

Identification des linéaments géophysiques et leurs relations avec la minéralisation

Stéphane Faure, Ph.D., géo

Québec Exploration, 23 Novembre 2009



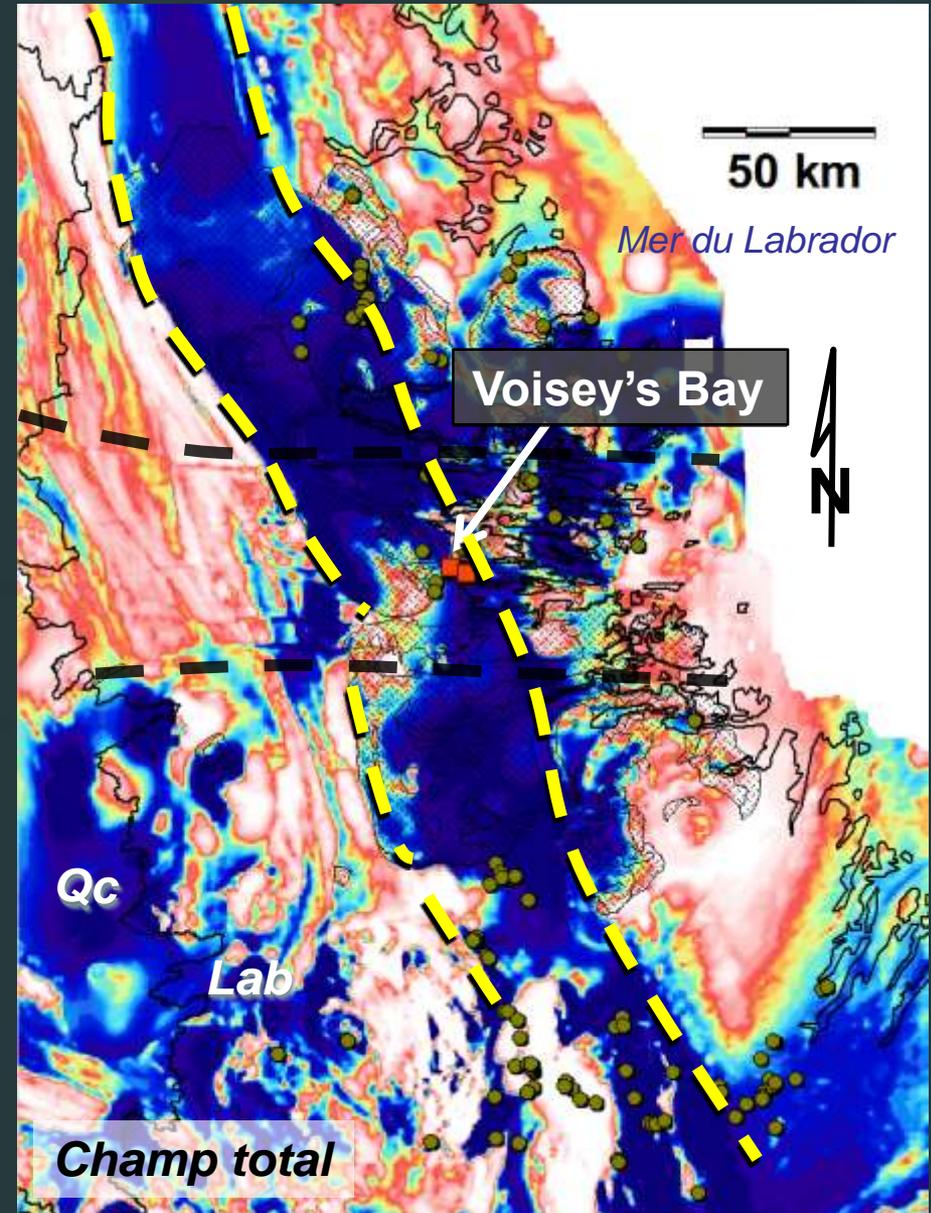
Plan

- Introduction: Pourquoi étudier les linéaments géophysiques?
- Types de linéaments géophysiques
- Techniques de rehaussement du signal (filtres géophysiques), des couleurs et des ombrages
- Technique Consorem multi-observateurs et multi-couches
- Les linéaments en relation spatiale avec la minéralisation

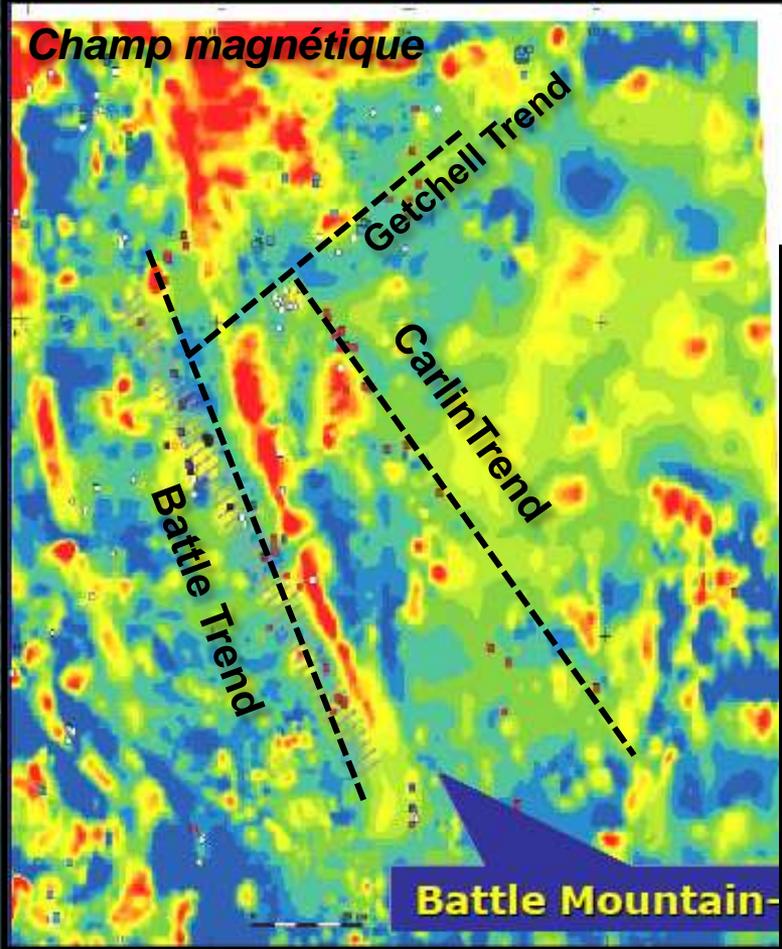
Introduction

- Majorité des minéralisations sont contrôlées par des structures majeures et régionales
 - Au orogénique
 - Porphyres
 - Ni-Cu magmatique
 - IOCG
 - Kimberlites
- Certaines structures crustales précoces ont été actives ou réactivées à plusieurs reprises

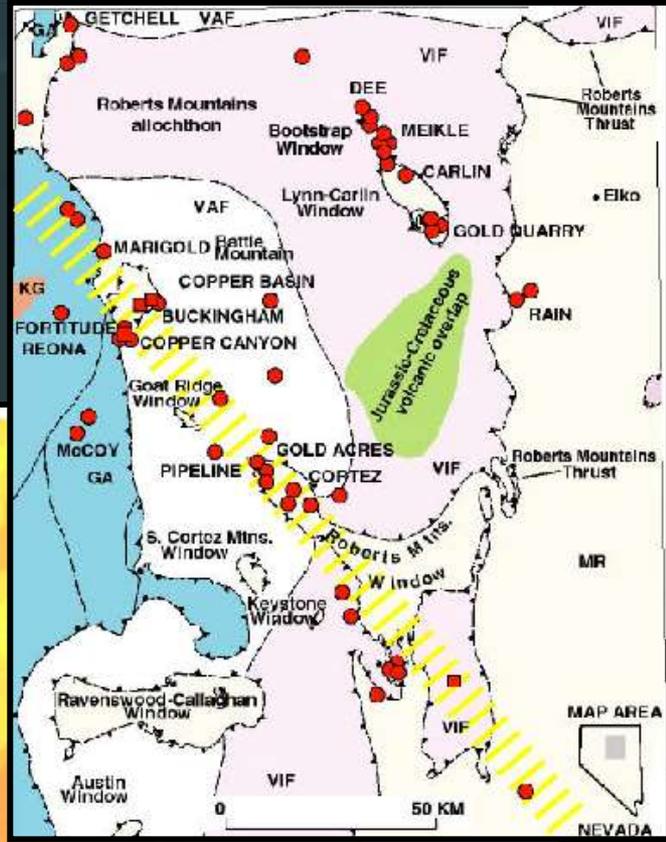
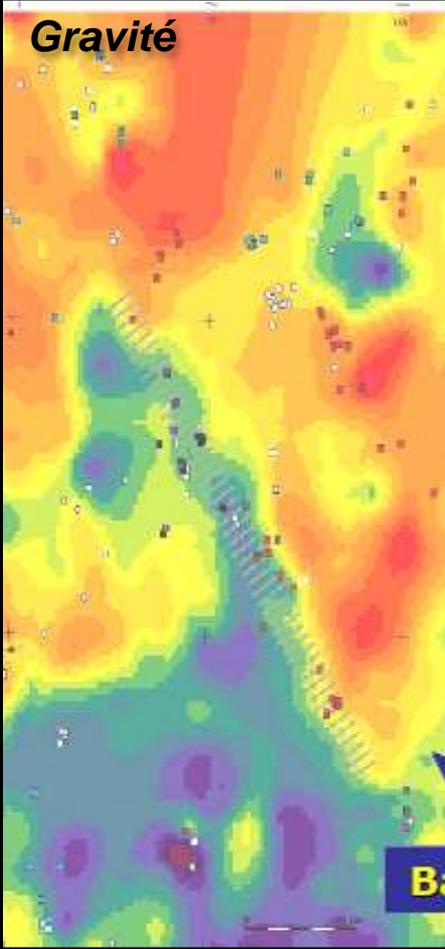
D'où l'intérêt d'étudier les relations spatiales entre linéaments et la minéralisation



Introduction



Saltus et Jachens (1995)



Introduction

Avantage des linéaments géophysiques: couverture géophysique uniforme, indépendant de la topographie, permet de distinguer les structures superficielles et profondes de la croûte

Utilisation: établir des relations spatiales avec la minéralisation

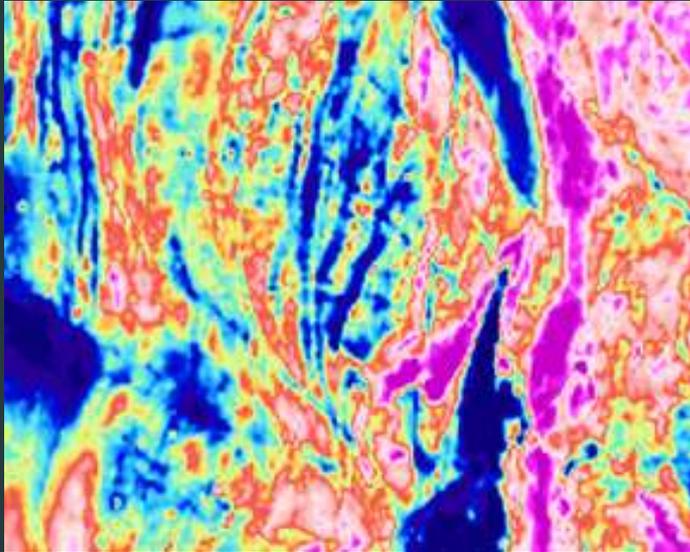
Projets Consorem: plusieurs projets, à différentes échelles, dans différentes régions du Québec et de l'Ontario

Problématique soulevée: l'interprétation des linéaments est visuelle donc subjective et non quantitative. Quelle définition donner à un linéament?

