



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada



## Commission géologique du Canada Présentation scientifique 57

**Les systèmes minéralisateurs à oxydes de fer et altération à éléments alcalins  
(±calciques), et leurs gîtes IOA, IOCG, skarns, U±Au±Co (au sein d'albitites)  
et affiliés : une série de cours intensifs**

**Partie 1 : Introduction**

**L. Corriveau**

**2017**

Célébrons **175** ans



**Cette série de cours intensifs en français et en anglais est une mise à jour de cours donnés à l'échelle nationale et internationale au cours de la dernière décennie. Même si leurs titres sont semblables, les présentations en français et en anglais peuvent différer dans la facture et le livré.**

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

Pour obtenir des renseignements sur les droits de reproduction, veuillez communiquer avec Ressources naturelles Canada à l'adresse [nrcan.copyrightdroitdauteur.nrcan@canada.ca](mailto:nrcan.copyrightdroitdauteur.nrcan@canada.ca).

Lien permanent : <https://doi.org/10.4095/300242>

On peut télécharger cette publication gratuitement à partir de GEOSCAN (<http://geoscan.nrcan.gc.ca/>).

#### **Notation bibliographique conseillée**

Corriveau, L., 2017. Les systèmes minéralisateurs à oxydes de fer et altération à éléments alcalins ( $\pm$ calciques), et leurs gîtes IOA, IOCG, skarns, U $\pm$ Au $\pm$ Co (au sein d'albitites) et affiliés : une série de cours intensifs. Partie 1 : Introduction; Commission géologique du Canada, Présentation scientifique 57, 67 p.  
<https://doi.org/10.4095/300242>

*Les publications de cette série ne sont pas révisées; elles sont publiées telles que soumises par l'auteur.*



## Remerciements

Cette série de cours intensifs résume les recherches de la Commission géologique du Canada sur la géologie des systèmes minéralisateurs à altération à oxydes de fer et éléments alcalins-calciques et leurs gîtes polymétalliques. Ces recherches ont été menées au sein des programmes de l'Initiative géoscientifique ciblée et Géocartographie de l'Énergie et des Minéraux en collaboration avec des commissions géologiques territoriales et provinciales, le milieu académique et le secteur privé.

L'auteure remercie M. Alain Plouffe, Ph.D. pour une relecture à l'interne préalable à la publication de cette série.

Des remerciements additionnels se trouvent à la diapo 64.



# Information générale



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

# Résumé de la série de cours intensifs

Cette série de cours intensifs illustre les attributs géologiques des systèmes minéralisateurs à oxydes de fer et altération à éléments alcalins et calciques en utilisant la zone magmatique du Grand lac de l'Ours (Territoires du Nord-Ouest, Canada) comme exemple principal. Y sont abordés les faciès d'altération, leurs cheminements progrades, rétrogrades, télescopés et cycliques ainsi que l'extraordinaire variété de gîtes qui en résultent. Des renseignements complémentaires proviennent de la Ceinture minérale centrale (Province du Makkovik), du Horst de Romanet (Fosse du Labrador) et du complexe gneissique de Bondy (Province de Grenville) ainsi que d'exemples à l'international.

Les systèmes du Grand lac de l'Ours sont différentiellement soulevés, inclinés ou faillés transversalement, localement exhumés et régionalement plissés à très grande amplitude. Ils ont échappé au métamorphisme orogénique et à la déformation généralisée. Leurs anciennes couvertures sédimentaires sont largement érodées et la glaciation quaternaire ne laisse qu'une couverture sporadique de tills. Les affleurements y sont polis, semi-continus et exposent en 3D, les liens génétiques entre les divers types de gîtes formés au sein de ces systèmes:

- Oxyde de fer-apatite (IOA) et variantes minéralisées en terres rares,
- Oxyde de fer cuivre-or (IOCG) et variantes à Co, Bi, U, certaines à teneur faible en Cu,
- U et Au-Co-U au sein d'albitites, skarns, Mo-Re et autres types de gîtes affiliés.

# Résumé de la série de cours intensifs - suite

L'altération hydrothermale y est omniprésente, intense et d'échelle régionale. Une réaction en chaîne, induite par un apport volumineux de fluides salins au sein d'un gradient géothermique élevé, déclenche la formation de faciès d'altération à Na, Ca-Fe, K-Fe et épithermaux des profondeurs vers la surface. Chaque faciès possède des assemblages minéralogiques (c.-à-d. une paragenèse) et une composition diagnostiques et mène à la formation de gîtes minéraux distincts en termes d'associations métallifères. L'impact du type de roches précurseurs demeure faible sauf là où les roches carbonatées prédominent.

La cartographie des relations espace-temps entre métasomatisme, magmatisme, déformation et minéralisation permet d'interpréter l'addition et la soustraction nette d'éléments au sein des fluides minéralisateurs de même que les périodes d'apport de flux de chaleur et de fluides qui revivifient ces systèmes de leurs sources jusqu'aux gîtes formés. Les trajectoires progrades, rétrogrades et cycliques du métasomatisme, de la bréchification et de la minéralisation qui en résultent sont documentées des paléo-profondeurs aux paléo-surfaces ainsi que régionalement. L'information est synthétisée en un modèle de gîtes utile pour l'exploration et l'interprétation des données de terrain.

Les présentations traitent également des protocoles de cartographie pétrologique et d'exploration géologique pour ces systèmes, de la nomenclature de leurs roches métasomatiques, des méthodologies d'élaboration de cartes chimiques, de diagrammes chimiques discriminants, de vecteurs à la minéralisation et de modèles de gîtes.

# Table des matières

## Cette présentation – Introduction

Corriveau et al. sous presse a – Aperçu général des types de gîtes, distribution, âges, contextes, exemples, faciès d'altération, modèles métallogéniques

Corriveau et al. sous presse b – La zone magmatique du Grand lac de l'Ours et autres districts canadiens

Corriveau et al. sous presse c – Attributs métasomatiques (remplacement, veines, brèches, minéralisation, cheminement prograde)

Autres cours à venir.



# Autres sujets à être abordés



Sujets abordés dans les cours intensifs à venir:

- Faciès d'altération Na à Na-Ca-Fe, les albitites et brèches d'albitites;
- Faciès d'altération HT Ca-Fe, skarns transitionels et gîtes IOA±ETR (oxydes de fer-apatite± éléments des terres rares)
- Faciès d'altération K-Fe de haute et basse température, les faciès potassiques et à skarns potassiques, les gîtes IOCG (oxydes de fer cuivre-or) et variantes, et les faciès d'altération épithermale;
- Développement des brèches au sein des systèmes;
- Relations magmatisme-tectonisme-métasomatisme, impact sur la progradation et les juxtaposition, surimposition, cyclicité et télescopage des faciès d'altération, et utilisation du modèle métallogénique proposé pour évaluer le potentiel minéral et explorer les terrains d'intérêt pour les gîtes IOA, IOCG, skarns et U et Au-Co-U encaissés au sein d'albitite;
- Protocoles de cartographie et de discrimination géochimique des zones d'altération à oxydes de fer et éléments alcalins et calciques et la terminologie utilisée;
- Défis scientifiques et en exploration, lacunes de connaissances, terrains d'intérêt, travaux en cours.



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017





# Notes



**Au sein de cette série de cours intensifs, les figures et photos déjà publiées et non modifiées sont voilées par une légende indiquant où en trouver la source. Ce choix éditorial vise à mieux intégrer les exemples au sein de ces cours et les descriptions et discussions détaillées au sein des articles scientifiques cités.**

**Pour tout problème de copyright, svp communiquer avec Mme Louise Corriveau à [Louise.Corriveau@canada.ca](mailto:Louise.Corriveau@canada.ca)**



# Acronymes et abbréviations

Célébrons **175** ans



**IOAA** – systèmes minéralisateurs à oxydes de fer et altération en éléments alcalins et calciques

**IOCG** – gîtes à oxydes de fer cuivre-or; **IO±A** – gîtes à oxydes de fer

**Grp** – groupe

**HT** – haute température; **BT** – (plus) basse température

**ETR** – éléments des terres rares et Y; **EGP** – éléments du groupe des platines

**CGC** – Commission géologique du Canada; **NTGS** – Northwest Territories Geological Survey

**GEM** – Géocartographie de l'Énergie et des Minéraux

**IGC** – Initiative géoscientifique ciblée

## Minéraux

**Ab**-albite, **Act**-actinote, **Amp**-amphibole, **Ap**-apatite, **Apy**-arsénopyrite, **Bn**-bornite, **Bt**-biotite, **Cb**-carbonate, **Ccp**-chalcopyrite, **Cct**-chalcocite, **Cpx**-clinopyroxène, **Cum**-cummingtonite, **Gn**-galène, **Grt**-grenat, **Hbl**-hornblende, **Hem**-hématite, **Kfs**-feldspath K, **Mag**-magnétite, **Pl**-plagioclase, **Py**-pyrite, **Rbk**-riébéckite, **Scp**-scapolite, **Sd**-sidérite, **Ser**-mica blanc (séricite), **Sp**-sphalérite, **Sil**-sillimanite, **Sul**-sulfures, **Ttn**-titanite (Whitney et Evans 2010)

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



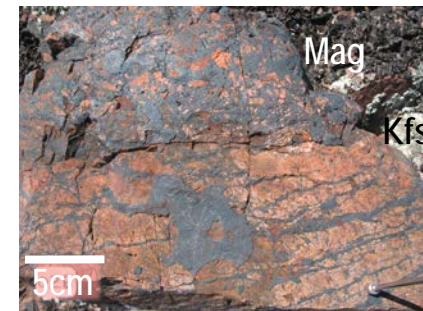
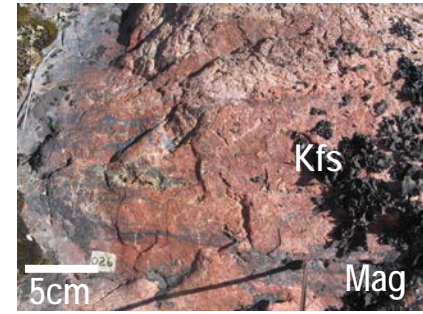
# Résumé du cours

Ce cours couvre les différents types de gîtes des systèmes minéralisateurs à oxydes de fer et altération à éléments alcalins et calciques, leurs divers continuums et les acronymes et abréviations utilisés pour faciliter la livraison de l'information. On y fournit une liste de gîtes représentatifs, la répartition mondiale et canadienne des gîtes d'intérêt et leurs âges, les ressources australiennes et certaines dates de découvertes pour souligner l'importance de ces gisements pour le renouvellement des ressources en métaux usuels, précieux, spécialisés et actinides pour le 21<sup>ème</sup> siècle.

Les besoins en géosciences et défis à l'exploration et à l'évaluation du potentiel minéral suivent, complétés par les méthodologies et modèles géologiques et chimiques en appui à la cartographie et l'exploration. Enfin, y sont abordés les thèmes de recherche et les résultats des récents programmes de la Commission géologique du Canada (RNCan) et de leurs collaborateurs, notamment les programmes de Géocartographie de l'Énergie et des Minéraux (GEM) et de l'Initiative géoscientifique ciblée (IGC).

Le cours fournit également une première liste de références. D'autres listes de références s'ajouteront dans les cours suivants.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Gîtes et types de gîtes au sein des systèmes à oxydes de fer et altération en éléments alcalins et calciques



Mantoverde, Chili

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Sujets d'études

**IOAA** – *Iron oxide alkali-calcic alteration ore systems* (systèmes minéralisateurs à oxydes de fer et altération à éléments alcalins et calciques). Systèmes métasomatiques polymétalliques issus de réactions fluides-roches en chaîne catalysées par un apport volumineux de fluides salins en milieu tectoniquement actif et sous gradient thermique élevé (250–800°C).

Ces systèmes conduisent aux gîtes:

- **IOCG** – *Iron oxide copper-gold*; acronyme désignant les gîtes à oxydes de fer cuivre-or d'origine hydrothermale et ayant comme métaux économiques du cuivre avec ou sans or
- **IO±A** – *Iron oxide±apatite*; acronyme désignant les gîtes à oxydes de fer-apatite; gîtes à oxydes de fer pauvre en titane (magnétite ou hématite) avec ou sans apatite et amphibole associés aux systèmes IOAA; peuvent être minéralisés en ETR
- Uranium±Au±Co au sein d'albitites; certains skarns, mantos et gîtes à oxydes de fer reliés à des intrusions alcaline, certains épithermaux et veines polymétalliques

Hitzman et al. 1992; Williams et al. 2005; Mumin et al. 2010; Porter 2010a, b; Skirrow 2010; Williams 2010a, b; Kreiner and Barton 2011; Somarin and Mumin 2013; Wilde 2013; Corriveau et al. 2014, 2016, 2017; Knipping et al. 2015; Montreuil et al. 2015; Tornos et al. 2016)

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Contextes des gîtes IOCG et affiliés au Canada

Grand lac de l'Ours,  
Ile Gossan, K2, Echo Bay

- **Nouvelle famille de gîtes hydrothermaux**
- **Combine métaux usuels, précieux, spécialisés et actinides (U, Th)**
- **Camps miniers colossaux de part le monde mais pas encore au Canada**
- **Environnements géologiques ≠ des camps miniers canadiens du 20<sup>ième</sup> siècle**
- **Géologie particulière** (aucun nom préalablement disponible pour décrire certains types d'altération)
- **Déjoue souvent les connaissances du milieu, la cartographie géologique, et les méthodes et techniques d'exploration usuelles**
- **Géologie des régions cibles souvent méconnue, souvent métamorphisée régionalement**
- **Potentiel minéral mésestimé, souvent non identifié et non articulé clairement**
- **Physiographie contrastée, accès communément difficile, peu ou pas d'infrastructure**

Hitzman et al. 1992; Hitzman 2000; Williams et al. 2005; Corriveau 2007; Corriveau et Mumin 2010; Groves et al. 2010; Porter 2010a; Williams 2010a

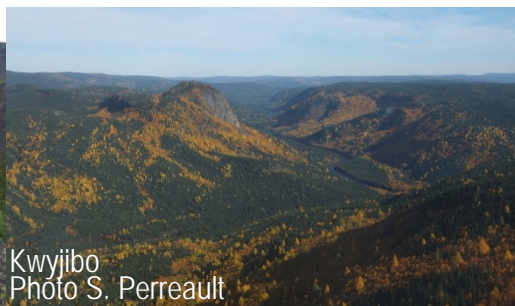
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



Wernecke Breccia  
Photo D. Thorkelson



S-O Echo Bay



Kwyjibo  
Photo S. Perreault



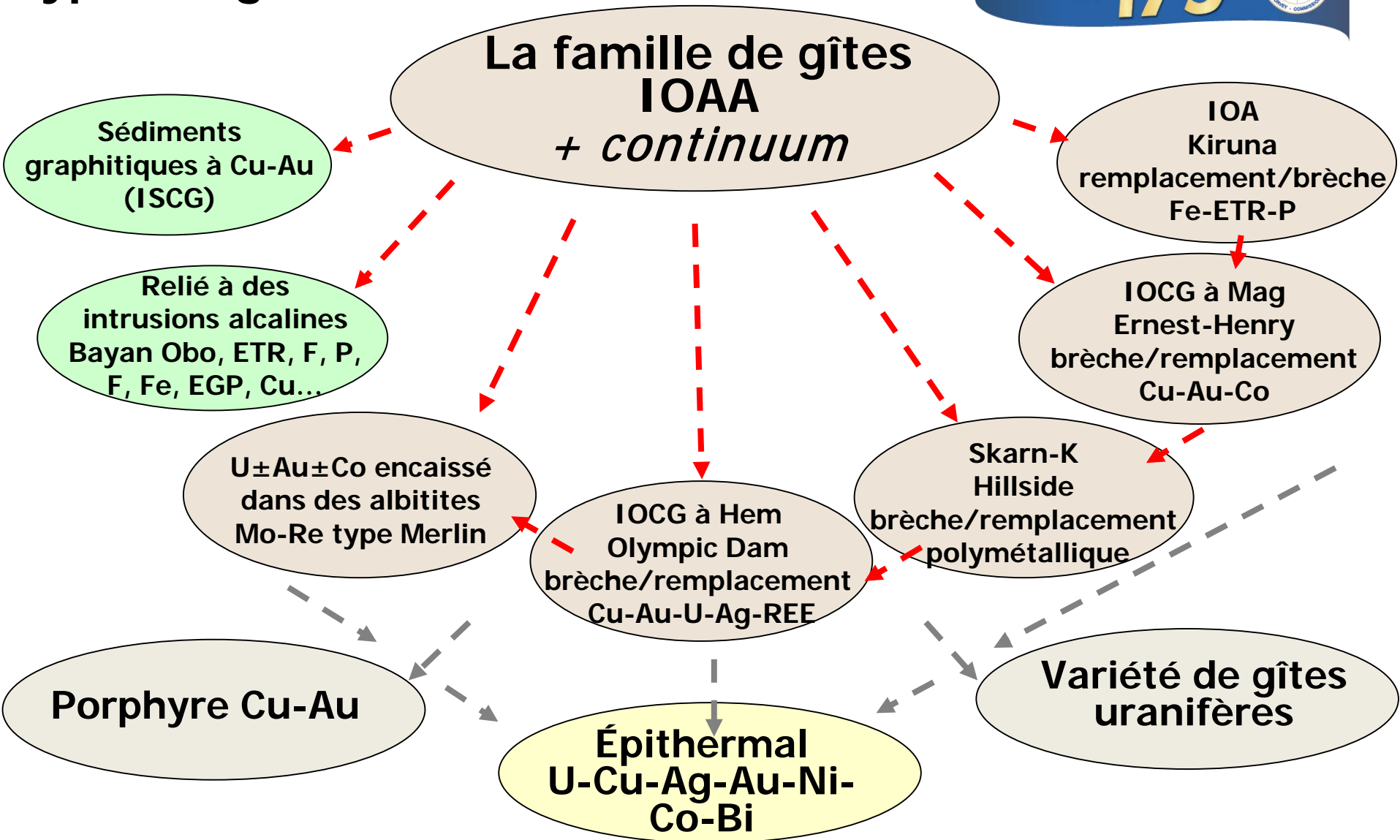
Province de l'Ours



Rayrock



# Types de gîtes IOAA et leurs continuums

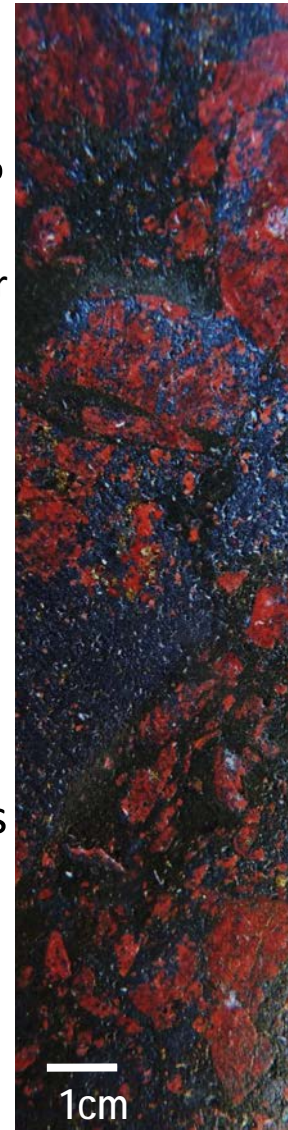


© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Gîtes cuivre – or – oxydes de fer (IOCG)

- Gîtes hydrothermaux polymétalliques à oxydes de fer et teneurs économiques en Cu ± teneurs économiques en Au
- Au sein de systèmes à zones d'altération riches en oxydes de fer (>15-20% magnétite faible en Ti et/ou hématite), en éléments alcalins et en Ca
- Extension des gîtes  $\leq 6 \times 1 \times 2$  km, des systèmes  $\leq 35 \times 15 \times 10$  km (longueur x largeur x profondeur)
- Teneurs en métaux intermédiaires,  $\leq 10$  Gt de ressources brutes
- Génétiquement liés à un éventail de types de gîtes polymétalliques hydrothermaux (IOCG, IOA, skarn, U au sein d'albitites, Re-Mo, ETR, Au-U et Co-Cu-U 'orogénique', etc.)
- Styles de minéralisation variés avec brèches, veines ou zones de remplacement relativement pauvres en sulfures
- Remobilisations multiples si orogénèse ou magmatisme subséquents
- Métaux multiples et associations métallifères multiples souvent atypiques à métaux usuels, précieux, spécialisés et actinides (U,Th)
- Métaux requis pour les énergies vertes (ex., ETR) et l'énergie nucléaire
- Source potentielle d'énergie géothermique
- Gîtes regroupés en districts distribués en ceintures de 500 à 1500 km





# Gîtes IOCG de référence



## IOCG du groupe à hematite (classification de Williams 2010a)

- Olympic Dam, Carrapateena, Prominent Hill (craton du Gawler, Australie)
- Mina Justa (Andes centrales, Pérou)

## IOCG du groupe à magnétite-hématite et variantes moins cuprifères

- Sue Dianne (Province de l'Ours, Canada)
- Raul-Condestable (Andes centrales, Pérou)
- Mantoverde (Andes centrales, Chili)

## IOCG du groupe à magnétite

- Candelaria (Andes centrales, Chili)
- Ernest Henry (Cloncurry, Australie)
- Sossego, Salobo (Carajás, Brésil)
- Guelb Moghrein (Mauritanie)
- Boss (Sud-est du Missouri, E.U.)

