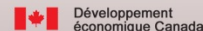
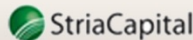


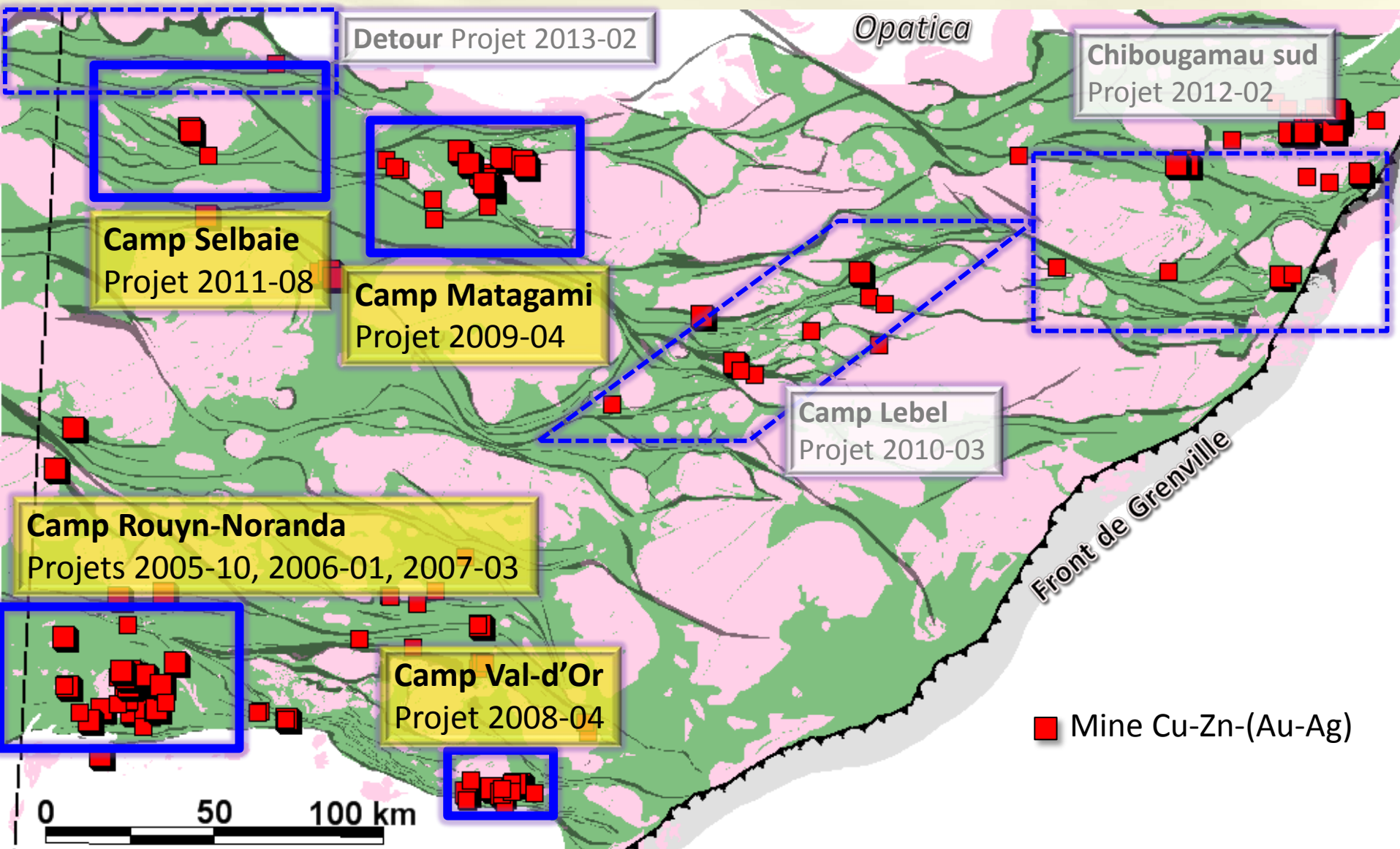
# Altérations géochimiques dans les grands camps de sulfures massifs volcanogènes de l'Abitibi (Rouyn-Noranda, Val-d'Or, Matagami et Selbaie)

**Stéphane Faure** (CONSOREM-UQAM) et **Sylvain Trépanier** (Redevances Aurifères Osisko Ltée)

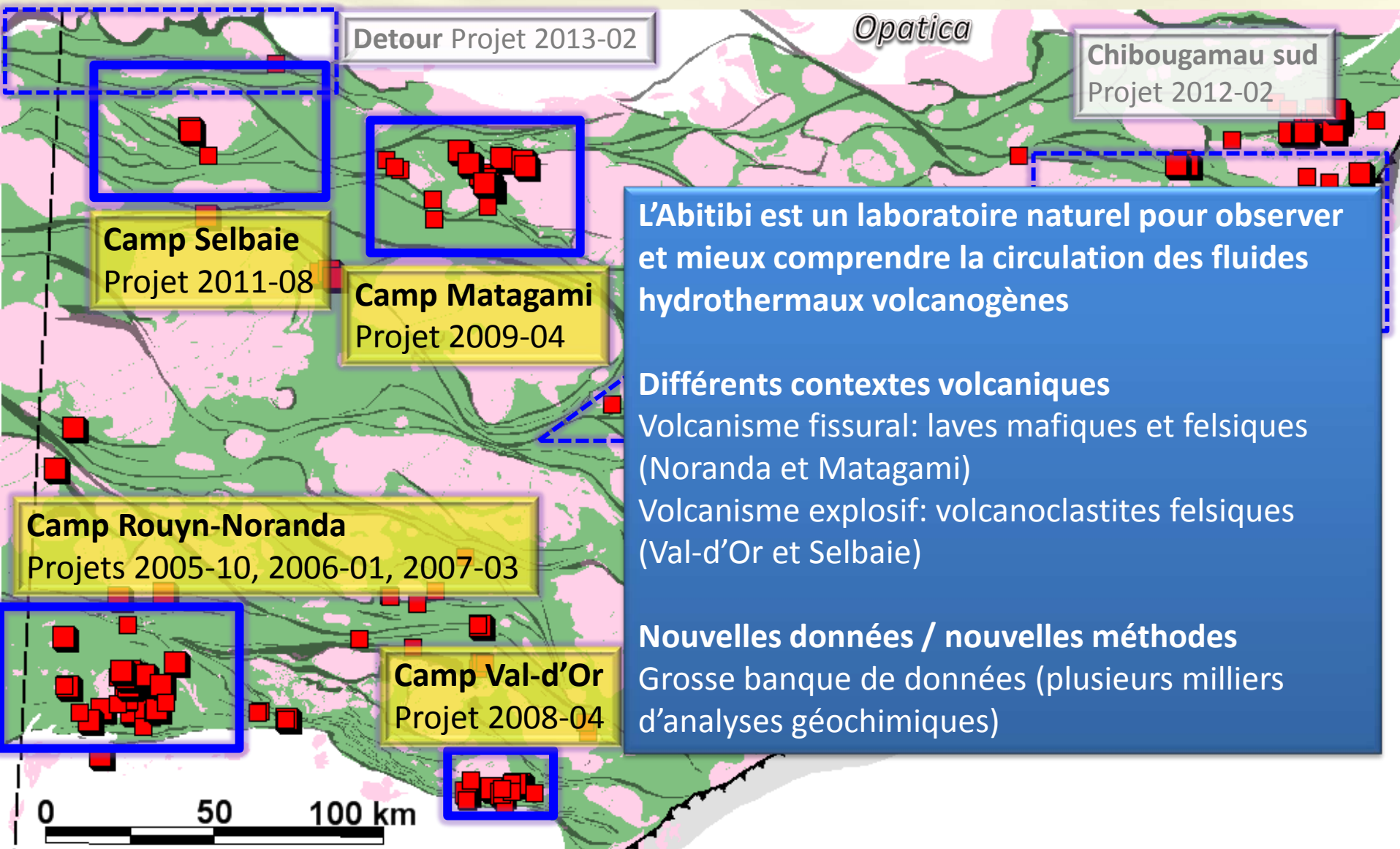
Montréal, 17 février 2015



## Camps miniers de métaux de bases (Zn-Cu) volcanogènes en Abitibi et études faites par le Consorem depuis 2005



## Camps miniers de métaux de bases (Zn-Cu) volcanogènes en Abitibi et études faites par le Consorem depuis 2005



L'Abitibi est un laboratoire naturel pour observer et mieux comprendre la circulation des fluides hydrothermaux volcanogènes

### Différents contextes volcaniques

Volcanisme fissural: laves mafiques et felsiques (Noranda et Matagami)

Volcanisme explosif: volcanoclastites felsiques (Val-d'Or et Selbaie)

### Nouvelles données / nouvelles méthodes

Grosse banque de données (plusieurs milliers d'analyses géochimiques)

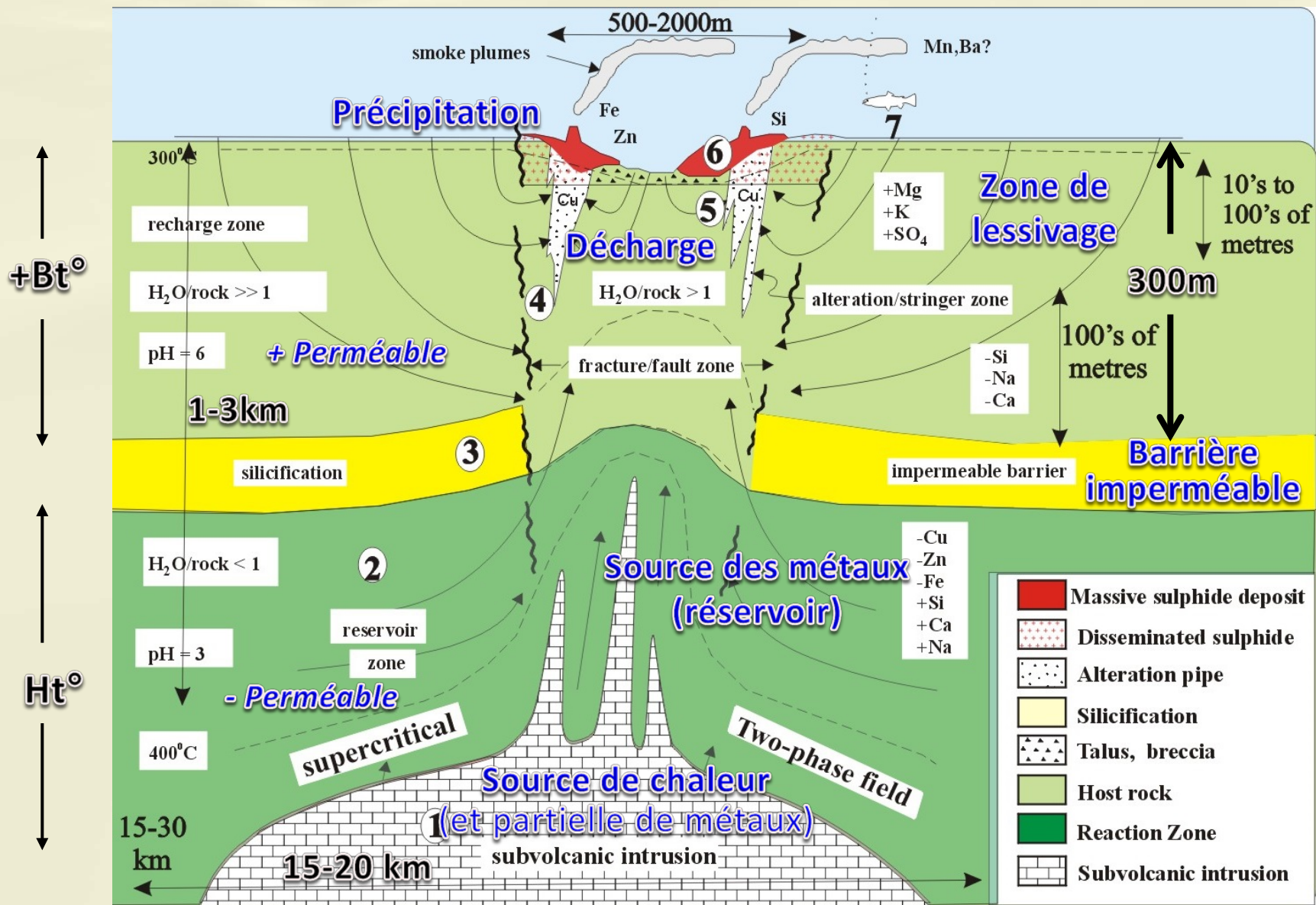
## Plan de la présentation

But de la présentation: montrer l'utilité de la **géochimie** afin d'identifier les **altérations** (métasomatisme) et les chemins d'emprunt des fluides hydrothermaux le long de **failles synvolcaniques** dans différents contextes volcaniques

1. Généralité sur les altérations dans les systèmes hydrothermaux de SMV
2. Mégacaldeira de Misema et le chaudron de Noranda
3. Graben de Matagami
4. Caldeira de Selbaie
5. Centre volcanique de Louvicourt à Val-d'Or
6. Conclusion

# 1. Altérations associées au système hydrothermal des SMV

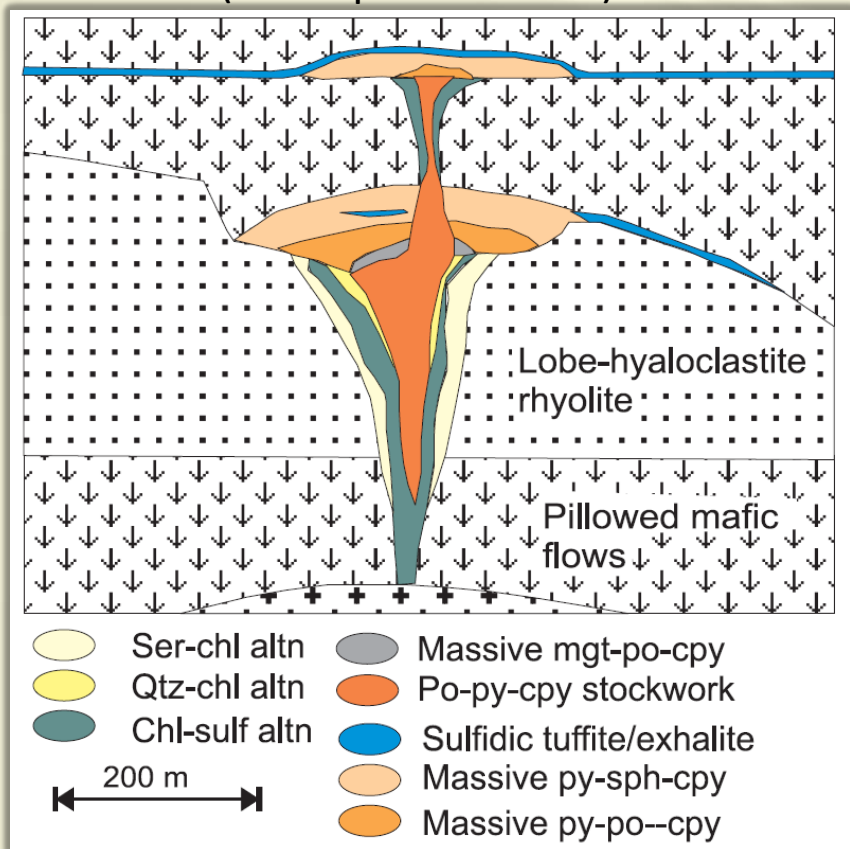
# 1. Altération système volcanogène



Galley 1993

## Volcanisme fissural (laves mafiques-felsiques)

Étendue verticale > étendue latérale  
(faible perméabilité)



Halo d'altération bien défini et restreint  
sous le SMV

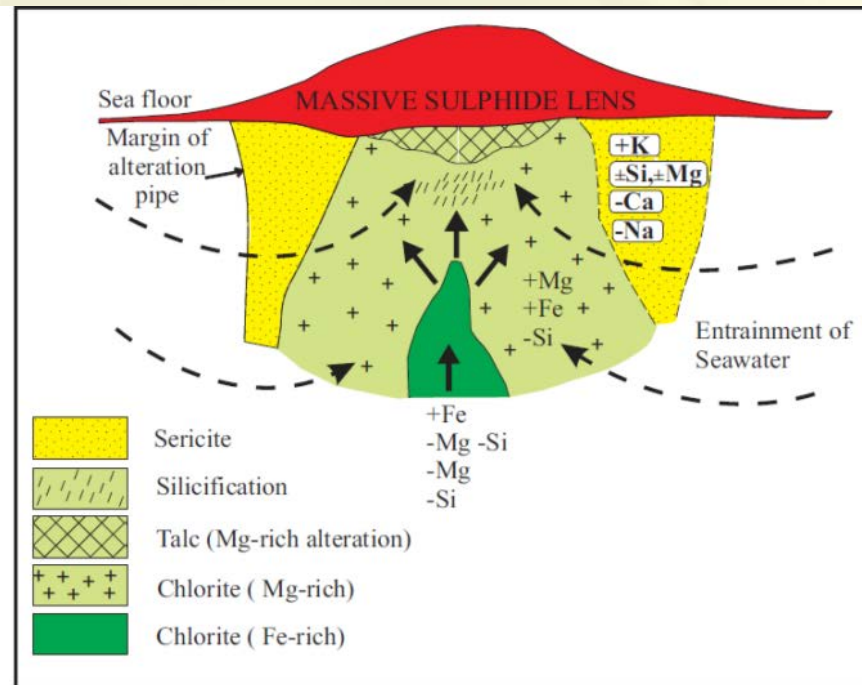


FIGURE 10. Idealized distribution of alteration assemblages and compositional gains and losses associated with Noranda VMS deposits hosted by flow lithofacies (modified from Gibson and Kerr, 1993).

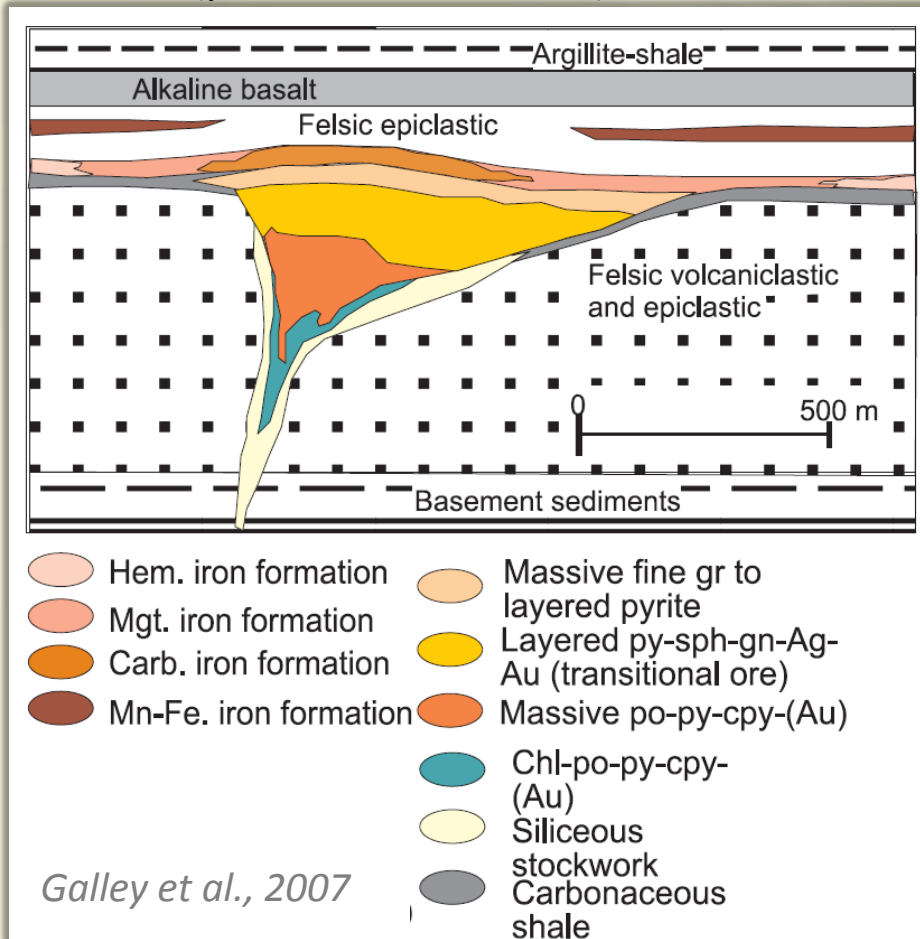
Galley et al., 2007

Gibson et Galley, 2007

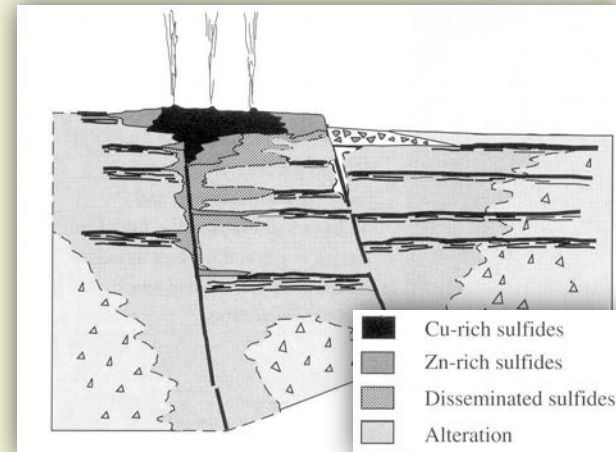
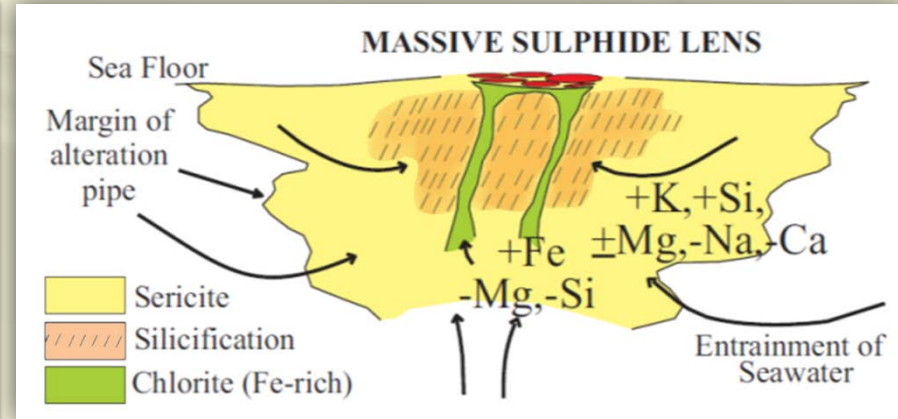
# 1. Altération système volcanogène

## Volcanisme effusif (volcanoclastites felsiques)

Étendue latérale > étendue verticale  
(perméabilité élevée)



Large halo d'altération, diffus, mal défini, au-delà du SMV





## Indices d'altération pour les SMV

basés sur des ratios d'éléments majeurs mobiles

Indice	Ratios d'éléments	Processus	Gisement, région	Référence
Ishikawa	$\frac{\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}}{(\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})}$	Gains Mg et K vs pertes en CaO et Na <sub>2</sub> O: chlorite et séricite par destruction feldspaths	Kuroko, Japon	Ishikawa, 1976
Séricite	$\text{K}_2\text{O}/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$	Remplacement feldspaths par séricite	Kuroko, Japon	Saeki et Date, 1980
Chlorite	$\frac{\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3}{(\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3+2\text{CaO}+2\text{Na}_2\text{O})}$	Apports de Fe et Mg dans la chlorite; Pertes en CaO et Na <sub>2</sub> O par destruction des feldspaths	Kuroko, Japon	Saeki et Date, 1980
Alcali	$\frac{\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}}{(\text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}+\text{K}_2\text{O})}$	Pertes CaO et Na <sub>2</sub> O par destruction des feldspaths	Kuroko, Japon	Saeki et Date, 1980
Hashigushi	$\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$	Gains en fer (chlorite et sulfures)	Kuroko, Japon	Hashigushi, 1983
Spitz-Darling	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}$	Pertes en Na <sub>2</sub> O (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> conservé)	<b>Val-d'Or, Qc</b>	Spitz et Darling, 1978
Silica	SiO <sub>2</sub> vs Zr/TiO <sub>2</sub>	Silice résiduelle	Wisconsin, USA	Lavery, 1985
CCPI	$\frac{(\text{MgO}+ \text{FeO}_t)}{(\text{MgO}+\text{FeO}_t+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})}$	Chlorite-carbonate-pyrite: gains en fer et magnésium	Tasmanie, Australie	Large et al., 2001

## Indices d'altération pour les SMV basés sur des ratios d'éléments majeurs mobiles

### Avantages:

- Indice unaire (1 seul chiffre), facile à calculer

### Désavantages:

- Dépendant des lithologies
- Qualitatif (peu, moyennement, fortement altéré)
- Information partielle sur le processus métasomatique subi par la roche
- Peu d'information sur la minéralogie

<b>Indice</b>	<div style="background-color: #4a86e8; color: white; padding: 10px;"> <p><b>Avantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indice unaire (1 seul chiffre), facile à calculer</li> </ul> <p><b>Désavantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dépendant des lithologies</li> <li>• Qualitatif (peu, moyennement, fortement altéré)</li> <li>• Information partielle sur le processus métasomatique subi par la roche</li> <li>• Peu d'information sur la minéralogie</li> </ul> </div>			
<b>Ishikawa</b>				
<b>Séricite</b>				
<b>Chlorite</b>				
<b>Alcali</b>	$\frac{\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}}{(\text{Na}_2\text{O}+\text{CaO}+\text{K}_2\text{O})}$	Pertes CaO et Na <sub>2</sub> O par destruction des feldspaths	Kuroko, Japon	Saeki et Date, 1980
<b>Hashigushi</b>	$\text{Fe}_2\text{O}_3/(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO})$	Gains en fer (chlorite et sulfures)	Kuroko, Japon	Hashigushi, 1983
<b>Spitz-Darling</b>	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O}$	Pertes en Na <sub>2</sub> O (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> conservé)	<b>Val-d'Or, Qc</b>	Spitz et Darling, 1978
<b>Silica</b>	SiO <sub>2</sub> vs Zr/TiO <sub>2</sub>	Silice résiduelle	Wisconsin, USA	Lavery, 1985
<b>CCPI</b>	$\frac{(\text{MgO}+\text{FeO}_t)}{(\text{MgO}+\text{FeO}_t+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})}$	Chlorite-carbonate-pyrite: gains en fer et magnésium	Tasmanie, Australie	Large et al., 2001

