



Analyse multiparamétrique à haute résolution de carottes dans la région de Chibougamau 2012-2014, rapport final

Pierre-Simon Ross, Alexandre Bourke, François Leclerc et Alexandre Boulerice

MB 2014-05

Avertissement

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

Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches
(LAMROC)

**Analyse multiparamétrique à haute résolution de carottes
de forage dans la région de Chibougamau 2012-2014, rapport final**

Par
Pierre-Simon Ross, géo, PhD
Alexandre Bourke, MSc
François Leclerc, géo., PhD
Alexandre Boulerice

Présenté au
Ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN)

Le 15 mars 2014

Analyse multiparamétrique à haute résolution de carottes de forage dans la région de Chibougamau 2012-2014, rapport final

Pierre-Simon Ross, Alexandre Bourke

Institut national de la recherche scientifique, centre Eau Terre Environnement, 490 rue de la Couronne, Québec (Qc), G1K 9A9, rossps@ete.inrs.ca

François Leclerc

Ministère des Ressources naturelles, 400 boulevard Lamaque local 1,02, Val d'Or (Qc), J9P 3L4

Alexandre Boulerice

Institut national de la recherche scientifique, centre Eau Terre Environnement, 490 rue de la Couronne, Québec (Qc), G1K 9A9

Mots clés : propriétés physiques, géochimie, minéralogie, carottes de forage, Chibougamau, sulfures massifs volcanogènes

RÉSUMÉ

Le Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC) permet de mesurer de manière non-destructive la densité, la susceptibilité magnétique, la géochimie et la minéralogie des carottes de forage, directement sur les sites d'entreposage des carottes. Le LAMROC produit aussi une image numérique de haute qualité de la carotte, ce qui permet de comparer les mesures avec l'aspect visuel de la roche et de constituer une archive virtuelle complète du forage. Le MRN a mandaté l'INRS pour réaliser une analyse multiparamétrique à haute résolution de carottes de forage avec le LAMROC dans la région de Chibougamau sur la période 2012-2014. L'objectif principal était de mieux connaître la Formation de Waconichi – le principal métallotecte pour les sulfures massifs volcanogènes – au nord et au sud du Complexe du lac Doré (CLD). Six forages ont été analysés dans le secteur de l'ancienne mine Lemoine au sud du CLD; trois autres forages ont été analysés dans le secteur du lac Taché au nord du CLD.

Dans le secteur de l'ancienne mine Lemoine, la Formation de Waconichi est divisée en plusieurs unités felsiques. La combinaison des descriptions originales de forage, de la géochimie traditionnelle, et des mesures du LAMROC permet de distinguer et de caractériser chacune de ces unités. La géochimie à haute résolution spatiale du LAMROC permet d'interpoler entre les mesures ponctuelles de géochimie traditionnelle pour localiser précisément les contacts. L'altération hydrothermale de ces roches est caractérisée par une combinaison d'indices d'altération, de spectrométrie infrarouge et de profils d'éléments mobiles en fonction de la profondeur. Des cibles d'exploration peuvent être suggérées. Dans le secteur au sud du lac Taché, la géologie était peu connue avant notre étude. Les trois forages étudiés étaient situés en grande partie dans une zone de « schiste ». Nous montrons à partir de l'ensemble des données disponibles que ce schiste peut être interprété comme une combinaison du CLD (Zone de Bordure et/ou Zone Litée) et du Membre de David (Formation d'Obatogamau). Le Membre d'Allard (Formation de Waconichi) est présent au sommet de cette séquence. Ces nouvelles interprétations ont contribué à mettre à jour la carte géologique du secteur. La présence de zones du CLD fortement magnétiques et riches en fer au sud du lac Taché indique un potentiel pour les gisements de Fe-Ti±V.

Table des matières

Résumé	2
Introduction	5
<i>Potentiel en SMV à Chibougamau</i>	5
<i>Potentiel en Fe-Ti±V à Chibougamau</i>	6
<i>Présentation du projet et du rapport</i>	7
Problématique	8
Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC)	9
Contexte géologique	10
Choix des forages et géologie locale	14
<i>Secteur Lemoine : géologie</i>	14
<i>Secteur Lemoine : géochimie</i>	19
<i>Secteur Lemoine : choix des sections et des forages</i>	23
<i>Secteur du lac Taché : géologie</i>	24
<i>Secteur du lac Taché : géochimie et réinterprétation géologique</i>	24
<i>Secteur du lac Taché : choix des forages</i>	27
Résultats du LAMROC et validation des résultats	27
<i>Présentation des figures de résultats</i>	27
<i>Validation des résultats</i>	28
Propriétés physiques	29
<i>Généralités et valeurs moyennes</i>	29
<i>Discrimination lithologique : LEM-18</i>	29
<i>Diorite de Lemoine : intrusions multiples?</i>	30
Géochimie	30
<i>Géochimie dans le forage LEM-18</i>	30
<i>Géochimie dans le forage LEM-46</i>	32
<i>Géochimie dans le forage LEM-59E</i>	33
<i>Géochimie dans le forage LN-11-10</i>	34

(suite à la page suivante)

Table des matières (suite)

Spectrométrie proche infrarouge et visible	35
<i>Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LEM-18</i>	36
<i>Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LEM-34</i>	38
<i>Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LEM-37</i>	39
<i>Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LEM-59 et LEM-59E</i>	40
<i>Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LN-11-10</i>	42
<i>Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LN-11-11</i>	42
Imagerie	43
Fe, Ti, V et P dans le Complexe du lac Doré	43
Conclusions	45
<i>Discrimination lithologique, compilation de sections et cartes géologiques, potentiel minéral ..</i>	45
<i>Utilisation de diagrammes de classification géochimique</i>	47
<i>Altération hydrothermale</i>	47
Remerciements	48
Références	49
Figures	55
Tableaux	125

Introduction

Potentiel en SMV à Chibougamau

Le camp minier de Chibougamau, dans le centre-est de la Sous-province de l'Abitibi au Québec (Fig. 1), contient des gisements de sulfures massifs volcanogènes (SMV) archéens comme celui de l'ancienne mine Lemoine, qui a exploité le deuxième plus riche SMV du Canada (production de 758 070 t de minerai à des teneurs moyennes de 4,2% Cu, 9,6% Zn, 4,2 g/t Au et 83 g/t Ag; Riverin, 2003), et le gisement Scott (ressources minérales inférées de 5,4 Mt à 4,6% Zn, 1,2% Cu, 0,2 g/t Au, et 34 g/t Ag; Salmon et McDonough, 2011) (Fig. 2).

Pourtant, la région de Chapais-Chibougamau n'est pas largement connue pour ses gisements de SMV et son potentiel pour ce type de gisements, contrairement à d'autres parties de l'Abitibi comme le camp minier de Matagami, celui de Noranda, le secteur de Kidd Creek près de Timmins, ou le camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde à l'est de Rouyn-Noranda. La région de Chibougamau a produit depuis les années 1950 près de 86 Mt de minerai riche en cuivre et en or mais de ce nombre, moins de 1 Mt provenait de gisements de SMV, la production historique du district émanant surtout de veines à Cu-Au et de gisements d'or orogéniques (Leclerc, 2011).

La présence du gisement Lemoine (Mercier-Langevin et al., 2014), du gisement Scott (Saunders et Allard, 1990; Carignan, 2010) et de nombreux indices significatifs dans la région de Chibougamau (Leclerc, 2011), combiné avec la présence d'horizons exhalatifs et d'altérations synvolcaniques, illustre toutefois le potentiel de ce secteur. La timidité des travaux d'exploration pour les SMV à l'échelle régionale est en partie due à un niveau de connaissance des séquences volcaniques favorables qui s'est amélioré depuis quelques années, mais qui demeure perfectible. Les deux gisements de SMV actuellement connus sont retrouvés en association avec des rhyolites tholéiitiques de la Formation de Waconichi, considérée comme le principal métallotecte pour les SMV à Chibougamau (Daigneault et Allard, 1990; Leclerc et al., 2011a, 2012; Mercier-Langevin et al., 2014).

Potentiel en Fe-Ti±V à Chibougamau

Le Complexe du Lac Doré (CLD) est une importante intrusion litée, surtout gabbroïque et anorthositique (Daigneault et Allard, 1990). Sur le flanc sud du CLD, on trouve un important gisement magmatique de Fe-Ti-V dans l'unité P1 de la Série Litée (Allard, 1976; Taner et al., 2000) (Fig. 2). Cette minéralisation est présente sous forme de magnétite dans des roches litées (ferrogabbro, ferroproxénite, magnétite) (Allard, 1976). Girard et Allard (1998), qui se concentraient sur le vanadium, estimaient des ressources totales de 450 Mt @ 0,45% V₂O₅ à la fin des années 1990. Le développement actuel de Métaux BlackRock semble viser plutôt le fer et le titane. La Série Litée est également présente sur le flanc nord du CLD, en particulier dans sa partie ouest (p. ex. au lac Caché; Allard, 1976; Fig. 2).

L'équivalent stratigraphique de la Série Litée est aussi présent plus à l'est sur le flanc nord, dans les secteurs de l'Île du Portage, de la baie Magnétite et du Mont du Sorcier (Fig. 2; Dorr, 1969), où des concentrations importantes de magnétite sont trouvées dans un ensemble « non lité à très pauvrement lité » de ferrodunite, ferroproxénite et ferropéridotite (Allard, 1976). Ces roches sont riches en Mg par rapport à celles de la Série Litée sur le flanc sud, ont des plagioclases plus rares et plus riches en An normatif, et contiennent de la serpentine (en remplacement de l'olivine) (Allard, 1976). D'après Pilote (1998), « près de 245 000 000 tonnes de minerai à une teneur moyenne de 27,6% Fe et 1,1% TiO₂ se retrouvent dans les secteurs du Mont du Sorcier et de la baie Magnétite ». Allard (1976) cite les mêmes teneurs mais 270 Mt pour ces zones. Des forages récents de la compagnie Mines Indépendantes Chibougamau Inc. ont intersecté 220,8 m d'épaisseur vraie @ 43,1% Fe₂O₃¹ (30,2% Fe), 1,0% TiO₂ et 0,22% V₂O₅ dans la zone nord (Mont du Sorcier) et 54 m d'épaisseur vraie @ 45,5% Fe₂O₃¹ (31,8% Fe), 0,8% TiO₂ et 0,44% V₂O₅ dans la zone sud (baie Magnétite)¹. Allard (1976) mentionne aussi plus de 2000 pieds de carottes à une moyenne de 20,1% Fe et 1,1% TiO₂ pour la zone nord de l'Île du Portage, et des longueurs équivalentes avec 17,5% Fe et 1,6% TiO₂ pour la zone sud de l'île (le vanadium n'est pas rapporté pour ces forages).

¹ Mines Indépendantes Chibougamau Inc., communiqué de presse du 2 décembre 2013, téléchargé de www.chibougamaumines.com le 19 décembre 2013.

Présentation du projet et du rapport

Le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) a mandaté l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) pour réaliser une analyse multiparamétrique à haute résolution de carottes de forage dans la région de Chibougamau sur la période 2012-2014. Les mesures ont été réalisées avec le Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC) de l'INRS. Ce mandat à Chibougamau faisait suite à un projet de recherche similaire à Matagami sur la période 2010-2012 (Ross et al., 2011a, 2011b, 2012, 2013a, 2014a, 2014b).

L'objectif initial des mesures du LAMROC à Chibougamau était de caractériser la Formation de Waconichi au nord et au sud du CLD, dans le but de mieux comprendre la géologie de ces secteurs et de favoriser l'exploration pour les SMV. Neuf forages ont donc été étudiés, totalisant 5091 m de carottes. Six forages proviennent du secteur Lemoine, au sud du CLD, alors que trois proviennent du secteur du lac Taché, au nord (Fig. 2). Dans ce dernier secteur, les forages choisis recoupent principalement une zone de schistes qui était vue initialement comme une extension possible de la Formation de Waconichi, mais qui s'est avérée faire surtout partie du CLD. Les forages étudiés contiennent des zones fortement magnétiques et riches en fer, suggérant un potentiel en Fe-Ti±V dans le secteur au sud du lac Taché. Un premier rapport pour le projet LAMROC à Chibougamau a été déposé en 2013 (Ross et al., 2013b), mais celui-ci est remplacé, sauf si indiqué autrement, par le présent rapport.

Nous décrivons d'abord la problématique de l'étude et le fonctionnement général du LAMROC. Nous présentons ensuite le contexte géologique régional de Chibougamau. Suit une description géologique de chacun des secteurs d'intérêt, et une justification du choix des forages. Puis nous présentons les résultats des mesures du laboratoire mobile pour les neuf forages étudiés : propriétés physiques (densité, susceptibilité magnétique), géochimie, et minéralogie (spectrométrie proche infrarouge et visible). Les données sont illustrées principalement sous forme de profils de plusieurs paramètres en fonction de la profondeur. L'intégration des données du LAMROC avec l'ensemble des informations disponibles permet d'amener des éléments nouveaux sur la cartographie géologique, sur la stratigraphie

des roches volcaniques, sur la discrimination des lithologies de long des forages, et sur l'altération hydrothermale.

Problématique

Une constante de l'exploration minérale actuelle, peu importe la substance recherchée, est l'importance accordée au forage au diamant, représentant souvent la majorité des dépenses, surtout dans les camps miniers matures. Les gisements affleurant en surface sont déjà connus et il faut forer pour en découvrir de nouveaux en profondeur. Dans le cas des campagnes d'exploration pour les métaux de base (cuivre, zinc, nickel), la minéralisation est visible à l'œil nu, sous forme de sulfures lorsque présente, de sorte qu'une partie seulement des carottes est analysée par les compagnies pour les concentrations en métaux d'intérêt économique. Le reste des carottes ne fait qu'uniquement l'objet d'une description géologique variablement détaillée, basée sur des observations visuelles, avant d'être entreposées (souvent quelques analyses lithogéochimiques sont aussi obtenues). Au fil des ans, des dizaines de kilomètres de carottes s'accumulent ainsi, sans que d'autres informations en soient tirées, sauf exceptions. Les carottes deviennent une source de dépenses supplémentaires (remplacement des supports, etc.) plutôt qu'une source de données à valoriser. Pourtant, l'acquisition de propriétés physiques, chimiques et minéralogiques sur les carottes de forage est souhaitable pour plusieurs applications.

Les dernières années ont vu un renouveau de l'exploration minérale, des travaux géoscientifiques gouvernementaux et de la recherche académique dans la région de Chibougamau. Citons par exemple la réalisation de campagnes géophysiques; pour mieux interpréter de tels levés, des mesures de propriétés physiques des roches sont précieuses. Avec les méthodes traditionnelles, ces propriétés physiques sont mesurées une à la fois, un échantillon à la fois. La conséquence est que peu de camps miniers québécois disposent de bases de données importantes de propriétés physiques. Les mesures sur les carottes sont idéales parce qu'elles permettent d'accéder à la troisième dimension spatiale. Il existe donc un besoin de quantifier les propriétés physiques plus rapidement, à plus haute résolution, sur les carottes de forage.

En plus des propriétés physiques, d'autres paramètres peuvent être mesurés *in situ* sur les carottes, comme la géochimie par fluorescence des rayons X (FRX) ou la minéralogie par méthode de spectrométrie proche infrarouge et visible (Ross et al., 2011a). Ces mesures non-destructives peuvent par exemple servir à identifier des contacts géologiques cryptiques ou graduels (Ross et al., 2011b), ou encore à documenter l'altération hydrothermale dans les roches volcaniques. Ces applications sont utiles pour l'exploration des SMV, et la cartographie géologique en 3D.

Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC)

Tel que décrit en détail par Ross et al. (2011a) et Ross et al. (2013b), la principale innovation technologique et méthodologique du LAMROC est l'acquisition quasi-simultanée et non-destructive de mesures de propriétés physiques, géochimiques et minéralogiques, directement sur les sites d'entreposage des carottes (Fig. 3). Cette infrastructure mobile augmente considérablement la résolution spatiale des données et, pour certains paramètres, leur qualité, grâce au Système automatisé pour l'analyse multiparamétrique des carottes de forage (*Multi-sensor core logger*). Dans ce système, une section de 1,5 m de carottes de forage est déplacée par un poussoir sur des rails, afin de cheminer sous ou dans des capteurs et instruments pour mesurer la susceptibilité magnétique, la densité par atténuation des rayons gamma, plusieurs éléments chimiques, et la minéralogie. Des images numériques de haute qualité des carottes sont aussi obtenues. Ces images, en combinaison avec les mesures multiparamétriques, immortalisent le forage en complétant la description géologique classique, la géochimie traditionnelle sur roche totale (si disponible) et les analyses de métaux.

Tout doute sur le positionnement relatif des mesures des différentes propriétés est éliminé puisque le positionnement des carottes est précis à 0,5 mm près dans le système automatisé. Le système accepte les carottes entières ou les demi-carottes de tous les calibres courants. Un même ordinateur contrôle à la fois les capteurs/instruments et le convoyeur, de sorte que les différents paramètres sont automatiquement corrélés spatialement.

Deux analyseurs à FRX, modèle Olympus Innov X Delta Premium, sont utilisés depuis l'été 2011 (Ross et al., 2012). Afin de sauver du temps, les analyseurs sont utilisés séparément du *Multi-sensor core logger* dans le laboratoire. À l'été 2012 plusieurs améliorations à l'acquisition de données et à leur correction ont été apportées, tel que décrit en détail par Ross et al. (2013b) : mesures d'épaisseurs des carottes au vernier; nouvelles corrections sur les densités; nouvelles corrections pour les carottes sciées; utilisation du mode *soil* sur les analyseurs à FRX pour la mesure de plusieurs éléments en traces; nouvelles corrections pour la géochimie. La méthodologie employée à l'été 2013, la deuxième année du projet à Chibougamau, est exactement la même que celle décrite par Ross et al. (2013b) et ne sera pas répétée ici.

Contexte géologique

Le camp minier de Chapais-Chibougamau est situé dans le nord-est de la partie québécoise de la Sous-province de l'Abitibi (Fig. 1). Le secteur contient deux gisements connus de sulfures massifs volcanogènes (SMV), dont un, Lemoine, a été exploité (Fig. 2). Les lentilles de sulfures sont comprises dans des roches volcaniques archéennes mises en place en environnement sous-marin. La séquence volcanique est dominée par des laves mafiques massives à coussinées, et les roches encaissantes immédiates de la minéralisation contiennent souvent des rhyolites. Pour cette raison, les gisements de SMV de Chibougamau appartiennent au type bimodal-mafique de Franklin et al. (2005) et Galley et al. (2007).

La géologie de la région de Chibougamau a notamment été décrite par Allard (1976), Donahue (1982), Daigneault et Allard (1990), Saunders et Allard (1990), Mueller (1991), Chown et al. (1992), Mortensen (1993), Mueller et al. (1996), Pilote (1998), Bédard et al. (2009), Leclerc et al. (2008, 2011a, 2012) et Leclerc (2011).

En résumé, à la suite d'un volcanisme ancien peu préservé, le volcanisme sous-marin de la région est essentiellement représenté par le Groupe de Roy (>2730 à >2721 Ma², compilé par Leclerc et al., 2011a). Le Groupe de Roy est envahi par le Complexe du Lac Doré (CLD) et d'autres intrusions discutées plus loin.

Le Groupe de Roy débute avec la Formation d'Obatogamau, très épaisse (3-4 km) et répandue (plus de 100 km latéralement), constituée de coulées de basalte (coulées massives et coussinées, brèches de coussins, sills gabbroïques) souvent porphyriques à plagioclase (Pilote, 1998; Leclerc et al., 2011a). L'affinité est tholéiitique sur un diagramme Th/Yb vs. Zr/Y (Leclerc et al., 2011a). Au nord du CLD, la Formation d'Obatogamau est appelée « Membre de David » (Leclerc et al., 2011a) et ces laves étaient jadis attribuées à la Formation de Gilman (partie basale).

La Formation de Waconichi surmonte la Formation d'Obatogamau et contient une vaste gamme d'unités felsiques à mafiques (Daigneault et Allard, 1990; Lafrance et Brisson, 2006; Leclerc et al., 2011a). Les unités felsiques de la Formation de Waconichi ont des âges variant entre ~2730 et ~2727 Ma (Mortensen, 1993; Legault, 2003; Leclerc et al., 2011a; David et al., 2012). Les gisements de SMV de Scott et de Lemoine sont contenus dans cette formation, en association avec des rhyolites « tholéiitiques »³ de type FIII (Leshner et al., 1986), souvent porphyriques à quartz (Daigneault et Allard, 1990; Lafrance et Brisson, 2006; Carignan, 2010; Leclerc et al., 2011a). Ces rhyolites « tholéiitiques » semblent limitées au pourtour du Complexe du Lac Doré et sont attribuées par Leclerc et al. (2011a) aux membres de Lemoine et de Scott.

Plusieurs autres membres sont proposés par cet auteur dans la Formation de Waconichi, dont le Membre d'Allard au nord du CLD. Ce membre qui fait jusqu'à 875 m d'épais

² L'âge le plus ancien de la Formation de Waconichi est de 2730 Ma, mais elle surmonte au moins 3 km de basalte de la Formation d'Obatogamau : il est donc probable que le Groupe de Roy commence avant 2730 Ma. L'ancienne Formation de Gilman est recoupée par le Complexe de Cummings, daté à ~2717 Ma, donc le dépôt du Groupe de Roy finit possiblement avant 2717 Ma.

³ L'affinité magmatique de la partie inférieure du Membre de Lemoine est tholéiitique à transitionnelle sur un diagramme Th/Yb vs. Zr/Y (Leclerc et al., 2011).

contient des roches allant du basalte à la rhyodacite/dacite et est surtout calco-alcalin sur un diagramme Th/Yb vs. Zr/Y (Leclerc et al., 2011a). Il est largement constitué de roches volcanoclastiques et peut être suivi sur plus de 25 km. L'ancienne terminologie plaçait ces roches dans la Formation de Gilman (partie supérieure).

La Formation de Bruneau surmonte la Formation de Waconichi et se compose principalement de laves mafiques. Il s'agit de coulées coussinées, massives et bréchiques de basalte et d'andésite basaltique avec des phénocristaux de plagioclase, clinopyroxène et olivine (Leclerc et al., 2011a). L'affinité est tholéiitique sur un diagramme Th/Yb vs. Zr/Y (Leclerc et al., 2011a).

La Formation de Blondeau fait au plus 1 km d'épais (Daigneault et Allard, 1990). Elle contient des rhyolites et des coulées de basalte tholéiitique à la base; suivent des roches volcanoclastiques calco-alcalines et des roches sédimentaires volcanogènes (Leclerc et al., 2011a). La Formation de Blondeau contient des lentilles de sulfures riches en zinc (Daigneault et Allard, 1990). Elle a été datée à $<2721 \pm 3$ Ma par Leclerc et al. (2012).

La Formation de Bordeleau complète le Groupe de Roy; elle est surtout constituée de turbidites volcanogènes (Moisan, 1992).

Le Groupe d'Opémisca, plus jeune, est composé de roches sédimentaires et de roches volcaniques riches en potassium (Mueller, 1991). Le groupe contient quatre formations dont la Formation de Stella, à la base. Cette formation – présente dans le secteur Lemoine – contient un conglomérat à galets puis des grès feldspathiques (fluviaux) et des argiles littorales à marines (Daigneault et Allard, 1990). Elle a été datée à $<2704 \pm 2$ Ma par Leclerc et al. (2012).

Le Complexe du Lac Doré (CLD) est une intrusion litée importante, surtout gabbroïque et anorthositique, qui contient un gisement de Fe-Ti-V sur son flanc sud (Fig. 2) et d'autres occurrences importantes de minéralisation de magnétite, tel qu'évoqué en introduction (Allard, 1976; Daigneault et Allard, 1990; Taner et al., 2000). Le CLD ferait 5-7 km

d'épaisseur et contient trois séries : Inférieure, Litée et Supérieure. La minéralisation à magnétite est contenue dans la Série Litée ou son équivalent stratigraphique (Allard, 1976). La Série Supérieure contient deux zones, la Zone de Granophyre et la Zone de Bordure, présentes dans le secteur Lemoine (Figs. 4, 5). Les dates obtenues par Mortensen (1993) sur le CLD sont de ~2728-2727 Ma, ce qui en fait une intrusion synvolcanique.

Le CLD est recoupé par le Pluton de Chibougamau (~2717-2714 Ma; compilé par Leclerc et al., 2012), surtout tonalitique à dioritique. La région contient aussi d'autres intrusions archéennes, synvolcaniques à post-tectoniques. Mentionnons notamment le Complexe de Cummings, qui comprend les filons-couches de Roberge, Ventures et Bourbeau (ex. Bédard et al., 2009).

Au Protérozoïque, des dykes de diabase ont fait intrusion, et des sédiments d'origine glaciaire se sont déposés (Formation de Chibougamau, Fig. 2). Les dykes incluent celui de l'Île du Gabbro, de direction générale N025, qui peut être suivi sur 37 km et fait 60-150 m de large (Daigneault et Allard, 1990). Ce dyke recoupe les roches des groupes de Roy et d'Opémisca, le CLD, et le Pluton de Chibougamau; il n'est pas affecté par la déformation D2 (décrite ci-dessous). Le dyke de l'Île du Gabbro est notamment présent dans le secteur du lac Taché (voir ci-dessous).

La région a subi quatre ou cinq phases de déformation (Daigneault et Allard, 1990; Chown et al., 1992; Pilote, 1998; Leclerc et al., 2012). La déformation D2 a produit les plis d'axe E-W qui dominent l'agencement structural de la région (Daigneault et Allard, 1990; Leclerc et al., 2012). Cet épisode a aussi généré la schistosité régionale E-W subverticale (S2) et se serait produit vers 2705-2701 Ma (Côté-Mantha et al., 2012). L'anticlinal de Chibougamau passe par le CLD, de sorte que les roches volcaniques situées immédiatement au sud du complexe ont une polarité stratigraphique vers le sud (comme dans le secteur Lemoine), et celles situées au nord du complexe ont une polarité vers le nord (comme dans le secteur du lac Taché).

Le métamorphisme de la région de Chapais-Chibougamau est surtout au faciès des schistes verts; en s'approchant du front de Grenville et de certaines intrusions, il augmente au faciès des amphibolites (Daigneault et Allard, 1990).

La métallogénie de la région de Chapais-Chibougamau est relativement complexe, avec plusieurs types de minéralisation se succédant dans le temps (Pilote, 1998; Leclerc et al., 2012). En plus des SMV et des gîtes magmatiques de Fe-Ti±V dans le CLD on trouve des veines à Cu-Au de « type Chibougamau », possiblement liées à un système porphyrique (Pilote, 1998); des minéralisations épithermales (Pilote, 1998; Coté-Mantha et al., 2012); de l'or mésothermal ou « orogénique » (Guha et al., 1988; Dubé et Guha, 1992); et des veines cuprifères de « type Opémisca » (Pilote, 1998). Dans le cadre de cette étude, il sera seulement question du potentiel pour les SMV et des minéralisations possibles de Fe-Ti±V dans le CLD.

Choix des forages et géologie locale

Les neuf forages analysés au LAMROC en 2012-2014 sont situés dans deux secteurs respectivement au sud et au nord du CLD (Fig. 2) : le secteur de l'ancienne mine Lemoine (six forages) et celui du lac Taché (trois forages). Le nombre total de mètres analysés est de 5091 m, moins quelques courts intervalles qui n'étaient pas disponibles et les épaisseurs de mort-terrain. La base de données livrée avec ce rapport contient 18 907 mesures de densité, de susceptibilité magnétique, et de spectrométrie infrarouge et visible, de même que 9 568 mesures de géochimie par FRX. Par rapport aux propriétés physiques, un point de mesure sur deux a été caractérisé géochimiquement en raison du temps d'intégration plus long.

Secteur Lemoine : géologie

Les roches situées entre le CLD et la Formation de Stella sur la propriété Lemoine appartiennent à la Formation de Waconichi (Membre de Lemoine) selon Leclerc et al. (2012) (Figs. 4, 5). Les unités felsiques du Membre de Lemoine font ensemble environ 500 m d'épais en moyenne, avec un pendage de 80° vers le sud (Daigneault et Allard, 1990). Le CLD se manifeste dans le secteur d'étude par sa Série Supérieure, constituée d'une Zone de Granophyre et d'une Zone de Bordure (Daigneault et Allard, 1990). Le

Membre de Lemoine est recouvert, en discordance, par les roches sédimentaires de la Formation de Stella (Martin et Stewart, 1999; Lafrance et Brisson, 2006).

On peut informellement diviser le Membre de Lemoine en deux. La partie inférieure comprend presque toutes les unités felsiques (voir ci-dessous) et l'Andésite de Lemoine, cette dernière étant d'origine effusive. La partie supérieure du Membre de Lemoine contient le « Hanging Wall QFP » (ancien « tuf de Gilman » de Lafrance et Brisson, 2006), constitué de laves et de roches volcanoclastiques. Le HWQFP est surmonté d'un basalte transitionnel attribué dans les rapports antérieurs (ex. Lavallière, 1994; Martin et Stewart, 1999; Martin, 2000; Riverin, 2003; Lafrance et Brisson, 2006) à la Formation de Gilman. La distinction entre les deux parties du Membre de Lemoine repose principalement sur l'affinité magmatique, tholéiitique à transitionnelle pour la partie inférieure et transitionnelle à calco-alcaline pour la partie supérieure (détails ci-dessous).

La partie inférieure du Membre de Lemoine contient deux unités felsiques extrusives : la Rhyolite Alpha (anciennement « Rhyolite de Marelle riche en Zr »; Lafrance et Brisson, 2006), surmontée de la Rhyolite de Lemoine. On y trouve aussi deux unités felsiques intrusives : la Rhyolite de Marelle, et la Rhyolite du lac Coco (anciennement « Rhyolite de Lemoine Supérieure »; Lafrance et Brisson, 2006). Les changements de noms et l'origine intrusive de la Rhyolite du lac Coco sont proposés par Boulerice et al. (2013) à la suite d'une campagne de terrain dans la partie est de la propriété Lemoine. L'origine extrusive de la Rhyolite Alpha a été proposée l'an dernier (Ross et al., 2013b) et confirmée par Boulerice et al. (2013) en forage.

Chaque unité lithologique du secteur d'étude est maintenant décrite individuellement, du nord vers le sud le long de la section 1600E, puis le long de la section 2200W (Fig. 5). La section suivante décrit leur géochimie (Figs. 7 à 10). Les sections composites sont présentées aux figures 11 et 12.

La Zone de Bordure forme le sommet du CLD. Elle est discontinue et comprend des gabbros à grains fins, de la ferropyroxénite quartzifère à magnétite, du gabbro

anorthositique très grossier et de la ferropyroxénite (Daigneault et Allard, 1990). La Zone de Bordure est riche en sulfures, contenant jusqu'à 5% de pyrite-pyrrhotite, ce qui lui donne un aspect rouillé en affleurement (Martin et Stewart, 1999). Quand la Zone de Bordure est absente, le granophyre et les rhyolites de la Formation de Waconichi sont en contact direct.

La Rhyolite de Marelle ou « QFP de la Marelle » (Riverin, 2003) contient 2-10% de quartz bleuté (2-6 mm) et 3-10% de feldspath (1-5 mm) (Lafrance et Brisson, 2006). Toutes les roches que nous avons observées en affleurement sont massives et homogènes, même près des contacts avec d'autres unités. Cette unité transgresse la stratigraphie à faible angle et son épaisseur peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Le niveau d'altération hydrothermale est typiquement bas, ce qui suggère une arrivée tardive. Une origine intrusive semble donc très probable (Lafrance et Brisson, 2006; Boulerice et al., 2013; Ross et al., 2013b).

La Rhyolite Alpha possède une population de phénocristaux ressemblant selon Lafrance et Brisson (2006) à celle de la Rhyolite de Marelle, mais elle est plus riche en Zr (d'où l'ancien nom de « Rhyolite de Marelle riche en Zr »). Un examen détaillé de cette unité en forage et en affleurement révèle que par rapport à la Rhyolite de Marelle, les cristaux de quartz sont plus petits, moins abondants, et que les feldspaths ne sont pas toujours présents (Boulerice et al., 2013). De plus, la composition géochimique se distingue bien sur un diagramme Ti/Zr vs. Al/Zr (voir plus loin). A l'est de l'ancienne mine Lemoine, dans le secteur du lac Monette (Fig. 5), cette unité est passablement altérée, contrairement à la Marelle « ordinaire ». Dans le forage LEM-18 par exemple, on reconnaît de la hyaloclastite et des bordures de lobes (Fig. 6), ce qui suggère fortement qu'il s'agit de roches extrusives (coulées de laves ou dômes mis en place au fond marin). La Rhyolite Alpha est donc plus ancienne que la Rhyolite de Lemoine, et semble associée à une « période de minéralisation antérieure à celle du gisement de Lemoine » compte tenu de l'altération hydrothermale qu'on y remarque (Riverin, 2003).

La Rhyolite de Lemoine représente l'unité stratigraphique immédiatement sous-jacente au gisement du même nom (Lafrance et Brisson, 2006). L'épaisseur atteint environ 200 m

dans la section composite 1600E, et environ 500 m dans la section composite 2200W. La Rhyolite de Lemoine forme « des coulées massives et lobées, possiblement des dômes, ainsi que des filons-couches et des dykes » (Lafrance et Brisson, 2006). Des roches volcanoclastiques sont aussi présentes près du sommet (Mercier-Langevin et al., 2014). La rhyolite contient « 2-5% de phénocristaux de quartz de 1-2 mm » (Lafrance et Brisson, 2006) mais peut aussi être pratiquement aphyrique.

L'Andésite de Lemoine est située au dessus de la rhyolite du même nom. Elle est constituée selon Lafrance et Brisson (2006) de coulées massives et coussinées aphyriques et de roches volcanoclastiques dérivées. L'épaisseur peut atteindre 100 m (Mercier-Langevin et al., 2014). Dans certains rapports antérieurs il est question de « dacite entremêlée de gabbros » (voir Riverin, 2003) et la relation entre cette unité et la minéralisation de la mine Lemoine reste ambiguë.

Le Hanging Wall QFP (« TxGil » de Lafrance et Brisson, 2006) contient de gros cristaux de quartz et feldspath. Le toit du gisement Lemoine est occupé par cette unité (Riverin, 2003), d'où le nom. Cette unité hétérogène fait jusqu'à 175 m d'épais (Mercier-Langevin et al., 2014). Elle contient généralement « de 5-10% de phénocristaux de quartz bleuté de 3-8 mm et de 10-20% de phénocristaux de feldspath de 2-5 mm » (Lafrance et Brisson, 2006). Cependant le pourcentage de cristaux peut atteindre 30-40% localement (Riverin, 2003). L'unité contient localement des lobes avec rubanements d'écoulement et de grosses amygdales (sud du lac Yvette), ce qui confirme sa nature au moins en partie effusive, tel que noté par Riverin (2003). Des roches volcanoclastiques sont aussi présentes (Mercier-Langevin et al., 2014), et certains rapports antérieurs décrivent l'ensemble de l'unité comme un « tuf à cristaux » (ex. Lavallière, 1994). Le HWQFP est un conducteur à cause de la présence de sulfures (surtout pyrite et pyrrhotite), notamment aux contacts inférieur et supérieur (Lavallière, 1994; Riverin, 2003).

Le basalte transitionnel surmonte le HWQFP. Il est constitué de laves massives à coussinées recoupés par des filons-couches de gabbro comagmatiques et est intercalé avec de minces niveaux de rhyolite et de dacite, connus en forage (Riverin, 2003; Lafrance et

Brisson, 2006). Le basalte transitionnel et les unités intercalées font jusqu'à 1,5 km d'épais et la polarité stratigraphique est vers le sud d'après la forme des coussins (Martin et Stewart, 1999).

Le basalte transitionnel complète la section composite 1600E. Dans la section composite 2200W on note aussi les unités suivantes, du nord vers le sud : le granophyre du CLD; la Rhyolite du lac Coco; la Diorite de Lemoine; et la Formation de Stella; par contre, la Rhyolite Alpha n'est pas présente (Fig. 12).

La Zone de Granophyre a une épaisseur de 150 à 900 m sur le flanc sud du CLD. La roche, riche en Na et pauvre en K, est constituée surtout de quartz, plagioclase (An_{10}) et chlorite avec des traces d'épidote et d'actinote (Daigneault et Allard, 1990). Minéralogiquement c'est une tonalite leucocrate (Pilote, 1998) et les affleurements sont blancs en surface météorisée (Martin et Stewart, 1999). Vers le sommet, la Zone de Granophyre devient plus « basique » (Pilote, 1998). Dans la section 2200W le granophyre contient une grosse enclave de Rhyolite de Lemoine altérée, ce qui suggère que la Rhyolite de Lemoine était déjà présente quand au moins une partie du CLD s'est mis en place.

La Rhyolite du lac Coco (« Rhyolite de Lemoine supérieure » de Lafrance et Brisson, 2006) contient 7-8% de phénocristaux de quartz bleuté de 1-2 mm⁴ et est facilement distinguable de la Rhyolite de Lemoine par la présence de 3-5% de feldspath blanc idiomorphe de 1-3 mm (Boulerice et al., 2013), alors que la Rhyolite de Lemoine contient moins de cristaux de quartz, ils sont plus petits et elle a peu/pas de feldspaths. Aussi la Rhyolite du lac Coco est normalement moins altérée que la Rhyolite de Lemoine. La Rhyolite du lac Coco occupe des positions stratigraphiques variables : il y en a trois occurrences dans la section composite 2200W. Boulerice et al. (2013) rapportent qu'elle est toujours massive en forage, même près des contacts avec les autres unités. Tout ceci suggère une origine intrusive, mais la chronologie relative de cette unité demeure incertaine.

⁴ Lafrance et Brisson (2006) donnent les pourcentages de phénocristaux suivants pour la Rhyolite du lac Coco : 3-7% de quartz de 1-3 mm; 1-3% de feldspath de 1-5 mm.

La Diorite de Lemoine est une intrusion dioritique à gabbroïque qui recoupe la stratigraphie à faible angle (Fig. 5). Lafrance et Brisson (2006) et Mercier-Langevin et al. (2014) proposent qu'elle soit co-génétique avec l'Andésite de Lemoine, mais comme on le verra plus loin, la géochimie de ces deux unités n'est pas identique. De plus, dépendamment des sections, les roches recoupées par la Diorite de Lemoine vont de la Rhyolite de Lemoine au basalte transitionnel, ce qui suggère une arrivée tardive de la Diorite (après le basalte transitionnel).

La Formation de Stella repose en discordance angulaire sur les unités volcaniques et le CLD. Cette formation « comprend des conglomérats à la base, de même que des séquences typiques de turbidites avec des grès, des siltstones et des argilites plus ou moins graphiteuses » (Lafrance et Brisson, 2006). Les structures sédimentaires indiquent une polarité vers le sud (Martin et Stewart, 1999).

Secteur Lemoine : géochimie

Nous avons réalisé pour ce rapport une compilation partielle de la géochimie en forage (roche totale, analyses de laboratoire conventionnelles) des unités principales du secteur d'étude, incluant le Membre de Lemoine, le CLD (Granophyre, Zone de Bordure) et la Formation de Stella (Figs. 7 à 10). La zone couverte va environ du lac Monette à l'est⁵ jusqu'à l'ouest de l'ancienne mine Lemoine, tel que montré à la figure 5. Ce n'est pas une compilation exhaustive, puisque l'objectif était de connaître la signature géochimique primaire de chaque unité afin de faciliter la préparation de nos sections composites et l'interprétation des données du LAMROC.

⁵ Pour la Zone de Bordure nous avons aussi inclus le forage LEM-01, beaucoup plus à l'est que le lac Monette, afin d'obtenir plus de données. Les données géochimiques de Ressources Cogitore provenant d'une tranchée ont aussi été ajoutées pour la Zone de Bordure et le Granophyre.

La compilation a cessé quand un nombre d'analyses représentatif a été atteint pour chaque unité (une vingtaine d'analyses si possible⁶). Les données viennent de l'INRS (forages LEM-15, LEM-18, LEM-34, LEM-35, LEM-36, LEM-40, LEM-59, et LEM-59E); de Ressources Cogitore (forages LEM-01, LEM-04, LEM-05B, LEM-06, LEM-07, LEM-08, LEM-15, LEM-18, LEM-23, LEM-24, LEM-34, LEM-35, LEM-37, LEM-40, LEM-41, LEM-46, LEM-51, LEM-53, LEM-55, LEM-58, LEM-59, LEM-59E, LEM-62, et LEM-63); et de Mercier-Langevin et al. (2014) (forages LEM-37 et LEM-40). Les quatre unités mafiques à intermédiaires (deux extrusives puis deux intrusives) sont discutées en premier, suivies des six unités felsiques (trois extrusives puis trois intrusives), et de la Formation de Stella.

L'Andésite de Lemoine a une composition qui varie du basalte à l'andésite sur les diagrammes de Winchester & Floyd (1977). Elle a des ratios Al/Zr et Nb/Y plus faibles que ceux des basaltes transitionnels (Figs. 7, 9). Les ratios Zr/Y et Tb/Yb de l'Andésite de Lemoine sont plus faibles que ceux des basaltes transitionnels et de la Diorite de Lemoine (Fig. 8). L'Andésite de Lemoine occupe un champ très restreint sur le diagramme Ti/Zr vs. Al/Zr, ce qui la distingue facilement du basalte transitionnel, mais malheureusement ce champ comprend aussi quelques échantillons de la Diorite de Lemoine; toutefois, les diagrammes multiéléments de ces deux unités sont bien distincts. En effet, l'Andésite de Lemoine montre des patrons presque plats avec des concentrations d'éléments traces normalisées de 10-20 fois le manteau primitif (Fig. 10b).

Le basalte transitionnel a aussi une composition qui varie du basalte à l'andésite. L'affinité magmatique varie de transitionnelle à calco-alcaline, selon le choix du diagramme. Les

⁶ Il faut insister sur le fait que cette compilation géochimique est partielle et préliminaire puisque ce n'était pas l'objectif principal du présent projet. Tous les forages n'ont pas été compilés dans le secteur d'étude, et plusieurs unités n'ont pas été compilées dans tous les forages. Les dykes ont été ignorés. Il faudrait donc compléter la compilation dans le secteur d'étude; intégrer cette compilation avec celle en cours à l'est du lac Monette (A. Boulerice, en prép.); continuer à compiler les forages vers l'ouest par rapport à la figure 5; intégrer les données de surface; et réinterpréter l'ensemble des sections de la propriété Lemoine pour obtenir un portrait plus juste de la géologie. Enfin, dans les données historiques de la compagnie, peu d'analyses contiennent tous les éléments traces requis pour préparer les diagrammes multiéléments, de sorte que la connaissance de la signature en éléments traces de certaines unités demeure fragmentaire. Dans la mesure où certaines unités se distinguent mieux entre elles sur les diagrammes multiéléments que sur d'autres diagrammes, une campagne de réanalyses pour les éléments en trace est recommandée (ICP-MS).

teneurs en Zr sont parmi les plus faibles des unités compilées (Fig. 9a), et les ratios Al/Zr sont parmi les plus élevés (Fig. 9b). Les diagrammes multiéléments ont une pente modérée avec une anomalie en Nb-Ta bien définie et une faible anomalie en Ti (Fig. 10a).

La Diorite de Lemoine a une composition qui varie du basalte à l'andésite sur les diagrammes de Winchester & Floyd (1977). L'affinité magmatique est surtout transitionnelle. Il y a une superposition partielle avec les autres unités mafiques à intermédiaires sur les diagrammes TiO₂-Zr et Ti/Zr vs. Al/Zr. On remarque aussi un ratio Zr/Y partiellement similaire entre la Diorite de Lemoine et le basalte transitionnel, bien que ce dernier atteigne des ratios plus élevés (ex., Fig. 8b). Enfin, la Diorite de Lemoine montre des patrons d'éléments en traces de forme généralement similaire à ceux du basalte transitionnel mais avec des concentrations normalisées plus élevées et une anomalie en Ti mieux définie (Figs. 10a, 10f).

La Zone de Bordure est géochimiquement fort variable. Elle tombe dans des champs dacitiques à basaltiques sur les diagrammes de Winchester & Floyd (1977). L'affinité magmatique est principalement tholéïtite. On distingue trois groupes d'échantillons sur un diagramme TiO₂ vs. Zr et au moins deux groupes sur un diagramme Ti/Zr vs. Al/Zr. Les diagrammes multiéléments montrent aussi deux groupes d'échantillons. Comme pour le granophyre, la Zone de Bordure reste peu connue du point de vue géochimique.

La Rhyolite Alpha est rhyodacitique à rhyolitique sur les diagrammes de Winchester & Floyd (1977) (Fig. 7) et transitionnelle sur un diagramme Th/Yb vs. Zr/Y (Fig. 8). Son ratio Al/Zr est le plus faible parmi les unités étudiées (Fig. 9). Les teneurs en Zr sont élevées (Figs. 8, 9).

La Rhyolite de Lemoine se distingue facilement des autres unités felsiques par son faible contenu en TiO₂ (moins de 0,3%), son ratio Ti/Zr bas, son affinité tholéïtite sur un diagramme Th/Yb vs. Zr/Y, et sa composition rhyolitique sur les diagrammes de Winchester & Floyd (1977).

Le HWQFP occupe une position spécifique sur un diagramme Ti/Zr vs. Al/Zr. Les diagrammes de Winchester & Floyd (1977) s'accordent sur une composition rhyodacitique. Les ratios Zr/Y sont typiquement plus élevés que ceux des autres unités felsiques, ce qui donne une affinité transitionnelle selon les champs de Barrett et MacLean (1999). Le HWQFP est transitionnel à calco-alcalin sur un diagramme Th/Yb vs. Zr/Y, occupant une position similaire aux basaltes sus-jacents.

La Rhyolite de Marelle est également rhyodacitique, mais avec un ratio Ti/Zr plus élevé que les autres unités felsiques, et un ratio Al/Zr typiquement plus élevé. Sa teneur en Zr est plus faible que celle des autres unités felsiques. L'affinité magmatique est tholéiitique à transitionnelle, selon le choix du diagramme.

La Rhyolite du lac Coco est surtout rhyolitique sur les diagrammes de Winchester & Floyd (1977). Comme la Rhyolite de Lemoine, la Rhyolite du lac Coco possède un contenu en TiO₂ faible, mais son contenu en Zr est plus faible (Fig. 9). On distingue aussi aisément ces deux unités sur un diagramme Th/Yb vs. Zr/Y, puisque la Rhyolite du lac Coco y est transitionnelle (Fig. 8). Enfin, la Rhyolite du lac Coco a un ratio Al/Zr élevé (Fig. 9).

Le granophyre tombe dans le champ des rhyolites sur les diagrammes de Winchester et Floyd (1977). Dans notre compilation (n = 6), les concentrations en Na₂O varient entre 4,7 et 5,6%. Le granophyre est d'affinité tholéiitique peu importe le choix du diagramme, sauf pour deux échantillons qui tombent dans le champ des roches calco-alcalines sur le diagramme Zr-Y (et un échantillon sur le diagramme Th/Yb vs. Zr/Y). Les diagrammes multiéléments du granophyre suggèrent aussi deux groupes d'échantillons (Fig. 10i), mais d'autres travaux seront nécessaires pour mieux contraindre la chimie de cette unité. Le granophyre chevauche en partie la Rhyolite de Lemoine sur les diagrammes TiO₂-Zr, Al/Zr vs. Ti/Zr, Zr-Y. Certains patrons multiéléments sont aussi similaires entre ces deux unités bien que le Th semble plus élevé dans la Rhyolite de Lemoine.

A part pour le granophyre, les diagrammes multiéléments des unités felsiques ne montrent pas à première vue de différences très marquées entre les unités (Fig. 10). Toutefois, dans le

détail, on remarque que les concentrations en éléments traces (ex. Th, La, Yb) sont maximales dans la Rhyolite de Lemoine. Le HWQFP et la Rhyolite Alpha ont des plateaux Zr-Hf nettement plus élevés que la concentration normalisée en Sm mais que ce n'est pas le cas des autres unités. La pente des terres rares légères semble typiquement plus faible pour la Rhyolite Alpha que pour les autres unités felsiques. La Rhyolite Alpha a aussi une anomalie en Nb-Ta moins développée.

Enfin, la Formation de Stella tombe surtout dans le champ des dacites et des andésites sur les diagrammes de Winchester et Floyd (1977). L'affinité magmatique est surtout transitionnelle à calco-alkaline. Cette unité se positionne dans le coin inférieur gauche sur le diagramme TiO_2 -Zr (Fig. 9c) et elle occupe aussi un champ distinct sur le diagramme Al/Zr vs. Ti/Zr. Enfin, les diagrammes multiéléments sont variables, mais toujours avec une anomalie négative en Ti. Cette unité demeure peu connue en termes d'éléments traces.

Secteur Lemoine : choix des sections et des forages

Les forages LEM-18 (689 m) et LEM-34 (1177,7 m), analysés au LAMROC, ont été choisis pour former une section composite à environ 3,2 km à l'ENE de l'ancienne mine Lemoine, dans le secteur du lac Monette (section 1600E de Ressources Cogitore Inc.). Selon la carte géologique et la section composite, les forages choisis comprennent les unités suivantes du nord vers le sud : Rhyolite de Marelle, Rhyolite Alpha, Rhyolite de Lemoine, Andésite de Lemoine, HWQFP, basalte transitionnel (Fig. 11).

Les forages LEM-37, LEM-46, LEM-59, LEM-59E, également analysés au LAMROC, ont été choisis pour former une autre section composite à environ 0,5 km à l'WSW de l'ancienne mine Lemoine (section 2200W de Ressources Cogitore Inc). Les unités suivantes sont comprises dans cette section, du nord vers le sud : le granophyre, la Zone de Bordure, une intrusion porphyrique à quartz, la Rhyolite de Lemoine, la Rhyolite de Marelle, la Rhyolite du lac Coco, l'Andésite de Lemoine, le HWQFP, la Diorite de Lemoine, le basalte transitionnel, et la Formation de Stella (Fig. 12).

Secteur du lac Taché : géologie

Le secteur du lac Taché est situé au nord du CLD (Fig. 2). La compagnie 2736-1179 Quebec Inc. et ses prédécesseurs y ont effectué des forages ciblant notamment des minéralisations volcanogènes (Larouche, 2012), dont les forages étudiés au LAMROC.

La carte géologique du MRN dans ce secteur, compilée avant que les forages étudiés ici ne soient disponibles, montre que ces forages sont largement situés dans une zone de « schiste à séricite, chlorite, ankérite et pyrite » au nord du CLD (Fig. 13a). Les forages recoupent aussi le dyke de l'Île du Gabbro et le CLD. La présente étude a permis de remplacer ce schiste par des unités intrusives et volcaniques connues ailleurs, tel que discuté ci-dessous.

Plus à l'ouest, à la longitude du lac Lempira par exemple, on reconnaît la stratigraphie typique du secteur de Chibougamau au nord du CLD : la Formation d'Obatogamau (Membre de David), la Formation de Waconichi (Membre d'Allard), la Formation de Bruneau, la Formation de Blondeau, et les trois filons-couches du Complexe de Cummings (Roberge, Ventures et Bourbeau) (Fig. 13). La polarité est vers le nord dans les roches volcaniques et les pendages sont abrupts.

Secteur du lac Taché : géochimie et réinterprétation géologique

Quelque 22 analyses géochimiques conventionnelles sur roche totale ont été obtenues par le MRN au laboratoire Actlabs (Ancaster, ON) pour le présent projet, le long des forages LN-11-10 (Tableau 1) et LN-11-11 (Tableau 2). L'objectif de ces analyses était de pouvoir comparer les compositions des roches de ces forages avec les protolites typiques de la région, en plus de valider les données du LAMROC.

Spécifiquement, une comparaison a été faite entre les moyennes des différentes lithologies du CLD, des différentes formations volcaniques du Groupe de Roy sur le flanc nord du CLD, et des lithologies du Complexe de Cummings, d'une part (ex. Fig. 14) et nos nouvelles analyses, d'autre part (Figs. 16-18). Nous nous sommes d'abord basés sur les diagrammes multiéléments pour trouver les meilleures correspondances entre les moyennes régionales et les compositions rencontrées le long des forages LN-11-10 et LN-11-11. Les

correspondances ont ensuite été vérifiées sur le diagramme Zr/TiO₂ vs. Nb/Y (Fig. 17), le diagramme Ti/Zr vs. Al/Zr (Fig. 17), et deux diagrammes d'affinité magmatique prenant en compte les éléments Th, Y, Yb et Zr (Fig. 18).

