

Outils pour caractériser l'altération en contexte aurifère: applications en Abitibi

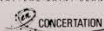
Projet 2013-07

Ludovic Bigot

Atelier CONSOREM, 17 novembre 2014, Québec



AGNICO EAGLE



URSTM/UQAT



GLENCORE



UQAC

Plan de la présentation

- 1. Mise en contexte**
2. Notions; État des connaissances
3. Données et Méthodologie
4. Traitements et Analyses
5. Innovations et Discussions

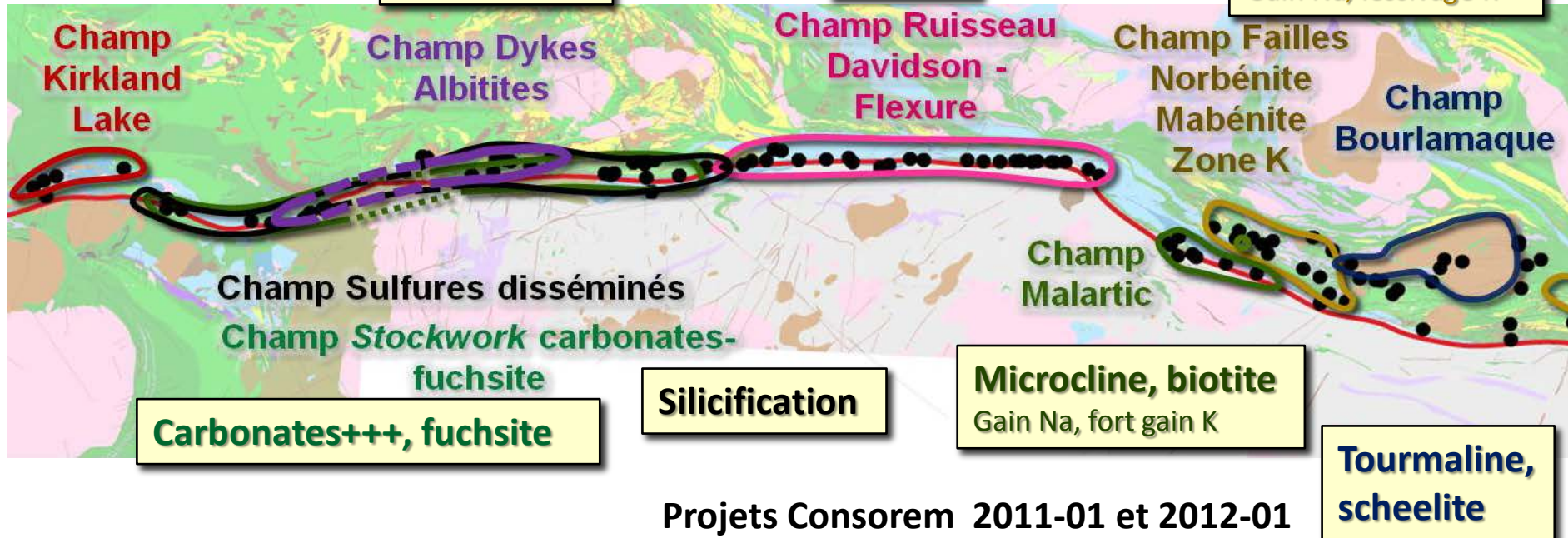
1. À l'origine du projet

Silice, séricite ± FeldsK

Albitisation

Biotite

Albite en veine
Gain Na, lessivage K



Omniprésence de l'altération; variabilité de sa nature, de son intensité, et de son étendue

- **Méthode descriptive, pas de portrait quantitatif de l'intensité des altérations (sauf Cadillac Est)**

1. À l'origine du projet

<u>Outils</u>	<u>Avantages</u>	<u>Désavantages</u>
<p>Indice de saturation (albite, séricite, carbonate) Kishida et Kerrich (1987)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Simple à calculer • Un seul nombre en résultat 	<ul style="list-style-type: none"> • Dépendance aux lithologies (sauf pour la saturation en carbonate) • Pas d'information sur l'intensité de l'hydrothermalisme (sauf pour la saturation en carbonate)
<p>Minéraux normatifs (NORMAT, Norme Lithomodeleur) Piché et Jébrak (2004) Consorem (2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Évaluation du CO2 • Efficace pour détecter les minéraux d'altération en contexte VMS 	<ul style="list-style-type: none"> • Dépendance des indices d'altération aux lithologies • Indices d'altération applicables en environnement VMS seulement
<p>Diagramme des éléments majeurs (Box-Plot, ACNK) Large et al. (2001) Nesbitt et Young (1984, 1989)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Permet d'identifier une tendance d'altération 	<ul style="list-style-type: none"> • Dépendance limitée aux lithologies • Pas d'information sur l'intensité de l'hydrothermalisme • Pas indicateur du processus métasomatique
<p>Bilans de masse précurseur unique et précurseur modélisé MacLean et al. (1987), Grant (1986), Consorem (2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Quantifier l'hydrothermalisme par gain/perte • Pas de contraintes des lithologies, facile d'utilisation avec Lithomodeleur 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite l'analyse de certains éléments traces (Zr, Y, Cr), et connaissance d'un précurseur frais pour les roches alcalines • Ne permet pas de déterminer le type de minéral formé • Non applicable en environnement sédimentaire

D'après Trépanier (2011)

De nombreux outils pertinents, mais à utiliser avec prudence car ne sont pas applicables partout et ne fournissent pas les mêmes informations

1. Problématique

- De nombreux outils pertinents, mais à utiliser avec prudence car ne sont pas applicables dans tous les contextes
 - Omniprésence de l'altération en environnement minéralisé mais absence de portrait quantitatif de l'hydrothermalisme à l'échelle régionale
-
- Peut-on développer un **outil de caractérisation** des altérations en contexte aurifère qui serait plus polyvalent et plus objectif que ceux existants?
 - Si oui, peut-on identifier des **signatures hydrothermales** caractéristiques pour certains gîtes d'or non-volcanogènes?
 - Spatialement, peut-on reconnaître une **distribution de champs hydrothermaux** en Abitibi qui corrobore les résultats des projets Consorem 2011-01 et 2012-01?

1. Objectifs

Caractériser l'altération en contexte aurifère

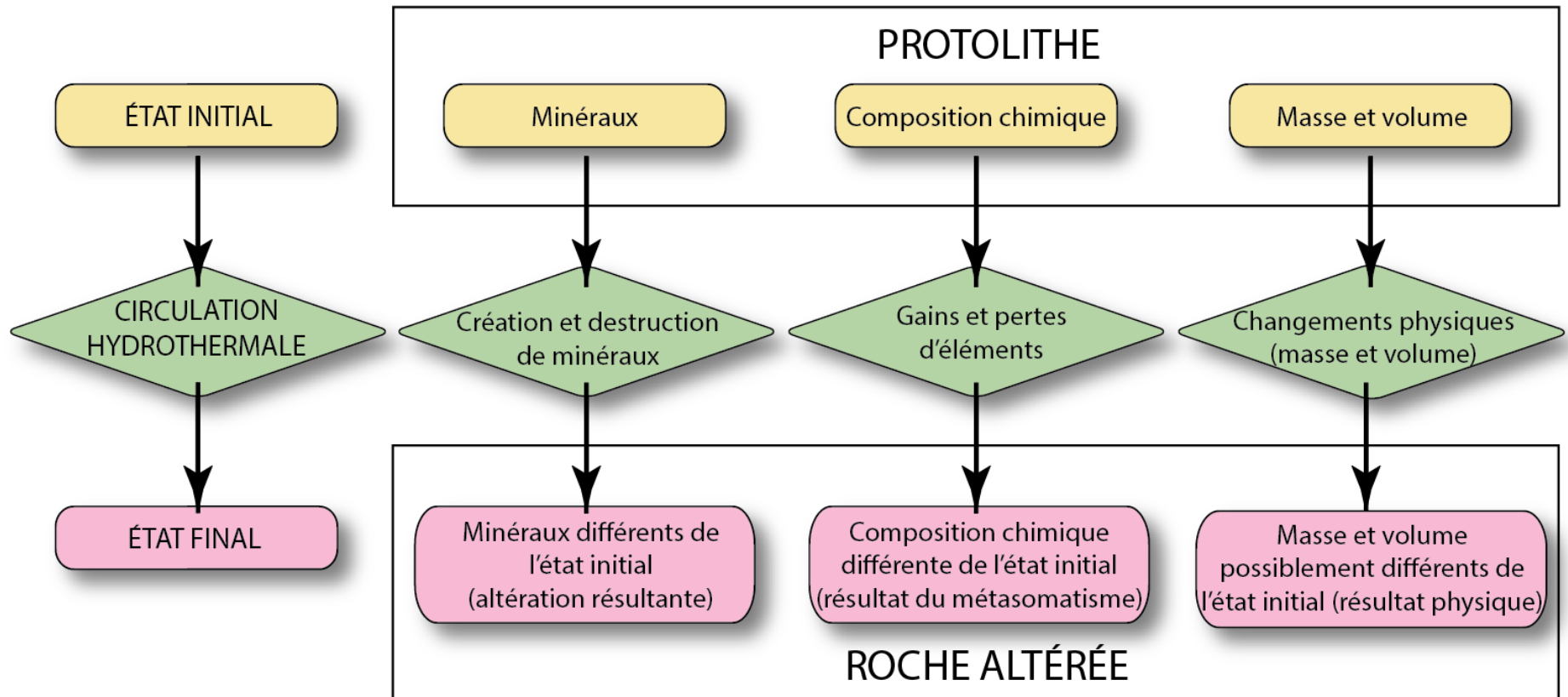
- Développer un outil de caractérisation sous forme de diagramme: un regard rapide sur la géochimie
 - Potentiel: en exploration reconnaître rapidement dans ses analyses géochimiques des altérations, et des signatures hydrothermales similaires à celles de gisements d'or connus
 - mieux orienter l'exploration
- Définir des champs géochimiques: quantifier l'hydrothermalisme en Abitibi en relation avec les minéralisations aurifères

Plan de la présentation

1. Mise en contexte
- 2. Notions; État des connaissances**
3. Données et Méthodologie
4. Traitements et Analyses
5. Innovations et Discussions

2. Notions

Qu'est ce qu'une roche altérée?



Trépanier (2011)

2. État des connaissances

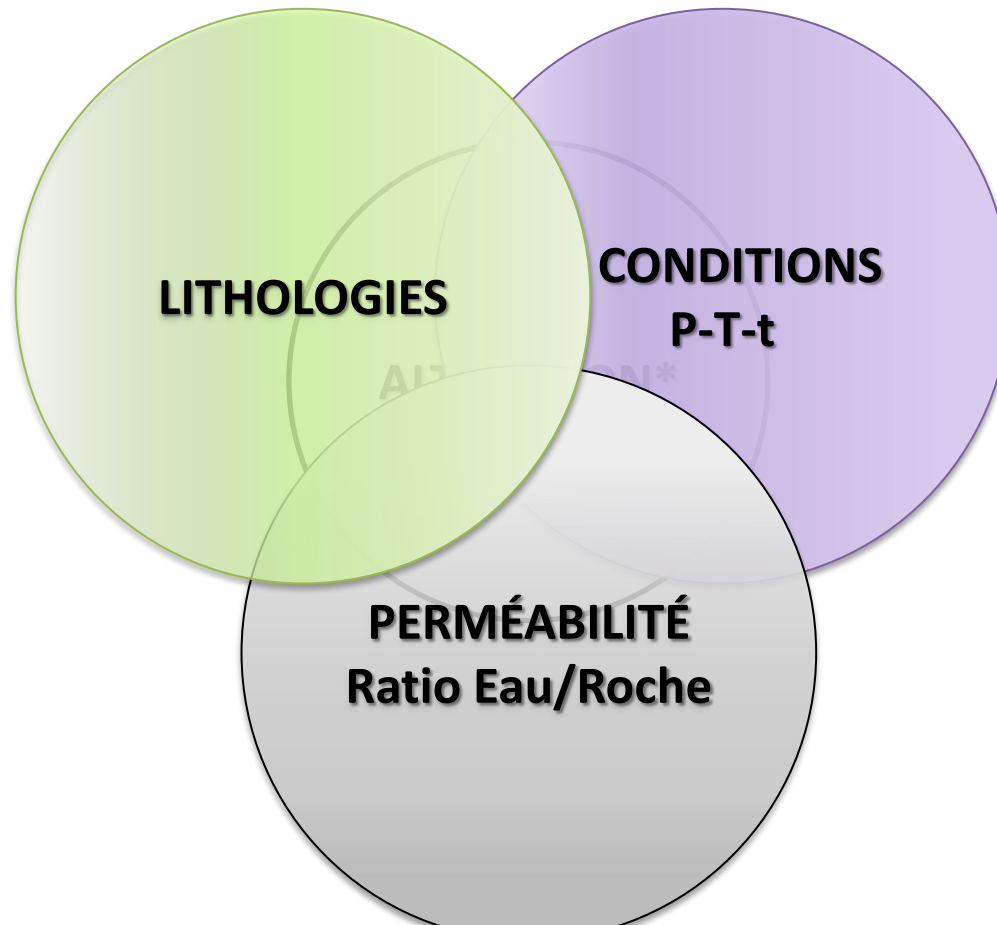
Pour une composition de fluide constante, la variabilité de l'altération résulte de 3 paramètres interdépendants (Colvine et al. 1984, 1988)



