accumulation, Bi, Pb, Sr, Te, Na (**Figure 30**). Ce facteur semble en partie lithologique et lié à des variations de faciès à l'intérieur du Groupe de Fortin, puisque les valeurs élevées sont concentrées au centre du groupe selon une bande nord-est sud-ouest et les valeurs faibles sont plutôt à sa périphérie (**Figure 32**). Toutefois, comme les valeurs négatives sont corrélées avec l'accumulation, une composante d'environnement secondaire est probable également.

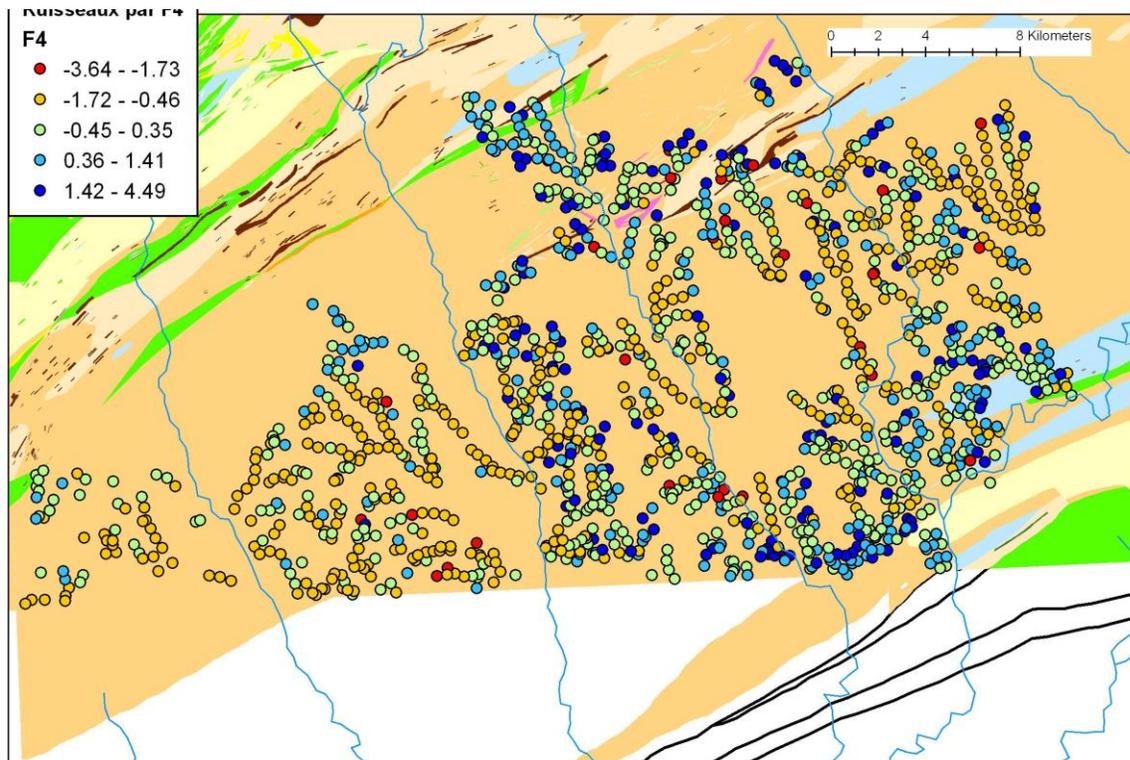


Figure 32. Distribution des valeurs du facteur 4 par rapport à la géologie.

Synthèse de l'analyse factorielle

L'analyse factorielle montre qu'une grande partie de la variation géochimique est due aux variations de l'environnement secondaire. Le facteur 1, le plus important en termes de variance, est clairement relié à la variation de la proportion de matière organique dans les sédiments. Dans le secteur étudié, le sommet du plateau montre des sédiments plus riches en matière organique alors que les flancs du plateau sont plus inorganiques. Le facteur 3 semble également relié de près à l'environnement secondaire. Les facteurs 2 et 4 semblent lithologiques.

Ceci indique que, pour plusieurs éléments d'intérêt, un rehaussement des anomalies pourrait être important pour enlever l'effet des variations dans l'environnement secondaire sur les teneurs.

5.2 Influence des grands ensembles lithologiques

Les données géochimiques de la Gaspésie sont fortement influencées par les lithologies du socle. Choinière (1984) a proposé de séparer la région en grands ensembles lithologiques, qui montrent des teneurs variables en différents éléments. Cette méthode a été reprise ici mais légèrement adaptée. Les modifications consistent à inclure les unités du Bas Saint-Laurent qui étaient à l'extérieur de la zone étudiée par Choinière et de regrouper certaines unités qui représentaient individuellement des territoires relativement restreints. La **Figure 33** montre les 17 unités qui ont été ainsi définies.

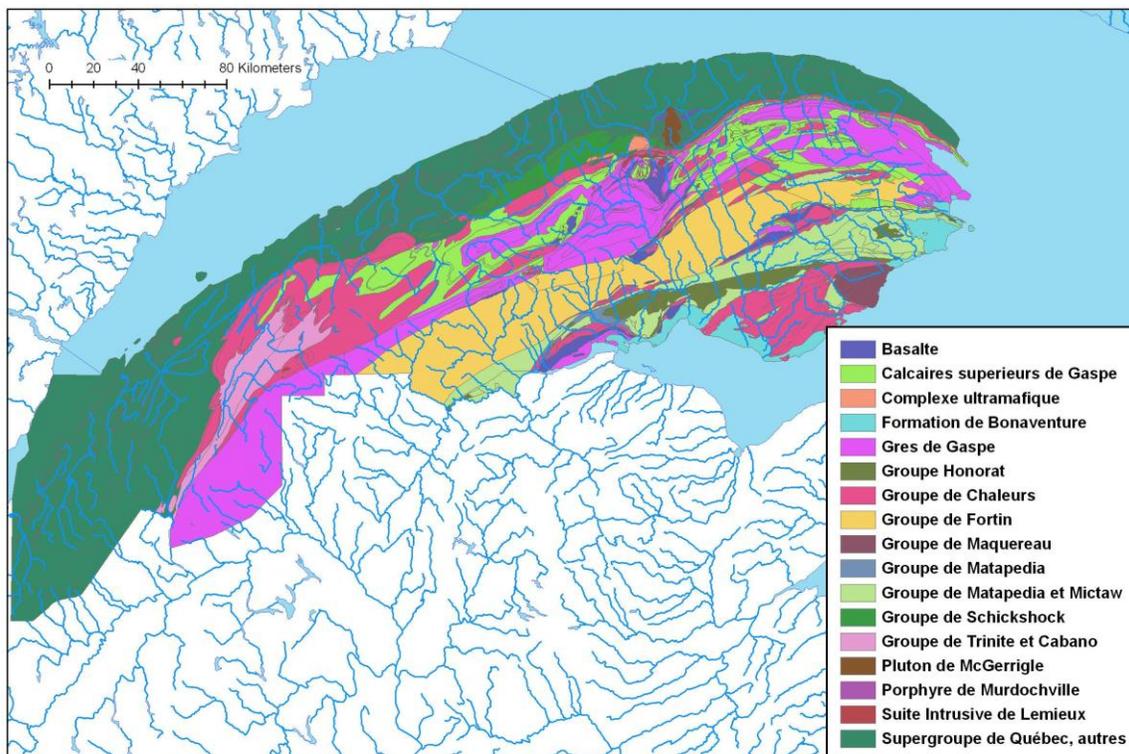


Figure 33. Unités définies pour la détermination des seuils par ensembles lithologiques.

5.2.1 Teneurs en métaux selon les unités, réanalyses ICP

Les teneurs brutes en métaux d'intérêt sont rapportées ici pour les échantillons réanalysés par ICP en 2009 dans la partie centrale de la Gaspésie. Le **Tableau 2** rapporte les principaux enrichissements et appauvrissement élémentaires pour les différentes unités.

Pour chaque élément, les trois unités comportant les médianes les plus élevées et les trois montrant les valeurs les plus basses sont identifiées. Un signe « +++ » indique que ce groupe a la valeur la plus élevée et « ++ » la deuxième plus élevée. Les signes négatifs indiquent les valeurs les moins élevées. Les autres groupes ont des valeurs intermédiaires.

Dans l'ensemble, les liens entre la géologie et les teneurs de plusieurs éléments sont très évidents. Les contrastes sont particulièrement évidents entre les unités de dominées par les calcaires vs mudstones vs volcanites.

Tableau 2. Teneurs en métaux des différentes unités lithologiques de la Région

	Bas.	Calc. de Gaspé	UM	Grès Gaspé	Chaleurs	Fortin	Matapédia	Schisk shock	Intr. de Lemieux	SG Québec
pAg			--	---					+	++
pAs			---				++	--		+++
pAu			+	---	+++	--		++		
pBa	++	+++	---		++			--		
pBi		+++	--					---		++
pCo		--	+++			---		++		
pCr			+++					++		
pCu			++			---		+++		
pHg			---		++	--			+++	
pMo			--			---			+++	++
pNi		---	+++		--			++		
pPb		+++	---					--	++	
pSb			---		+++		++	--		
pTl	+++	++	---					--		
pU			---		++			--	+++	
pZn	++					---		--		+++

6 DETERMINATION DES ANOMALIES

Pour l'étude des relations entre anomalies et minéralisations (sections 7 et 8), la banque de données a été séparée en quatre, selon les éléments analysés dans les échantillons. Les groupes suivants ont été formés :

1. Analyses pCu, pPb, pZn, pNi, pCo, pU, pMo. Couvre l'ensemble de la région. Valeurs nivelées ont été utilisées (~98 000 analyses; **Figure 34**).
2. Analyses pour pCu, pPb, pZn, pNi, pCo, pU, pMo avec réanalyses pour tAs, tSb, tW, tAu par activation neutronique. Couvre le Bas Saint-Laurent et une partie de la Gaspésie (~39 500 analyses; **Figure 35**).
3. Réanalyses par ICP. Centre-nord de la Gaspésie (~7 000 analyses; **Figure 36**).
4. Analyses par PL-AN. Bas Saint-Laurent (~ 13 000) analyses (**Figure 37**).

Quatre méthodes de détermination d'anomalies ont été utilisées dans ce projet. Les trois premières ont été appliquées aux quatre banques précédentes. La dernière n'a été appliquée qu'aux banques 3 et 4.

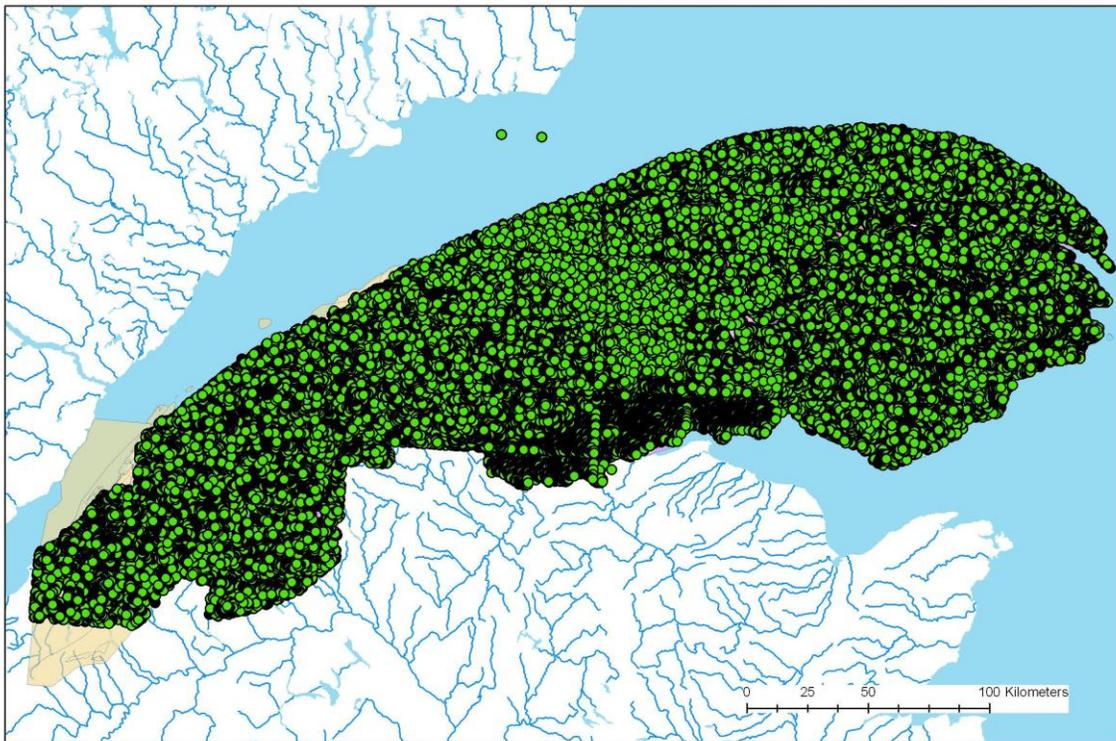


Figure 34. Ensemble de la banque de données, analysée pour Cu-Pb-Zn-Ni-Co-Mn-U.

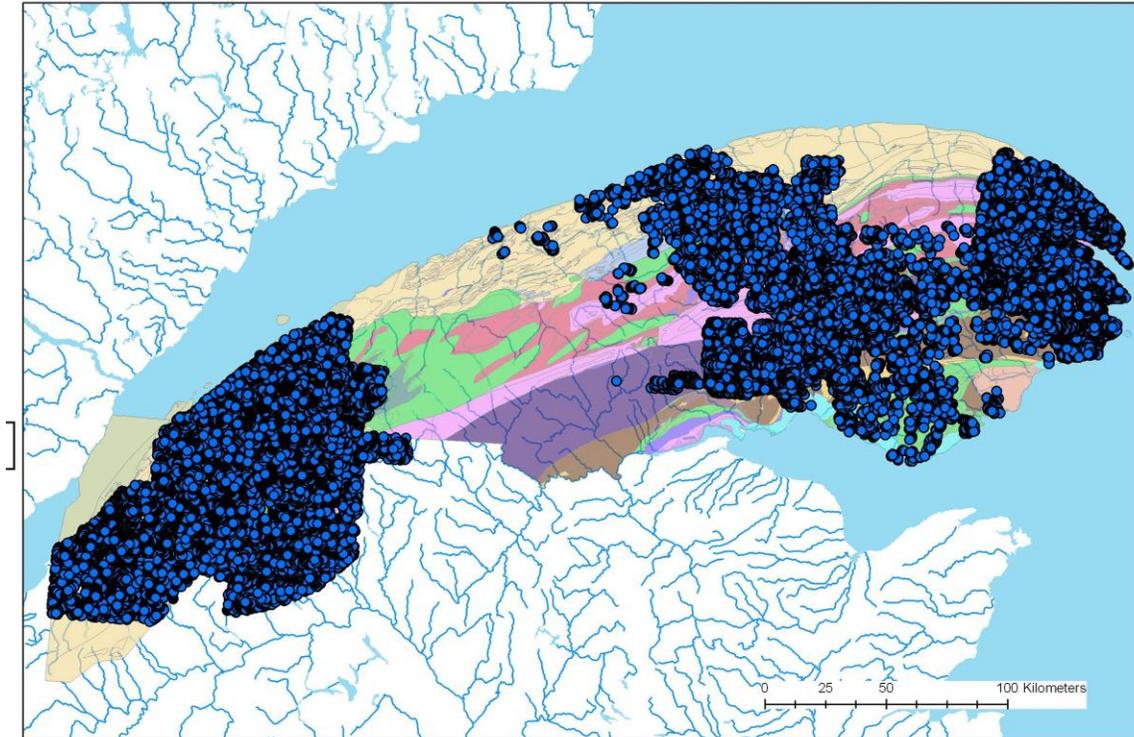


Figure 35. Échantillons avec analyses par activation neutronique (1992-1993).

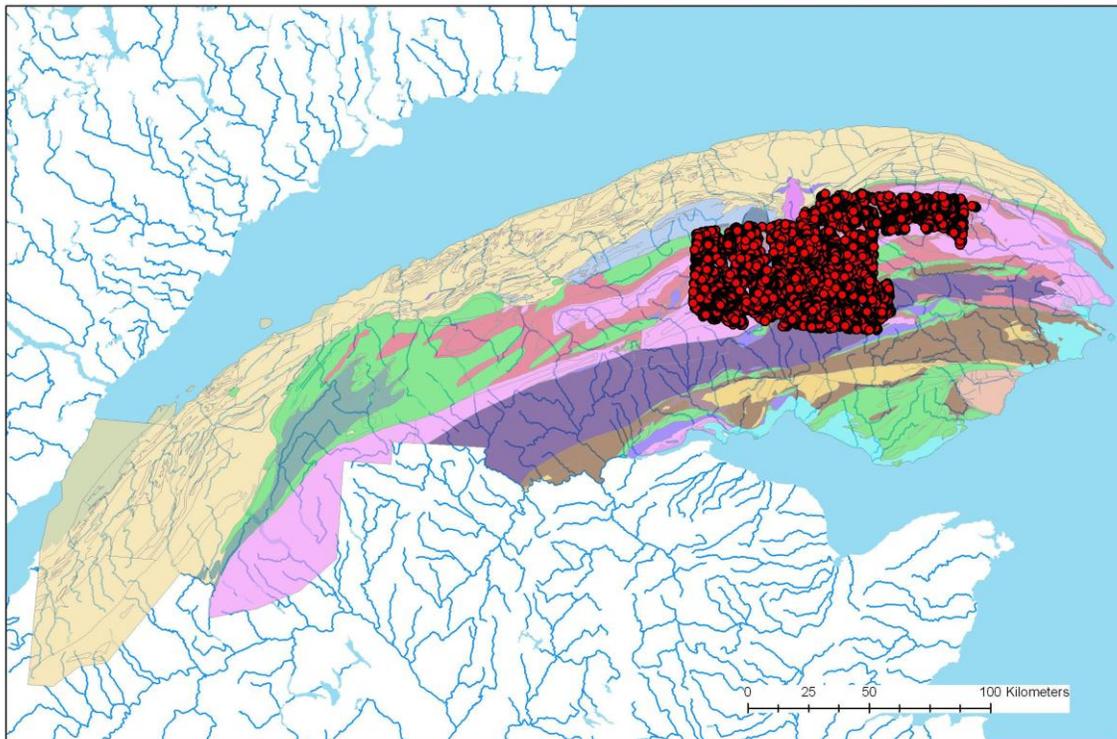


Figure 36. Réanalyses par ICP (2009), centre de la Gaspésie.

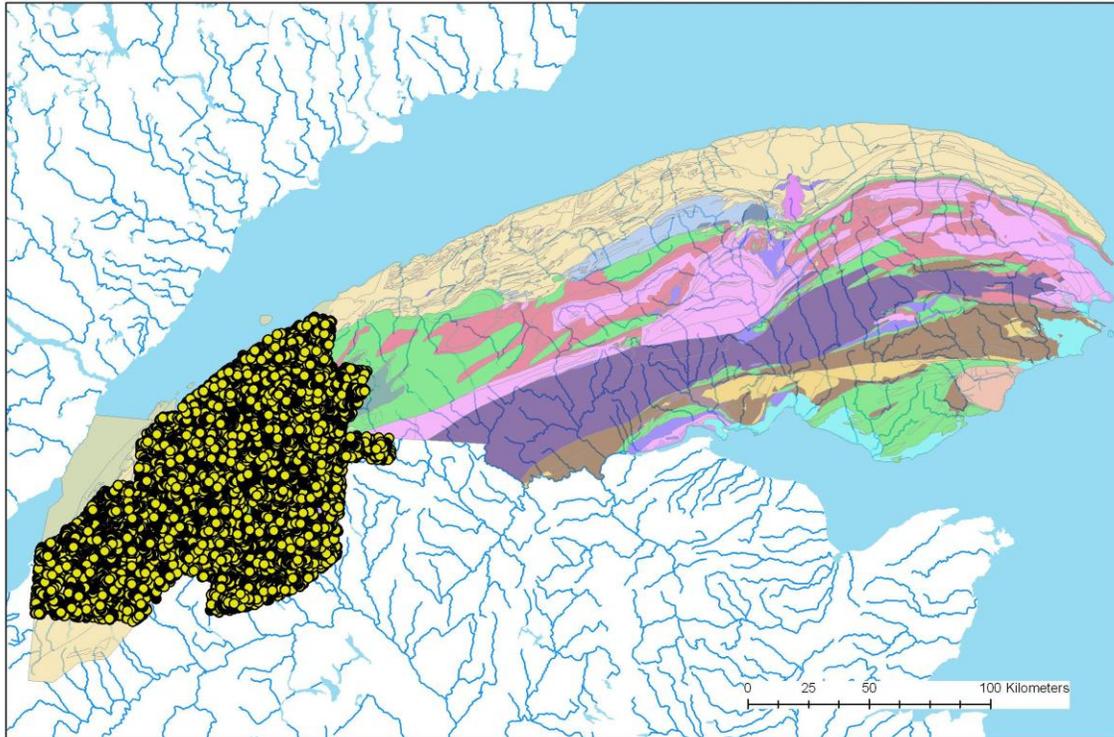


Figure 37. Analyses par PL et AN, Bas Saint-Laurent

Centiles bruts, sans tenir compte des lithologies et de l'environnement secondaire

La première méthode consiste simplement à calculer des centiles séparés sur chacune des banques. Cette méthode sera nommée « **centiles bruts** » dans le reste de la discussion.

Centiles sur les grands ensembles lithologiques de la Gaspésie

Les grands ensembles lithologiques définis à la Section 5.2 peuvent servir à séparer chacune des banques de données définies précédemment. Ces ensembles lithologiques ont été utilisés pour calculer des centiles dans chacune des banques de données.

Centiles sur statistique U

La méthode de la statistique U permet de rehausser les anomalies qui sont présentes en groupes. Le principe est expliqué en détail par Cheng (1999). Cette méthode a été employée dans le cadre d'un projet Consorem antérieur portant sur la géochimie des sédiments de lacs (Trepanier, 2006). Elle est mise en œuvre dans le logiciel Consorem de traitement de la géochimie de l'environnement secondaire.

