
SHALES NOIRS GRAPHITEUX DANS LES BASSINS SÉDIMENTAIRES DE L'ABITIBI

PROJET 2014-02

PAR : STEPHANE FAURE, GEO, PH.D.

AVRIL 2015



AVERTISSEMENT

Ce document présente certains résultats des travaux de recherche du CONSOREM (Consortium de Recherche en Exploration minérale) 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. Le CONSOREM ne peut être tenu responsable pour des décisions prises sur la base de ces résultats.

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., 2015. Shales noirs graphiteux dans les bassins sédimentaires de l'Abitibi. Rapport préliminaire, Projet CONSOREM 2014-02, 31 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'origine de l'or dans les gisements syn à tardi-métamorphiques (orogéniques) a toujours été un sujet de débats. Large et al. (2008) ont repris et synthétisés de nombreux travaux qui proposent que l'or dans certains gisements proviendrait de séquences sédimentaires, en particulier d'argilites noires graphiteuses et sulfurées pré-enrichies en métaux. Dans ce modèle, l'or est libéré progressivement de la pyrite diagénétique avec l'augmentation du métamorphisme du schiste vert vers le schiste vert supérieur-amphibolite, et transporté avec le soufre provenant de la réaction de désulfuration de la pyrite en pyrrhotine pour être ensuite piégé dans la partie supérieure de la croûte au faciès schiste vert. D'importants gisements d'or de l'Asie centrale et de l'ouest américain (Carlin) seraient issus de ce processus.

Le projet 2014-02 a pour objectif de documenter le contenu en métaux des principaux bassins de turbidites de l'Abitibi et de tester le modèle de Large et al. (2008). Ces bassins couvrent une superficie de 12 800 km², soit près de 14% cette sous-province archéenne. Quel est le potentiel de ces bassins à contenir de l'or primaire? Est-ce que les argilites graphiteuses représentent un réservoir anormal en métaux et suffisamment riche en or pour produire un gisement économique? Il s'agit d'un projet méthodologique qui vise à développer des outils géologiques, minéralogiques et géochimiques pour les compagnies afin de reconnaître des argilites anormalement riches en métaux et en or dans des bassins sédimentaires.

La première partie de l'étude résume les principales caractéristiques géologiques des 23 bassins de turbidites de l'Abitibi d'une superficie plus grande que 100 km². Trois groupes de bassins se distinguent par leur âge maximum de sédimentation. Les bassins formés avant 2700 Ma, présents surtout dans la région de Chibougamau (Groupe de Roy), les bassins formés entre 2698 et 2685 Ma qui représentent la plus grande superficie en Abitibi (formations de Taibi, Caste, Glandelet et groupes d'Opémisca, Matagami, et Chicobi) et les bassins les plus jeunes entre 2685-2670 Ma (Groupes de Timiskaming, de Porcupine en Ontario et de Cadillac ainsi que la Formation de Mont-Brun au Québec) surtout présents dans la zone volcanique sud. Une manière d'évaluer la quantité relative d'argilites graphiteuses, et indirectement le caractère REDOX et les sources potentielles en métaux dans ces bassins, est d'utiliser les anomalies électromagnétiques aéroportées de type INPUT qui couvrent l'ensemble de l'Abitibi. Les horizons d'argilites sont très conducteurs et répondent en particulier aux canaux 4, 5 et 6. Le contenu en argilites est estimé pour chacun des 23 bassins en calculant la somme des canaux 4, 5 et 6 par unité de surface. Les formations de Blondeau et de Taibi (secteur de la Faille Lamarck) sont les bassins les plus riches en argilites graphiteuses (Figure 1). Les bassins au centre de l'Abitibi contiennent une bonne proportion de ces horizons, alors que les bassins les plus jeunes au sud de la ceinture sont très pauvres en argilites, indiquant une diminution du caractère REDOX avec l'âge des bassins.

La deuxième partie de l'étude documente dans le canton de Dieppe (entre la frontière Québec-Ontario et les mines Casa Berardi), le long de la faille Casa Berardi, le processus de libération de l'or dans un horizon d'argilite riche en graphite et sulfures qui recoupe l'isograde schiste vert supérieur (biotite) et la zone de transition vers l'amphibolite (grenat et amphibole). En lames minces, les nodules de pyrite au schiste vert se transforment progressivement en pyrrhotite vers l'ouest avec l'augmentation du métamorphisme. La chimie minérale par LA-ICPMS (Laser Induced Coupled Plasma Mass Spectrometry) indique que les nodules de pyrite diagénétiques (Py1) contiennent une suite d'éléments polymétalliques incluant l'or encapsulé dans le cœur ou les couronnes des nodules (Figure 2). Avec l'augmentation du métamorphisme, la Py1 se transforme progressivement en Po (stérile) et en Py2 cubique et métamorphique dans le quartz des ombres de pressions des nodules, notamment. Par raffinage, les métaux forment de nouveaux minéraux (sphalérite, chalcopryrite) et l'or se trouve libre en inclusions dans les fractures de la Py2 ou dans le quartz, ou associé à la chalcopryrite. Il s'agit d'une première démonstration du modèle de Large en Abitibi.

La troisième partie du projet concerne la géochimie d'argilites noires graphiteuses ou de siltstones gris de plusieurs bassins de turbidites en Abitibi. Les argilites noires graphiteuses et sulfurées sont définies par des contenus en soufre et carbone graphitique $\geq 0,5\%$. La comparaison de spectres multi-éléments entre les différents bassins sédimentaires indique que certains sont plus riches en métaux de base et que d'autres sont plus riches en Au et As. La Formation de Blondeau apparaît riche en horizons graphiteux, selon la grande quantité d'anomalies Input, mais les valeurs en plusieurs métaux sont les plus faibles de tous les bassins étudiés. Une analyse en composantes principales permet de proposer deux indices métallifères, un pour métaux de base et un autre pour l'or et As. On observe une augmentation des valeurs de l'indice de métaux de base vers les bassins les plus jeunes situés au SO de l'Abitibi. Finalement, une équation formulée à partir d'une régression multiple et d'une suite de variables explicatives (métaux) permet de prédire la quantité d'or d'un échantillon et d'identifier par une résiduelle les échantillons appauvris ou enrichis en Au. Les résultats de cette approche montrent qu'il y a une tendance à l'enrichissement en or à plusieurs endroits en Abitibi à la limite entre le schiste vert et le schiste vert supérieur – amphibolite tel que le prédit le modèle.

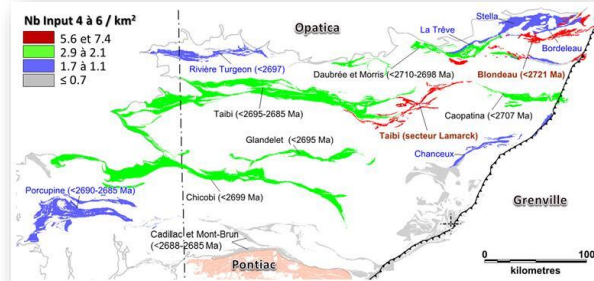
En conclusion, il est estimé qu'il faudrait deux horizons d'argilites graphiteuses à 40 ppb Au, de 5 m d'épaisseur et de 10 km de longueur, comme ceux étudiés dans le canton de Dieppe, et d'une profondeur de 5,6 km pour produire un gisement de 60 t comme celui de Casa Berardi. Si le modèle de Large semble s'appliquer le long de la faille Casa Berardi en bordure du bassin de Taibi, il en est autrement le long de la faille de Cadillac-Larder Lake au sud de l'Abitibi. En effet, la quantité d'or le long de cette faille transcrustale ne peut être expliquée par ce modèle puisqu'il y a absence quasi complète d'horizons d'argiles noires graphiteuses dans les bassins du sud de l'Abitibi (Groupe de Cadillac, Formation de Mont-Brun, et Sous-province de Pontiac).

TABLE DES MATIÈRES

Éléments de problématique	1
Objectifs du projet	4
Partie 1 – Caractéristiques géologiques des principaux bassins de turbidites de l’Abitibi	4
• Bassins sédimentaires de l’Abitibi	5
Partie 2 - Argilites graphiteuses métallifères du secteur Dieppe	12
Partie 3 - Évaluation géochimique en métaux des différents bassins	17
Conclusions	29
Références	31

Shales noirs graphiteux dans les bassins sédimentaires de l'Abitibi

Projet 2014-02



Stéphane Faure



/1

Plan de la présentation

1. Principales caractéristiques géologiques des bassins de turbidites Abitibi

- Différences et similitudes en termes d'âges, et de présence de formations de fer et d'horizons d'argilites graphiteuses (exhalaisons)
- *Première indication de sources potentielles en métaux (régional)*

2. Argilites graphiteuses métallifères, secteur Dieppe (un archétype en Abitibi)

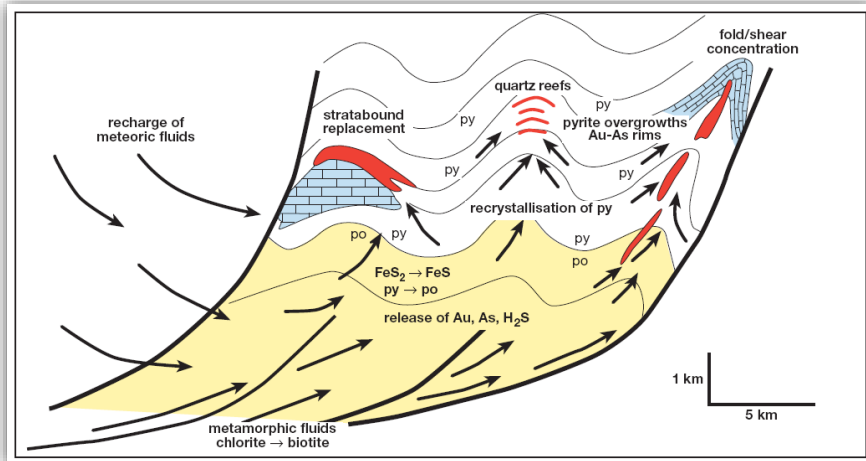
- Minéralogie, chimie minérale (LA-ICPMS), corrélations entre les métaux, et relation avec le métamorphisme
- *Validation du modèle de Large (échelle microscopique)*

3. Évaluation géochimique en métaux des différents bassins sédimentaires

- Définition géochimique d'une argilite graphiteuse et sulfurée
- Différences – similitudes géochimiques entre les bassins sédimentaires
- Indices métallifères pour reconnaître des argilites enrichies en métaux à l'intérieur de bassins
- *Cibler des secteurs d'intérêts dans les bassins*

/2

Éléments de problématique Modèle de Large 2011



Modifié de Large et al. 2011

NOTE: La roche hôte de la minéralisation n'est pas nécessairement la roche source de l'or.
 *Pré-enrichissement en éléments VAMSNZ (V, Ag, Mo, Ni, Se, As, Zn (+ Au, Cu, Pb, Te, ...))

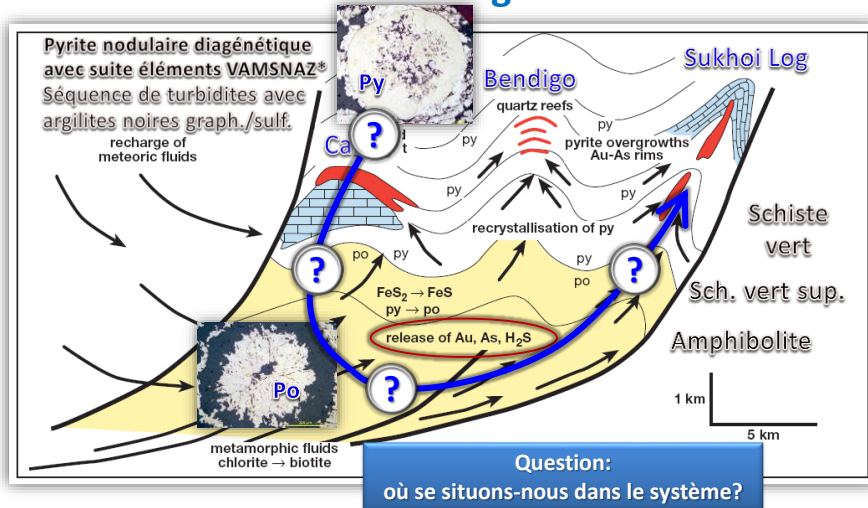
/3

Problématique

L'origine de l'or dans les gisements syn à tardi-métamorphiques (orogéniques) a toujours été un sujet de débats. Large et al. (2008) ont repris et synthétisés de nombreux travaux qui proposent que l'or dans certains gisements proviendrait de séquences sédimentaires, en particulier d'argilites noires graphiteuses et sulfurées pré-enrichies en métaux. Dans ce modèle, l'or est libéré progressivement de la pyrite diagenétique avec l'augmentation du métamorphisme du schiste vert vers le schiste vert supérieur-amphibolite, et transporté avec le soufre provenant de la réaction de désulfuration de la pyrite en pyrrhotine pour être ensuite piégé dans la partie supérieure de la croûte au faciès schiste vert. D'importants gisements d'or de l'Asie centrale et de l'ouest américain (Carlin) seraient issus de ce processus.