## Méthodes de traitement de l'altération les plus efficaces selon les types d'altération volcanogènes (roches ignées)

Type d'altération	Bilans de masse* (précurseurs modélisés)	Norme SV350C* (indices)
Silicification	B.M. SiO <sub>2</sub>	X
Chloritisation sans carbonates	B.M. MgO ou Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ALT-CHLO
Séricitisation sans carbonates	X	ALT-SER
Altération Chlorite-Calcite	X	ALT-CHL-CC-TLC
Altération en carbonates (Séricite-Dolomite-Ankérite)	(B.M. CaO)	ALT-SER-CARBS
Carbonatation	X	ALT-CARBS, Indice disc. carbonates
Albitisation	B.M. Na <sub>2</sub> O	X
Altération potassique	B.M. K <sub>2</sub> O	X

\* Logiciel LITHOMODELEUR

**Ex: Matagami**

**Ex: Selbaie**

## 2. Mégacaldeira de Misema et le chaudron de Noranda

- Identifier les failles synvolcaniques altérées

## 2. Chaudron de Noranda

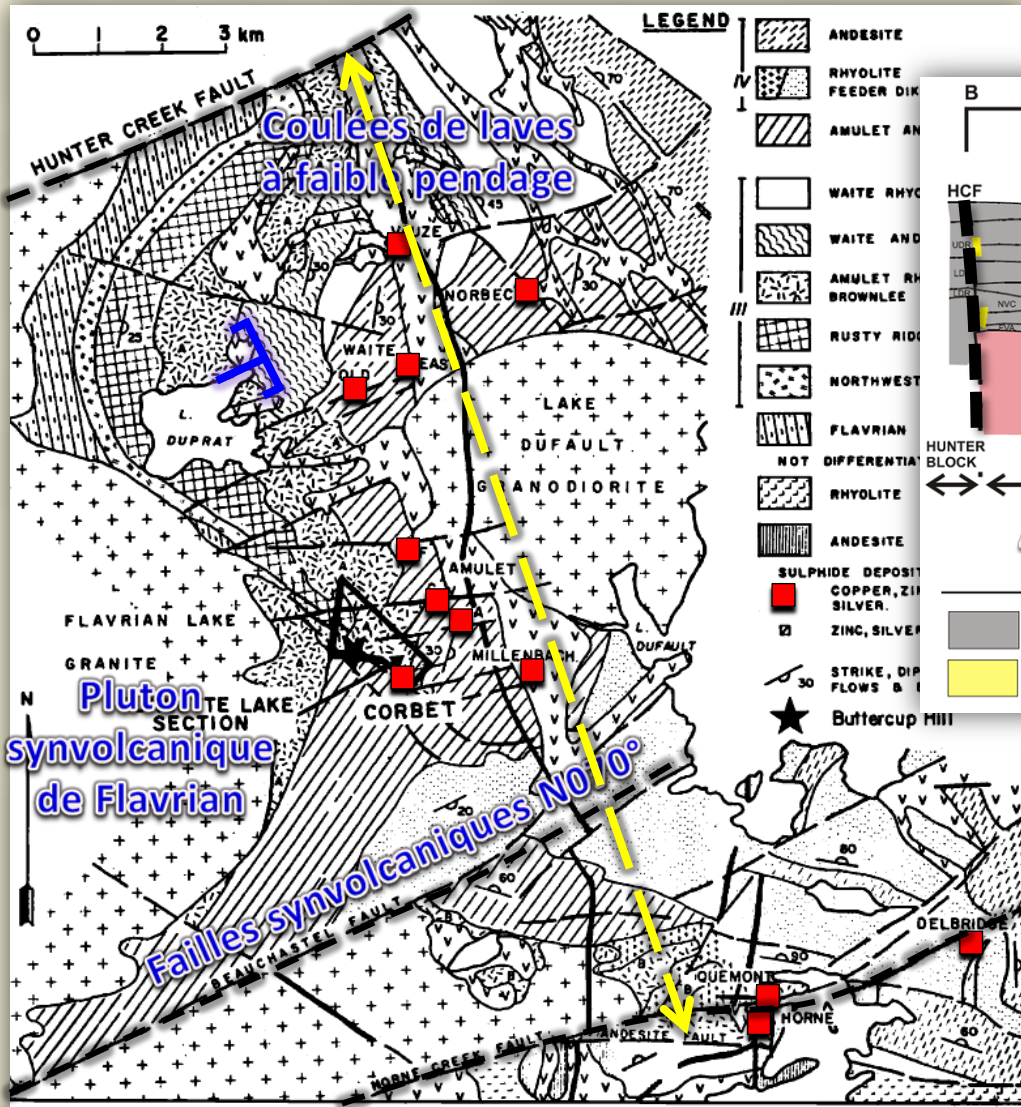
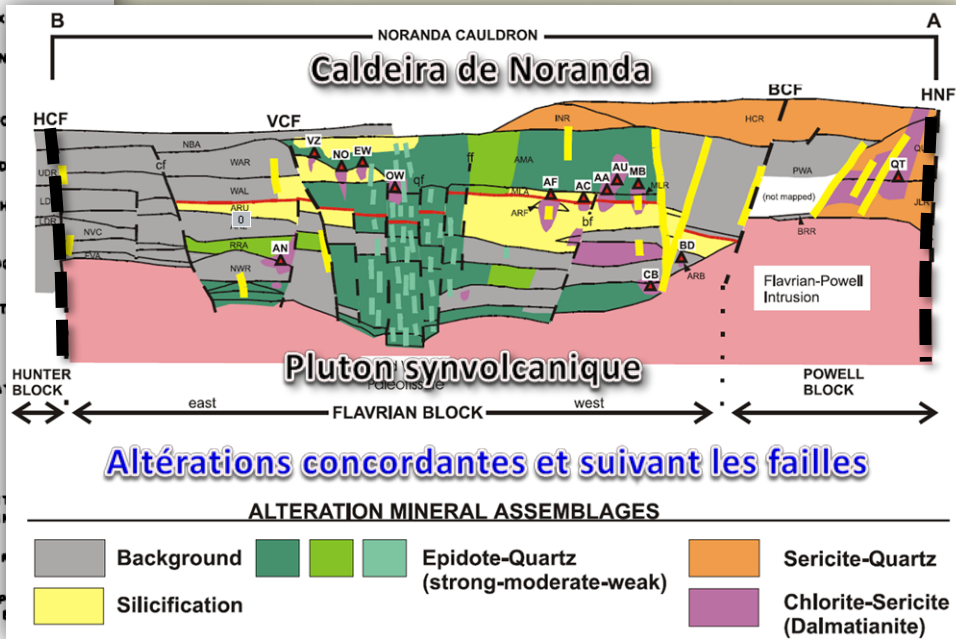


FIG. 1. Geology of the Noranda area (after Spence and DeRosen-Spence, 1975).

Spence et DeRosen-Spence, 1975



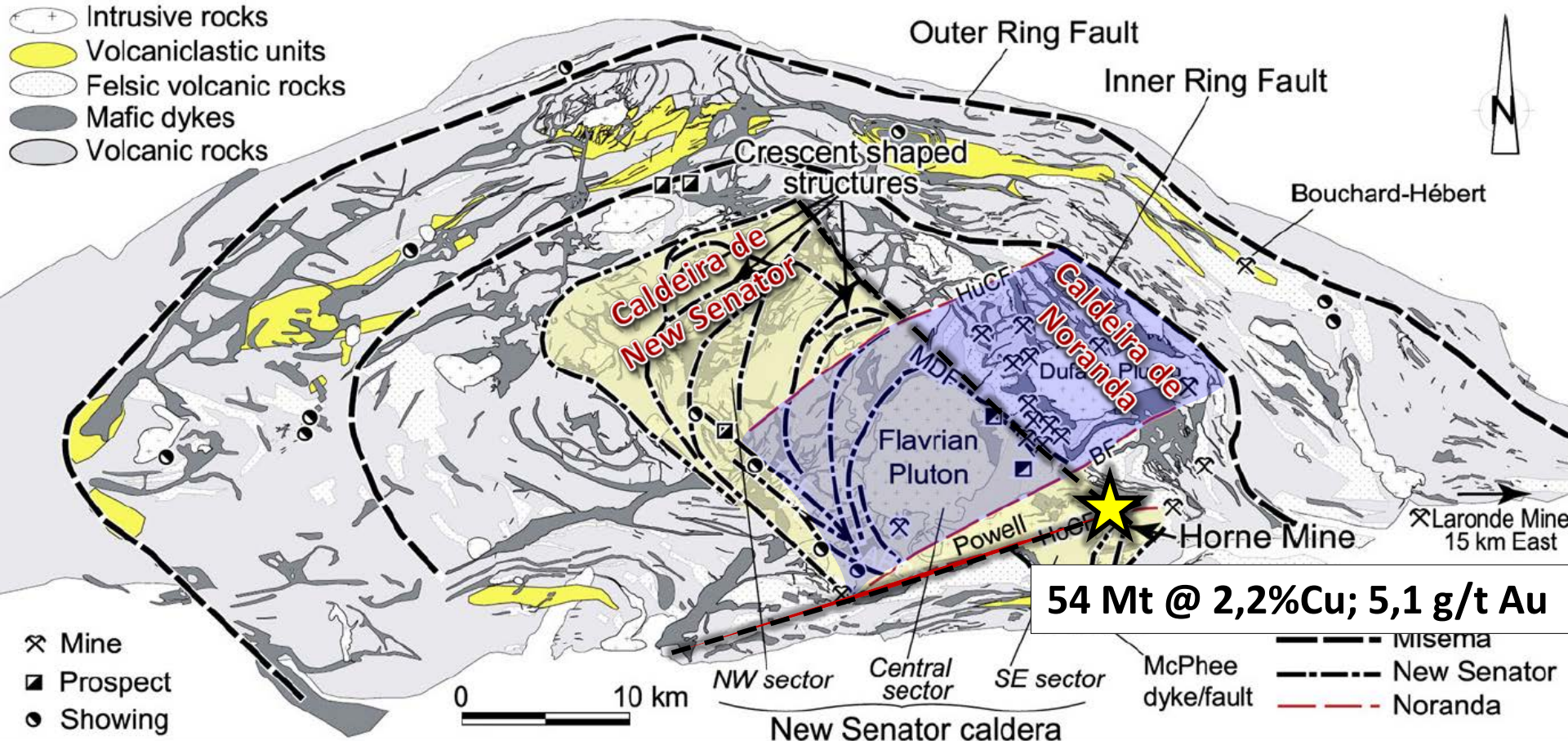
Altérations concordantes et suivant les failles

Santaguida et al., 2002

## 2. Chaudron de Noranda

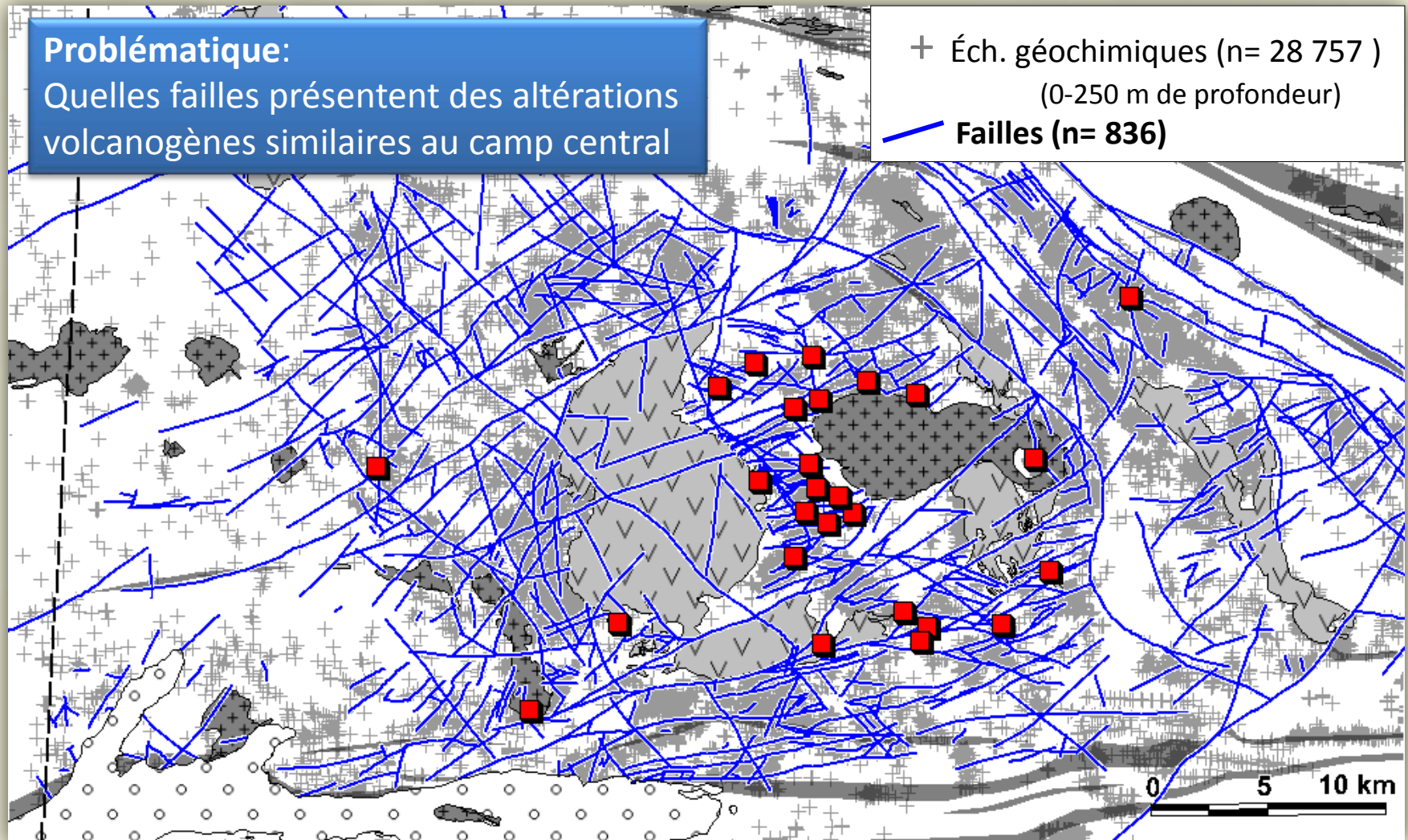
### Caldeira de Misema (essentiel du Groupe de Black River)

Problématique: beaucoup de failles, majoritairement synvolcaniques: lesquelles présentent des altérations typiquement volcanogènes



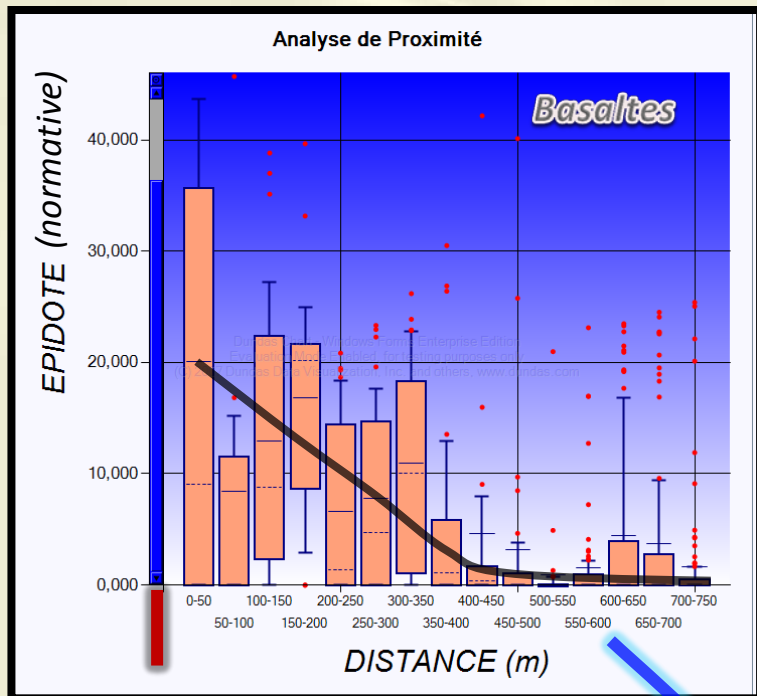
Pearson et Daigneault, 2009

### Reconnaissance de failles altérées dans la Caldeira de Misema (Gr. Blake River)

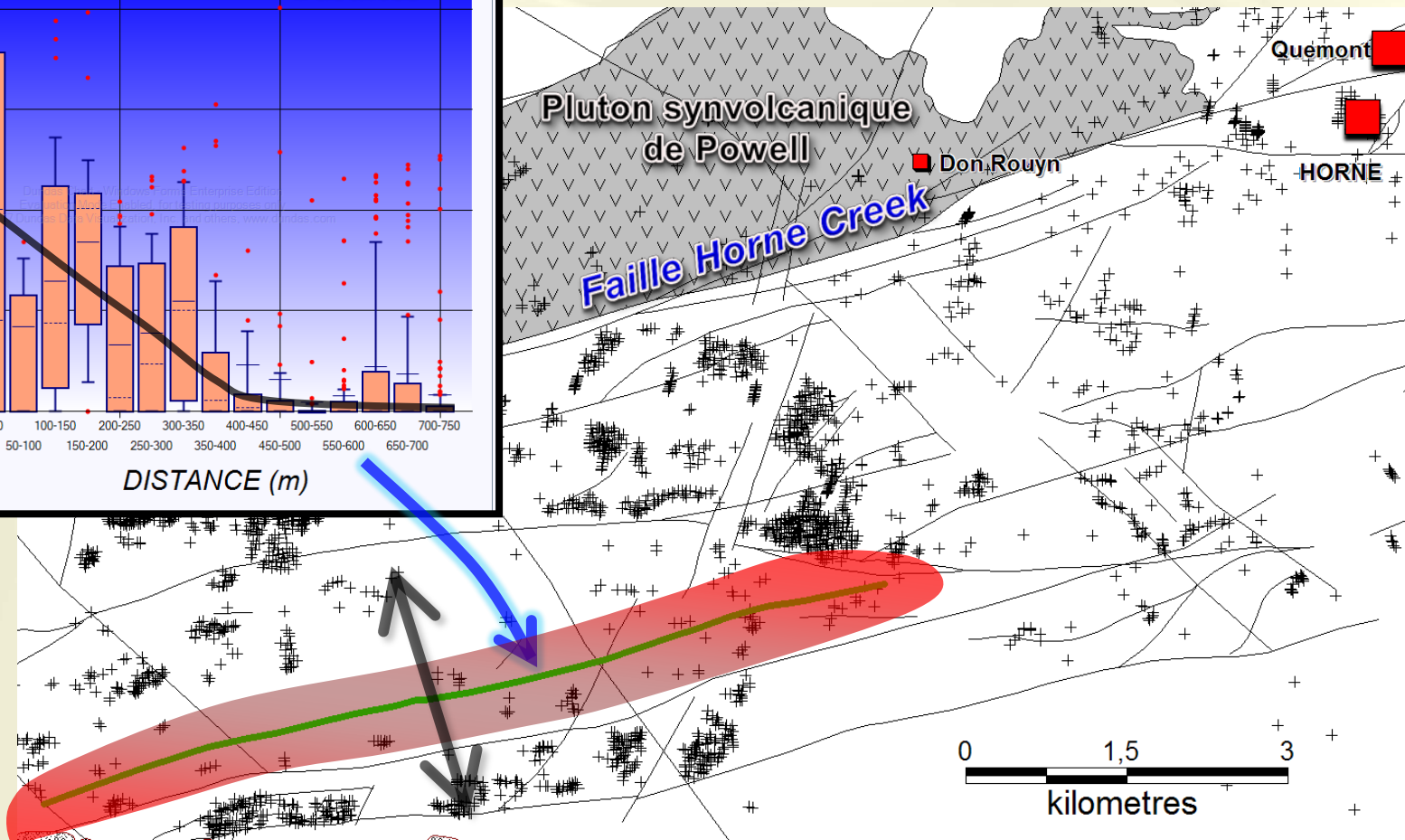


Projet Consorem 2007-03: interprétation de failles d'après la géologie et la géophysique

### Reconnaissance de failles altérées dans la Caldeira de Misema (Gr. Blake River)



Analyse spatiale de l'altération géochimique le long des failles

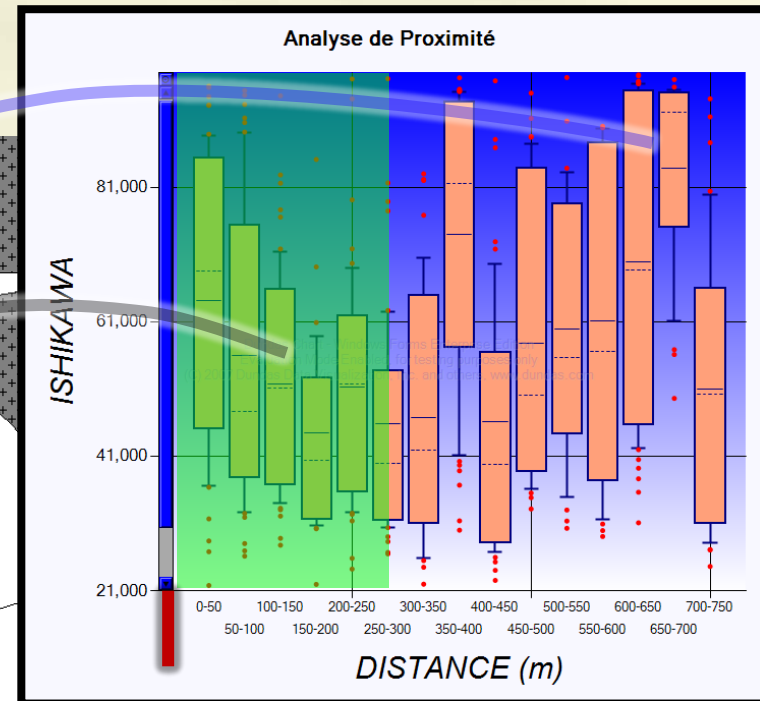
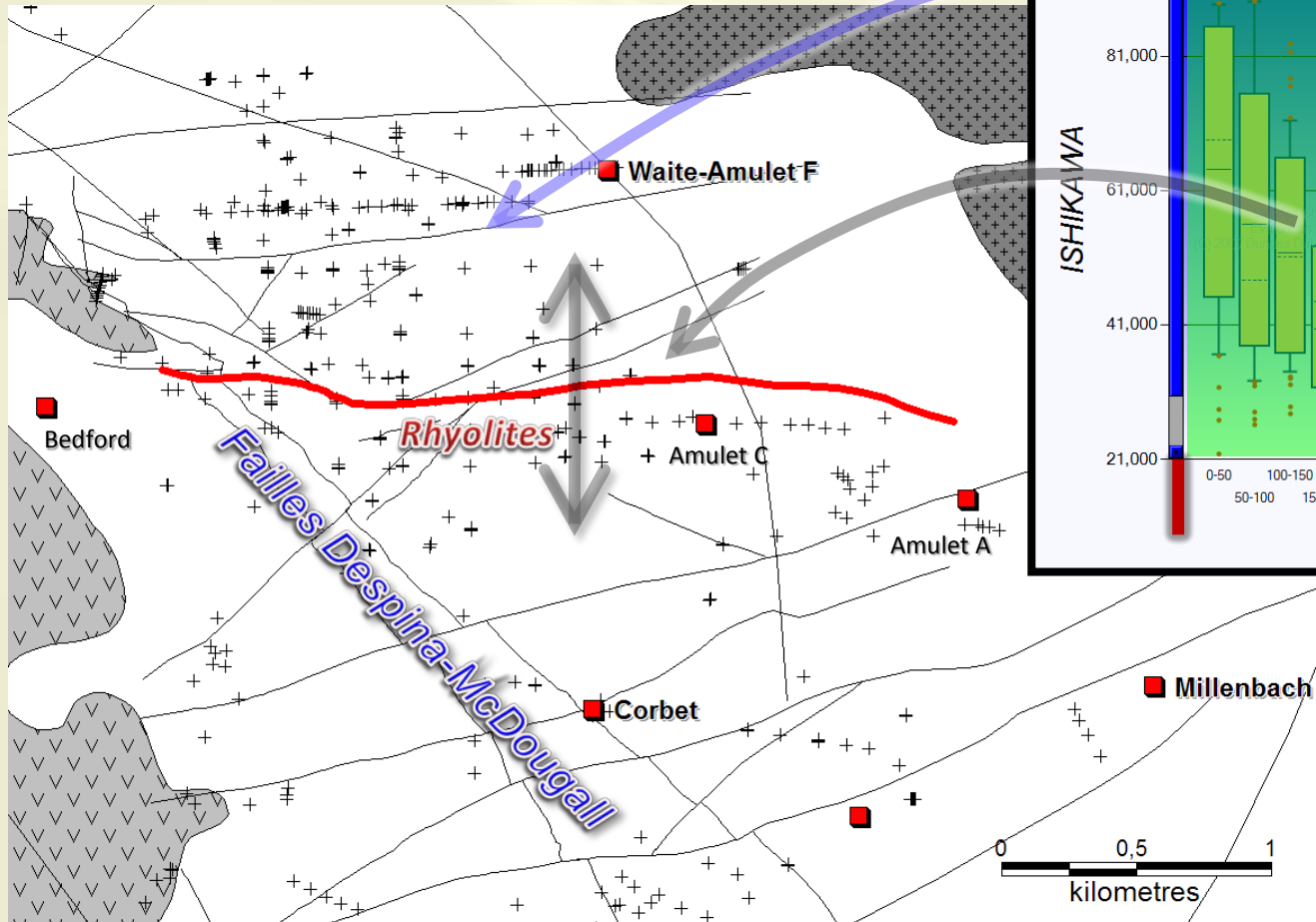


Épidote normative (NORMAT, Piché et Jébrak, 2006)



