

# Outils de discrimination des carbonates volcanogènes et orogéniques

*Benoit Lafrance, Isabelle Lapointe et Hassan Nabil*

Utilisation des outils et méthodes du Consorem  
Québec Exploration 2010



# Problématique



*Complexe Volcanique de Normétal*

Ankérite ou sidérite?

Proximal ou distal aux minéralisations?

Système à SMV ou aurifère ?

## Objectifs

1. Discriminer les différentes espèces de carbonates à partir des analyses lithogéochimiques afin de définir les vecteurs proximaux / distaux associés aux minéralisations de SMV et aurifères.

(projets 2005-04 et 2006-04)

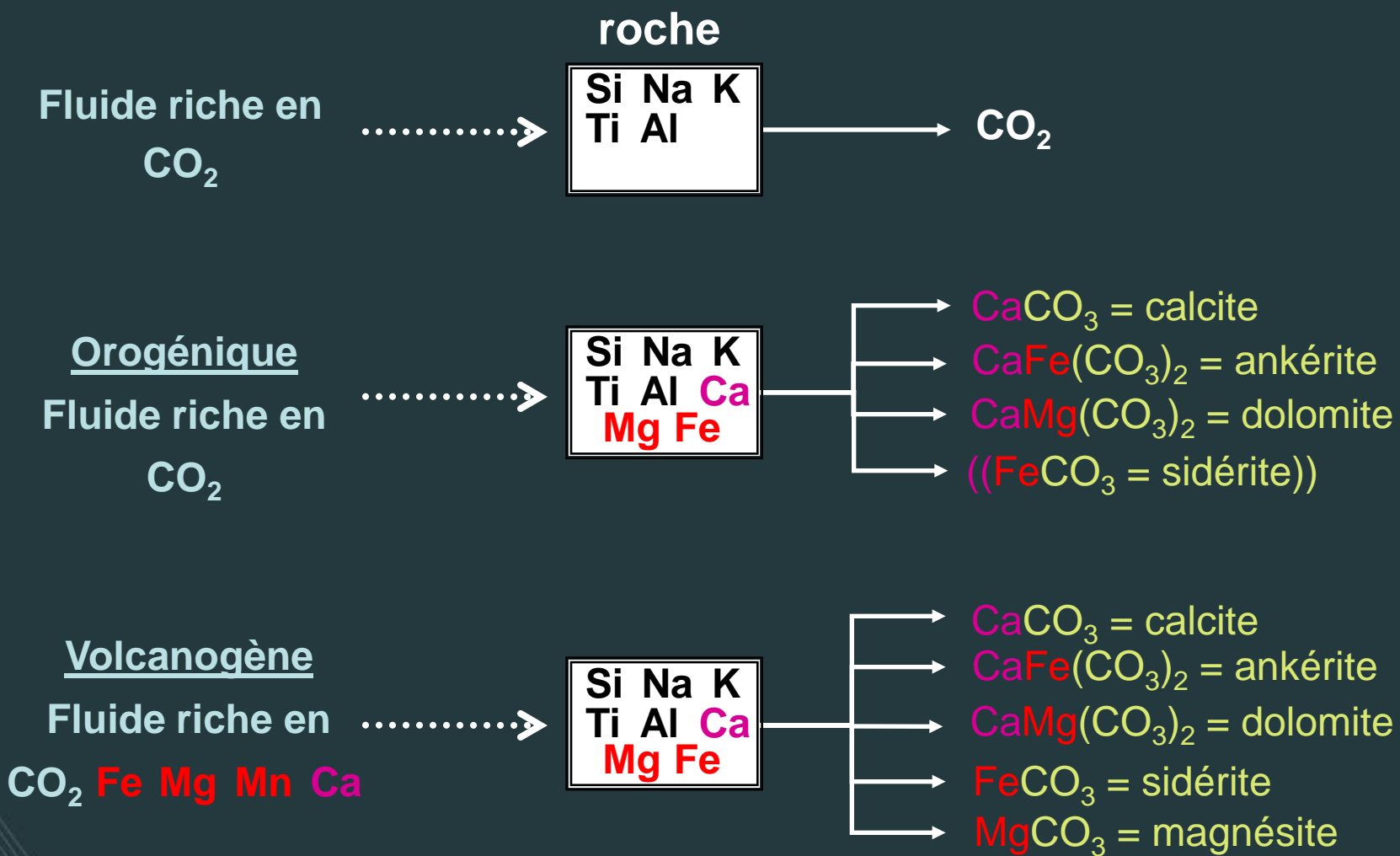
2. Développer une méthode de discrimination de la signature de la carbonatation volcanogène vs orogénique pour évaluer le potentiel d'un secteur dont le contexte n'est pas connu.

(projet 2008-08)

# Plan

1. Principe de la carbonatation
2. Zonation des carbonates volcanogènes et orogéniques
3. Indices de saturation (ISCB) et de discrimination (IDCB)
4. Le diagramme de carbonatation
5. Discrimination volcanogène vs orogénique
6. Diagrammes discriminants volcanogène vs orogénique
7. Exemple d'application
8. Conclusion

# 1. Principe de la carbonatation

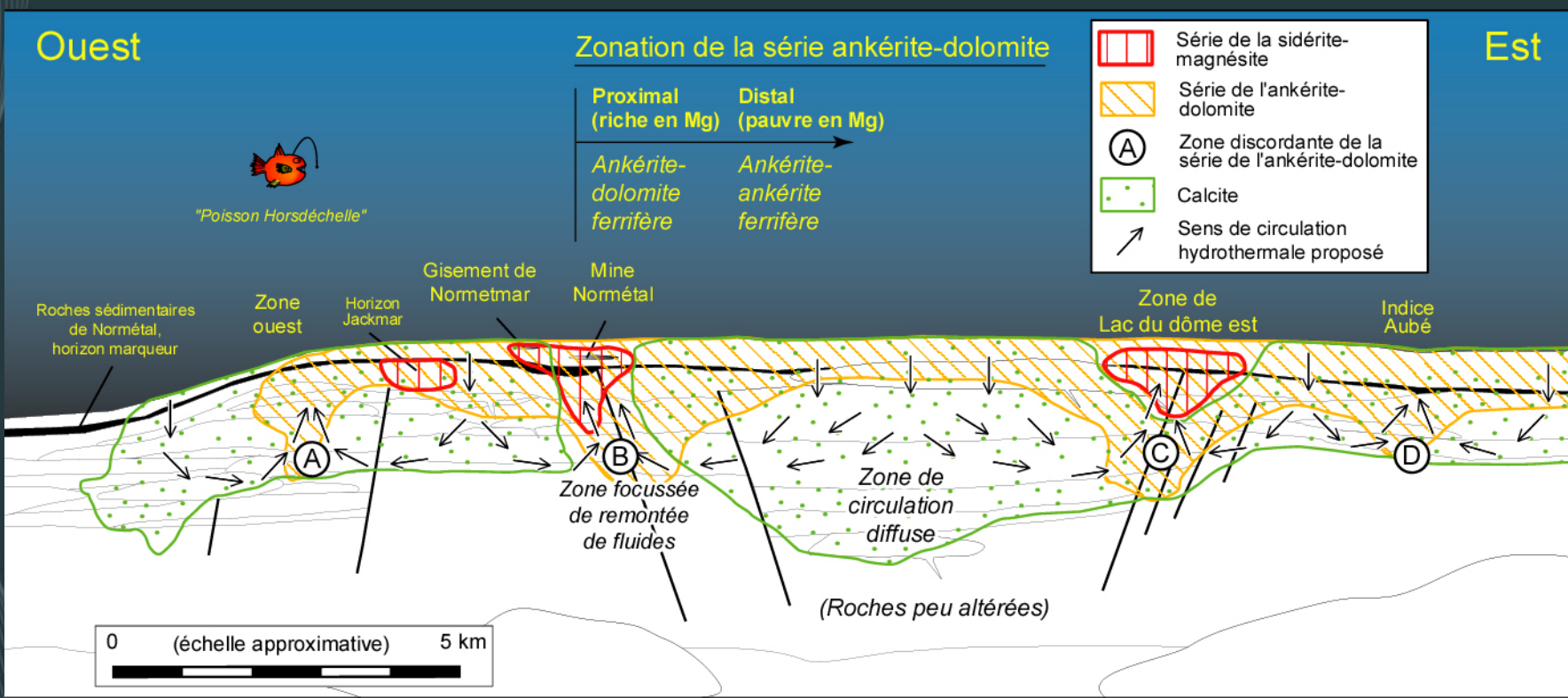


## 2. Zonation des carbonates volcanogènes et orogéniques

## 2. Zonation volcanogène et orogénique

### Chimie des carbonates en environnement volcanogène

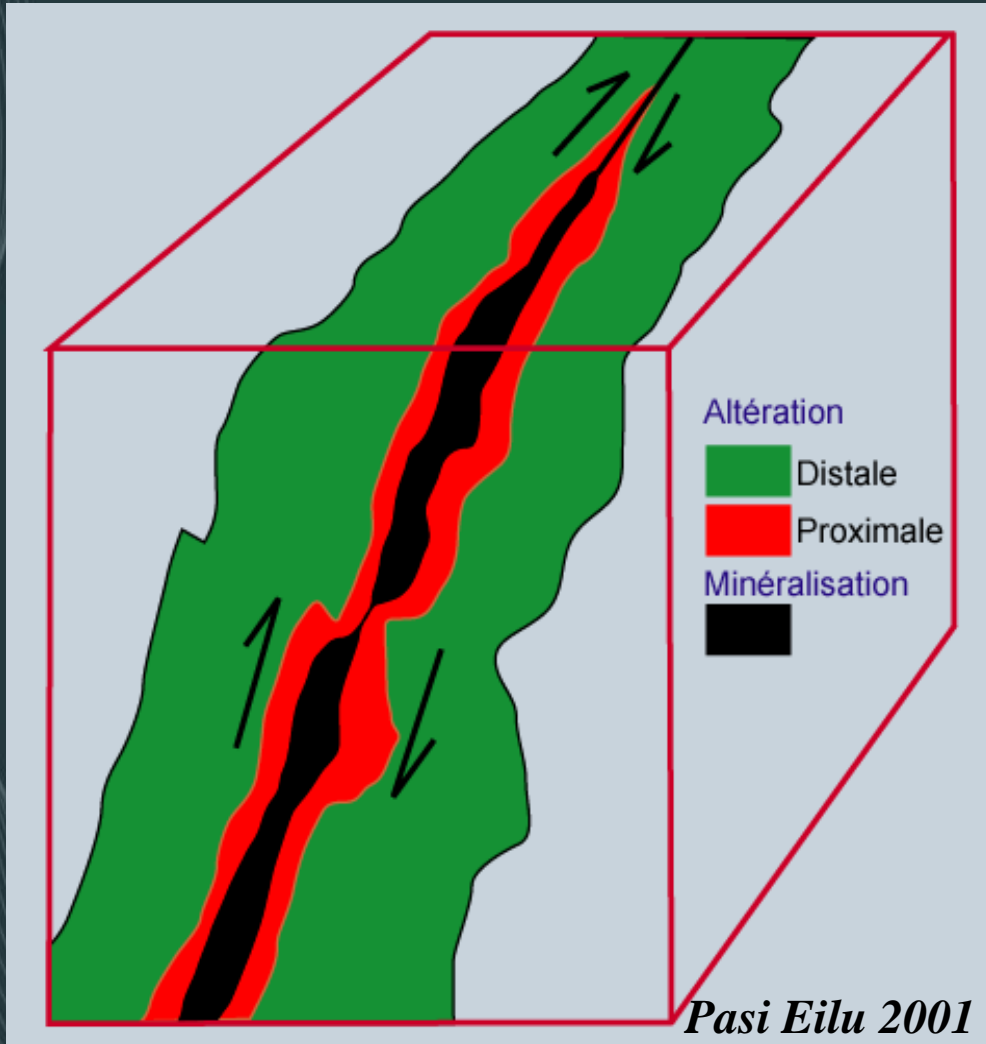
### Complexe volcanique de Normétal, Abitibi



Lafrance, 2003

## 2. Zonation volcanogène et orogénique

Chimie des carbonates associés aux veines aurifères orogéniques



Altération distale :  
Calcite

Altération proximale:  
Ankérite/dolomite



## 2. Zonation volcanogène et orogénique

### Méthodes utilisées pour la discrimination des carbonates

#### Colorimétrie

- Difficile à discriminer les phases carbonatées et à déterminer leurs proportions dans les roches à granulométrie fine.
- Nombre d'échantillons très élevé dans une campagne d'exploration

#### Diffraction X

- Coûts: 200\$ par échantillon
- Nombre d'échantillons très élevé dans une campagne d'exploration

#### Microsonde

- Très coûteux
- Nombre d'échantillons très élevé dans une campagne d'exploration

#### *Lithogéochimie*

- Lithogéochimie effectuée de façon routinière dans une campagne d'exploration
- Disponibilité des banques de données lithogéochimiques

### **3. Indices de saturation (ISCB) et de discrimination (IDCB)**


À partir des résultats d'analyses lithogéochimiques on peut utiliser 2 indices de carbonatation

- **Saturation (ISCB)** :  $\text{CO}_2 / (\text{CaO} + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO})$  molaire  
(modifié de Kishida et Kerrich, 1987)
  - Appréciation de l'intensité (saturation) de la carbonatation
  - Relativement indépendant des lithologies (sauf cas spécifiques)
- **Discrimination (IDCB)** :  $\text{CO}_2 / \text{CaO}$  molaire (Whitehead et Davies, 1988)
  - Indication des types de carbonates présents
  - Indication de carbonatation volcanogène (sidérite)

### 3. Indices de saturation et de discrimination

## Indice de saturation

### Principe de base

$\text{CO}_2 \text{ mol} / (\text{CaO} + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO}) \text{ mol} = 0$   **roche non saturée**

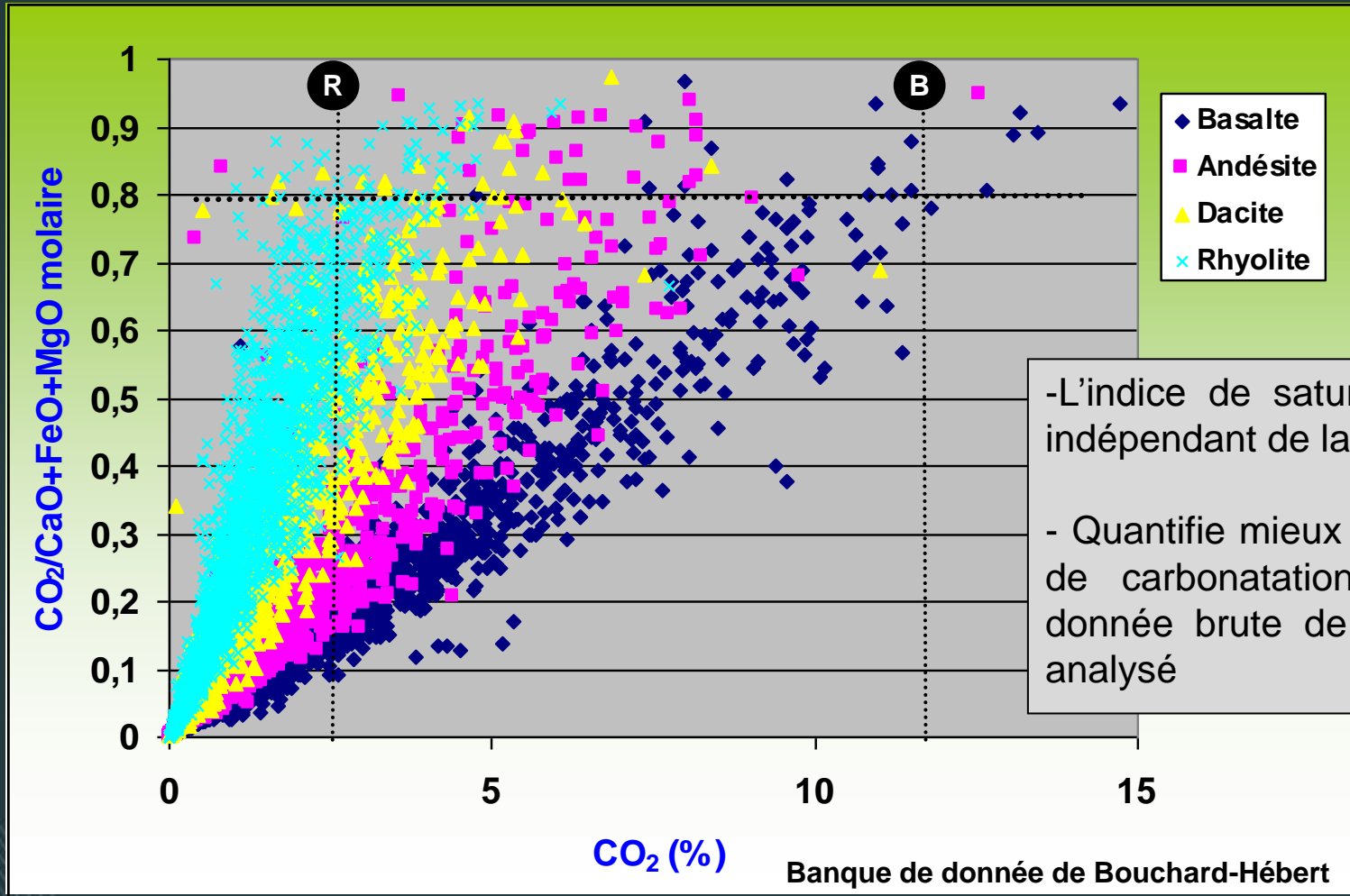
 **augmentation de la carbonatation  
(transferts des cations dans les phases carbonatées)**

$\text{CO}_2 \text{ mol} / (\text{CaO} + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO}) \text{ mol} = 1$   **roche saturée**

# 3. Indices de saturation et de discrimination

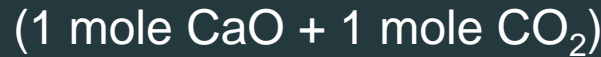
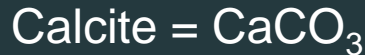
## Indice de saturation

Une roche contenant beaucoup de CO<sub>2</sub> (%) est-elle automatiquement saturée en carbonate ?