/4

Éléments de problématique Modèle de Large 2011



Modifié de Large et al. 2011

NOTE: La roche hôte de la minéralisation n'est pas nécessairement la roche source de l'or.

*Pré-enrichissement en éléments VAMSNAZ (V, Ag, Mo, Ni, Se, As, Zn (+ Au, Cu, Pb, Te, ...))

Problématique

Ce projet fait suite au projet 2012-07 (Gisements d'or géants associés aux shales noirs) qui avait permis d'aborder la catégorie des gisements aurifères géants dans les shales noirs graphiteux et/ou pyriteux, en particuliers ceux de l'Asie centrale, principalement Murunto en Ouzbékistan (5 286 t Au), Sukhoi Log (1 953 t Au) et Olimpiada (700 t Au) en Russie, et Kumtor dans le Kirgystan (500 t Au). L'application de ces concepts a été faite au Québec dans deux ceintures volcano-sédimentaires:

- Sud des Appalaches et
- Fosse du Labrador)

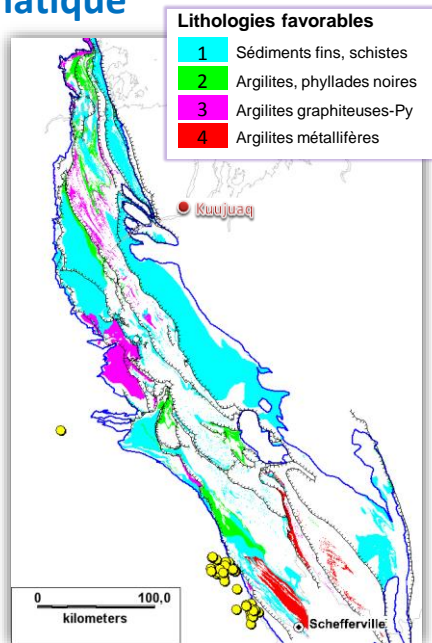
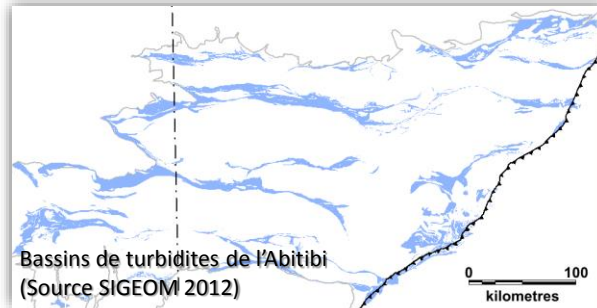


Figure tirée du rapport 2012-07 (http://www.consorem.ca/production_s cien/2012_07/Rapport%202012-07_Shale_Final.pdf)

Problématique

Qu'en est-il de l'Abitibi?

- Argilites graphiteuses anormales en métaux?
- Réservoir significatif d'argilites graphiteuses?
- Bagage métallique suffisant pour produire un gisement?



Objectif du projet

Le projet 2014-02 a pour objectif de documenter le contenu en métaux des principaux bassins de turbidites de l'Abitibi et de tester le modèle de Large et al. (2008). Ces bassins couvrent une superficie de 12 800 km², soit près de 14% cette sous-province archéenne. Quel est le potentiel de ces bassins à contenir de l'or primaire? Est-ce que les argilites graphiteuses représentent un réservoir anormal en métaux et suffisamment riche en or pour produire un gisement économique? Il s'agit d'un projet qui vise à développer des outils géologiques, minéralogiques et géochimiques pour les entreprises d'exploration afin de reconnaître des argilites anormalement riches en métaux et en or dans des bassins sédimentaires.

/7

Partie 1 - Caractéristiques géologiques des principaux bassins de turbidites de l'Abitibi et sources potentielles en métaux

Objectif de cette section:

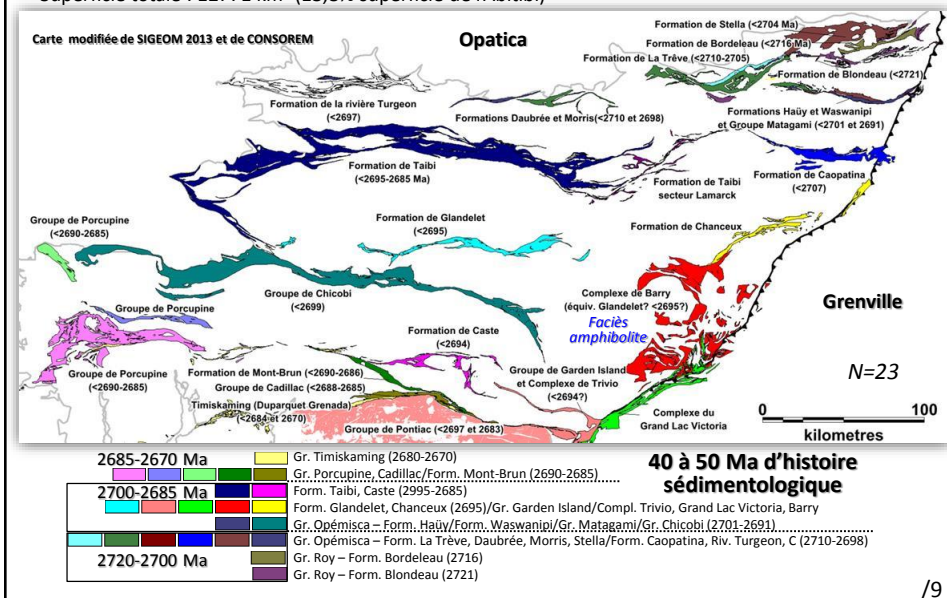
Similitudes géologiques entre les différents bassins en termes d'âge, et de quantité relative de formations de fer et d'horizons d'argilites graphiteuses sulfurées

/8

Bassins sédimentaires de l'Abitibi

23 principaux bassins successeurs de l'Abitibi (>100 km²) et âges max. de dépôt (Ma)

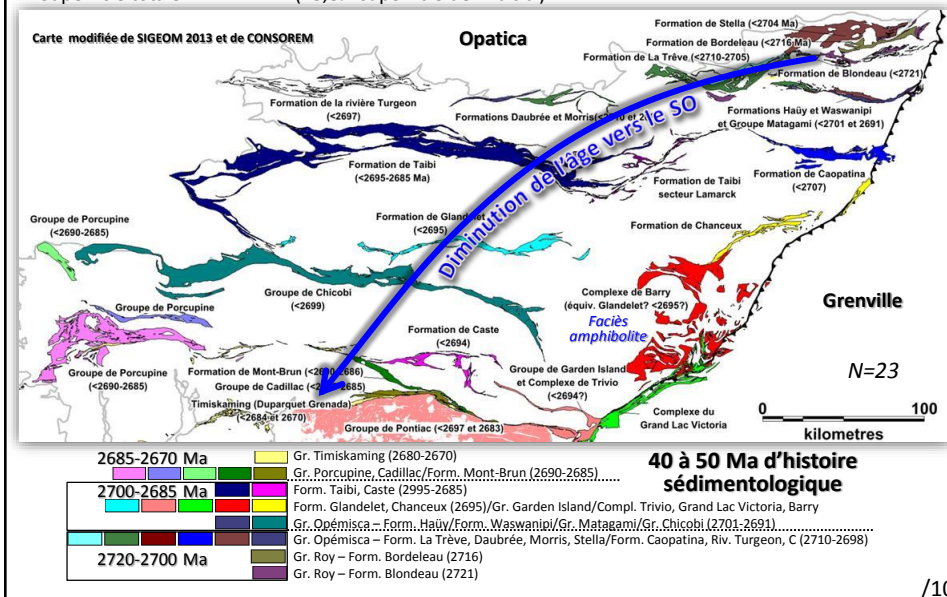
Superficie totale : 12771 km² (13,8% superficie de l'Abitibi)



Bassins sédimentaires de l'Abitibi

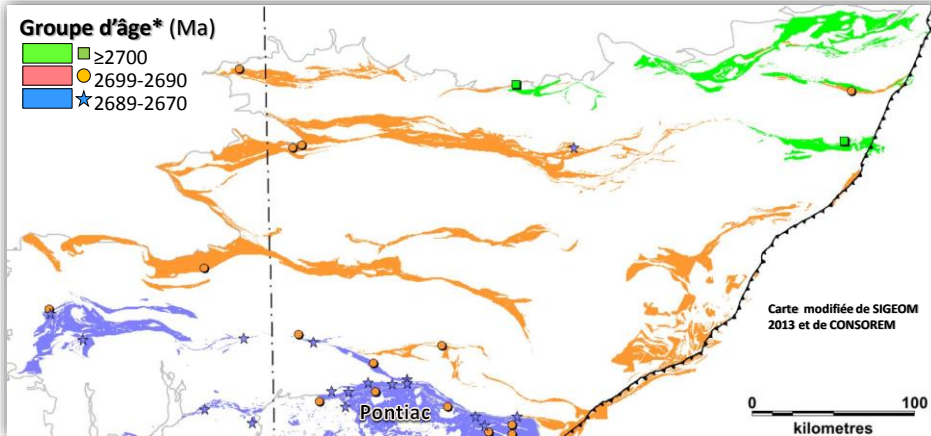
23 principaux bassins successeurs de l'Abitibi (>100 km²) et âges max. de dépôt (Ma)

Superficie totale : 12771 km² (13,8% superficie de l'Abitibi)



Bassins sédimentaires de l'Abitibi

Principaux bassins sédimentaires de l'Abitibi (>100 km²) par groupe d'âge



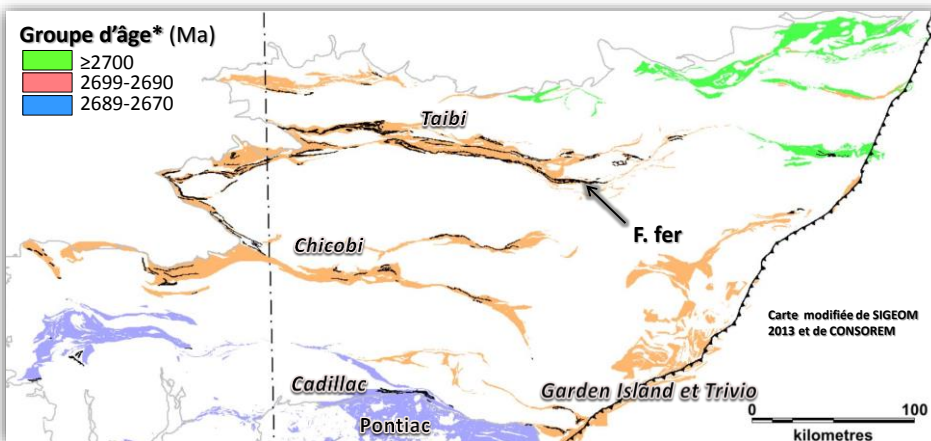
* Âges maximums de dépôt et localisation des échantillons géochronologiques pour les roches sédimentaires (banque de la CGC 2014)

/11

Bassins sédimentaires de l'Abitibi

Principaux bassins sédimentaires et formations de fer

Principalement associées à l'épisode 2699-2690 Ma

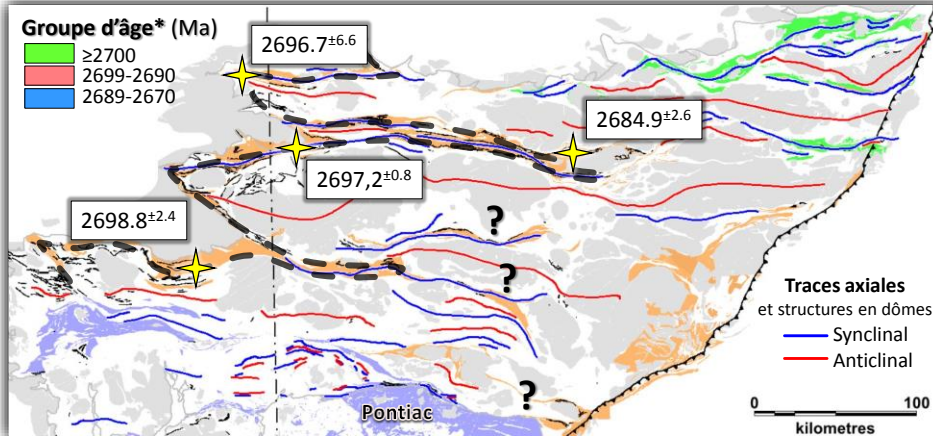


Note: les contours des formation de fer sont accentués pour plus de visibilité

/12

Bassins sédimentaires de l'Abitibi

Principaux bassins sédimentaires et toutes les formations de fer
 en relation avec les plis régionaux et intrusions