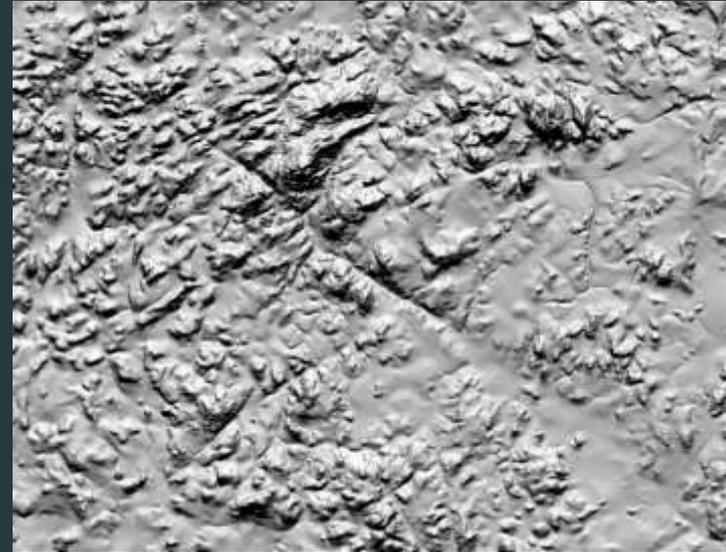
Types de linéaments géophysiques

Type de linéaments

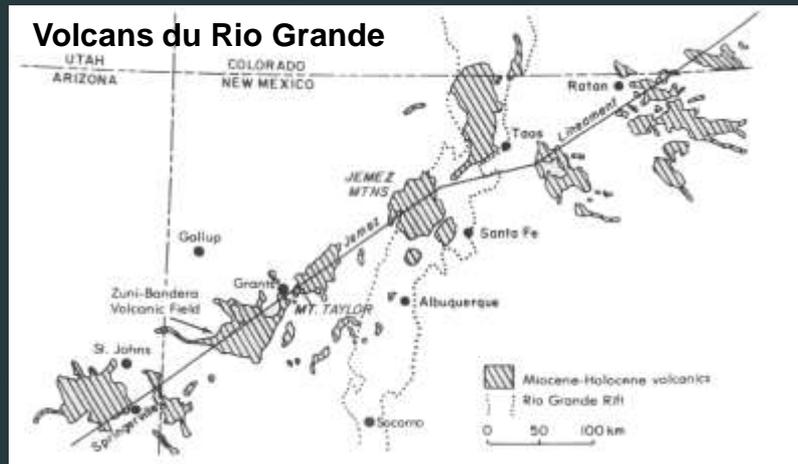
Linéaments géophysiques



Linéaments topographiques



Linéaments d'objets géologiques

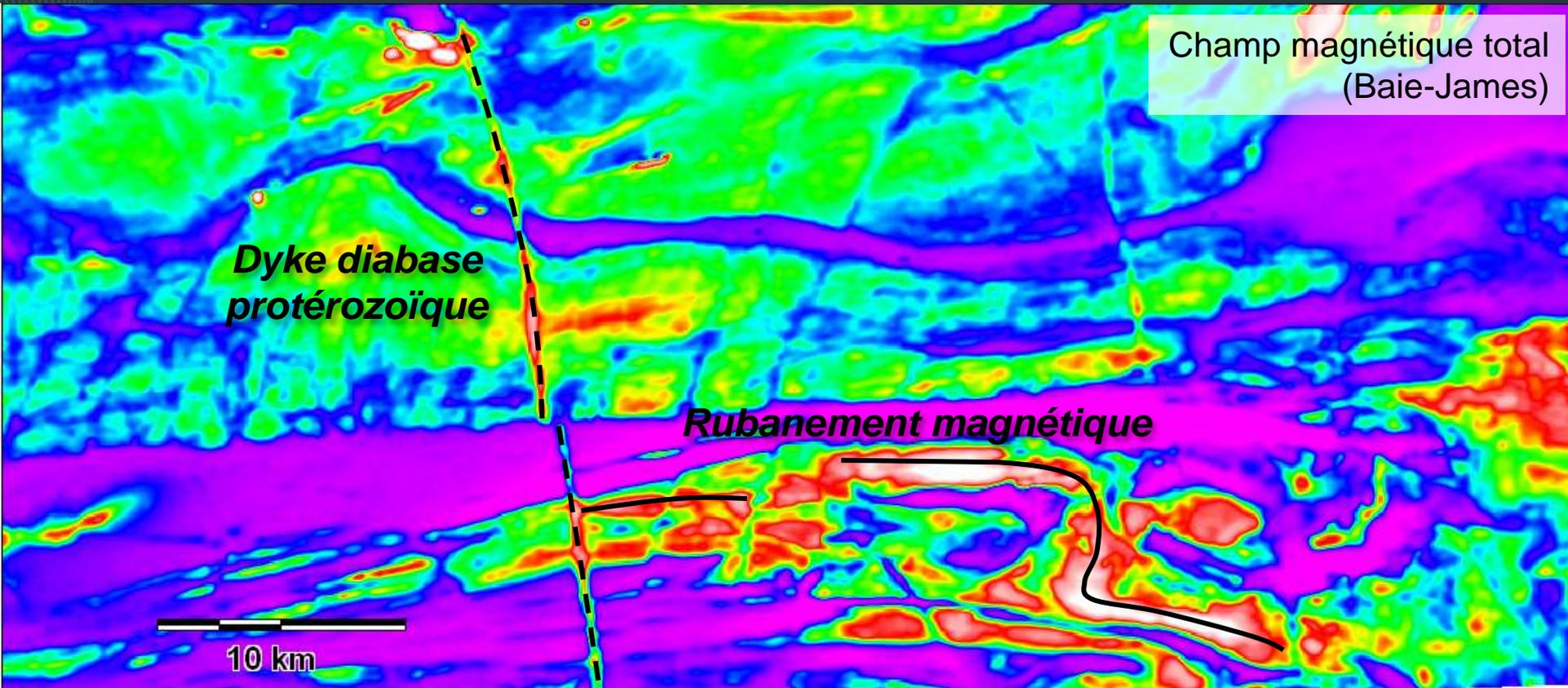


Mabery, 1997

Types de linéaments magnétiques

1-Rubanement magnétique: observation directe de crêtes et/ou de creux magnétiques. Correspond généralement à la lithologie (dyke, pluton, formation de fer) et donne une idée du style structural (plis).

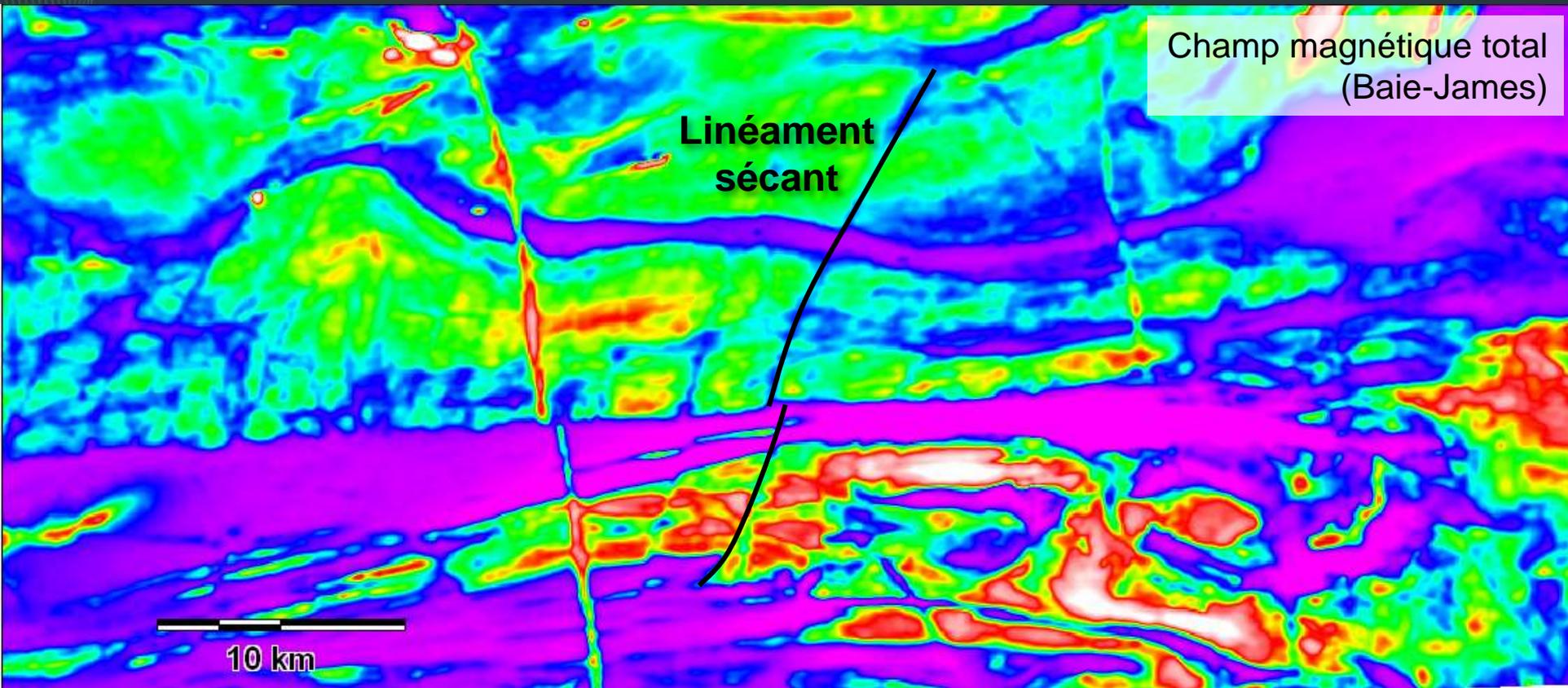
Intérêt: cartographie lithologique et structural (trajectoire structurale, roche réactive, limite et organisation interne d'un pluton)



Types de linéaments magnétiques

2-Linéament sécant: évidence directe ou indirecte correspondant à des discontinuités, bris ou rupture abrupte de susceptibilité magnétique, avec ou sans déplacement. Généralement à angle ($>30^\circ$) par rapport au grain magnétique, rectiligne (faible courbure), corridor de démagnétisation étroit (centaine de m). Interprété comme une faille cassante.

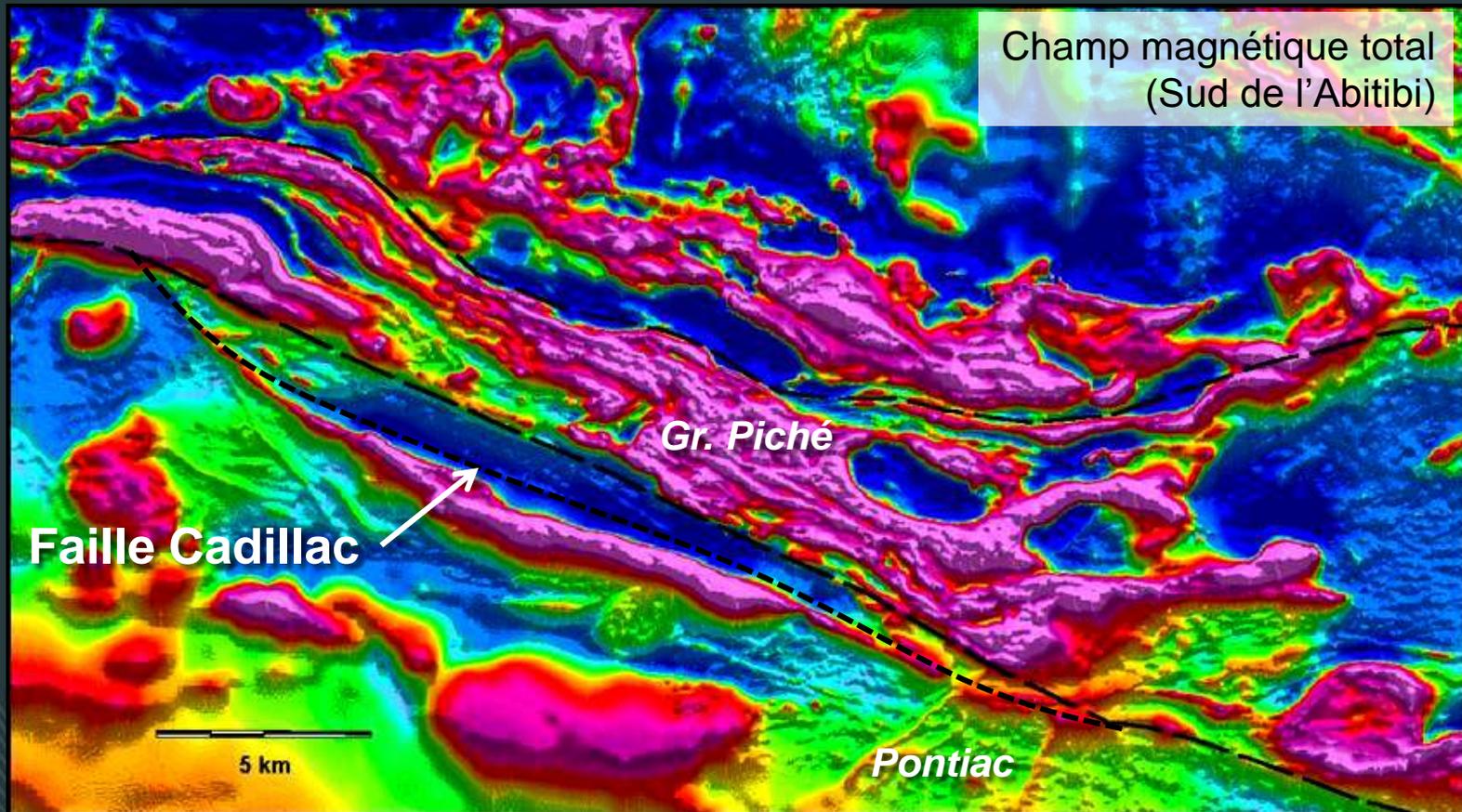
Intérêt: minéralisation en contexte de déformation fragile (U, dm, Au, Cu)



Types de linéaments magnétiques

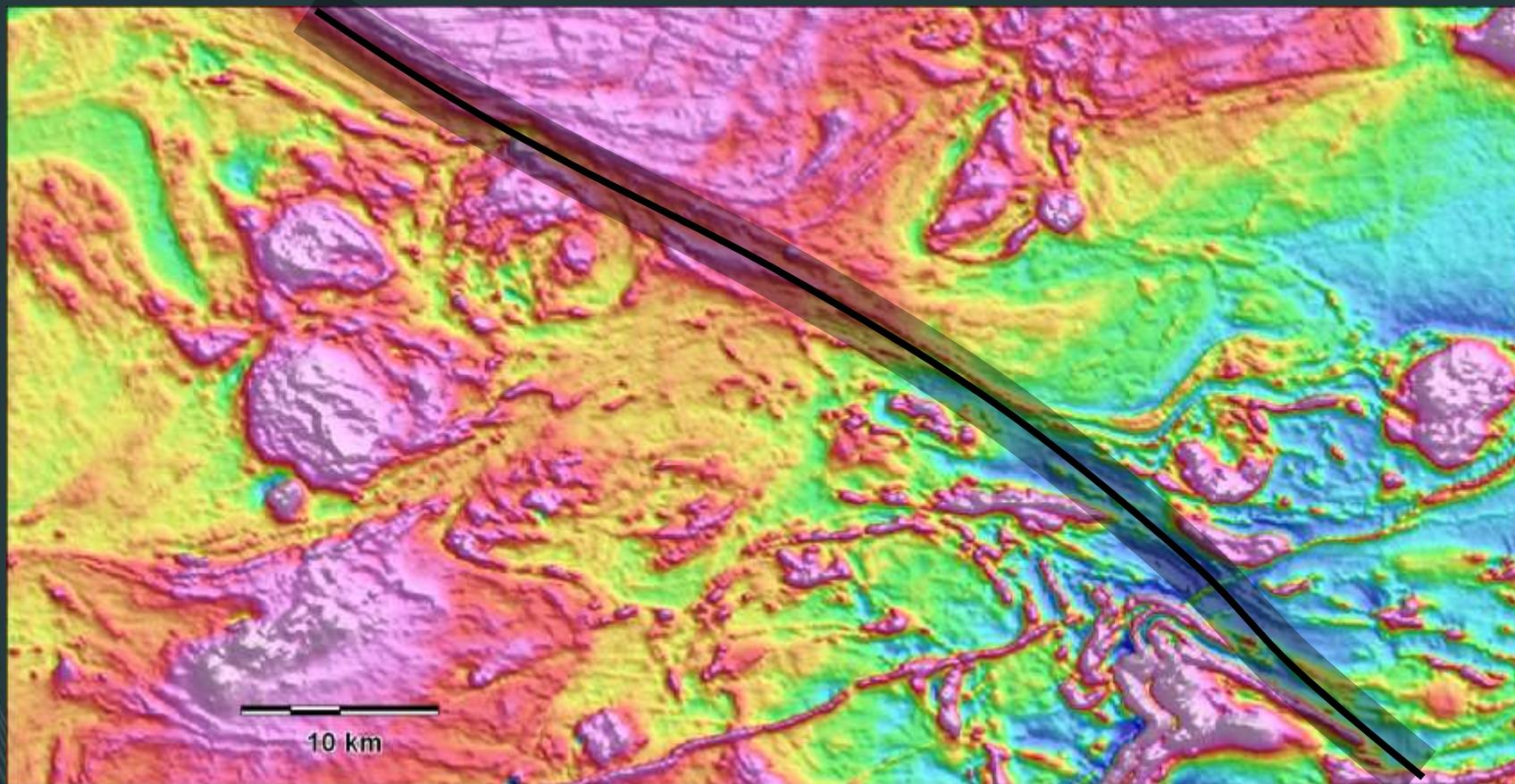
3-Linéament d'entraînement: évidence indirecte correspondant à l'entraînement ou au décollement du rubanement magnétique. Matérialisé souvent par un creux magnétique curvilinéaire de longueur pluri kilométrique, subparallèle ou à faible angle par rapport au grain magnétique. Délimite des domaines de contraste magnétique et/ou de plissement du rubanement magnétique. Interprété comme un couloir de déformation ductile.