Deux groupes de laves⁷ géochimiquement bien contrastés sont présents dans les forages LN-11-10 et LN-11-11 (Fig. 17). Les échantillons du premier groupe ont des patrons plats sur les diagrammes multiéléments (Fig. 16). Ceux du deuxième groupe ont des patrons présentant une bonne pente négative, une anomalie Nb-Ta, un plateau Zr-Hf, et une faible anomalie en Ti. Les échantillons formant le deuxième groupe sont situés plus au nord que ceux du premier, et sont donc probablement plus jeunes. Ces groupements montrent une excellente correspondance géochimique avec les andésites basaltiques du Membre de David (Formation d'Obatogamau) et les andésites basaltiques du Membre d'Allard (Formation de Waconichi), respectivement. La stratigraphie volcanique visible plus à l'ouest est donc respectée. Notons que le Membre d'Allard n'avait jamais été identifié formellement au sud du Lac Taché.

Environ 175 m de roches mafiques à ultramafiques, interprétées comme intrusives et appartenant au CLD, sont intercalées dans le Membre de David. Elles sont aussi présentes au sud du Membre de David, dans l'ancien « schiste ». Les observations en forage montrent que certaines roches sont clairement des anorthosites grossières ou des gabbros anorthositiques, spécialement dans la fin du forage LN-11-11, où l'Al₂O₃ peut atteindre 26%. Ailleurs, les textures sont plutôt à grain fin, une altération et/ou une schistosité peut être présente, et la minéralogie est difficile à identifier à l'œil nu. Dans l'ensemble de ces intervalles, la silice varie entre 35 et 47% et le Fe₂O₃^t entre 8 et 31%. Une caractéristique notable de la majorité de ces roches (10 échantillons sur 13) est leur patron en « W », très peu commun, sur les diagrammes multiéléments (Fig. 16, CLD groupes 1 et 2). Les échantillons montrent de fortes anomalies négatives en Zr-Hf et en Ti, et souvent en Nb-Ta. Plusieurs ont des pentes positives pour les terres rares légères mais des pentes négatives pour les terres rares lourdes. Les ratios Zr/Y sont anormalement bas (Fig. 18) à cause du

⁷ Il est possible que certains échantillons du premier groupe, interprété comme des laves du Membre de David, soient en fait des intrusions, tel que discuté plus loin.

faible contenu en Zr et du contenu élevé en Y. Nous avons d'abord exploré l'idée que ces patrons étranges étaient dus à une altération hydrothermale intense, mais l'indice de chlorite (Saeki et Date, 1980) et l'indice d'Ishikawa (Ishikawa et al., 1976) ne dépassent pas 60 dans ces roches. Aussi, les carbonates semblent peu présents selon les données spectrométriques du LAMROC (voir plus loin). Il faut donc supposer que l'altération hydrothermale ne peut pas facilement expliquer la composition actuelle de ces roches. Par contre, de tels patrons en « W » sont connus par endroits dans la Zone de Bordure et dans la Série Litée du CLD environ 25 km plus à l'WSW (Fig. 14l). Spécifiquement nous avons trouvé quatre échantillons du MRN avec de tels patrons (Fig. 15) : 6304A, à l'ouest du lac Caché, dans la zone de ferrodiorite de la Série Litée (« ferrodiorite, ferrograbbro et ferropyroxénite »); 1001A et 5242A au sud du lac Bosum, dans la pyroxénite de la Zone de Bordure; et 6391B au nord de la baie Cedar, aussi dans la Zone de Bordure (« gabbro, anorthosite, pyroxénite et gabbro anorthositique »).

Nous arrivons donc à la conclusion que la géologie du secteur au sud du lac Taché doit être réinterprétée (Fig. 13b)⁸. Le schiste est remplacé par une zone magnétique du CLD, appartenant à la Zone de Bordure ou à la Série Litée, avec une intercalation d'environ 110 m de Membre de David au centre (dont une partie pourrait être des gabbros ou même le CLD). Le CLD est surmonté stratigraphiquement par une mince occurrence du Membre de David, suivie par le Membre d'Allard (qui est recoupé par le dyke de l'Île du Gabbro). La répétition du Membre de David et d'une zone magnétique du CLD est vraisemblablement due à des failles, reproduisant ici le patron structural documenté par Daigneault et Allard (1990) dans le secteur de l'Île du Portage, environ 13 km à l'WSW de la zone d'étude.

⁸ La carte montrée en partie à la figure 13b présente des révisions géologiques au sud du lac Taché mais aussi ailleurs dans la zone représentée sur la figure, et même au-delà. Cette carte sera discutée dans un rapport en préparation par F. Leclerc. La révision de la géologie est basée sur une nouvelle compilation de la géophysique, des affleurements, de la lithogéochimie et des indices minéralisés, en plus des données du LAMROC.

Secteur du lac Taché : choix des forages

Trois forages ont été analysés au LAMROC dans le secteur du lac Taché : LN-11-10 (288 m), LN-11-11 (309 m), et LN-12-15 (237 m analysés⁹ sur un total de 429 m). Les deux premiers forages forment une section entre le CLD et le dyke de l'Île du Gabbro, et la géologie a été discutée ci-dessus. Le troisième forage, pour lequel des analyses géochimiques conventionnelles n'ont pas été obtenues, reprend une partie de la stratigraphie de LN-11-11 mais contient davantage de sulfures (Tableau 3).

Résultats du LAMROC et validation des résultats

Présentation des figures de résultats

Pour chacun des neuf forages analysés à Chibougamau, nous présentons quatre figures montrant la variation avec la profondeur de : (1) la densité par atténuation gamma corrigée, la susceptibilité magnétique volumétrique, la réflectance moyenne dans les longueurs d'ondes visibles, et trois ratios géochimiques; (2) les éléments majeurs corrigés; (3) les éléments traces corrigés; et (4) les minéraux spectralement actifs (Figs. 19 à 54).

Pour les forages LEM-18, LEM-34, LEM-37, LEM-46, et LEM-59E, les codes lithologiques utilisés (Tableau 4) sur ces figures et dans la base de données ont été extraits des descriptions originales de Ressources Cogitore Inc. (ou des prédécesseurs). Les figures sont annotées quand un changement d'interprétation lithologique nous semble approprié. Pour le forage LEM-59, nous avons réévalué la lithologie de la première moitié du forage (Fig. 12) et changé les codes lithologiques en conséquence.

Pour les forages LN-11-10 et LN-11-11, les codes lithologiques (Tableau 4) sont basés sur les descriptions originales de Larouche (2012), sur un examen visuel des carottes par le premier auteur en août 2012, sur la géochimie conventionnelle, et sur les données du LAMROC. Comme ces roches sont souvent très déformées, les deux derniers éléments d'information ont pris une grande importance pour ces forages. Finalement, les codes lithologiques utilisés pour le forage LN-12-15 sont basés sur les descriptions de C.

⁹ À partir de 231,0 m, le forage LN-12-15 entre dans le dyke de l'Île du Gabbro et n'en ressort qu'à 376,7 m.

Larouche (communication personnelle, 2012), légèrement révisées avec les données du LAMROC.

Pour les figures 19 à 54, les propriétés physiques ont été lissées avec une moyenne mobile à cinq points pour faciliter la visualisation à cette échelle, ce qui donne une moyenne sur environ 1 m de carottes (40-60 cm de part et d'autre du point central). La géochimie a été lissée avec une moyenne mobile à trois points, ce qui donne la même zone d'influence que pour les propriétés physiques. Ces 36 figures illustrent le contenu de la base de données livrée avec ce rapport.

Validation des résultats

Afin de vérifier que les corrections apportées aux données du LAMROC permettent d'arriver aux mêmes valeurs que les méthodes de mesures traditionnelles, nous montrons d'abord la densité gamma corrigée en fonction de la profondeur pour deux forages : LEM-18 et LN-12-15 (Fig. 55). Le premier forage contient beaucoup de rhyolites (faibles densités) et le second des roches mafiques à ultramafiques et des sulfures (densités élevées). La correspondance est très bonne entre les données corrigées du LAMROC et les densités mesurées par immersion, ce qui valide les corrections apportées aux densités gamma.

Nous montrons ensuite douze éléments chimiques corrigés en fonction de la profondeur pour LEM-18 et LN-11-10, avec la géochimie traditionnelle superposée (Figs. 56 à 59). Encore une fois, la correspondance est bonne entre les données corrigées du LAMROC et les mesures traditionnelles équivalentes, compte tenu de la variabilité minéralogique à petite échelle et de la précision des instruments. Ceci indique que les corrections apportées aux données des analyseurs à FRX ont effectivement enlevé la majorité de l'erreur systématique des données brutes. La seule exception parmi les éléments montrés semble être la silice, légèrement sous-estimée pour les valeurs élevées (Fig. 56).

Les sections suivantes du rapport présentent les résultats du LAMROC par groupe de propriétés (physiques, géochimiques, minéralogiques).

Propriétés physiques

Généralités et valeurs moyennes

La susceptibilité magnétique des roches varie en fonction du pourcentage de minéraux magnétiques, ici la magnétite (disséminée dans certaines unités du CLD et possiblement dans certaines laves du Membre de David) et la pyrrhotite (présente dans certains intervalles minéralisés). Sur l'ensemble d'un forage, le profil de susceptibilité magnétique fait donc ressortir les intrusions et laves magnétiques, ainsi que les intervalles contenant des sulfures.

La densité des roches volcaniques et intrusives est influencée par leur composition : les roches ultramafiques sont les plus denses et les roches felsiques les moins denses. La densité dépend aussi de l'altération hydrothermale, par exemple une rhyolite chloritisée sera plus dense qu'une rhyolite fraîche. Les intervalles de sulfures massifs sont ceux ayant la plus forte densité (ex. Fig. 55).

A Lemoine, la densité corrigée des roches mesurée au LAMROC (15 838 mesures) varie de 2,46 à 3,34 g/cm (moyenne de 2,81 g/cm³) alors que la susceptibilité magnétique varie de -25×10^{-5} SI à $45\,783 \times 10^{-5}$ SI (moyenne de 510×10^{-5} SI) (Fig. 60).

Au lac Taché, la densité corrigée des roches mesurée au LAMROC (3069 mesures) varie de 2,67 à 4,97 g/cm (moyenne de 3,03 g/cm³) alors que la susceptibilité magnétique varie de 29×10^{-5} SI à $493\,517 \times 10^{-5}$ SI (moyenne de $12\,784 \times 10^{-5}$ SI) (Fig. 60). Les moyennes plus élevées au lac Taché sont dues à la dominance des roches mafiques à ultramafiques et la présence de sulfures dans certains intervalles.

Discrimination lithologique : LEM-18

Un exemple de l'utilisation des propriétés physiques pour la discrimination lithologique est montré à la figure 61 pour le forage LEM-18 dans le secteur Lemoine. La plupart des points sont colorés en fonction de la profondeur, avec les intervalles repris de la figure 19. On remarque que la Rhyolite Alpha a une susceptibilité magnétique moyenne plus élevée que la Rhyolite de Lemoine. La Rhyolite de Marelle est caractérisée par une densité faible et

une susceptibilité élevée, se distinguant aisément des autres unités felsiques. Le HWQFP a des propriétés physiques similaires à celles de la Rhyolite de Lemoine (bien que la densité moyenne soit plus faible). Le dyke nourricier du HWQFP forme un champ séparé à cause des susceptibilités magnétiques beaucoup plus élevées. Les points colorés mais tombant loin des champs en lignes tiretées sont souvent des petites intrusions intermédiaires à mafiques, par exemple dans la Rhyolite de Lemoine (marqués « D » sur la Fig. 19).

Diorite de Lemoine : intrusions multiples?

Tel qu'évoqué plus tôt, dans le secteur Lemoine, il se peut que la Diorite de Lemoine soit constituée de plusieurs phases intrusives de composition variable. Cette idée est renforcée par les variations de susceptibilité magnétique en fonction de la profondeur dans les forages LEM-37 (Fig. 27; 5,5-139,2 m) et LEM-46 (Fig. 31; 607,3-700,4 m).

Géochimie

La géochimie le long des forages est très utile pour identifier les protolites et caractériser l'altération hydrothermale, mais le coût des analyses géochimiques traditionnelles rend difficile l'atteinte d'une résolution spatiale intéressante. En général, on se contente donc d'une analyse aux 30 m ou 50 m, par exemple, ce qui aide à distinguer et à caractériser les unités géologiques, mais ne peut pas servir à positionner précisément les contacts. Aussi, les unités minces peuvent ne pas être échantillonnées, et des changements lithologiques rapides peuvent être manqués, surtout si la roche est déformée et/ou altérée. La résolution spatiale obtenue avec le LAMROC pour la géochimie, dans le cadre du présent projet, est d'environ 0,5 m, ce qui est plus que suffisant pour placer précisément les contacts sur une section géologique typique à l'échelle 1:1000, où 0,5 m dans la réalité représente 0,5 mm sur le papier. L'objectif n'est pas de remplacer la géochimie traditionnelle mais bien de pouvoir interpoler entre les analyses géochimiques ponctuelles sur roche totale (Ross et al., 2014a, 2014b).

Géochimie dans le forage LEM-18

L'utilisation de ratios d'éléments immobiles, comme Al, Nb, Ti, Y et Zr, est spécialement utile pour la discrimination lithologique, surtout lorsque combinée avec les profils de

propriétés physiques. Par exemple, le ratio Ti/Zr est faible pour les roches felsiques et élevé dans les roches mafiques. Le ratio Zr/Y dépend de l'affinité magmatique des roches (Barrett et MacLean, 1999; Ross et Bédard, 2009). Le ratio Nb/Y donne une idée de l'alcalinité des séries (Winchester et Floyd, 1977).

La figure 62 montre un exemple de ce type d'approche pour le forage LEM-18 (secteur Lemoine). Les champs définis par la géochimie traditionnelle aux figures 7 et 9 sont repris en gris. On voit que les principales unités lithologiques du forage peuvent être distinguées sur la base de ratios tels que Ti/Zr, Zr/Y, Al/Zr et Nb/Y (voir aussi la Fig. 19). Un des meilleurs diagrammes est Ti/Zr en fonction de Al/Zr, qui sépare bien les unités entre elles (Fig. 62). Pour les unités felsiques, les points de mesure du LAMROC sont évidemment plus dispersés que ceux de la géochimie traditionnelle, de sorte que les champs (lignes tiretées noires) se chevauchent partiellement. Toutefois, il faut tenir compte du fait que d'autres critères sont disponibles pour séparer les unités (p. ex. Zr/Y, propriétés physiques), et qu'on interprète les ratios en fonction de la profondeur, et non simplement sur des diagrammes binaires.

Par exemple, la transition entre la Rhyolite Alpha et la Rhyolite de Lemoine à 329,8 m s'exprime par une diminution brusque du ratio Zr/Y, une diminution de la susceptibilité magnétique moyenne, une diminution du ratio Ti/Zr, une augmentation du ratio Al/Zr (Fig. 19), une diminution de la teneur en TiO₂ (Fig. 20), et une augmentation du Nb et de l'Y (Fig. 21).

La combinaison de la géochimie du LAMROC avec les propriétés physiques permet de réviser la lithologie dans l'intervalle 581-654 m, supposément dominé par l'Andésite de Lemoine, mais avec une forte schistosité qui cache les textures primaires. Dans le détail, on remarque deux petites intrusions felsiques à intermédiaires entre 581 et 604,5 m (déjà connues : 591,9-594,3 m et 600,3-603,0 m), et un mince gabbro tholéiitique (584,7-587,8 m; nouveau). Puis l'intervalle 621,4-630,5 m est réinterprété comme un second gabbro tholéiitique, plus épais, sur la base de la géochimie du LAMROC: Al/Zr > 1000, Zr < 65 ppm, Zr/Y entre 2 et 3 (Fig. 62, cercles bleu foncé). Par comparaison, l'Andésite de

Lemoine a un ratio Al/Zr plus faible (surtout entre 200 et 300). De son côté, le gabbro transitionnel (604,5-620,4 m, déjà connu) a un ratio Zr/Y plus élevé (entre 5 et 9), davantage de Sr, et un ratio Al/Zr intermédiaire entre ceux de l'Andésite de Lemoine et ceux du gabbro tholéiitique. L'épaississement apparent de l'Andésite de Lemoine vers la surface sur la section composite (Fig. 11) est donc dû à la présence de nombreuses intrusions mafiques à felsiques dans l'Andésite de Lemoine pour le forage LEM-18.

On verra ci-dessous que dans le forage LEM-18, l'unité la plus fortement altérée est la Rhyolite Alpha. Sur la figure 20 on remarque que la chloritisation de cette unité est démontrée par des teneurs élevées en Fe, Mn, et Mg par rapport à ce qui mesuré dans les autres unités felsiques de ce forage. En particulier le MgO est sous la limite de détection des analyseurs à FRX dans les autres unités felsiques.

La Rhyolite de Lemoine et le HWQFP sont plutôt altérés en séricite et carbonate, ce qui se manifeste par des teneurs élevées en K et Rb, et localement en Ca (Figs. 20, 21).

Géochimie dans le forage LEM-46

La Formation de Stella dans le forage LEM-46 (secteur Lemoine) est constituée de conglomérats, de grès et de proportions mineures d'argilite. En plus des variations granulométriques, la Formation est caractérisée par des variations compositionnelles importantes, tel que montré notamment par les changements en fonction de la profondeur de Zr/Y (Fig. 31); TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, et K₂O (Fig. 32); et Rb, Sr et Y (Fig. 33). Un horizon particulièrement remarquable est situé entre 114,0 et 136,7 m, où la description originale du forage mentionne un grès immature, riche en feldspaths. Dans cet intervalle, comparativement aux niveaux adjacents, le ratio Zr/Y est extrême, le TiO₂, le Fe₂O₃, le MnO, le K₂O, le Nb et le Y sont faibles, alors que l'Al₂O₃ et le Sr sont élevés. On peut penser que ces variations sont dues à des changements minéralogiques primaires et non à l'altération hydrothermale.

Plus bas dans le forage LEM-46, l'intervalle de 783,0 à 877,2 m était décrit dans le *log* original comme une rhyolite aphanitique au début et porphyrique à quartz par la suite. Sur

la section 2800W de Ressources Cogitore, l'ensemble de cet intervalle est interprété comme appartenant à la Rhyolite de Lemoine. Le fait que la seconde partie de l'intervalle appartienne à la Rhyolite de Lemoine est confirmé par les éléments suivants : pour la géochimie traditionnelle (trois dernières analyses de cinq), SiO₂ et Zr élevés et TiO₂ faible (<0,30%); dans le log original, on note le caractère porphyrique plus évident à partir de 822 m; les données du LAMROC montrent à partir de 810 m environ une densité faible, ainsi que des ratios Al/Zr, Ti/Zr et Zr/Y bas (Fig. 31), des valeurs élevées de Nb, Y et Zr (Fig. 33) et des valeurs faibles de TiO₂ (Fig. 32).

Cependant, la première partie de l'intervalle ne montre pas ces caractéristiques. En particulier, le sous-intervalle 798,6-804,8 m montre dans les données du LAMROC un ratio Ti/Zr plus élevé que celui des roches qui suivent (Fig. 31); des pics positifs de TiO₂ et Fe₂O₃ mais un SiO₂ faible (Fig. 32); ainsi que des valeurs faibles en Nb et Zr (Fig. 33). Il s'agit donc d'une roche mafique à intermédiaire, mais est-elle intrusive ou extrusive? Le *log* original mentionne de « nombreuses amygdules » entre 798,3 et 801,7 m, ce qui suggère des coulées de lave. Enfin, l'analyse chimique de Ressources Cogitore inc. entre 799,0 et 799,3 m indique qu'il s'agit de l'Andésite de Lemoine, sur la base d'un Fe élevé, de la position de l'analyse sur les figures 7 à 9, et du diagramme multiéléments (Fig. 10). La position stratigraphique, au sommet de la Rhyolite de Lemoine, est également appropriée. Il y a donc lieu d'ajouter une lentille d'Andésite de Lemoine sur la section (p. ex., Fig. 12).

Finalement, le sous-intervalle de 783,0 m à ~798 m, décrit comme aphanitique, semble effectivement felsique mais montre dans les données du LAMROC des ratios Ti/Zr, Al/Zr et Zr/Y trop élevés pour appartenir à la Rhyolite de Lemoine (Fig. 31). Ce sous-intervalle ne peut pour l'instant être corrélé avec une des unités principales connues dans le secteur; il pourrait s'agir d'une phase intrusive mineure.

Géochimie dans le forage LEM-59E

Dans le forage LEM-59E, l'intervalle 513,0-600,0 m est décrit dans le *log* original comme une « roche intrusive intermédiaire porphyrique à quartz, grains très fins à aphanitique et de

couleur gris moyen-foncé. Massive, homogène et non magnétique. » Elle contient « 10-20% de phénocristaux de quartz bleutés et blanchâtres (1-4 mm, localement jusqu'à 30%) ». Bien que ce pourcentage de cristaux de quartz soit bien trop élevé pour la Rhyolite de Lemoine, la section 1800W de Ressources Cogitore interprète cet intervalle comme tel, possiblement à cause du TiO_2 qui est bas. Or, selon les données du LAMROC, le ratio Zr/Y est élevé (mais variable) dans la majorité de cet intervalle (Fig. 39), et les valeurs en Y sont faibles (Fig. 41). Encore une fois, il pourrait s'agir d'une phase intrusive mineure (celle-ci étant fortement porphyrique, contrairement à l'intrusion felsique rencontrée dans le forage LEM-46).

Géochimie dans le forage LN-11-10

La géochimie du LAMROC a été très utile pour interpréter la géologie du forage LN-11-10, situé en grande partie dans l'ancienne zone de schiste (secteur du lac Taché). Le Complexe du lac Doré (5-180,5 m) est caractérisé par des valeurs élevées mais variables en Y, un ratio Zr/Y très faible (moins de 2, Fig. 63), une densité élevée, une susceptibilité magnétique variable mais souvent élevée, une réflectance faible (Fig. 43), de fortes teneurs en Fe (typiquement 15-30% Fe_2O_3^4) et de faibles teneurs en Si (Fig. 44). Les variations rapides de plusieurs ratios et éléments géochimiques (Ti/Al, Al/Zr, Zr/Y, Al, Fe, Mg, Si, Ti, Nb, Y, Zr) et des propriétés physiques en fonction de la profondeur suggèrent un litage magmatique à l'échelle décamétrique (Série Litée ou l'équivalent stratigraphique?) ou de multiples phases intrusives. Un niveau ultramafique est présent vers 85 m sur la base du MgO élevé (>15%) et du Cr qui dépasse 6000 ppm (Fig. 45). Des gabbros/diorites possiblement plus tardifs sont présents à 58,9-62,1 m et 161-164 m (densité plus faible, susceptibilité magnétique plus faible, Zr/Y plus élevé, SiO_2 plus élevé; Fig. 63).

L'intervalle suivant, de 180,5 à 216,0 m, reste ambigu. Une analyse géochimique conventionnelle présente une signature « Membre de David » à 208,3 m, mais plusieurs propriétés physico-chimiques du LAMROC varient passablement dans cet intervalle (ex. le ratio Zr/Y), ce qui suggère la présence de plusieurs intrusions. Dans la mesure où les gabbros/diorites tardifs discutés ci-dessus ressemblent chimiquement au Membre de David (Fig. 63), tout cet intervalle pourrait également être intrusif.

La zone entre 216,0 et 261,1 m est interprétée comme étant constituée de laves et/ou de roches volcanoclastiques du Membre d'Allard (Figs. 43, 63). Cet intervalle est caractérisé par des ratios Zr/Y élevés (4 à 10), des ratios Ti/Zr plus faibles que dans le reste du forage, et un Sr élevé (Fig. 45).

Finalement, le forage se termine dans le dyke de l'Île du Gabbro, caractérisé par des valeurs élevées de Rb et Sr, un ratio Zr/Y relativement faible (environ 3 à 5), et sa texture gabbroïque bien préservée.

La géochimie des forages au sud du lac Taché et le potentiel en Fe-Ti±V±P de ce secteur sont discutés plus loin dans ce rapport.

Spectrométrie proche infrarouge et visible

La spectrométrie proche infrarouge et visible (Clark, 1999) permet d'identifier et de semi-quantifier certains minéraux, notamment des minéraux produits par l'altération hydrothermale ou déposés dans les veines et veinules, ainsi que des minéraux métamorphiques. Ces minéraux font partie des quatre familles suivantes : silicates, carbonates, sulfates, et oxydes (Huntington et al., 1997). Spécifiquement, on pense à des minéraux comme l'alunite, les argiles (smectite, kaolinite, dickite, etc.), la biotite, les carbonates (calcite, dolomite, ankérite, magnésite, ...), la chlorite, l'épidote, le gypse, l'hématite, la jarosite, les micas blancs (muscovite, paragonite, phengite, illite), la phlogopite, la serpentine, le talc, et la tourmaline. Cette méthode permet aussi d'identifier des minéraux métamorphiques comme les amphiboles, la prehnite, et les zéolites (Huntington et al., 1997). La spectrométrie infrarouge a souvent été utilisée pour étudier les zones d'altération liées aux SMV (ex. Herrmann et al., 2001; Jones et al., 2005; Hinchey, 2011; Yang et al., 2011).

Compte tenu du grand nombre de spectres générés par le LAMROC, la minéralogie est interprétée automatiquement avec le logiciel The Spectral Geologist (voir Ross et al., 2011a). Sur les figures 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46, 50 et 54, seules les grandes familles de minéraux sont rapportées (micas blancs, carbonates, amphiboles ...) plutôt que les espèces

minérales (ex. muscovite, calcite, hornblende, ...), ce qui diminue les risques d'erreurs. La seule espèce minérale rapportée comme telle est le talc (dans certains forages seulement); le talc apparaissait dans la famille « *other MgOH* », au titre peu informatif.

Dans les sous-sections suivantes, plusieurs des forages étudiés sont présentés en combinant les indices d'altération basés sur la géochimie traditionnelle (Ishikawa et al., 1976; Saeki et Date, 1980; Large et al., 2001) et la minéralogie automatisée du LAMROC.

Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LEM-18 (Fig. 22)

Le forage LEM-18 sera discuté du haut vers le bas (du nord au sud) puisque la polarité stratigraphique est vers le bas du trou.

La Rhyolite de Marelle (27,7-40,5 m) est considérée comme peu altérée (indice d'Ishikawa = 20-22; CCPI = 49-50; indice chlorite = 33-34). Selon la spectrométrie infrarouge, le minéral d'altération dominant alterne entre la chlorite et le mica blanc.

La Rhyolite Alpha (40,5-329,8 m, sauf un gabbro intercalé entre 55 et 64,5 m) est passablement plus altérée (indice d'Ishikawa surtout entre 70-97; CCPI surtout entre 80-98; indice chlorite surtout entre 73-98). La chlorite y domine les micas blancs partout selon la spectrométrie infrarouge, sauf à partir de 305 m, dans le haut stratigraphique de l'unité, où le mica blanc domine à l'occasion. Le carbonate est rarement détecté.

La Rhyolite de Lemoine (329,8-381,1 m, 398,75-443,4 m et 475,8-578,0 m) a une altération d'intensité variable (indice d'Ishikawa entre 27-92; CCPI surtout entre 38-74; indice chlorite entre 21-89). Le dernier intervalle en particulier a des indices d'Ishikawa entre 27 et 36 pour plusieurs échantillons. Selon la spectrométrie infrarouge, le mica blanc est typiquement le minéral d'altération dominant dans la Rhyolite de Lemoine. Le minéral secondaire est surtout la chlorite jusqu'à 443,4 m, avec détection discontinue de carbonates. Après 475,8 m, la chlorite et le carbonate cohabitent comme minéraux secondaires, mais la chlorite est presque absente entre 484 et 541 m.

L'Andésite de Lemoine forme deux intervalles dans ce forage (581-604,5 m et 640-654 m). Le premier intervalle contient deux dykes felsiques à intermédiaires (591,9-594,3 m et 600,3-603,0 m) et un gabbro tholéiitique (584,7-587,8 m) qui sera discuté séparément plus loin. Dans les dykes felsiques à intermédiaires, le mica blanc est le minéral principal. Pour l'Andésite de Lemoine en tant que telle, le minéral principal est la chlorite, sauf entre 581 et 584 m où le mica blanc peut également être le minéral principal. Le minéral secondaire le plus fréquent est le mica blanc entre 581-584 m et 595-598 m, avec un peu de carbonate, puis entre 642 et 654 m, il n'y a essentiellement pas de minéraux secondaires.

Les deux gabbros tholéiitiques (584,7-587,8 m et 621,4-630,5 m), diffèrent en termes d'altération. Le premier contient un mélange de micas blancs et de chlorite comme minéraux principaux, avec comme minéraux secondaires la chlorite, le mica blanc et le carbonate. Le second dyke contient essentiellement de la chlorite sans minéraux secondaires.

Le gabbro transitionnel entre 604,5 et 620,4 m est dominé par la chlorite dans le signal spectrométrique mais il contient aussi de l'épidote et des amphiboles, minéraux qui ne sont pas détectés dans le reste du forage. Il contient aussi des traces de carbonate et de mica foncé (ce dernier minéral est compris dans la classe « autres » sur la Fig. 22).

Finalement, le HWQFP (654,0-689,0 m) est considéré comme peu altéré (indice d'Ishikawa = 24-33; CCPI = 45-57; indice chlorite = 27-40). La spectrométrie infrarouge montre une zonation dans la minéralogie d'altération, puisque la première partie de l'intervalle (jusqu'à 674 m) a plus de mica blanc que de chlorite, et la seconde partie a plus de chlorite que de micas blancs. Les carbonates sont aussi plus fréquents dans le début de l'intervalle.

En résumé, la Rhyolite Alpha est l'unité felsique la plus fortement altérée du forage, avec la chlorite comme minéral dominant, alors que la Rhyolite de Lemoine et le HWQFP ont des altérations à mica blanc, chlorite et carbonate, possiblement plus « distales » par rapport à un centre hydrothermal.

Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LEM-34 (Fig. 26)

Le forage LEM-34 sera discuté du bas vers le haut (du nord au sud) puisque la polarité stratigraphique est vers le haut du trou.

La Rhyolite de Lemoine forme trois intervalles (1177,7-1149,6 m; 1078,5-1069,1 m, 1049,8-1029,2 m) séparés par des gabbros. La Rhyolite de Lemoine est peu altérée dans ce forage (indice d'Ishikawa = 8-30, CCPI = 24-45). L'intervalle le plus bas dans le forage (et dans la stratigraphie) contient presque exclusivement des micas blancs selon la spectrométrie infrarouge, avec quelques carbonates, un peu de chlorite et une occurrence de mica foncé. La description originale du forage propose l'assemblage séricite-carbonate-biotite-chlorite pour cet intervalle. Les deux autres intervalles sont dominés par la chlorite selon la spectrométrie infrarouge, sauf entre 1049,0 et 1042,8 m où ce minéral est absent et le mica blanc domine. Dans l'intervalle du haut de Rhyolite de Lemoine, on note aussi de l'épidote, et des traces de mica foncé et de carbonate. La description originale parle plutôt de silicification et de séricite pour cet intervalle.

L'Andésite de Lemoine (1029,2-1000,9 m) est peu altérée (indice d'Ishikawa = 29-35). Elle a la chlorite comme minéral d'altération dominant selon la spectrométrie infrarouge. Quand un minéral secondaire est présent, il s'agit surtout d'épidote. Cette association chlorite-épidote est aussi notée dans la description originale du forage.

Deux intervalles de HWQFP (1000,9-936,1 m; 868,8-783,0 m, sauf un sous-intervalle de gabbro à 866,6-855,5 m) sont présents. Le HWQFP est peu altéré dans ce forage (indice d'Ishikawa = 13-29; CCPI = 48-61). L'intervalle le plus bas a la chlorite comme minéral dominant selon la spectrométrie infrarouge. Quand un minéral secondaire est présent, c'est surtout le mica blanc, parfois le carbonate. La description originale du forage propose plutôt l'association « biotite-silice », mais aucun mica foncé n'a été détecté. L'intervalle du haut contient un mélange de chlorite et de mica blanc, avec plus rarement des carbonates, selon la spectrométrie infrarouge. La description originale du forage propose aussi l'association « séricite-chlorite-carbonate » pour cet intervalle.

Le reste du forage est surtout constitué de basalte transitionnel (partie supérieure du Membre de Lemoine), avec quelques gabbros, une rhyolite (265,9-250,61 m), et un tuf (51,2-46,2 m). Les basaltes transitionnels, peu altérés (indice d'Ishikawa = 20-43) ont presque systématiquement de la chlorite comme minéral dominant. Les minéraux secondaires sont l'épidote, l'amphibole, les carbonates et les micas blancs. La rhyolite (indice d'Ishikawa = 39-45) contient plus de micas blancs que de chlorite, avec des carbonates occasionnels. Enfin le tuf (non caractérisé par la géochimie conventionnelle) est dominé par la chlorite. Certains gabbros semblent contenir plus d'amphiboles et de micas foncés que les basaltes encaissants.

En résumé, la majorité des roches du forage LEM-34 sont peu altérées selon les indices d'altération. Dans plusieurs intervalles, on remarque une différence notable entre les minéraux d'altération décrits dans le log original et ce qui est interprété par la spectrométrie infrarouge, alors qu'il y a une bonne concordance pour d'autres intervalles. Certaines différences pourraient être dues aux limites de détection de certains minéraux qui sont relativement élevées par spectrométrie infrarouge, mais d'un autre côté, certains minéraux à grain très fin peuvent être difficiles à observer à l'œil nu.

Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LEM-37 (Fig. 30)

L'altération hydrothermale du forage LEM-37 a été étudiée en détail par Mercier-Langevin et al. (2014) à partir d'observations macroscopiques, de la pétrographie, de la géochimie conventionnelle, de mesures à la microsonde électronique sur des minéraux d'altération, et de mesures d'isotopes d'oxygène. En particulier, ces auteurs ont travaillé sur la Rhyolite de Lemoine, l'unité dominante du forage et celle formant le mur du gisement Lemoine. Quatre assemblages principaux sont rapportés par Mercier-Langevin et al. (2014) dans la Rhyolite de Lemoine pour le forage LEM-37, dont trois pervasifs et spatialement étendus (Fig. 30, marge de droite):

- (1) un assemblage semi-concordant à séricite-carbonate, pauvre en chlorite, du haut de l'unité (162,6 m) jusqu'à environ 510 m [5-20% séricite, 3-20% carbonate (ankérite, sidérite, parisite-synchisite), ≤5% chlorite];

- (2) un assemblage semi-concordant à discordant de séricite-chlorite, pauvre en carbonates, entre ~510 m et ~610 m [10-20% séricite, 10-20% chlorite, $\leq 2\%$ carbonate (ankérite)]; et enfin
- (3) un assemblage concordant à légèrement discordant à chlorite-séricite-chloritoïde, sans carbonates, entre ~610 m et ~830 m [10-20% chlorite, $\leq 15\%$ séricite, $\leq 4\%$ chloritoïde].

Le quatrième assemblage consiste en chlorite (40-60% chlorite, 10-20% séricite, $\leq 10\%$ calcite) formant des bandes de quelques centimètres à quelques mètres d'épais qui recourent les autres assemblages d'altération de façon discordante. Parmi les trois assemblages pervasifs, le troisième (chlorite-séricite-chloritoïde) montre les indices d'Ishikawa les plus élevés (Fig. 30).

Dans l'ensemble, on obtient la même réponse avec la spectrométrie infrarouge du LAMROC dans le forage LEM-37, compte tenu des limitations de la méthode (p. ex. limites de détection). Le haut de l'assemblage 1 est caractérisé par le mica blanc comme minéral principal et le carbonate comme minéral secondaire, alors que la chlorite est peu détectée et forme principalement le minéral secondaire (Fig. 30). Plus bas dans l'assemblage 1, la chlorite augmente, devenant parfois le minéral principal¹⁰. L'assemblage 2 est caractérisé par un mélange de chlorite, mica blanc et carbonate. Enfin, l'assemblage 3 est dépourvu de carbonate; la chlorite forme le minéral principal et le mica blanc le minéral secondaire. Le chloritoïde, présent en faible abondance, n'a pas été détecté par spectrométrie infrarouge.

Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LEM-59 (Fig. 38) et LEM-59E (Fig. 42)

Le forage LEM-59 sera discuté du haut vers le bas (du nord au sud). Le début du forage contient une grosse enclave de Rhyolite de Lemoine (5,3-117,8 m), dans laquelle l'indice d'Ishikawa est entre 22 et 73 et le CCPI va de 33 à 52. Le mica blanc est le minéral

¹⁰ Mercier-Langevin et al. (2014) notent que la transition entre les assemblages 1 et 2 est graduelle sur quelques dizaines de mètres. En passant de l'assemblage 1 à l'assemblage 2, ces auteurs décrivent une diminution du carbonate et une augmentation de la chlorite.

dominant selon la spectrométrie infrarouge; la chlorite est presque absente et le carbonate est parfois présent. La description originale du forage parle plutôt de chlorite avec moins de séricite, ce qui n'est pas compatible avec les données du LAMROC ou les indices d'altération.

De 117,8 à 197,2 m on semble être plutôt dans le granophyre du CLD. L'indice d'Ishikawa est très bas (4) à cause de la teneur en Na₂O pouvant dépasser 5,5%. Cette forte teneur en sodium est typique du granophyre (Daigneault et Allard, 1990). La spectrométrie infrarouge suggère que la chlorite et le mica blanc alternent comme minéral dominant (avec l'autre comme minéral secondaire, sauf une absence de chlorite entre 144,3 et 153,7 m). Le carbonate est aussi présent. La description originale du forage décrit l'altération en chlorite mais ne mentionne pas la séricite dans cet intervalle (il est plutôt question de « silicification » et de roche « très dure »).

Le reste du forage (197,2-408,0 m) est occupé par la Zone de Bordure du CLD. Cette zone est peu altérée dans ce forage selon l'indice d'Ishikawa (6 à 37). La chlorite est le minéral dominant selon la spectrométrie infrarouge, avec des proportions moindres d'amphibole et d'épidote (et un peu de carbonate et séricite). La description originale mentionne la chlorite, l'épidote et le carbonate. L'exception est l'intervalle entre 249,5 et 274,3 m, où on a un mélange de smectite (classé sous « autre » à la figure 38), amphiboles et épidote, mais avec très peu de chlorite, selon la spectrométrie.

Dans le forage LEM-59E, nous souhaitons simplement commenter l'intervalle 513,0-600,0 m, occupé par une intrusion porphyrique à quartz. Les indices d'altération sont très élevés pour cet intervalle (surtout entre 96 et 97 pour Ishikawa), et le Na₂O est presque totalement lessivé, contrairement au granophyre qui est riche en sodium. La spectrométrie infrarouge montre que la chlorite est le minéral dominant alors que le mica blanc est le minéral secondaire dans cet intervalle (Fig. 42). Les mesures par FRX du LAMROC montrent un MgO plus élevé que dans les gabbros sus-jacents (Fig. 40), supportant l'abondance de chlorite.

Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LN-11-10 (Fig. 46)

Le forage LN-11-10 sera discuté du haut vers le bas (du sud au nord) puisque la stratigraphie rajeunit vers le nord dans ce secteur. L'intervalle 5,0-180,5 m est formé de roches mafiques à ultramafiques du CLD, considérées peu altérées (indice d'Ishikawa = 34-52). Le minéral dominant selon la spectrométrie infrarouge est la chlorite, avec souvent de l'amphibole comme minéral secondaire.

L'intervalle 180,5-216,0 m contient des laves attribuées au Membre de David et probablement à des intrusions gabbroïques. La seule analyse géochimique conventionnelle suggère une altération faible (indice d'Ishikawa = 43). Le minéral dominant est la chlorite selon la spectrométrie infrarouge. À partir de 202,6 m, l'amphibole apparaît soudainement comme minéral secondaire, ce qui pourrait représenter un contact lithologique.

L'intervalle 216,0-261,1 m est formé de roches volcaniques mafiques à intermédiaires (laves et volcanoclastites?) attribuées au Membre d'Allard. L'indice d'Ishikawa faible (16 à 31) avec des valeurs moyennes de CCPI (48-66) est compatible avec une épidotisation. Le minéral principal détecté par spectrométrie infrarouge est la chlorite ou l'amphibole. Les minéraux secondaires les plus communs sont l'épidote et l'amphibole. Quelques micas blancs apparaissent dans le bas de l'intervalle.

Finalement, le reste du forage recoupe le dyke de l'Île du Gabbro. Ce dyke protérozoïque est peu à pas altéré selon les indices d'altération. Les minéraux détectés par spectrométrie infrarouge sont la chlorite, l'amphibole et l'épidote comme minéraux principaux. Les minéraux secondaires sont l'amphibole, l'épidote et le mica blanc.

Minéralogie automatisée et altération hydrothermale : LN-11-11 (Fig. 50)

Le forage LN-11-11 sera discuté du bas vers le haut (du sud au nord). Pour l'ensemble du forage, l'indice d'Ishikawa varie entre 29 et 58, ce qui indique des roches peu à pas altérées (selon cet indice).

De 309,0 à 276,3 m on a une anorthosite (ou gabbro anorthositique) du CLD. Le minéral principal dominant est la chlorite, et le mica blanc est très commun comme minéral secondaire. Le carbonate et l'épidote sont aussi présents.

De 276,3 à 212,7 m, on semble être dans la Série Litée du CLD. Le minéral principal est presque toujours la chlorite selon la spectrométrie infrarouge. À l'occasion le minéral principal est le talc, surtout dans les roches ultramafiques. L'amphibole apparaît par endroit comme minéral secondaire. Peu de minéraux sont détectés dans la zone riche en magnétite vers 250 m.

De 212,7 à 61,7 m, la géologie est peu comprise : il s'agit de la suite de la Série Litée du CLD et/ou du Membre de David intercalé avec des gabbros. La chlorite est typiquement le minéral dominant et peu de minéraux secondaires sont rapportés. À partir de 97,9 m, on a un mélange de chlorite et de micas blancs.

Finalement, l'intervalle 61,7-4,0 m appartient au CLD (gabbros, possiblement de la Série Litée). La chlorite est le minéral principal et l'amphibole est souvent présente comme minéral secondaire.

Imagerie

Les images de la caméra à balayage linéaire, livrées avec la base de données, ont été assemblées boîte par boîte en format jpeg. L'intérêt de ces images – en plus de constituer une archive virtuelle complète du forage – est qu'elles permettent de comparer l'aspect visuel de la roche avec les propriétés d'intérêt, même si les carottes ont disparues ou ne sont pas disponibles pour la personne qui fait l'interprétation. Certaines images sont montrées à la figure 6 (voir aussi Ross et al., 2013b).

Fe, Ti, V et P dans le Complexe du lac Doré

Les grandes intrusions litées peuvent notamment contenir des gisements de fer, chrome, nickel, titane, phosphore, vanadium et éléments du groupe du platine. Le CLD est connu pour son potentiel en Fe-Ti±V (Allard, 1976; Daigneault et Allard, 1990), et un gisement

magmatique important est en développement par la compagnie Métaux BlackRock sur le flanc sud du CLD, visant possiblement surtout le fer et le titane (bien que les magnétites soient également riches en vanadium).

Sur le flanc nord du CLD, des accumulations notables de magnétite sont documentées dans le secteur du lac Caché, de l'Île du Portage, de la baie Magnétite/Mont du Sorcier (Fig. 2), tel qu'évoqué en introduction. Allard (1976) note que comparé à la minéralisation à magnétite du flanc sud du CLD, celle de la baie Magnétite/Mont du Sorcier est située dans des roches peu litées (le litage est décimétrique à métrique sur le flanc sud) et plus riches en Mg, notamment des « ferrodunites » et des « ferropéridotites ». Il pense que ces roches sont l'équivalent stratigraphique de la Série Litée mais représentent un « changement de faciès » par rapport à la Série Litée plus « normale » ou typique du flanc sud et de l'ouest du flanc nord. Le potentiel en Fe-Ti±V du flanc nord du CLD semble se continuer vers l'est jusqu'au lac Taché. La nouvelle carte géologique compilée dans le cadre de cette étude propose davantage de roches magnétiques de la Série Litée (ou de la Zone de Bordure) que ce qui était connu jusqu'à maintenant dans le secteur général du lac Taché, et également plus au sud (Fig. 13b).

Les teneurs élevées coïncidentes en Fe et Mg et la susceptibilité magnétique très élevée dans le forage LN-11-11 vers 250 m de profondeur (Figs. 47, 48) rappellent la minéralisation à magnétite dans des roches ultramafiques à la baie Magnétite/Mont du Sorcier (surtout 20-26% MgO, moyenne de 16% FeO, 21% Fe₂O₃ et 1,1% TiO₂ au Mont du Sorcier selon Allard, 1976, son tableau 55). De plus, les profils géochimiques et de propriétés physiques dans LN-11-10 et LN-11-11 sont compatibles avec un litage décimétrique (ou des intrusions multiples) dans le CLD, et non un litage métrique comme dans l'unité P1 le flanc sud, ce qui ressemble aussi à ce que mentionne Allard (1976) pour le secteur baie Magnétite/Mont du Sorcier (peu ou pas de litage magmatique évident). Entre 241,1 et 257,6 m dans le forage LN-11-11, le MgO est en moyenne de 27% selon les données corrigées du LAMROC, le Fe₂O₃¹ de 37% et le TiO₂ de 1,7% (Fig. 48). Les teneurs en Fe₂O₃ atteignent localement 55% (moyenne mobile à trois points) et le TiO₂ peut atteindre 2,5% (moyenne mobile à trois points) selon les données du LAMROC. Cet

intervalle n'a toutefois pas été analysé par géochimie conventionnelle, et la courbe de correction utilisée sur les données du LAMROC s'arrête à 25% pour le Fe_2O_3^t et moins de 10% pour le MgO (Ross et al., 2013b), donc ces valeurs restent à confirmer.

Nous avons mis en graphe les données du LAMROC pour le phosphore et le vanadium à la figure 64. Les données brutes sont utilisées puisque ces éléments/oxydes sont jugés « incorrigibles » (voir la section « Développements méthodologiques » de Ross et al., 2013b); toutefois, la comparaison avec la géochimie traditionnelle (carrés jaunes) tient la route (Fig. 64). Les meilleures zones pour le P_2O_5 sont dans le forage LN-11-10 (voir aussi le tableau 1). Les meilleures valeurs pour le vanadium sont dans le forage LN-11-11, notamment dans la zone riche en fer et magnésium autour de 250 m où le V dépasse 1000 ppm sur plusieurs mètres. Il y a aussi un pic de V et de P_2O_5 un peu plus haut dans ce forage (Fig. 64).

Conclusions

Le Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC) de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) a permis de mesurer un ensemble de paramètres à haute résolution spatiale sur neuf forages d'exploration dans la région de Chibougamau, dans le cadre d'un projet de recherche financé par le MRN. L'analyse de carottes de forage au LAMROC permet de mesurer presque simultanément la densité, la susceptibilité magnétique, la spectrométrie proche infrarouge et visible (minéralogie d'altération), et plusieurs éléments chimiques. La force du LAMROC réside dans la diversité des paramètres mesurés, dans la forte résolution spatiale des données, et dans la possibilité d'examiner des images numériques de la carotte pour comparer l'aspect visuel de la roche avec les propriétés d'intérêt.

Discrimination lithologique, compilation de sections et cartes géologiques, potentiel minéral

Il est possible d'améliorer les discriminations lithologiques le long des forages grâce aux données du LAMROC, par exemple en considérant simultanément la densité, la susceptibilité magnétique, et des ratios d'éléments immobiles comme Ti/Zr, Al/Zr et Zr/Y.

Dans le secteur de l'ancienne mine Lemoine – qui a exploité un des SMV les plus riches du Canada – la Formation de Waconichi comprend plusieurs unités felsiques. La combinaison des descriptions originales de forage, de la géochimie traditionnelle, et des mesures du LAMROC permet de distinguer et de caractériser chacune de ces unités felsiques. La géochimie à haute résolution spatiale du LAMROC permet d'interpoler entre les mesures ponctuelles de géochimie traditionnelle pour localiser précisément les contacts.

Aussi, grâce aux données du LAMROC, il est possible de séparer les parties intrusives et extrusives de certaines unités. Par exemple, dans le forage LEM-18, les dykes nourriciers de l'unité felsique « HWQFP » ont la même chimie que la partie extrusive de l'unité, mais possèdent une susceptibilité magnétique bien plus élevée.

On peut également préciser l'historique de mise en place de certaines unités. Par exemple, particulièrement dans le forage LEM-37, la Diorite de Lemoine semble constituée de plusieurs phases intrusives de composition variable, et de susceptibilité magnétique variable.

Les données du LAMROC montrent un potentiel pour l'étude détaillée de roches sédimentaires. Dans la Formation de Stella, certains grès « immatures » ont des propriétés physiques et géochimiques différentes des conglomérats adjacents.

A plus grande échelle, les données du LAMROC ont aidé à compiler les deux sections composites présentées dans ce rapport pour le secteur Lemoine. Certaines interprétations n'auraient pas été possibles ou auraient été plus difficiles sans ces données. Par exemple, pour la section composite 2200W, on note :

- la présence d'une lentille d'Andésite de Lemoine au dessus de la Rhyolite du même nom dans le forage LEM-46;
- la présence d'une intrusion porphyrique à quartz, très altérée, entre la Zone de Bordure et la Rhyolite de Lemoine dans le forage LEM-59E.

Dans le secteur situé au sud du lac Taché, la géologie était peu connue avant notre étude. Les trois forages étudiés étaient situés en grande partie dans une zone de « schiste » et montrent effectivement une forte schistosité, ce qui rend très difficile la reconnaissance visuelle des protolites. Nous avons toutefois montré à partir de l'ensemble des données disponibles que le schiste peut être interprété comme une combinaison du Complexe du lac Doré (CLD; Zone de Bordure et/ou Série Litée ou son équivalent) et du Membre de David (Formation d'Obatogamau). Le Membre d'Allard (Formation de Waconichi) est présent au sommet de cette séquence. Cette nouvelle interprétation a permis de mettre à jour la carte géologique du secteur. Le CLD contient dans ce secteur des zones fortement magnétiques et montre un potentiel pour les accumulations de Fe-Ti±V comparables à celles du secteur de la baie Magnétite/Mont du Sorcier plus à l'ouest.

Utilisation de diagrammes de classification géochimique

Nous avons montré que des diagrammes géochimiques courants, comme ceux de Winchester et Floyd (1977), qui servent à donner des noms aux roches volcaniques, peuvent être utilisés avec les données corrigées du LAMROC. Quand les compositions des unités sont connues par géochimie traditionnelle, les données corrigées du LAMROC (moyenne mobile à trois points) tombent approximativement au même endroit (p. ex. Fig. 62). Il est donc possible de donner un nom préliminaire aux roches grâce aux données corrigées du LAMROC. On peut également préciser l'affinité magmatique d'échantillons inconnus sur un diagramme Zr-Y.

Altération hydrothermale

Les données du LAMROC montrent aussi un fort intérêt en ce qui concerne l'altération hydrothermale, que ce soit par l'étude des éléments mobiles (géochimie) ou par l'utilisation de la spectrométrie infrarouge pour identifier les minéraux d'altération. Dans certains forages analysés à Chibougamau, des différences importantes de minéralogie d'altération existent entre la description visuelle des roches et l'interprétation de la spectrométrie infrarouge, notamment parce que des mélanges de minéraux à grains fins sont difficiles à détecter à l'œil nu. L'utilisation du LAMROC, en plus des observations visuelles et de la

géochimie conventionnelle, permet donc une description plus uniforme de la minéralogie d'altération.

A Lemoine, il ressort de notre étude que dans la section composite localisée 3,2 km à l'ENE de l'ancienne mine, les roches les plus altérées (chlorite-séricite) sont dans l'unité de Rhyolite Alpha (anciennement « Rhyolite de Marelle riche en Zr »), et non dans la Rhyolite de Lemoine, au sommet de laquelle se trouvait le gisement. La Rhyolite de Lemoine à cet endroit est plutôt altérée en séricite-carbonate, une altération à basse température (cf. Mercier-Langevin et al., 2014). La Rhyolite Alpha, interprétée comme extrusive, est située plus bas dans la séquence stratigraphique que la Rhyolite de Lemoine et pourrait représenter une cible d'exploration intéressante pour les SMV (Riverin, 2003; Boulerice et al., 2013).