## Indice de discrimination

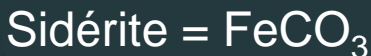
### Principe de base



$$\frac{\text{CO}_2}{\text{CaO}} \text{ molaire} = 1$$

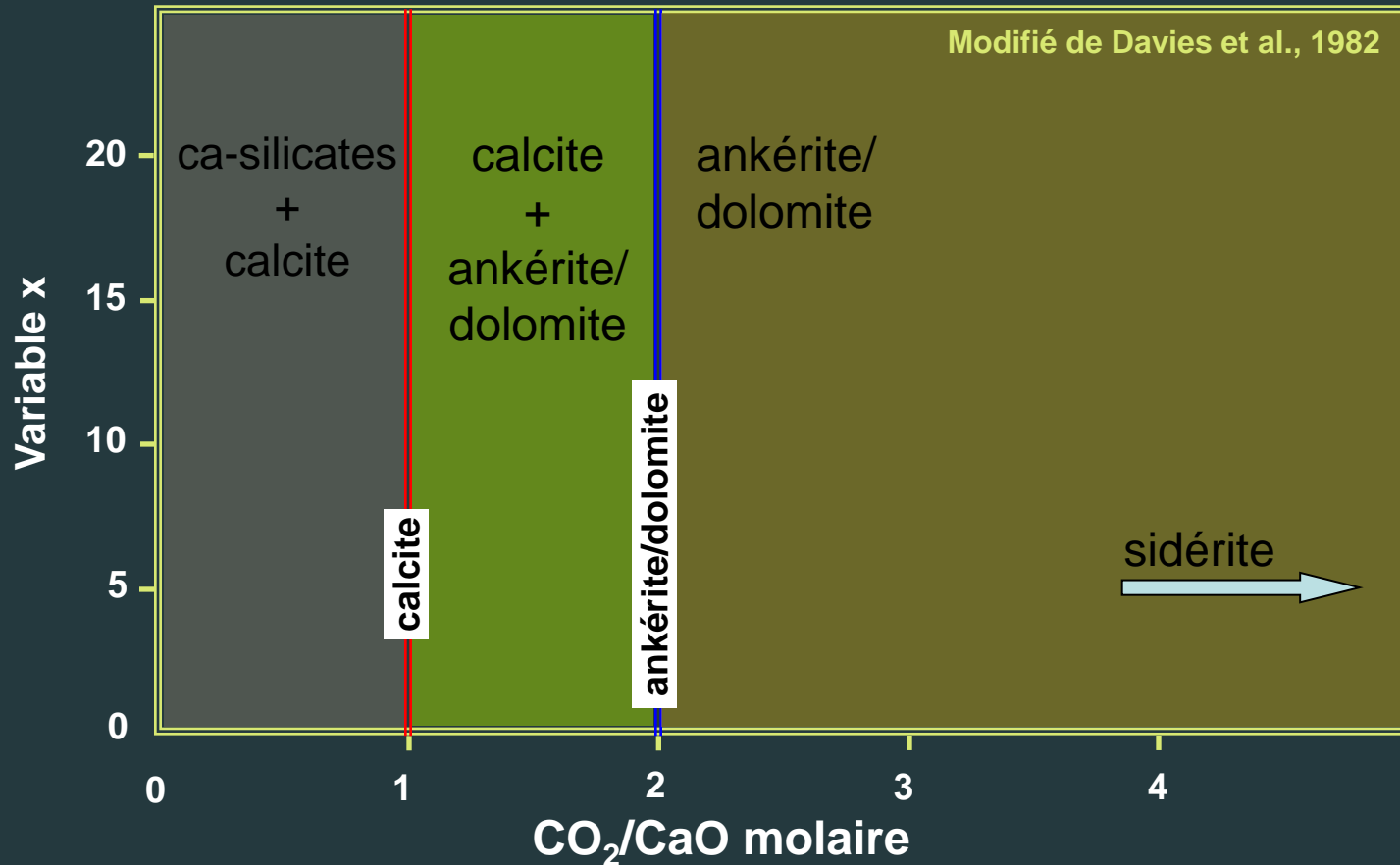


$$\frac{\text{CO}_2}{\text{CaO}} \text{ molaire} = 2$$



$$\frac{\text{CO}_2}{\text{CaO}} \text{ molaire} = > 2$$

## Indice de discrimination



- **IDCB >2** : ankérite–dolomie
- **IDCB >2,5** : carbonatation volcanogène (2005-04 & 2006-04)
- Plus le chiffre est élevé, plus il y aurait présence de sidérite.

### Indice de discrimination

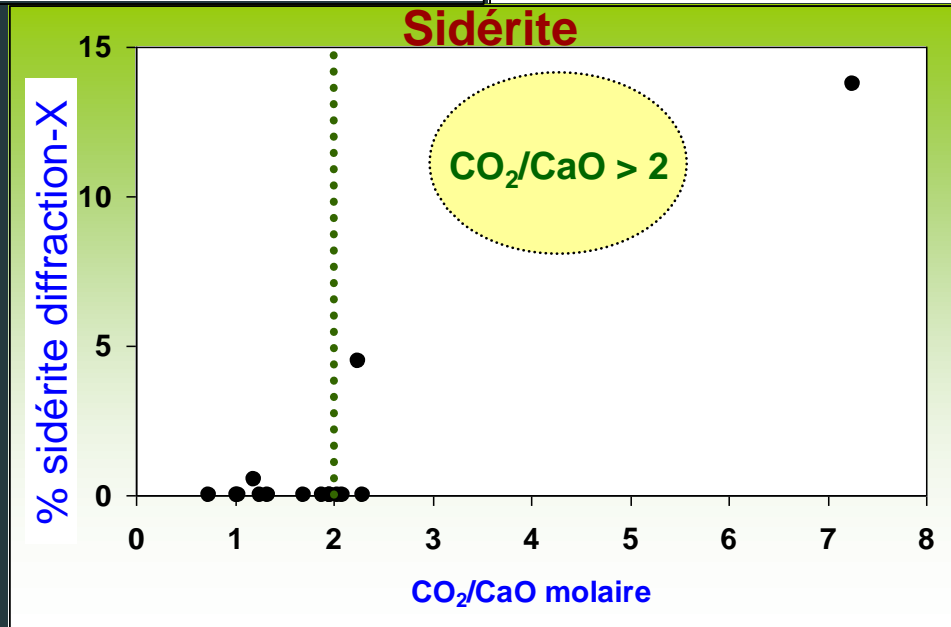
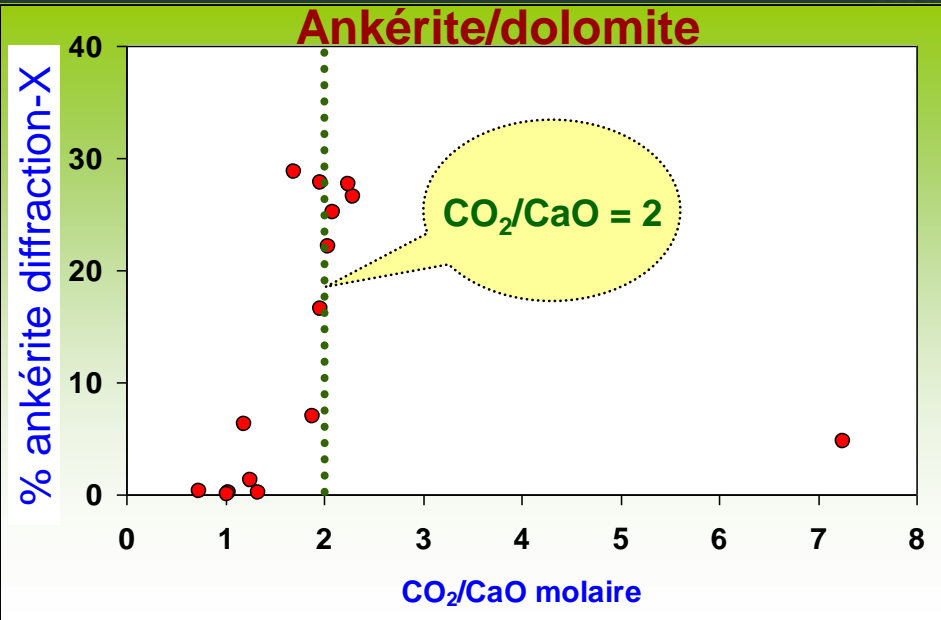
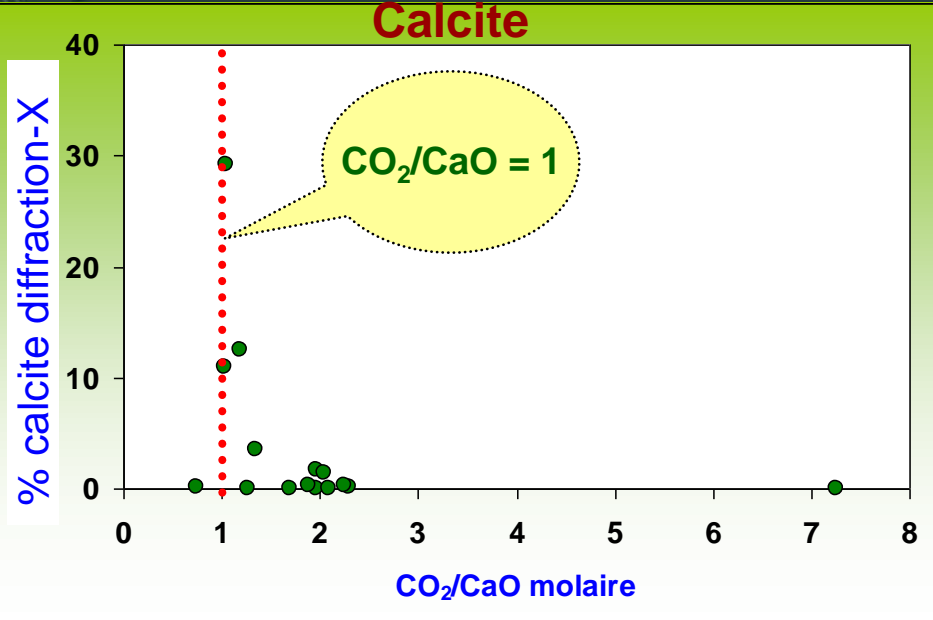
#### Tests de validation de l'indice de discrimination

- Des échantillons de Casa Berardi (contexte orogénique) et de 4 contextes volcanogènes ont été analysés par diffraction des rayons-X dans le but d'identifier les phases carbonatées
- Les résultats de diffraction des rayons-X ont été comparés à l'indice de discrimination ( $\text{CO}_2/\text{CaO}$  molaire)



