
ANALYSE DES LINÉAMENTS GÉOPHYSIQUES EN RELATION AVEC LES MINÉRALISATIONS EN OR ET MÉTAUX DE BASE DE L'ABITIBI

Projet 2000-03A

Par : Stéphane Faure, Ph. D.
2001



CONSOREM

Consortium de recherche
en exploration minérale

AVERTISSEMENT

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

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

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

Faure, S., 2001. Analyse des linéaments géophysiques en relation avec les minéralisations en or et métaux de base de l'Abitibi. Rapport, Projet CONSOREM 2000-03A, 26 p.

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

CONSOREM

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

Tél. : (418) 545-5011 poste 5634

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

RÉSUMÉ

L'interprétation des linéaments géophysiques de l'Abitibi à partir des données magnétiques (champ total et 1^{ère} dérivée verticale) et des données électromagnétiques (anomalies INPUT) aéroportées permet d'établir une corrélation entre la minéralisation et certaines familles de linéaments. Une méthodologie est proposée pour le traçage des linéaments. Quatre types de linéaments ont ensuite été identifiés sur la base de caractéristiques géophysiques et géométriques : les linéaments concordants, sécants, d'entraînement et les structures circulaires.

Les linéaments concordants magnétiques sont parallèles à certaines crêtes fortement magnétiques, linéaires, et à angle par rapport au grain régional. Ils sont interprétés pour la plupart comme des dykes de diabase protérozoïques. D'autres linéaments concordants et parallèles aux axes d'anomalies INPUT sont interprétés en termes de niveaux graphiteux et de failles parallèles au grain tectonique.

Les linéaments sécants sont définis à partir des discontinuités abruptes ou des bris nets de susceptibilité magnétique ou d'interruptions d'axes d'anomalies INPUT. Ils sont généralement à un angle supérieur à 30 degrés par rapport au grain magnétique et tectonique de l'Abitibi. Ils sont interprétés comme des failles « cassantes » parce qu'il y a parfois des déplacements latéraux sans entraînement du grain magnétique de part et d'autre de leur bordure. Cinq familles de linéaments sécants ont ainsi été discriminées sur une base statistique par orientations prédominantes: 1) les linéaments NNE sont interprétés comme des failles associées aux fronts tectoniques de Grenville et de Kapuskasing; 2) ceux orientés NE se corrént à des failles archéennes précoces et des couloirs de déformation orogéniques; 3) les linéaments ENE et ESE sont interprétés comme des failles subsidiaires aux couloirs de déformation archéens E-O de l'Abitibi; 4) le système SE se corréle à des failles syn-volcaniques ou au graben protérozoïque du Timiskaming; 5) les linéaments N-S seraient liés à des événements protérozoïques (Graben du Kapuskasing et dykes de diabase).

Les linéaments d'entraînement sont caractérisés par le plissement du rubanement magnétique ou de séries d'anomalies INPUT en bordure de creux magnétiques continus et parallèles au grain tectonique. Ces linéaments peuvent atteindre une centaine de kilomètres de longueur et sont interprétés comme des corridors de déformation ductile séparant des domaines magnétiques et gravimétriques distincts.

L'ensemble des linéaments géophysiques a été mis ensuite en perspective avec la minéralisation aurifère et en métaux de base de l'Abitibi. Les relations topologiques basées sur la proximité des indices et des mines par rapport aux linéaments ont permis de distinguer des caractéristiques propres à chacune des familles de linéaments. Les familles de linéaments les plus susceptibles d'abriter des indices ou des mines d'or et de métaux de base sont les linéaments sécants et d'entraînement ENE-ESE, et les linéaments sécants NE et SE. Le nombre de mines et d'indices d'or est maximal sur ou près des linéaments ENE-ESE et SE, mais il diminue de plus de 50 % après le premier 1,5 km. Par contre, le long des linéaments NE, le nombre de mines d'or et de métaux de base est maximal entre 1 et 1,5 km de distance des linéaments. Ces différences tendent à s'amenuiser pour toutes les familles au-delà de 1,5 km de distance des linéaments. Cette constatation permet de proposer un modèle métallogénique reposant essentiellement sur la distribution de la minéralisation par rapport aux linéaments.

Enfin, une carte des intersections des linéaments favorables ENE-ESE, NE et SE a permis de visualiser la paléo-perméabilité du système hydrothermal en présumant que les intersections correspondent à des conduits pour les fluides. La distribution spatiale des intersections a été comparée à celle des indices et mines d'or et de métaux de base. Dans le sud de l'Abitibi, il apparaît que les régions avec les densités d'intersections les plus élevées correspondent à l'emplacement de la majorité des mines et des indices en or et métaux de base. La même relation est visible au nord de l'Abitibi pour les métaux de base : pour les indices et les mines d'or, un décalage vers le sud par rapport aux régions de densités élevées d'intersections se distingue nettement.

TABLE DES MATIÈRES

Avertissement.....	i
Résumé	ii
Table des matières	iii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux.....	v
1 INTRODUCTION.....	1
2 MÉTHODOLOGIE	1
2.1 Sources des données.....	1
2.2 Notions sur les linéaments	2
2.3 Types de données et de traitements	2
2.4 Types de linéaments	4
2.5 Résultats.....	5
2.5.1 Linéaments magnétiques sécants.....	5
2.5.2 Les linéaments d'entraînement	6
2.5.3 Linéaments électromagnétiques.....	7
2.5.4 Linéaments magnétiques concordants (dykes protérozoïques).....	9
2.5.5 Anomalies magnétiques circulaires	9
3 ÉTUDE STATISTIQUE SUR LES LINÉAMENTS SÉCANTS.....	10
3.1 Séparation des linéaments sécants en différentes familles	11
4 DISTRIBUTION SPATIALE DE LA MINÉRALISATION EN ABITIBI	14
4.1 Méthodes pour tracer les axes minéralisés.....	15
4.2 Résultats sur les axes minéralisés	16
5 CORRÉLATION ENTRE LES LINÉAMENTS ET LA MINÉRALISATION	18
5.1 Analyse topologique autour de tous les linéaments	19
5.2 Étude de proximité par familles de linéaments.....	20
5.3 Implication pour l'exploration	22
5.4 Modèle métallogénique	22
5.5 Intersections des linéaments	23
5.6 Secteurs d'intérêts pour l'exploration	23
6 CONCLUSION	24
Références	26

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Exemples de traitements et de reconnaissance de linéaments géophysiques	3
Figure 2.	Types de linéaments géophysiques interprétés ; A) sécants, B) entraînement.	4
Figure 3.	Linéaments magnétiques sécants interprétés sur l'ensemble de l'Abitibi.	6
Figure 4.	Exemples de linéaments d'entraînement magnétiques interprétés sur le champ magnétique total dans le secteur Malartic et Val-d'Or (en haut). L'ensemble des 101 linéaments d'entraînement à l'échelle de l'Abitibi avec la rosace de distribution des orientations.....	7
Figure 5.	Linéaments sécants interprétés à partir de ruptures de conducteurs INPUT formationnels à l'échelle de l'Abitibi avec un détail présenté dans la fenêtre (haut à gauche) qui correspond au carré rouge. Rosace des directions de l'ensemble de la population.....	8
Figure 6.	Linéaments électromagnétiques concordants aux conducteurs INPUT formationnels à l'échelle de l'Abitibi avec un détail présenté dans la fenêtre (haut à gauche) qui correspond au carré rouge. Rosace des directions de l'ensemble de la population.	8
Figure 7.	Diabases interprétés à partir des crêtes magnétiques continues et à angle par rapport au grain magnétique.....	9
Figure 8.	Sphéricité des anomalies circulaires magnétiques en fonction de l'âge des plutons.....	10
Figure 9.	L'ensemble des linéaments sécants (magnétiques et INPUT) à l'échelle de l'Abitibi et les rosaces d'orientation des linéaments et les différentes familles.	11
Figure 10.	Histogramme de distribution des directions de linéaments sécants et d'entraînement.....	11
Figure 11.	Distribution spatiale des 5 familles de linéaments sécants discriminées statistiquement.....	12
Figure 12.	Corrélation des familles de linéaments sécants par rapport à différentes structures régionales.....	12
Figure 13.	Corrélations des linéaments sécants N-S et NNE par rapport à différentes structures régionales.....	13
Figure 14.	Distribution spatiale de la minéralisation en Abitibi exprimée sous forme de densité.	15
Figure 15.	Exemples d'axes minéralisés dans les camps de Noranda (indices et mines de MB : métaux de base) et de Timmins (indices et mines d'or).	16
Figure 16.	Grands axes minéralisés de l'Abitibi (MB : métaux de base).	17
Figure 17.	Rosaces des axes minéralisés de l'Abitibi (azimut – fréquence).....	18
Figure 18.	Rosaces des axes minéralisés (azimut – longueur).	18
Figure 19.	Lien entre tous les linéaments géophysiques et la minéralisation en métaux de base de l'Abitibi. Les lignes en tirets bleus représentent les contours des zones tampons de 0,5 km de largeur de part et d'autre des linéaments sécants et d'entraînement.....	19
Figure 20.	Linéaments géophysiques porteurs de minéralisation (zone tampon de 1 km de largeur). FH : Faille Harricana; FL : Faille Lamarck ; FPD : Faille Porcupine-Destor; FLLJ : Lyndhurst – Landrienne – Jolin ; FAM : Faille Aumaque – Manitou.....	19
Figure 21.	Exemple des zones tampons autour des linéaments NE.	21
Figure 22.	Histogrammes de variation du nombre d'indices ou mines par rapport à la distance aux linéaments.....	21
Figure 23.	Exemple de positions théoriques de mines par rapport à l'orientation des linéaments et l'implication pour l'exploration.	22
Figure 24.	Modèle métallogénique.....	23

Figure 25. Points d'intersections entre les familles de linéaments sécants NE, ENE-ESE ainsi qu'avec les linéaments d'entraînement.	24
Figure 26. Densité de points d'intersection de linéaments géophysiques et secteurs d'intérêts comparés à la position des indices et mines d'or ou de métaux de bases de l'Abitibi.	24

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Types de linéaments et statistiques.	5
Tableau 2. Synthèse des familles (linéaments magnétiques et INPUT sécants).	13
Tableau 3. Synthèse des axes minéralisés.	17

1 INTRODUCTION

Le projet de caractérisation des linéaments géophysiques à l'échelle de la sous-province de l'Abitibi a été réalisé par le CONSOREM dans le cadre de l'intégration de données régionales pour l'exploration minière. L'objectif du projet thématique était d'établir les relations spatiales entre les accidents géophysiques et les minéralisations aurifères et de métaux de base afin de développer des critères favorables pour l'exploration et de donner une valeur ajoutée aux données géophysiques régionales.

Kutina et Fabbri (1971) ont tenté d'établir une corrélation entre les mines de l'Abitibi et les linéaments déduits à partir du réseau de drainage (topographie), mais à notre connaissance, aucune étude publique n'a traité de la relation entre la minéralisation et les linéaments géophysiques à l'échelle de l'Abitibi.

Cette étude comporte quatre volets : 1) Les différents types de linéaments géophysiques sont d'abord caractérisés et présentés sur des fonds géophysiques à l'échelle de l'Abitibi; 2) Certains types de linéaments ont été regroupés pour former des familles d'orientations similaires. Ces familles de linéaments ont été ensuite corrélées par rapport aux grandes structures régionales et aux principaux événements tectoniques; 3) Les indices et les mines d'or et de métaux de base ont été interprétés en termes de régions et d'axes minéralisés; 4) Le lien entre les linéaments géophysiques et la minéralisation a été abordé en carte par des relations topologiques de proximité (zone tampon) et par une approche statistique.

2 MÉTHODOLOGIE

Une des principales difficultés de ce projet a été d'établir une méthodologie qui tient compte de plusieurs aspects techniques notamment : 1) la caractérisation et l'interprétation des linéaments, 2) l'analyse et la superposition des deux types de données géophysiques, 3) l'assemblage et le traitement des différentes banques de données géologiques, et 4) la comparaison et l'analyse, à l'aide de requêtes et d'outils topologiques des relations spatiales entre les linéaments et la minéralisation.

Les linéaments géophysiques, les discordances (frontières géophysiques), et les anomalies géophysiques circulaires ont été interprétés et tracés directement à l'écran à des échelles comprises approximativement entre 1 : 50 000 et 1 : 250 000. Les outils de contraste d'ombrage et de superposition ont été systématiquement utilisés pour interpréter les linéaments et les anomalies. Des linéaments ont été tracés pour chacun des types de données magnétiques et électromagnétiques.

L'analyse des populations de linéaments a été faite par la suite à l'aide de stéréogrammes et de diagrammes binaires sur les principales variables que sont l'orientation et la longueur des linéaments, et la sphéricité et la surface des anomalies circulaires. La densité des intersections des linéaments a également été analysée en termes de domaines de porosité hydrothermale (paléo-perméabilité).

2.1 Sources des données

La majorité des banques de données géophysiques et géologiques utilisées dans le cadre de ce travail proviennent du bureau de Noranda Exploration (maintenant XSTRATA). Les données géophysiques aéroportées qui ont été utilisées sont :

- Un fichier *grid* combinant plusieurs levés magnétiques dont la maille (pixels) est de 50 m ou 20 m. Ce fichier est une compilation des levés propres de Noranda, des ministères du Québec et de l'Ontario, et des travaux statutaires déposés par les compagnies.

- Un fichier de données électromagnétiques (133 540 points INPUT à quatre canaux) représentant une compilation des données des ministères du Québec et de l'Ontario.

Les données géologiques et gîtologiques proviennent de sources variées. Les fichiers de géologie (lithologies et structures) et de topographie montés par Réal Daigneault et Noranda ont servi à l'occasion de références. Pour les indices minéralisés et la position des mines, les données des gouvernements du Québec (SIGEOM) et de l'Ontario (OGS) ont été utilisées. Ces fichiers de gîtologie ont été homogénéisés par la suite sur deux fichiers distincts : les minéralisations en or dominant et les minéralisations en métaux de base (Cu et Zn).

2.2 Notions sur les linéaments

Un linéament est un alignement structural de dimension variée. Il correspond à un accident de la croûte terrestre (généralement une faille) dont l'influence peut se faire sentir pendant une longue période de temps (O'Leary, 1976; Richards, 2000). Il peut être tracé à partir de l'information topographique, hydrographique ou géophysique, ou par photo-interprétation des images aériennes ou satellites. L'interprétation de linéaments topographiques remonte au début du siècle avec les travaux de Hobbs (1904 et 1912) en Nouvelle-Angleterre. Des relations empiriques, spatiales et linéaires avec plusieurs mines dans différents districts miniers aux États-Unis et en Australie ont également été faites (Marshall, 1978; O'Driscoll, 1990; Richards, 2000).