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Ressources australiennes

**Olympic Dam (découverte: 1975; Gawler)**  
10,100 Mt à 0.78% Cu, 0.25kg/t  $U_3O_8$ , 0.3g/t Au, 1.0g/t Ag (+ ETR)

## Projet Gawler-Geoscience Australia (2000-04)

**Prominent Hill (découverte: 2001; Gawler)**  
178 Mt à 1.1% Cu, 0.7g/t Au, 2.7g/t Ag, 103ppm U

**Carrapateena (découverte: 2005; Gawler)**  
134 Mt at 1.5% Cu, 0.6g/t Au, 6.3g/t Ag (+U)

**Hillside (découverte: 2009; Gawler)**  
337 Mt à 0.6% Cu, 0.14g/t Au, 15.7 % Fe

**Khamsin (découverte: 2012; Gawler)**  
202 Mt à 0.6% Cu, 0.1 g/t Au, 1.7 g/t Ag, 86ppm U

**Oak Dam (Gawler)**  
~560 Mt à 41–56% Fe, 0.2%Cu, 690ppm U

**Rover 1 (Tennant Creek)**  
6.81 Mt at 1.73g/t Au, 1.20% Cu, 0.14% Bi, 0.06% Co

**Peko (Tennant Creek) production**  
3 Mt at 4.1% Cu, 0.3% Bi, 3.5g/t Au, 14g/t Ag

**Ernest Henry (Cloncurry)**  
222 Mt à 1.1% Cu, 0.5g/t Au (+ Co)

**Mount Elliot-Swan (Cloncurry)**  
353.7 Mt à 0.6%Cu, 0.35g/t Au

**Merlin (Cloncurry)**  
6.4 Mt à 1.5% Mo, 26 g/t Re (réserves)

**Osborne (Cloncurry)**  
12 Mt à 1.4% Cu, 0.88g/t Au

**Monakoff (Cloncurry)**  
2.4 Mt à 0.95% Cu, 0.3g/t Au (112 ppm  $U_3O_8$ )

**E1 (Cloncurry)**  
10 Mt à 0.7% Cu, 0.22g/t Au

**Valhalla (Mt Isa)**  
34.7 Mt à 830ppm  $U_3O_8$

**Mt Gee (Mt Painter)**  
51 Mt à 0.11% Cu, 525ppm U

Sources bibliographiques à la diapo 25



# Gîtes affiliés et exemples

## Oxydes de fer±apatite (IOA)

- Kiirunavaara, Malmberget, Grangesberg (Suède)
- El Laco (Chili)
- El Romeral, Marcona, Los Colorados (Andes centrales)
- Oak Dam, Lightning Creek, Acropolis (Australie)
- Cerro del Mercado (Durango, Mexique)
- Pea Ridge, Pilot Knob (Missouri, E.U.)
- Kwyjibo (Grenville, Canada)
- Esfordi (Bafq, Iran)

## Skarn au sein d'IOCG et skarn K

- Hillside (Gawler, Australie)
- Hannukainen (Finlande)
- Kaunisvaara (Suède)

## Variantes IOCG à Au/Cu-Co-Bi (±REE,Y)

- Idaho belt (E.U.)
- Mt Cobalt ? (Cloncurry, Australie)
- NICO (Ours, Canada)

Sources bibliographiques à la diapo 25

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

## U encaissé dans des albitites

- Valhalla (Mt Isa, Australie)
- Lagoa Real (Brésil)
- Michelin (Canada)
- Southern Breccia (prospect; Ours, Canada)



## Au±Co±U au sein d'albitites

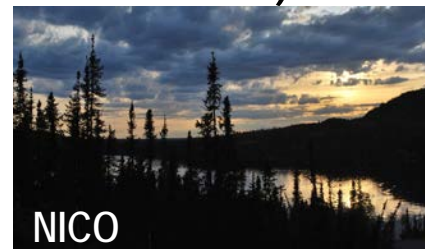
- Kuusamo (Finlande)
- Larafella, Loraboué (Burkina Faso)
- Turamdih (Inde)
- Horst de Romanet (indices; Canada)

## IOAA associés à des intrusions alcalines

- Bayan Obo (Chine)
- Phalaborwa, Vergeneog (Afrique)

## Gîte Mo-Re

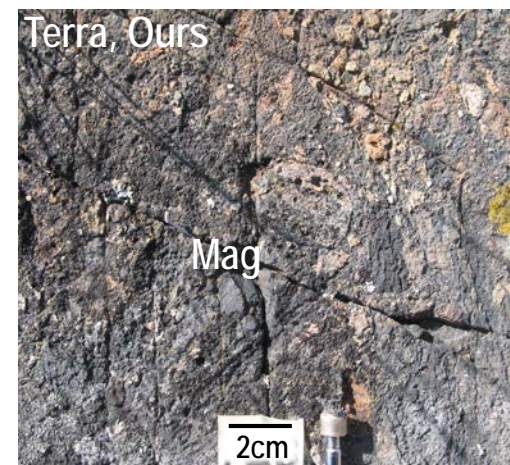
- Merlin (Cloncurry Australie)



Canada

# Gîtes IOA – attributs de la minéralisation

- Gîtes à oxydes de fer (Fe >50%) ± ETR
- Ressources en fer peuvent atteindre 2 Gt
- Communément à grain fin, apparence massive, bréchifié ou remplacement préservant les textures des précurseurs
- Enveloppe commune de brèches à magnétite ± amphibole
- Régionalement associé à des zones d'altération à Na, Na-Ca-Fe et Ca-Fe (sous les gîtes IOA (ex. El Laco), au toit d'intrusions sub-volcaniques et le long de failles)
- Pauvres en sulfures et U sauf si superposés par des altérations fertiles
- Faciès profonds de système IOAA hôte d'IOCG ou mise en place à faible profondeur (El Laco)
- Formés à de très hautes températures (600-800°C)
- Attributs métasomatiques concluants (remplacement, matrice de brèche, brèches fluidisées)
- Autres processus invoqués: fluidisation de précipités hydrothermaux, flottaison de magnétite ignée ou hydrothermale et mise en place de magmas à oxydes de fer



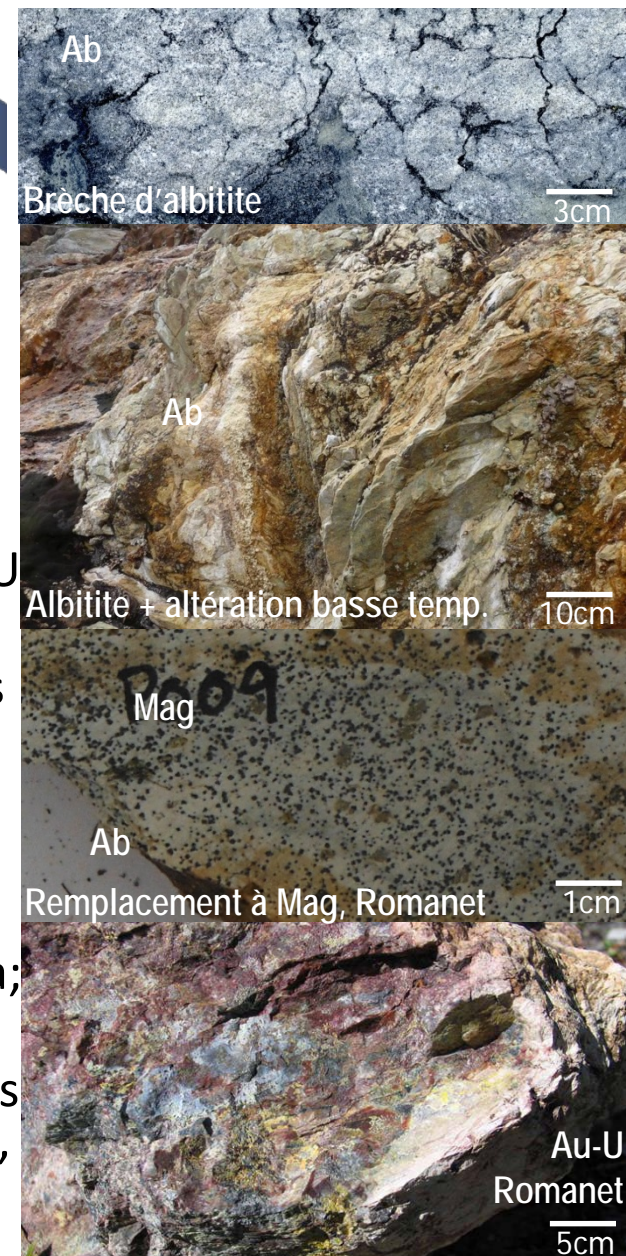
Hitzman et al. 1992; Williams et al. 2005; Corriveau et al. 2010a, 2016; Porter 2010a, b; Williams 2010a, b; Knipping et al. 2015; Bilenker et al. 2016; Tornos et al. 2016



# Gîtes d'U encaissés dans des albitites

Célébrons **175** ans

- Aussi appelé gîtes métasomatiques sodiques ou métamorphiques-métasomatiques sodiques
- Stages multiples de métasomatisme Na (Ab ± Rbk, Na-Cpx), HT Ca-Fe (Amp, Cpx, Mag), K (Kfs), HT K-Fe (Bt) communément syn-déformation superposés par altération de BT K (Ser) et Ca-Fe-Mg (Chl, Cb, Hem)
- Minéraux à U: uraninite, brannérite, davidite, coffinite; communément accompagnés de minéraux secondaires à U
- Valhalla, Lagoa Real, Michelin, bouclier central ukrainien; prospectus du Horst de Romanet et de la Province de l'Ours (Southern Breccia, Cole)
- Zr, Nb, Ta, Sn élevés dans les albitites
- Cu au sein de districts IOAA hôtes (Michelin, Ceinture minérale centrale; Turamdih et autres gîtes U-Cu-(Fe), zone de cisaillement de Singhbhum, Indes; Valhalla, Mt Isa; Southern Breccia, Ours)
- Veines à Au±U±Co encaissées dans des corridors d'albitites associées potentiellement à des systèmes IOAA (Kuusamo, Finlande; Laraboué et Larafella, Burkina Faso)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Ressources de gîtes affiliés

## Oxydes de fer-apatite

Kiirunavaara 682 Mt à 47.5 % Fe (réserves)

El Laco 376 Mt à 56.7% Fe (réserves); 734 Mt à 49.2% Fe (ressources)

Malmberget 271 Mt à 41.8 % Fe (réserves)

Marcona ~1940 Mt à 55.4% Fe, 0.12% Cu (LKAB 2013; CAP 2013)

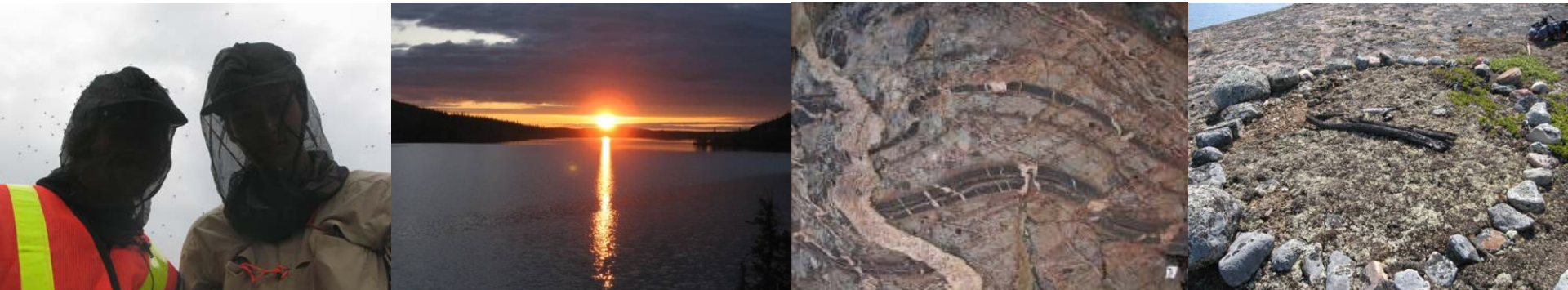
## Uranium encaissé dans des albitites

Valhalla 34.7 Mt à 830 ppm  $U_3O_8$  (ressources; Paladin Energy 2015)

Michelin 37.5 Mt à 0.10 %  $U_3O_8$  (ressources; Sparkes 2017)

## Certains Au-Co-U et U-Co-Cu 'orogéniques' encaissés dans des albitites

Kuusamo 3.8 Mt à 4.1 g/t Au, 9.1 Mt à 0.12% Co (ressources; Dragon Mining 2014)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017





# Distribution des gîtes et prospectes IOAA



# Ressources canadiennes et régions d'intérêt

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

- Gîtes IOCG <33Mt
- Gîtes U<sub>albitites</sub>
- Prospects IOCG, IOA, U<sub>albitites</sub>
- Prospects d'intérêt
- Mine Cu-Au d'intérêt

## NICO réserves

33 Mt à 1.02 g/t Au, 0.12% Co, 0.14% Bi, 0.04% Cu

## Sue Dianne ressources

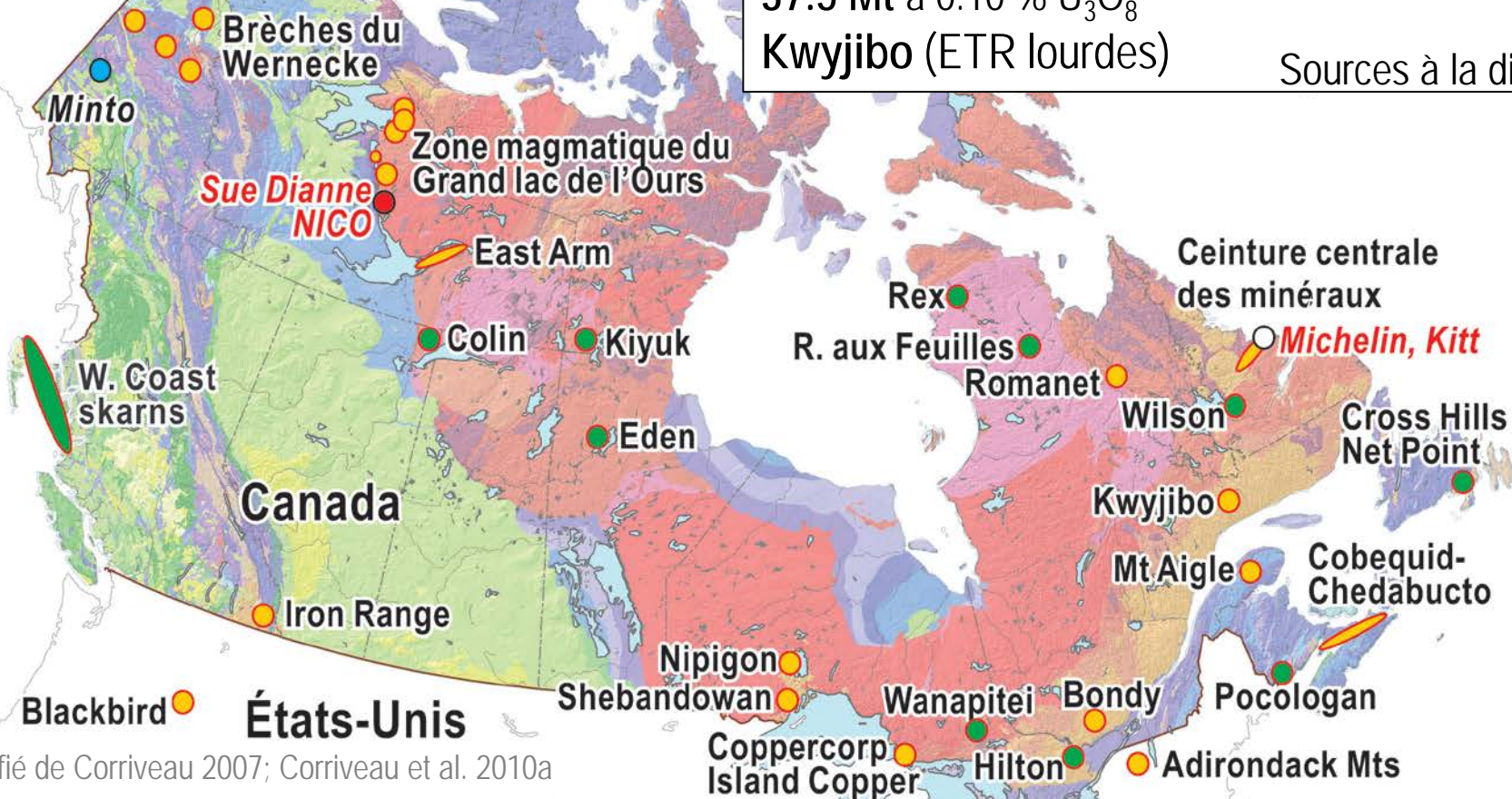
8.4 Mt à 0.80% Cu, 0.07 g/t Au, 3.2g/t Ag)