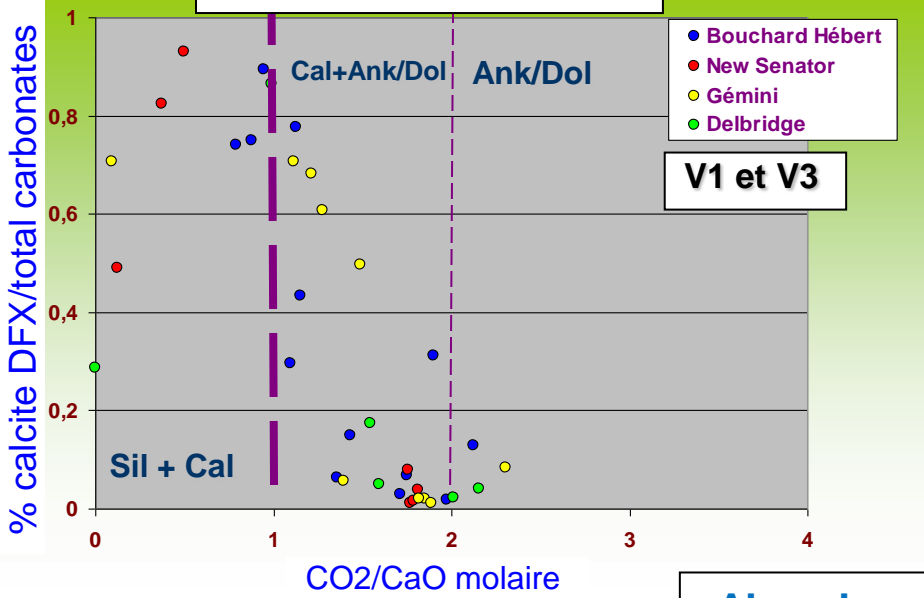
# 1er test – Contexte Orogénique

## Casa Berardi

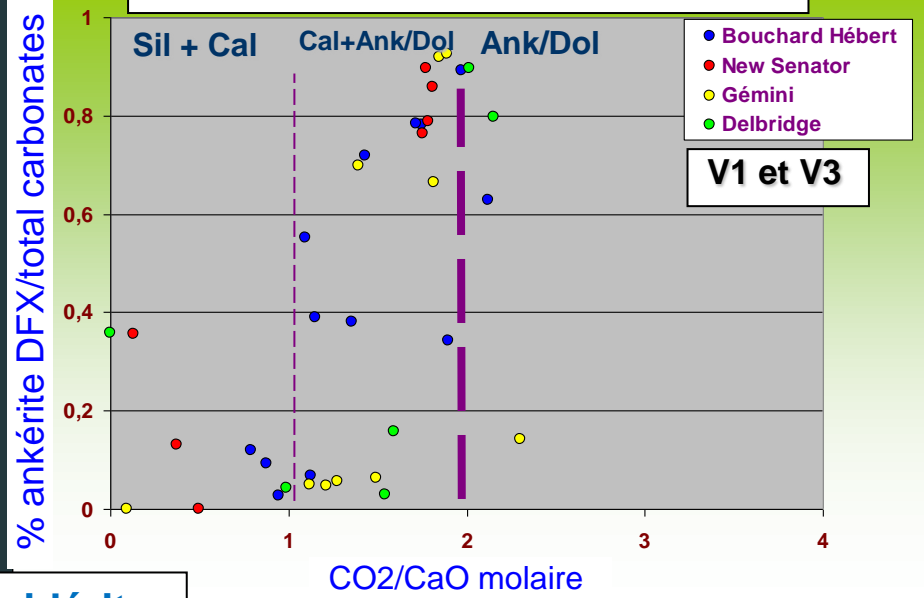


# 2e test – contextes volcanogènes

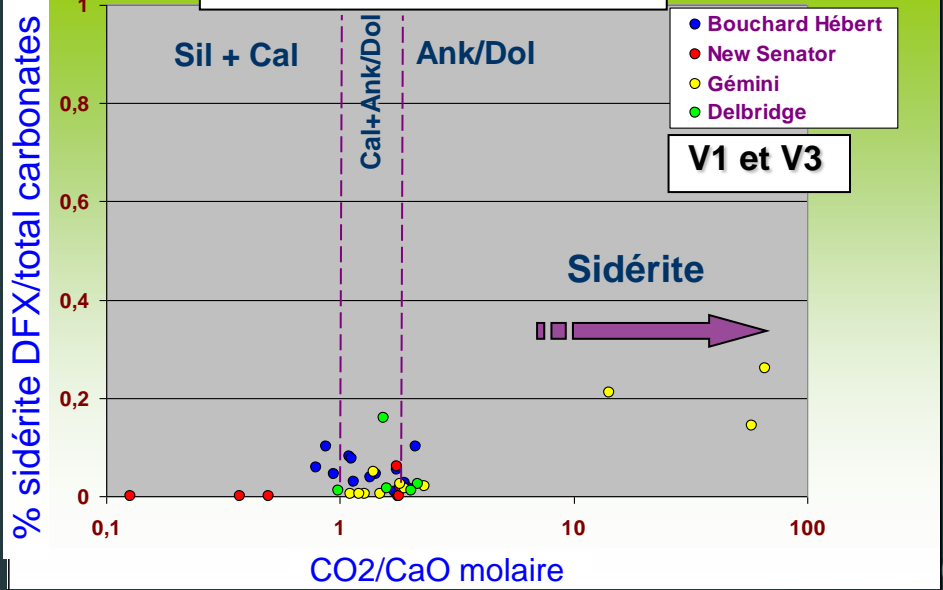
### Abondance calcite



### Abondance ankérite/dolomite

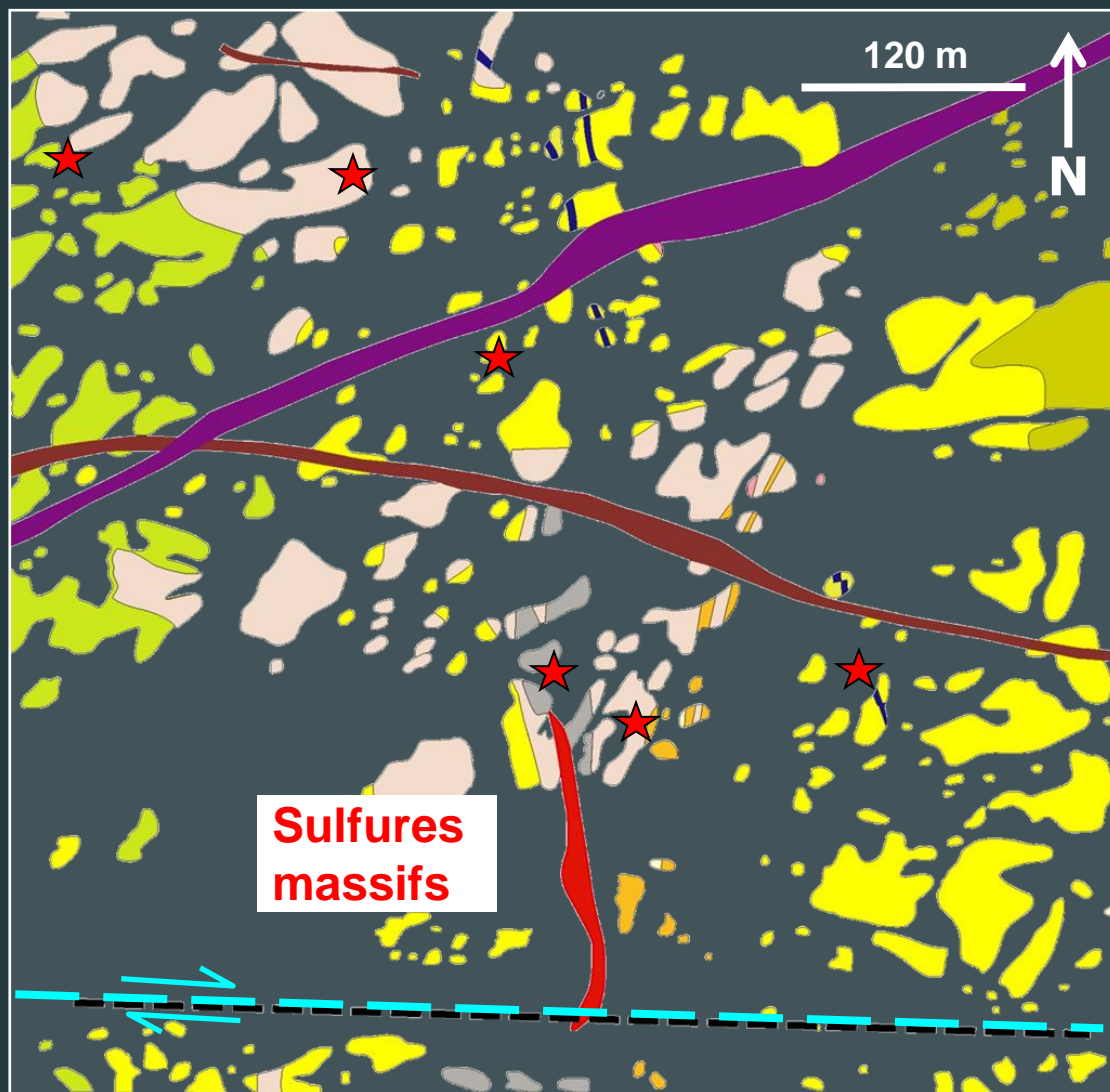
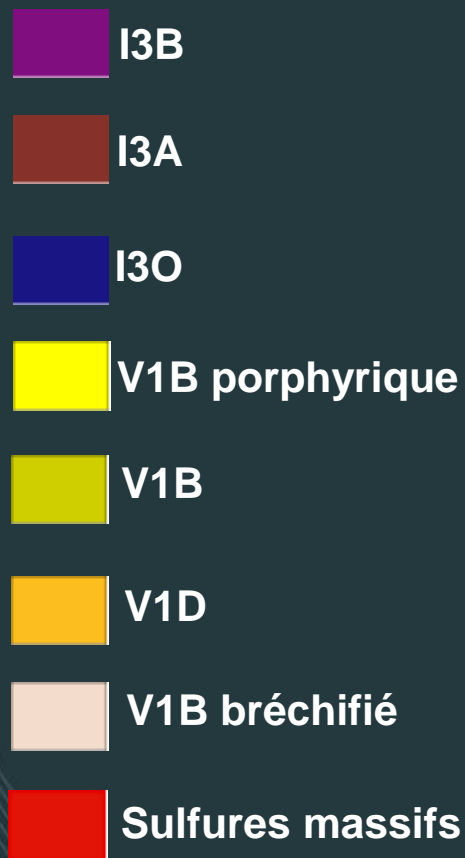


### Abondance sidérite

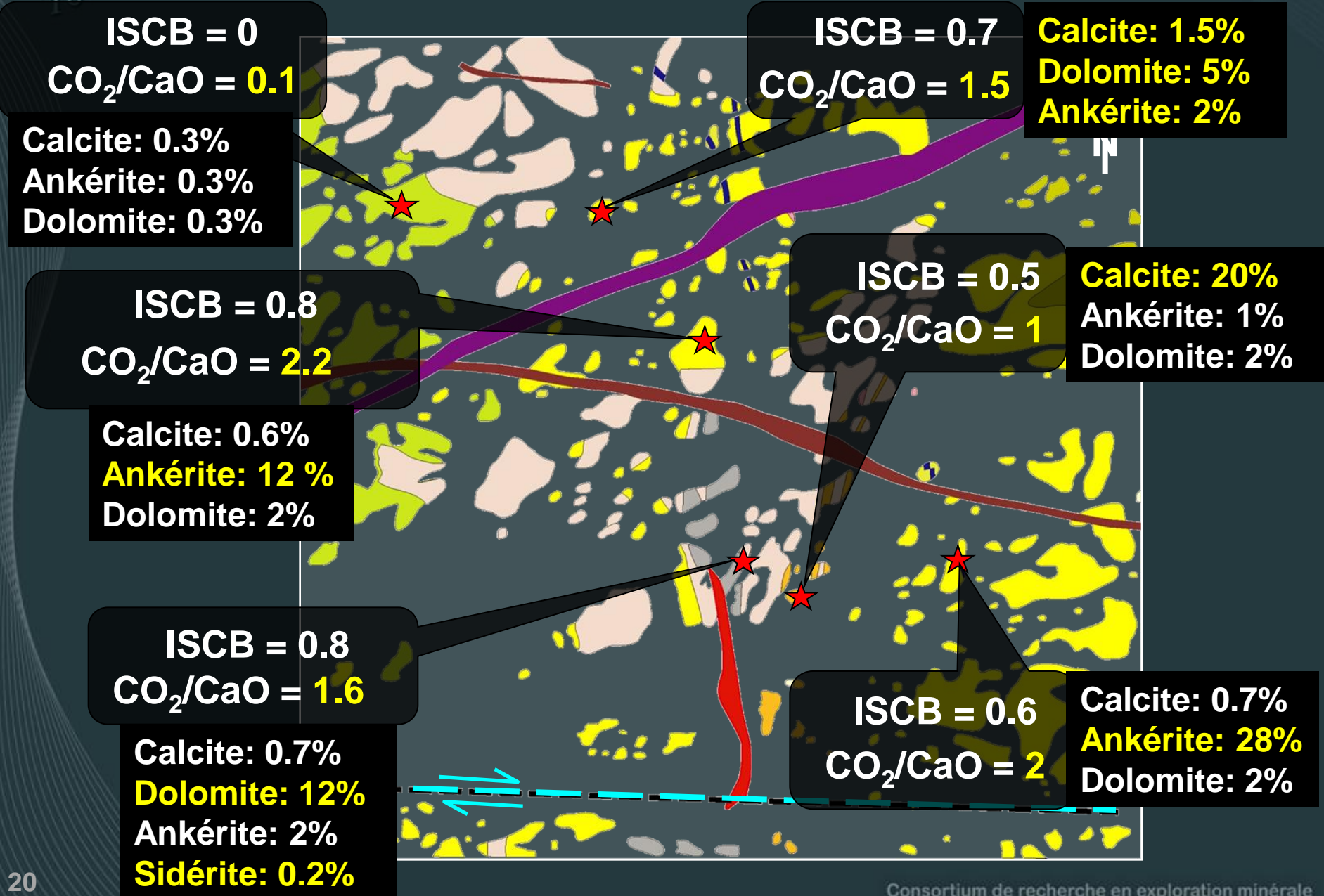


## Application à l'échelle locale : Mine Delbridge

### Carte géologique de Delbridge



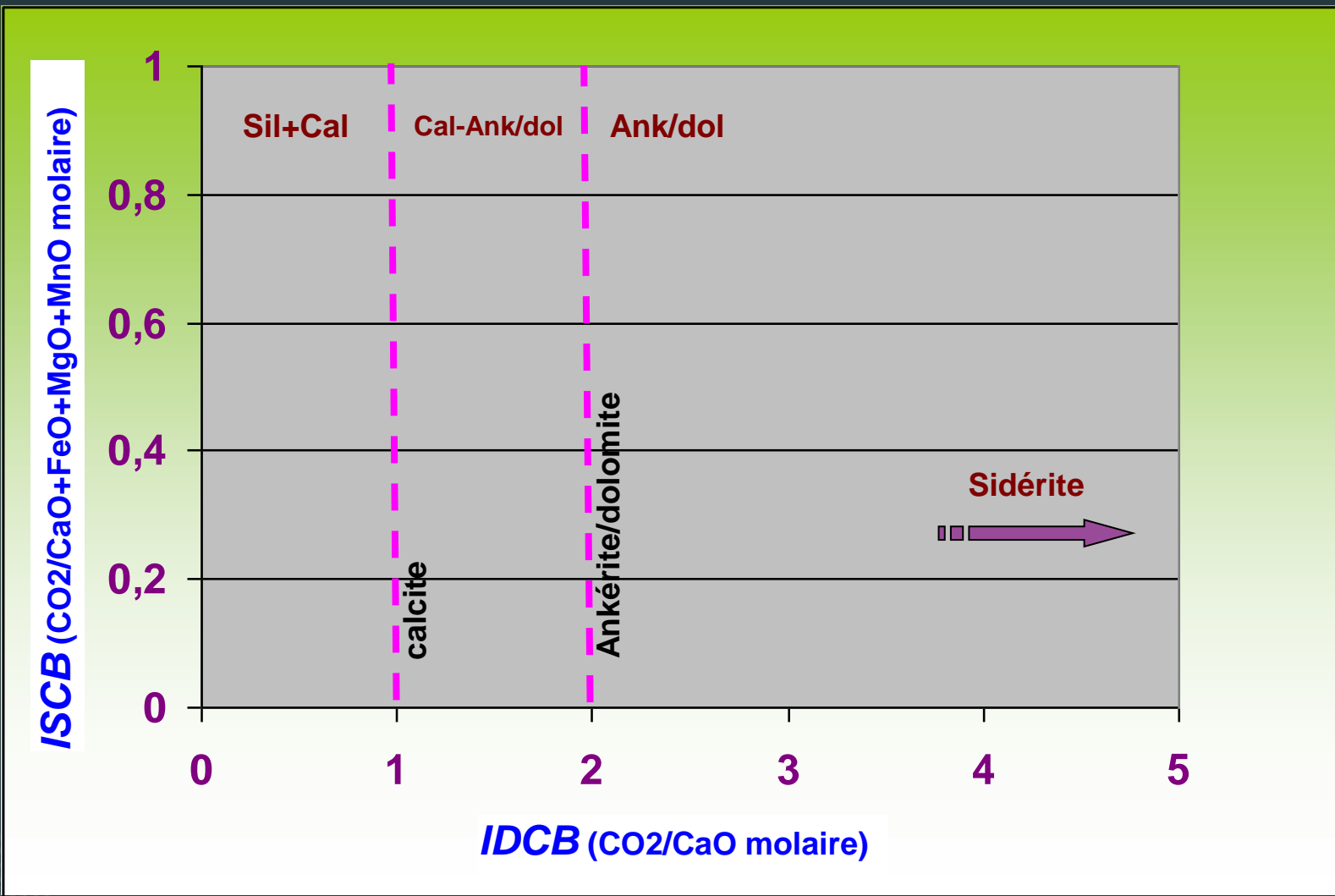
### 3. Indices de saturation et de discrimination



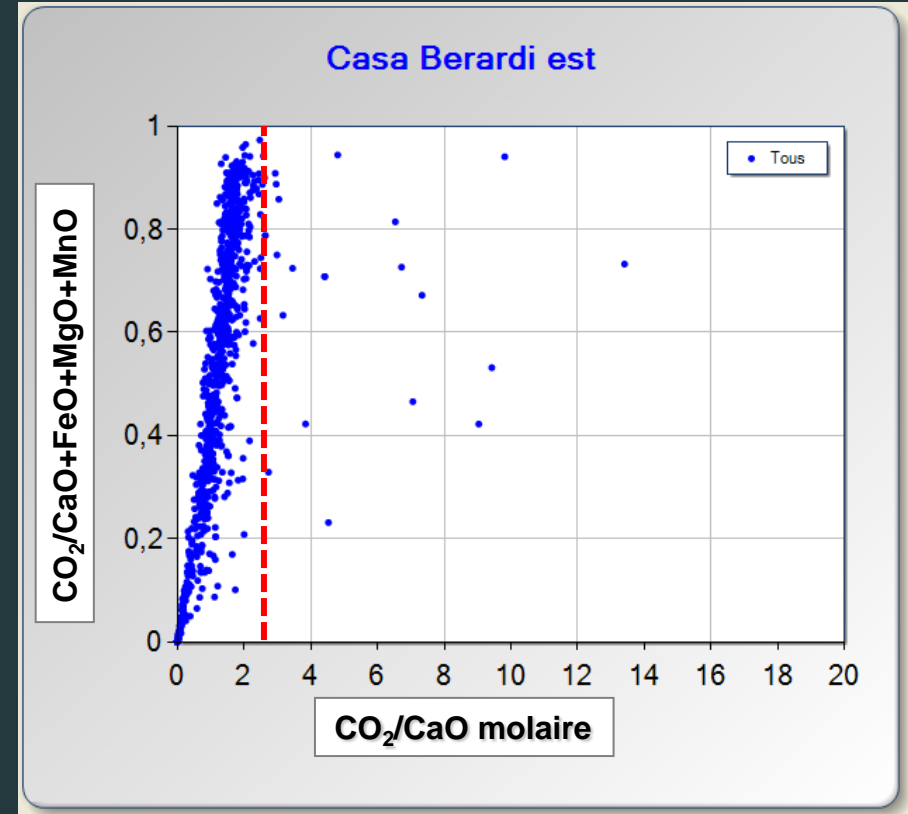
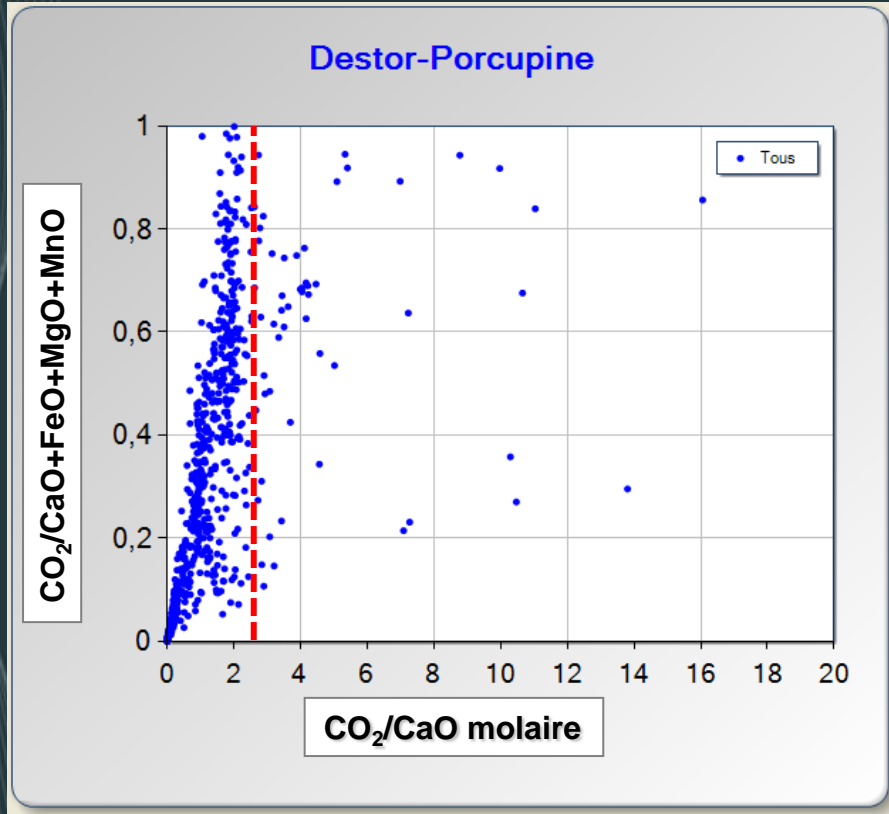
## 4. Le diagramme de carbonatation

