

Modèle 3D géo-intégré de la partie sud du camp minier de Chibougamau : Phase 1 de 2

Francine Fallara¹, Patrice Roy², Olivier Rabeau¹, Li Zhen Cheng¹, Patrick Houle²
et Pierre Pilote²

RP 2009-07

Mots clés : Chibougamau, modélisation 3D, inversions géophysiques 3D

Résumé

Ce projet s'inscrit dans le cadre du Plan cuivre du MRNF et de l'Initiative géoscientifique ciblée (ICG-3) de la Commission géologique du Canada (CGC). Le modèle 3D géo-intégré fut réalisé en collaboration avec les compagnies minières actives dans la région. Ce modèle couvre le flanc sud de l'Anticlinal de Chibougamau, incluant la bande volcanosédimentaire au sud et une partie du Pluton de Chibougamau.

Les objectifs principaux de la phase I de la modélisation 3D géo-intégrée de la partie sud du camp minier de Chibougamau sont de :

- 1 - Intégrer et optimiser les données pluridisciplinaires disponibles sur une même plate-forme.
- 2 - Construire un modèle régional 3D géo-intégré utilisant les mises à jour cartographiques.
- 3 - Valider le modèle 3D géologique en réalisant des inversions géophysiques non contraintes au modèle.

Le résultat principal de cette première partie d'étude est la réalisation conjointe de la carte géologique et du modèle géologique 3D par un processus de validation itératif qui a permis d'optimiser l'emploi des données disponibles et de produire un modèle géologique en 3D. Ce modèle 3D intègre les surfaces tridimensionnelles et les régions (volumes) géologiques, les forages et les inversions géophysiques non contraintes.

1- Unité de recherche et de service en technologie minérale –
Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (URSTM-UQAT)

2- Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF)

INTRODUCTION

En 2006, l'URSTM-UQAT et le MRNF ont débuté une compilation de l'ensemble des données géologiques, géochimiques et géophysiques de la partie sud du camp minier de Chibougamau, dans le but de construire un modèle 3D géo-intégré. Ce modèle fut réalisé en partenariat avec les principales compagnies minières actives dans le secteur : Lounor Exploration, IamGold Corporation, Novawest, Ressources Campbell, Ressources Cartier, Ressources Cogitore et SOQUEM.

La région couverte par le modèle se trouve à 25 km au sud de Chibougamau. Elle délimite le flanc sud du Complexe du lac Doré, inclut le sud du Pluton de Chibougamau (PC) et la bande volcanique sud du Groupe de Roy, jusqu'au pluton de La Dauversière (PL; figure 1). Cette région a été sélectionnée en raison de l'importance de ses minéralisations de cuivre et d'or, dont l'ancienne mine Lemoine (SMV – sulfures massifs volcanogènes), le gisement Corner Bay et les gîtes historiques Devlin, Copper Ouest et East Showing (figure 1b). Donc, elle possède un bon potentiel pour la découverte de dépôts des types SMV, Cu-Au porphyrique, veines Cu-Au de type Chibougamau et or orogénique. De plus, en parallèle avec la modélisation 3D, le MRNF a complété en 2007 des travaux de vérification géologique et d'échantillonnage sur le terrain. Ces données nous permettent de préciser la géologie et la stratigraphie de ce secteur. Enfin, un nouveau levé MEGATEM, réalisé en 2006 par la CGC, couvre une bonne partie de la région (Kiss et Oneschuk, 2007).

La phase I de la modélisation 3D géo-intégrée de la partie sud du camp minier de Chibougamau regroupe trois objectifs principaux :

- 1- Construire un modèle volumétrique régional 3D en utilisant les mises à jour cartographiques et les coupes géologiques;
- 2- Intégrer et optimiser les données pluridisciplinaires disponibles sur une même plate-forme de modélisation en 3D;
- 3- Valider la géologie en surface et en profondeur à l'aide des inversions géophysiques non contraintes.

CONSTRUCTION DU MODÈLE 3D GÉO-INTÉGRÉ

Les principales étapes pour bâtir le modèle volumétrique tridimensionnel ont été :

- 1- La mise à jour de la cartographie régionale;
- 2- L'interprétation de 10 sections régionales et de 25 sections détaillées dans le secteur de la mine Lemoine (figure 2a);

3- L'intégration de la géologie de surface (2D) avec les sections afin de tracer les contacts lithologiques et les failles en 3D (figure 2b).

