

Discrimination des conducteurs électromagnétiques (EM) graphitiques et sulfurés dans les argilites archéennes de l'Abitibi, QC

Projet 2013-06

Silvain Rafini

Collaboration spéciale de Michel Allard

Forum Technologique CONSOREM DIVEX
Rouyn-Noranda 2 juin 2015

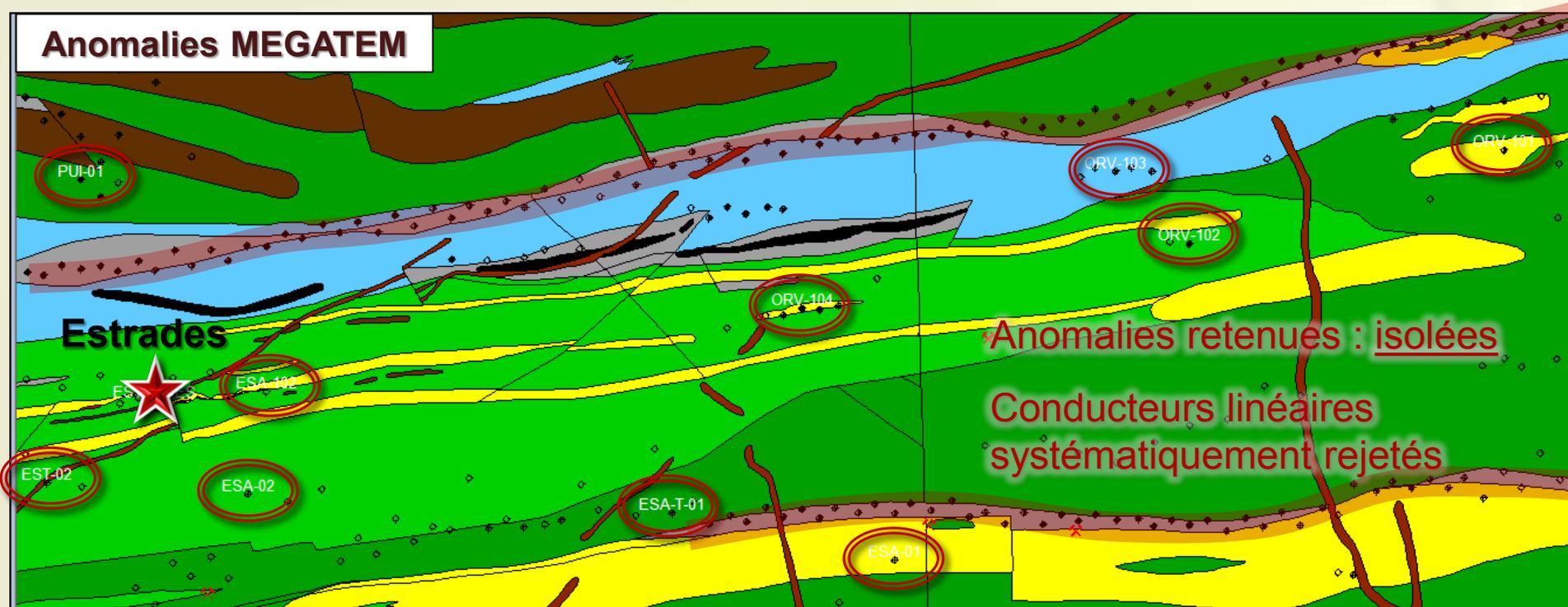


2010-04 (B. Lafrance) : potentiel Abitibi pour SMV non conventionnels (type pélitique, mafique)

Modèle conventionnel exploration SMV en Abitibi : type bimodal mafique (Noranda)

→ MEGATEM (2001-2006, 180 000 km) : ciblage focalisé sur anomalies **isolées** (1 indice)

- Le potentiel des anomalies situées le long des **conducteurs linéaires** – le plus souvent horizons graphitiques associés à des bassins sédimentaires – n'a pas été exploré (modèle SMV pélitique-mafique, cf. projet 2010-04)
- Problématique discrimination sulfure/graphite → 2010-04 : vision longitudinale, variations réponse EM = sulfures ?



1. Introduction méthodes EM

2. PARTIE I

Recherche de **discrimination** des conducteurs sulfurés vs. graphitiques

→ *Analyse statistiques des corrélations entre la nature d'un conducteur et sa réponse MEGATEM*

3. PARTIE II

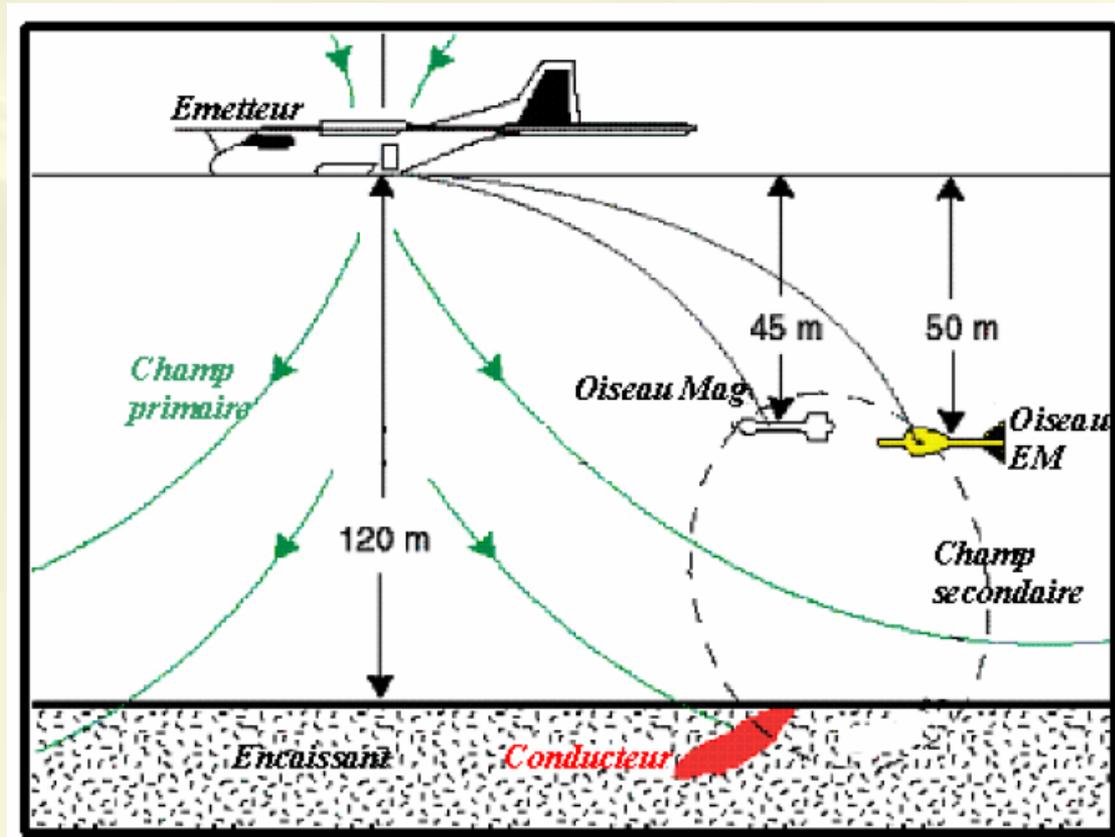
Analyse de la **variabilité longitudinale** des caractéristiques des anomalies MEGATEM le long des conducteurs formationnels en Abitibi

→ *Potentiel pour la détection des lentilles de sulfures massifs*

4. Conclusions

Systemes AEM

1. Émission d'un champ magnétique par une source située dans l'avion : **le champ primaire**
2. Le champ primaire génère, dans les corps conducteurs enfouis, un courant électrique (*Eddy current*), induisant un **champ secondaire**
3. L'oiseau (récepteur) mesure le champ secondaire

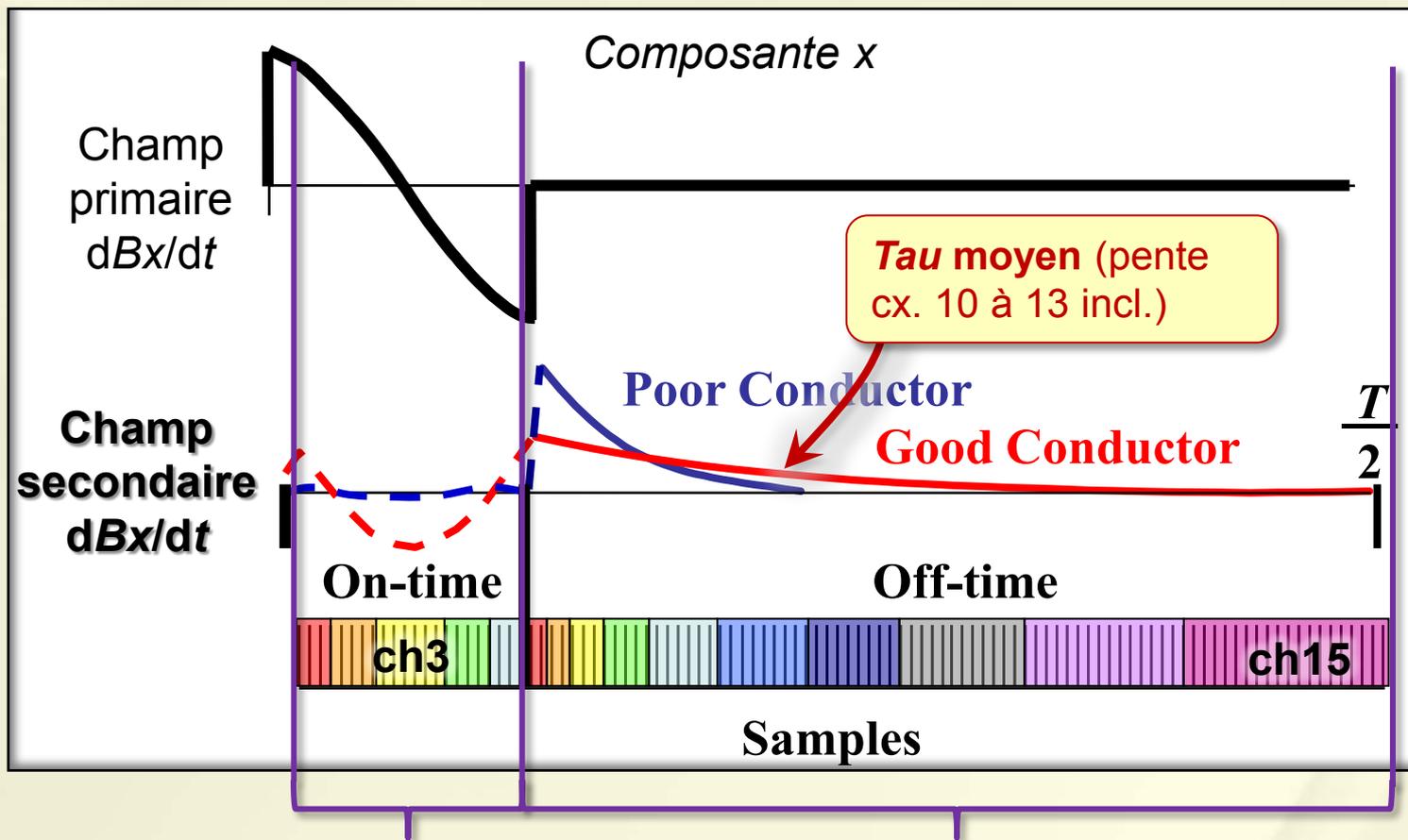


Smith et al 2005

GEOTEM, MEGATEM : **magnétisme** de la terre est aussi mesuré → utilisé pour discriminer les sulfures (souvent associés à la pyrrhotite et donc magnétiques) des autres conducteurs (argiles, graphite, non magnétiques)