### Reconnaissance de failles altérées dans le chaudron de Noranda (camp central)

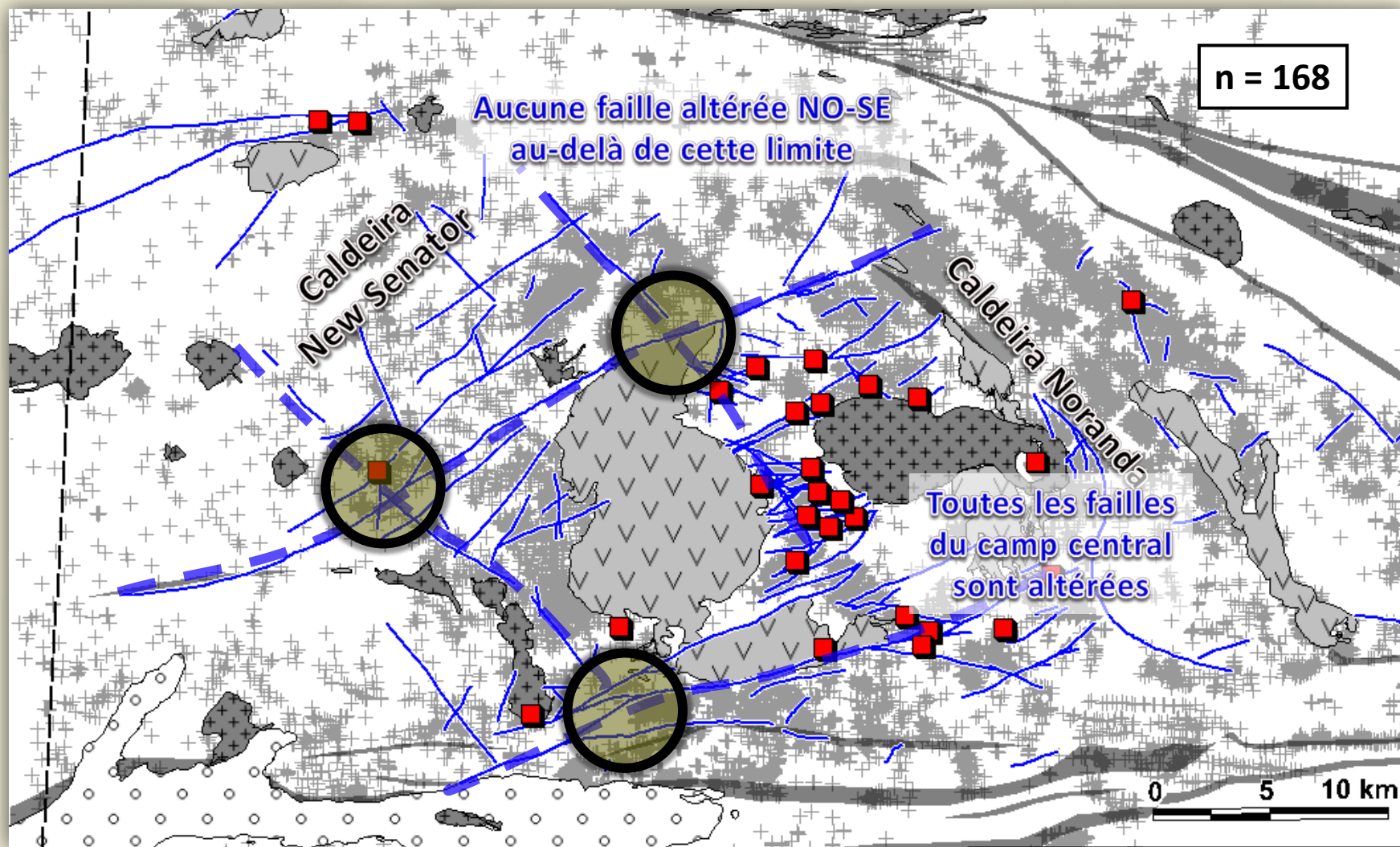
Analyse spatiale de l'altération géochimique le long des failles



Indice Ishikawa =  $100(K_2O+MgO)/(K_2O+MgO+Na_2O+CaO)$ :

Signification: addition H<sub>2</sub>O mer (K et Mg) et lessivage des feldspaths (Na et Ca)

### Reconnaissance de failles altérées dans la Caldeira de Misema (Gr. Blake River)



Critères: Ishikawa et Spitz-Darling, Pyrophyllite normative (Normat)

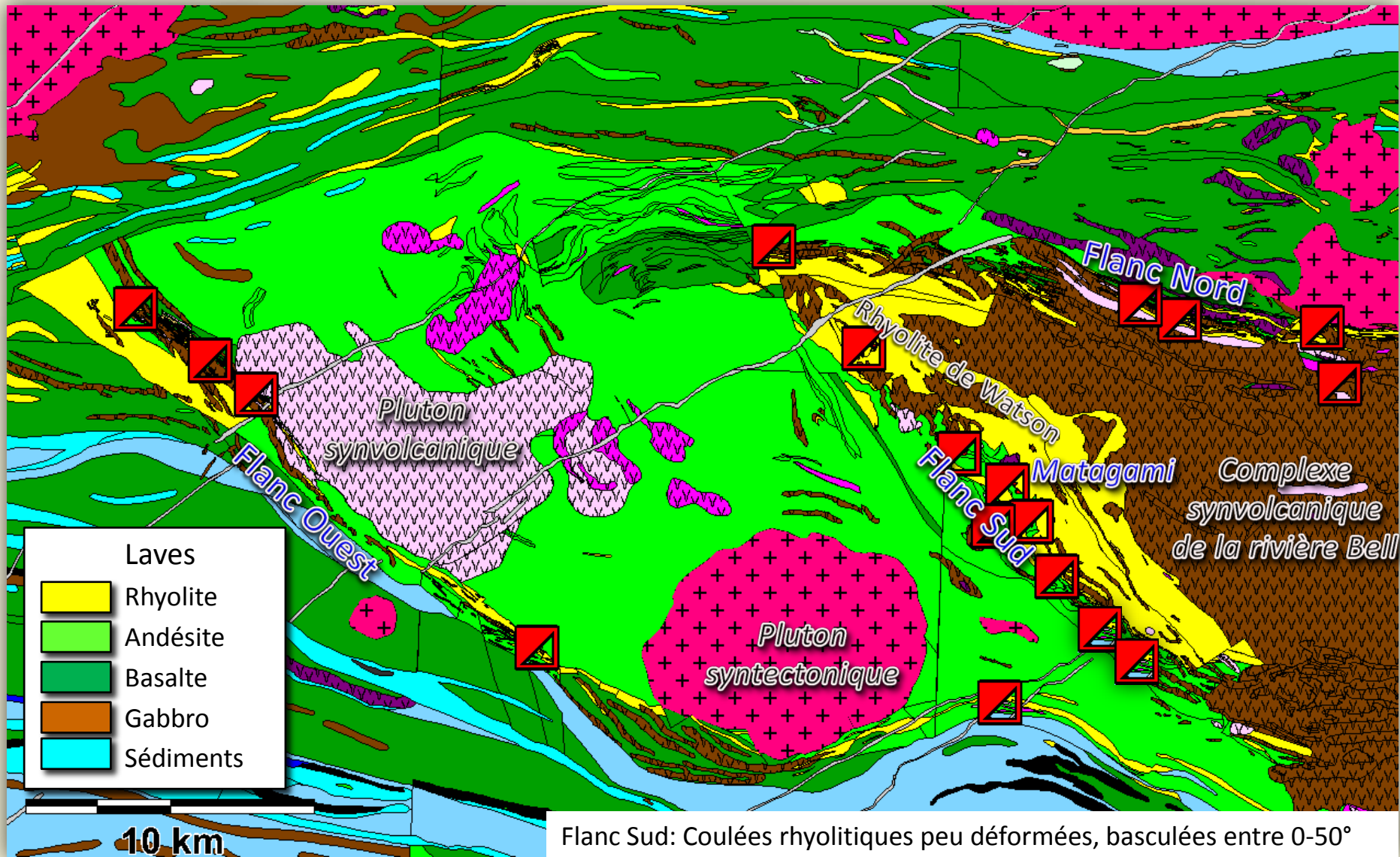
Projet Consorem 2007-03

## 3. Matagami

- Identifier les failles d'un graben synvolcanique avec les bilans de masse

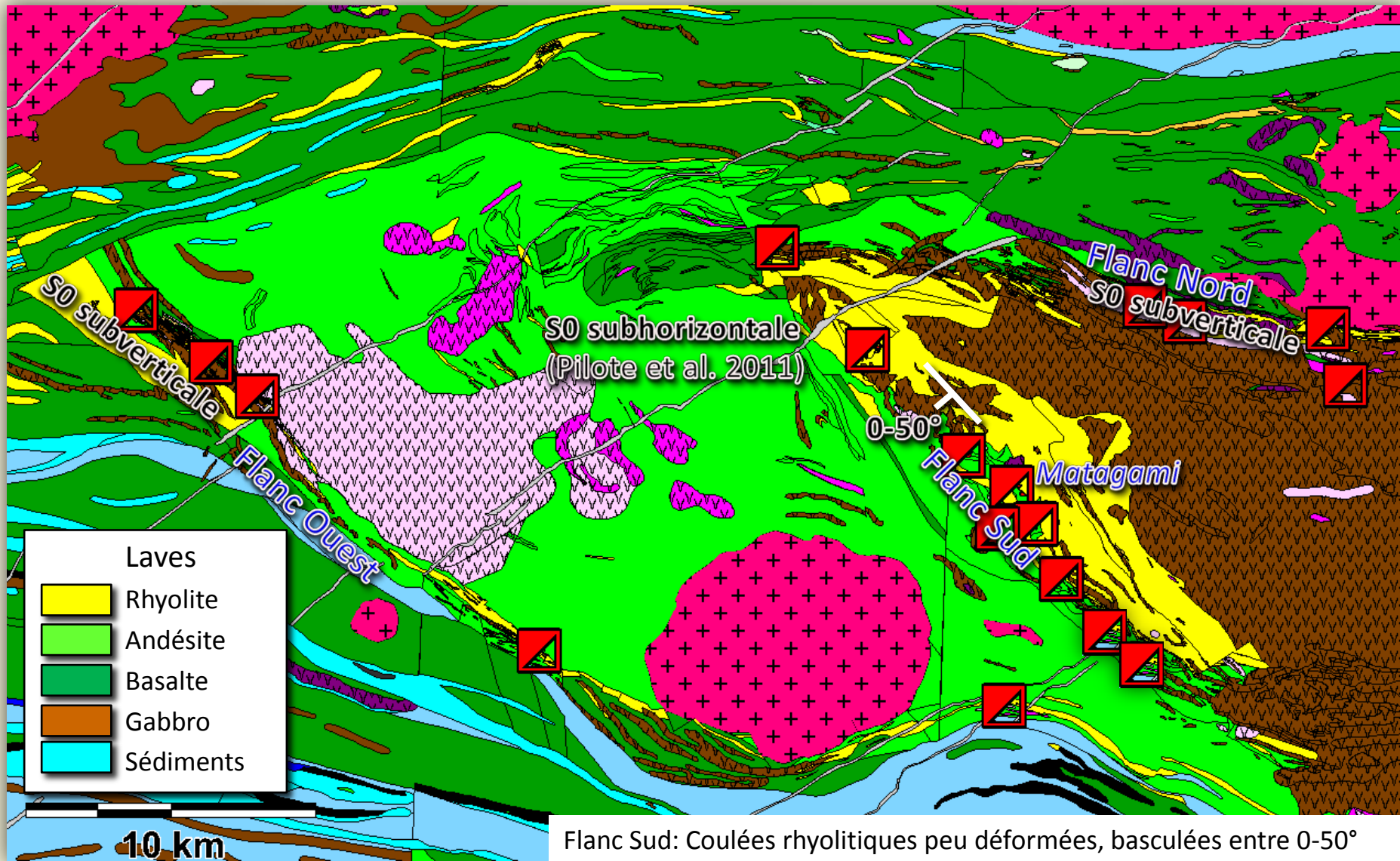
### 3. Matagami

Carte géologique Consorem (modifiée de XSTRATA et SIGEOM 2009)



Flanc Sud: Coulées rhyolitiques peu déformées, basculées entre 0-50°

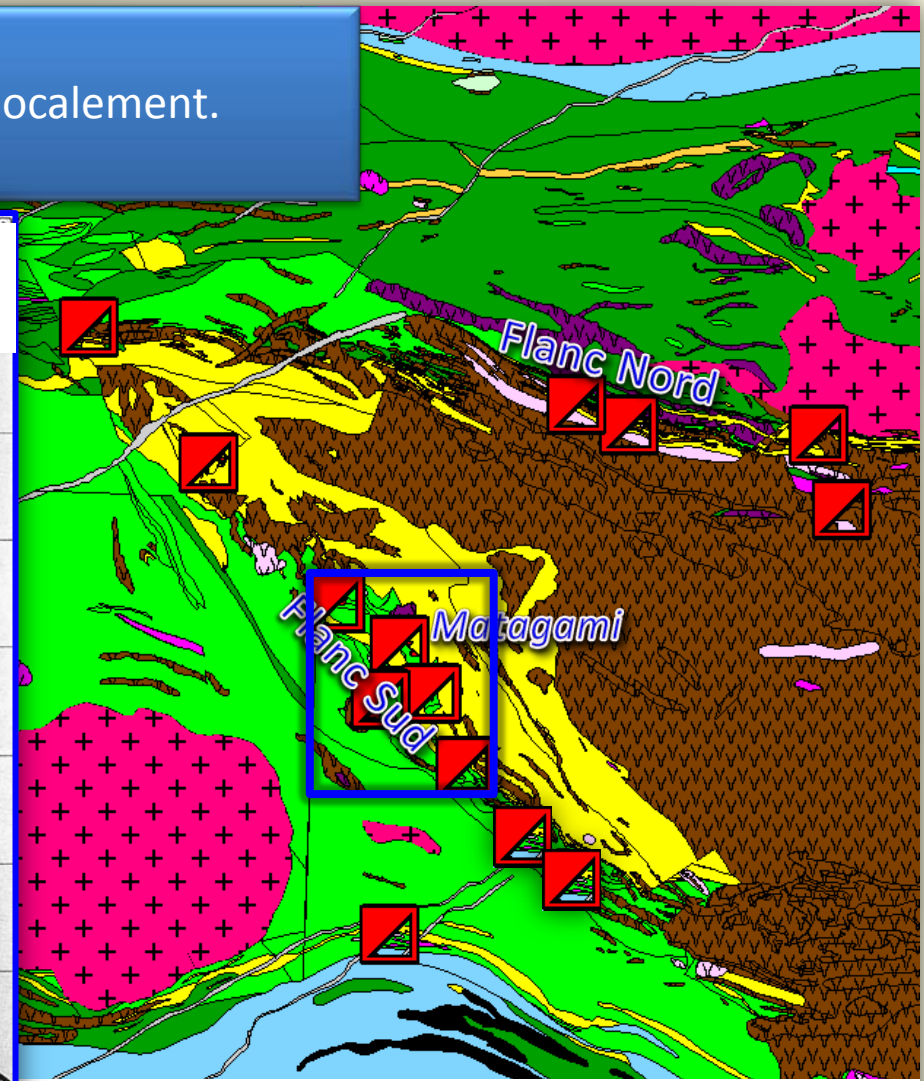
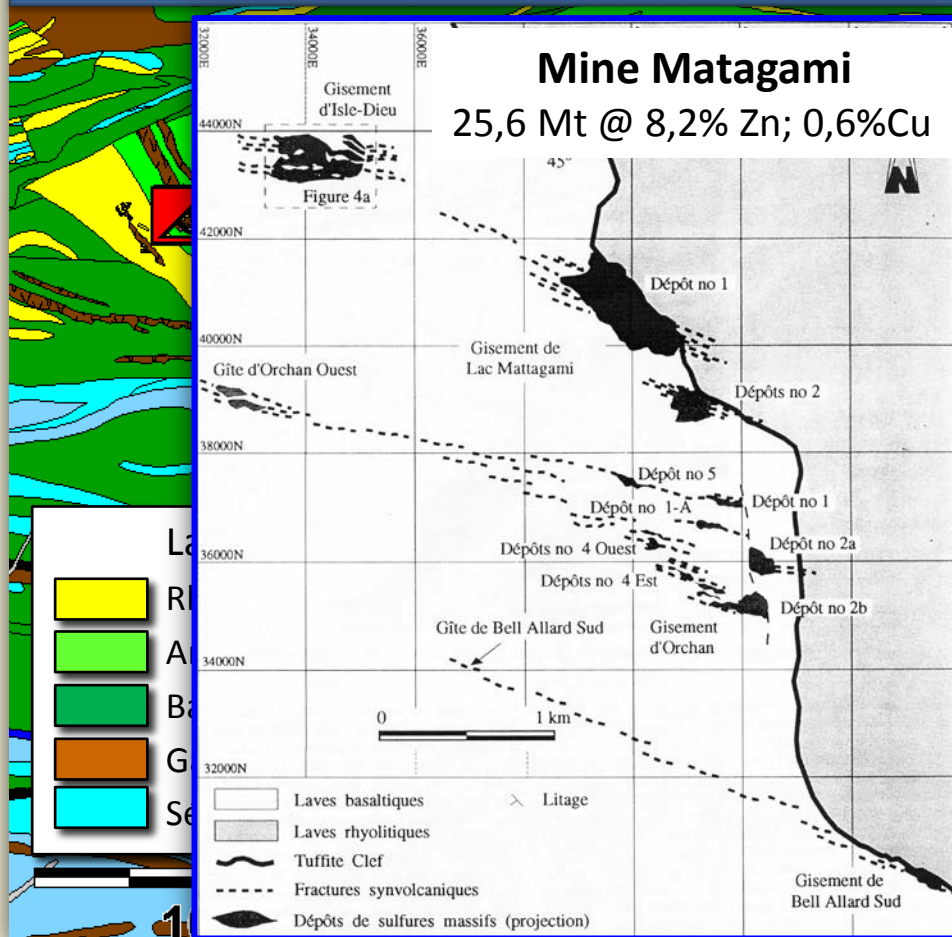
Carte géologique Consorem (modifiée de XSTRATA et SIGEOM 2009)



Carte géologique Consorem (modifiée de XSTRATA et SIGEOM 2009)

**Problématique:**

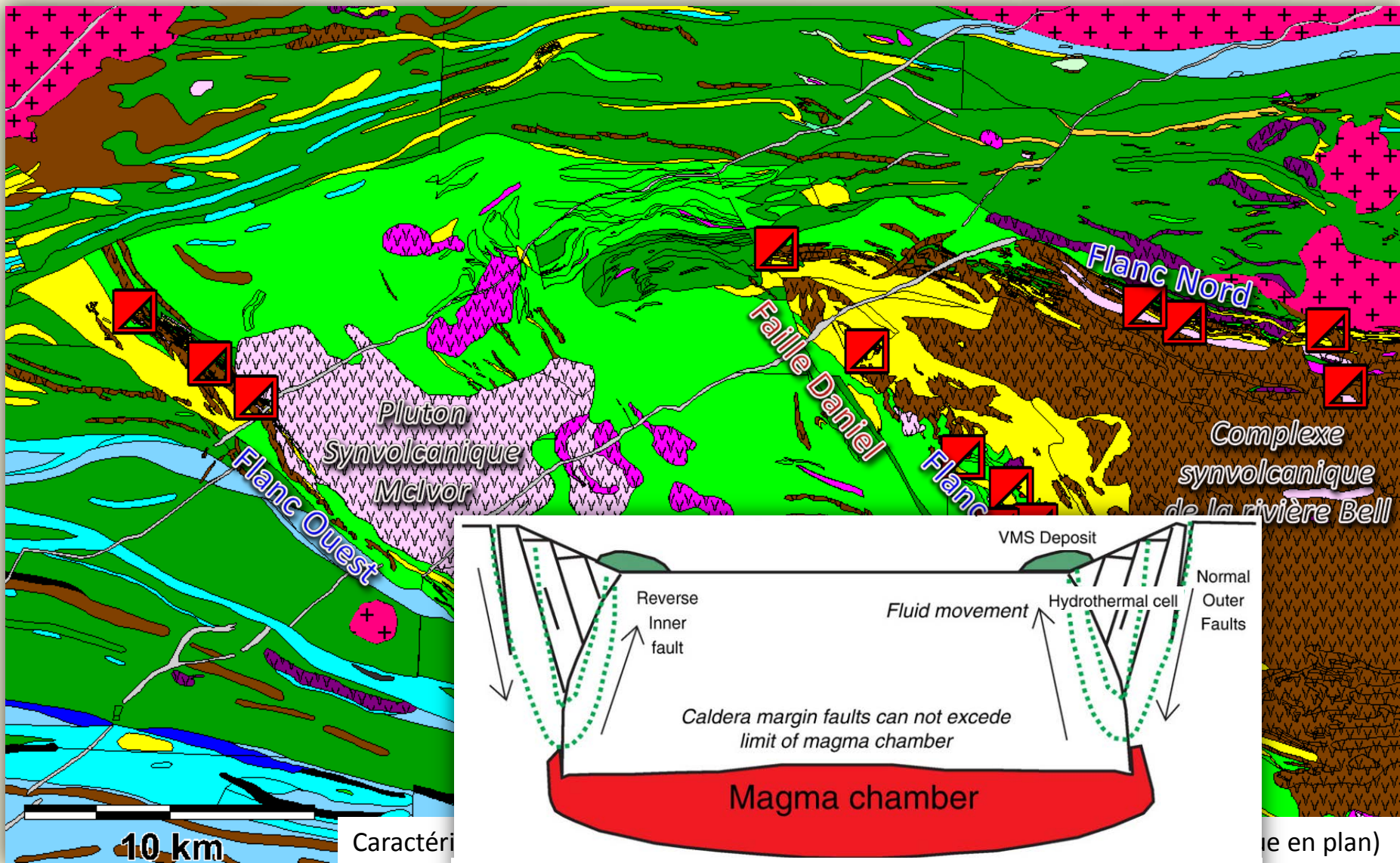
Failles synvolcaniques secondaires reconnues localement.  
Failles synvolcaniques majeures, régionales?



lées rhyolitiques peu déformées, basculées entre 0-50°

Lavallière et al., 1994

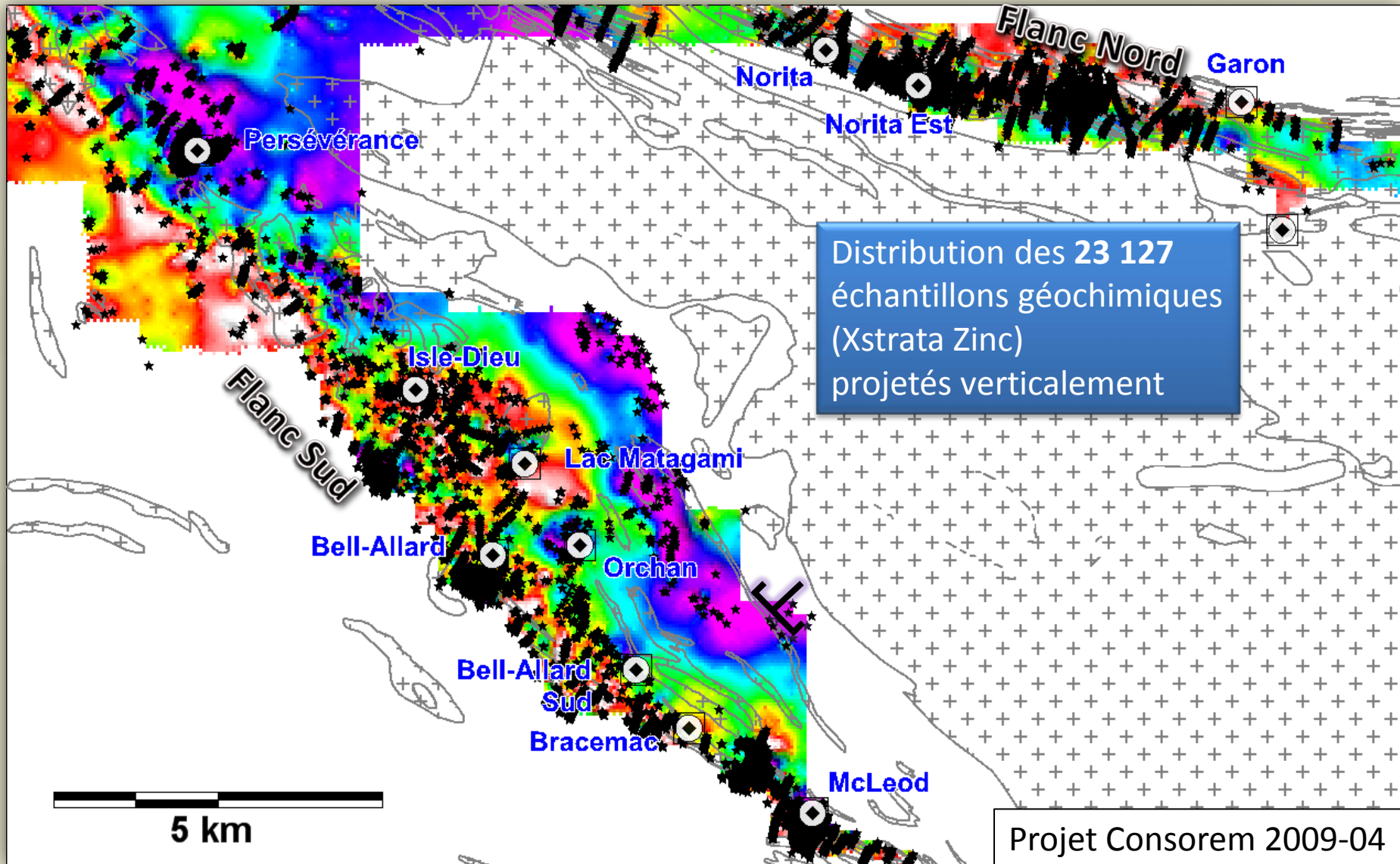
Carte géologique Consorem (modifiée de XSTRATA et SIGEOM 2009)