Intérêt: minéralisations Au associées aux couloirs de déformation



Types de linéaments magnétiques

Exemple dans le nord de l'Abitibi de l'entraînement du rubanement magnétique de part et d'autre de la Faille Nottaway



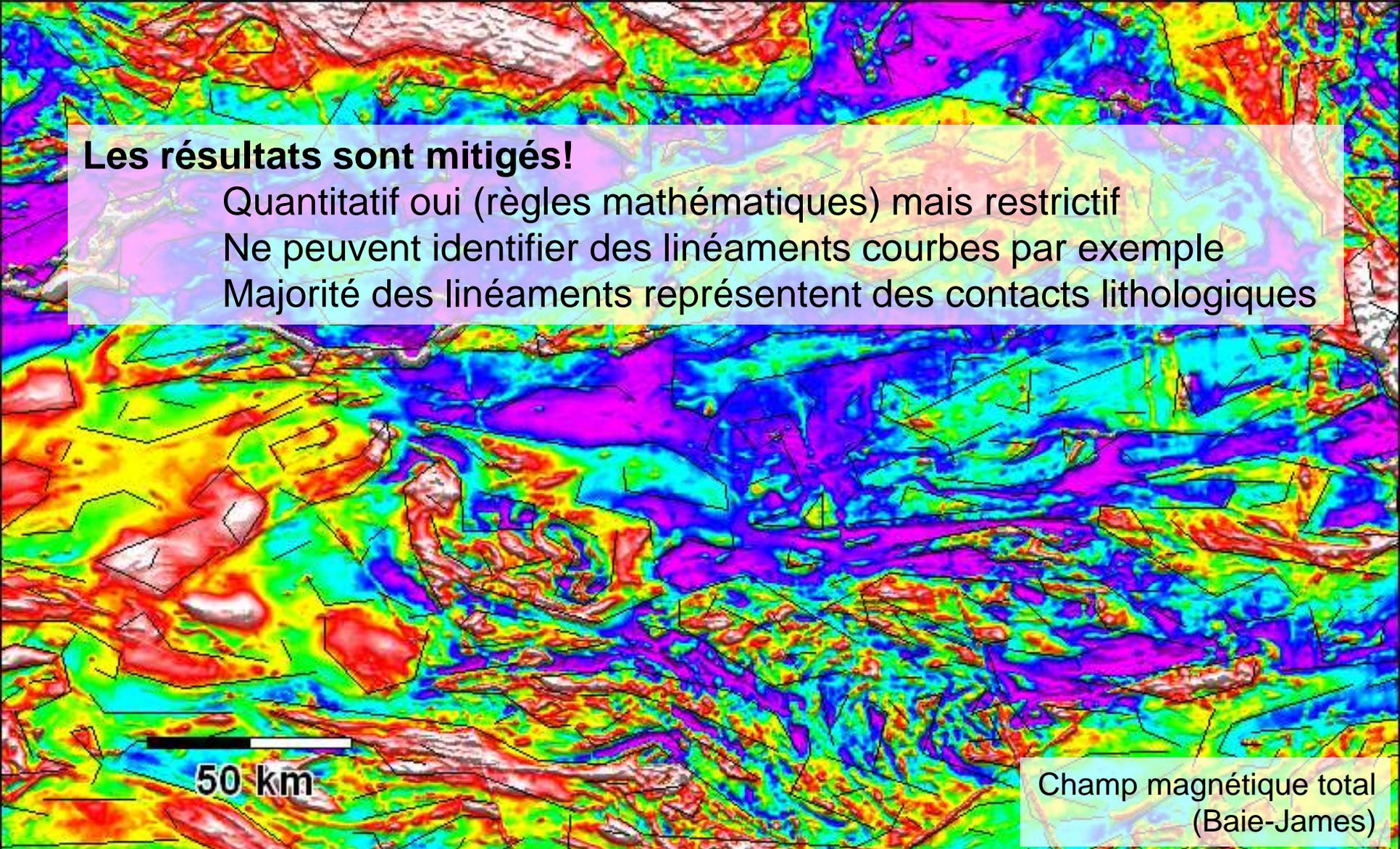
Techniques de reconnaissance automatisées

Les résultats sont mitigés!

Quantitatif oui (règles mathématiques) mais restrictif

Ne peuvent identifier des linéaments courbes par exemple

Majorité des linéaments représentent des contacts lithologiques

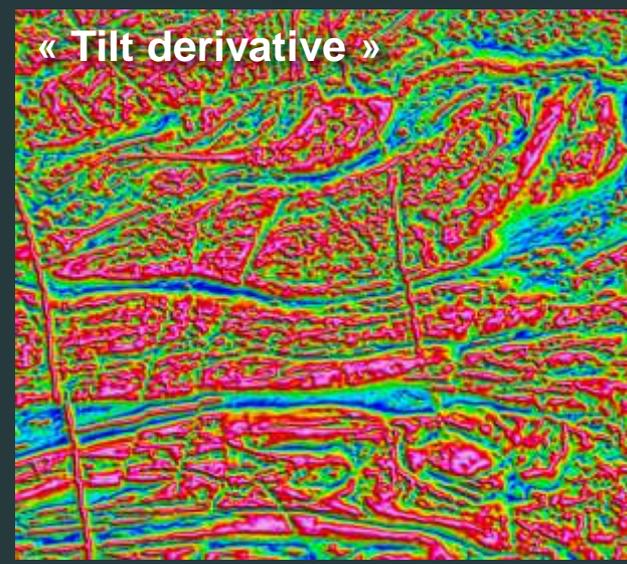
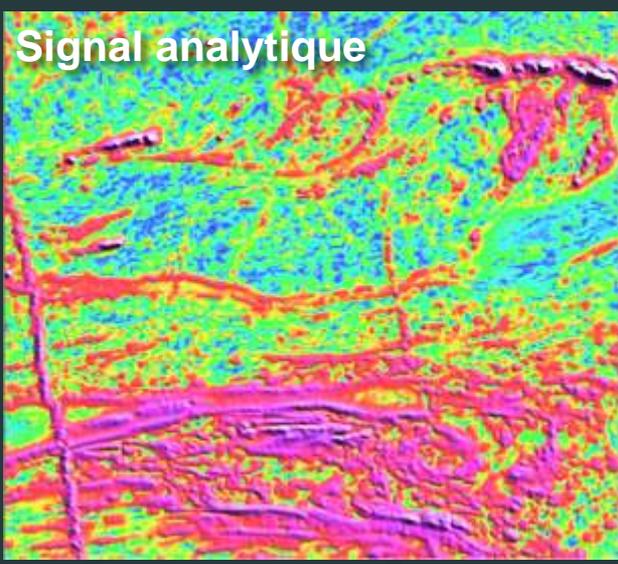
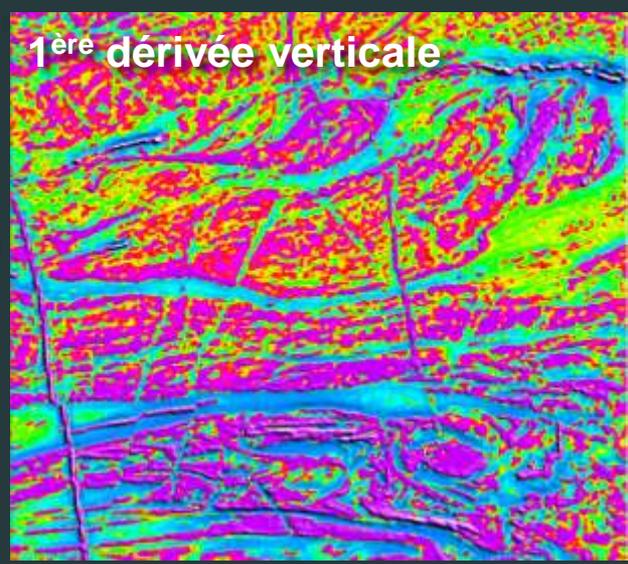
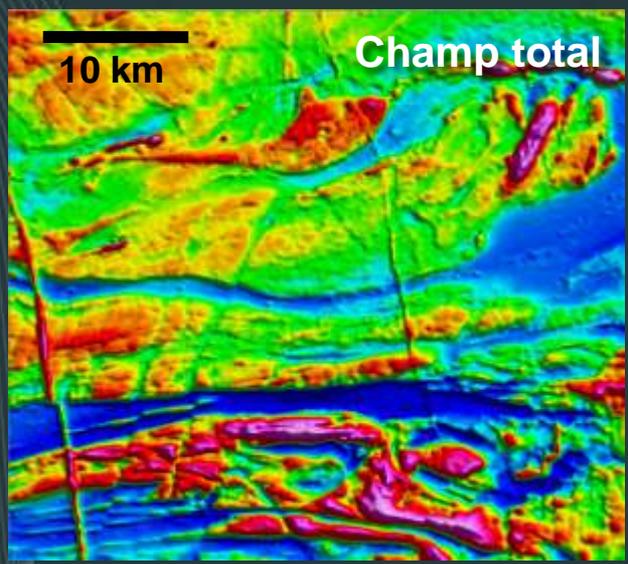


50 km

Champ magnétique total
(Baie-James)

Filtres géophysiques

Filtres géophysiques



Filtres géophysiques

Filtres mathématiques couramment utilisés sur le champ magnétique total

Dérivées verticales (1DV, 2DV); donnent une plus grande résolution en rehaussant le signal des objets superficiels et en enlevant la composante régionale. Bon filtre pour identifier les linéaments. La seconde dérivée tend à amplifier le bruit.

Dérivées horizontales (X, Y, total); permettent de mieux définir les bordures de domaines magnétiques selon une orientation. Souligne bien les linéaments d'entraînement. Pas toujours facile à interpréter.

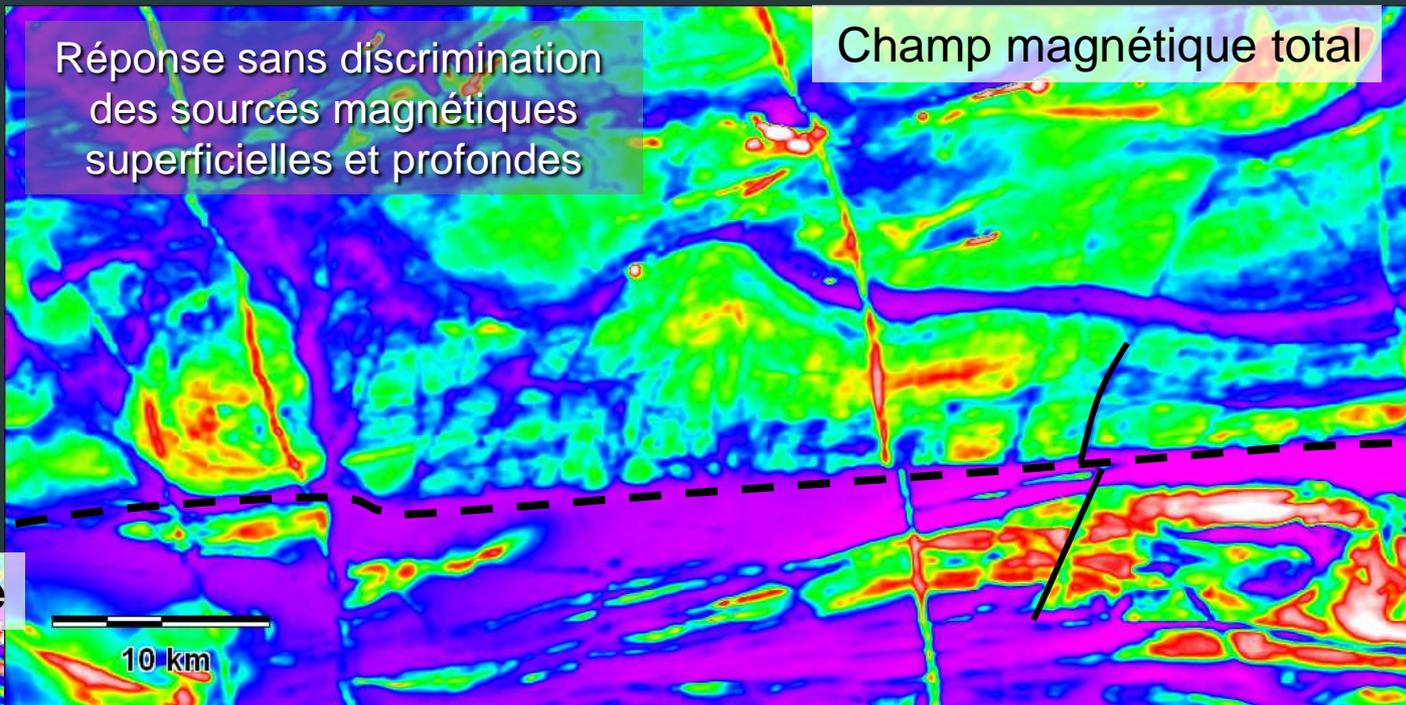
Signal analytique: gradient total (combine les dérivées horizontales et verticale). Crée des pics au-dessus des bordures des grosses anomalies ou au centre des petites. Souligne bien les linéaments d'entraînement.