Le modèle 3D géo-intégré résultant est constitué de 546 surfaces 3D représentées par 372 contacts lithologiques et 174 failles (figure 2b) à l'intérieur d'un voxel (volume borné par les limites du modèle et divisé en plusieurs cellules; Fallara *et al.*, 2003 et 2004) de 36 km x 23 km x 1,5 km. Ces surfaces définissent 38 régions (corps géologiques, figure 3) formées de presque 10 millions de cellules d'un volume de 50 m³.

Afin de compléter le modèle 3D géo-intégré du secteur étudié (partie sud du camp minier de Chibougamau), il faut inclure l'ensemble des données sur la plateforme GOCAD®. Les principaux éléments qui ont été utilisés pour la construction du modèle sont (en date du 18 mars 2008) :

- 1- 130 000 points d'élévation topographique (DEM) pour la construction de la surface topographique;
- 2- Les données de 1428 forages aux diamants :
 - Données de collets et orientations des forages;
 - Pourcentage des sulfures;
 - Degré de déformation (0 à 5);
 - 21 754 teneurs;
 - 1467 analyses lithogéochimiques;
- 3- Les données de surface (2D) :
 - a- Données quantitatives :
 - 514 teneurs;
 - 1659 analyses lithogéochimiques;
 - b- Données qualitatives :
 - Altérations et minéralisation observées;
- 4- L'extraction des diverses données géophysiques.

Dans un contexte d'exploration minérale avancée la modélisation 3D est un outil d'exploration très utile qui permet d'obtenir un modèle dynamique et évolutif pouvant être bonifié avec l'apport de nouvelles données (Fallara *et al.*, 2003 et 2004). Le modèle 3D géo-intégré de la partie sud du camp minier de Chibougamau va permettre une meilleure visualisation et compréhension tridimensionnelle ainsi qu'une utilisation maximum des données compilées permettant de définir de nouvelles zones minéralisées potentielles (phase II).

INVERSIONS GÉOPHYSIQUES NON CONTRAINTES

Pour le modèle 3D de la partie sud du camp minier de Chibougamau, l'inversion magnétique fût réalisée avec le logiciel GOCAD® et les logiciels d'inversion géophysique de l'Université de Colombie-Britannique (Li et Oldenburg, 1996). Cette technique permet de produire un modèle 3D de la distribution des valeurs de susceptibilité magnétique pouvant expliquer le champ magnétique mesuré lors d'un levé de surface ou aéroporté. En comparant les résultats

d'une inversion de ce type avec le modèle 3D géologique, il est possible d'établir une correspondance entre la distribution de la susceptibilité magnétique et les diverses unités géologiques et d'identifier des secteurs problématiques où de nouvelles interprétations géologiques seraient nécessaires.

Plus de 540 000 données magnétiques ont été utilisées lors des inversions géophysiques non contraintes au modèle 3D géo-intégré du secteur étudié. Ces inversions ont été effectuées en quatre étapes :

- 1- Compilation des données :
 - a- Levés aéromagnétiques (altitude de 120 m et résolution moyenne de 100 m); (Dion et Lefebvre, 1997 et 1999)
 - b- Levé électromagnétique hélicoptère (altitude de 45 m); (Dion et Lefebvre, 1999)
 - c- Nouveau levé MEGATEM de haute résolution (altitude de 120 m et résolution moyenne de 100 m); (Kiss et Oneschuk, 2007; Dumont et Potvin, 2006)
- 2- Réduction des anomalies résiduelles;
- 3- Estimation de la profondeur des sources principales des anomalies magnétiques à l'échelle régionale;
- 4- Interprétation des anomalies résiduelles en fonction des contraintes géologiques (données de surface).

L'inversion tridimensionnelle non contrainte des données magnétiques a permis de définir la distribution de la susceptibilité en fonction de la profondeur. À l'échelle régionale, cette inversion permet d'étudier l'hétérogénéité de la composition de la croûte supérieure. Nous avons effectué cette inversion dans un bloc de 90,8 km (E-W) sur 69,1 km (N-S) jusqu'à 10 km de profondeur. Selon le résultat d'inversion (figures 4a et 4b) les complexes de Cummings et du Lac Doré sont marqués par une anomalie magnétique élevée qui correspond à une susceptibilité de plus de 0,05 SI (unité du système international).