Modèle général d'une caldeira d'après Mueller et al., 2009

### 3. Matagami

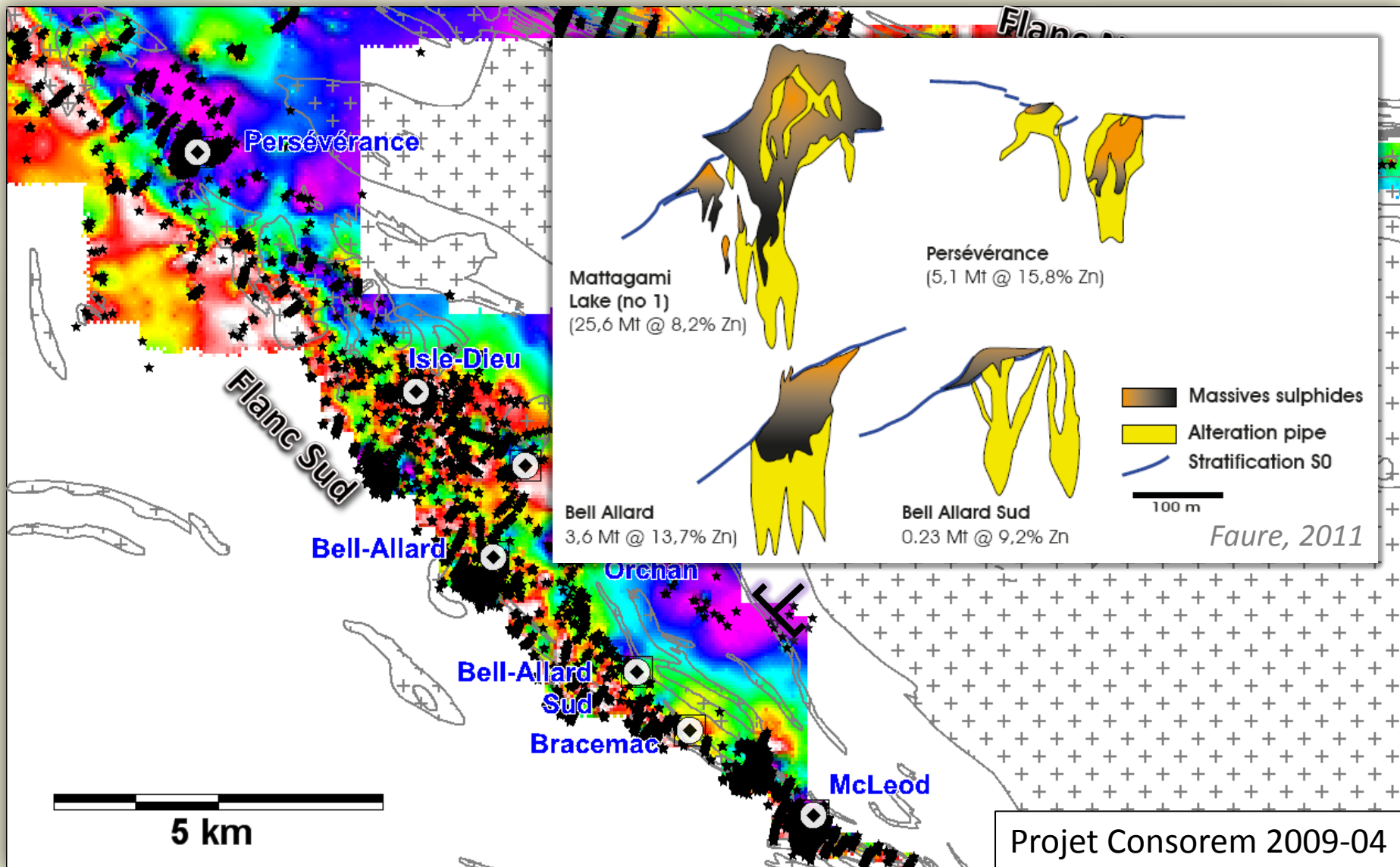
Altérations volcanogènes: Calcul de **bilans de masse** (gains et pertes en oxydes)  
à partir de précurseurs modélisés (Logiciel LITHOMODELEUR)





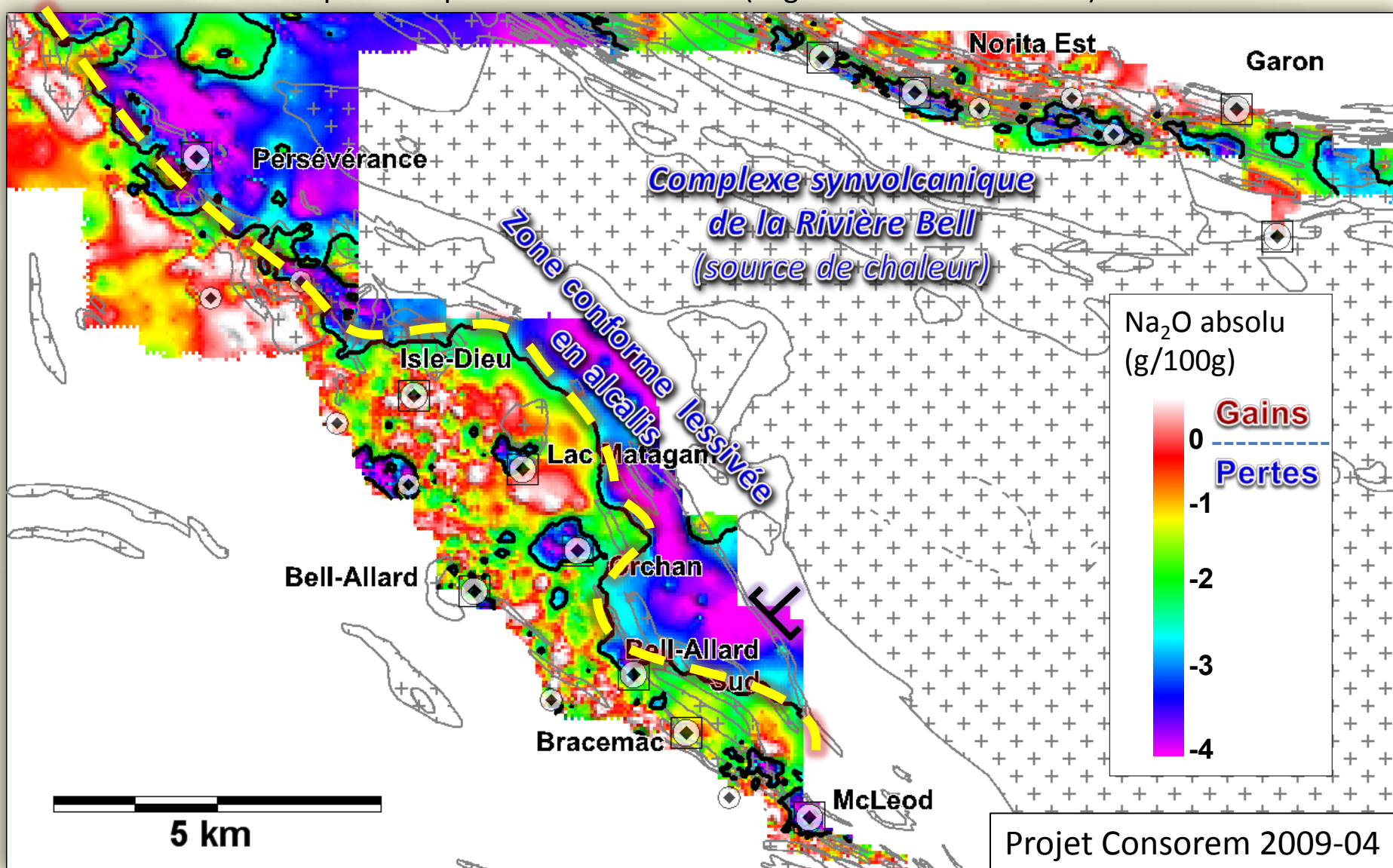
### 3. Matagami

Altérations volcanogènes: Calcul de **bilans de masse** (gains et pertes en oxydes)  
 à partir de précurseurs modélisés (Logiciel LITHOMODELEUR)



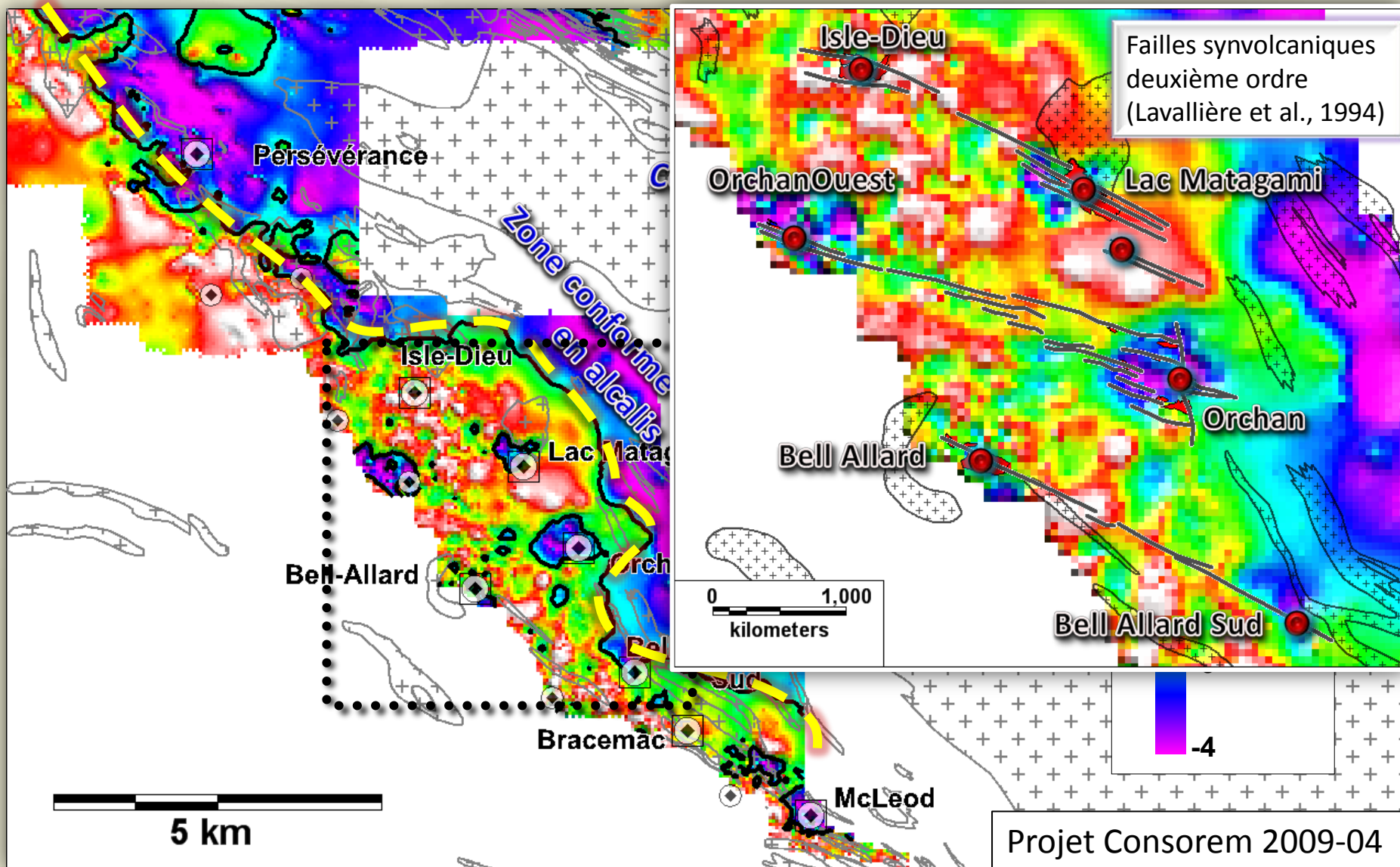
### 3. Matagami

Altérations volcanogènes: Calcul de **bilans de masse** (gains et pertes en oxydes)  
à partir de précurseurs modélisés (Logiciel LITHOMODELEUR)



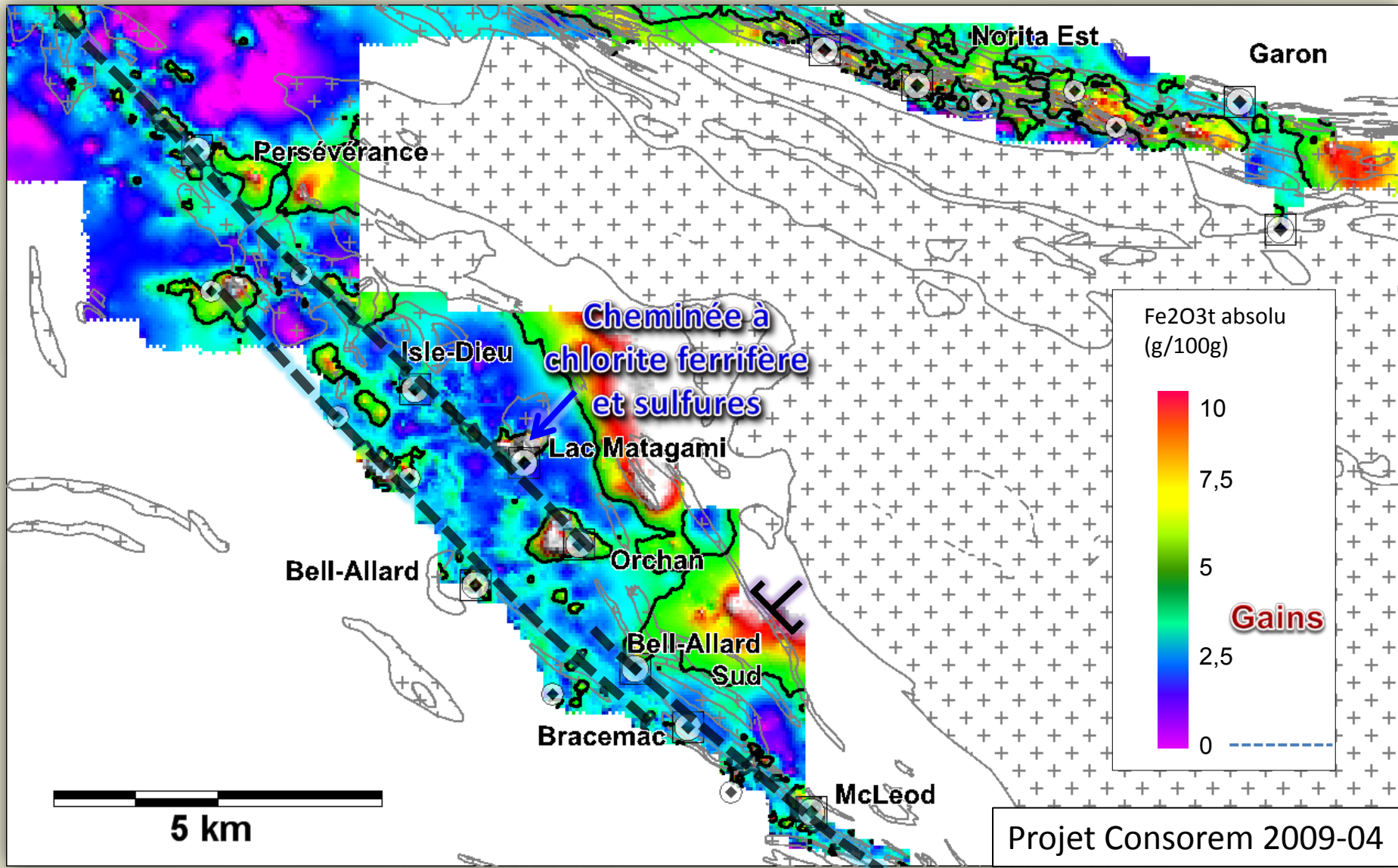
### 3. Matagami

Altérations volcanogènes: Calcul de **bilans de masse** (gains et pertes en oxydes)  
à partir de précurseurs modélisés (Logiciel LITHOMODELEUR)



### 3. Matagami

Altérations volcanogènes: Calcul de **bilans de masse** (gains et pertes en oxydes)  
à partir de précurseurs modélisés (Logiciel LITHOMODELEUR)

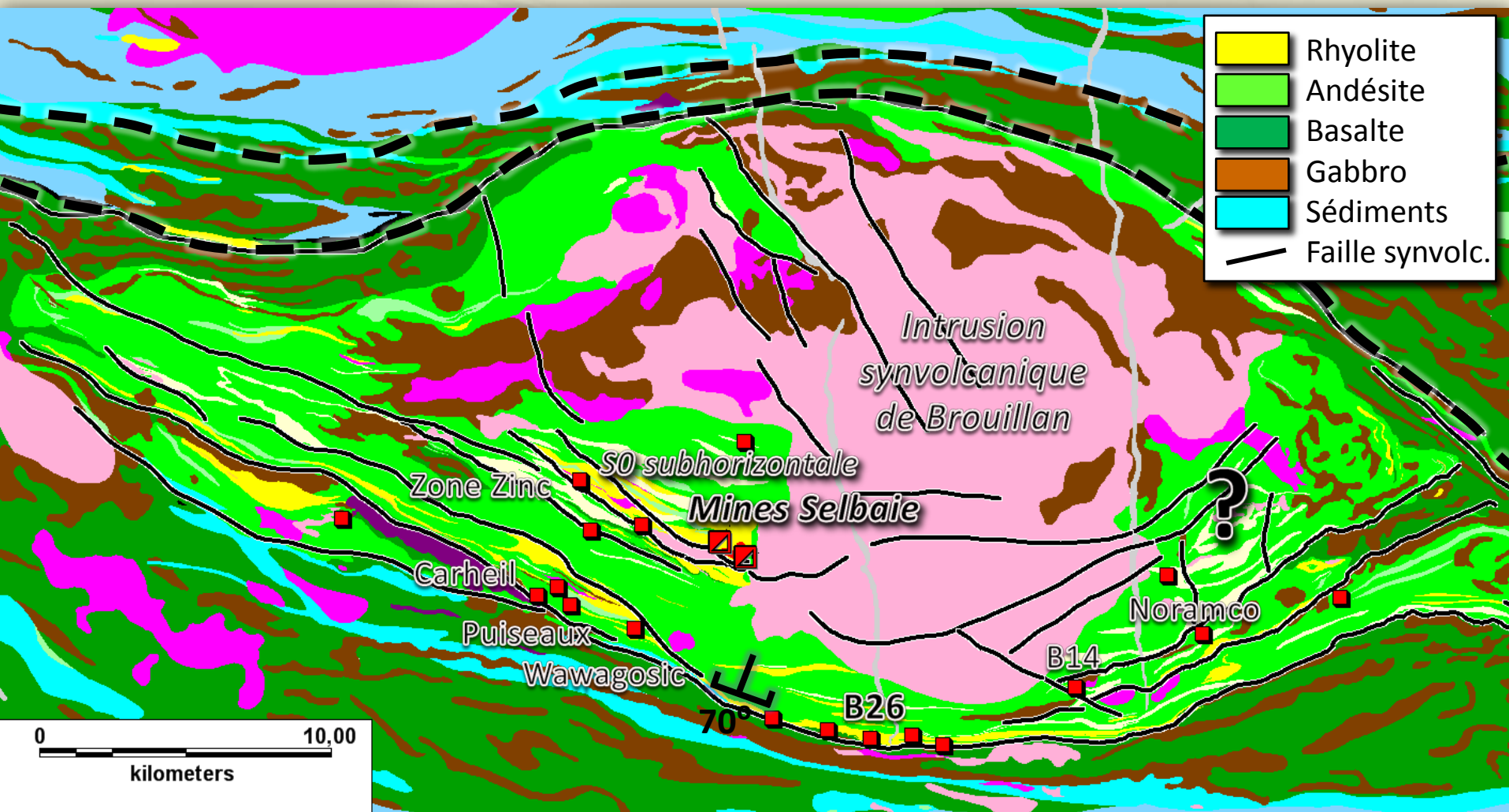


## 4. Caldeira de Selbaie

- Identifier l'altération régionale avec  
la Norme Lithomodeleur

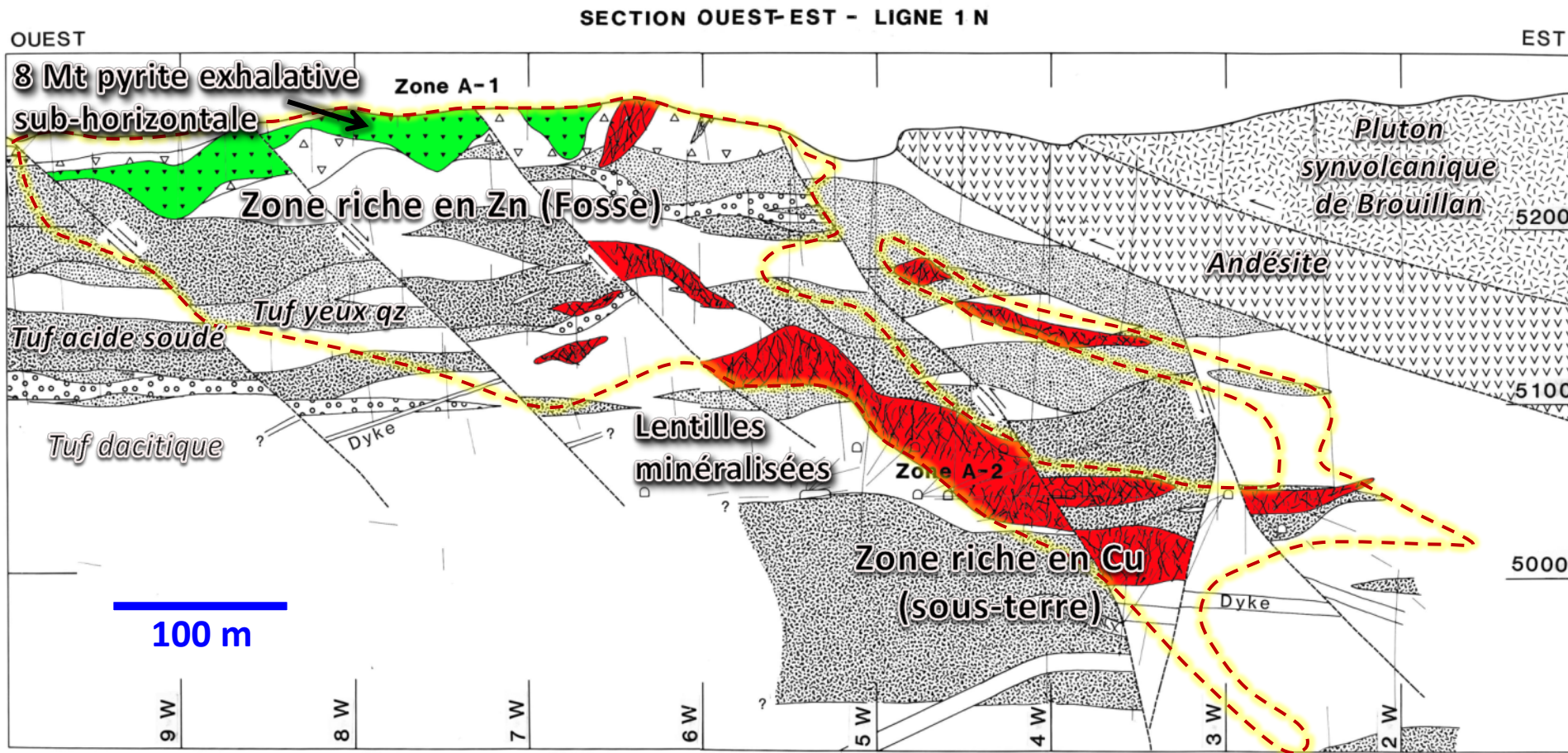
## 4. Caldeira de Selbaie

Complexe volcano-plutonique, volcanoclastites calco-alkalines, pendage sub-horizontale à modéré, minéralisations associées à une caldeira sub-aquatique à sub-aérienne (Deptuck et al., 1982; Larson et Hutchinson, 1993; Faure et al., 1990, 1996)



## 4. Caldeira de Selbaie

Mines Selbaie : 56,9 MT @ 1,85% Zn; 0,87% Cu; 39 g/t Ag; 0,55 g/t Au



Faure et al., 1996

**Découverte sur des anomalies Input en 1974**

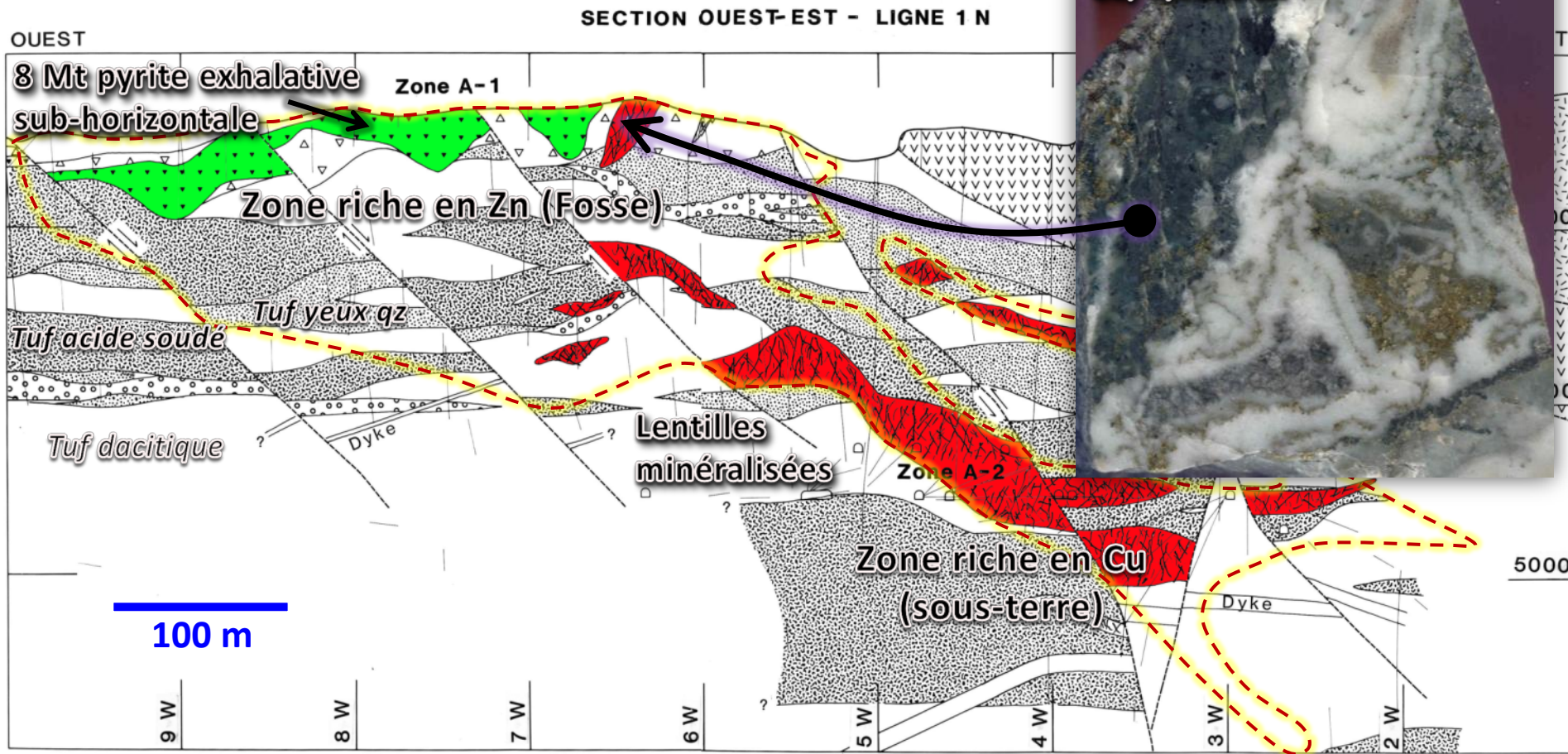
**Production de 1981 à 2004**

3 zones: A-1 (Fosse), A-2, et B (sous-terre)