Un paramètre critique dans le calcul de la statistique U est le rayon du voisinage. Le rayon du voisinage détermine la taille des groupements d'anomalies qui sont rehaussés. Plus on choisit un voisinage de grande taille, plus les anomalies qui sont formées représenteront des phénomènes de grande taille.

Pour rehausser les anomalies liées à des minéralisations, il faut donc considérer la taille des anomalies. Le rayon devrait être environ de 2x la taille des anomalies qui seront rehaussées. Ici, on considère que des anomalies de 2,5 km sont raisonnables, étant donné les études de cas réalisées plus loin. En conséquence, le voisinage choisi est de 5 km.

Centiles sur une régression spatiale par unités

Pour tenter de réduire l'influence des variations de l'environnement secondaire sur les anomalies calculées (Section 5), la méthode de la régression spatiale a été appliquée (Trépanier, 2006). Cette méthode consiste à effectuer des régressions linéaires multiples à intervalles réguliers dans la région d'intérêt et de prendre les valeurs résiduelles des régressions comme anomalies. Les valeurs résiduelles calculées sont indépendantes des variations de l'environnement secondaire (ex : quantité variable de matière organique, oxydes Fe-Mn, etc).

Ce type de rehaussement d'anomalies nécessite des analyses comportant un nombre suffisant d'éléments servant de variables explicatives pour les régressions. Ces éléments ne doivent pas être concentrés dans les minéralisations d'intérêt de la région. Seuls les échantillons réanalysés en 2009 par ICP ainsi que les levés du Bas Saint-Laurent (1992030 et 1993030) analysés par émission de plasma (PL) rencontrent ces conditions (banques 2 et 3).

Des régressions distinctes ont été effectuées pour chacune des grandes unités lithologiques définies précédemment. Ceci permettra donc de traiter à la fois le problème des variations lithologiques régionales et le problème des variations locales dans l'environnement secondaire. Les paramètres suivants ont été utilisés pour les régressions spatiales :

- Rayon des régressions : 50 km.
- Intervalle des points de régression : 50 km.
- Transformation en logarithmes naturels des valeurs avant le traitement
- Pour banque réanalyses ICP :
 - Variables explicatives utilisées pour toutes les régressions : pAl, pCr, pCs, pFe, pHf, pK, pLi, pMg, pMn, pNa, pP, pRb, pS, pSc, pSr, pTi, pV, pY.
 - Régressions sur les variables suivantes : pAg, pAs, pAu, pBa, pBe, pBi, pCd, pCo, pCu, pGa, pHg, pMo, pNi, pPb, pSb, pSe, pSn, pTe, pTl, pU, pZn.
 - Régressions effectuées sur les échantillons tombant dans : Basaltes, Calcaires Supérieurs de Gaspé, Groupe de Chaleurs, Groupe de Fortin, Grès de Gaspé, Supergroupe de Québec.
- Pour banque analyses PL (1992030 et 1993030) :
 - Variables explicatives utilisées : pAl, pCa, pCr, pCe, pEu, pFe, pK, pLi, pMg, pMn, pNa, pP, tPAF, pSc, pSm, pSr, pTh, pV, pY, tBr, tCs.
 - Régressions sur les variables suivantes : tAs, pB, pBa, pBi, pCo, pCu, pNi, pPb, pTi, pTl, tSb, tU, pZn.

- Régressions effectuées sur les échantillons tombant dans : Basaltes, Calcaires Supérieurs de Gaspé, Groupe de Chaleurs, Groupe de Fortin, Grès de Gaspé, Supergroupe de Québec.

Des centiles ont été calculés sur les résiduelles des régressions pour chacune des deux banques traitées par régression spatiale.

7 ASSOCIATIONS STATISTIQUES MINÉRALISATIONS-SEDIMENTS DE RUISSEAUX

Cette section examine les relations entre les différentes catégories de minéralisations et les teneurs dans les sédiments de ruisseaux en utilisant une approche statistique. Les quatre approches de détermination d'anomalies mentionnées précédemment seront examinées. Cette étude permettra de connaître les seuils appropriés pour déterminer les anomalies pour chacune des méthodes et de comparer leur efficacité à détecter les minéralisations connues.

7.1 Méthodologie

7.1.1 Régions d'étude et éléments considérés

Pour pouvoir comparer les résultats pour différents éléments, il est important de choisir des échantillons qui sont analysés pour tous les éléments à considérer. La banque de données a été séparée en trois groupes. Dans chaque groupe, les éléments qui sont analysés pour tous les échantillons sont considérés.

- Ensemble de la banque : Cu, Pb, Zn, Co, Ni, U, Mo, Mn, As (note : As et Mo ne sont pas analysés dans toute la banque mais sont analysés dans plus de la moitié des échantillons à proximité des minéralisations).
- Analyses pour pCu, pPb, pZn, pNi, pCo, pU, pMo avec réanalyses par activation neutronique pour tAs, tSb, tW, tAu.
- Secteur Réanalyses ICP : tous les éléments de ces analyses.
- Secteur Analyses PL et AN des levés 1992030 et 1993030 : tous les éléments de ces analyses.

Dans chaque cas, des centiles ont été calculés séparément sur chacun des groupes. Chacune des méthodes expliquées à la Section 6 a été appliquée (centiles « bruts », centiles séparés sur unité lithologiques, statistique U, centiles sur les résiduelles de la régression spatiale).

7.1.2 Catégorisation des minéralisations de la Gaspésie

Une typologie basée sur une étude métallogénique détaillée de l'ensemble de la région serait idéale pour examiner la relation entre les gîtes et les teneurs dans les sédiments

de ruisseaux. En effet, certains types de gîtes sont susceptibles de laisser des signatures spécifiques dans l'environnement secondaire. Malheureusement, une telle synthèse métallogénique n'existe pas pour l'ensemble de la région.

Certains secteurs et groupes de gîtes ont toutefois été étudiés en détail (Malo *et al.*, 2000; Cabral *et al.*, 2009; Pilote, 2005; Lachance *et al.*, 2007; Simard *et al.*, 2006; Bellehumeur et Valiquette, 1993; Wares, 1988; Wares et Berger, 1995). À partir de ces études et des fiches de gîtes des autres secteurs, une classification de l'ensemble des gîtes de la région a été tentée (**Figure 38**). Cette classification ne se veut pas rigoureuse et demeure spéculative dans plusieurs cas. Elle permet toutefois de séparer des grandes classes de minéralisations.

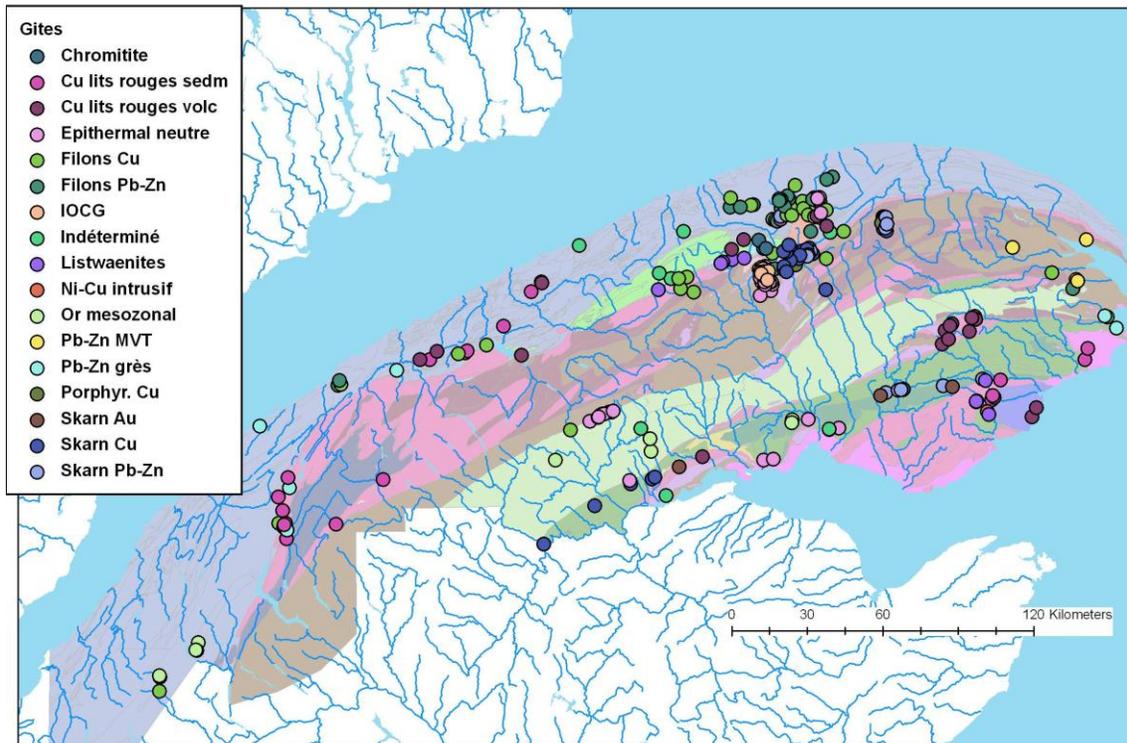


Figure 38. Types de gîtes de la Gaspésie définis dans le cadre du projet (Données SIGEOM).

7.1.3 Probabilités conditionnelles d'association entre teneurs et minéralisations

Pour déterminer l'association entre les teneurs en métaux et les minéralisations, on a tout d'abord calculé le nombre d'échantillons de sédiments de ruisseaux se localisant à moins de 1,5 km de chaque catégorie de minéralisations définies dans la section précédente. Par la suite, on a également calculé, pour chaque élément, le nombre d'échantillons se trouvant à l'intérieur d'intervalles choisis de centiles et se trouvant moins de 1,5 km de chaque catégorie de minéralisation. Ces intervalles sont les suivants :

- Centile 0 – 40
- Centile 40 – 80

- Centile 80 – 90
- Centile 90 – 95
- Centile 95 – 97,5
- Centile 97,5 – 99
- Centile 99 – 99,5
- Centile > 99,5

Ces informations permettront de calculer des probabilités conditionnelles d'association entre gîtes et teneurs. La cote sera utilisée ici comme mesure d'association (Bonham-Carter, 1994). Dans le cas présent, la cote, pour un élément donné et pour une catégorie de minéralisation donnée, sera définie de la façon suivante :

Cote (élément, catégorie de mx, intervalle de centile) = Probabilité de trouver une valeur dans cet intervalle de centiles près des gîtes d'une catégorie / Probabilité de trouver une valeur dans cet intervalle de centiles dans la banque de données entière.

La première probabilité se définit par le nombre d'échantillons étant dans l'intervalle de centiles près des gîtes d'une catégorie divisé par le nombre total d'échantillons se trouvant près des gîtes de cette catégorie. La probabilité de trouver une valeur dans l'intervalle de centile dans la banque de données se calcule facilement puisqu'elle correspond à l'intervalle de centile lui-même. Par exemple, la probabilité de trouver une valeur entre les 90 et 95 centiles dans la banque de données est simplement de 0,05.

7.2 Résultats

Cette section présente les probabilités conditionnelles d'association entre les différents types de minéralisations de la région et les teneurs en différents éléments dans les ruisseaux. La méthode de calcul est spécifiée à la section précédente. La cote est utilisée ici comme mesure d'association. Une cote égale à 1 indique une absence d'association. Une cote supérieure à 1 indique une association positive, alors qu'une cote inférieure à 1 en indique une qui est négative. Le **Tableau 3** présente les principaux résultats. Les tableaux de résultats détaillés sont fournis avec les données numériques du projet.

7.2.1 Éléments anomaux selon les types de minéralisations

Chromitites

Les chromitites montrent des anomalies très fortes en Ni et Co. Ces éléments sont principalement dus à l'encaissement ultramafique. Des anomalies en plomb y sont également observées mais ceci reste inexplicé puisque les roches ultramafiques sont en général appauvries en Pb.

Cu lits rouges sédimentaires

Les gîtes de cuivre dans les lits rouges ne répondent pas bien pour les éléments qu'ils contiennent. Il y a des anomalies en cuivre seulement lorsque l'on considère l'ensemble de la banque. Ceci indique que certains gîtes ont de bonnes anomalies en cuivre alors

que d'autres n'en ont pas. Les gîtes de cuivre du secteur du Bas Saint-Laurent montrent également des signatures en éléments lithophiles (ETR, Sr, Th, Li) qui sont difficiles à expliquer.

Cu lits rouges volcaniques

Ces minéralisations répondent moyennement bien dans les sédiments de ruisseaux. Le cuivre est l'élément qui répond le mieux pour ces minéralisations. Des anomalies en Pb, Co et Ni sont également notées. Co et Ni viennent probablement des encaissements basaltiques. Pb pourrait être associé directement à la minéralisation.

Épithermal neutre

Sur l'ensemble de la banque de données, ces minéralisations répondent de façon plutôt moyenne à faible. Lorsque l'on considère seulement les réanalyses par ICP ou les secteurs à analyses par AN, la réponse est excellente. Ceci indique que certaines de ces minéralisations répondent très bien alors que d'autres ne montrent pas d'anomalies.

Les éléments anomaliques sont principalement Pb, Zn, Cu, Sb, As, Bi, In. Ces éléments sont tout à fait compatibles avec ce type de minéralisation.

Filons Cu

Les filons à cuivre donnent des anomalies modérées à faibles. Le cuivre est l'élément le plus souvent anomalique. Le zinc, l'arsenic et le cobalt sont également observés. Cet assemblage est totalement compatible avec ce type de minéralisation.

Filons Pb-Zn

Les filons à plomb-zinc donnent en général des anomalies qui sont moyennes à faibles. Les principaux éléments anomaliques sont Co, Pb, Sb et As. Le zinc ne semble que rarement anomalique. Il est surprenant d'y voir le cobalt.

IOCG

Les minéralisations de type IOCG sont localisées dans la partie nord du dôme de Lemieux. Leur réponse dans les sédiments de ruisseaux est excellente. Le principal élément anomalique est le cuivre, qui donne des cotes très élevées. Une série d'autres éléments donnent également des anomalies : Zn, Pb, As, Sb, W, Au, Bi, In et Be.

Listwaenites

Les listwaenites sont associées à de très fortes anomalies dans les sédiments de ruisseaux. Ces anomalies sont caractérisées par un assemblage de Ni, Co, Cu, As et Sb. Ces éléments sont des constituants importants de ces minéralisations.

Or mésozonal

Les minéralisations d'or mésozonal ne donnent pas de réponses évidentes dans les sédiments de ruisseaux. Les anomalies en nickel qui apparaissent sont probablement

d'origine lithologique. De faibles anomalies en As visibles par AN pourraient toutefois constituer leur signature.

Pb-Zn grès

Ces minéralisations montrent des anomalies faibles en plomb et en cobalt. Le plomb est compatible avec ces minéralisations, mais pas le cobalt. Elles répondent en général mal aux sédiments de ruisseaux.

Pb-Zn MVT

Comme les précédentes, ces minéralisations donnent des anomalies en Pb et Co qui sont faibles. La présence du cobalt est inexpliquée.

Skarns Cu

Ces minéralisations répondent bien dans les sédiments de ruisseaux. La signature générale est à Pb, Zn, Cu, As, Sb, W, U, Au, Mo. La présence d'uranium pourrait s'expliquer par la présence de dykes felsiques qui se trouvent en général associés de près à ces minéralisations. Les analyses par ICP montrent des anomalies en Nb et Th qui pourraient également être causées par de tels dykes.

Skarns Pb-Zn

Ces minéralisations donnent d'excellentes réponses dans les sédiments de ruisseaux. Les principaux éléments anomaliques sont Pb, Zn, As, Sb, Au, U, Te, Bi et Ag. La signature est similaire à celle des skarns à cuivre en raison de l'association spatiale fréquente entre ces deux types de minéralisation. Des anomalies en U, Nb, Th pourraient également s'expliquer par des dykes felsiques.

7.2.2 Méthodes de délimitation d'anomalies

L'examen des cotes des différentes méthodes de délimitation d'anomalies permet de constater que :

- La statistique U donne en général les meilleures cotes.
- Les valeurs brutes sur l'ensemble de la banque donnent en général de meilleures cotes que les centiles calculés séparément sur les unités lithologiques.
- La régression spatiale donne des cotes qui sont légèrement inférieures aux autres méthodes.

7.2.3 Détection des minéralisations selon les types

Les cotes maximales des différents types de minéralisation varient beaucoup. Certaines minéralisations obtiennent des cotes très élevées pour plusieurs éléments alors que les cotes pour d'autres minéralisations sont assez faibles. Ceci indique que certains types de minéralisations causent des anomalies importantes dans les sédiments de ruisseaux alors que d'autres sont beaucoup plus discrètes.

Les minéralisations suivantes ont des cotes généralement élevées :

- Chromitite
- Épithermal neutre
- IOCG
- Listwaenites
- Skarns à Pb-Zn
- Skarn à Cu

D'autres minéralisations semblent former des anomalies beaucoup moins évidentes :

- Or mésozonal
- Pb-Zn dans les grès
- Pb-Zn MVT

Tableau 3. Meilleures associations entre probabilités conditionnelles des centiles 97,5-100, minéralisations de différents types, différentes sous-banques de données et méthodes de traitement.

Type de minéralisation	Ensemble de la banque de données	Échantillons avec analyses ou réanalyses AN	Échantillons analysés plasma + AN (Bas Saint-Laurent)	Réanalyses ICP 2009 (Centre de la Gaspésie)
Chromitites	Ni_StU, Ni_BT, Co_BT, Co_StU Pb_StU, Pb_BT, Ni_LT	Co_BT, Ni_BT, Ni_StU, Co_StU Pb_StU, Pb_BT	N/A	N/A
Cu lits rouges sédimentaires	Cu_StU	As_StU	Sm_StU, Sr_StU, Na_StU, Eu_StU, Y_StU Ce_StU, Th_LT, Sr_BT, La_StU, Al_StU, Li_StU, Sc_StU, As_StU, Cs_StU, Na_LT, Ba_StU, Mn_StU, Th_StU, Al_LT, Th_BT.	N/A
Cu lits rouges volcaniques	Cu_BT Cu_StU, Pb_StU	Cu_BT, Cu_StU Ni_BT, Pb_StU Co_BT	N/A	N/A
Épithermal neutre	Zn_StU, Cu_LT, Pb_BT, Pb_LT	Pb_BT, Pb_LT, Sb_BT, Sb_LT, Cu_LT, As_BT As_LT, W_StU, Pb_StU, Au_StU, Cu_StU, Zn_StU, Zn_LT, Zn_BT, As_StU, Cu_BT, Sb_St, Mo_StU, Co_StU, Au_StU	N/A	Cu_StU, Cu_BT, Cu_RG, Bi_StU, As_BT, As_LT Sb_RG, Zn_BT, In_StU, Zn_StU, Zn_LT, Pb_Bt, Cu_LT, Au_StU, Cd_BT, Zn_RG, Pb_LT, Pb_RG
Filons Cu	Cu_StU Zn_StU	Cu_LT, Cu_BT, As_StU, Co_LT, W_StU	N/A	N/A
Filons Pb-Zn	Co_BT, Pb_BT	Sb_LT Pb_BT, Au_StU, Sb_BT, As_StU	N/A	N/A
IOCG	Cu_StU Cu_LT, Zn_StU, Pb_BT, Pb_LT, Pb_StU, Cu_BT, Zn_LT, Zn_BT, Mo_StU, Co_LT, Ni_LT	Cu_StU, Cu_LT, Zn_StU, Pb_BT, Pb_LT, Pb_StU, As_StU, Sb_StU, Zn_LT, Sb_BT, Cu_BT, Zn_BT, W_StU, As_LT, As_BT, Sb_LT,	N/A	Cu_StU Cu_BT, Cu_RG, In_StU, Zn_StU, Au_StU, Sb_StU, Pb_StU, Cu_LT, Cd_StU, Bi_StU, Zn_BT, Cd_BT, Pb_BT, Be_StU, Zn_LT,

Type de minéralisation	Ensemble de la banque de données	Échantillons avec analyses ou réanalyses AN	Échantillons analysés plasma + AN (Bas Saint-Laurent)	Réanalyses ICP 2009 (Centre de la Gaspésie)
		Au_ST, Mo_StU, Co_LT		Mo_StU, Zn_RG, As_LT
Listwaenites	Ni_StU, Ni_Bt Ni_LT, Co_StU, Co_BT, Cu_BT, Co_LT, Cu_StU	Ni_StU, Ni_BT, Co_StU. Co_BT, As_StU, Ni_LT, Sb_StU, Co_LT, W_StU, Au_StU, Cu_BT, Cu_LT, Cu_StU	N/A	N/A
Or mesozonal	Ni_BT	Ni_BT As_StU, Ni_StU, Ni_BT	N/A	N/A
Pb-Zn dans grès	Pb_StU	Co_StU, Pb_StU	N/A	N/A
Pb-Zn MVT	Pb_StU, Co_StU	Pb_StU, Co_StU	N/A	N/A
Skarn Cu	Pb_StU, Zn_StU, Cu_StU U_BT, U_LT, U_StU	Cu_StU, W_LT, W_BT, W_StU, As_StU, As_LT, As_BT, Zn_StU, Sb_LT, Au_BT, Au_StU, Sb_BT, Pb_StU	N/A	Nb_BT, W_Bt, W_StU, As_StU, As_RG, Hg_BT, Mo_BT, As_BT, W_LT, Ag_BT, Nb_LT, Co_RG, Mo_RG, Be_BT, Th_BT,
Skarn Pb-Zn	Pb_StU, Zn_StU, Cu_StU Pb_Lt, Zn_LT, Pb_BT, U_LT	Zn_StU As_StU, As_BT, As_LT, Cu_St, Pb_StU, W_StU, Au_StU, Sb_BT, Sb_StU, Au_BT, Sb_LT, Au_LT, W_BT, Pb_BT, Pb_LT, Zn_LT	N/A	W StU, W_BT, Nb_BT, As_RG, As_StU, W_LT, As_BT, Te_RG, Cd_BT, Bi_LT, Te_BT, Cd_LT, Nb_LT, Te_LT, Ag_BT, Cu_RG, Pb_RG, Zn_RG, Ag_RG, Cd_RG,

Les éléments sont listés en ordre de cotes. Le code de couleur suivant indique les valeurs des cotes de l'intervalle de centiles 97,5-100 : Bleu : cote > 20. Vert: cote entre 10 et 20. Rouge: cote entre 5 et 10. Le suffixe StU indique la cote calculée sur les centiles par statistique U, le suffixe BT indique les centiles calculés sur les valeurs brutes, le suffixe LT indique les centiles calculés par grandes unités lithologiques et le suffixe RG indique les centiles calculés sur la régression spatiale. Note : seules les 20 meilleures cotes sont énumérées dans ce tableau.