* Nature (e.g., sodique), intensité (e.g., forte), style-distribution (e.g., épontes des veines, remplacement de l'encaissant)

2. État des connaissances

Pour une composition de fluide constante, la variabilité de l'altération résulte de 3 paramètres interdépendants (Colvine et al. 1984, 1988)



Pour développer un outil de caractérisation des altérations, il faut **neutraliser la contrainte « lithologie »**: **BILANS DE MASSE, SATURATION CARBONATE**

2. État des connaissances

	<u>Gisement Orogénique</u>	<u>Gisement associé aux intrusions</u>
Altération proximale associée à l'or	Séricite , Silice, Calcite , Ankérite , Sidérite , Pyrite, (Albite)	Albite , FeldsK , Séricite , Silice, Fe-Dolomite , Calcite , Pyrite, Hématite
Métasomatisme proximal	K₂O , LILE, CO₂ , S, (Na₂O)	SiO ₂ , Na₂O , K₂O , CaO, S, CO₂
Références	Colvine et al., 1984, 1988; Robert, 1986; Groves et al., 2003; Dubé et Gosselin, 2007; Robert et al., 2007	Lang et Baker, 2001; Robert, 2001

Trois altérations dominantes: carbonate, potassique, sodique

Plan de la présentation

1. Mise en contexte
2. Notions; État des connaissances
- 3. Données et Méthodologie**
4. Traitements et Analyses
5. Innovations et Discussions

3. Données et Méthodologie

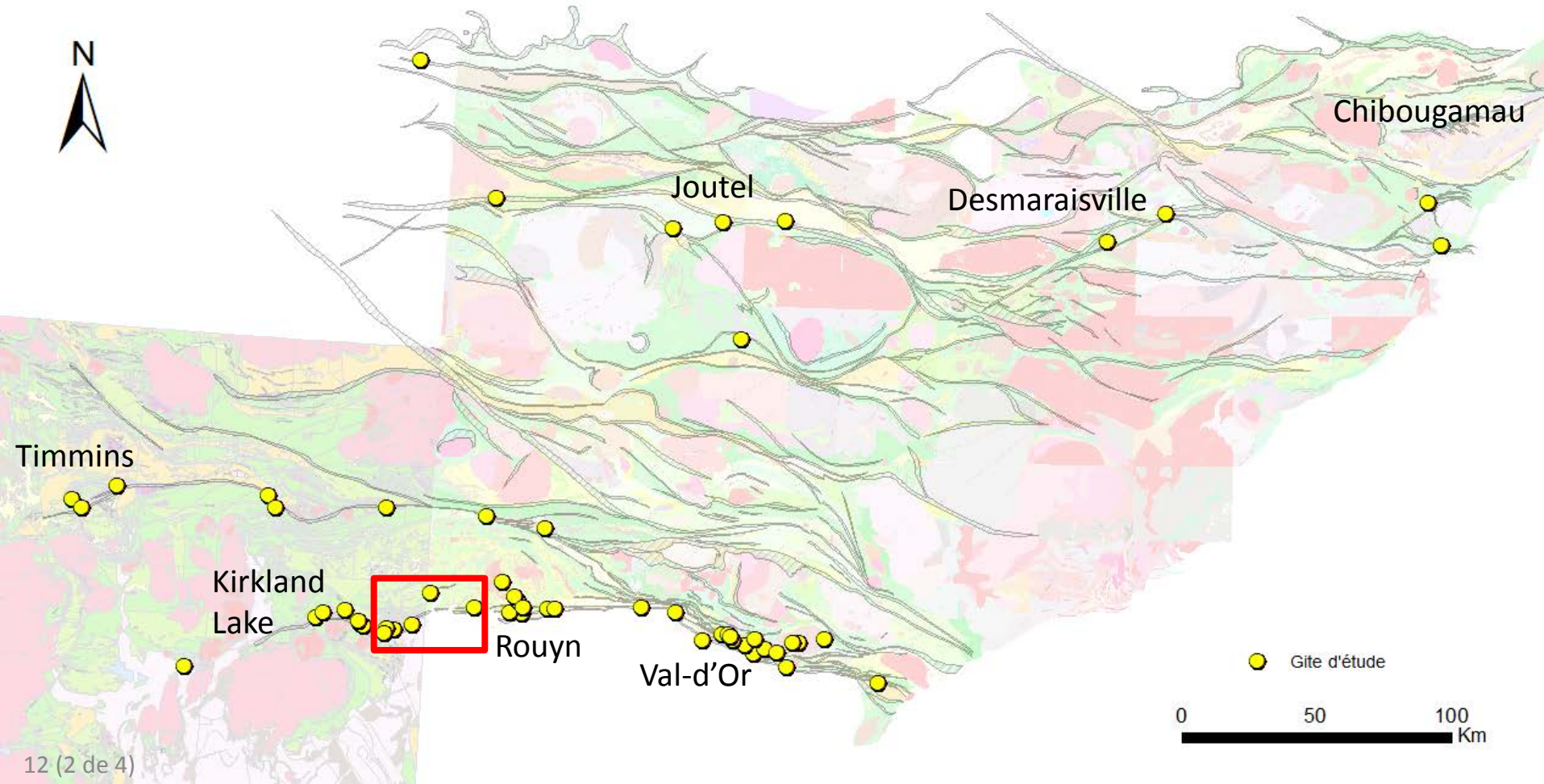
- 1^{ère} étape: **Identification des roches ignées altérées** parmi les données lithogéochimiques:
 - PAF + Norme Schiste Vert + Indice de Saturation en Carbonate + Diagrammes d'altération (modèle de traitement dans Lithomodeleur)

3. Données et Méthodologie

Données disponibles

Base de données du SIGÉOM et base de données du CONSOREM: accumulation de données compilées lors des projets antérieurs, issues de domaines publics et privés.

Secteur d'étude à **proximité de gisements-mines d'or en Abitibi**. Un total de 56 sites d'étude ayant des analyses lithogéochimiques, et dont les minéralisations sont contenues dans des roches ignées.

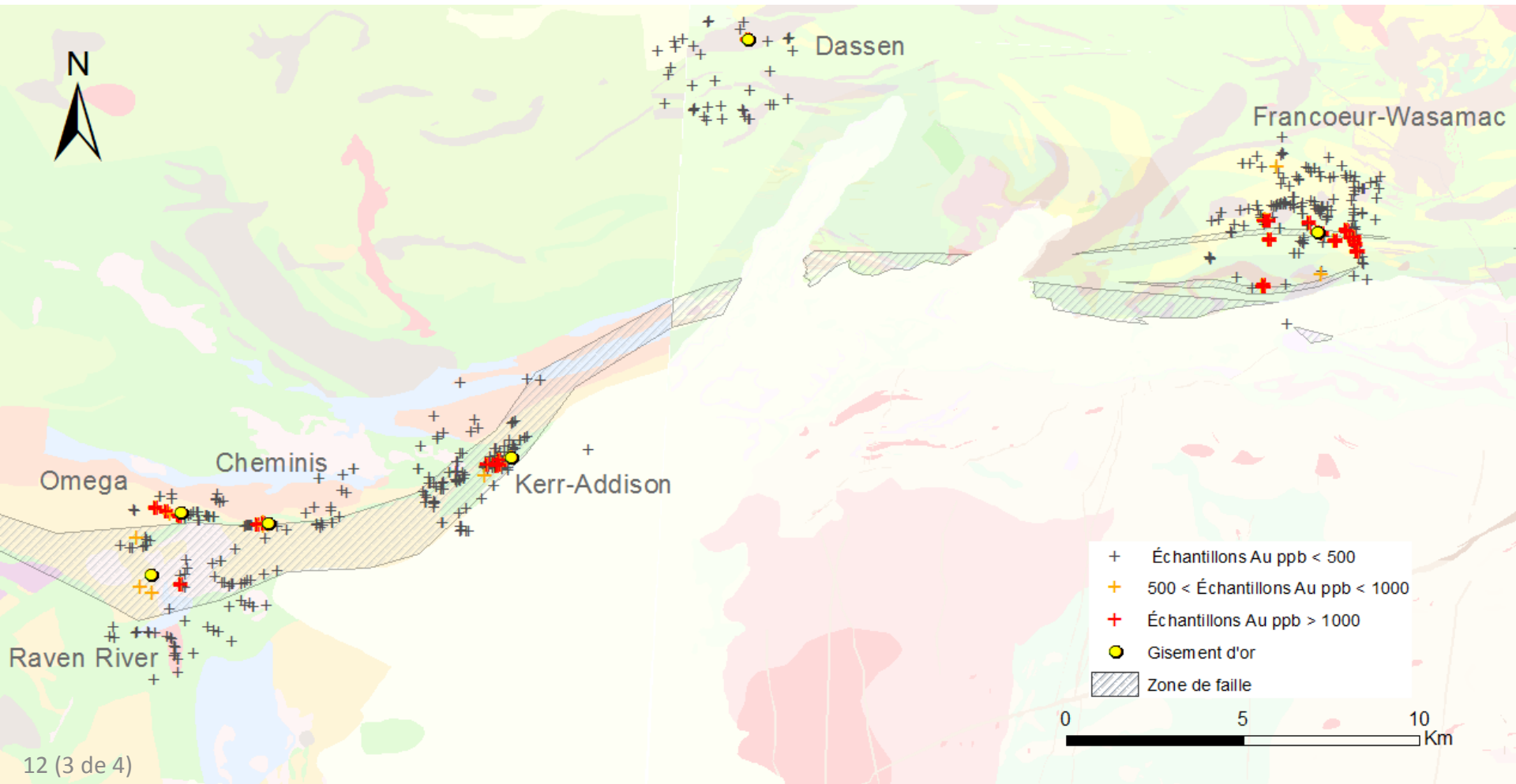


3. Données et Méthodologie

Données disponibles

Base de données du SIGÉOM et base de données du CONSOREM: accumulation de données compilées lors des projets antérieurs, issues de domaines publics et privés.

Secteur d'étude à **proximité de gisements-mines d'or en Abitibi**. Un total de 56 sites d'étude ayant des analyses lithogéochimiques, et dont les minéralisations sont contenues dans des roches ignées.

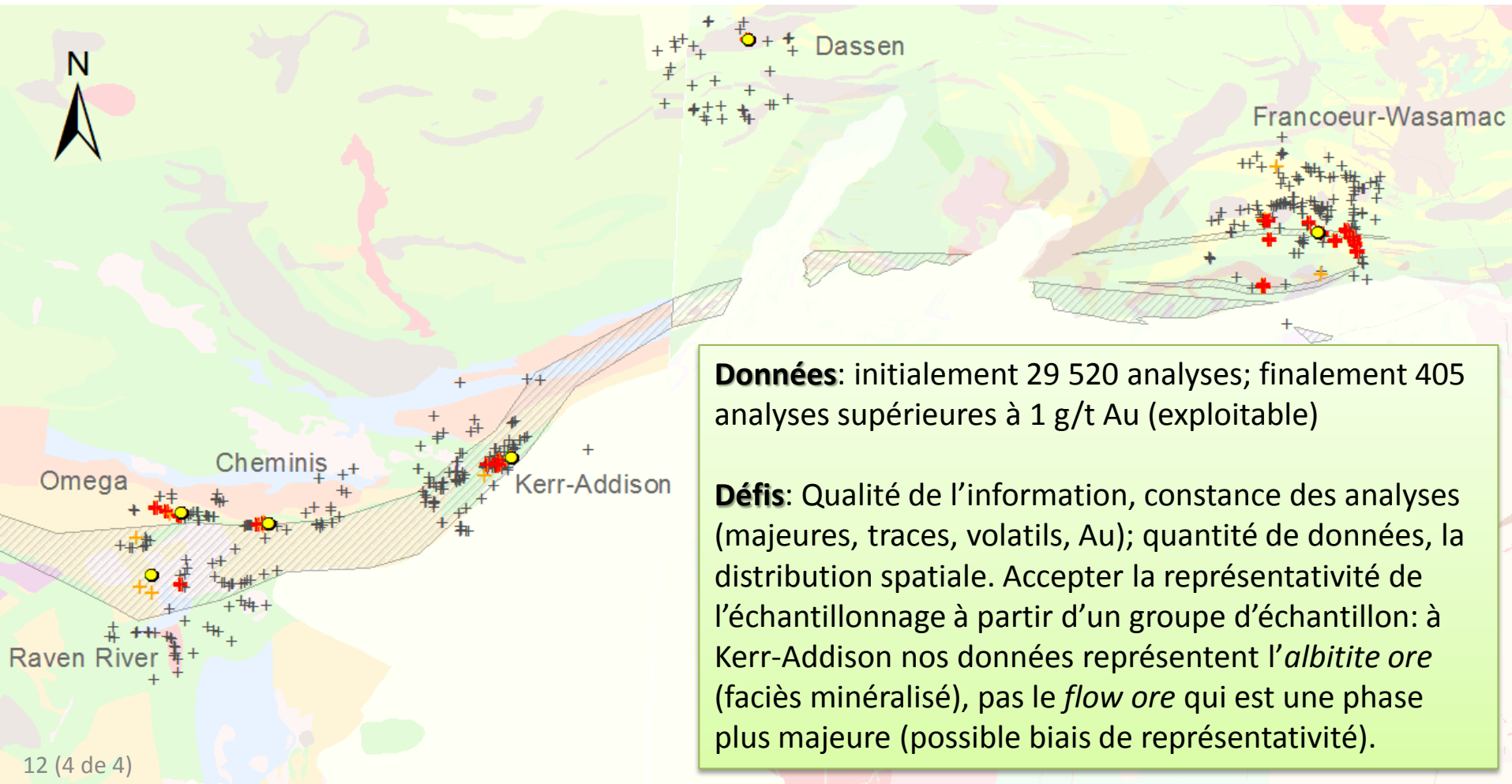


3. Données et Méthodologie

Données disponibles

Base de données du SIGÉOM et base de données du CONSOREM: accumulation de données compilées lors des projets antérieurs, issues de domaines publics et privés.