## Michelin ressources

37.5 Mt à 0.10 % U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

## Kwyjibo (ETR lourdes)

Sources à la diapo 25





# Références concernant les systèmes IOAA

(incluant localisation, ressources et réserves)



Jones 1974; N9GBYBGMR 1983; Lyons 1988; Porto da Silveira et al. 1991; Skirrow 2000, 2010; Vanhanen 2001; Knight et al. 2002; Oyarzun et al. 2003; Hitzman et Valenta 2005; Williams et al. 2005; Belperio et al. 2007; Benavides et al. 2007; Davidson et al. 2007; Doebrich et al. 2007; Béziat et al. 2008; Hennessey et Puritch 2008; Wu 2008; Polito et al. 2009; Zhu et al. 2009; Chen et al. 2010; Clark et al. 2010; Daliran et al. 2010; Groves et al. 2010; Lobo-Guerrero 2010; Porter 2010a, b; Rieger et al. 2010; Williams, 2010a, b; Baker et al. 2011, 2014; Zulinski et Osmani 2011; Chen et Zhou 2012; Dragon Mining 2012, 2014; Puritch et al. 2012a, b; Turner 2012; CAP 2013; Chen 2013; First Quantum Minerals 2013; LKAB 2013; Nold et al. 2013, 2014; Oz Minerals 2013, 2014a, b, 2017; Potter et al. 2013; Slack 2013; Barton 2014; Burgess et al. 2014; Chinova Resources 2014, 2017; Corriveau et al. 2014; Couture et al. 2014; Desrochers 2014; Duncan et al. 2014; Intrepid Mines 2014; Ismail et al. 2014; Waller et al. 2014; BHP Billiton 2015; Fan et al. 2015; Graupner et al. 2015; GTK 2015; Li et al. 2015; Montreuil et al. 2015, 2016a, b, c; Paladin Energy 2015a, b; Perreault et Lafrance 2015; Rex Minerals 2015; Woolrych et al. 2015; Day et al. 2016; Martinsson et al. 2016; Metal X 2016; Babo et al. 2017; Camprubí et González-Partida 2017; Zhao et al. 2017

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Obstacles à l'exploration



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Obstacles à l'exploration au Canada

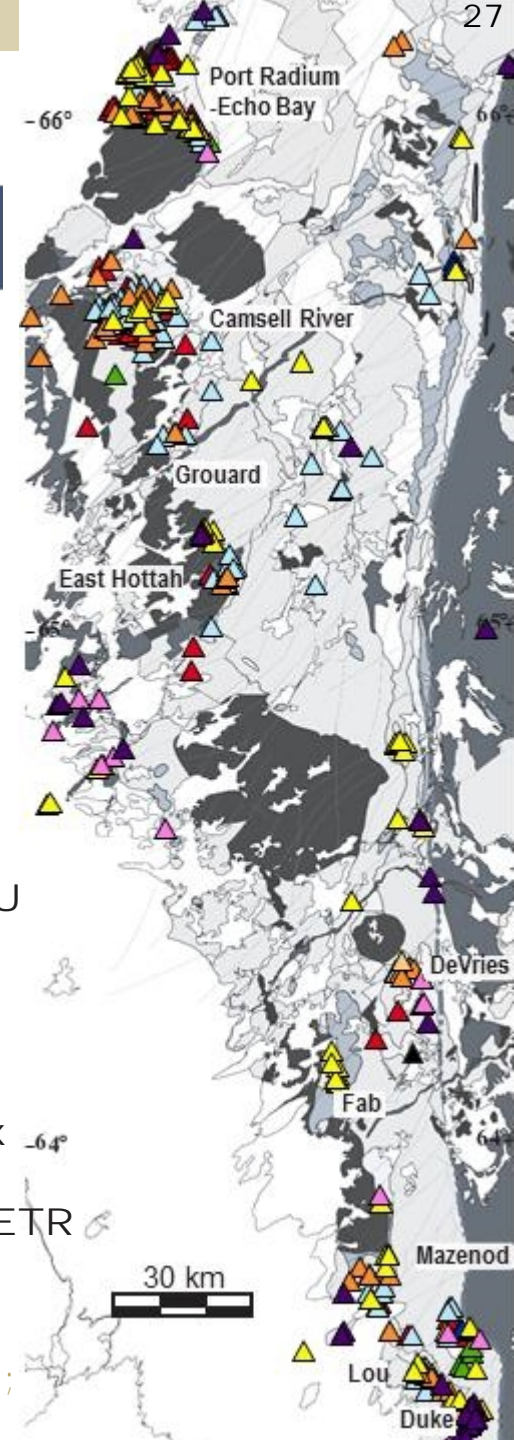
Indices minéralisés historiquement attribués à des types de gîtes variés et métallogéniquement disparates:

- Magnétitites/hématitites synsédimentaires ou hydrothermales
- Skarns
- Uranium au sein d'intrusions, de volcanites felsiques, en discordance, encaissé dans des albitites
- 'Diatrèmes', IOCG, IOA, type Kiruna, brèches à oxydes de fer, potassique, phyllique; minéralisation syn-sédimentaire, etc.
- Minéralisation épithermale à Ag, Cu, Zn, Pb, veines à Cu-Ag ± Au, Pb, Zn, Co, Bi, U
- Veines à 5 éléments; veines quartz-carbonate Cu, Ag, U ± Co, Bi, Ni; etc.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



- ▲ Polymétallique+U
- ▲ Fe+U
- ▲ U
- ▲ Métaux usuels
- ▲ Fe+REE
- ▲ Métaux précieux
- ▲ Polymétallique
- ▲ Polymétallique+ETR
- ▲ Fe
- ▲ W



# Et la problématique est la même partout...

## Modèles de gîtes invoqués

### Ceinture de l'Idaho, États-Unis (voir Slack 2013)

- Hydrothermal + post-métamorphique induit par des granites
- Sulfures massifs volcanogènes et SEDEX syngénétiques
- Cuivre stratiforme, syngénétique/diagénétique
- Veine et remplacement synmétamorphique
- IOCG prémétamorphique



### Horst de Romanet, Québec (voir Corriveau et al. 2014; Desrochers 2014)

- Cu ± U syngénétique et diagénétique (Kuperschiefer, red beds)
- Veines à Cu ± U ± Au quartz-carbonate-sulfures épigénétique
- Sulfures massifs volcanogènes
- Métasomatisme sodique uranifère



Horst de Romanet

**Ceinture centrale des minéraux, Labrador** Les modèles sont centrés sur les encaissants, les styles structuraux, les associations métallifères et le métamorphisme (voir Gandhi 1978; Kerr et Sparkes 2009; Sparkes 2017).

Une même approche est prise en Scandinavie (Martinsson et al. 2016; Engvik et al. 2014, 2017):

- U en discordance, encaissé au sein de volcanites ou de zones de cisaillement, sédimentaire, magmatique, épigénétique-hydrothermal, métamorphique-métasomatique; SEDEX

# Autre défi: le métamorphisme



Les faciès d'altération Na, Ca-Fe, K-Fe et épithermaux métamorphisés aux faciès des amphibolites supérieurs et des granulites ressemblent aux, et peuvent être mésinterprétés pour des:

- Métapélites (faciès d'altération argillique, argillique avancée, phyllique, séricitique)
- Amphibolites (HT Ca-Fe)
- Calc-silicates (skarns)
- Orthogneisses (albitite, felsites à Kfs)
- Méta-arkoses (faciès K à Kfs)
- Quartzites (silicification)
- Exhalites (altération riche en tourmaline; formation de grenatite par déstabilisation de magnétite)
- etc.



# Besoins géoscientifiques – une perspective canadienne

1. Reconnaître, décoder, cartographier, répertorier, explorer les systèmes de gîtes à oxydes de fer et altération en éléments alcalins et calciques en terrains non à très métamorphisés
2. Trouver, développer et renouveler nos ressources en métaux pour le 21<sup>ème</sup> siècle
3. Procurer l'assise géoscientifique requise pour prendre des décisions éclairées

Accroître les connaissances en géosciences publiques par une chaîne d'innovation qui maximise les collaborations tout en respectant les mandats distincts des collaborateurs

Optimiser les modèles, critères, technologies et méthodologies de géocartographie, d'évaluation du potentiel minéral et d'exploration, et procurer des assises géoscientifiques solides incluant pour les évaluations environnementales pour le territoire canadien

Former de nouvelles générations de scientifiques pour diversifier l'exploration minérale et énergétique du Canada en termes de régions explorées et de types de gîtes

Optimiser le potentiel de renouvellement des ressources minérales et énergétiques du Canada (géosciences, mise en œuvre de projets, développement du Nord, les politiques, le vivre ensemble, etc.)

# Les systèmes minéralisateurs de la Province de l'Ours 25 ans après Hitzman et al. 1992



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Terrains d'étude





Célébrons **175** ans



## Zone magmatique du Grand lac de l'Ours

- Anciens camps miniers (U, Ag, Ra)
- Spectre très large de minéralisation IOCG (Mag + Hem), IOA, U au sein d'albitite
- 2 gisements IOCG (NICO, Sue Dianne)
- Continuum IOA-IOCG-porphyre-épithermal
- Excellente qualité d'affleurements
- Résidus miniers actuels = potentiel minerais
- Variété d'indices Cu, Co, Ag, Au, U, Ni
- Magnitude des systèmes d'altération et de brèches IOAA atteint celle des gisements de classe mondiale
- Géologie répond aux critères de formation de gisements IOCG polymétalliques géants

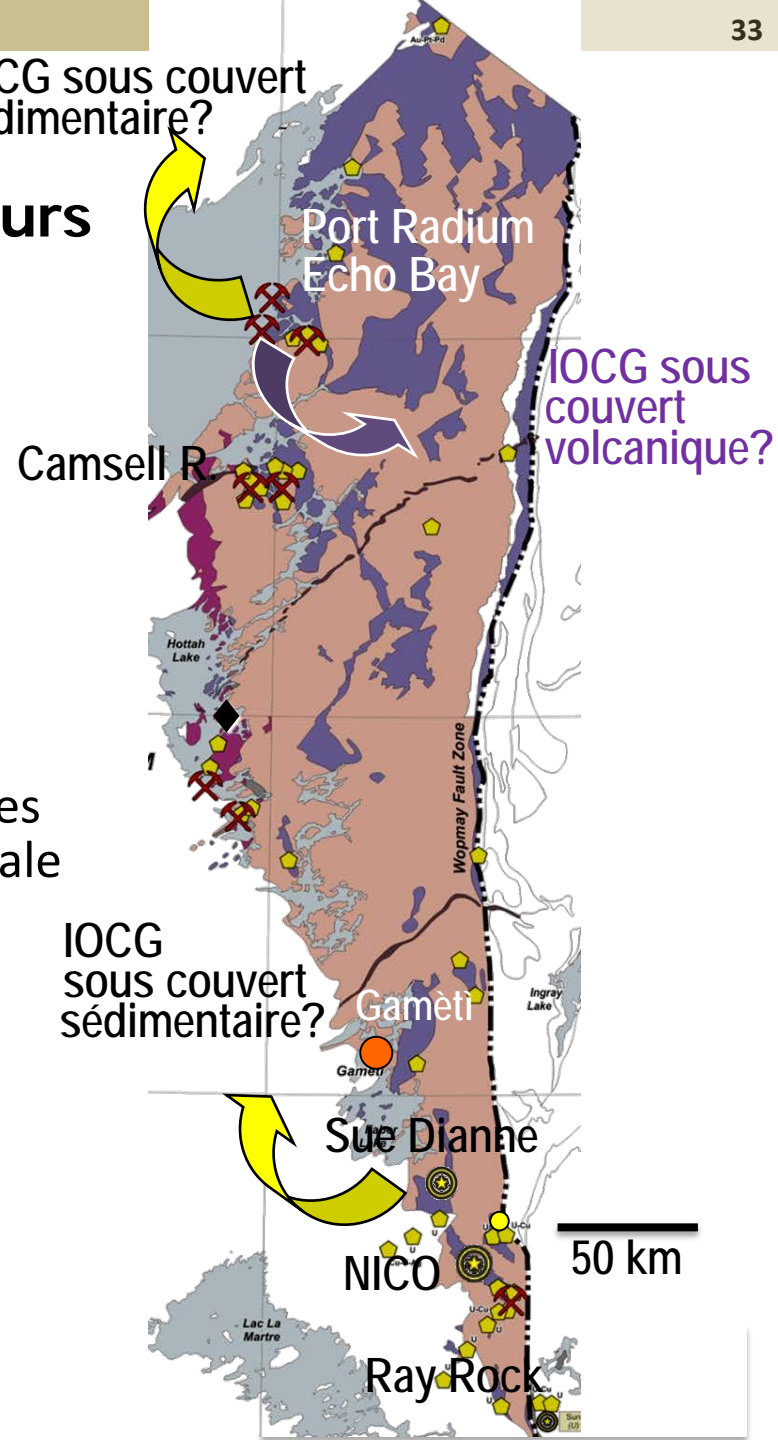
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



Ressources naturelles  
Canada

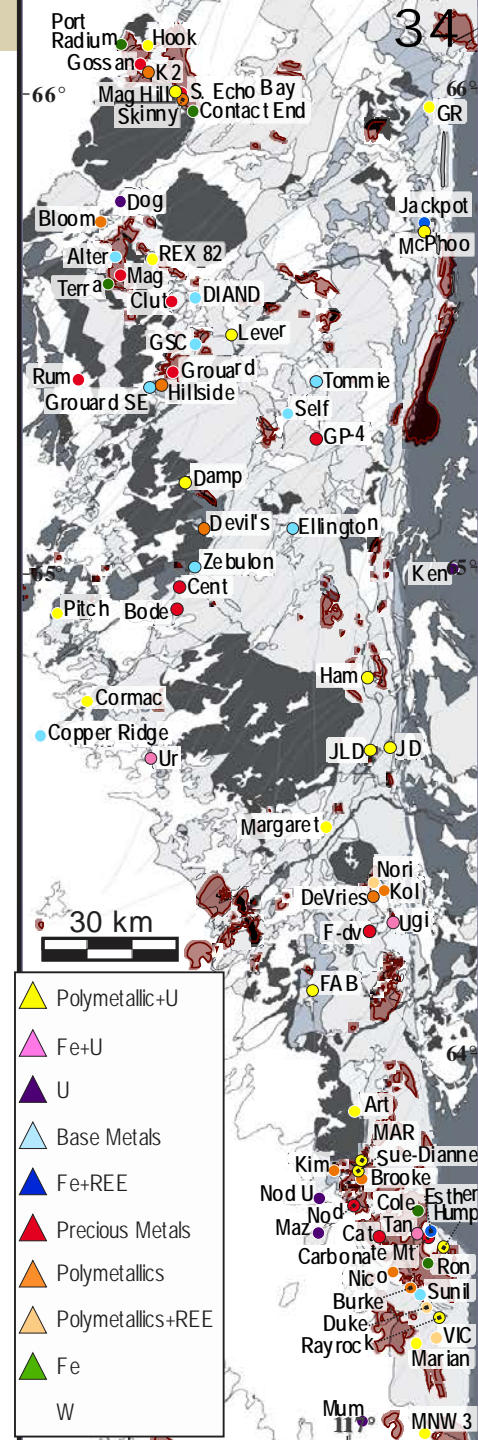
Natural Resources  
Canada

IOCG sous couvert  
sédimentaire?



# La Province de l'Ours un contexte de référence

- Un affleurement inégalé internationalement
- Coupes structurales et perspectives 3D de systèmes IOAA
- Illustre les liens génétiques critiques entre gîtes IOCG, IOA et affiliés, de leurs albitites profondes à leurs sommets épithermaux
- Un seul événement IOAA avec remobilisation locale mineure associée à des intrusions et essaim de dykes ou à des failles tardives
- Absence notable de déformation pénétrative post IOAA
- Absence de métamorphisme orogénique régional
- Modèle de gîtes IOAA basé sur des observations tangibles des liens génétiques, paragénétiques, spatiaux, temporels, chimiques, minéralogiques, texturaux et structuraux entre les faciès d'altération, leurs associations métallifères et leurs types de gîtes



# Études de terrain – Province de l'Ours

- Cartographie des zones d'altération hydrothermale à oxydes de fer et éléments alcalins et calciques, de leurs brèches et zones minéralisées, relations de recoupement avec intrusions, essaims de dykes, zones de déformation, discordances, liens potentiels en '4D' (surface-profondeur-temps), etc.
- Classification et terminologie des roches métasomatiques, protocole de cartographie, codification de descriptions
- Relations entre magmatisme, tectonisme et métasomatisme
- Épisodes de réalimentation en magmas, fluides, chaleur et métaux, de tectonisme actif
- Mobilité des éléments (cations, métaux usuels, précieux et spécialisés), processus de dissolution – précipitation permettant une altération pénétrative et généralisée, processus de bréchification
- Précurseurs (p. ex. volcanoclastites fragmentaires)
- Types de trappes chimiques et physiques
- Modèle métallogénique et test de son applicabilité pour l'exploration et les interprétations de terrain