Deux facteurs sont déterminants pour identifier un linéament :

1. **L'observateur** : le jugement pausé par l'observateur est interprétatif et qualitatif. Il dépend de la limite de détection de l'œil ($\pm 0,1$ mm), de ses connaissances, du jugement et du sens de l'observation (et idéalement pas, de l'imagination);
2. **La qualité de l'information** : les critères propres à l'information utilisée sont notamment la résolution (nombre de pixels par m^2 ou km^2), l'échelle du levé (géophysique au sol vs aéroportée) ou de la photo (satellite vs photo-aérienne), et le traitement sur l'image ou les données géophysiques. L'information de la base de données et les discontinuités dans les images peuvent être quantifiées si des conditions et des paramètres très précis sont posés.

L'étude sur les linéaments géophysiques se fait généralement en trois étapes successives :

- 1- Le traçage et la caractérisation du linéament en termes géométriques (coordonnées, longueur, largeur, direction, courbure, intensité);
- 2- La signification du linéament en termes géologiques (faille, contact lithologique, zone d'altération);
- 3- L'interprétation de l'ensemble ou d'une famille de linéaments dans un contexte tectonique ou gîtologique, ou dans une région donnée.

2.3 Types de données et de traitements

Le champ magnétique total et la 1^{ière} dérivée verticale du champ total (ou gradient vertical) sont des informations complémentaires. Le premier permet d'interpréter des structures plus profondes (1-3 km) mais a le désavantage d'avoir un bruit de fond généré par les grandes longueurs d'onde. La 1^{ière} dérivée verticale est un produit dérivé du champ magnétique total favorisant les courtes longueurs d'onde ce qui

lui confère une moins grande pénétration dans le sol (± 1 km selon le calcul), mais une plus grande résolution se rapprochant des levés au sol. Il définit donc mieux les structures superficielles et atténue les régions à fort contraste magnétique.

En raison du grain tectonique E-O de l'Abitibi, le traitement proposé sur le champ magnétique total a été une série de 3 ombrages (N045°/30°, N180°/30° et N135°/30°) pratiquée indépendamment sur un fond couleur rehaussé et sur un fond contrasté de tons de gris. La **Figure 1** montre pour un même secteur différentes sources de données et de traitements. L'inclinaison à 30° semble démarquer suffisamment les contrastes géophysiques, sans pour autant obscurcir le détail par un ombrage trop prononcé. Il est possible également de mettre en évidence les subtilités du magnétisme en utilisant des filtres simples qui tiennent compte de longueurs d'onde en particulier. Ceci permet d'augmenter les contrastes dans des domaines de susceptibilité magnétique homogène. Il est souhaitable également d'étaler la palette de couleurs pour mieux visualiser les différents domaines magnétiques. La 1^{ère} dérivée verticale permet déjà de bien démarquer les crêtes magnétiques du bruit de fond régional. Un traitement avec ombrage N000°/30° sur fond couleur et de gris a été suffisant (**Figure 1**).

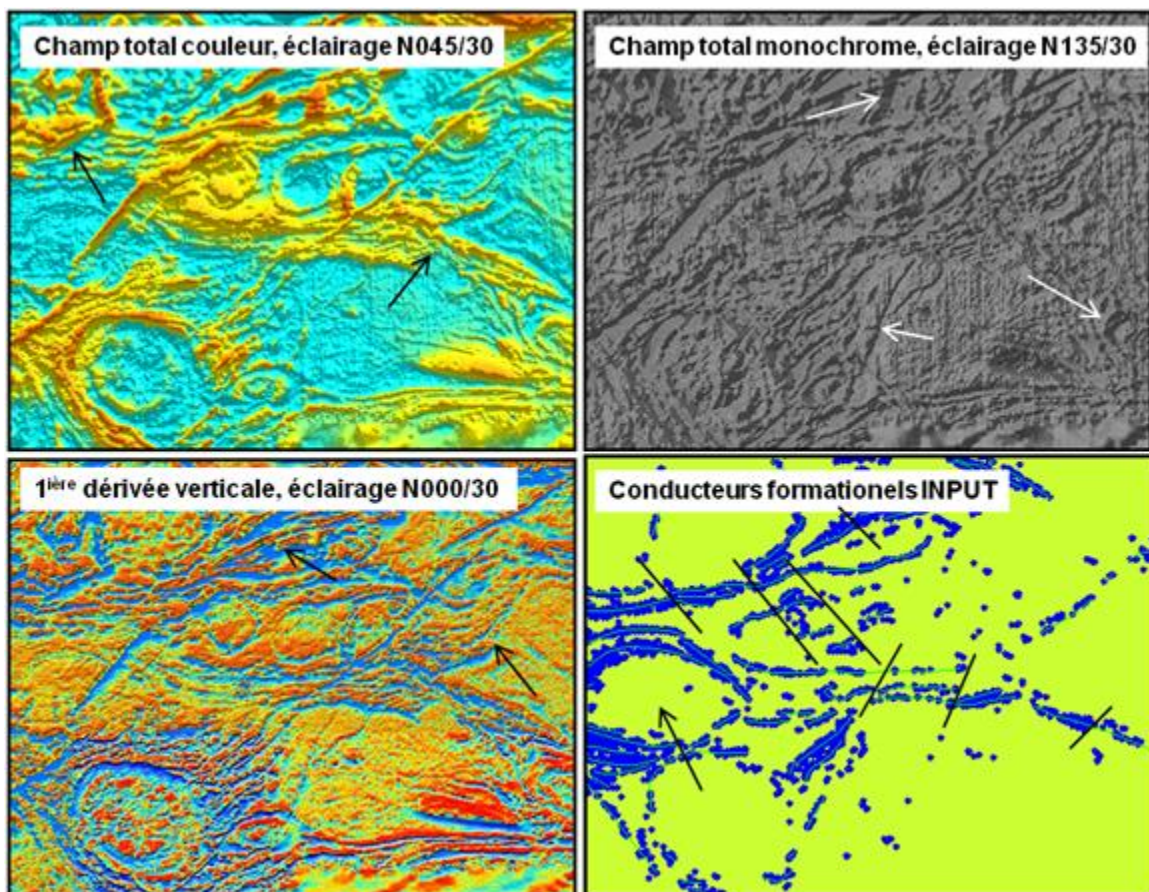


Figure 1. Exemples de traitements et de reconnaissance de linéaments géophysiques (indiqué par des flèches).

Enfin, l'utilisation de données électromagnétiques INPUT permet de confirmer des linéaments déjà identifiés par le magnétisme ou d'en faire apparaître de nouveaux. L'interruption abrupte de conducteurs formationnels INPUT permet de mettre en évidence des linéaments beaucoup plus subtils ou à faible angle par rapport au grain tectonique dominant (**Figure 1**). Le désavantage, est qu'à plusieurs endroits en Abitibi (le Groupe de Blake River en général et la région de Val-d'Or), il y a très peu d'anomalies INPUT.

2.4 Types de linéaments

Trois types de linéaments géophysiques ont été identifiés. Il s'agit des linéaments sécants, d'entraînement ou concordants. Les anomalies circulaires ne sont pas des linéaments, mais ont été utilisées pour localiser des plutons. La **Figure 2** résume ces types de linéaments pour des secteurs différents de l'Abitibi.

Les *linéaments sécants* soulignent des discontinuités nettes qui peuvent être soit des contrastes de susceptibilité magnétique (domaine), soit un arrêt net d'une ou de plusieurs crêtes magnétiques ou d'axes d'anomalies INPUT (**Figure 2**). La majorité de ces linéaments sont interprétés comme des failles cassantes et sont transversales par rapport au grain tectonique E-O et dominant en Abitibi. Par contre, les linéaments concordants, qui représentent soit des conducteurs INPUT formationnels ou des failles à mouvement dominant en composante pendage ne montrent pas de déplacement apparent. Ces linéaments sont difficiles à identifier avec les levés magnétiques et sont par conséquent sous-estimés par rapport aux autres linéaments.

Les *linéaments d'entraînement* sont des accidents régionaux et sont caractérisés, en bordures, par des effets d'entraînement, de courbure ou de plissement du grain magnétique ou des anomalies INPUT (**Figure 2**). Ils sont soulignés généralement par des creux magnétiques homogènes, continus et parallèles (ou légèrement à angle) au grain tectonique qui atteignent plusieurs dizaines de kilomètres de longueur, voir plus de 100 km. La largeur de démagnétisation de ces linéaments, causée par l'altération hydrothermale (quartz-carbonate) et la déformation, atteint plusieurs centaines de mètres. Ces linéaments sont interprétés comme des corridors de déformation ductile et découpent des blocs magnétiques aux contrastes modérés à élevés et des domaines de gravité distincts.

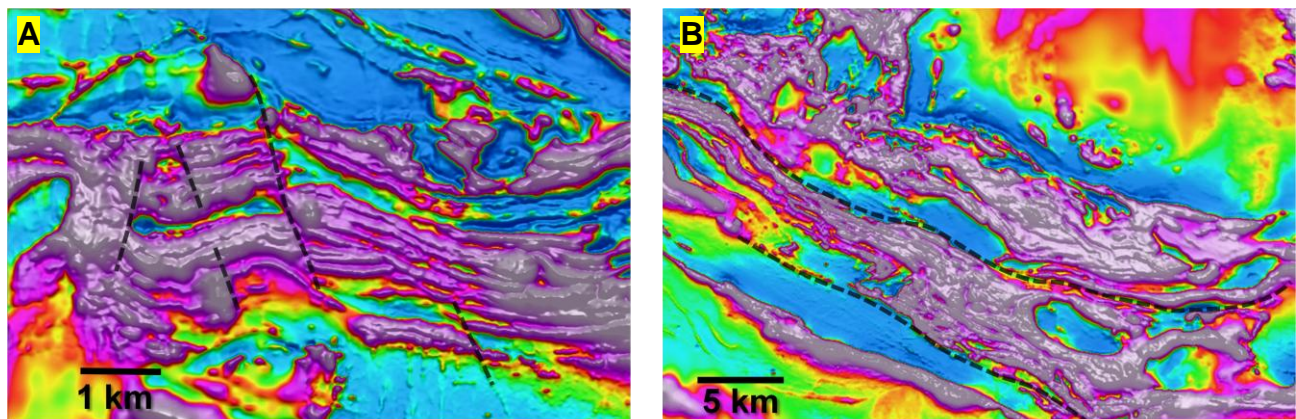


Figure 2. Types de linéaments géophysiques interprétés ; A) sécants, B) entraînement.

Les *linéaments concordants* sont définis comme étant parallèles aux conducteurs INPUT ou aux crêtes magnétiques et correspondent généralement à des contacts lithologiques, des failles longitudinales par rapport au grain tectonique ou à des zones d'altération (altération de la magnétite en hématite). Les linéaments qui peuvent représenter des failles parallèles au grain magnétique sont donc inévitablement sous-estimés par rapport aux autres linéaments. Seulement les linéaments concordants aux crêtes très magnétiques ont été tracés. Ces linéaments correspondent à des dykes de diabase protérozoïque. Les linéaments concordants aux axes des conducteurs INPUT coïncident, dans la majorité des cas, avec des horizons graphiteux (\pm pyrrhotine, pyrite) et soulignent la présence de failles parallèles au grain tectonique. L'entraînement des linéaments concordants INPUT sert également à définir les linéaments d'entraînement.

Les *anomalies circulaires* ont été identifiées sur les levés magnétiques et électromagnétiques. Elles correspondent à des domaines de textures homogènes ou concentriques de formes circulaires ou elliptiques. Les anomalies magnétiques témoignent, dans la majorité des cas, de la présence de plutons.

2.5 Résultats

En tout, 1 008 linéaments magnétiques sécants, 527 linéaments INPUT sécants, 101 linéaments d'entraînement, 285 formes circulaires et 2 417 axes concordants INPUT ont été tracés à l'écran et compilés dans différents fichiers. Les statistiques concernant ces linéaments sont présentées en détail sur le **Tableau 1**.

Tableau 1. Types de linéaments et statistiques.

Donnée	Linéament	Nb	Orientation	Long moy	min	max	Largeur km	Signification
Mag	Sécant	1 008	NE - NO	17,0 km	0,4	133	0,25-0,75	Faïlle cassante
	Concordant	316	N - ENE	32,5 km	2	215	0,3-0,75	Dykes protérozoïques
	Entraînement	101	ENE->ESE	85,0 km	3	398	0,75-1,5	Corridor de déformation
	Elliptique	285		10,2 km	1,2	85	*	Intrusion
INPUT	Concordant	2 417	ENE->ESE	5,9 km	0,2	69	1 - 3	Conducteur, faille
	Sécant	527	NNE - (NO)	14,0 km	3	85	0,1 -1	Faïlle cassante

*Sphéricité 0,71 moy.; 0,19 min.; 1 max

2.5.1 Linéaments magnétiques sécants

Les *linéaments sécants* varient en longueur de quelques kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres (**Tableau 1**). La largeur des linéaments peut être mesurée en raison de la démagnétisation (causée par l'altération et la déformation) ou de la perturbation magnétique de part et d'autre du linéament. Les largeurs de démagnétisation mesurées varient entre 250 et 750 mètres. Les linéaments sécants sont préférentiellement orientés NE (N023°-N065°) et SE (N125°-N163°) et sont surtout présents dans les roches volcano-sédimentaires ceinturant les plutons (**Figure 3**)