Secteur d'étude à **proximité de gisements-mines d'or en Abitibi**. Un total de 56 sites d'étude ayant des analyses lithogéochimiques, et dont les minéralisations sont contenues dans des roches ignées.



Données: initialement 29 520 analyses; finalement 405 analyses supérieures à 1 g/t Au (exploitable)

Défis: Qualité de l'information, constance des analyses (majeures, traces, volatils, Au); quantité de données, la distribution spatiale. Accepter la représentativité de l'échantillonnage à partir d'un groupe d'échantillon: à Kerr-Addison nos données représentent l'*albitite ore* (faciès minéralisé), pas le *flow ore* qui est une phase plus majeure (possible biais de représentativité).

3. Données et Méthodologie

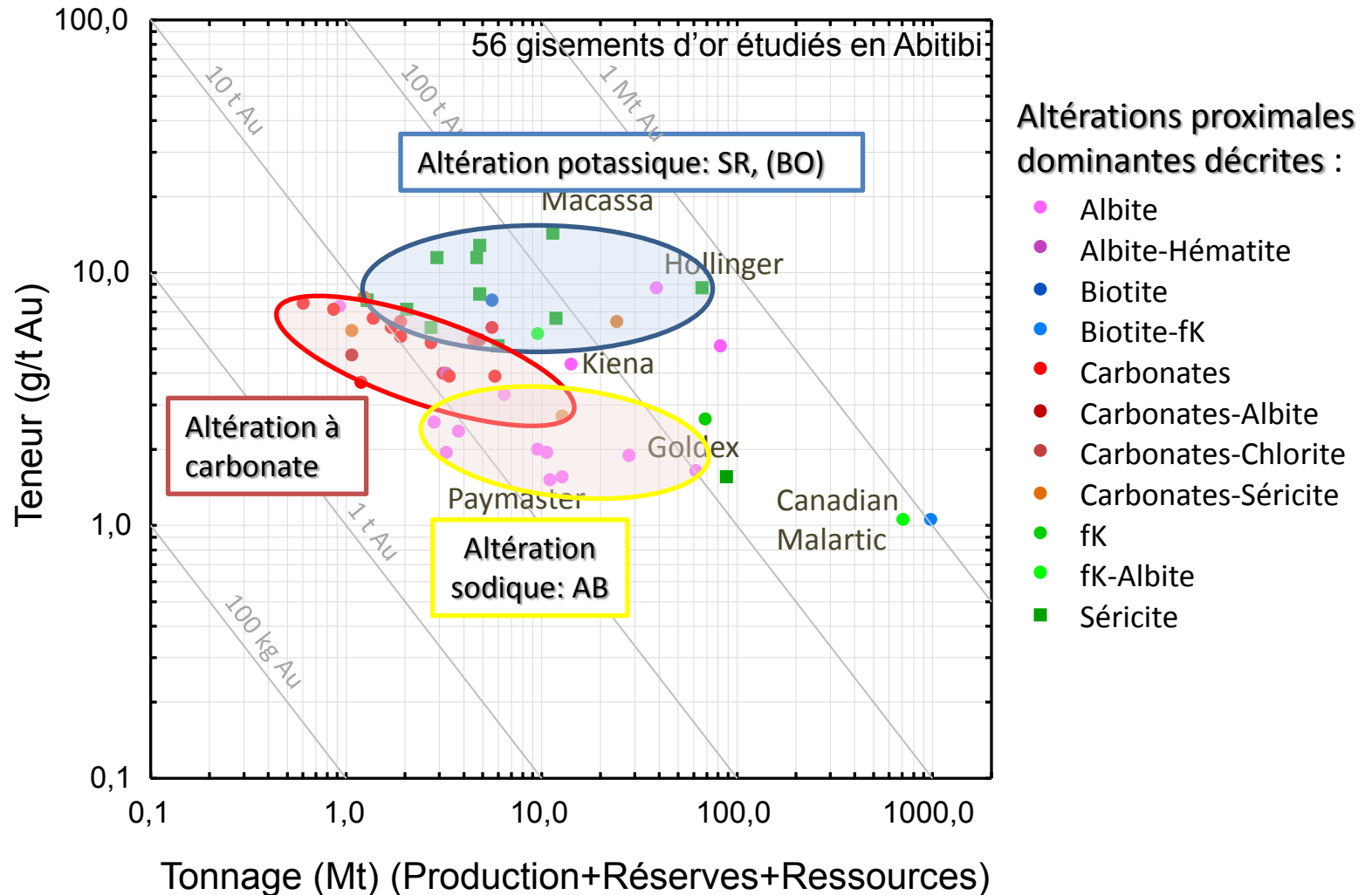
- 1^{ère} étape: **Identification des roches ignées altérées** parmi les données lithogéochimiques:
 - PAF + Norme Schiste Vert + Indice de Saturation en Carbonate + Diagrammes d'altération (modèle de traitement dans Lithomodeleur)
- 2^{ème} étape: **Compilation d'information de la littérature** sur les 56 gisements:
 - Description des altérations proximales, style de minéralisation, teneur-tonnage;
 - Compilation de données lithogéochimiques provenant de thèses, et du gouvernement. Addition de nouvelles données, y compris des roches fraîches.
- 3^{ème} étape: Lithomodeleur - **Calcul des bilans de masse** par modélisation des précurseurs (40 gisements), et par précurseur unique (16 gisements) pour des syénites ou bien lorsque la composition du protholite était connue. Aussi, **calcul des indices de saturation en carbonate**.
- 4^{ème} étape: **Traitement des données**, et **développement des outils**.
- 5^{ème} étape: **Projection spatiale des signatures métasomatiques** des gisements, et **identification de champs hydrothermaux**.

Plan de la présentation

1. Mise en contexte
2. Notions; État des connaissances
3. Données et Méthodologie
- 4. Traitements et Analyses**
5. Innovations et Discussions

4. Traitements et Analyses

1^{er} constat à partir de la compilation de la littérature portant sur l'altération proximale associée à l'or



4. Traitements et Analyses

Test de confiance des résultats des calculs métasomatiques avec les altérations proximales décrites dans la littérature

% de gisements* avec altération proximale (associée à la minéralisation aurifère)

	Albite-tourmaline (N=21)	Séricite-fK-biotite (N=18)
Gain Na ₂ O	100	28
Gain K ₂ O	38	89

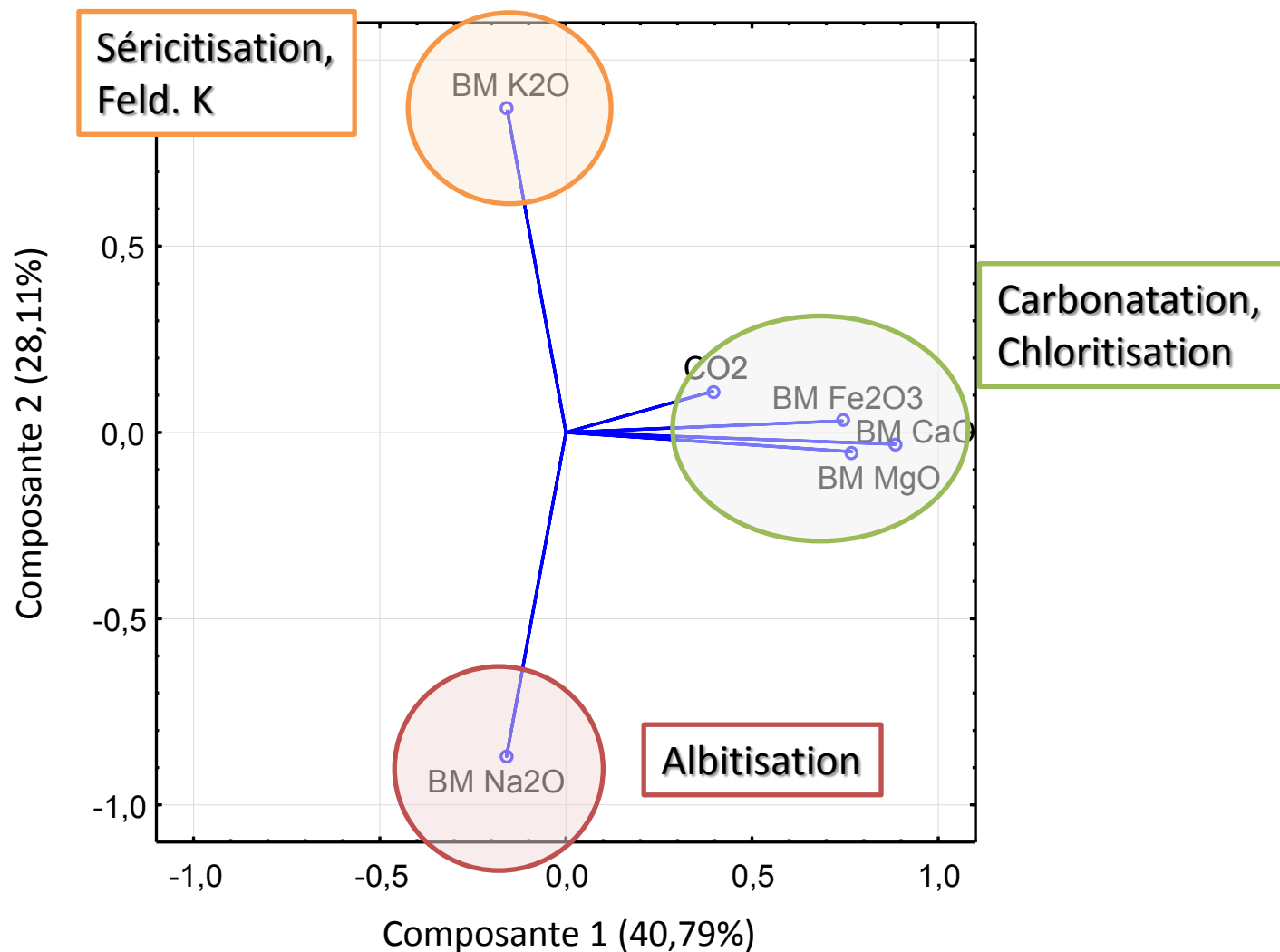
* Compilation de 56 gisements en Abitibi; échantillons supérieurs à 1 g/t Au

Résultats conformes aux minéraux reconnus = Bonne confiance que les résultats métasomatiques sont représentatifs de l'hydrothermalisme associé à la minéralisation aurifère dans les gisements étudiés

4. Traitements et Analyses

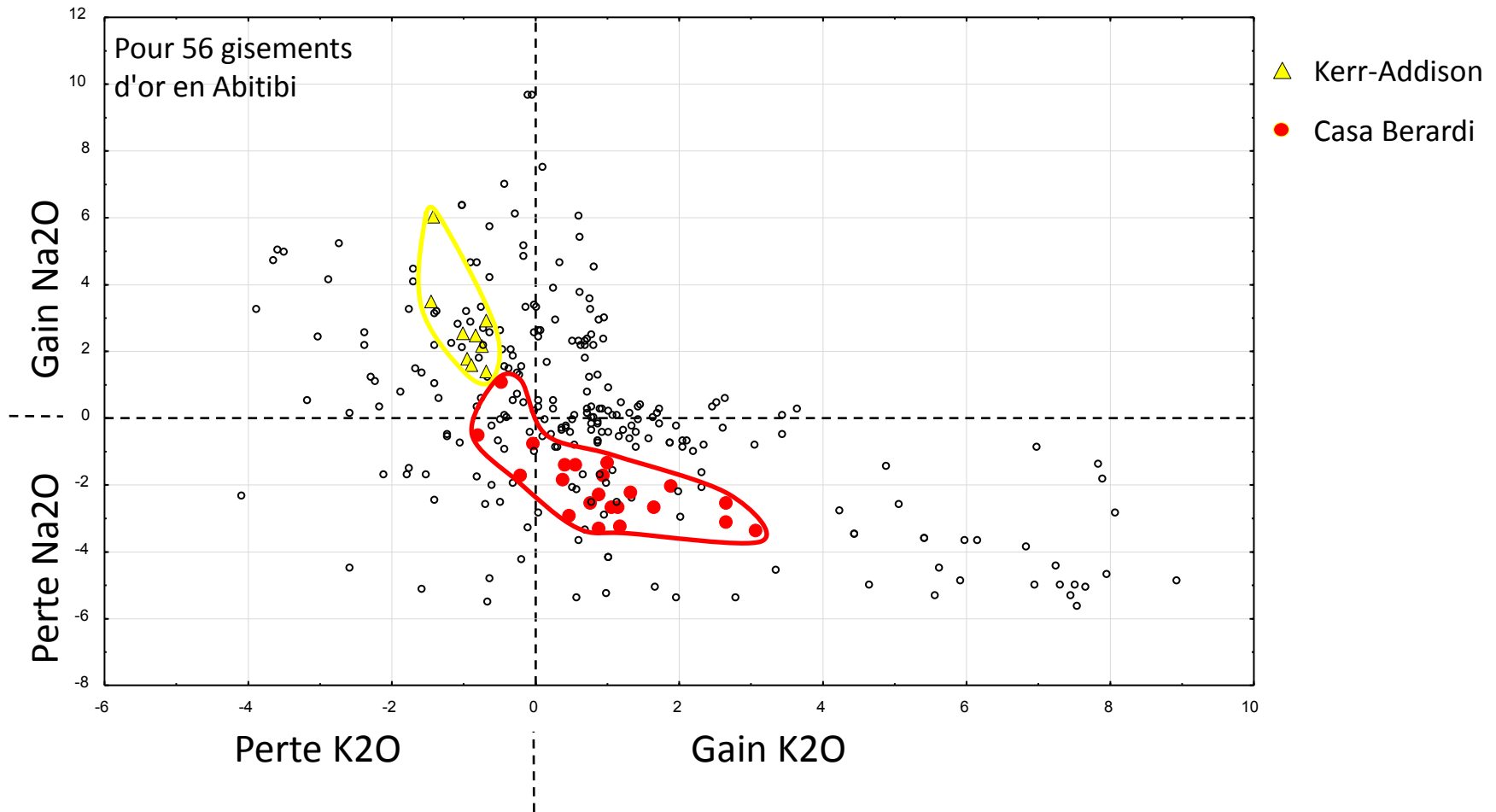
Distribution des paramètres de bilan de masse pour les échantillons minéralisés*