# 4. Diagramme de carbonatation

## Indice de saturation vs. indice de discrimination

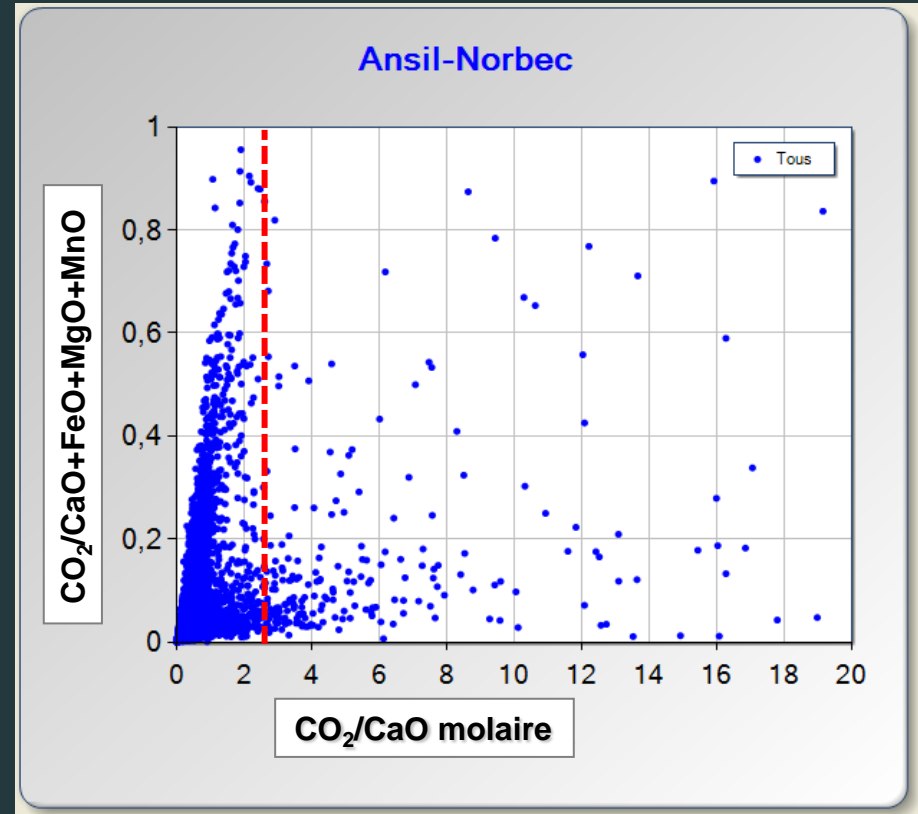
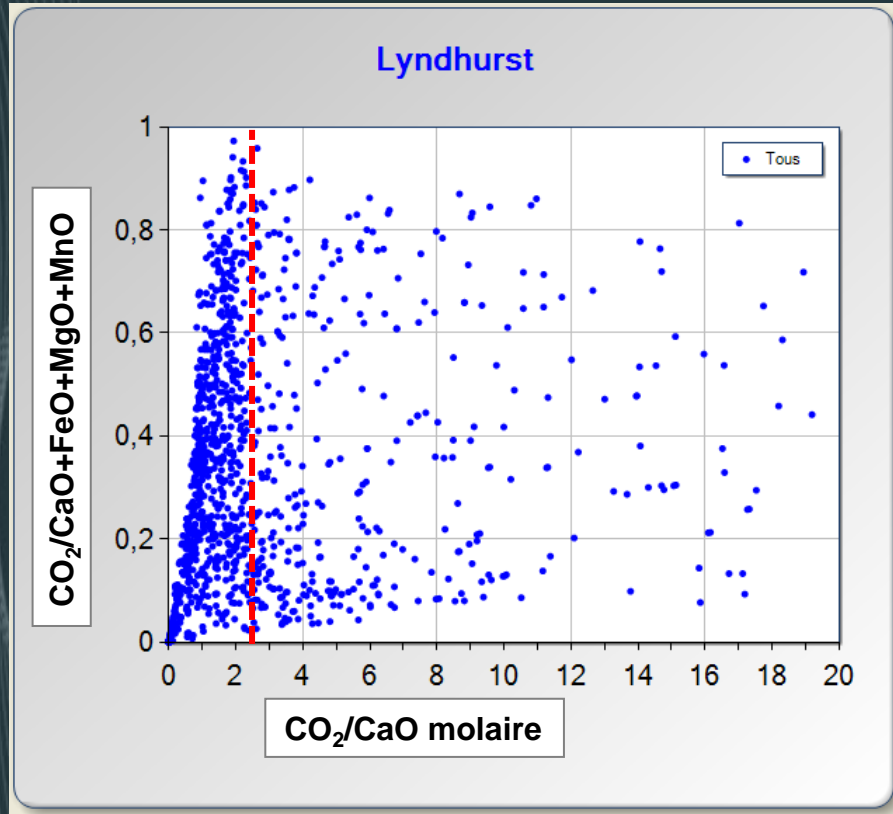