8 ÉTUDES DE CAS DÉTAILLÉES

Les principaux secteurs minéralisés de la Gaspésie ont fait l'objet d'études de cas détaillées (**Figure 39**). Ces études de cas visent à documenter les distances de dispersion pour les différents éléments anomaliques dans chacun des cas.

Chaque secteur sera examiné sur la base des anomalies calculées par les centiles bruts. Des cartes d'interpolation (par voisins naturels) synthétisant les principaux éléments anomaliques seront également examinés dans certains cas.

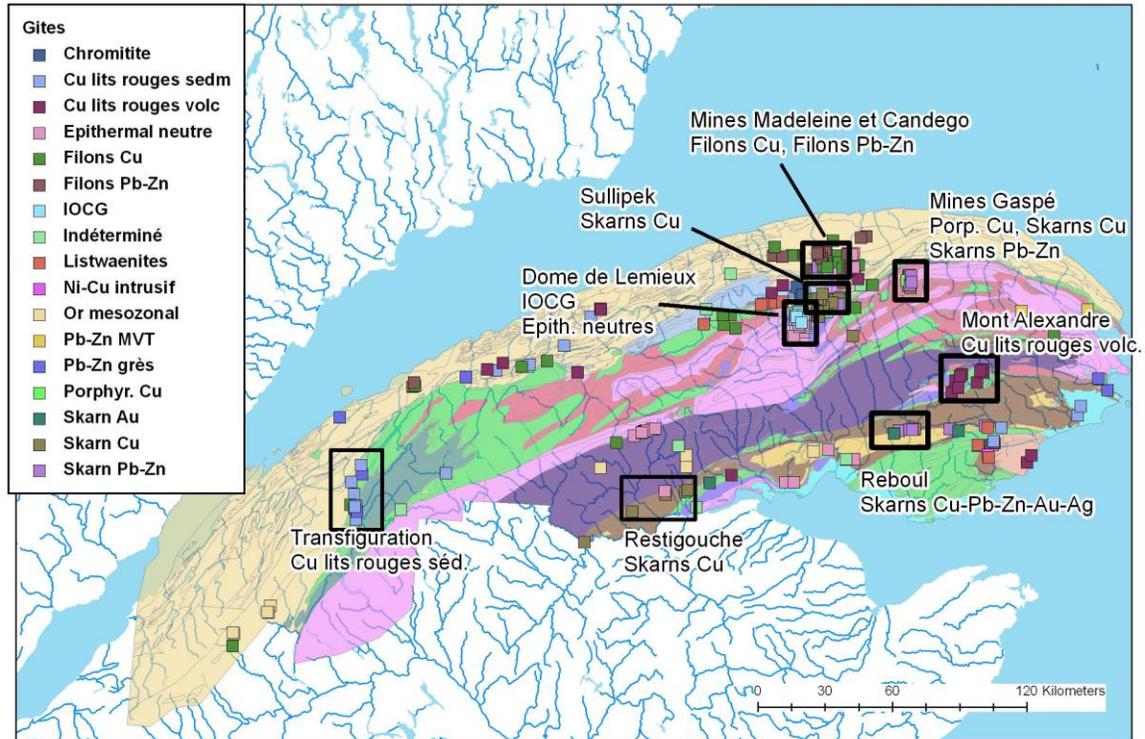


Figure 39. Secteurs faisant l'objet d'études de cas détaillées.

8.1 Dôme de Lemieux (IOCG, épithermaux neutres)

Géologie et minéralisations

Le dôme de Lemieux est une structure subcirculaire antiforme autour de laquelle se retrouvent des volcanites basaltiques à rhyolitiques qui sont probablement alimentés en profondeur par plusieurs intrusions (Pilote, 2005; **Figure 40**). Ces intrusions seraient à l'origine du soulèvement des unités. Le dôme est découpé par de nombreux dykes mafiques à felsiques.

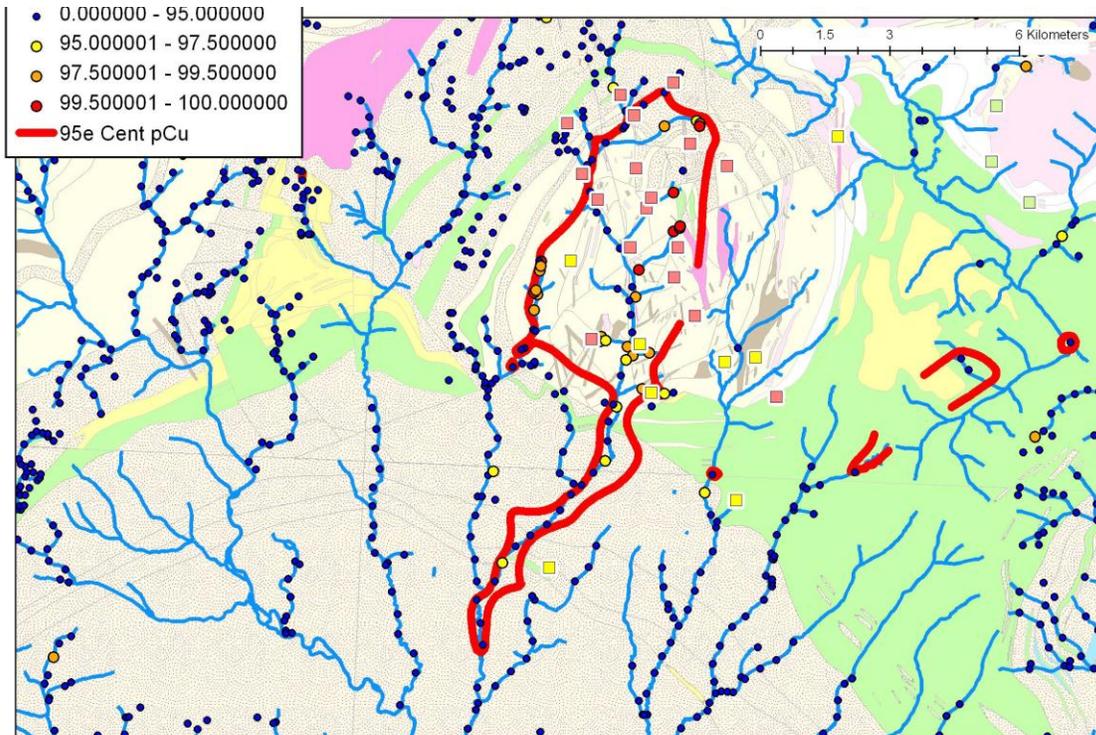


Figure 41. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Cu par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

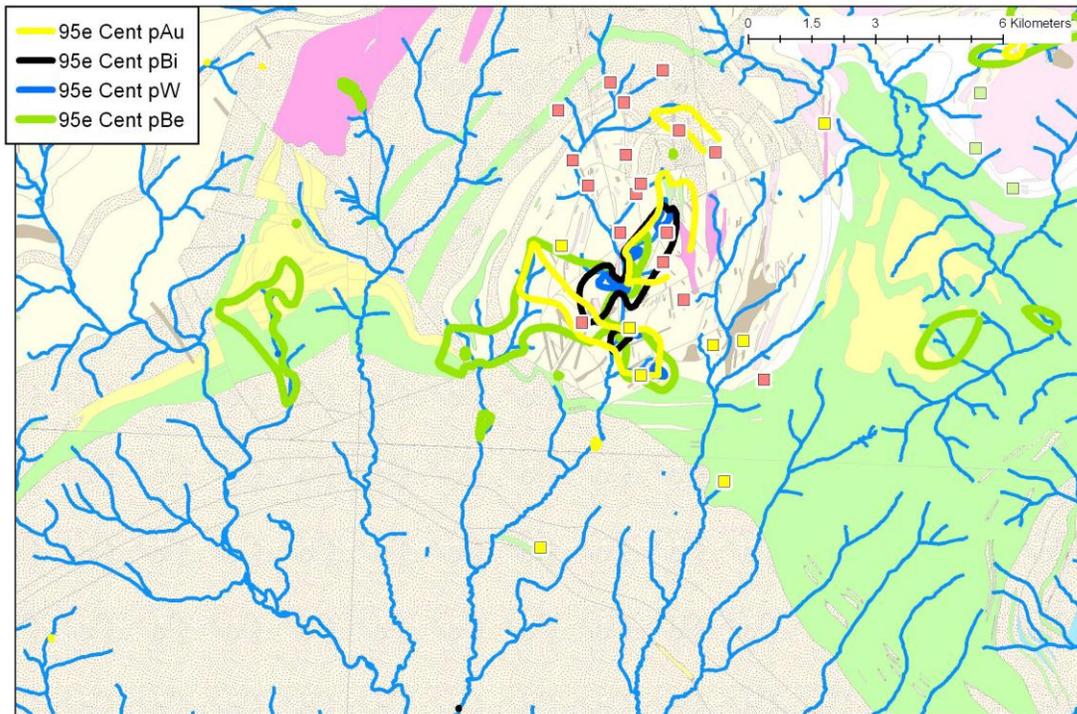


Figure 42. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Au, Bi, W, Be par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

La troisième association consiste en des anomalies en Cu-Mo-In-Zn-Pb-As qui débordent dans un ruisseau qui coule vers le sud jusqu'à environ 5-6 km au sud du dôme (**Figure 43**). Il est difficile de déterminer si ce débordement vers le sud est dû à la dispersion hydromorphique des anomalies du dôme ou à la présence de minéralisations additionnelles dans cette direction. Toutefois, la présence d'un gîte de Zn-Pb-Cu-Au-Mn-Ag à 4 km au sud près de ces anomalies supporte l'hypothèse de la présence de minéralisations additionnelles au sud du dôme.

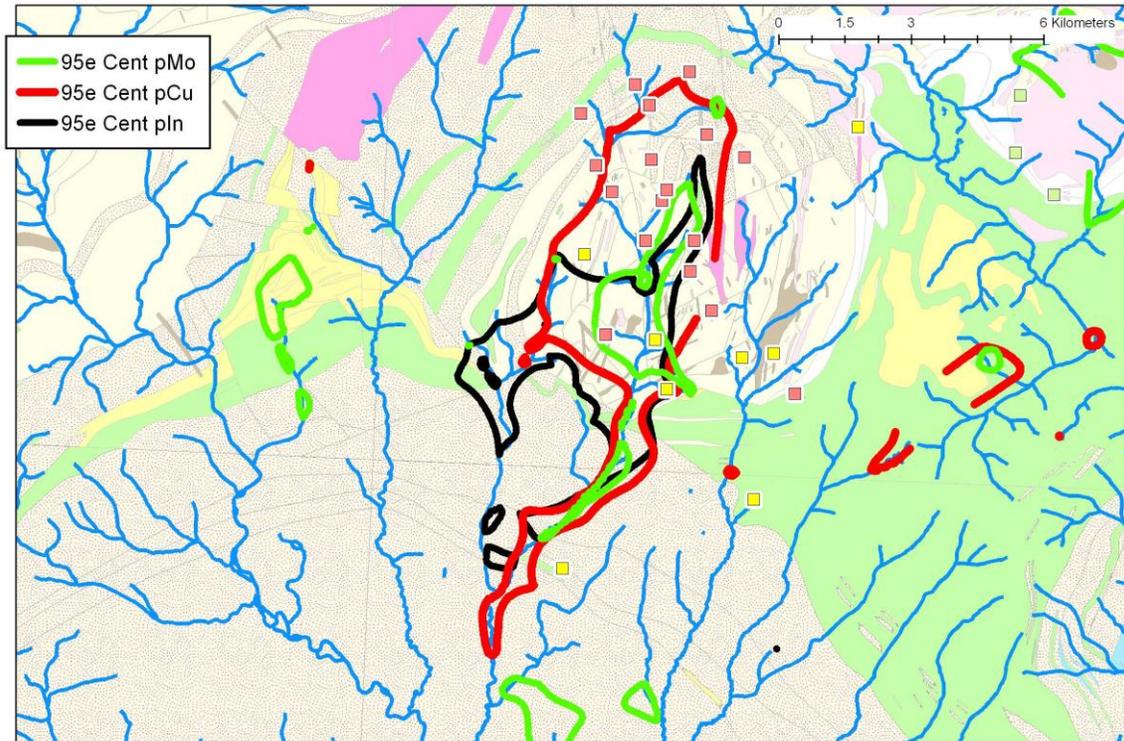


Figure 43. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Cu, In, Mo par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

La quatrième association est caractérisée par Zn-Pb-As-Sb-Tl (**Figure 44**). Elle s'étend loin vers le sud à partir du dôme, vers le sud jusqu'à environ 7,5 km de la limite sud du dôme et vers le sud-ouest jusqu'à près de 3 km. La présence de Tl souligne le caractère épithermal de cet ensemble.

La cinquième association est formée de Zn-Pb. Elle s'étend très loin vers le sud du dôme, jusqu'à 15 km de la limite sud de celui-ci. Ces anomalies ne peuvent être dues aux minéralisations du dôme car les ruisseaux qui les causent ne drainent pas ces minéralisations (**Figure 45**). Localement, des anomalies en Mo apparaissent dans ces anomalies en Zn-Pb, indiquant peut-être des endroits plus « chauds » dans le système hydrothermal.

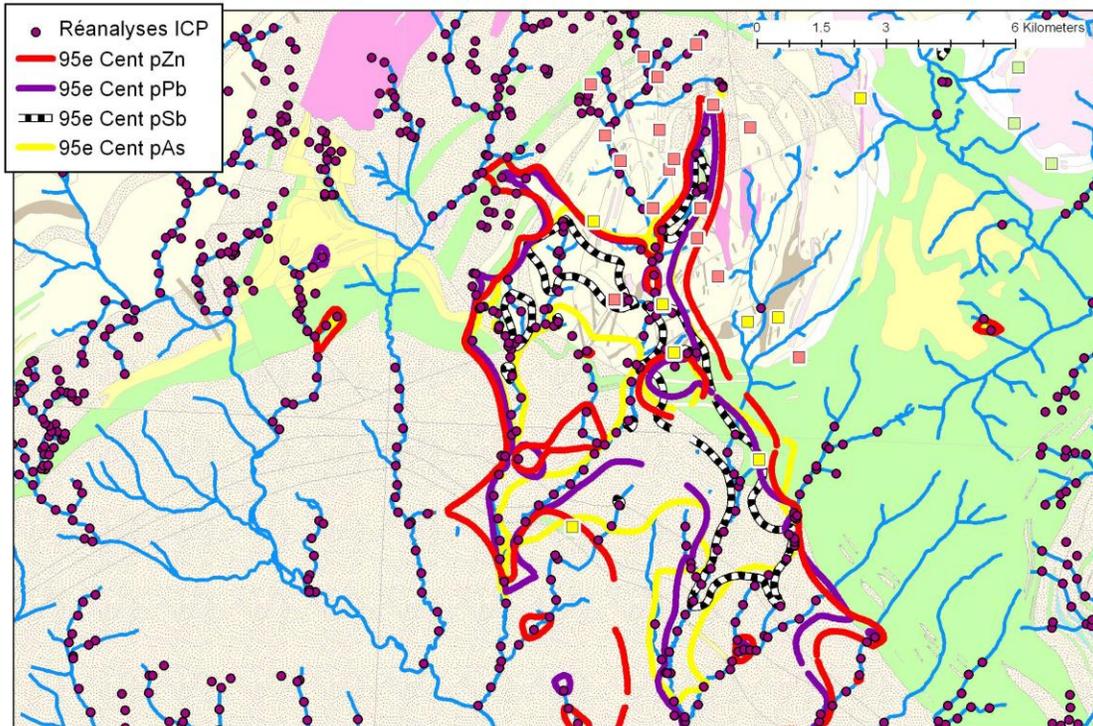


Figure 44. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Zn, Pb, Sb, As par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

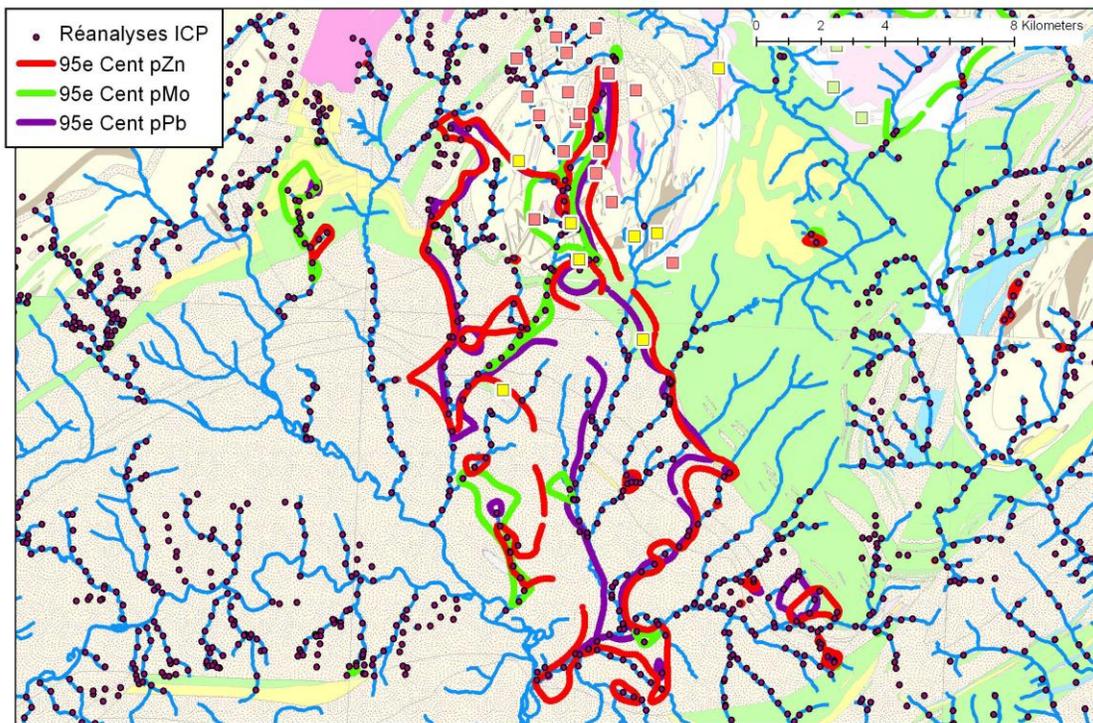


Figure 45. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Zn, Pb par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

L'association finale est centrée sur des rhyolites situées à l'ouest du dôme de Lemieux. Il s'agit d'un assemblage Mo-Ce-Be-Tl (**Figure 46**). Cet assemblage ne semble pas dû directement à la présence des rhyolites car des ruisseaux situés plus au nord et à l'ouest de ces anomalies coulent sur ces mêmes rhyolites mais n'ont pas ces anomalies. Ces rhyolites semblent former un dôme sur lesquelles sont centrées ces anomalies. Une autre anomalie à Mo-Be-Tl se trouve également dans la partie est. Cette association d'éléments très incompatibles suggère une association avec du magmatisme très évolué.

Les zonations observées dans les assemblages métalliques des sédiments de ruisseaux reflètent probablement la zonation des métaux dans le ou les systèmes hydrothermaux responsables des minéralisations du secteur. Globalement, cette zonation s'effectue selon un axe nord-sud. Les métaux typiques des minéralisations de plus haute température (Cu-Au, W-Be-Ce-Bi-Mo) se trouvent au nord et au centre du dôme. Au sud, dans les roches sédimentaires, on retrouve les assemblages à Zn-Pb-As-Sb-Tl, typiques de plus basses températures, pour finir avec Zn-Pb encore plus au sud.

Une composante E-O pourrait également être présente sur la forme d'anomalies Mo-Ce-Tl-Be associées aux dômes de rhyolites situés à l'est et à l'ouest du dôme.