Analyse en composantes principales pour les gisement d'or en Abitibi



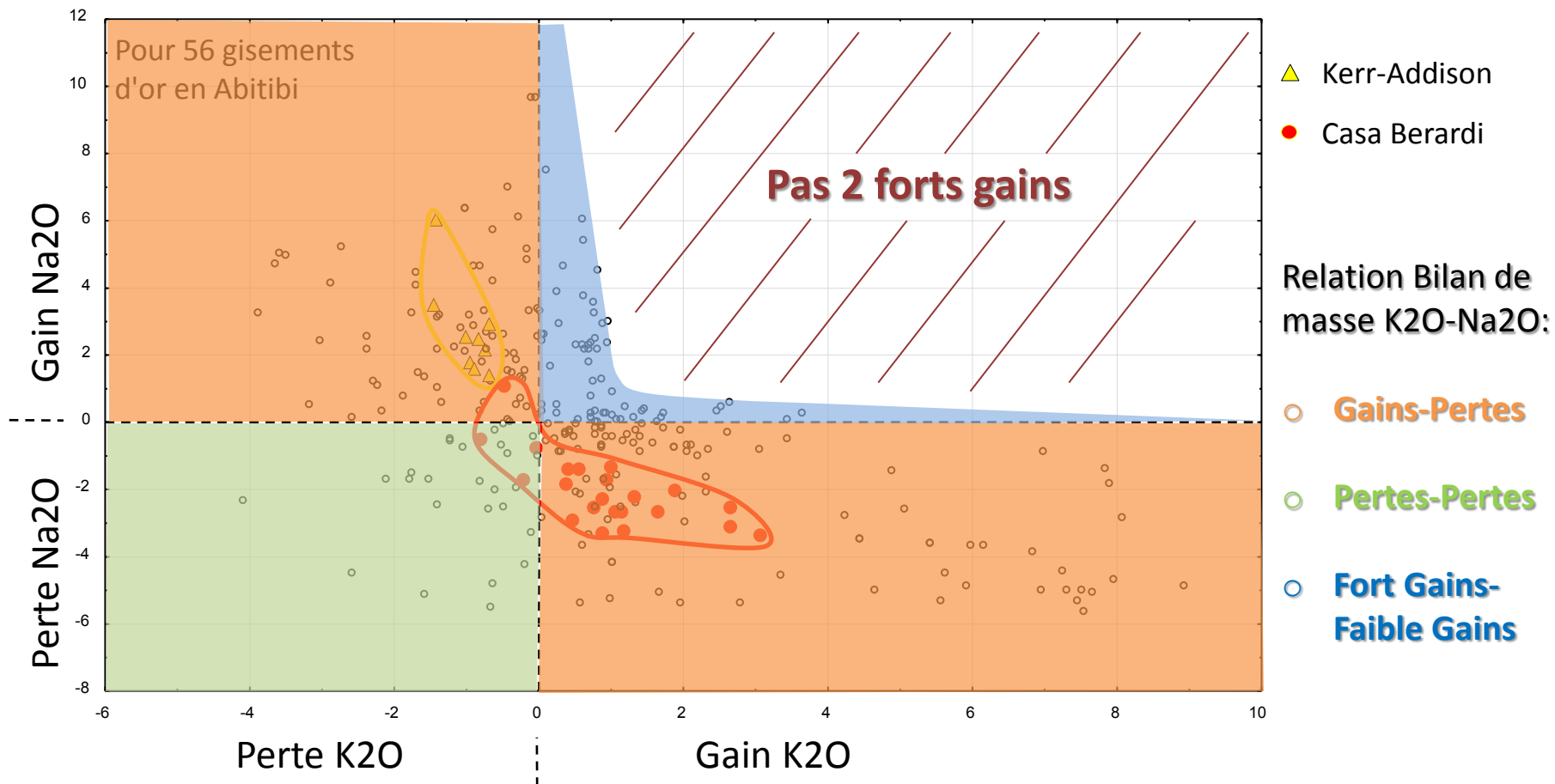
4. Traitements et Analyses

Relation entre les bilans de masse K₂O et Na₂O pour les échantillons minéralisés (> 1 g/t Au)



4. Traitements et Analyses

Relation entre les bilans de masse K₂O et Na₂O pour les échantillons minéralisés (> 1 g/t Au)

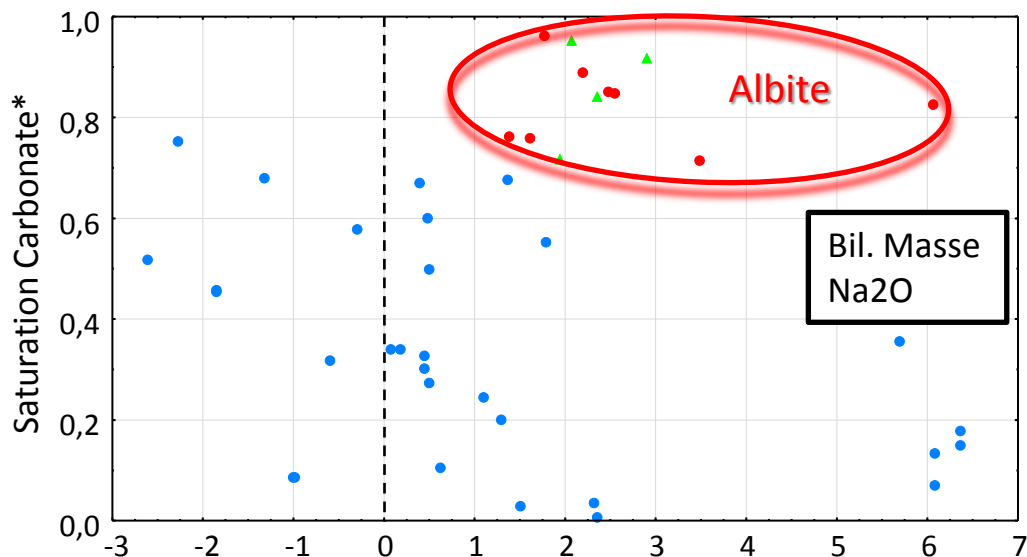
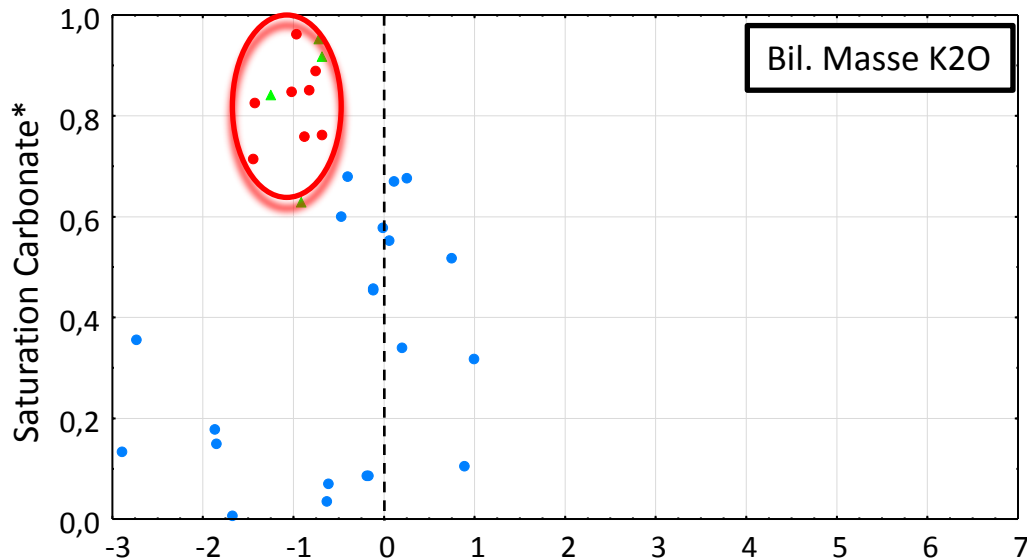


Relation inverse des bilans de masse K₂O et Na₂O; **dominance des associations gains – pertes (70%)**

4. Traitements et Analyses

Signatures hydrothermales, le cas de Kerr-Addison (précurseur unique pour dyke d'albiteite)

Données: Smith et al. (1993) OFR 5831



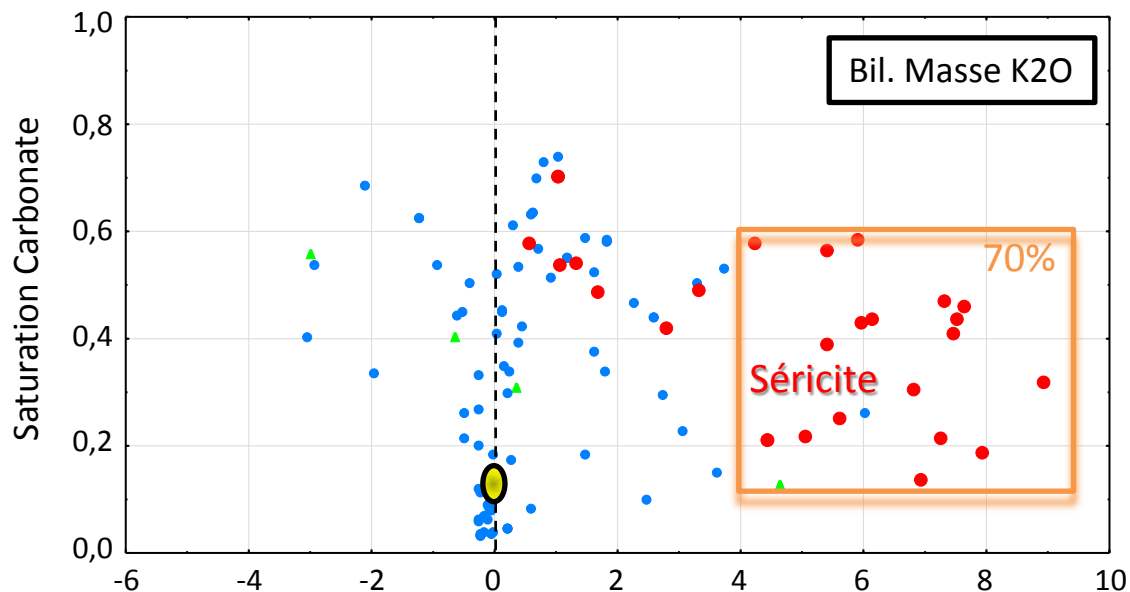
- AU ppb < 500
- ▲ 500 < AU ppb < 1000
- AU ppb > 1000

Paramètres significatifs du processus hydrothermal minéralisateur à Kerr-Addison pour l'albite ore

- Perte en potassium
 - Non matérialisée par la cristallisation de mx
- Gain significatif en sodium
 - Matérialisé par la cristallisation d'albite
- Carbonatation très forte

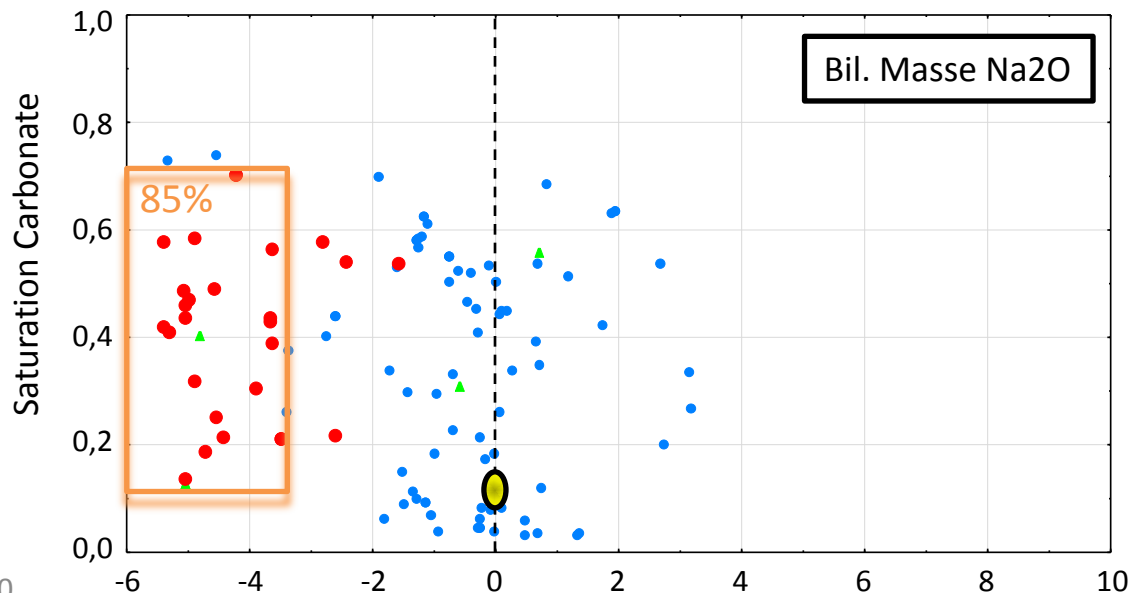
4. Traitements et Analyses

Signatures hydrothermales, le cas de Beattie (précurseur unique sur syénite)