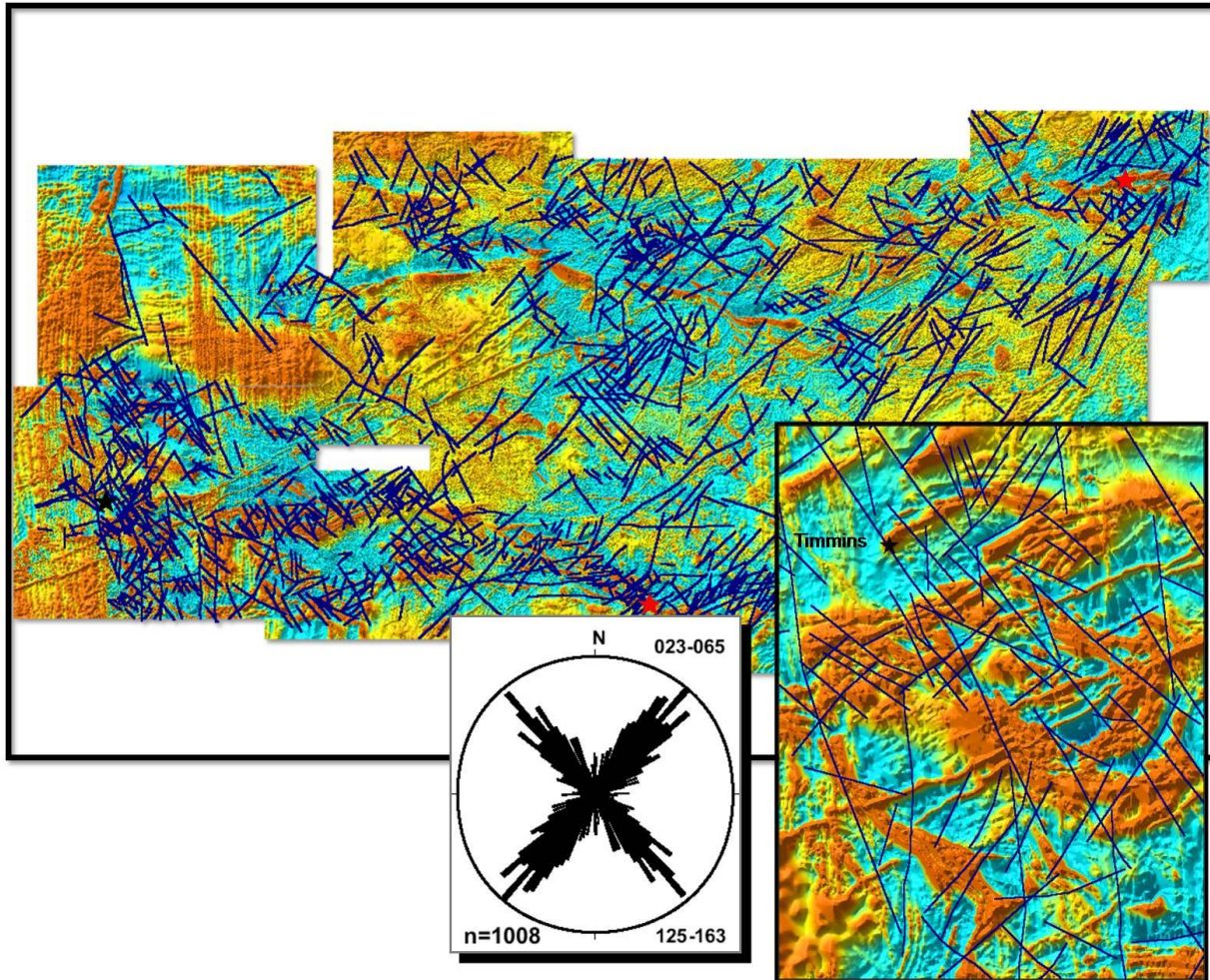


Figure 3. Linéaments magnétiques sécants interprétés sur l'ensemble de l'Abitibi.

2.5.2 Les linéaments d'entraînement

L'effet d'entraînement du magnétisme ou des anomalies INPUT en bordure des linéaments d'entraînement est généralement perceptible de 1 à 15 km depuis le centre du creux magnétique. Cet effet est plus prononcé sur les structures NE ou NO, alors que le magnétisme tend à se paralléliser le long des structures E-O. Il est également possible de déterminer un sens de déplacement apparent sur la structure (dextre ou senestre).

Les linéaments d'entraînement magnétique ont des longueurs moyennes de 85 km (min. 3 km; max. 398 km) et la largeur de la démagnétisation varie en moyenne entre 0,75 à 1,5 km (**Tableau 1; Figure 4**). Contrairement aux linéaments sécants, il y a une famille dominante orientée ENE-ESE comprise entre N080° et N110° et un réseau moins important conjugué N060° et N135° (rosace **Figure 4**).

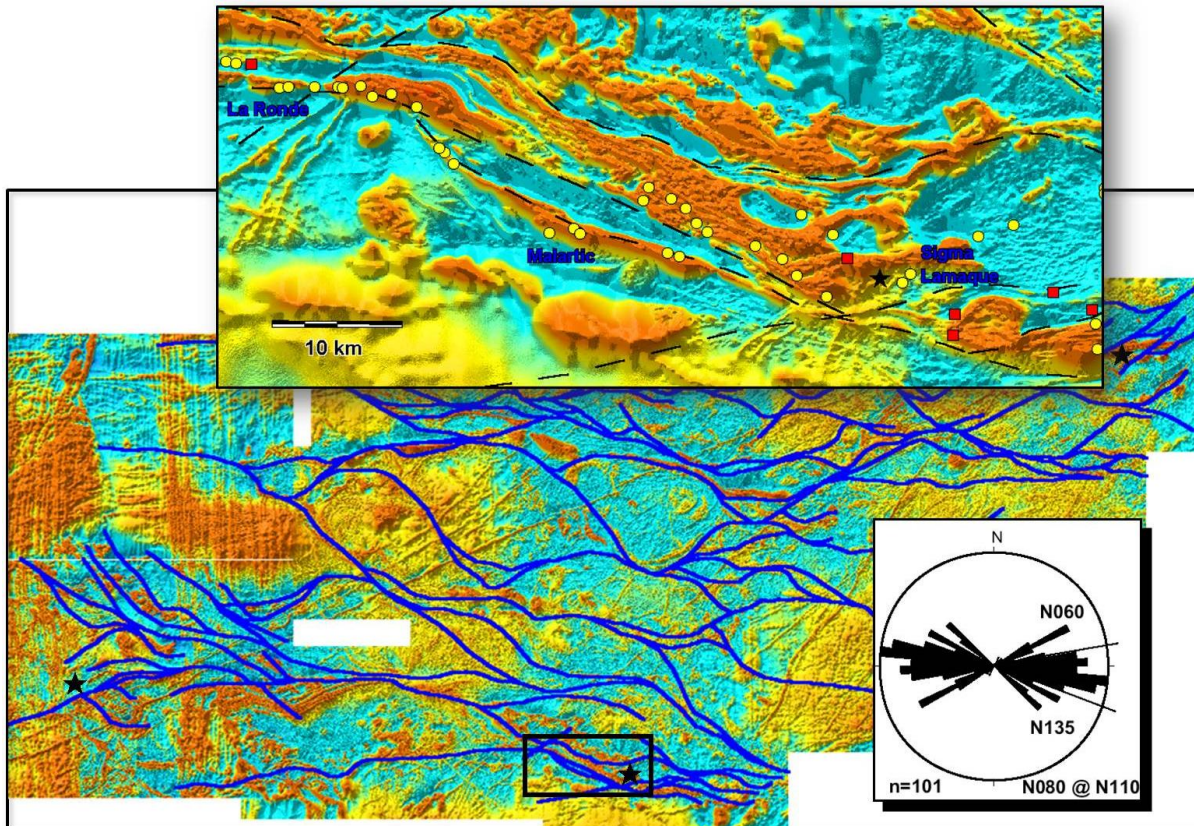


Figure 4. Exemples de linéaments d'entraînement magnétiques interprétés sur le champ magnétique total dans le secteur Malartic et Val-d'Or (en haut). L'ensemble des 101 linéaments d'entraînement à l'échelle de l'Abitibi avec la rosace de distribution des orientations.

2.5.3 Linéaments électromagnétiques

Les linéaments électromagnétiques sécants ont des directions similaires à celles des linéaments magnétiques sécants (**Tableau I** et **Figure 3** et **Figure 5**). D'ailleurs, plusieurs des linéaments sécants soulignent à la fois une discontinuité magnétique et électromagnétique. Dans les deux cas, on distingue le même système conjugué NE et SO. Les linéaments INPUT sécants ont une longueur moyenne de 14 km (min. 3 km; max. 85 km). Cependant, la largeur de l'accident structural est plus mince que dans le cas des linéaments magnétiques sécants dus au fait que les perturbations électriques en bordure des failles sont moins affectées par l'altération et la déformation que le magnétisme (**Tableau I**).

Les linéaments concordants INPUT sont très nombreux (2 417) et ont une longueur moyenne de 5,9 km (**Tableau I** et **Figure 6** : min. 0,2 km et max. 69 km). Ils sont localisés en bandes de 1 à 3 km de largeur et correspondent plus ou moins à l'emplacement des linéaments d'entraînement magnétique. Ils sont situés dans les sillons volcano-sédimentaires et soulignent généralement des contacts de faille entre les sédiments et les volcanites. La direction de ces axes est très similaire à celle des linéaments d'entraînement avec une concentration entre N075° et N115° (**Figure 4** et **Figure 6**).

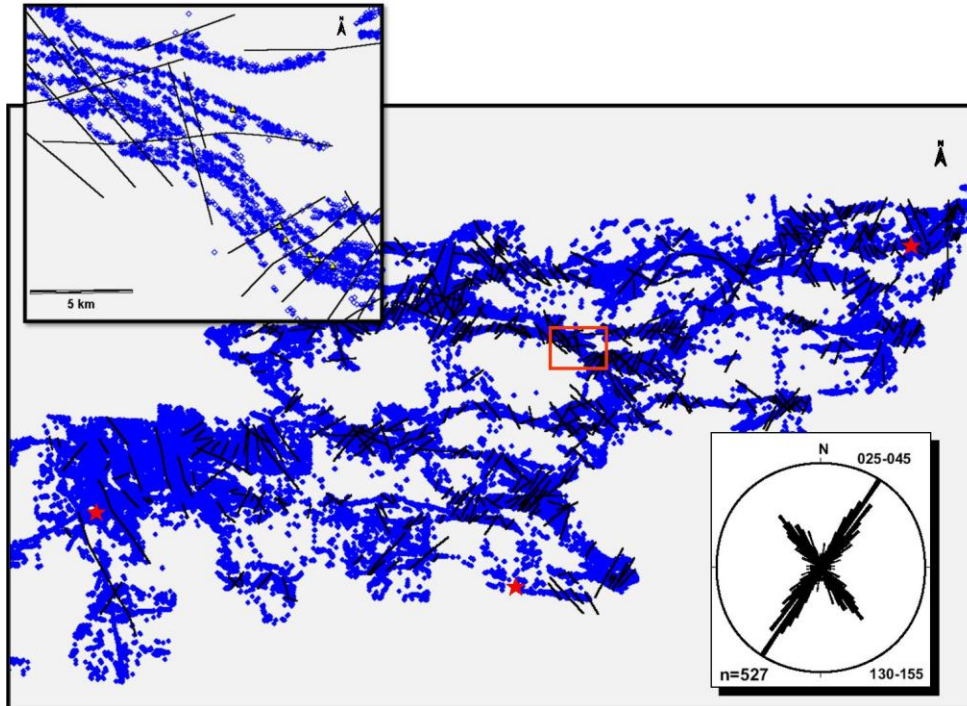


Figure 5. Linéaments sécants interprétés à partir de ruptures de conducteurs INPUT formationnels à l'échelle de l'Abitibi avec un détail présenté dans la fenêtre (haut à gauche) qui correspond au carré rouge. Rosace des directions de l'ensemble de la population.

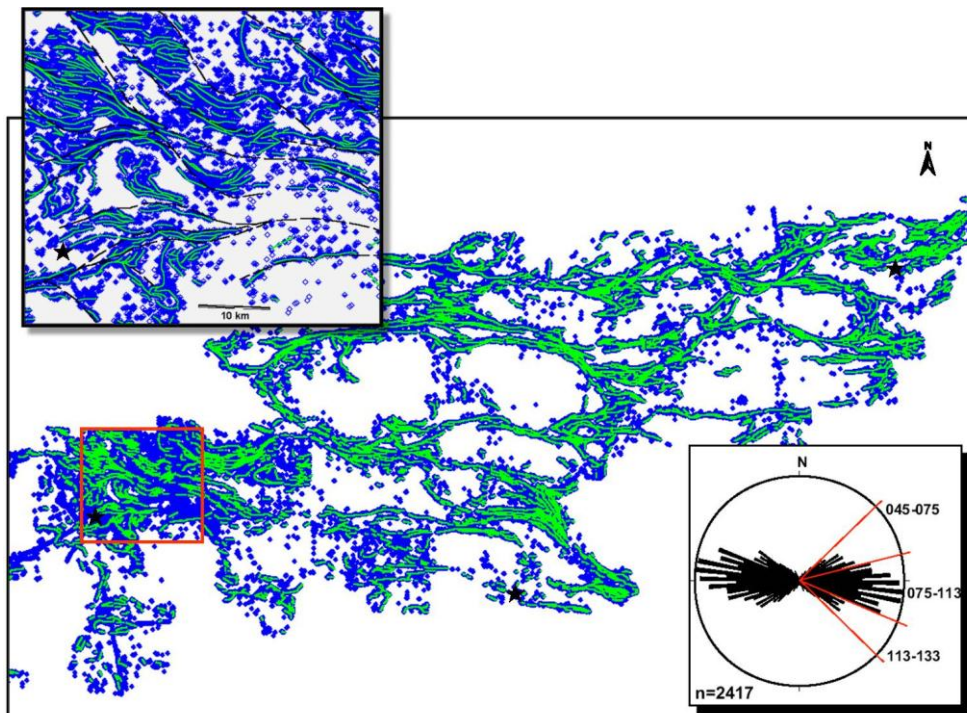


Figure 6. Linéaments électromagnétiques concordants aux conducteurs INPUT formationnels à l'échelle de l'Abitibi avec un détail présenté dans la fenêtre (haut à gauche) qui correspond au carré rouge. Rosace des directions de l'ensemble de la population.

2.5.4 Linéaments magnétiques concordants (dykes protérozoïques)

Les linéaments magnétiques concordants qui caractérisent les dykes de diabase protérozoïques de l'Abitibi ont des longueurs variant entre 2 et 215 km, pour une moyenne de 32,5 km (**Figure 7**). Les dykes interprétés se divisent en quatre groupes d'orientation préférentielle selon la terminologie et les âges de Buchan et Ernst (2004) :

- 1- Les dykes NS corrélés à l'essai de Matachewan (2,5 Ga) avec des longueurs moyennes de 40 km (max. de 170 km);
- 2- Les dykes NNE et NE appartenant à l'essai de Preissac (2,1 Ga) et dont les longueurs sont généralement inférieures à 40 km;
- 3- Le réseau de dykes ENE de l'Abitibi (1,1 Ga) dont un des dykes atteint plus de 205 km de long;
- 4- Les dykes de l'essai de Sudbury (1,2 Ga) orientés NO qui ont des longueurs inférieures à 30 km.