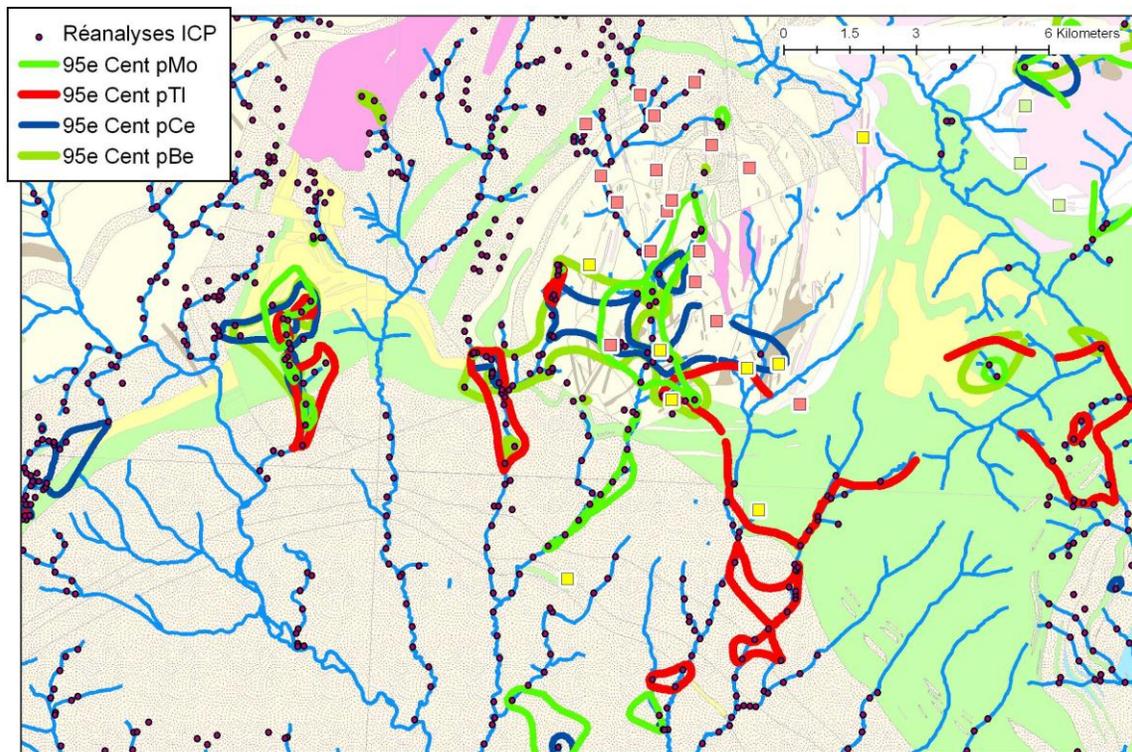


Figure 46. Contours du 95e centile d'interpolations par voisins naturels pour Mo, Tl, Ce et Be par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

8.2 Sullipek (Porphyre à cuivre, skarns à cuivre)

Géologie et minéralisations

Le gîte de Sullipek (**Figure 47**) est caractérisé par plusieurs amas de skarns recoupés par de nombreux dykes felsiques. La minéralisation est essentiellement cuprifère mais comprend aussi des teneurs significatives en Mo, Zn et Ag (Bellehumeur et Valiquette, 1993; Wares, 1988). La minéralisation se retrouve à l'intérieur du calcaire récifal de la Formation de West Point. La dernière évaluation des ressources donne 1,84 Mt à 1,39 % Cu à une coupure de 1 % Cu. Plus à l'est, à 4,5 km du gîte Sullipek, se trouve le gîte de Sullipek-Est. Il est caractérisé par une zone de cornéenne recoupant la formation d'Indian Point et contenant de la chalcopryrite, pyrrhotite et molybdénite disséminés. Les teneurs y sont relativement faibles.

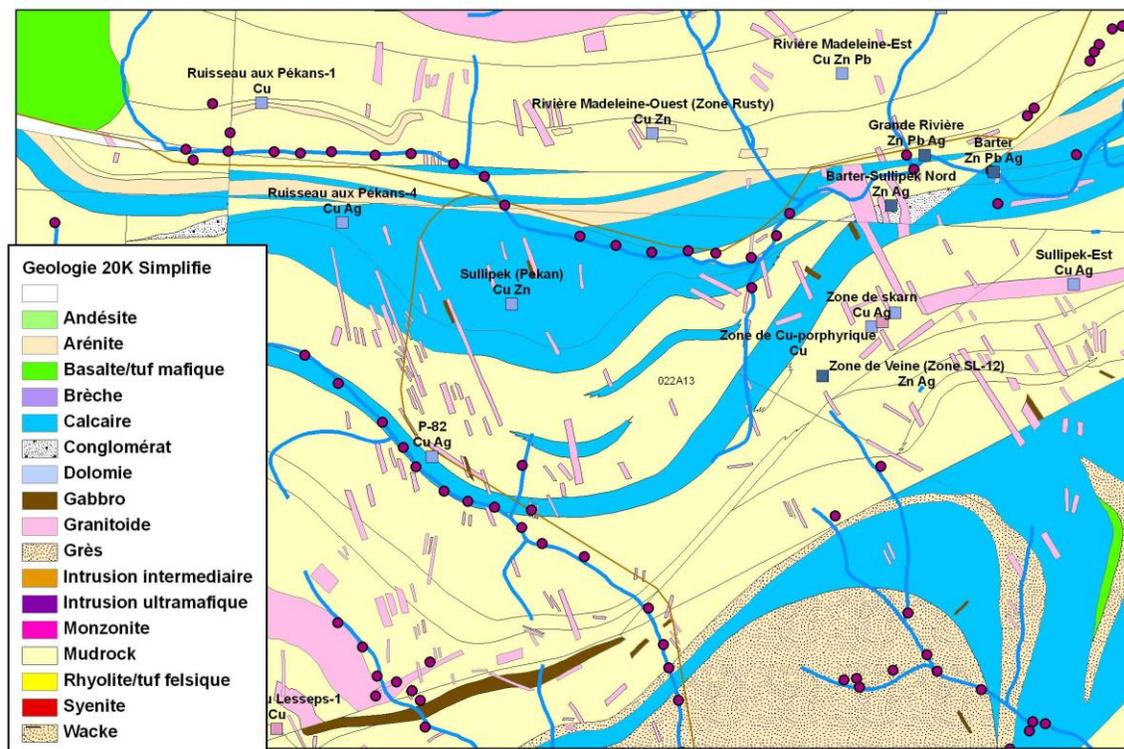


Figure 47. Géologie et minéralisations du secteur de Sullipek (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

Signatures métalliques dans les sédiments de ruisseaux

Le secteur de Sullipek contient une faible quantité d'anomalies en cuivre-zinc-plomb dans les sédiments de ruisseaux (**Figure 48**). Quatre anomalies polymétalliques en Cu-Zn-As-W-Nb-Ag-Th±Bi±Cd±Pb±Au±Hg±Mo±Sb±Be±Na sont observées dans le secteur des gîtes de Pb-Zn Barter situés à environ 1,5 km au NO du gîte Sullipek-Est. Deux anomalies faibles à moyennes en cuivre sont situées à 1,5 km au sud du gîte Sullipek. Ce sont des anomalies en Cu-Ag-Ga-Nb-Sn-W±As. Il faut noter le ruisseau aux Pékans, qui coule juste au nord du gîte Sullipek et qui draine celui-ci, n'est pas anomalique en

civre-zinc-plomb. Le ruisseau aux Pékans est toutefois anormalique modérément en Mo-W-As-Ag-Nb±Cd sur toute sa longueur. Le ruisseau situé au sud du gîte Sullipek montre une signature à W±Au±Hg±Mo±Nb.

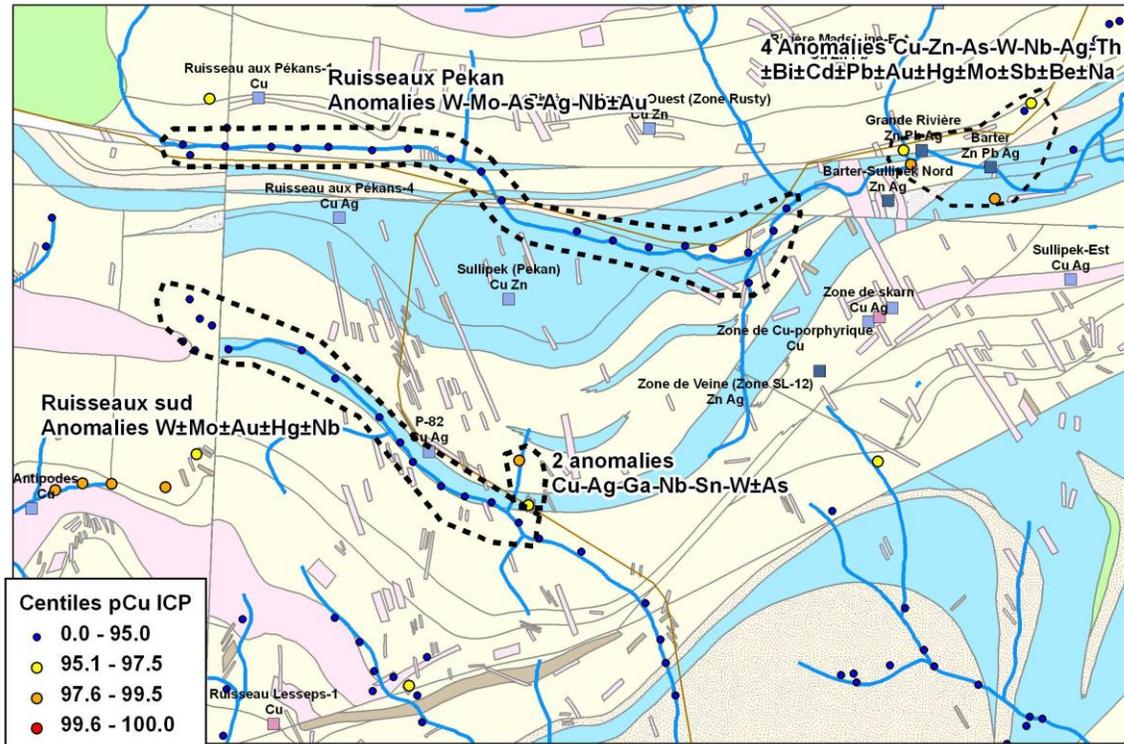


Figure 48. Principales anomalies dans les sédiments de ruisseaux par centiles sur valeurs brutes, secteur du dôme de Lemieux, secteur Sullipek (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

Le secteur est marqué par la présence d'anomalies fortes en éléments lithophiles tels que Nb et Th. Ces anomalies sont probablement reliées à l'abondance de dykes felsiques dans le secteur.

Un levé de sol régional effectué dans le secteur montre des anomalies de sols en cuivre et zinc très fortes mais très localisées autour des minéralisations connues (Henry et Lasalle, 1989; **Figure 49**). Cette absence d'anomalies en Zn-Cu-Pb dans ce secteur, en particulier dans le ruisseau Pékans, pourrait s'expliquer par la présence des calcaires encaissant les minéralisations. La présence des calcaires neutralise essentiellement les eaux habituellement acides générées autour des minéralisations sulfurées. La **Figure 50** montre, sur un diagramme eH-pH, les conditions probables des eaux de surface sur les skarns du secteur.

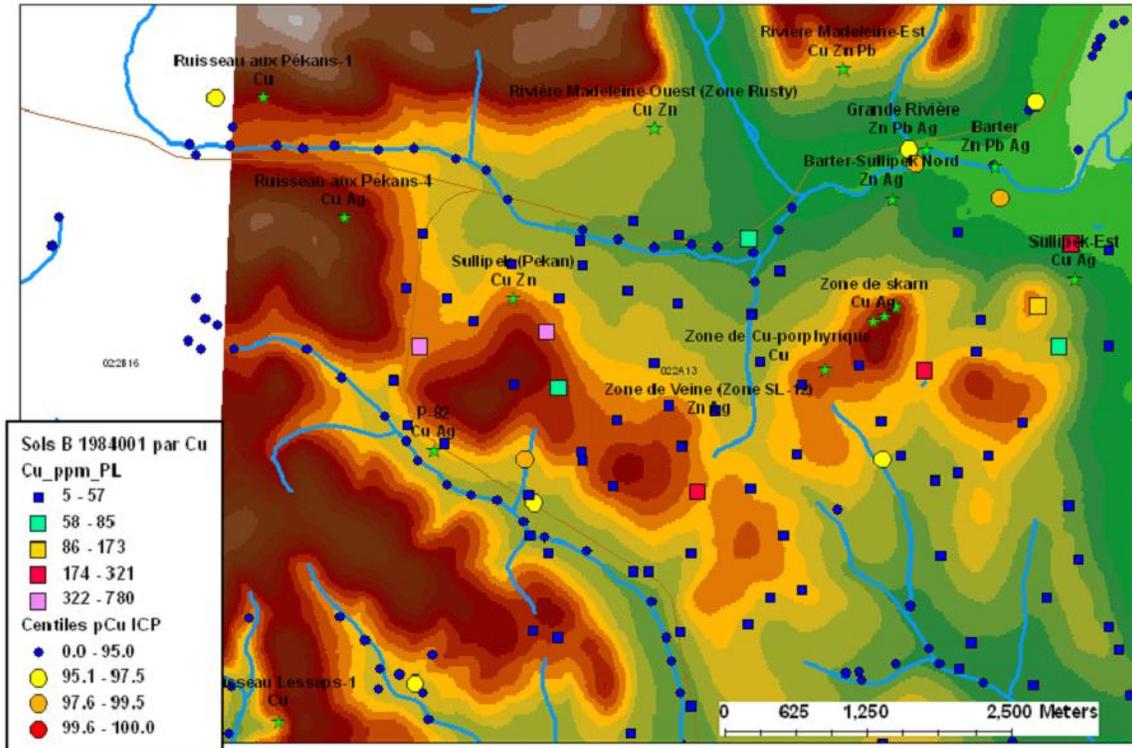


Figure 49. Anomalies de sols horizon B (carrés) et de ruisseaux (cercles), secteur de Sullipek.

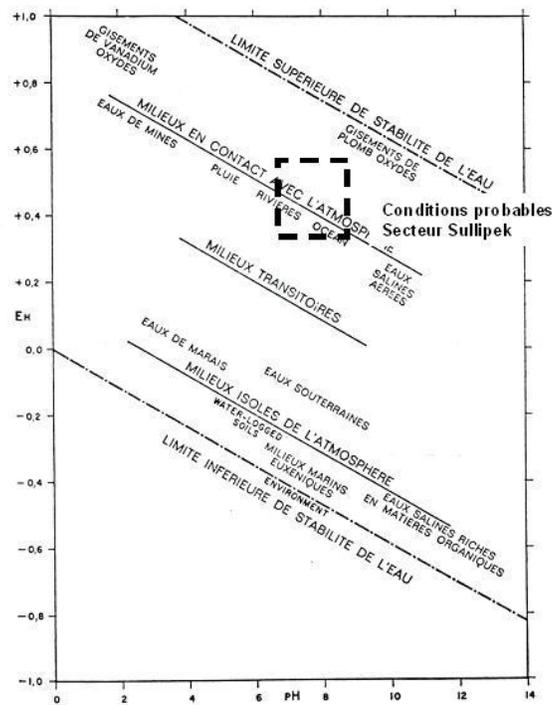


Fig. 11.2. — Position approximative de quelques milieux naturels caractérisés au moyen du Eh et du pH.

Figure 50. Conditions eH-pH probable en surface dans le secteur du gîte Sullipek.

L'absence d'anomalies en Zn-Cu-Pb et la présence d'anomalies en Mo-W-Ag-As dans le ruisseau Pékan s'explique de façon très satisfaisante par les comportements géochimiques de ces éléments dans les conditions supergènes. En conditions oxydantes et légèrement alcalines (pH = 7,5, eH = 0,5), Zn, Pb et Cu se retrouvent sous forme de carbonates insolubles (**Figure 51; Figure 52; Figure 53**). Par contre, Mo, As et Ag, dans ces mêmes conditions sont solubles (**Figure 54; Figure 55**). Aucun diagramme de stabilité n'a été trouvé pour le tungstène mais son comportement est supposé similaire à Mo. Le zinc et le cuivre sont fortement immobilisés dans les sols, ce qui explique également la présence de fortes anomalies de sols très localisées autour des gîtes.

Ceci indique que les anomalies présentes sont essentiellement d'origine hydromorphique plutôt que clastique et que leur signature particulière est due aux solubilités différentes des métaux dans le milieu alcalin et oxydé. Les métaux solubles (As, W, Ag, Mo) dans les conditions supergènes oxydées et alcalines sont mobilisés et vont former des anomalies dans les sédiments de ruisseaux alors que les insolubles (Cu, Pb, Zn) sont immobilisés sous forme de carbonates, probablement dans les sols près des minéralisations.

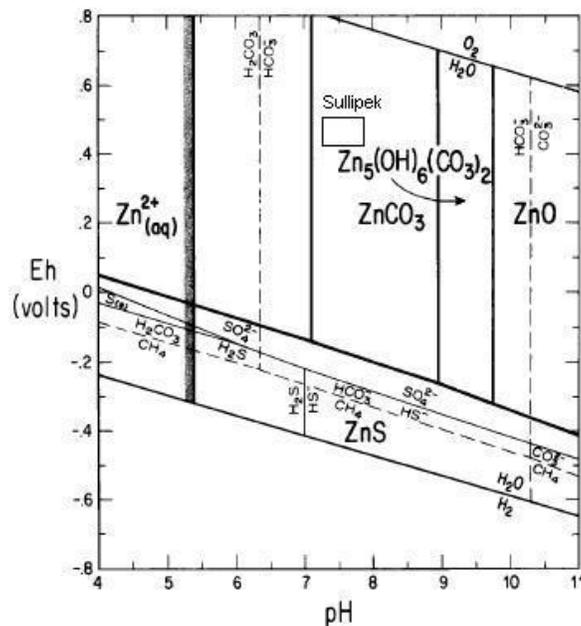


Figure 51. Diagramme eH-pH pour le zinc (stabilité de relation à 25 °C et 1 atm). Tiré de Sangameshwar, 1983.

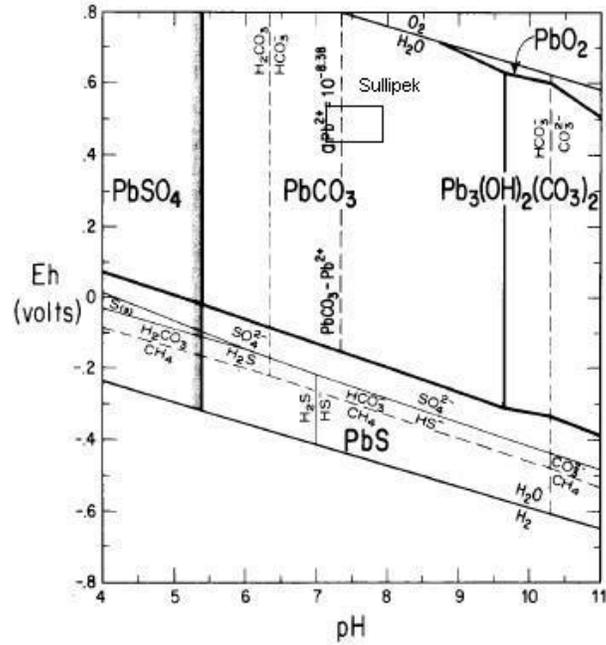


Figure 52. Diagramme eH-pH pour le plomb (stabilité de relation à 25 °C et 1 atm). Tiré de Sangameshwar, 1983.

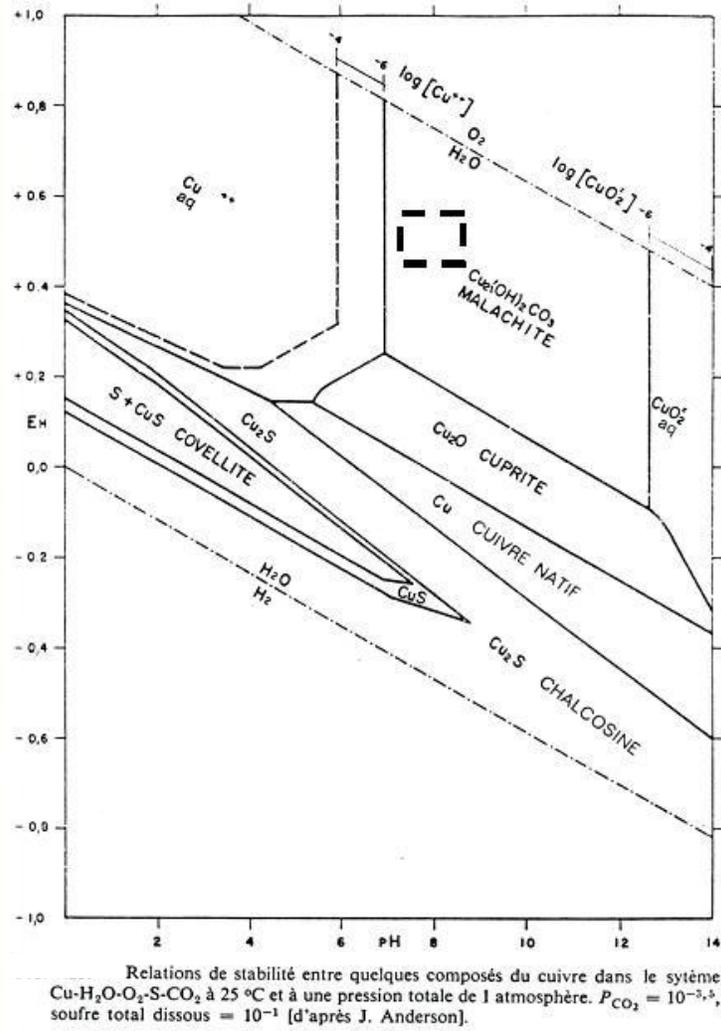


Figure 53. Diagramme eH-pH pour le cuivre.