Données: Bigot (2012), SIGÉOM

- AU ppb < 500
- ▲ 500 < AU ppb < 1000
- AU > 1000 ppb
- Précurseur (N=3)

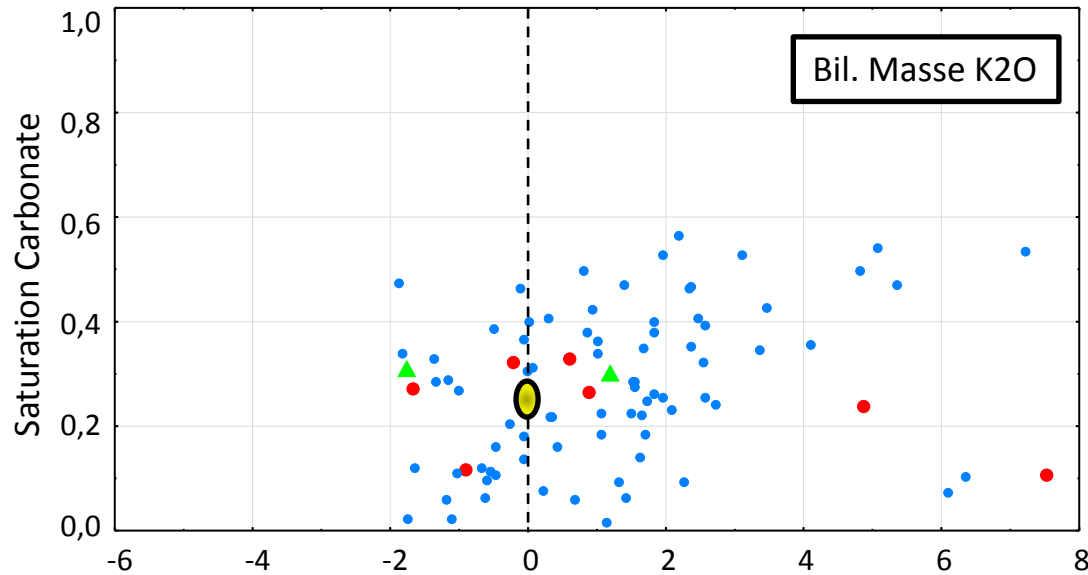


Paramètres significatifs du processus hydrothermal minéralisateur à Beattie, pour 78% des minéralisations:

- Fort gain en potassium
 - Matérialisé par la **crystallisation de séricite**
- Forte perte en sodium
 - Non matérialisée par la création de minéraux
- Carbonatation modérée

4. Traitements et Analyses

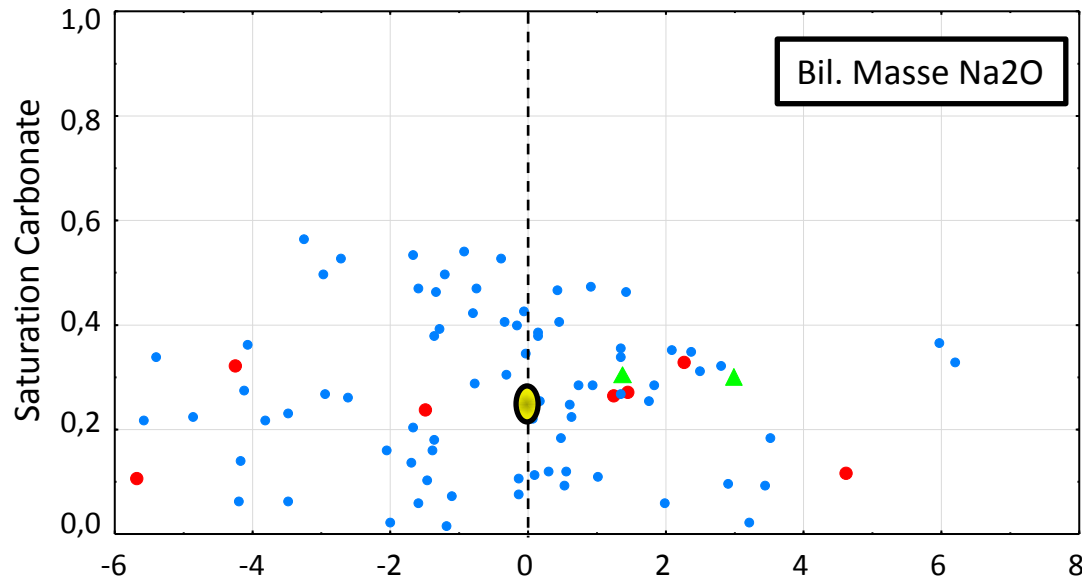
Signatures hydrothermales, le cas de Canadian Malartic (précurseur unique pour le porphyre)



Données: Fallara et al. (2000), Helt (2012)

- AU ppb < 500
- ▲ 500 < AU ppb < 1000
- AU > 1000 ppb
- Échantillons frais

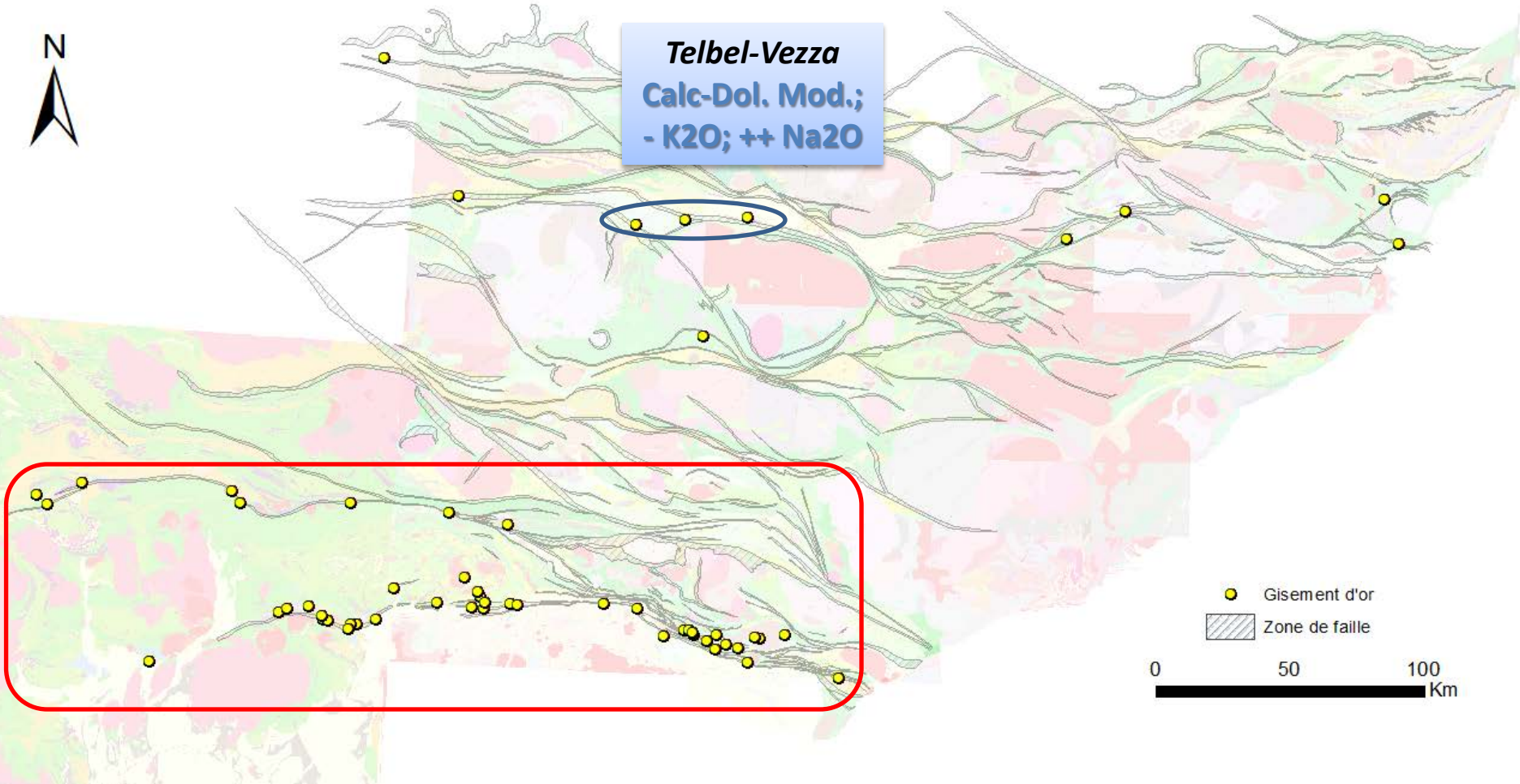
Large dispersion; Aucun paramètre significatif du processus hydrothermal minéralisateur à Canadian Malartic



- Gain et perte en potassium
- Gain et perte en sodium
- Carbonatation modérée

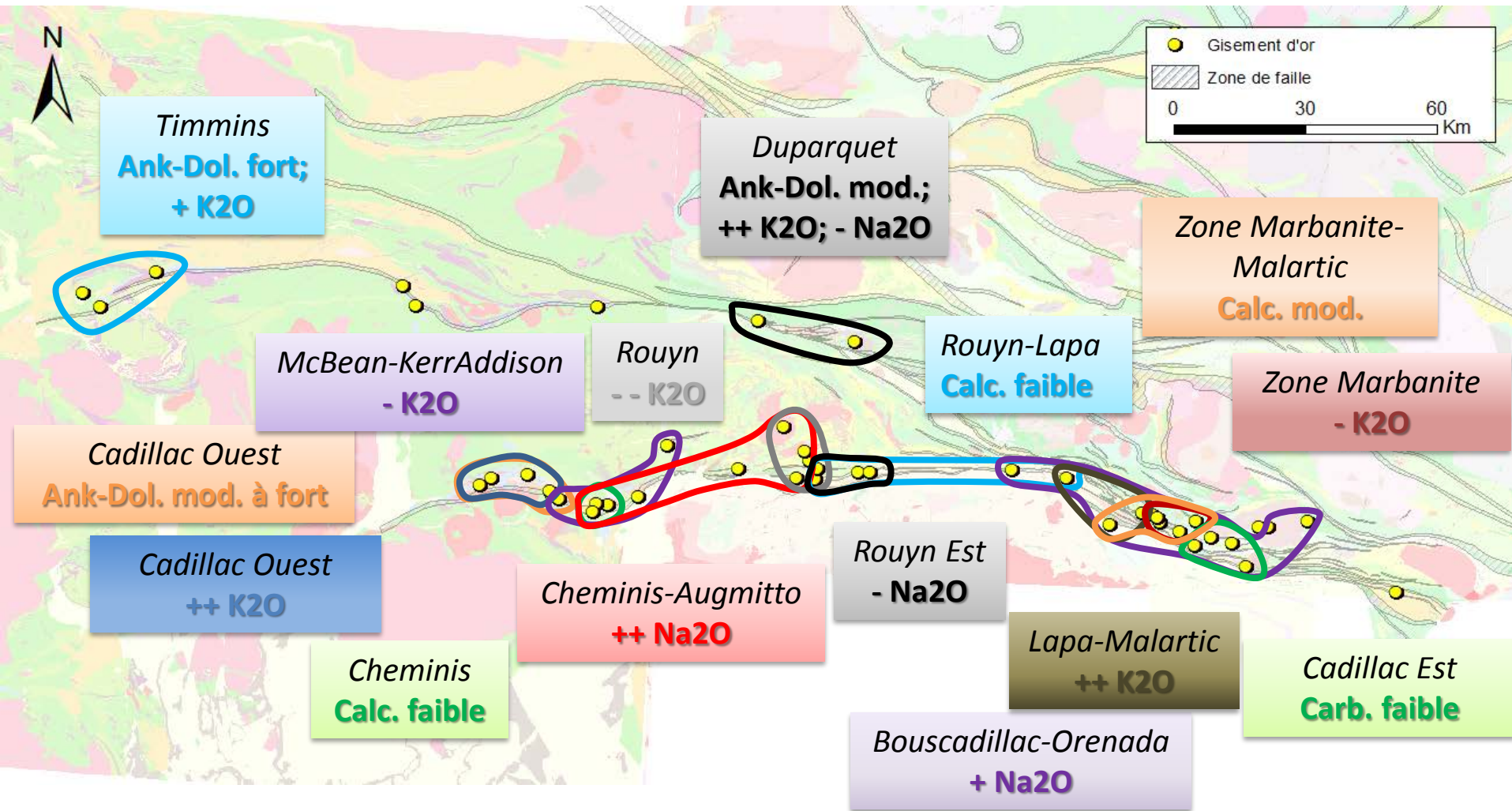
4. Traitements et Analyses

Synthèse des champs hydrothermaux - **signature complète**



4. Traitements et Analyses

Synthèse des champs hydrothermaux - **signature complète**



Complexité de la distribution hydrothermale

Plan de la présentation

1. Mise en contexte
2. Notions; État des connaissances
3. Données et Méthodologie
4. Traitements et Analyses
- 5. Innovations et Discussions**