Signal émis

Signal reçu



Allard, 2012

Canaux 1 – 5 : On time

Rarement utilisés car le signal mesuré est une combinaison de la réponse du sous-sol (réponse en quadrature) et du **signal primaire** émis par l'avion (réponse en phase)
→ difficulté d'interprétation

Canaux 6 – 20 : Off time

Après extinction du champ primaire.
Portion du signal utilisée par les géophysiciens

PARTIE I

Recherche empirique de discrimination des conducteurs sulfurés et graphitiques

- **Analyse statistique des corrélations entre**
 - la **nature du conducteur** (données géologiques) et
 - sa **réponse MEGATEM** (données géophysiques)

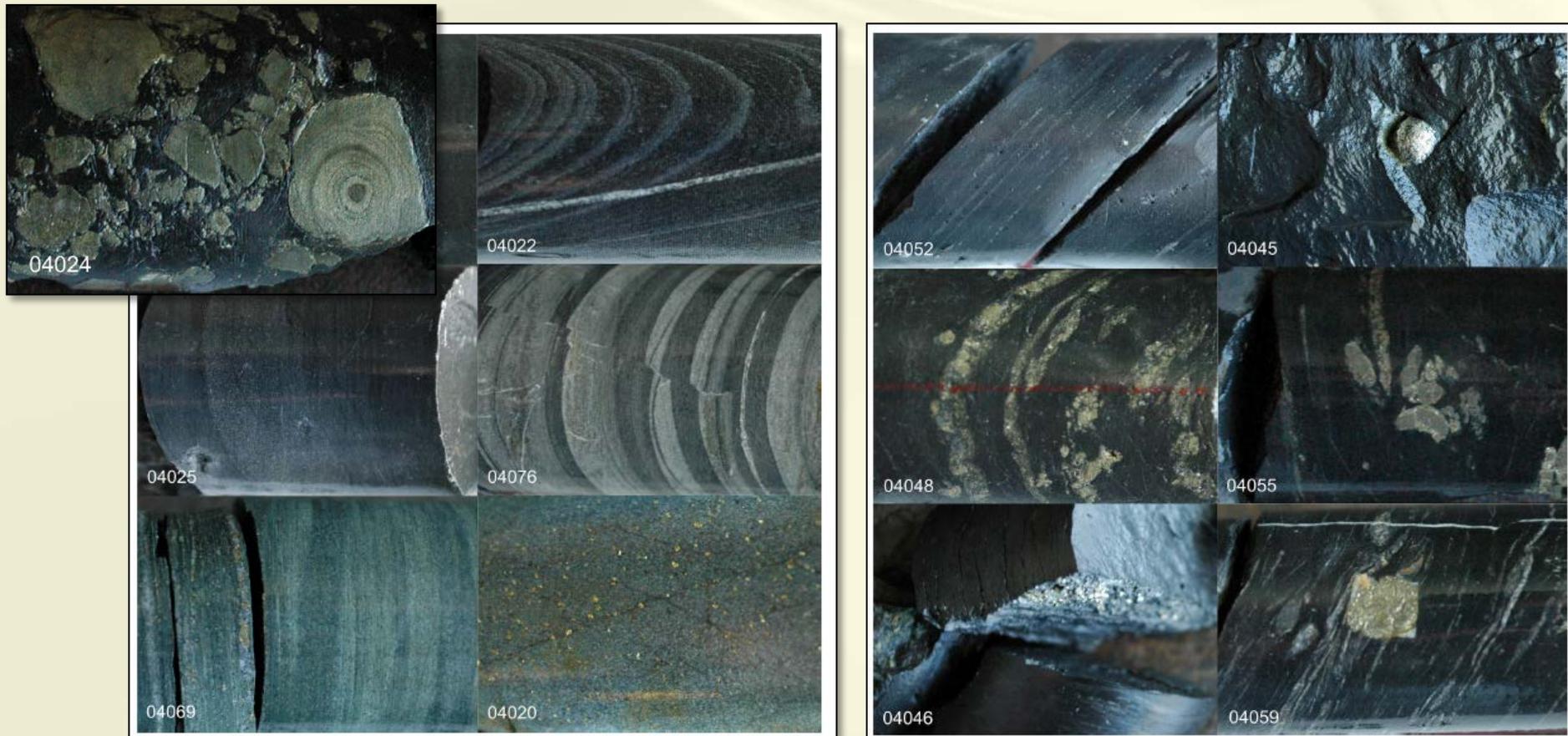
1. Hannington et al, 2001

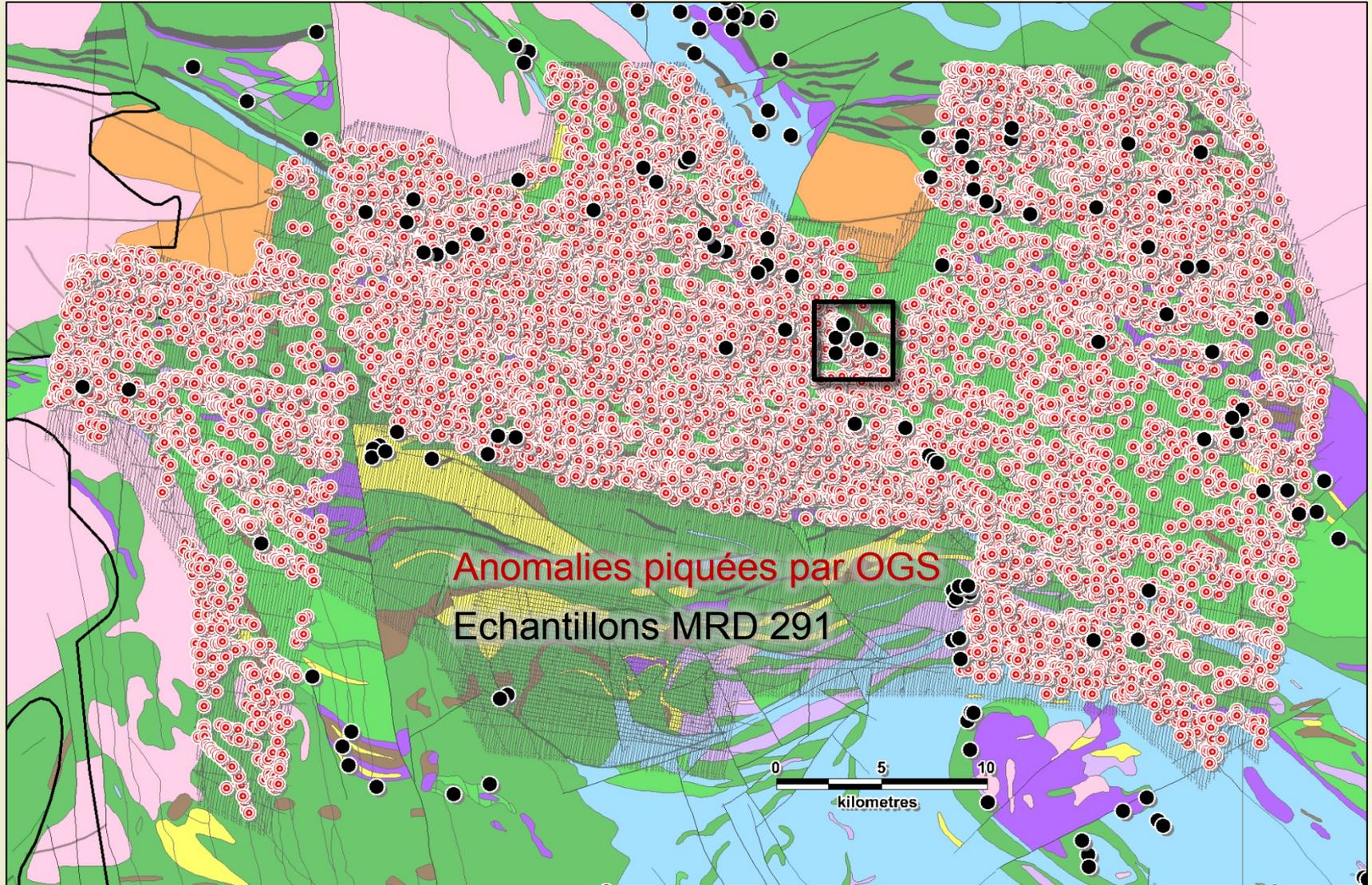
Proportions minérales dans 402 argilites graphitiques sulfurées (Kidd Munro, Ont.)

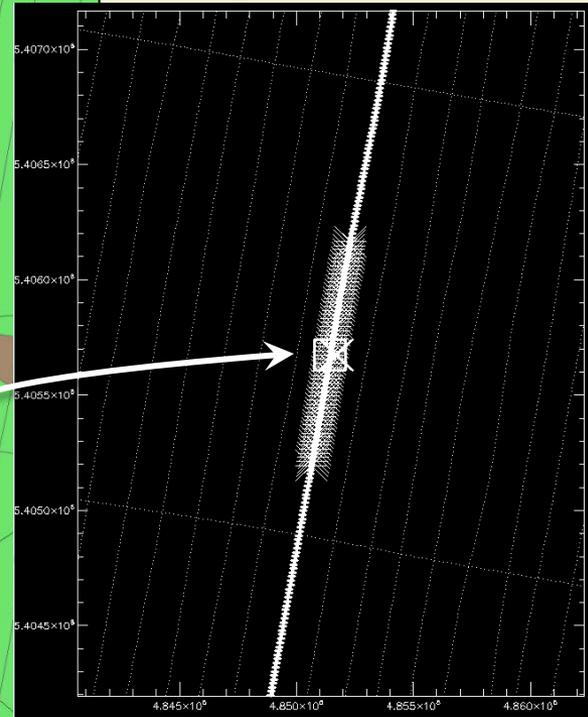
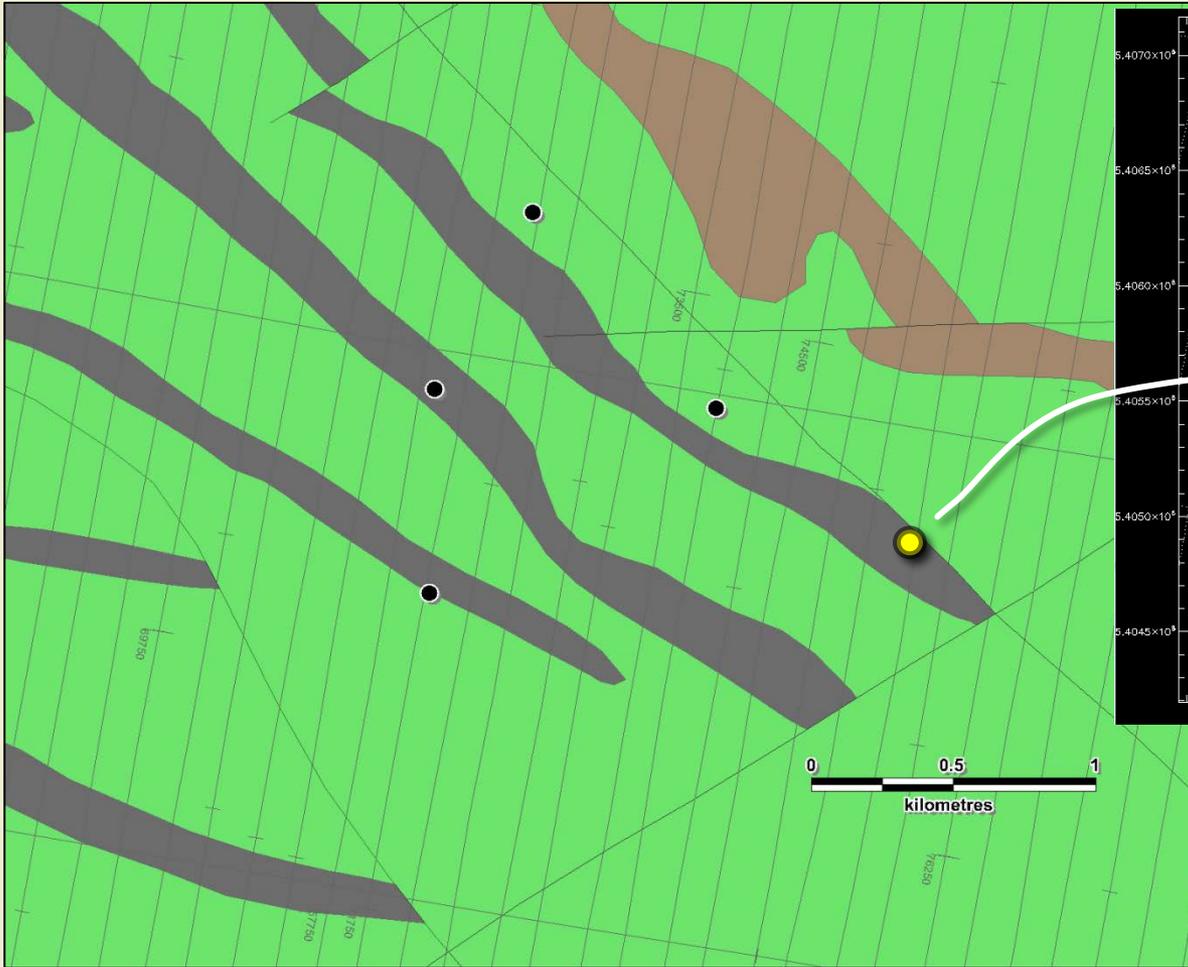
Données homogènes et de très bonne qualité