La figure 4c montre la distribution des isosurfaces des susceptibilités de 0,100 SI et de 0,075 SI combinées à la géologie. La susceptibilité magnétique est plus élevée à l'intérieur de cette isosurface qu'à l'extérieur. Les enveloppes de susceptibilité élevée (0,1 et 0,075 SI) sont associées aux unités ultramafiques et à la série litée du Complexe du Lac Doré contenant de la magnétite hôte des gisements magmatiques de Fe-Ti-V (figures 3 et 4c). Presque tous les gisements du type SMV se situent dans la zone de basse susceptibilité (triangles rouges, figures 3 et 4c) incluant la mine Lemoine.

CONCLUSION ET TRAVAUX À VENIR

Lors de la phase I du projet, nous avons complété la construction du modèle 3D volumétrique et intégré l'ensemble des données de compilation à l'intérieur du voxel. Il en résulte un modèle 3D géo-intégré de la partie

sud du camp minier de Chibougamau qui servira de base pour l'identification de secteurs propices à la découverte de nouveaux indices (phase II).

Les résultats d'inversions géophysiques non contraintes ont permis de reconnaître les enveloppes de susceptibilité élevée et de les associer aux unités ultramafiques et à la série litée du Complexe du Lac Doré contenant de la magnétite hôte des gisements magmatiques de Fe-Ti-V.

Pour connaître en détail la relation entre les diverses unités géologiques et les zones favorisant la minéralisation et leur relation spatiale avec la distribution des valeurs de susceptibilité magnétique, des inversions de haute résolution seront réalisées dans le cadre de la phase II du projet. Notamment, ces inversions pourront être utiles pour déceler les zones favorables pour les porphyres Cu-Au, auxquels sont associées des veines et brèches à magnétite, à l'intérieur du Pluton de Chibougamau. Ces inversions (non contraintes et contraintes) seront basées sur des cellules de 100 m ou de 50 m.

Le modèle 3D géo-intégré de la partie sud du camp minier de Chibougamau sera utilisé dans la phase II du projet, comme outil d'exploration dans le cadre d'une approche d'évaluation métallogénique basée sur des modèles géologiques connus et applicables à la région pour identifier des :

- marqueurs lithostratigraphiques et structuraux;
- zones d'altération géochimique;
- concentrations importantes en métaux;
- couloirs de déformation importants;
- réseaux de fractures.

Ainsi, à l'aide des nouvelles données de terrain du MRNF, des données géologiques, géophysiques et géochimiques et des modèles géologiques connus, nous établirons des requêtes interactives afin d'identifier de nouveaux secteurs propices à l'exploration pour l'or et les métaux de base en exploitant les données disponibles à leur pleine capacité.

REMERCIEMENTS

Steve Larouche et Jean Descarreaux ont contribué de façon significative aux travaux de compilation et d'acquisition de données. Natalie Pacheco, Charles Jacques, Gabriel Richard et Stéphane St-Louis nous ont assisté dans les travaux de compilation et les travaux de terrain. Suzanne Côté, Francine Lavoie, Rachel Guillemette et Patrick Olivier ont aidé aux divers transferts de données du MRNF.

Alexandra Fliszar a aidé à l'intégration des forages. David Bouchard et Stéphane Poitras ont standardisé les nombreuses banques de données.

Nous remercions Gabriel Morin pour le traitement de données et son assistance pour la construction de surfaces 3D, ainsi que, Charlotte Grenier, André Tremblay et Johanne Jobidon pour leur assistance en graphisme.

Finalement, nous remercions aussi François Leclerc (INRS-ETE), Jean Bédard, Benoit Dubé, Pierre Keating (Commission Géologique du Canada) et Marie-France Bugnon (IamGold Corporation), Benoit Lafrance, Gérald Riverin, Tony Brisson, Éric Gilbert, Christian Martel (Ressources Cogitore), Alain Blais, Jean Girard (Ressources Campbell), Julien Gadoury (Lounor Exploration), Philippe D'Amboise et Laury Schmitt (SOQUEM), Glenn McCormick et Robert Stewart (Novawest).