Dans la section composite localisée à localisée ~0,5 km à l'ouest de l'ancienne mine Lemoine (section composite 2200W), les roches les plus fortement altérées, à dominance de chlorite, sont situées dans la partie profonde de la Rhyolite de Lemoine (forage LEM-37), mais aussi dans une intrusion porphyrique à quartz surmontant la Zone de Bordure du CLD (forage LEM-59E). En revanche, les parties moins profondes de la Rhyolite de Lemoine présentent des indices d'altération plus bas, ce qui suggère initialement que ces roches sont moins altérées, voire peu altérées, si on se fie seulement à l'indice d'Ishikawa par exemple. Toutefois, Mercier-Langevin et al. (2014) documentent une altération à séricite-carbonate-chlorite, de faible température, pervasive et semi-concordante, dans la partie supérieure de la Rhyolite de Lemoine. La spectrométrie infrarouge du LAMROC identifie la même zonation d'altération dans le forage LEM-37 que celle documentée par Mercier-Langevin et al. (2014), faisant ressortir l'abondance de carbonates dans le haut du forage et leur quasi-absence dans le bas du forage, de même que l'augmentation de chlorite en profondeur.

Remerciements

L'infrastructure du LAMROC a été financée par la Fondation Canadienne pour l'Innovation et le gouvernement du Québec. Nous remercions le MRN, en particulier Patrice Roy, pour le financement du projet de recherche à Chibougamau. Les compagnies

Ressources Cogitore Inc., 2736-1179 Quebec Inc. et Forages Chibougamau Ltée ont permis l'accès à leurs installations et leurs carottes de forage; nous remercions spécialement Claude Larouche, Steve Larouche, Francis Lefebvre, Sylvain Lépine, Gérald Riverin et Alain Roy. Patrick Mercier-Langevin a fourni des analyses géochimiques du secteur Lemoine, utilisées ici, et surtout partagé son expertise sur le gisement Lemoine et son environnement géologique. Les assistants de terrain à l'été 2012 étaient Jérémie Arsenault et Pierre Huu Tri Nguyen, suivis de Jean-Philippe Pomerleau en 2013. Le logiciel LogView de la Commission Géologique du Canada a été utilisé pour préparer certaines figures.

Références

- Allard GO (1976) Doré Lake Complex and its importance to Chibougamau geology and metallogeny. Ministère des Richesses naturelles du Québec, DPV-368, 487 p.
- Barrett TJ, MacLean WH (1999) Volcanic sequences, lithochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems. In: Barrie CT, Hannington MD (eds) Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings, *Reviews in Economic Geology* 8, p. 101-131
- Bédard JH, Leclerc F, Harris LB, Goulet N (2009) Intra-sill magmatic evolution in the Cummings Complex, Abitibi greenstone belt: tholeiitic to calc-alkaline magmatism recorded in an Archaean subvolcanic conduit system. *Lithos* 111:47-71
- Boulerice A, Ross P-S, Mercier-Langevin P, Lépine S, Leclerc F (2013) Volcanologie de la Formation de Waconichi, secteur Lemoine, Chibougamau (Sous-province de l'Abitibi). Québec Mines 2013, Ministère des Ressources naturelles du Québec, DV 2014-03, p. 59
- Carignan G (2010) Les amas sulfurés à zinc-cuivre archéens du lac Scott, Chibougamau, Québec: Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Montréal, 104 p.
- Chown EH, Daigneault R, Mueller W, Mortensen JK (1992) Tectonic evolution of the Northern Volcanic Zone, Abitibi belt, Quebec. *Can. J. Earth. Sci.* 29:2211-2225
- Clark RN (1999) Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: Rencz AN (ed) *Manual of Remote Sensing, Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences*. John Wiley and Sons, New York, p. 3-58
- Coté-Mantha O, Daigneault R, Gaboury D, Chartrand F, Pilote P (2012) Geology, alteration, and origin of Archean Au-Ag-Cu mineralization associated with the

- synvolcanic Chibougamau Pluton: the Brosman prospect, Abitibi greenstone belt, Canada. *Econ. Geol.* 107:909-934
- Daigneault R, Allard GO (1990) Le Complexe du Lac Doré et son environnement géologique. Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Québec, rapport MM 89-03, p. 275.
- David J, Simard M, Bandyayera D, Goutier J, Hammouche H, Pilote P, Leclerc F, Dion C (2012) Datations U-Pb effectuées dans les provinces du Supérieur et de Churchill en 2010-2011. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, rapport RP 2012-01, 33 p.
- Donahue JC (1982). The geology and petrochemistry of the Patino-Lemoine deposit and its host rocks, Lemoine Township, Quebec. Mémoire de maîtrise, University of Georgia, 275 p.
- Dorr A (1969) Magnetite deposits in the northern part of the Dore Lake Complex, Chibougamau district, Quebec. Mémoire de maîtrise, Université McGill, Montréal, 57 p.
- Dubé B, Guha J (1992) Relationship between northeast-trending regional faults and Archean mesothermal gold-copper mineralization; Cooke Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Econ. Geol.* 87:1525-1540
- Franklin JM, Gibson HL, Jonasson IR, Galley AG (2005) Volcanogenic massive sulfide deposits. In: Hedenquist JW, Thompson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds) *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume*. Society of Economic Geologists, pp 523-560
- Galley AG, Hannington MD, Jonasson IR (2007) Volcanogenic massive sulphide deposits. In: Goodfellow WD (ed) *Mineral deposits of Canada*. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, pp 141-161
- Guha J, Dube B, Pilote P, Chown EH, Archambault G, Bouchard G (1988) Gold mineralization patterns in relation to the lithologic and tectonic evolution of the Chibougamau mining district, Quebec, Canada. *Mineralium Deposita* 23:293-298
- Herrmann W, Blake M, Doyle M, Huston D, Kamprad J, Merry N, Pontual S (2001) Short wavelength infrared (SWIR) spectral analysis of hydrothermal alteration zones associated with base metal sulfide deposits at Rosebery and Western Tharsis, Tasmania, and Highway-Reward, Queensland. *Econ. Geol.* 96:939-955

- Hinchey JG (2011) Visible/infrared spectroscopy (VIRS) of volcanogenic massive sulfide hydrothermal alteration products, Tulks volcanic belt, Central Newfoundland: an additional exploration technique? Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources, Geological Survey Report 11-1, p 97-108
- Huntington J, Mason P, Berman M (1997) Geological evaluation of The Spectral Assistant (TSA) for mineralogical identification. Commonwealth Scientific and Research Organization, Exploration and Mining Report 417R, 74 p.
- Ishikawa Y, Sawaguchi T, Iwaya S, Horiuchi M (1976) Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism of underlying dacite and alteration halos. *Mining Geol.* 26:105-117
- Jones S, Herrmann W, Gemmell JB (2005) Short Wavelength Infrared Spectral Characteristics of the HW Horizon: Implications for Exploration in the Myra Falls Volcanic-Hosted Massive Sulfide Camp, Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Econ. Geol.* 100:273-294
- Lafrance B, Brisson T (2006) Rapport sur le programme de forage 2005, projet Lemoine. Ressources Cogitore Inc., Travaux statutaires déposés au Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport GM 62564, 334 p.
- Large RR, Gemmell JB, Paulick H, Huston DL (2001) The alteration box plot: a simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and litho geochemistry associated with volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Econ. Geol.* 96:957-971
- Larouche C (2012) Evaluation of the exploration potential for precious and base metals mineralization, lac Taché area (preliminary). 2736-1179 Quebec Inc., travaux statutaires déposés au Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport GM 66276, 399 p.
- Lavallière G (1994) Rapport annuel d'exploration 1993-1994 relatif aux claims de Greenstone Resources Ltd sur la propriété Lemoine (1152). SOQUEM inc., travaux statutaires déposés au Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport GM 53042, 90 p.
- Leclerc F (2011) Géochimie et contexte tectonique du Groupe de Roy et du Complexe de Cummings dans la région de Chibougamau, Québec. Thèse de doctorat, INRS, centre Eau Terre Environnement, 311 p.

- Leclerc F, Bédard JH, Harris LB, Goulet N, Houle P, Roy P (2008) Nouvelles subdivisions de la Formation de Gilman, Groupe de Roy, région de Chibougamau, sous-province de l'Abitibi, Québec : résultats préliminaires. Commission Géologique du Canada, Recherches en Cours 2008-7:1-23
- Leclerc F, Bédard JH, Harris LB, McNicoll V, Goulet N, Roy P, Houle P (2011a) Tholeiitic to calc-alkaline cyclic volcanism in the Roy Group, Chibougamau area, Abitibi Greenstone Belt - revised stratigraphy and implications for VHMS exploration. *Can. J. Earth. Sci.* 48:661-694
- Leclerc F, Houle P, Roy P (2011b) Géologie - Lac Chibougamau. Ministère des Ressources naturelles, CG-32G16C-2012-01, carte à l'échelle 1/20 000.
- Leclerc F, Harris LB, Bédard JH, van Breemen O, Goulet N (2012) Structural and stratigraphic controls on magmatic, volcanogenic, and shear zone-hosted mineralization in the Chapais-Chibougamau mining camp, northeastern Abitibi, Canada. *Econ. Geol.* 107:963-989
- Legault MI (2003) Environnement métallogénique du couloir de Fancamp avec emphase sur les gisements aurifères de Chevrier, région de Chibougamau, Québec. Thèse de doctorat, Université du Québec à Chiboutimi, 488 p.
- Leshner CM, Goodwin AM, Campbell IH, Gorton MP (1986) Trace-element geochemistry of ore-associated and barren, felsic metavolcanic rocks in the Superior Province, Canada. *Can. J. Earth. Sci.* 23:222-237
- Martin L (2000) Report on the 2000 diamond drilling program on the Lemoine property, Lemoine, Rinfret and Dollier townships, Quebec. Teck Exploration Ltd, travaux statutaires déposés au Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport GM 58048, 17 p.
- Martin L, Stewart R (1999) Geological report on the 1999 exploration program, Lemoine property, Lemoine, Rinfret and Dollier townships, Quebec. Teck Exploration Ltd, travaux statutaires déposés au Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport GM 59206, 129 p.
- Mercier-Langevin P, Lafrance B, Bécu V, Dubé B, Kjarsgaard I, Guha J (2014) The Lemoine auriferous volcanogenic massive sulfide deposit, Chibougamau camp, Abitibi greenstone belt, Québec, Canada: geology and genesis. *Econ. Geol.* 109:231-269

- Moisan A (1992) *Pétrochimie des grès de la formation de Bordeleau, Chibougamau, Québec. Mémoire de Maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, 132 p.*
- Mortensen JK (1993) U-Pb geochronology of the eastern Abitibi Subprovince. Part 1: Chibougamau - Matagami - Joutel region. *Can. J. Earth. Sci.* 30:11-28
- Mueller W (1991) Volcanism and related slope to shallow-marine volcanoclastic sedimentation: an Archean example near Chibougamau, Quebec, Canada. *Precamb. Res.* 49:1-22
- Mueller WU, Daigneault R, Mortensen JK, Chown EH (1996) Archean terrane docking: upper crust collision tectonics, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Tectonophys.* 265:127-150
- Pilote P (1998) *Géologie et métallogénie du district minier de Chapais-Chibougamau : nouvelle vision du potentiel de découverte. Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport DV 98-03, 180 p.*
- Riverin G (2003) *Rapport sur le programme de forage 2002, projet Lemoine. Les Mines Inmet, travaux statutaires déposés au Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport GM 60029, 286 p.*
- Ross P-S, Bédard JH (2009) Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Can. J. Earth. Sci.* 46:823-839
- Ross P-S, Bourke A, Fresia B (2011a) *Analyse multiparamétrique à haute résolution de carottes de forage dans la région de Matagami – Partie 1, Méthodologie et performance. Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport GM 65521, 72 p.*
- Ross P-S, Bourke A, Fresia B, Debreil J (2011b) *Analyse multiparamétrique à haute résolution de carottes de forage dans la région de Matagami – Partie 2, résultats préliminaires. Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport GM 65522, 32 p.*
- Ross P-S, Bourke A, Fresia B, Debreil J-A (2012) *Analyse multiparamétrique à haute résolution de carottes de forage dans la région de Matagami 2010-2012, Rapport final. Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport GM 66441, 128 p.*
- Ross P-S, Bourke A, Fresia B (2013a) *A multi-sensor logger for rock cores: Methodology and preliminary results from the Matagami mining camp, Canada. Ore Geol. Rev.* 53:93-111

- Ross P-S, Bourke A, Leclerc F (2013b) Analyse multiparamétrique à haute résolution de carottes de forage dans la région de Chibougamau 2012-2013. Ministère des Ressources naturelles du Québec, rapport GM 67111, 132 p.
- Ross P-S, Bourke A, Fresia B (2014a) Improving lithological discrimination in exploration drill-cores using portable X-ray fluorescence measurements: (1) testing three Olympus Innov-X analysers on unprepared cores. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, DOI: 10.1144/geochem2012-163
- Ross P-S, Bourke A, Fresia B (2014b) Improving lithological discrimination in exploration drill-cores using portable X-ray fluorescence measurements: (2) applications to the Zn-Cu Matagami mining camp, Canada. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, DOI: 10.1144/geochem2012-164
- Saeki Y, Date J (1980) Computer applications to the alteration data of the footwall dacite lava at the Ezuri kuroko deposits, Akita Prefecture. *Mining Geol.* 30: 241-250.
- Salmon B, McDonough, B (2011) Technical report on the mineral resource estimate of the Scott Lake project, northern Québec, Canada. Roscoe Postle Associates Inc, 29 juillet 2011, 144 p. (téléchargé de www.cogitore.com le 17 janvier 2013)
- Saunders JA, Allard GO (1990) The Scott Lake deposit: a contact-metamorphosed volcanogenic massive sulfide deposit, Chibougamau area, Quebec: *Can. J. Earth Sci.* 27:180-186.
- Sun S-S, McDonough WF (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry MJ (eds) *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society of London, p. 313-345
- Taner MF, Gault RA, Scott Ercit T (2000) Vanadium mineralization and its industry in Canada. *The Gangue (GAC Mineral Deposits Division)* 65:1-9.
- Winchester, JA, Floyd PA (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.* 20:325-343.
- Yang K, Huntington JF, Gemell JB, Scott KM (2011) Variations in composition and abundance of white mica in the hydrothermal alteration system at Hellyer, Tasmania, as revealed by infrared reflectance spectroscopy. *J. Geochem. Explor.* 108:143-156.

FIGURES

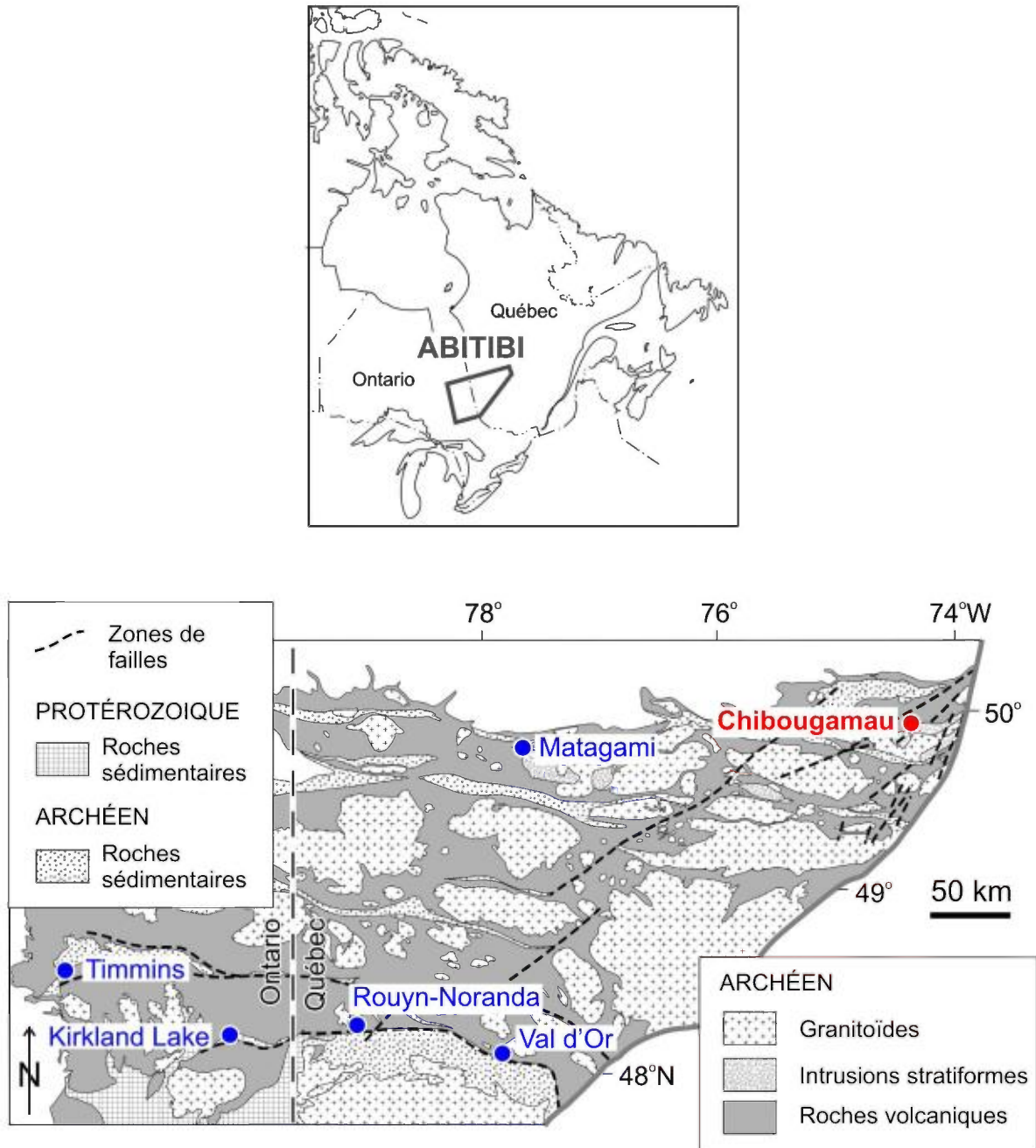
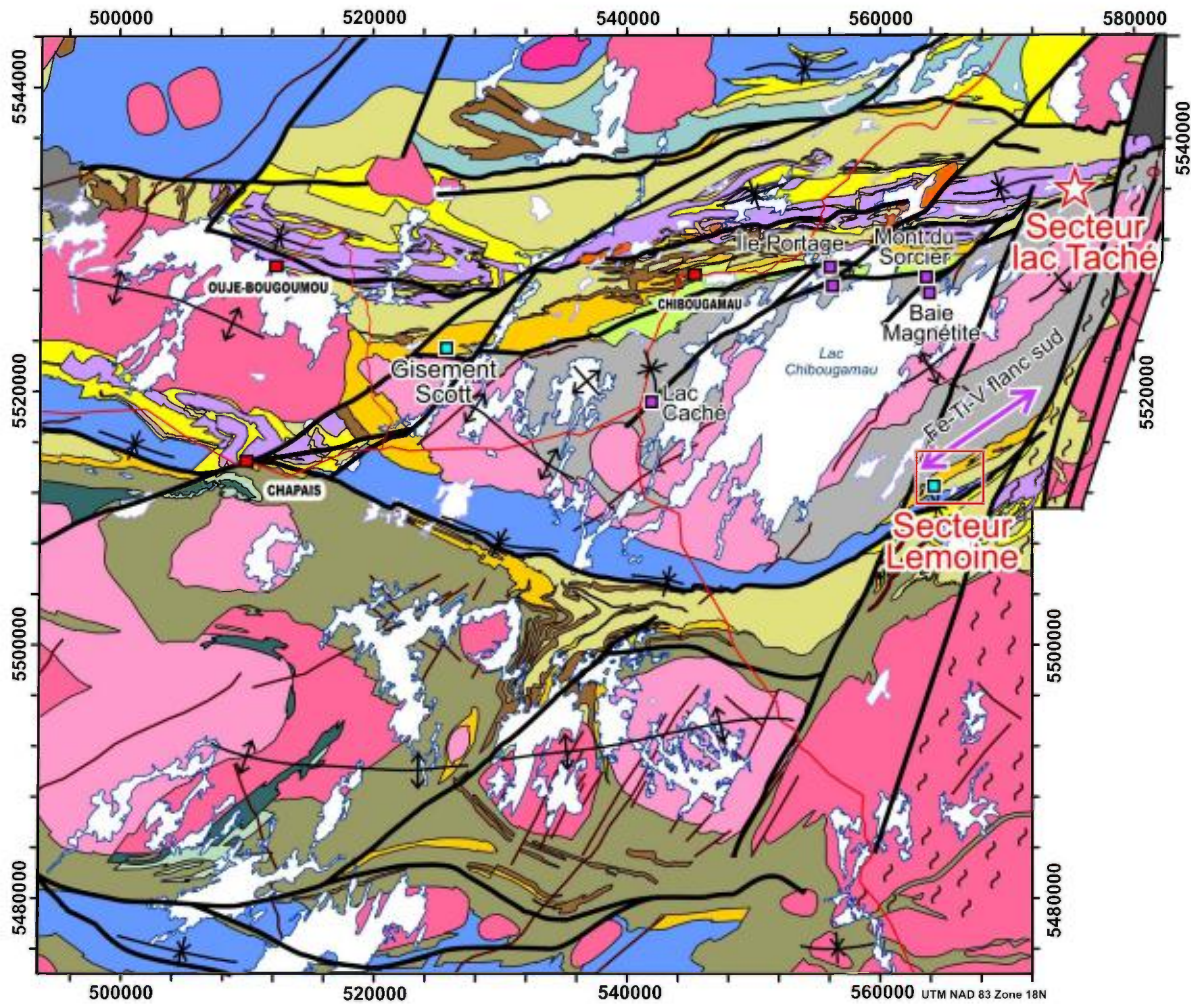


Figure 1. Carte de la localisation de la ville de Chibougamau dans la Sous-province de l'Abitibi.



Légende

Paléoprotérozoïque

- Dyke de diabase
- Formation de Chibougamau
conglomérat, grès, argillite, dolomie

Archéen

- Roches intrusives**
- Pluton syn- à post-tectonique
granodiorite, granite, syénite
 - Pluton synvolcanique
tonalite, diorite, trondhémite, granodiorite
 - Gabbro
 - Complexe de Cummings
filons-couches mafiques à ultramafiques
 - Complexe du Lac Chaleur
anorthosite, gabbro, diorite
 - Complexe du Lac Doré
anorthosite, gabbro, pyroxénite

Groupe d'Opémisca

- Conglomérat, grès, argillite, andésite potassique

Groupe de Roy

- Cycle 2**
 - Formation de Bordeleau
arkose, conglomérat, roche volcanoclastique
 - Formation de Blondeau
roche sédimentaire volcanogène, roche volcanoclastique felsique, rhyolite, basalte
 - Formation de Bruneau
roche volcanique mafique, roche volcanoclastique
- Cycle 1**
 - Formation de Waconichi
roche volcanoclastique, rhyolite, basalte, porphyre à QZ-FP
 - Formation d'Obatogamau
roche volcanique mafique

Formation de Chrissie / Membre des Vents

- Membre supérieur
roche volcanoclastique, rhyolite
- Membre inférieur
roche volcanique mafique

Occurrences notables et gisements

- Fe-Ti-V
- SMV

- Route
- Anticlinal
- Synclinal
- Zone de cisaillement / Faille
- Front de Grenville

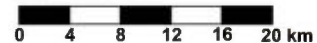


Figure 2. Carte géologique de la région de Chapais-Chibougamau compilée par François Leclerc, avec la position approximative des gisements de SMV Scott et Lemoine (carrés bleus), des occurrences notables et gisements de Fe-Ti±V (carrés et flèches mauves) et des deux secteurs étudiés (Lemoine et lac Taché).

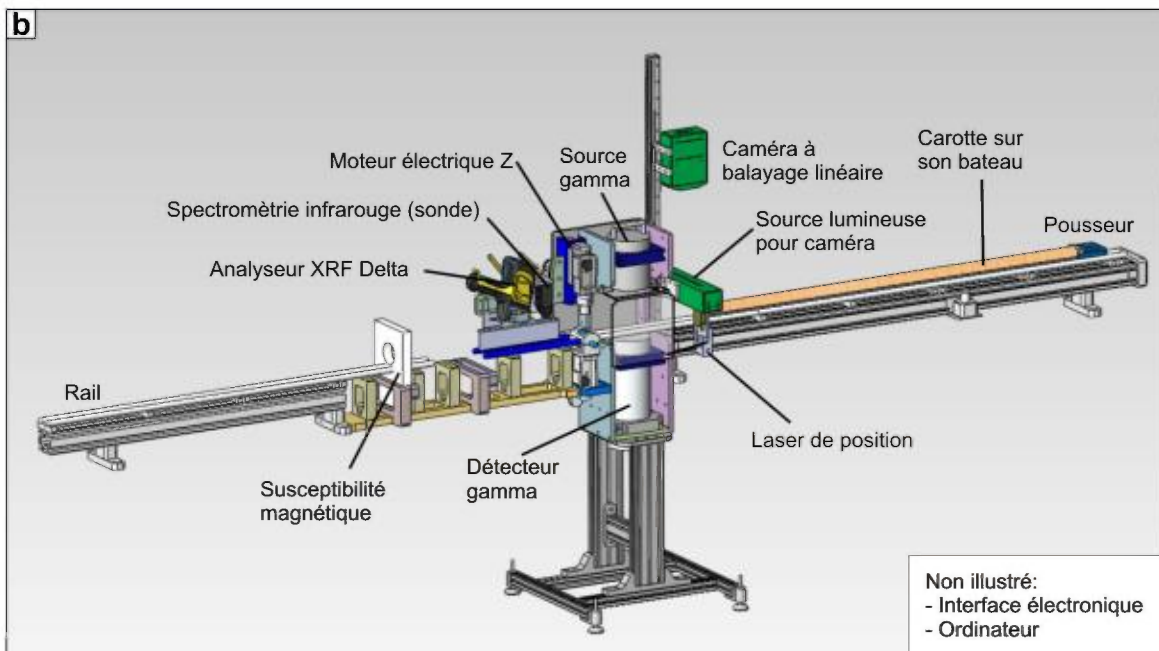


Figure 3. Illustrations du Laboratoire mobile de caractérisation physique, minéralogique et chimique des roches (LAMROC). (a) La remorque-laboratoire. (b) Vue en perspective du système automatisé pour l'analyse multiparamétrique des carottes de forage, illustrant les différentes composantes. Afin de sauver du temps, les deux analyseurs à FRX sont utilisés séparément du système automatisé dans le laboratoire.

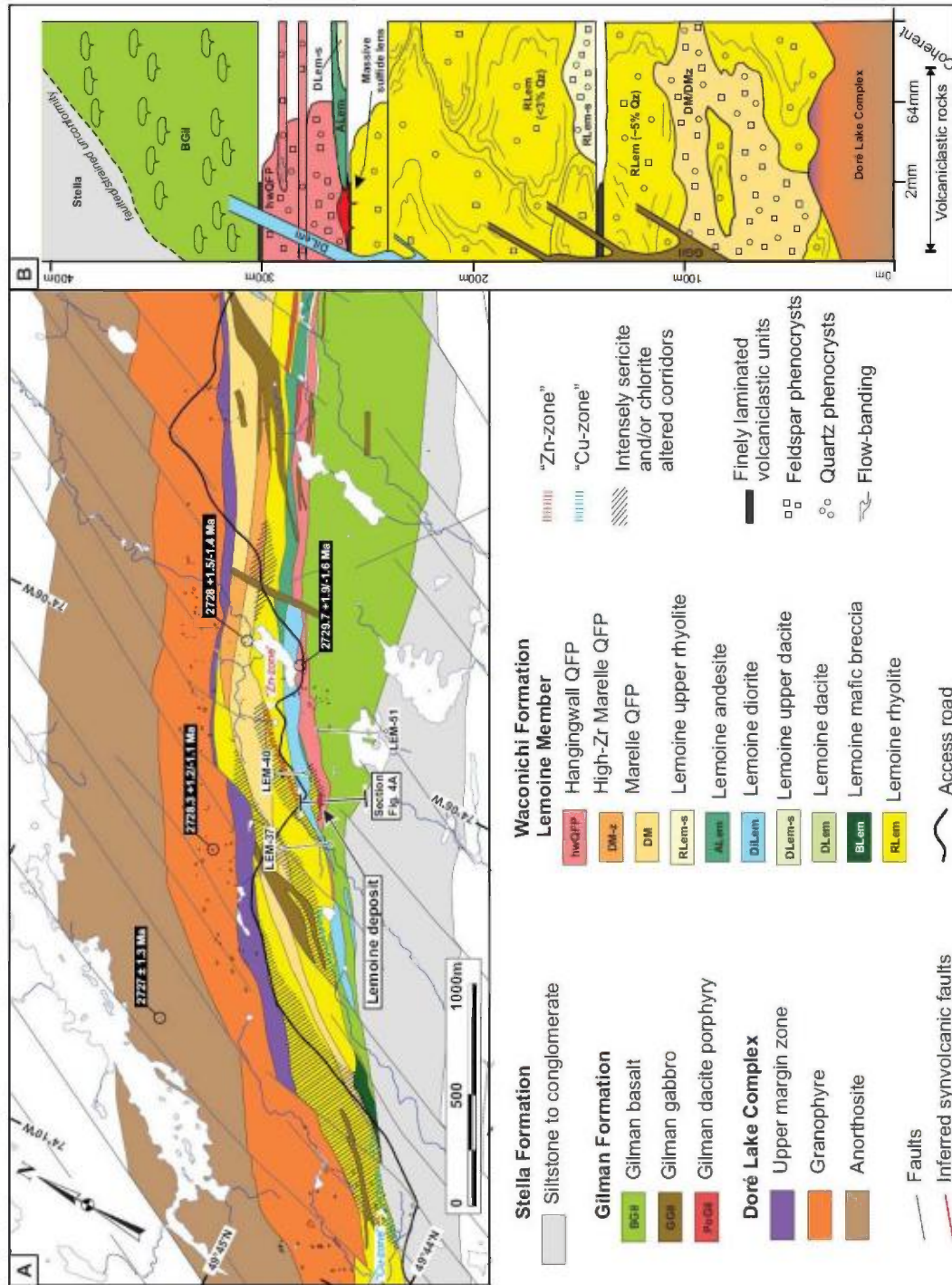


Figure 4. Carte géologique (a) et colonne stratigraphique (b) du secteur de l'ancienne mine Lemoine, d'après Mercier-Langevin et al. (2014). Les basaltes de la « Formation de Gilman » sont placés dans la partie supérieure du Membre de Lemoine (Formation de Waconichi) par Leclerc et al. (2011a, 2012). L'unité *high-Zr Marelle QFP* est ici désignée « Rhyolite Alpha » alors que l'unité *Lemoine upper Rhyolite* est renommée « Rhyolite du lac Coco ». La carte géologique est modifiée à partir de celle de Lafrance et Brisson (2006).

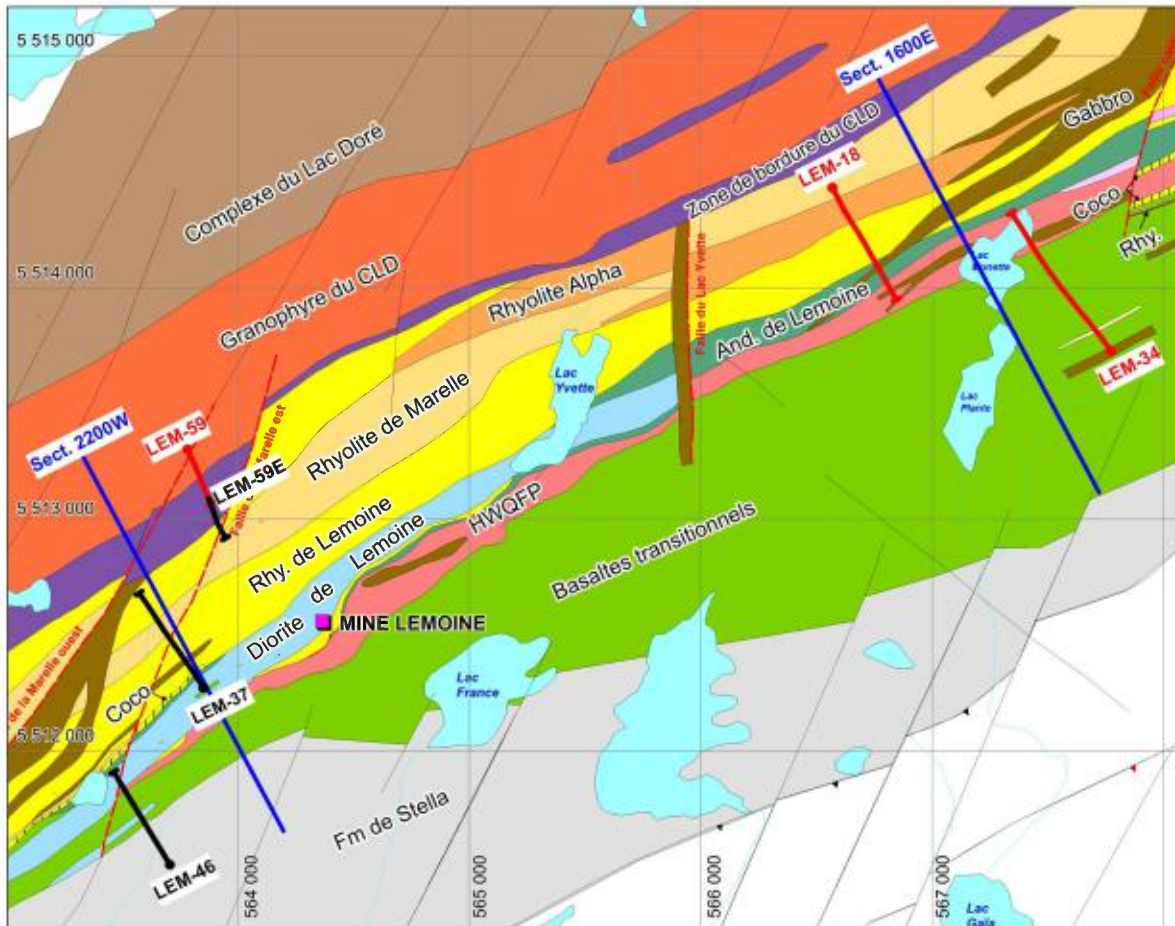


Figure 5. Carte géologique du secteur de l'ancienne mine Lemoine et vers l'est jusqu'au lac Monette, montrant la localisation des forages étudiés avec le LAMROC. En rouge, ceux analysés à l'été 2012 (LEM-18, LEM-34 et LEM-59) et en noir, ceux analysés à l'été 2013 (LEM-37, LEM-46 et LEM-59E). La position de nos deux sections composites est aussi montrée (lignes bleues : 2200W et 1600E). Géologie selon Ressources Cogitore Inc. « And. » = andésite, « Coco » = Rhyolite du lac Coco (anciennement nommée rhyolite de Lemoine supérieure), « HWQFP » = Hanging Wall QFP, « Rhy. » = Rhyolite. La Rhyolite Alpha s'appelait anciennement « Rhyolite de Marelle riche en Zr ».

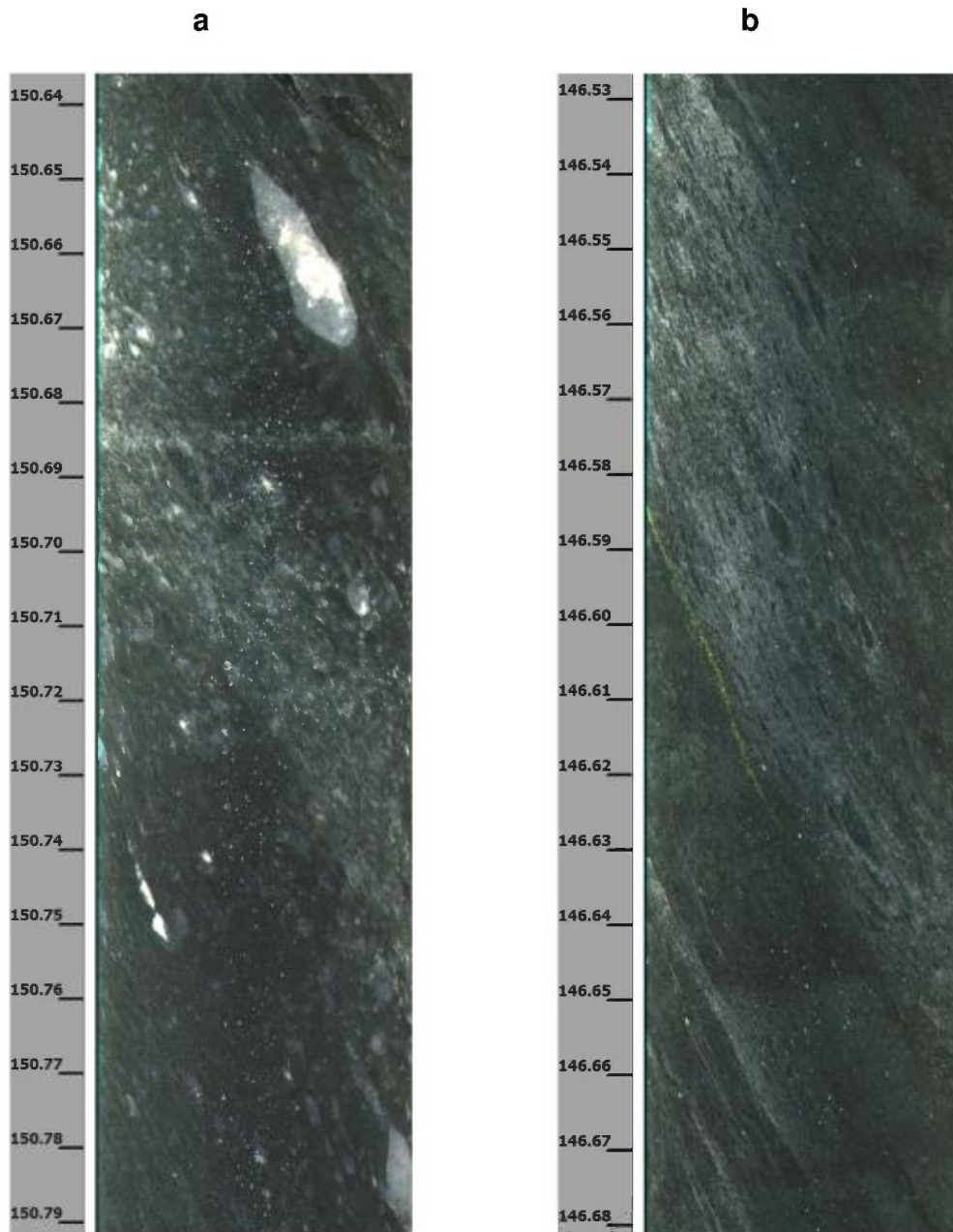


Figure 6. Images de la Rhyolite Alpha (anciennement « Rhyolite de Marelle riche en Zr ») obtenues avec la caméra à balayage linéaire du LAMROC dans le forage LEM-18. (a) Bande riche en amygdules de quartz, interprétée comme une bordure de lobes (150,64-150,79 m). (b) Zone à hyaloclastite (146,53-146,68 m). Les deux échantillons sont chloritisés, d'où la couleur noire des roches. Une foliation à environ 20° de l'axe de la carotte est aussi présente.

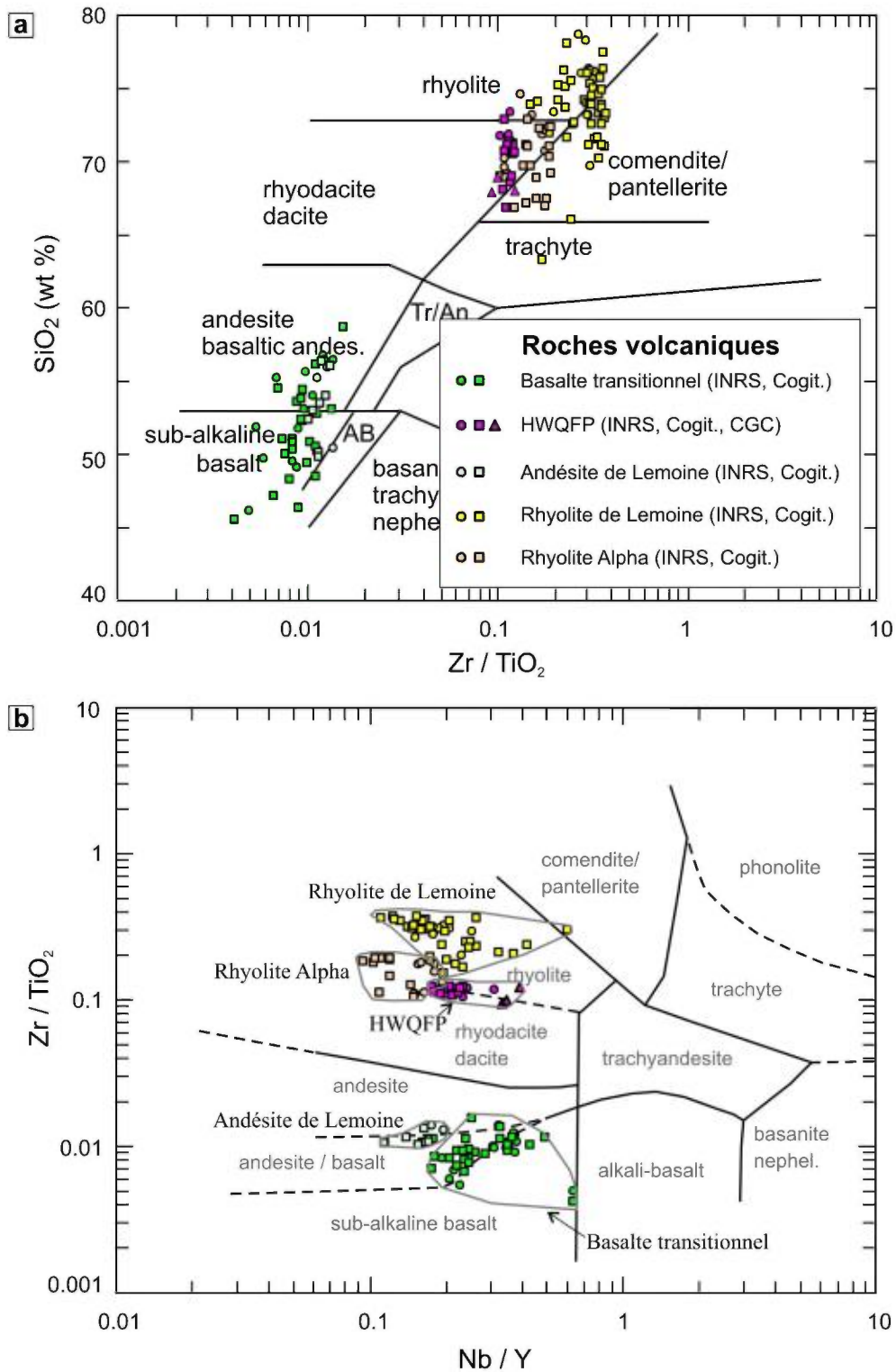


Figure 7. Diagrammes de classification de Winchester et Floyd (1977) pour le secteur Lemoine (voir texte pour détail des données compilées). « Cogit. » = Ressources Cogitore Inc. Dans ces diagrammes, le Zr en ppm est divisé par 10000 et le TiO₂ est en %. (a)-(b) Unités volcaniques.

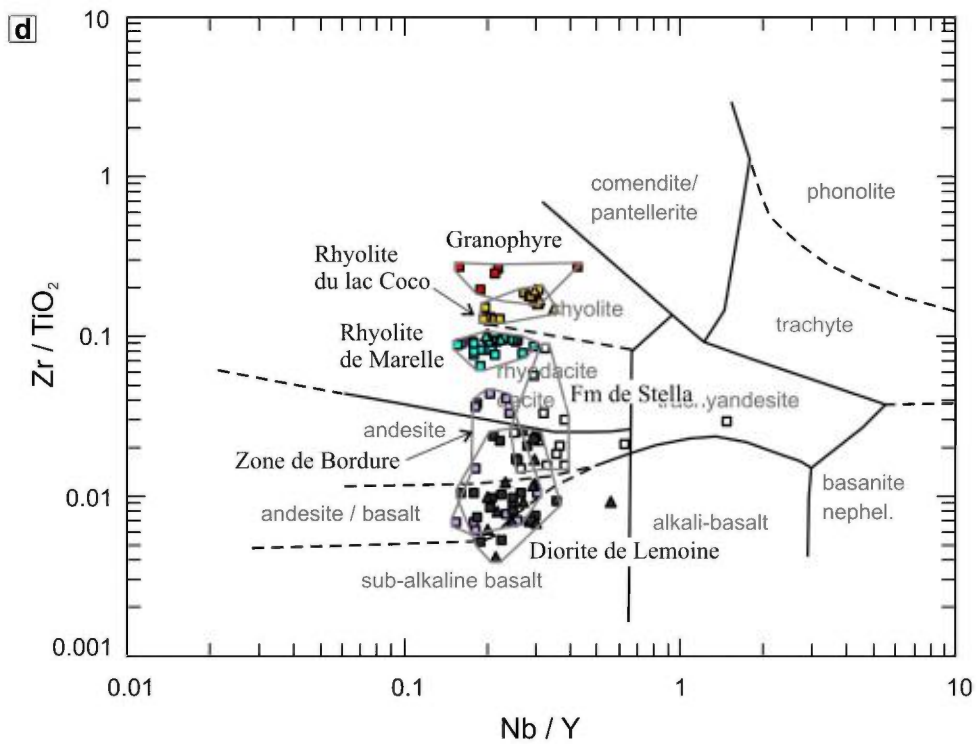
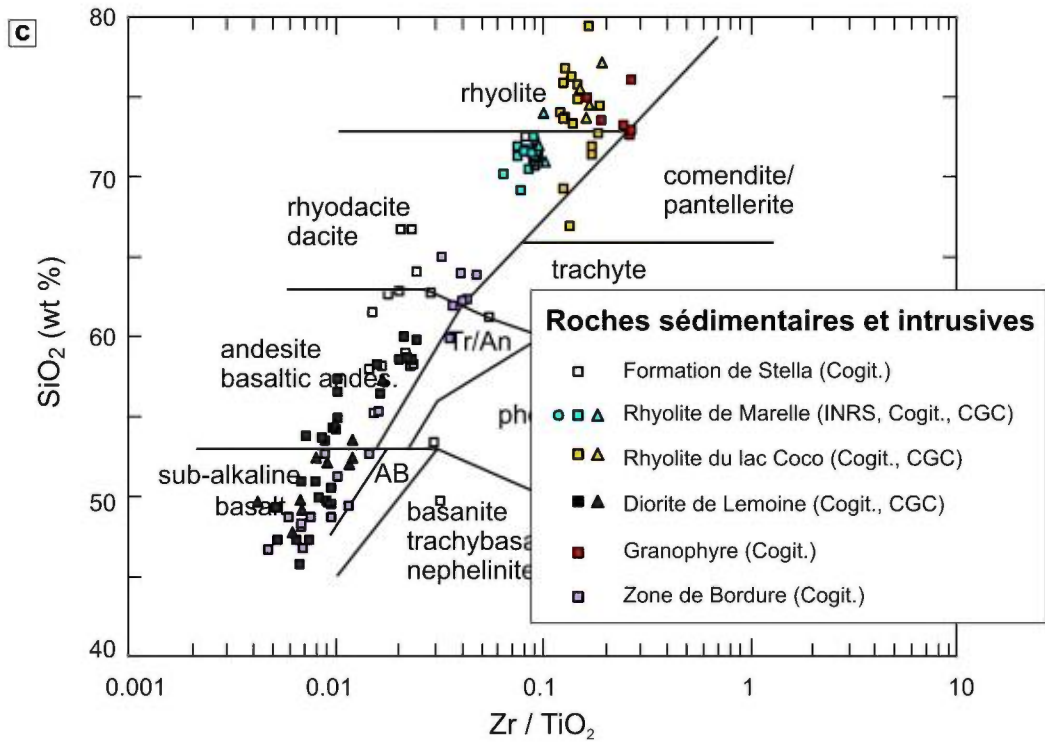


Figure 7 (suite). (c)-(d) Unités sédimentaires et intrusives.

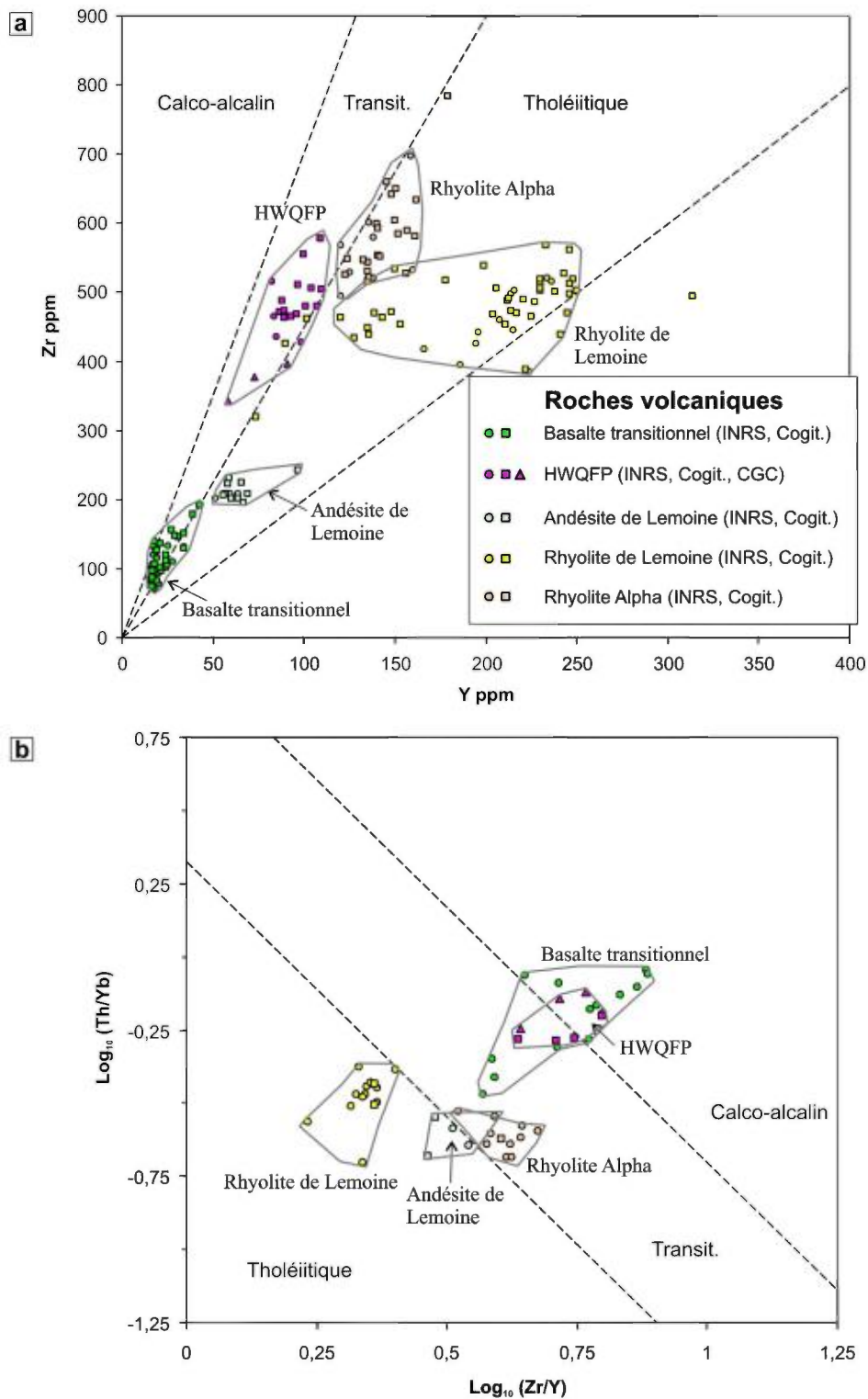


Figure 8. Diagrammes d'affinité magmatique selon (a)-(c) Barrett et MacLean (1999) et (b)-(d) Ross et Bédard (2009) pour le secteur Lemoine (voir texte pour détail des données compilées). (a)-(b) Roches volcaniques.