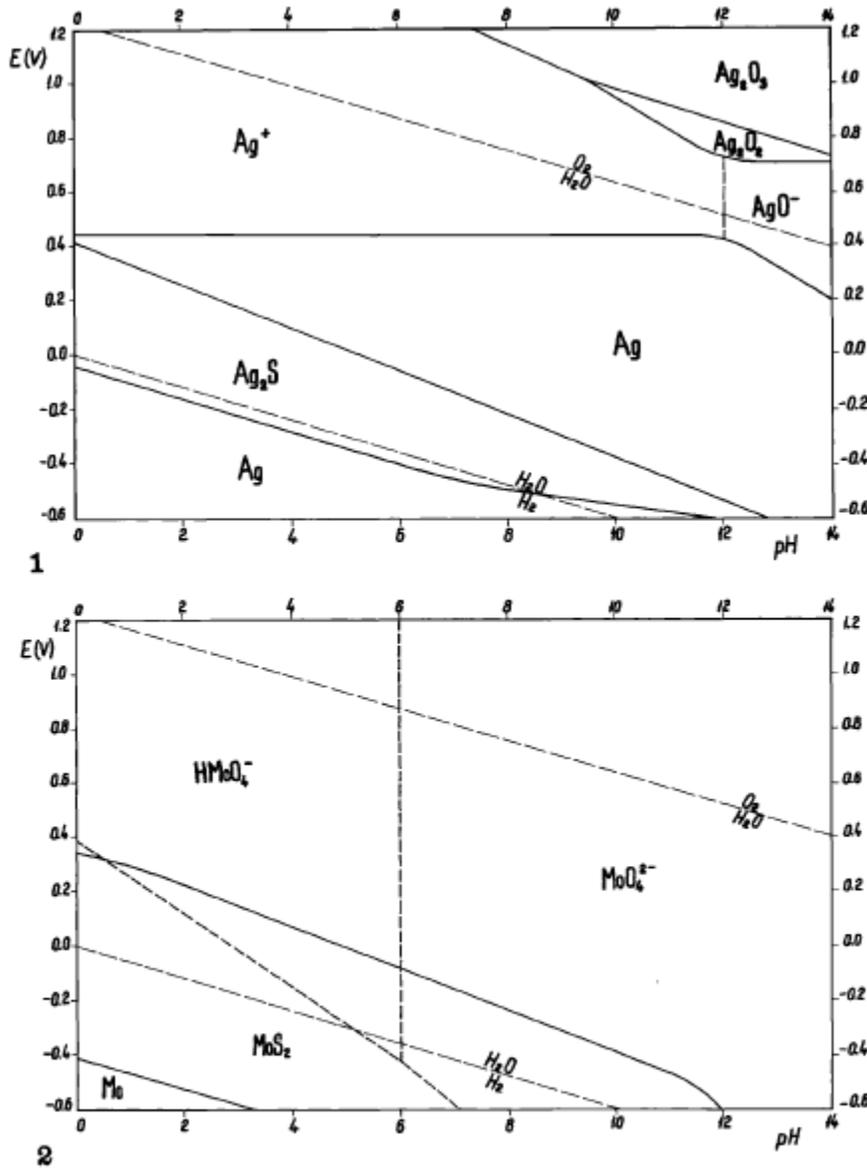


FIG. 1. Potential-pH diagram for the system Ag-H₂O-H₂S, at temperature = 25° C, pressure = 1 atm, activity of silver in solution = 10⁻⁶ gram-ion/l, and activity of sulfur in solution = 10⁻¹ gram-ion/l.
 FIG. 2. Potential-pH diagram for the system Mo-H₂O-H₂S, at temperature = 25° C, pressure = 1 atm, activity of molybdenum in solution = 10⁻⁶ gram-ion/l, and activity of sulfur in solution = 10⁻¹ gram-ion/l.

Figure 54. Diagrammes eH-pH pour l'argent et le molybdène. Tiré de Letowski *et al.*, 1966.

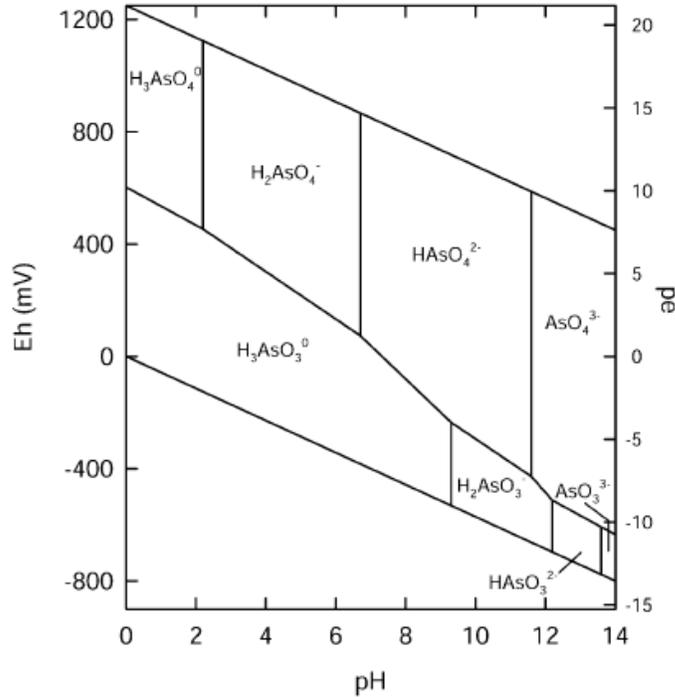


Figure 55. Diagramme Eh-pH pour l'arsenic (stabilité de relation à 25 °C et 1 bar). Tiré de Smedley et Kinniburgh, 2002.

8.3 Mines Gaspé (Porphyre à cuivre, skarns à cuivre, skarns à plomb-zinc)

Géologie et minéralisations

Les minéralisations du secteur de Mines Gaspé sont contenues dans les calcaires supérieurs de Gaspé. Dans ce secteur, les roches sédimentaires sont recoupées d'une série de dykes, stocks et filons-couches felsiques (**Figure 56**).

Le gisement Mines Gaspé contient plusieurs zones (Allcock, 1982; Bellehumeur et Valiquette, 1992; Wares et Berger, 1995). Les zones du Mont Copper et du Mont Porphyre sont des porphyres à Cu-Mo centrés sur des intrusions felsiques. Les zones du Mont de l'Aiguille sont des skarns stratoïdes à Cu-Mo. Plus au nord, la zone d'altération du ruisseau porphyre contient des minéralisations à Pb-Zn-Ag subéconomiques. La signature métallique globale des gisements exploités est Cu-Mo-Ag-Bi-Se-Te-Au (Allcock, 1982).

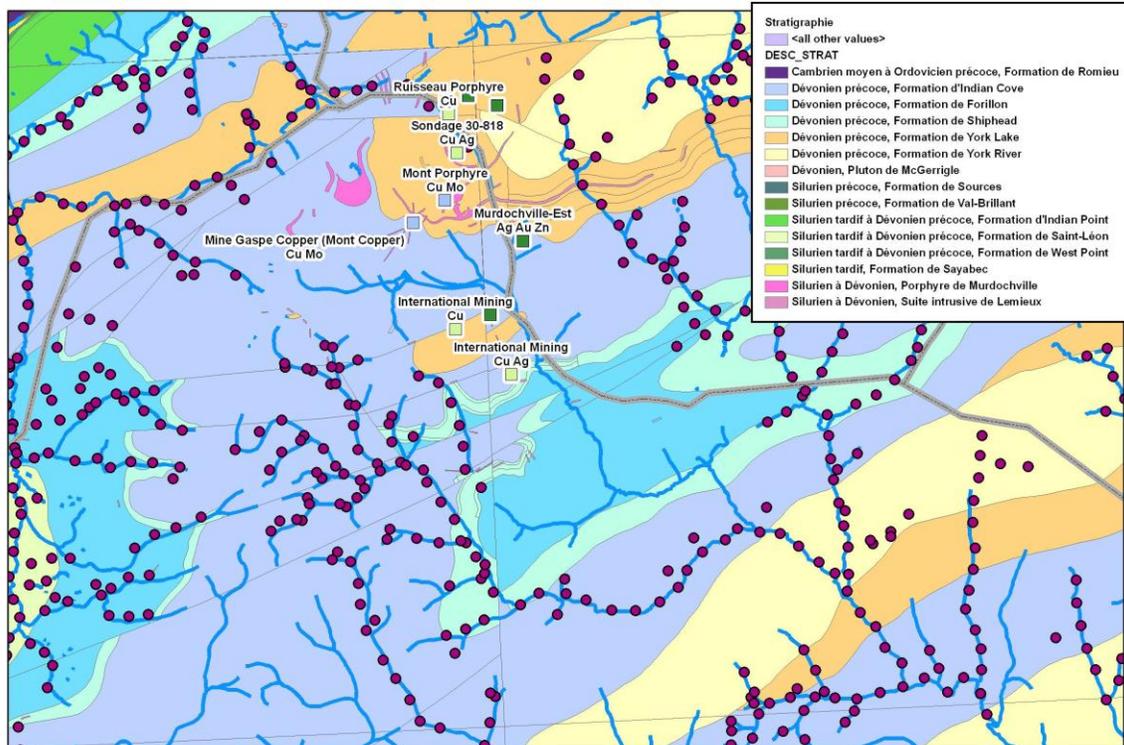


Figure 56. Géologie locale du secteur de Mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

Signature métallique dans les sédiments de ruisseaux

Le site de Mines Gaspé est en exploitation depuis la première moitié des années 50. Une fonderie est également présente sur le site depuis la même époque (Allcock, 1982). Les échantillons de sédiments de ruisseaux prélevés dans le secteur datent de 1969, soit plus d'une quinzaine d'années après le début de l'exploitation du site et de la fonderie. Toutefois, la fosse à ciel ouvert a débuté son exploitation la même année, soit 1969. La première question qui se pose ici est donc la possible contamination des sédiments de ruisseaux par ces activités minières.

Pour évaluer les possibilités de contamination, l'aire des activités minières identifiées sur les cartes topographiques du secteur a été tracée. Les cartes topographiques sont basées sur les photos aériennes de 1976, ce qui n'est que quelques années plus tard que l'échantillonnage des ruisseaux. Cette aire a été comparée aux échantillons de sédiments de ruisseaux, au drainage et au modèle numérique de terrain. Deux secteurs ont été identifiés comme étant possiblement contaminés directement par le drainage des sites miniers (**Figure 57**).

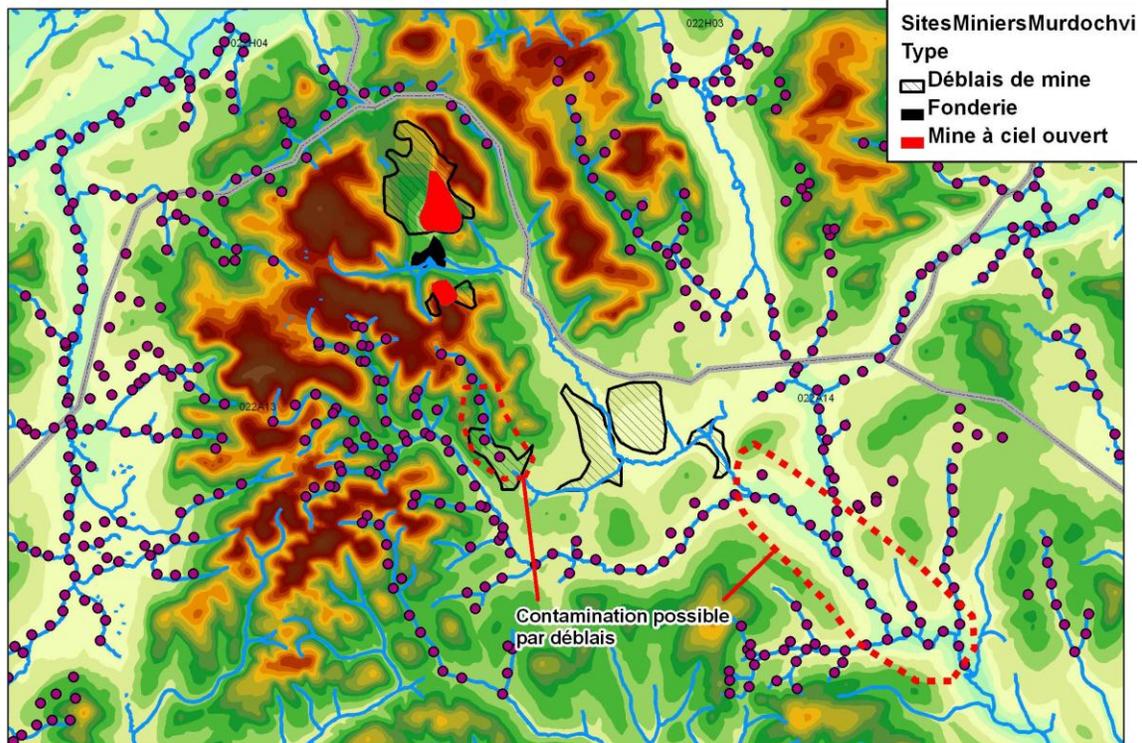


Figure 57. Examen de la contamination directe possible dans les sédiments de ruisseaux du secteur de Mines Gaspé. Les zones de déblais et de mines proviennent des photos aériennes de 1976.

L'examen des anomalies dans les sédiments de ruisseaux permet de dégager plusieurs associations métalliques dans différents secteurs (**Figure 58**). La première association se retrouve dans la partie sud-est du secteur. Elle est particulièrement évidente dans la partie en aval de la rivière York et la partie en aval du ruisseau Miller, coulant vers le sud-est à partir des minéralisations de Mines Gaspé. Dans ce ruisseau, cette association est à Bi-Cu-W-Ag-Au-Mo-Te-In-Re±Sn. Il s'agit des anomalies les plus fortes du secteur en Cu, W, Mo, Ag, Au. Comme il a été mentionné précédemment, ce ruisseau pourrait avoir subi une contamination à partir des déblais miniers situés au nord-ouest. Toutefois, on trouve également de fortes anomalies ayant une signature similaire (c.-à-d. Bi-Cu-Te-In±Sn±Pb±Ag±As±Mo±Nb) dans le secteur du lac York – amont rivière York, un peu plus au nord, dans un secteur où la contamination directe est beaucoup moins probable. De plus, le ruisseau du sud-est est celui qui draine tous les secteurs des minéralisations de Mines Gaspé; il est donc cohérent qu'il ait été anomalique dès le départ. Mentionnons finalement que ce ruisseau n'est pas le plus anomalique en Bi, Te ou Sn. Il est fort possible que ces anomalies du ruisseau au sud-est représentent la signature originale des minéralisations.

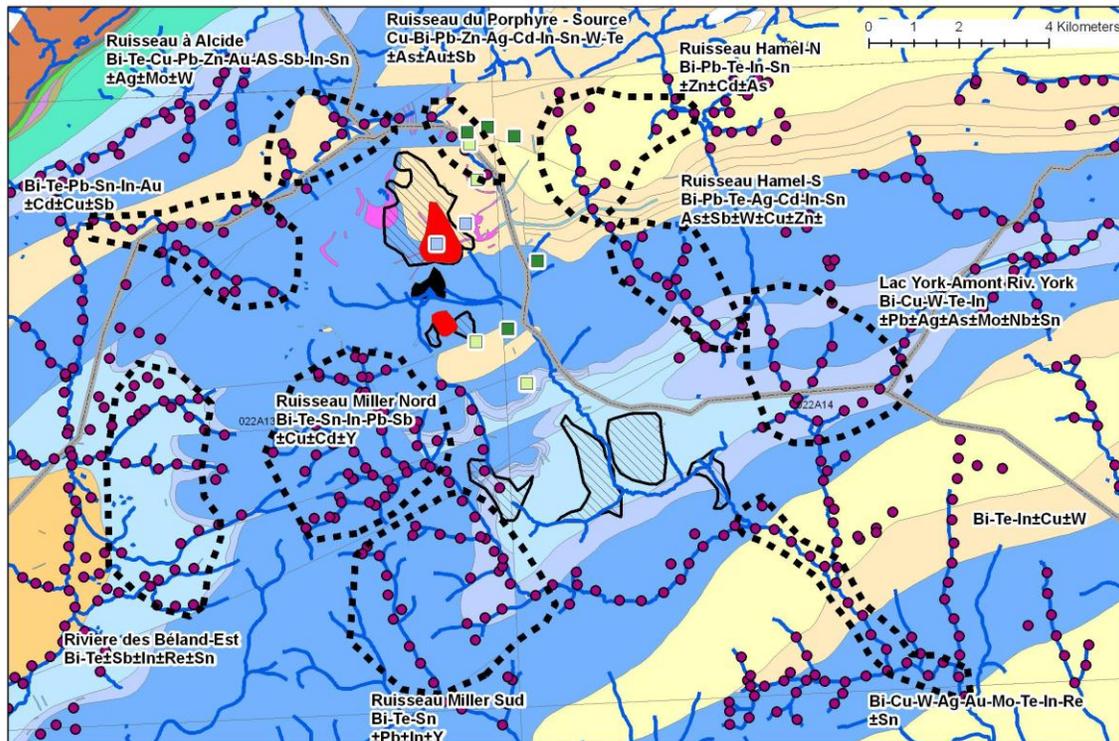


Figure 58. Principaux assemblages métalliques par centiles sur valeurs brutes, secteur de Mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

Le ruisseau Hamel, situé à l'est du Mont Miller et à l'ouest du lac York, montre deux zones d'anomalies (Ruisseau Hamel-N et S) à Bi-Pb-Te-Ag-Cd-In-Sn±As±Sb±W±Cu±Zn et à Bi-Pb-Te-In-Sn±Zn±Cd±As. Ces zones sont parmi les seules du secteur à être anomaliques en Zn-Cd. Contrairement à la première association, elles montrent également des teneurs plus élevées en Sb et As une absence d'anomalies en Cu-Mo-W. La zone la plus au nord draine principalement des grès du Groupe de York Lake et du York River. Ces zones d'anomalies dans les sédiments de ruisseaux pourraient représenter les parties externes ou sommitales du système hydrothermal. Cette interprétation est supportée par la présence de minéralisations à Pb-Zn dans le York River, à environ 2 km au nord du Mont Porphyre.

Le ruisseau du porphyre, au nord du Mont Porphyre, montre une association Cu-Bi-Pb-Zn-Ag-Cd-In-Sn-W-Te±As±Au±Sb. C'est également un des trois seuls secteurs avec des teneurs en Zn significatives.

Plus à l'ouest, le ruisseau à Alcide montre une association Bi-Te-Cu-Pb-Zn-Au-As-Sb-In-Sn±Ag±Mo±W. Il s'agit du secteur le plus riche en As. Il est également l'un des plus riches en Au. Cette zone est la plus riche en Te-Sn-Bi de toute la région.

Directement à l'ouest de Mines Gaspé, un autre secteur est caractérisé par Bi-Te-Pb-Sn-In-Au±Cd±Cu±Sb. Ce secteur est relativement riche en Au par rapport aux autres. On peut noter l'absence de Zn, W, As, Ag et Mo dans cet assemblage.

La partie nord du ruisseau Miller est caractérisée par un assemblage Bi-Te-Sn-In-Pb-Sb±Cu±Cd±Y. On peut noter les plus faibles teneurs en Mo, Zn, As, Au, Ag et W dans cette zone.

La partie sud du ruisseau Miller possède un assemblage à Bi-Te-Sn±Pb±In±Y. C'est le seul assemblage qui montre Y comme élément anormal. Il est pauvre en Cu, As, W, Mo, Zn, Au, Ag.

Finalement, la zone la plus à l'ouest, à l'est de la rivière des Béland, montre des anomalies à Bi-Te±Sb±In±Re±Sn.

Ces anomalies sont probablement l'expression de la zonation métallique des systèmes hydrothermaux responsables des minéralisations du secteur. La partie centrale du système, qui correspond aux mines exploitées et dont la signature se retrouve en aval du ruisseau Miller et dans la rivière York, contient les plus fortes anomalies en Cu-W-Mo-Ag-Au. Les parties périphériques au nord et au nord-est s'enrichissent en Zn et As. Toute la périphérie du système, à l'ouest, au nord et à l'est, est anormale en Pb-Bi-Te-Sn. Des zones riches en Au, Sb sont présentes au nord et localement à l'ouest.

On peut noter l'omniprésence de certains métaux dans toutes les zones. C'est le cas pour Bi-Te-In (**Figure 59; Figure 60; Figure 61; Figure 62**). Les anomalies en ces trois métaux forment de larges zones autour de Mines Gaspé, qui sont visibles clairement à l'échelle régionale.