RÉFÉRENCES

- DAIGNEAULT, R. – ALLARD, G.O., 1994 – Transformation of Archean structural inheritance at the Grenvillian Foreland Parautochthonous Transition Zone, Chibougamau, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 31, pages 470-488.
- DION, D.J. – LEFEBVRE, D., 1999 – Données numériques (profils) des levés géophysiques aéroportés du Québec (haute résolution). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; DP-96-14.
- DION, D.J. – LEFEBVRE, D., 1997 – Données numériques (profils) des levés géophysiques aéroportés du Québec – SNRC 32G et 32H. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; DP-96-05.
- DUMONT, R. – POTVIN, J., 2006 – Levé magnétique et électromagnétique MEGATEM II dans la région de Chibougamau-Chapais. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; DP 2006-03, 28 cartes, données numériques (profils).
- FALLARA, F. – LEGAULT, M. – PERRON, G., 2003 – Modèle 3D géo-intégré : Un nouvel outil d'exploration appliqué aux camps miniers de Joutel et de Duparquet, Abitibi. [http:// www.mrnfp.gouv.qc.ca/mines/quebec-mines/2003-02/modele_3d.jsp](http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/mines/quebec-mines/2003-02/modele_3d.jsp)
- FALLARA, F. – LEGAULT, M. – RABEAU, O., 2004 – 3D Integrated Geological Modelling in the Abitibi Subprovince (Quebec): Techniques and Applications. *Exploration and Mining Geology*; January 2006, volume 15, No. 1-2, pages 27-43.
- KISS, F. – ONESCHUK, D., 2007 – Levé magnétique et électromagnétique MEGATEM II dans la région de Chibougamau - lac aux Dorés, Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; DP 2007-02, 11 pages, 5 cartes, données numériques (profils).
- LI, Y. – OLDENBURG D.W., 1996 – 3-D inversion of magnetic data. *Geophysics*; volume 61, No. 2, pages 394-408.
- ROY, P. – FALLARA, F. – HOULE, P. – CHENG, L.Z. – RABEAU, O. – BLAIS, A. – LAFRANCE, B. – LECLERC, F. – PILOTE, P. – RIVERIN, G. – SCHMITT, L., 2007 – Étude sur le flanc sud du Complexe du Lac Doré, Chibougamau: stratigraphie, veines Cu-Au et modèle 3D préliminaire. *Dans* : Résumés des conférences et des photoprésentations, Québec exploration 2007. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; DV 2007-04, page 35.