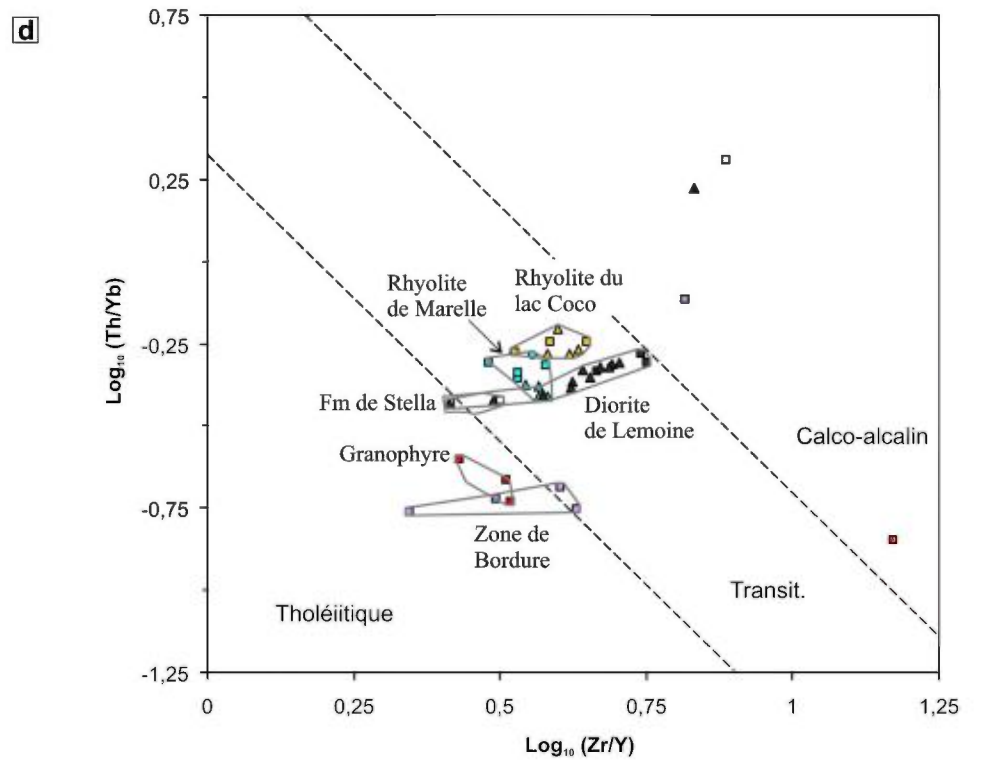
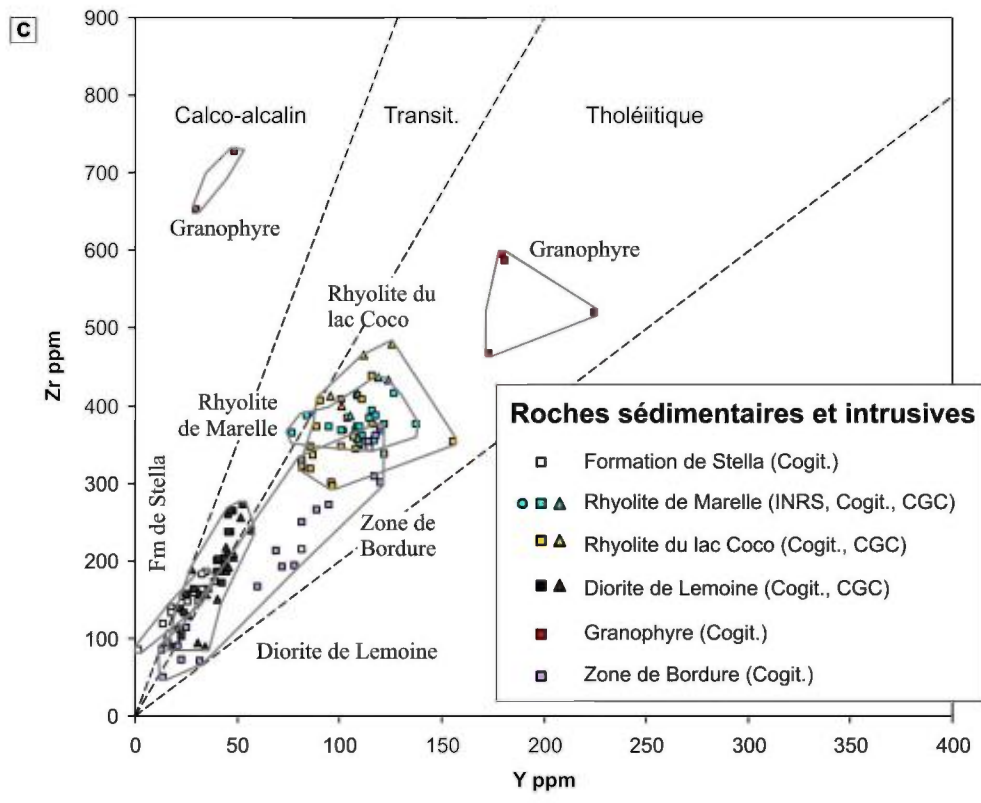


Figure 8 (suite). (c)-(d) Unités sédimentaires et intrusives.

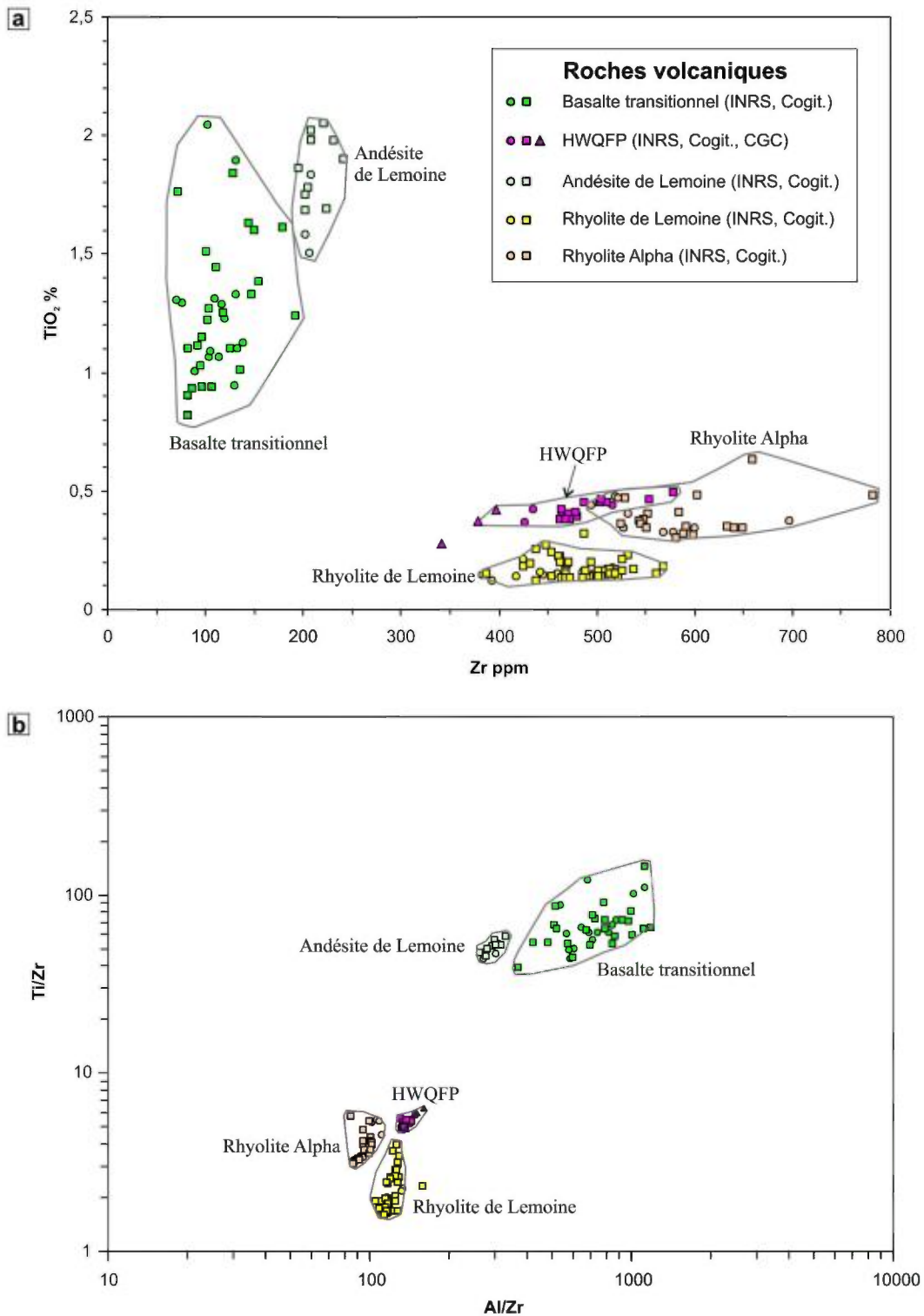


Figure 9. Diagrammes TiO₂ vs. Zr et Ti/Zr vs. Al/Zr pour le secteur Lemoine (voir texte pour détail des données compilées). Sur le diagramme du bas, tous les éléments sont en ppm. (a)-(b) Unités volcaniques.

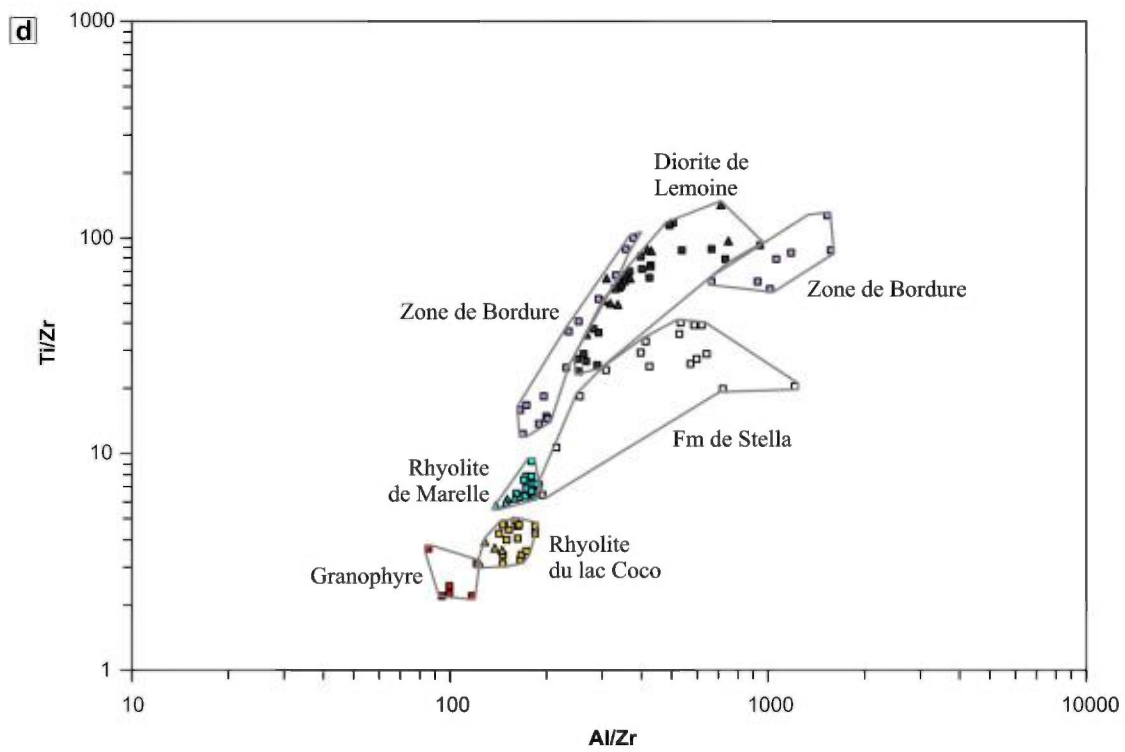
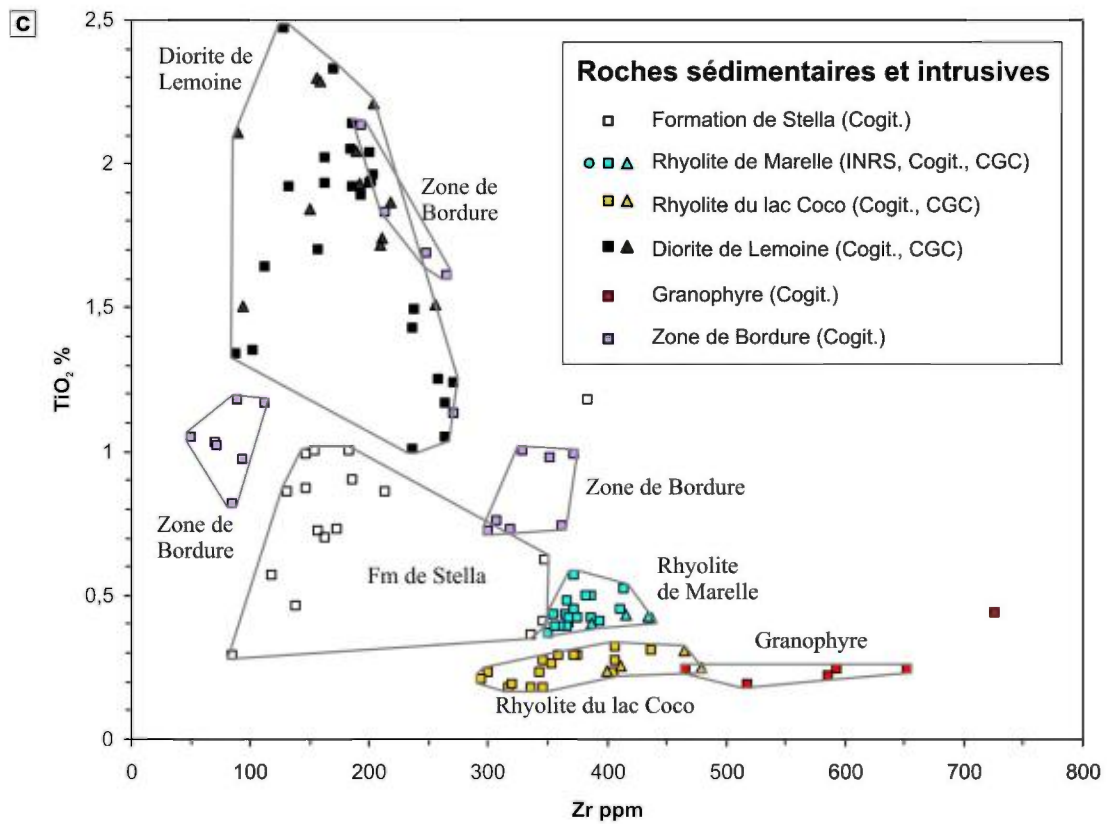


Figure 9 (suite). (c)-(d) Unités sédimentaires et intrusives.

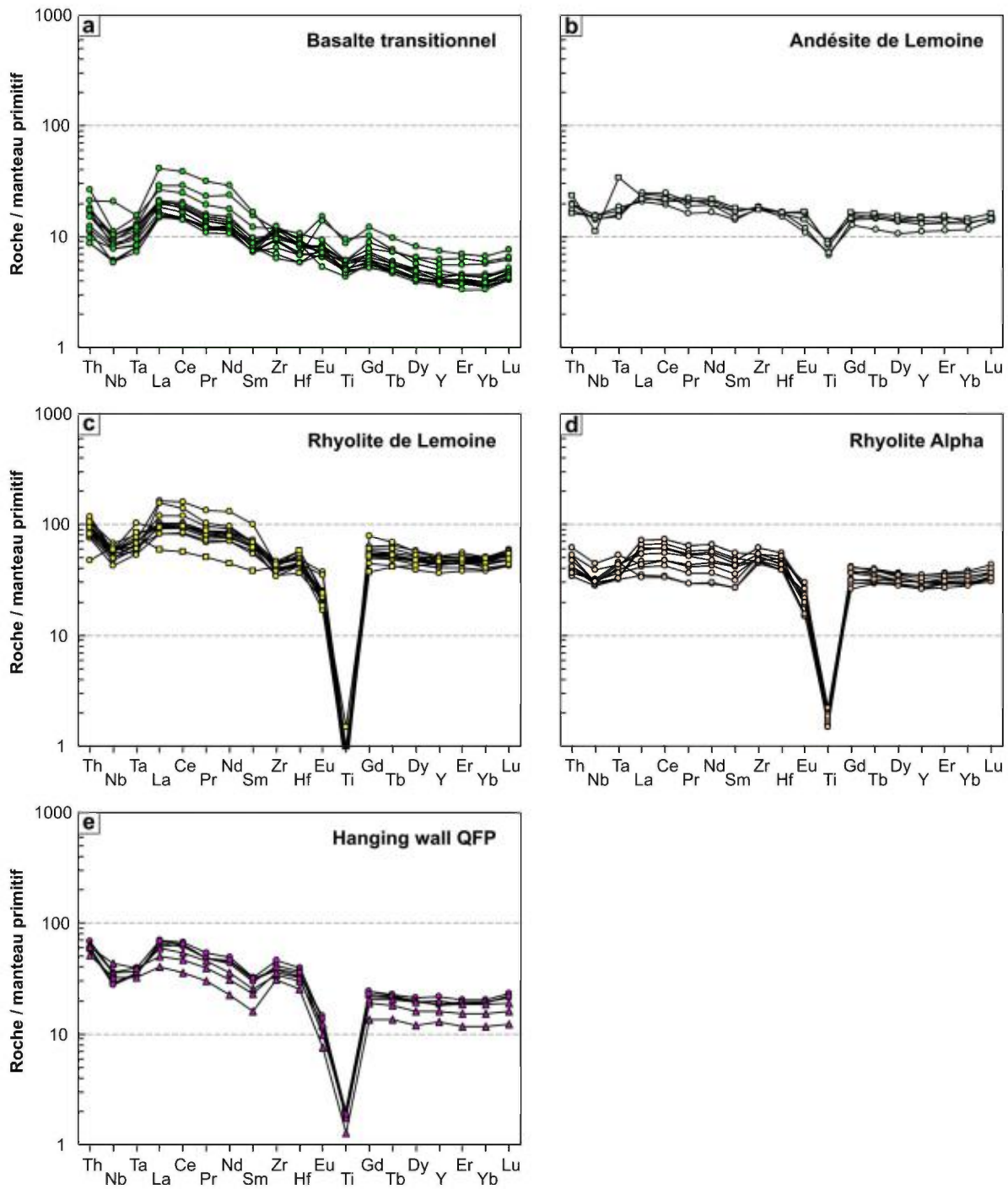


Figure 10. Diagrammes multiéléments normalisés au manteau primitif (Sun et McDonough, 1989) pour le secteur Lemoine (voir texte pour détail des données compilées). Cercles = INRS, carrés = Ressources Cogitore Inc, triangles = Patrick Mercier-Langevin (CGC). (a)-(e) Unités volcaniques.

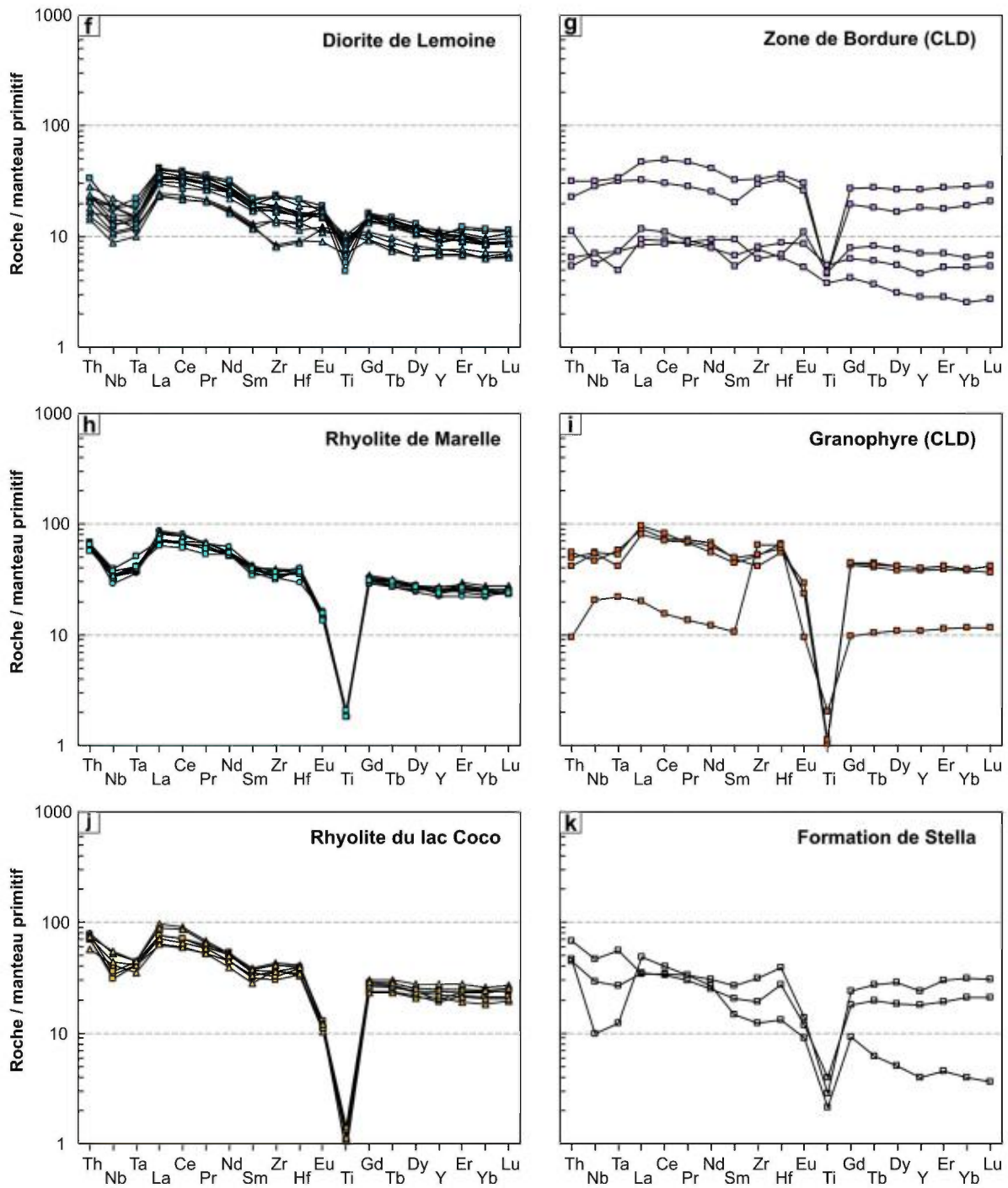


Figure 10 (suite). (f)-(k) Unités sédimentaires et intrusives.

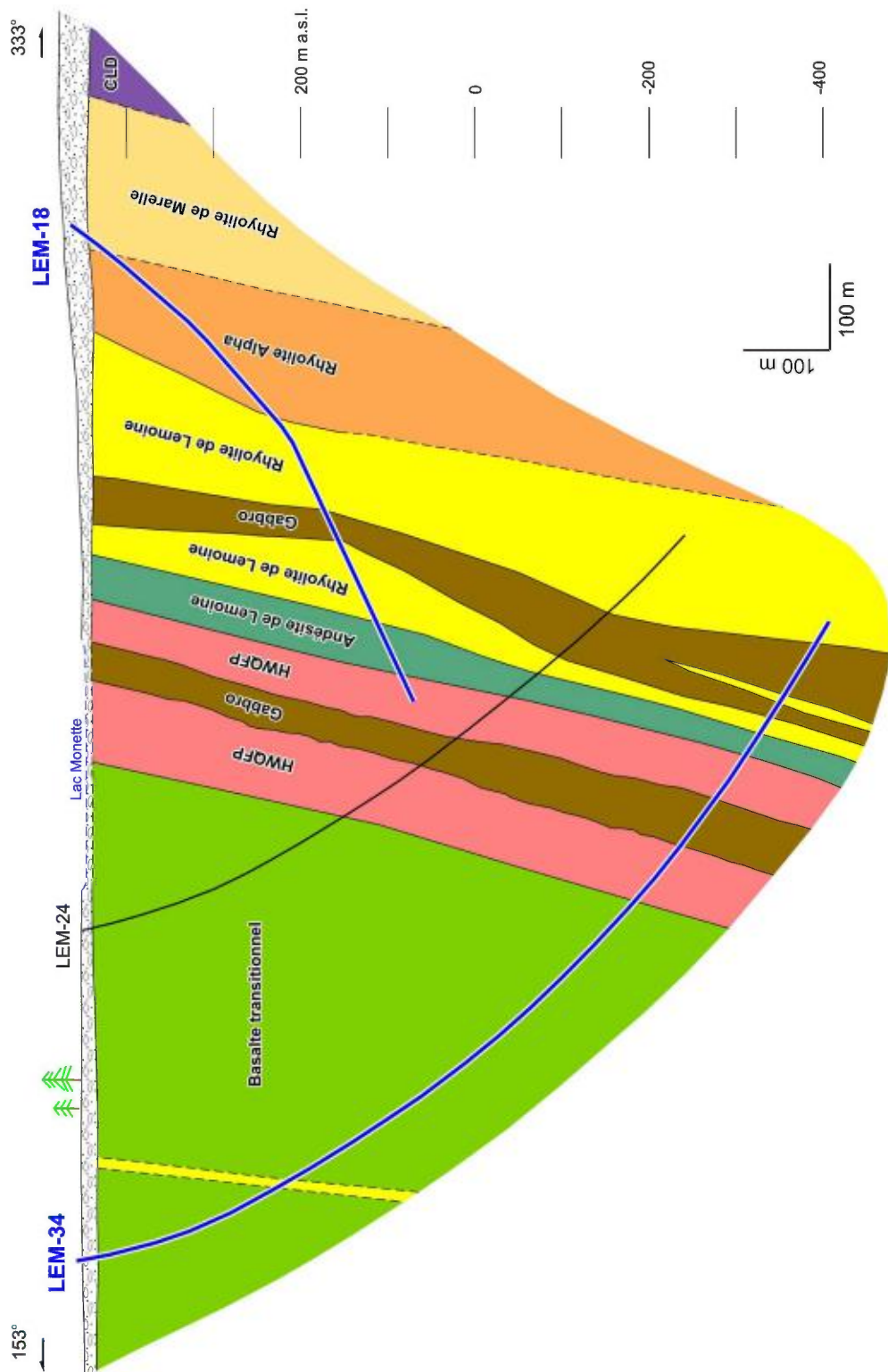


Figure 11. Section composite à environ 3,2 km à l'ENE de l'ancienne mine Lemoine. Les forages de la série LEM ont été projetés jusqu'à 500 m de part et d'autre de la section 1600E de Ressources Cogitore Inc. Les forages LEM-18 et LEM-34 ont été analysés au LAMROC.

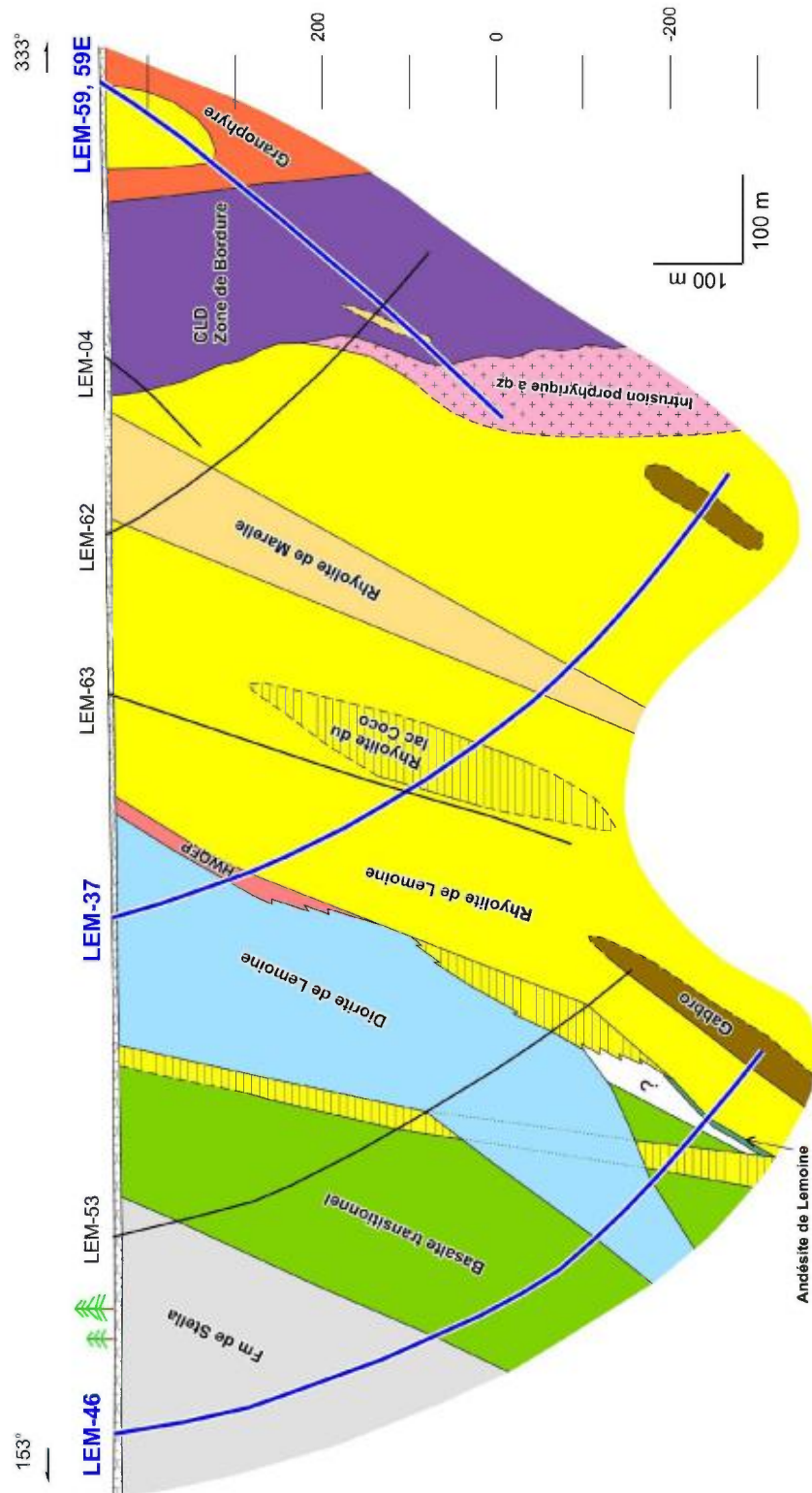


Figure 12. Section composite à environ 0,5 km à l'ouest de l'ancienne mine Lemoine. Les forages de la série LEM ont été projetés jusqu'à 550 m de part et d'autre de la section 2200W de Ressources Cogitore Inc. Les forages LEM-46, LEM-37, LEM-59 et LEM-59E ont été analysés au LAMROC.

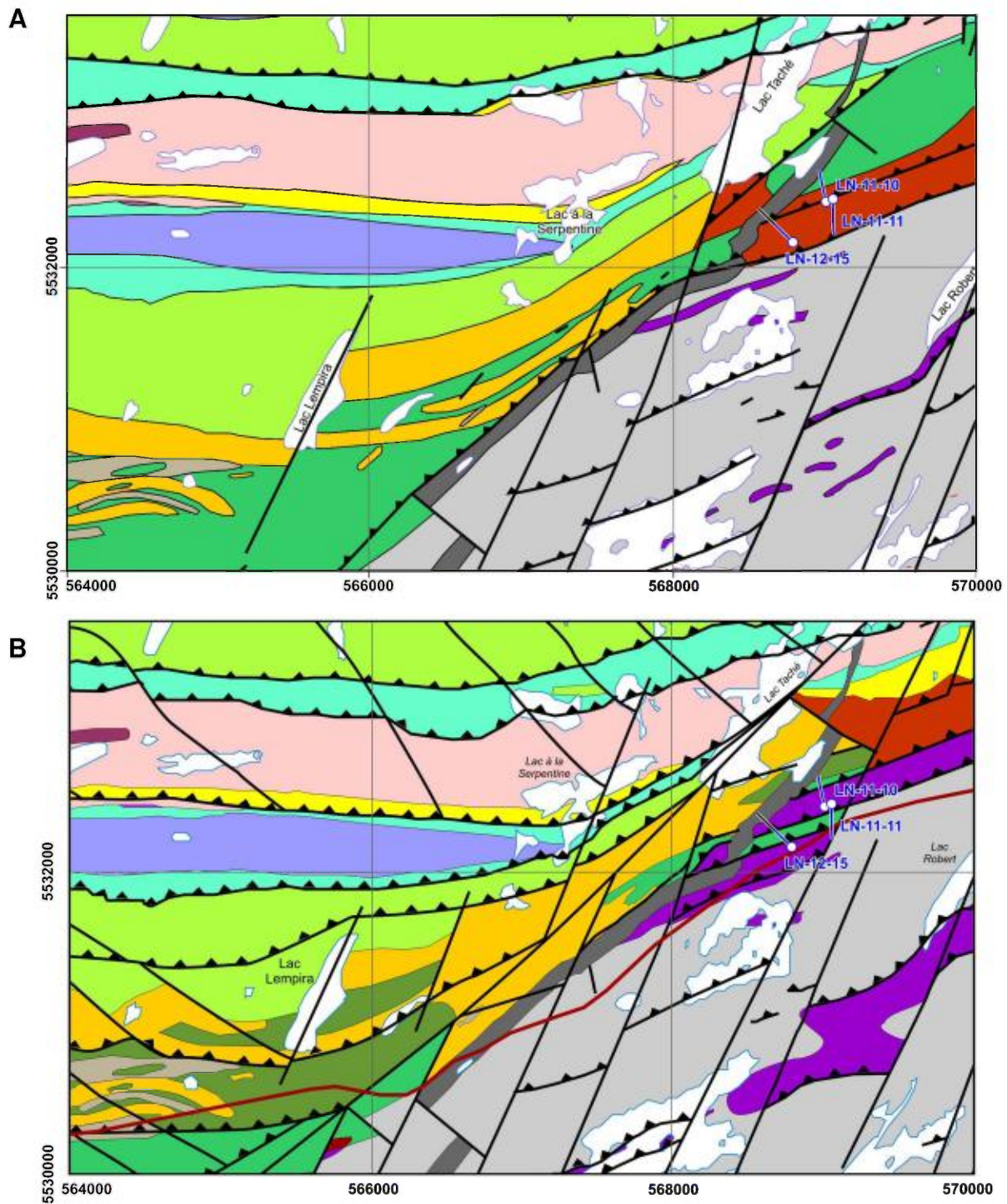


Figure 13 (début). Carte géologique du secteur du lac Taché (compilée par F. Leclerc) montrant la localisation des forages étudiés avec le LAMROC (en bleu) : LN-11-10, LN-11-11 et LN-12-15. (A) Géologie telle que connue avant le présent projet. (B) Nouvelle carte (pour les détails : voir page 26). (C) Légende (voir page suivante).

C

LÉGENDE STRATIGRAPHIQUE

ARCHÉEN

Groupe de Roy

Formation de Blondeau

Abi Roche volcanoclastique felsique, rhyodacite, basalte variolitique, basalte andésitique, mudstone graphiteux, mudrock et conglomérat

Formation de Bruneau

Abnu1 Basalte, basalte andésitique et amphibolite

Formation de Waconichi

Membre d'Allard

Aard Roche volcanoclastique de composition mafique à felsique, rhyodacite, rhyolite et basalte

Aard1 Basalte et basalte andésitique

Membre de Portage

Aard1 Formation de fer de type Algoma (faciès à carbonate-sidérite et à magnétite dominants)

Formation d'Obatogamau

Membre de David

Add1 Basalte et basalte andésitique

INTRUSIONS

Complexe de Cummings

Filon-couche de Bourbeau

Abou3 Ferrodiorite et ferrogabbro à quartz

Abou2 Gabbro et leucogabbro

Filon-couche de Ventures

Aven1 Péridotite, webstérite, pyroxénite

Filon-couche de Roberge

Arob Péridotite, gabbro, pyroxénite et dunite

Complexe du Lac Doré

Série litée

Zones litées

Avel Dunite, dunite à magnétite, péridotite, pyroxénite, ferrogabbro, ferrogabbro à magnétite et gabbro anorthositique

Série inférieure

Zone anorthositique

Adan Anorthosite, anorthosite gabbroïque, gabbro anorthositique et gabbro

LÉGENDE LITHOLOGIQUE

PALÉOPROTÉROZOÏQUE

I3D Dyke de diabase et de gabbro


ARCHÉEN

Am8a Schiste à séricite, chlorite, ankérite, avec localement sidérite, chloritoïde, carbonate, pyrite chalcopryrite

I3Aa Gabbro à chlorite-hornblende±quartz

SYMBOLES UTILISÉS SUR LA CARTE

 Routes

 Zone de cisaillement

 Faille

Figure 13 (suite). Carte géologique du secteur du lac Taché. (C) Légende.

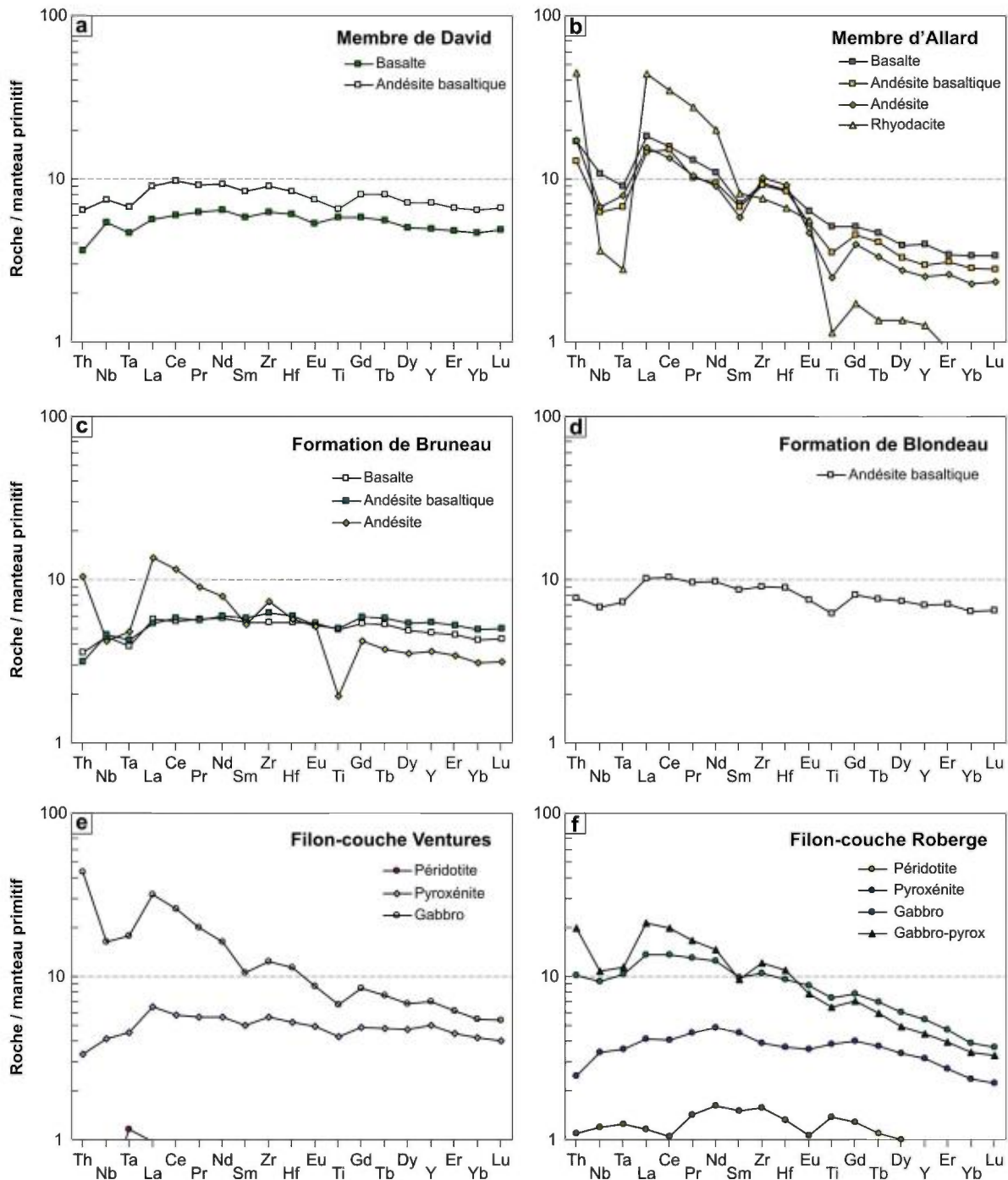


Figure 14. Diagrammes multiéléments normalisés au manteau primitif (Sun et McDonough, 1989). (a)-(d) Moyennes pour certaines lithologies volcaniques du Groupe de Roy sur le flanc nord du Complexe du Lac Doré (compilation de Leclerc et al., 2011a). (e)-(f) Moyennes pour deux filons-couches du Complexe de Cummings (compilation non publiée de F. Leclerc).

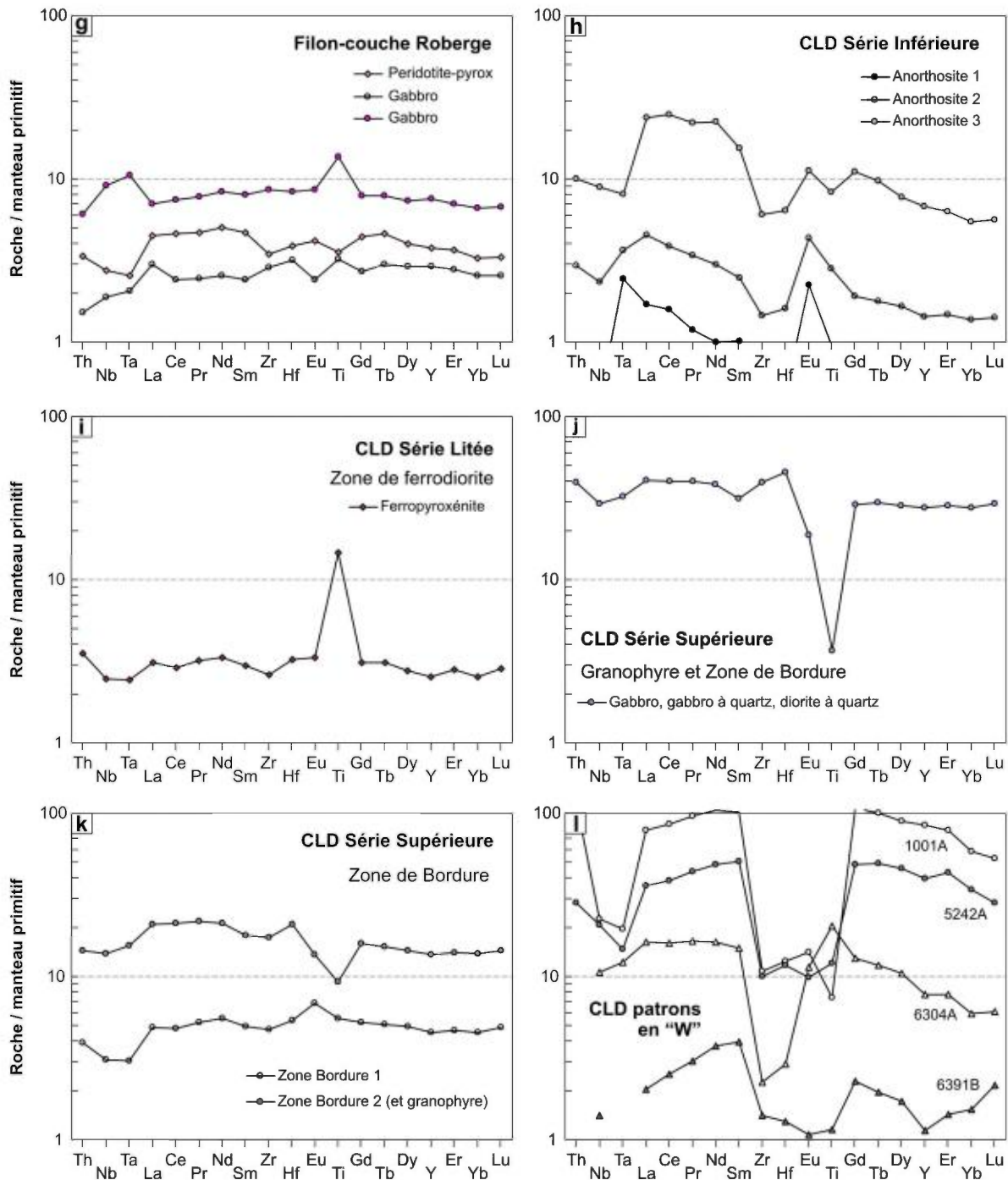


Figure 14 (suite). Diagrammes multiéléments normalisés au manteau primitif (Sun et McDonough, 1989) – moyennes pour un filon-couche du Complexe de Cummings (g) et moyennes pour la partie nord du Complexe du Lac Doré (h-k). En (l) on montre les quatre échantillons du CLD ayant des patrons en « W » (localisation voir figure 15). Compilation non publiée de F. Leclerc.

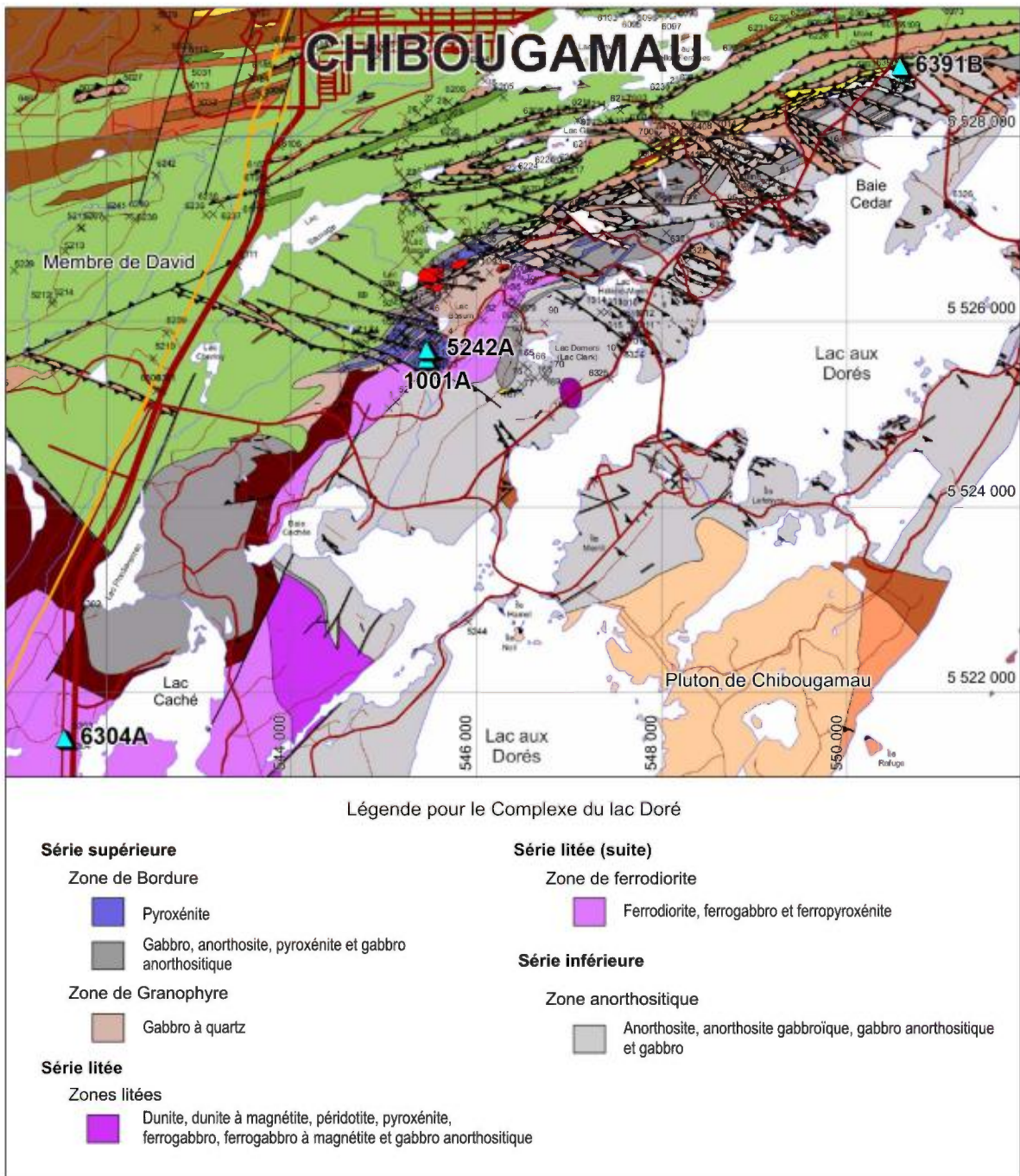


Figure 15. Carte géologique d'un secteur au sud de Chibougamau montrant la localisation des quatre échantillons (triangles bleus) ayant des patrons d'éléments traces en « W » dans la Zone de ferrodiorite et la Zone de Bordure (voir Fig. 14I). Modifié de Leclerc et al. (2011b).

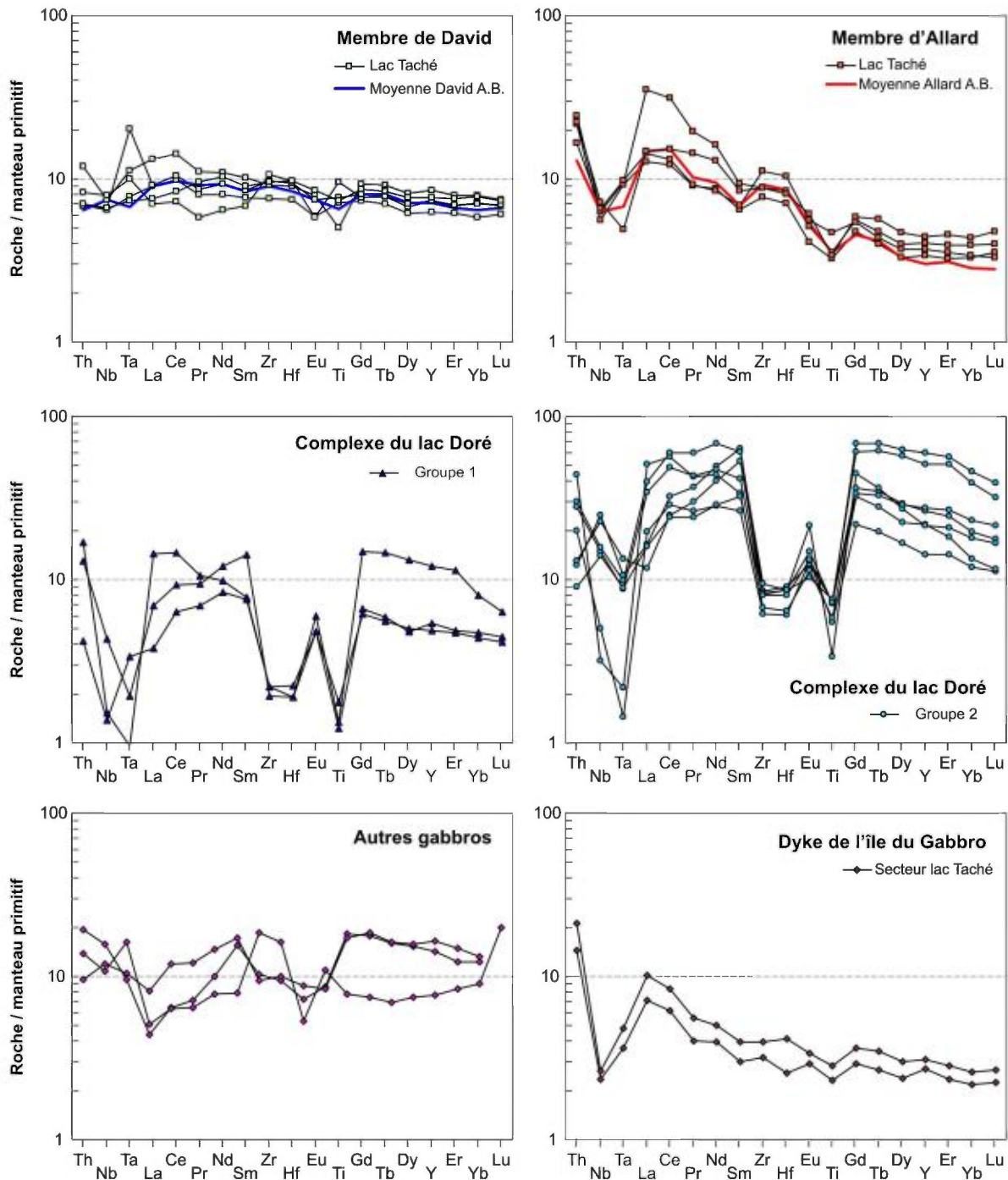


Figure 16. Diagrammes multiéléments normalisés au manteau primitif (Sun et McDonough, 1989) – analyses obtenues au sud du lac Taché dans les forages LN-11-10 et LN-11-11. Sont aussi montrées, en traits gras, les meilleures correspondances avec les moyennes montrées à la figure 14.