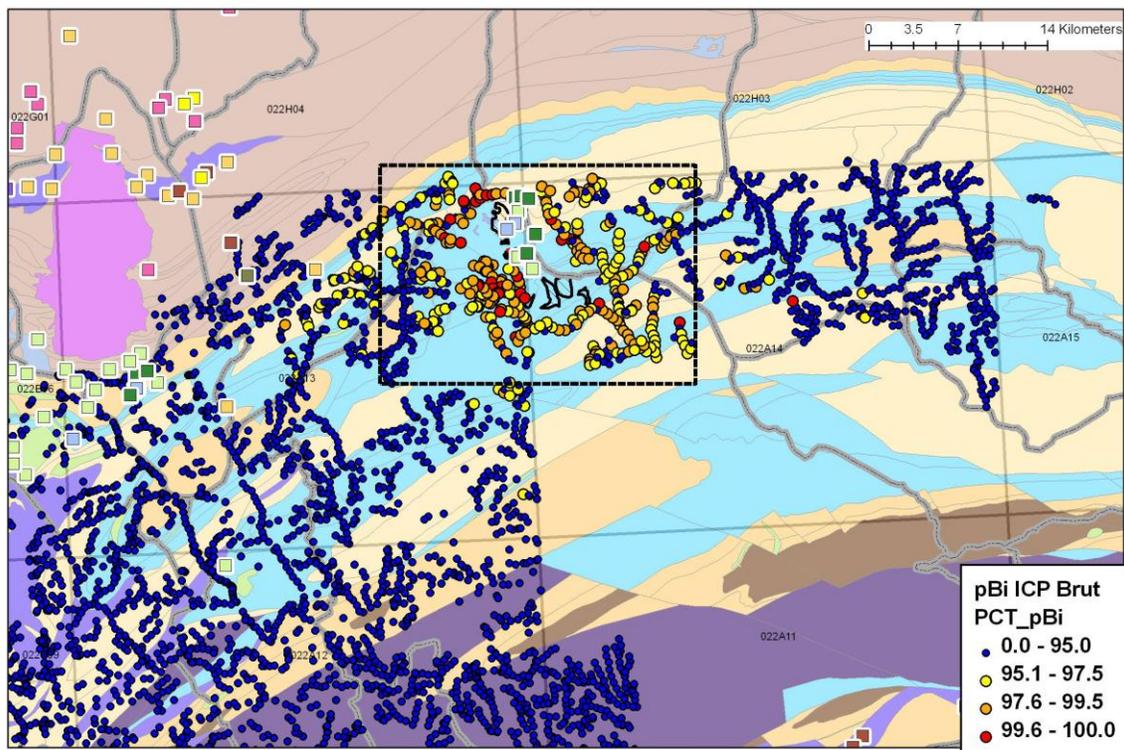


Figure 59. Anomalies en Bi par centiles sur valeurs brutes, secteur de mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

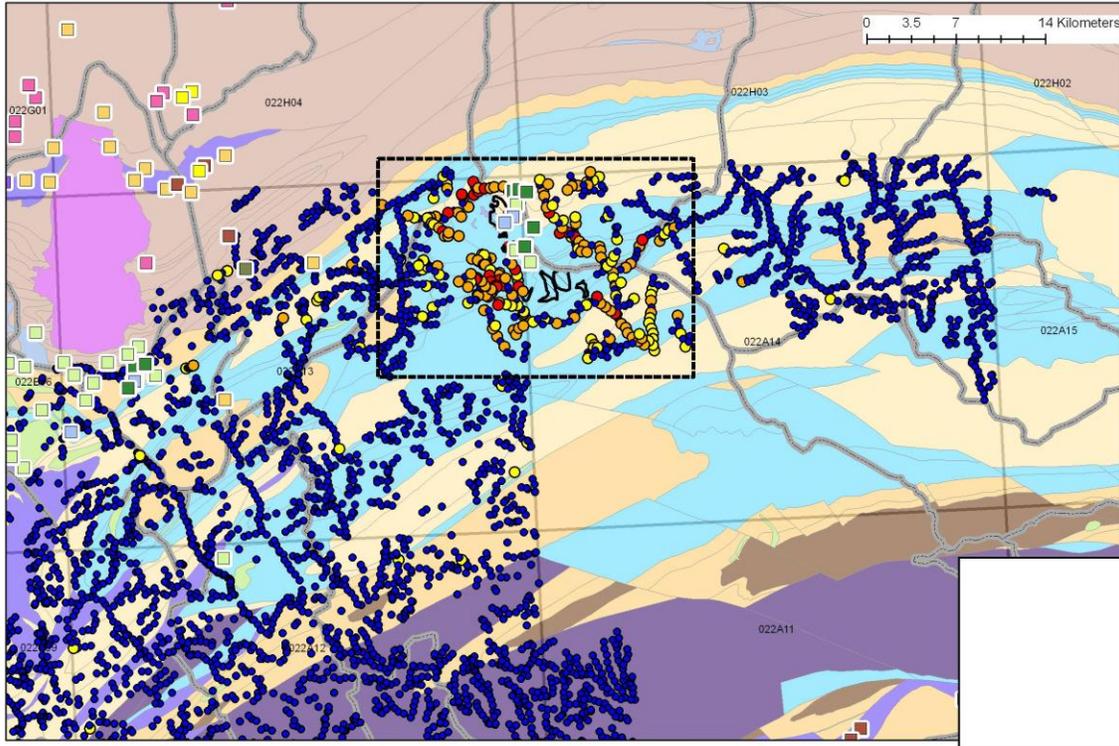


Figure 60. Anomalies en In par centiles sur valeurs brutes, secteur de Mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

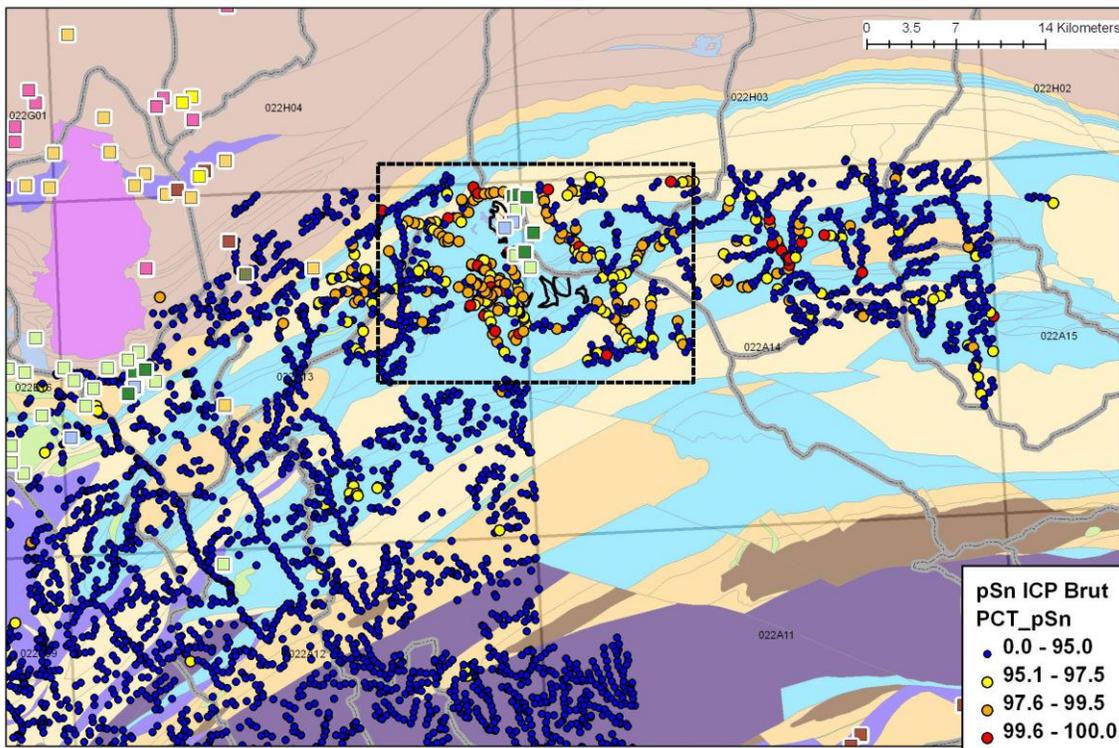


Figure 61. Anomalies en Sn par centiles sur valeurs brutes secteur de mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

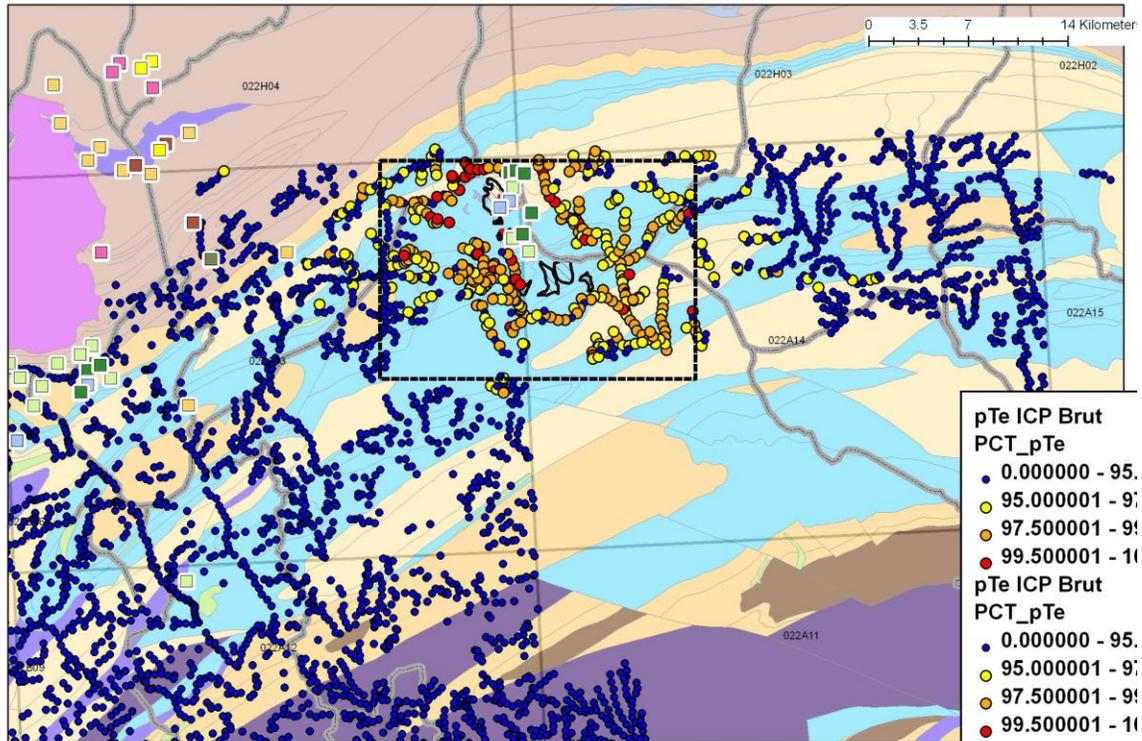


Figure 62. Anomalies en Te par centiles sur valeurs brutes, secteur de Mines Gaspé (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

8.4 Mont Alexandre (Cuivre dans lits rouges volcaniques)

Géologie et minéralisations

Le secteur du Mont Alexandre contient plusieurs indices et gîtes de Cu-Ag associés à des basaltes alcalins de la Formation de Saint-Léon (**Figure 63**; Cabral et Beaudoin, 2007). La minéralisation est considérée de type « cuivre dans les lits rouges volcaniques », quoique les basaltes semblent être sous-marins plutôt que subaériens comme ils le sont normalement dans ce type de minéralisation (Cabral et Beaudoin, 2007).

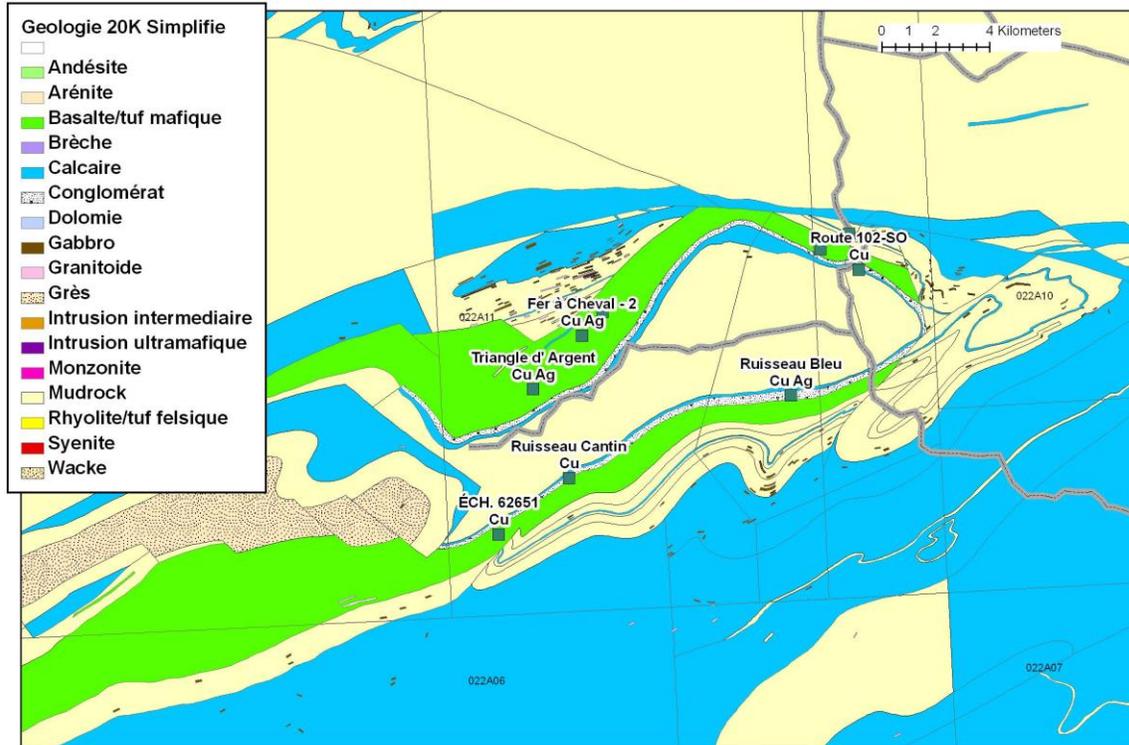


Figure 63. Géologie et minéralisations du secteur du Mont Alexandr (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

Analyses disponibles

Le secteur du Mont Alexandre est couvert par des levés analysés par absorption atomique pour Cu, Co, Ni, Mn, Pb, Zn et U. Quelques réanalyses par activation neutronique sont disponibles également.

Signature métallique dans les sédiments de ruisseaux

Malgré une densité d'échantillons très forte, le secteur montre peu d'anomalies en cuivre par les centiles calculés sur les valeurs brutes (**Figure 64**). Le secteur du ruisseau Cantin montre les plus fortes anomalies avec une anomalie modérée et trois anomalies faibles en cuivre. Trois de ces anomalies sont également des anomalies modérées en uranium (**Figure 65**). D'autres anomalies isolées en cuivre, faibles à moyenne, sont observées ailleurs principalement dans les unités basaltiques. Plusieurs anomalies faibles en uranium apparaissent également dans ces mêmes basaltes. Quelques anomalies isolées en plomb se retrouvent éparpillées dans le secteur également, mais ne semble pas directement associées aux minéralisations. Les autres éléments ne sont pas anomaux.

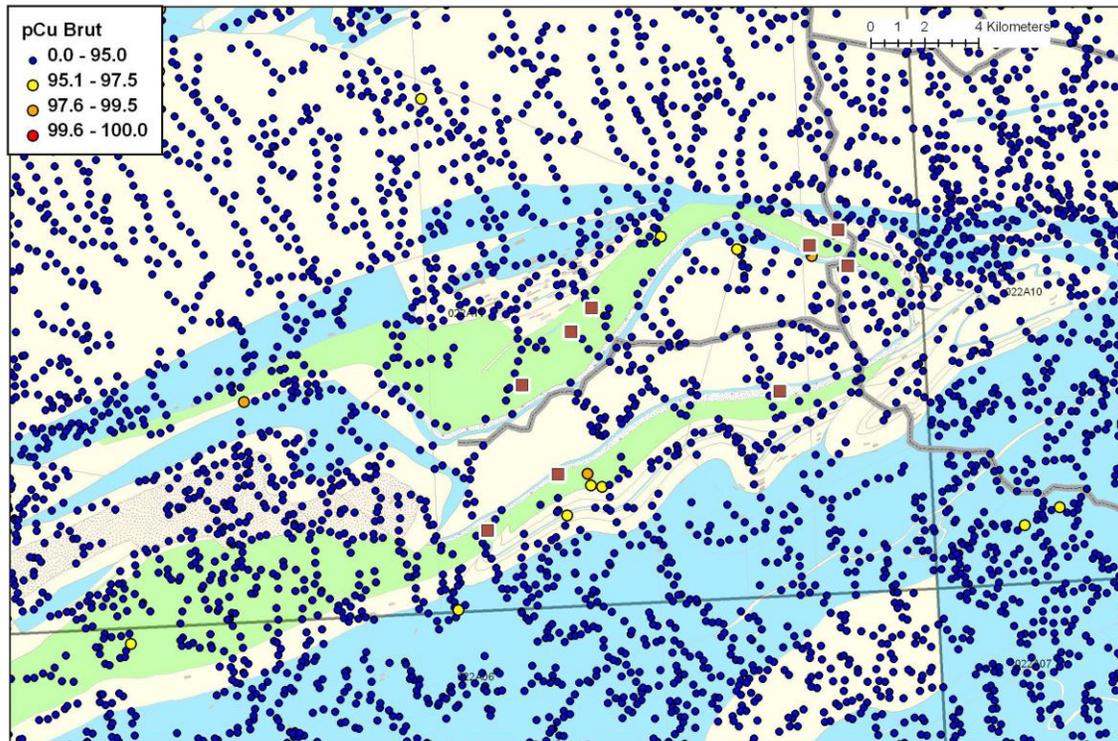


Figure 64. Anomalies en cuivre par centiles sur valeurs brutes, secteur du mont Alexandre (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

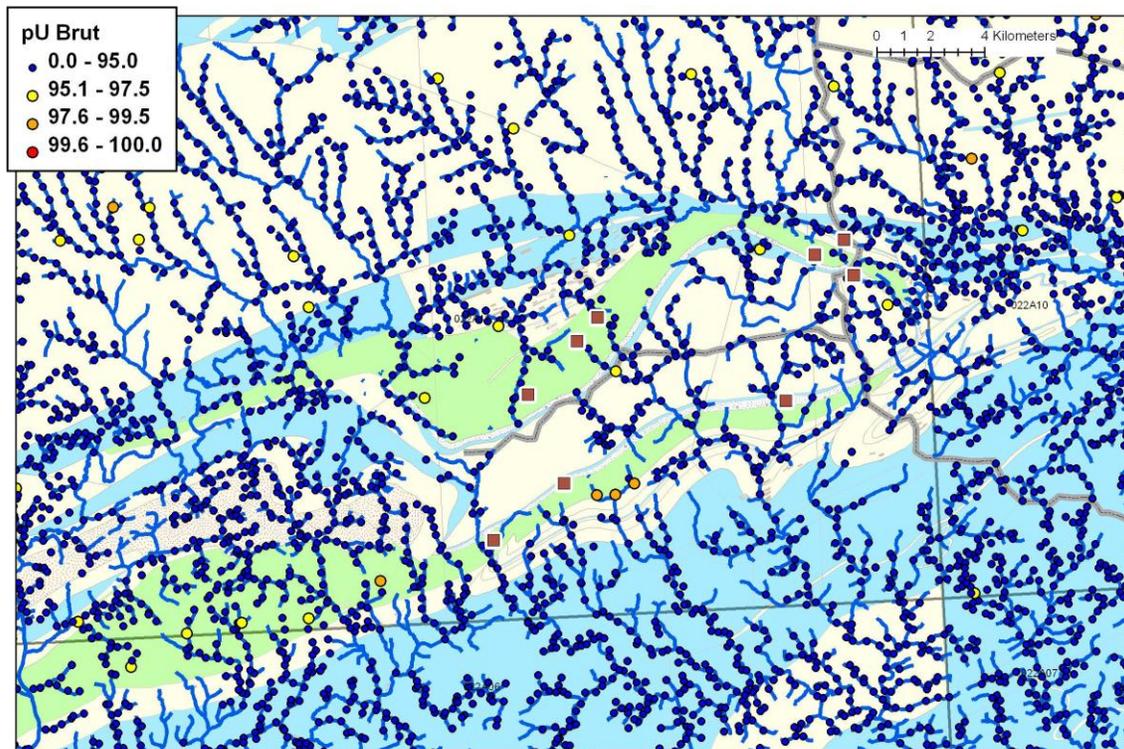


Figure 65. Anomalies en uranium par centiles sur valeurs brutes, secteur du mont Alexandre (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

La présence d'anomalies en uranium intimement associées à des anomalies en cuivre suggère que ces minéralisations cuprifères sont porteuses d'uranium.

L'utilisation de la statistique U permet de rehausser de façon significative le signal des anomalies en cuivre du secteur (**Figure 66**). Plusieurs groupes d'anomalies modérées à faibles apparaissent alors en association avec les minéralisations connues. Un autre groupe apparaît également au sud-ouest dans un secteur sans indices connus. La statistique U pour l'uranium (**Figure 67**) fait ressortir trois principaux secteurs, dont deux correspondent aux secteurs anomaliques en cuivre par cette même méthode. Le troisième secteur se trouve au centre du synclinal du Mont Alexandre.

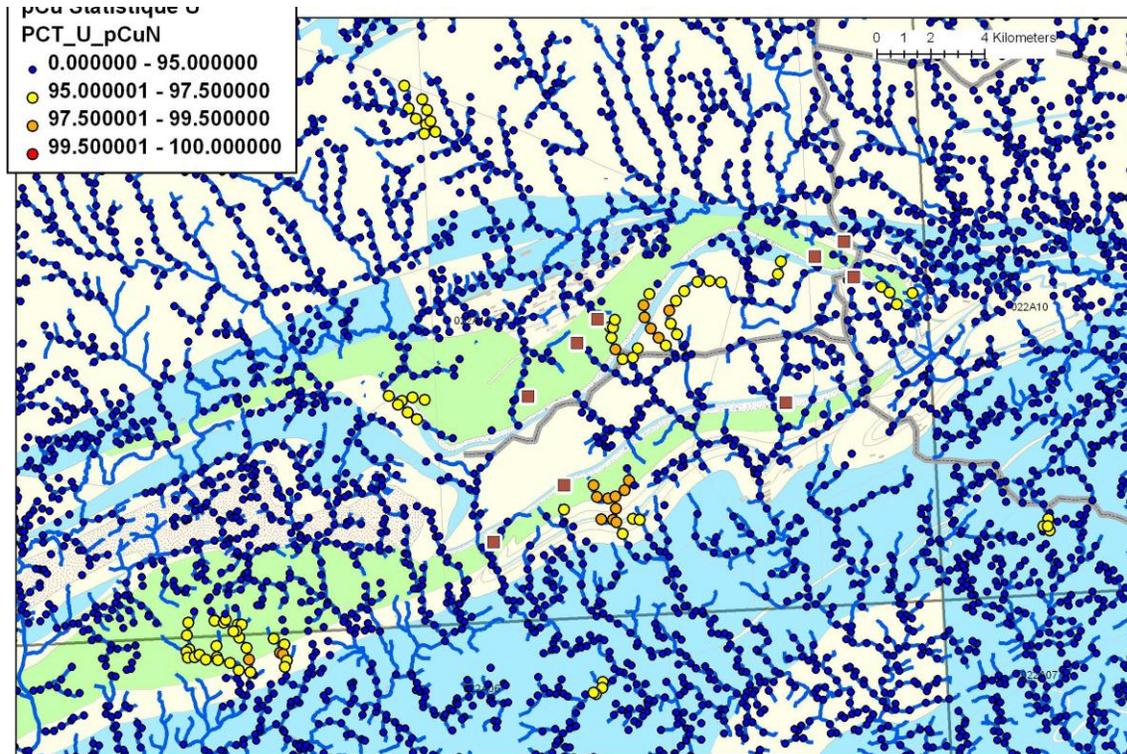


Figure 66. Anomalies en cuivre par centiles sur statistique U, secteur du Mont Alexandre (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

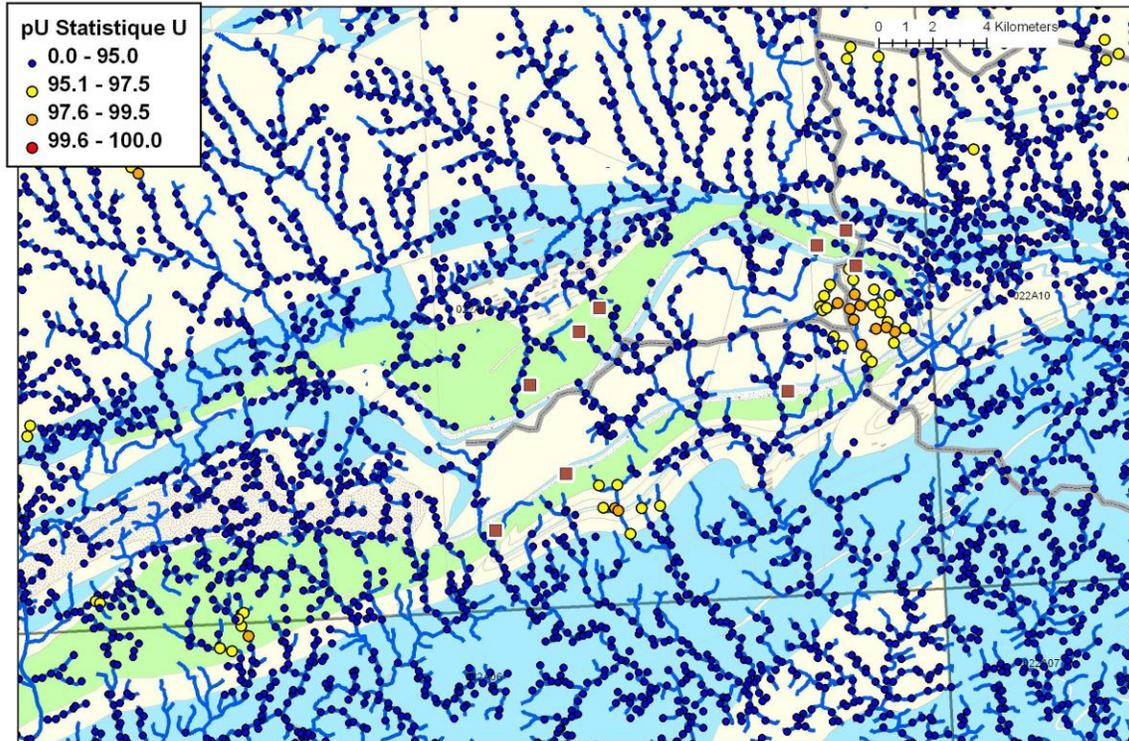


Figure 67. Anomalies en uranium par centiles sur statistique U, secteur du Mont Alexandre (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

8.5 Reboul (Skarns à cuivre-plomb-zinc-or-argent)

Géologie et minéralisations

Le secteur du ruisseau Reboul contient plusieurs indices Cu-Ag-Zn-Pb-Au associés à la faille du Grand Pabos (Malo *et al.*, 2000). Les indices sont contenus principalement dans des calcaires et mudstones de la Formation de White Head. Le secteur contient également plusieurs dykes felsiques. Ces minéralisations sont interprétées comme des minéralisations de type skarn à métaux de base, associées à des intrusions présentes en profondeur.