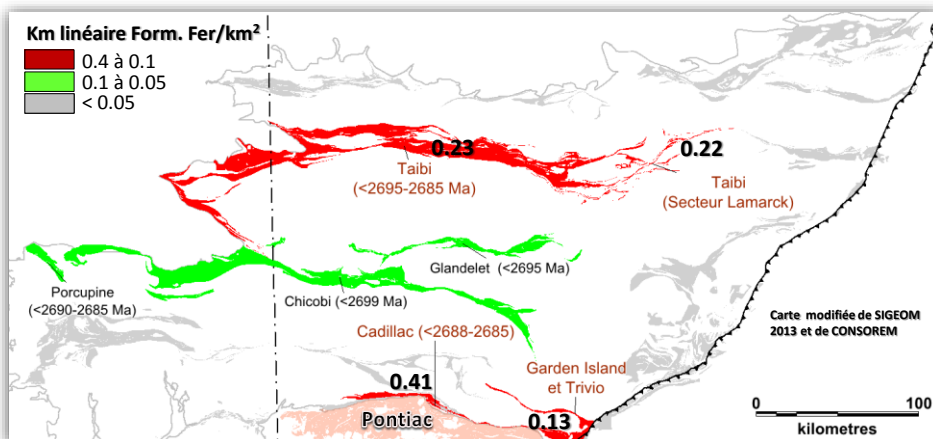


Age maximal de la sédimentation de David et al. 2009, Ayer et al. 2002 et Davis et al. 2005

/13

Bassins sédimentaires de l'Abitibi

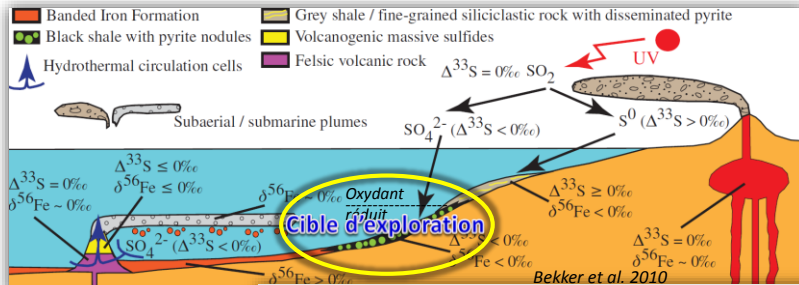
Principaux bassins sédimentaires et formations de fer
 Indice de présence de formations de fer



/14

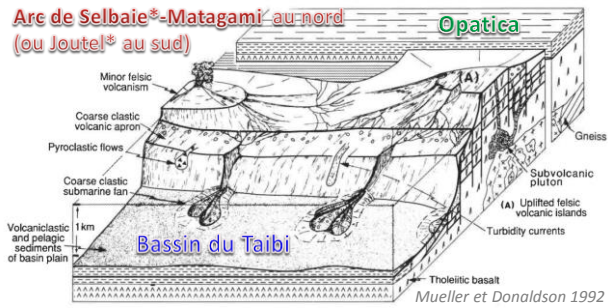
Bassins sédimentaires de l'Abitibi

Lien entre formations de fer et argilites graphiteuses nodulaires



Comment localiser ces horizons et évaluer la quantité relative d'argilites graphiteuses métallifères dans les bassins de turbidites?

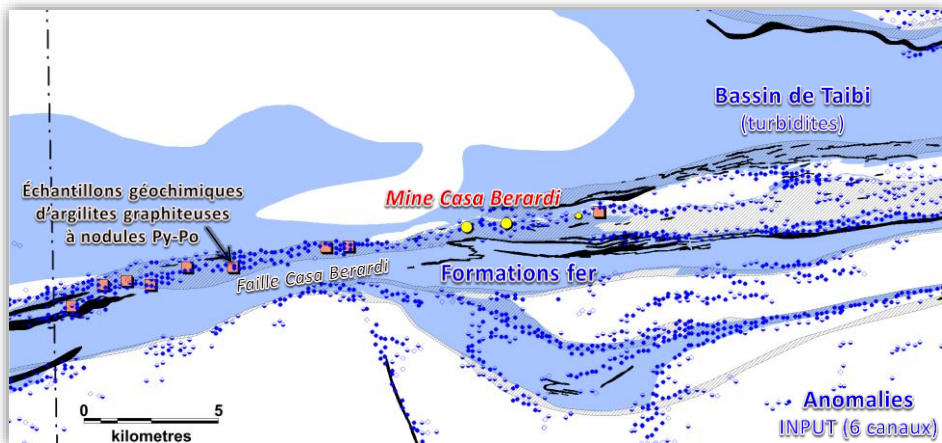
*Volcanisme aérien ou sub-émergent documenté par Larson & Hutchinson (1993) et Legault et al. (2002)



Bassins sédimentaires de l'Abitibi

Bassin sédimentaire de Taibi (secteur Dieppe), formations de fer et anomalies INPUT (6 canaux)

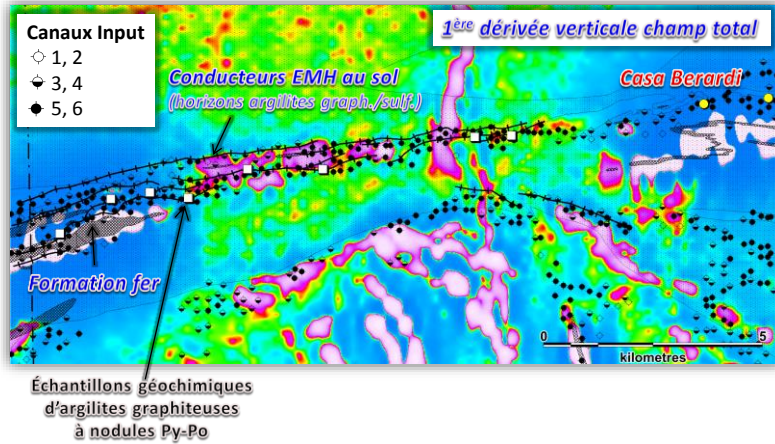
-Anomalies EM répondent aux horizons de sulfures (Po) et/ou graphite, mais pas aux formations de fer à oxydes.



Pour tous les bassins de l'Abitibi (résultats similaires pour le Taibi uniquement)

/16

Bassins sédimentaires de l'Abitibi

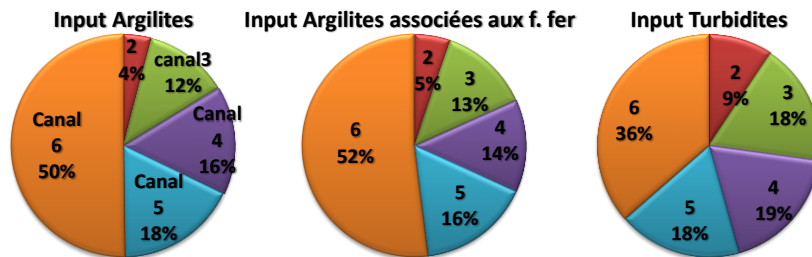


/17

Bassins sédimentaires de l'Abitibi

Bassin sédimentaire de Taibi (secteur Dieppe), formations de fer et anomalies INPUT (6 canaux)

-Anomalies EM répondent aux horizons de sulfures (Po) et/ou graphite, mais pas aux formations de fer à oxydes.

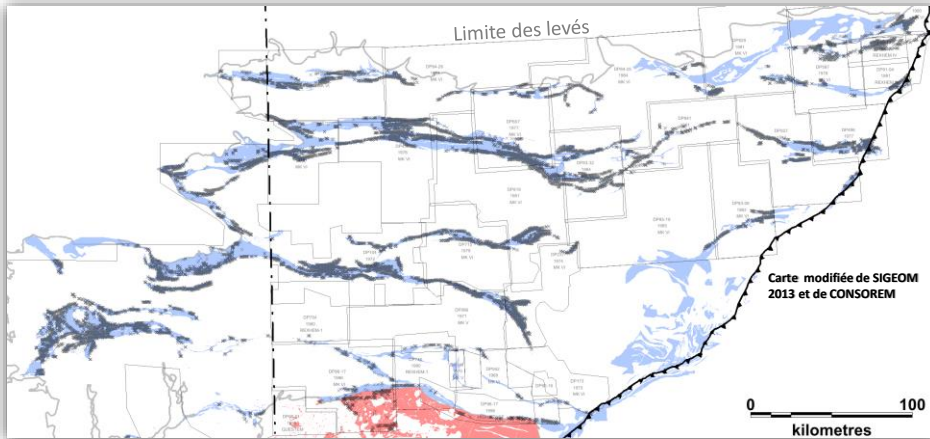


/18

Bassins sédimentaires de l'Abitibi

Bassin sédimentaire de l'Abitibi et anomalies INPUT (canaux 4, 5 et 6)

Les levés INPUT sont les seuls types de données électromagnétiques qui couvrent tout l'Abitibi, alors que les levés MEGATEM couvrent principalement les bassins volcaniques. Anomalies associées aux formations de fer sont exclues.



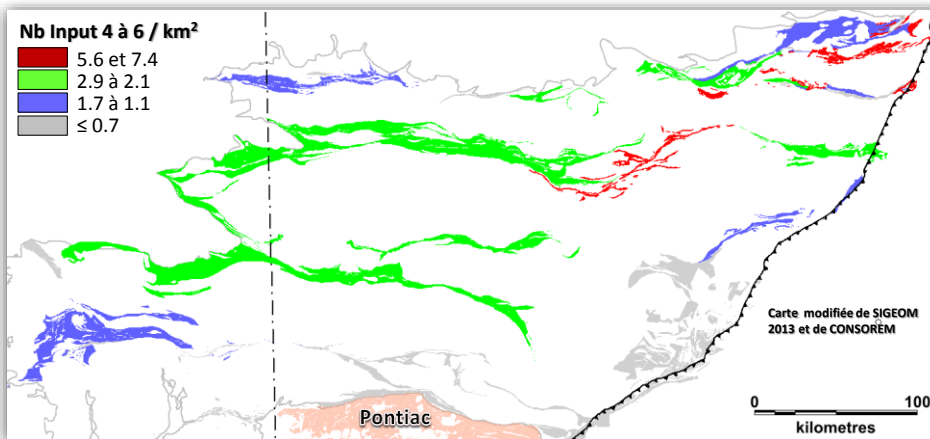
Les anomalies Input (canaux 4, 5 et 6) sont la seule manière d'évaluer la quantité relative d'argilites graphiteuses et sulfurées dans les différents bassins sédimentaires

/19

Bassins sédimentaires de l'Abitibi

Bassin sédimentaire de Taibi et anomalies INPUT (canaux 4, 5 et 6)

Indice de présence d'horizons graphiteux

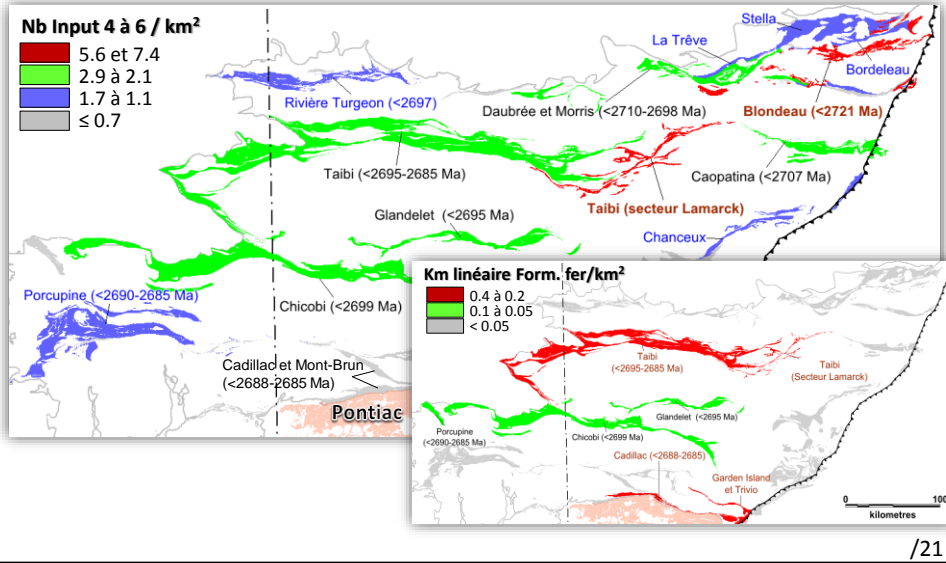


/20

Bassins sédimentaires de l'Abitibi

Bassin sédimentaire de Taibi et anomalies INPUT (canaux 4, 5 et 6)