## Exemples pour contextes Or orogénique



**Limite SMV / Orogénique proposée → Co<sub>2</sub>/CaO mol = 2,5**

## Exemples pour contextes volcanogènes

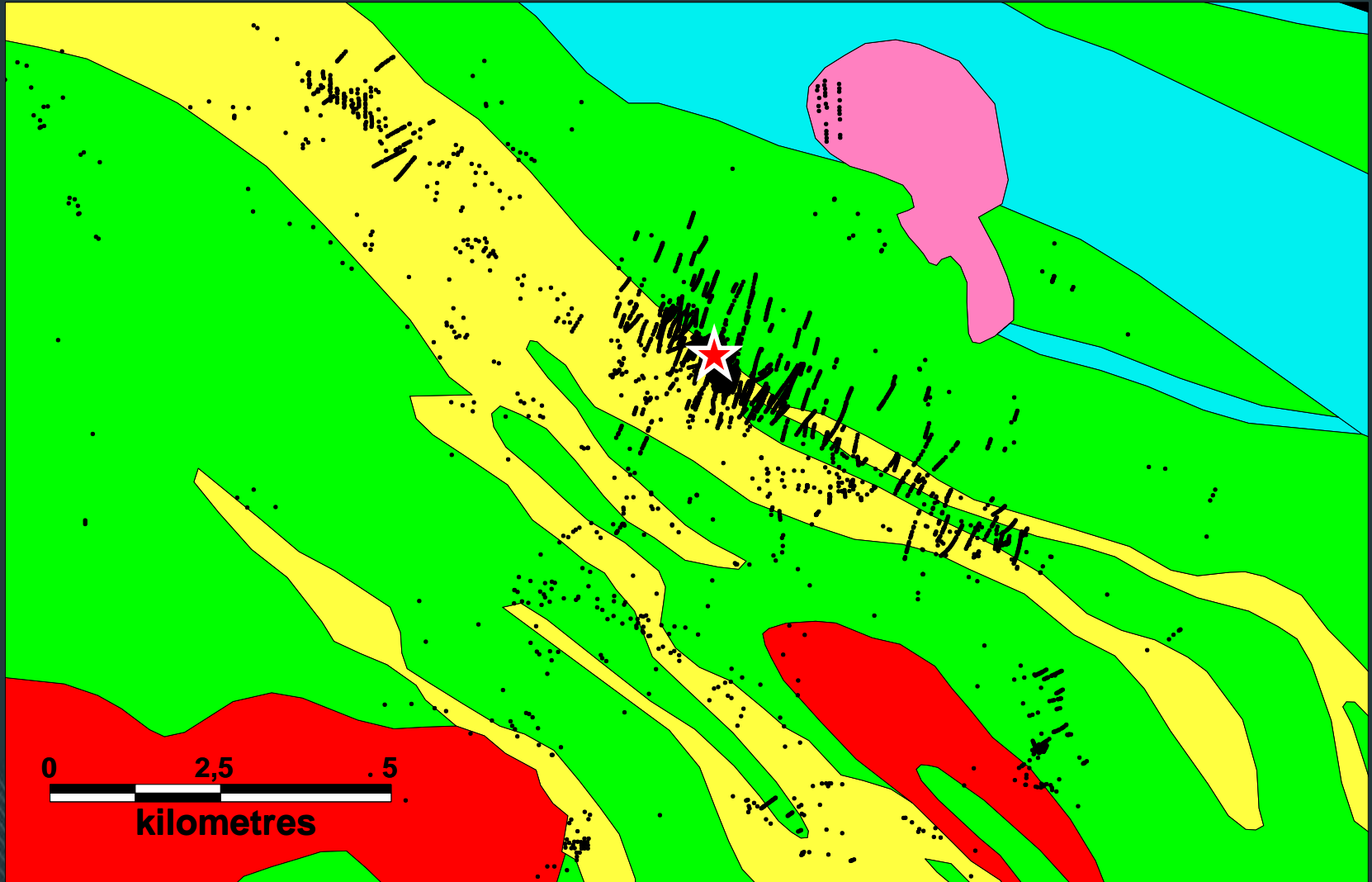


**Limite SMV / Orogénique proposée →  $CO_2/CaO \text{ mol} = 2,5$**



## Exemples pour contextes volcanogènes

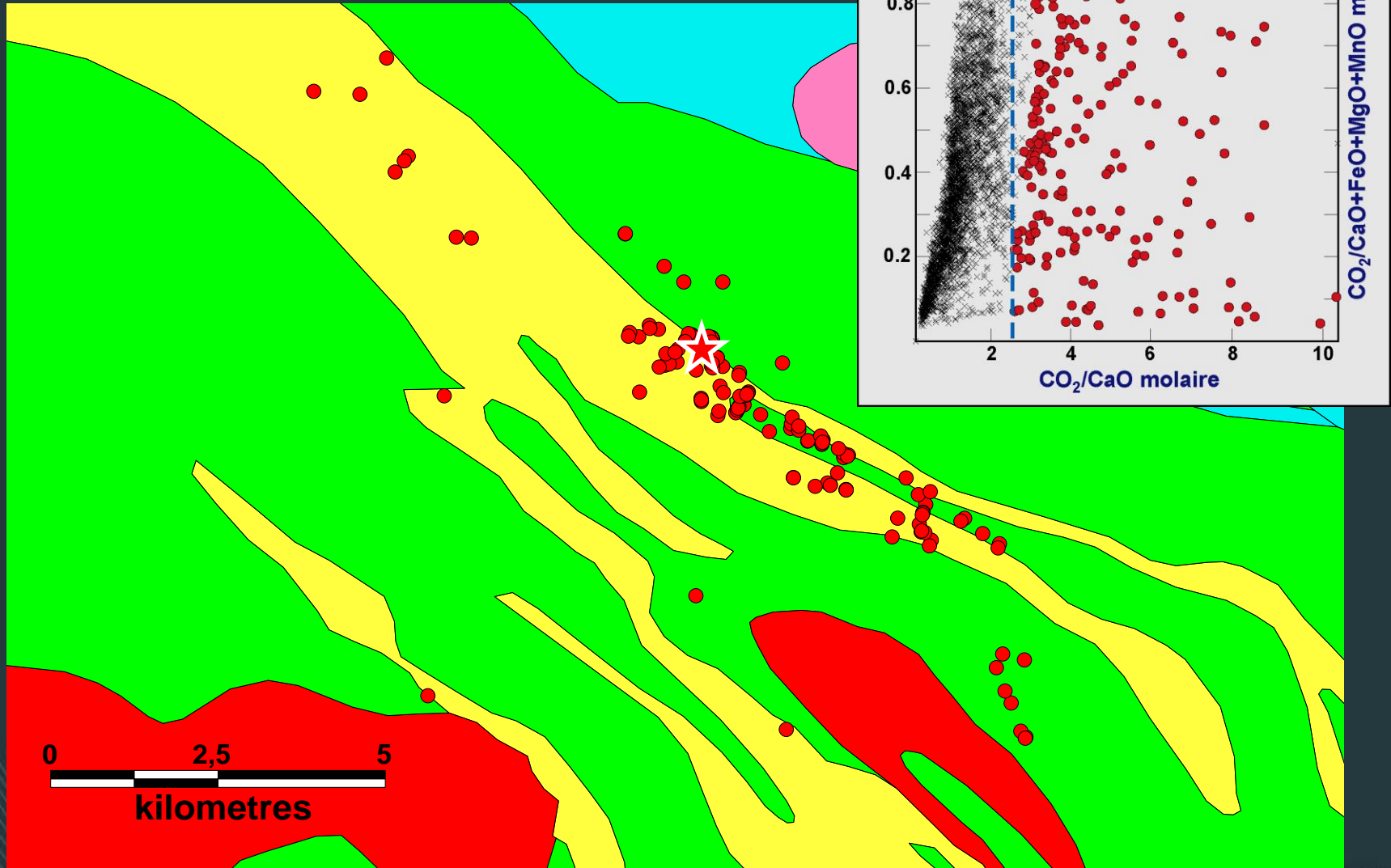
### Mine Bouchard-Hébert



# 4. Diagramme de carbonatation

Exemples pour contextes volcanogènes

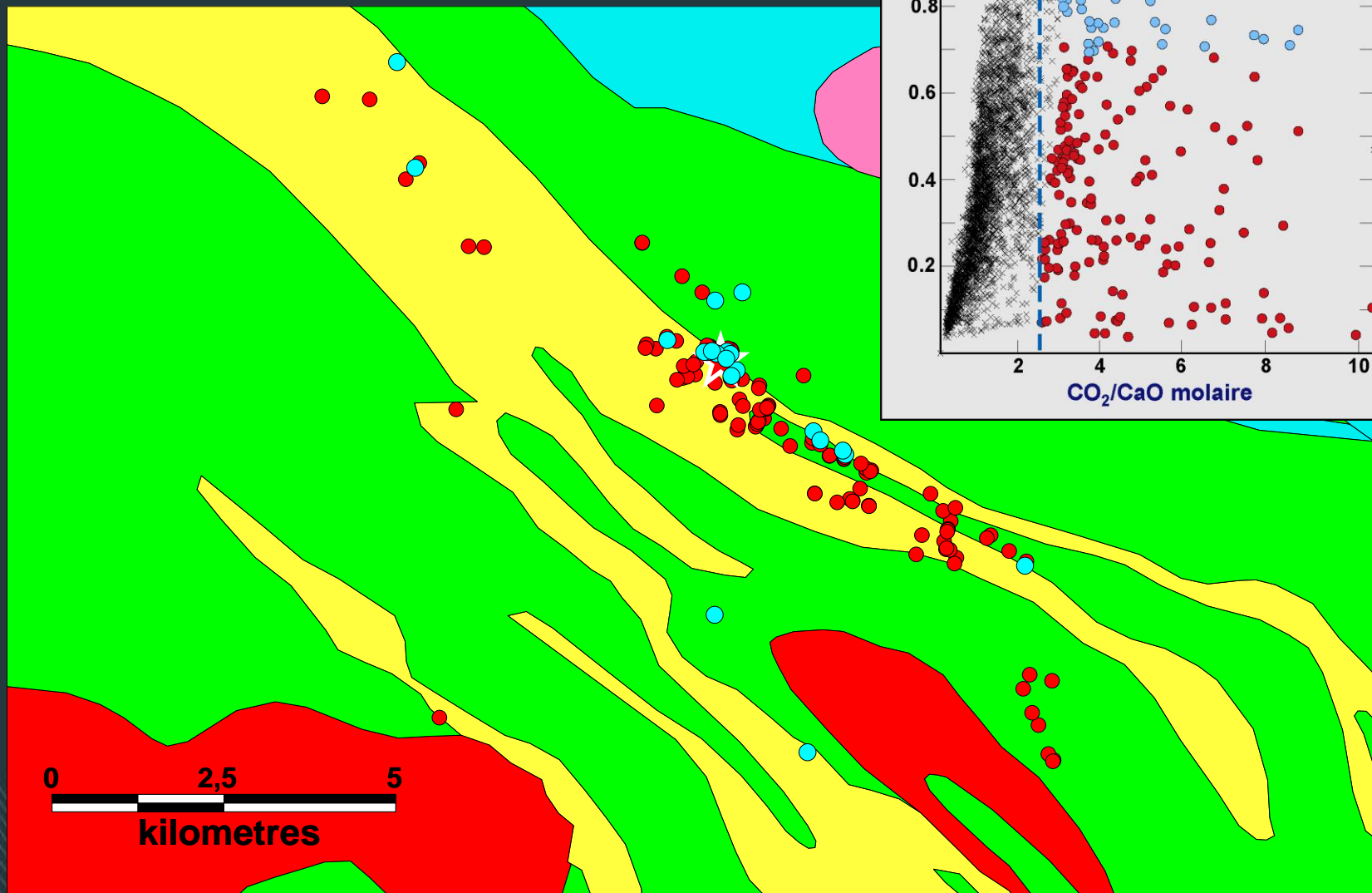
Mine Bouchard-Hébert



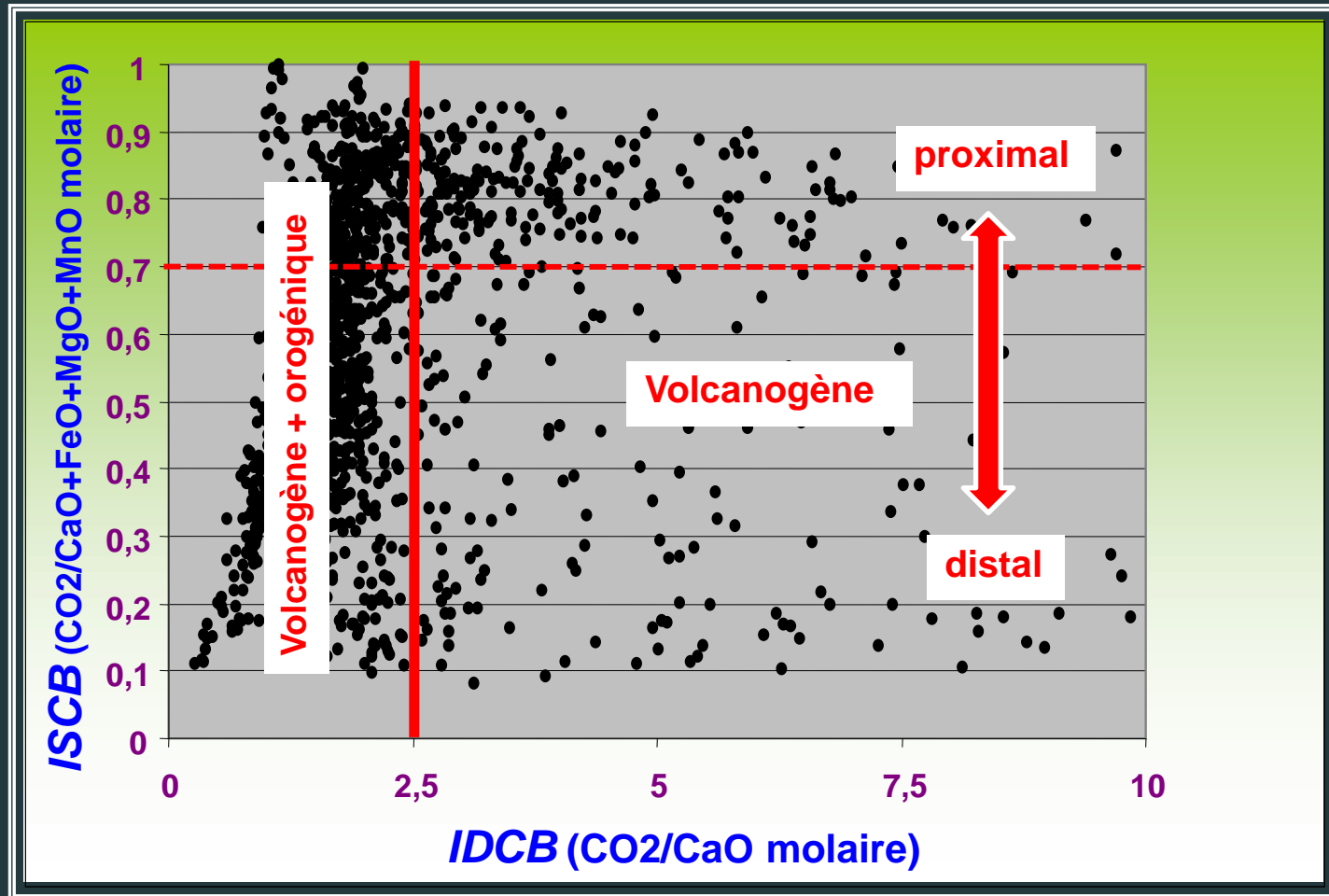
# 4. Diagramme de carbonatation

Exemples pour contextes volcanogènes

Mine Bouchard-Hébert



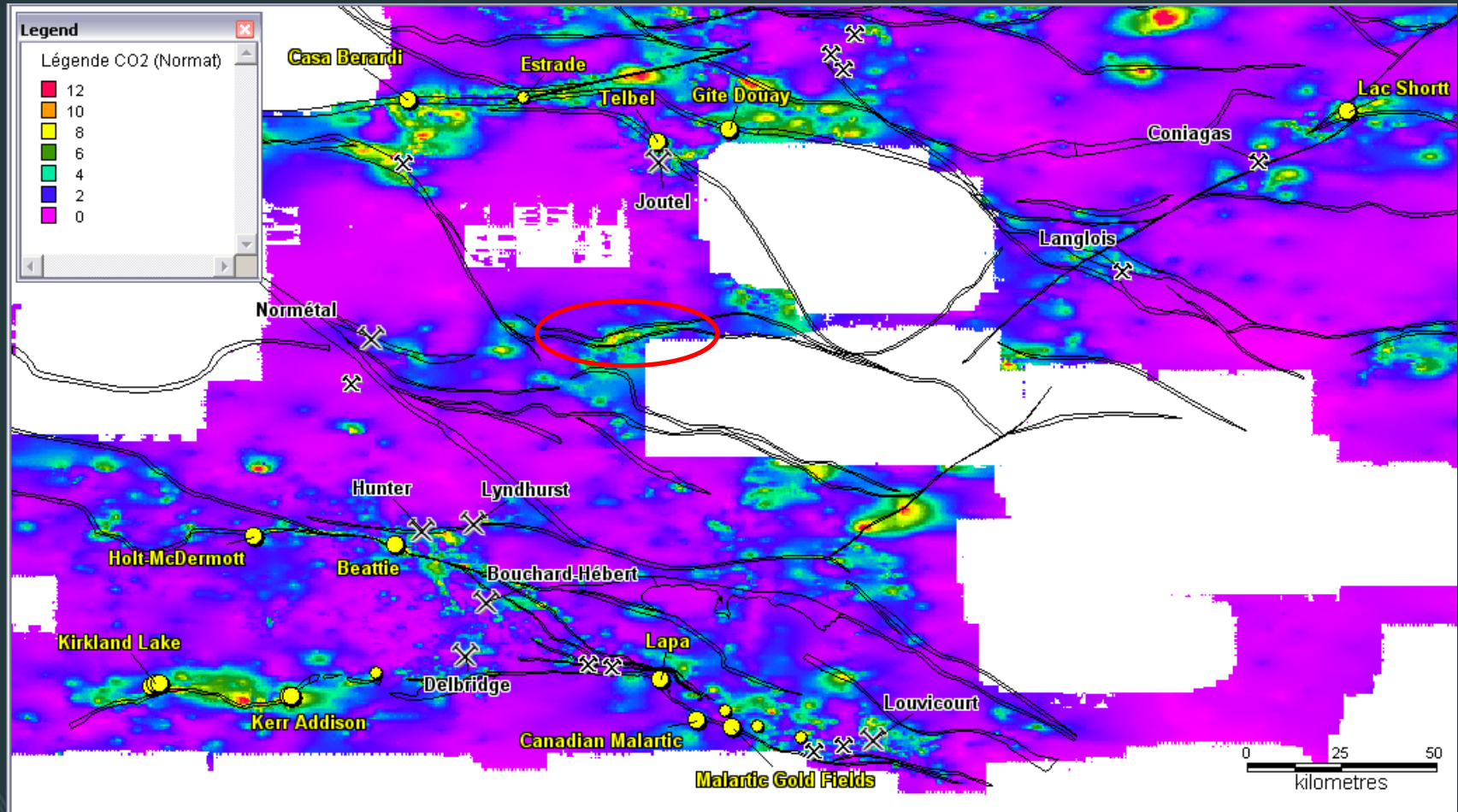
## Diagramme de carbonatation



Zones proximales SMV proposées : IDCB >2,5 et ISCB > 0,7

## 5. Discrimination volcanogène vs orogénique

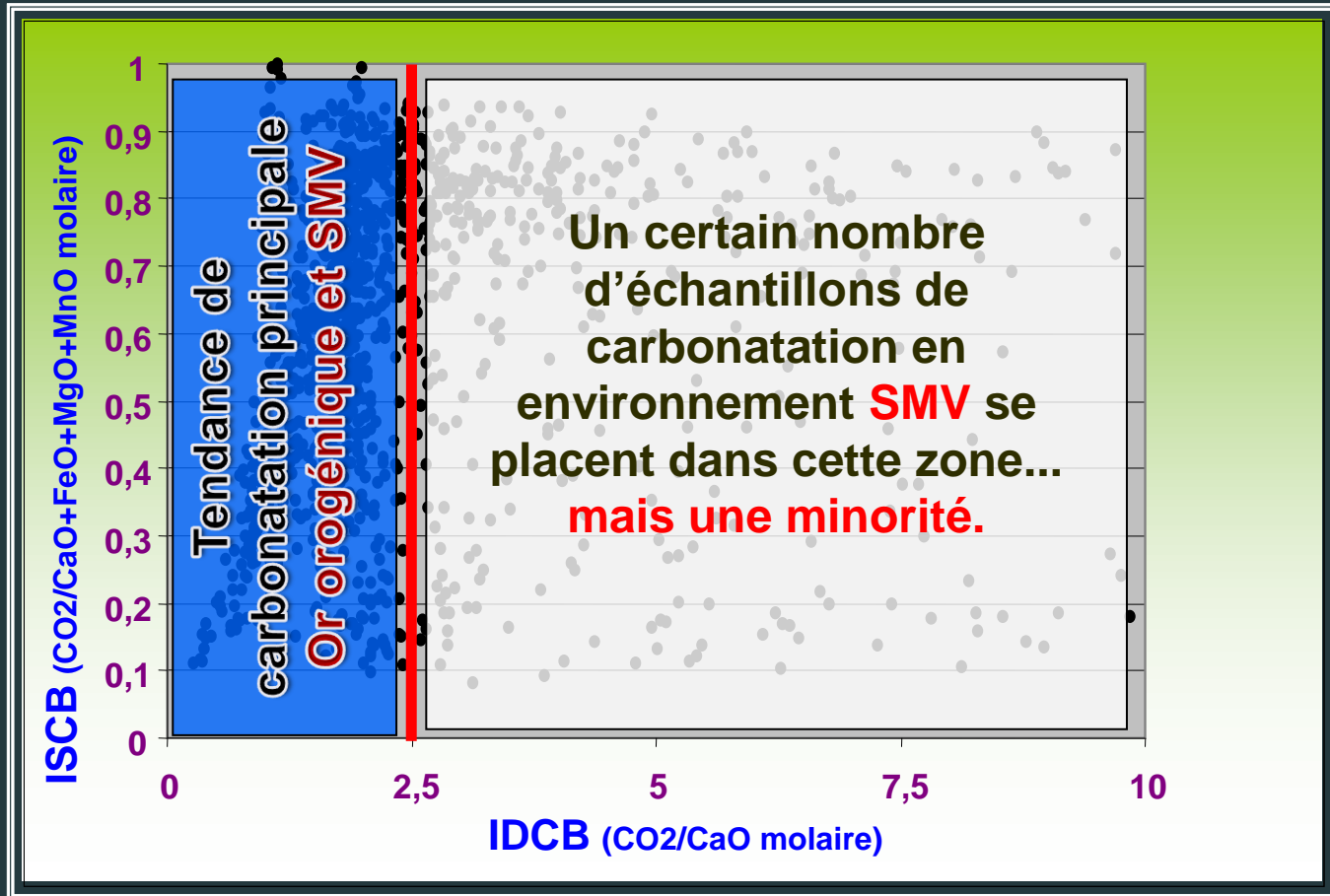
## Carbonatation associée aux SMV et aux failles (or-orogénique)



Si on ne connaît pas le contexte ?  
Potentiel SMV ou or-orogénique ?

## 5. Discrimination SMV / orogénique

Il y a une forte superposition des tendances orogéniques et volcanogènes (IDCB < 2,5) sur le diagramme de carbonatation...



Il serait souhaitable de développer un outil qui permet une meilleure discrimination entre carbonatation volcanogène et orogénique

### Sites étudiés

Gisements/segments de failles où il n'y a pas de superposition reconnue/suspectée des systèmes volcanogène et orogénique.

#### Volcanogènes (6)

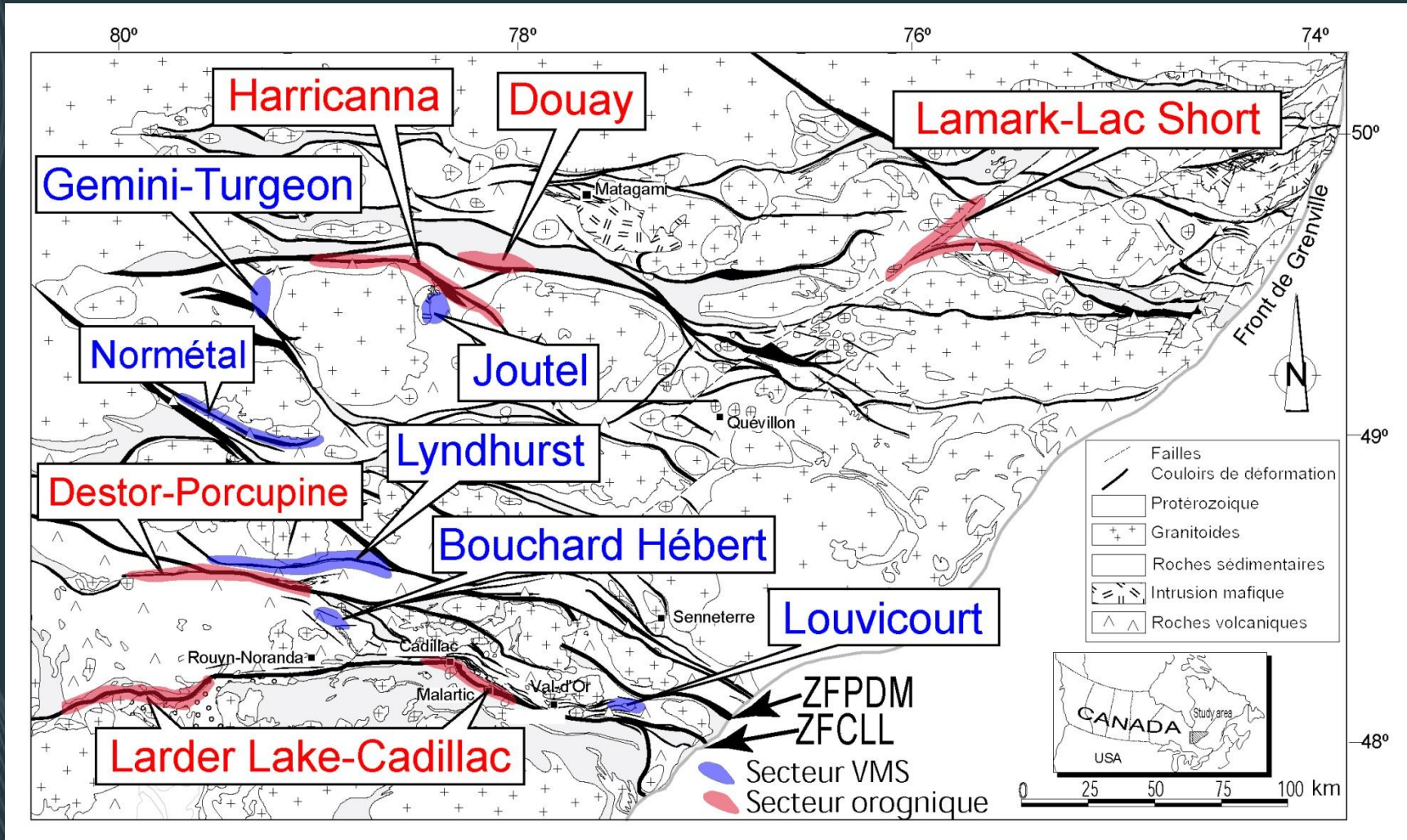
- Bouchard-Hébert
- Louvicourt
- Joutel
- Gemini-Turgeon
- Normétal
- Lyndhurst

#### Orogéniques (5)

- Faille Cadillac
  - *Segment Malartic - Val d'Or: VMS absents/non reconnus.*
- Faille Larder Lake & Kirkland Lake
  - *Lithologies postérieures au volcanisme principal de l'Abitibi : Fm Timiskaming & suite alcaline tardive.*
- Gisement Douay
  - *Intrusion syénitique tardive*
- Faille Lamark
  - *Secteur Lac Shortt*
- Faille Destor-Porcupine
  - *Segment Holt-McDermott – Beattie: VMS absents/non reconnus.*