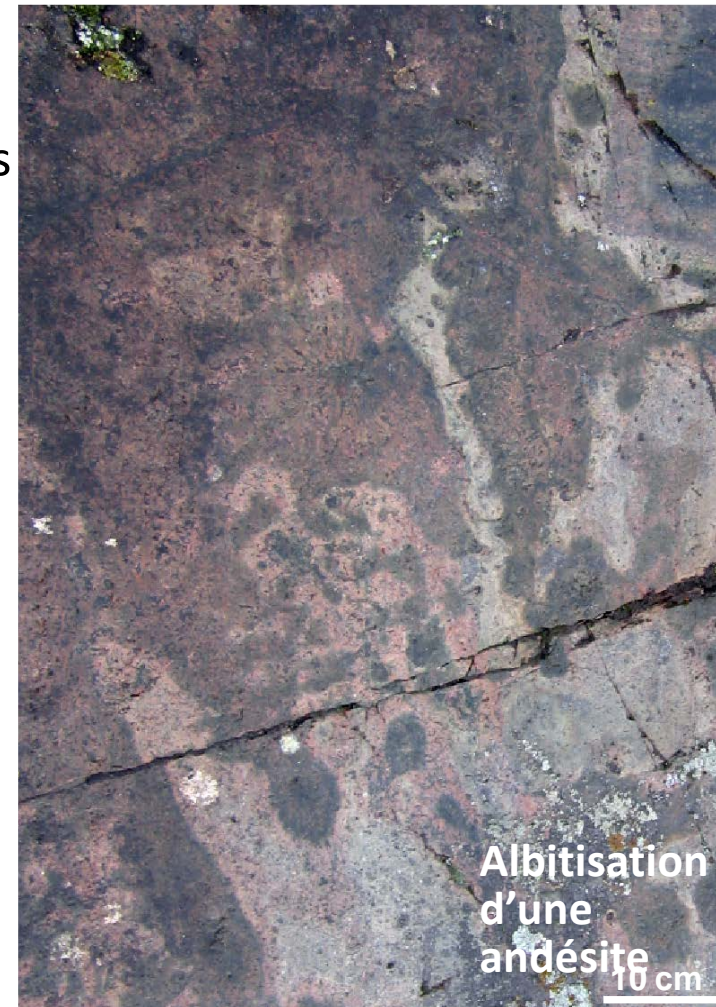


© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



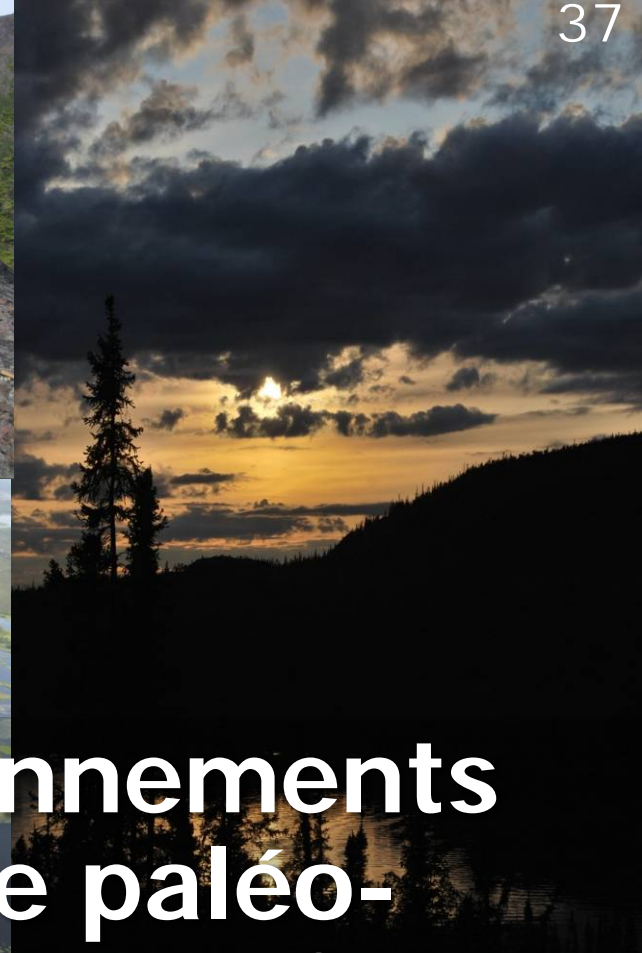
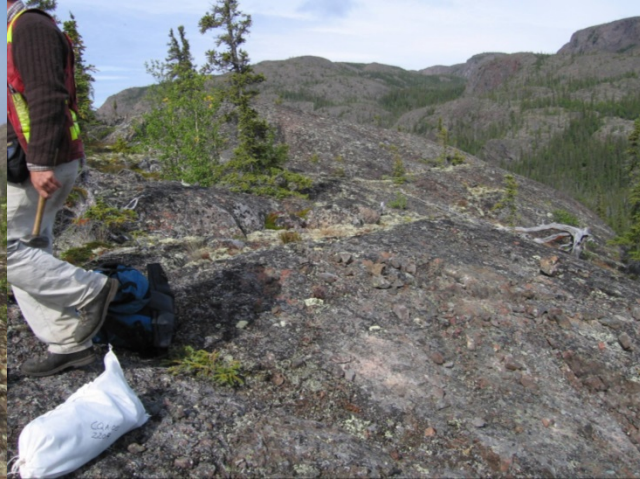
# Métasomatisme intracrustal

- sources répétées/multiples chaleur-fluides-métaux
- transport efficace chaleur-fluides-métaux (des chambres magmatiques aux gîtes)
- formation et coalescence de cellules hydrothermales
- gradients des conditions physico-chimiques
- évolution spatiale/chronologique des faciès métasomatiques
- zones de lessivage et de précipitation
- trappes chimiques et structurales
- couplage et découplage atypiques des éléments
- porosité, perméabilité, réactivité
- rhéologie, fracturation et déformation ductile
- contexte géodynamique, discontinuités lithosphériques, architecture crustale, fertilité manteau, croûte, précurseurs régional et local, mise en place de magmas répétée, failles
- distribution régionale des gîtes
- empreinte chimique, minéralogique, géophysique diagnostique et distinctes



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



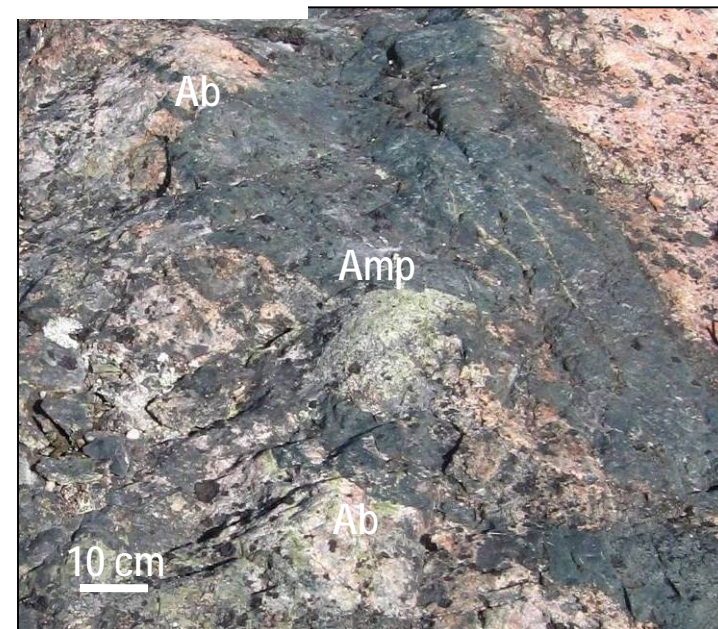


# Empreintes des environnements métallifères en 3D de paléo- profondeurs de 5 km à la surface



# Empreintes géologiques

- Forte variabilité des assemblages minéralogiques, de la granulométrie, des textures, de l'intensité de l'altération, de la densité des réseaux de veines et des types de brèches
- Cartographie des systèmes minéralisateurs complexe sans outils appropriés



Kfs -Mag

Ab -Amp-Mag -Ap

Kfs -Bt -Mag

Amp -Mag -Bt

Chl-Hem-Kfs-Cb-Ser

Chl-Cb-Hem

Chlorite

Qtz vein

Cpx - Kfs

Silicification

Ab - Amp

Kfs

Propylitic

Cpx-Grt-Kfs

Hem

Ab -Amp-Ap

Chl -Hem

Amp-Mag -Bt -Kfs

Ep -Mag

Tourmaline

Ser-Hem

Kfs -Hem

Ab -Amp-Mag

Bt

Ab

Ep -Hem -  
Qtz -Cb

Amp -Mag

Cpx

Amp

Jasper

Mag

Acid

Cpx -  
Amp-Mag

Ser

Ep-Qtz-Cb

Phyllic /  
sericitic

Ep

Amp -Mag -Kfs

Ep -Hem -Qtz

Amp-Mag -Ap

Bt -Mag

Ep -Hem

Carbonate

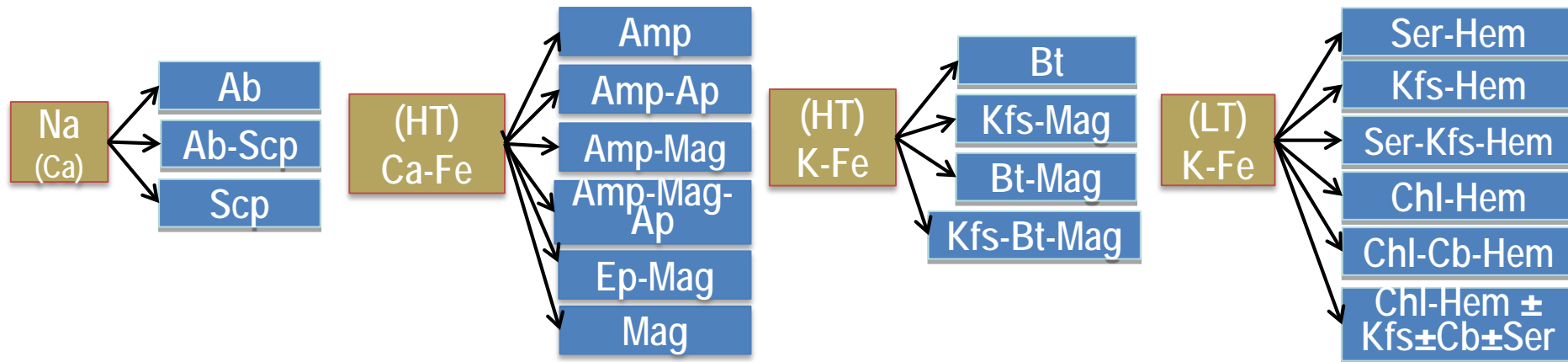
Hem-Kfs-Ser

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Faciès d'altération

La cartographie devient fortement simplifiée une fois les assemblages regroupés en faciès métasomatiques tel que pratiqué en pétrologie métamorphique



À chaque ensemble de paragenèses minérales ses propres faciès d'altération et signatures géochimiques

Corriveau et al. 2010b, 2016, en prép.  
Montreuil et al. 2013, 2016a, b, c; De Toni 2016

# Composition diagnostique des faciès d'altération

- Les empreintes métasomatiques des gîtes IOCG et IOA peuvent être discrémentées des roches hôtes peu altérées à partir des proportions cationiques Na-Ca-Fe-K-Mg
- Ces proportions cationiques sont dérivées des analyses géochimiques sur roche totale et représentées par des codes bars
- Les cations sélectionnés renvoient à des minéraux caractéristiques des principaux faciès d'altération

Na

- Na en rose pour l'albite

Ca

- Ca en vert pour l'amphibole

Fe

- Fe en noir pour les oxydes de fer

K

- K en rouge pour le feldspath potassique

Mg

- Mg en vert clair pour la chlorite

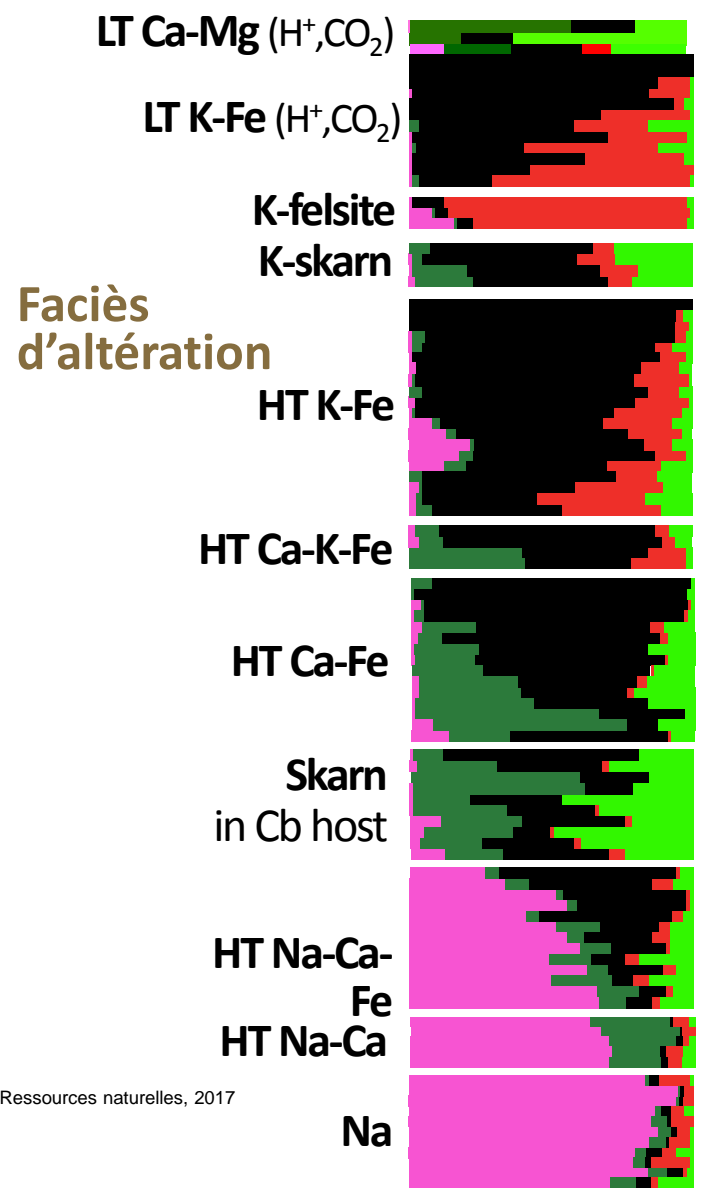


# Composition diagnostique des faciès d'altération

## Roches usuelles

Suites calco-alkalines et shoshonitiques

Shale



## Gîtes

IOCG Cu-Ag-Au  
Faciès HT K-Fe



Variante IOCG Au-Co-Bi  
Faciès Ca-K-Fe



IOA-ETR  
Faciès Ca-Fe vers Ca-K-Fe



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

# Secteur de Nod

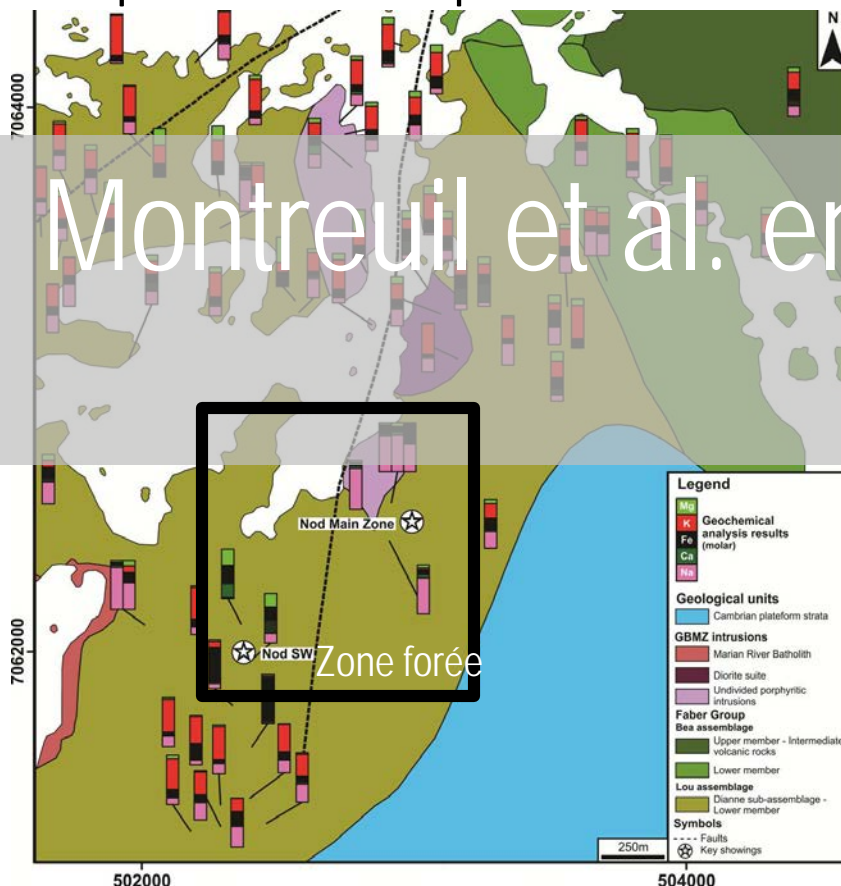


Altération Na + HT Ca-Fe

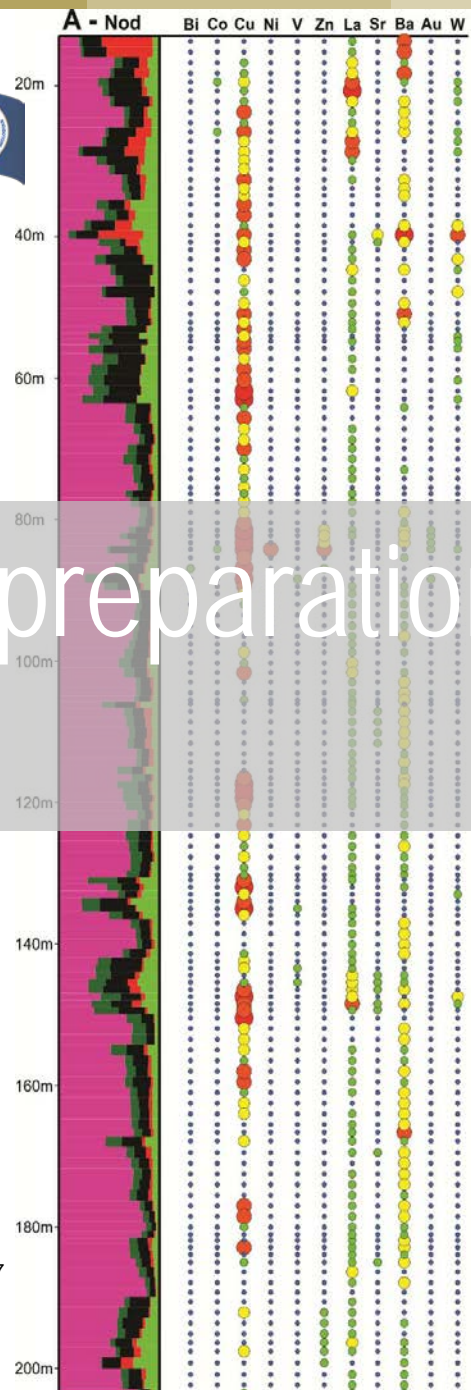
Très peu de HT & BT K-Fe

Faible enrichissement en métaux usuels

Très peu de métaux précieux



Montreuil et al. en preparation



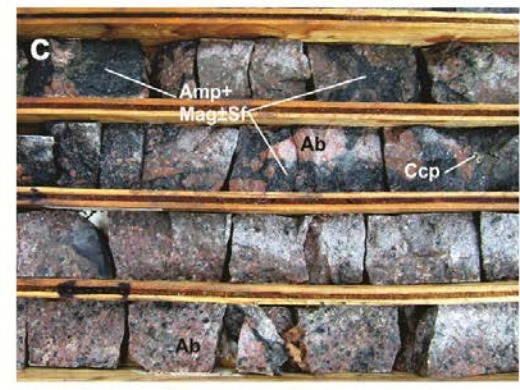
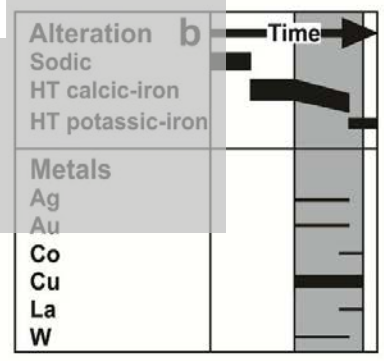
Au (ppb)	Ba (ppm)	Bi (ppm)	Co (ppm)
0 - 50	0 - 100	0 - 100	0 - 100
50 - 500	100 - 200	100 - 200	100 - 200
500 - 2000	200 - 500	200 - 500	200 - 500
2000 - 5000	500 - 1000	500 - 1000	500 - 1000
5000 - 200000	1000 - 20000	1000 - 20000	1000 - 20000

Cu (ppm)	La (ppm)	Ni (ppm)	Sr (ppm)
0 - 100	0 - 20	0 - 100	0 - 50
100 - 200	20 - 50	100 - 200	50 - 100
200 - 500	50 - 100	200 - 500	100 - 200
500 - 2000	100 - 200	500 - 2000	200 - 500
2000 - 100000	200 - 2000	2000 - 30000	500 - 10000