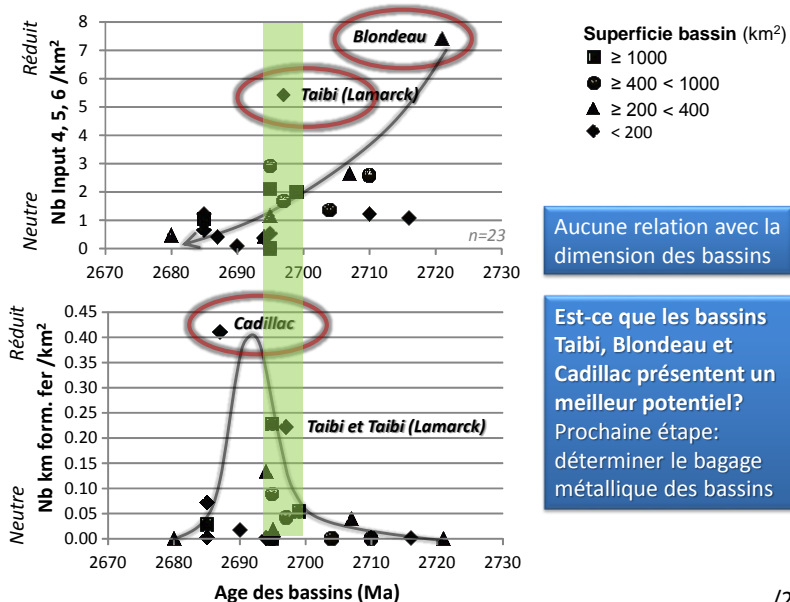
Diminution de la teneur en carbone graphitique et sulfures (état Redox) avec l'âge et du nord vers le sud



/21

Bassins sédimentaires de l'Abitibi

Résumé géologique sur les bassins

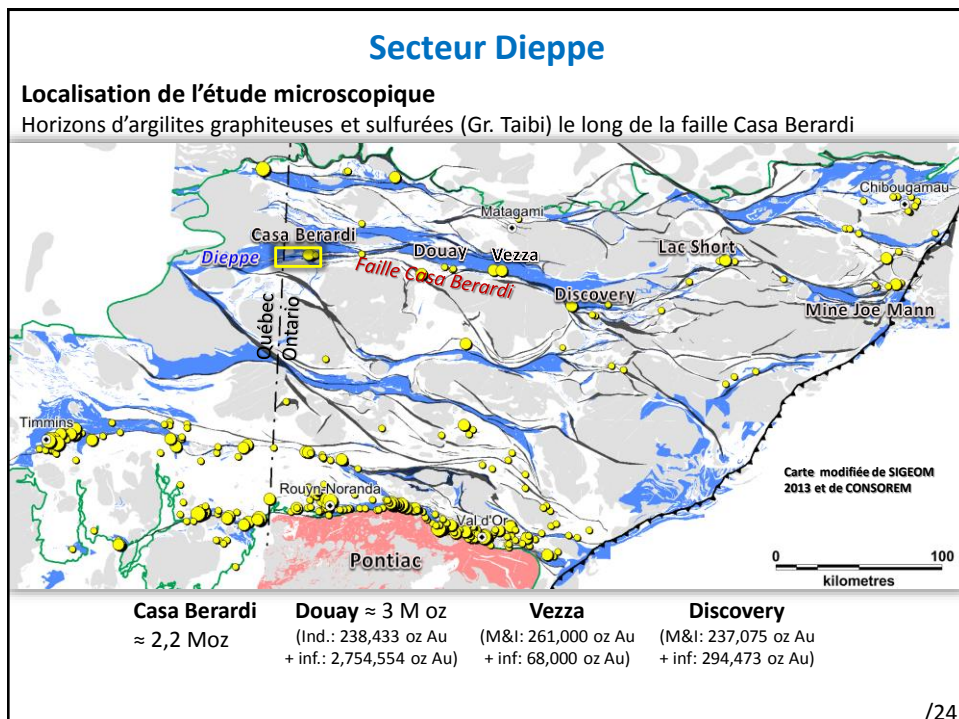


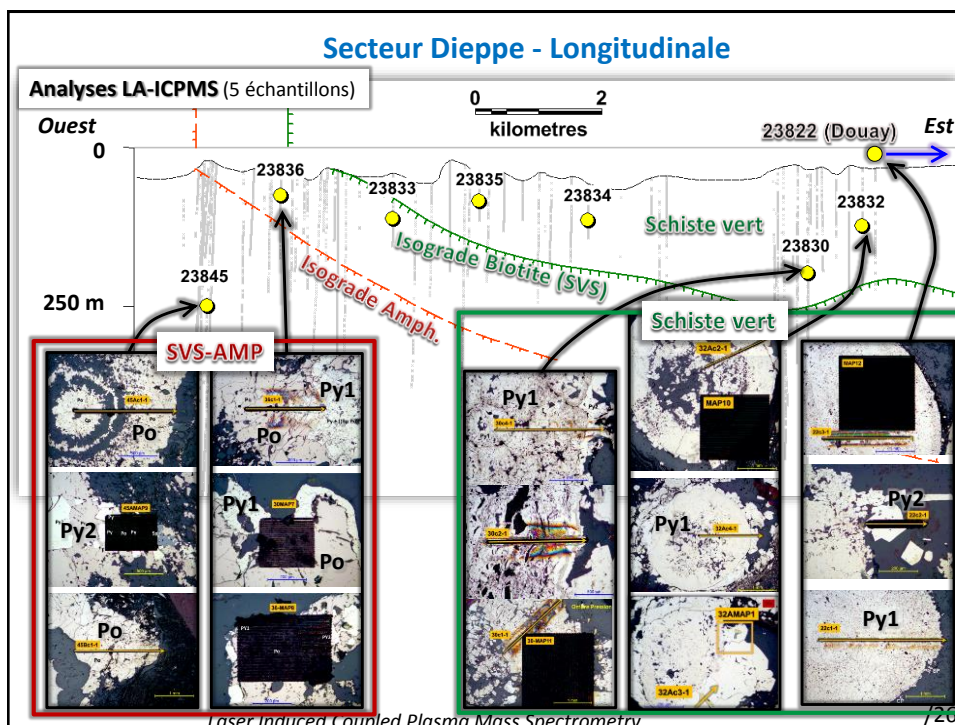
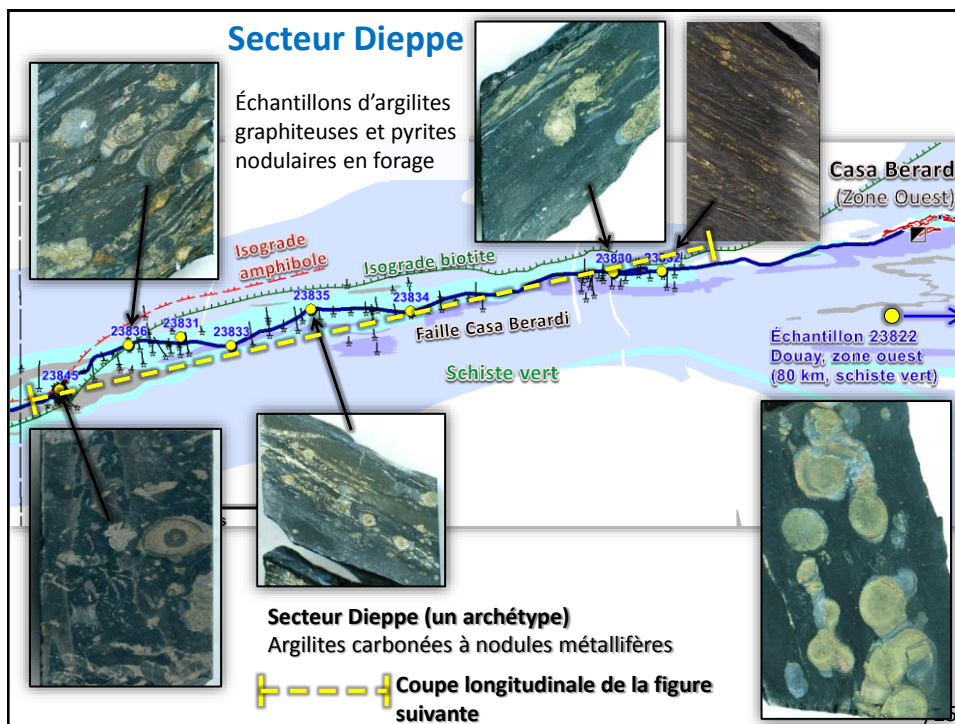
/22

Partie 2 - Argilites graphiteuses métallifères du secteur Dieppe

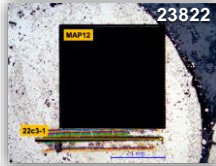
- Minéralogie et chimie minérale (LA-ICPMS)
- Corrélations entre les métaux et relation avec le métamorphisme

/23





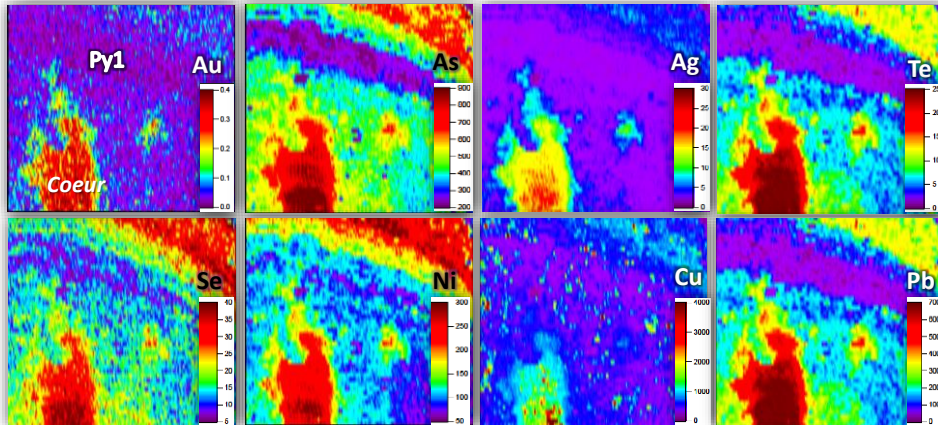
Secteur Dieppe



Nodule diagénetique Py1 zonée (faciès schiste vert)

Exemple du secteur de 10 km à l'ouest du gisement Douay

L'or au cœur d'une pyrite nodulaire (Py1) avec une suite d'éléments chalcophiles (Au, As, Ag, Te, Ni, Se, Pb ...)



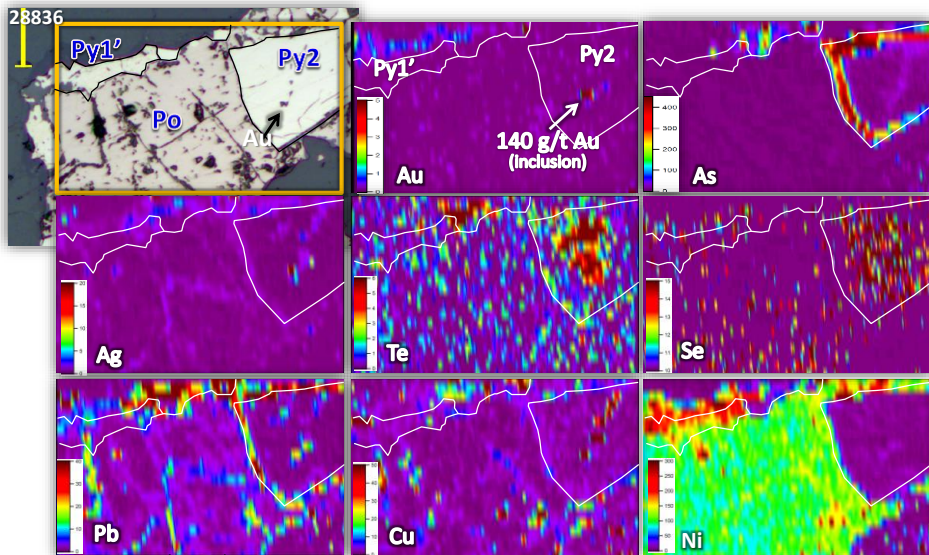
LA-ICPMS (UQAC), valeurs en ppm

1777

Secteur Dieppe

Nodule Po-(Py1) à la transition schiste vert supérieur - amphibolite

Transformation progressive de la Py1 en Po et formation Py2 cubique métamorphique



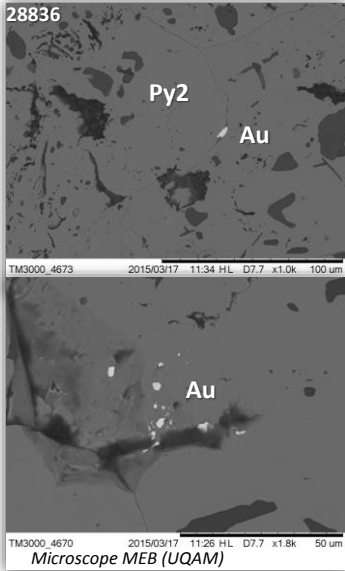
Microscope MEB (UQAM)

LA-ICPMS (UQAC), valeurs en ppm /28

Secteur Dieppe

Nodule Po-(Py1) à la transition schiste vert supérieur - amphibolite

Transformation progressive de la Py1 en Po et formation Py2 cubique métamorphique