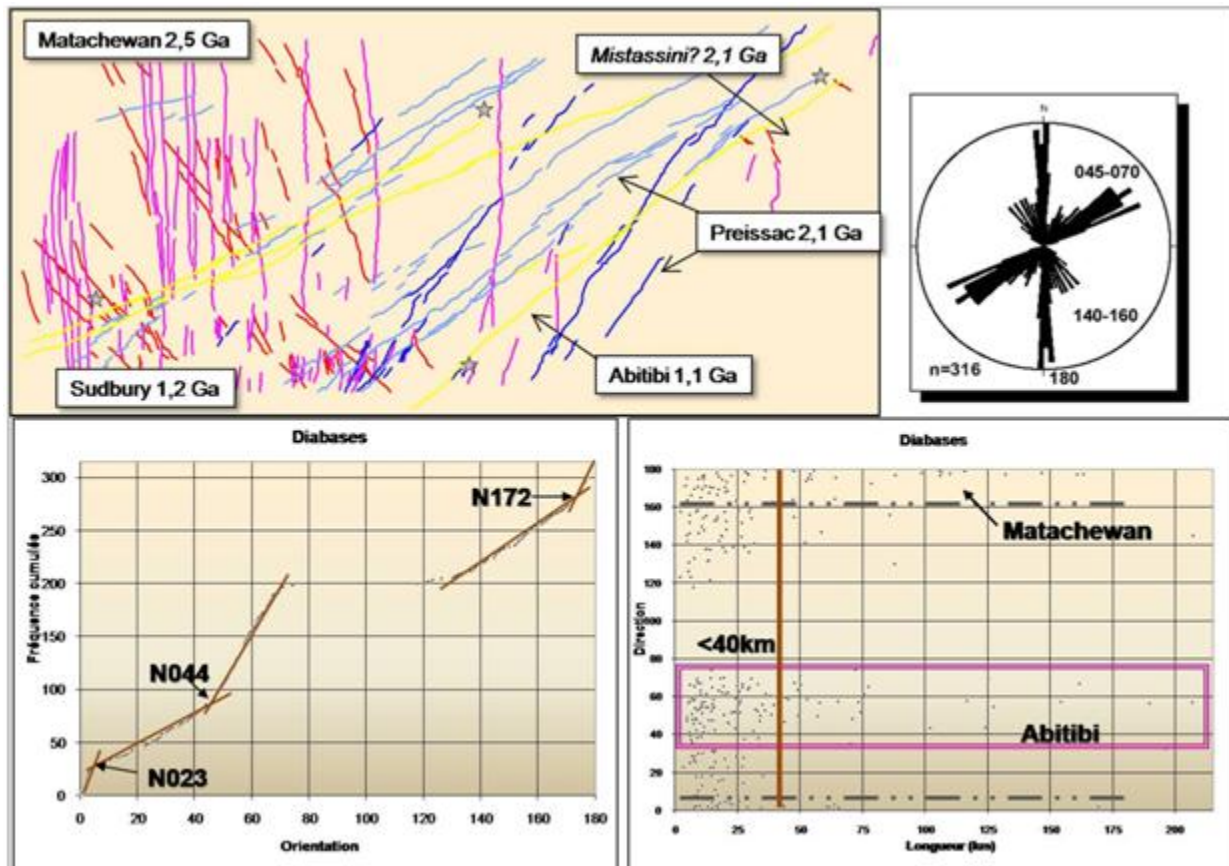


Figure 7. Diabases interprétés à partir des crêtes magnétiques continues et à angle par rapport au grain magnétique.

2.5.5 Anomalies magnétiques circulaires

Les formes circulaires des anomalies magnétiques, au nombre de 285, ont des axes longs de 10 km en moyenne (maximum de 84,5 km) orientés préférentiellement ENE à ESE (**Tableau I**). La sphéricité de ces anomalies, déterminée par le rapport de l'axe long sur l'axe court, varie entre 0,19 (cigare) et 1 (cercle) pour une moyenne de 0,71. La majorité de ces formes circulaires sont interprétées comme des plutons ou

des intrusions de dimensions variées. Cependant, une faible quantité de ces formes magnétiques (~ 5 %) ne correspondent pas à des intrusions connues. Il pourrait s'agir d'intrusions non-affleurantes, de plis d'interférence ou à double plongée dans les sédiments, ou de diatrèmes.

L'information provenant des cartes géologiques de Réal Daigneault et de Noranda et le fichier de géochronologie de Jean Gouthier (communication personnelle) ont été utilisés pour tenter d'établir un lien entre la sphéricité et l'âge des intrusions (**Figure 8**).

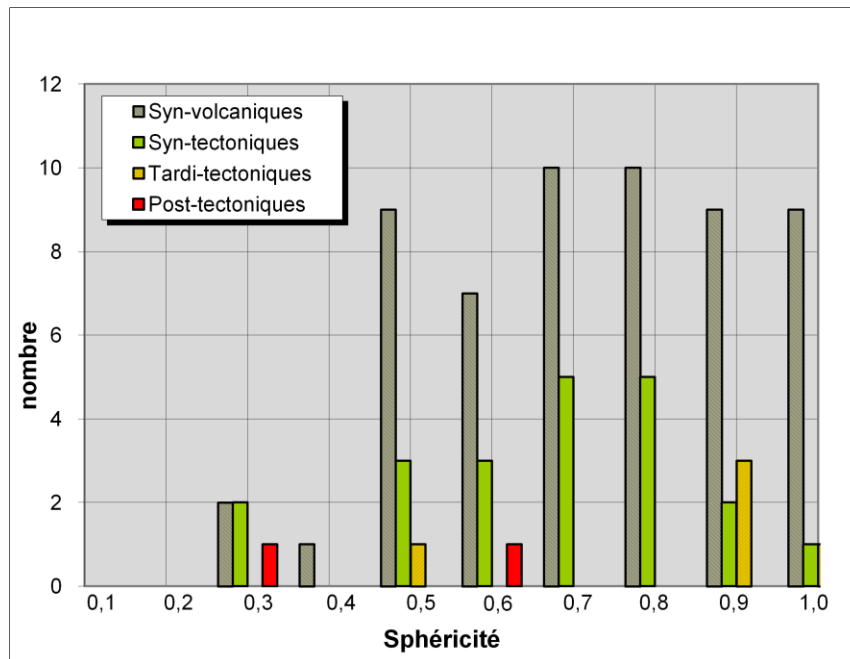


Figure 8. Sphéricité des anomalies circulaires magnétiques en fonction de l'âge des plutons.

Les intrusions syn-volcaniques (Phase 1 : 2730-2700 Ma) correspondent à des tonalites et des trondhjemitites de composition tholéiitique à calco-alkaline. Elles sont généralement foliées ou gneissiques, comme par exemple celle du Flavrian, du Lac Dufault, de Bourlamaque, ou de Mooshla. En tout, 57 anomalies magnétiques et elliptiques ont été identifiées comme étant d'origine syn-volcanique. Ces formes ont une sphéricité comprise entre 0,5 et 1, pour une moyenne de 0,68. Par contre, 21 formes elliptiques correspondant à des intrusions syn à tardi-tectonique de composition monzonitique (Phase 2 : 2695 – 2680 Ma; suites shoshonitiques riches en potassium des zones de sutures) ont un indice de sphéricité entre 0,5 et 0,9 avec un mode autour de 0,7 et 0,8 (**Figure 8**). Les anomalies circulaires correspondant à des suites trachyte – syénite tardi-tectoniques (Phase 3 d'âge Timiskaming 2665 –2680 Ma et de composition alcaline -potassique) sont au nombre de 5 et ont une sphéricité autour de 0,8 et 0,9. Les deux formes circulaires identifiées comme étant des granitoïdes peralumineux post-tectoniques (Phase 4 : ±2650 Ma), comme ceux de Preissac et Lacorne, sont quant à elles allongées avec une sphéricité < 0,6.

3 ÉTUDE STATISTIQUE SUR LES LINÉAMENTS SÉCANTS

Le regroupement des linéaments sécants magnétiques et électromagnétiques en un seul type de linéament sécant est justifié parce qu'il a une similitude entre les orientations des deux différents types de linéaments et il y a même superposition des linéaments dans plusieurs cas. Les directions des linéaments magnétiques sécants et INPUT sont en effet très similaires (rosaces sur la **Figure 9**).

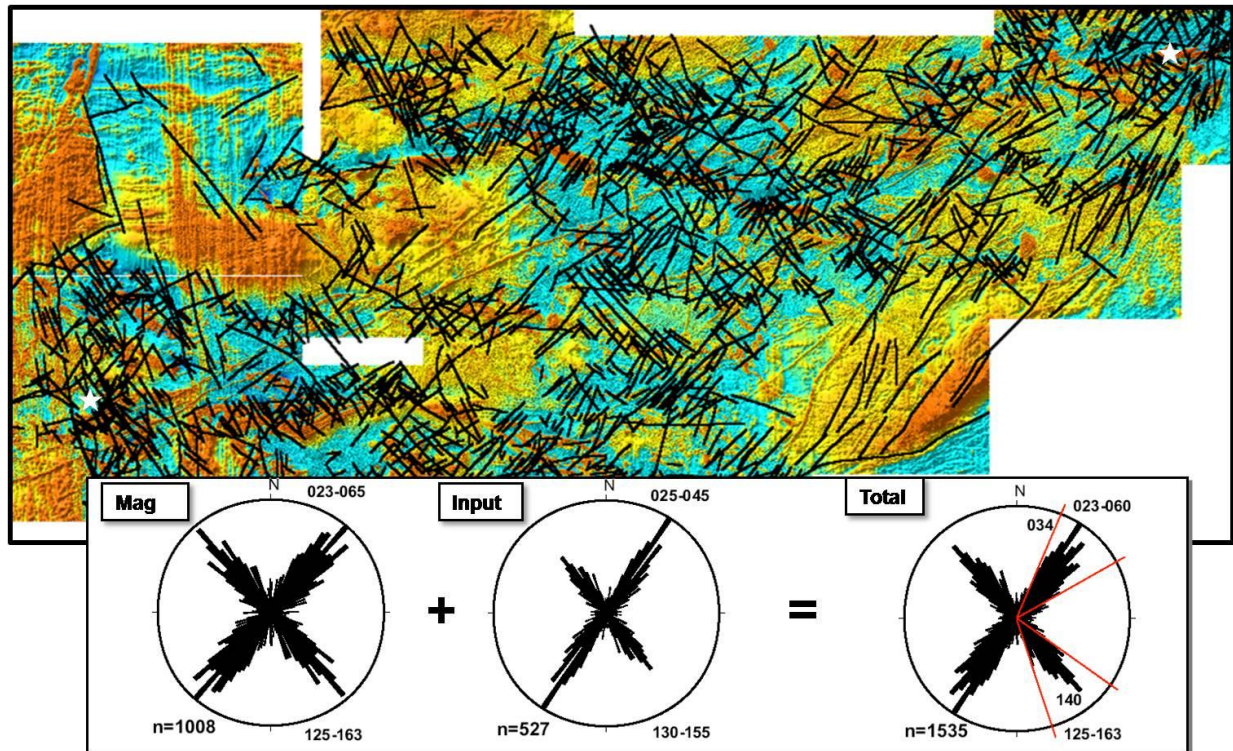


Figure 9. L'ensemble des linéaments sécants (magnétiques et INPUT) à l'échelle de l'Abitibi et les rosaces d'orientation des linéaments et les différentes familles.

3.1 Séparation des linéaments sécants en différentes familles

Au total, cinq orientations préférentielles ont été discriminées sur une base statistique (**Figure 10**). La population totale formée de 1 536 linéaments sécants a été ainsi subdivisée pour former les familles d'orientation cohérente suivantes : NNE, NE, ENE-ESE, SE et N-S. La distribution spatiale de ces familles est présentée sur la **Figure 11** alors que les corrélations à une échelle régionale avec certaines structures régionales majeures sont visibles sur la **Figure 12** et la **Figure 13**. Le **Tableau 2** résume les principales caractéristiques de ces familles.

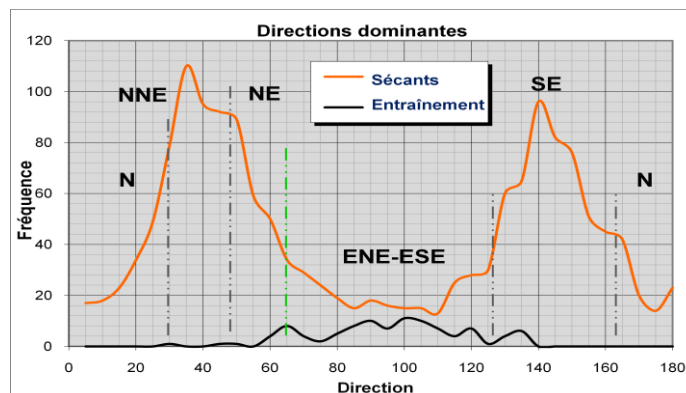


Figure 10. Histogramme de distribution des directions de linéaments sécants et d'entraînement.

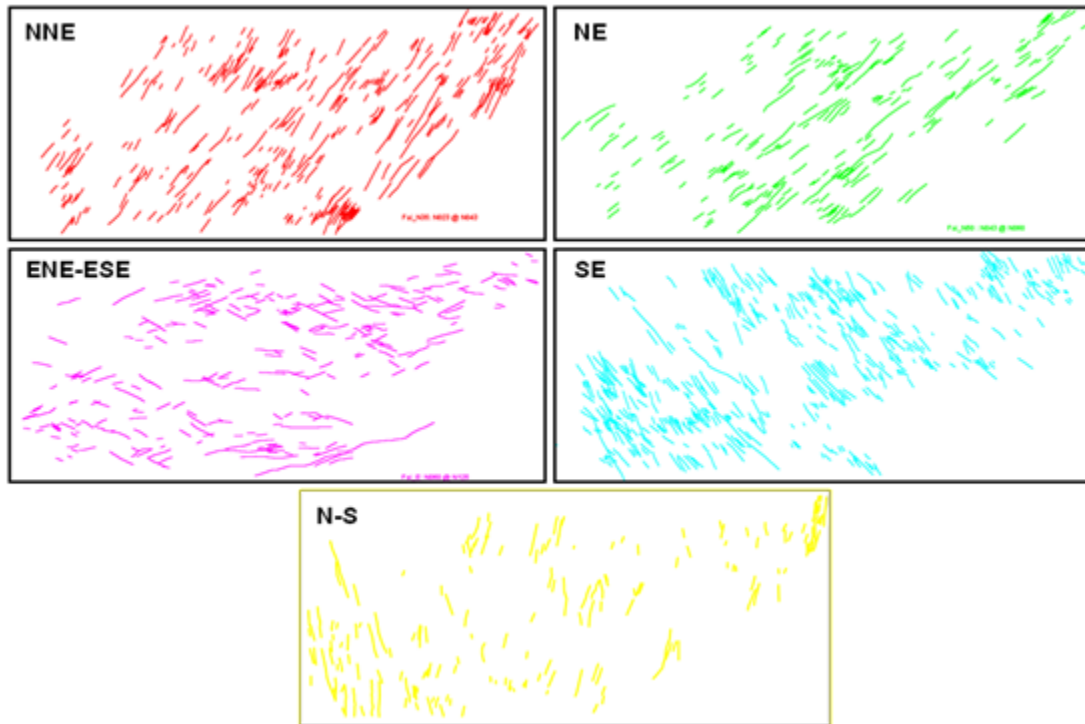


Figure 11. Distribution spatiale des 5 familles de linéaments sécants discriminées statistiquement.