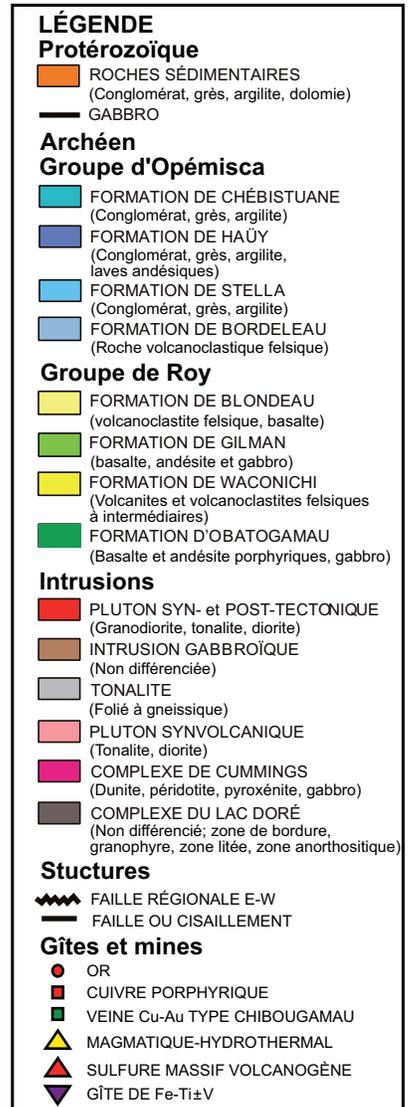
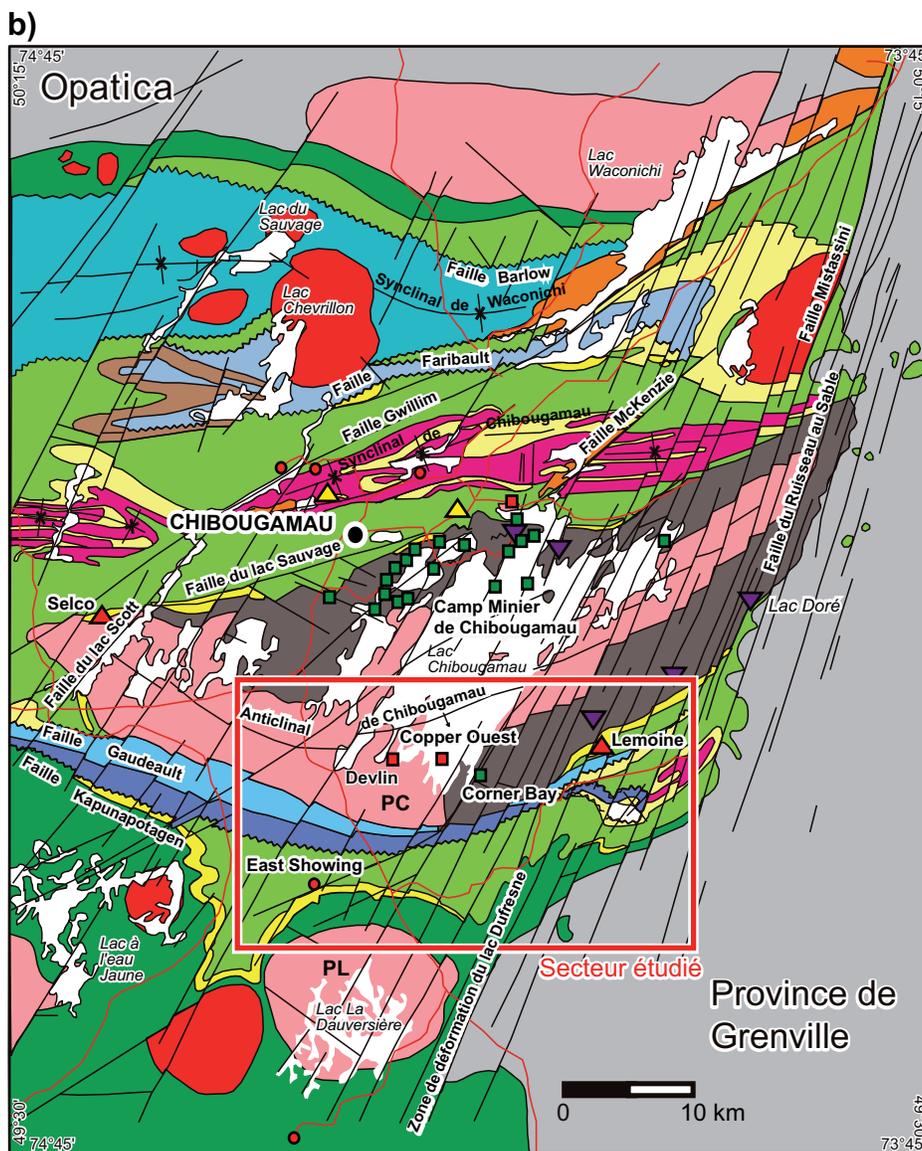
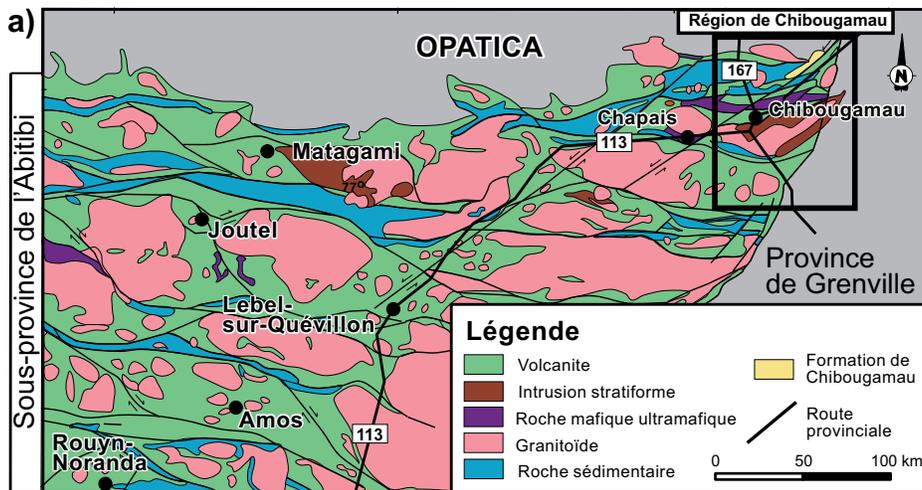


Figure 1 - a) Localisation de la région de Chibougamau; b) Géologie de la région de Chibougamau, modifiée de Roy *et al.* (2007) et de Daigneault et Allard (1994) et localisation du secteur étudié (voxelet du modèle 3D). PC = Pluton de Chibougamau; PL = Pluton de La Dauversière.