## 4. Caldeira de Selba

Mines Selbaie : 56,9 MT @ 1,85% Zn; 0,87% Cu; 39 g/t Ag; 0,38 g/t Au

**Zone A-1**  
 Veines à Zn-Pb-Ag-Bi  
 et disséminations  
 Moyenne 0,38 g/t Au; 0,66%  
 Cu; 2,52% Zn



Faure et al., 1996

Découverte sur des anomalies Input en 1974

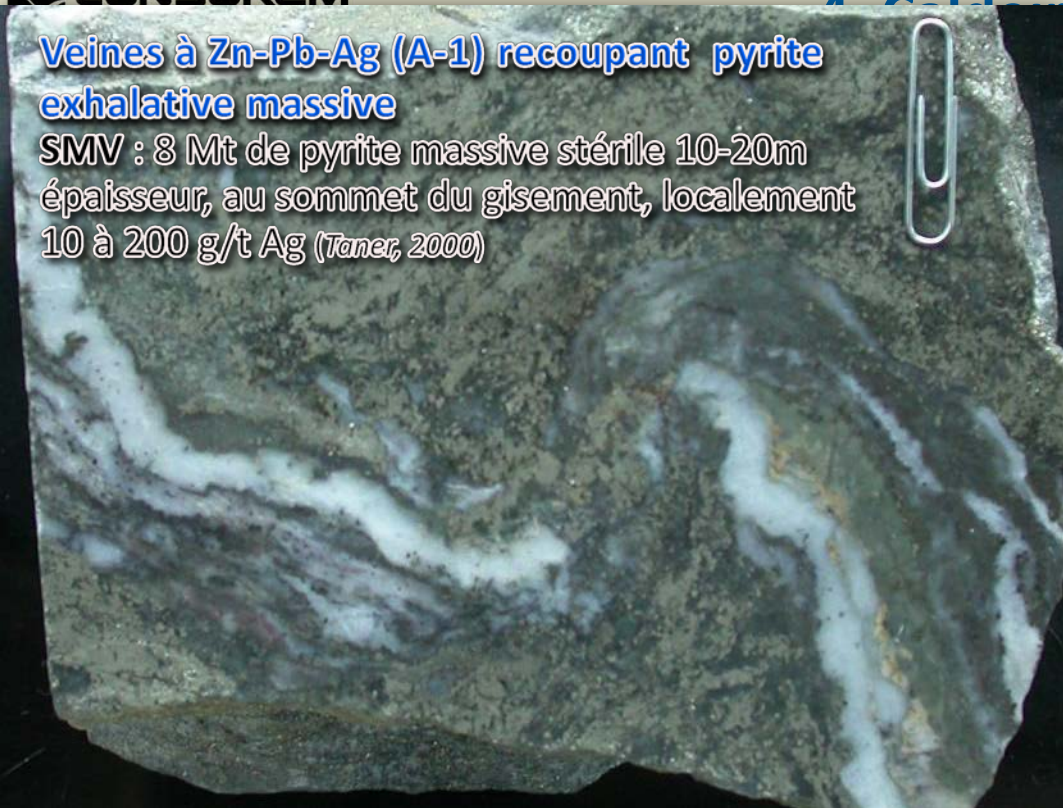
Production de 1981 à 2004

3 zones: A-1 (Fosse), A-2, et B (sous-terre)

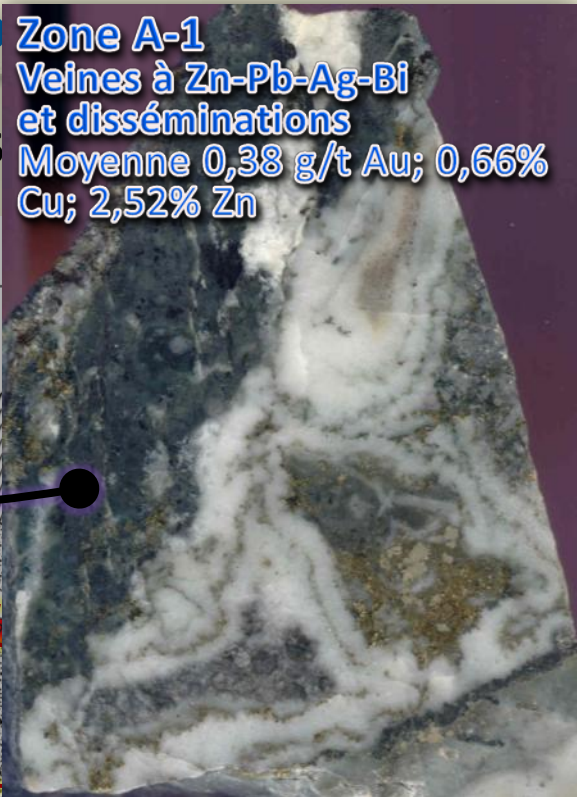


Veines à Zn-Pb-Ag (A-1) recoupant pyrite exhalative massive

SMV : 8 Mt de pyrite massive stérile 10-20m épaisseur, au sommet du gisement, localement 10 à 200 g/t Ag (Taner, 2000)

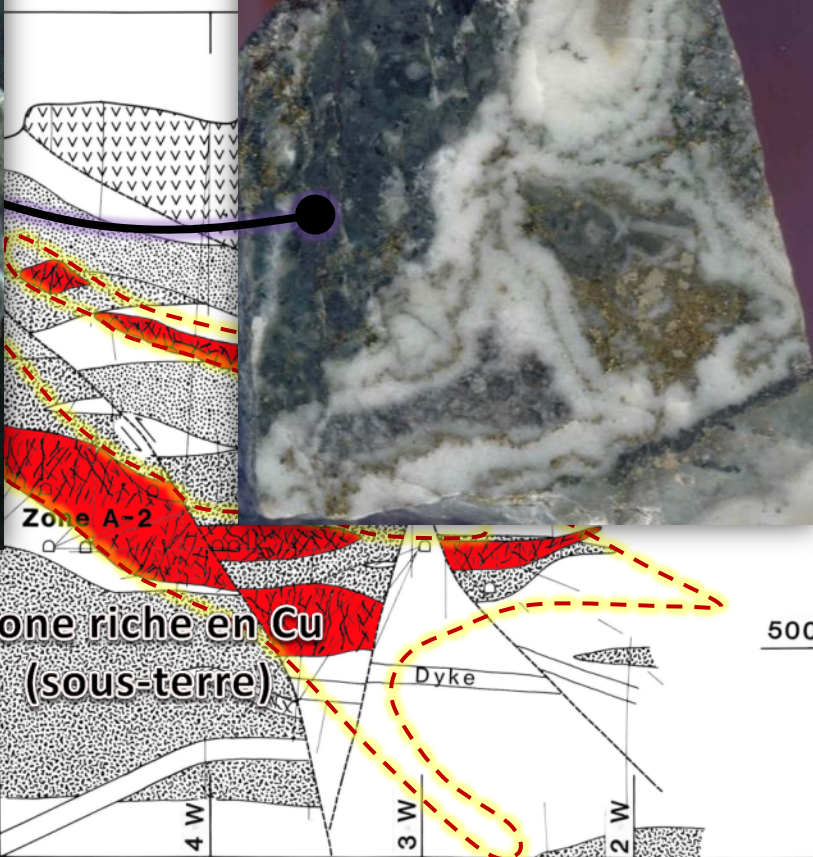


Zone A-1  
Veines à Zn-Pb-Ag-Bi et disséminations  
Moyenne 0,38 g/t Au; 0,66% Cu; 2,52% Zn



g/t Ag; 0,5

LIGNE 1 N



100 m

Faure et al., 1996

Découverte sur des anomalies Input en 1974

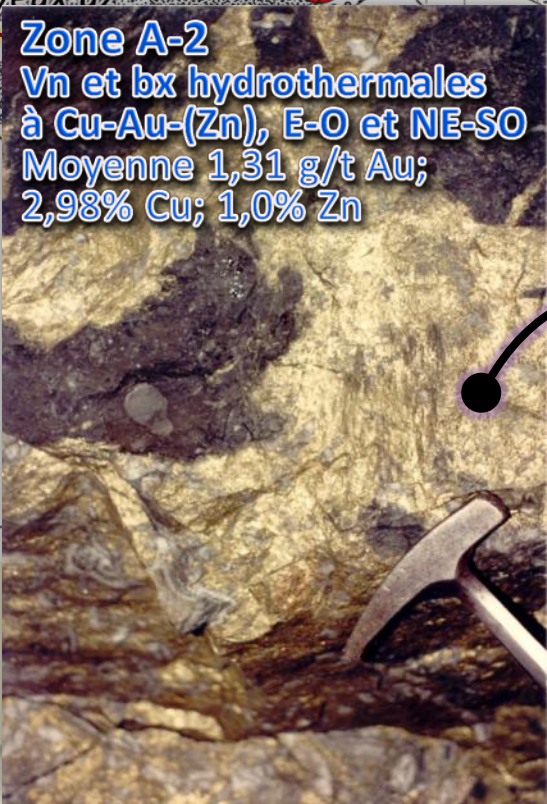
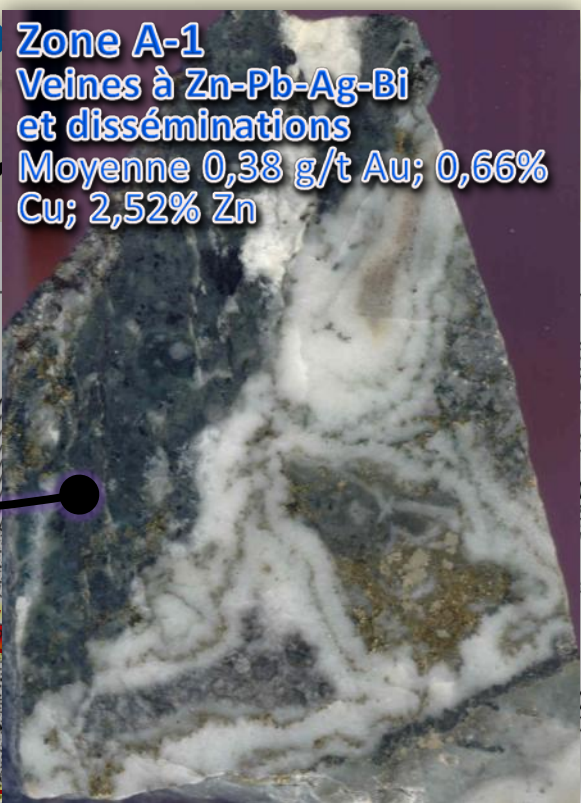
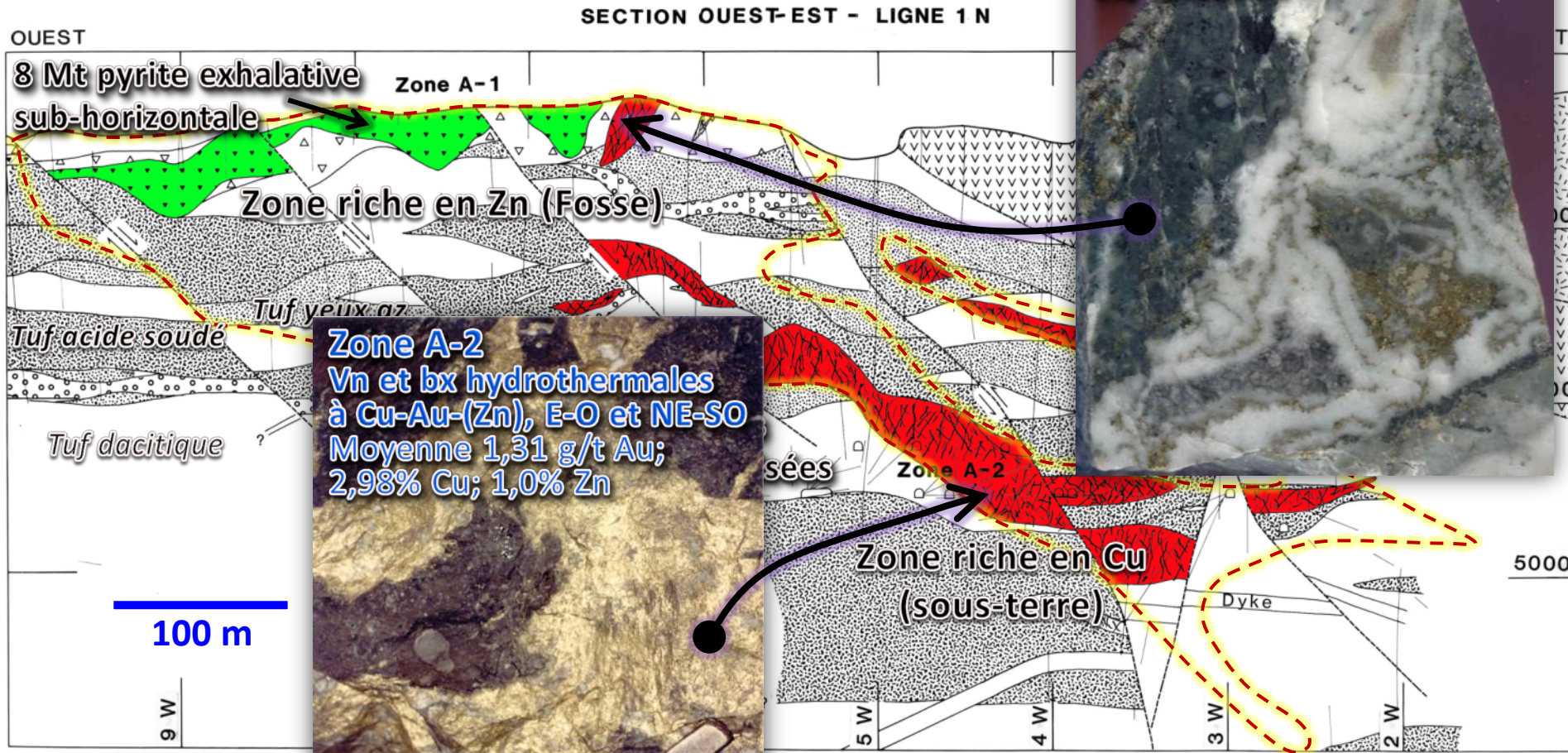
Production de 1981 à 2004

3 zones: A-1 (Fosse), A-2, et B (sous-terre)

# 4. Caldeira de Selba

Mines Selbaie : 56,9 MT @ 1,85% Zn; 0,87% Cu; 39 g/t Ag; 0,38 g/t Au

**Zone A-1**  
 Veines à Zn-Pb-Ag-Bi  
 et disséminations  
 Moyenne 0,38 g/t Au; 0,66%  
 Cu; 2,52% Zn



Faure et al., 1996

**Découverte sur des anomalies Input en 1974**  
**Production de 1981 à 2004**  
 3 zones: A-1 (Fosse), A-2, et B (sous-terre)

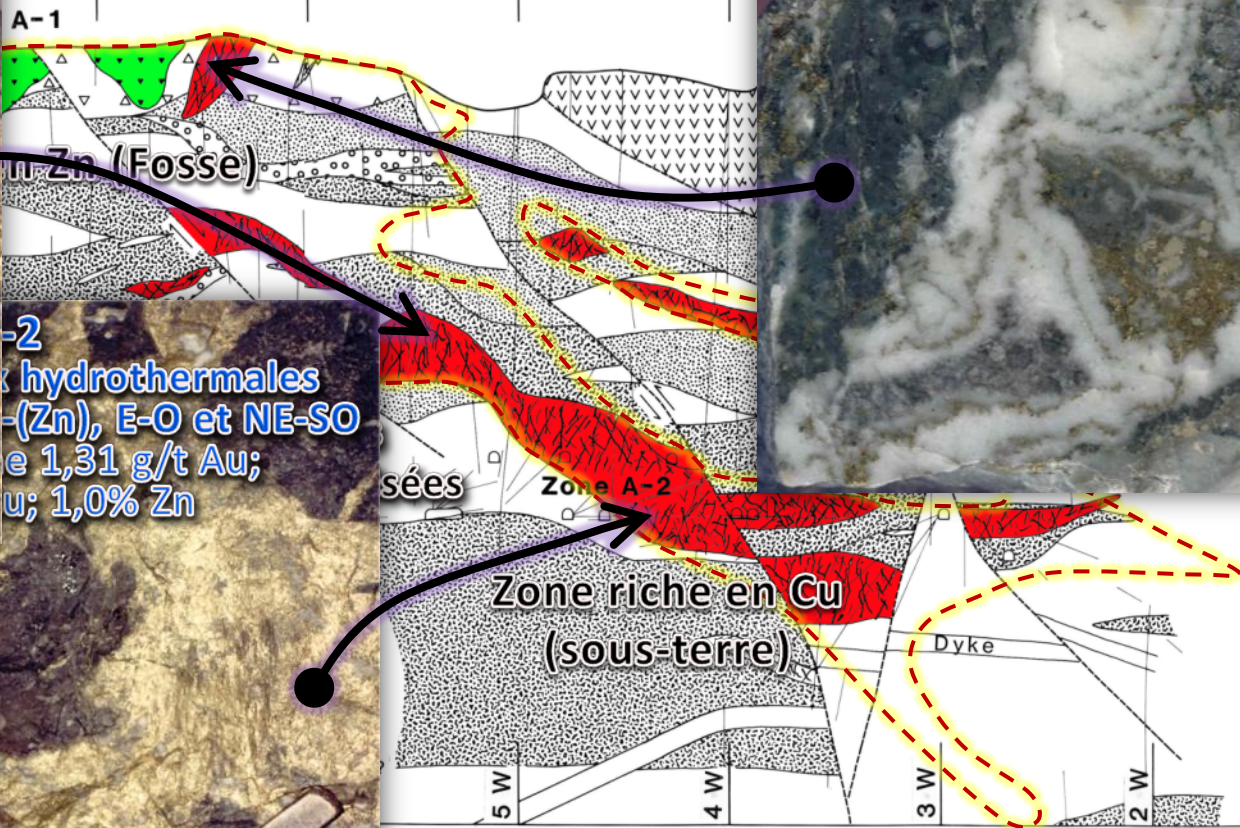
# 4. Caldeira de Selb

**Zone A-2**  
 Veines à Cu-Au-(Zn)-Qz

@ 1,85% Zn; 0,87% Cu; 39 g/t Ag; 0,...

**Zone A-1**  
 Veines à Zn-Pb-Ag-Bi  
 et disséminations  
 Moyenne 0,38 g/t Au; 0,66%  
 Cu; 2,52% Zn

SECTION OUEST-EST - LIGNE 1 N



**Zone A-2**  
 Veines hydrothermales  
 à Cu-Au-(Zn), E-O et NE-SO  
 Moyenne 1,31 g/t Au;  
 0,66% Cu; 1,0% Zn

**Zone riche en Cu**  
 (sous-terre)

100 m

Faure et al., 1996

**Découverte sur des anomalies Input en 1974**  
**Production de 1981 à 2004**  
 3 zones: A-1 (Fosse), A-2, et B (sous-terre)

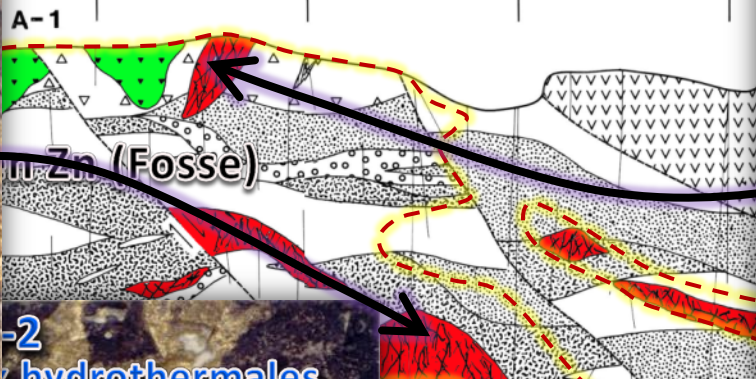
## 4. Caldeira de Selba

**Zone A-2**  
 Veines à Cu-Au-(Zn)-Qz

@ 1,85% Zn; 0,87% Cu; 39 g/t Ag; 0,...

**Zone A-1**  
 Veines à Zn-Pb-Ag-Bi  
 et disséminations  
 Moyenne 0,38 g/t Au; 0,66%  
 Cu; 2,52% Zn

SECTION OUEST-EST - LIGNE 1 N



### Problématique

- Distinguer l'altération VMS du système épithermal acide
- Identifier l'altération le long de failles synvolcaniques
- Reconnaître ailleurs une signature hydrothermale du type Selbaie

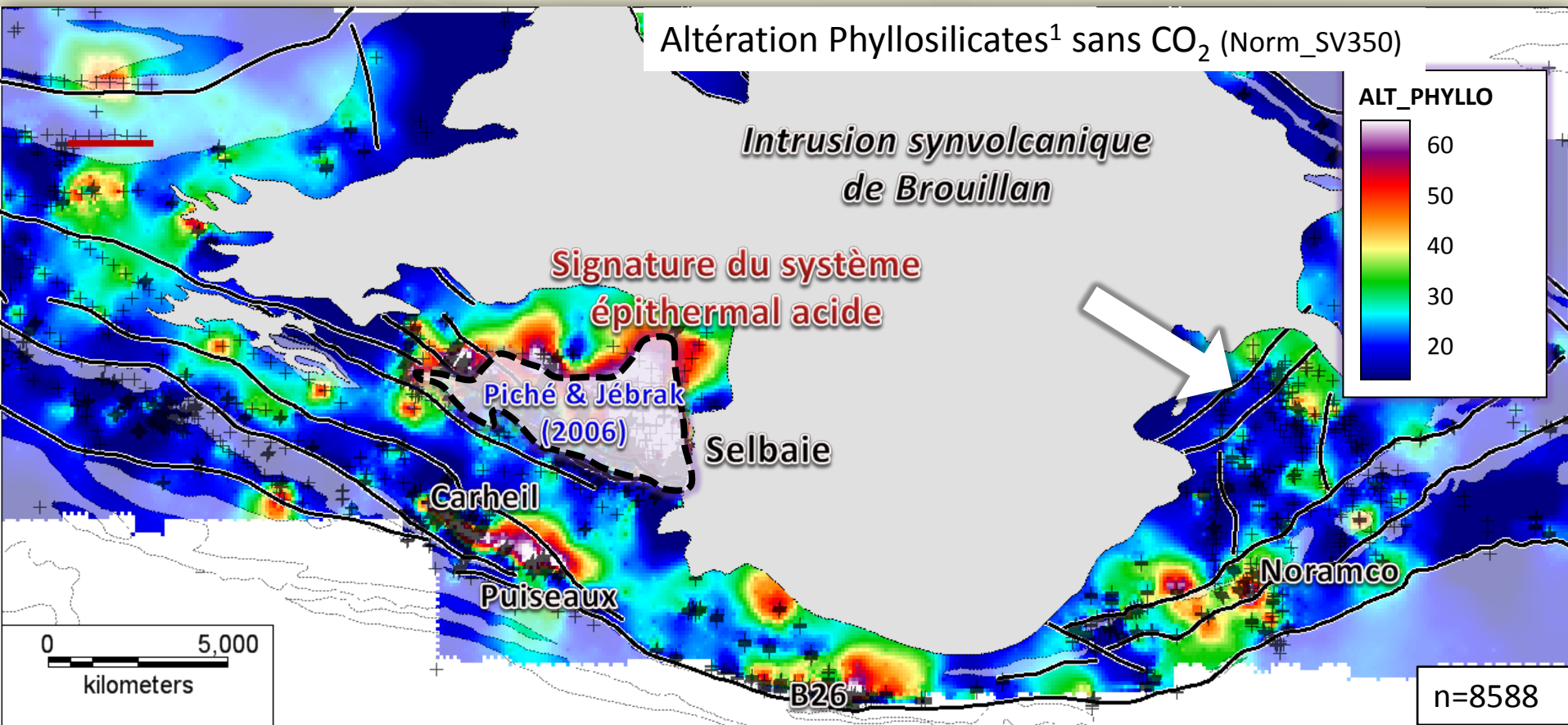
100 m

*Faure et al., 1996*

**Découverte sur des anomalies Input en 1974**  
**Production de 1981 à 2004**  
 3 zones: A-1 (Fosse), A-2, et B (sous-terre)

### Minéraux normatifs de l'altération hydrothermale

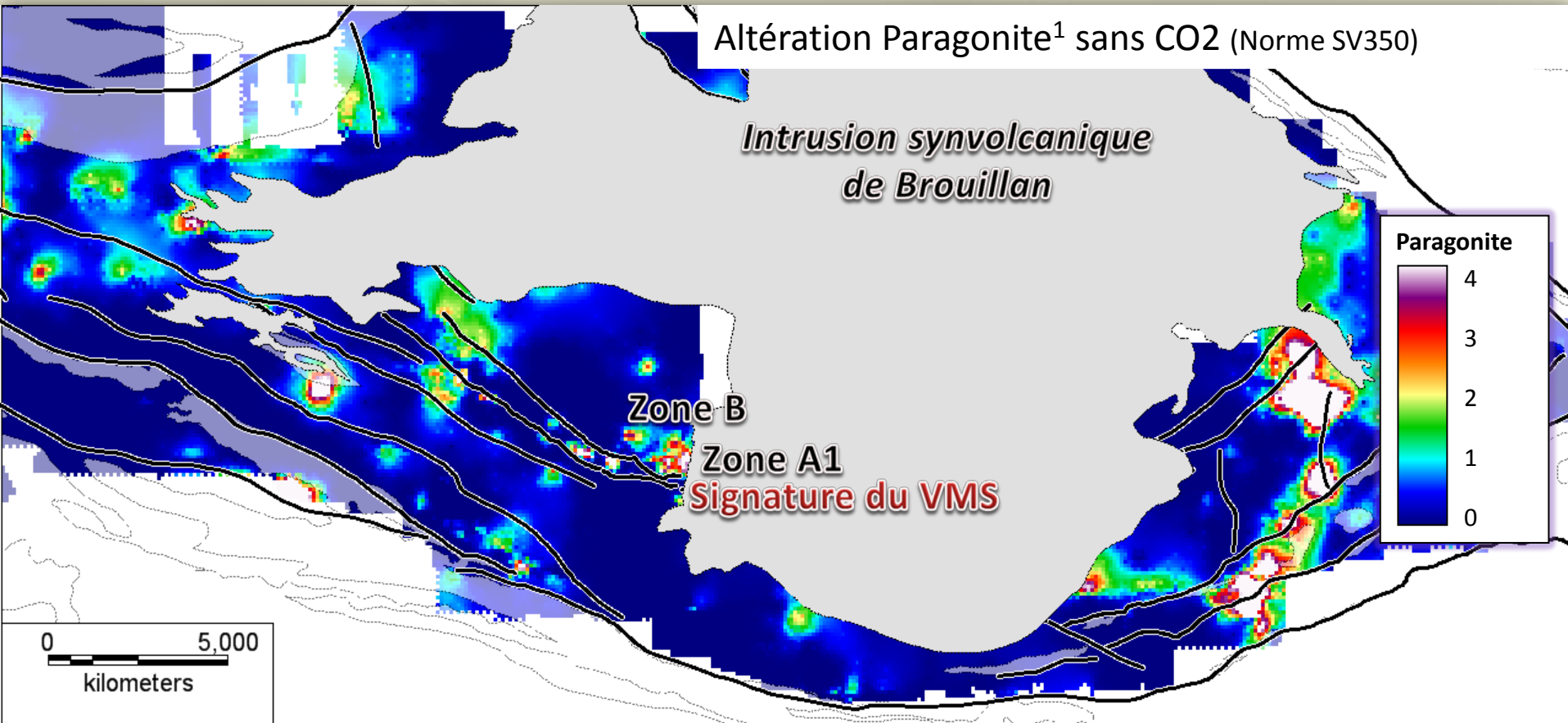
Altération globale en phyllosilicates normatifs