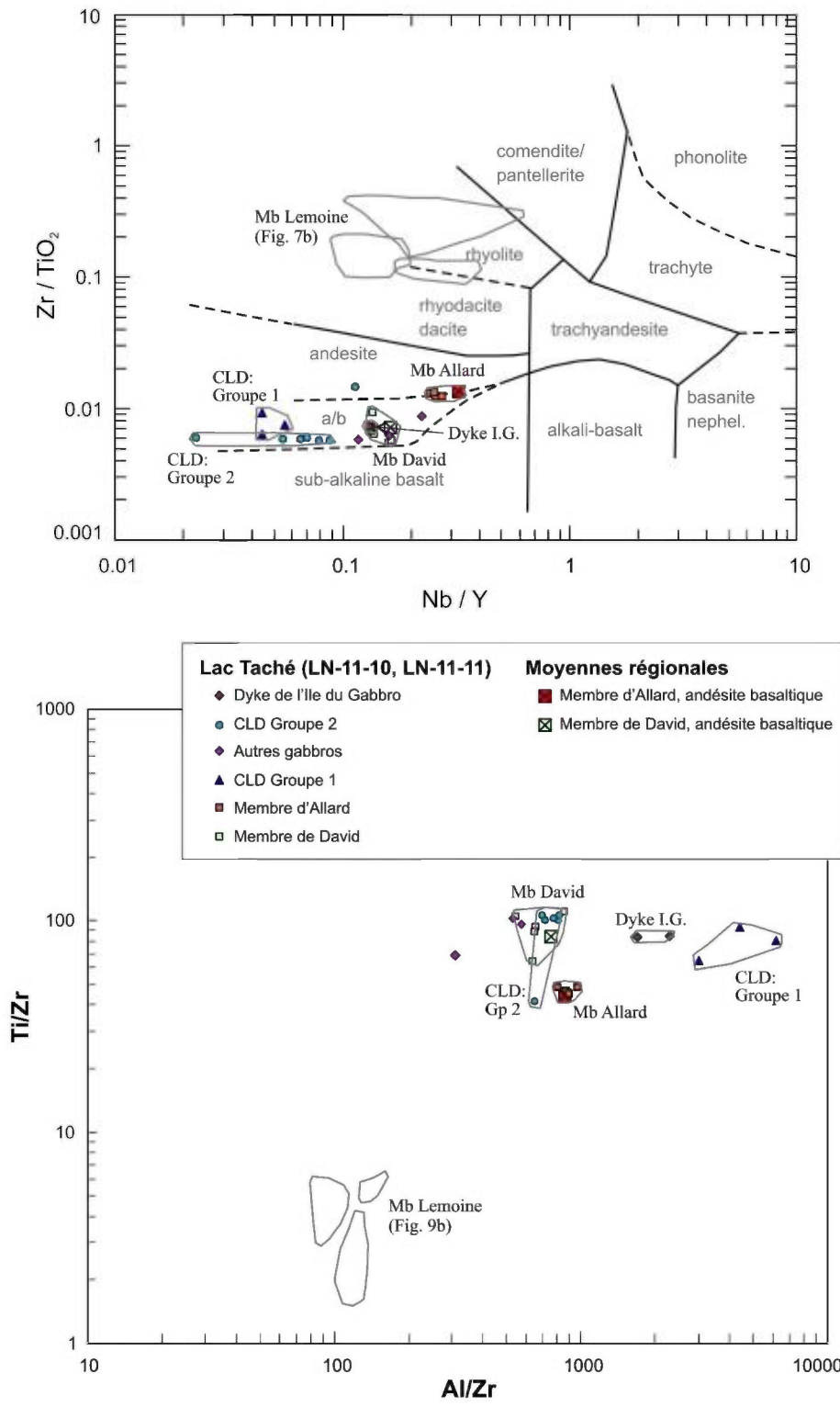


Figure 17. Diagramme de classification de Winchester et Floyd (1977) (en haut) et diagramme Ti/Zr vs. Al/Zr (en bas) montrant les analyses obtenues au sud du lac Taché dans les forages LN-11-10 et LN-11-11. Sont aussi montrées les meilleures correspondances avec les moyennes des lithologies typiques du flanc nord du CLD.

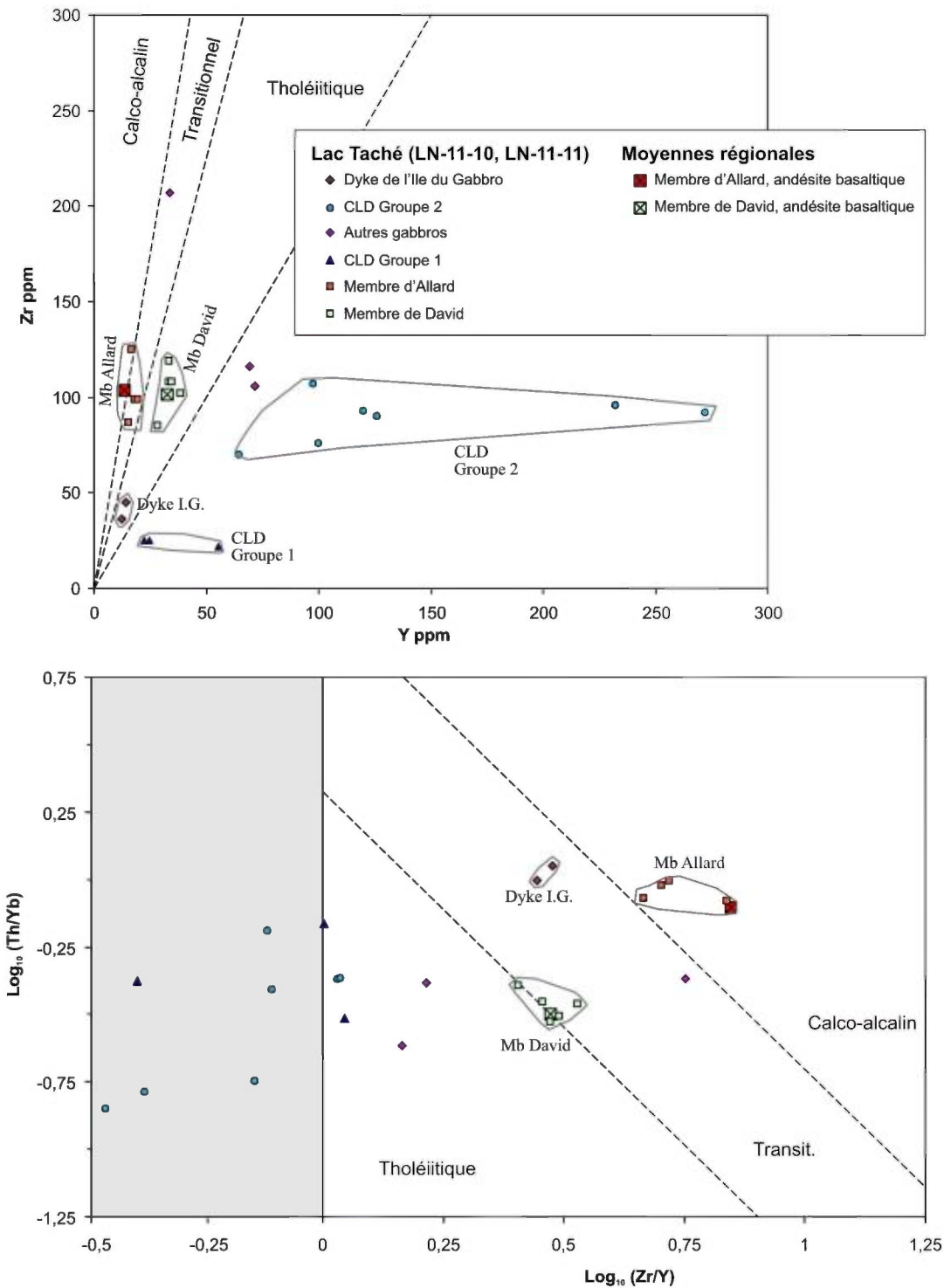


Figure 18. Diagrammes d'affinité magmatique selon Barrett et MacLean (1999), en haut, et Ross et Bédard (2009), en bas, montrant les analyses obtenues au sud du lac Taché dans les forages LN-11-10 et LN-11-11. Sont aussi montrées les meilleures correspondances avec les moyennes des lithologies typiques du flanc nord du CLD. La zone ombrée sur le diagramme du bas n'apparaît normalement pas mais a dû être ajoutée à cause des compositions peu communes rencontrées ici.

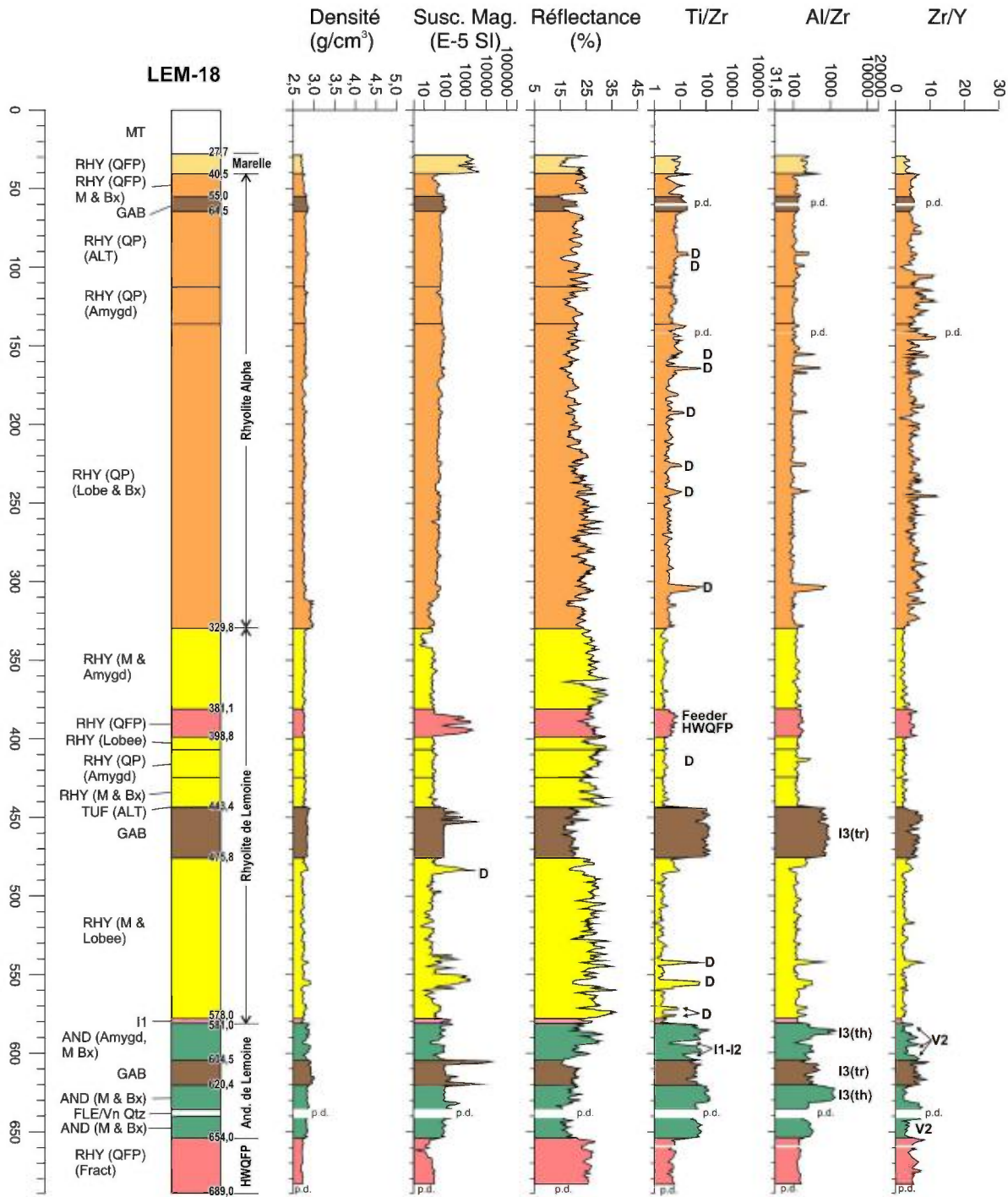


Figure 19. Profil des propriétés physiques (densité, susceptibilité magnétique, réflectance moyenne de la lumière visible) et de trois ratios d'éléments immobiles (Ti/Zr, Al/Zr, Zr/Y) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-18. Les axes horizontaux sont en échelle logarithmique pour la susceptibilité, Ti/Zr et Al/Zr. Toutes les données sont corrigées selon les méthodes décrites dans le texte. « D » = dyke, « p.d. » = pas de données. La géochimie de la Rhyolite de Marelle a été mise à jour à l'été 2013.

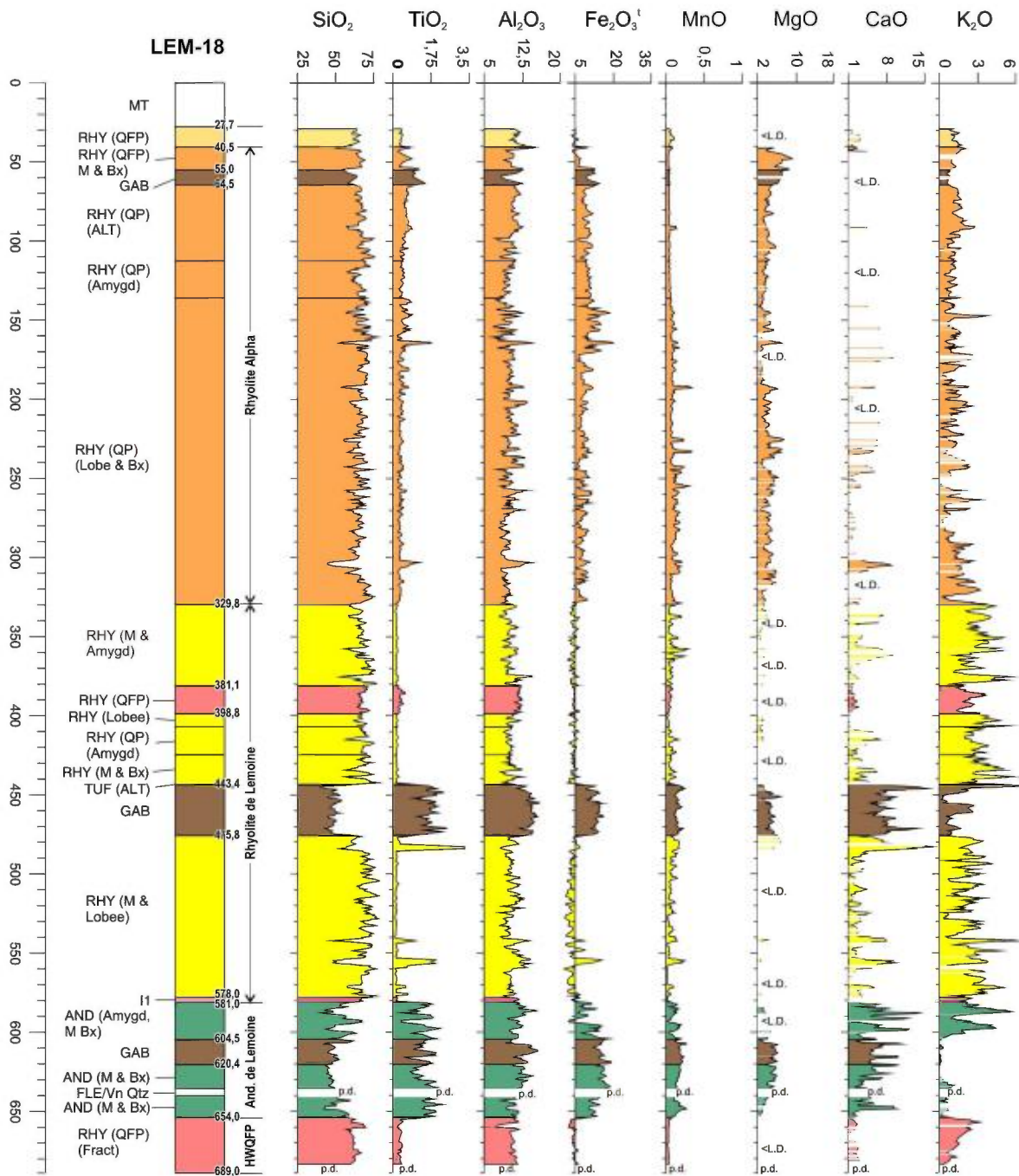


Figure 20. Profil des oxydes majeurs corrigés (%) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-18. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection; « p.d. » = pas de données. La géochimie de la Rhyolite de Marelle a été mise à jour à l'été 2013.

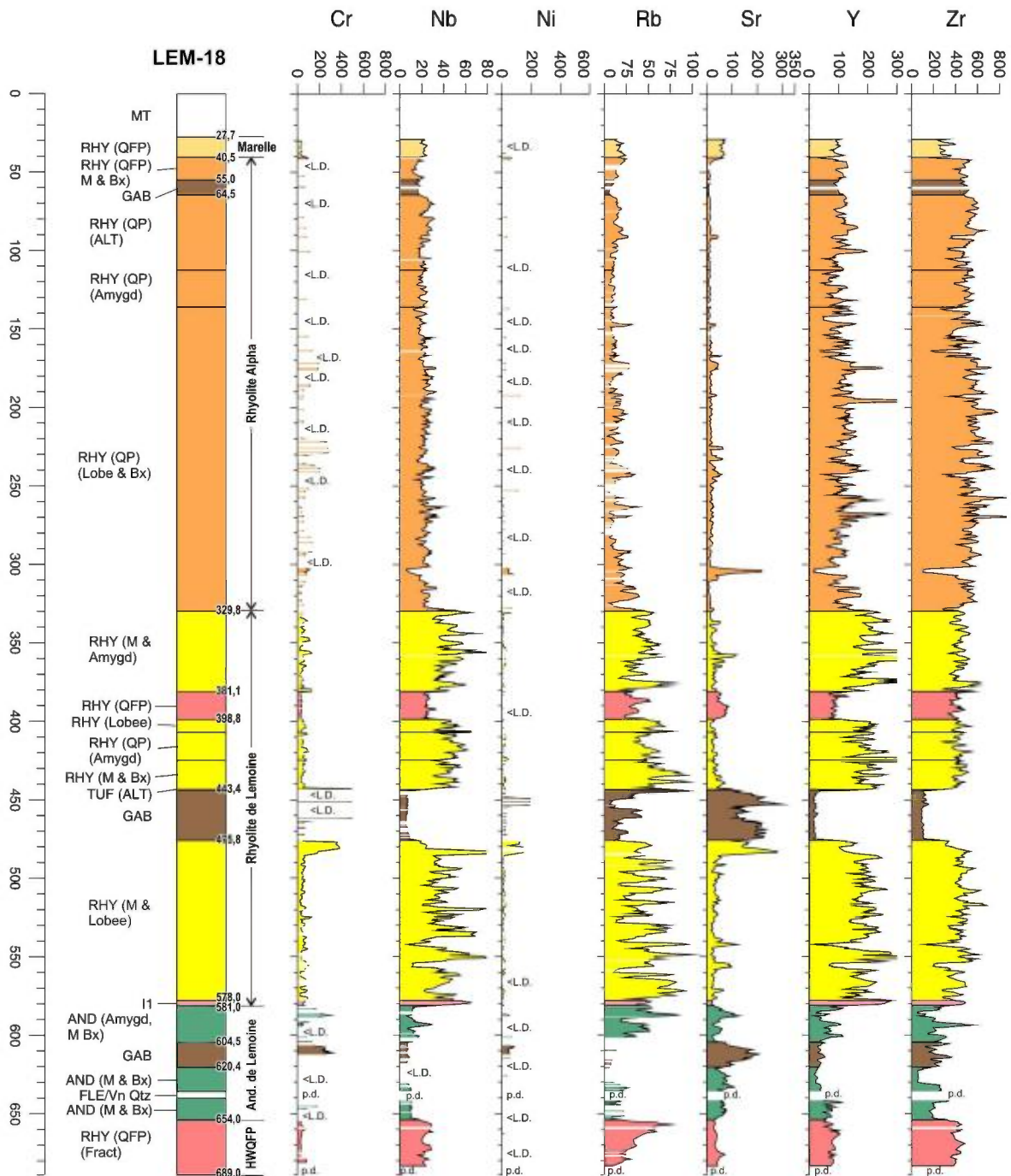


Figure 21. Profil des éléments traces corrigés (ppm) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-18. « <L.D.> » = concentration inférieure à la limite de détection; « p.d. » = pas de données. La géochimie de la Rhyolite de Marelle a été mise à jour à l'été 2013.

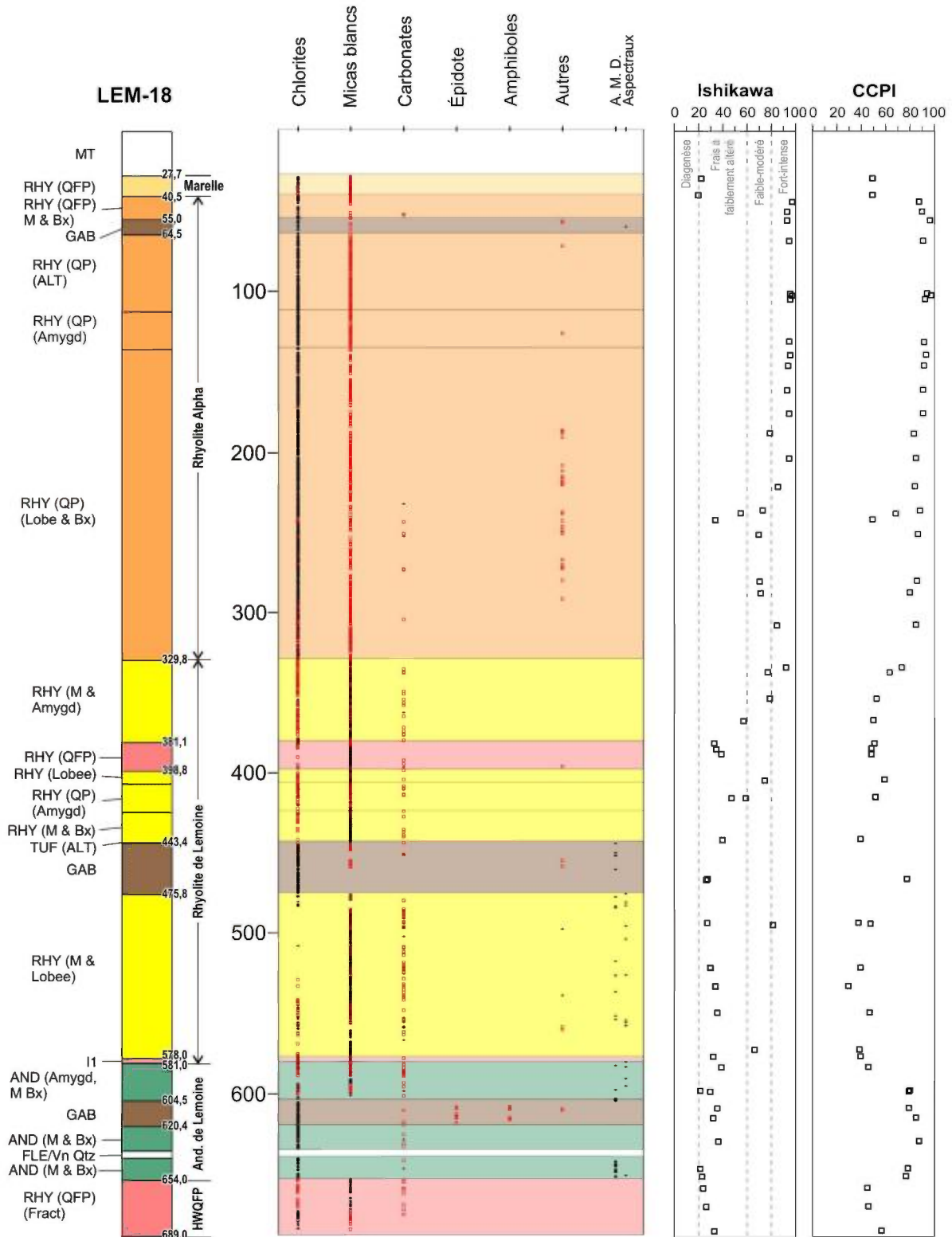


Figure 22. Minéralogie (analyse spectrale automatisée) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-18. « A.M.D. » = aucun minéral détecté. Les indices d'altération sont calculés à partir de la géochimie traditionnelle (INRS, Ressources Cogitore).

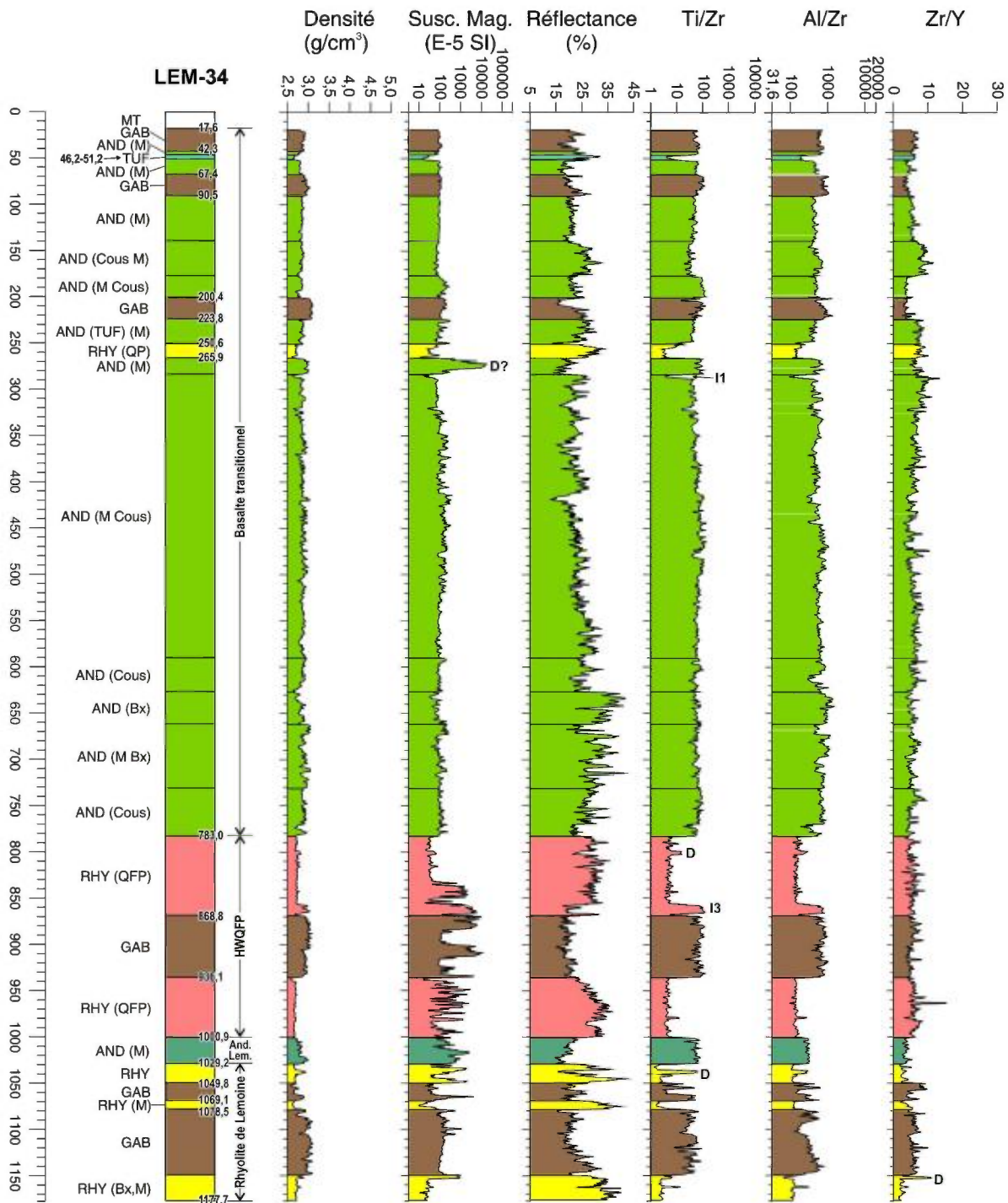


Figure 23. Profil des propriétés physiques (densité, susceptibilité magnétique, réflectance moyenne de la lumière visible) et de trois ratios d'éléments immobiles (Ti/Zr, Al/Zr, Zr/Y) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-34. Les axes horizontaux sont en échelle logarithmique pour la susceptibilité, Ti/Zr et Al/Zr. Toutes les données sont corrigées selon les méthodes décrites dans le texte. « D » = dyke.

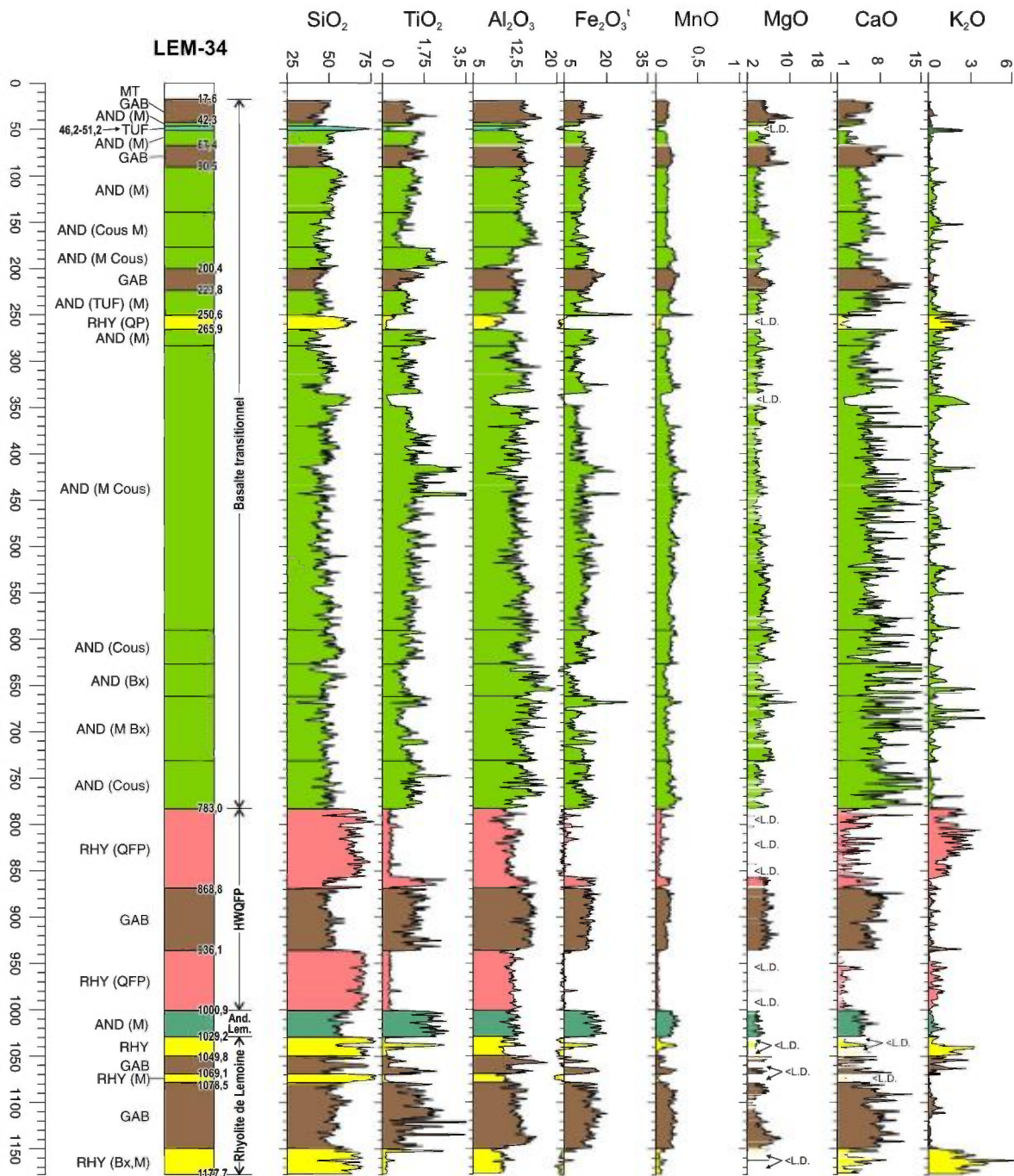


Figure 24. Profil des oxydes majeurs corrigés (%) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-34. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

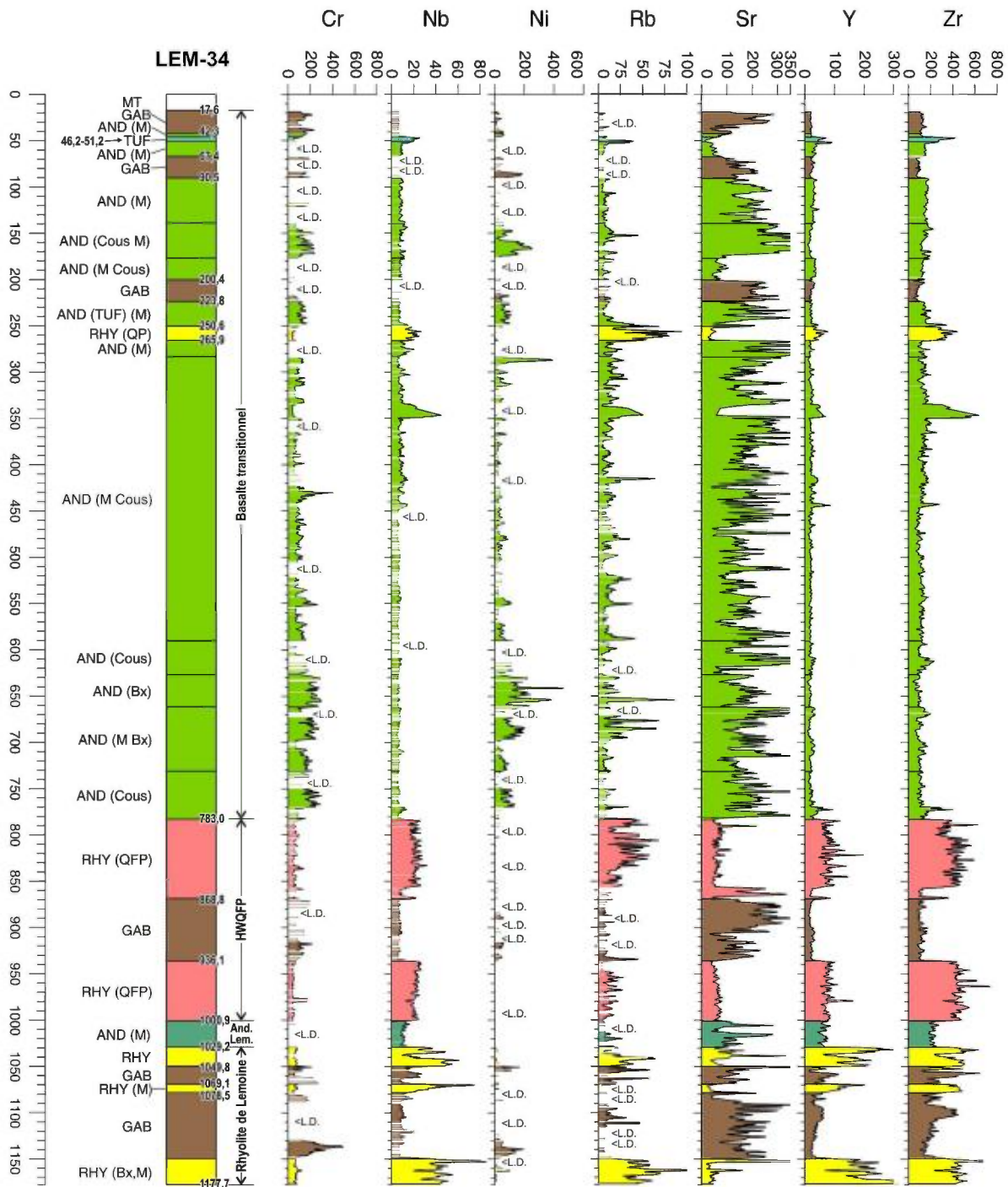


Figure 25. Profil des éléments traces corrigés (ppm) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-34. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

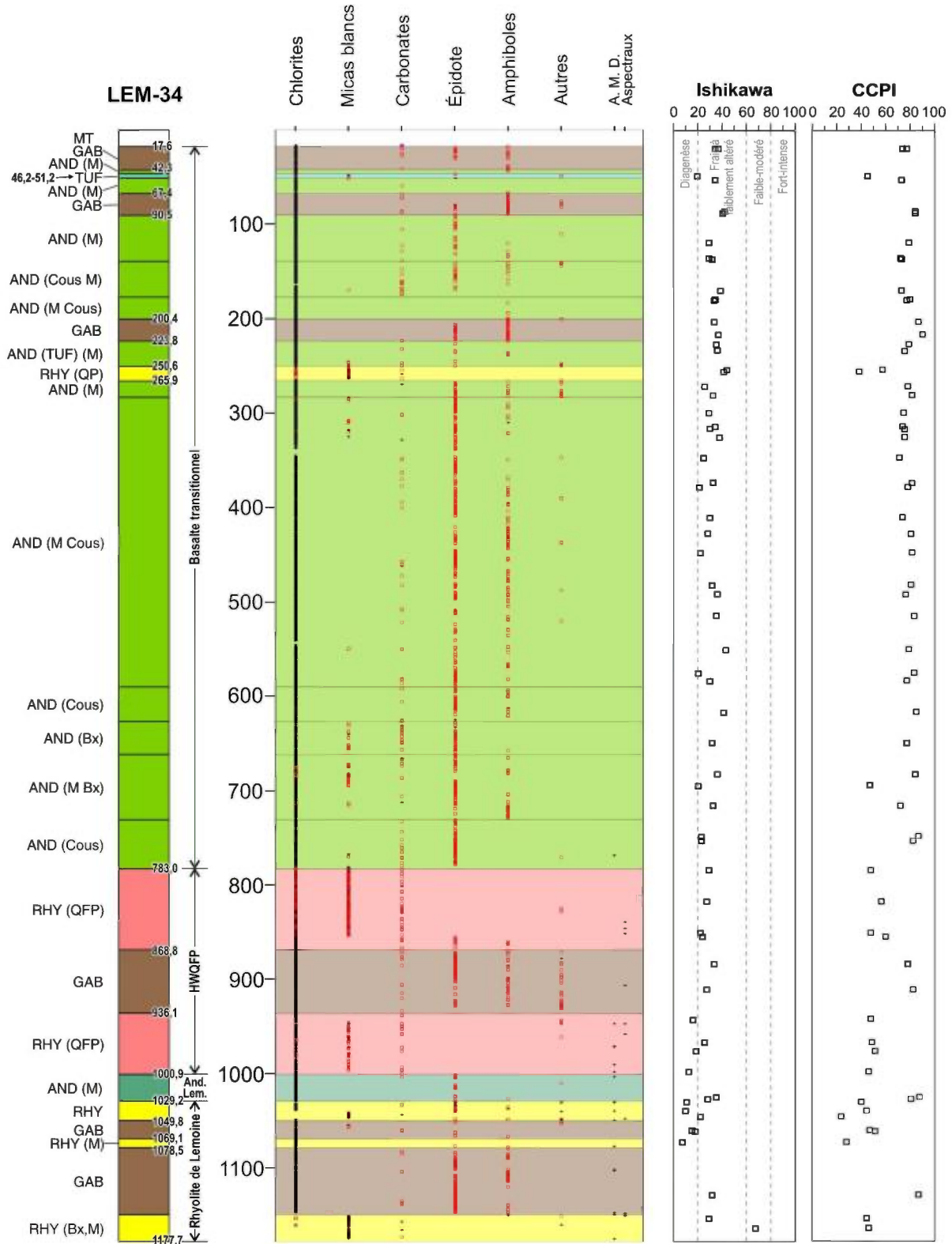


Figure 26. Minéralogie (analyse spectrale automatisée) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-34. « A.M.D. » = aucun minéral détecté. Les indices d'altération sont calculés à partir de la géochimie traditionnelle (INRS, Ressources Cogitore).

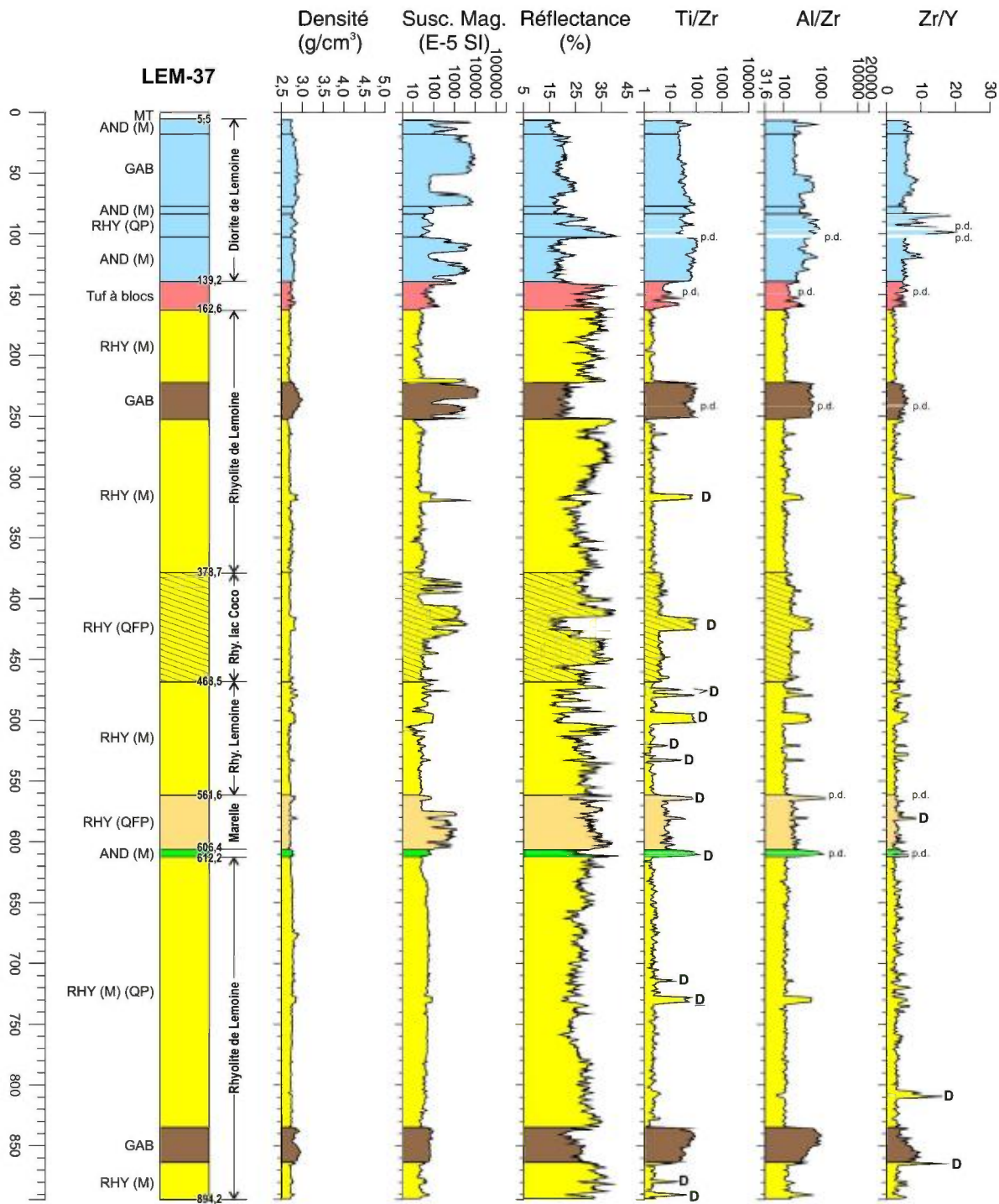


Figure 27. Profil des propriétés physiques (densité, susceptibilité magnétique, réflectance moyenne de la lumière visible) et de trois ratios d'éléments immobiles (Ti/Zr, Al/Zr, Zr/Y) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-37. Les axes horizontaux sont en échelle logarithmique pour la susceptibilité, Ti/Zr et Al/Zr. Toutes les données sont corrigées selon les méthodes décrites dans le texte. « D » = dyke (souligné si noté dans le log original); « p.d. » = pas de données.

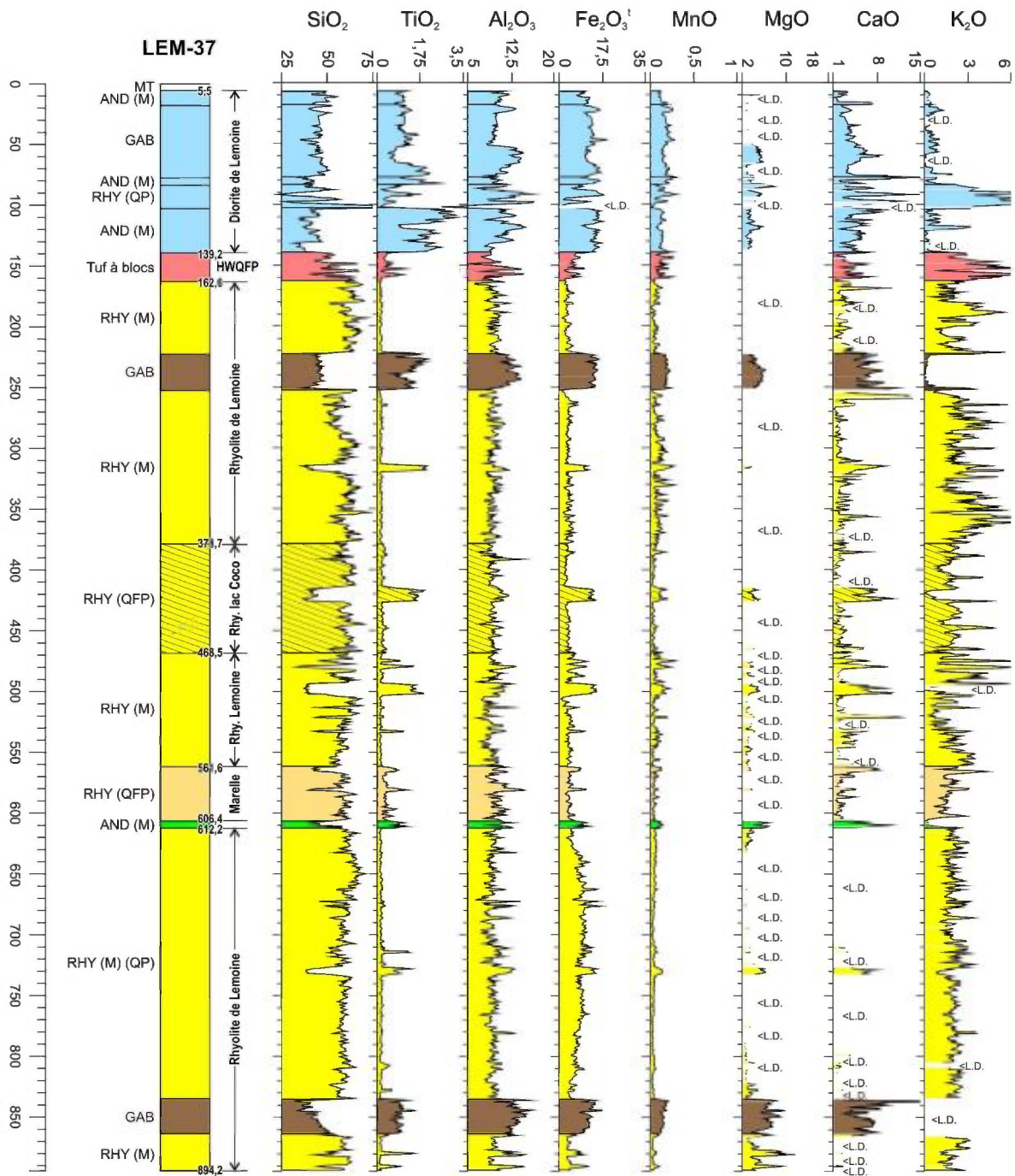


Figure 28. Profil des oxydes majeurs corrigés (%) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-37. « <L.D.> » = concentration inférieure à la limite de détection.