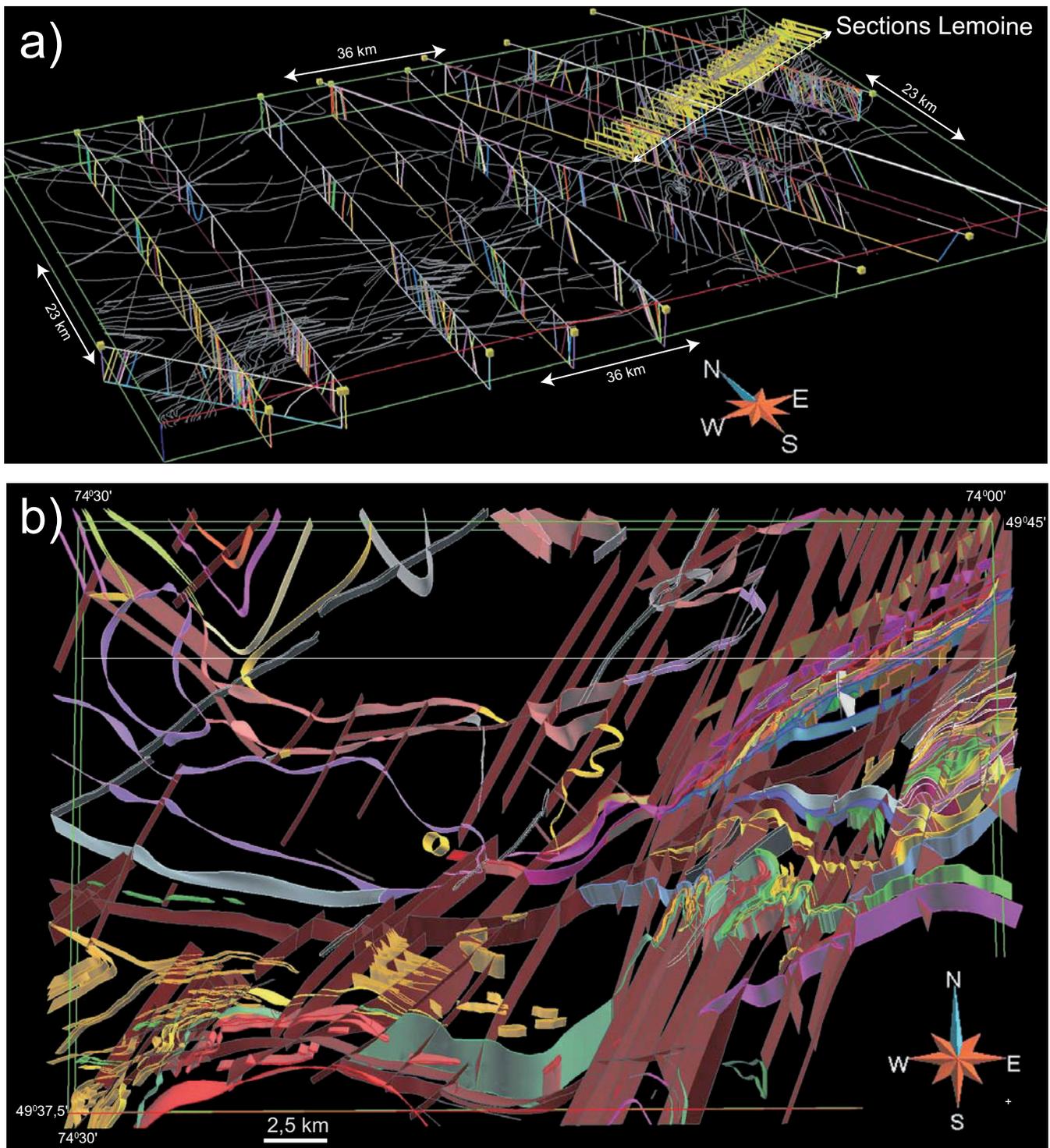


Figure 2 - Éléments utilisés pour la construction du modèle 3D géo-intégré. **a)** Distribution des 10 sections fournies et interprétées par le MNRF et des 25 sections détaillées pour le secteur de la mine Lemoine fournies par Ressources Cogitore à l'intérieur du voxel du modèle 3D géo-intégré de la partie sud du camp minier de Chibougamau. **b)** Squelette du modèle 3D composé de 546 surfaces tridimensionnelles dont 372 contacts lithologiques et 174 failles à l'intérieur du voxel mesurant 36 km E-W sur 23 km NS et 1,5 km de profond.