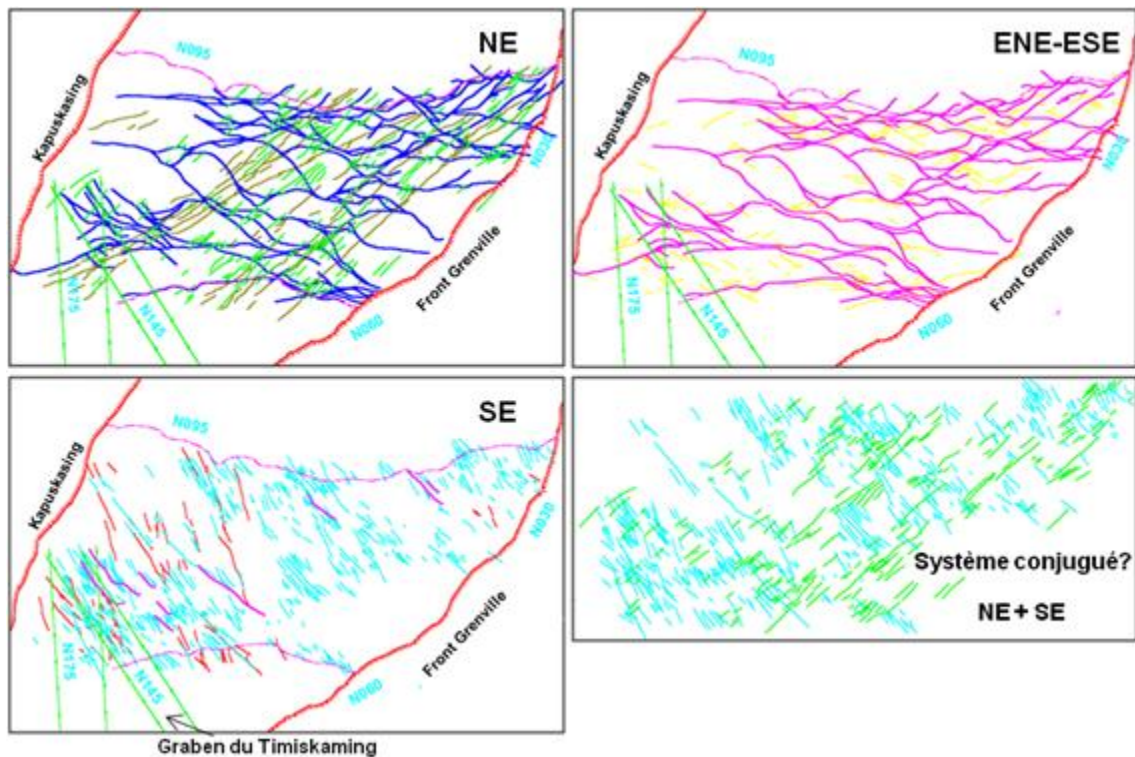


Figure 12. Corrélation des familles de linéaments sécants par rapport à différentes structures régionales.

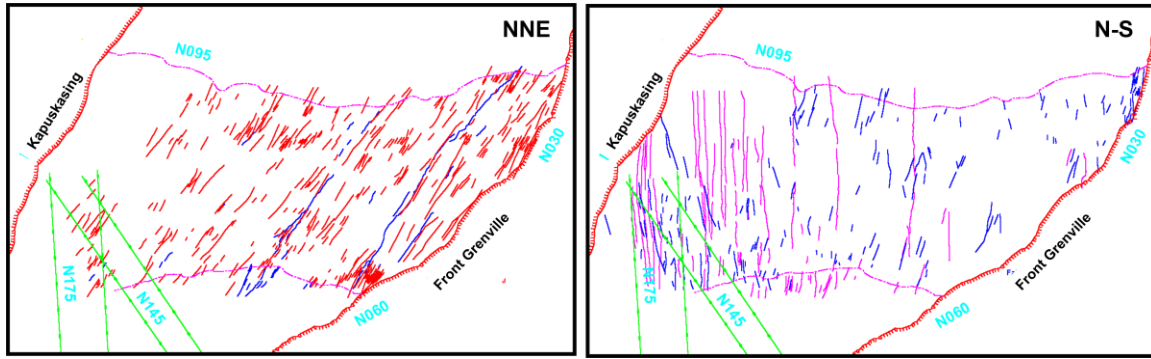


Figure 13. Corrélation des linéaments sécants N-S et NNE par rapport à différentes structures régionales.

Tableau 2. Synthèse des familles (linéaments magnétiques et INPUT sécants).

Famille	Orientation	%*	Long moy	Var.	Signification
NNE	N023° à N043°	24	16,6 km	0,7	Faillies associées au Grenville et Kapuskasing
NE	N043° à N060°	15	17,2 km	0,8	Subsidiaries NE des couloirs de déformation
ENE-ESE	N060° à N125°	17	17,3 km	0,8	Patron anastomosé ENE-ESE régional
SE	N125° à N163°	33	14,6 km	0,7	Subsidiaries SE des couloirs de déformation
N-S	N163° à N023°	12	15,3 km	0,7	Grabens et dykes protérozoïques

* 1 536 linéaments au total

Deux familles se distinguent dans le quadrant NE : une famille NNE comprise entre N023° et N043° avec un maxima à N034°, et une famille comprise entre N043° et N060°.

La *famille NE* compte pour 14,6 % des linéaments sécants, avec une longueur moyenne de 17,2 km. Elle coïncide avec les branches ENE et NE des grands linéaments d'entraînement, en particulier ceux de Chibougamau (Faille Lamarck) et ceux du secteur de Noranda (faille Hunter et de la mine Horne). Il ne semble pas y avoir de lien direct avec les failles grenvilliennes puisqu'il n'y a pratiquement pas de linéament NE en de ça de 25 km du Front Tectonique de Grenville dans la région de Chibougamau et en de ça de 35 km dans le secteur de Val-d'Or (**Figure 12**). Cependant, les linéaments NE au sud-est de l'Abitibi seraient mécaniquement compatibles avec l'orientation des failles de chevauchement du Grenville. Le nombre de linéaments diminue vers le nord-ouest de l'Abitibi, suggérant qu'il n'y a pas non plus de lien avec la zone tectonique du Kapuskasing. Visuellement, une bonne proportion des linéaments NE se trouvent entre les linéaments d'entraînement ou se butent sur ceux-ci. Mais à certains endroits à l'est de Chibougamau, ils déplacent les linéaments d'entraînement. Cette relation de recoupement suggère un synchronisme entre les deux types de linéaments. La majorité des dykes de diabase de l'Abitibi sont sub-parallèles à cette famille de linéaments (réutilisation de structures préexistantes).

La *famille NNE* compte pour 23,9 % du total des linéaments sécants. Les linéaments ont une longueur moyenne de 16,6 km. Cette famille semble correspondre aux failles du Front Tectonique de Grenville d'âge Protérozoïque (partie centrale et nord de l'Abitibi) et/ou à des failles reliées à la zone tectonique du Kapuskasing qui limite la sous-province de l'Abitibi à l'ouest (**Figure 13**). Visuellement, une bonne proportion de ces linéaments recoupe les linéaments d'entraînement, impliquent qu'ils sont plus jeunes. Quelques dykes mafiques au NO et dans l'est de l'Abitibi sont également parallèles à ce système.

La *famille ENE-ESE* montre un large spectre dans l'orientation des linéaments compris entre N060° et N125° (**Figure 12**). 17,4 % des linéaments sécants appartiennent à cette famille au total. Ils ont une longueur moyenne de 17,3 km, similaire à la famille NE, mais le mode de dispersion des longueurs semble plus étalé. Les linéaments de la famille ENE-ESE se concentrent autour des pôles ENE et ESE. Il y a très peu de linéaments E-O et ceci s'explique par le fait qu'il est très difficile de les identifier au travers du grain magnétique E-O. Les linéaments de cette famille se corrélaient nettement en orientation avec le patron anastomosé des linéaments d'entraînement, formant généralement un angle inférieur à 40° avec ces derniers. En plus d'être adjacents aux linéaments d'entraînement, ils se butent souvent sur ceux-ci. Ils peuvent être ainsi interprétés comme des failles subsidiaires aux couloirs de déformation régionaux. Seulement quelques dykes de diabase sont parallèles à ce système.

La *famille SE* est la plus nombreuse avec 32,5 % des linéaments sécants et comprend des linéaments orientés entre N125° et N163° (**Figure 12**). La longueur de ceux-ci est plus faible que pour les autres familles, avec une moyenne de 14,6 km. Ce système correspond à l'orientation de certaines failles syn-volcaniques comme la faille Mouilleuse à Noranda. Une plus forte concentration est observée dans le secteur de Timmins et Kirkland Lake suggérant qu'il existe également un lien avec le graben protérozoïque du Timiskaming. En effet, les failles du Lac Cross et de la Rivière Montréal en Ontario bordent un des rifts avortés et reliés à l'ouverture de l'océan Iapétus vers 700-600 Ma (Kutina et Fabbri, 1971; Kumarapeli et al., 1990). Certains linéaments orientés plus vers l'ESE pourraient également se corréler avec les arrêtes SE-NO des grands blocs losangiques de l'Abitibi.

Certains linéaments des familles NE et SE pourraient également faire parti d'un système de failles conjuguées qui recoupent les grands linéaments d'entraînement (**Figure 12**). Plusieurs failles NE et SO en Abitibi sont en effet interprétées comme un système de failles tardi-tectoniques et conjuguées; les failles NE et NO ayant des déplacements apparents (repères magnétiques ou géologiques) senestres et dextres respectivement.

La *famille N-S* est la moins nombreuse avec 11,5 % des linéaments et des longueurs moyennes de 15,2 km. Elle est constituée de linéaments préférentiellement orientés NNO et NNE (**Figure 13**). Les linéaments NNO semblent se corréler avec le système de failles de la Rivière Mattagami situé à l'ouest de Timmins et correspondraient aux failles bordant le graben protérozoïque du Kapuskasing et aux dykes mafiques de même orientation. Les linéaments NNE par contre ne se corrélaient qu'à de rares dykes de diabase. Les linéaments orientés \pm N180° coïncident avec l'essai de dykes protérozoïques de Matachewan.

4 DISTRIBUTION SPATIALE DE LA MINÉRALISATION EN ABITIBI

La distribution spatiale des minéralisations de l'Abitibi a été analysée en terme d'axes de minéralisation. Le premier traitement fait à partir des banques de données géologiques a consisté à générer des cartes de densités d'indices et de mines. Il s'agit du nombre de points par kilomètre carré où chaque point correspond à une mine ou à un indice sans pondération. Deux catégories de minéralisations ont été considérées : les mines et indices à Au, Au-Cu, et Au-Ag, et les mines et indices à Cu, Cu-Zn, Zn, et Cu-Au (**Figure 14**). Ces cartes de répartition métallifère sont évidemment liées à l'activité d'exploration historique de certains secteurs.

Les différents camps miniers sont nettement mis en évidence pour les deux types de substances économiques. Pour les minéralisations aurifères, le contrôle structural est évident avec l'alignement des indices et mines le long des couloirs de déformation de Porcupine -Destor et de Cadillac -Larder Lake au sud, et de Casa Berardi, de Lamarck et d'Opawica au nord. La forme de certaines intrusions est également soulignée par l'absence de minéralisation.

Pour les indices et les mines de métaux de base, la forme des régions à haute densité est moins

rectiligne que celle de l'or (**Figure 14**). Deux concentrations dominant : celle du camp de Noranda - Kirkland Lake et celle de Chibougamau. Les secteurs de Normétal, Detour Lake, et Matagami sont également visibles avec une moyenne à forte densité. La distribution des indices et mines de métaux de base est plus homogène dans les camps miniers que celle de l'or, suggérant que ce type de minéralisation est contrôlé davantage par les caractéristiques du volcanisme (syn-génétique) que par les éléments structuraux.

La superposition des secteurs aurifères à haute densité sur la carte de densité des indices et des mines de métaux de bases montre bien les différences entre les zones métallifères (**Figure 14** en bas). Il y a une coïncidence spatiale entre les régions minéralisées en or et en métaux de base dans le sud autour de Noranda et Kirkland Lake, mais apparaissent décalées à Timmins et Val-d'Or. Au nord de la Faille Porcupine-Destor, il n'y a pas de coïncidence spatiale entre les deux types de minéralisation. Dans le secteur de Chibougamau, le patron de la minéralisation en or est orienté plus ou moins nord-sud, alors que la concentration en métaux de base est plutôt est-ouest.

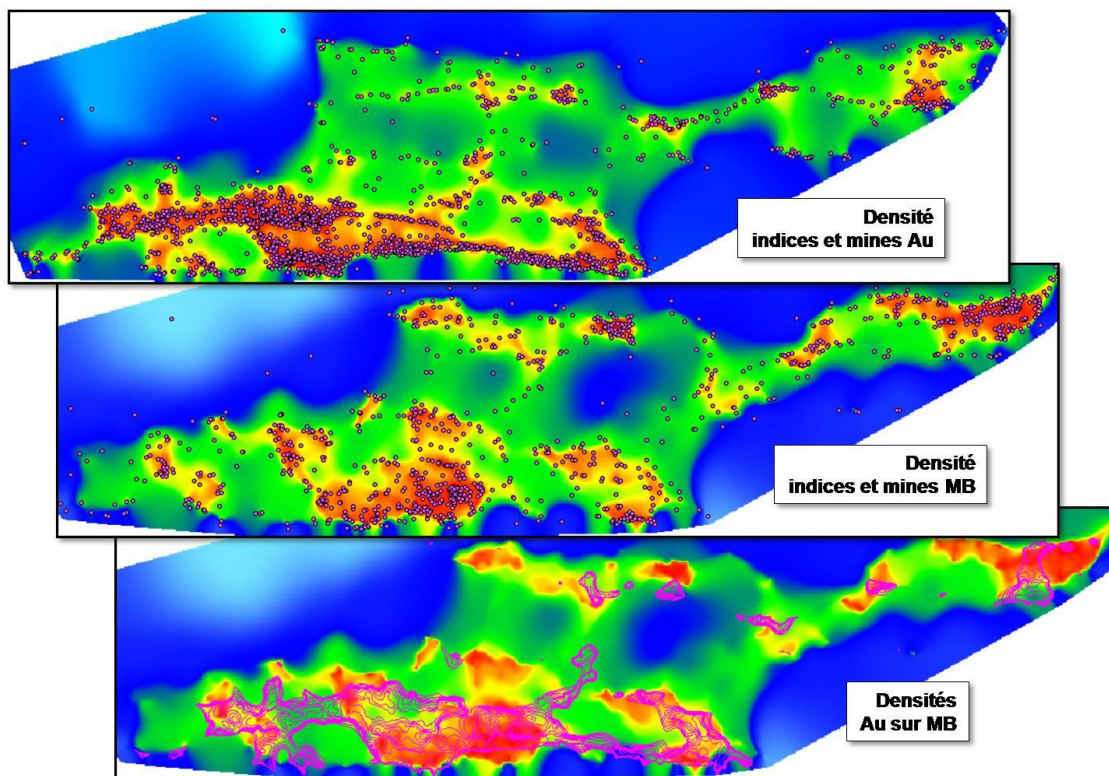


Figure 14. Distribution spatiale de la minéralisation en Abitibi exprimée sous forme de densité.