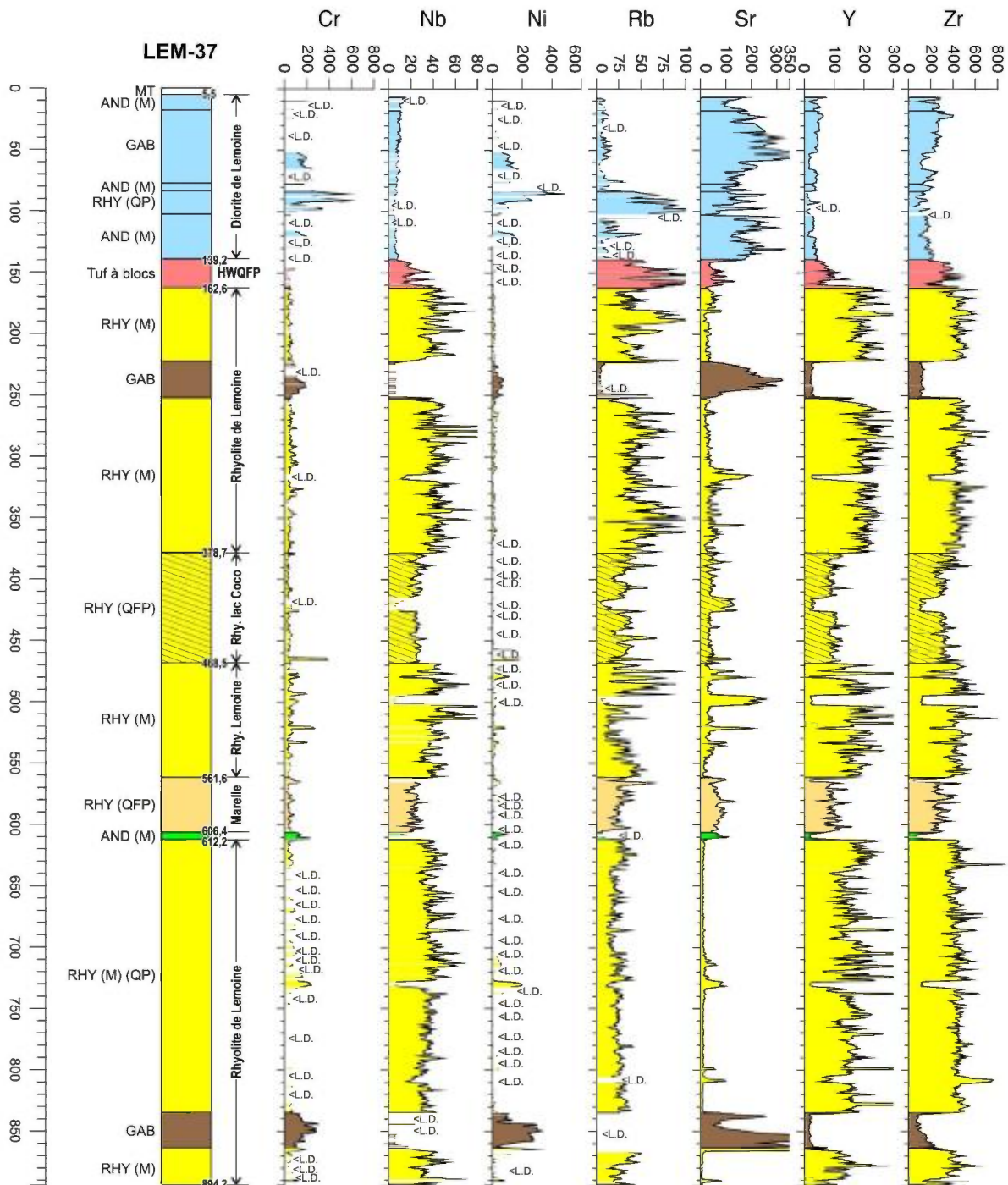


Figure 29. Profil des éléments traces corrigés (ppm) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-37. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

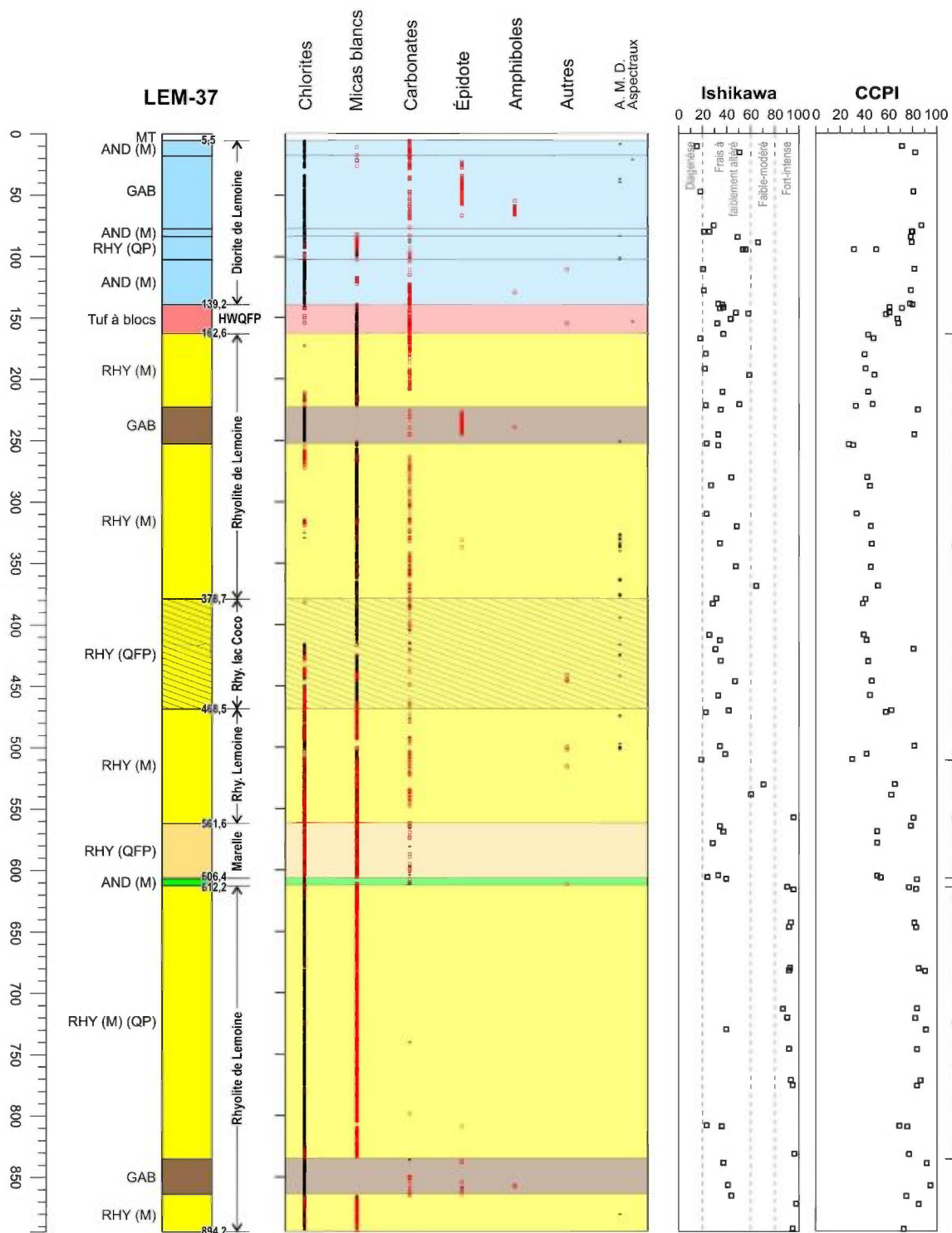


Figure 30. Minéralogie (analyse spectrale automatisée) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-37. « A.M.D. » = aucun minéral détecté. Les indices d'altération sont calculés à partir de la géochimie traditionnelle (Ressources Cogitore, CGC). Les chiffres encadrés 1 à 3 désignent des assemblages d'altération notés par Mercier-Langevin et al. (2014); voir le texte principal pour les détails.

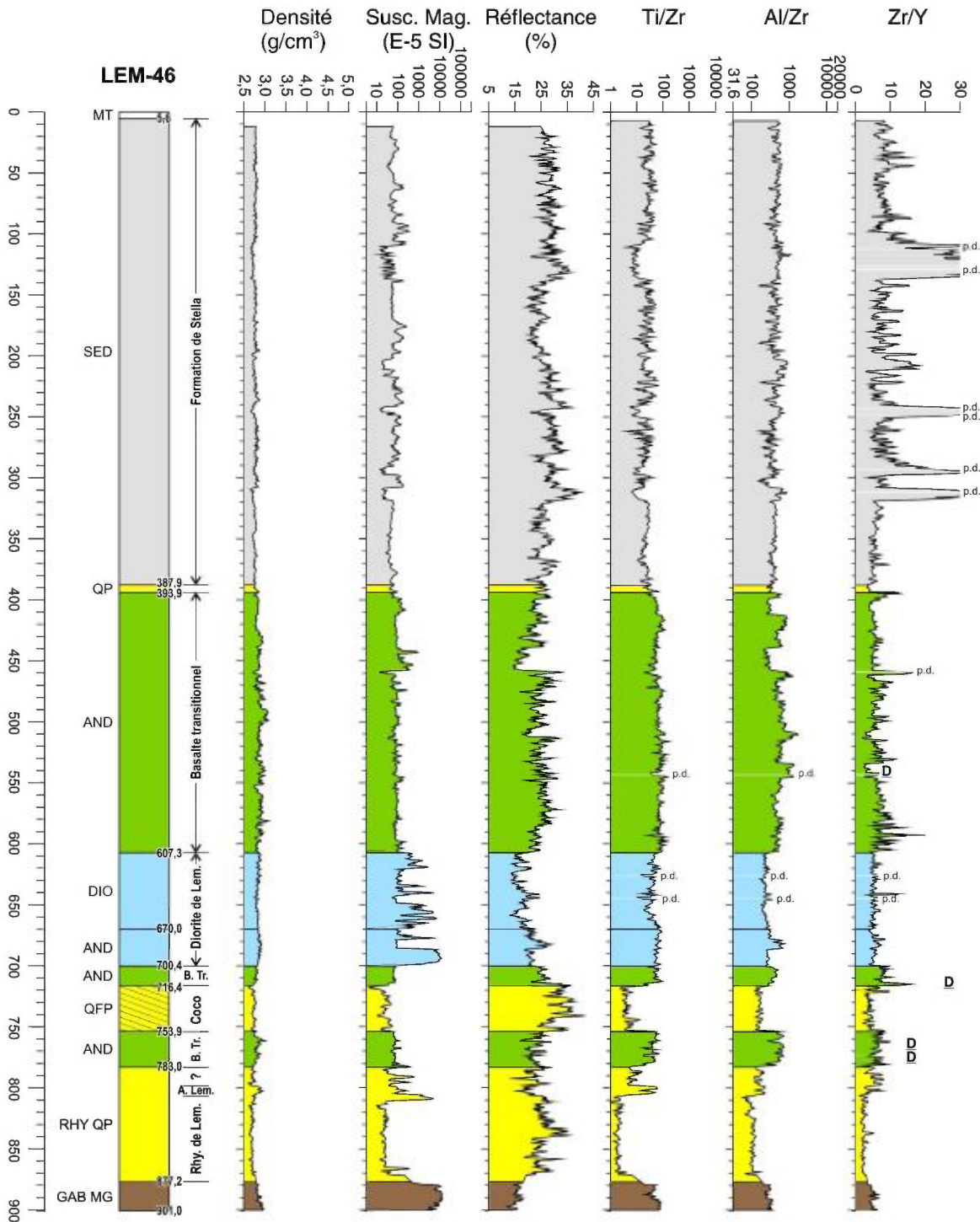


Figure 31. Profil des propriétés physiques (densité, susceptibilité magnétique, réflectance moyenne de la lumière visible) et de trois ratios d'éléments immobiles (Ti/Zr, Al/Zr, Zr/Y) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-46. Les axes horizontaux sont en échelle logarithmique pour la susceptibilité, Ti/Zr et Al/Zr. Toutes les données sont corrigées. « A. Lem. » = Andésite de Lemoine; « B. Tr. » = basalte transitionnel; « D » = dyke (souligné si noté dans le log original); « p.d. » = pas de données.

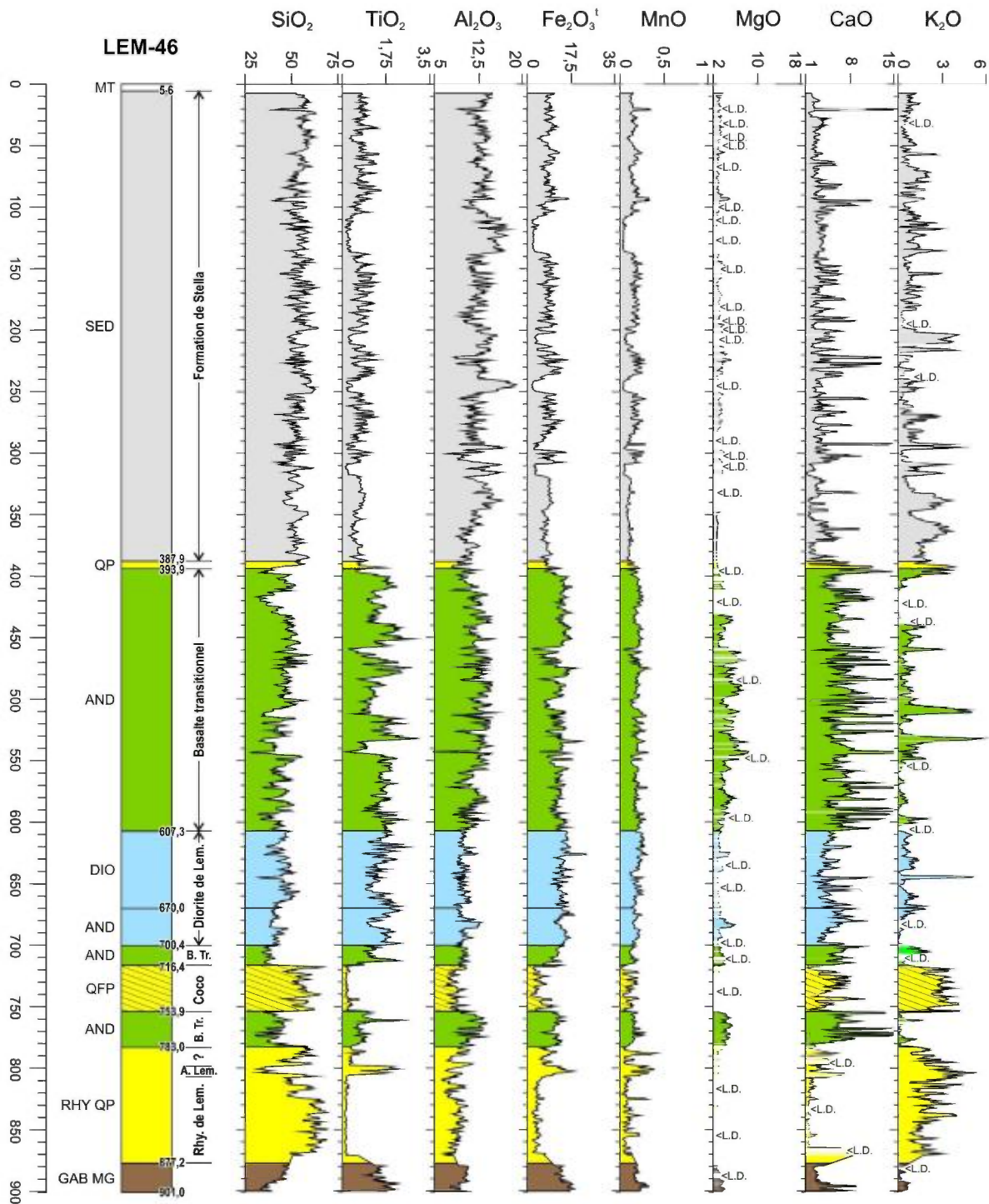


Figure 32. Profil des oxydes majeurs corrigés (%) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-46. « A. Lem. » = Andésite de Lemoine; « B. Tr. » = basalte transitionnel; « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

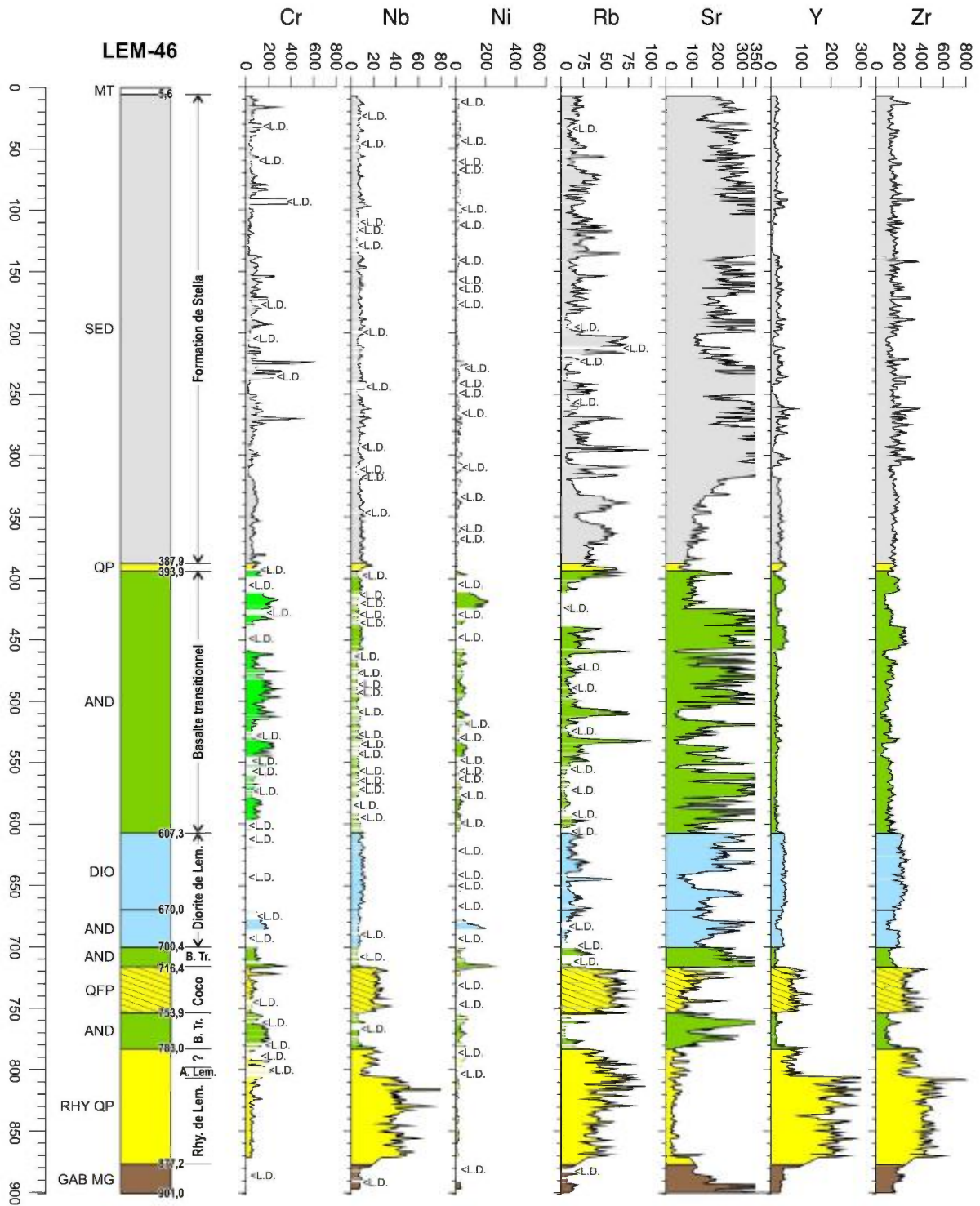


Figure 33. Profil des éléments traces corrigés (ppm) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-46. « A. Lem. » = Andésite de Lemoine; « B. Tr. » = basalte transitionnel; <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

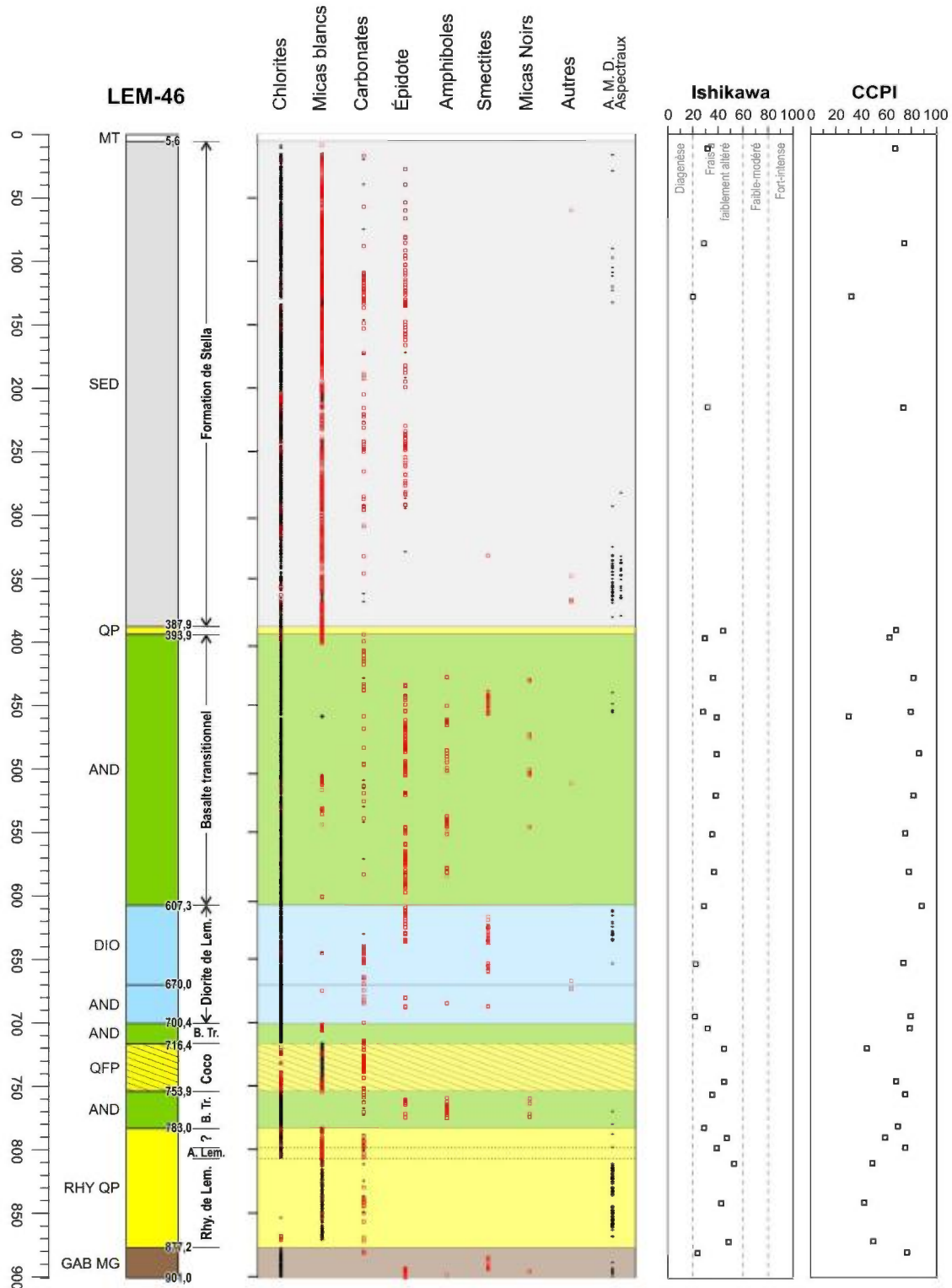


Figure 34. Minéralogie (analyse spectrale automatisée) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-46. « A.M.D. » = aucun minéral détecté; « A. Lem. » = Andésite de Lemoine; « B. Tr. » = basalte transitionnel. Les indices d'altération sont calculés à partir de la géochimie traditionnelle (Ressources Cogitore).

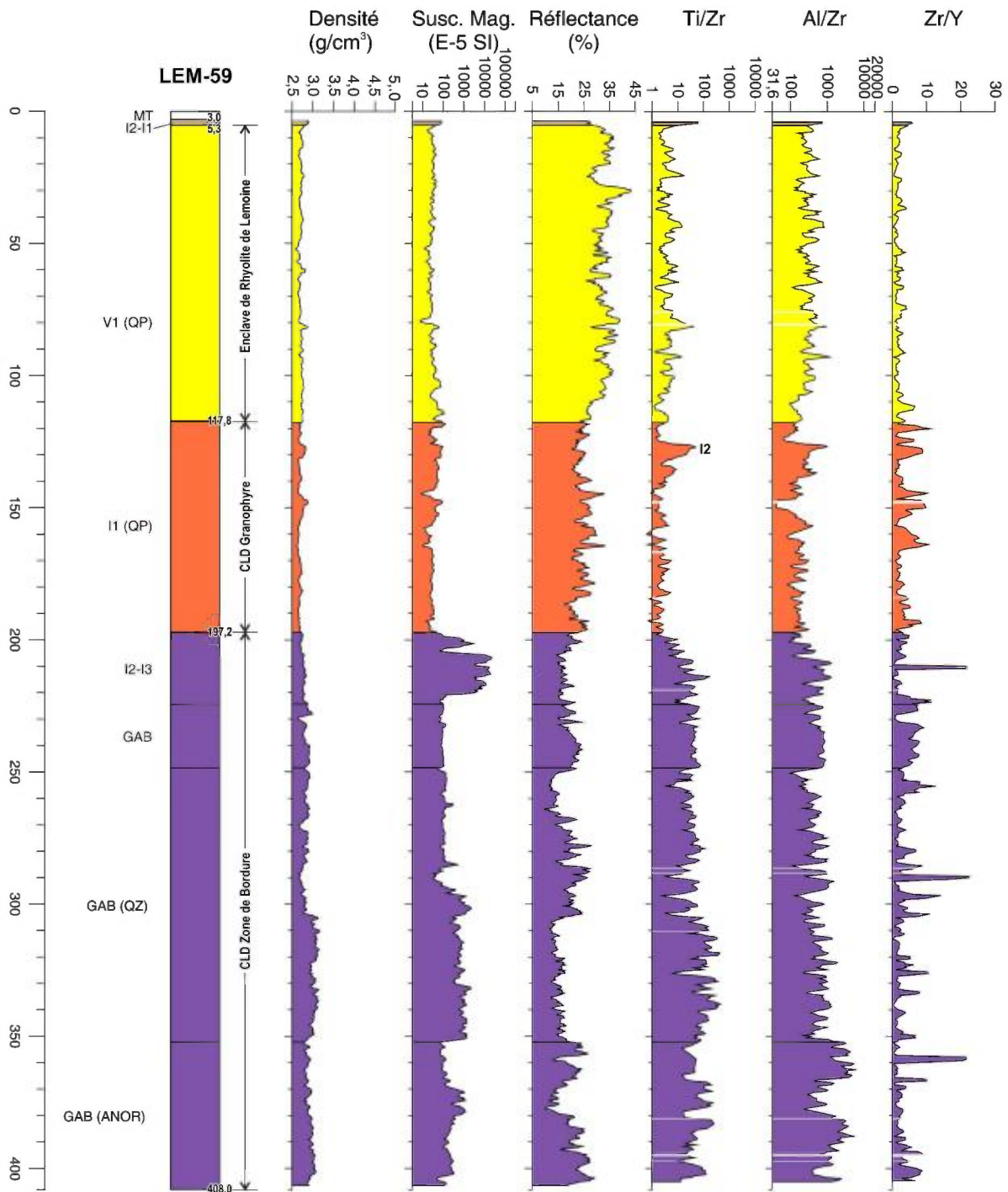


Figure 35. Profil des propriétés physiques (densité, susceptibilité magnétique, réflectance moyenne de la lumière visible) et de trois ratios d'éléments immobiles (Ti/Zr, Al/Zr, Zr/Y) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-59. Les axes horizontaux sont en échelle logarithmique pour la susceptibilité, Ti/Zr et Al/Zr. Toutes les données sont corrigées selon les méthodes décrites dans le texte.

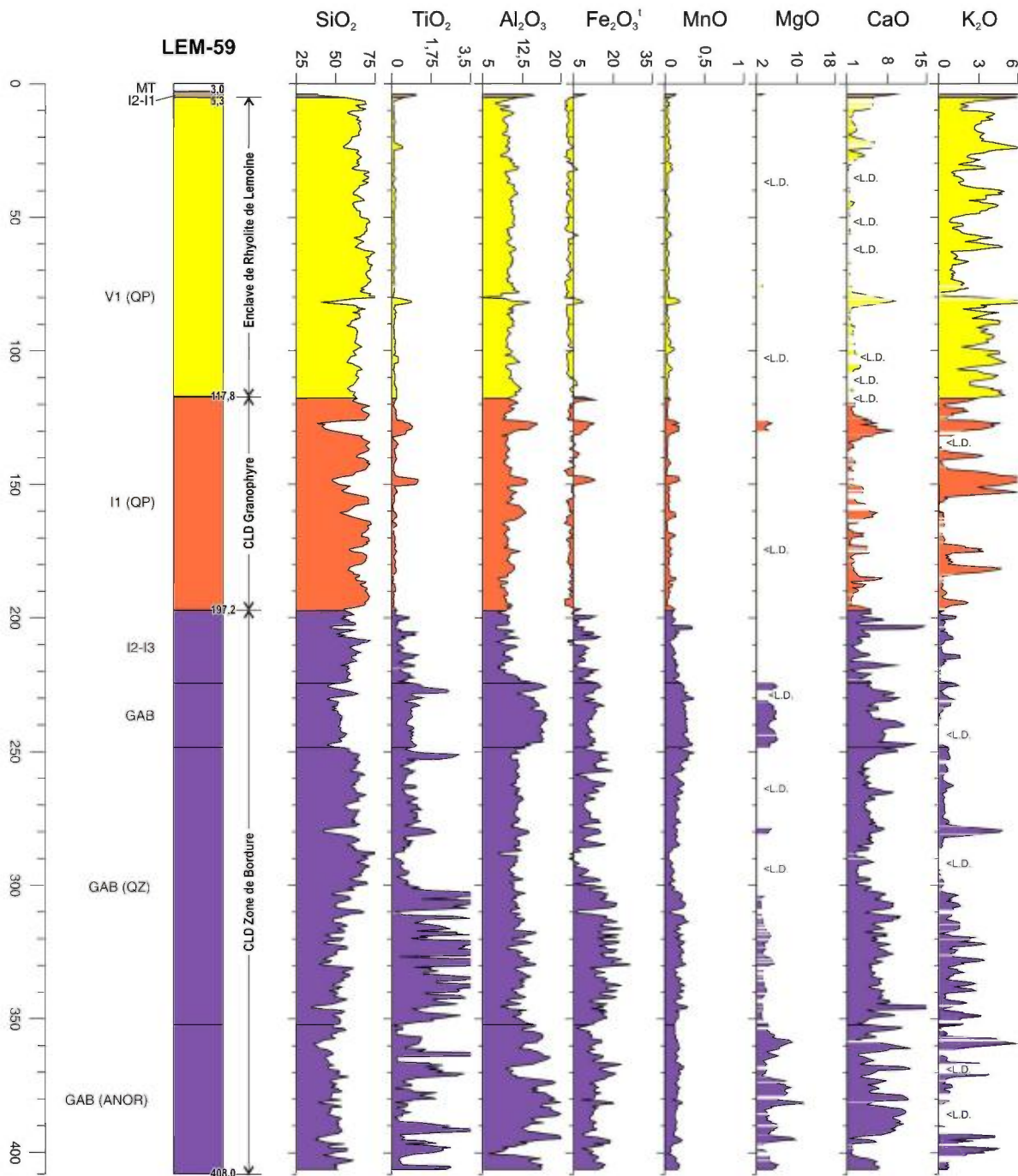


Figure 36. Profil des oxydes majeurs corrigés (%) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-59. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

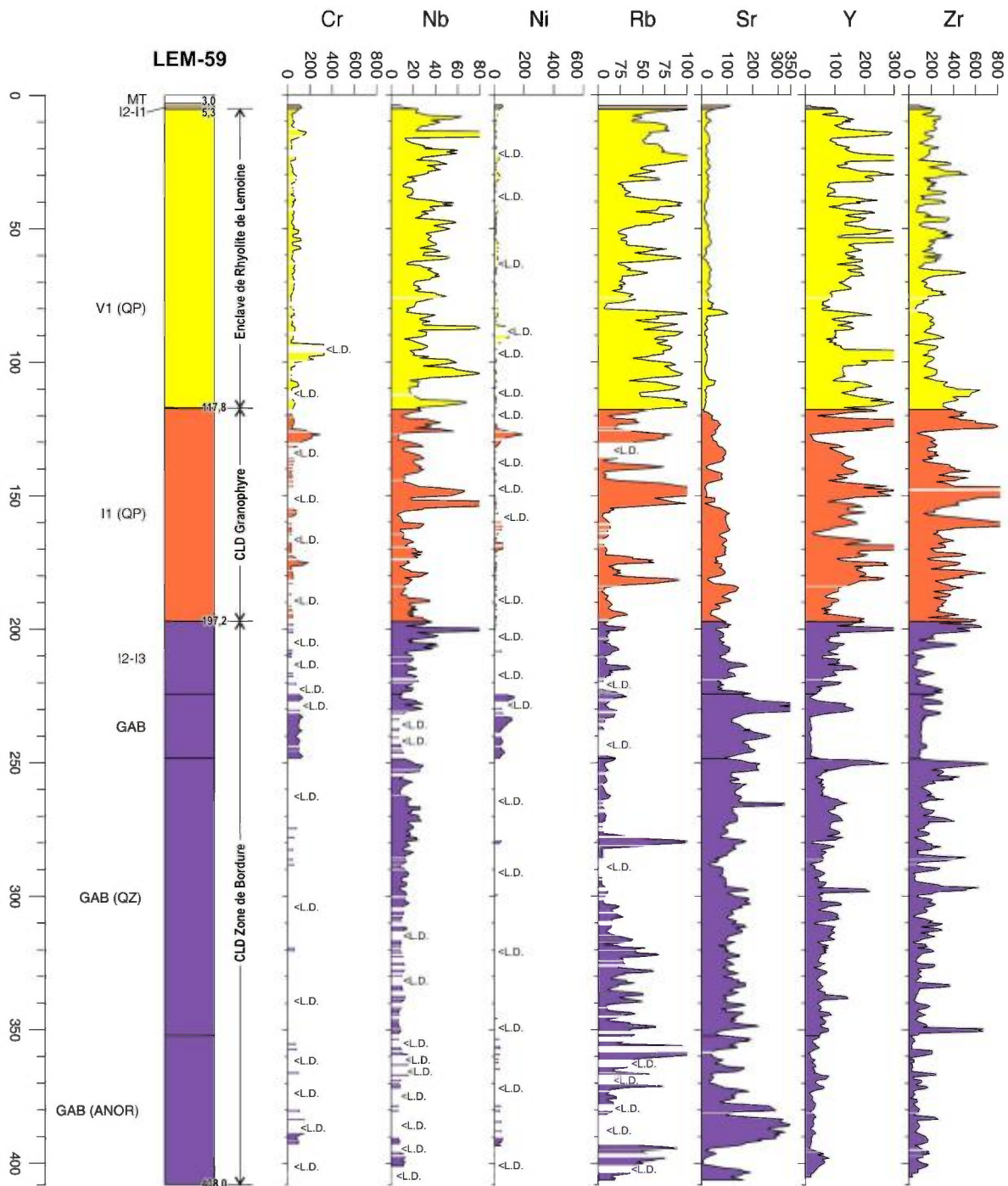


Figure 37. Profil des éléments traces corrigés (ppm) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-59. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

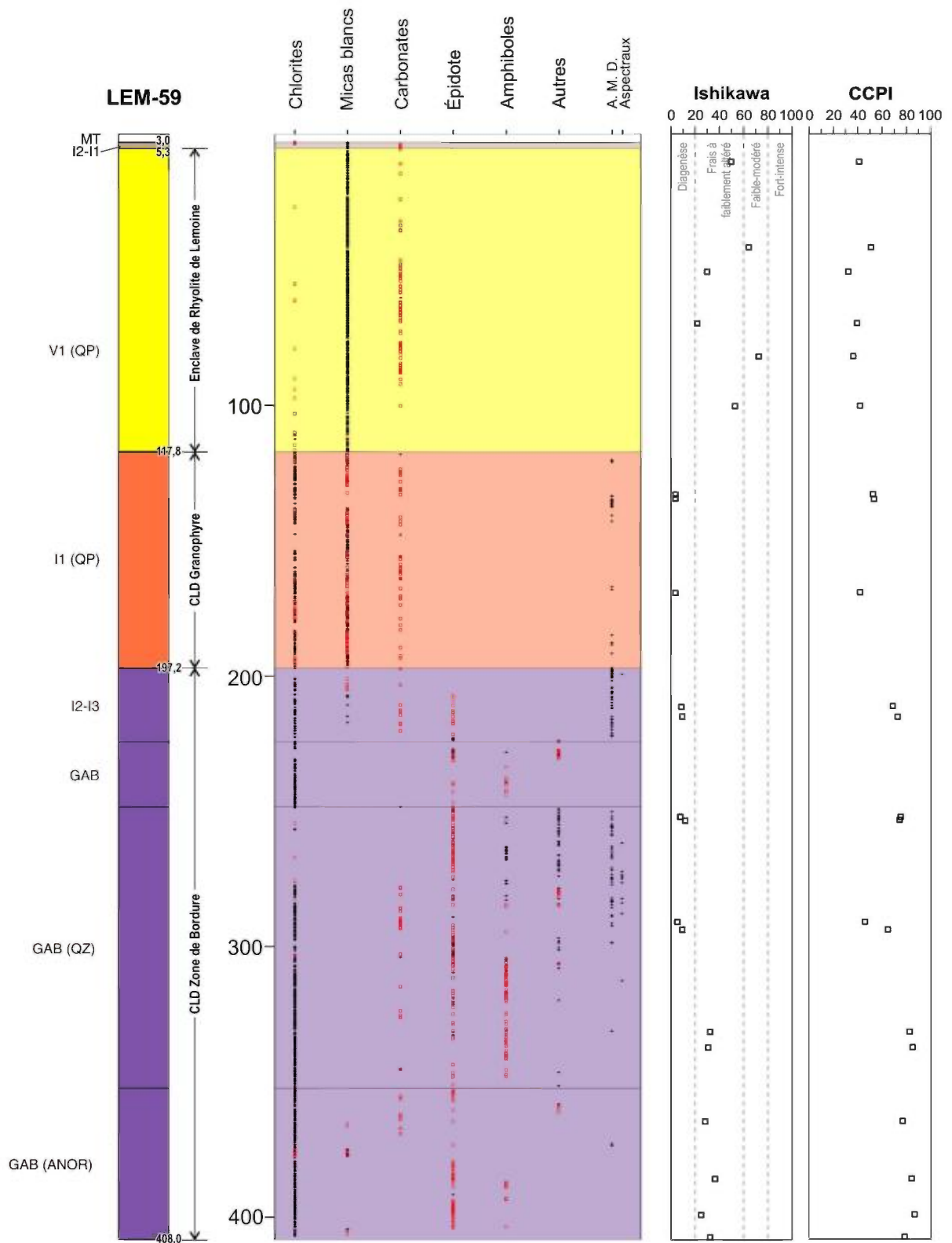


Figure 38. Minéralogie (analyse spectrale automatisée) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-59. « A.M.D. » = aucun minéral détecté. Les indices d'altération sont calculés à partir de la géochimie traditionnelle (INRS, Ressources Cogitore).

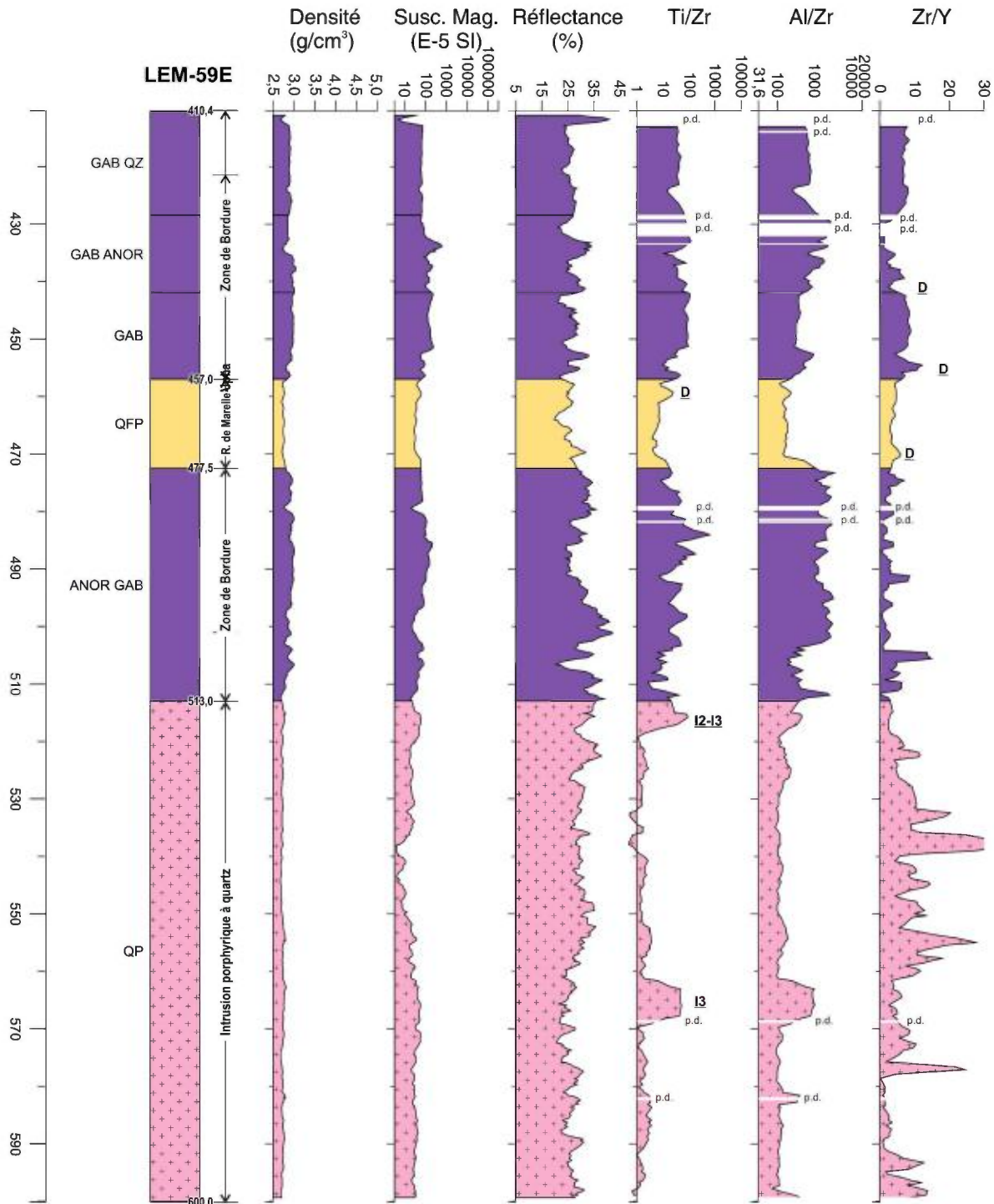


Figure 39. Profil des propriétés physiques (densité, susceptibilité magnétique, réflectance moyenne de la lumière visible) et de trois ratios d'éléments immobiles (Ti/Zr, Al/Zr, Zr/Y) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-59E. Les axes horizontaux sont en échelle logarithmique pour la susceptibilité, Ti/Zr et Al/Zr. Toutes les données sont corrigées selon les méthodes décrites dans le texte.

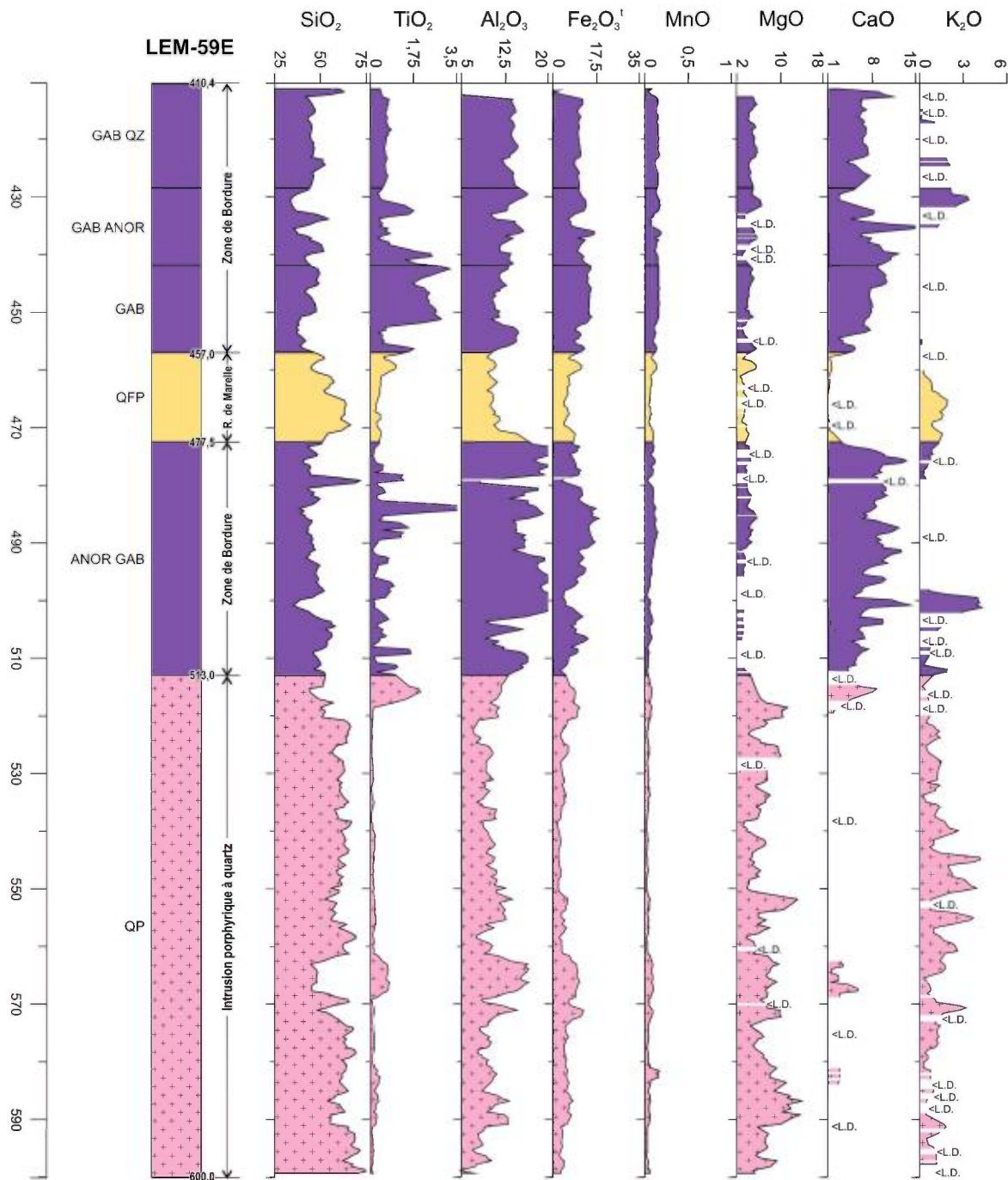


Figure 40. Profil des oxydes majeurs corrigés (%) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-59E. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

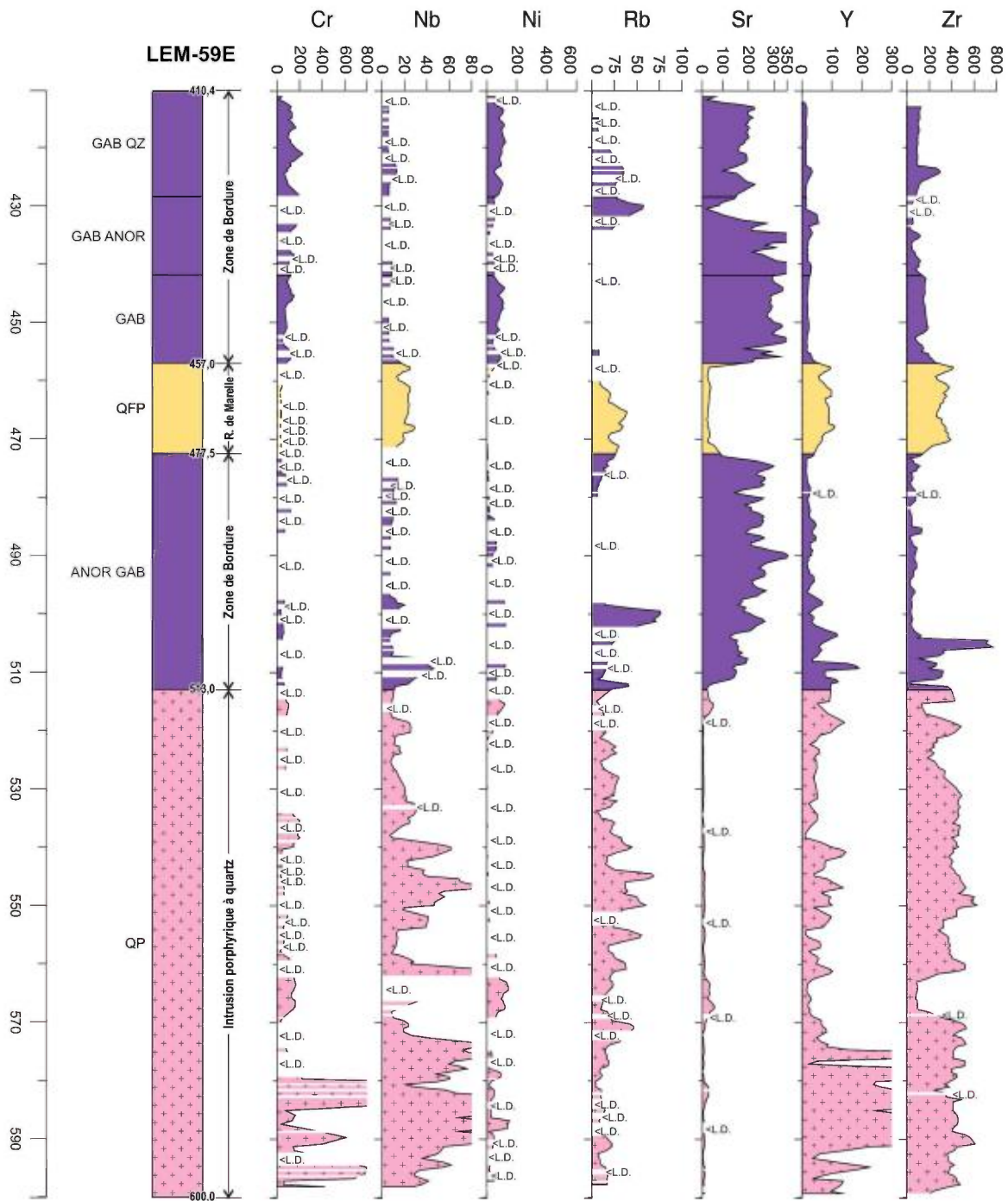


Figure 41. Profil des éléments traces corrigés (ppm) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-59E. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

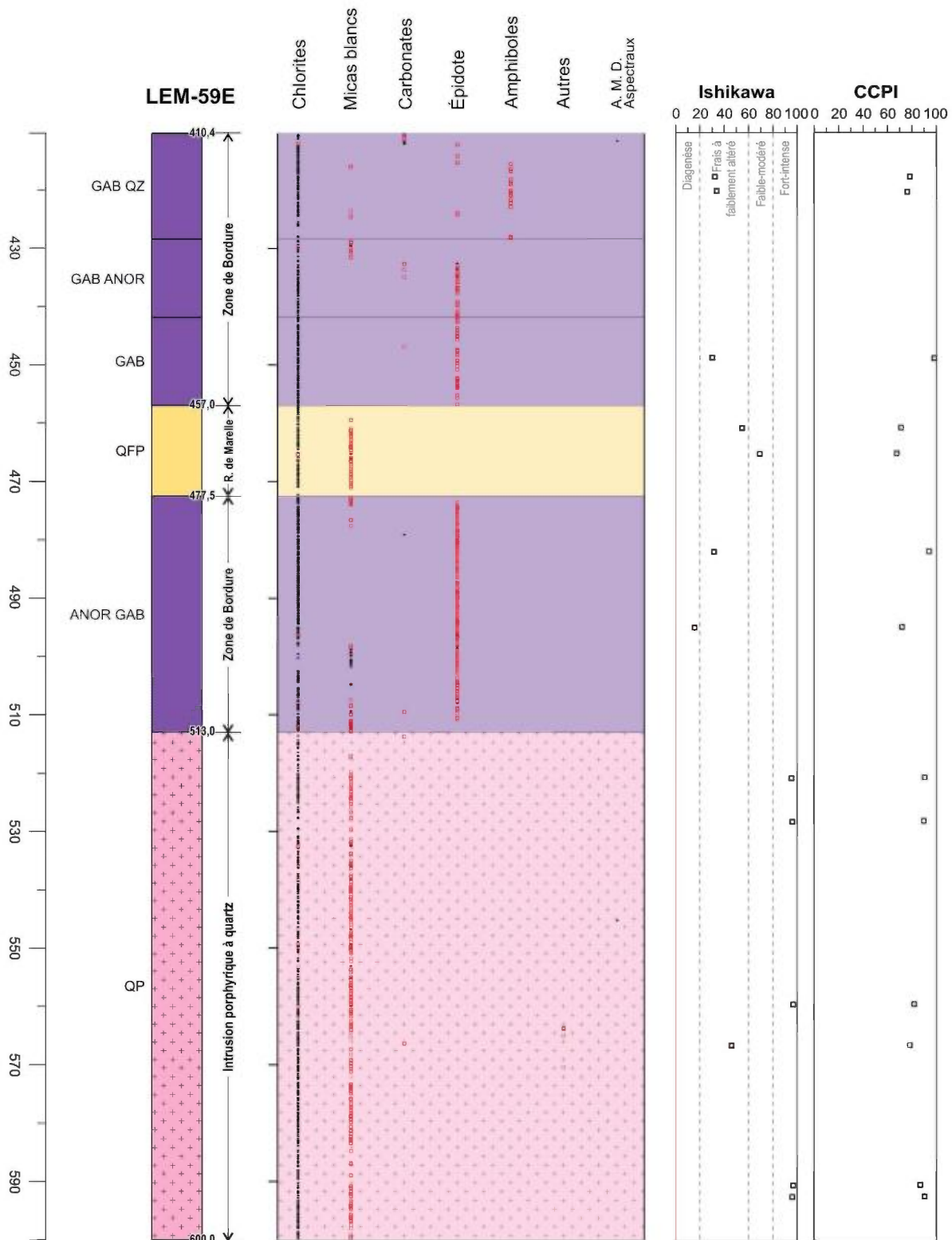


Figure 42. Minéralogie (analyse spectrale automatisée) en fonction de la profondeur pour le forage LEM-59E. « A.M.D. » = aucun minéral détecté. Les indices d'altération sont calculés à partir de la géochimie traditionnelle (INRS, Ressources Cogitore).