2. MRD 291 (Hannington et al, 2012)

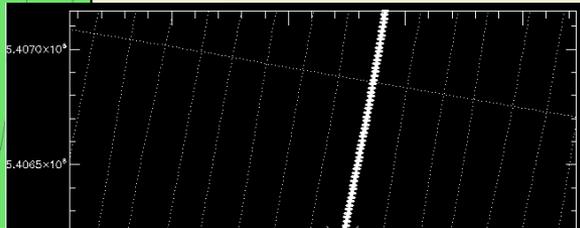
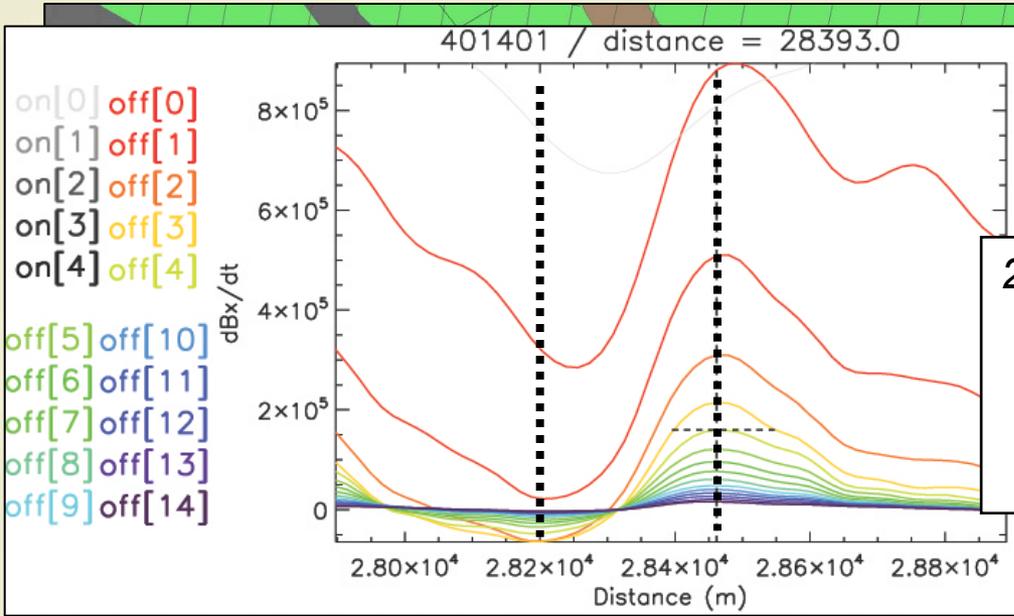
564 analyses géochimiques complètes d'argilites graphitiques sulfurées (Kidd Munro, Ont.)





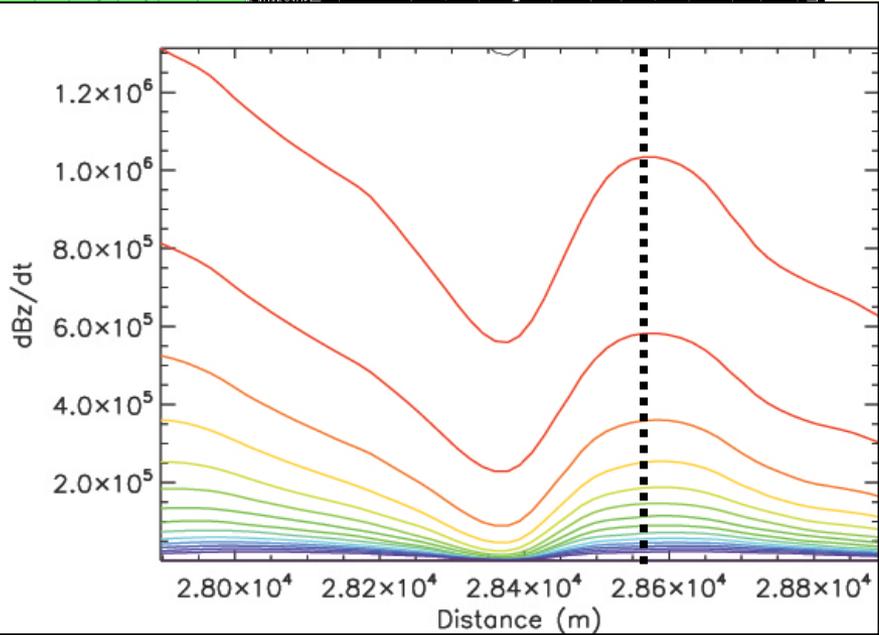
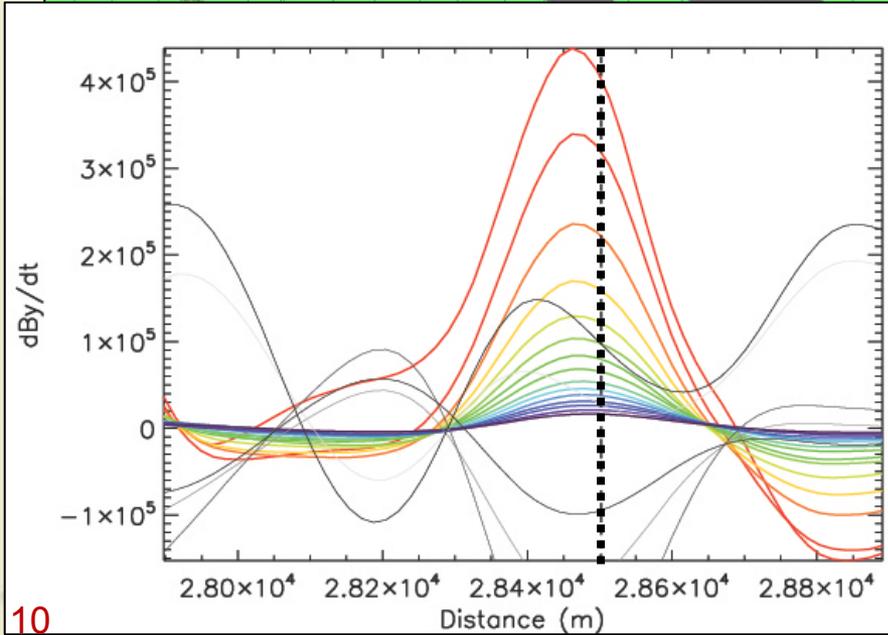
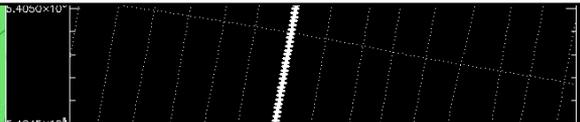


1. *Détection des stations situées long de la ligne la plus proche, sur une fenêtre de 1km de long → environ 40 stations*