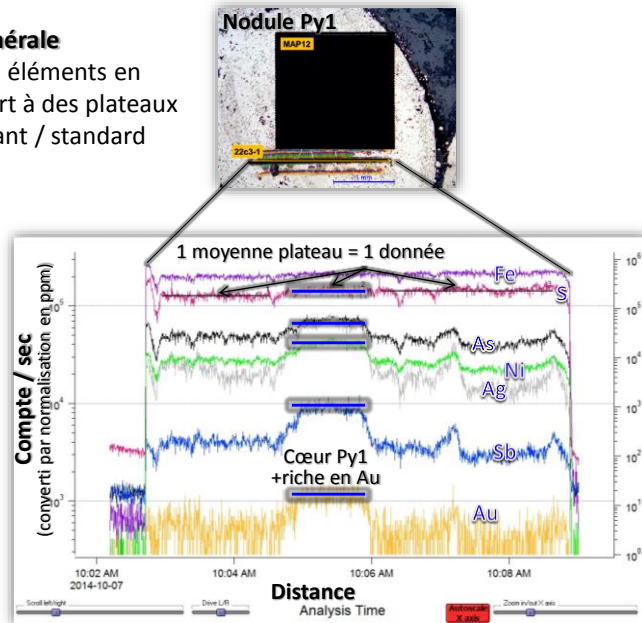
- Py1: pas d'association avec métaux (sauf Ni)
- Au migre de la Py1 et se concentre dans les fractures des Py2 cubiques, le Qz ou Cp
- Py2: As remobilisée, cœur Te-Se
- Métaux base remobilisés (Sp, Cp)

/29

Secteur Dieppe

Géochimie minérale

Conversion des éléments en ppm par rapport à des plateaux et en normalisant / standard



/390

Secteur Dieppe

Géochimie minérale, corrélations de Spearman > 0,5

Nodules Py1 Schiste vert (n=83 plateaux)		Py2 cubiques Schiste vert (n=44 plateaux)		Nodules Py1 SVS-AMP (n=9 plateaux)		Nodules Po SVS-AMP (n=27 plateaux)		Py2 cubiques SVS-AMP (n=24 plateaux)	
Variable	Au	Variable	Au	Variable	Au	Variable	Au	Variable	Au
V	0.05	V	0.45	V	0.72	V	-0.32	V	0.31
Cr	-0.43	Cr	0.19	Cr	0.13	Cr	-0.43	Cr	0.27
Co	0.38	Co	0.54	Co	0.12	Co	-0.04	Co	0.33
Ni	0.70	Ni	0.29	Ni	0.28	Ni	-0.36	Ni	0.07
Cu	-0.69	Cu	0.20	Cu	-0.13	Cu	0.07	Cu	0.24
Zn	0.35							Zn	0.29
Se	-0.33							Se	0.30
Cd	-0.59	Cd	-0.04	Cd	-0.75	Cd	-0.35	Cd	0.25
Sn	-0.61	Sn	0.12	Sn	-0.32	Sn	-0.40	Sn	0.32
Sb	0.91	Sb	0.73	Sb	0.30	Sb	0.23	Sb	0.42
Te	0.51	Te	0.56	Te	0.20	Te	0.09	Te	0.37
W	-0.29	W	0.28	W	0.30	W	-0.37	W	0.13
Tl	-0.01	Tl	0.37	Tl	-0.22	Tl	0.54	Tl	0.28
Pb	0.45	Pb	0.41	Pb	0.55	Pb	-0.16	Pb	0.33
Bi	0.53	Bi	0.14	Bi	0.57	Bi	-0.23	Bi	0.24
S	0.32	S	-0.24	S	0.28	S	0.57	S	0.46
As	0.66	As	0.56	As	-0.23	As	-0.31	As	0.41
Ag	0.68	Ag	0.48	Ag	0.82	Ag	-0.01	Ag	0.54

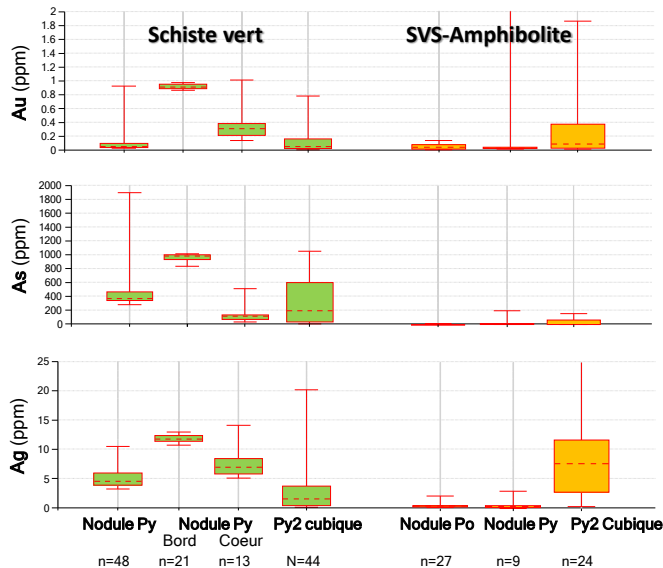
Perte de corrélations, réorganisation minéralogique

Association Au Sb, Ni, Ag, As, Bi, Te	Association Au Sb, Co, As, Te, (Ag)	Association Au Ag, V, Bi, Pb	Association Au Tl	Association Au Ag (inclusions)
---	---	--	-----------------------------	--

1/31

Secteur Dieppe

Géochimie minérale, teneurs en Au, As et Ag dans les nodules et Py cubiques



/32

Secteur Dieppe

Ce qu'il faut retenir de l'archétype de Dieppe

- Argilites noires graphiteuses et sulfurées contiennent une suite d'éléments polymétalliques incluant l'or encapsulé dans les nodules primaires diagénétiques (Py1)
- Avec l'augmentation du métamorphisme, la Py1 se transforme en Po (stérile) et en Py2 métamorphique. Par raffinage, les métaux forment de nouveaux minéraux (sphalérite, chalcopryrite) et l'or se trouve libre en inclusions dans les fractures de la Py2 ou le quartz, ou associé à la chalcopryrite
- Démonstration claire du modèle de Large pour l'Archéen et l'Abitibi
- Modèle d'exploration?

/33

Partie 3 - Évaluation géochimique en métaux des différents bassins sédimentaires

/34

Métaux dans les bassins

Dans cette section

Comparaison des teneurs en métaux entre les bassins

- Présentation de la base de données géochimiques d'argilites (roche totale)
- Définition géochimique d'une argilite graphiteuse (qualitatif vers quantitatif)
- Différences et similitudes géochimiques entre les bassins

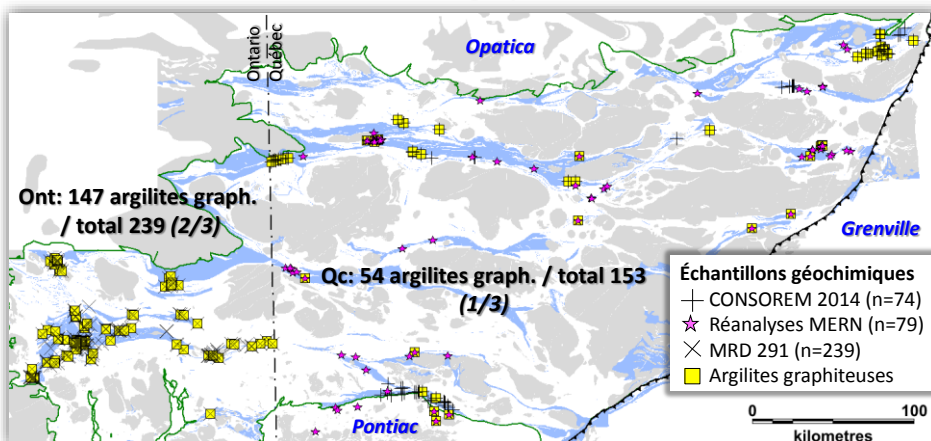
Variation à l'intérieur des bassins

- Indices métallifères
- Reconnaître les échantillons enrichis ou appauvris en Au

/35

Métaux dans les bassins

Échantillonnage 2014 et bases de données géochimiques d'argilites noires graphiteuses et de siltstones gris pour l'Abitibi

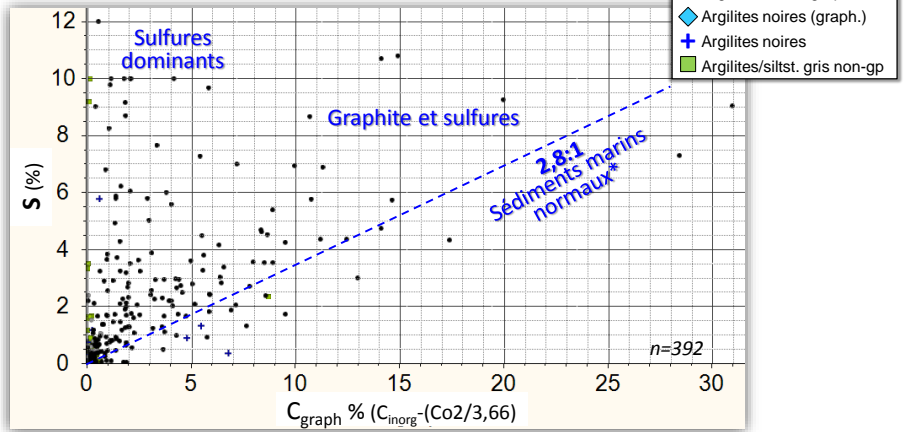


/36

Métaux dans les bassins

Définition géochimique d'une argilite graphiteuse et sulfurée

Échantillons MERN (réanalyses 2014), CONSOREM et MRD 291



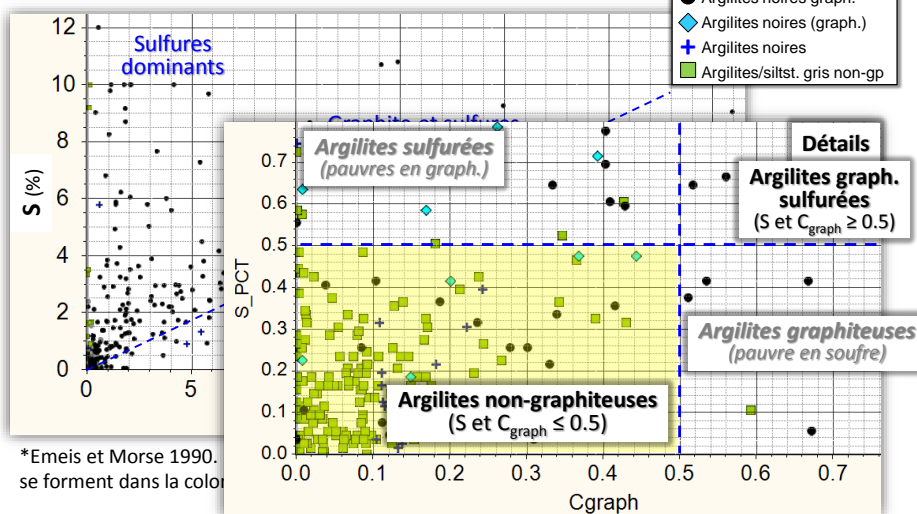
*Emeis et Morse 1990. Si C/S < 2,8 = environnement anoxique où les sulfures se forment dans la colonne d'eau

/37

Métaux dans les bassins

Définition géochimique d'une argilite graphiteuse et sulfurée

Échantillons MERN (réanalyses 2014), CONSOREM et MRD 291



*Emeis et Morse 1990. se forment dans la col

/38

Métaux dans les bassins

Corrélations de Spearman Au versus métaux

Argilites/siltstones gris (S et C_{graph} < 0.5%)

Argilites graph./sulf. (S et C_{graph} ≥ 0.5%)

Pas de
 corrélation
 entre métaux

Variable	Au	S	C _{graph}
Sc	-0.05	-0.12	0.02
V	0.04	-0.11	0.02
Cr	-0.05	-0.13	-0.18
Co	0.06	-0.01	-0.01
Ni	0.00	-0.08	-0.10
Cu	0.09	0.20	0.16
Zn	0.02	0.12	0.02
Mo	-0.04	-0.02	-0.11
Cd	0.30	0.12	-0.02
Sn	0.06	-0.07	0.06
Sb	0.05	0.03	0.30
Tl	-0.10	0.12	0.12
Pb	0.07	0.10	-0.06
Bi	-0.14	-0.05	0.09
As	0.15	-0.01	0.45
Ag	0.02	-0.05	-0.07
Au		0.16	-0.06
S			0.18

Corrélations
 entre métaux,
 S et C_{graph}

variable	Au	S	C _{graph}
Sc	0.09	-0.05	0.35
V	0.02	-0.13	0.02
Cr	0.01	-0.07	0.17
Co	0.39	0.47	0.53
Ni	0.28	0.25	0.63
Cu	0.32	0.31	0.45
Zn	0.19	0.22	0.45
Mo	0.29	0.27	0.67
Cd	0.25	0.31	0.34
Sn	0.26	0.26	0.50
Sb	0.66	0.49	0.35
Tl	-0.03	0.07	0.28
Pb	0.40	0.40	0.43
Bi	0.17	0.17	0.52
As	0.45	0.47	0.22
Ag	0.37	0.26	0.26
Au		0.41	0.16
S			0.32