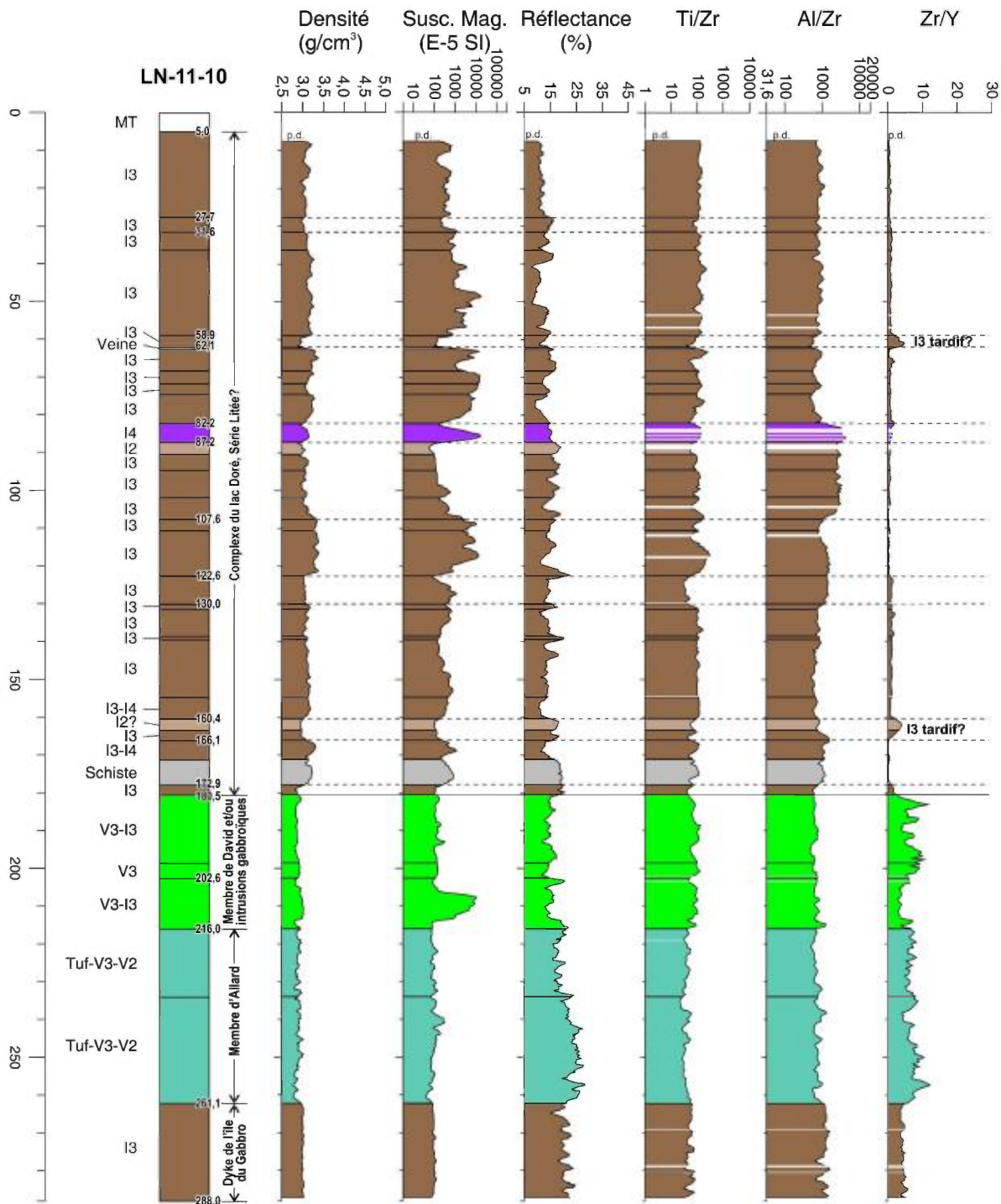


Figure 43. Profil des propriétés physiques (densité, susceptibilité magnétique, réflectance moyenne de la lumière visible) et de trois ratios d'éléments immobiles (Ti/Zr, Al/Zr, Zr/Y) en fonction de la profondeur pour le forage LN-11-10. Les axes horizontaux sont en échelle logarithmique pour la susceptibilité, Ti/Zr et Al/Zr. Toutes les données sont corrigées selon les méthodes décrites dans le texte. « p.d. » = pas de données. Les lignes tiretées horizontales représentent une interprétation possible du litage magmatique dans le CLD.

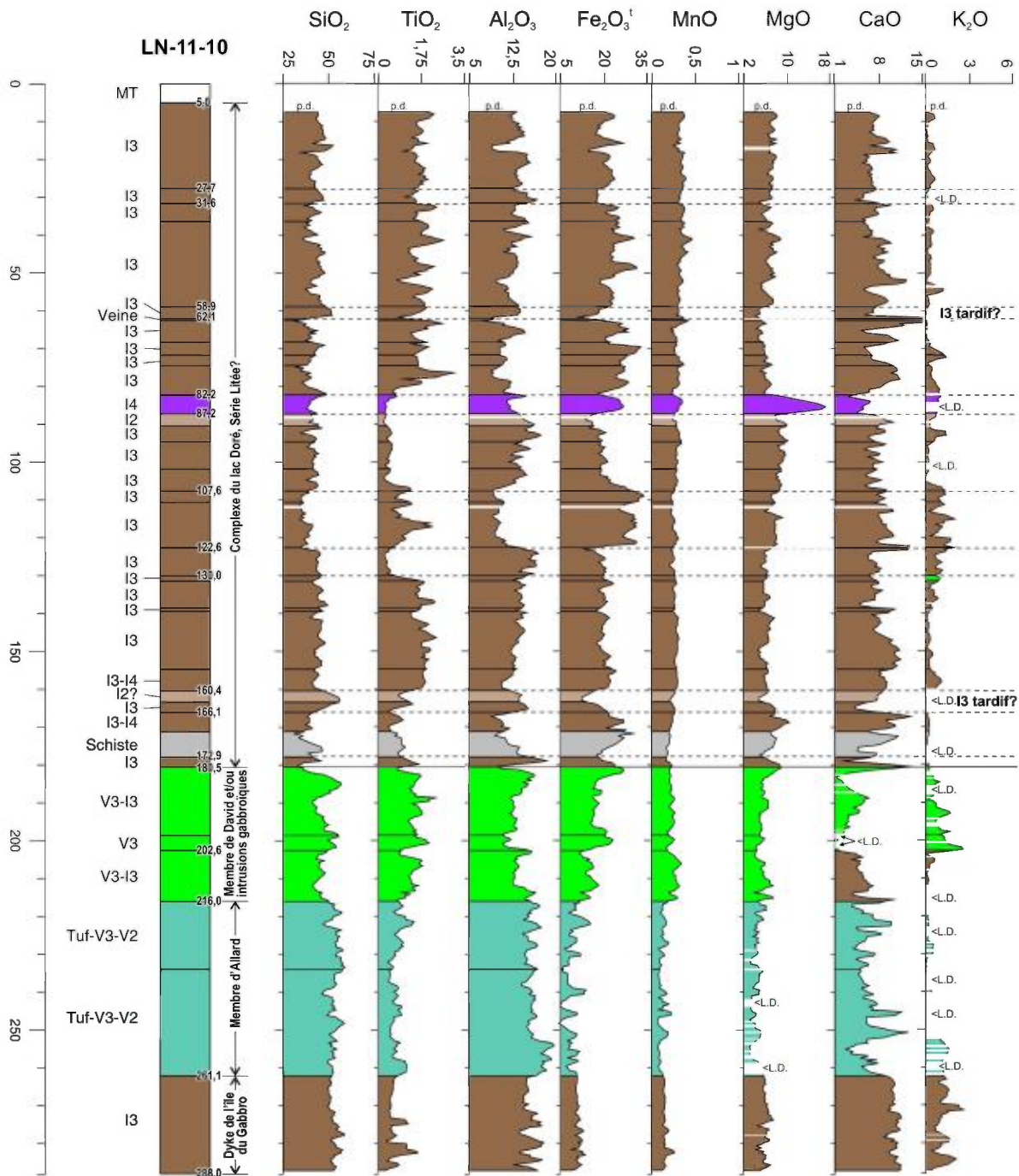


Figure 44. Profil des oxydes majeurs corrigés (%) en fonction de la profondeur pour le forage LN-11-10. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection; « p.d. » = pas de données.

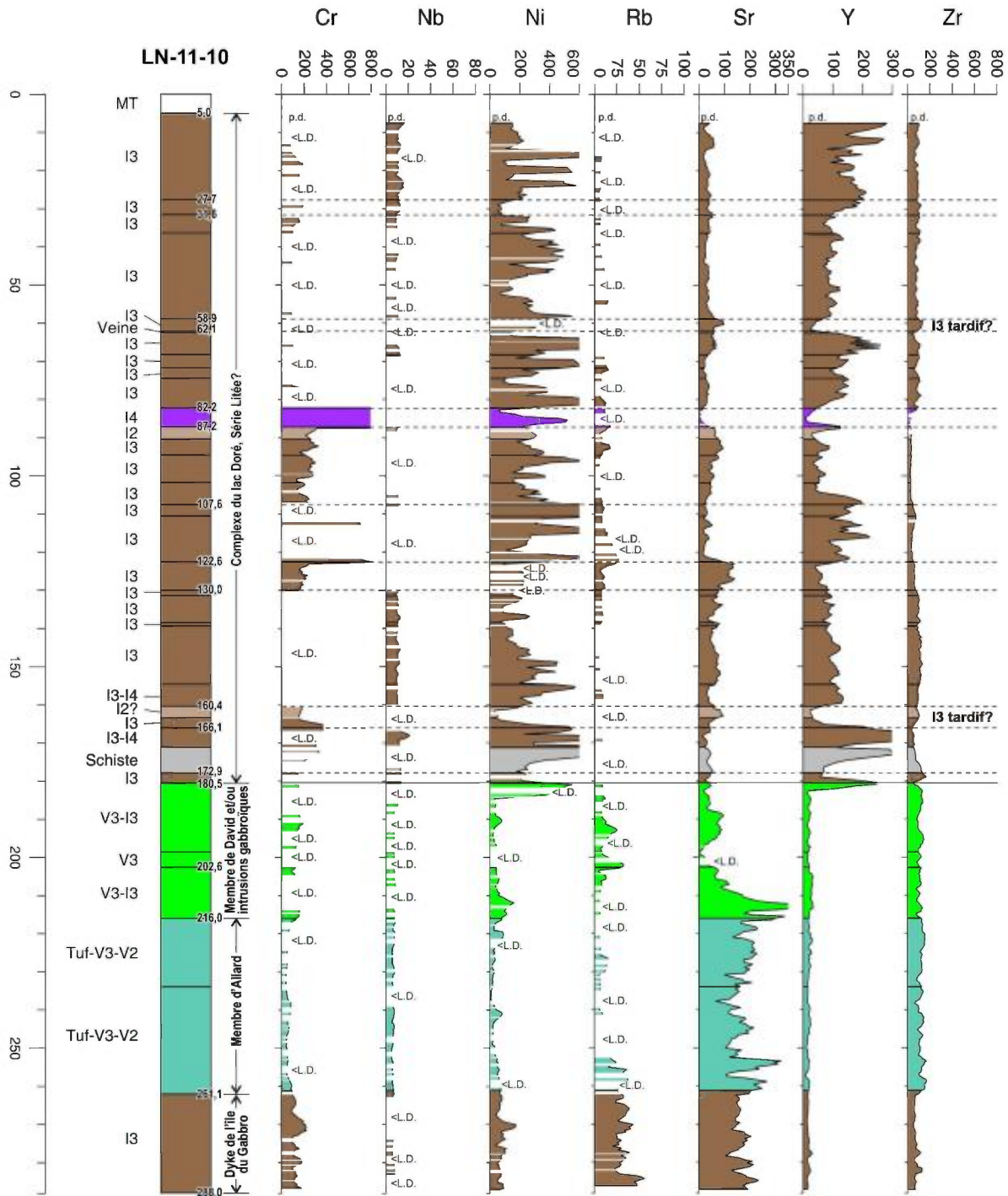


Figure 45. Profil des éléments traces corrigés (ppm) en fonction de la profondeur pour le forage LN-11-10. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection; « p.d. » = pas de données.

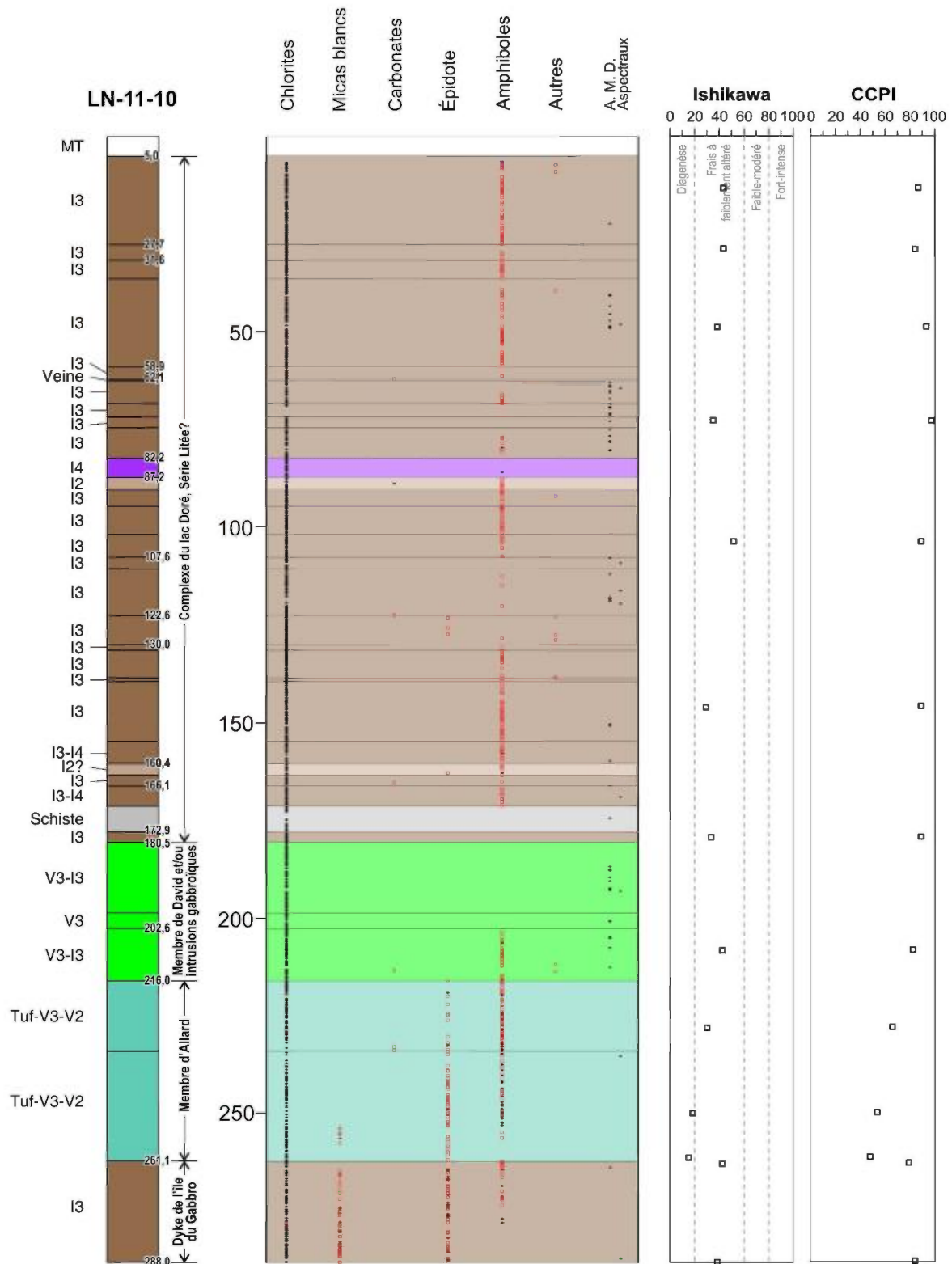


Figure 46. Minéralogie (analyse spectrale automatisée) en fonction de la profondeur pour le forage LN-11-10. « A.M.D. » = aucun minéral détecté. Les indices d'altération sont calculés à partir de la géochimie traditionnelle (MRN).

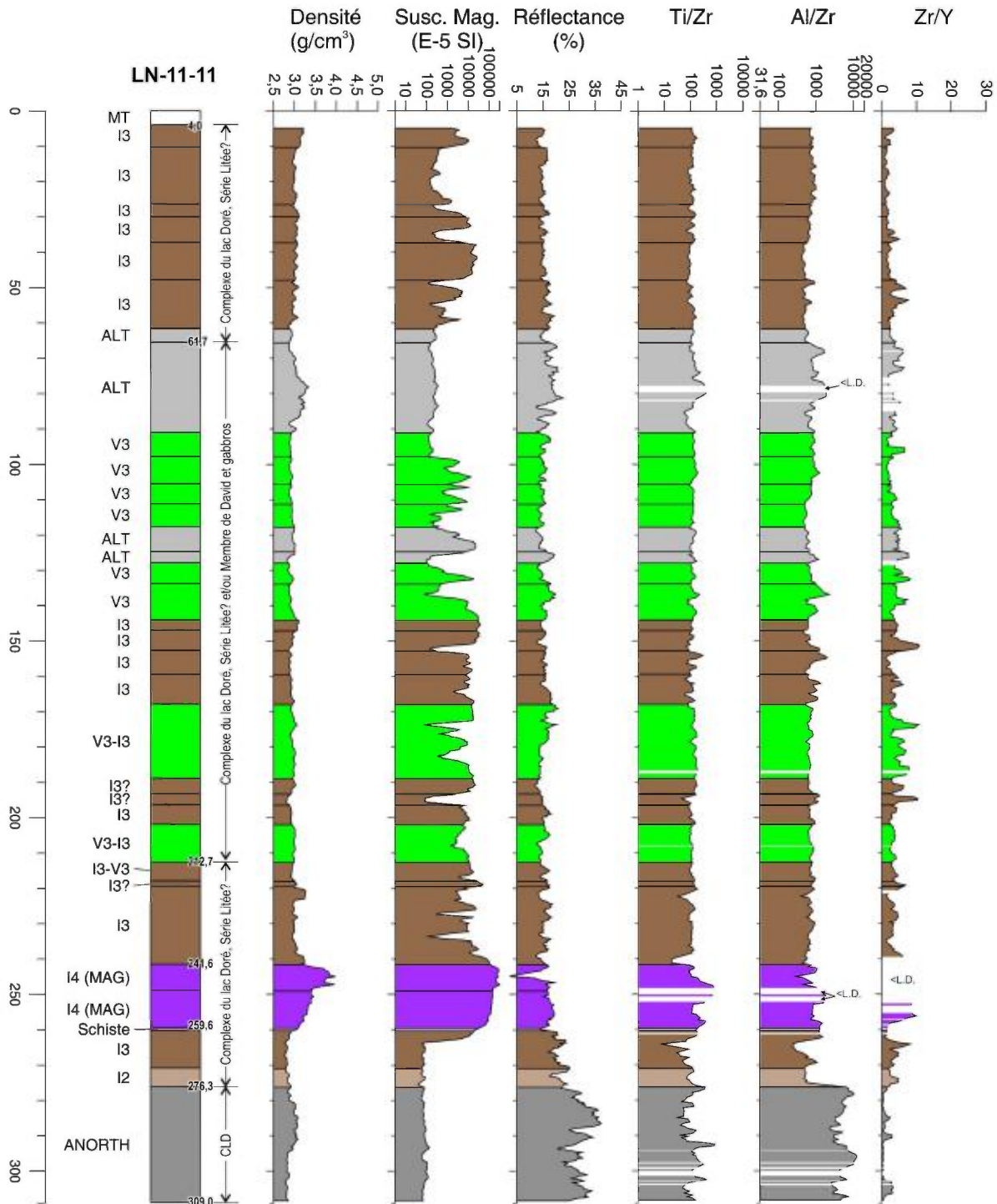


Figure 47. Profil des propriétés physiques (densité, susceptibilité magnétique, réflectance moyenne de la lumière visible) et de trois ratios d'éléments immobiles (Ti/Zr, Al/Zr, Zr/Y) en fonction de la profondeur pour le forage LN-11-11. Les axes horizontaux sont en échelle logarithmique pour la susceptibilité, Ti/Zr et Al/Zr. Toutes les données sont corrigées selon les méthodes décrites dans le texte. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

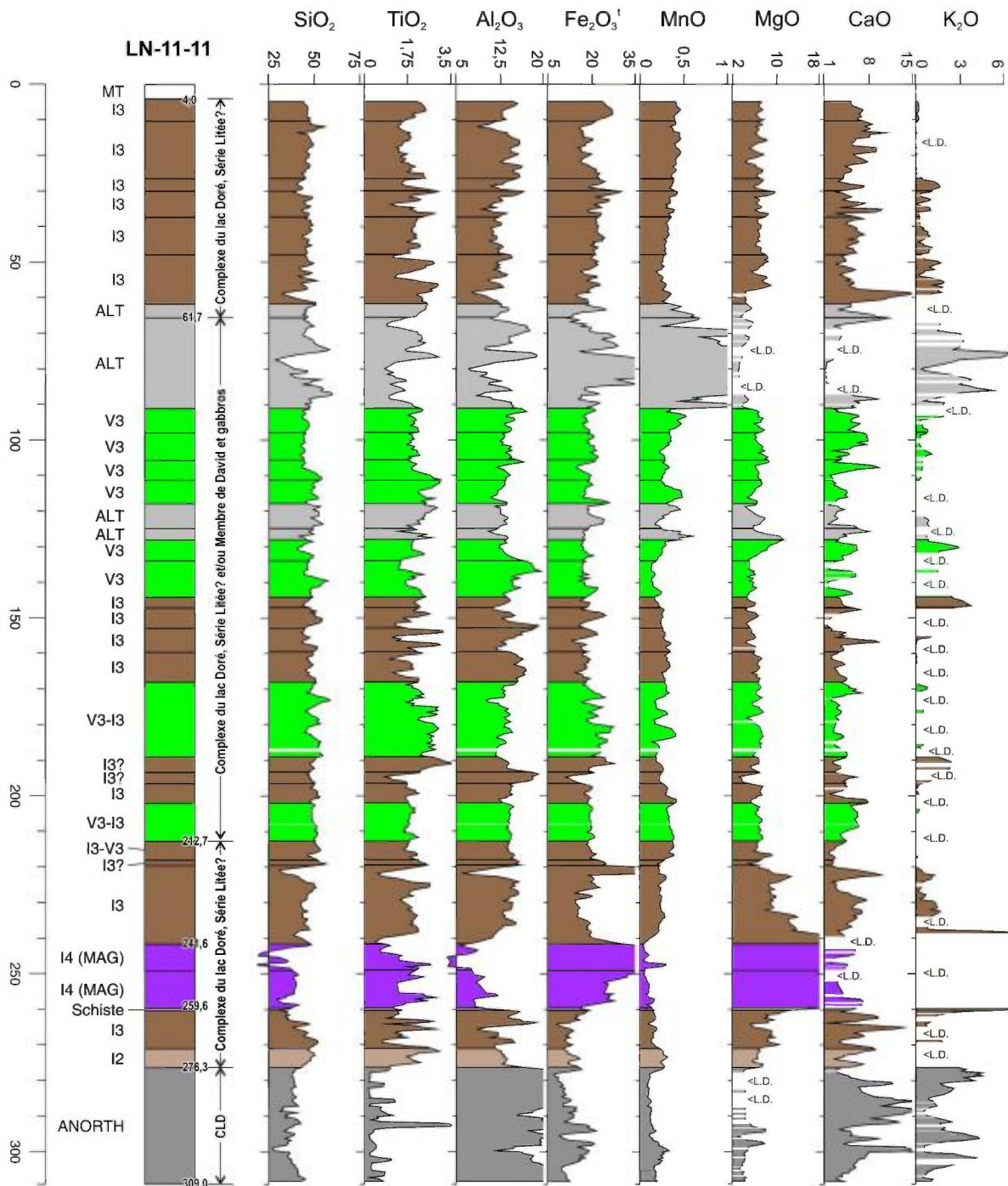


Figure 48. Profil des oxydes majeurs corrigés (%) en fonction de la profondeur pour le forage LN-11-11. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

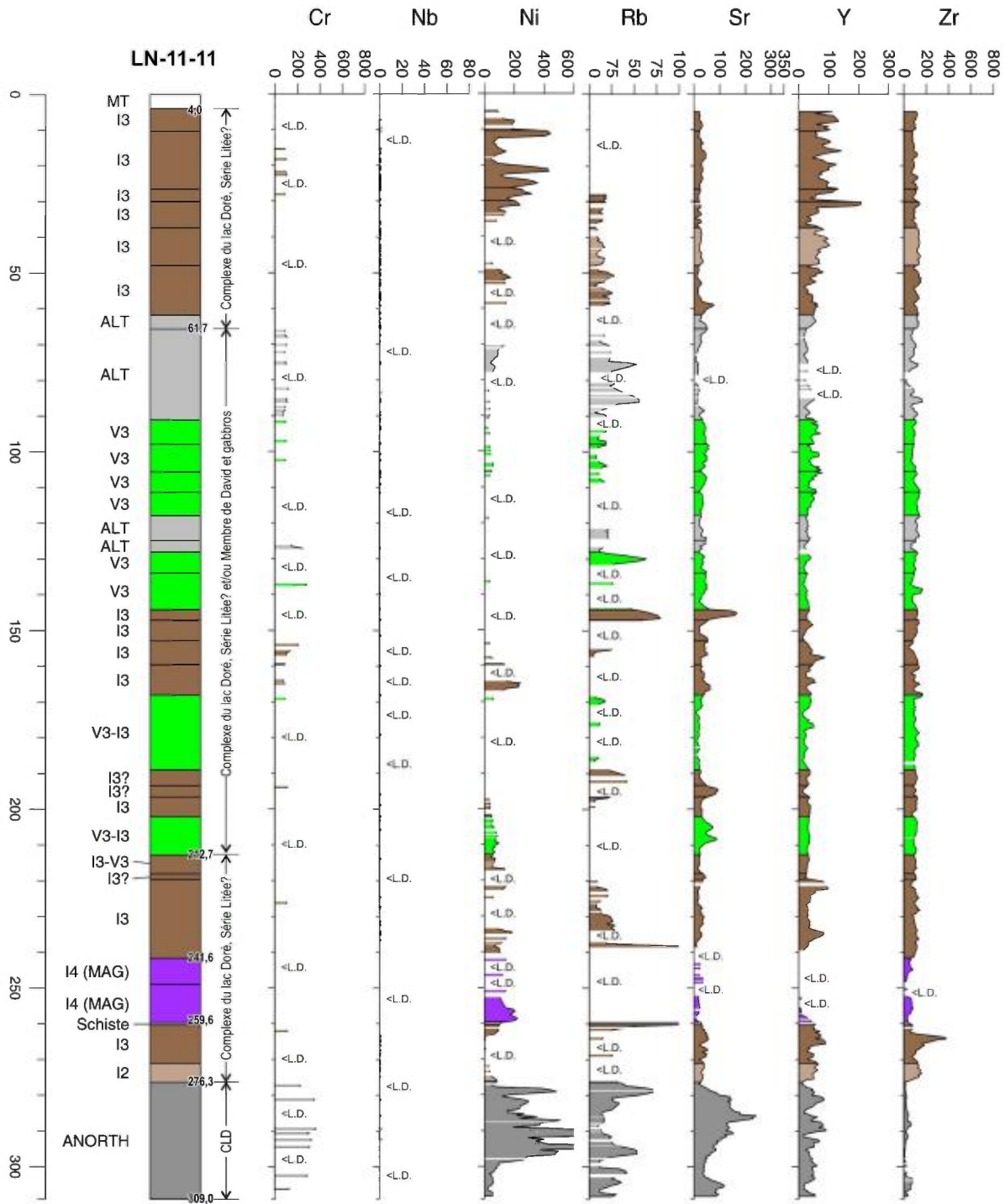


Figure 49. Profil des éléments traces corrigés (ppm) en fonction de la profondeur pour le forage LN-11-11. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection.

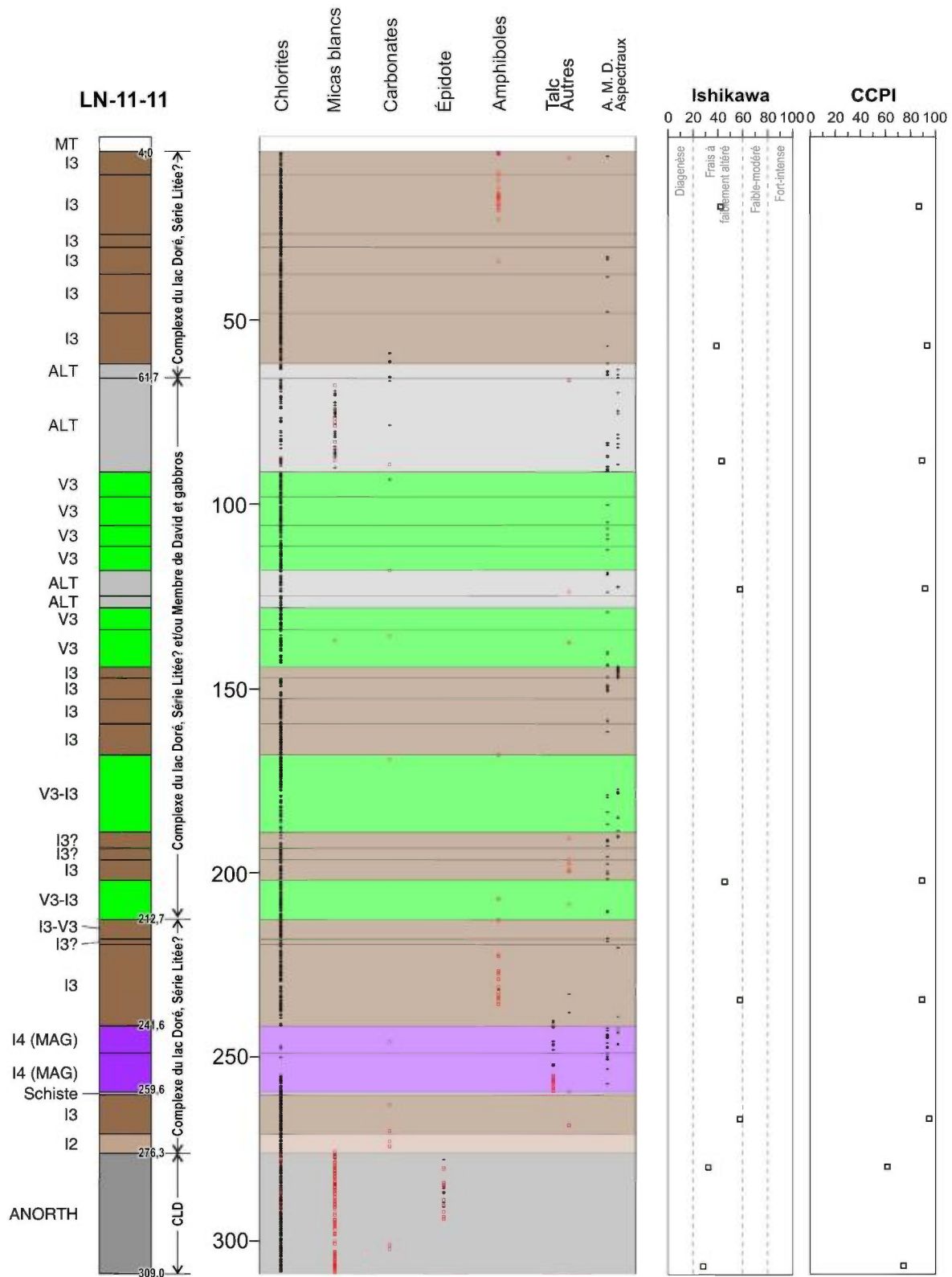


Figure 50. Minéralogie (analyse spectrale automatisée) en fonction de la profondeur pour le forage LN-11-11. « A.M.D. » = aucun minéral détecté. Les indices d'altération sont calculés à partir de la géochimie traditionnelle (MRN).

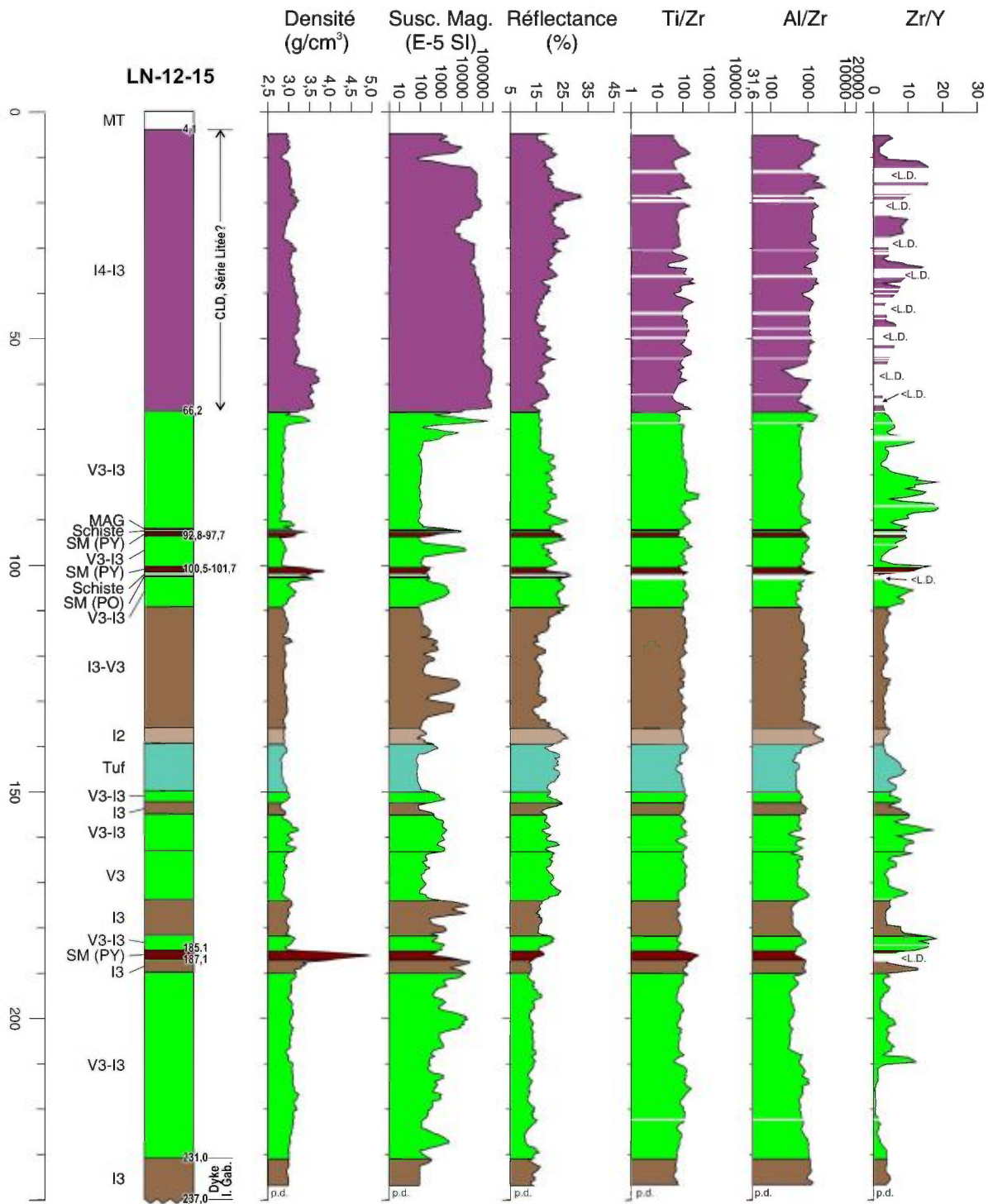


Figure 51. Profil des propriétés physiques et de trois ratios d'éléments immobiles en fonction de la profondeur pour le forage LN-12-15. Les axes horizontaux sont en échelle logarithmique pour la susceptibilité, Ti/Zr et Al/Zr. Toutes les données sont corrigées selon les méthodes décrites dans le texte. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection; « p.d. » = pas de données.

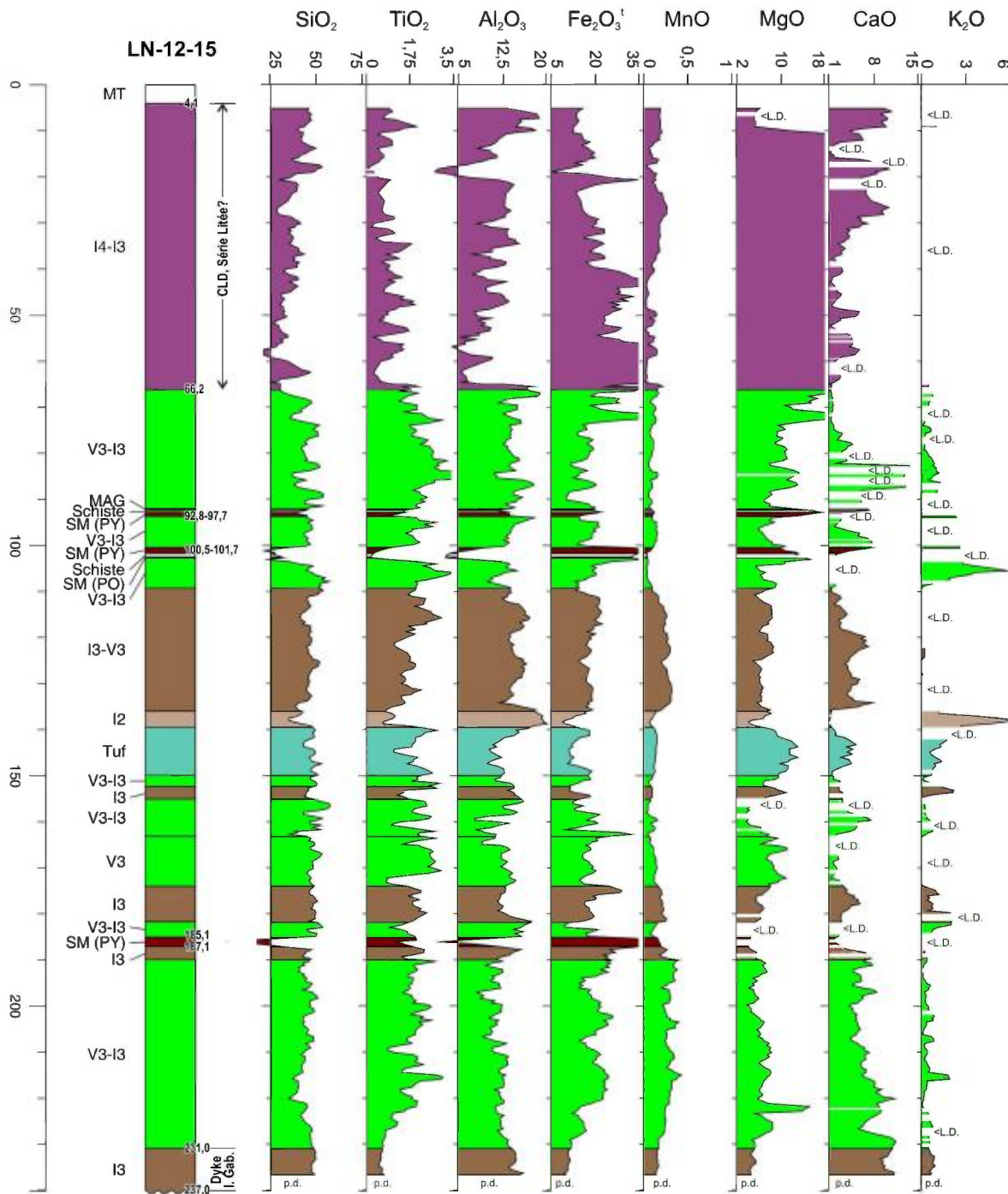


Figure 52. Profil des oxydes majeurs corrigés (%) en fonction de la profondeur pour le forage LN-12-15. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection; « p.d. » = pas de données.

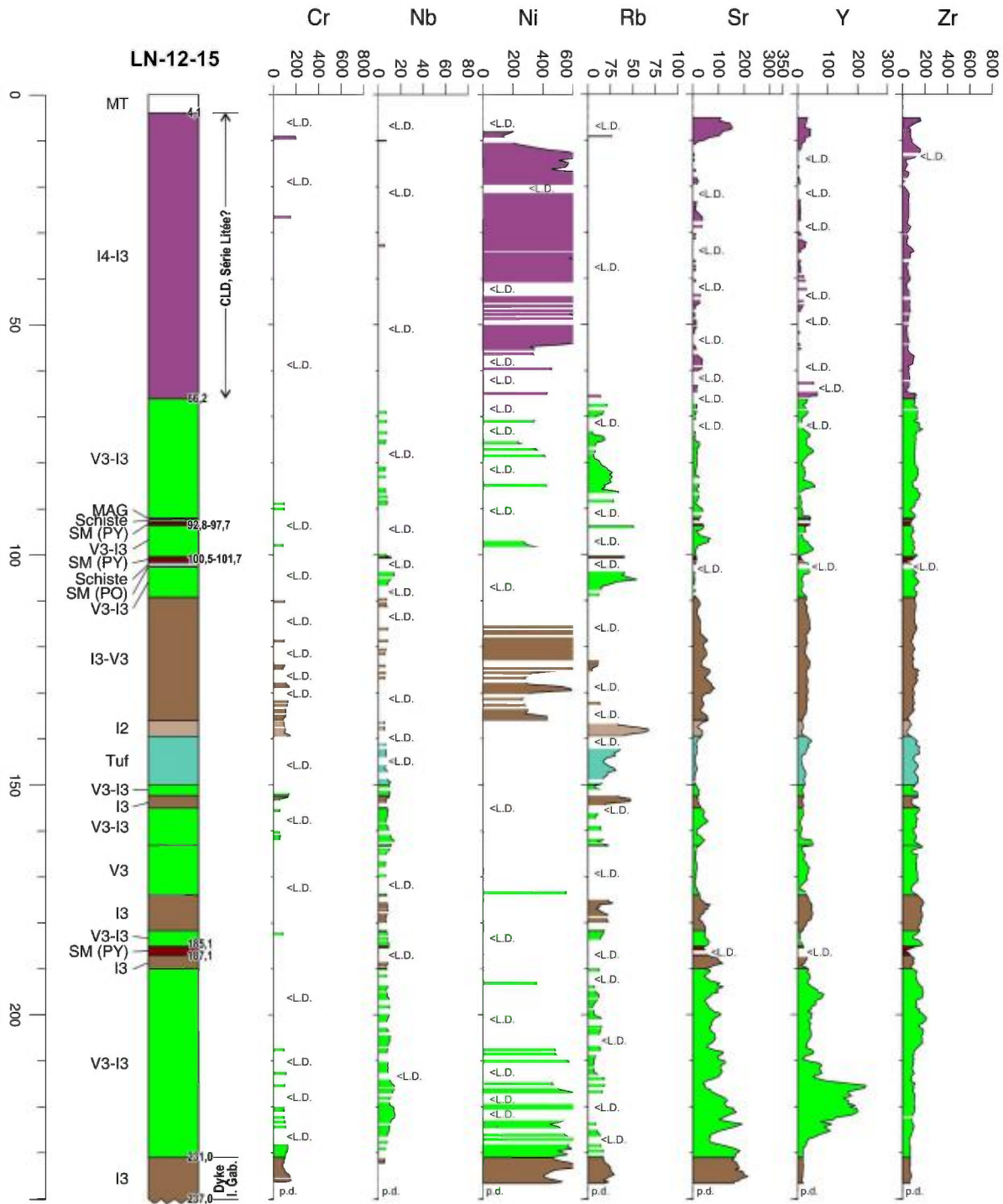


Figure 53. Profil des éléments traces corrigés (ppm) en fonction de la profondeur pour le forage LN-12-15. « <L.D. » = concentration inférieure à la limite de détection; « p.d. » = pas de données.

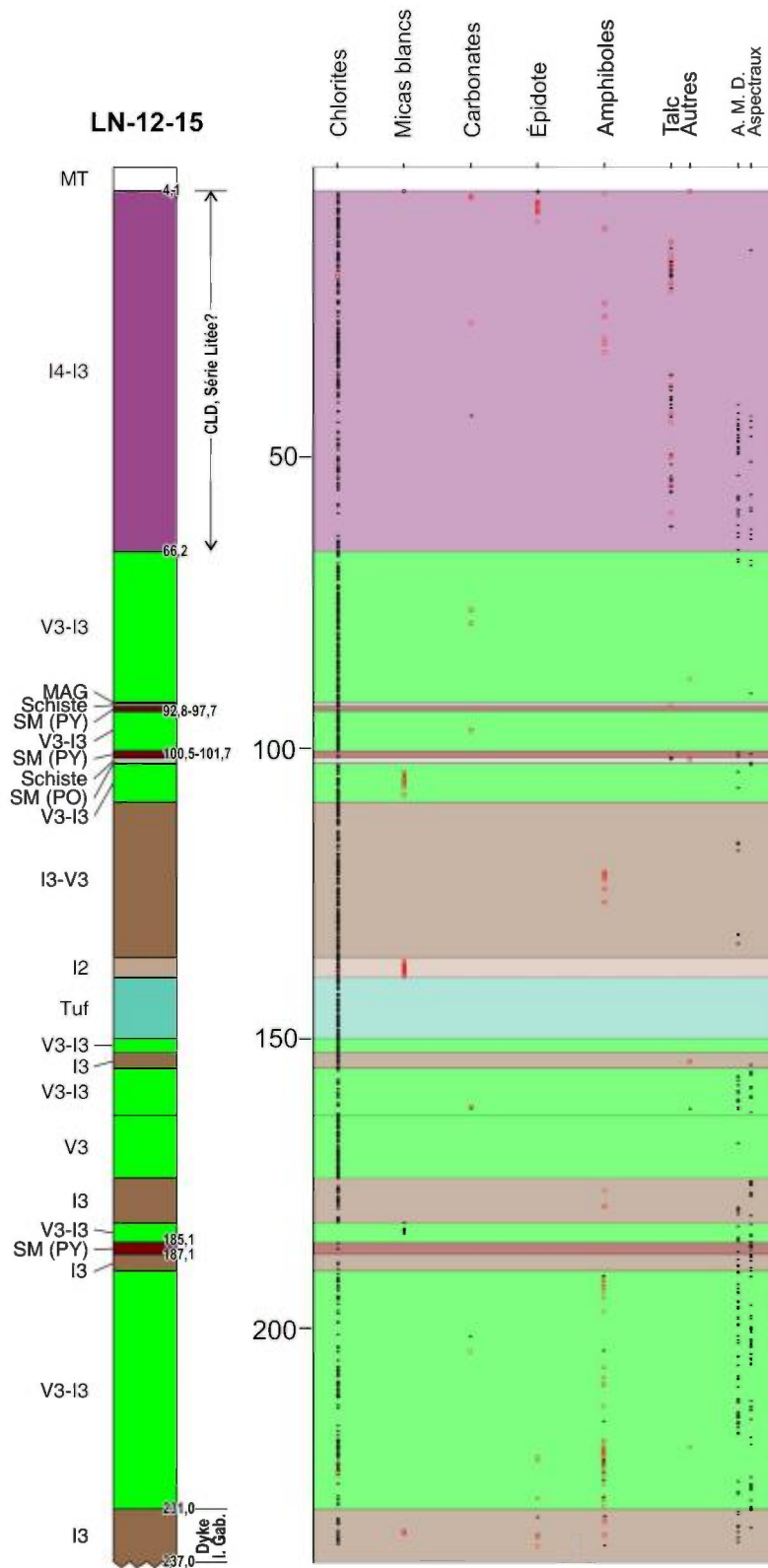


Figure 54. Minéralogie (analyse spectrale automatisée) en fonction de la profondeur pour le forage LN-12-15. « A.M.D. » = aucun minéral détecté.

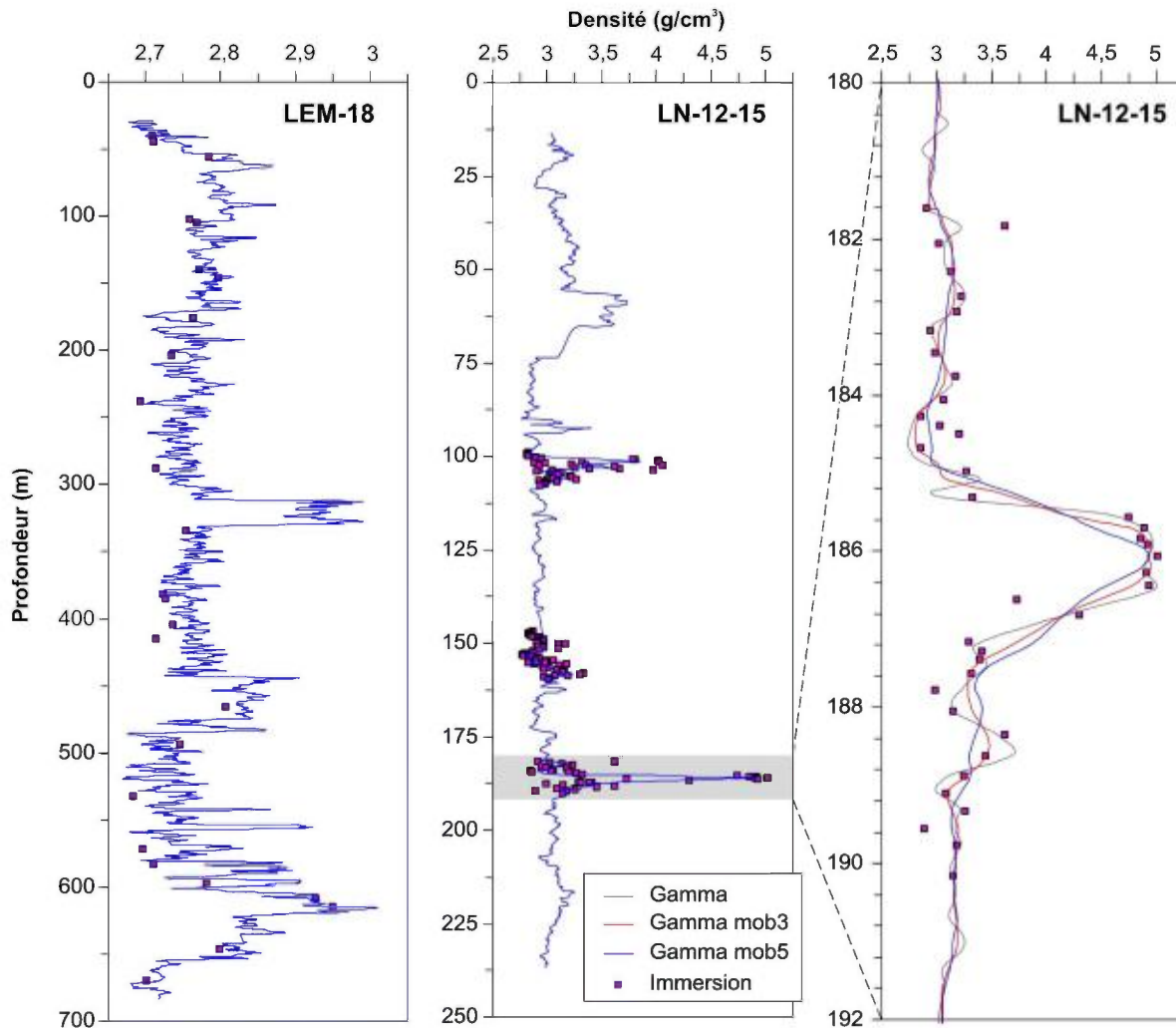


Figure 55. Validation des données du LAMROC pour la densité par atténuation des rayons gammas, valeurs corrigées (moyenne mobile à cinq points sauf si indiqué autrement). Les profils sont comparés avec les densités obtenues par immersion. À gauche : roches mafiques à felsiques non-minéralisées dans le forage LEM-18. Au centre et à droite : roches mafiques à ultramafiques non-minéralisées et roches riches en sulfures dans le forage LN-12-15.