5. Réalisation des outils

Méthode

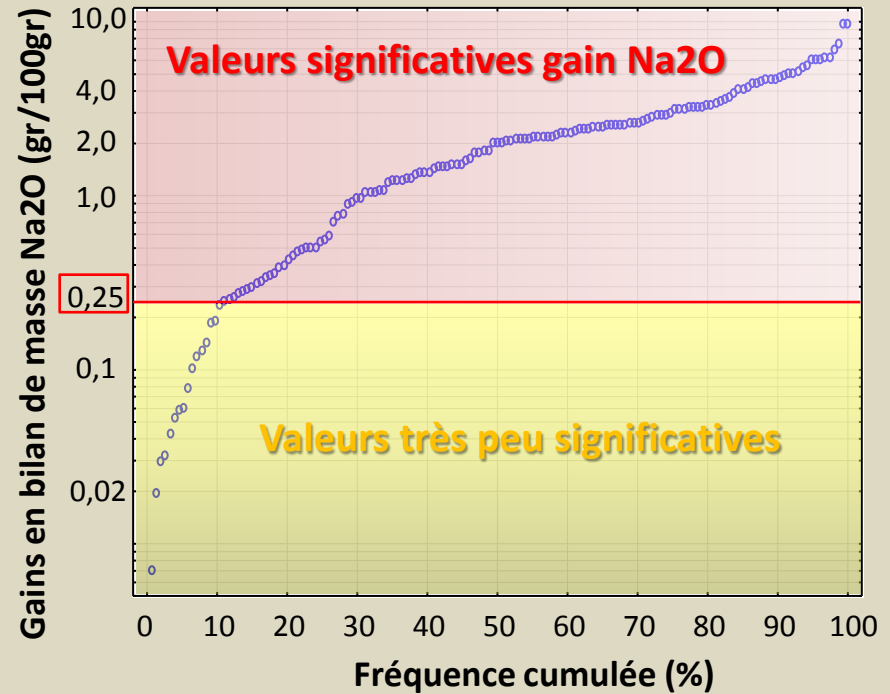
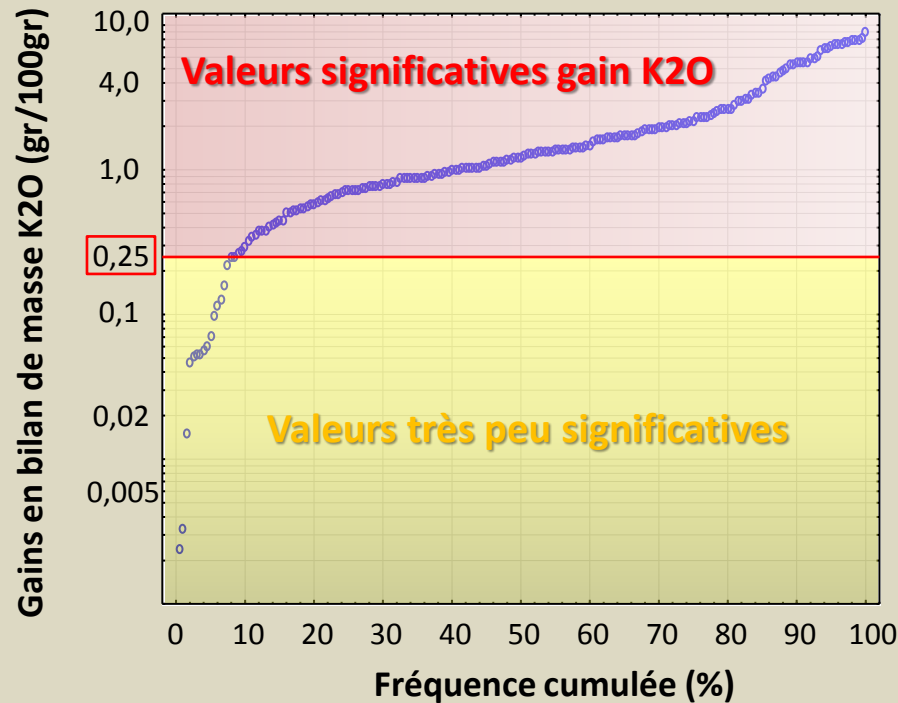
Paramètres: bilans de masse K_2O et Na_2O , et saturation en carbonate

Pour associer la création de minéraux d'altération au métasomatisme, **on choisit de se concentrer sur les gains**

- Attribuer une valeur standard à tous les bilans de masse négatifs;
- Problème des faibles gains métasomatiques. À partir de quelle valeur seuil peut-on considérer qu'un gain métasomatique sera significatif pour la cristallisation d'un minéral d'altération?

5. Réalisation des outils

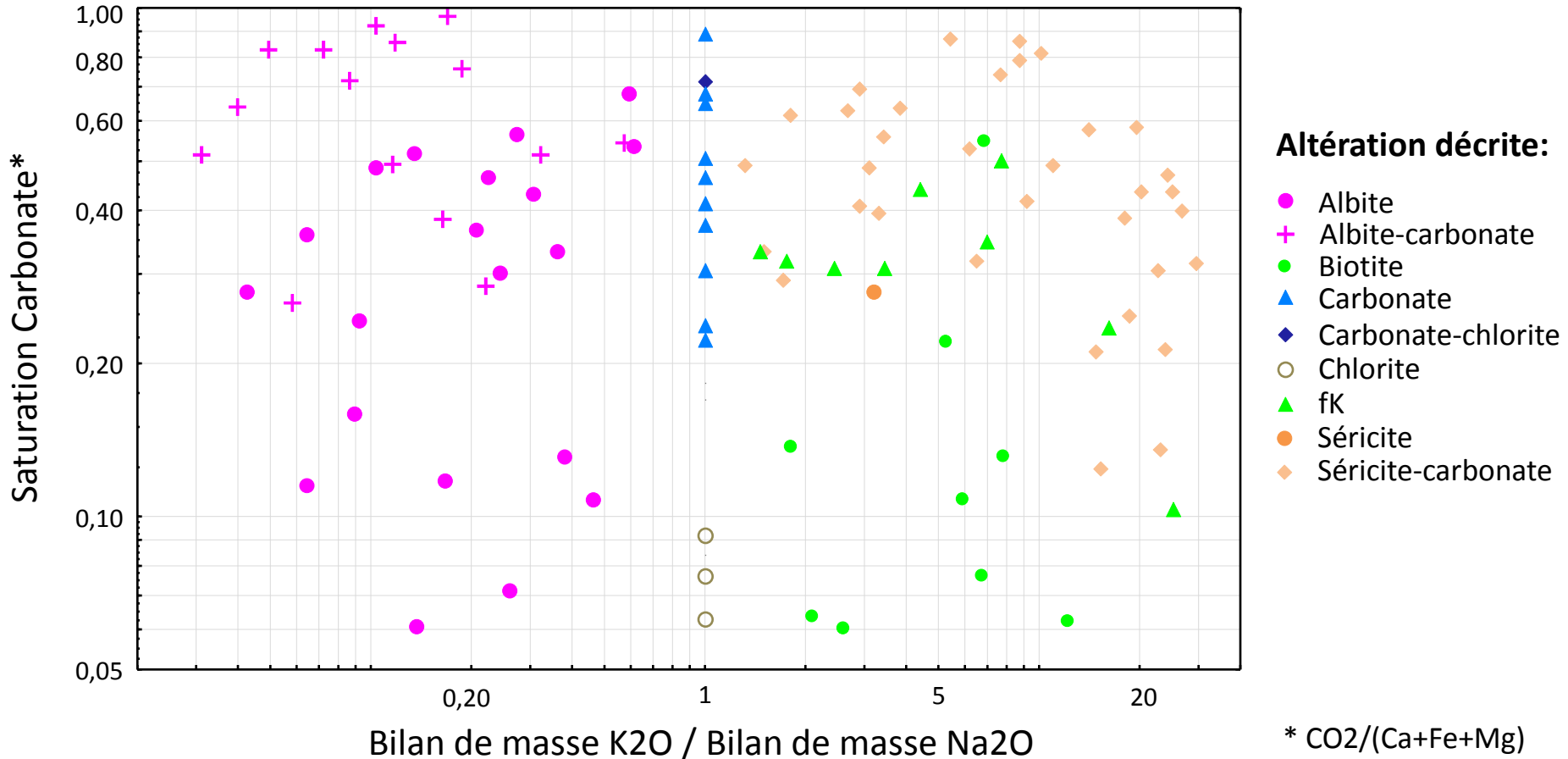
À partir de quelle valeur seuil peut-on considérer qu'un gain métasomatique est significatif pour la cristallisation de minéral d'altération?



Pour toutes valeurs négatives et inférieures à 0,25 gr/100 gr,
on attribue une valeur standard de 0,25