Analyses disponibles

Le secteur de Reboul est principalement couvert par des analyses par absorption atomique pour Cu, Co, Ni, Pb, Mn, U et Zn. La majorité du secteur est également analysée par colorimétrie pour As. Une petite quantité (environ 175) d'analyses par ICP multiéléments est également disponible directement autour des indices. Ces données n'ont pas pu être nivelées puisqu'elles sont isolées des réanalyses par ICP du centre nord de la Gaspésie. Des centiles ont été calculés sur toutes les analyses par ICP, incluant ces analyses.

Signature métallique dans les sédiments de ruisseaux : analyses ICP

Le secteur de Reboul est caractérisé par une superposition de zones d'anomalies (**Figure 68**). La zone centrale, près de l'indice « Zone Nord-Est » montre globalement les plus fortes anomalies. L'assemblage est caractérisé par Bi-W-Te-Cu-Pb-Zn-Au-Ag-As-Sb. Une zone plus large, qui s'étend vers le sud-ouest, comprend Cu-Pb-Zn-Au-Ag-As-Sb. Cette zone est entourée d'une zone un peu plus large à Pb-Zn-Au-Ag-As-Sb et d'une autre également un peu plus large à Zn-Au-Ag-As-Sb. Finalement, la zone d'anomalie la plus grande (3 km de long sur 500 m de large) est à Au-Ag-As-Sb. Les anomalies sont bien circonscrites vers le nord et le sud. Toutefois, vers l'est et l'ouest, les zones d'anomalies restent relativement ouvertes. Les distances de dispersion sont relativement difficiles à évaluer en raison du manque d'échantillons dans les extensions est et ouest.

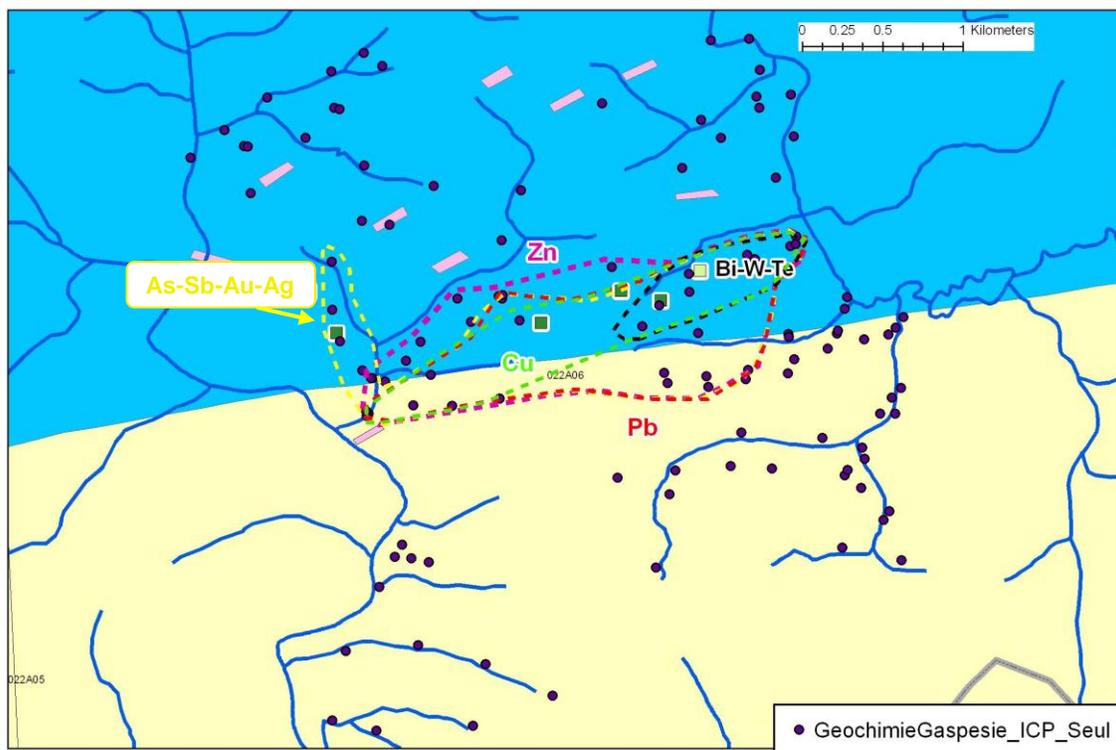


Figure 68. Anomalies par centiles bruts sur analyses ICP, secteur Reboul. (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

La zonation observée semble typique de la zonation de systèmes magmatiques-hydrothermaux centrés sur des intrusions. La partie centrale contenant Bi-Te-W est probablement la plus proche d'un système intrusif éventuel. Les zones externes à Au-Ag-As-Sb rappellent les assemblages des systèmes épithermaux péri-volcaniques.

Signature métallique dans les sédiments de ruisseaux : analyses AA, CO (As) et AN

Ces analyses permettent d'obtenir une vision plus large de ce secteur, incluant d'autres indices plus à l'ouest (**Figure 69**).

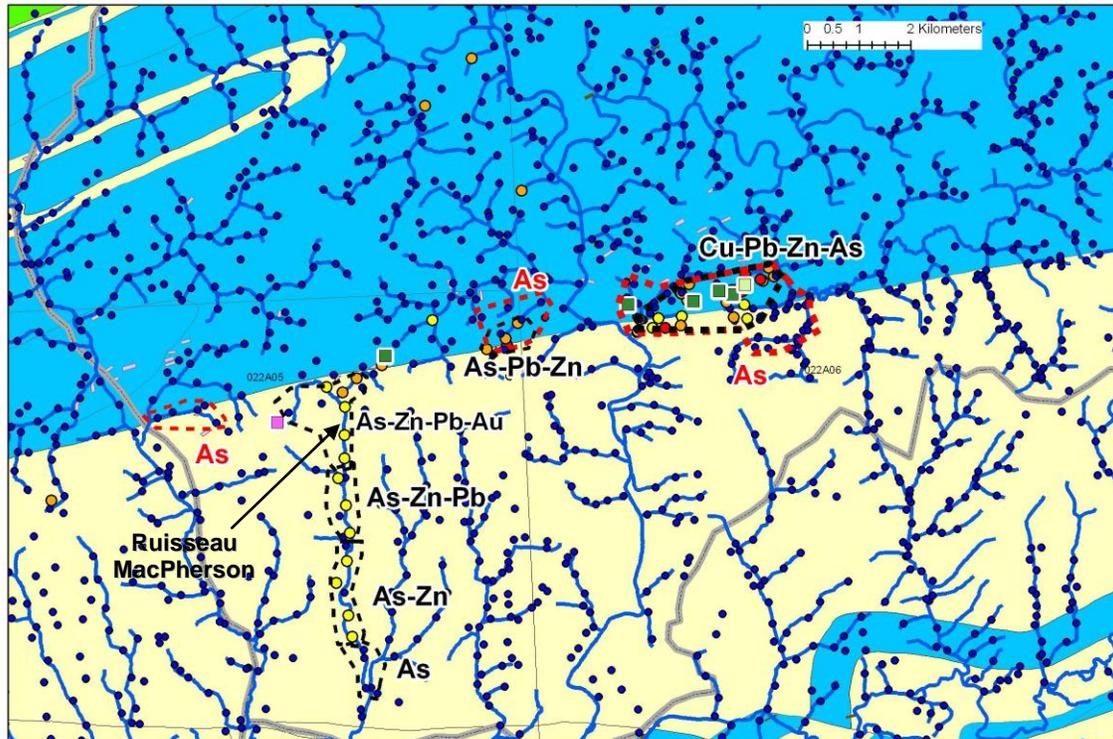


Figure 69. Anomalies par centiles bruts sur analyses AA, AN, secteur Reboul (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

L'anomalie en Cu-Pb-Zn-As associées aux minéralisations du ruisseau Reboul est bien visible. L'anomalie en arsenic y est, comme vu précédemment, plus large que les anomalies en Zn-Pb-Cu. L'anomalie en Cu est la plus circonscrite.

Plus à l'ouest, une anomalie importante en As-Zn-Pb-Au est très visible dans le ruisseau MacPherson, qui draine l'indice Robidoux situé près de la Faille du Grand Pabos. L'anomalie As-Zn-Pb-Au peut être tracée vers le sud à partir de la faille sur environ 7 km pour As, sur 6 km pour Zn, sur 4 km pour Pb pour Au. Les ruisseaux adjacents, qui n'ont pas leur source jusqu'à la faille, ne montrent pas d'anomalies. Ce cas est considéré comme un exemple parfait de dispersion.

Outre ces secteurs contenant des indices connus, deux autres situés près de la faille montrent des anomalies intéressantes mais n'ont pas de minéralisations connues. Le premier est situé entre Reboul et Robidoux et est caractérisé par une anomalie centrale à Pb-Zn-As entourée d'une anomalie plus large à As débordant vers le nord. Le second est une anomalie en As uniquement et est situé à 2,5 km à l'ouest de l'indice Robidoux.

8.6 Saint-André-de-Restigouche (Skarns à cuivre, épithermal neutre)

Géologie et minéralisations

Les minéralisations du secteur de Saint-André-de-Restigouche sont associées à la Faille du Grand Pabos (**Figure 70**). On y trouve deux minéralisations distinctes : une minéralisation à Cu et une autre à Au (Malo *et al.*, 2000). La minéralisation aurifère consiste en des veines de Au-As-Sb recoupant les calcaires de la Formation de White Head. La minéralisation cuprifère consiste en des skarns à pyrite-chalcoppyrite ainsi qu'en des veines de quartz-carbonates.

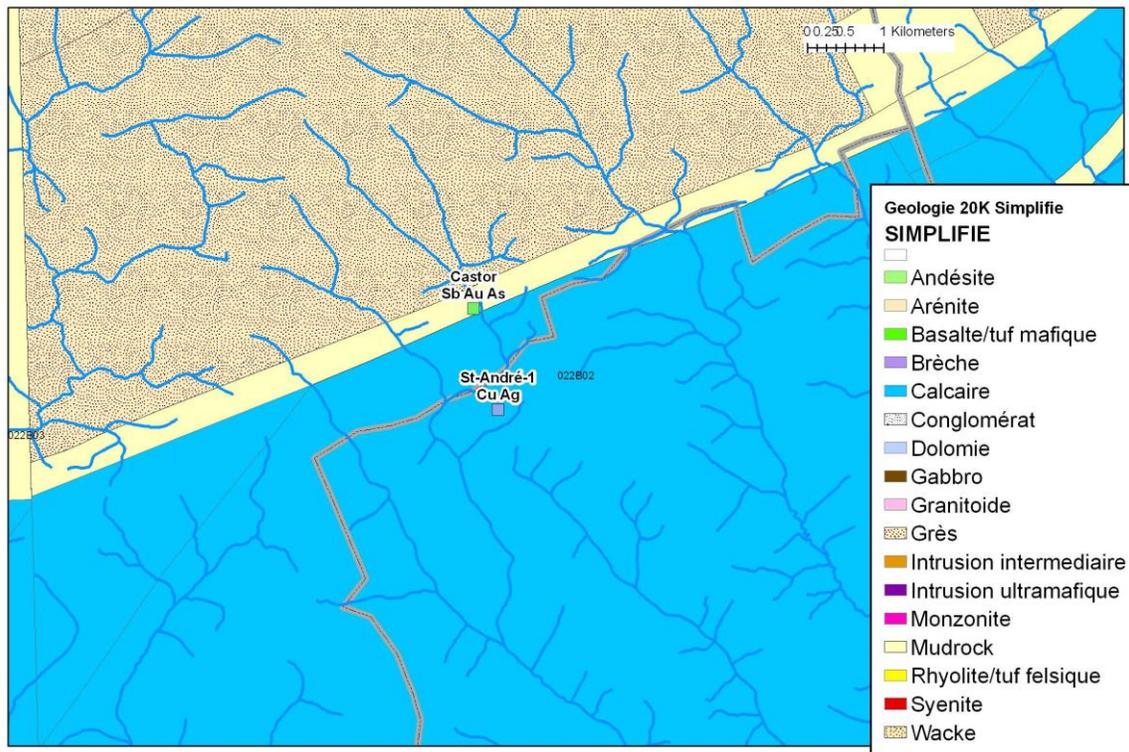


Figure 70. Géologie du secteur Saint-André-de-Restigouche (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

Analyses disponibles

Le secteur de Saint-André-de-Restigouche est couvert par des analyses par absorption atomique pour Cu, Co, Ni, Pb, Mn, U et Zn. La majorité du secteur est également analysée par colorimétrie pour As. Une petite quantité (environ 230) d'analyses par ICP multiéléments est également disponible directement autour des indices. Ces données n'ont pas pu être nivelées puisqu'elles sont isolées des réanalyses par ICP du centre nord de la Gaspésie. Des centiles ont été calculés sur toutes les analyses par ICP, incluant ces analyses.

Signature métallique dans les sédiments de ruisseaux : analyses ICP

La signature dans les sédiments de ruisseaux est essentiellement à As-Sb-Au (**Figure 71**). Aucune anomalie en métaux de base n'y est évidente. Ceci indique que la signature épithermale semble dominer sur le skarn à métaux de base. Les anomalies les plus significatives en As-Sb se retrouvent à environ 2 km au nord-est du gîte aurifère. La dispersion des anomalies As-Sb vers le sud est d'au moins 4 km dans les deux principaux ruisseaux drainant les minéralisations. La couverture des réanalyses est insuffisante pour évaluer la dispersion totale. La dispersion pour l'or est de plus de 3 km pour le ruisseau le plus à l'est et d'environ 3 km pour celui à l'ouest.

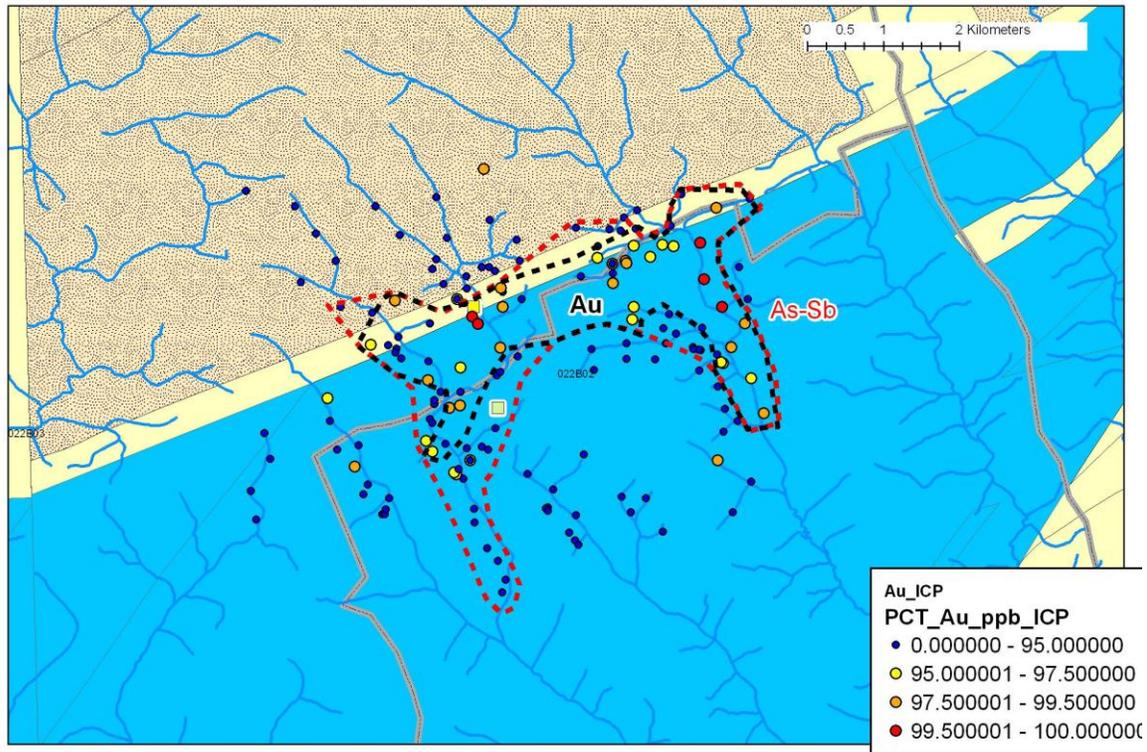


Figure 71. Anomalies du secteur de Saint-André-de-Restigouche par ICP (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

Signature métallique dans les sédiments de ruisseaux : analyses AA, CO (As)

Dans ces analyses, seul As par colorimétrie montre des anomalies (**Figure 72**). Ces analyses permettent toutefois d'évaluer la véritable dispersion de l'arsenic. Pour le ruisseau à l'ouest, cette dispersion est d'environ 5 km vers le sud. Pour le second ruisseau, plus à l'est, la dispersion peut être évaluée à environ 5 km également.

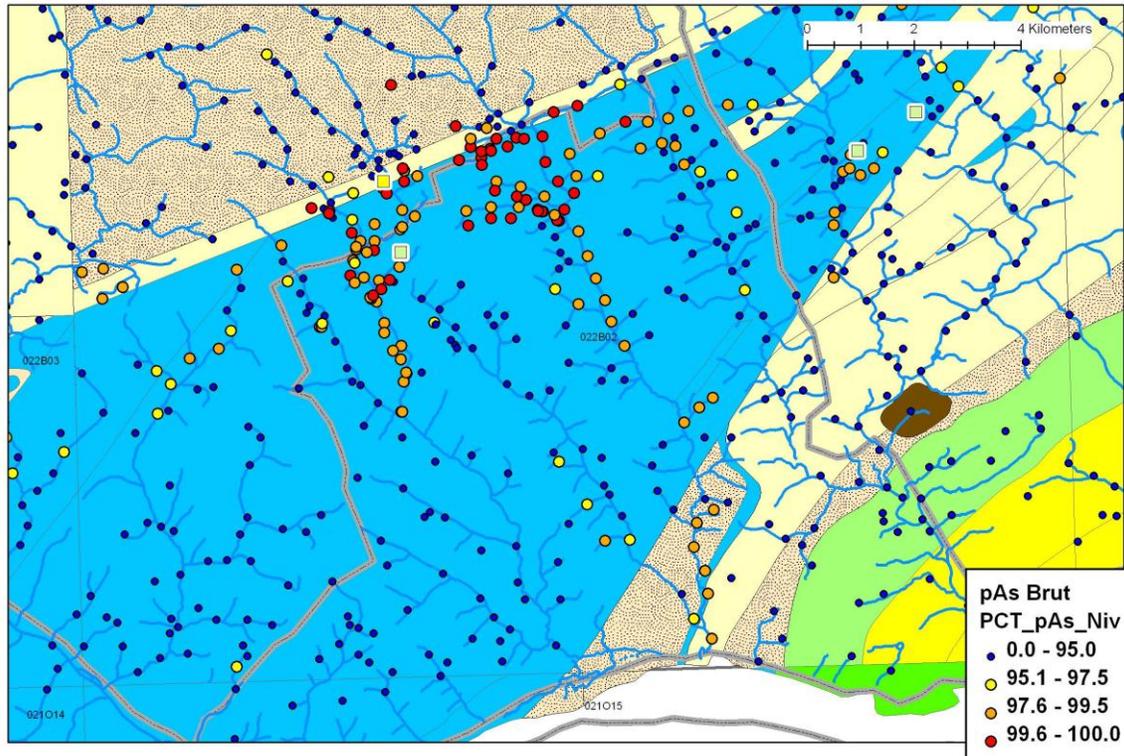


Figure 72. Anomalies en arsenic par colorimétrie du secteur de Saint-André-de-Restigouche (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

8.7 Secteur Transfiguration

Géologie et minéralisations

Ce secteur contient plusieurs minéralisations de type « cuivre dans les lits rouges d'origine sédimentaire », encaissés dans des lits rouges continentaux de la Formation de Robitaille (Cabral *et al.*, 2009). La minéralisation est d'origine diagénétique et sous forme disséminée ou en veinules dans des grès ou conglomérats. Elle se retrouve à proximité de la discordance avec les roches cambro-ordoviciennes situées à l'ouest (**Figure 73**). Les minéralisations sont essentiellement à Cu-Ag. D'autres minéralisations sont à Cu-Ag-Zn-Pb. Certaines des minéralisations sont plus riches en cuivre alors que d'autres sont plus riches en plomb-zinc. Les minéralisations plus riches en Pb-Zn semblent se retrouver plus haut dans la séquence stratigraphique.