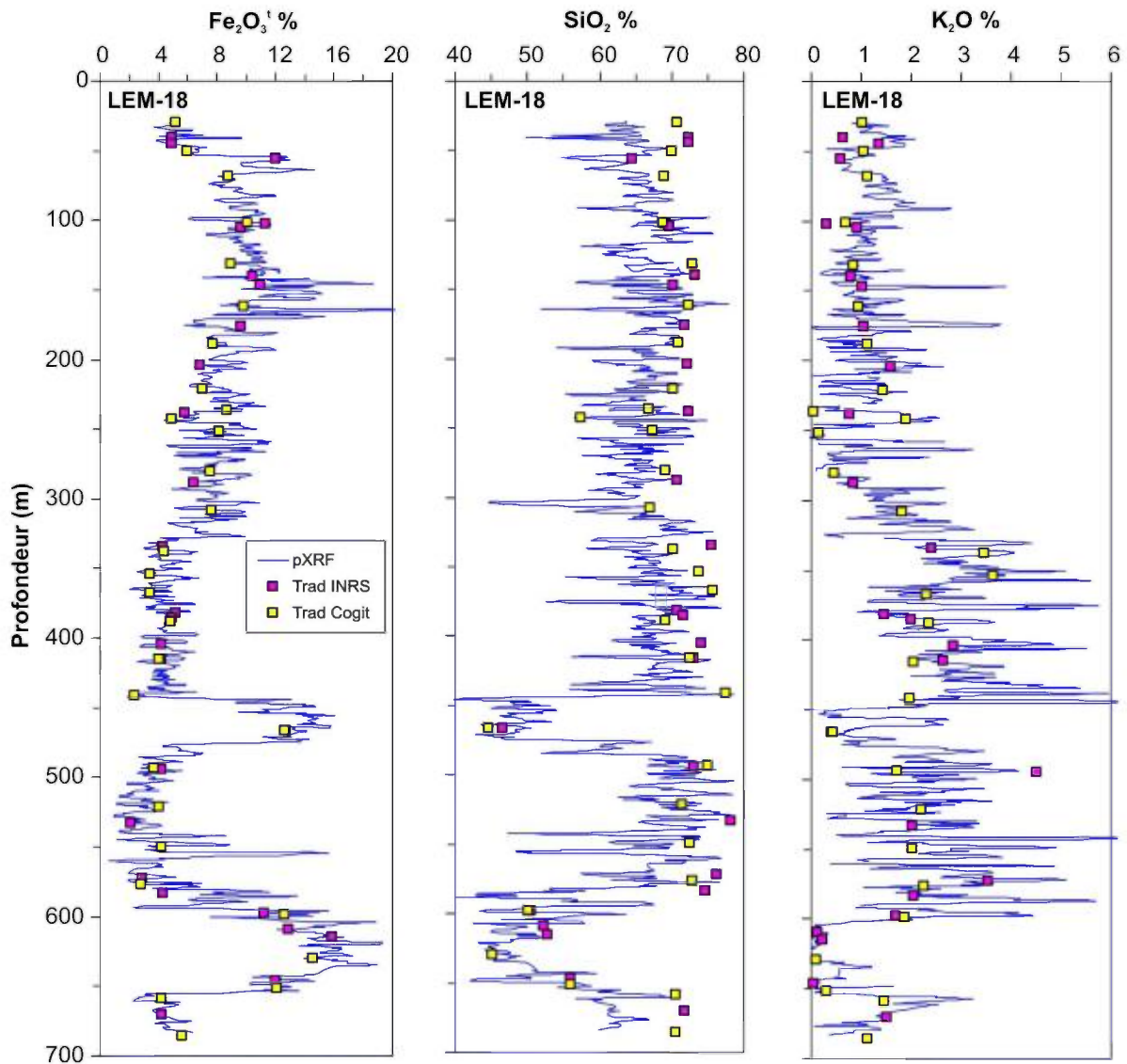


Figure 56. Validation des données du LAMROC pour la géochimie avec les analyseurs à FRX dans le forage LEM-18 (valeurs corrigées, moyenne mobile à trois points). Les profils pour Fe_2O_3^t et SiO_2 (appareil B, mode *mining plus*) et le K_2O (appareil A, mode *soil*) sont comparés avec la géochimie traditionnelle obtenue par l'INRS et Ressources Cogitore Inc. La géochimie de la Rhyolite de Marelle (27,7-40,5 m) a été mise à jour à l'été 2013.

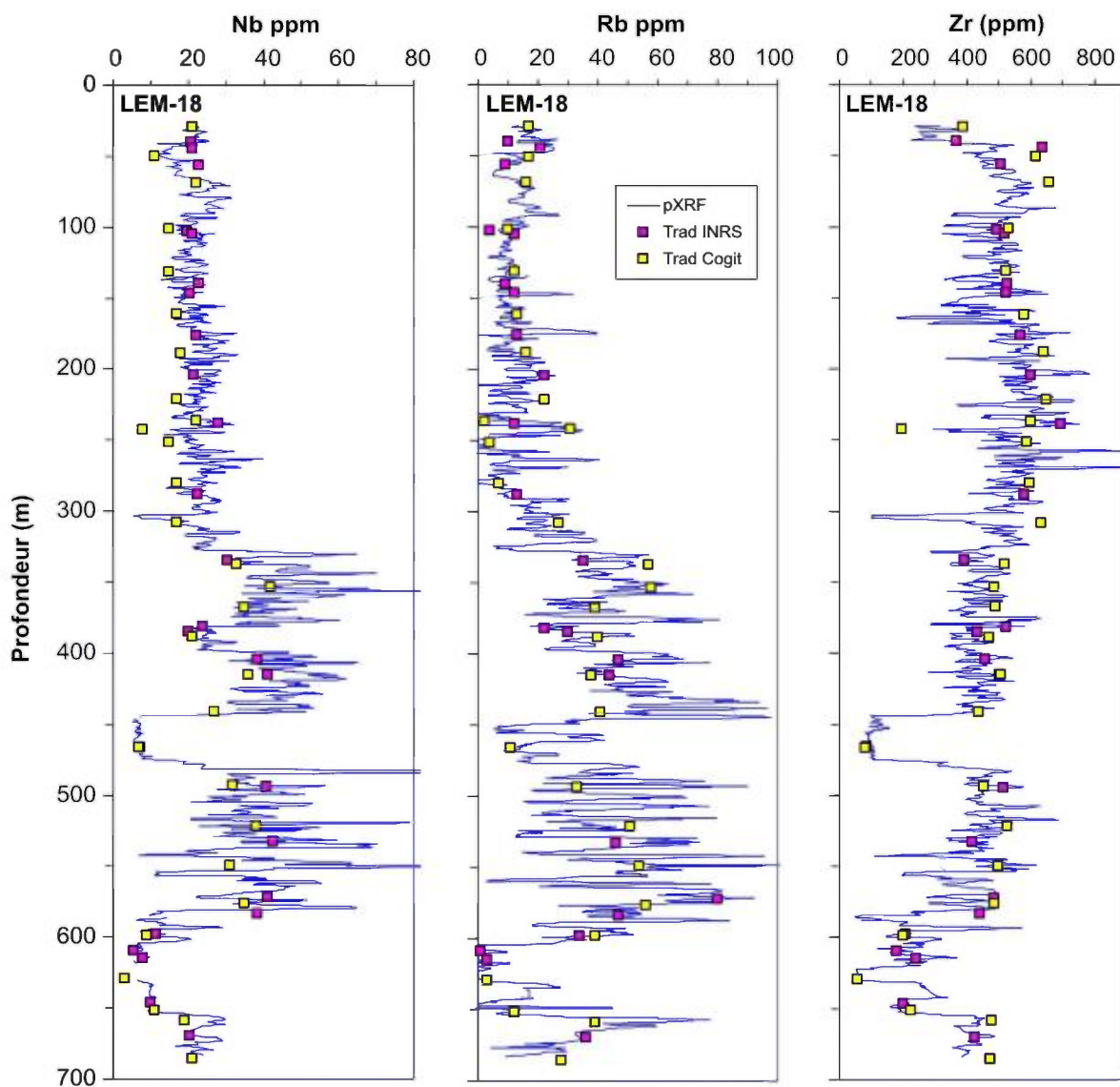


Figure 57. Validation des données du LAMROC pour la géochimie avec les analyseurs à FRX dans le forage LEM-18 (valeurs corrigées, moyenne mobile à trois points). Les profils pour le Zr (appareil B, mode *mining plus*), ainsi que pour le Nb et le Rb (appareil A, mode *soil*) sont comparés avec la géochimie traditionnelle obtenue par l'INRS et Ressources Cogitore Inc. La géochimie de la Rhyolite de Marelle (27,7-40,5 m) a été mise à jour à l'été 2013.

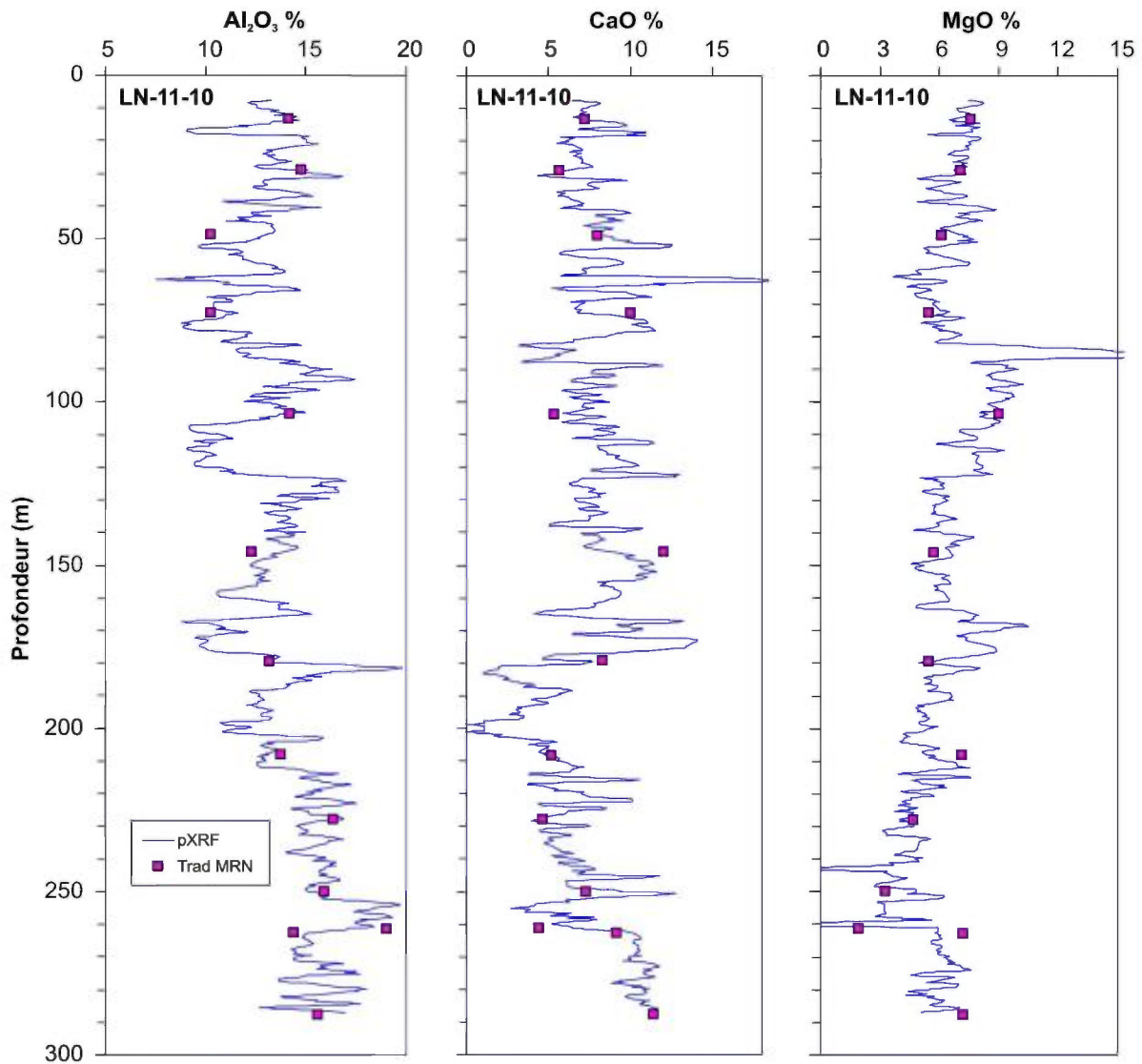


Figure 58. Validation des données du LAMROC pour la géochimie avec les analyseurs à FRX dans le forage LN-11-10 (valeurs corrigées, moyenne mobile à trois points). Les profils pour Al_2O_3 , CaO et MgO (appareil B, mode *mining plus*) sont comparés avec la géochimie traditionnelle obtenue par le MRN.

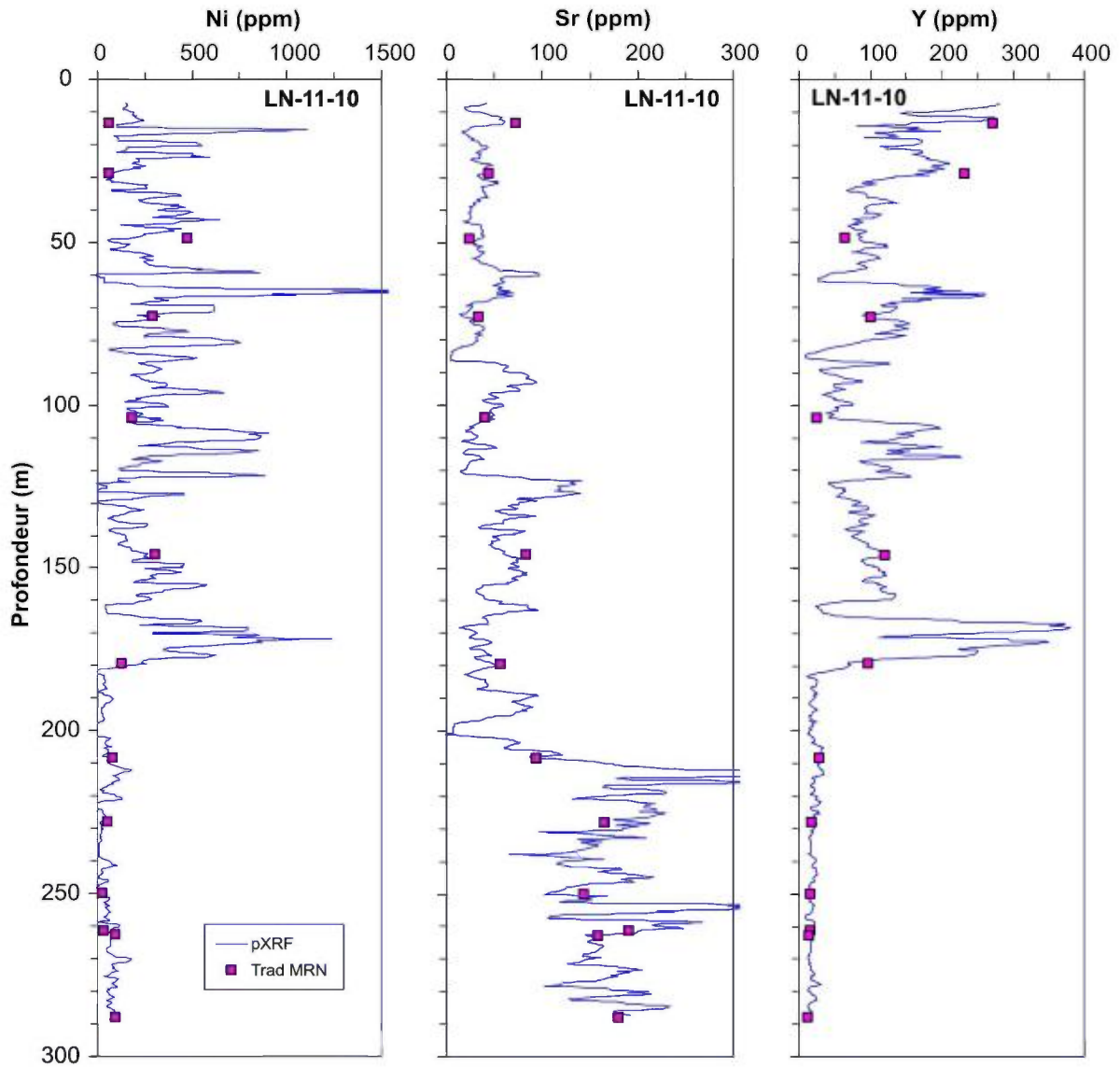


Figure 59. Validation des données du LAMROC pour la géochimie avec les analyseurs à FRX dans le forage LN-11-10 (valeurs corrigées, moyenne mobile à trois points). Les profils pour le Ni (appareil B, mode *mining plus*), ainsi que pour le Sr et l'Y (appareil A, mode *soil*) sont comparés avec la géochimie traditionnelle obtenue par le MRN.

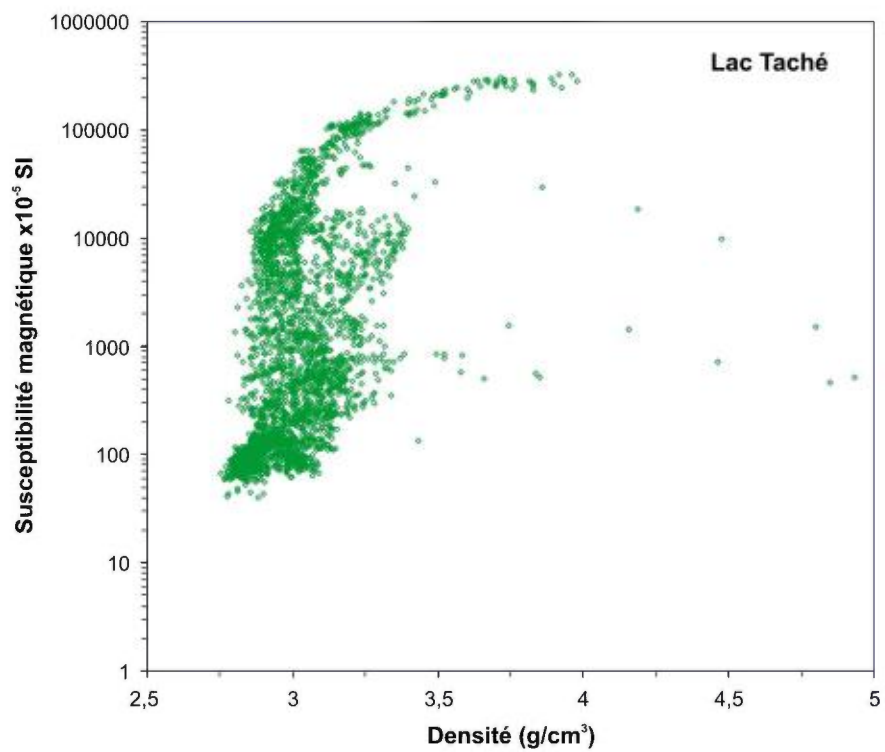
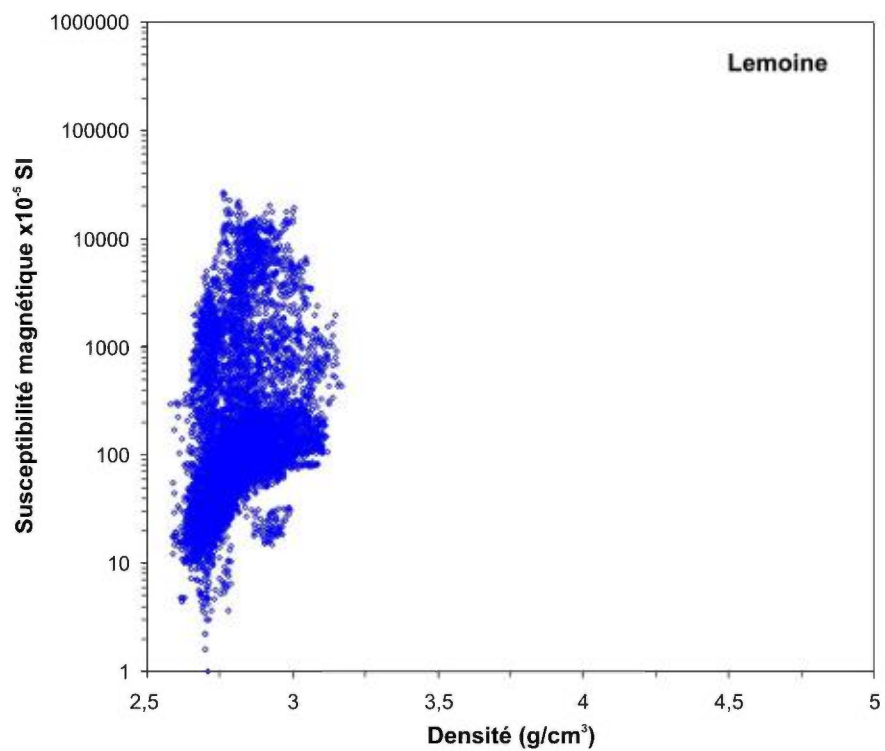


Figure 60. Susceptibilité magnétique en fonction de la densité pour toute la base de données (moyenne mobile à 5 points).

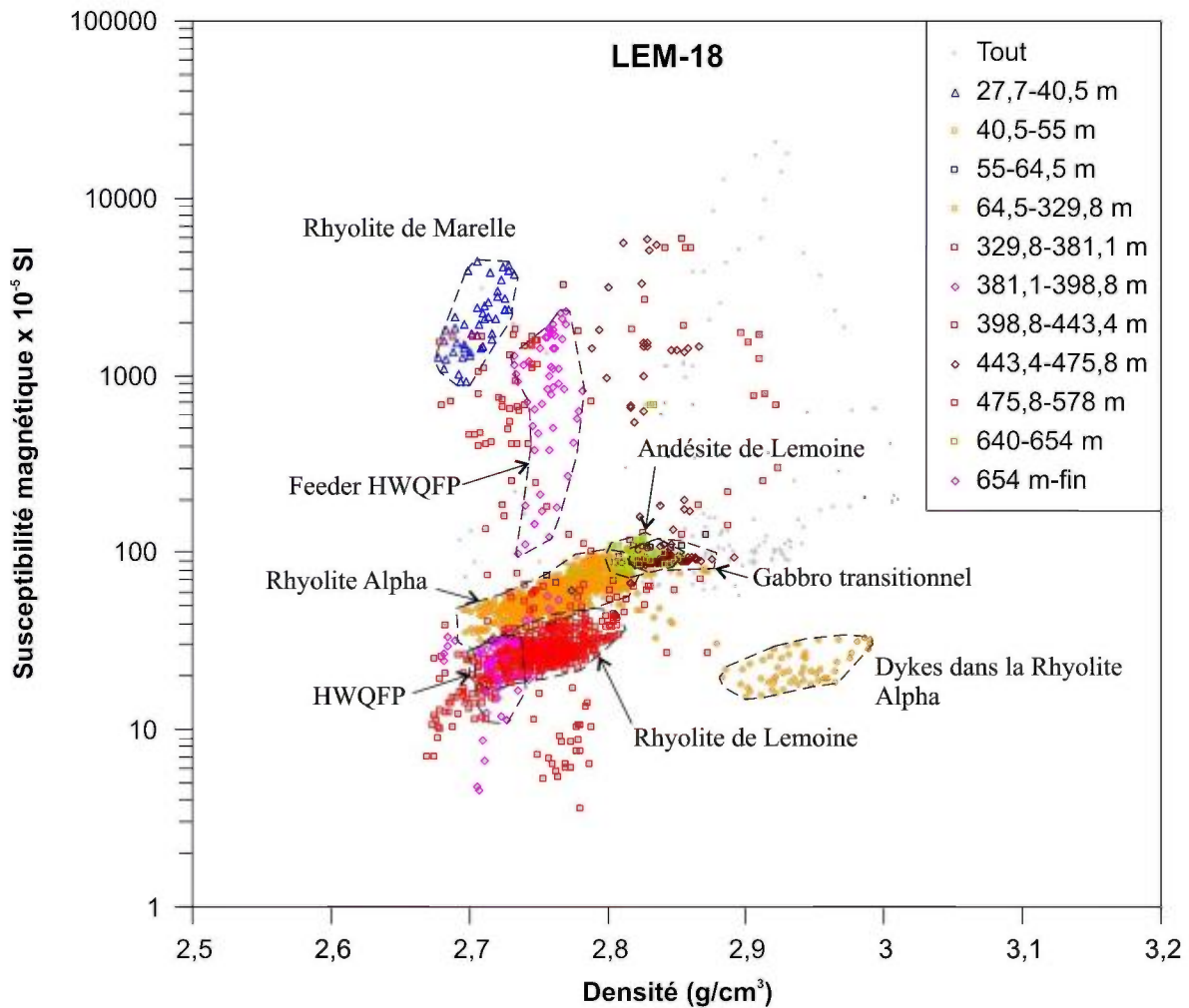


Figure 61. Susceptibilité magnétique en fonction de la densité pour le forage LEM-18 (moyenne mobile à 5 points). La majorité des points sont classés en fonction de la profondeur (voir figure 19) avec des symboles colorés; le reste des points est illustré par des petits carrés gris.

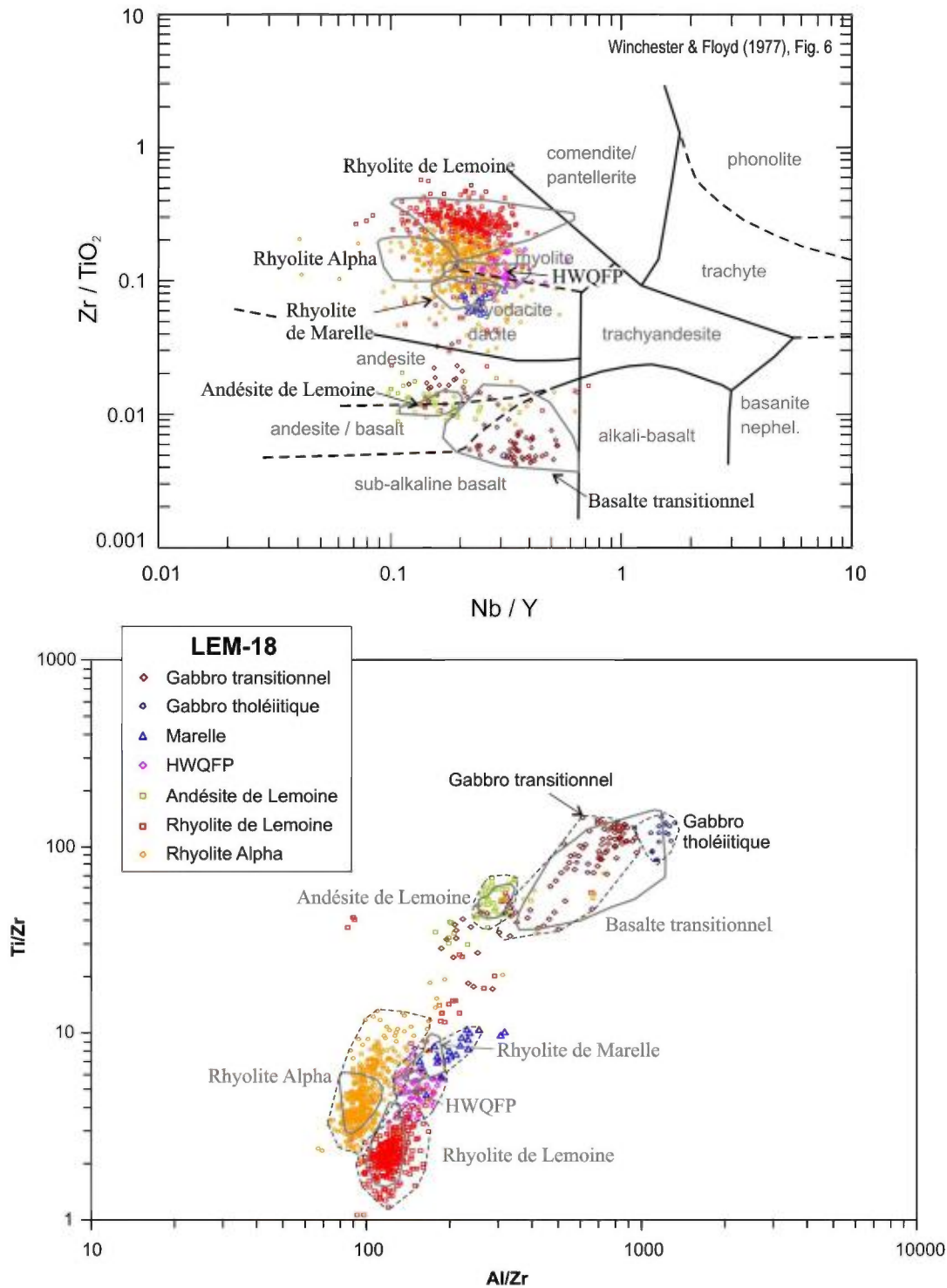


Figure 62. Diagramme de classification de Winchester et Floyd (1977) et diagramme Ti/Zr vs. Al/Zr avec les données du LAMROC (moyenne mobile à 3 points) pour le forage LEM-18. Les champs définis aux figures 7 et 9 sont montrés en gris. Les champs en lignes tiretées noires regroupent la majorité des points de mesure du LAMROC pour chaque unité lithologique. Le Nb est sous la limite de détection pour le gabbro tholéiitique (sauf un seul point).

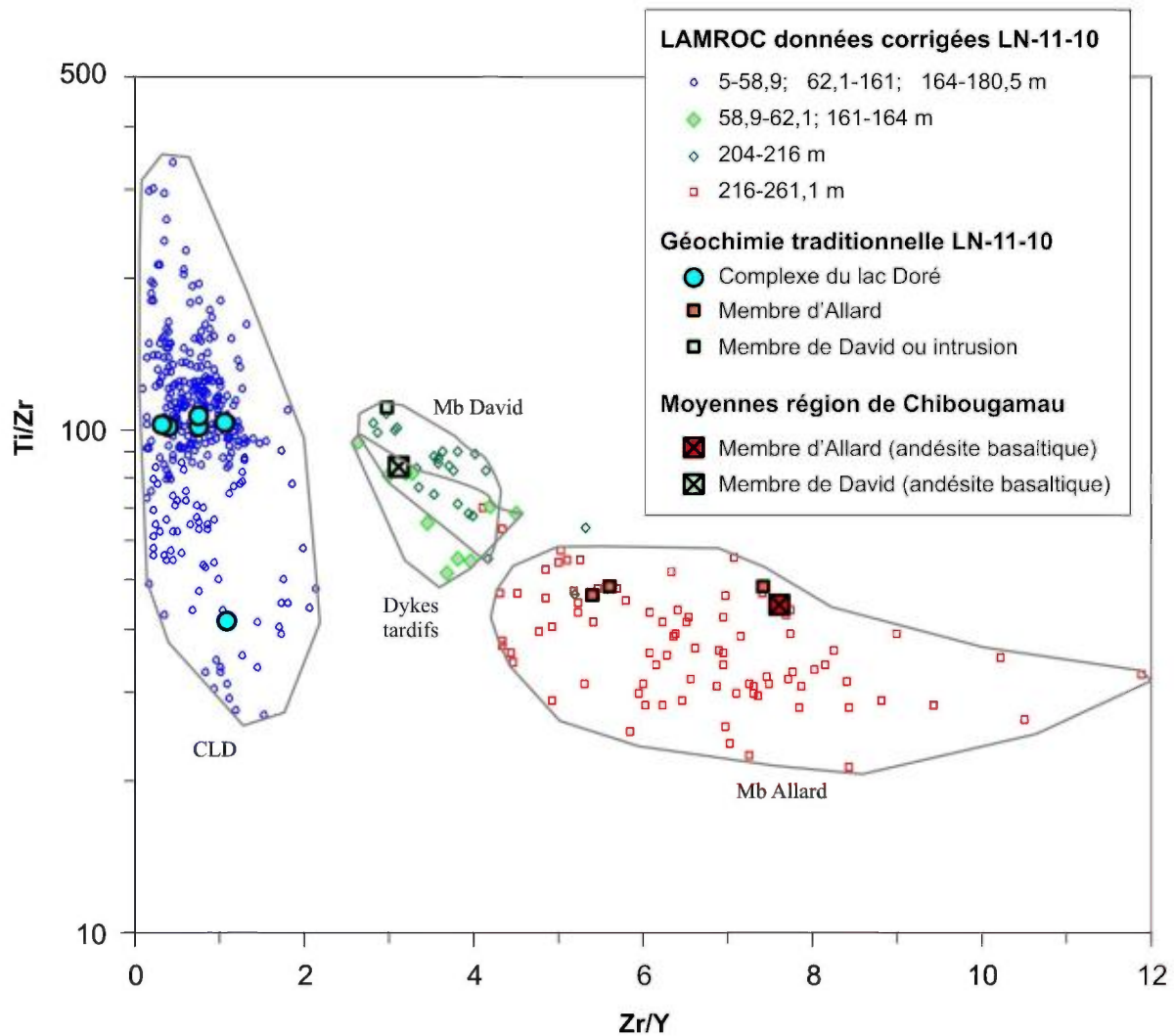


Figure 63. Diagramme Ti/Zr vs. Zr/Y avec les données du LAMROC (moyenne mobile à 3 points) pour le forage LN-11-10. Les analyses géochimiques conventionnelles du même forage sont aussi montrées, de même que les moyennes régionales de certaines unités volcaniques du Groupe de Roy sur le flanc nord du CLD.

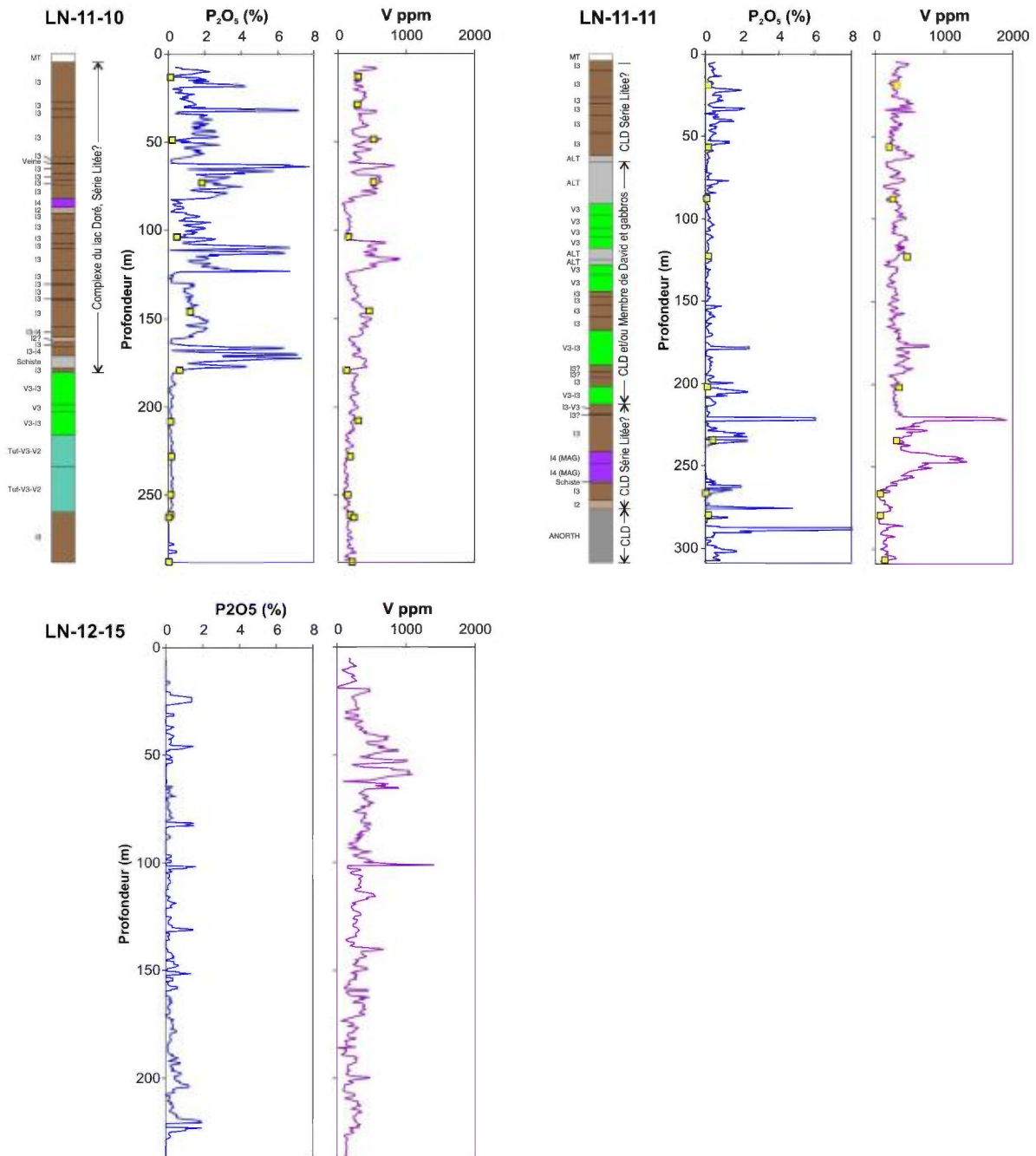


Figure 64. Données brutes du phosphore (mode *mining plus*) et du vanadium (mode *soil*) dans les forages du secteur du lac Taché (moyenne mobile à trois points). Sont aussi montrés pour comparaison les valeurs de géochimie traditionnelle (carrés jaunes) pour les forages LN-11-10 et LN-11-11. La géochimie traditionnelle n'est pas disponible pour le forage LN-12-15.

TABLEAUX

Tableau 1 : Nouvelles analyses géochimiques conventionnelles dans le forage LN-11-10 au sud du lac Taché.

Num. MRN	57034	57035	57036	57037	57038	57039	57040	57041	57042	57043	57044	57045	57046
Lithologie	CLD	CLD	CLD	CLD	CLD	CLD	CLD	David	Allard	Allard	Allard	D.I.G.	D.I.G.
De (m)	13,27	28,95	48,76	72,79	103,75	145,88	179,30	208,21	228,00	249,94	261,25	262,74	287,78
A (m)	13,47	29,15	48,98	72,99	103,93	146,19	179,51	208,43	228,22	250,15	261,43	262,88	288,00
Estant (m)	569009	569006	569003	568999	568994	568987	568982	568978	568975	568972	568971	568970	568967
Nord. (m)	5532445	5532456	5532470	5532487	5532509	5532539	5532563	5532584	5532598	5532614	5532623	5532624	5532642
Élévat. (m)	425,5	414,7	401,0	384,5	363,3	334,4	311,7	292,2	278,9	264,3	256,8	255,8	239,1
<i>Éléments majeurs en %</i>													
SiO ₂	44,92	46,63	37,4	35,4	43,79	43,79	44,16	48,81	55,22	58,07	57,88	51,47	50,9
TiO ₂	1,563	1,611	1,202	1,272	0,269	1,644	0,742	1,557	0,77	0,701	1,013	0,625	0,503
Al ₂ O ₃	14,14	14,8	10,29	10,28	14,2	12,29	13,18	13,79	16,35	15,94	19,02	14,42	15,63
Fe ₂ O ₃ [†]	17,92	16,71	30,22	25,85	19,32	18,58	16,65	16,92	9,2	5,46	6,11	10,85	9,55
MgO	7,62	7,08	6,11	5,46	9,03	5,75	5,44	7,14	4,68	3,29	1,9	7,24	7,2
MnO	0,337	0,353	0,341	0,367	0,295	0,338	0,241	0,369	0,152	0,165	0,084	0,179	0,165
CaO	7,18	5,65	7,96	10,03	5,32	12,01	8,27	5,19	4,62	7,26	4,42	9,17	11,37
Na ₂ O	3,22	3,83	1,99	0,34	3,06	2,36	2,42	4,53	6,33	6,98	7,68	2,61	1,82
K ₂ O	0,43	0,19	0,3	0,33	0,14	0,33	0,05	0,19	0,22	0,04	0,33	1,74	1,11
P ₂ O ₅	0,16	<0,01	0,26	1,9	0,51	1,24	0,66	0,13	0,2	0,17	0,16	0,05	0,05
P.A.F.	2,6	2,79	3,25	7,73	3,56	1,94	8,36	2,29	1,78	0,79	1,26	1,78	1,67
Total	100,1	99,63	99,32	98,96	99,52	100,3	100,2	100,9	99,52	98,87	99,85	100,1	99,97
C	0,05	0,03	0,31	1,39	0,03	0,06	1,42	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02
S	0,08	0,06	2,3	3,28	0,43	1,22	0,37	0,02	0,17	0,02	0,02	0,07	0,08
<i>Éléments traces en ppm</i>													
Ag	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5
Ba	125	52	57	86	54	73	13	58	72	39	121	426	142
Cd	0,6	0,7	1,2	2,8	0,7	1,3	0,9	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5
Ce	57,4	44	51,2	101	26,3	86,3	106	17,4	55,3	21,6	23,3	15	11,1
Co	38	35	146	257	44	111	55	55	38	13	16	41	43
Cr	131	123	104	74	252	83	49	79	49	40	93	191	186
Cu	28	27	637	695	175	778	366	48	61	5	39	99	119
Dy	46,3	42	12,4	16,6	3,56	21,6	20,2	4,52	2,94	2,42	2,74	2,24	1,78
Er	27,3	24,5	6,87	8,75	2,35	11,8	10,1	2,94	1,88	1,55	1,71	1,38	1,13
Eu	2,51	2,11	2,21	1,94	0,819	1,73	3,62	0,992	0,865	0,687	0,942	0,573	0,495
Fe	12,2	12,2	20,3	16,6	13,5	13	10,7	11,2	6,65	3,99	4,34	7,76	6,99
Ga	25	22	26	21	14	22	19	18	18	12	21	14	15
Gd	41	36,2	13	19,4	4	21,6	26,5	4,37	3,31	2,84	3,26	2,2	1,76
Ge	2,2	2	2,1	1,4	1,9	2,6	1,5	2,2	1,1	1,4	1,1	1,9	2,2
Hf	2,7	2,8	1,9	2	0,6	2,7	2,7	2,3	2,6	2,2	3,2	1,3	0,8
Ho	9,47	8,49	2,44	3,15	0,74	4,25	3,72	0,94	0,6	0,5	0,55	0,45	0,38
La	11,3	8,17	13,6	35	9,96	23,5	27,2	6,2	24	8,75	9,78	6,98	4,91
Lu	2,9	2,36	0,839	0,869	0,335	1,31	1,25	0,45	0,293	0,261	0,243	0,201	0,169
Nb	17,9	16,3	3,6	2,3	1,1	10,7	11,3	4,6	4,5	4	4,7	1,9	1,7
Nd	67,3	55	38,4	59,4	13,5	64,4	92,7	10,9	21,8	11,8	11,5	6,84	5,41
Ni	61	60	474	289	184	303	126	82	54	27	35	92	94
Pr	10,2	8,31	7,35	11,9	2,93	12	16,6	2,2	5,4	2,51	2,53	1,55	1,13
Rb	5	2	2	6	2	3	<1	3	5	<1	8	45	37
Sc	35,3	34	27,9	25,1	20,6	34,3	16	32	23,6	21	18,8	34,5	34,2
Sm	28,1	23,6	11,7	15,1	3,49	18,4	26,9	3,41	4,13	2,89	3,04	1,78	1,35
Sr	72	45	24	34	40	84	57	94	165	144	191	159	180
Ta	0,44	0,55	0,06	0,09	0,04	0,36	0,41	0,32	0,39	0,38	0,4	0,2	0,15
Tb	7,42	6,67	2,14	3,01	0,64	3,76	3,93	0,76	0,51	0,43	0,47	0,38	0,29
Th	1,05	1,12	1,69	3,74	1,45	2,4	2,57	0,59	2,06	1,83	1,42	1,81	1,23
Tm	3,84	3,36	0,953	1,2	0,366	1,66	1,44	0,446	0,29	0,244	0,257	0,205	0,165
U	0,16	0,21	0,21	0,53	0,25	0,41	0,65	0,14	0,4	0,22	0,34	0,5	0,37
V	301	287	531	529	154	466	136	302	186	146	181	243	205
Y	272	232	64,7	100	24,8	120	97,9	28,5	18,3	15,5	16,8	14,3	12,4
Yb	22,7	19,4	5,94	6,65	2,34	9,8	8,91	2,85	1,94	1,62	1,67	1,3	1,08
Zn	251	239	257	672	316	370	346	109	122	57	33	112	57
Zr	92	96	70	76	25	93	107	85	99	87	125	45	36

Cordonnées : UTM Nad 83 zone 18.

Abréviations : CLD = Complexe du lac Doré; D.I.G. = Dyke de l'île du Gabbro; P.A.F. = perte au feu.

Méthodes analytiques: fusion ICP-AES (éléments majeurs), C et S par infrarouge, INAA (Cr, Sc), td-ICD-MS (Cu, Ni, Zn), fusion ICP-MS (autres éléments traces). Laboratoire Actlabs (Ancaster, Ontario).

Tableau 2 : Nouvelles analyses géochimiques conventionnelles dans le forage LN-11-11 au sud du lac Taché.

Numéro MRN	57047	57048	57049	57051	57052	57053	57054	57055	57056
Lithologie	CLD	Gabbro?	David	David	David	Gabbro?	Gabbro?	CLD	CLD
De (m)	18,82	56,70	87,93	122,80	202,19	234,3	266,80	279,95	306,65
A (m)	19,00	56,80	88,13	123,00	202,36	234,5	267,00	280,10	306,85
Estant (m)	569058	569058	569057	569056	569056	569057	569058	569059	569060
Nord. (m)	5532443	5532415	5532392	5532366	5532306	5532282	5532257	5532247	5532227
Élévat. (m)	419,7	393,8	372,6	349,2	297,0	276,2	255,3	246,8	229,7
<i>Éléments majeurs en %</i>									
SiO ₂	44,71	42,82	47,42	46,52	45,79	47,17	46,62	43,48	41,8
TiO ₂	1,583	1,812	1,096	2,087	1,677	1,863	2,366	0,295	0,391
Al ₂ O ₃	14	10,65	12,3	12,27	13,34	12,57	12,13	25,72	20,91
Fe ₂ O ₃ [†]	19,04	18,48	17,36	21,23	19,41	13,39	10,69	7,84	10,31
MgO	7,12	5,79	5,24	6,53	6,27	12,29	10,67	2,53	4,38
MnO	0,495	0,429	0,526	0,386	0,403	0,286	0,177	0,118	0,283
CaO	6,34	8,16	4,92	2,58	4,68	6,11	6,62	9,57	8,25
Na ₂ O	3,59	1,26	2,25	2,13	2,74	2,75	1,03	2,54	4,01
K ₂ O	0,15	0,37	0,19	0,09	0,05	0,07	0,01	3,29	0,59
P ₂ O ₅	0,18	0,18	0,12	0,19	0,15	0,42	0,07	0,21	< 0,01
P.A.F.	3,61	8,1	9,43	6,6	4,74	3,87	9,31	5,38	9,57
Total	100,8	98,06	100,9	100,6	99,26	100,8	99,7	101	100,5
C	0,21	1,7	1,93	0,86	0,46	0,04	1,16	0,61	1,64
S	0,37	1,57	0,05	1,24	0,12	< 0,01	0,01	0,51	0,02
<i>Éléments traces en ppm</i>									
Ag	< 0,5	4,5	1,9	1,2	1	1,1	1,3	< 0,5	< 0,5
Ba	37	42	44	12	10	12	< 3	222	58
Cd	0,7	14,6	0,8	1,4	< 0,5	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Ce	42,8	21,1	25,3	12,8	18,6	11,5	11,3	16,7	11,4
Co	70	70	35	89	59	27	26	34	19
Cr	100	21	117	27	50	56	70	16	50
Cu	65	803	41	511	97	8	15	205	2
Dy	21,3	12	6,04	4,95	5,22	11,8	5,12	9,81	3,76
Er	12,9	7,88	3,82	3,29	3,31	6,87	3,7	5,52	2,31
Eu	2,23	1,47	1,33	0,976	1,25	1,22	0,891	1,01	0,815
Fe	12,5	12,1	11,8	14,1	13,1	9,19	7,53	5,51	6,89
Ga	22	17	16	21	19	19	13	20	17
Gd	20,3	10,3	5,57	4,55	4,81	10,8	4,66	8,92	3,69
Ge	2,1	1,2	2,4	1,4	2,2	1,8	2,2	1,1	1,2
Hf	2,5	3,1	2,8	3	2,9	2,9	5	0,6	0,7
Ho	4,42	2,46	1,28	1,08	1,11	2,37	1,13	1,91	0,77
La	11,1	5,58	9,09	4,86	6,32	3	3,52	4,82	2,63
Lu	1,6	0,976	0,553	0,508	0,511	0,903	0,669	0,477	0,311
Nb	10,1	8,5	5,3	5,6	4,7	11,3	7,7	3,1	1
Nd	39,2	19,8	14,7	8,77	12,6	13,5	10,6	16,4	11,4
Ni	108	54	51	22	73	149	30	222	55
Pr	6,69	3,33	3,08	1,61	2,38	1,96	1,77	2,63	1,93
Rb	1	7	2	2	< 1	1	< 1	39	14
Sc	31,6	33	30	36,3	31,6	38,6	46,7	6,6	10,9
Sm	14,4	7,68	4,51	3,04	3,79	6,94	3,51	6,38	3,38
Sr	34	42	28	20	31	23	23	104	77
Ta	0,37	0,43	0,46	0,41	0,83	0,39	0,67	0,08	0,14
Tb	3,56	2	0,99	0,84	0,84	1,92	0,8	1,6	0,61
Th	0,77	0,81	1,01	0,7	0,58	1,64	1,17	1,11	0,36
Tm	1,86	1,18	0,578	0,498	0,51	0,982	0,596	0,754	0,345
U	0,14	0,22	0,22	0,19	0,14	0,31	0,12	0,08	0,08
V	315	208	263	466	352	310	75	79	148
Y	126	71,5	38,5	33,6	33,6	69,5	34	55,5	22,4
Yb	11,4	7,28	3,91	3,54	3,45	6,08	4,13	3,99	2,2
Zn	267	3530	142	397	88	127	214	35	55
Zr	90	106	102	119	108	116	207	22	25

Cordonnées : UTM Nad 83 zone 18.

Méthodes analytiques: fusion ICP-AES (éléments majeurs), C et S par infrarouge, INAA (Cr, Sc), td-ICD-MS (Cu, Ni, Zn), fusion ICP-MS (autres éléments traces). Laboratoire Actlabs (Ancaster, Ontario).

Tableau 3 : Description des meilleurs intervalles à sulfures dans le forage LN-12-15.

De (m)	À (m)	Description	Cu (%)	Zn (%)
92,8	93,7	Py massive à semi-massive dans schistes chloriteux. Cpy tardive dans des fractures et autour des grains de py	0,21	0,01
100,5	101,3	Py massive à semi-massive dans schistes chloriteux	0,19	0,01
103,5	109,3	Roche « felsique et cherteuse » chloritisée, d'apparence bréchique, cimentée par 20-25% po et 1% cpy en « blebs » et « patches »	0,40	0,03
150,2	152,4	« Tuf felsique », fracturé, avec 20% po et cpy mineure	0,31	0,04
155,5	163,1	Tuf « felsique » chloritisé avec sections de po semi-massive (10-40%) et py-cpy mineures	0,32	0,03
182,2	185,3	Tuf « cherteux » avec stringers de po	0,53	0,01
187,1	189,4	Gabbro à grain fin, chloritisé, avec py-po-cpy dans les fractures	0,63	0,02

Source des données : Claude Larouche, commun. pers., 2012

Abréviations : Cpy = chalcopyrite, po = pyrrhotite, py = pyrite.

Tableau 4 : Codes lithologiques employés dans les figures.

Code	Signification	Code	Signification
Amyg	Amygdalaire	MAG, MG	Magnétique
ANOR, ANORTH	Anorthosite ou anorthositique	MT	Mort-terrain
AND	Andésite (selon la description originale)	PO	Pyrrhotite
ALT	Altéré	PY	Pyrite
Bx	Bréchique	QFP	Porphyrique à quartz et feldspath
Cous	Coussiné	QP	Porphyrique à quartz
DIO	Diorite	RHY	Rhyolite (selon la description originale)
FLE	Faille	SED	Roches sédimentaires
GAB	Gabbro	SM	Sulfures massifs
I1	Dyke ou intrusion felsique	Tuf	Roches volcanoclastiques
I2	Dyke ou intrusion intermédiaire	V1	Roches volcaniques felsiques
I3	Dyke ou intrusion mafique	V2	Roches volcaniques intermédiaires
I4	Dyke ou intrusion ultramafique	V3	Roches volcaniques mafiques
M	Massif	Vn	Veine

WWW.INRS.CA