« Tilt derivative »: Angle entre le gradient horizontal total (X et Y) et la première dérivée verticale (varie de 90 à -90°). Enlève la composante régionale et réduit l'amplitude entre les anomalies. Souligne les linéaments sécants et les dykes

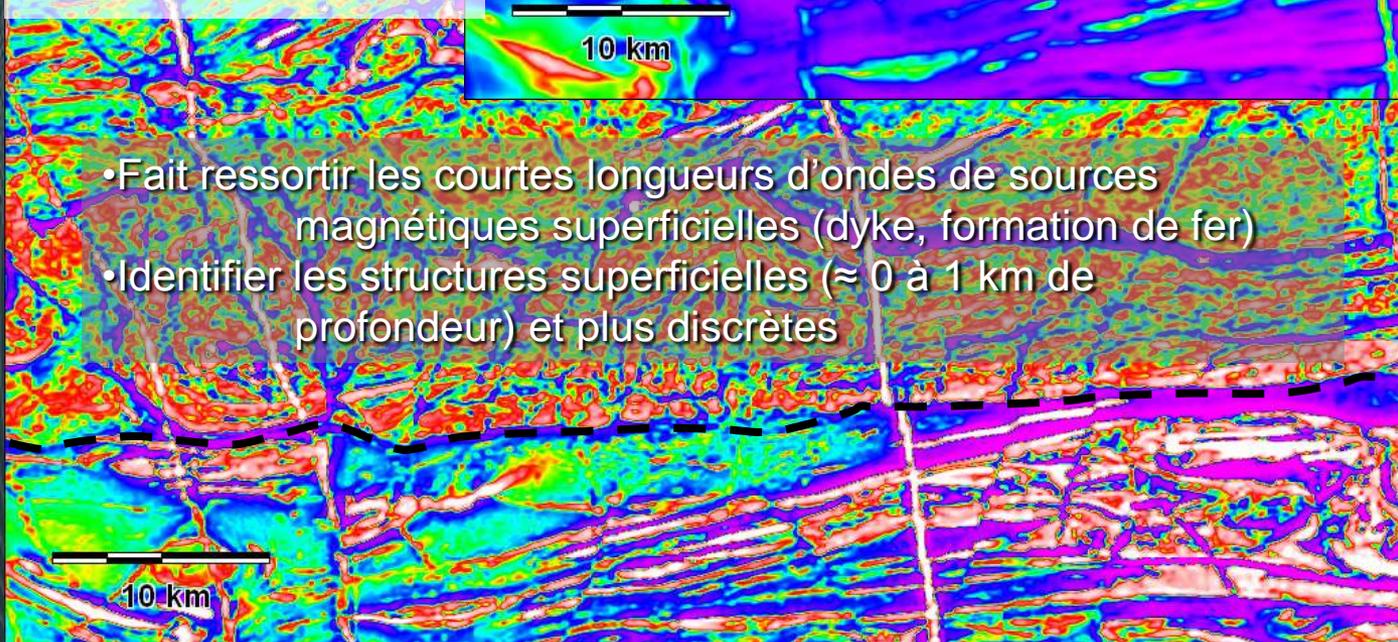
Exemple d'un traitement

Réponse sans discrimination
des sources magnétiques
superficielles et profondes

Champ magnétique total



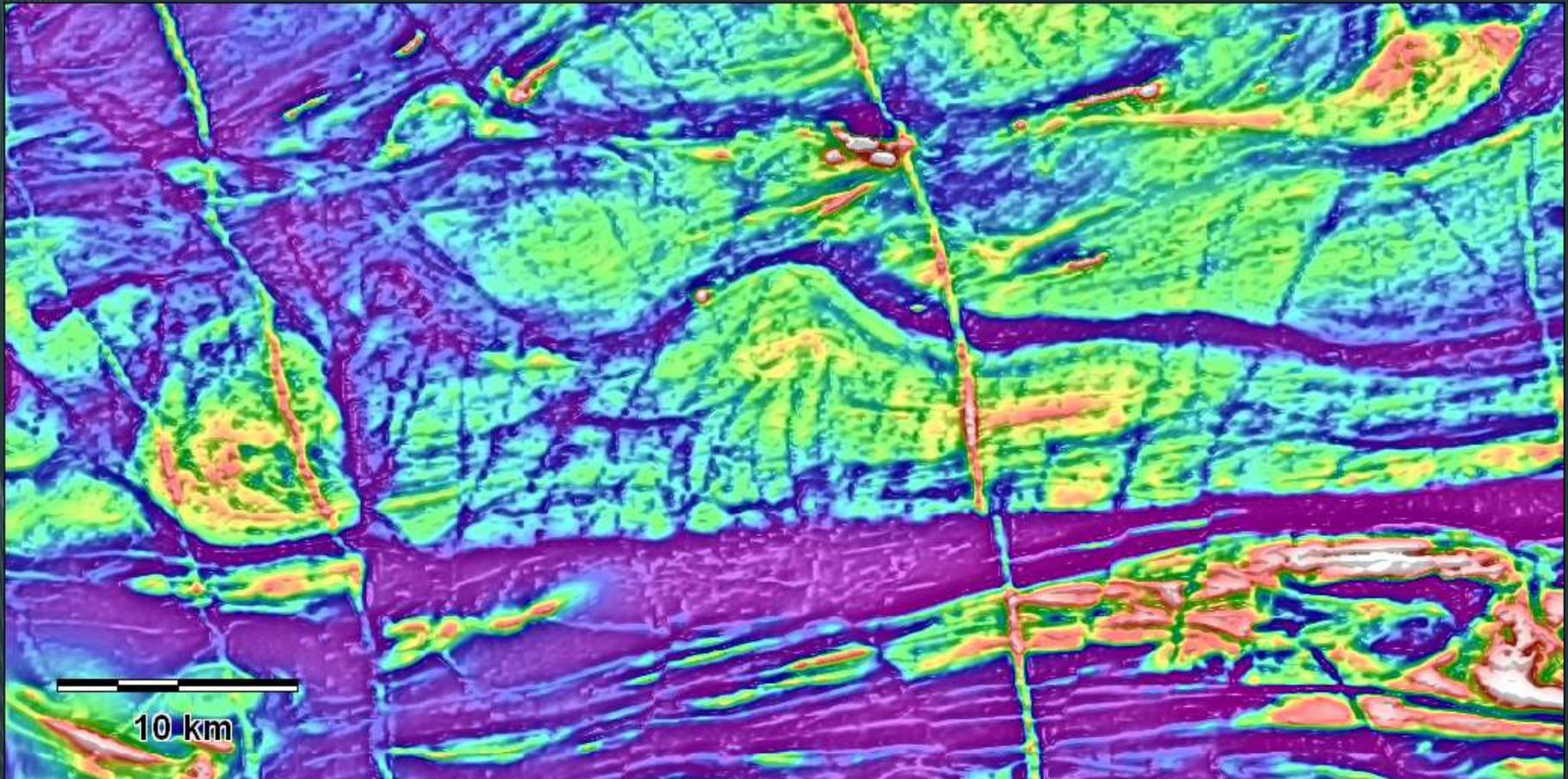
1^{ère} dérivée verticale



- Fait ressortir les courtes longueurs d'ondes de sources magnétiques superficielles (dyke, formation de fer)
- Identifier les structures superficielles (≈ 0 à 1 km de profondeur) et plus discrètes

Exemple d'application

Champ total en couleur superposé en transparence sur la 1^{ière} dérivée verticale (tons de gris et en ombragé)

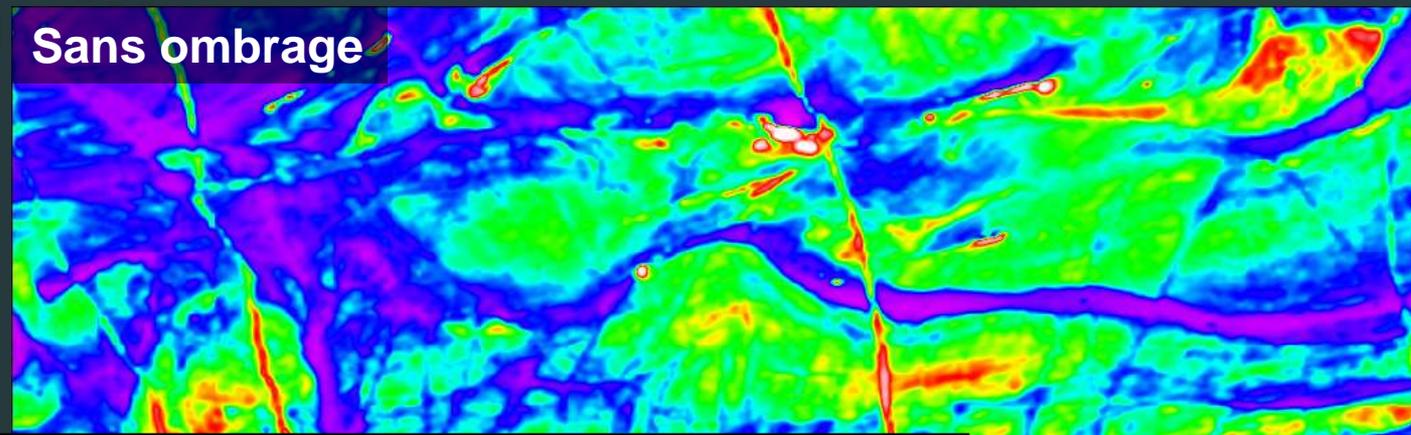


Techniques de rehaussement

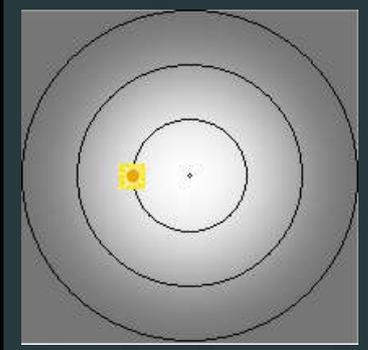
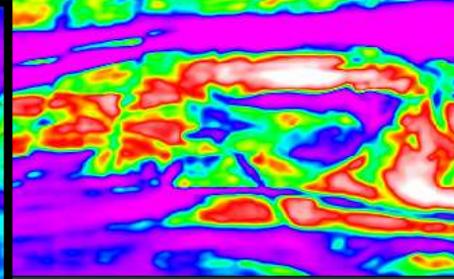
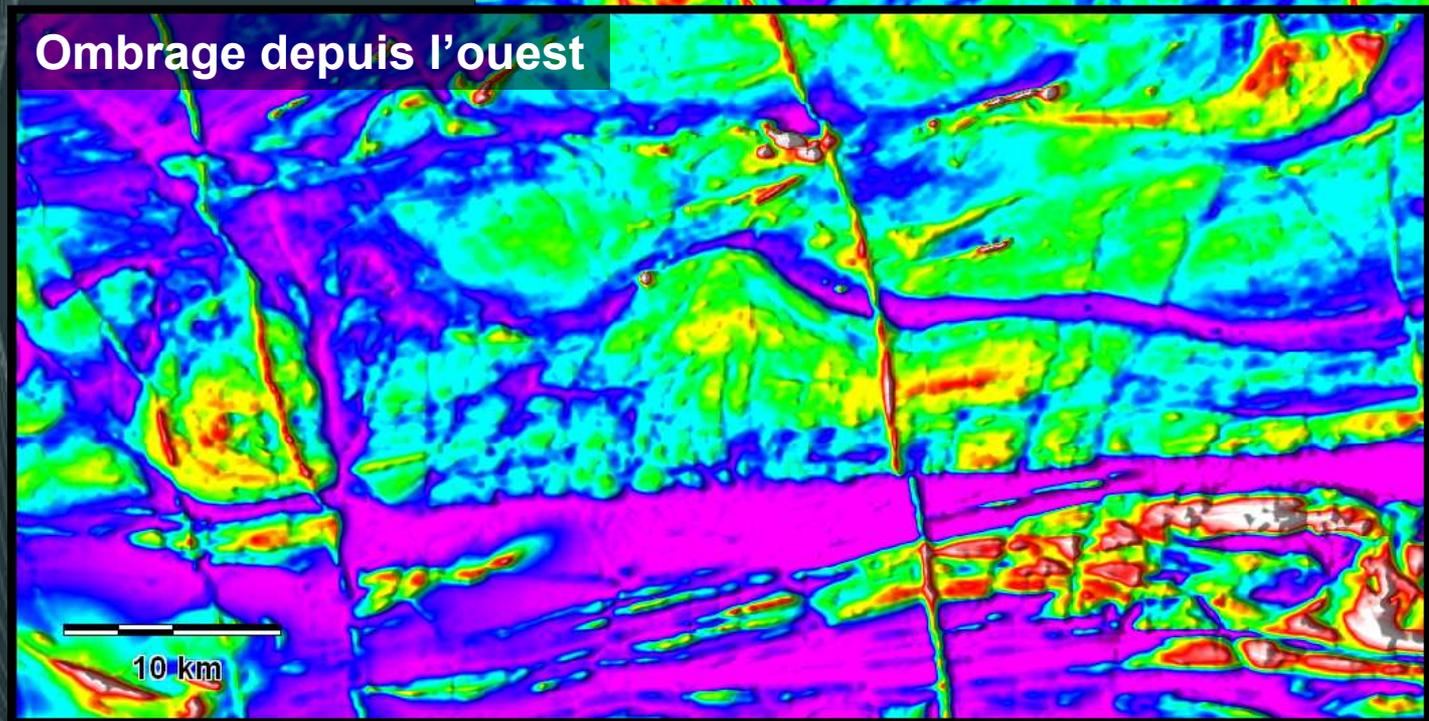
Techniques de rehaussement

Filtres de rehaussement: changent l'apparence par la couleur, la transparence, l'ombrage (et ensoleillement), et l'étalement ou le jeu des couleurs