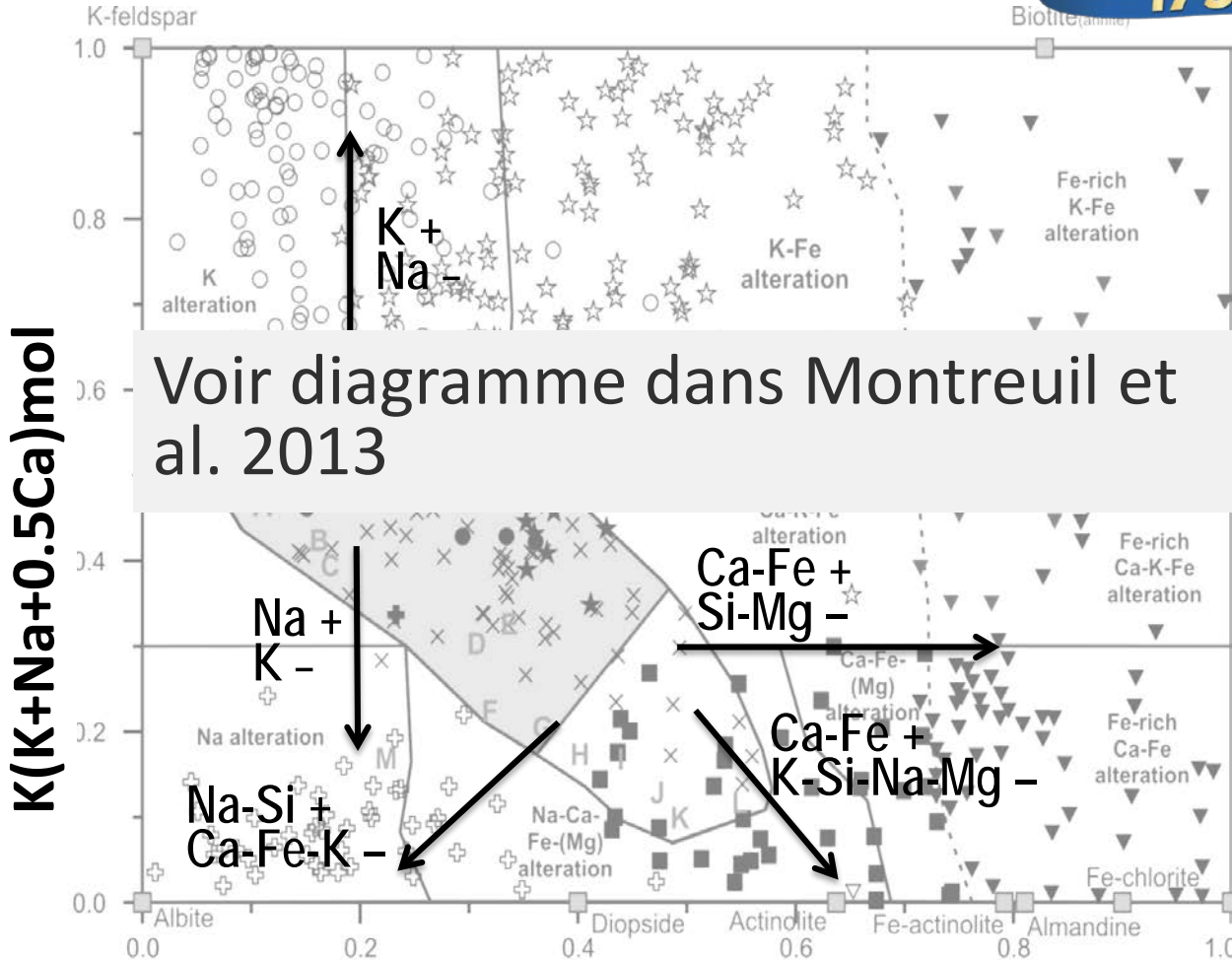
  

V (ppm)	W (ppm)	Zn (ppm)
0 - 100	0 - 20	0 - 100
100 - 200	20 - 100	100 - 200
200 - 500	100 - 200	200 - 500
500 - 1000	200 - 1000	500 - 3000
1000 - 2000	1000 - 20000	3000 - 20000

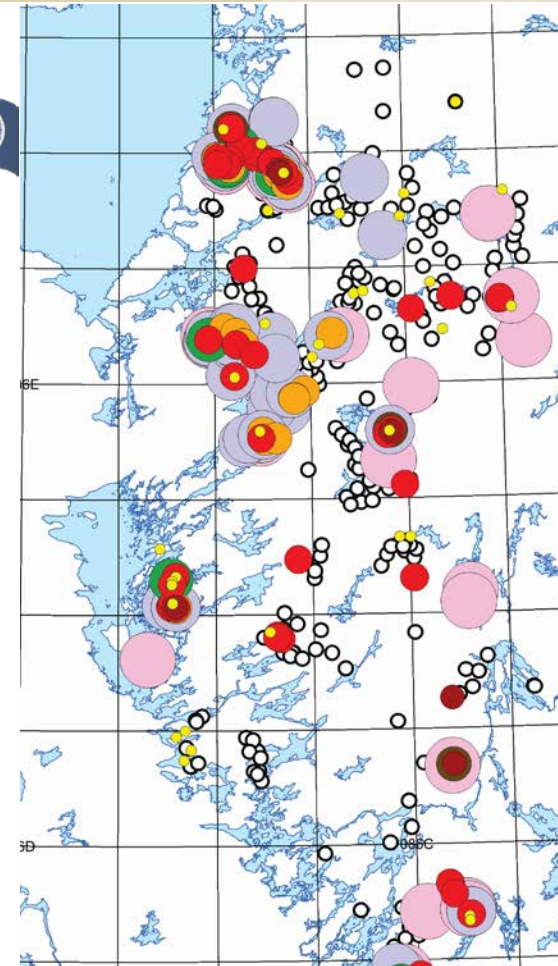


© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

# Index d'altération, diagrammes discriminants et cartographie des faciès d'altération



Voir diagramme dans Montreuil et al. 2013



- Alteration-type (geochemical index)**
- Unaltered rocks
  - K alteration
  - Fe-rich K-Fe alteration
  - K-Fe alteration
  - Ca-K-Fe alteration
  - Fe-rich Ca-K-Fe alteration
  - Fe-rich Ca-Fe alteration
  - Ca-Fe-(Mg) alteration
  - Na-Ca-Fe-(Mg) alteration
  - Na alteration

**$(2Ca+5Fe+2Mn)/(2Ca+5Fe+2Mn+Mg+Si)$ mol**  
**Adaptable à la chimie de la magnétite (DeToni 2016)**

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

# Altération IOAA: intense, régulière, diagnostique, prévisible



Distale  
Basse Temp.  
Superficielle ou  
latéralement  
éloignée de la  
source de  
chaleur  
Tardive



Coeur  
thermique  
Haute Temp.  
Plus profond  
Précoce

6 BT Si, K, Al, Ba

5 BT K-Fe ( $H^+$ - $CO_2$ )  
hématite-feldspath K /  
séricite-carbonate-  
chlorite-sulfures

4 Felsite K feldspath K  
Skarn K clinopyroxène-  
feldspath K-grenat-  
sulfures

3 HT K-Fe magnétite-  
biotite/ feldspath K-  
sulfures

2 HT Ca-Fe  
amphibole-  
magnétite ± apatite,  
Fe, Th, ETR

1 Na albite, scapolite

**Système épithermal**

*Andes centrales, Olympic Dam, Province de l'Ours*

**Encaissant immédiat des IOCG à Hem**

*Olympic Dam, Prominent Hill, Sue Dianne,  
Province de l'Ours*

**Encaissant immédiat des IOCG à Mag et à skarns  
minéralisés (à précurseur carbonaté)**

*Candelaria, Mt Elliott (Cloncurry), Hillside (Gawler),  
Province de l'Ours*

**Encaissant immédiat des IOCG à Mag**

*Ernest Henry, Salobo, Candelaria, NICO, Province  
de l'Ours*

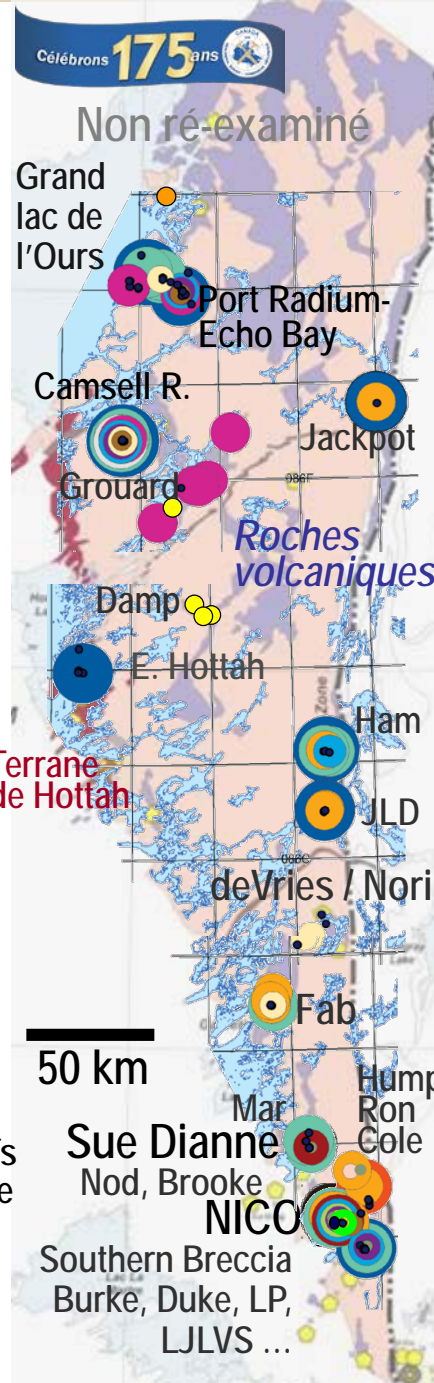
**Encaissant des gîtes magnétite-apatite (IOA)**

*Kiruna, Andes centrales, SE Missouri, El Laco, Province  
de l'Ours*

**Zones profondes des IOCG**

*Ernest Henry, Starra, Andes centrales, Prov. de l'Ours*

**Altération régionale, essentiellement stérile sauf  
si surimposée par d'autres altérations Cloncurry  
+ Mt Isa, Gawler, Andes centrales, El Laco, Kiruna,  
Southern Breccia, Prov. de l'Ours**



# Cartographie du continuum IOAA-épithermal

## Faciès d'altération Indices & secteurs

<b>6</b>	<b>Épithermal</b>	Crowfoot, Echo Bay, Breccia Is.
<b>5</b>	<b>BT K-Fe</b>	Sue Dianne, Southern Bx, Terra, K2, Brooke, Mile, Breccia Is., Hottah, Hoy
<b>4</b>	<b>Felsite K Skarn K</b>	Mile, Grouard
<b>3</b>	<b>HT K-Fe</b>	NICO, Southern Bx, Cole, Fab, deVries, Hump, Ham, Terra, Echo Bay, Mar, Hoy, South Duke
<b>2</b>	<b>Ca-Fe</b>	NICO, Mag Hill, Port Radium ↓, K2 ↓, Fab, JLD, Ron, Terra, Hottah, Grouard, Cat, South Duke
<b>1</b>	<b>Na</b>	Echo Bay, Mile, Terra, Fab, deVries, Southern Bx, Nod, Hoy, Grouard, South Duke

↓ forage

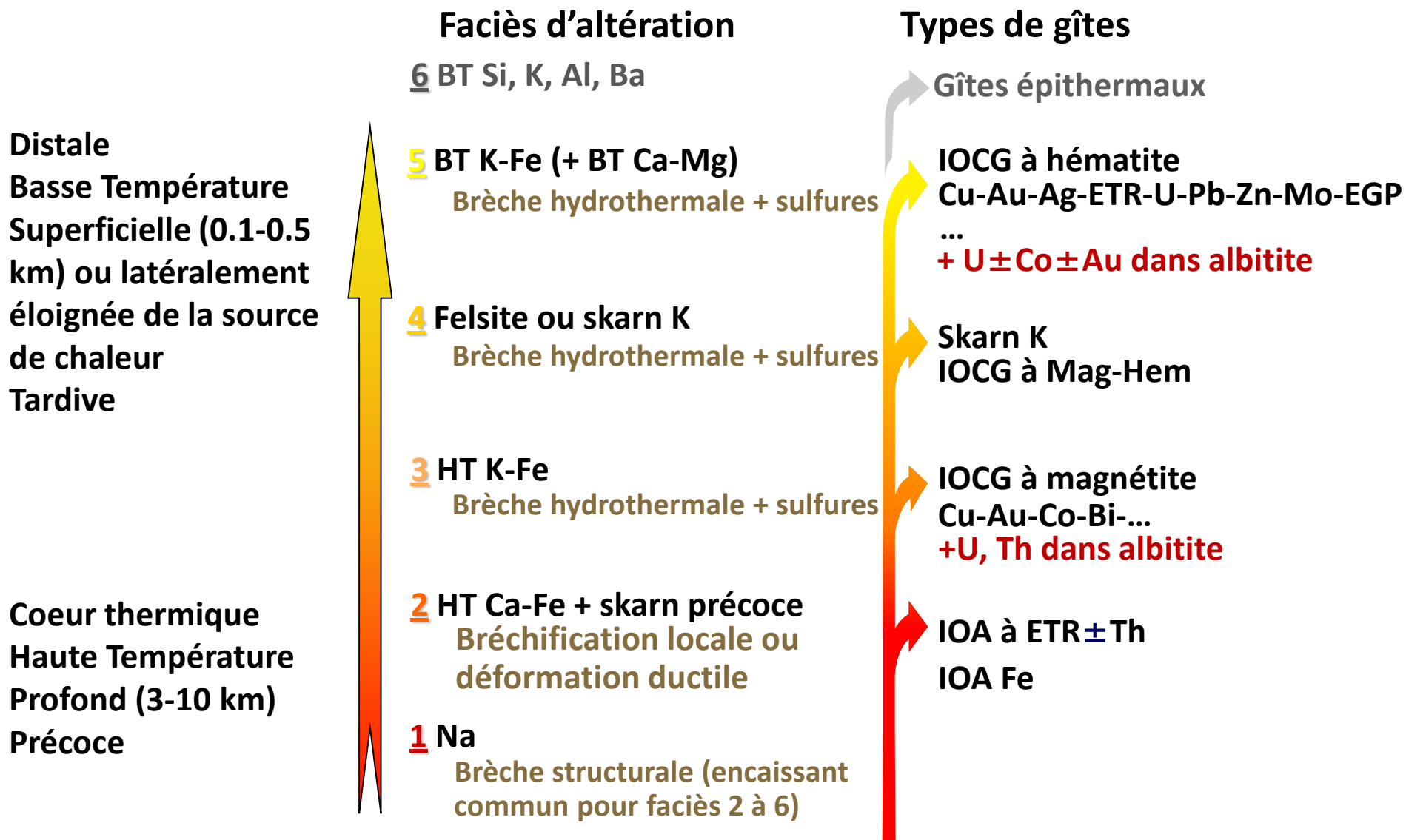
### Métaux (ppm)

- $Fe_2O_3 > 20$  wt%
- $WO_3 > 1000$  ppm
- $ThO_2 > 1000$
- $Au > 0.5$
- $Ag > 20$
- $V > 1000$
- $Ni > 2000$
- $Bi > 1000$
- $Co > 500$
- $Mo > 500$
- $U_3O_8 > 300$
- $Zn > 3000$
- $Pb > 4000$
- $Cu > 2000$
- $Ta > 20$
- $TREE > 2000$

Échantillons représentatifs avec teneurs au dessus de la limite des indices de Normin

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

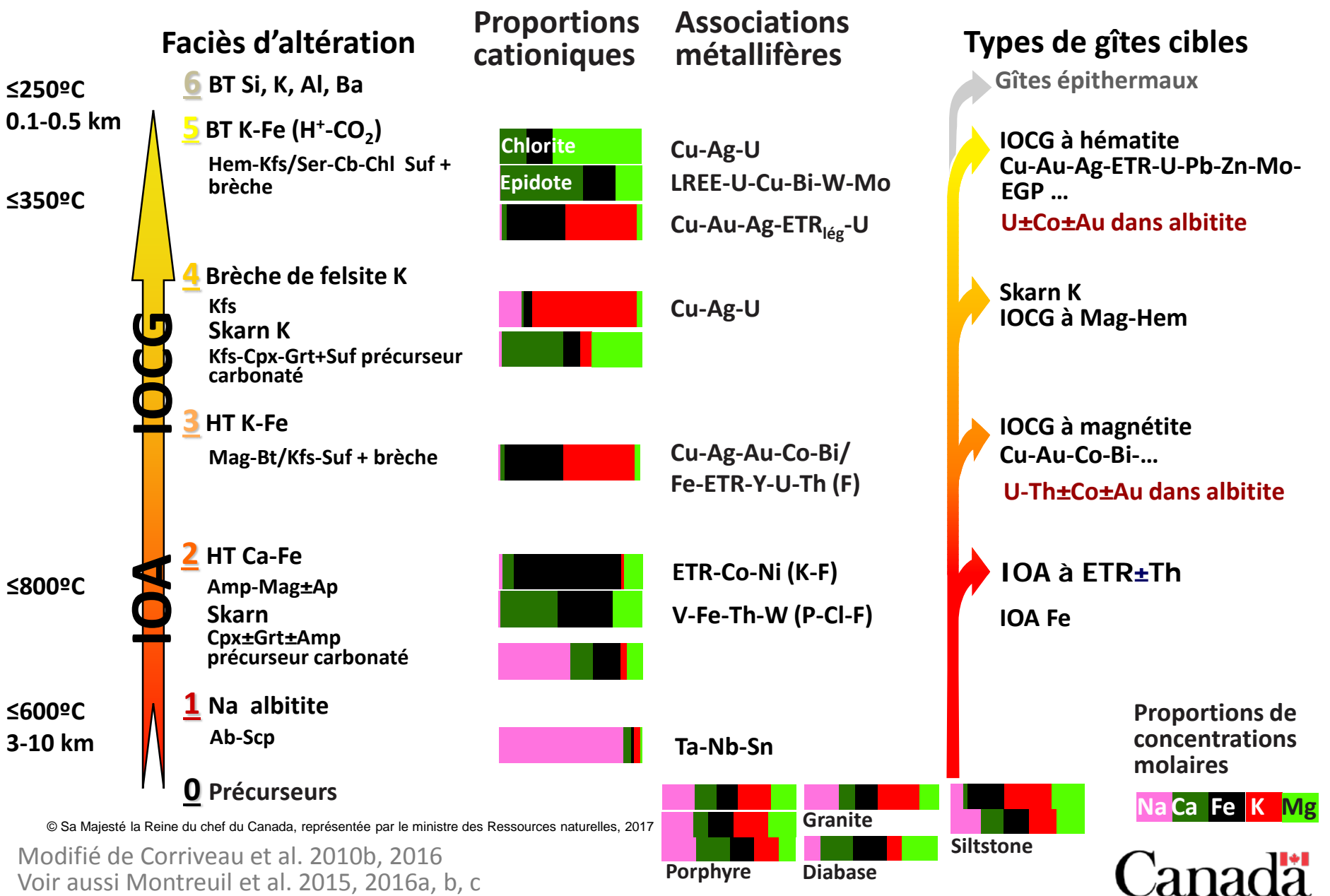
# Altération-bréchification-minéralisation