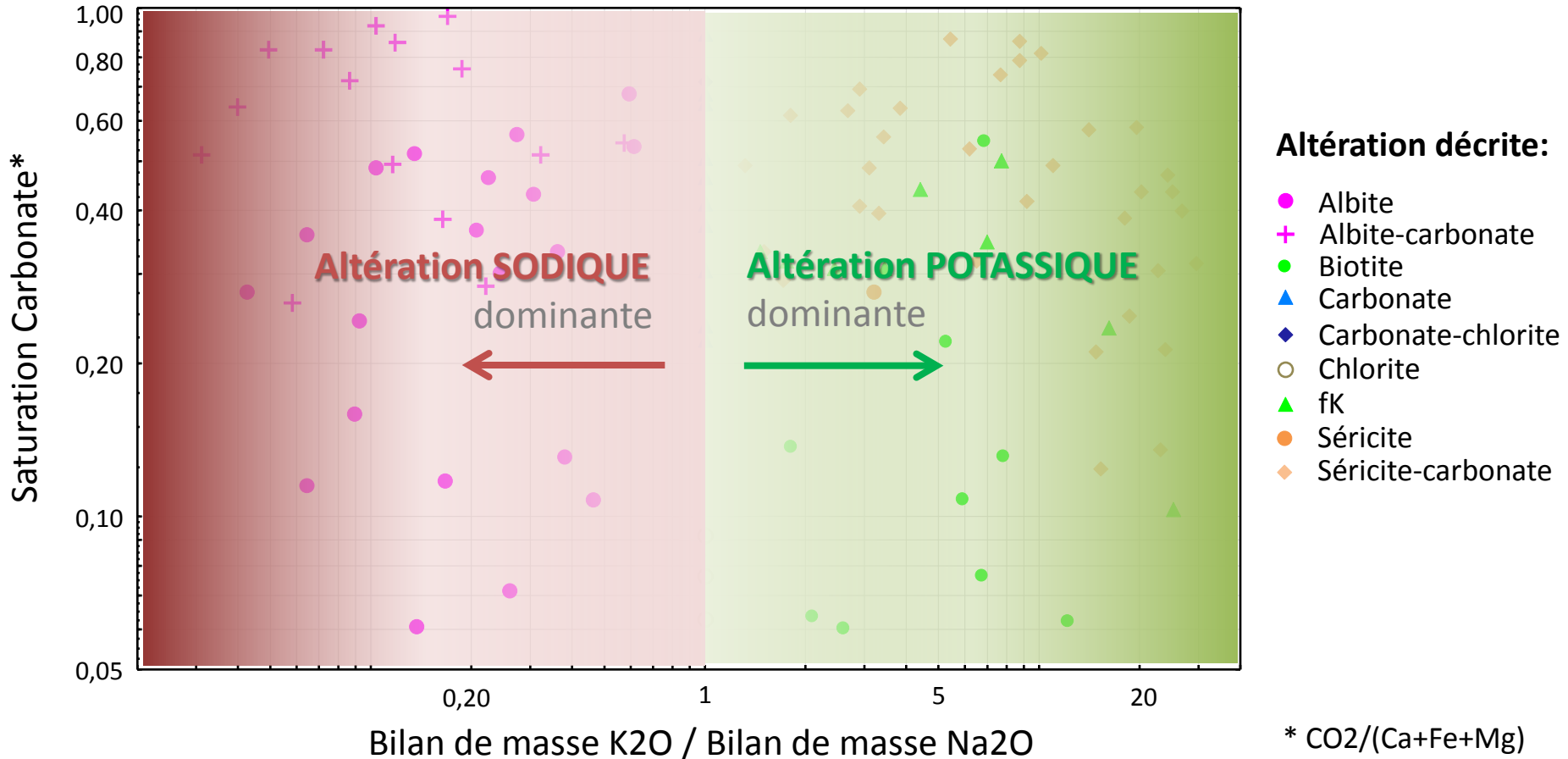
5. Réalisation des outils

Outil 1: Discrimination des altérations potassiques, sodiques, et à carbonate



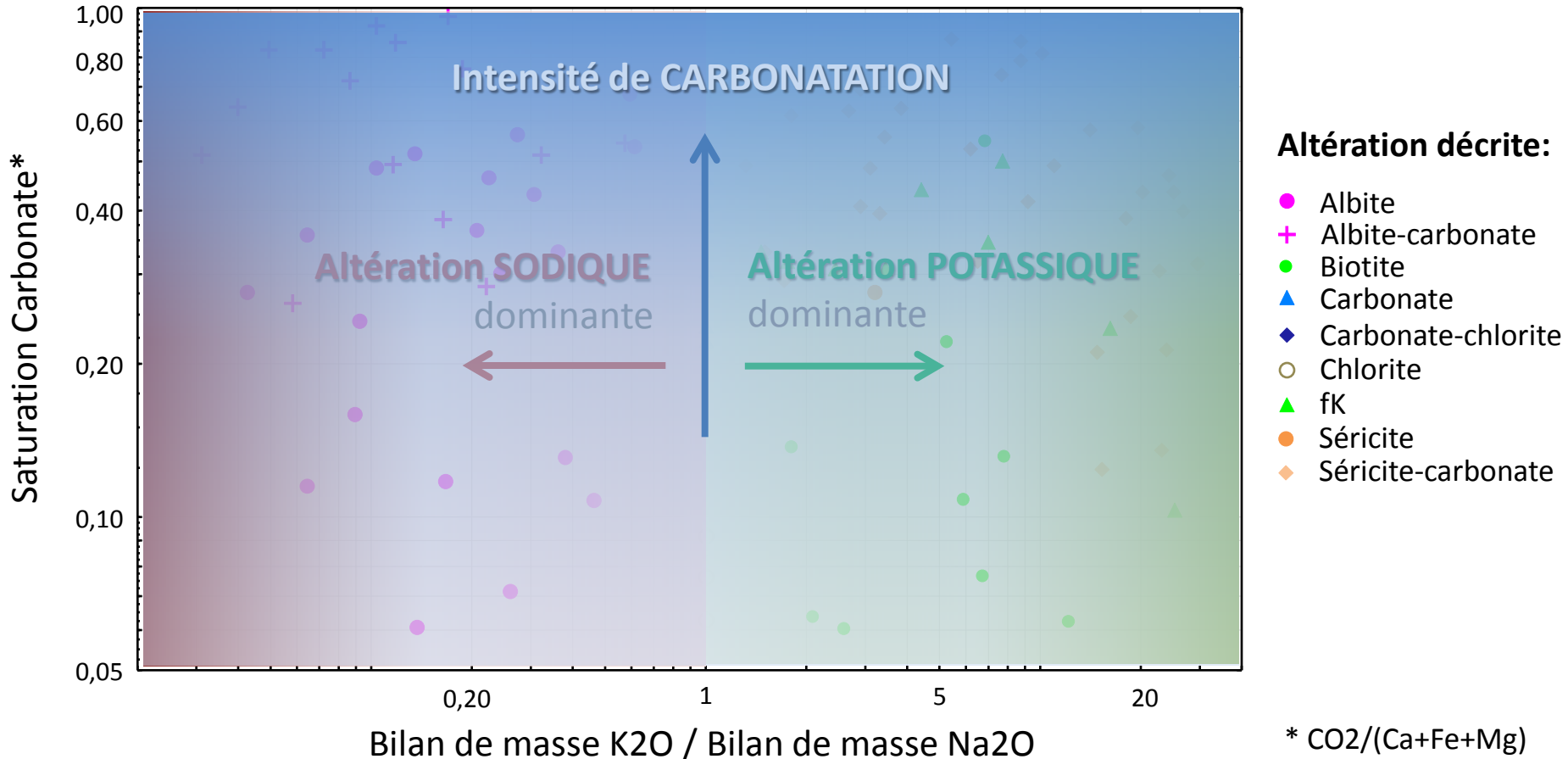
5. Réalisation des outils

Outil 1: Discrimination des altérations potassiques, sodiques, et à carbonate



5. Réalisation des outils

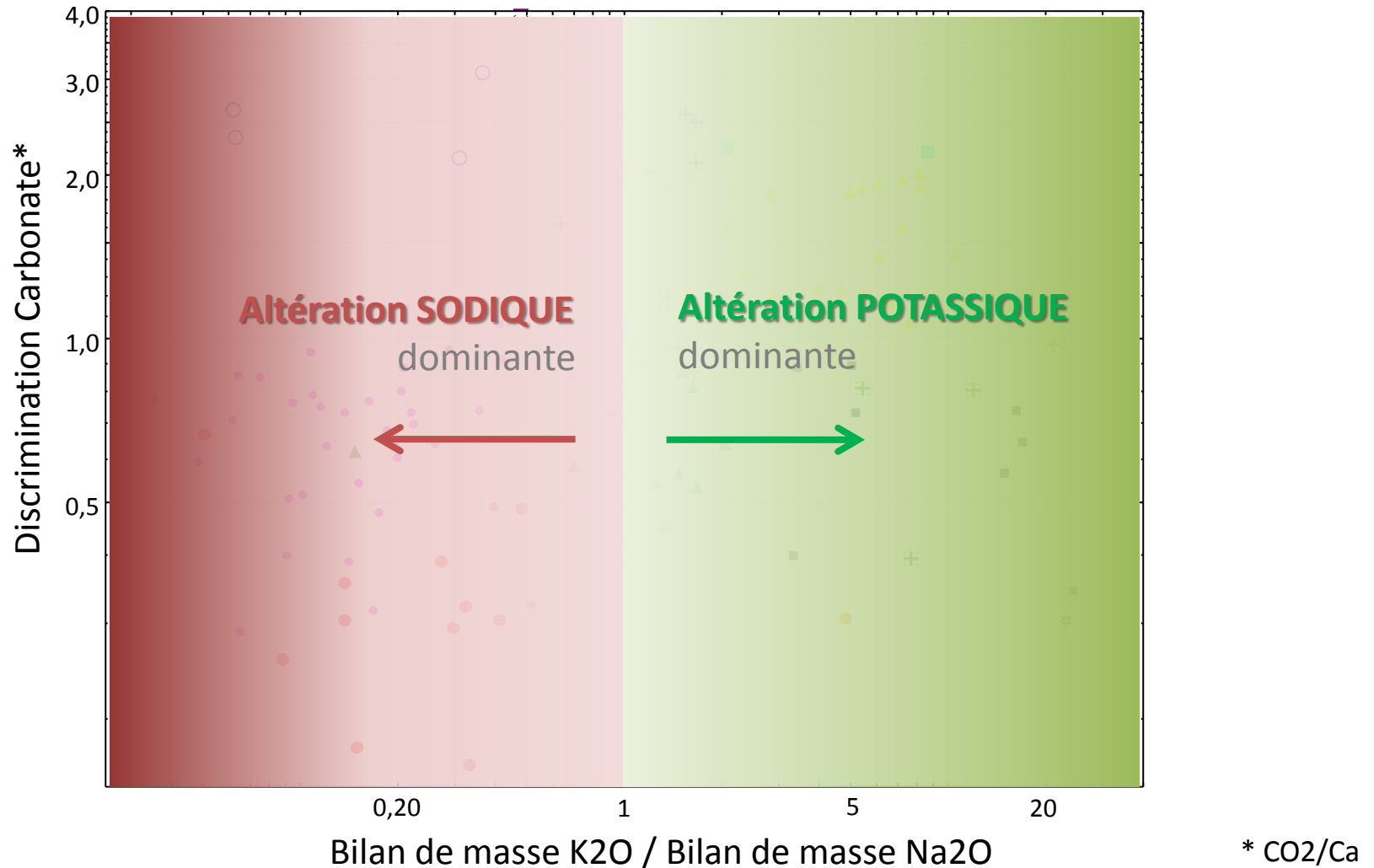
Outil 1: Discrimination des altérations potassiques, sodiques, et à carbonate