<sup>1</sup>ALT\_PHYLLO : Séricite + chlorite + pyrophyllite + paragonite normatives (Norme LITHOMODELEUR)

Projet Consorem 2011-08

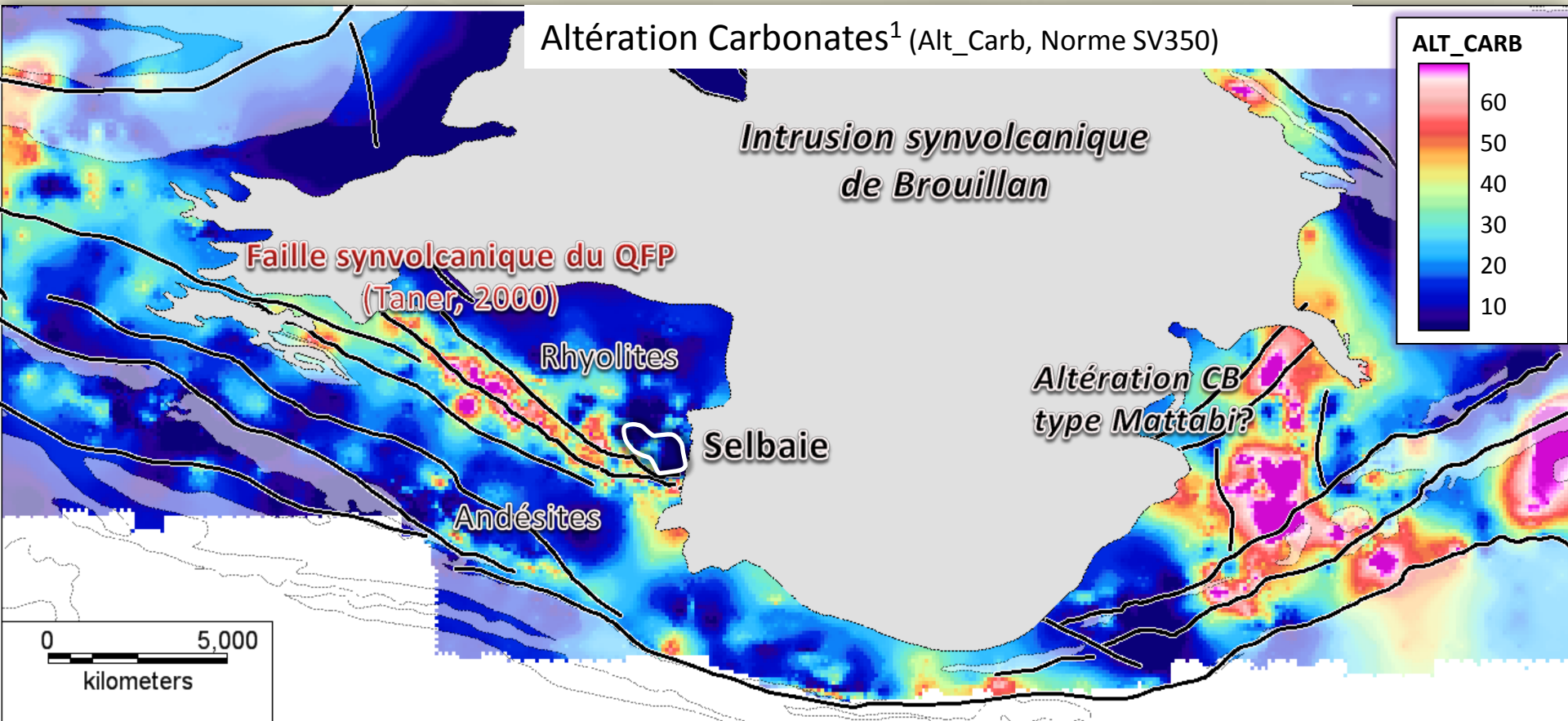
### Minéraux normatifs de l'altération hydrothermale Altération en paragonite normative



<sup>1</sup> **Paragonite** (normative LITHOMODELEUR): phyllosilicate d'aluminium et de sodium exprimant un lessivage extrême, proximal et acide

### Minéraux normatifs de l'altération hydrothermale

Altération en carbonates normatifs



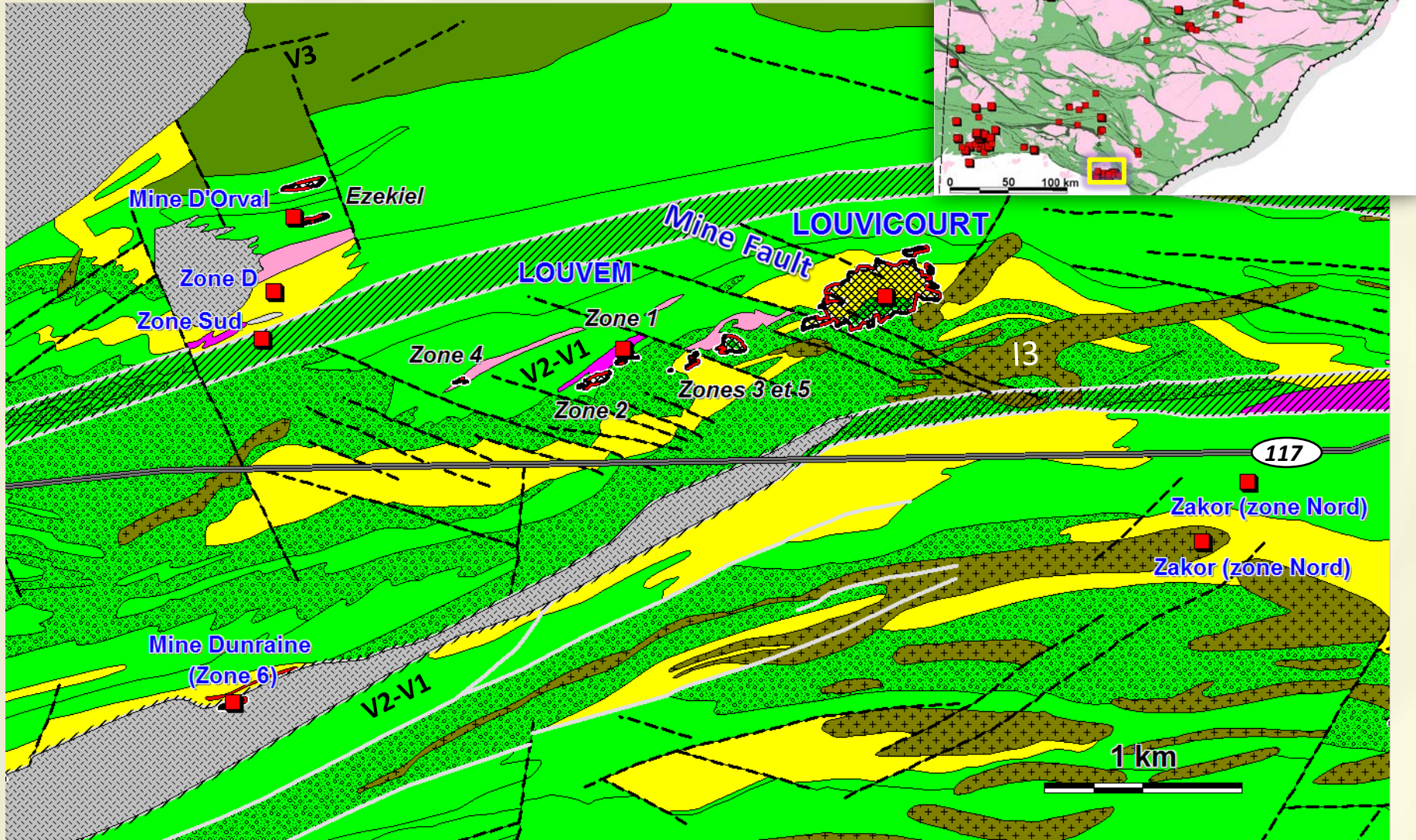
<sup>1</sup>Somme des **carbonates** normatifs avec LITHOMODELEUR: Calcite+Dolomie+Sidérite+Magnésite représentant un système de plus basse T° et plus neutre.

## **5. Centre volcanique de Louvicourt, Camp de Val-d'Or**

- Identifier des failles synvolcaniques par différentes méthodes dans une séquence basculée déformée

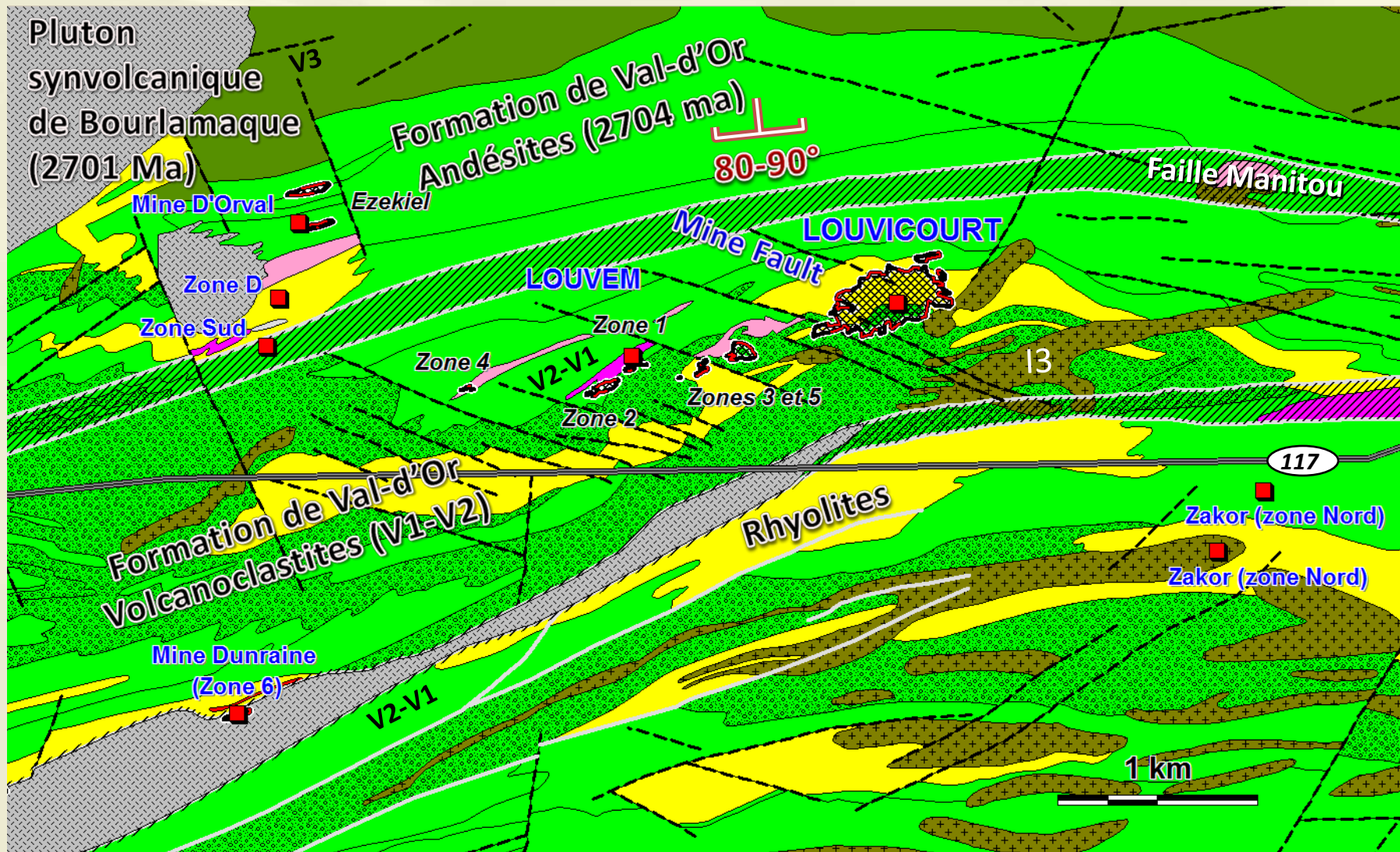


## Géologie secteur des anciennes mines Louvem-Louvicourt



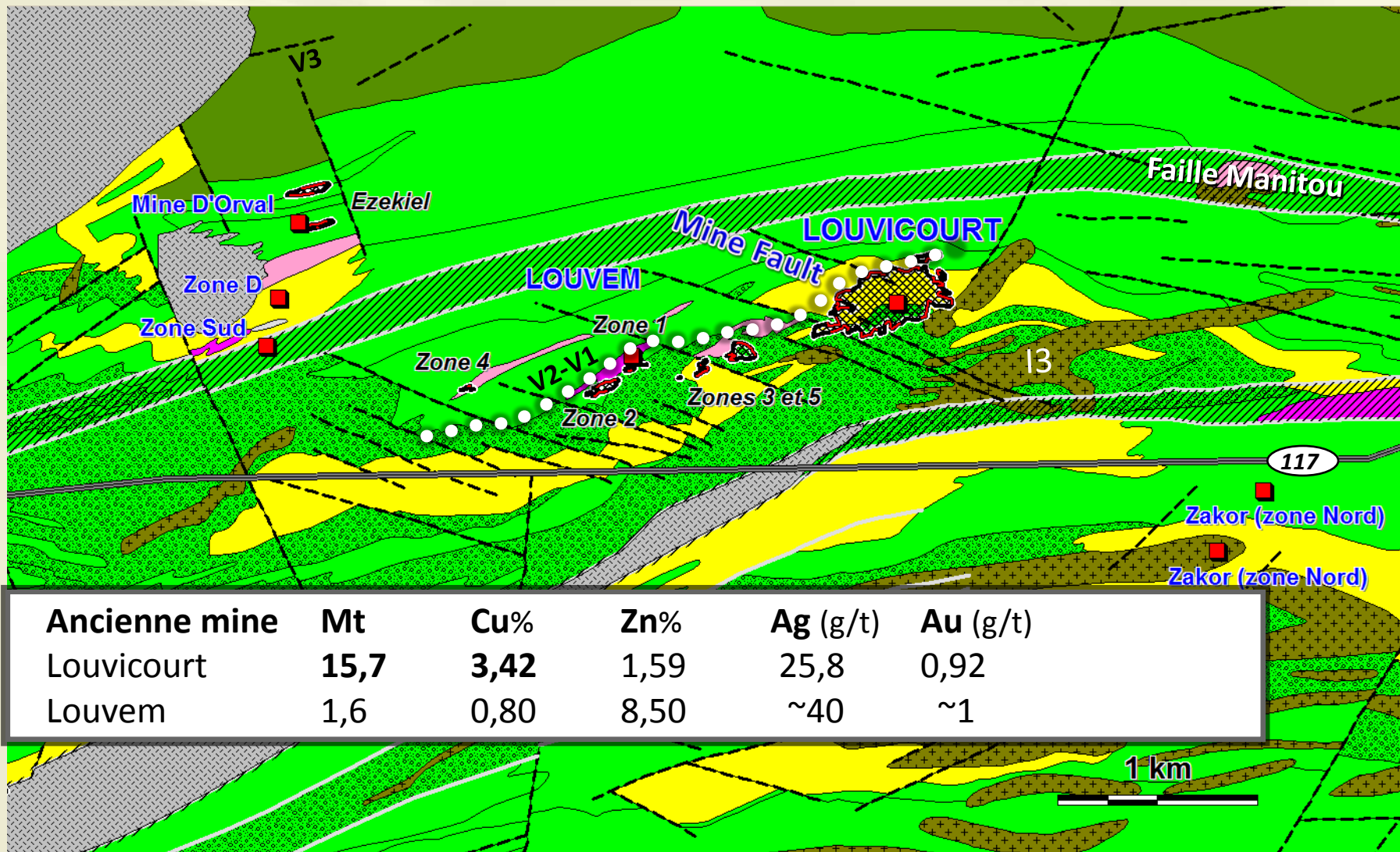
Géologie du SIGEOM (Pilote, 2000)

## Géologie secteur des anciennes mines Louvem-Louvicourt



Géologie du SIGEOM (Pilote, 2000)

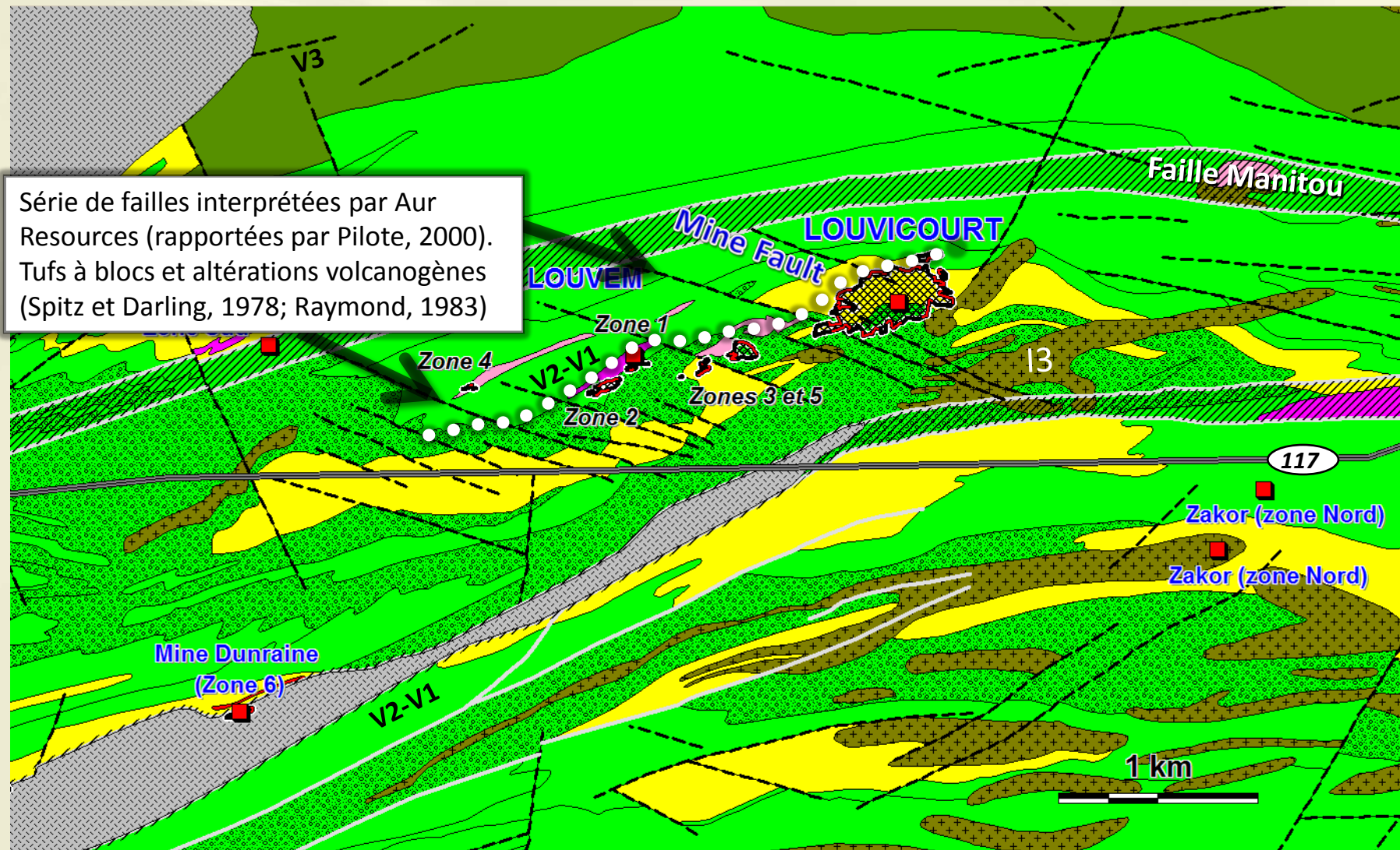
## Géologie secteur des anciennes mines Louvem-Louvicourt



Ancienne mine	Mt	Cu%	Zn%	Ag (g/t)	Au (g/t)
Louvicourt	15,7	3,42	1,59	25,8	0,92
Louvem	1,6	0,80	8,50	~40	~1

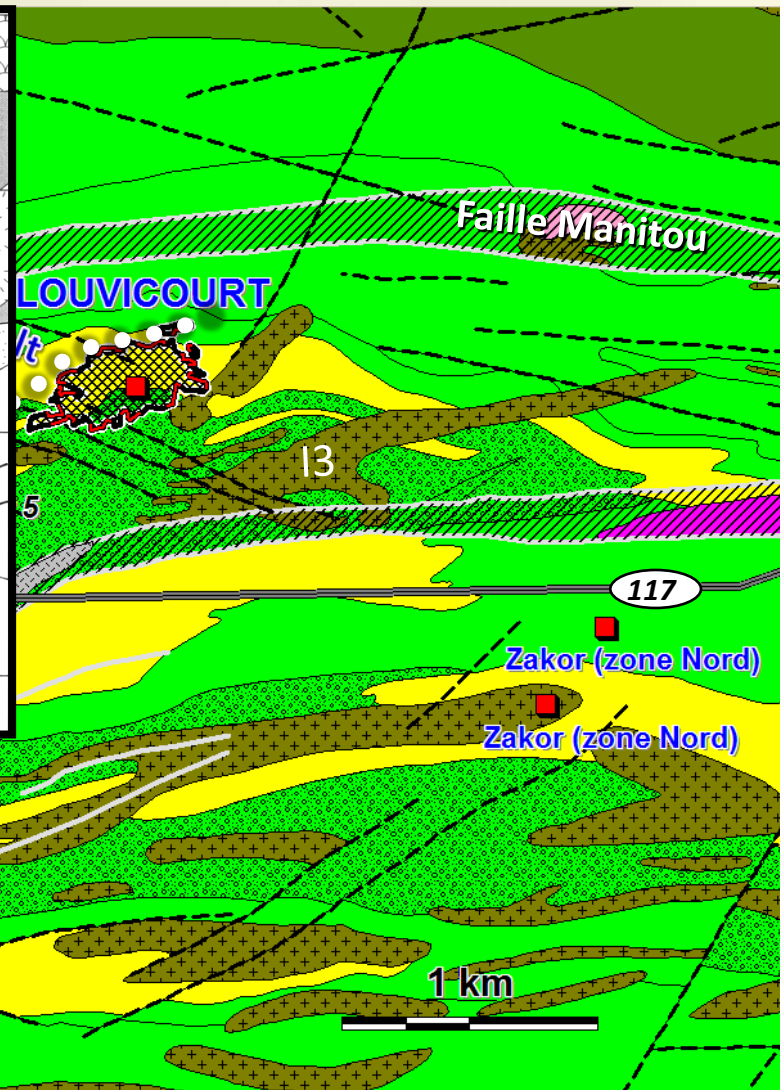
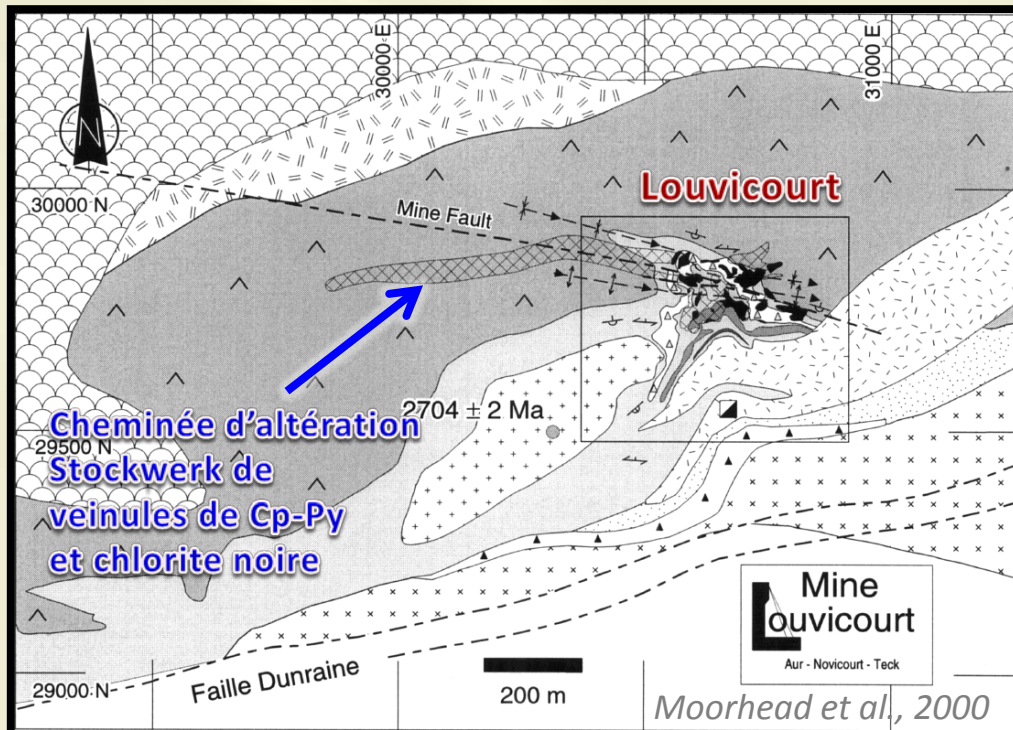
Géologie du SIGEOM (Pilote, 2000)