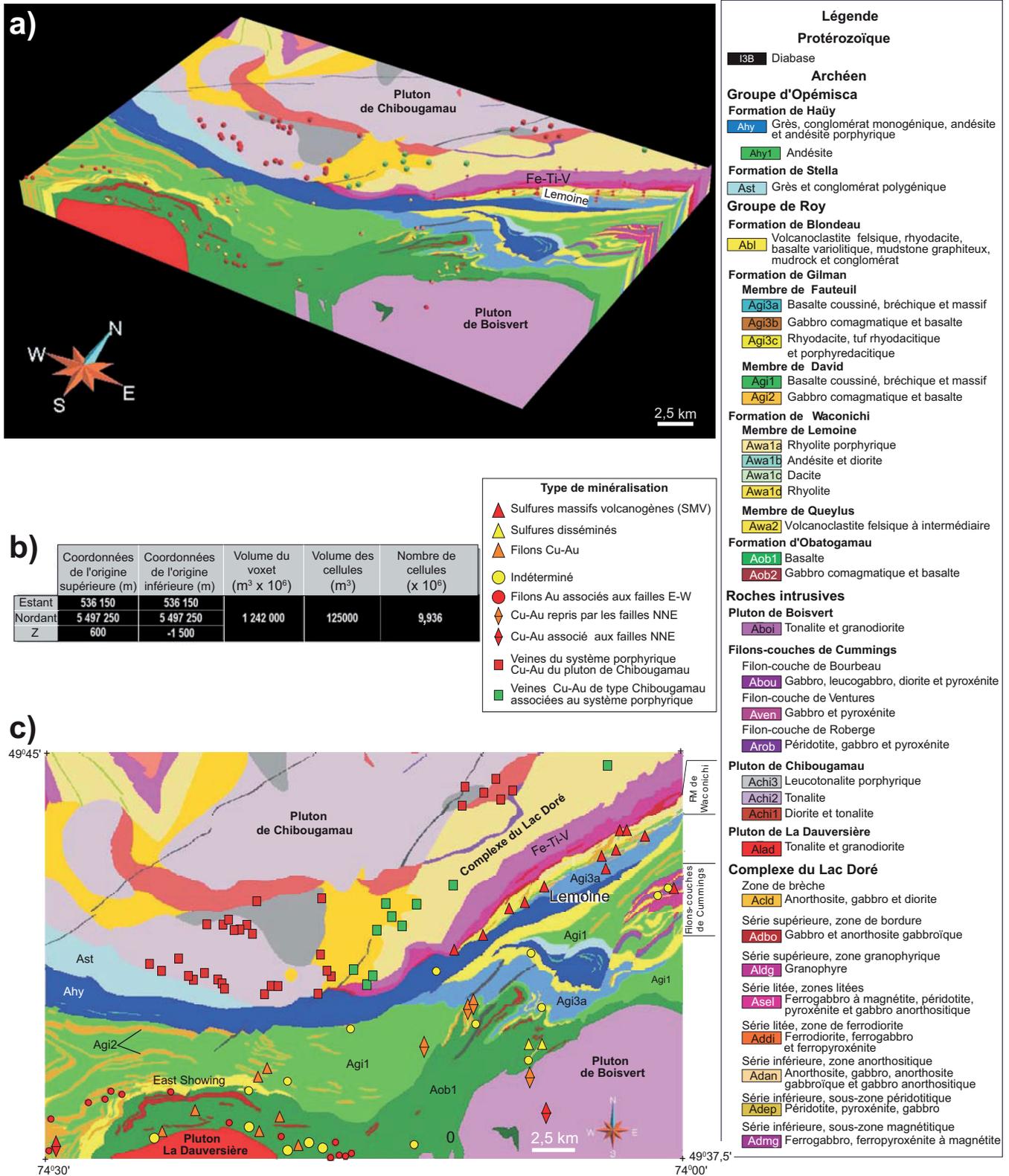


Figure 3 - Voxel du modèle 3D de la partie sud du camp minier de Chibougamau. **a)** Vue en perspective, de la distribution des divers types de minéralisation dans le voxel. **b)** Dimensions et volume du voxel et des cellules du modèle 3D. Les coordonnées sont en UTM, NAD 83, Zone 18. **c)** Vue en plan, des divers types de minéralisation. La légende géologique provient des travaux de Roy *et al.* (2007).