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



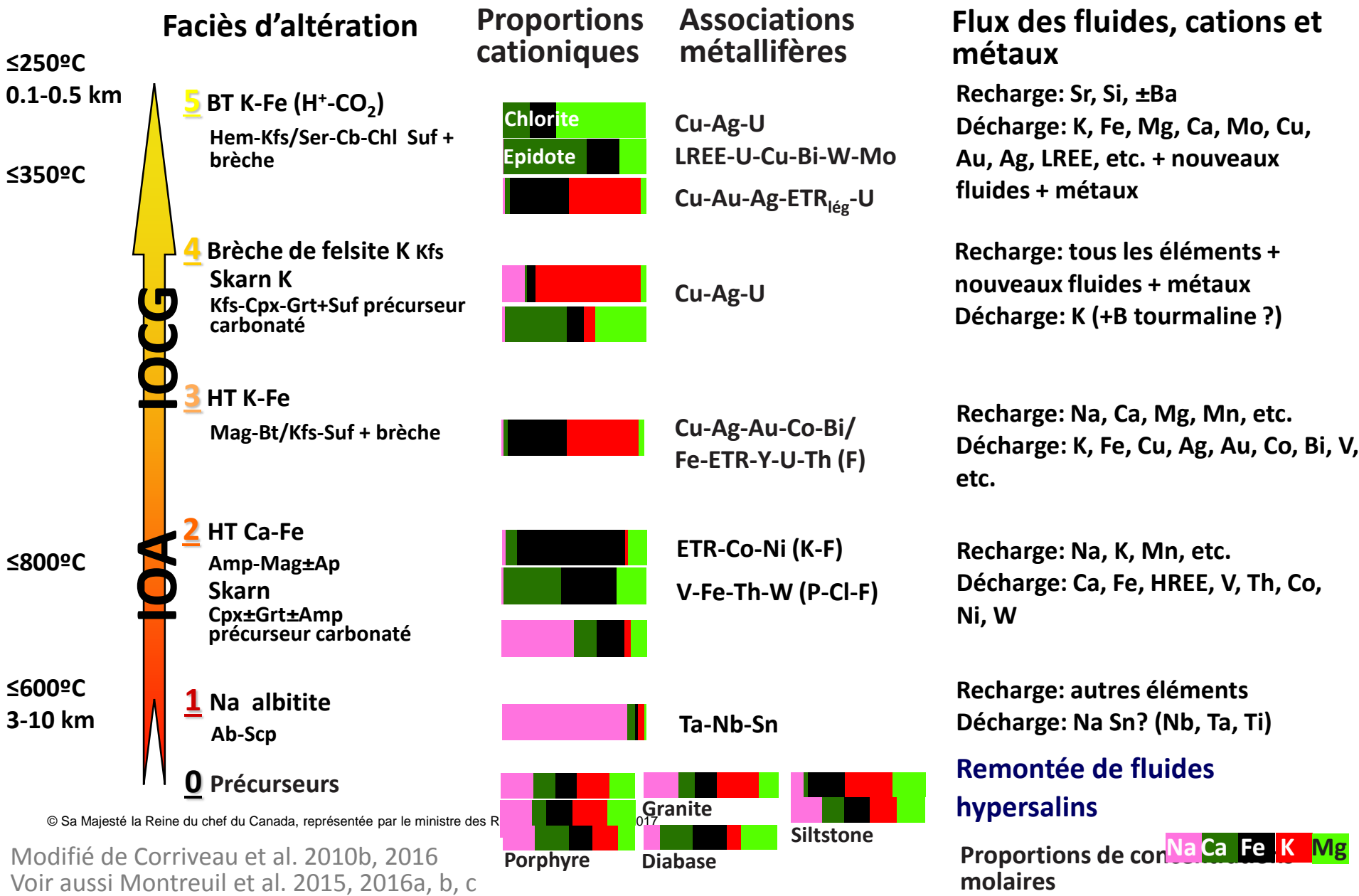
# Progradation des faciès d'altération et gîtes IOAA



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

Modifié de Corriveau et al. 2010b, 2016  
Voir aussi Montreuil et al. 2015, 2016a, b, c

# Progradation des faciès d'altération et gîtes IOAA





# Résultats des programmes GEM et IGC

## Systèmes IOAA

- Terminologie
- Caractéristiques géologiques
- Processus métasomatiques
- Mobilité des éléments
- Déclencheurs du métasomatisme
- Relations espace-temps
- Progradation et télésopage
- Associations métallifères
- Liens entre types de gîtes
- Modèle métallogénique
- Contexte géodynamique
- Architecture lithosphérique
- Critères clés

## Caractéristiques

- Roches encaissantes-suites magmatiques, bassins sédimentaires
- Attributs et empreintes des faciès d'altération (géologie, pétrologie, minéralogie, géochimie, propriétés physiques)
- Brèches, minéralisation
- Textures, structures
- Relations de recoupement
- Configurations spatiales 2D, 2.5D, 3D
- Défis et risques de mal discerner les IOAA

## Outils et vecteurs d'exploration

- Protocoles de cartographie
- Instruments portatifs
- Ciblage géophysique
- Géochimie du till
- Minéraux indicateurs
- Indices discriminants géochimiques
- Profils géochimiques
- États des lieux et obstacles et défis d'exploration
- Assises pour études environnementales
- Potentiel minéral

## Publications

- Cartes géologiques, géophysiques, chimie de l'altération et prédictives régionales et détaillées
- Jeu de données (géologie, géochimie, géochronologie, isotopes, propriétés physiques, composition chimique du till et des minéraux indicateurs)
- Levés géophysiques (magnétisme, gravité, radiométrie, magnétotellurisme)
- Articles, rapports, affiches, présentations scientifiques

Avec un fort accent sur les caractéristiques géologiques, chimiques et physiques afin d'optimiser la reconnaissance des systèmes IOAA et en comprendre les liens génétiques critiques entre les divers types de gîtes

# Projets GEM et IGC (CGC-NTGS)

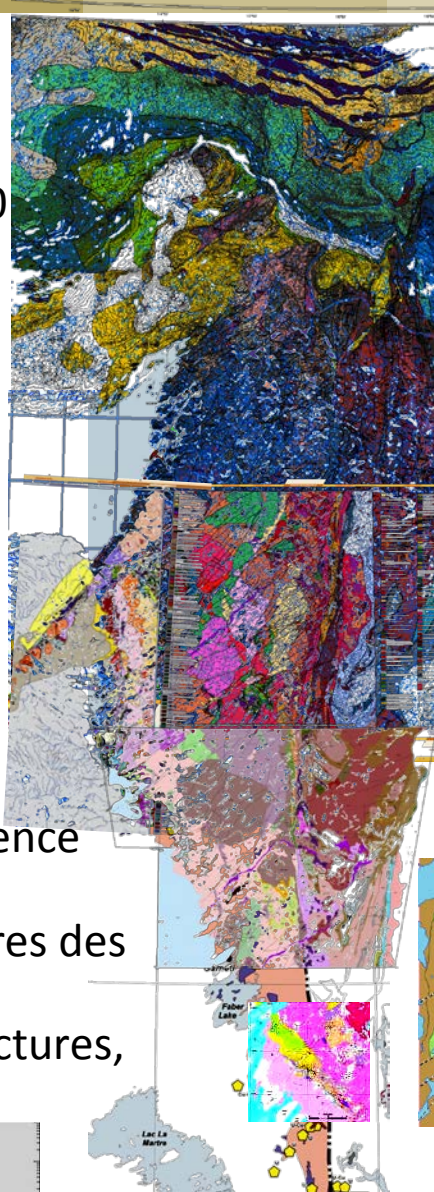
50 cartes (précurseurs + IOAA) +  
Information sur 62470 stations du socle et 290  
dépôts quaternaires (GEM + équipe R. Hildebrand)

- 4516 échantillons catalogués
- 18000 photos
- >20 systèmes IOAA + contexte
- 50 articles (publiés + en cours)
- 22 dossiers publics (publiés + en cours)
- 10 thèses/mémoires/essais + 6 stages
- 15 cours intensifs, >500 inscrits
- 2600 analyses géochimiques
- 200 CTscan, 100 profils ITRAX™
- 1100 eU, eTh, K,
- 900 densité/susceptibilité/résistivité/rémanence
- 114 analyses minéraux indicateurs et tills



Équipes: 35 étudiants en géologie + 10 membres des  
Premières Nations

Valeur ajoutée aux anciennes mines, infrastructures,  
résidus miniers



Systèmes

Grand lac  
de l'Ours

50 km



Port Radium-  
Echo Bay

Jackpot

Camsell R.

Grouard

Damp

Self

E. Hottah

Ham

JLD  
JD

deVries

Fab

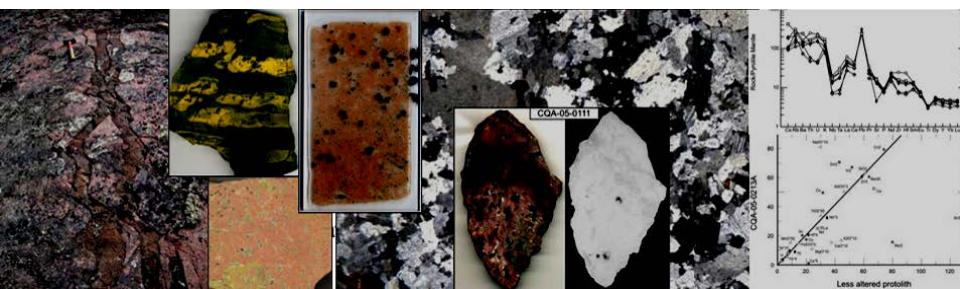
Sue Dianne

NICO

Southern Breccia

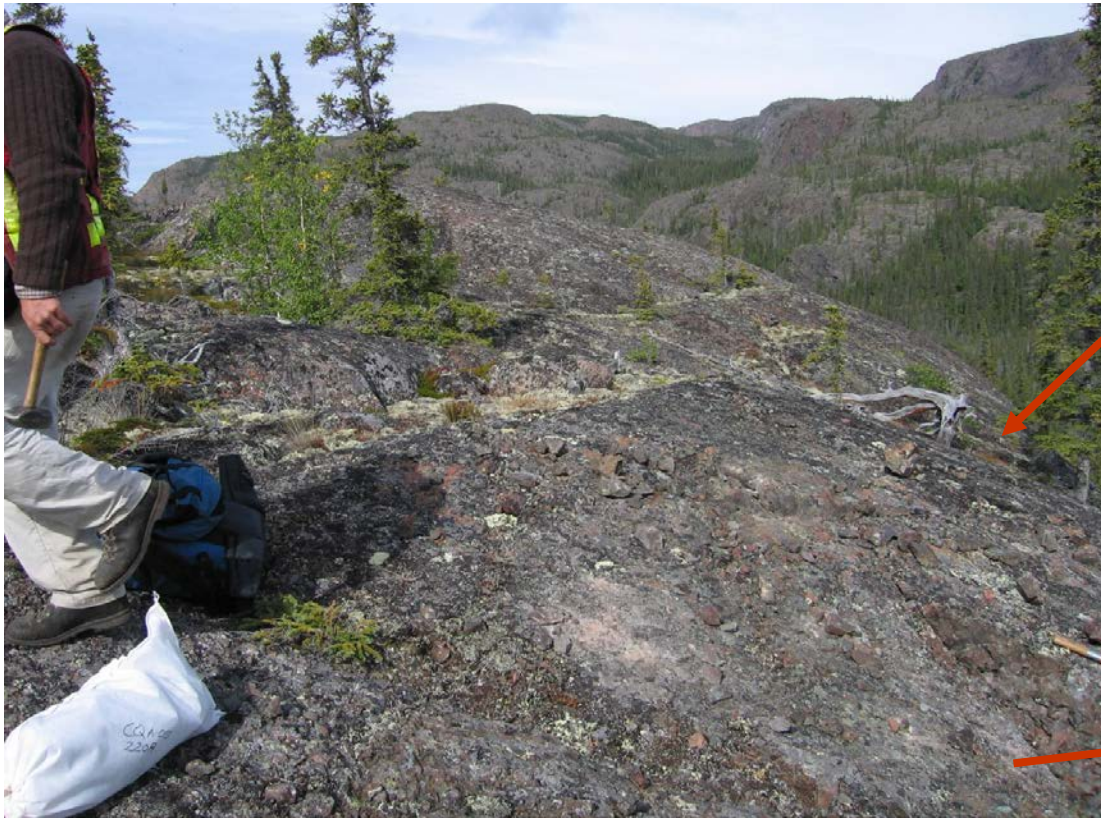
Burke, Duke,

South Duke, LP

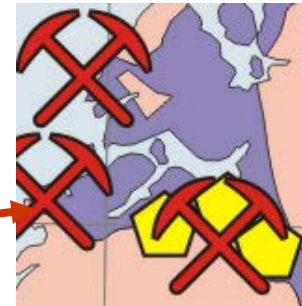


# Pour que les brèches et systèmes IOAA

ne soient plus cartographiées comme des agglomérats,  
des formations de fer, des amphibolites, non rapportées,  
non échantillonnées et leurs minéralisations non  
observées et non documentées



Brèche hydrothermale  
minéralisée. Souvent, seules  
les veines tardives ont été  
échantillonnées par le passé.



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

# Références citées

- Babo, J., Spandler, C., Oliver, N., Brown, M., Rubenach, M., Creaser, R.A., 2017, The high-grade Mo-Re Merlin deposit, Cloncurry District, Australia: Paragenesis and geochronology of hydrothermal alteration and ore formation: *Economic Geology*, v. 112, p. 397–422.
- Baker, H., Pattinson, D., Reardon, C., 2011, Technical review of the Kaunisvaara iron project, Sweden: SRK Consulting, National Instrument 43-101 Technical Report, available at [www.sedar.com](http://www.sedar.com).
- Baker, H., MacDougall, C., Pattinson, D., 2014, Technical review of the Hannukainen iron-copper-gold project, Kolari District, Finland: SRK Consulting, National Instrument 43-101 Technical Report, available at [www.sedar.com](http://www.sedar.com).
- Barton, M.D., 2014, Iron oxide(-Cu-Au-REE-P-Ag-U-Co) systems, in Holland, H.D. and Turekian, K.K., eds., *Treatise on geochemistry*, Second Edition, volume 13: Elsevier, p. 515–541.
- Belperio, A., Flint, R., Freeman, H., 2007, Prominent Hill: A Hematite-dominated, iron oxide copper-gold system: *Economic Geology*, v. 102, p. 1499–1510.
- Benavides, J., Kyser, T.K., and Clark, A.H., 2007, The Mantoverde iron oxide-copper-gold district, III región, Chile: The role of regionally derived, nonmagmatic fluids in chalcopyrite mineralization: *Economic Geology*, v. 102, p. 415–440.
- Béziat, D., Dubois, M., Debat, P., Nikiéma, S., Salvi, S., Tollon, F., 2008, Gold metallogeny in the Birimian craton of Burkina Faso (West Africa): *Journal of African Earth Sciences*, v. 50, p. 215–233.
- BHP Billiton, 2015, <http://www.bhpbilliton.com/home/investors/annualreporting2015.pdf>
- Bilenker, L.D., Simon, A.C., Reich, M., Lundstrom, C.C., Gajos, N., Bindeman, I., Barra, F., Munizaga, R., 2016, Fe–O stable isotope pairs elucidate a high-temperature origin of Chilean iron oxide-apatite deposits: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 177, p. 94–104.
- Bonnet, A.-L., Corriveau, L., 2007, Atlas et outils de reconnaissance de systèmes hydrothermaux métamorphisés dans les terrains gneissiques, in Goodfellow, W.D., ed., *Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, (DVD), 95 p.
- Bretzlaff, R., Kerswill, J.A., 2016, Mineral occurrences of the Great Bear magmatic zone: Geological Survey of Canada, Open File 7959, 7 p.
- Burgess, H., Gowans, R.M., Hennessey, B.T., Lattanzi, C.R., Puritch, E., 2014, Technical report on the feasibility study for the NICO gold-cobalt-bismuth-copper deposit, Northwest Territories, Canada: Fortune Minerals Ltd., NI 43-101 Technical Report No. 1335, 385 p. Available at [www.sedar.com](http://www.sedar.com)
- Cap, 2013, Annual operating summary: Available at [http://eng.cap.cl/wp-content/uploads/2014/08/cap\\_annual\\_report\\_2013.pdf](http://eng.cap.cl/wp-content/uploads/2014/08/cap_annual_report_2013.pdf)
- Chen, H., 2013, External sulphur in IOCG mineralization: Implications on definition and classification of the IOCG clan: *Ore Geology Reviews*, v. 51, p. 74–78.
- Chen, H., Clark, A.H., Kyser, T.K., Ullrich, T.D., Baxter, R., Chen, Y., Moody, T.C., 2010, Evolution of the giant Marcona-Mina Justa iron oxide-copper-gold district, south-central Peru: *Economic Geology*, v. 105, p. 155–185.
- Chen, W.T., Zhou, M.-F., 2012, Paragenesis, stable isotopes, and molybdenite Re-Os isotope age of the Lala iron-copper deposit, southwest China: *Economic Geology*, v. 107, p. 459–480.
- Chinova Resources, 2014, Merlin molybdenum / rhenium project, 2014: available at [http://www.inovaresources.com/images/pdf/Merlin\\_Project\\_%20Brisb\\_Mining\\_Conv\\_2014\\_v9.pdf](http://www.inovaresources.com/images/pdf/Merlin_Project_%20Brisb_Mining_Conv_2014_v9.pdf)

# Références citées

- Clark, T., Gobeil, A., Chev , S., 2010, Alterations in IOCG-type and related deposits in the Manitou Lake area, Eastern Grenville Province, Québec, in Corriveau, L. and Mumin, A.H., eds., Exploring for iron oxide copper–gold deposits: Canada and global analogues: Geological Association of Canada, Short Course Notes 20, p. 127–146.
- Chinova Resources, 2014, Merlin molybdenum / rhenium project, 2014: available at [http://www.inovaresources.com/images/pdf/Merlin\\_Project\\_%20Brisb\\_Mining\\_Conv\\_2014\\_v9.pdf](http://www.inovaresources.com/images/pdf/Merlin_Project_%20Brisb_Mining_Conv_2014_v9.pdf)
- Chinova Resources, 2017, Mount Elliott Swan Resource estimation update summary.
- Corriveau, L., 2007, Iron oxide copper–gold deposits: A Canadian perspective, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, v. 5, p. 307–328.
- Corriveau, L., 2013, Architecture de la ceinture m tas dimentaire centrale au Québec, Province de Grenville : un exemple de l'analyse de terrains de métamorphisme élevé: Geological Survey of Canada, Bulletin 586, 264 p., doi:10.4095/226449.
- Corriveau, L., 2017, Iron-oxide and alkali-calcic alteration ore systems and their polymetallic IOA, IOCG, skarn, albitite-hosted U<sub>±</sub>Au<sub>±</sub>Co, and affiliated deposits: a short course series. Part 1: Introduction: Geological Survey of Canada, Scientific Presentation 56, 80 p. <https://doi.org/10.4095/300241>
- Corriveau, L., Mumin, A.H., 2010, Exploring for iron oxide copper–gold deposits: The need for case studies, classifications and exploration vectors, in Corriveau, L. and Mumin, A.H., eds., Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues: Geological Association of Canada, Short Course Notes 20, p. 1–12.
- Corriveau, L., Spry, P., 2014, Metamorphosed hydrothermal ore deposits, in Holland, H.D. and Turekian, K.K., eds., Treatise on Geochemistry, Second Edition, Elsevier, v. 13, p. 175–194.
- Corriveau, L., Mumin, A.H., Setterfield, T., 2010a, IOCG environments in Canada: Characteristics, geological vectors to ore and challenges, in Porter, T.M., ed., Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective, volume 4–advances in the understanding of IOCG deposits: Porter Geoscience Consultancy Publishing, Adelaide, p. 311–344.
- Corriveau, L., Williams, P.J., Mumin, A.H., 2010b, Alteration vectors to IOCG mineralisation – from uncharted terranes to deposits, in Corriveau, L. and Mumin, A.H., eds., Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues: Geological Association of Canada, Short Course Notes 20, p. 89–110.
- Corriveau, L., Mumin, A.H., Montreuil, J.-F., 2011, The Great Bear magmatic zone (Canada): The IOCG spectrum and related deposit types: Society for Geology Applied to Mineral Deposits, 11<sup>th</sup>, Antofagasta, Chile, Extended Abstracts, p. 524–526.
- Corriveau, L., Nadeau, O., Montreuil, J.-F., Desrochers, J.-P., 2014, Report of activities for the Core Zone: Strategic geomapping and geoscience to assess the mineral potential of the Labrador Trough for multiple metals IOCG and affiliated deposits, Canada: Geological Survey of Canada, Open File 7714.
- Corriveau, L., Montreuil, J.-F., Potter, E.G., 2016, Alteration facies linkages among IOCG, IOA and affiliated deposits in the Great Bear magmatic zone, Canada, in Slack, J., Corriveau, L. and Hitzman, M., eds., Proterozoic iron oxide-apatite (± REE) and iron oxide-copper-gold and affiliated deposits of Southeast Missouri, USA, and the Great Bear magmatic zone, Northwest Territories, Canada: Economic Geology, v. 111, p. 2045–2072.