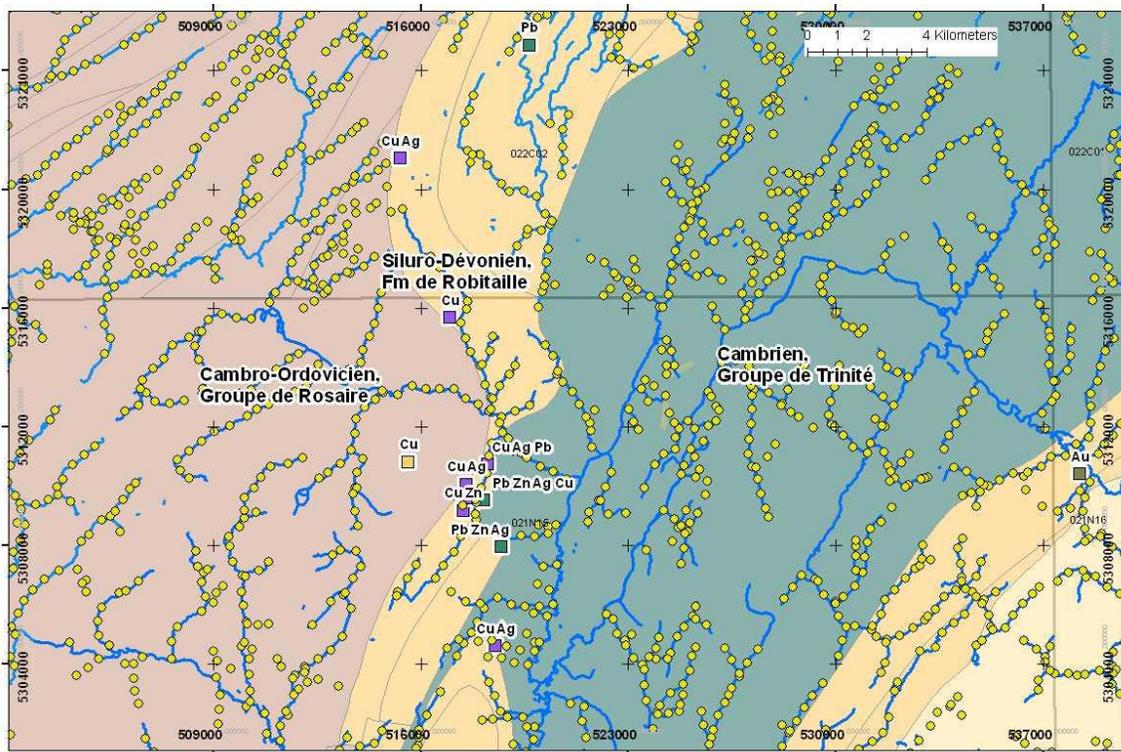


Figure 73. Géologie du secteur de Transfiguration (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

Analyses disponibles

Le secteur de Transfiguration est couvert par des levés analysés par plasma et activation neutronique des années 90. Une bonne quantité d'éléments est donc disponible.

Signature métallique dans les sédiments de ruisseaux : analyses PL+AN

Le groupe de gîtes Transfiguration, situé dans la partie sud du secteur, ne montre pas d'anomalies en cuivre dans les sédiments de ruisseaux (**Figure 74**). Deux anomalies en U-Sr±Th±ETR±Au±Zn±Mn se trouvent toutefois très près des gîtes.

Le gîte le plus au nord (Saint-Guy) est toutefois adjacent à 4 échantillons contenant des anomalies polymétalliques en Cu-ETR-Th-Y-P±U±Ge±Zn±As±Ba±Be±Mn±Co. Cet assemblage métallique, sauf pour le cuivre, n'est pas compatible avec la minéralisation qui y est décrite. Elle ressemble toutefois à la signature se trouvant dans les deux échantillons anormaux du groupe de gîtes Transfiguration. Ce type de signature près de ces gîtes est inexpliqué mais montre des ressemblances avec les minéralisations de type IOCG.

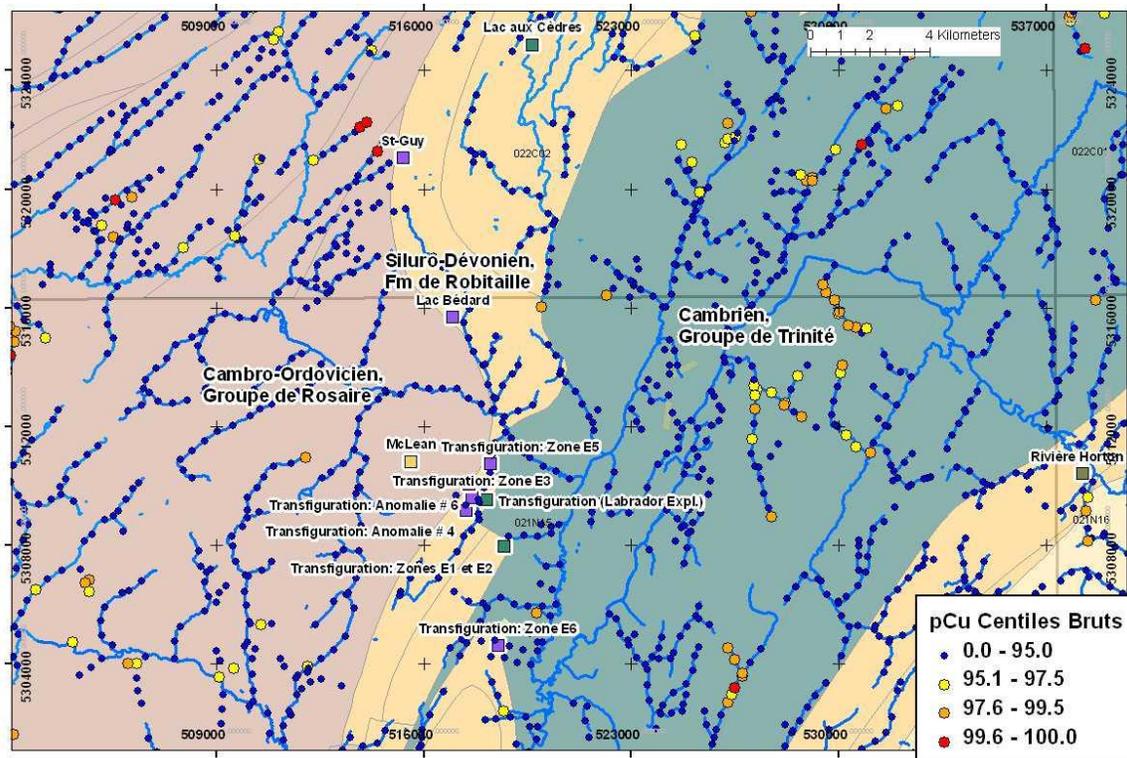


Figure 74. Cuivre dans les sédiments de ruisseaux, secteur Transfiguration (voir Figure 39 pour localisation du secteur).

9 INDICES COMPOSITES POUR L'EXPLORATION

Les études de cas ainsi que les analyses statistiques permettent de construire des indices qui permettront de cibler différents types de minéralisation. Pour le calcul de ces indices, les données disponibles ont été séparées en sous-banques qui comprennent des listes d'éléments analysés semblables. Ces sous-banques sont décrites dans la section 7 portant sur les associations minéralisations. Dans chaque cas, on utilise les centiles pour calculer les anomalies. Le suffixe « StU » indique le centile du résultat de la statistique U alors que l'absence de suffixe indique les valeurs brutes calculées sur l'ensemble de la banque traitée. Les valeurs utilisées sont les « partielles » sauf lorsque spécifié « total » (t). La liste ci-dessous décrit les différents indices calculés :

1. Banque réanalyses ICP

- Indice type Cu haute température (porphyre Cu, skarn Cu) : $(Cu_StU + Mo_StU + Te_StU + Bi_StU + Sn_StU + W_StU + Cu + Mo + Te + Bi + W + Sn) / 12$
- Indice type Au_ICP (épithermal neutre) : $(As_StU + Sb_StU + Au_StU + As + Sb + Au) / 6$

- Indice type polymétallique moyenne-basse température (filons Pb-Zn, épithermal neutre, skarn Pb-Zn) : $(Pb_StU + Zn_StU + As_StU + In_StU + Sb_StU + Pb + Zn + As + In + Sb) / 10$
- Indice type Skarn Cu Calcaires (Sullipek): $(2*W_StU + 2*W + 2*Mo_StU + 2*As_StU + 2*As + 2*Mo + Cu_StU + Cu) / 14$

2. Banques analyses A.A réanalysés par A.N.

- Indice type Au (épithermal neutre) : $(tAs_StU + tSb_StU + tAu_StU + tAs + tSb + tAu) / 6$
- Indice type Cu magmatique-hydrothermal (skarn Cu, filons Cu) : $(2 * Cu_StU + 2 * tW_StU + 2 * Cu + 2 * tW + tAs_StU + As + Zn_StU + Zn + Pb_StU + Pb) / 14$
- Indice type Zn-Pb magmatique-hydrothermal (skarn Pb-Zn, filons Pb-Zn) : $(Zn_StU + Pb_StU + tAs_StU + tSb_StU + Zn + Pb + tAs + tSb) / 8$
- Indice type Skarn Cu Calcaires (Sullipek): $(2*tW_StU + 2*tW + 2*tAs_StU + 2*tAs + Cu_StU + Cu) / 10$

3. Banque AA seulement

- Indice type Cu-Pb-Zn (skarn métaux base) : $(Cu_StU + Zn_StU + Pb_StatU + Cu + Zn + Pb) / 6$
- Indice type Pb-Zn (MVT, Pb grès, filons Pb-Zn) : $(Pb_StU + Zn_StU + Zn + Pb) / 4$
- Indice type Cu (filons Cu, Cu lits rouges) : $(3*Cu_StU + 3*Cu + Pb_StU + Pb + Zn + Zn_StU) / 10$
- Indice type minéralisations Cu-Mo (skarn Cu, porphyre Cu) : $(Cu_StU + Cu + Mo_StU + Mo) / 4$ **Note : seulement pour analyses avec Mo
- Indice type Pb-Zn-As (skarn Pb-Zn, épithermal neutre) : $(Pb_StU + Zn_StU + As_StU + Zn + Pb + As) / 6$ **Note: seulement pour analyses avec AS

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier Monsieur Pierre Pilote du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune pour ses conseils concernant la classification des gîtes de la Gaspésie. Geneviève Boudrias et Réal Daigneault ont procédé à l'édition et à la révision du présent document.

RÉFÉRENCES

- Allcock, J.B. 1982. Skarn and Porphyry Copper Mineralization at Mines Gaspé, Murdochville, Quebec. *Economic Geology* vol 77: 971-999.
- Bellehumeur, C., Valiquette, G. 1993. Synthèse métallogénique du centre-nord de la Gaspésie. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec. Document ET-92-03.
- Bellehumeur, C., Marcotte, D., Jebrak, M. 1994 -Multi-element relationships and spatial structures of regional geochemical data from stream sediments, southwestern Quebec, Canada. *Journal of Geochemical Exploration*, 51, 11-35.
- Bonham-Carter, G.F. 1994. *Geographic information systems for geoscientists*. 1ere édition. Pergamon Press.
- Bouhacem, A., Malo, M., Labbé, J.Y., Beaudoin, G. 2009. Nouvelles données géochimiques de sédiments de ruisseau dans le centre nord de la Gaspésie. Résumé de photo-présentation, Québec Exploration 2009.
- Cabral, A., Beaudoin, G., Taylor, B. 2009. The Transfiguration continental red-bed Cu-Pb-Zn-Ag deposit, Quebec Appalachians, Canada. *Mineralium Deposita*, vol 44: 285-301.
- Cabral, A., Beaudoin, G. 2007. Volcanic red-bed copper mineralisation related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. *Mineralium Deposita*, 42: 901-912.
- Cheng, Q., 1999. Spatial and scaling modelling for geochemical anomaly separation. *Journal of Geochemical Exploration*, 65: 175-194.
- Choinière, J. 1984. Trace element geochemistry in stream sediments in relation to the bedrock geology in the Gaspé area, Quebec. *Prospecting in Areas of Glaciated Terrain – 1982*. Canadian Institute of Mining and Metallurgy.
- Choinière, J. 1987. Analyses pour l'arsenic dans les parties sud-ouest et centre-nord de la Gaspésie. Ministère de l'énergie et des ressources, Document DV-87-18.
- Choinière, J. 1992a. Analyses de As, Sb et Au dans les sédiments de ruisseau des cantons de Mourier et Lebrét – Gaspésie. Ministère de l'énergie et des ressources, Document MB-92-13.
- Choinière, J. 1992b. Analyses de As, Sb et Au dans les sédiments de ruisseau de la région de Gaspé. Ministère de l'énergie et des ressources, Document MB-92-11.
- Choinière, J. 1994. Cartes géochimiques des sédiments de ruisseaux de la région de Témiscouata. Ministère de l'énergie et des ressources, Document MB-94-12
- Choinière, J. 1996. Géochimie des sédiments de ruisseaux de la région de Rivière-du-Loup. Ministère de l'énergie et des ressources, Document MB-96-09.
- Daneshfar, B., Cameron, E. 1998. Leveling geochemical data between map sheets. *Journal of Geochemical Exploration*, 63: 189-201.
- Henry, J., Lasalle, P. 1989. Géochimie des sédiments de surface de la région de Sullipek. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec. Document MB-88-27.

- Kelly, R.W., Tremblay, R.L. 1971. Géochimie des sédiments de ruisseau: région ouest de la Baie des Chaleurs, comté de Bonaventure. Ministère de l'énergie et des ressources, document DP-055.
- Lachance, S., Pilote, P., Davis, D.W., David, J. 2007. Géologie et potentiel minéral de la région du lac Saint-Anne. Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec. Document RG-2007-02.
- Lamothe, D. 2010. EP 2010-01. Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec. Rapport en préparation.
- Letowski, F., Serkies, J., Niemiec, J. 1966. Application of potential-pH diagrams for determination of the occurrence forms of trace elements in some economic mineral deposits. *Economic Geology* vol 61: 1272-1279.
- Malo, M., Moritz, R., Dubé, B., Chagnon, A., Roy, F., Pelchat, C. 2000. Base Metal Skarns and Au Occurrences in the Southern Gaspé Appalachians: Distal Products of a Faulted and Displaced Magmatic-Hydrothermal System along the Grand Pabos-Restigouche Fault System. *Economic Geology* vol 95: 1297-1318.
- MRNF, 2009. Données géochimiques d'échantillons de sédiments de ruisseaux. Système d'information géominère du Québec (SIGEOM). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; www.mrnf.gouv.qc.ca/produits-services/mines.jsp (consulté le 1er novembre 2009).
- Pilote, P. 2005. Métallogénie de la région du dôme de Lemieux – Partie centre-nord de la Gaspésie. Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec. Document ET-2004-05.
- Sangameshwar, S.R., Barnes, H.L. 1983. Supergene Processes in Zinc-Lead-Silver Sulfide Ores in Carbonates. *Economic Geology* vol 78: 1379-1397.
- Simard, M., Beaudoin, G., Bernard, J., Hupé, A. 2006. Metallogeny of the Mont-de-l'Aigle IOCG deposit, Gaspé Peninsula, Québec, Canada. *Mineralium Deposita*, vol 41 : 607-636.
- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied geochemistry* vol 17: 517-568.
- Terashima, S., Itoh, S., Ando, A. 1992. Gold in twenty-six japanese geochemical reference samples. *Geostandards Newsletter*, vol 16, no 1: 9-10.
- Trépanier, S. 2005. Identification de domaines géochimiques à partir des levés régionaux de sédiments de fond de lacs. Rapport projet CONSOREM 2004-09.
- Trépanier, S. 2006. Identification de domaines géochimiques à partir des levés régionaux de sédiments de fond de lacs, phase 2. Rapport projet CONSOREM 2005-03.
- Trépanier, S. 2009. Optimisation des levés de sédiments de ruisseaux pour l'exploration. Partie A : Modélisation des réseaux hydrographiques à partir de modèles numériques de terrain. Rapport interne CONSOREM Projet 2008-09-A.
- Wares, R. 1988. Géologie et métallogénie de la région du gîte Sullipek. Ministère des ressources naturelles du Québec. Document ET-86-08.
- Wares, R., Berger, J. 1995. Contrôles structuraux des gisements cuprifères de mines Gaspé. Ministère des ressources naturelles du Québec. Document MB-95-44.

ANNEXE 1

METHODES ANALYTIQUES, LEVES DE SEDIMENTS DE RUISSEAUX DE LA GASPESIE

Levés	N (total pour tous levés)	Éléments	Dosage
1964014, 1964041	455	Cu, Mo, Pb, Zn	Colorimétrie
1964032, 1964044, 1965064	288	Cu, Mo, Pb, Zn, U	Colorimétrie, Chromatographie papier (U)
1965045	201	Co, Cu, Mo, Pb, Zn, U	Colorimétrie, Chromatographie papier (U),
1966018	194	Cu, Mo, Pb, Zn, Mn, U	Colorimétrie, Chromatographie papier (U), Absorption atomique (Mn)
1967020	223	Cu, Mo, Ni, Pb, Zn, Mn, U	Colorimétrie, Chromatographie papier (U), Absorption atomique (Mn)
1967500	6094	Ag, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, U, Zn	Absorption atomique
1968011	27	Ag, Mn, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn, U	Colorimétrie, Chromatographie papier (U), Absorption atomique (Ag, Mn)
1968500	15424	Ag, As, Co, Cu, Mo, Mn, Ni, PAF, Pb, Sn, Zn, U	Absorption atomique Chromatographie papier (U)
1969023, 1969028	793	Ag, Mn, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn, U, Sn	Colorimétrie, Chromatographie papier (U), Absorption atomique (Ag, Mn, Sn)
1969500, 1979030, 1981030, 1982030	13524	Ag, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, U, PAF	Absorption atomique, Fluorimétrie (U), pyronalyse (PAF)
1970026, 1970027, 1972021	516	Ag, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Mo, U	Absorption atomique, colorimétrie (Mo), Chromatographie papier (U)
1971007, 1971008, 1971060	782	Ag, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, U	Absorption atomique Chromatographie papier (U)
1971018, 1974006	377	Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, U	Absorption atomique Chromatographie papier (U)
1972060, 1973030, 1973032	11498	Ag, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn, U	Absorption atomique, colorimétrie (Mo, Sn), Chromatographie papier (U), Fluorimétrie (U)
1972030	6581	As, As, Co, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn, U	Absorption atomique Chromatographie papier (U)
1973018	348	Ag, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn, Mo, U	Absorption atomique, colorimétrie (Mo), Chromatographie papier (U)
1973010, 1975030	340	Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Mo, U	Absorption atomique, colorimétrie (Mo), Chromatographie papier (U)
1974030	7199	Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Zn, U	Absorption atomique Chromatographie papier (U)
1974032	87	Ag, Bi, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn, U	Absorption atomique Chromatographie papier (U)

Levés	N (total pour tous levés)	Éléments	Dosage
1975031	175	Ag, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn	Absorption atomique
1977030, 1978030	12108	Ag, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, PAF, Pb, Sn, Zn, U	Absorption atomique Chromatographie papier (U)
1978500	678	Ag, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, U, W, Zn	Absorption atomique, Fluorimétrie (U)
1982008	268	Ag, As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn, PAF	Absorption atomique, Pyronalyse (PAF)
1983006	92	Ag, As, Ba, Co, Cu, Mn, Mo, Pb, Sb, Zn, PAF	Absorption atomique, Pyronalyse (PAF)
1983007	35	Ag, As, Ba, Bi, Co, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, PAF	Absorption atomique, Pyronalyse (PAF)
1983030	6119	Ag, As, Ba, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, U, PAF	Absorption atomique, Fluorimétrie (U), pyronalyse (PAF)
1967500, 1971018, 1972021, 1973018, 1973030, 1974030, 1977030, 1978500	8794	As	Colorimétrie – Réanalyses 1985 (couverture partielle des levés originaux)
1964032, 1964044, 1965045, 1966018, 1967020, 1967500, 1968500, 1969023, 1969028, 1970026, 1972030, 1973018, 1973030, 1977030, 1978030, 1979030, 1981030, 1982030	25887	As, Au, Br, Cs, Sb, Se, Tm, U, W	Activation neutronique – Réanalyses 1990-1995 (couverture partielle des levés originaux)
1964032, 1965045, 1966018, 1967020, 1967500, 1968500, 1969028, 1969500, 1972030, 1973030, 1973032, 1978030, 1981030	7479	50 éléments	Spectrométrie de masse de plasma – Réanalyses 2009 (couverture partielle des levés originaux)
2002116 (note : aucune documentation sur ce levé), 1981027	192	38 éléments	Spectrométrie d'émission de plasma (PL)
1981027, 1993030, 1992030	13903	35 éléments + As, Au, Br, Cs, Sb, Se, Tm, U, W	Spectrométrie d'émission de plasma (PL), activation neutronique