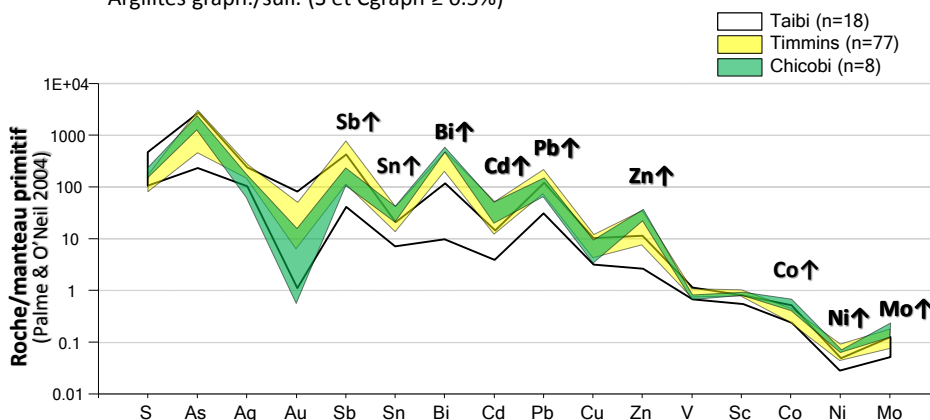
Analyses LA-ICPMS des nodules Py au SV - Association Au avec Ag, As, Co, Ni, Sb, Te, (Bi, Pb)

Roche totale d'argilites graph./sulf. - Association Au avec Ag, As, Co, Sb, Pb

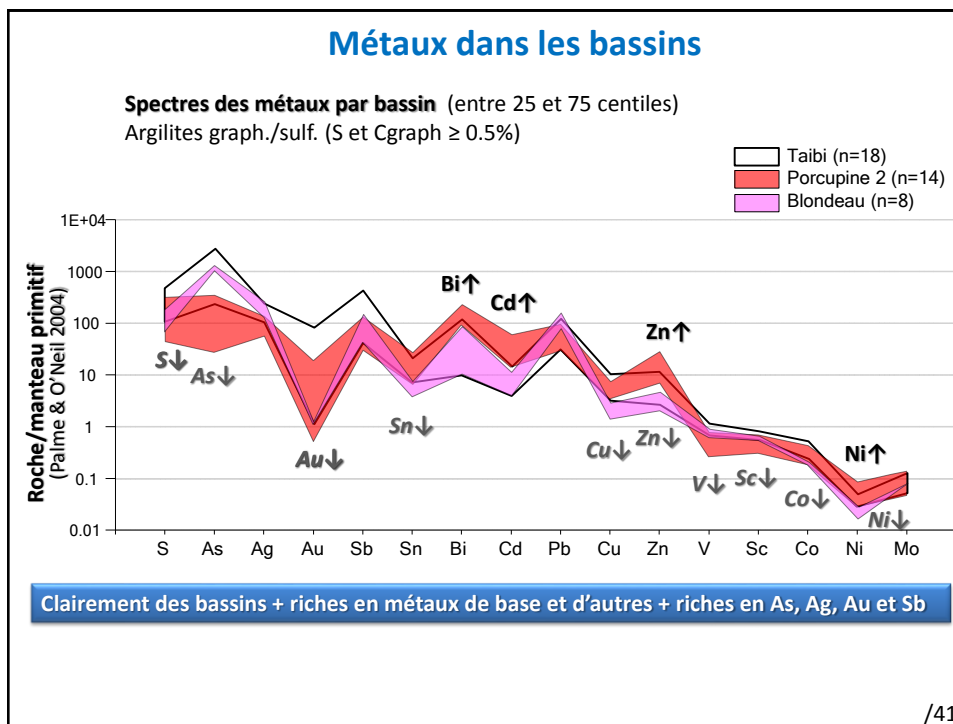
/39

Spectres des métaux par bassin (entre 25 et 75 centiles)

Argilites graph./sulf. (S et C_{graph} ≥ 0.5%)



/40



Différents bassins sédimentaires

Résumé géochimique pour les argilites graph./sulf. (S et Cgraph ≥ 0.5%)
par bassins avec autres paramètres

Bassins	Faïlle bordière	Nb	Age (Ma)	Km ²	Éléments enrichis*	Éléments appauvris*	Nb Input 4âg/km ²	Km form. fer/km ²
Taibi	Casa Berardi	18	2685-2695	2743	Au, S	Zn, Mo, Pb, C	2.09	0.23
Porcupine 3	Oui	4	2685	177	Au+, As+, Mo, Sb, Sn, Bi, Pb, C	Zn	1.20	0.00
Timmins	Porcupine	77	2685	1106	Cu, Ni, Sn	Mo, As, S	1.04	0.03
Chicobi	Chicobi	8	2699	2000	Zn, Mo, Ni, Cu, Sn, Bi, Co, C, S		1.99	0.05
Timiskaming	Cadillac, Porcupine	11	2680	372	As	Zn, Mo, Cu, Co	0.45	0.00
Porcupine 2	NON	14	2685	139		As, Mo, Sb, Pb, Co, C	0.65	0.07
Blondeau	NON	8	2721	240		Au, Zn, Mo, Ni, Cu, Sb, Sn, Co, C, S	7.40	0.00

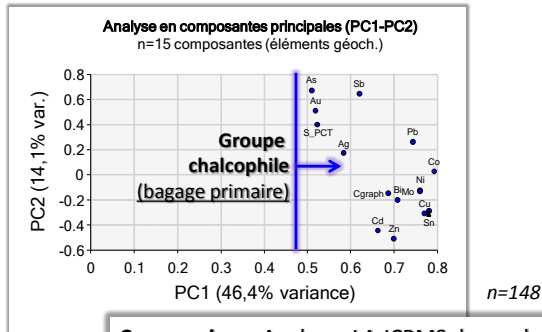
* en comparant les médianes des bassins entre elles (boîtes à moustaches)

A la question, est-ce que les bassins avec beaucoup d'argilites sont + riches en métaux?
Pas nécessairement. Blondeau riche en horizons graphiteux (+volume?), mais +pauvres en métaux

/42

Métaux dans les bassins

Indices métallifères pour les argilites graphiteuses et sulfurées (S et Cgraph $\geq 0.5\%$)



Comparaison: Analyses LA-ICPMS des nodules Py au SV Association Au avec Ag, As, Co, Ni, Sb, Te, (Bi, Pb)

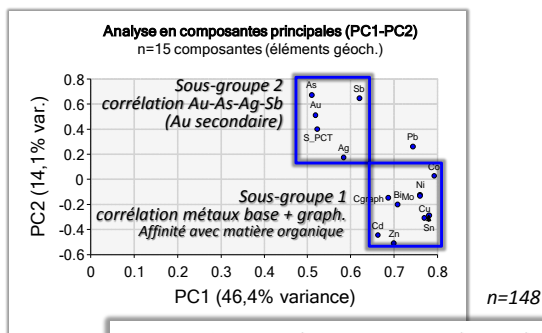
Prochaine étape:

- Définir deux indices métallifères : 1) métaux base, et 2) aurifère

/43

Métaux dans les bassins

Indices métallifères pour les argilites graphiteuses et sulfurées (S et Cgraph $\geq 0.5\%$)



Comparaison: Analyses LA-ICPMS des nodules Py au SV Association Au avec Ag, As, Co, Ni, Sb, Te, (Bi, Pb)

Prochaine étape:

- Définir deux indices métallifères : 1) métaux base, et 2) aurifère

/44

Métaux dans les bassins

Indices métallifères pour les argilites graphiteuses et sulfurées (S et Cgraph ≥ 0.5%)

Exemple du calcul pour l'**indice métaux base**:

Somme des éléments Ni+Cu+Zn+Mo+Co+Cd+Bi+Sn (i.e. sous-groupe 1)

Transformer en **valeurs centrées réduites**

$$= ((\text{valeurNi} - \text{MOYNi})/\text{ÉcTypeNi}) + ((\text{valeurCu} - \text{MOYCu})/\text{ÉcTypeCu}) + ((\text{Bi} - \text{MOY} \dots)$$

donne des valeurs entre -2 et 10 environs

Idem pour l'**indice aurifère**

Somme des valeurs centrées réduites
 de Au+As+Sb+Ag

Élément	Moy.	ÉcartType
Ni	127.7	108.6
Cu	178.9	167.7
Zn	1025.2	1065.1
Mo	5.15	4.46
Co	38.20	21.79
Cd	1.994	2.233
Bi	1.46	1.39
Sn	3.83	3.21

valeurs en ppm

n=148

/45

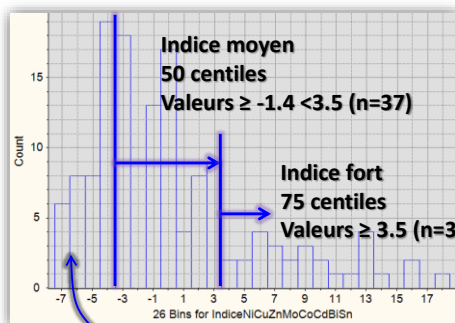
Métaux dans les bassins

Seuils pour les indices métallifères - Argilites graph./sulf. (S et Cgraph ≥ 0.5%)

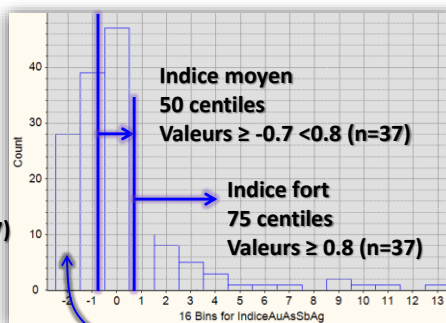
Distribution des valeurs centrées réduites

Indice métaux de base
 (Ni+Cu+Zn+Mo+Co+Cd+Bi+Sn)

Indice aurifère
 (Au+As+Sb+Ag)



Indice faible
Inf. 50 centiles
Valeurs <-1.4 (n=74)



Indice faible
Inf. 50 centiles
Valeurs <-0.7 (n=74)

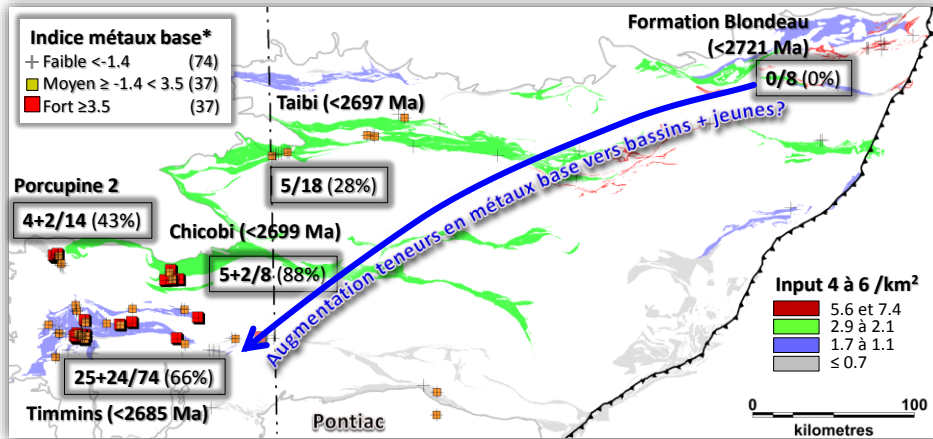
(n=148)

/46

Métaux dans les bassins

Échantillons + riches en métaux de base

Argilites graphiteuses et sulfurées (S et Cgraph ≥ 0.5%, n=148)

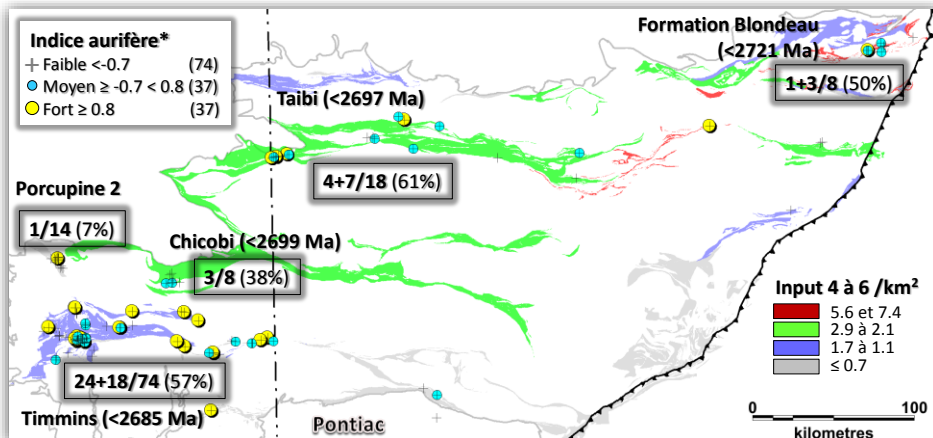


/47

Métaux dans les bassins

Échantillons + riches en Au-As

Argilites graphiteuses et sulfurées (S et Cgraph ≥ 0.5%, n=148)