## Géologie secteur des anciennes mines Louvem-Louvicourt



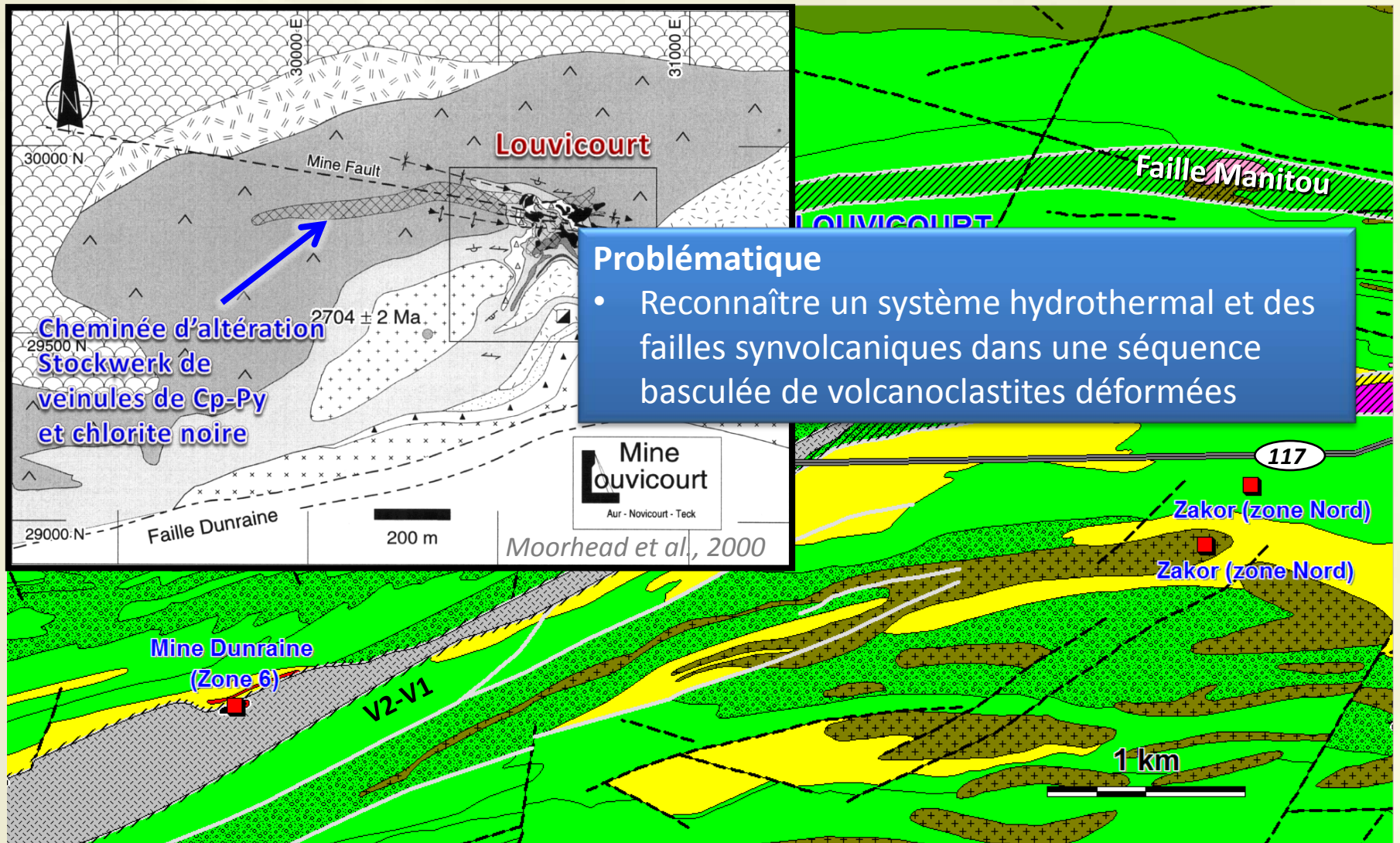
Géologie du SIGEOM (Pilote, 2000)

## Géologie secteur des anciennes mines Louvem-Louvicourt



Géologie du SIGEOM (Pilote, 2000)

## Géologie secteur des anciennes mines Louvem-Louvicourt

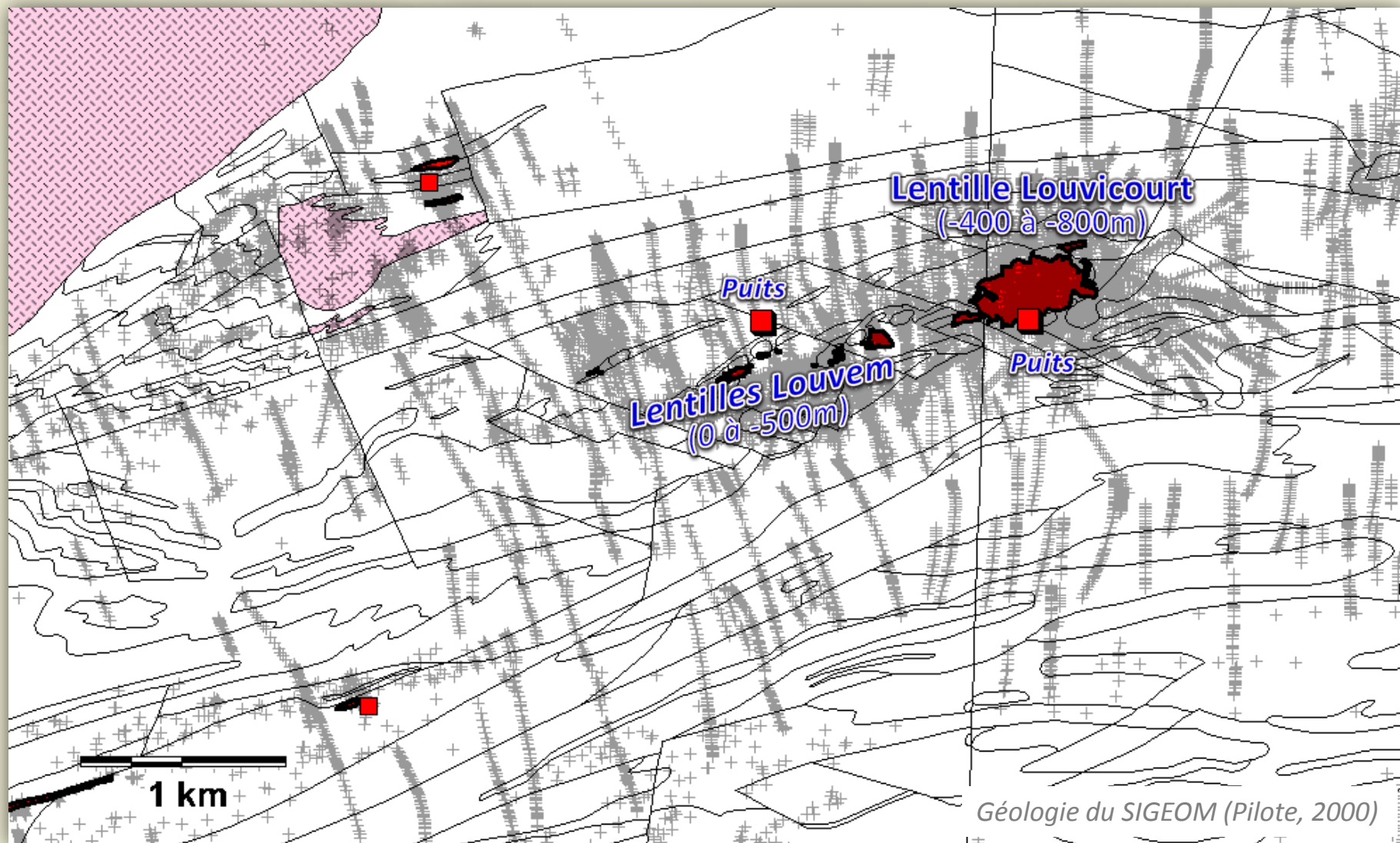


**Problématique**

- Reconnaître un système hydrothermal et des failles synvolcaniques dans une séquence basculée de volcanoclastites déformées

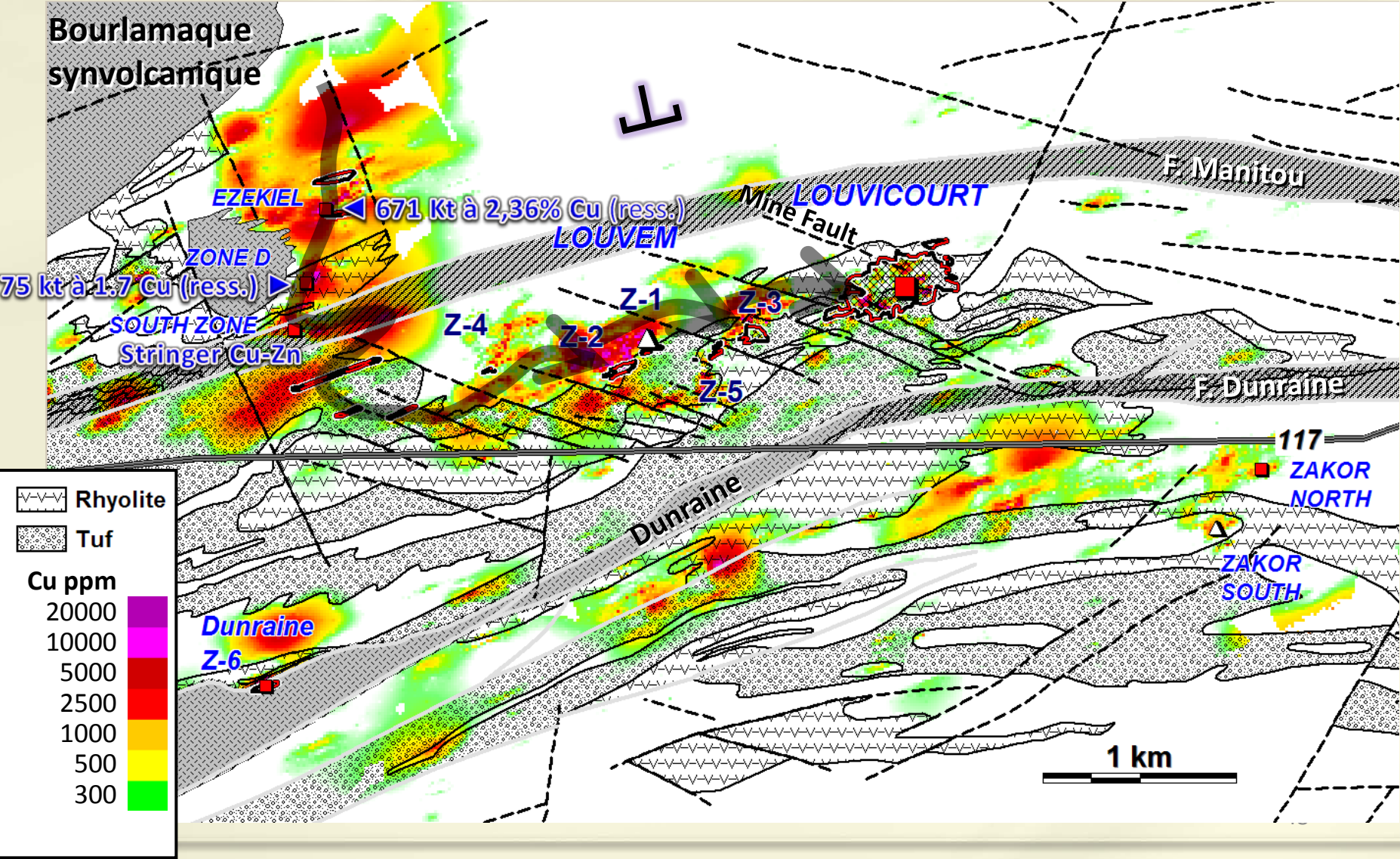
Géologie du SIGEOM (Pilote, 2000)

### Distribution des 9375 échantillons lithogéochimiques\* et lentilles de SMV



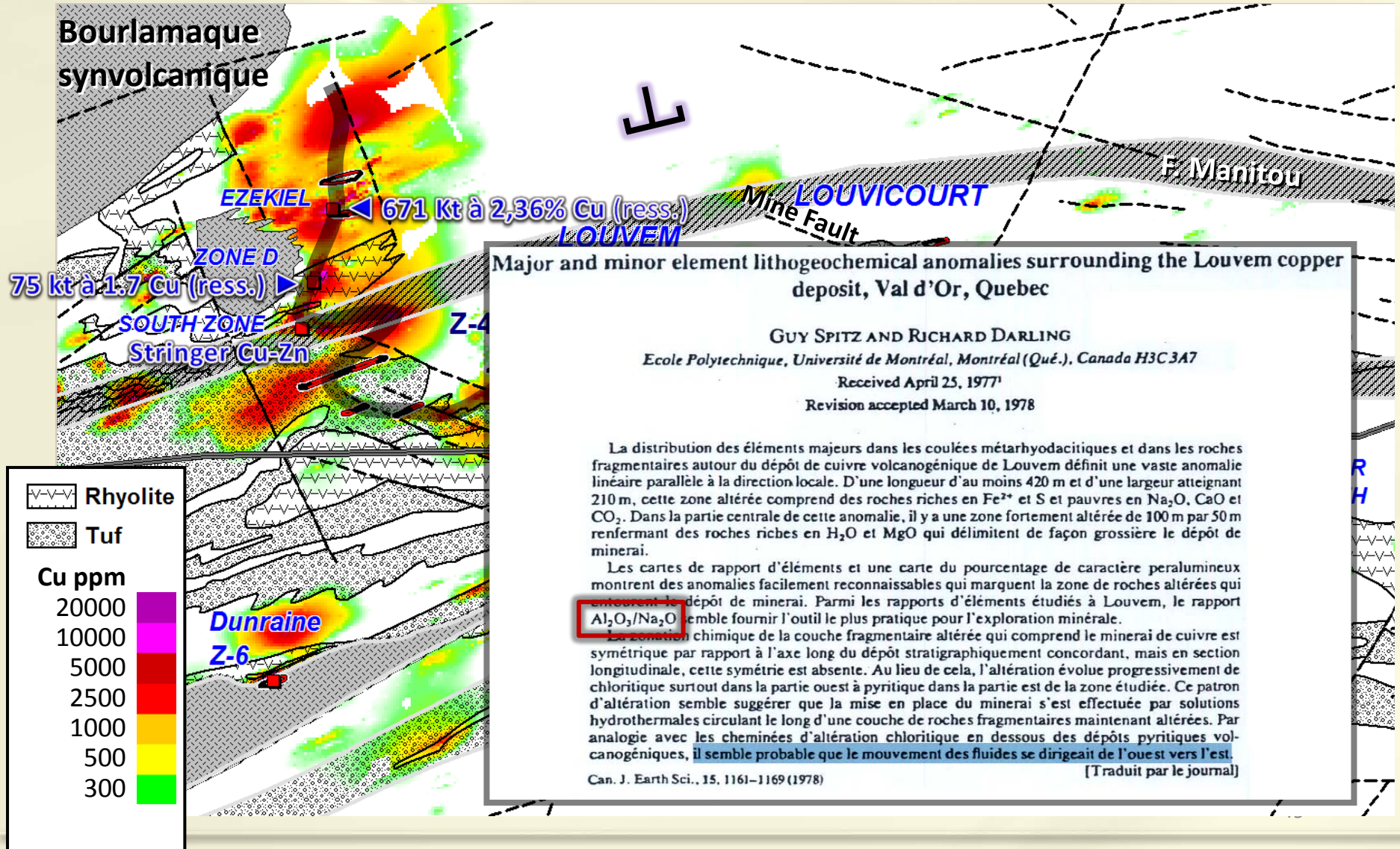
# 5. Centre volcanique de Louvicourt

## Minéralisations – Anomalies en Cuivre (0 à -500m)



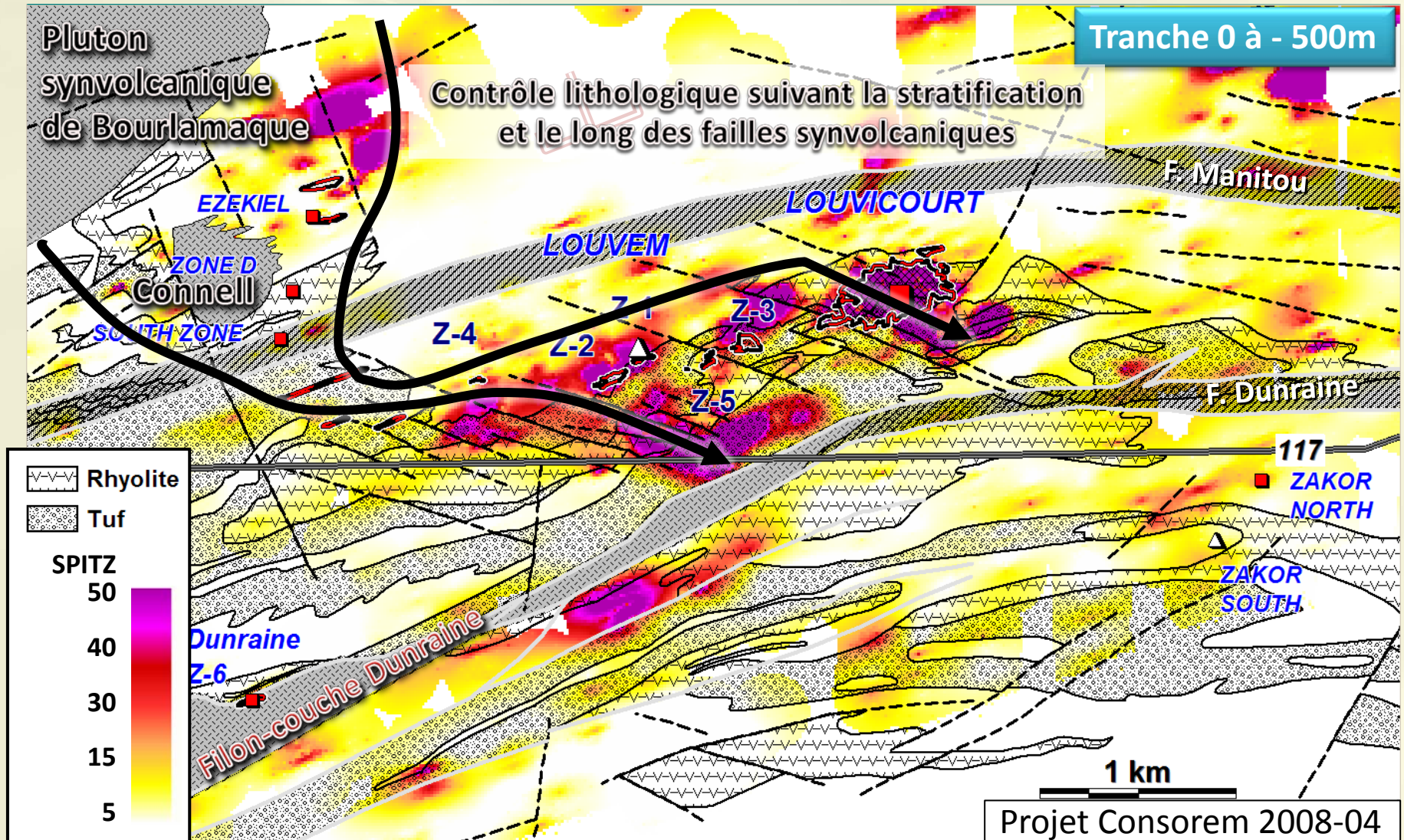


## Minéralisations – Anomalies en Cuivre (0 à -500m)



## 5. Centre volcanique de Louvicourt

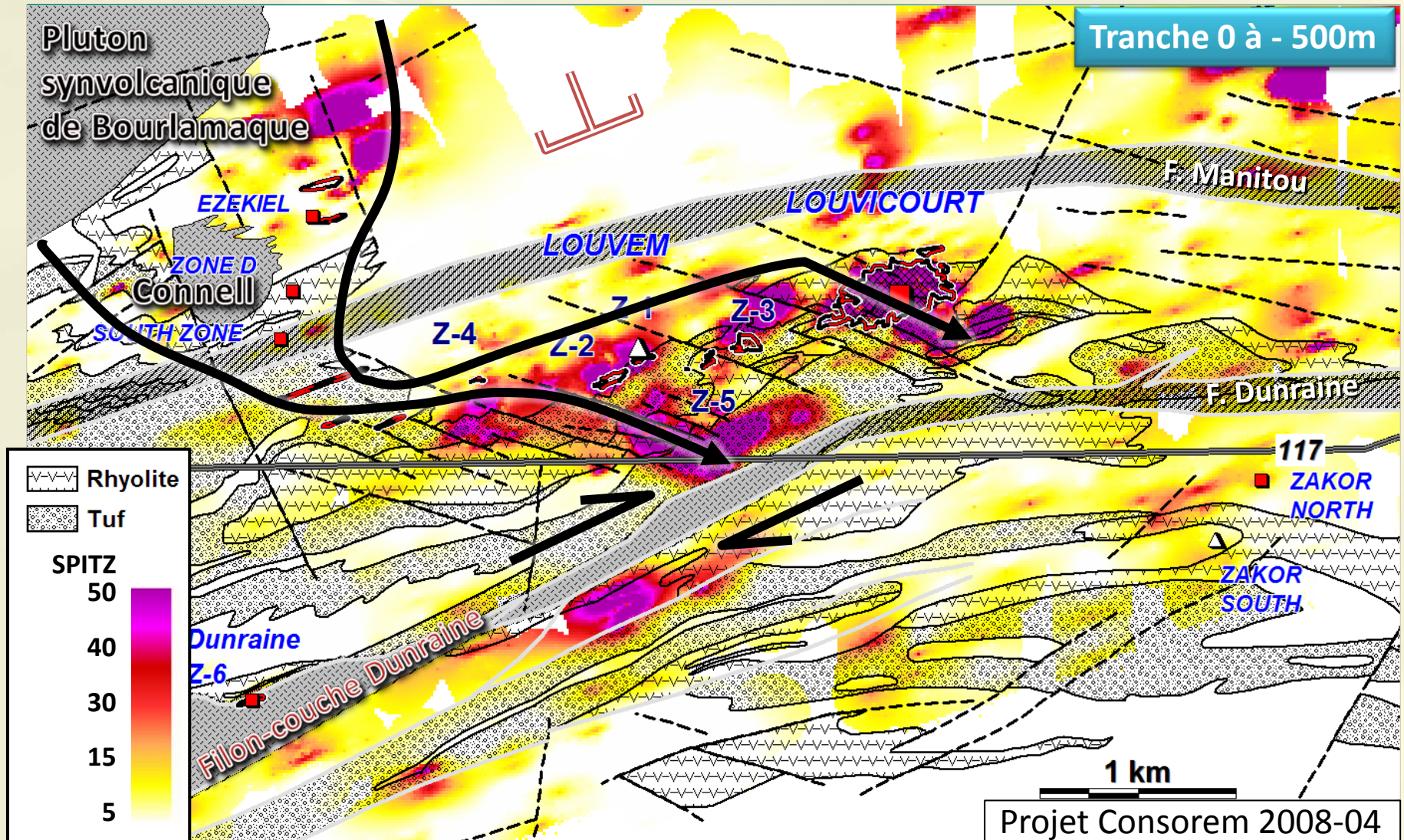
Indice **SPITZ\*** ( $[Al_2O_3/Na_2O] * 100$ ): lessivage Na (Al résiduel) le long des failles.  
**Zone d'altération proximale HT° suivant les failles**



\*Spitz et Darling, 1978; Géologie de Pilote, 2000

## 5. Centre volcanique de Louvicourt

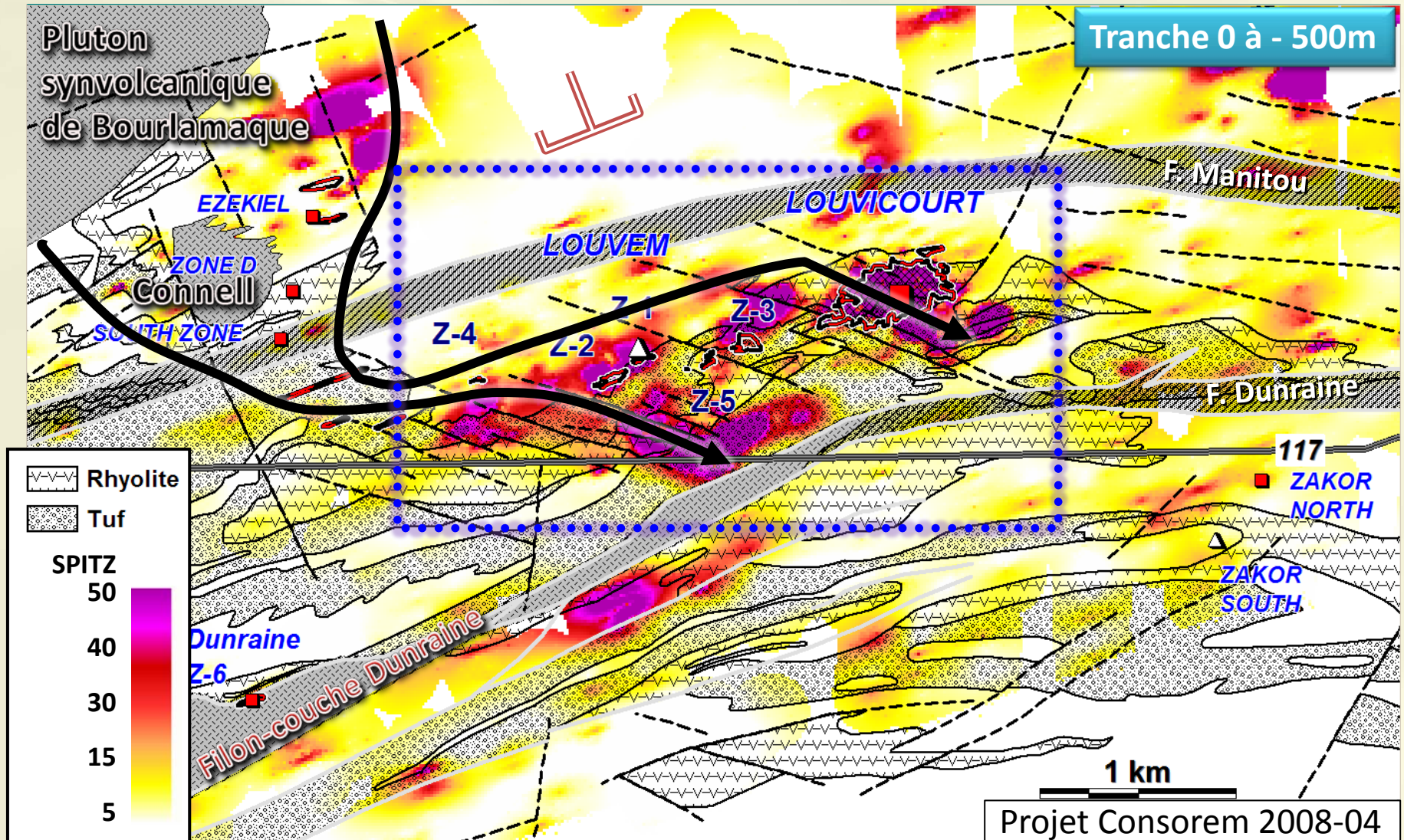
Indice **SPITZ\*** ( $[Al_2O_3/Na_2O] \cdot 100$ ): lessivage Na (Al résiduel) le long des failles.  
**Zone d'altération proximale HT° suivant les failles**