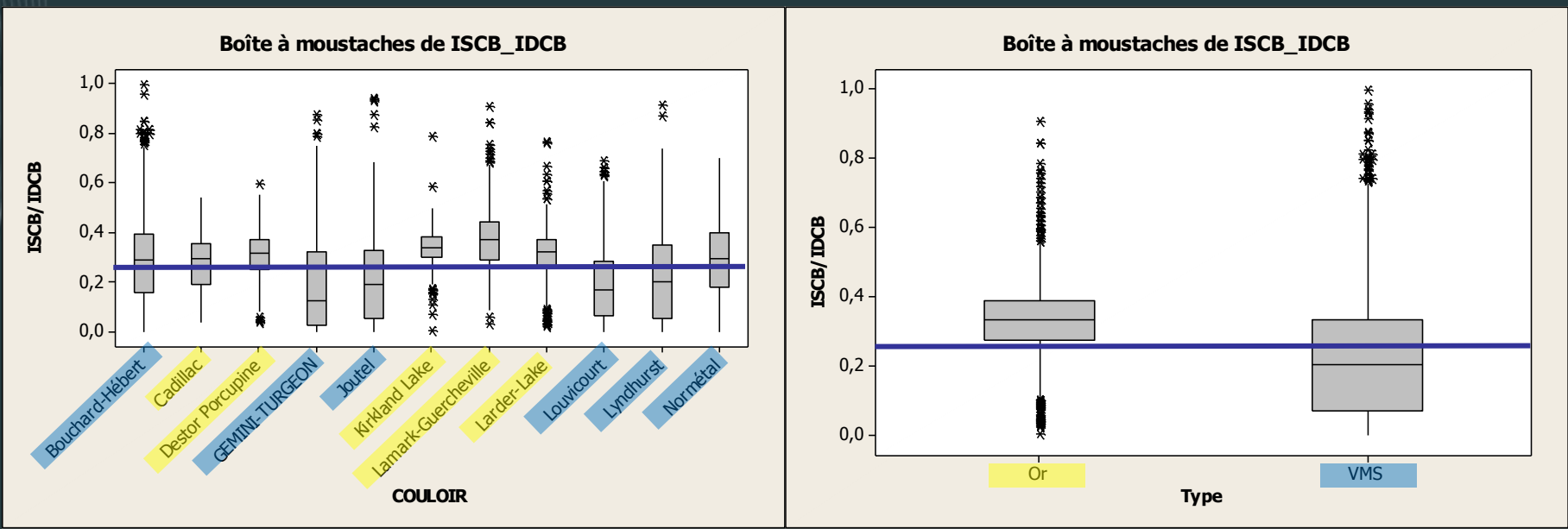
## Localisation des sites étudiés



### Sélection des échantillons

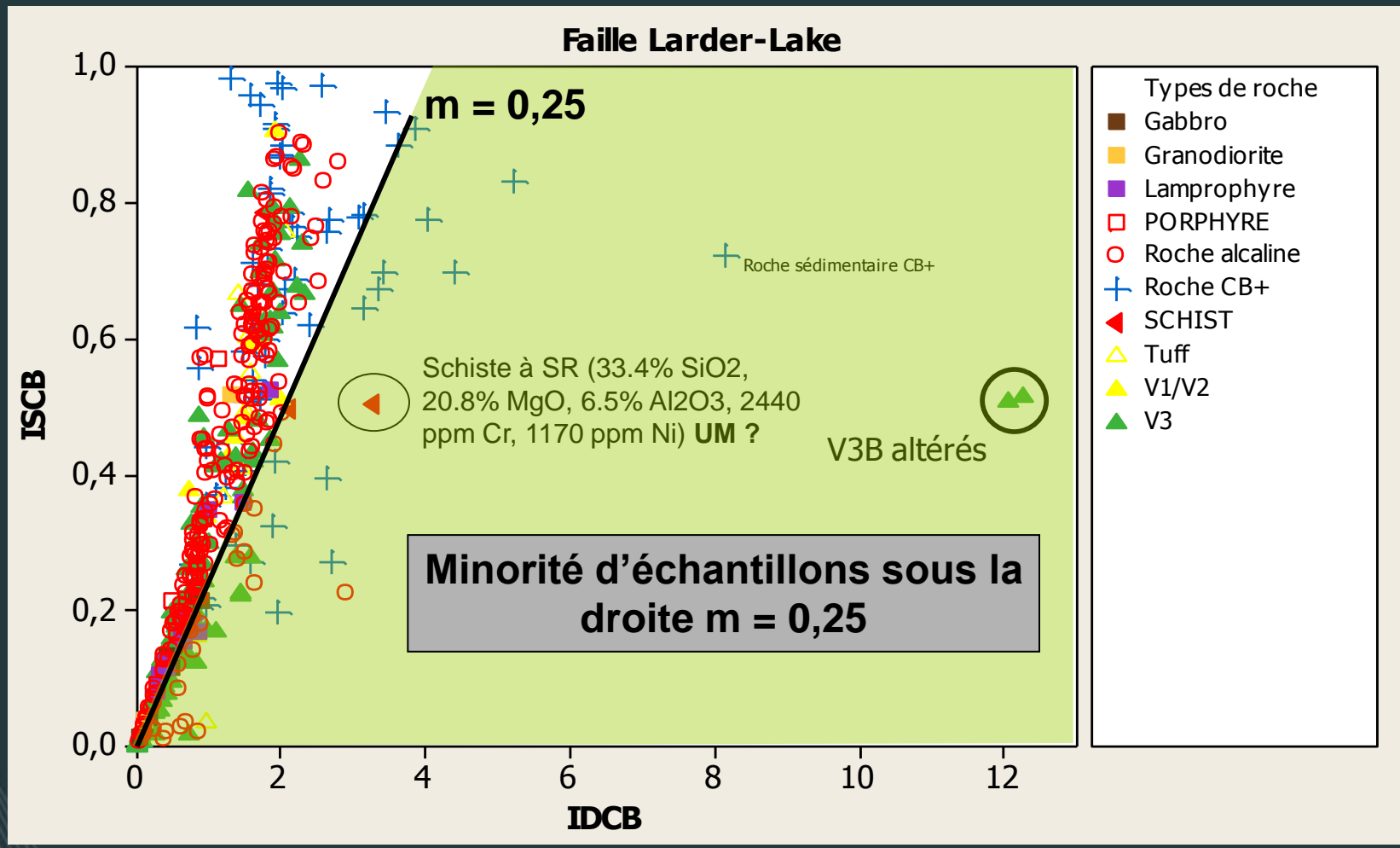
- Trier les banques de données pour ne pas tenir compte des échantillons suivants :
  - Roches ultramafiques
  - Roches avec sulfures
  - Roches graphiteuses
  - Formations de fer
  - Argilites
  - Échantillons non carbonatés (ISCB = 0)

## Ratio ISCB/IDCB

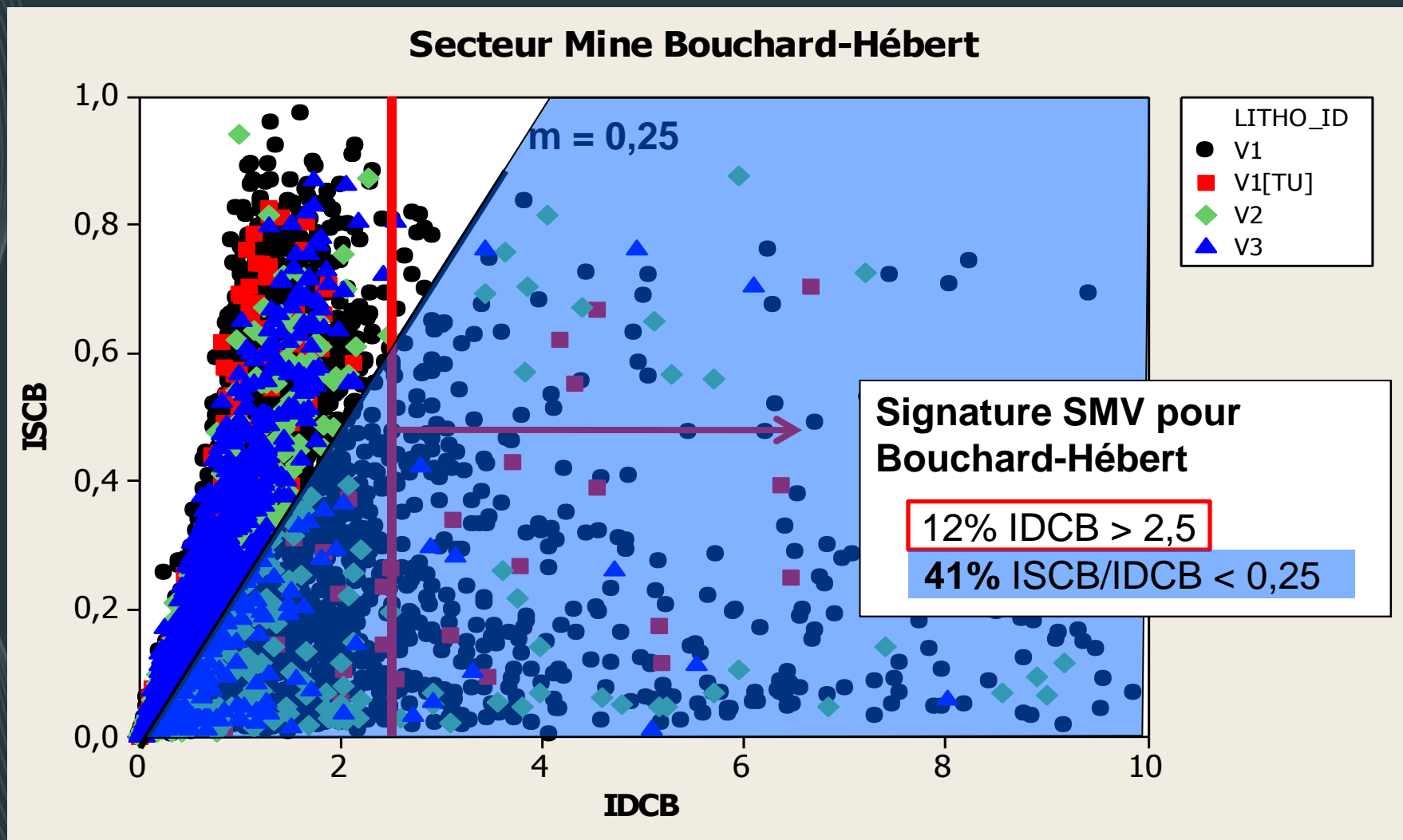


**ISCB/IDCB < 0,25 : discrimination des signatures SMV/orogénique**

## Exemple pour contexte orogénique (Faille Larder Lake)



## Exemple pour contexte volcanogène

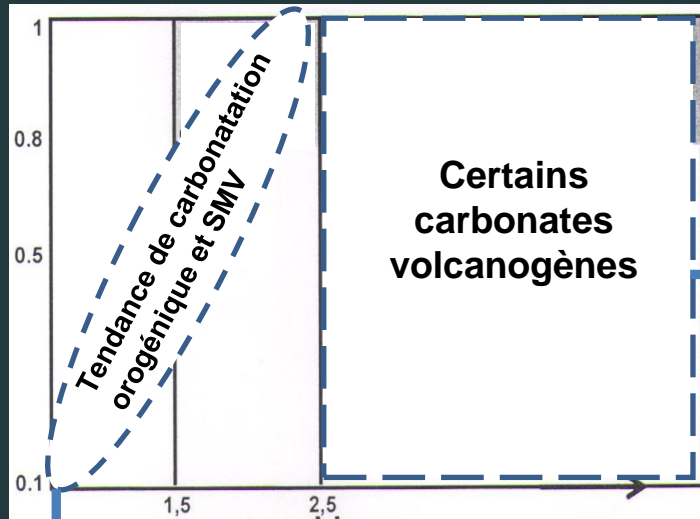


## 5. Discrimination SMV / orogénique

Résultats ISCB/IDCB < 0,25 (indication SMV)

Site	Champ SMV	Nombre d'échantillons
Louvicourt	68%	10 739
Joutel	58%	1 559
Gemini	65%	2 470
Bouchard-Hébert	41%	5 206
Douay	10%	2 056
Kirkland Lake	7%	323
Faille Larder Lake	12%	214 (roches alcalines)
Faille Lamark	11%	287
Faille Harricana N	18%	788
Faille Destor-Porcupine	23%	289
Faille Cadillac	34%	56

## Développement d'un diagramme ternaire



**Discrimination** ( $\text{CO}_2/\text{CaO}$ )

Certains carbonates volcanogènes

Certains échantillons de carbonates en env. SMV – zones de décharge, lessivage..

Tendance principale – Carbonates orogéniques + volcanogènes

Carbonates orogéniques?

Carbonates Volcanogènes?

Ratio Saturation / Type Constant

**Saturation**

( $\text{CO}_2/\text{CaO}+\text{FeO}+\text{MgO}+\text{MnO}$ )

**Indice**

**Volcanogène** (établi en ACP)

### Analyse en composantes principales

#### Objectif :

Ajouter un troisième pôle au diagramme de carbonatation afin de mieux discriminer la signature de la carbonatation SMV vs orogénique → **diagramme ternaire**

#### Analyse avec :

##### – Indices de carbonatation (4)

- Saturation (ISCB), Discrimination (IDCB), Ratio ISCB/IDCB
- IPAF de Normat

##### – Autres indices d'altération (10)

- IFRAIS, IAB & IOR de Normat
- Ishikawa, CCPI, Alkali, Spitz-Darling, Chlorite, Séricite
- Indice d'altération générale (GAI) de Bierlien et al. 2000 :  $(K_2O+CO_2) / (K_2O+CO_2+Na_2O+Al_2O_3)$



### Approche de l'analyse en composantes principales

Comparer les indices avec le ratio ISCB/IDCB qui représente le mieux la carbonatation orogénique afin de voir quel indice montre une corrélation :

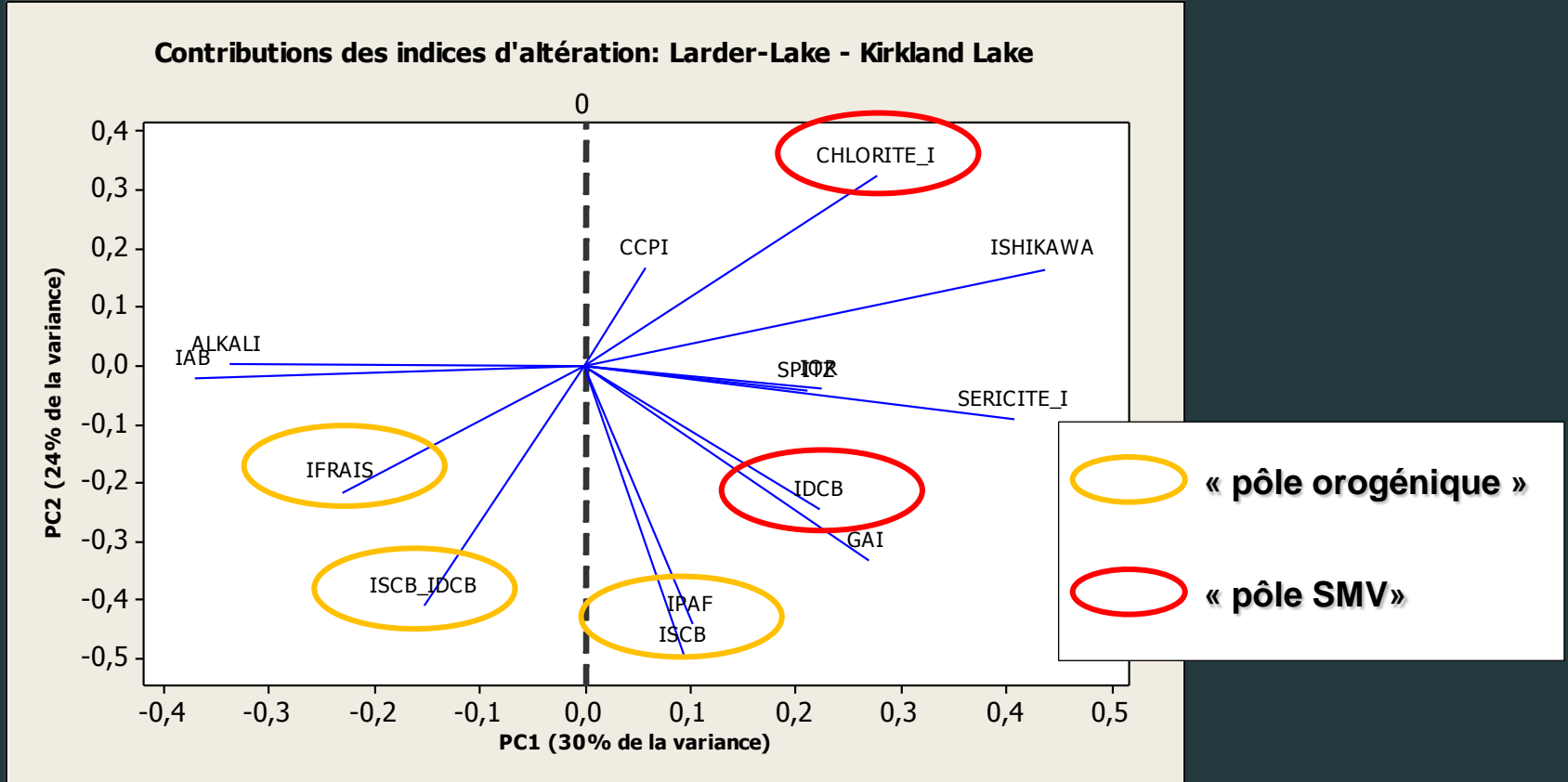
- positive avec ISCB/IDCB

  - *sera utile comme pôle orogénique sur le diagramme ternaire*

- négative avec ISCB/IDCB

  - *sera utile comme pôle SMV sur le diagramme ternaire*

## Exemple de l'analyse en composantes principales

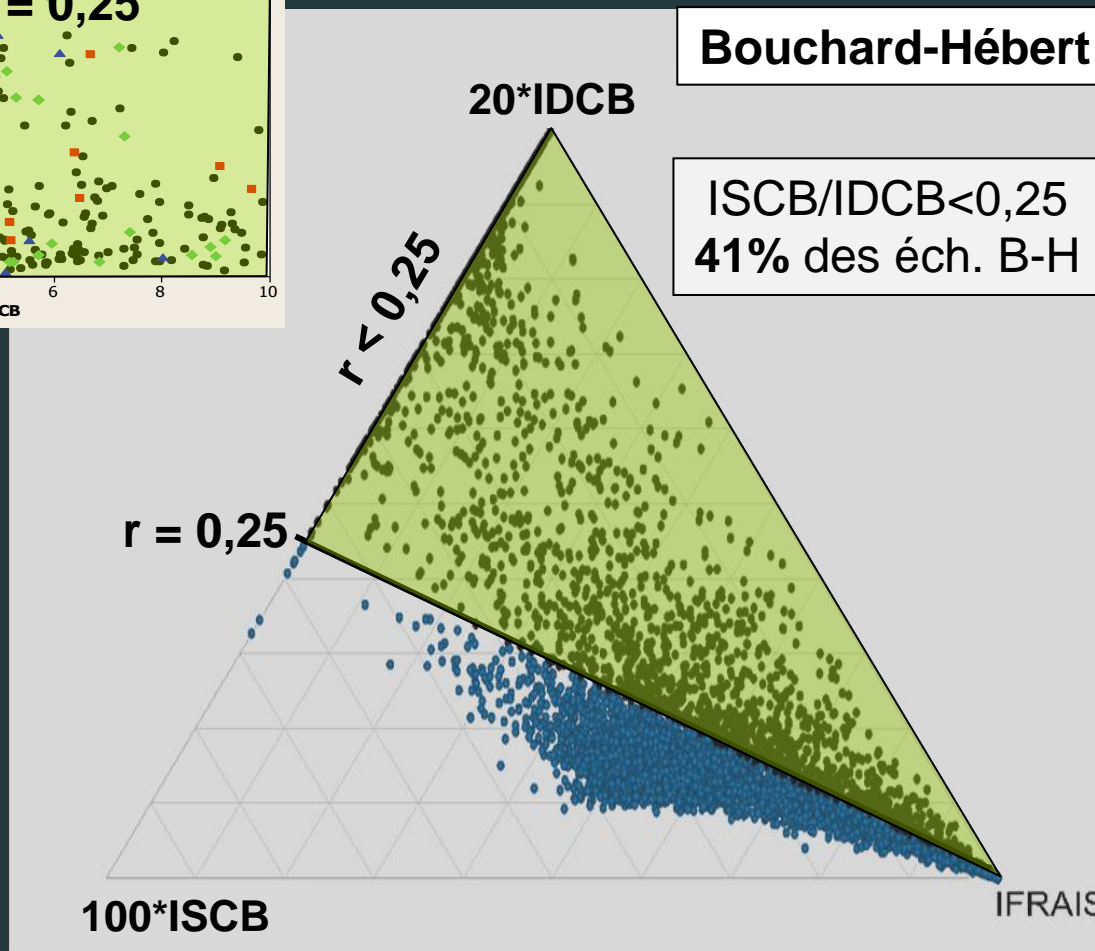
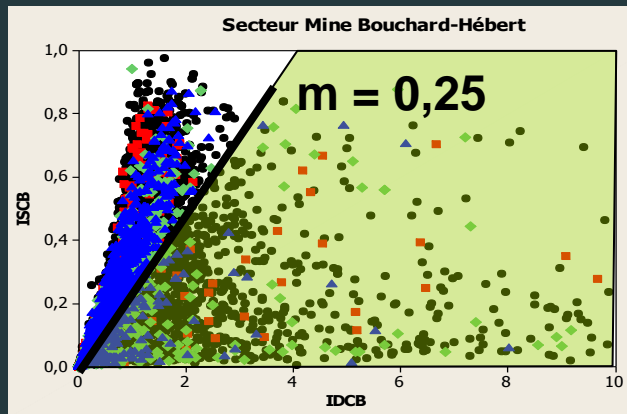