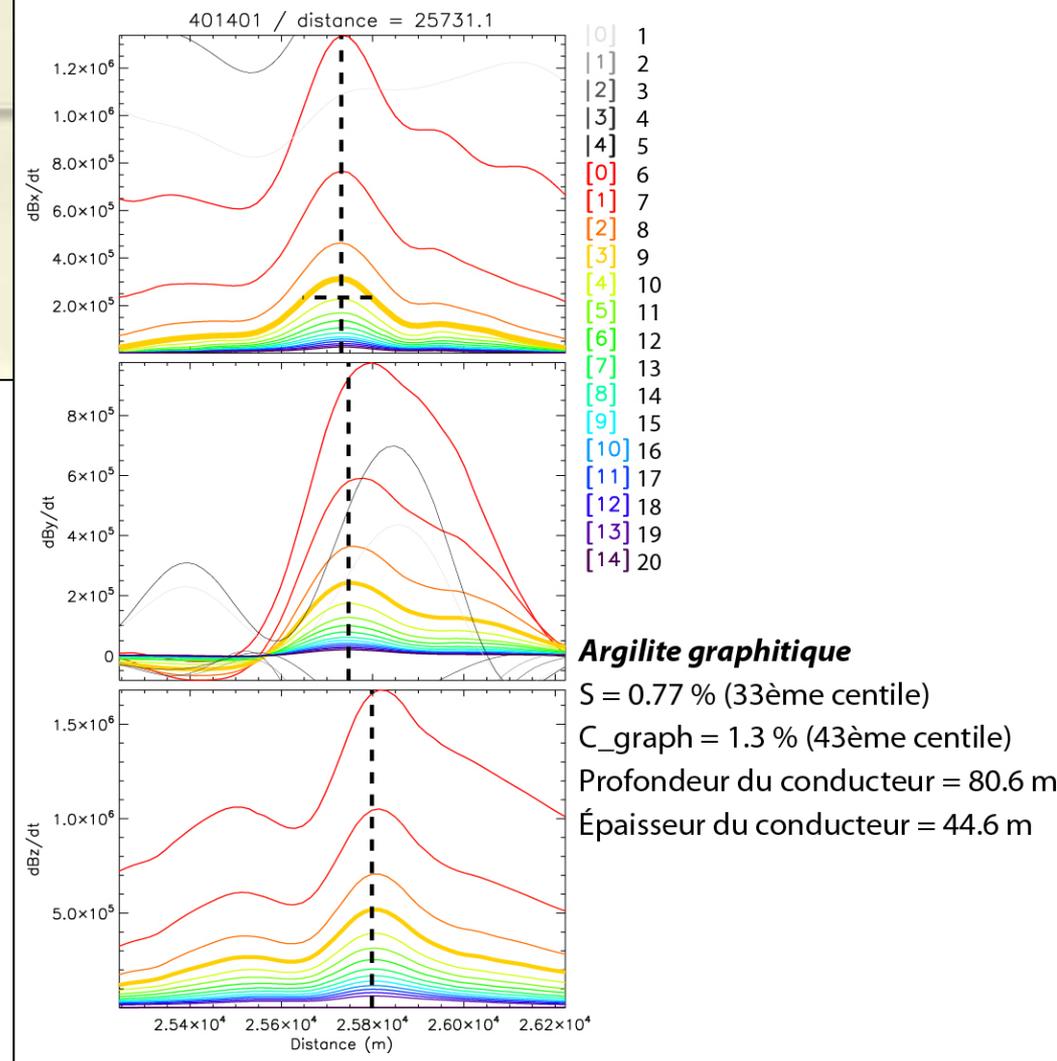
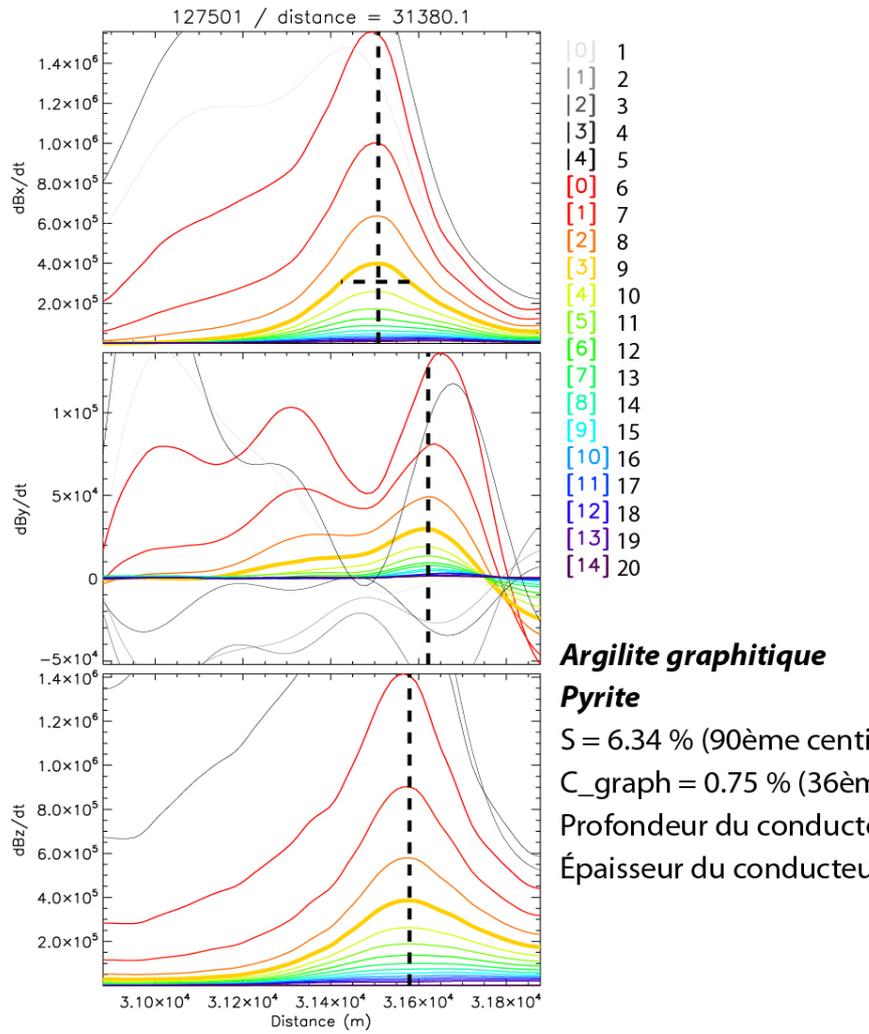


2. Mesure de valeurs des 20 canaux au pic dans les 3 composantes spatiales (+longueur d'onde, Tau, etc.)

→ 266 échantillons

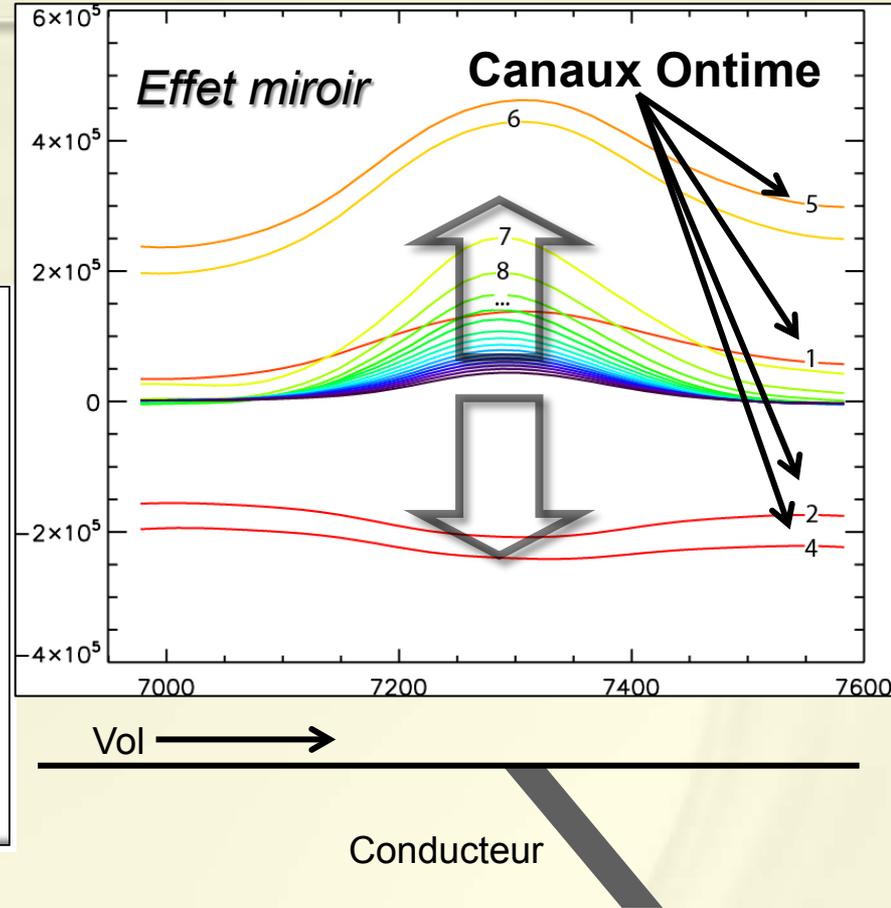
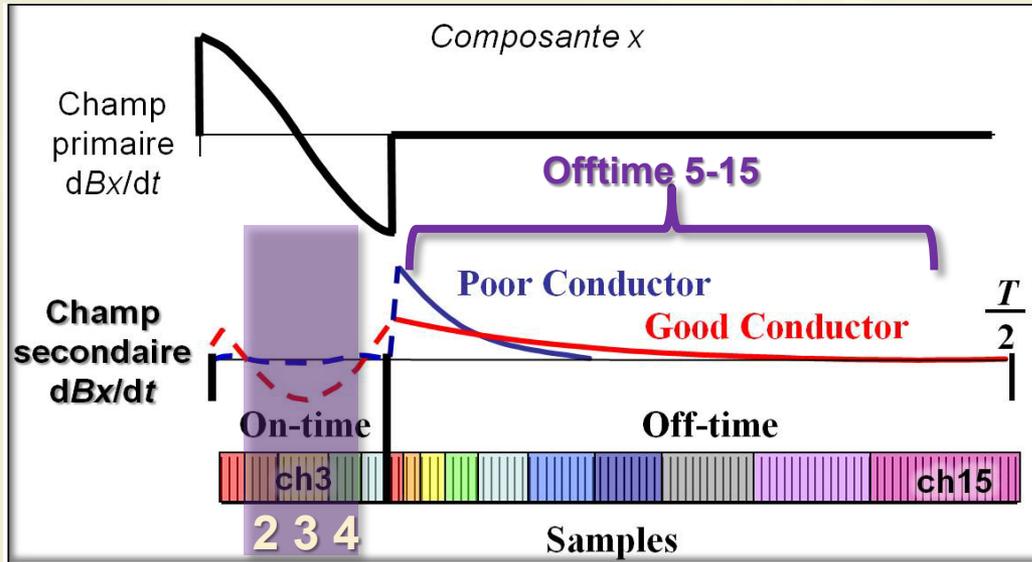


es
 he,
 ong



Opposition

- Canaux *on time* 2 à 4
- Canaux *on time* 1 et 5
- Canaux *off time* 5-15



→ Canaux 2 à 4 ont toujours un **signe opposé** aux 1 et 5, et aux *offtime*

→ Rapport *offtime* (5-15) / *ontime* (2-3-4) augmente avec la conductance

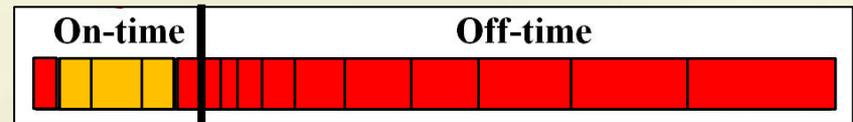
1. Une portion dominante de la variabilité des réponses MEGATEM exprime l'opposition suivante :

Cx ontime moyens (X2→4, Y2→4, Z1→3)

versus

Cx ontime précoce et tardifs (X1,5, Z4,5)

Cx offtime précoces et moyens 5→15 (X,Y,Z)



On propose donc l'indice I1 :

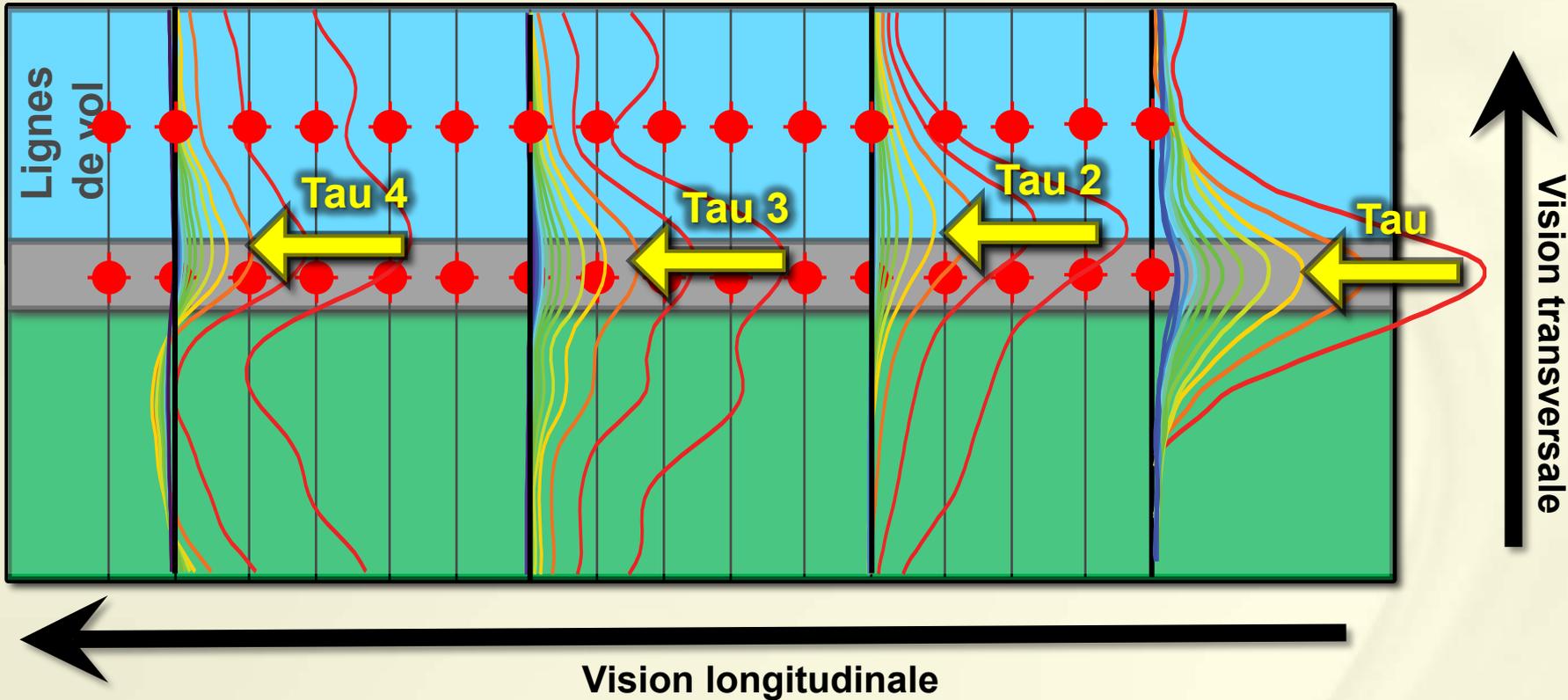
$$I1 = \text{Moy}(X5 \rightarrow 15 ; Z5 \rightarrow 15) / \text{Moy}(X2,3,4 ; Z1,2,3)$$