# Références citées

- Corriveau, L., Potter, E.G., Acosta-Gongora, P., Blein, O., Montreuil, J.-F., De Toni, A.F., Day, W., Slack, J.F., Ayuso, R.A., Hanes, R., 2017, Petrological mapping and chemical discrimination of alteration facies as vectors to IOA, IOCG, and affiliated deposits within Laurentia and beyond: Proceedings of the 14<sup>th</sup> SGA Biennial Meeting, 20-23 August 2017, Québec City, p. 851–855.
- Corriveau, L., Potter, E.G., Montreuil, J.-F., DeToni, A., Blein, O., sous presse a, Les systèmes minéralisateurs à oxydes de fer et altération à éléments alcalins ( $\pm$ calciques), et leurs gîtes IOA, IOCG, skarns, U $\pm$ Au $\pm$ Co (au sein d'albitites) et affiliés: une série de cours intensifs. Partie 2: Aperçu général des types de gîtes, distribution, âges, contextes, exemples, faciès d'altération, modèles métallogéniques: Commission géologique du Canada, Présentation scientifique, 1 fichier pptx.
- Corriveau, L., Montreuil, J.F., Potter, E.G., DeToni, A.F., sous presse b, Les systèmes minéralisateurs à oxydes de fer et altération à éléments alcalins ( $\pm$ calciques), et leurs gîtes IOA, IOCG, skarns, U $\pm$ Au $\pm$ Co (au sein d'albitites) et affiliés: une série de cours intensifs. Partie 3: La zone magmatique du Grand lac de l'Ours et autres contextes canadiens d'intérêt: Commission géologique du Canada, Présentation scientifique, 1 fichier pptx.
- Corriveau, L., Montreuil, J.F., Potter, E.G., DeToni, A.F., sous presse c, Les systèmes minéralisateurs à oxydes de fer et altération à éléments alcalins ( $\pm$ calciques), et leurs gîtes IOA, IOCG, skarns, U $\pm$ Au $\pm$ Co (au sein d'albitites) et affiliés: une série de cours intensifs. Attributs métasomatiques (remplacement, veines, brèches, minéralisation, cheminement prograde): Commission géologique du Canada, Présentation scientifique, 1 fichier pptx .
- Couture, J.-F., Cole, G., Poxleitner, G., Nilsson, J., Dance, A., Scott, C.C., 2014, Technical report for the Candelaria and Ojos del Salado copper projects, Chile: SRK Consulting, National Instrument 43-101 Technical Report prepared for Lundin Mining Corporation, 134 p., available at [www.sedar.com](http://www.sedar.com).
- Cuney, M., Kyser, K., 2008. Deposits related to Na-metamorphism and high-grade metamorphism. Recent and not-so-recent developments in uranium deposits and implications for exploration, in Cuney, M. and Kyser, K., eds., Short Course Series, 39. Mineralogical Association of Canada, pp. 97–116.
- Daliran, F., Stosch, H.-G., Williams, P.J., Jamali, H., Dorri, M.-B., 2010, Early Cambrian iron oxide-apatite-REE (U) deposits of the Bafq district, east-central Iran, in Corriveau, L. and Mumin, A.H., eds., Exploring for iron oxide copper–gold deposits: Canada and global analogues: Geological Association of Canada, Short Course Notes 20, p. 147–159.
- Davidson, G.J., Paterson, H., Meffre, S., Berry, R.F., 2007, Characteristics and origin of the Oak Dam East breccia-hosted, iron oxide-Cu-U-(Au) deposit: Olympic Dam region, Gawler Craton, South Australia: Economic Geology, v. 102, p. 1471–1498.
- Day, W.C., Slack, J.F., Ayuso, R.A., Seeger, C.M., 2016, Regional geologic and petrologic framework for iron oxide  $\pm$  apatite  $\pm$  rare earth element and iron oxide copper-gold deposits of the Mesoproterozoic St. Francois Mountains Terrane, Southeast Missouri, USA, in Slack, J., Corriveau, L. and Hitzman, M., eds., Proterozoic iron oxide-apatite ( $\pm$  REE) and iron oxide-copper-gold and affiliated deposits of Southeast Missouri, USA, and the Great Bear magmatic zone, Northwest Territories, Canada: Economic Geology, v. 111, p. 1825–1858.
- Desrochers, J.-P., 2014, Technical report on the Sagar property, Romanet Horst, Labrador Trough, Québec, Canada (latitude, 56°22'N and longitude 68°00'W; NTS Map sheets 24B/05 and 24C/08); National Instrument 43–101 Technical Report prepared for Honey Badger Exploration Inc., available at [www.sedar.com](http://www.sedar.com).
- Doeblich, J.L., Al-Jehani, A.M., Siddiqui, A.A., Hayes, T.S., Wooden, J.L., Johnson, P.R., 2007, Geology and metallogeny of the Ar Rayn terrane, eastern Arabian shield: Evolution of a Neoproterozoic continental-margin arc during assembly of Gondwana within the East African orogeny: Precambrian Research, v. 158, p. 17–50.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Références citées

- Dragon Mining, 2012, Resource update for the Hangaslampi deposit, Kuusamo gold project: ASX announcement June 2012
- Dragon Mining, 2014, Resource updates lift Kuusamo ounces: ASX announcement, March 2014.
- Duncan, R.J., Hitzman, M.W., Nelson, E.P., Togtokhbayar, O., 2014, Structural and lithological controls on iron oxide copper-gold deposits of the southern Selwyn-Mount Dore corridor, Eastern Fold Belt, Queensland, Australia: *Economic Geology*, v. 109, p. 419–456.
- Ehrig, K., McPhie, J., Kamenetsky, V.S., 2012, Geology and mineralogical zonation of the Olympic Dam iron oxide Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia, in Hedenquist, J.W., Harris, M., Camus, F., eds. *Geology and genesis of major copper deposits and districts of the world: A tribute to Richard H. Sillitoe*: *Economic Geology Special Publication 16*, p. 237–267.
- Ehrig, K., Kamenetsky, V.S., McPhie, J., Apukhtina, O., Ciabanu, C.L., Cook, N., Kontonikas-Charos, A., Krneta, S., 2017, The IOCG-IOA Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit and nearby prospects, South Australia: *Proceedings of the 14<sup>th</sup> SGA Biennial Meeting, 20-23 August 2017, Québec City*, p. 823–827.
- Engvik, A.K., Ihlen, P.M., Austrheim, H., 2014, Characterisation of Na-metasomatism in the Sveconorwegian Bamble Sector of South Norway. *Geoscience Frontiers*, v. 54, p. 659–672.
- Engvik, A.K., Corfu, F., Solli, A., Austrheim, H., 2017, Sequence and timing of mineral replacement reactions during albitisation in the high-grade Bamble lithotectonic domain, S-Norway: *Precambrian Research*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2017.01.010>
- Fan, H.R., Yang, K.F., Hu, F.F., Liu, S., Wang, K.Y., 2015, The giant Bayan Obo REE-Nb-Fe deposit, China: Controversy and ore genesis: *Geoscience Frontiers*, doi: [10.1016/j.gsf.2015.11.005](https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.11.005)
- First Quantum Minerals, 2013, Guelb Moghrein Mineral reserves, Available at: [www.first-quantum.com/Our-Business/operating-mines/Guelb-Moghrein/Reserves-Resources/default.aspx](http://www.first-quantum.com/Our-Business/operating-mines/Guelb-Moghrein/Reserves-Resources/default.aspx)
- Gandhi, S.S., 1978, Geological setting and genetic aspects of uranium occurrences in the Kaipokok Bay-Big River area, Labrador: *Economic Geology*, v. 73, p. 1492–1522.
- Gandhi, S.S., 1994, Geological setting and genetic aspects of mineral occurrences in the southern Great Bear Magmatic Zone, Northwest Territories, in Sinclair WD, Richardson DG., eds., *Studies of rare-metal deposits in the Northwest Territories: Geological Survey of Canada, Bulletin 475*, p. 63–96.
- Graupner, T., Mühlbachb, C., Schwarz-Schampera, U., Henjes-Kunst, F., Melcher, F., Terblanche, H., 2015, Mineralogy of high-field-strength elements (Y, Nb, REE) in the world-class Vergenoeg fluorite deposit, South Africa: *Ore Geology Reviews*, v. 64, p. 583–601.
- Groves, D.I., Bierlein, F.P., Meinert, L.D., Hitzman, M.W., 2010, Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits through Earth history. Implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits: *Economic Geology*, v. 105, p. 641–654.
- GTK, 2015, Hannukainen deposit: GTK (Geological Survey of Finland), Mineral Deposit Report, 462, p. 1. [http://tupa.gtk.fi/karttasovellus/mdae/raportti/462\\_Hannukainen.pdf](http://tupa.gtk.fi/karttasovellus/mdae/raportti/462_Hannukainen.pdf)
- Hennessey, B.T., Puritch, E., 2008, A technical report on a mineral resource estimate for the Sue-Dianne deposit, Mazenod Lake area, Northwest Territories, Canada: Fortune Minerals Limited, NI 43-101 Technical Report, 125 p. Available at [www.sedar.com](http://www.sedar.com)
- Hildebrand, R.S., 1986, Kiruna-type deposits: Their origin and relationship to intermediate subvolcanic plutons in the Great Bear magmatic zone, Northwestern Canada: *Economic Geology*, v. 81, p. 640–659.



# Références citées

- Hitzman, M.C., 2000, Iron oxide-Cu-Au deposits. What, where, when, and why?, in Porter, T.M., ed., Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits. A global perspective, volume 1: Porter Geoscience Consultancy Publishing, Adelaide, p. 9–25.
- Hitzman, M.W., Valenta, R.K., 2005, Uranium in iron oxide-copper-gold (IOCG) systems: *Economic Geology*, v. 100, p. 1657–1661.
- Hitzman, M.W., Oreskes, N., Einaudi, M.T., 1992, Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits: *Precambrian Research*, v. 58, p. 241–287.
- Intrepid Mines, 2014, Kitumba mineral resources update and ore reserve: Intrepid Mines website, available at [intrepidmines.com.au](http://intrepidmines.com.au)
- Ismail, R., Ciobanu, C.L., Cook, N.J., Giles, D., Schmidt-Mumm, A., Wade, B., 2014, Rare earths and other trace elements in minerals from skarn assemblages, Hillside iron oxide–copper–gold deposit, Yorke Peninsula, South Australia: *Lithos*, v. 184–187, p. 456–477.
- Jones, J.K., 1974, Notes on the Boss copper deposit, Dent County, Missouri: Unpublished report for Essex International, Inc., 3 p. (cited in Day et al. 2016)
- Kerr, A., Sparkes, G.W., 2009, Uranium, in *Mineral commodities of Newfoundland and Labrador*, No 5.
- Knight, J., Joy, S., Cameron, J., Merrillees, J., Nag, S., Shah, N., Dua, G., Jhala, K., 2002, The Khetri copper belt, Rajasthan, in Porter, T.M., ed., Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits. A global perspective, volume 2: Porter Geoscience Consultancy Publishing, Adelaide, p. 321–341.
- Knipping, J.L., Bilenker, L.D., Simon, A.C., Reich, M., Barra, F., Deditius, A.P., Lundstrom, C., Bindeman, I., Munizaga, R., 2015, Giant Kiruna-type deposits form by efficient flotation of magmatic magnetite suspensions: *Geology*, v. 43, p. 591–594, doi: 10.1130/G36650.1.
- Kontonikas-Charos, K., Ciobanu, C.L., Cook, N.J., 2014, Albitization and redistribution of REE and Y in IOCG systems: Insights from Moonta-Wallaroo, Yorke Peninsula, South Australia: *Lithos*, v. 208–209, p. 178–201.
- Li, X., Zhao, X., Zhou, M.-F., Chen, W. T., Chu, Z., 2015, Fluid inclusion and isotopic constraints on the origin of the Paleoproterozoic Yinachang Fe-Cu-(REE) deposit, southwest China: *Economic Geology*, v. 110, p. 1339–1369.
- L.K.A.B., 2013, Annual report: Luleå, Sweden: Luleå Grafiska, 138 p.
- Lobo-Guerrero S.A., 2010, Iron oxide–copper–gold mineralization in the greater Lufilian arc, Africa, in Corriveau, L. and Mumin, A.H., eds., Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues: Geological Association of Canada, Short Course Notes 20, p. 161–175.
- Lyons, J.I., 1988, Volcanogenic iron-oxide deposits, Cerro de Mercado and vicinity, Durango, Mexico: *Economic Geology*, v. 83, p. 1886–1906.
- Martinsson, O., Billström, K., Broman, C., Weihed, P., Wanhainen, C., 2016, Metallogeny of the Northern Norrbotten Ore Province, northern Fennoscandian Shield with emphasis on IOCG and apatite-iron ore deposits: *Ore Geology Reviews*, v. 78, p. 447–492.
- Metal X, 2016, [https://www.metalsx.com.au/system/assets/89/original/Metals\\_X\\_2016\\_Annual\\_Report.pdf](https://www.metalsx.com.au/system/assets/89/original/Metals_X_2016_Annual_Report.pdf)
- Montreuil, J.-F., Corriveau, L., Grunsky, E.C., 2013, Compositional data analysis of IOCG systems, Great Bear magmatic zone, Canada: To each alteration types its own geochemical signature: *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, v. 13, p. 229–247.
- Montreuil, J.-F., Corriveau, L., Potter, E.G., 2015, Formation of albitite-hosted uranium within IOCG systems: The Southern Breccia, Great Bear magmatic zone, Northwest Territories, Canada: *Mineralium Deposita*, v. 50, p. 293–325.



# Références citées

- Montreuil, J.-F., Corriveau, L., Davis, W., 2016a, Tectonomagmatic evolution of the southern Great Bear magmatic zone (Northwest Territories, Canada) – Implications on the genesis of iron oxide alkali-altered hydrothermal systems, in Slack, J., Corriveau, L. and Hitzman, M., eds., Proterozoic iron oxide-apatite ( $\pm$  REE) and iron oxide-copper-gold and affiliated deposits of Southeast Missouri, USA, and the Great Bear magmatic zone, Northwest Territories, Canada: *Economic Geology*, v. 111, p. 2111–2138.
- Montreuil, J.-F., Potter, E., Corriveau, L., Davis, W.J., 2016b, Element mobility patterns in magnetite-group IOCG systems: The Fab IOCG system, Northwest Territories, Canada: *Ore Geology Reviews*, v. 72, p. 562–584.
- Montreuil, J.-F., Corriveau, L., Potter, E.G., De Toni, A.F., 2016c, On the relation between alteration facies and metal endowment of iron oxide–alkali –altered systems, southern Great Bear Magmatic Zone (Canada), in Slack, J., Corriveau, L. and Hitzman, M., eds., Proterozoic iron oxide-apatite ( $\pm$  REE) and iron oxide-copper-gold and affiliated deposits of Southeast Missouri, USA, and the Great Bear magmatic zone, Northwest Territories, Canada: *Economic Geology*, v. 111, p. 2139–2168.
- Mumin, A.H., Corriveau, L., Somarin, A.K., Ootes, L., 2007, Iron oxide copper-gold-type polymetallic mineralisation in the Contact Lake Belt, Great Bear Magmatic Zone, Northwest Territories, Canada: *Exploration and Mining Geology*, v. 16, p. 187–208.
- Mumin, A.H., Somarin, A.K., Jones, B., Corriveau, L., Ootes, L., Camier, J., 2010, The IOCG-porphyry-epithermal continuum of deposits types in the Great Bear magmatic zone, Northwest Territories, Canada, in Corriveau, L. and Mumin, A.H., eds., *Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues*: Geological Association of Canada, Short Course Notes 20, p. 59–78.
- N9GBYBGMR (No. 9 Geological Brigade of the Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources), 1983, Report of exploration and prospecting of the Dahongshan iron and copper deposits, Xiping County, Yunnan Province: Unpublished report, p. 377.
- Nold, J.L., Davidson, P., Dudley, M.A., 2013, The Pilot Knob magnetite deposit in the Proterozoic St. Francois Mountains Terrane, southeast Missouri, USA: A magmatic and hydrothermal replacement iron deposit: *Ore Geology Review*, v. 53, p. 446–469.
- Nold, J.L., Dudley, M.A., Davidson, P., 2014, The Southeast Missouri (USA) Proterozoic iron metallogenic province—Types of deposits and genetic relationships to magnetite–apatite and iron oxide–copper–gold deposits: *Ore Geology Review*, v. 57, p. 154–171.
- Oyarzun, R., Oyarzún, J., Ménard, J.J., Lillo, J., 2003, The Cretaceous iron belt of northern Chile: Role of oceanic plates, a superplume event, and a major shear zone: *Mineralium Deposita*, v. 38, p. 640–646.
- Oz Minerals, 2013, Annual Carrapateena Resource Update – 2013: ASX Release, 28 November 2013, 25 p.
- Oz Minerals, 2014a, Initial 202 Mt at 0.6% copper resource for Khamsin: ASX Release 26 May 2014, 20 p.
- Oz Minerals, 2014b, Annual resource and reserve update for Prominent Hill: ASX Release 20 November 2014, 50 p.
- Oz Minerals, 2017, Carrapateena project mineral resource restatement and ore reserve statement. Available at: <https://www.ozminerals.com/media/oz-minerals-carrapateena-mineral-resource-and-ore-reserve-statement/>
- Paladin Energy, 2015a, Michelin deposit, geology and resources: Accessed February 2015, <http://www.paladinenergy.com.au/default.aspx?MenuID=197>
- Paladin Energy, 2015b, Valhalla uranium deposit, mineral resources: Accessed February 2015, <http://www.paladinenergy.com.au/default.aspx?MenuID=35>