Exemples de combinaisons d'indices pour les diagrammes ternaires

- ISCB – IDCB – IFRAIS
- IFRAIS – ISCB – CHLORITE
- IFRAIS – ISCB/IDCB - CHLORITE

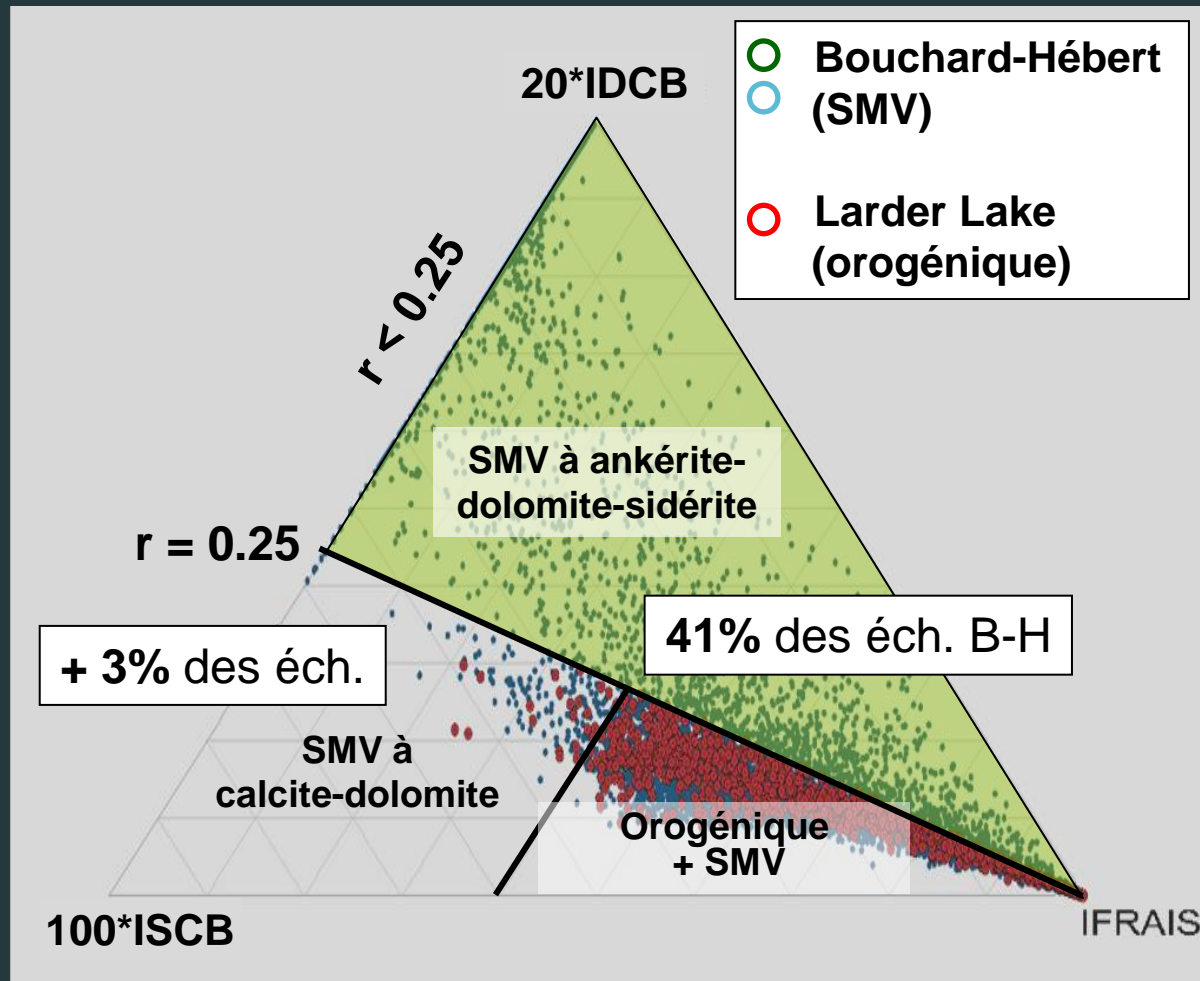
## 6. Diagrammes discriminants Volcanogène vs orogénique

## Développement des diagrammes ternaires



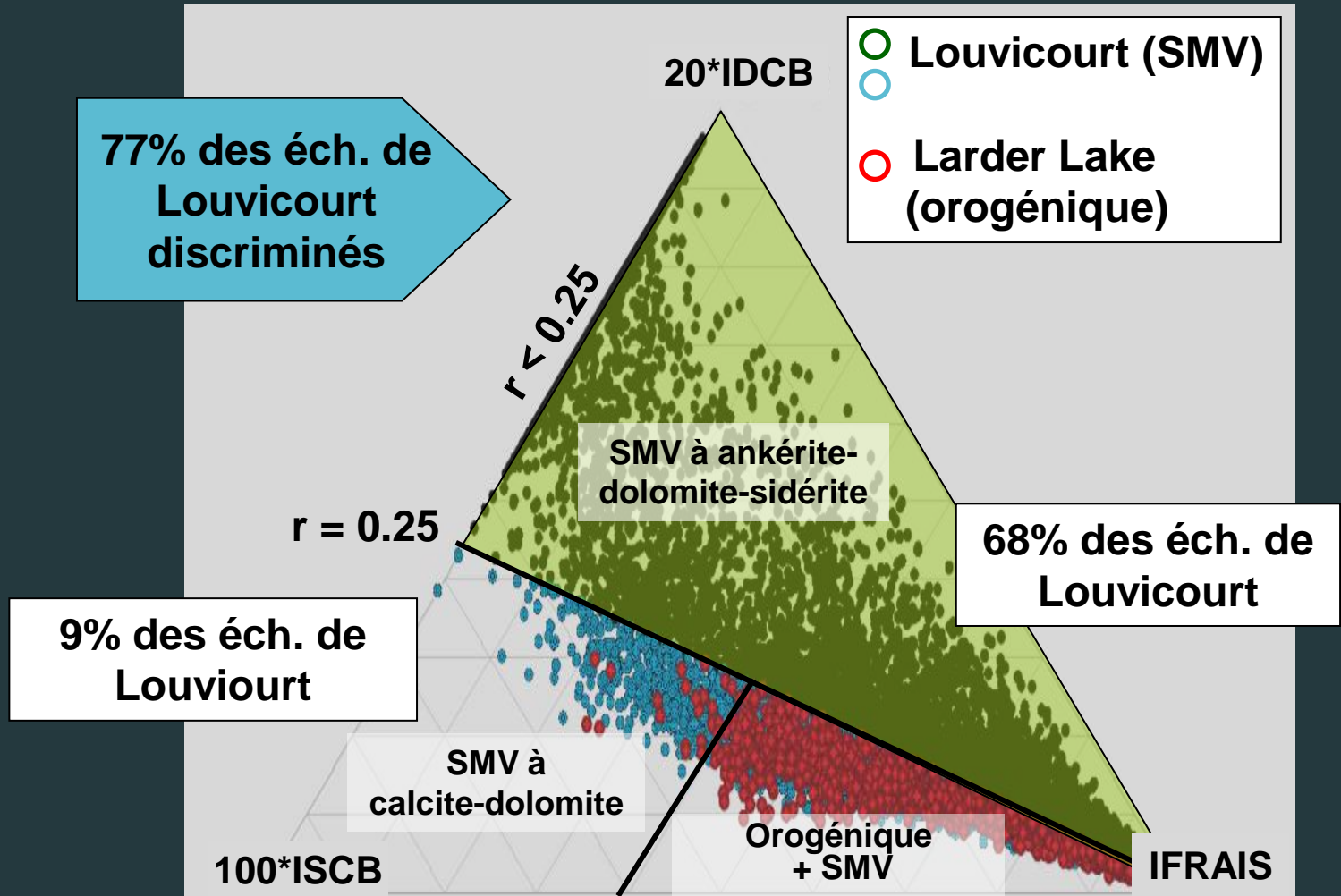
## Développement des diagrammes ternaires