2. **I1 est corrélé à la teneur en sulfures** du conducteur
3. **I1 est moins clairement corrélé à la teneur en graphite** du conducteur
- **Présente un certain potentiel de discrimination sulfure/graphite**
4. Plusieurs méthodes statistiques (ACP, régression multiple : voir présentation CGS novembre) ont été utilisées pour **tester le potentiel discriminateur du signal MEGATEM**. Les données disponibles **ne permettent pas de trancher** en raison : 1. d'une incertitude subsistante sur le fait que **l'intervalle échantillonné est l'horizon conducteur** et que **l'échantillon est représentatif** de cet intervalle ; 2. d'une quantité insuffisante de sulfures massifs graphitiques dans bases disponibles
- 1. échantillonner avec un conductivimètre ; 2. échantillonner des sulf. mass. graphitiques

PARTIE II

**Détection des sulfures massifs par l'analyse des
variations longitudinales des anomalies MEGATEM le long
des conducteurs linéaires graphitiques en Abitibi**

Étude de la variabilité longitudinale le long des conducteurs linéaires minéralisés (contenant des gîtes/indices connus en métaux de base)

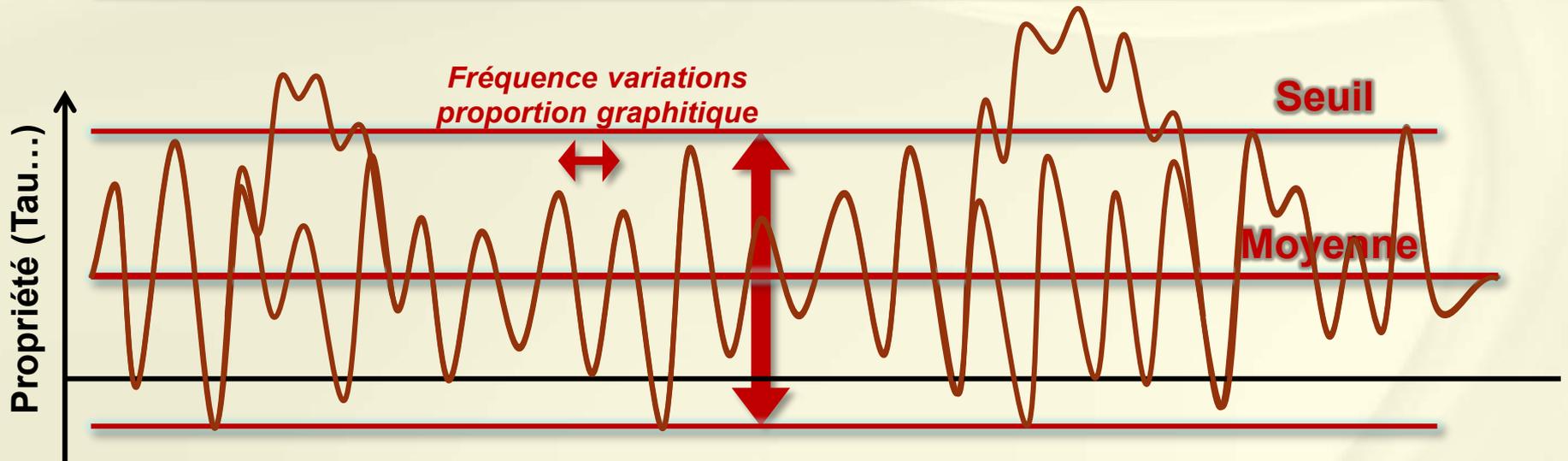
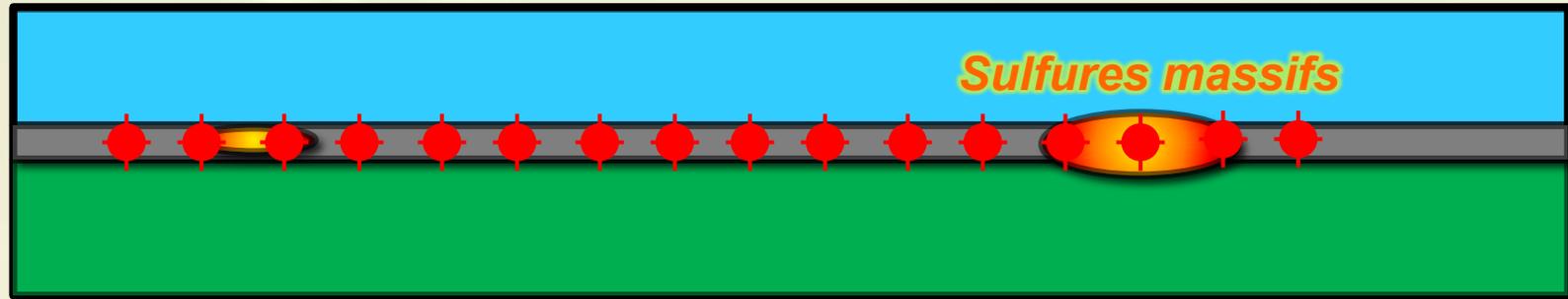


Propriétés de l'anomalie (paramètres Tau etc.), intensité.

Vision longitudinale

variations des propriétés des anomalies (Tau...) : variations de la conductivité du conducteur linéaire traduisant des **changement de composition (teneurs en graphite et sulfures diagenétiques ou hydrothermaux)**

Étude de la variabilité longitudinale le long des conducteurs linéaires minéralisés (contenant des gîtes/indices connus en métaux de base)

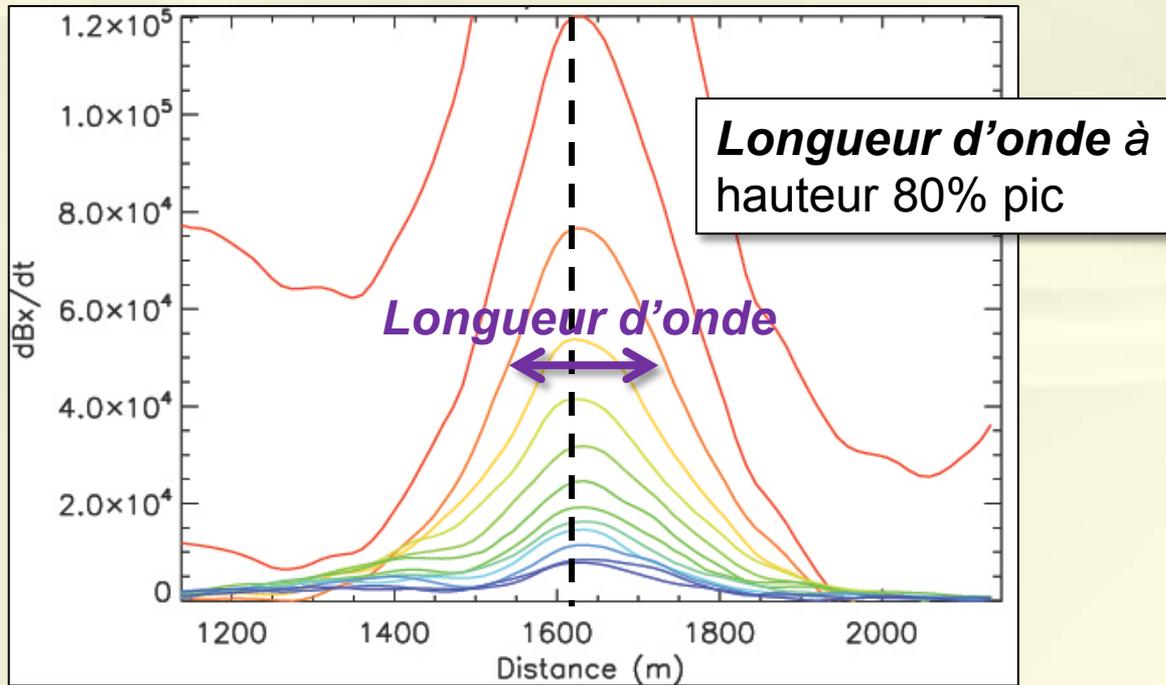


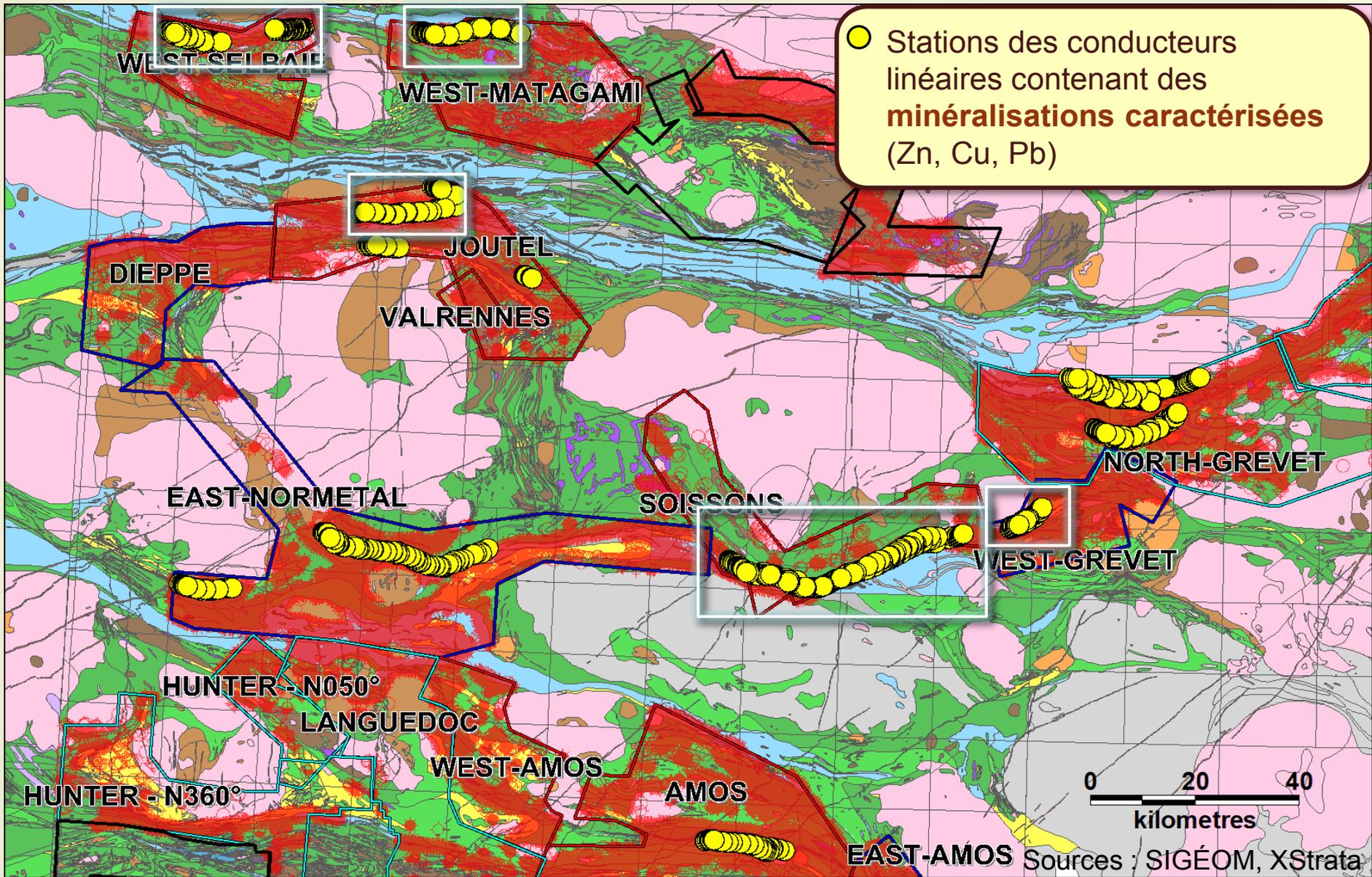
1. **Variabilité background** due aux variations des proportions de la roche en graphite et sulfures primaires → écart-type, moyenne, fréquences caractéristique etc.