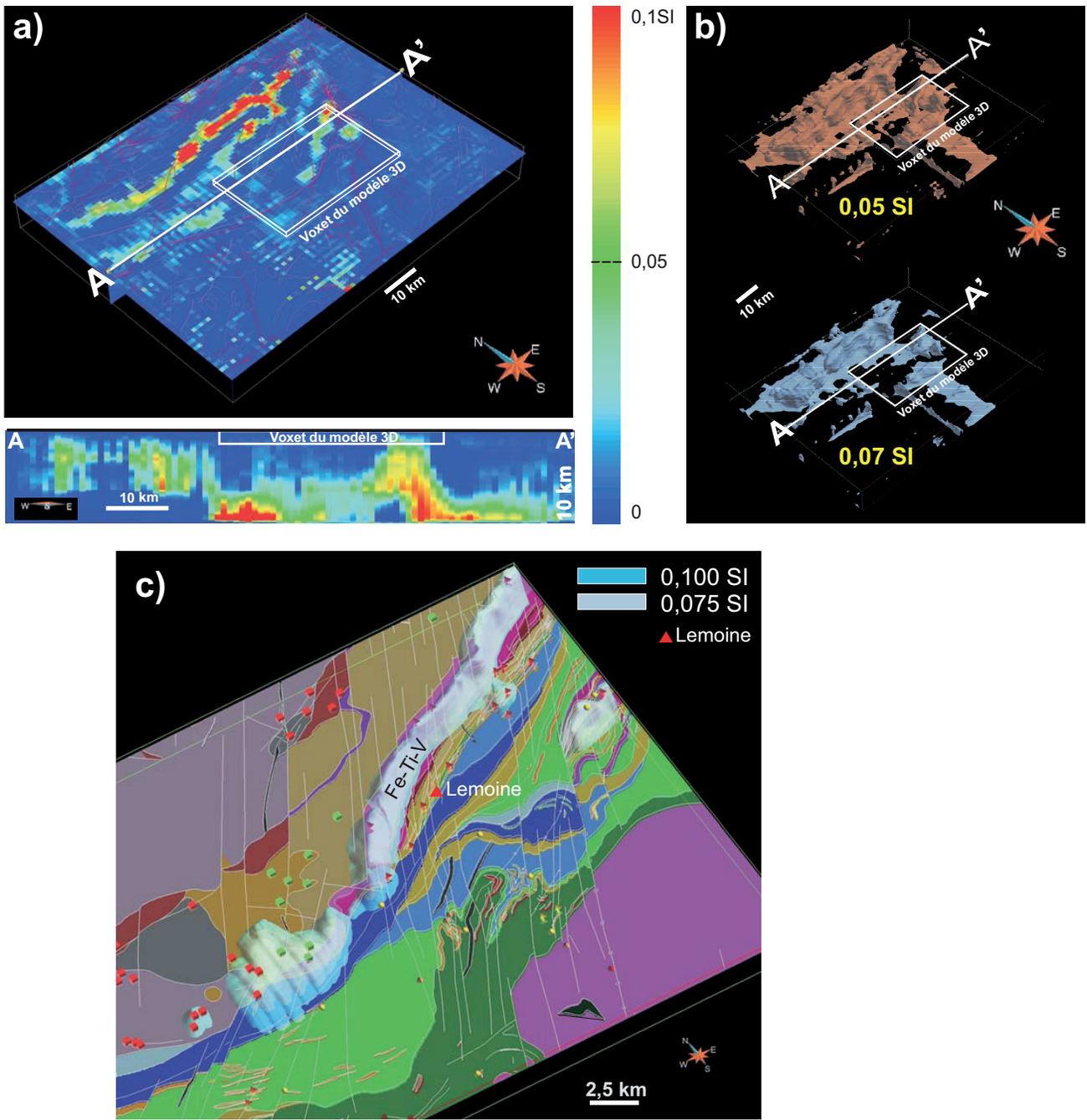


Figure 4 - Inversions géophysiques non contraintes. **a)** Distribution de la susceptibilité magnétique à 10 km de profondeur. **b)** Isosurfaces de susceptibilité (0,05 et 0,07 SI) provenant de l'inversion non contrainte régionale représentant le Complexe de Cummings. **c)** Isosurfaces de susceptibilité (0,100 et 0,075 SI) combinées à la géologie (mise en transparence) et aux indices de la région de la partie sud du camp minier de Chibougamau (voir la légende à la figure 3).