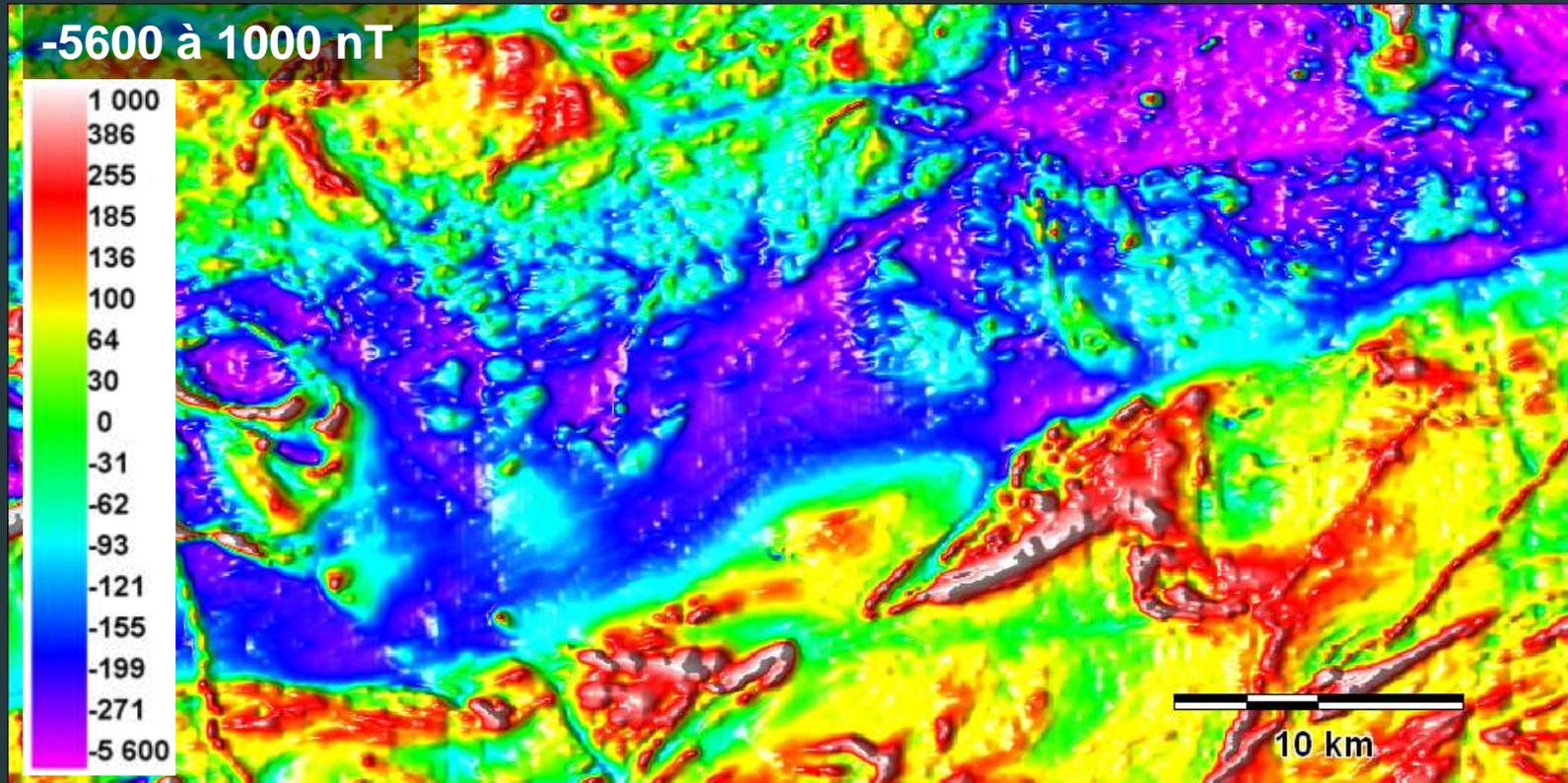
Sans ombrage



Ombrage depuis l'ouest



Techniques de rehaussement

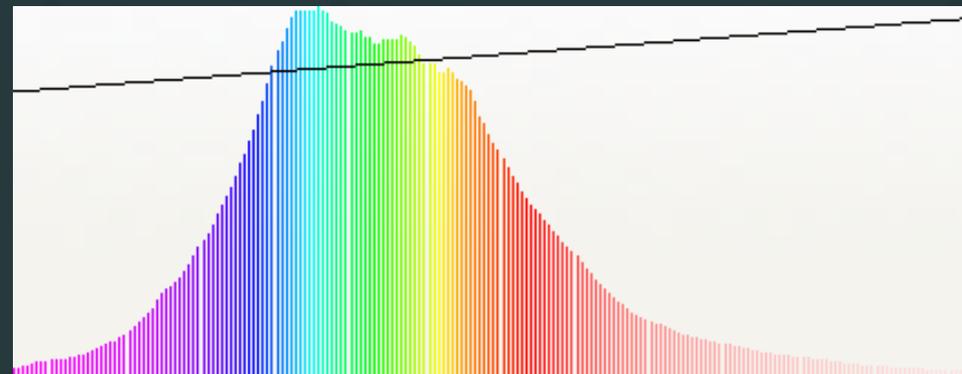


Étalement des couleurs

Méthode de l'histogramme égaliseur

« *Histogram equalizer* »

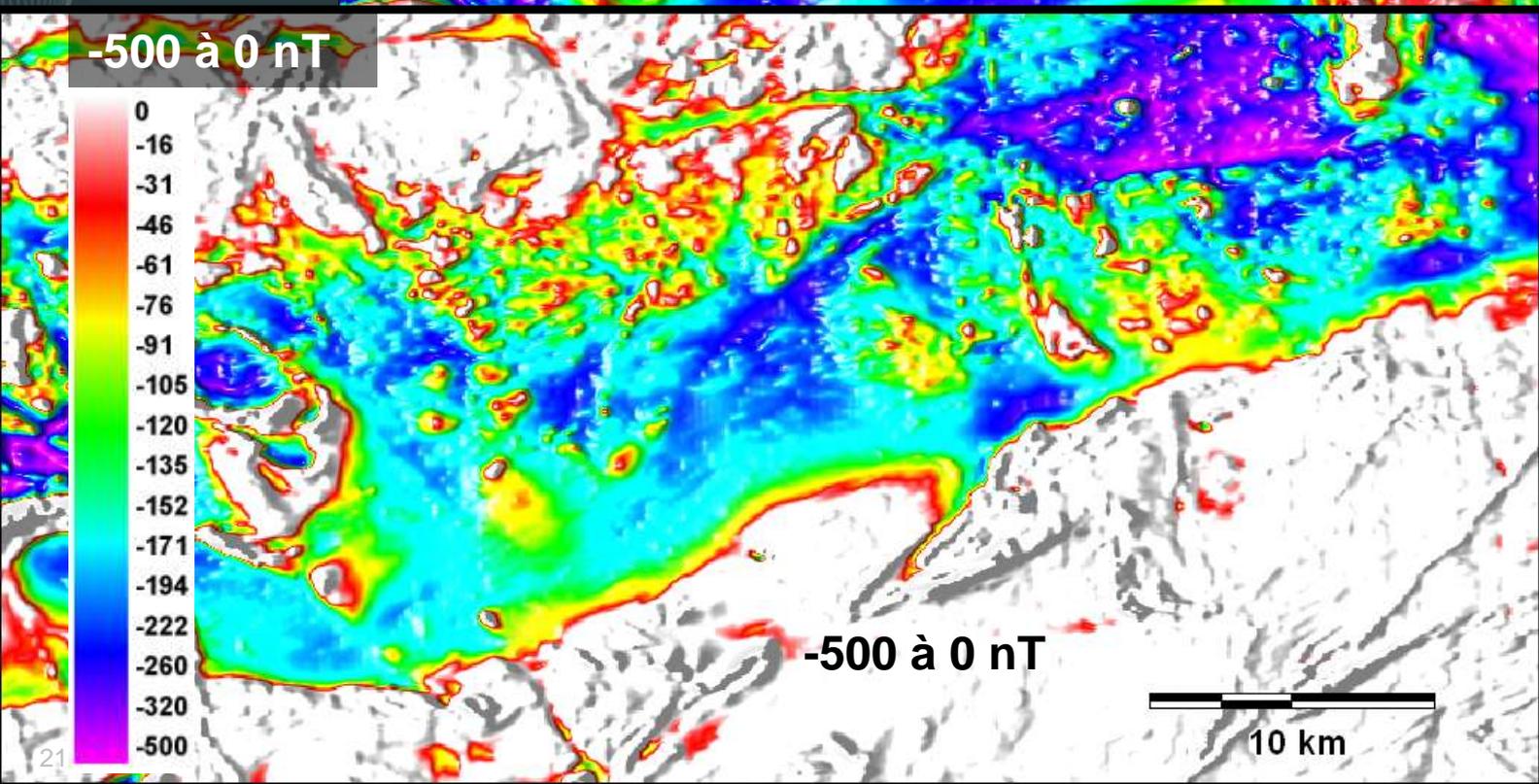
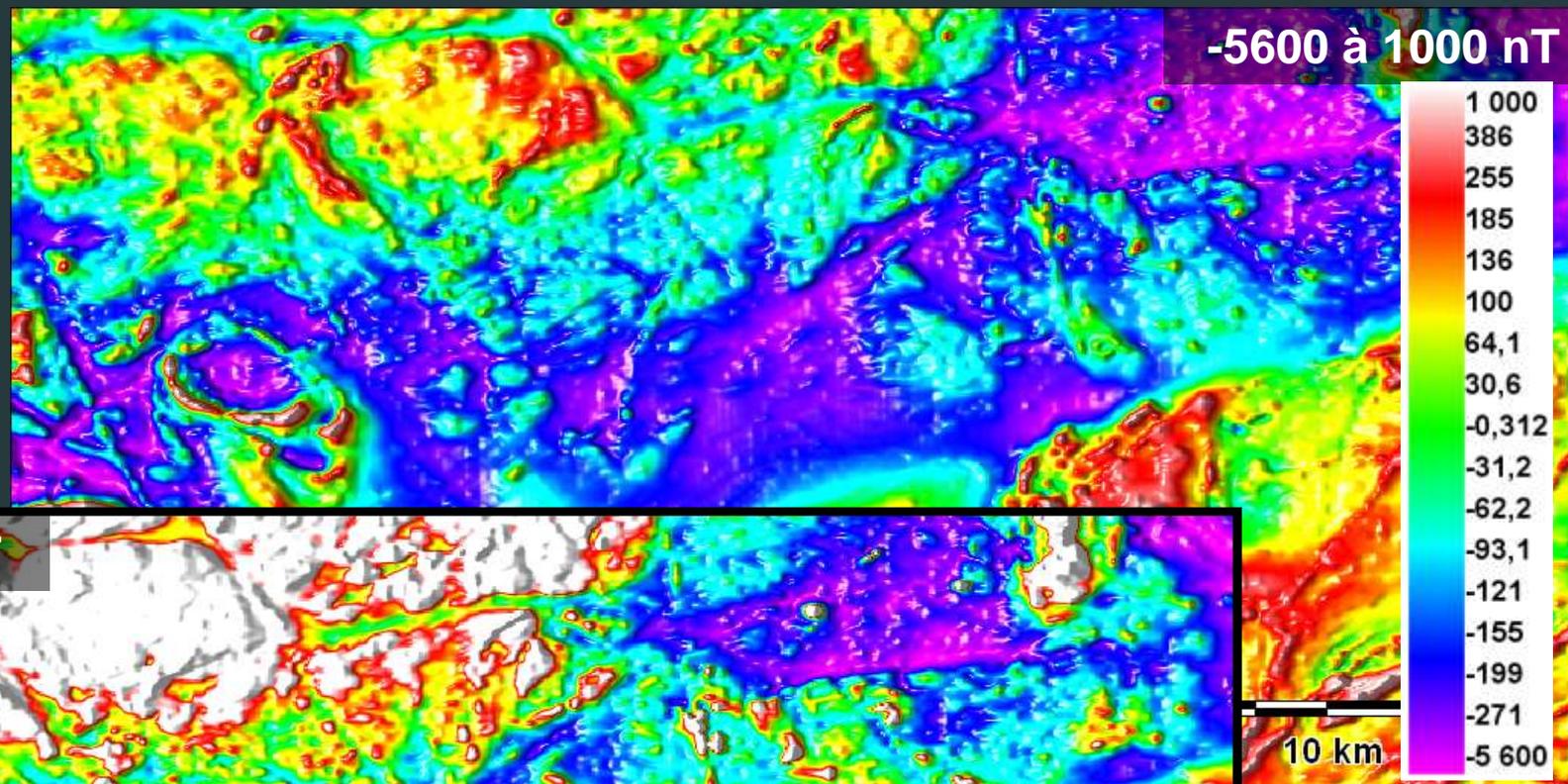
- Échelle non-linéaire
- Aires égales sous la courbe