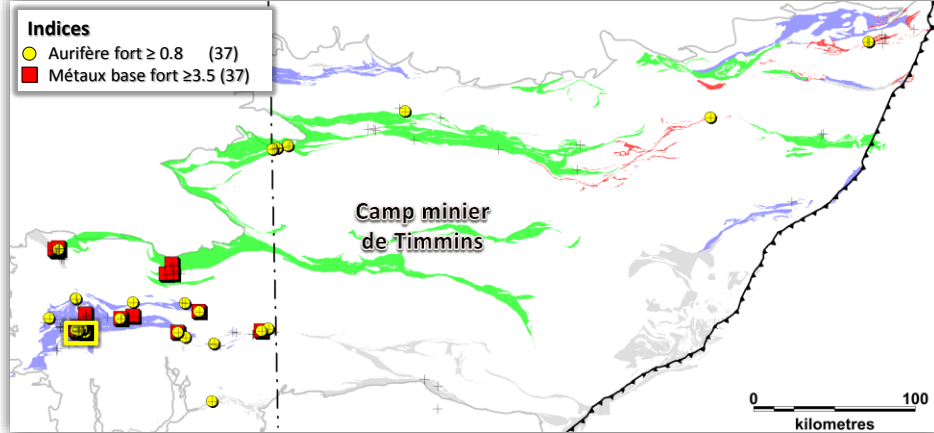


/48

Métaux dans les bassins

Échantillons + riches en métaux de base et en Au-As

Argilites graphiteuses et sulfurées (S et Cgraph ≥ 0.5%, n=148)

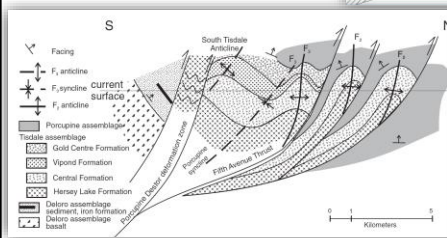
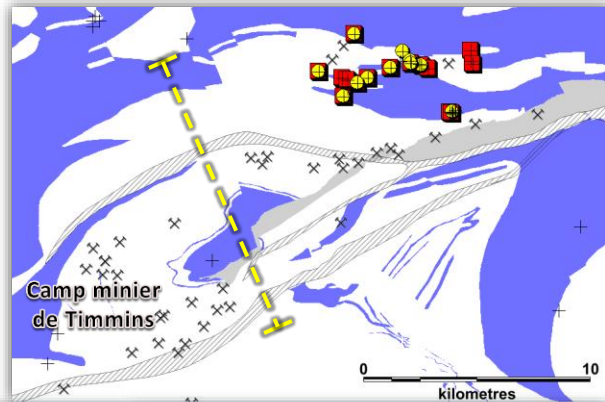


/49

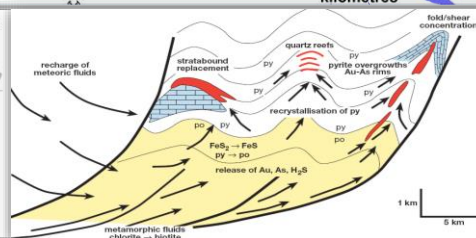
Métaux dans les bassins

Échantillons + riches en métaux de base et en Au-As
 Argilites graphiteuses et sulfurées (S et Cgraph ≥ 0.5%, n=148)

Indices
 ● Aurifère fort ≥ 0.8 (37)
 ■ Métaux base fort ≥ 3.5 (37)



Bateman et al. 2008



Large et al. 2011

/50

Métaux dans les bassins

Échantillons enrichis ou appauvris en Au

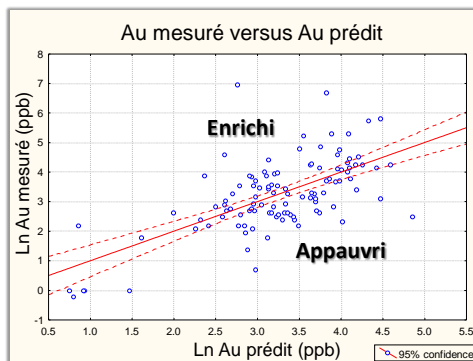
Au mesuré versus Au prédit par la population d'argilites graph./sulf.

1-Transformation des valeurs explicatives en Log (Ag, As, Bi, Co, Cu, Mo, Ni, Sb, Sn, Zn)
 (seuls les échantillons dont la valeur est supérieure à la limite de détection sont sélectionnés, n=109)

2-Régression multiple et résiduelle

Formule provenant de la régression multiple

$$\ln(\text{Au prédit}) = 1.462 + (\ln \text{Ag} * -0.315) + (\ln \text{As} * -0.0219) + (\ln \text{Bi} * 0.156) + (\ln \text{Co} * 0.143) + (\ln \text{Cu} * 0.356) + (\ln \text{Mo} * -0.106) + (\ln \text{Ni} * -0.243) + (\ln \text{Sb} * 0.593) + (\ln \text{Sn} * 0.098) + (\ln \text{Zn} * -0.023)$$



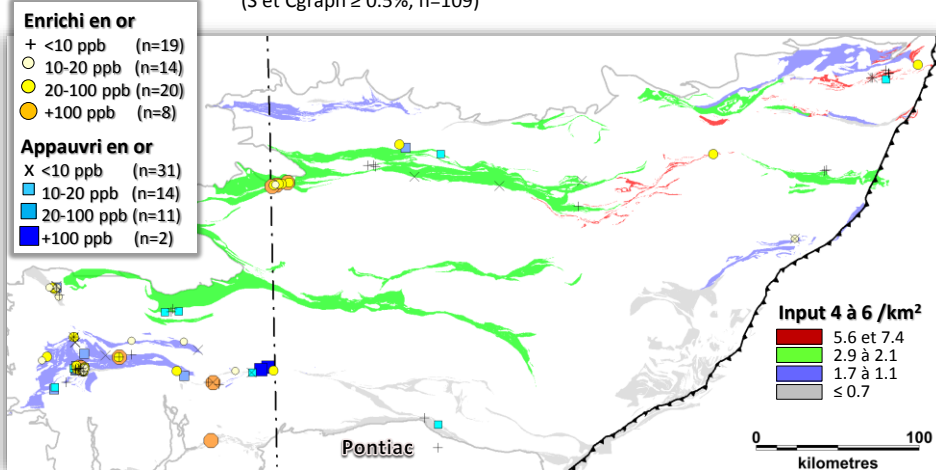
n=109

/51

Métaux dans les bassins

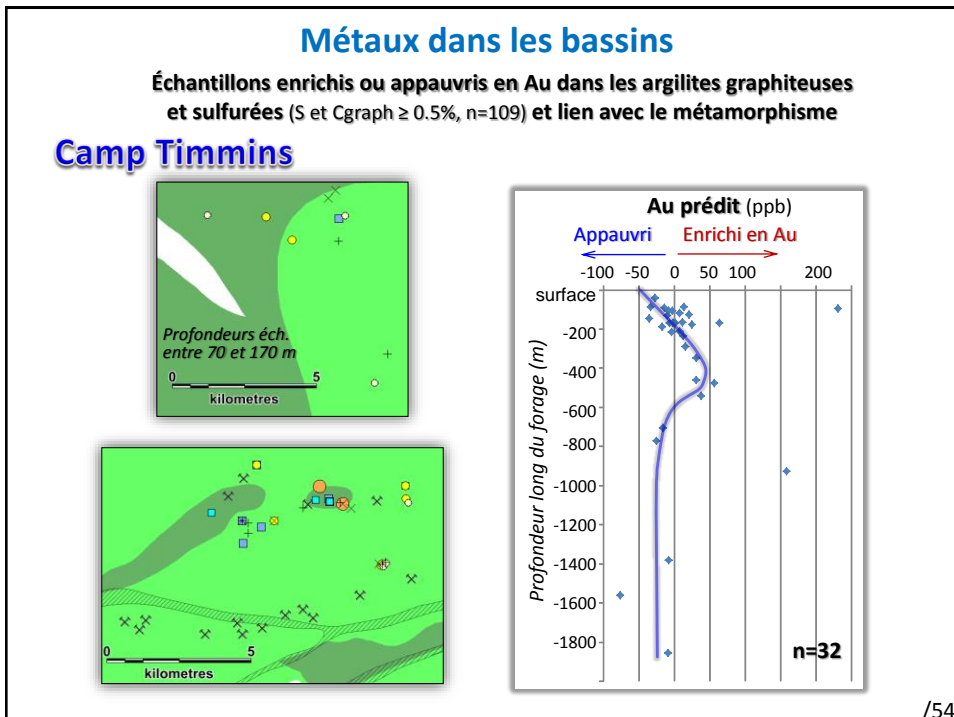
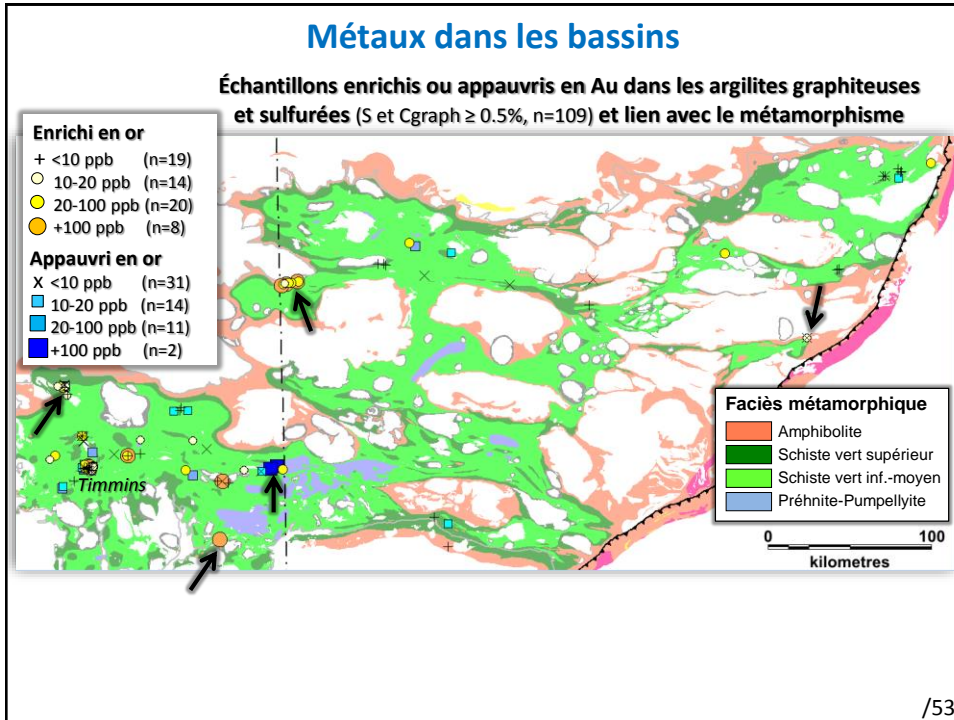
Échantillons enrichis ou appauvris en Au dans les argilites graphiteuses et sulfurées

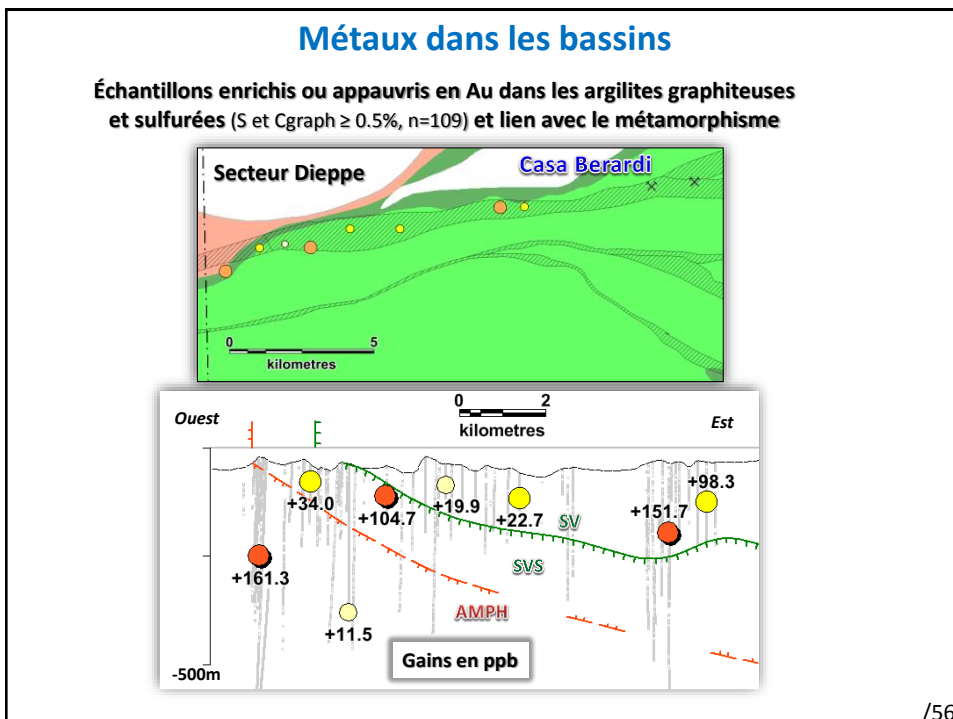
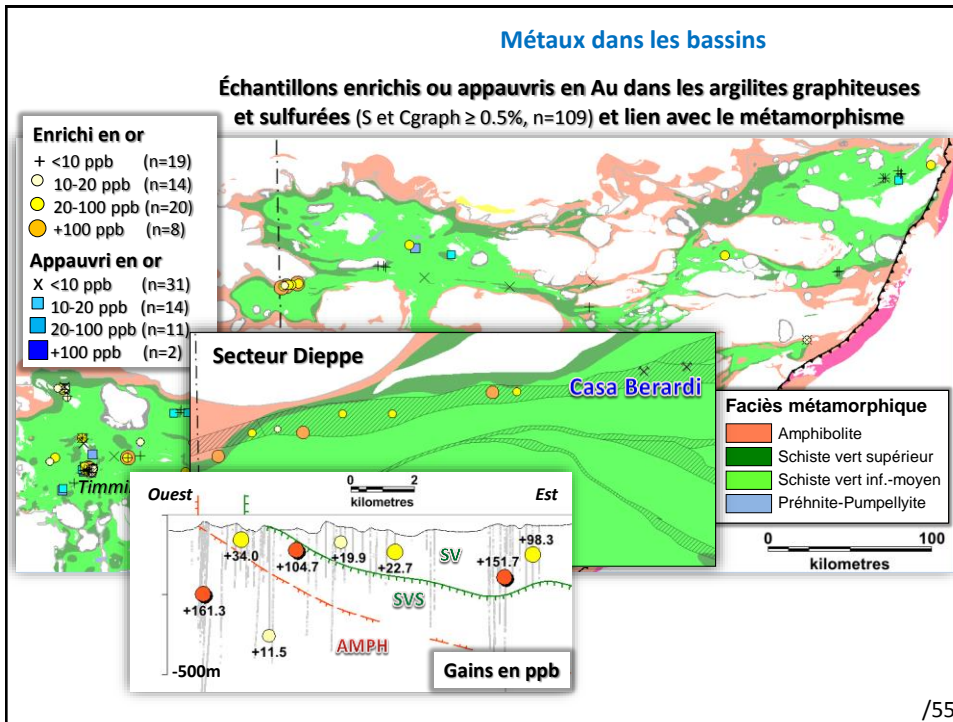
(S et C_{graph} ≥ 0.5%, n=109)