4.1 Méthodes pour tracer les axes minéralisés

Les indices et les mines d'or et métaux de base ont été traités en termes d'axes minéralisés. Les indices ou les mines d'or ou de métaux de base ont tenté d'être reliés séparément entre eux par des axes afin de voir la distribution et le lien spatial pour chacun des types de minéralisation. Les indices et les mines d'or sont susceptibles d'avoir des liens génétiques, temporels, et/ou structuraux en communs s'ils forment un axe minéralisé majeur correspondant à la position d'un linéament géophysique ductile, comme par exemple celui de la faille Cadillac – Larder Lake. De même pour les métaux de base, un axe reliant plusieurs mines peut correspondre à une faille syn-volcanique.

Pour les mines d'or ou de métaux de base, un minimum de trois points était nécessaire pour tracer un axe minéralisé, peu importe la distance entre les deux points (**Figure 15**). Des critères plus rigoureux seraient difficiles à établir du fait de la faible densité de mines.

Pour les indices, deux méthodes simples ont été utilisées pour tracer les axes minéralisés. La première méthode consiste à définir une zone tampon autour de chaque indice, et la seconde est basée sur la densité d'indices par kilomètre carré (**Figure 15**). La méthode des tampons permet de mieux visualiser l'alignement des indices les uns par rapport aux autres, en particulier lorsque les périmètres autour de ceux-ci se touchent (détails au bas à gauche de la **Figure 15**). Le rayon d'influence du tampon autour d'un point a été fixé arbitrairement à 750 m. Un minimum de quatre points a été établi pour tracer un axe. La méthode basée sur la densité (méthode des voisins naturels) permet de discriminer l'axe préférentiel dans un secteur de haute densité d'indices, comme c'est le cas dans les camps miniers. L'axe est ainsi défini par rapport à une série d'isocontours (**Figure 15**).

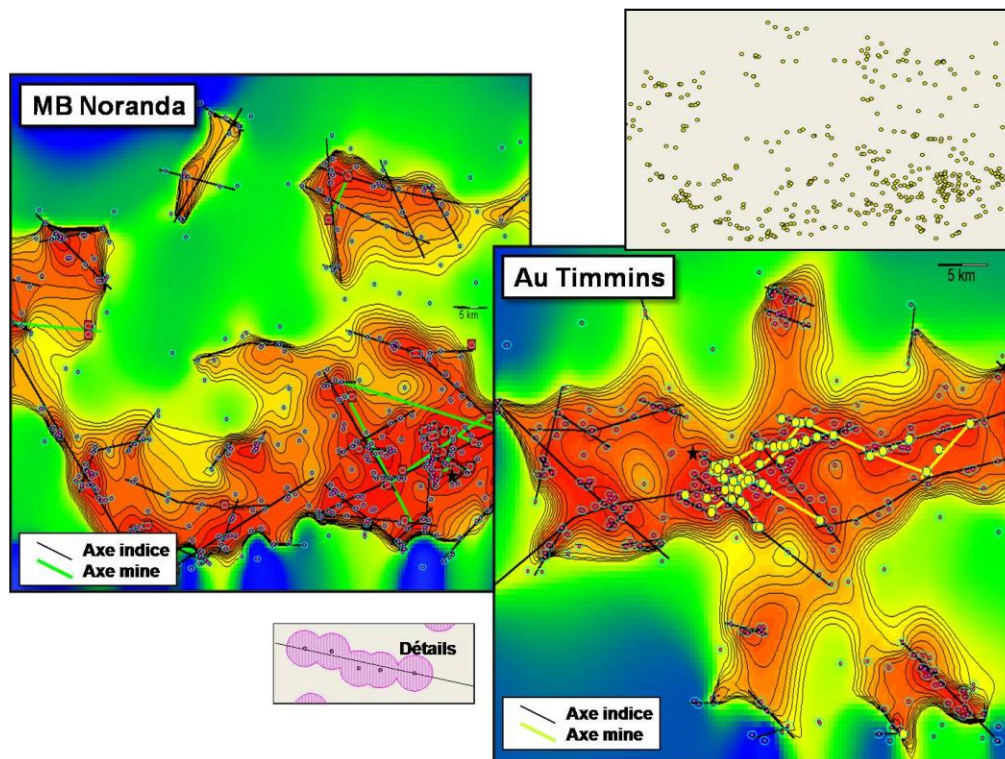


Figure 15. Exemples d'axes minéralisés dans les camps de Noranda (indices et mines de MB : métaux de base) et de Timmins (indices et mines d'or).

4.2 Résultats sur les axes minéralisés

Les résultats sont présentés sur une carte régionale et statistiquement sur des rosaces (**Figure 17**) et (**Figure 18**). Le **Tableau 3** résume les principales caractéristiques des distributions spatiales. La direction des axes minéralisés fait ressortir un comportement différent pour l'or et pour les métaux de base.

Dans le cas des indices d'or, les axes minéralisés (au nombre de 185) sont courts, avec une moyenne de 19 km, et ont une orientation dominante SE et dans une moindre mesure, entre le NE et l'ESE (**Figure 16** et **Figure 17**). Par contre, lorsque la longueur du linéament est prise en compte dans la distribution des orientations, les axes aurifères ENE dominent par rapport au système SE (**Figure 18**). Les axes qui relient les mines d'or (au nombre de 50) ont des longueurs moyennes de 31 km et une direction

dominante ENE pour les deux types de rosaces. Ils soulignent au sud de l'Abitibi la présence des failles de Cadillac – Larder Lake et Porcupine – Destor. Deux axes régionaux retiennent cependant l'attention au nord soit celui de Detour Lake – Géant Dormant et celui de Chibougamau – Géant Dormant (**Figure 16**).

Tableau 3. Synthèse des axes minéralisés.

Données	Nb	Orientation	Long moy	min	max	Signification
Axes mines Au	50	ENE-(ESE)	31,1 km	3	303	Faille régionale + secondaire
Axes mines MB	30	SE-(ESE)	24,0 km	4	194	Faille régionale précoce
Axes indices Au	185	SE-(ENE)	19,2 km	2	173	Faille régionale + secondaire
Axes indices MB	147	ESE-(NE)	27,5 km	3	99	Faille régionale précoce

(MB : métaux de base)

Les axes reliant les indices de métaux de base (au nombre de 147) ont une longueur moyenne de 27,5 km (**Tableau 3**). Ils ont une distribution spatiale plus uniforme que les axes des indices d'or (**Figure 16**). L'orientation des axes des métaux de base est variable avec des concentrations entre l'ESE et le SE et au NE (**Figure 17**). Les directions sont encore plus dispersées dans les cadrans SE et NE lorsque la longueur des axes est prise en considération (**Figure 18**). Les 30 axes reliant les mines de métaux de base sont moins longs (24 km) et plus dispersés sur le territoire que les axes des mines d'or. Les deux directions dominantes sont E-O et SSE lorsque la fréquence est considérée. La direction dominante ENE prédomine cependant sur la rosace azimuth-longueur, ce qui est comparable aux axes des mines d'or (**Figure 18**).

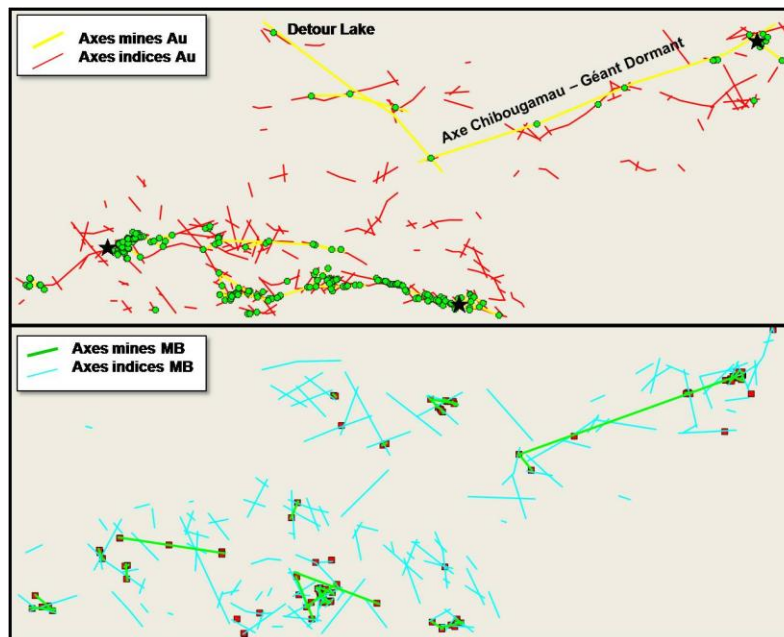


Figure 16. Grands axes minéralisés de l'Abitibi (MB : métaux de base).

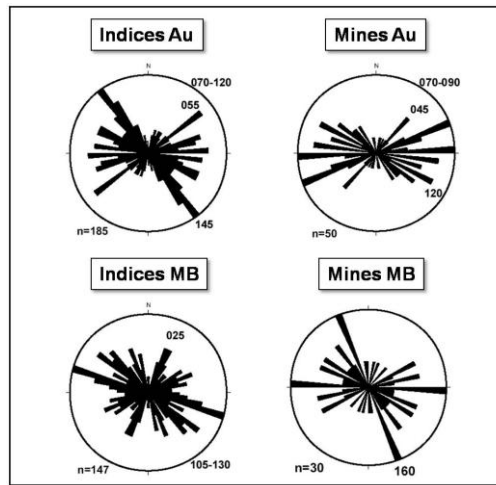


Figure 17. Rosaces des axes minéralisés de l’Abitibi (azimut – fréquence).

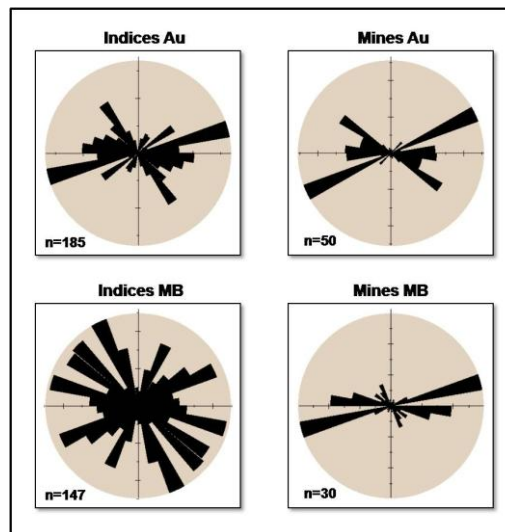


Figure 18. Rosaces des axes minéralisés (azimut – longueur).

5 CORRÉLATION ENTRE LES LINÉAMENTS ET LA MINÉRALISATION

Cette partie du rapport présente les relations spatiales entre les linéaments géophysiques et les deux grands types de minéralisation en Abitibi, soit la minéralisation aurifère et celle en métaux de base.

L’analyse topologique entre la minéralisation et les zones tampons autour des linéaments géophysiques a été le premier essai de corrélation fait pour établir le lien entre ces deux bases de données. Cette approche statistique et spatiale, permet d’évaluer le comportement de la minéralisation par rapport à l’ensemble des linéaments ou à une famille en particulier. L’analyse de surface à l’aide de tampons a été faite d’abord autour de tous les types de linéaments indépendamment de leur type et de leur orientation. Ensuite, l’analyse a été effectuée autour de chacune des familles de linéaments. Le deuxième essai a été de comparer la position des intersections des linéaments avec celle des indices et des mines de l’Abitibi dans le but d’identifier des secteurs d’intérêts.

5.1 Analyse topologique autour de tous les linéaments

La proximité des indices et mines d'or et de métaux de base a été établie autour de tous les linéaments (1 636) sans égard à leur orientation et leur type. Une zone tampon d'une largeur de 1 km (0,5 km de chaque côté) a été tracée automatiquement avec Discover (Data Utilities/Proximity Search) autour des linéaments sécants et d'entraînement formant ainsi des aires d'influence (**Figure 19**). Les indices et des mines d'or et de métaux de base dans les aires d'influence des linéaments ont été isolés pour chaque catégorie de minéralisation (**Figure 20**). En d'autres termes, la méthode permet d'évaluer le nombre de mines ou d'indices situé à moins de 0,5 km des linéaments et de déterminer l'orientation préférentielle et le nombre de ces linéaments liés à un type de minéralisation en particulier.

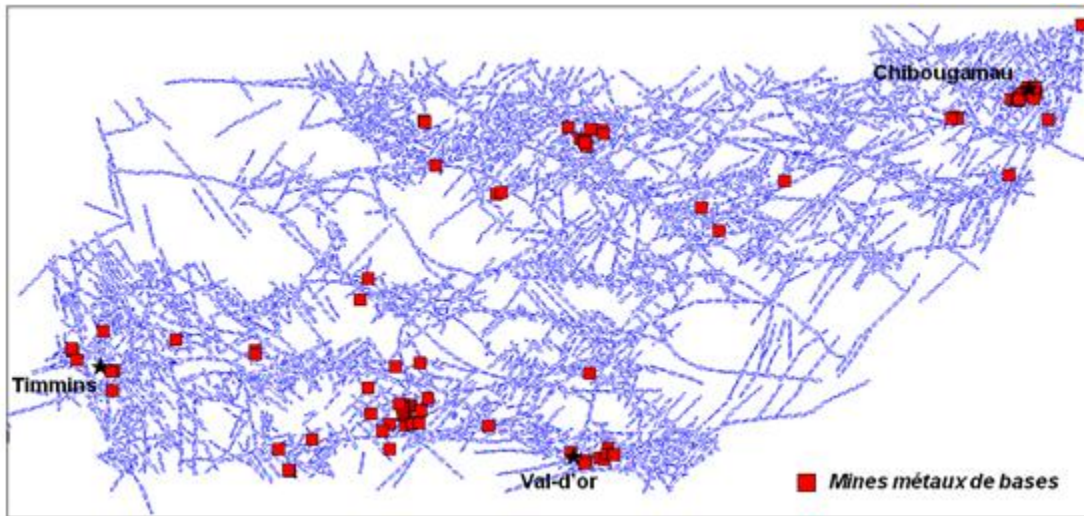


Figure 19. Lien entre tous les linéaments géophysiques et la minéralisation en métaux de base de l'Abitibi. Les lignes en tirets bleus représentent les contours des zones tampons de 0,5 km de largeur de part et d'autre des linéaments sécants et d'entraînement.