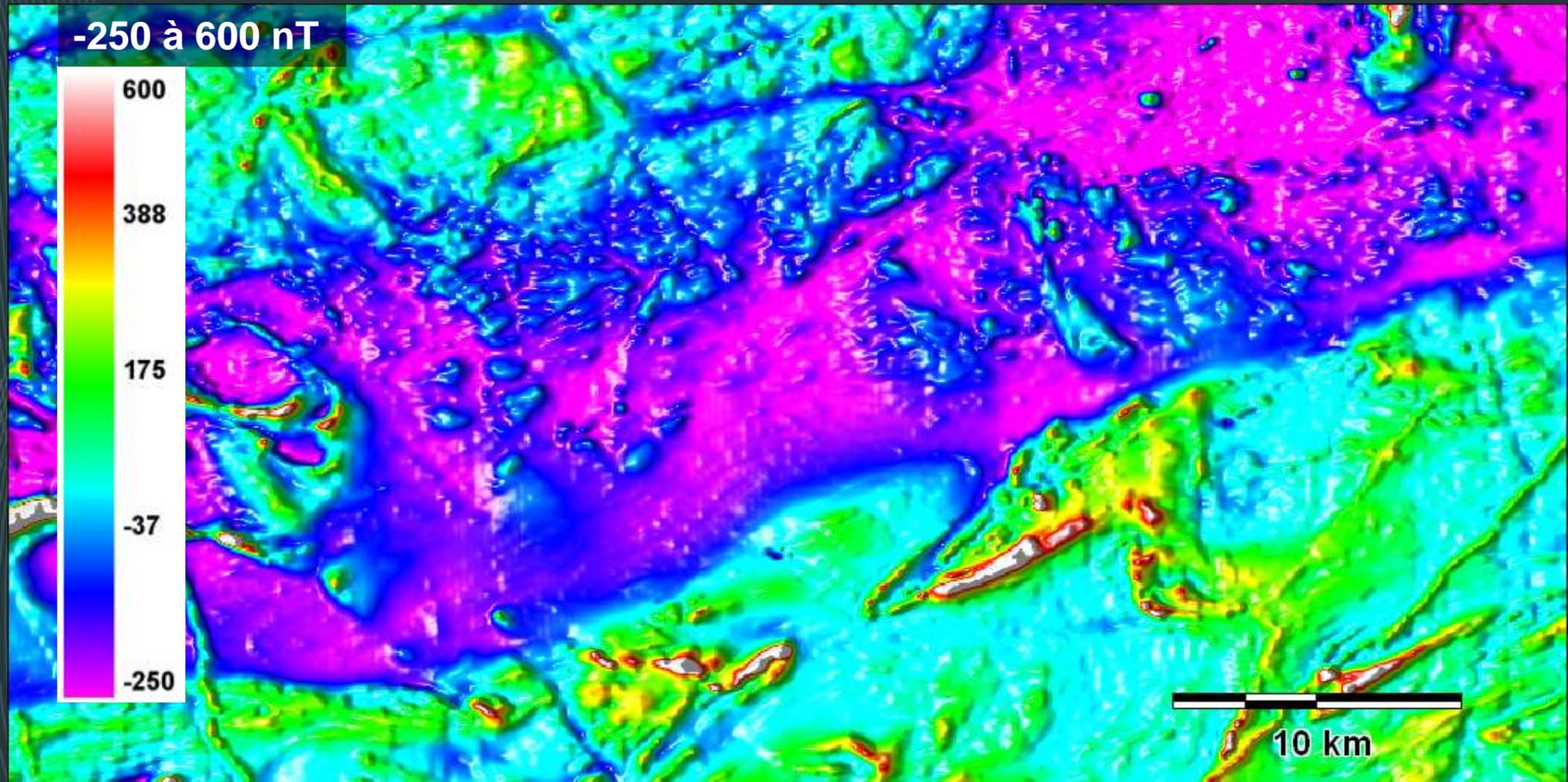
Techniques de rehaussement

Étalement
des couleurs

Histogramme
égaliseur



Étalement des couleurs – échelle linéaire

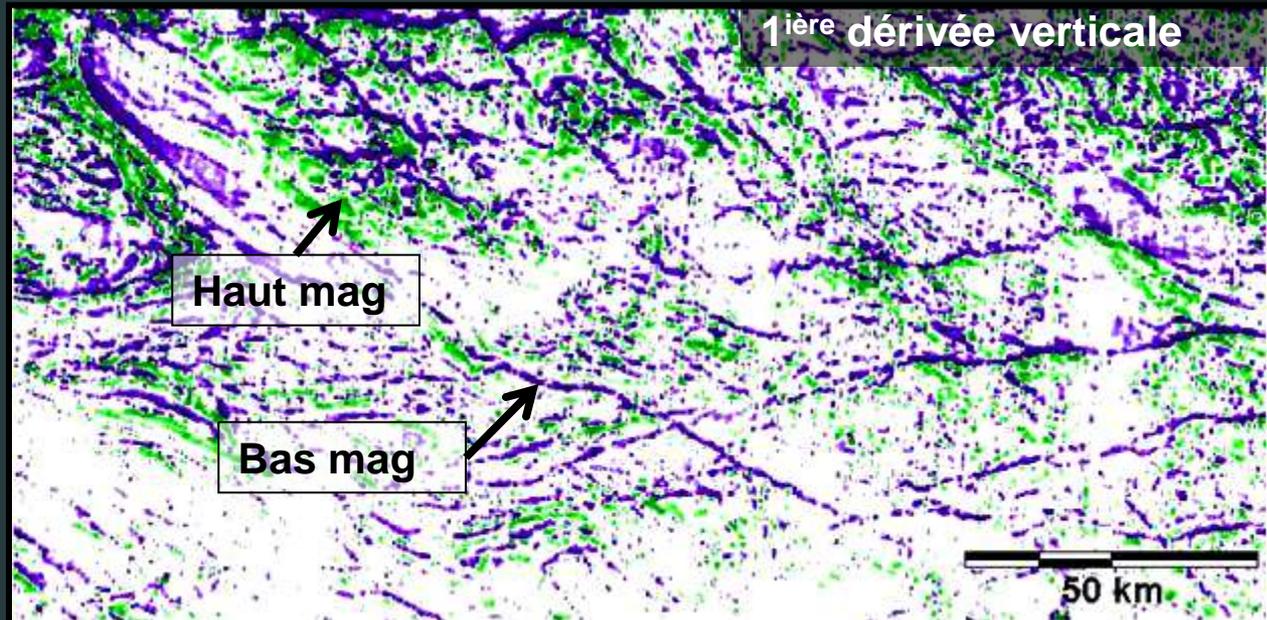
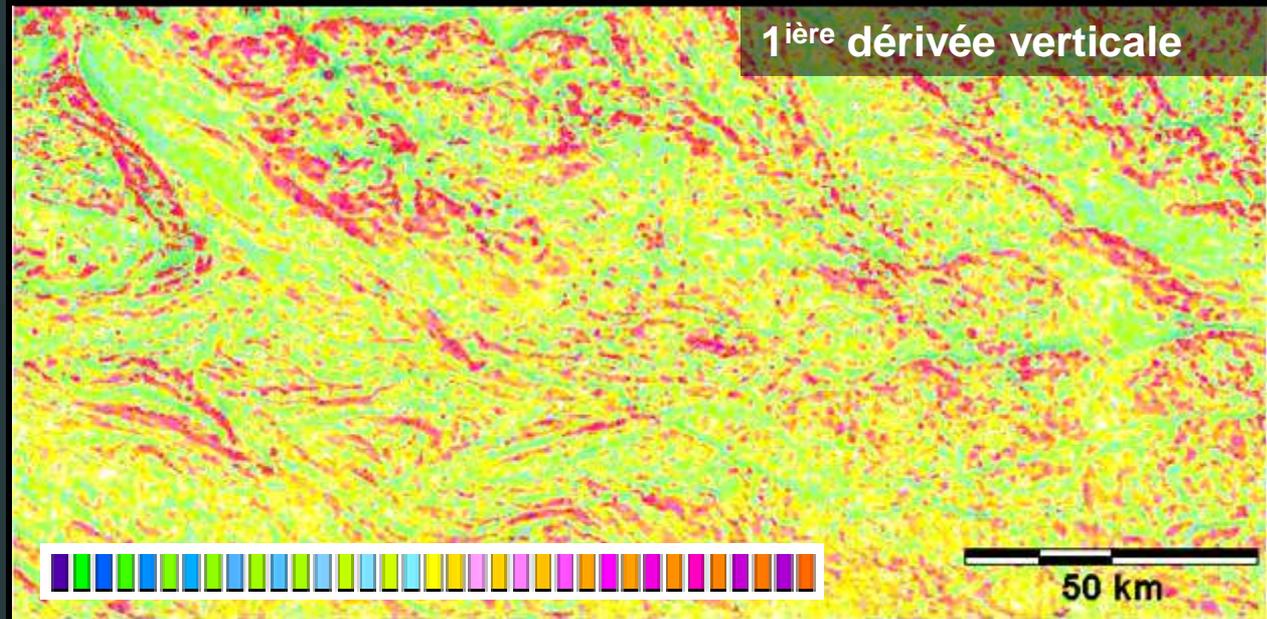


Techniques de rehaussement

Jeux de couleurs

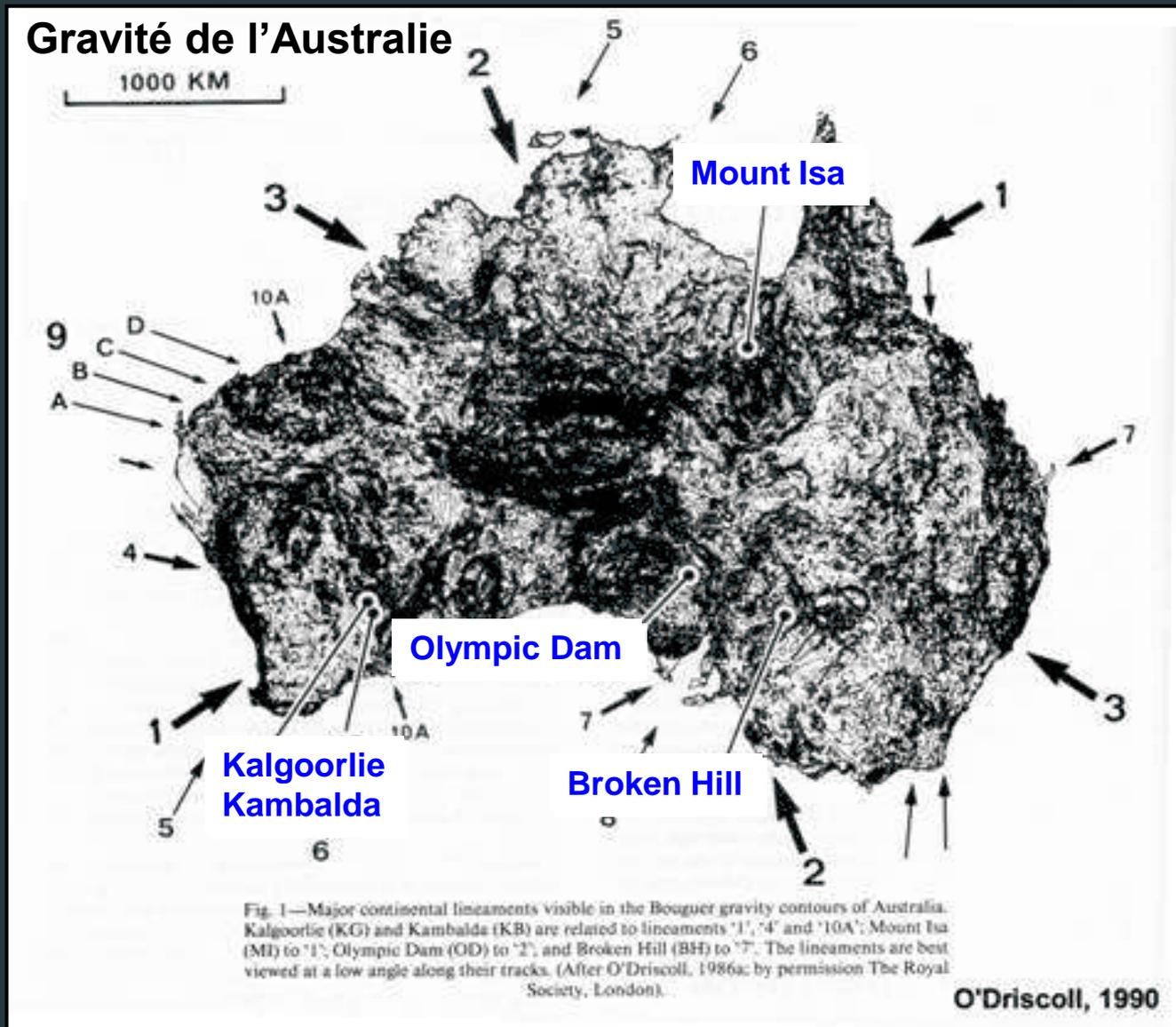
Échelle de couleurs
alternées de la
commission géologique
du Canada

Couleurs sur des
intervalles de valeurs
spécifiques
(*projet IOCG*)



Techniques multi-couches et multi-observateurs (projet mégalinéaments)

Mégalinéaments continentaux



Techniques multi-couches et multi-observateurs

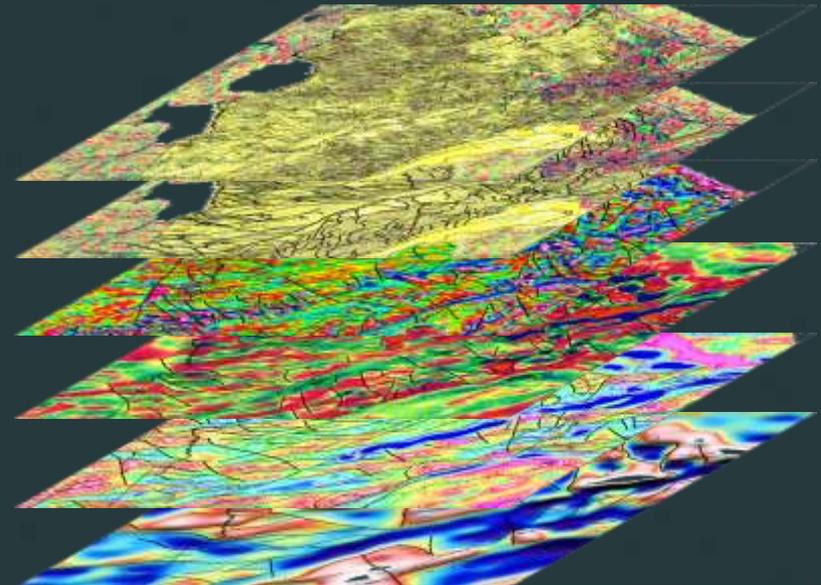
Objectif: Développer une méthode d'interprétation plus objective en atténuant le caractère « personnel » de la définition d'un linéament

Méthode: Utiliser plusieurs couches géophysiques et faire une interprétation par plusieurs géologues

But: Donner aux linéaments un degrés de récurrence, d'évidence

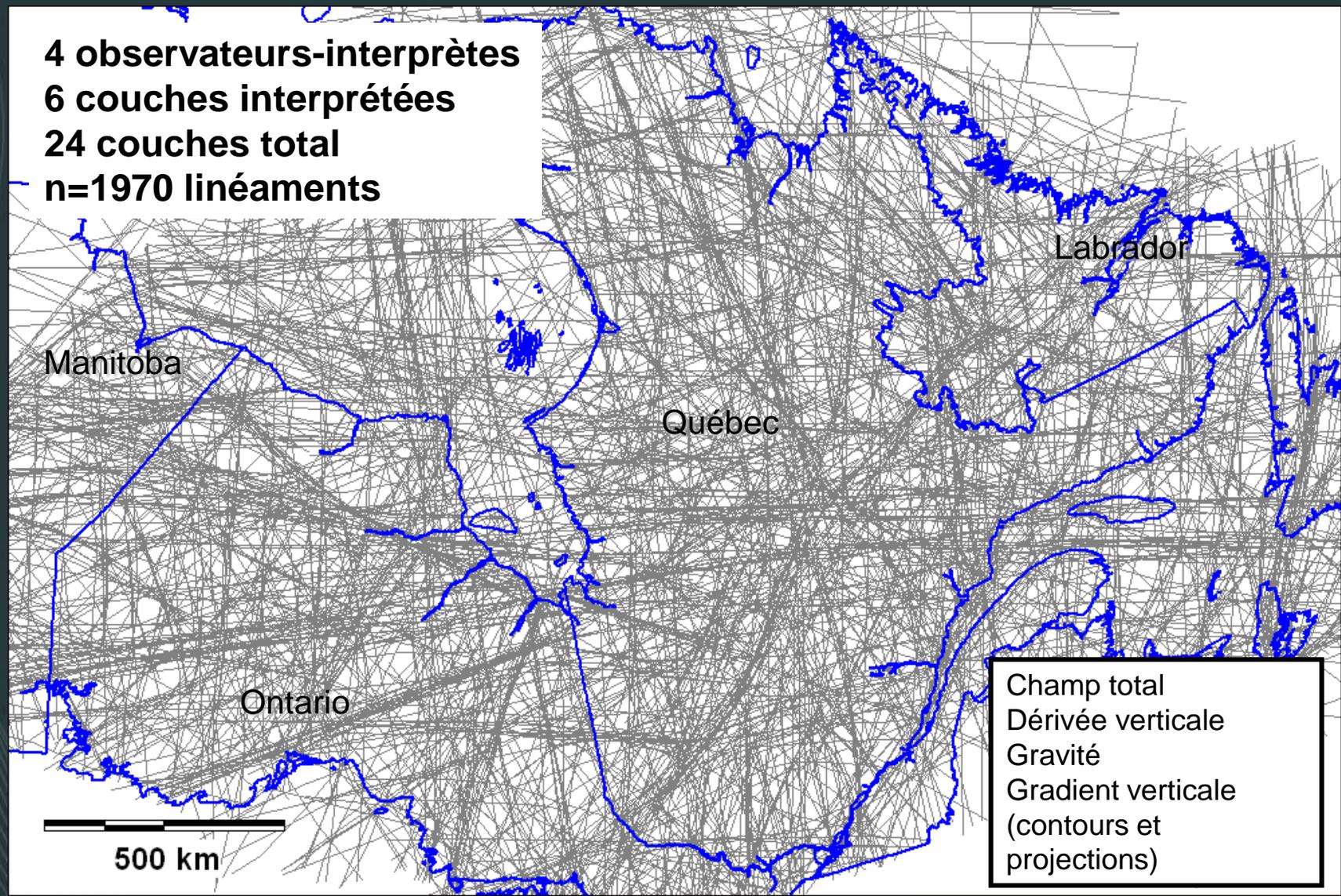
Résultat: linéaments exprimés en terme de surface de « probabilité » et non sous forme de lignes