Relation avec le métamorphisme (Modèle de Large)?

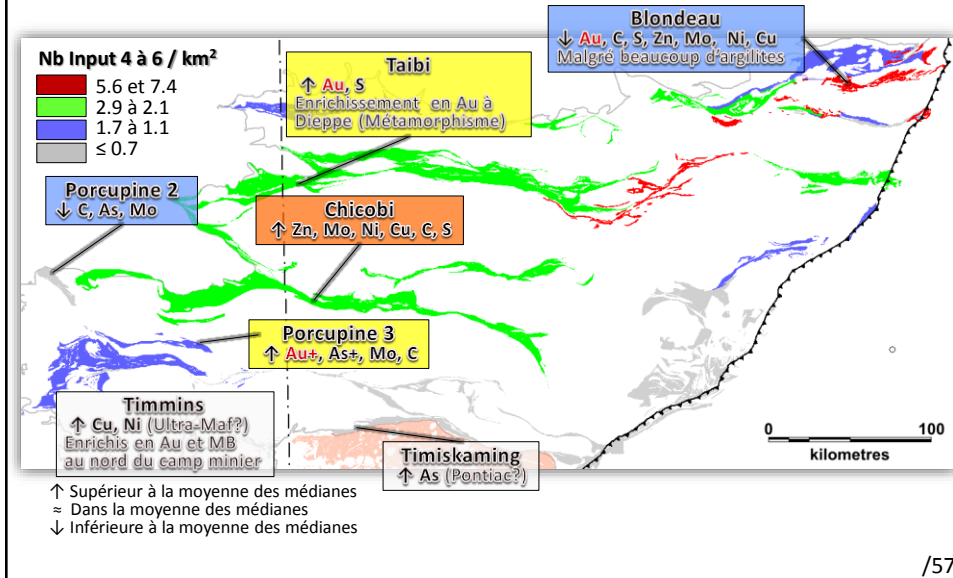
/52





Différents bassins sédimentaires

Résumé des résultats géochimiques pour les argilites graph./sulf. (S et Cgraph ≥ 0.5%)
par rapport aux bassins et la quantité d'horizons graphiteux interprétés avec les anomalies INPUT



/57

Conclusions

- Démonstration du modèle de Large à l'Archéen: transition SVS-AMP libère l'or à partir des pyrites nodulaires (Py1) riches en métaux des argilites graphiteuses. Pyrite se transforme graduellement en Pyrrhotine et l'or se retrouve en inclusions dans les fractures de pyrites métamorphiques (Py2), dans le quartz ou avec la chalcoppyrite.
- Les anomalies INPUT dans les bassins de turbidites reflètent la quantité relative d'horizons d'argilites graphiteuses (guide d'exploration de premier ordre)
- Les bassins de turbidites de Taibi, Chicobi et de Porcupine (nord Ont.) présentent des caractéristiques communes, notamment présence de formation de fer et/ou d'argilites graphiteuses (même bassin?)
- Géochimie: Proposition d'indices et d'une méthodes de rehaussement des anomalies aurifères pour les argilites graphiteuses et sulfurées (S et C ≥ 0.5%). Importantes variations des teneurs en métaux entres et dans les bassins. Deux types d'enrichissements (métaux de base et aurifère). Enrichissement en or décelé à la limite schiste vert et amphibolite.
- *Recommandations: meilleur contrôle sur la position verticale des échantillons et un plus grand nombre d'échantillons pour une meilleure validation*

/58

Les horizons argileux métallifères en Abitibi sont-ils assez nombreux et surtout volumineux pour constituer une source pour les gisements connus?

Où il y a suffisamment d'or dans les argilites noires graphiteuses pour former un gisement économique. Généralisable sur toute l'Abitibi? Non

Anomalies Input, secteur Dieppe
 NO Abitibi

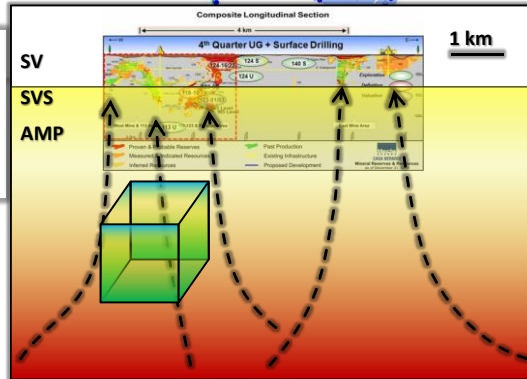
Casa Berardi 60 t Au



2 horizons de 5m épaisseur à 40 ppb Au*
 x 10 km longueur x 5,6 km profondeur
 = 60 t Au

*Moyenne = 37 ppb pour 763 échantillons analysés.
 (pour une densité de 2,7 g/cm³)

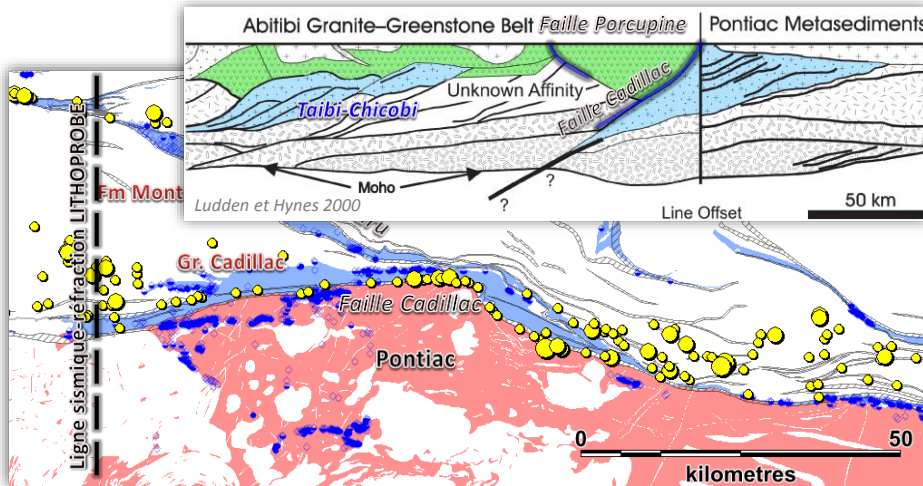
Pour 60 t Au
 0,56 km³ d'argilites à 40 ppb
 ou
 3,3 km³ de basaltes à 7 ppb
 (si complètement lessivés, 0 ppb)



/59

Conclusions

- Modèle de Large pourrait expliquer les mines d'or le long de la Faille Casa Berardi.
- Ne semble pas s'appliquer le long de la très prolifique Faille Cadillac p.c.q. pas assez d'horizons graphiteux pour l'or contenu dans les gisements (invoquer autres mécanismes, modèles)
- Hypothèse: source d'argilites enfouies dans le Pontiac?



/60

Références

- Ayer, J., Amelin, Y., Corfu, F., Kamo, S., Ketchum, J., Kwok, K., & Trowell, N., 2002 - Evolution of the southern abitibi greenstone belt based on U-pb geochronology; autochthonous volcanic construction followed by plutonism, regional deformation and sedimentation. *Precambrian Research*, 115(1-4), 63-95.
- Bateman, R., Ayer, J. A., Dube, B., Thurston, P. C., & Lafrance, B. (2008). The timmins-porcupine gold camp, ontario; anatomy of an archean greenstone belt and ontogeny of gold mineralization. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 103(6), 1285-1308.
- Bekker, A., Slack, J. F., Planavsky, N., Krapez, B., Hofmann, A., Konhauser, K. O., & Rouxel, O. J., 2010 - Iron formation; the sedimentary product of a complex interplay among mantle, tectonic, oceanic, and biospheric processes. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 105(3), 467-508.
- David, J., Davis, D. W., Bandyayera, D., Pilote, P., Dion, C., 2009 - Datations U-Pb effectuées dans les sous-provinces de l'Abitibi et de La Grande en 2006-2007. Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec RP-2009-02.
- Hannington, M.D., Coombs, A., van Hees, G., Duff, S. and Campos-Alvarez, N. 2012 - Regional lithogeochemical study of the Kidd–Munro MEGATEM® survey areas, Timmins–Kirkland Lake, northern Ontario: Discover Abitibi Initiative; Ontario Geological Survey, Miscellaneous Release—Data 291.
- Large, R. R., Bull, S. W., & Maslennikov, V. V., 2011 - A carbonaceous sedimentary source-rock model for carlin-type and orogenic gold deposits. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 106(3), 331-358.
- Large, R. R. 2008 - An alternative model for the genesis of gold-arsenic deposits hosted in black shale and turbidite successions. *Abstracts - Geological Society of Australia*, 89, 159.
- Larson, J.E., et Hutchinson, R.W. 1993. The Selbaie Zn-Cu-Ag Deposits, Quebec, Canada: an example of evolution from Subaqueous to Subaerial volcanism and mineralization in an Archean caldera environment. *Economic Geology*, 88:1460-1482.
- Legault, M., Gauhtier, M., Jébrak, M., Davis, D.W., et Baillargeon, F. 2002 - Evolution of the subaqueous to near-emergent Joutel volcanic complex, Northern Volcanic Zone, Abitibi Subprovince, Quebec, Canada. *Precambrian Research*, 115 : 187–221.
- Ludden, J. N., & Hynes, A. (2000). The lithoprobe abitibi-grenville transect; two billion years of crust formation and recycling in the precambrian shield of canada. *Canadian Journal of Earth Sciences = Revue Canadienne Des Sciences De La Terre*, 37(2-3), 459-476.
- Morse, J. W., & Emeis, K. C., 1990 - Controls on C/S ratios in hemipelagic upwelling sediments. *American Journal of Science*, 290(10), 1117-1135.
- Mueller, W., & Donaldson, J. A., 1992 - A felsic dyke swarm formed under the sea; the archean hunter mine group, south-central Abitibi belt, Quebec, Canada. *Bulletin of Volcanology*, 54(7), 602-610.
- Palme, H. and O'Neill, H. St. C., 2004 - Cosmochemical estimates of Mantle Composition. In: *Treatise on Geochemistry*. Holland, H.D. and Turekian, K.K. (Editors), Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. 2: 1-38.

/61

Remerciements

Agnico Eagle: Olivier Côté-Mantha, Marjorie Simard, Steve Couture

Aurvista: Denis Chénard

Consorem: Ludovic Bigot et Réal Daigneault

Midland: Mario Masson

Ministère MERNQ: Jean Goutier, Patrice Roy, François Leclerc, Pierre Pilote

Niogold: Yan Ducharme, Benjamin Gagnon

SOQUEM: Yvon Trudeau, Laury Schmitt, Georges Trapper

Julien Laporte (Étudiant M.Sc. UQAM) : Traitement de signal LA-ICP-MS

Sadia Mehdi (UQAC): Laboratoire des Matériaux Terrestres de l'UQAC

Raynald Lapointe (UQAM). MEB

/62