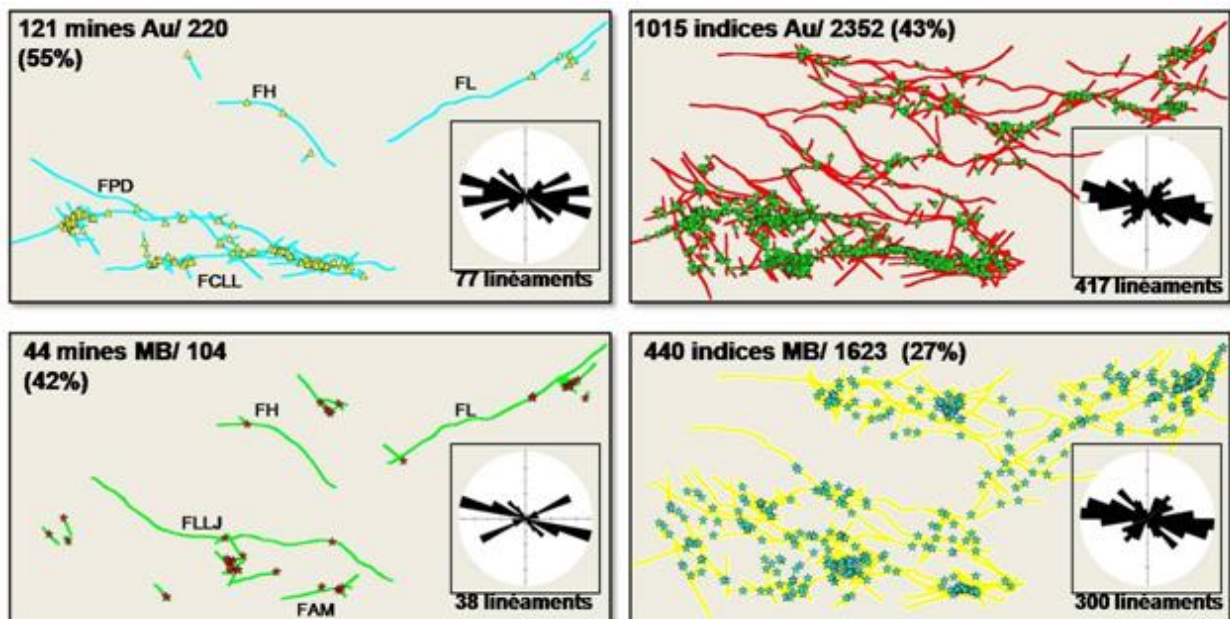


Figure 20. Linéaments géophysiques porteurs de minéralisation (zone tampon de 1 km de largeur). FH : Faille Harricana; FL : Faille Lamarck ; FPD : Faille Porcupine-Destor; FLLJ : Lyndhurst – Landrienne – Jolin ; FAM : Faille Aumaque – Manitou.

Les résultats présentés sur la **Figure 20** révèlent que plus de 55 % des mines d'or (121/220 mines) sont localisées à moins de 500 m de 77 linéaments seulement, soit moins de 5 % du total des linéaments (77/1 636). L'orientation prédominante de ces linéaments varie d'ENE à ESE. La majorité des 121 mines se limitent aux failles Larder-Lake -Cadillac et Porcupine Destor près ou à l'intersection avec les linéaments sécants ENE et/ou SE, comme dans les camps de Timmins, Kirkland Lake, Malartic et Val-d'Or.

Les zones tampons de 1 km de largeur autour de 38 linéaments ENE ou ESE coïncident avec la présence de 42 % des mines de métaux de base de l'Abitibi, dont quatre linéaments d'entraînement importants : les failles Lyndhurst – Landrienne – Jolin et failles Aumaque – Manitou au sud, et de Harricana et Lamarck au nord (**Figure 20**). Dans le secteur de Noranda, près de la moitié des mines sont à moins de 500 m de la signature géophysique des failles Mouilleuse, Hunter Creek, et Horne, pour ne nommer que celles-ci.

Le contrôle structural semble plus évident pour les indices d'or que pour les indices de métaux de base (**Figure 20**). 43 % des indices d'or (1 015) sont à moins de 0,5 km de 417 linéaments et la grande majorité des indices sont localisés le long des linéaments d'entraînement. Seulement 27 % des indices de métaux de base (440) ont été observés à moins de 0,5 km de 300 linéaments. Les linéaments orientés ESE (d'entraînement principalement) et le système conjugué NE et SE (majoritairement sécants) prévalent dans les deux cas. Cependant, la majorité des indices de métaux de base ne sont pas situés le long de linéaments d'entraînement, mais plutôt près ou aux intersections de linéaments ENE et SE, en particulier dans le nord de l'Abitibi. Il y a autant d'indices de métaux de base à moins de 0,5 km de linéaments dans le nord de l'Abitibi (221) que dans le sud (229) alors qu'il y a quatre fois plus d'indices d'or à proximité des linéaments (<0,5 km) dans le sud (812) en comparaison du nord (203).

Les directions préférentielles des axes minéralisés (**Figure 16**) sont comparables avec celles des linéaments minéralisés (**Figure 20**), en particulier pour les minéralisations aurifères. On retrouve effectivement les mêmes familles (cadran ENE à ESE et familles NE et NO) tant pour les indices que pour les mines d'or. Cette même relation est également présente pour les mines et indices de métaux de base avec un système prédominant ESE et un système conjugué NE et NO.

5.2 Étude de proximité par familles de linéaments

Une analyse des relations topologiques a été appliquée pour chacune des cinq familles de linéaments (NNE, N-S, NE, SE et les linéaments d'entraînement et sécants ENE-ESE). Pour chaque linéament de chacune des familles, une série de 10 zones tampons variant de 1 à 10 km de large (0,5 à 5 km de chaque côté des linéaments) ont été tracées. Cette analyse a pour but de vérifier si certaines familles de linéaments sont plus susceptibles que d'autres d'expliquer la distribution d'indices ou de mines d'or ou de métaux de base et d'évaluer la distance critique à laquelle les linéaments n'ont plus d'influence sur cette distribution.

La **Figure 21** montre, pour les indices d'or et pour deux exemples à des échelles différentes, des résultats pour une série de tampons (1 à 10 km de largeur) autour des linéaments NE. Le graphique de cette figure montre comment évolue le pourcentage cumulé d'indices d'or en fonction de la distance par rapport aux linéaments de cette famille.

La relation entre la minéralisation et les familles de linéaments est plus évidente lorsque les différents types de minéralisation sont mis en relation pour chacune des zones tampons (**Figure 22**). Les familles NE, ENE-ESE, SE montrent les variations les plus marquées, en particulier pour les indices et les mines d'or, soulignant encore une fois le contrôle structural prédominant pour ce type de minéralisation. Par contre, les familles NNE et N-S montrent peu de variation latéralement. La minéralisation le long des familles de linéaments ENE-ESE et SE est marquée par une décroissance progressive du nombre d'indices ou de mines, pour se stabiliser entre 1 et 3 km des linéaments. Cette relation indique qu'il y a

une organisation (*clustering*) de la minéralisation par rapport à ces deux familles. Un fait intéressant est noté pour les indices et les mines d'or le long des linéaments NE qui atteignent un nombre maximal autour de 1,5 km.

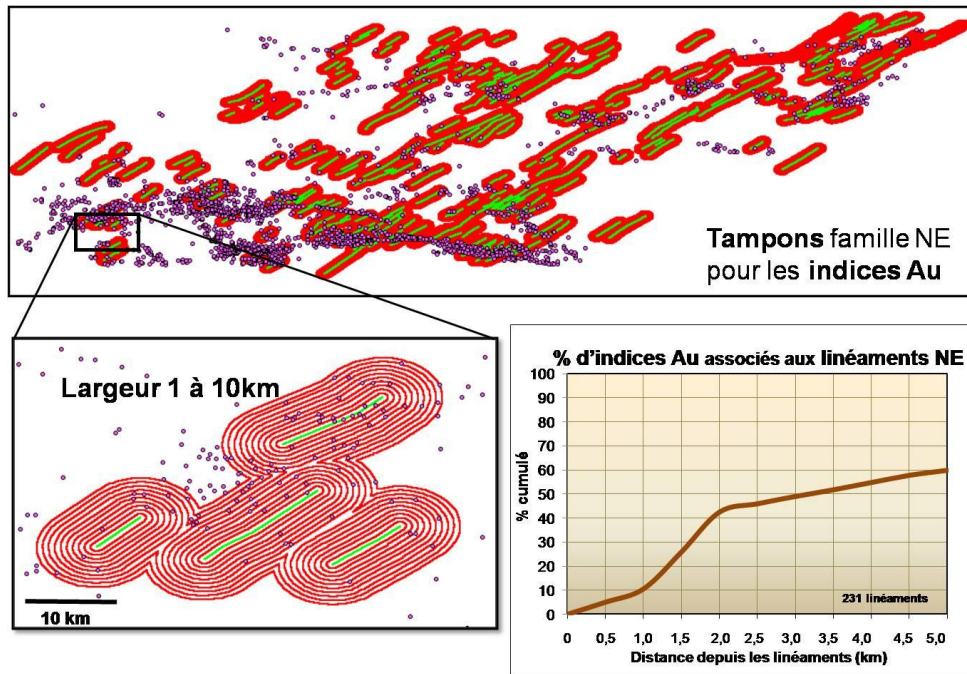


Figure 21. Exemple des zones tampons autour des linéaments NE.

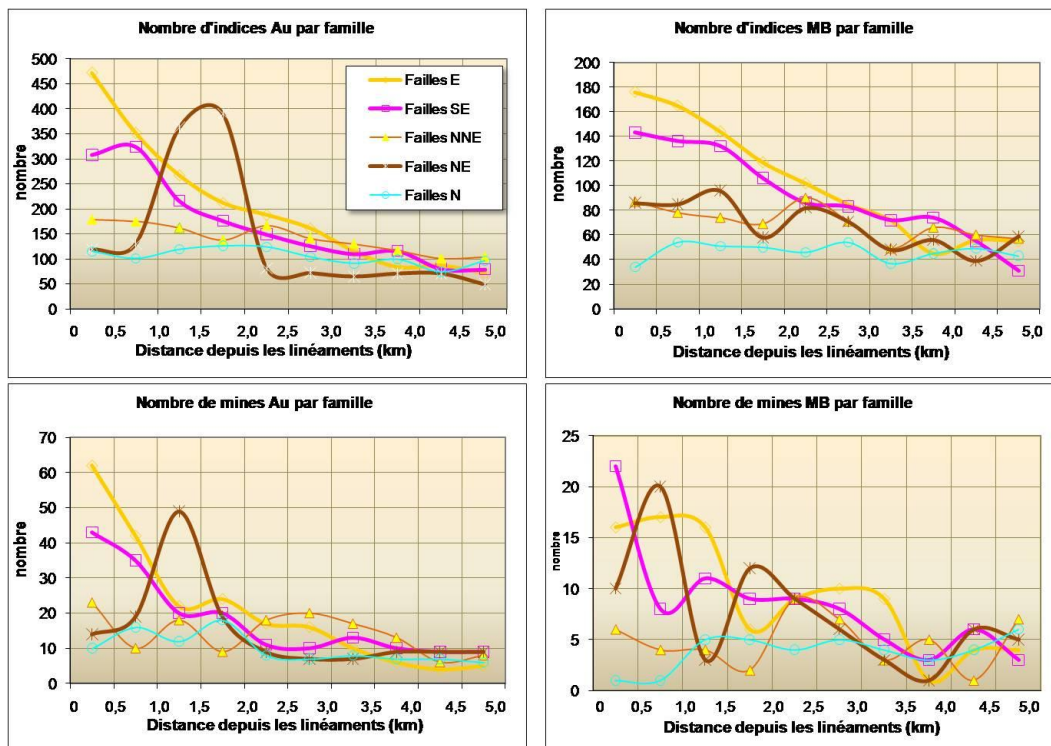


Figure 22. Histogrammes de variation du nombre d'indices ou mines par rapport à la distance aux linéaments.

5.3 Implication pour l'exploration

La distance à partir de laquelle les linéaments n'ont plus d'influence sur la minéralisation varie entre 1,5 et 2 km (**Figure 22**). La probabilité de trouver des indices ou des mines d'or est plus forte le long des linéaments d'entraînement et sécants ENE-ESE ou sécants SE que pour les minéralisations en métaux de base. Respectivement, 60 % et 45 % des mines d'or sont situées à moins de 1,5 km des linéaments ENE-ESE et SE. Leur nombre décroît par la suite de plus de 50 % entre 1,5 et 3 km. Le nombre de mines d'or augmente par contre de 19 à 49 entre 1 et 1,5 km le long des linéaments NE, et la quantité d'indices d'or quadruple entre 1 et 2 km le long de ces mêmes linéaments (**Figure 22**).

La probabilité de trouver des indices ou des mines de métaux de base est également plus forte le long des linéaments d'entraînement et sécants ENE-ESE ou sécants SE, mais dans une portion moindre que pour l'or. Environ 30 % des mines de métaux de base se trouvent associées à des linéaments orientés ENE-ESE et/ou SE et/ou NE. Le nombre de ces mines augmente du double entre 0,5 et 1 km en bordure des linéaments NE, alors qu'il diminue de près de 65 % dans le premier kilomètre depuis les linéaments SE.

Cette organisation de la minéralisation par rapport à l'orientation des linéaments suggère des stratégies d'exploration différentes (**Figure 23**). L'exploration faite pour l'or le long des linéaments ENE-ESE ou SE devrait se concentrer dans le premier 1,5 km de part et d'autre du linéament. Pour les linéaments NE, elle devrait être concentrer entre 1 et 2 km. Pour les minéralisations en métaux de base, la priorité d'exploration devrait porter sur les linéaments NE et SE puisque les plus fortes densités de mines leur sont associées.