2. Conductivités sont cumulatives → si une lentille sulfurée est présente, son *vortex* devrait se superposer à celui de l'horizon graphitique (*background*)

→ **anomalie excède ponctuellement la variabilité background**

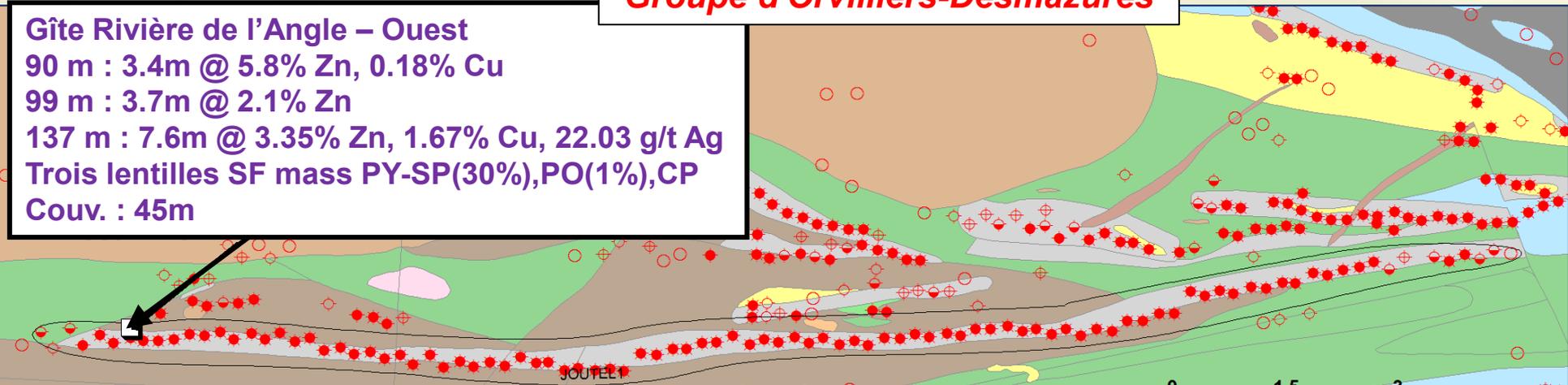
- Anomalies piquées manuellement par XStrata-Zn
- Réparties par XStrata-Zn en 6 catégories qualitatives d'«intensité » plus 2 autres
 - **cat. 1 : anomalie sur canaux 10 à 11 incl.**
 - **cat. 2 : anomalie sur canaux 10 à 13 incl.**
 - **cat. 3 : anomalie sur canaux 10 à 15 incl.**
 - **cat. 4 : anomalie sur canaux 10 à 17 incl.**
 - **cat. 5 : anomalie sur canaux 10 à 19 incl.**
 - **cat. 6 : anomalie sur canaux 10 à 20 incl.**
 - cat. 7 : anomalie anthropique
 - cat. 8 : anomalie profonde (surtout bz, canaux tardifs)
- **Caractéristiques quantitatives utilisées dans cette étude**
 - **Indice I1** → **amplitudes relatives (rapport)**
 - **TEE b12** → **amplitude absolue**
 - **Tau précoce, moyen, tardif** → **décroissance temporelle**
 - **Longueur d'onde dbx**
- **Ces paramètres ne sont sensiblement pas influencés par l'épaisseur de mort-terrain (cf. rapport)**





JOUTEL1
Tuf graphitique (V3B[TU]-S6,GP)
Groupe d'Orvilliers-Desmazures

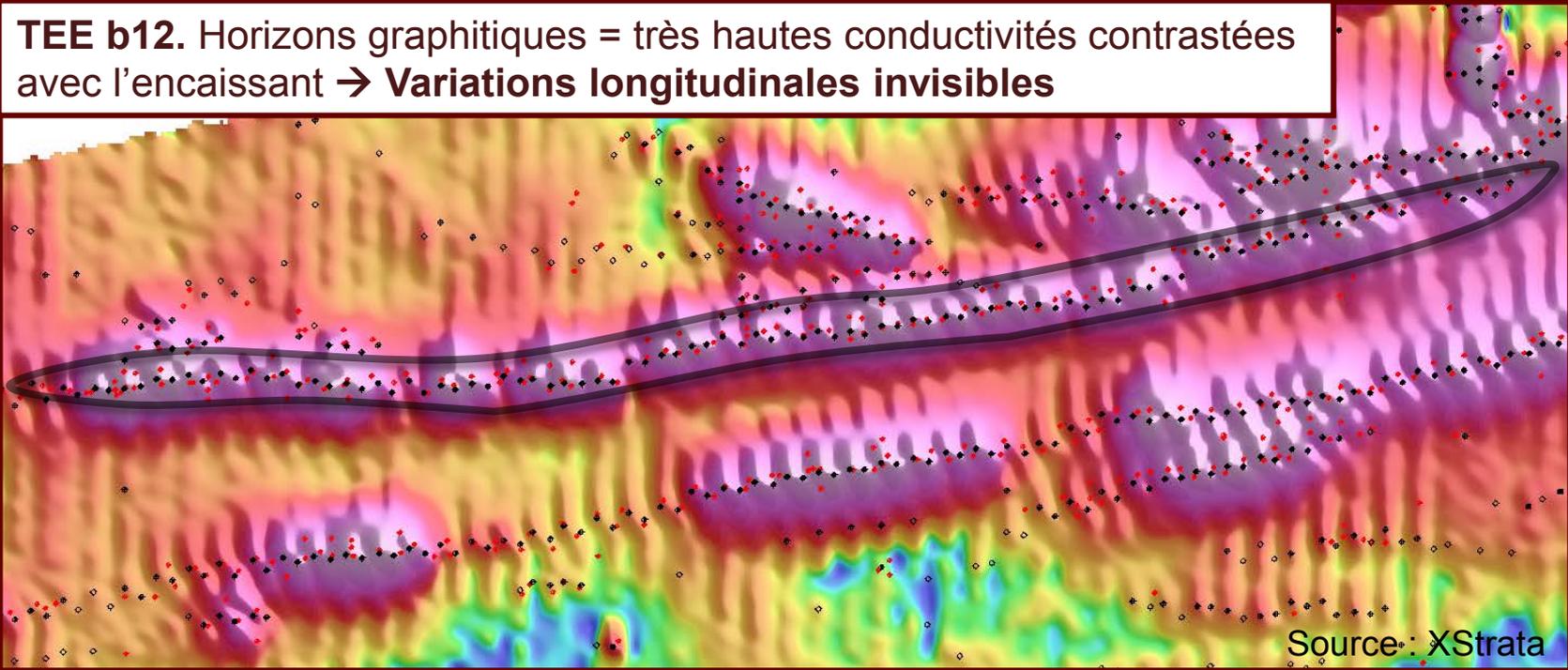
Gîte Rivière de l'Angle – Ouest
 90 m : 3.4m @ 5.8% Zn, 0.18% Cu
 99 m : 3.7m @ 2.1% Zn
 137 m : 7.6m @ 3.35% Zn, 1.67% Cu, 22.03 g/t Ag
 Trois lentilles SF mass PY-SP(30%),PO(1%),CP
 Couv. : 45m



TEE b12. Horizons graphitiques = très hautes conductivités contrastées avec l'encaissant → Variations longitudinales invisibles

- Cat.
- ⊕ Cat.
- ⊕ Cat.