*Interprétation
à partir de différentes
couches de données
géophysiques*



Projet méga-linéaments

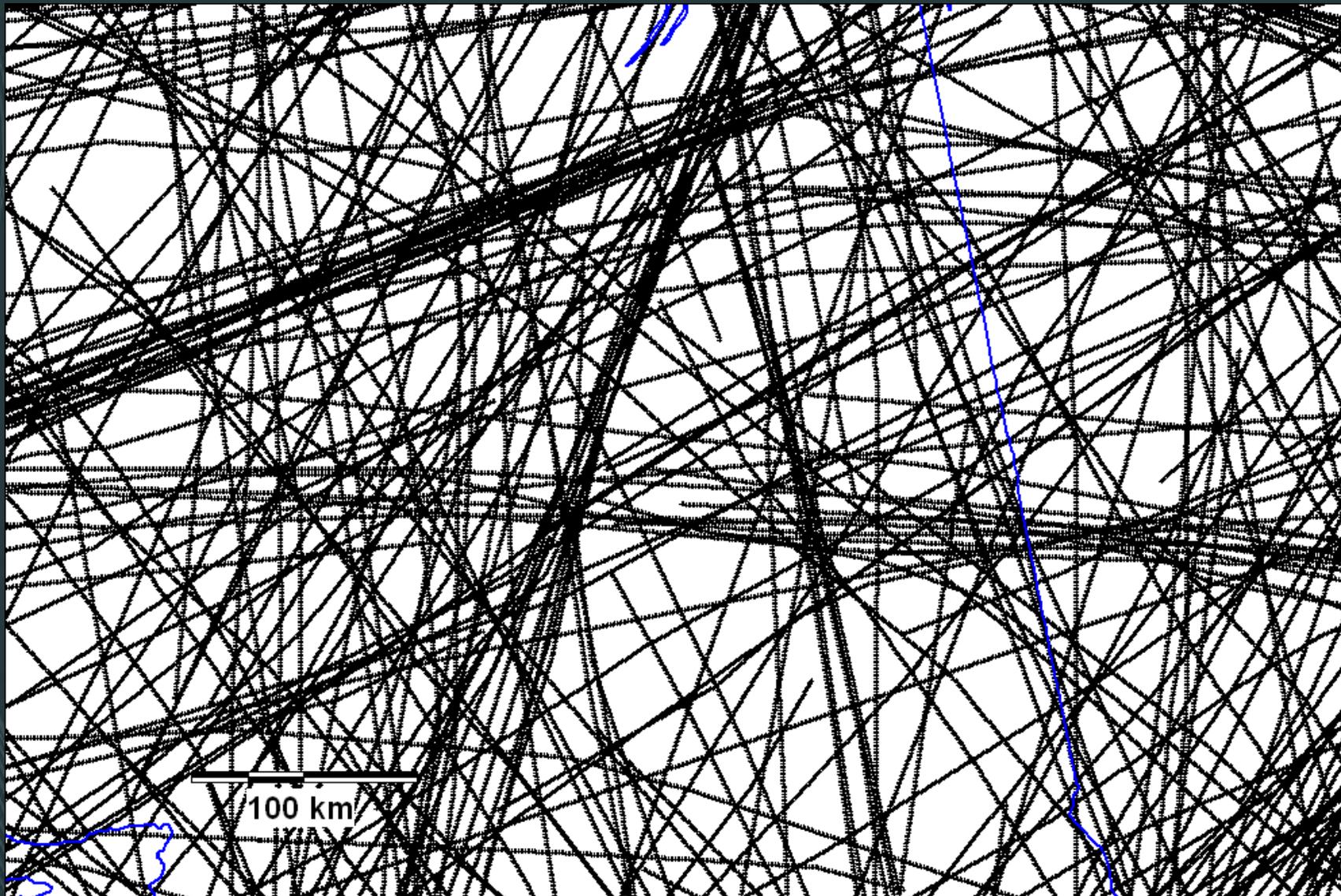
4 observateurs-interprètes
6 couches interprétées
24 couches total
n=1970 linéaments



Champ total
Dérivée verticale
Gravité
Gradient verticale
(contours et projections)

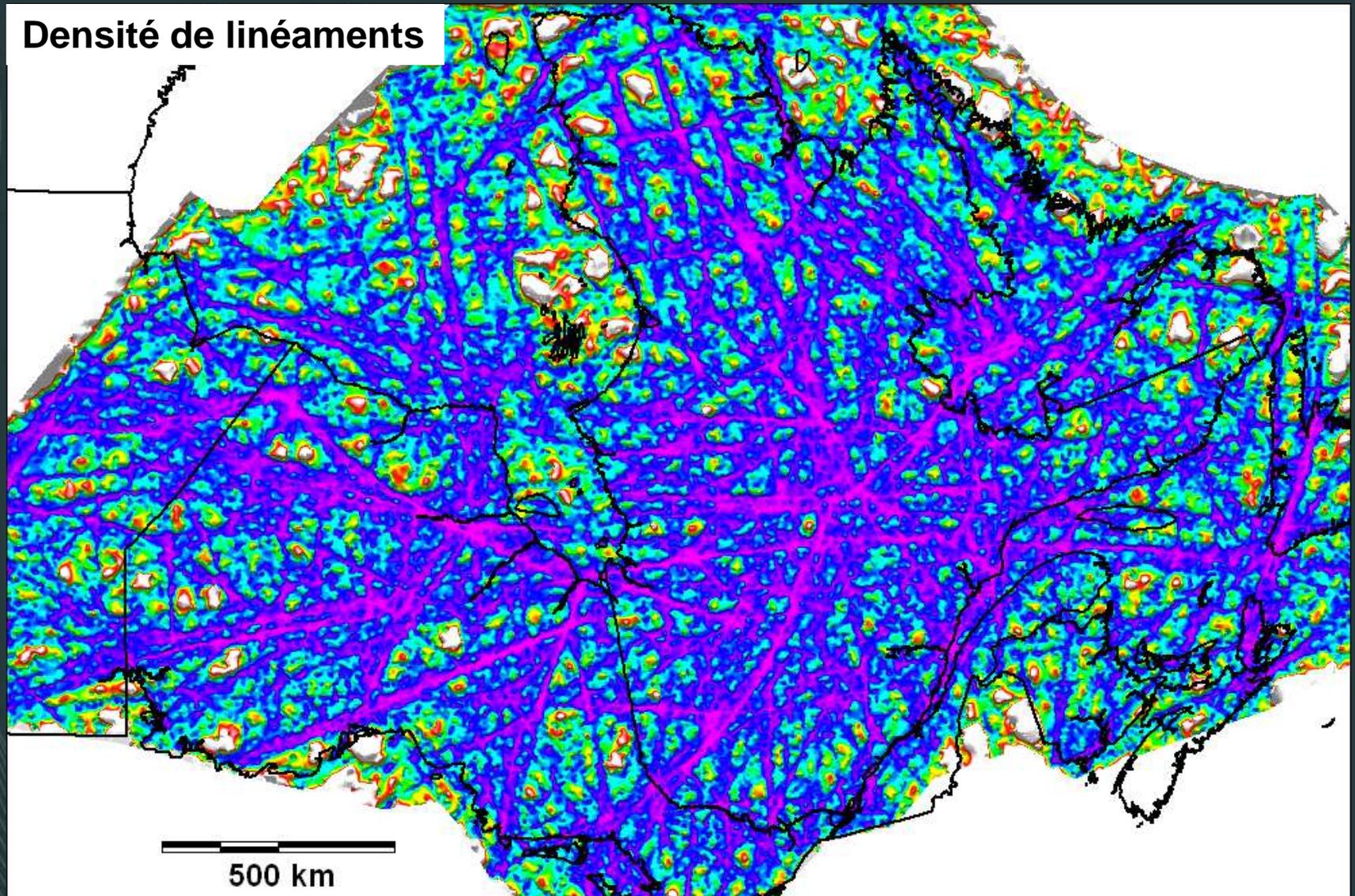
Projet méga-linéaments

Intégration des linéaments géophysiques sur une seule couche et sous forme de points



Projet méga-linéaments

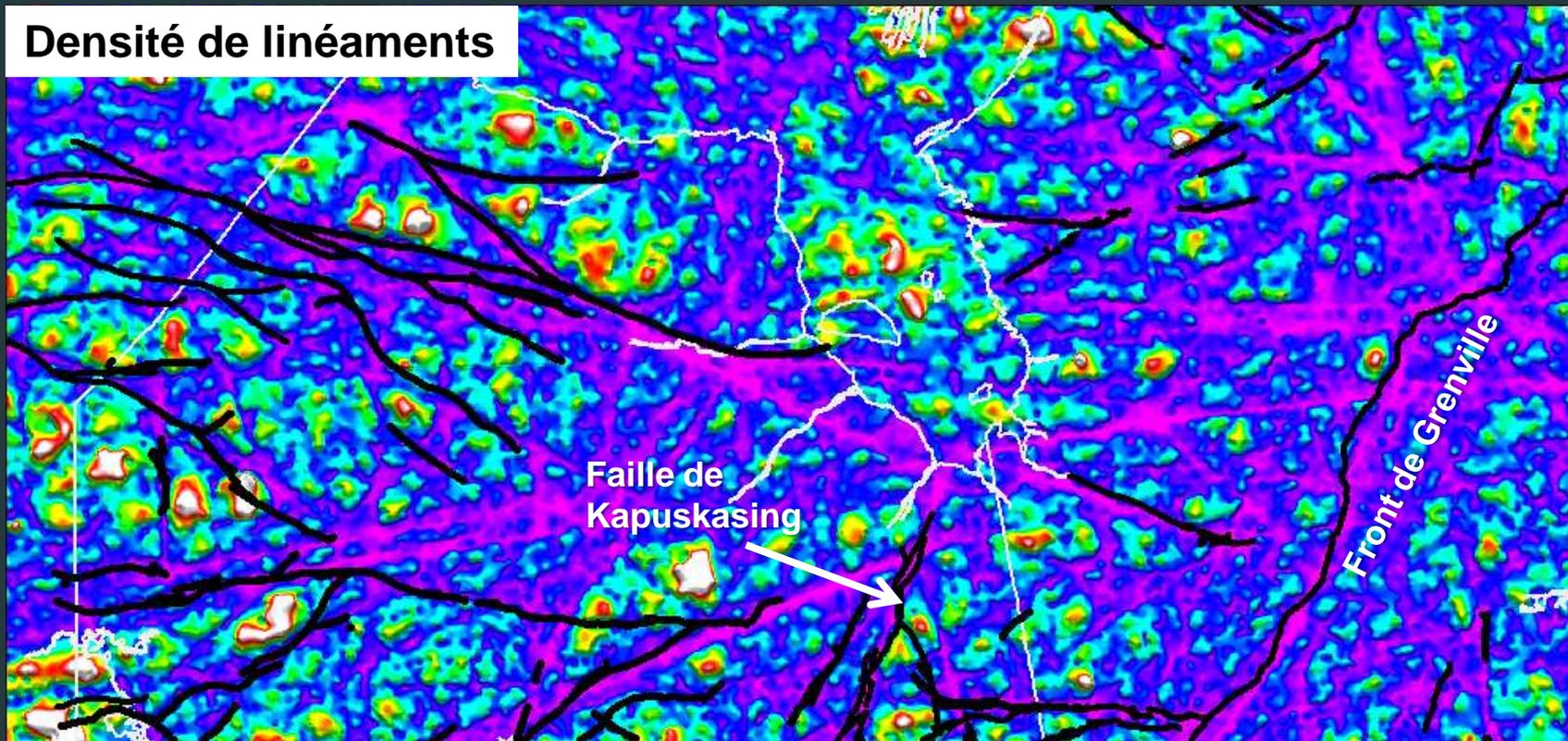
L'approche multi-observateurs et multi-couches fait ressortir les grandes structures crustales



Projet méga-linéaments

Comparaison avec des failles régionales connues

Densité de linéaments



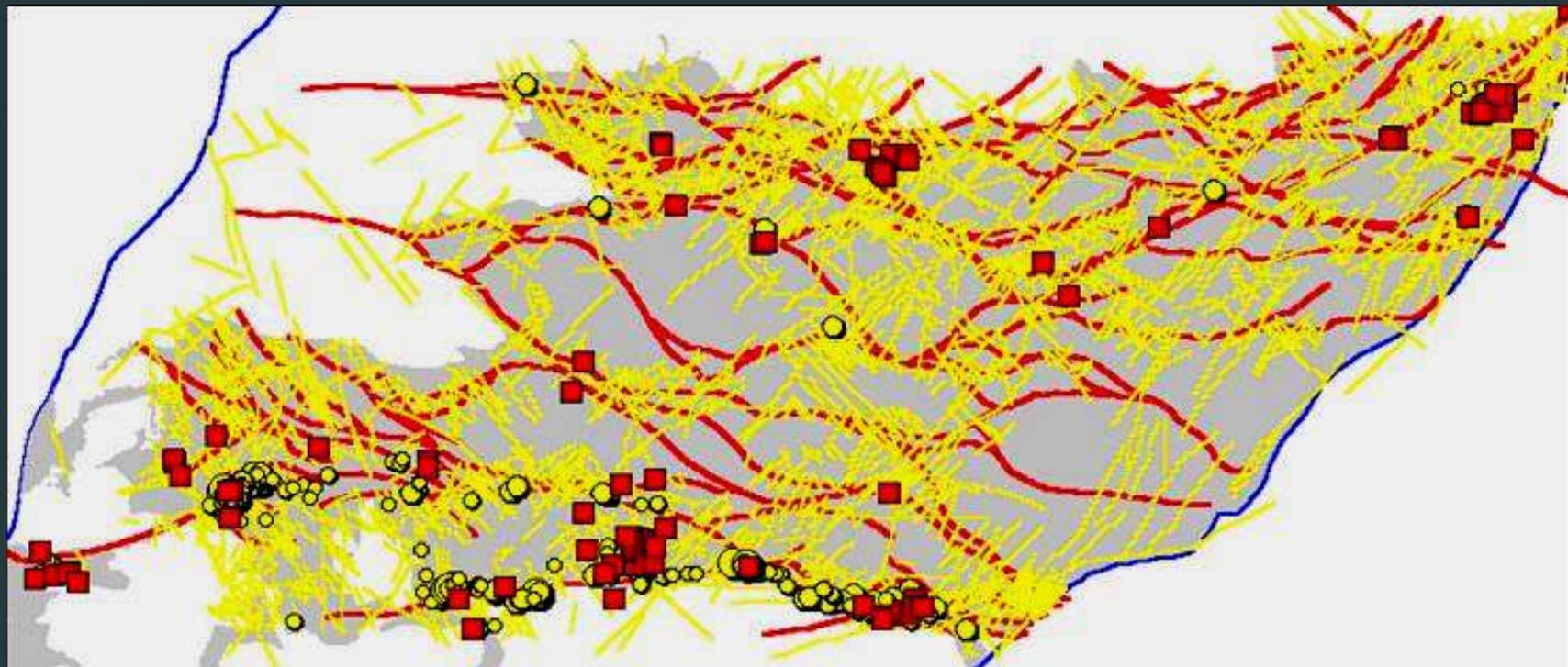
L'approche met en évidence les limites des provinces géologiques, les ceintures de roches vertes, les paragneiss et les grandes failles crustales. Les zones de faibles densité de linéaments (jaune-blanc) correspondent généralement à des complexes intrusifs