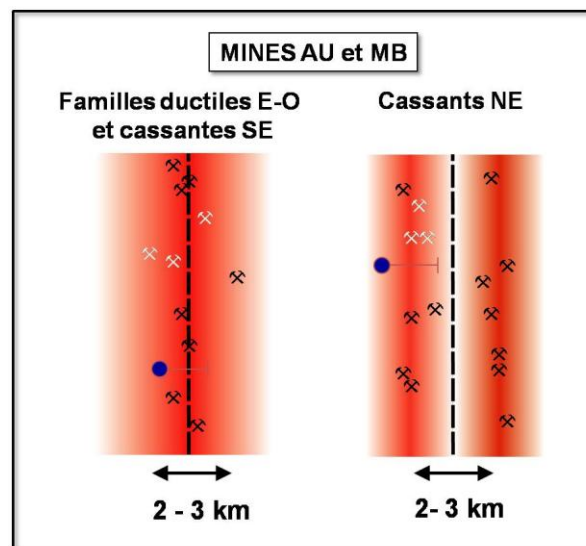


Figure 23. Exemple de positions théoriques de mines par rapport à l'orientation des linéaments et l'implication pour l'exploration.

5.4 Modèle métallogénique

La distribution de la minéralisation par rapport à certaines familles de linéaments permet d'avancer un concept métallogénique et structural pour la genèse de certains gisements et indices en particulier ceux minéralisés en or (**Figure 24**). En Abitibi, la minéralisation aurifère est généralement contrôlée ou remobilisée le long de structures, en particulier près des failles majeures. Le fait de trouver de la minéralisation au cœur ou près (<1,5 km) des failles d'entraînement ENE-ESE ou des failles orientées SE comme il a été démontré, nous amène à croire que ces failles ont été actives de façon continue et qu'elles

sont perméables. Une activité hydrothermale sans interruption le long de ces failles aurait permis à la partie centrale d'être mécaniquement active (zone de dommage), probablement sur une longue période de temps.

Les minéralisations aurifères et en métaux de base le long des linéaments NE seraient par contre associées à un système hydrothermal qui aurait été actif sporadiquement, favorisant ainsi des températures variables et la précipitation de matériel imperméable au cœur de la zone (zone silicifiée ou argileuse par exemple). La minéralisation aurait alors précipité en marge de ces linéaments entre 1 et 2 km là où les zones de dommage auraient été plus actives. Une autre hypothèse pour expliquer la distribution de ces deux types de minéralisation par rapport aux linéaments NE, est d'invoquer un système minéralisateur précoce, syn-génétique, localisé le long de failles syn-volcaniques en bordure de bassins longs et étroits (1-2 km).

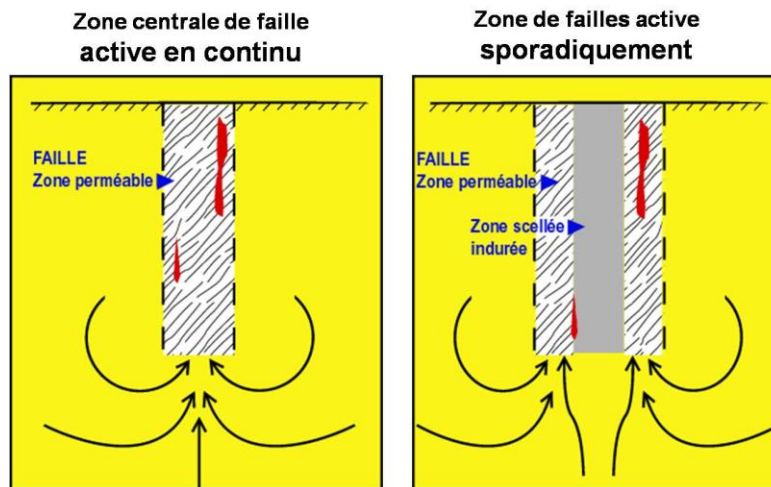


Figure 24. Modèle métallogénique.

5.5 Intersections des linéaments

Le deuxième essai de relation entre les linéaments et la minéralisation a été de comparer la position des intersections des linéaments avec celle des indices et des mines de l'Abitibi. L'intersection de linéaments permet d'ajouter une donnée spatiale supplémentaire à cette étude. Les points de rencontre peuvent être interprétés comme des conduits hydrothermaux assumant que la majorité des linéaments sécants et d'entraînement sont des failles. La distribution spatiale de ces points nous renseigne d'une manière indirecte sur la porosité de paléo-systèmes hydrothermaux et donc de régions favorables pour la minéralisation.

La (**Figure 25**) montre la distribution spatiale de tous les points d'intersection entre les familles de linéaments sécants NE, E-O et SE, ainsi qu'avec les linéaments d'entraînement. Comme il a été démontré avec l'étude sur la proximité de la minéralisation autour des linéaments, les familles N-S et NNE ne semblent pas avoir d'influence sur la minéralisation et sont par conséquent exclues du traitement.

5.6 Secteurs d'intérêts pour l'exploration

Le calcul de la densité des points d'intersection, et sa représentation spatiale par la méthode des voisins naturels, a permis d'identifier trois corridors avec un taux d'intersection élevé (**Figure 26**): deux bandes orientées ESE et qui correspondent à l'axe de Val-d'Or – Timmins au sud et de Détour Lake – Desmaraisville au nord, et une bande NE qui relie Chibougamau et Cadillac. Les positions des indices et

des mines, respectivement pour les métaux de base et pour l'or, ont été superposées sur la carte de densité des points d'intersection. Il apparaît dans l'ensemble que la minéralisation aurifère et en métaux de base coïncide avec les régions de haute densité d'intersection. C'est le cas en particulier du sud de l'Abitibi où les deux types de minéralisations coïncident avec les zones de densité maximale. Une relation similaire existe au nord pour les métaux de base, en particulier dans le secteur de Matagami et de Chibougamau. Par contre, les indices et les mines d'or au nord de l'Abitibi se concentrent au sud des régions de densité maximale. Ce dernier cas s'explique probablement par le fait que l'exploration au nord de la Faille Casa Berardi a surtout été faite pour les métaux de bases. Ces trois bandes pourraient représenter des zones de sutures précoces et importantes (failles syn-volcaniques, grabens) le long desquelles la minéralisation polymétallique se développe sur une longue période de temps.

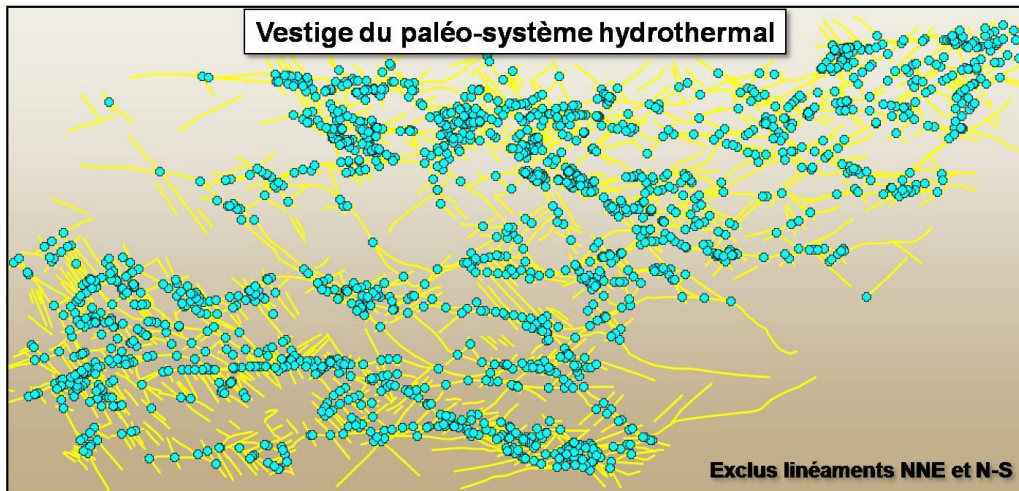


Figure 25. Points d'intersections entre les familles de linéaments sécants NE, ENE-ESE ainsi qu'avec les linéaments d'entraînement.

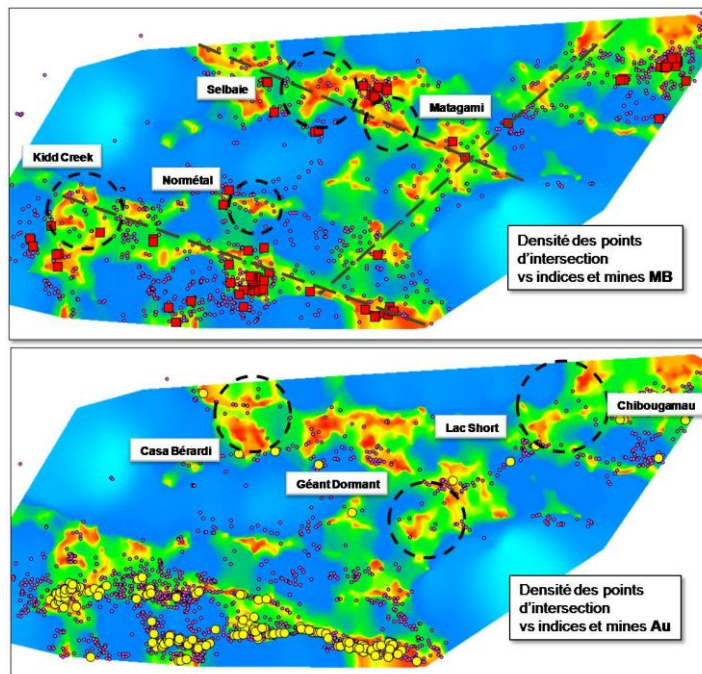


Figure 26. Densité de points d'intersection de linéaments géophysiques et secteurs d'intérêts comparés à la position des indices et mines d'or ou de métaux de bases de l'Abitibi.

6 CONCLUSION

Cette étude est probablement l'unique interprétation de linéaments géophysiques faite en détail pour l'ensemble de la sous-province de l'Abitibi. C'est une première phase d'interprétation faite par un seul observateur sur un grand territoire. Elle a permis d'établir les principales familles de linéaments et des relations générales avec les minéralisations en or et métaux de base.

La corrélation directe établie entre la minéralisation et certaines familles de linéaments a permis d'ajouter une valeur supplémentaire aux données géophysiques. Généralement, ces données sont mises en relation avec la géologie en général, mais ici c'est l'interprétation des linéaments qui est mise en perspective avec la minéralisation.

L'étude a conduit directement à des critères d'exploration quantitatifs en identifiant les distances et la probabilité de trouver de la minéralisation par rapport à certaines familles de linéaments.

Les faits saillants sont les suivants:

- Plus de 55 % des mines d'or sont situées à moins de 0,5 km de seulement 77 linéaments orientés entre l'ENE et le SE. 42 % des mines de métaux de base sont localisées à moins de 0,5 km le long de 38 linéaments ENE ou ESE.
- Respectivement, 43 % et 27 % des indices d'or et de métaux de base sont situés à moins de 0,5 km le long de quelques centaines de linéaments d'entraînement ESE et sécants NE et SE.
- Le nombre de mines et d'indices d'or est maximal sur ou près des linéaments ENE-ESE et SE. Il diminue de plus de 50 % après 1,5 km de distance de ces linéaments. Le nombre de mines d'or et de métaux de base est maximal entre une distance de 1 et 1,5 km des linéaments NE.
- La plus forte densité de mines d'or et de métaux de base le long des linéaments NE est située entre 1 et 2 km de part et d'autre de ces linéaments.
- Le nombre de mines et d'indices diminue et se stabilise après 1,5 km des linéaments ENE-ESE, NE et SE. Il n'y a pas de variation de ce nombre pour les linéaments géophysiques orientés NNE et N-S, ce qui laisse supposer que ces derniers n'ont pas de lien avec la minéralisation.
- Il existe une meilleure corrélation spatiale entre les linéaments et la minéralisation en or, supportant l'idée que ce type de minéralisation est davantage contrôlé par la structure que la minéralisation en métaux de base.
- Dans le sud de l'Abitibi, la densité d'intersections de linéaments la plus élevée correspond en général à l'emplacement des indices et des mines d'or et de métaux de base. Au nord, les indices et les mines d'or ont un décalage vers le sud par rapport aux régions de fortes densités d'intersections.
- Les régions où la densité d'intersections est élevée, mais où il n'y a pas de minéralisation connue, sont identifiées comme des secteurs favorables pour l'exploration. Pour l'or, les secteurs potentiels sont : 1) au nord des mines Casa Berardi et Estrades (entre 10 et 30 km au SO de la mine Selbaie), 2) entre les failles Laflamme Sud et Cameron à 50 km à l'ESE de la Mine Géant Dormant, 3) à 15 km au nord de la Mine du Lac Shortt, et 4) à environ une soixantaine de kilomètres à l'ouest de Chibougamau en bordure du socle. Pour les métaux de base, les régions favorables pour l'exploration sont : 1) de 5 à 50 km au NNE de la Mine Kidd Creek, 2) entre 15 et 30 km au SE du camp minier de Normétal, 3) entre les camps de Matagami et Selbaie, et 4) à 25 km au sud du camp minier de Matagami.

RÉFÉRENCES

- Buchan, K. L. et Ernst, R. E. 2004. Diabase dyke swarms and related units in Canada and adjacent regions. Geological Survey of Canada, "A" Series Map 2022A, 39 pages.
- Hobbs, W.H. 1904. Elements of the Atlantic border region. Geol. Soc. American Bull. 15: 483-506.
- Hobbs, W.H. 1912. Earth features and their meaning. New York, Macmillan Co., 506 p.
- Kumarapeli, P.S., St. Seymour, K.S., Fowler A. et Pintson, H. 1990. The problem of the magma source of a giant radiating mafic dyke swarm. *Dans* Parker, A. J., Rickwood, P.C. et Tucker, D.H.(éd.): Mafic dykes and emplacement mechanisms. Balkema, Rotterdam, p. 163-171.
- Kutina, J. et Fabbri, A. 1971. Relationship of structural lineaments and mineral occurrences in the Abitibi area of the Canadian shield. Geological Survey of Canada, Paper 71-9, 33 p.
- Marshall, B. 1978. The lineament-ore association. *Economic Geology*, 73: 942-945.
- O'Driscoll, E.S.T. 1990. Lineament tectonics of Australian ore deposits. *Dans* Hughes, F.E. (éd.): *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea*, p.33-41.
- O'Leary, D.W., Friedman, J.D. et Pohn, H.A. 1976. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *GSA Bulletin*, 87: 1463-1469.
- Richards, J.P. 2000. Lineaments revisited. *SEG Newsletter*, 42, 8 p.