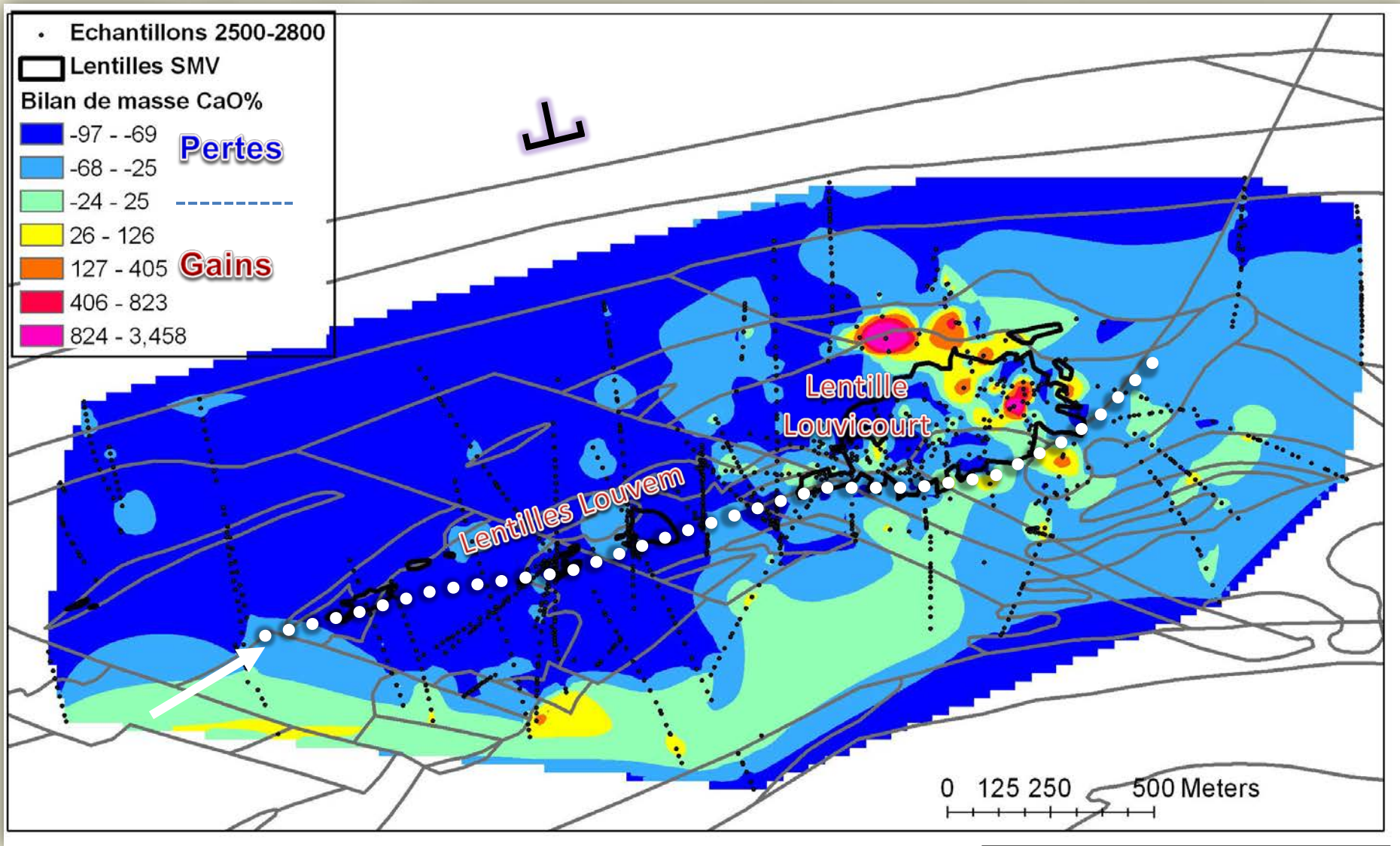
\*Spitz et Darling, 1978; Géologie de Pilote, 2000

## 5. Centre volcanique de Louvicourt

Indice **SPITZ\*** ( $[Al_2O_3/Na_2O] \cdot 100$ ): lessivage Na (Al résiduel) le long des failles.  
**Zone d'altération proximale HT° suivant les failles**



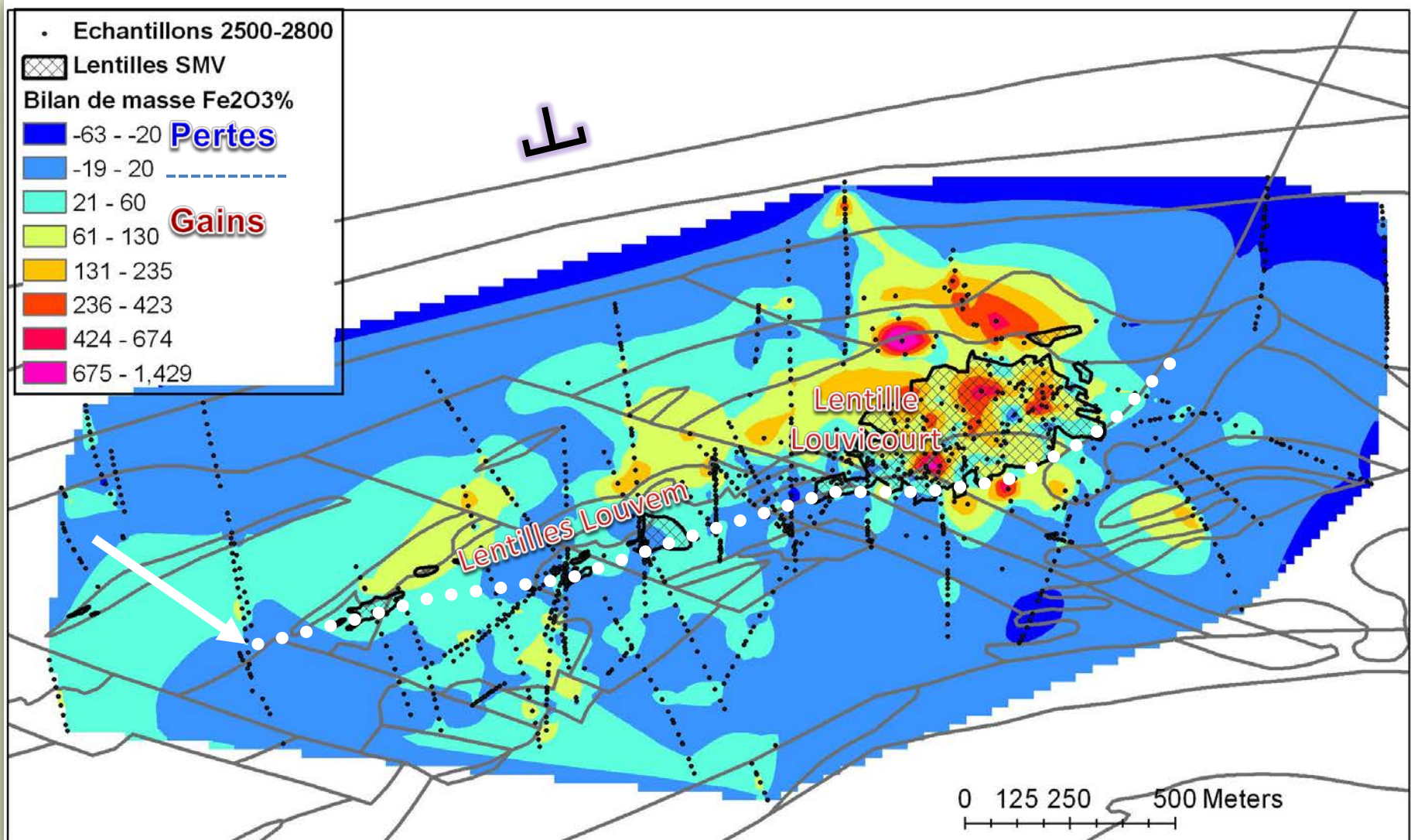
## Bilans de masse sur précurseurs modélisés : CaO (-500 à -800m)



Projet Consorem 2008-07

# 5. Centre volcanique de Louvicourt

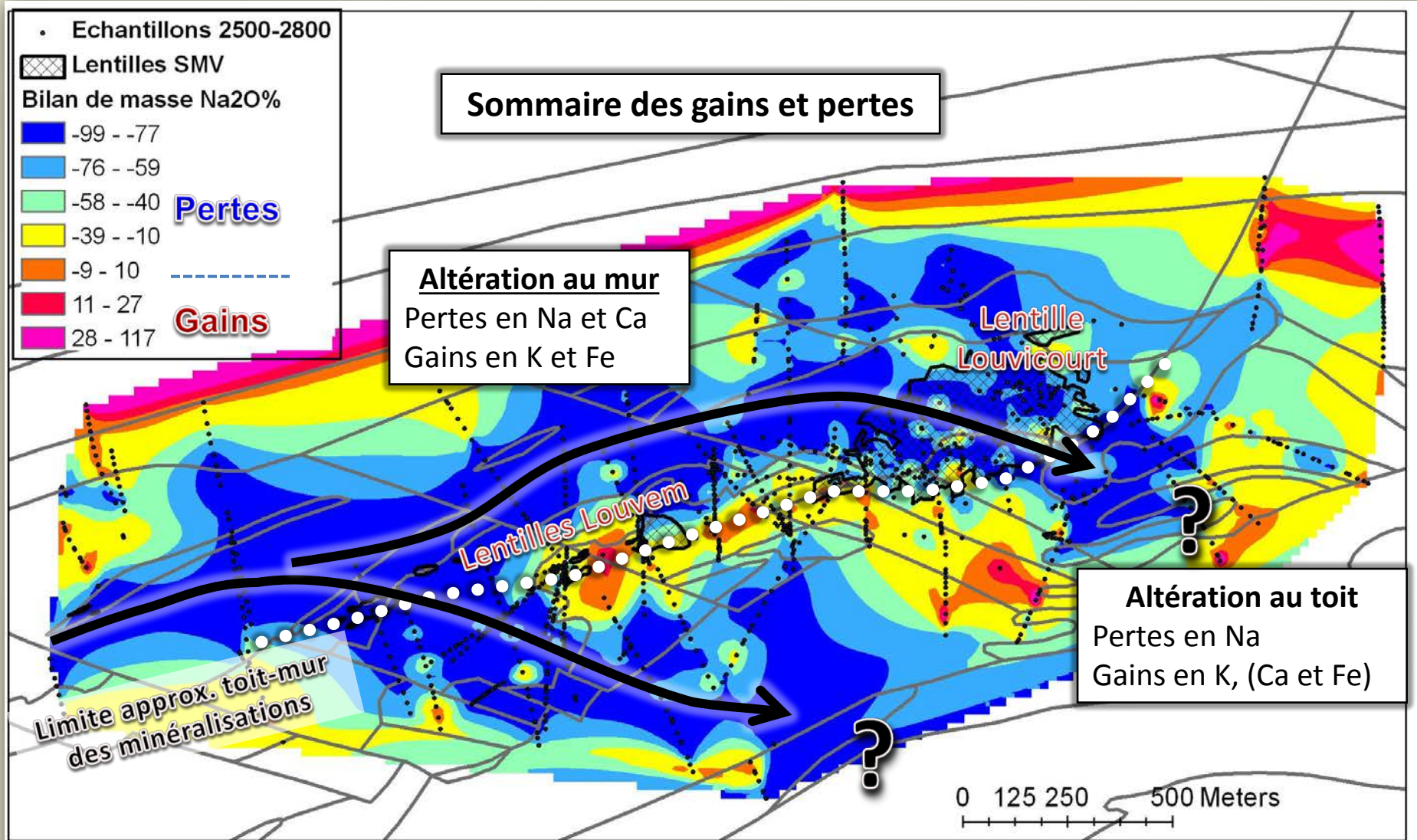
Bilans de masse sur précurseurs modélisés : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (-500 à -800m)



Projet Consorem 2008-07

# 5. Centre volcanique de Louvicourt

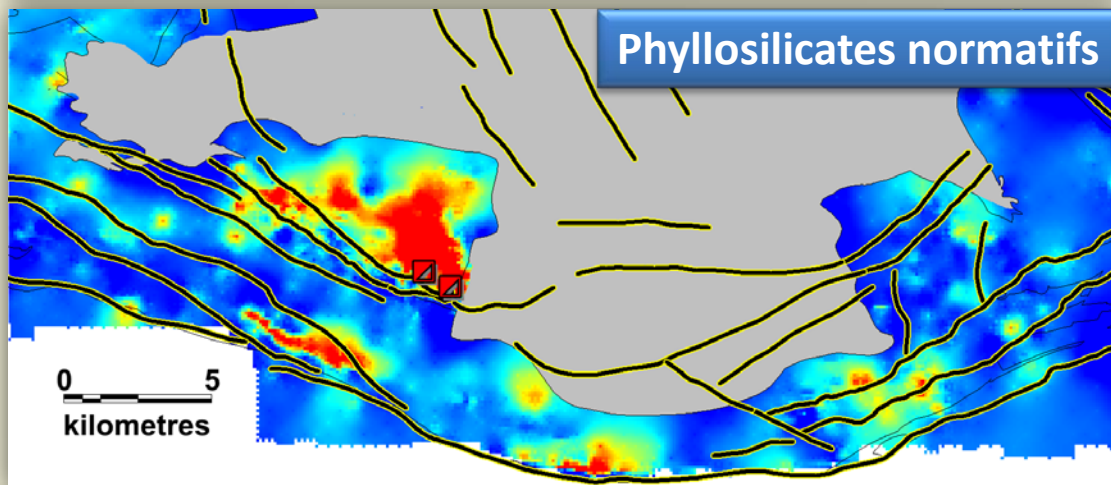
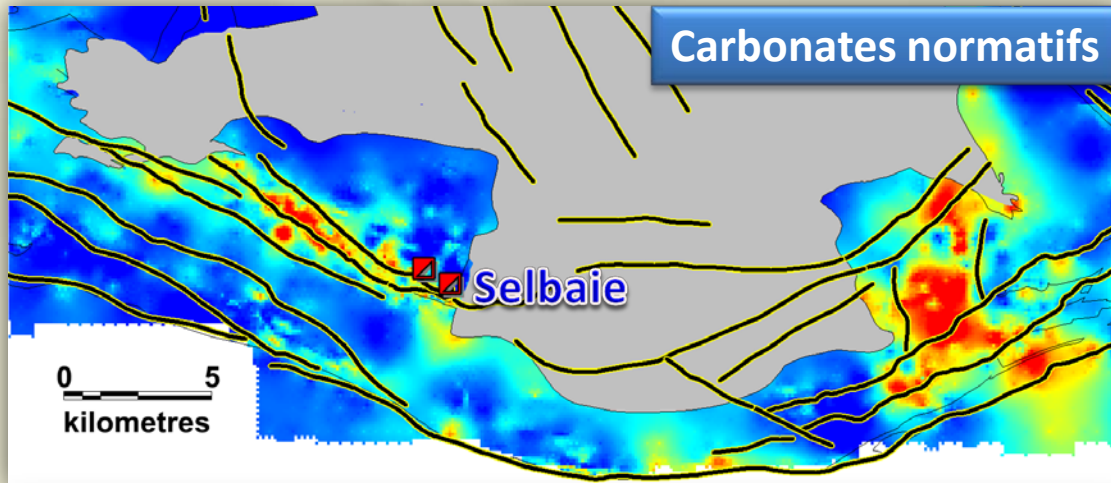
Bilans de masse sur précurseurs modélisés :  $\text{Na}_2\text{O}$  (-500 à -800m)



Projet Consorem 2008-07

## Méthodes des bilans de masse et des minéraux normatifs

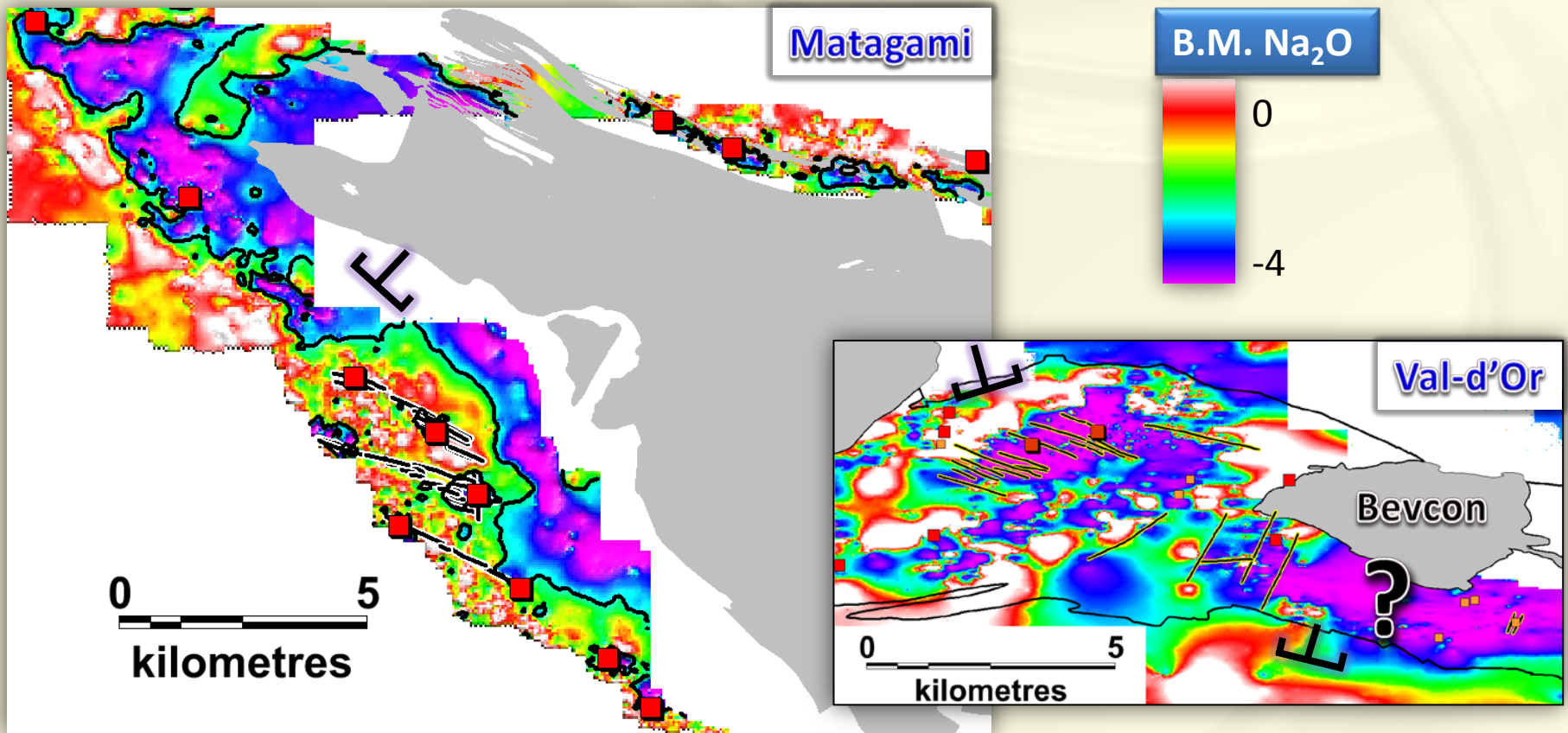
Permettent de distinguer les différentes parties d'un système hydrothermal (zones de lessivages, failles synvolcaniques, cheminées)





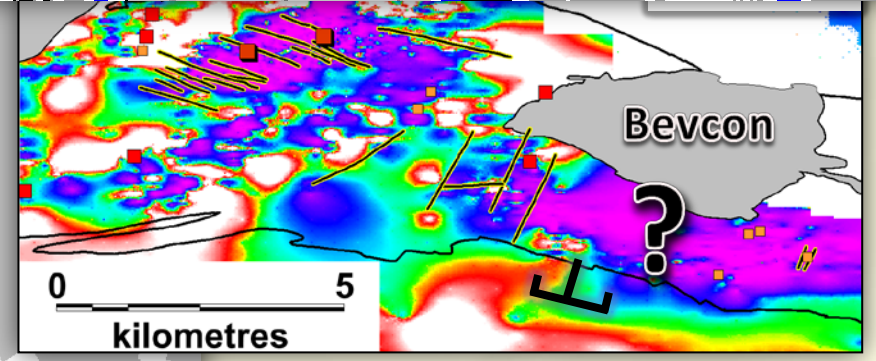
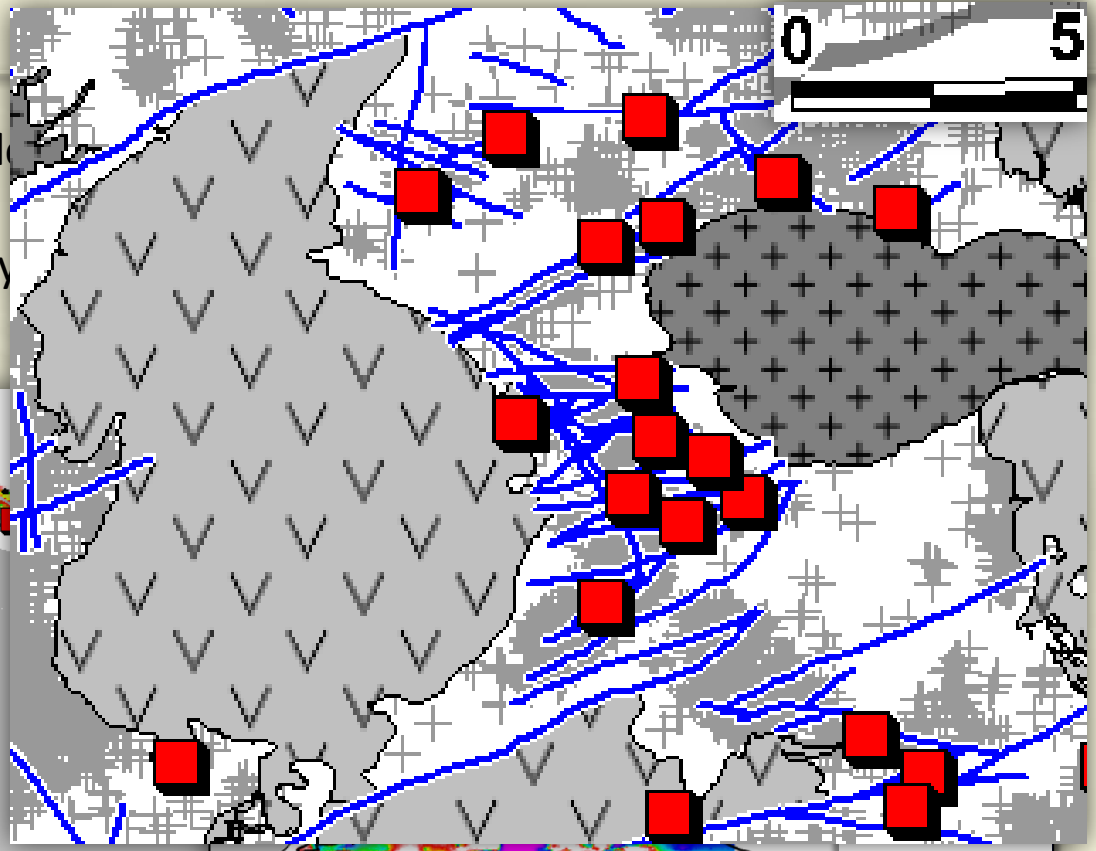
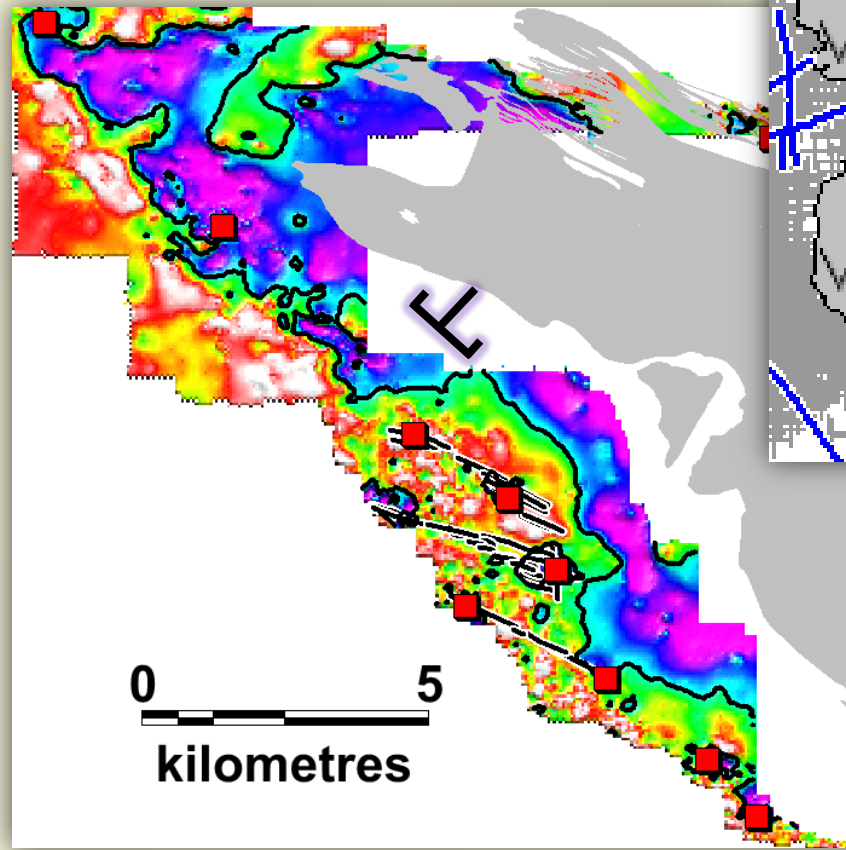
## Méthodes des bilans de masses et des minéraux normatifs

Permettent de comparer systèmes hydrothermaux entre eux et d'évaluer leur dimension



# Méthodes des bilans de masses et de

Permettent de comparer systèmes hydrologiques



**Merci de votre attention**