# Références citées

- Perreault, S., Lafrance, B., 2015, Kwyljibo, a REE-enriched iron oxides-copper-gold (IOCG) deposit, Grenville Province, Québec, in Simandl, G.J. and Neetz, M., eds., Symposium on strategic and critical materials proceedings, November 13-14, 2015, Victoria, British Columbia: British Columbia Ministry of Energy and Mines, British Columbia Geological Survey Paper 2015-3, p. 139–145.
- Polito, P.A., Kyser, T.K., Stanley, C., 2009, The Proterozoic, albitite-hosted, Valhalla uranium deposit, Queensland, Australia: A description of the alteration assemblage associated with uranium mineralization in diamond drill hole V39: *Mineralium Deposita*, v. 44, p. 11–40.
- Porter, T.M., 2010a, Current understanding of iron oxide associated-alkali altered mineralised systems. Part 1 - An overview, in Porter, T.M., ed., *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits. A global perspective, volume 3: Porter Geoscience Consultancy Publishing, Adelaide*, p. 5–32.
- Porter, T.M., 2010b, The Carrapateena iron oxide copper-gold deposit, Gawler Craton, South Australia: A review, in Porter, T.M., ed., *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits. A global perspective, volume 3: Porter Geoscience Consultancy Publishing, Adelaide*, p. 191–200.
- Porto da Silveira, C.L., Schorscher, H.D., Miekeley, N., 1991, The geochemistry of albitization and related uranium mineralization, Espinharas, Paraiba (PB), Brazil: *Journal Geochemistry Exploration*, v. 40, p. 329–347.
- Potter, E.G., Corriveau, L., Kerswill, J.K., 2013, Potential for iron oxide-copper-gold and affiliated deposits in the proposed national park area of the East Arm, Northwest Territories: Insights from the Great Bear magmatic zone and global analogs, in Wright, D.F., Kjarsgaard, B.A., Ambrose, E.J., and Bonham-Carter, G.F., eds., *Mineral and energy resource assessment for the proposed Thaidene Nene National Park reserve, East Arm of Great Slave Lake, Northwest Territories: Geological Survey of Canada, Open File 7196, Chapter 19*, p. 477–493.
- Puritch, E., Ewert, W., Armstrong, T., Brown, F., Orava, D., Pearson, J.L., Hayes, T., Duggan, T., Holmes, G., Uceda, D., Sumners, W., Mackie, D., Rougier, M., Bocking, K., Mezei, A., Horne, B., 2012a, Technical report and updated mineral reserve estimate and front-end engineering and design (FEED) study on the NICO gold-cobalt-bismuth-copper deposit, Mazenod Lake area, Northwest Territories, Canada: NI 43-101 Technical Report No. 247 prepared for Fortune Minerals Ltd., 307 p.
- Puritch, E., Rodgers, K., Pearson, J.L., Burga, D., Orava, D., Hayden, A., 2012b, Technical report and preliminary economic assessment of the Upper Beaver gold-copper deposit, Kirkland Lake, Ontario, Canada: NI 43-101 Technical Report No. 239, 178 p.
- Rex Minerals Ltd., 2015, Hillside project, mineral resources and ore reserves: Accessed at [www.rexminerals.com.au](http://www.rexminerals.com.au)
- Rieger, A.A., Marschik, R., Díaz, M., 2010, The Mantoverde district, northern Chile: An example of distal portions of zoned IOCG systems, in Porter, T.M., ed., *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective, volume 3: Porter Geoscience Consultancy Publishing, Adelaide, Australia*, p. 273–284.
- Schofield, A., 2012, An assessment of the uranium and geothermal prospectivity of the southern Northern Territory: *Geoscience Australia, Record 2012/51*, 6 plates, 214 p.
- Skanderberg, B.N., 2001, A synopsis of iron oxide  $\pm$  Cu  $\pm$  Au  $\pm$  P  $\pm$  REE deposits with emphasis on the geology, metallogeneses, and exploration potential of the Great Bear magmatic zone, Northwest Territories, Canada, Unpublished PhD thesis, Rhodes University, South Africa, 87 p.



# Références citées

- Skirrow, R.G., 2000, Gold-copper-bismuth deposits of the Tennant Creek district, Australia: A reappraisal of diverse high-grade systems, in Porter, T.M., ed., Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective, Volume 1: Porter Geoscience Consultancy Publishing, Adelaide, p. 149–160.
- Skirrow, R., 2010, "Hematite-group" IOCG±U ore systems. Tectonic settings, hydrothermal characteristics, and Cu-Au and U mineralizing processes, in Corriveau, L. and Mumin, A.H., eds., Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues: Geological Association of Canada, Short Course Notes 20, p. 39–58.
- Slack, J., 2013, Descriptive and geoenvironmental model for cobalt–copper–gold deposits in metasedimentary rocks: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–G, 218 p.
- Sparkes, G.W., 2017, Uranium mineralization within the Central Mineral Belt of Labrador: A summary of the diverse styles, settings and timing of mineralization. Government of Newfoundland and Labrador: Department of Natural Resources, Geological Survey, St. John's, Open File LAB/1684, 198p.
- Tornos, F., Velasco, F., Hanchar, J.M., 2016, Iron-rich melts, magmatic magnetite, and superheated hydrothermal systems: The El Laco deposit, Chile: *Geology*, v. 44 (6), p. 427–430.
- Turner, D., 2012, Independent technical report on the Kiyuk Lake property, Nunavut Territory, Canada: National Instrument 43-101 report available on [www.sedar.com](http://www.sedar.com).
- Vanhanen, E., 2001, Geology, mineralogy and geochemistry of the Fe-Co-Au-(U) deposits in the Paleoproterozoic Kuusamo Schist Belt, northeastern Finland: *Geological Survey of Finland Bulletin*, v. 399, 229 p.
- Waller, C.G., Robertson, M.J., Witley, J.C., Carthew, G.H., Morgan, D.J.T., 2014, Kitumba copper project, optimised pre-feasibility study: NI 43-101 Technical Report, prepared for Intrepid Mines Limited by Lycopodium Minerals Pty Ltd, 279 p.
- Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals: *American Mineralogist*, v. 95, p. 185–187.
- Wilde, A., 2013, Towards a model for albitite-type uranium: *Minerals*, v. 3, p. 36–48.
- Williams, P.J., 2010a, Classifying IOCG deposits, in Corriveau, L. and Mumin, A.H., eds., Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues: Geological Association of Canada, Short Course Notes 20, p. 13–22.
- Williams, P.J., 2010b, "Magnetite-group" IOCGs with special reference to Cloncurry (NW Queensland) and Northern Sweden. Settings, alteration, deposit characteristics, fluid sources, and their relationship to apatite-rich iron ores, in Corriveau, L. and Mumin, A.H., eds., Exploring for iron oxide copper-gold deposits: Canada and global analogues: Geological Association of Canada, Short Course Notes 20, p. 23–38.
- Williams, P.J., Barton, M.D., Johnson, D.A., Fontbote, L., de Haller, A., Mark, G., Oliver, N.H.S., Marschik, R., 2005, Iron oxide copper-gold deposits: geology, space-time distribution, and possible modes of origin: *Economic Geology 100<sup>th</sup> Anniversary Volume*, p. 371–406.
- Woolrych, T.R.H., Christensen, A.N., McGill, D.L., Whiting, T., 2015, Geophysical methods used in the discovery of the Kitumba iron oxide copper gold deposit: *Interpretation*, v. 3, p. SL15–SL25

# Références citées

- Wu, C., 2008, Bayan Obo controversy: carbonatites versus iron oxide-Cu\_Au(REE-U): *Resources Geology*, v. 58, p. 348–354.
- Zhao, X.-F Zhou, M.-F., Su, Z.-K., Li, X.-C., Chen, W.-T., Li, J.-W., 2017, Geology, geochronology, and geochemistry of the Dahongshan Fe-Cu-(Au-Ag) deposit, Southwest China: Implications for the formation of iron oxide copper-gold deposits in intracratonic rift settings: *Economic Geology*, v. 112, in press.
- Zhu, Z.M., Zeng, L.X., Zhou, J.Y., Luo L.P., Chen, J.B., Shen, B., 2009, Lala iron oxide-copper-gold deposit in Sichuan Province: Evidence from mineralogy: *Geological Journal of China Universities*, v. 15, p. 485-495. (in Chinese with English abstract).
- Zulinski, N., Osmani, I.A., 2011, Assessment report on the 2010 exploration programs Coldstream property Burchell Lake area and Moss Township district of Thunder Bay, Northwestern Ontario, NTS Map Sheet 52B10: Foundation Resources Inc, Assessment Report available at [www.sedar.com](http://www.sedar.com).



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



# Pour information additionnelle

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

## Exploring for Iron Oxide Copper-Gold Deposits Canada and Global Analogues

Chapitre 1 - Exploring for iron oxide copper-gold (Ag-Bi-Co-U) deposits – the need for case studies, classifications and exploration vectors

Louise Corriveau, Hamid Mumin

**Association géologique du Canada**  
**Notes de cours intensifs 20**

Chapitre 2 - Classifying IOCG deposits

Patrick J. Williams

Chapitre 3 - "Magnetite-group" IOCGs with special reference to Cloncurry and Northern Sweden: settings, alteration, deposit characteristics, fluid sources, and their relationship to apatite-rich iron ores

Patrick J. Williams

Chapitre 4 - "Hematite-group" IOCG±U ore systems: tectonic settings, hydrothermal characteristics, and Cu-Au and U mineralising processes

Roger Skirrow

Chapitre 5 - The IOCG-porphyry-epithermal continuum of deposits types in the Great Bear Magmatic Zone, Northwest Territories, Canada

Hamid Mumin, A.K. Somarin, B. Jones, L. Corriveau, L. Ootes, J. Camier



# Pour information additionnelle

Chapitre 6 - Use of breccias in IOCG(U) exploration

*Michel Jébrak*

Chapitre 7 - Alteration Vectors to IOCG mineralization – from uncharted terranes to deposits

*Louise Corriveau, Patrick Williams, Hamid Mumin*

Chapitre 8 - Iron oxides trace element fingerprinting of mineral deposit type

*Georges Beaudoin + Céline Dupuis*

Chapitre 9 - Alterations in IOCG-type and related deposits in the Manitou Lake area, eastern Grenville Province, Québec

*Tom Clark, André Gobeil and Serge Chevé*

Chapitre 10 - Lower Cambrian iron oxide-apatite-ree (u) deposits of the Bafq District, east-central Iran

*Farahnaz Daliran, Heinz-Günther Stosch and Patrick Williams*

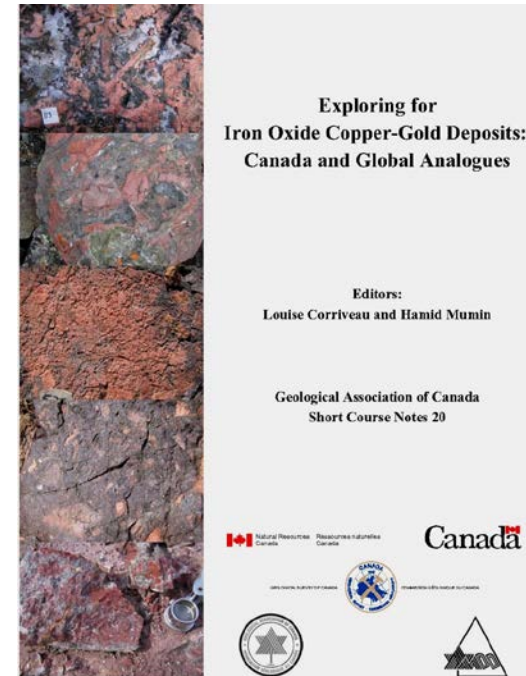
Chapitre 11 - Iron oxide-copper-gold mineralization in the Greater Lufilian Arc, Africa

*Alberto Lobo-Guerrero S.*

Chapitre 12 - Alteration processes and impacts on regional-scale element mobility and geochronology, Tamlalt-Menhouhou deposit, Morocco

*Ewan Pelleter, Dominique Gasquet, Alain Cheilletz and Abdellah Mouttaqi*

## Association géologique du Canada Notes de cours intensifs 20





# Pour information additionnelle Economic Geology, v. 111

## Iron Oxide Copper-Gold and Affiliated Deposits of Southeast Missouri, USA, and the Great Bear Magmatic Zone, Northwest Territories, Canada

Guest Editors: John F. Slack, Louise Corriveau, and Murray W. Hitzman

**A Special Issue Devoted to Proterozoic Iron Oxide-Apatite ( $\pm$ REE) and Iron Oxide Copper-Gold and Affiliated Deposits of Southeast Missouri, USA, and the Great Bear Magmatic Zone, Northwest Territories, Canada: Preface**

**Alteration Facies Linkages Among Iron Oxide Copper-Gold, Iron Oxide-Apatite, and Affiliated Deposits in the Great Bear Magmatic Zone, Northwest Territories, Canada**

**Metasomatic Alteration Control of Petrophysical Properties in the Great Bear Magmatic Zone (Northwest Territories, Canada)**

**Geophysical Signature of the NICO Au-Co-Bi-Cu Deposit and Its Iron Oxide-Alkali Alteration System, Northwest Territories, Canada**

**Tectonomagmatic Evolution of the Southern Great Bear Magmatic Zone (Northwest Territories, Canada): Implications for the Genesis of Iron Oxide-Alkali-Altered Hydrothermal Systems**

**On the Relationship Between Alteration Facies and Metal Endowment of Iron Oxide-Alkali-Altered Systems, Southern Great Bear Magmatic Zone (Canada)**

John F. Slack, Louise Corriveau, 1803  
and Murray W. Hitzman

L. Corriveau, J.-F. Montreuil,  
and E. G. Potter 2045

R. J. Enkin, L. Corriveau,  
and N. Hayward 2073

N. Hayward, L. Corriveau,  
J. A. Craven, and R. J. Enkin 2087

J.-F. Montreuil, L. Corriveau,  
and W. J. Davis 2111

J.-F. Montreuil, L. Corriveau,  
E. G. Potter, and A. F. De Toni 2139

# GEM



Merci à tous les participants, partenaires et collaborateurs des projets ainsi qu'à leurs gestionnaires et au personnel des laboratoires et administratifs ainsi qu'à ceux des organisations impliquées

**Commission géologique du Canada**

- IOCG-Province de l'Ours et Hudson-Ungava (Géocartographie de l'Énergie et des Minéraux, RNCan)
- Gîtes profonds et Systèmes métallifères à uranium (Initiative géoscientifique ciblée)

**Commission géologique des Territoires du Nord-Ouest**

- South Wopmay Bedrock Mapping (Commission géologique des T.-N.O.)

**Gouvernements autochtones des nations Tlicho et Sahtu, en particulier de Gamètì**

**Secteur privé: Fortune Minerals, Alberta Star, Diamonds North, Honey Badger Exploration, Energizers, Aurora Geosciences**

**Aurora Research Institute, Research Licence No. 14844, No. 14639 and No.14548**

**Land Use Permit Class A No. W2010J0004 (GEM) & W2009C0001 (Fortune Minerals Limited)**

**Archaeological sites database agreements No. DR2010-390, No DR2009-335**

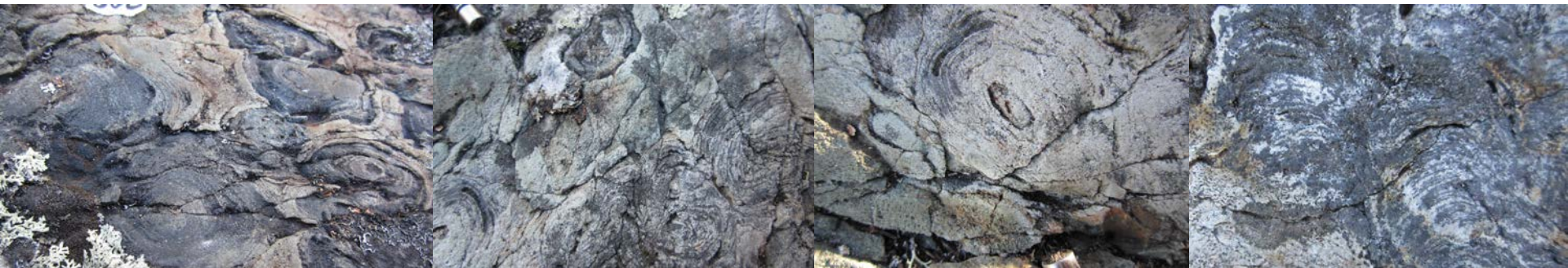
**Polar Continental Shelf Program projects 010009, 50709 and 00410**

**Lettres d'ententes de collaboration: RNCan-Fortune Minerals, RNCan-Honey Badger Exploration-Energizer Resources, RNCan-Community Government of Gamètì**



# Pour plus d'informations

Louise Corriveau – [Louise.Corriveau@canada.ca](mailto:Louise.Corriveau@canada.ca), Ressources naturelles Canada, CGC-Québec  
Eric Potter – [Eric.Potter@canada.ca](mailto:Eric.Potter@canada.ca), Ressources naturelles Canada, CGC-Ottawa  
Philippe Normandeau – [philippe\\_normandeau@gov.nt.ca](mailto:philippe_normandeau@gov.nt.ca), Commission géologique des T.-N.O.



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017





## Exploring for Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Canada and Global Analogues

Editors:

Louise Corriveau and Hamid Mumin

Geological Association of Canada  
Short Course Notes 20



Canada

GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA



COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Commission géologique du Canada  
Louise Corriveau, Ph.D.

Chercheure scientifique  
Chef du projet: IOCG-région du Grand lac  
de l'Ours (programme de Géocartographie  
de l'Énergie et des Minéraux) 2008-2013

Expertise:

- Système d'altération des gîtes IOCG, IOA et affiliés
- Zones d'altération hydrothermale métamorphisées
- Provinces de l'Ours et du Grenville
- Mise en place de magmas
- Magmatisme alcalin potassique
- Géologie de terrain dans le Bouclier canadien (depuis 1977)
- Organisation de cours intensifs
- Édition de volumes spéciaux



Canada



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2017