Toutes les catégories



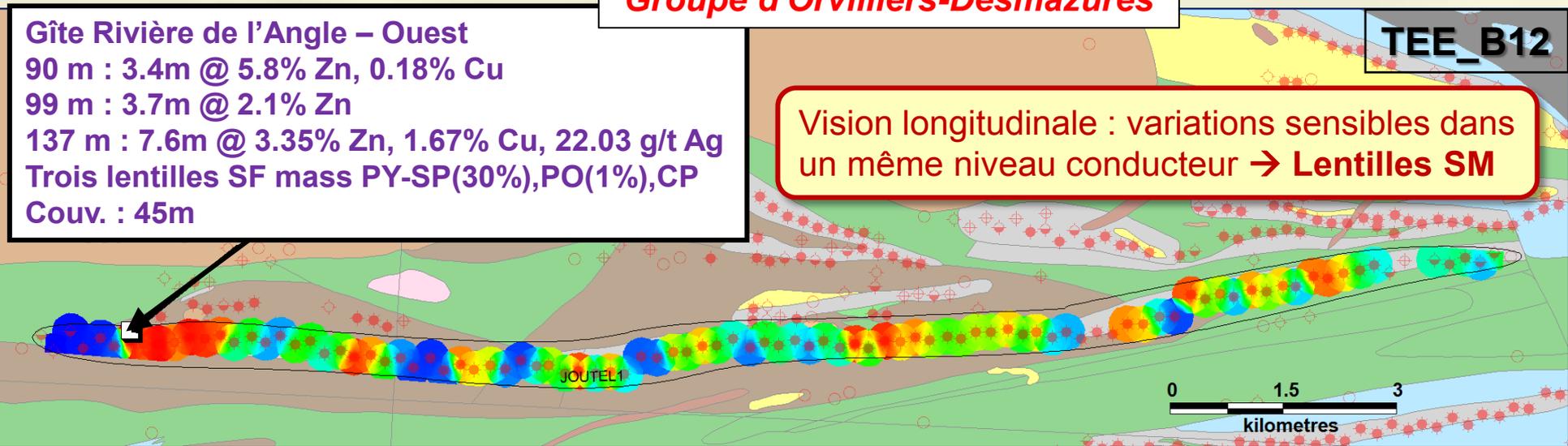
Source: XStrata

JOUTEL1
 Tuf graphitique (V3B[TU]-S6,GP)
 Groupe d'Orvilliers-Desmazures

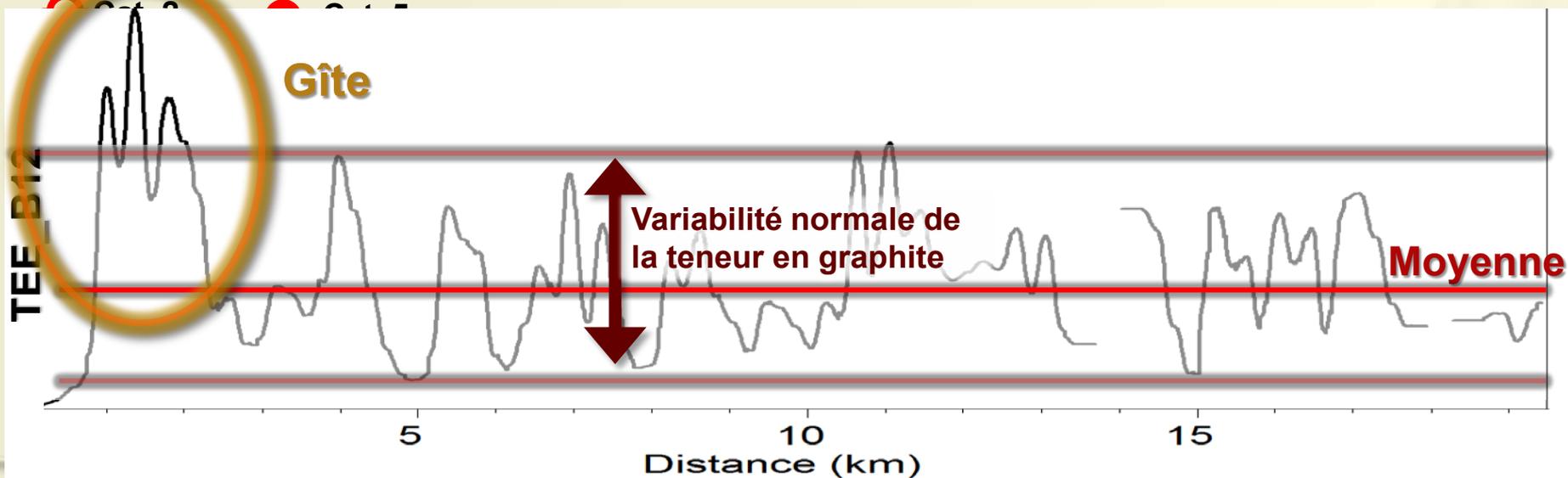
Gîte Rivière de l'Angle – Ouest
 90 m : 3.4m @ 5.8% Zn, 0.18% Cu
 99 m : 3.7m @ 2.1% Zn
 137 m : 7.6m @ 3.35% Zn, 1.67% Cu, 22.03 g/t Ag
 Trois lentilles SF mass PY-SP(30%),PO(1%),CP
 Couv. : 45m

TEE_B12

Vision longitudinale : variations sensibles dans un même niveau conducteur → **Lentilles SM**

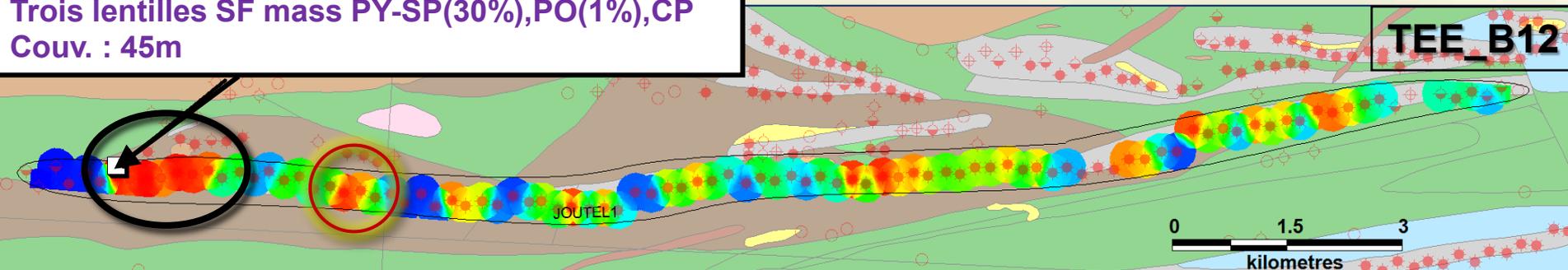


Anomalie TEE_B12 très nette au-dessus des lentilles de sulfures massifs



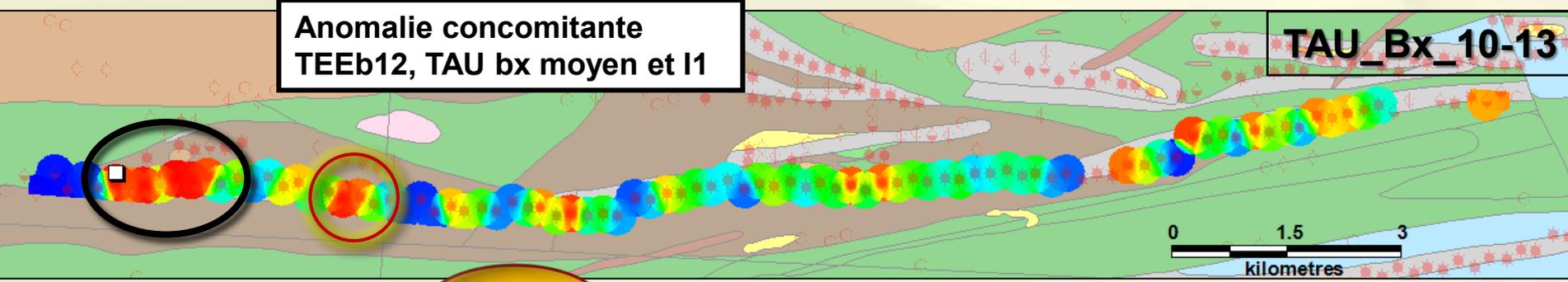
Gîte Rivière de l'Angle – Ouest
 90 m : 3.4m @ 5.8% Zn, 0.18% Cu
 99 m : 3.7m @ 2.1% Zn
 137 m : 7.6m @ 3.35% Zn, 1.67% Cu, 22.03 g/t Ag
 Trois lentilles SF mass PY-SP(30%),PO(1%),CP
 Couv. : 45m

JOUTEL1
 Tuf graphitique (V3B[TU]-S6,GP)
 Groupe d'Orvilliers-Desmazures



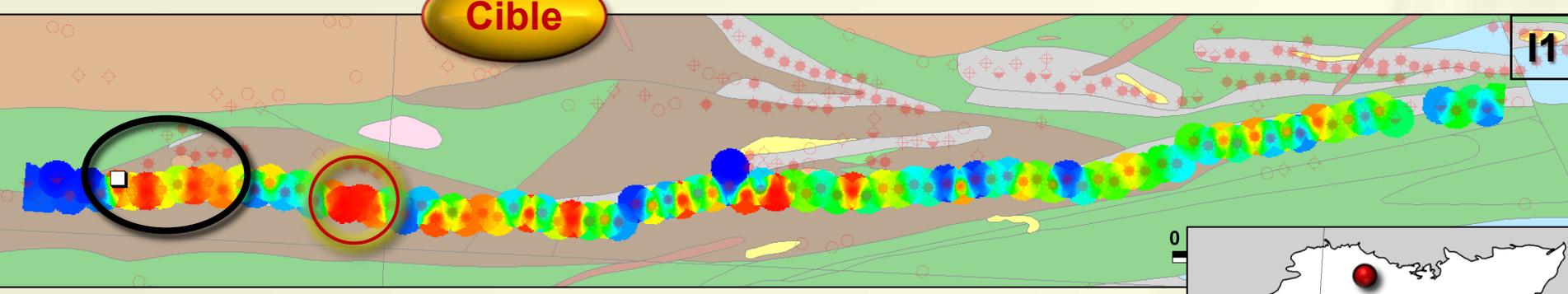
Anomalie concomitante
 TEEb12, TAU bx moyen et I1

TAU_Bx_10-13



Cible

I1



WESTGREVET1

Sédiments graphitiques (S1-S6)

I1

Tau Bx 10-20

Anomalie concomitante
I1, TEEb12,
TAU bx moyen

Gîte North Shore
2.3m @ 1.32% Cu, 3.68% Zn
0.5m @ 14.65 % Zn
5m @ 0.6 % Cu, 8.01 % Zn
Argilite graphitique, lentilles massives
PY-SP-PO-CP ; couv. : 2m

TEE_B12



SOISSON1
Sédiments
graphitiques
(S1-S6)

Indice
140 m : 0.2m @ 3,82 g/t Au
3.8m @ 0,6% Zn
Argillite graph, PY-PO
Couv : 24m

Indice
200 m : 1.5m @ 1,12 g/t Au
135 m : 0.9m @ 0,21% Zn
Argillite graph., 15%PY-PO
Couv : 35m

TEE_B12

Long_onda_dbx

● 941 to 941 (2)	○ 137 to 154 (30)
● 329 to 941 (17)	○ 124 to 137 (28)
● 225 to 329 (17)	○ 113 to 124 (23)
● 182 to 225 (16)	○ 98 to 113 (17)
○ 154 to 182 (14)	○ 78 to 98 (9)