**IDCB – ISCB - IFRAIS**



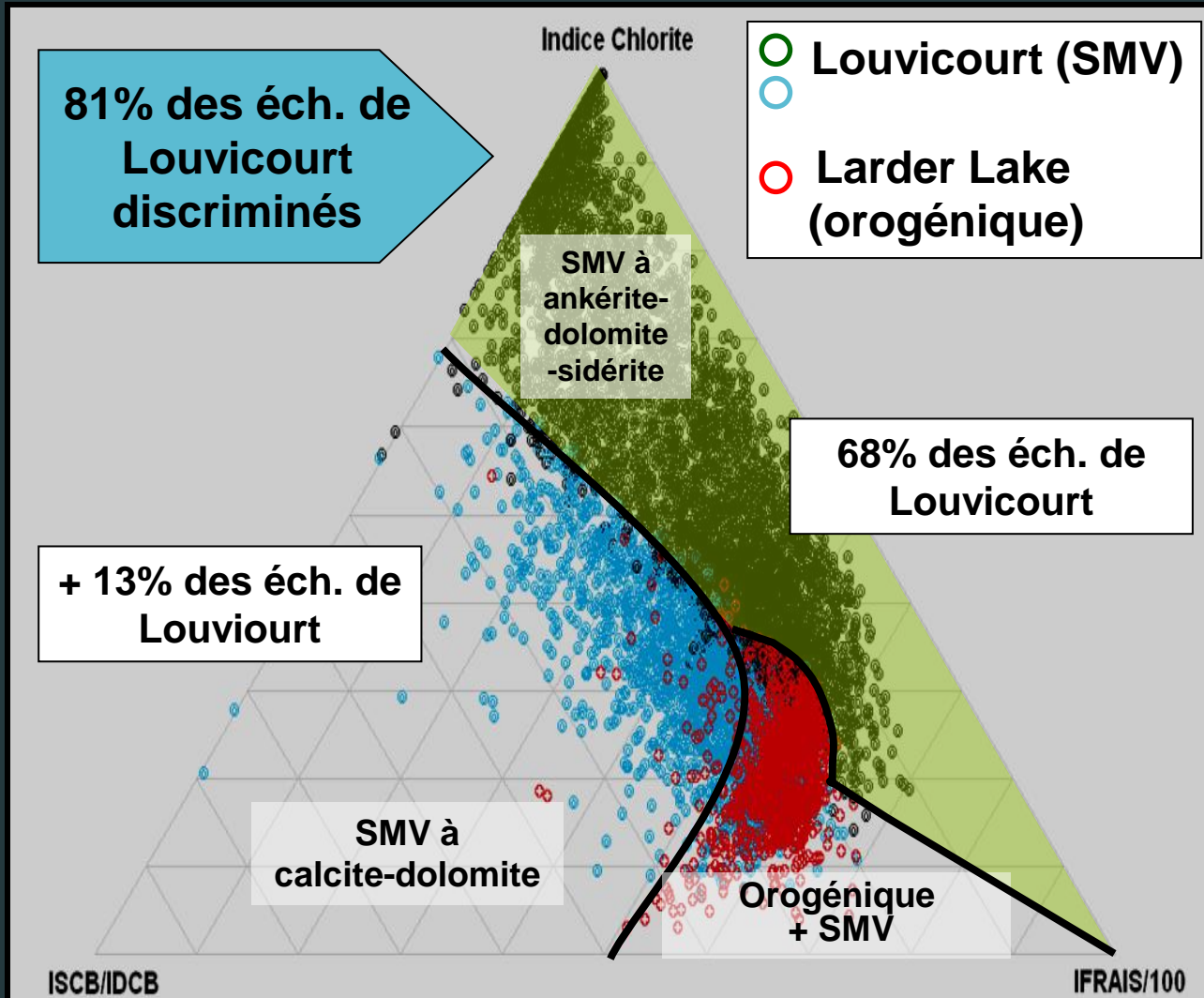
## Diagramme ternaire discriminant 1

*IDCB – ISCB - IFRAIS*



## Diagramme ternaire discriminant 2

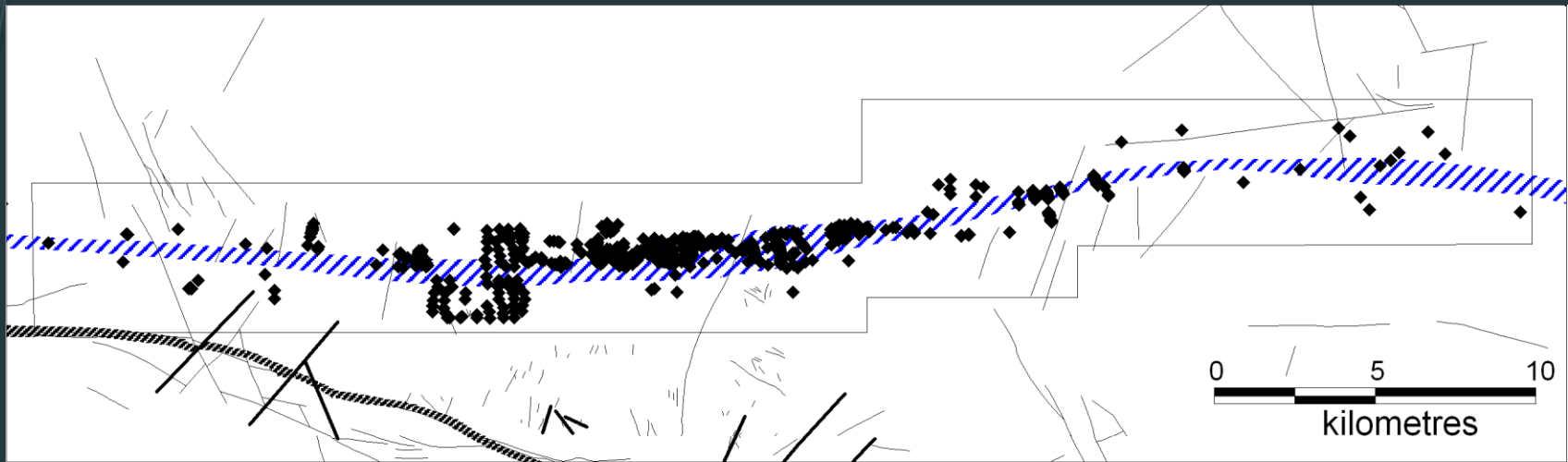
Indice Chlorite - ISCB/IDCB - IFRAIS



## 7. Exemple d'application



### Exemple de la propriété nimportou

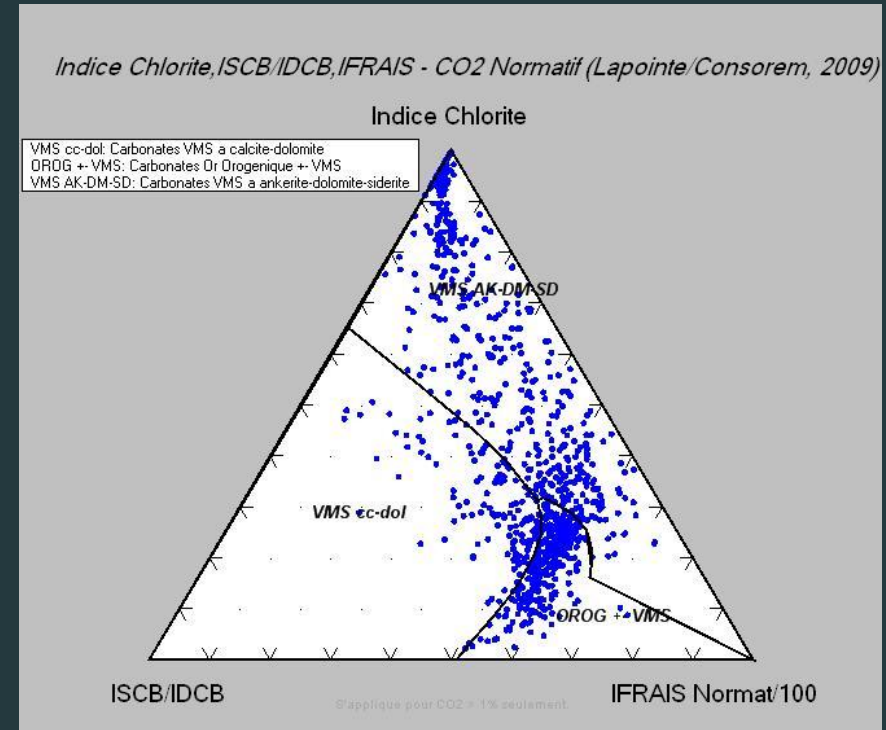
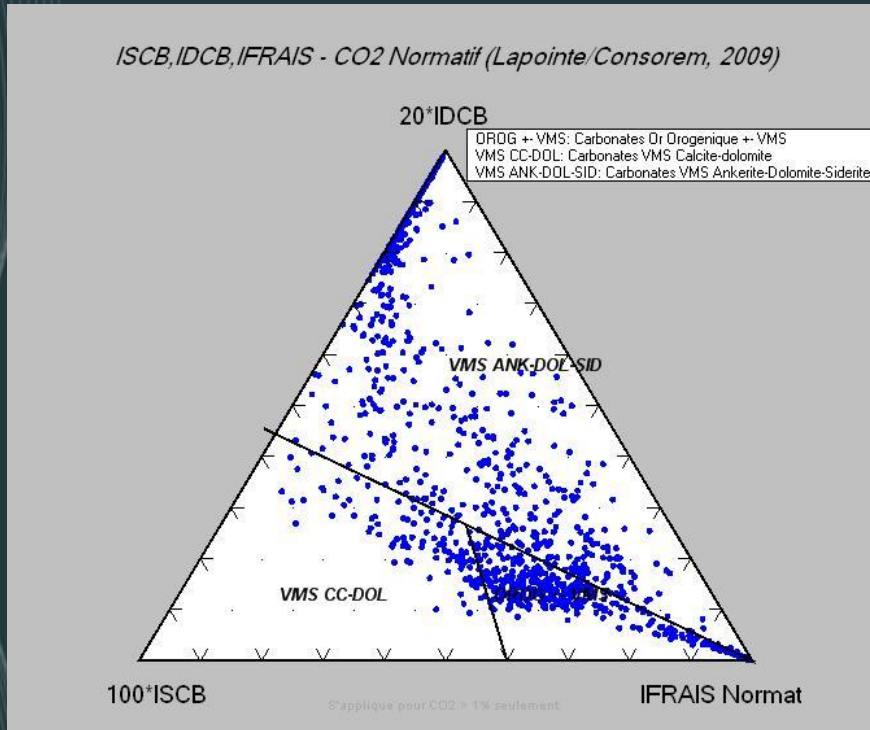


Acquisition d'une nouvelle propriété avec 1119 échantillons lithogéochimiques le long d'un cisaillement avec carbonatation

 **potentiel SMV et/ou or-orogénique ?**

## Exemple de la propriété nimportou

### Utilisation des diagrammes de discrimination volcanogène vs orogénique



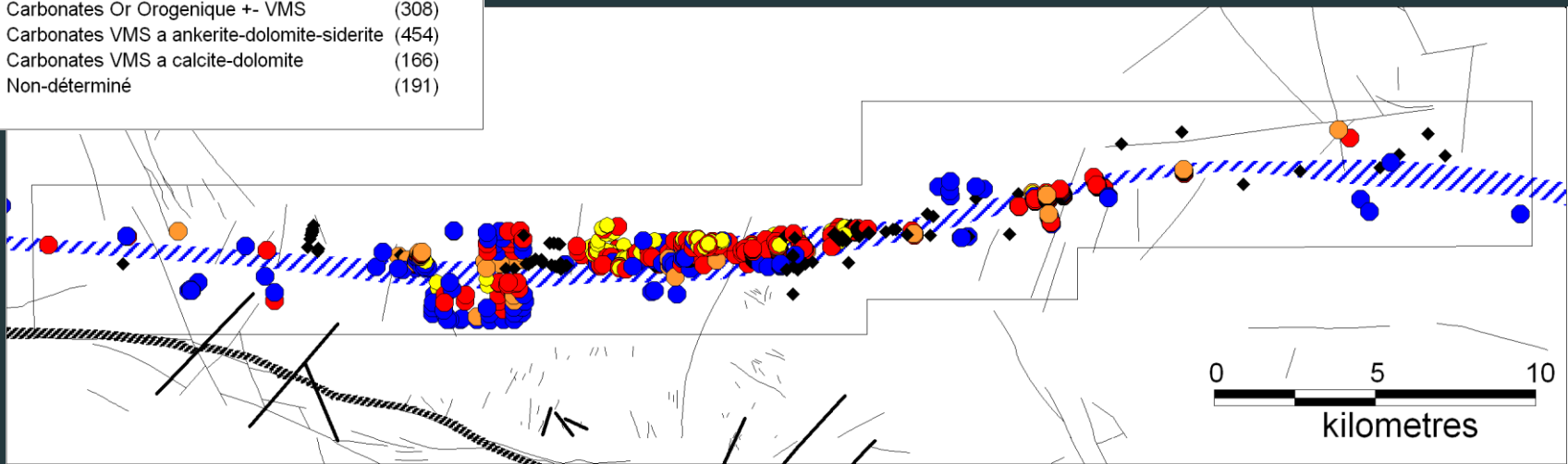
Plusieurs des échantillons (67%) dans les champs SMV

➡ Bon potentiel SMV

## Exemple de la propriété nimportou

Exemple par Indice Chlorite-ISCB/IDCB-IFRAIS

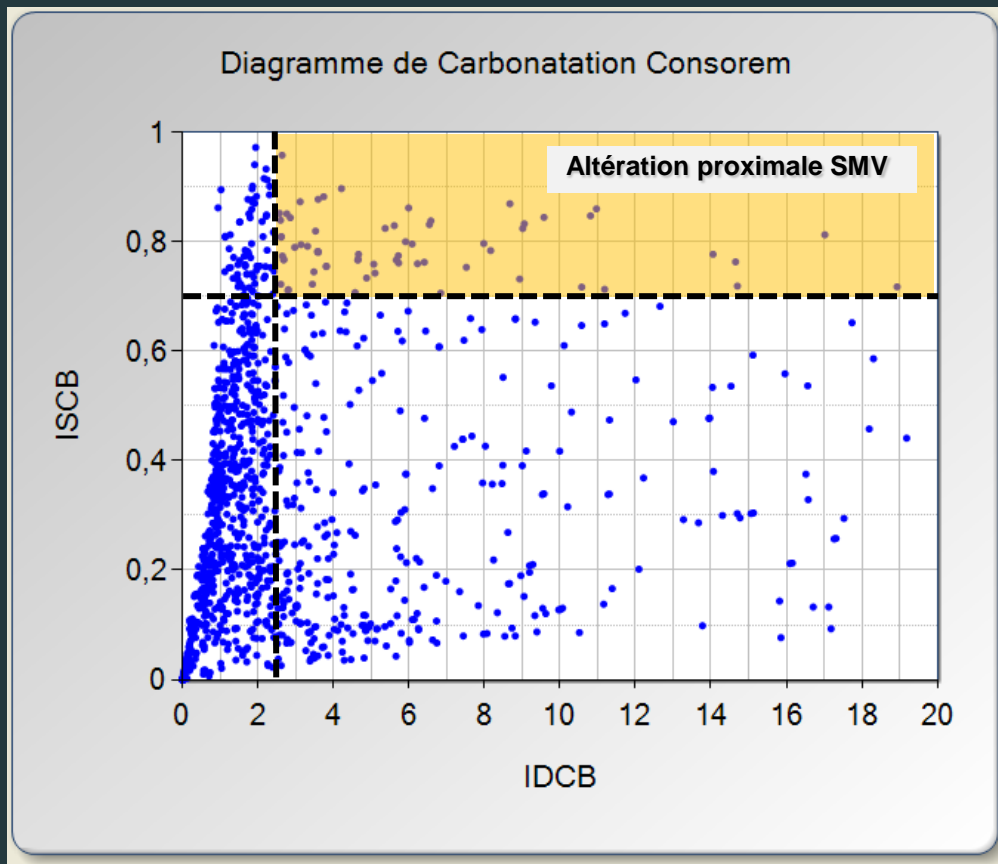
- Carbonates Or Orogenique +- VMS (308)
- Carbonates VMS a ankerite-dolomite-siderite (454)
- Carbonates VMS a calcite-dolomite (166)
- Non-déterminé (191)



Le potentiel pour les minéralisations de type SMV semble être concentré dans certains secteurs de la marge nord du cisaillement


**Où sont les zones proximales aux minéralisations ?**

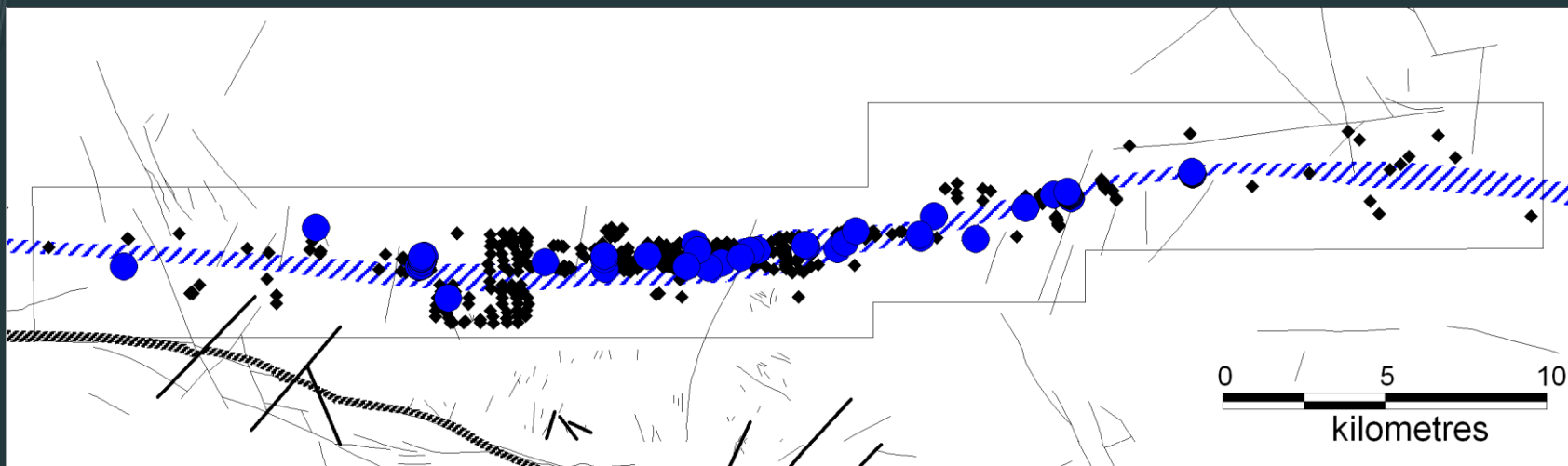
## Exemple de la propriété nimportou



Identification des zones proximales avec le diagramme de carbonatation :  $IDCB > 2,5$  et  $ISCB > 0,7$

 **84 échantillons identifiés**

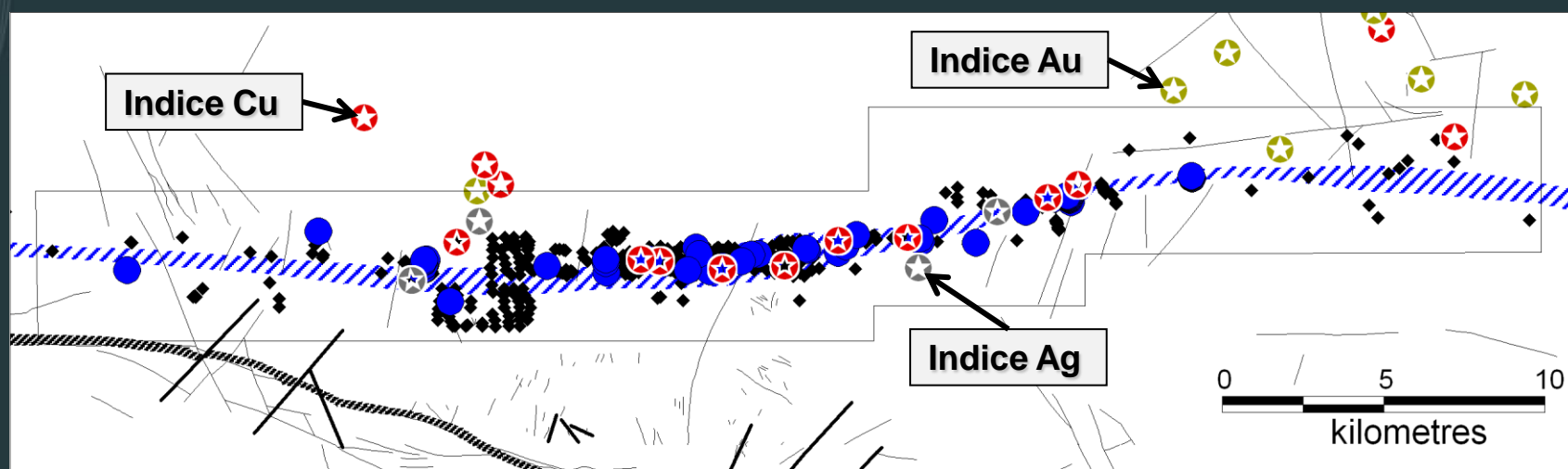
## Exemple de la propriété nimportou



Identification des zones proximales avec le diagramme de carbonatation :  $IDCB > 2,5$  et  $ISCB > 0,7$

**➔ 84 échantillons identifiés**

## Exemple de la propriété nimportou

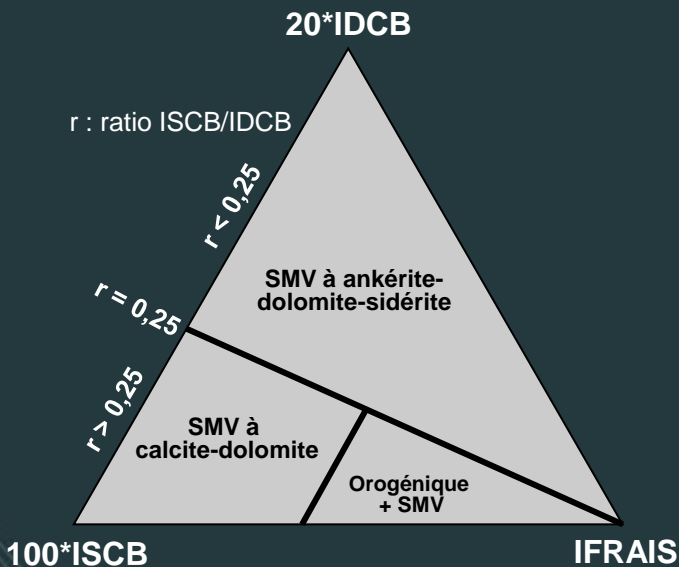


**➔ Bonne corrélation entre les échantillons proximaux et les indices de Cu connus du secteur**

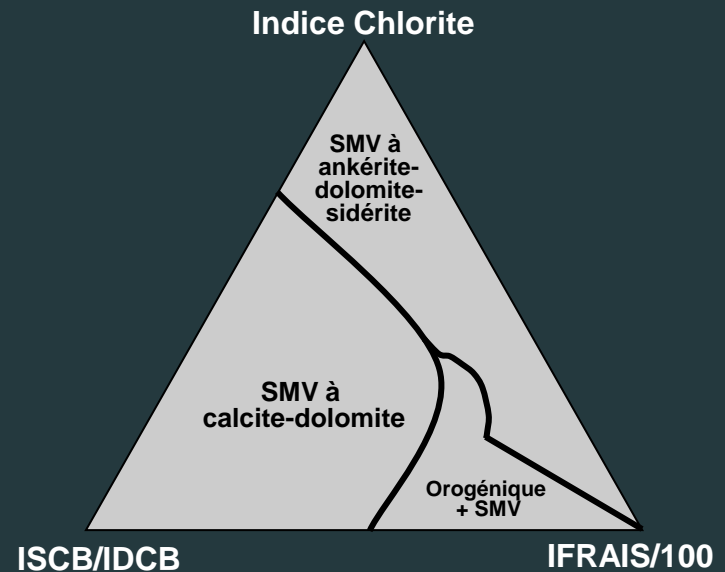
# Conclusion

- Discrimination possible entre la carbonatation volcanogène et orogénique avec :
  - *ratio ISCB / IDCB < 0,25 = SMV*
  - *diagrammes ternaires utilisant les indices de carbonatation et des indices d'altération (IFRAIS Normat et Indice Chlorite)*
- Possible de distinguer la signature volcanogène dans un contexte de minéralisations aurifères, mais plus difficilement l'inverse :
  - *les échantillons orogéniques demeurent superposés à un groupe d'échantillons SMV*

**IDCB – ISCB - IFRAIS**



**Indice Chlorite - ISCB/IDCB - IFRAIS**



# Conclusion

- L'indice de discrimination (IDCB) permet de déterminer les espèces de carbonates :
  - à partir d'une analyse lithogéochimique.
- Le diagramme de carbonatation est utile pour le ciblage dans les environnements volcanogènes et or-orogéniques :
  - zonation proximale/distale des différentes espèces de carbonates