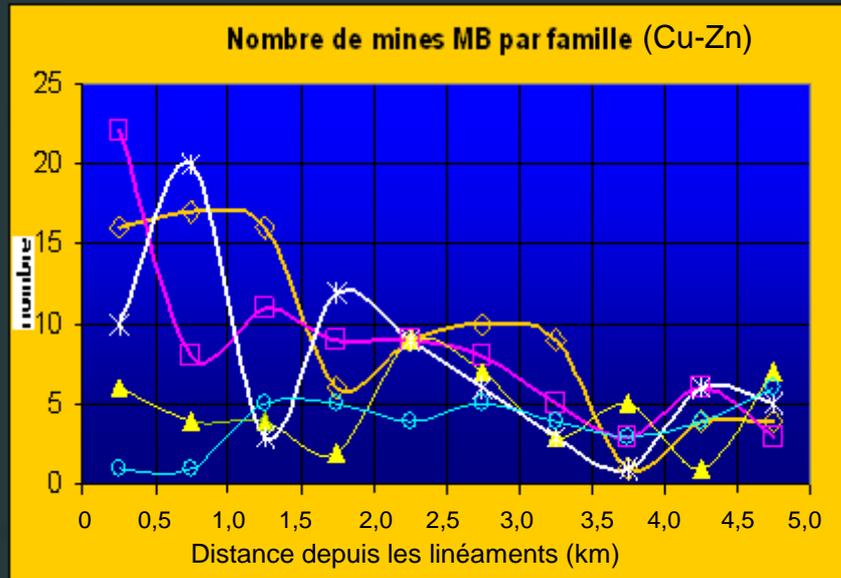
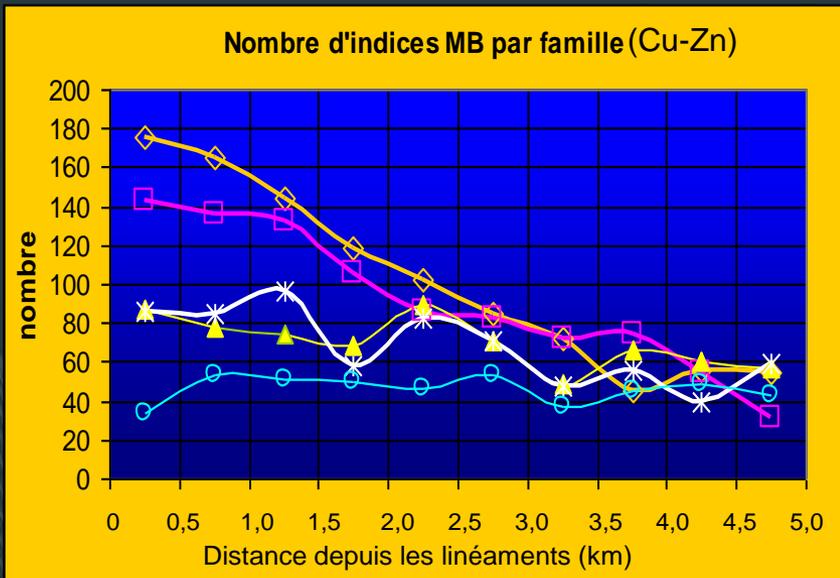
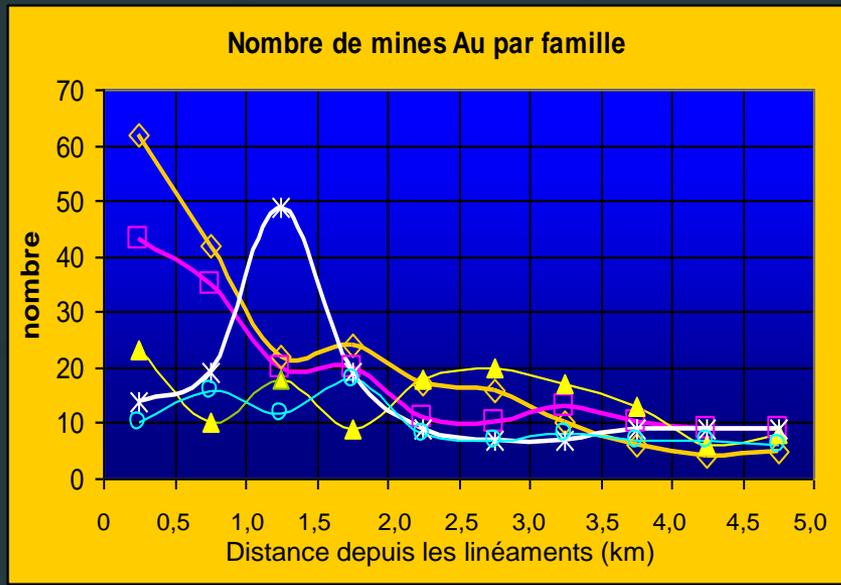
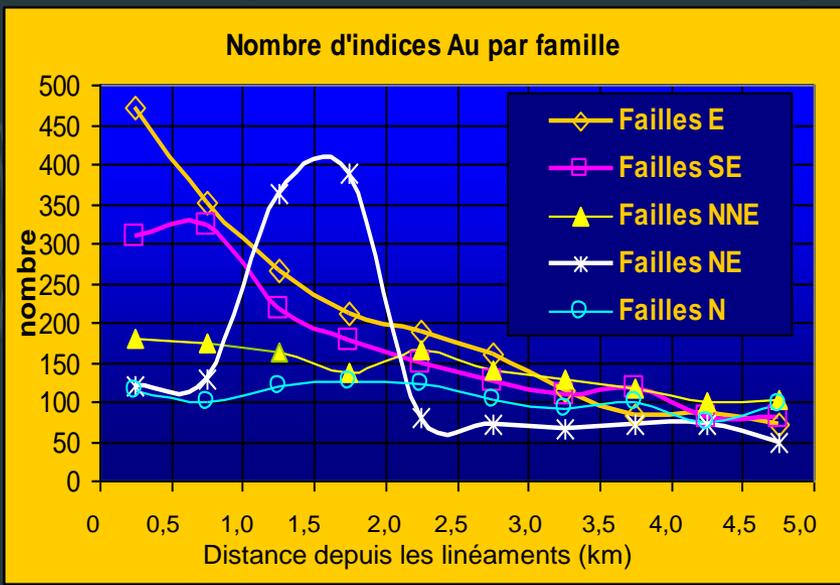
Les linéaments en relation spatiale avec la minéralisation

Linéaments géophysiques et minéralisations

Analyse des linéaments géophysiques en relation avec les minéralisations en or et métaux de base de l'Abitibi



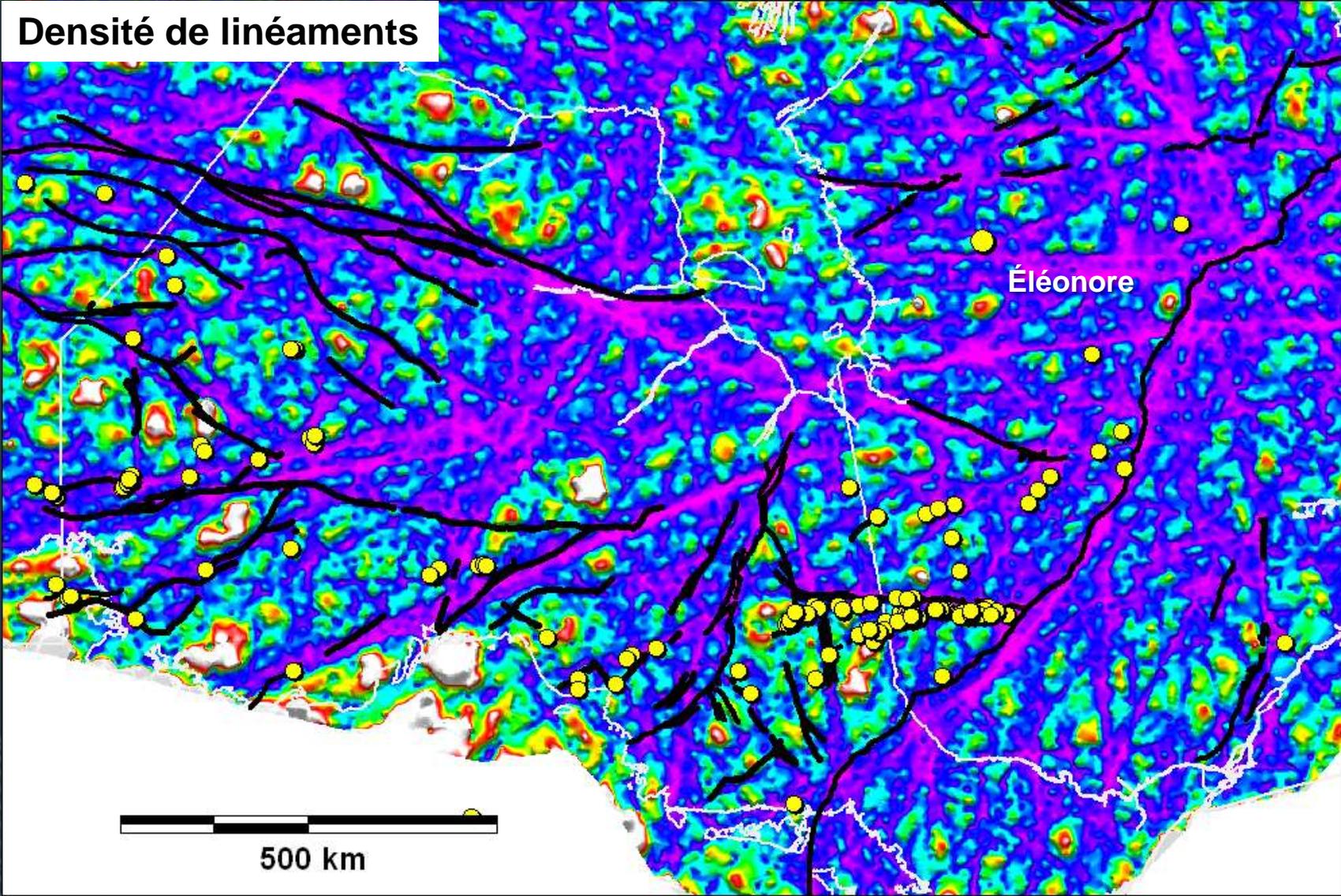
Nombre de gîtes par rapport à la distance des linéaments



Projet méga-linéaments

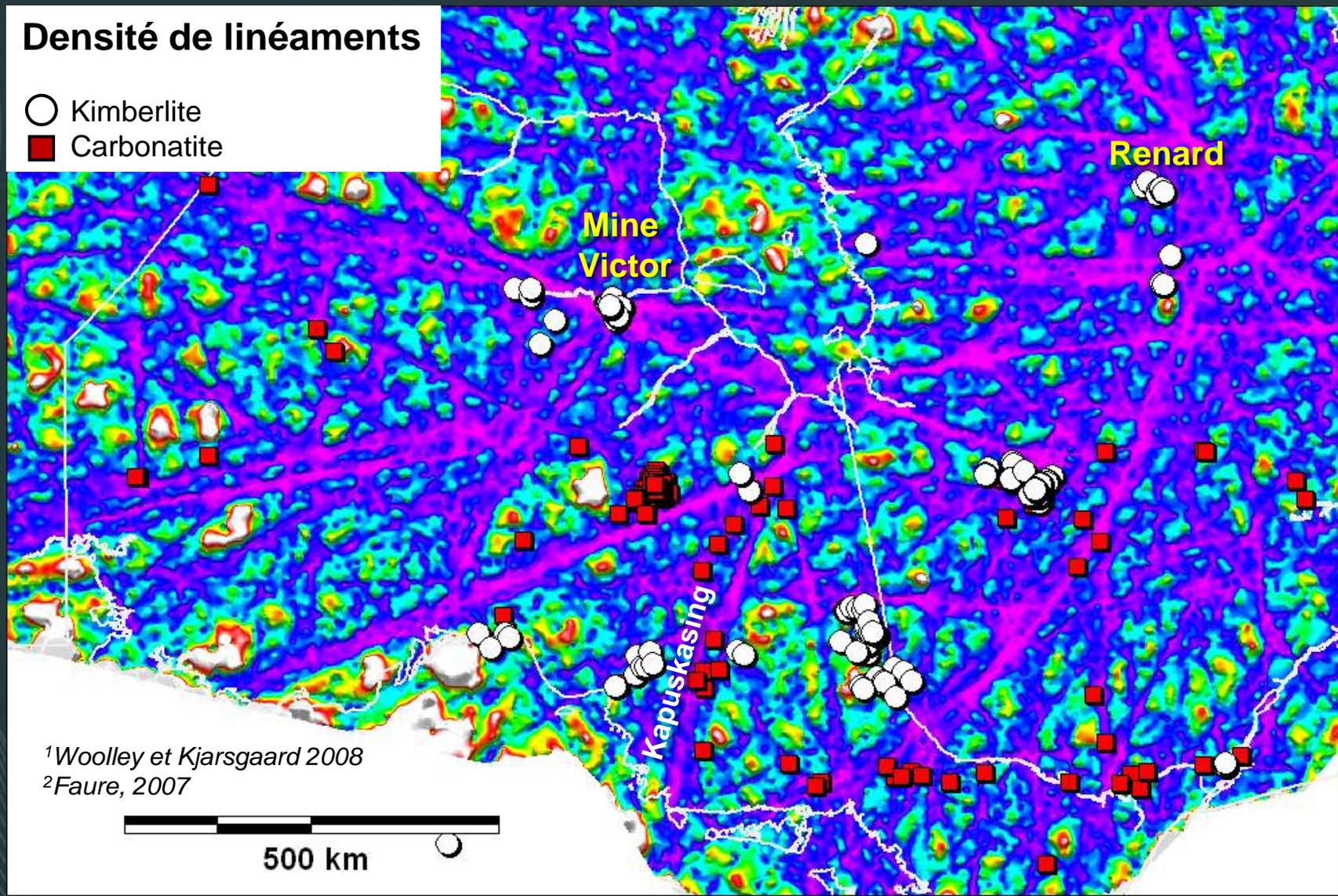
Comparaison avec les gisements d'or de la Province du Supérieur*

Densité de linéaments



Projet méga-linéaments

Comparaison avec les carbonatites¹ et les kimberlites² (magmatisme mantellique)



Conclusion

L'interprétation des linéaments est qualitative et demeure objective

L'approche multi-observateurs tend à atténuer cet effet (plus objectif)

Il est raisonnable d'interpréter certains types de linéaments comme des failles (ductile ou cassante) selon des critères établis et en comparant ceux-ci avec la géologie connue

Donne une valeur ajoutée aux levés géophysiques

Documents livrés pour le cours

- Affiche
- Rapports: -Outils prévisionnels d'exploration dans les terrains de hauts grades métamorphiques: le parautochtone grenvillien, une zone à fort potentiel (GM-64092)
 - Linéaments et minéralisations en Abitibi
- Fichier maillé de la densité de linéaments pour le Québec et l'Ontario (.GRD [Discover](#))