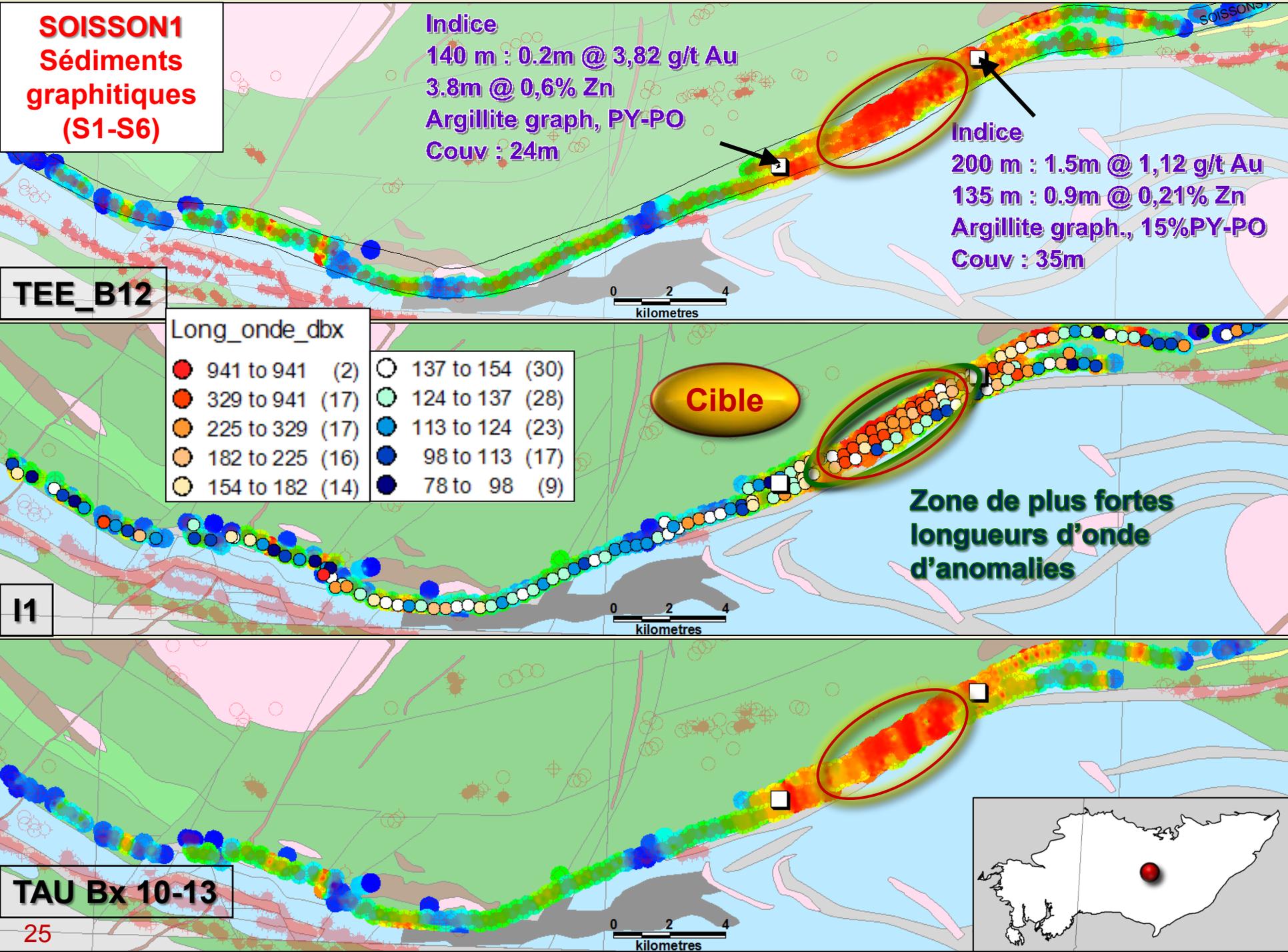
Cible

**Zone de plus fortes
longueurs d'onde
d'anomalies**

11

TAU Bx 10-13

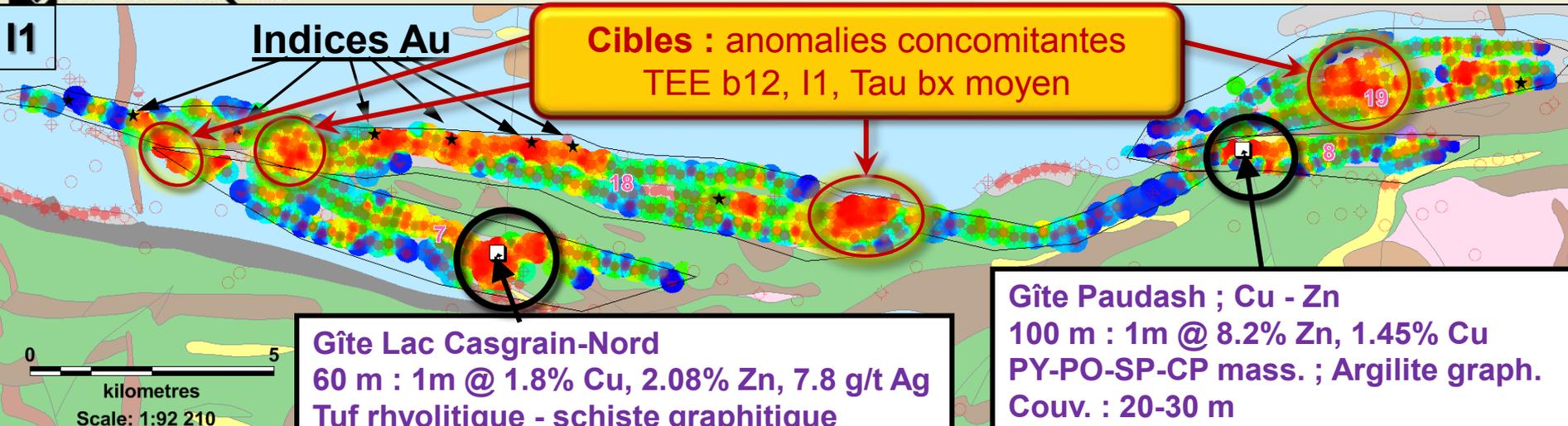
25



I1

Indices Au

Cibles : anomalies concomitantes
TEE b12, I1, Tau bx moyen

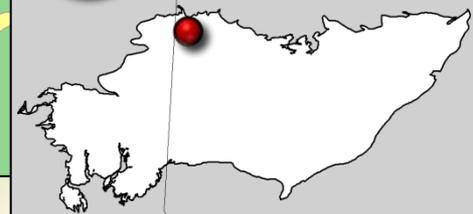
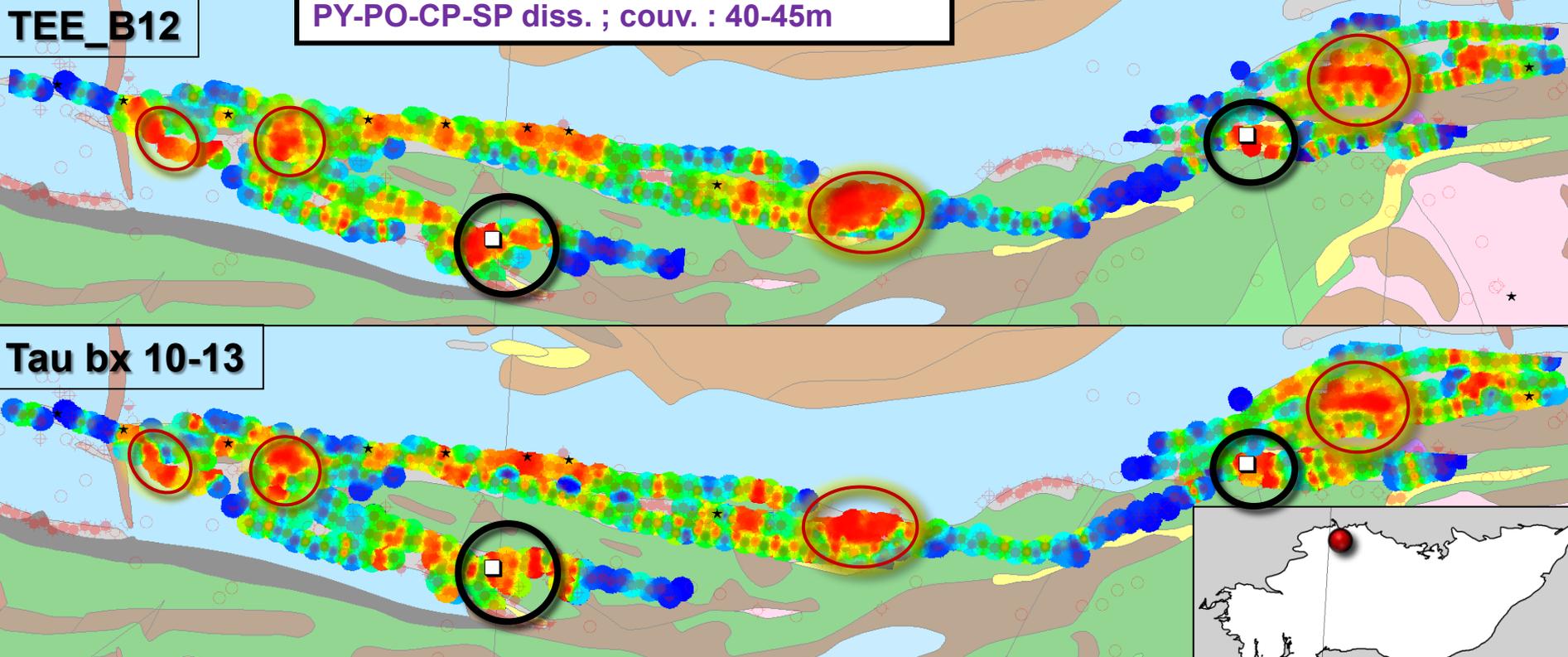


Gîte Lac Casgrain-Nord
 60 m : 1m @ 1.8% Cu, 2.08% Zn, 7.8 g/t Ag
 Tuf rhyolitique - schiste graphitique
 PY-PO-CP-SP diss. ; couv. : 40-45m

Gîte Paudash ; Cu - Zn
 100 m : 1m @ 8.2% Zn, 1.45% Cu
 PY-PO-SP-CP mass. ; Argilite graph.
 Couv. : 20-30 m

TEE_B12

Tau bx 10-13



- Les données disponibles ne permettent pas de trancher catégoriquement sur la

18 cibles de catégorie 1 :

les 3 paramètres sont nettement anomaux (TEEb12, Tau bx moy, I1)

67 cibles de catégorie 2 à 4 :

- *idem* sur petite superficie et/ou
- 2 paramètres sont nettement anomaux, le 3^{ème} est anomal mais moins marqué

- **L'enveloppe d'énergie totale** (TEE) au canal 12 (canal peu affecté par l'effet mort-terrain et néanmoins très sensible à la présence de conducteurs), un paramètre calculé par FUGRO
 - **L'indice I1** (développé dans cette étude), qui englobe l'essentiel de la variabilité du signal électromagnétique, et qui oppose les **canaux ontime** aux **canaux offtime**
 - **Tau bx moyen (cx 10-20 ou cx 10-13)**
 - Les **longueurs d'onde** des anomalies : valeurs très basses et très hautes
- Génération de cibles dans des secteurs habituellement peu considérés de l'Abitibi

Merci de votre attention

S % LC C_graph LC Profondeur

R Spearman, variables géophysiques, graphite et sulfures

dBx/dt_0_log	-0.036309	0.083237	-0.090095
dBx/dt_1_log	0.001484	-0.118695	0.076955
dBx/dt_2_log	-0.009897	-0.172709	0.093513
dBx/dt_3_log	-0.010708	-0.157882	0.094338
dBx/dt_4_log	-0.036101	0.059012	-0.126619
dBx/dt_5_log	0.034020	0.188346	-0.146961
dBx/dt_6_log	0.075107	0.205680	-0.145833
dBx/dt_7_log	0.100028	0.252432	-0.152489
Taubx_prec_log	0.097772	0.243682	-0.130208
dBx/dt_8_log	0.118110	0.288721	-0.166008
dBx/dt_9_log	0.164673	0.308130	-0.163612
dBx/dt_10_log	0.186123	0.264544	-0.136639
dBx/dt_11_log	0.188620	0.252089	-0.129169
Taubx_med_log	0.192446	0.261369	-0.114257
dBx/dt_12_log	0.198579	0.252897	-0.111746
dBx/dt_13_log	0.228373	0.260232	-0.116140
dBx/dt_14_log	0.196374	0.216774	-0.092779
dBx/dt_15_log	0.195359	0.278974	-0.055714
Taubx_tard_log	0.184011	0.243581	-0.087851
dBx/dt_16_log	0.252489	0.238747	-0.085302
dBx/dt_17_log	0.234761	0.255858	-0.060866
dBx/dt_18_log	0.190280	0.235406	-0.026832
dBx/dt_19_log	0.138957	0.151062	0.026159
dist_lat1_dbx_log	0.128431	0.117604	0.005165
dist_lat2_dbx_log	0.172726	0.115650	0.065772
Tau_dbx_lat1_log	0.016197	0.140313	-0.155128
Tau_dbx_lat2_log	0.020660	0.162677	-0.109456
Tau_dbx_prec_log	0.031328	0.163006	-0.150508
Tau_dbx_med_log	0.047303	-0.131951	-0.088590
Tau_dbx_tard_log	0.056966	-0.398712	-0.051986
Ratio_Taubx_Taudbx_log	0.025364	-0.546728	0.056723
29 Mag_final_log	0.121000	0.153291	-0.079017

Graphite :

1. Corrélations **globalement plus fortes**
2. Effet positif sur **tous canaux off time**, en particulier les **canaux 8 et 9**
3. Effet négatif sur **canaux on time 1 à 3** (négatif sur le canal 0)
4. Effet positif sur **longueur d'onde**
5. Très fort effet négatif sur le **ratio Tau_Bx / Tau_dBx/dt**
6. Fort effet négatif sur **Tau dBx/dt tardif**
7. Effet positif sur **Tau dBx/dt précoce**
8. Effet positif sur **Taus latéraux**

Sulfures :

1. Effet positif sur **canaux 9 à 17**
2. Effet négatif sur **longueur d'onde**

Corrélations positives	> 0.3
	0.2 – 0.3
	0.15 – 0.2
Corrélations négatives	0.08 – 0.15
	0.08 – 0.15
	0.15 – 0.2
	0.2 – 0.3
	> 0.3