**Illustre la dominance des trois altérations majeures en contexte aurifère
Outil INDÉPENDANT des lithologies**

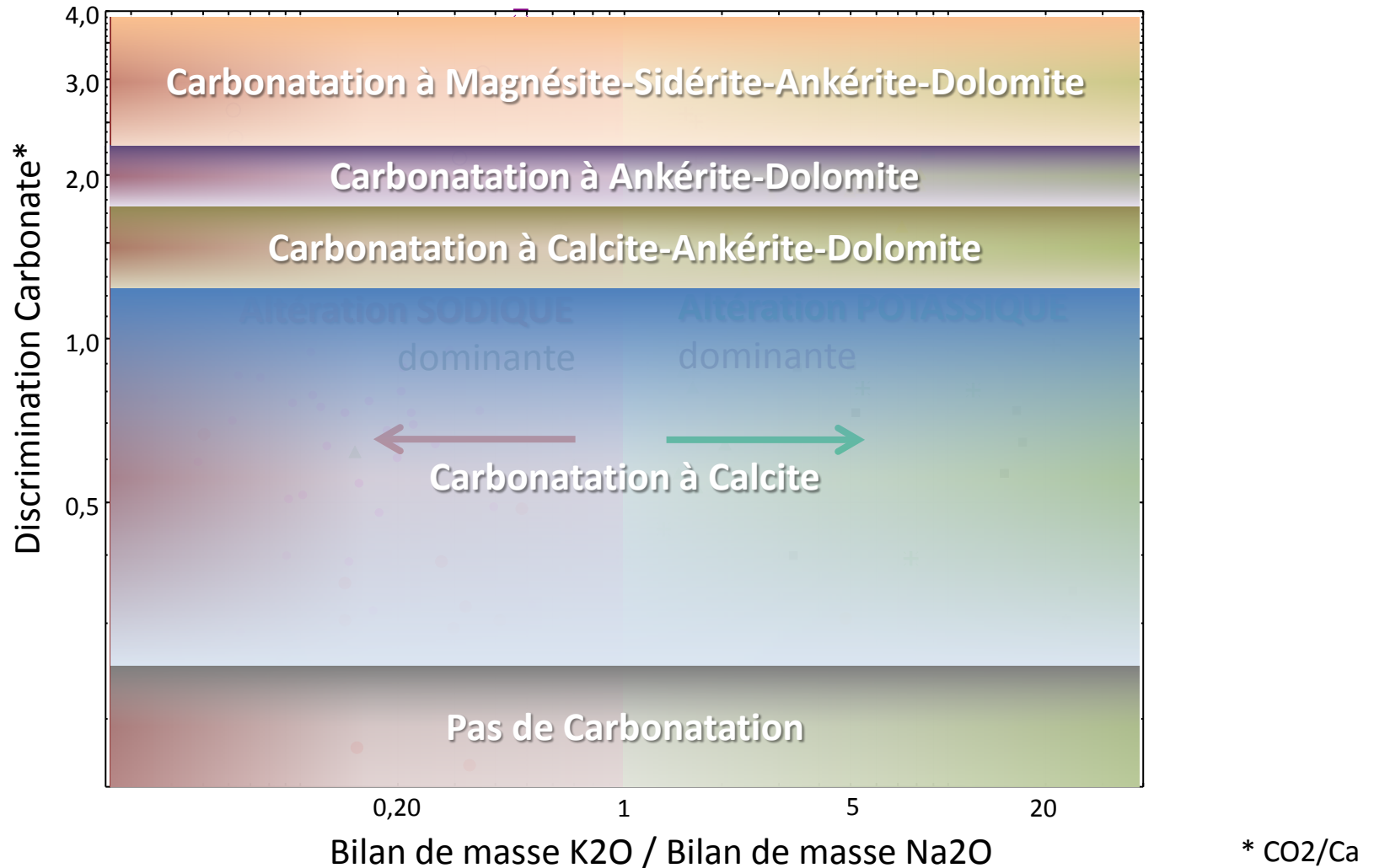
5. Réalisation des outils

Outil 2: Altérations potassiques et sodiques, et type de carbonate



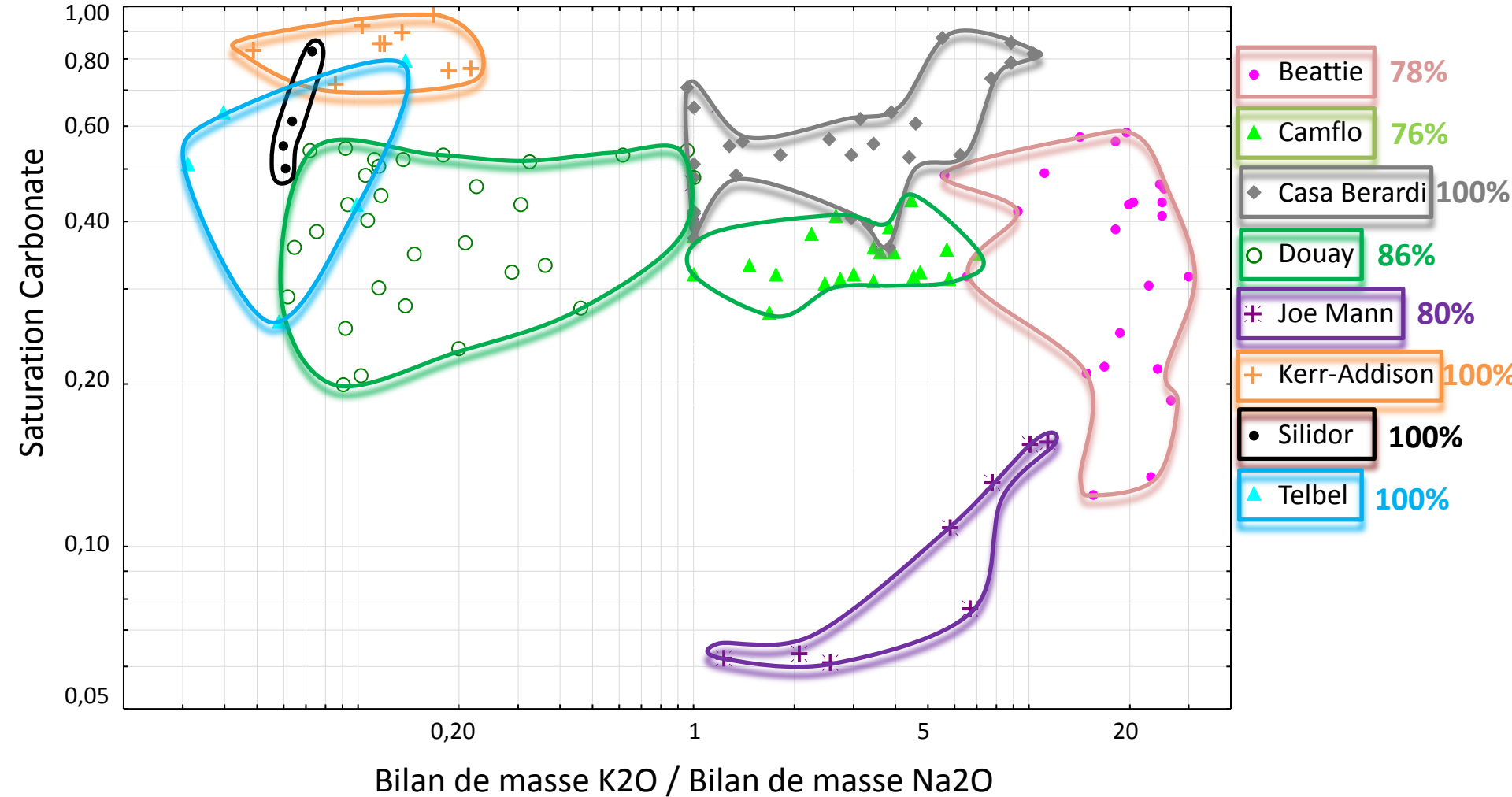
5. Réalisation des outils

Outil 2: Altérations potassiques et sodiques, et type de carbonate



5. Réalisation des outils

Champs des gisements (échantillons > 1g/t Au) dans l'outil

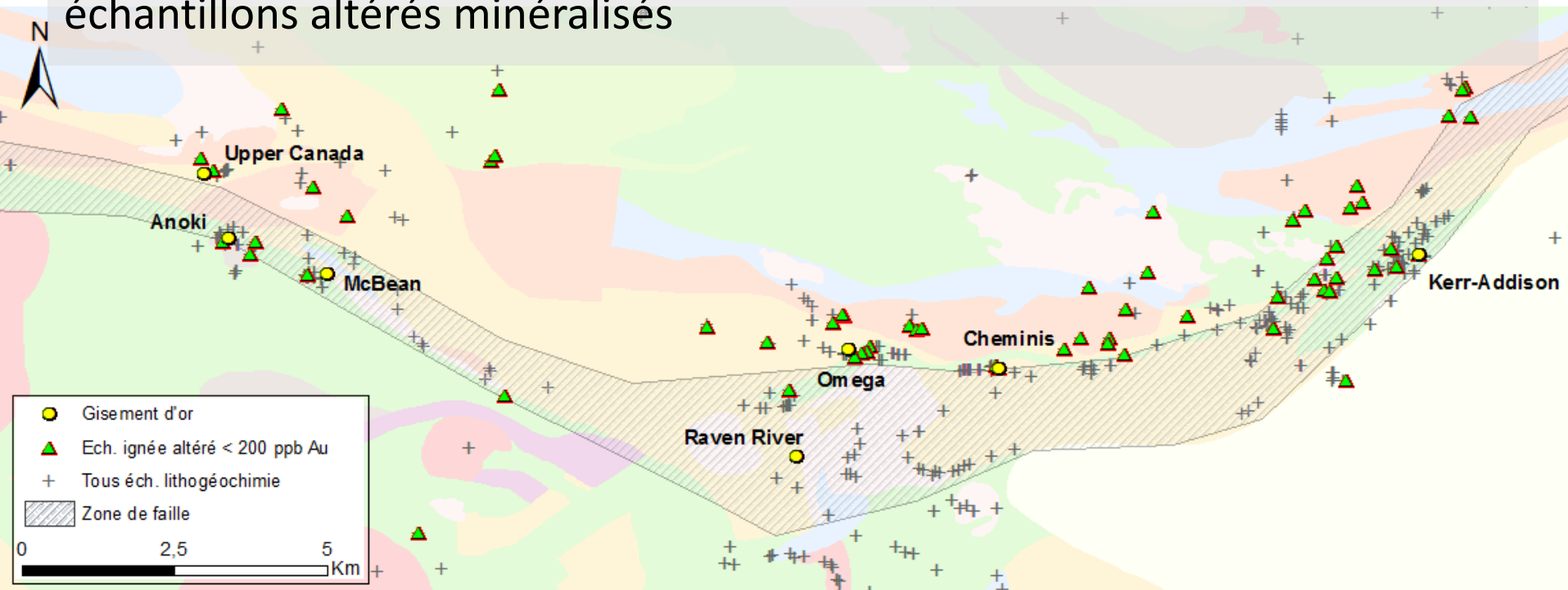


Champs géochimiques distincts

5. Test des outils

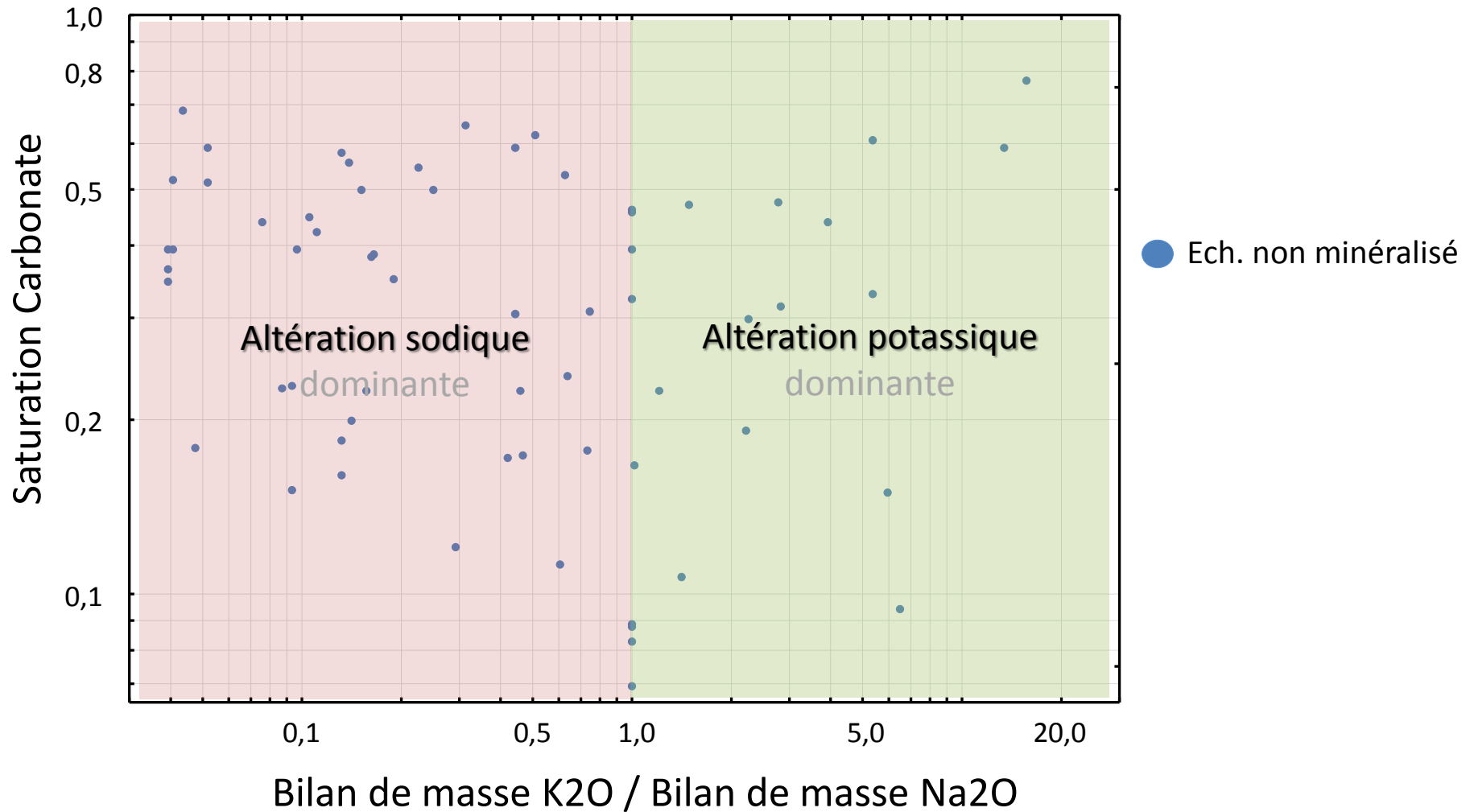
Test de l'outil de caractérisation

- 1- Sélectionne un groupe d'échantillons le long du segment Mc Bean – Kerr-Addison (faille Cadillac)
- 2- Isole les échantillons ignés altérés mais non minéralisés (<200ppb Au)
- 3- Calcul des bilans de masse et des indices de saturation en carbonate
- 4- Regarde les signatures hydrothermales, on détermine les altérations et leurs intensités, puis on compare avec la signature des champs des échantillons altérés minéralisés



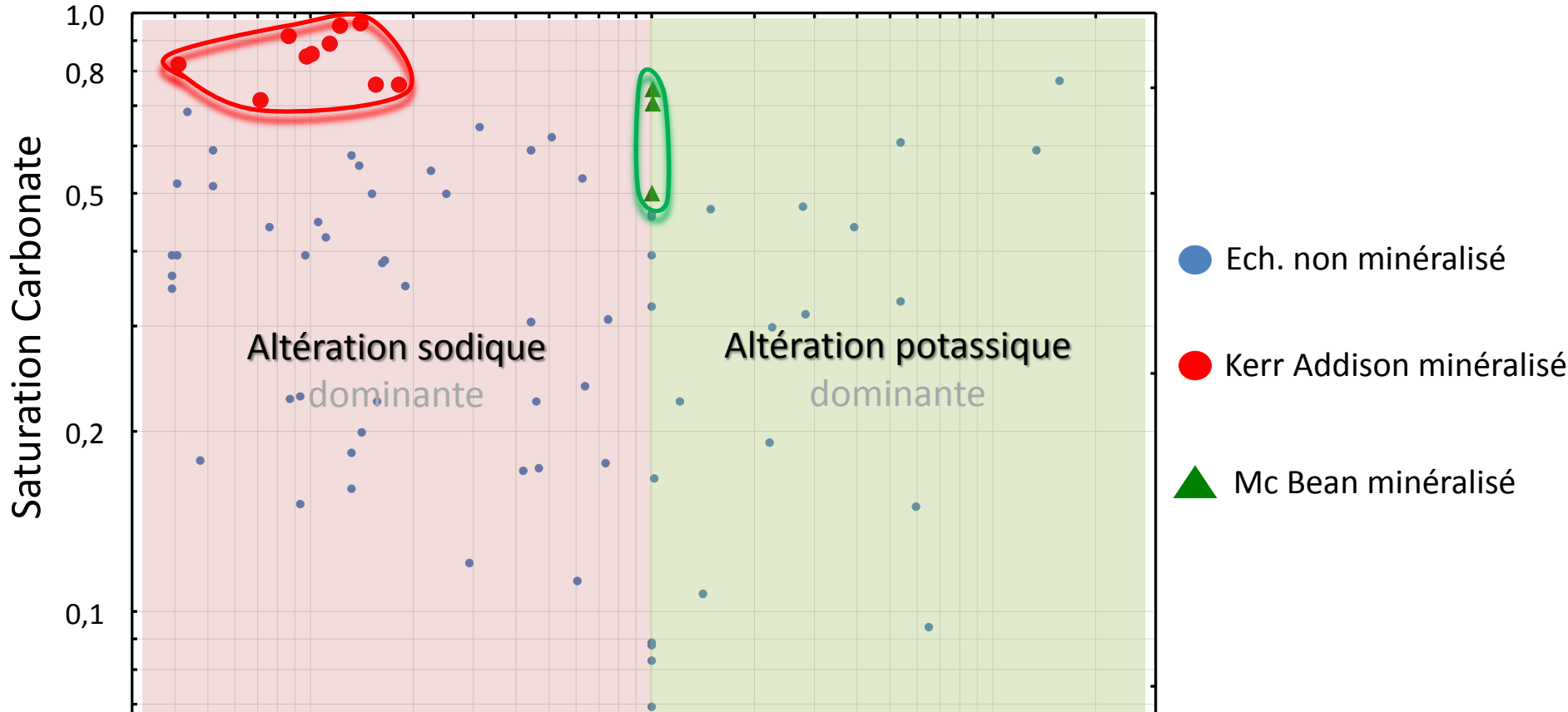
5. Test des outils

Test de l'outil de caractérisation



5. Test des outils

Test de l'outil de caractérisation



Conclusion :

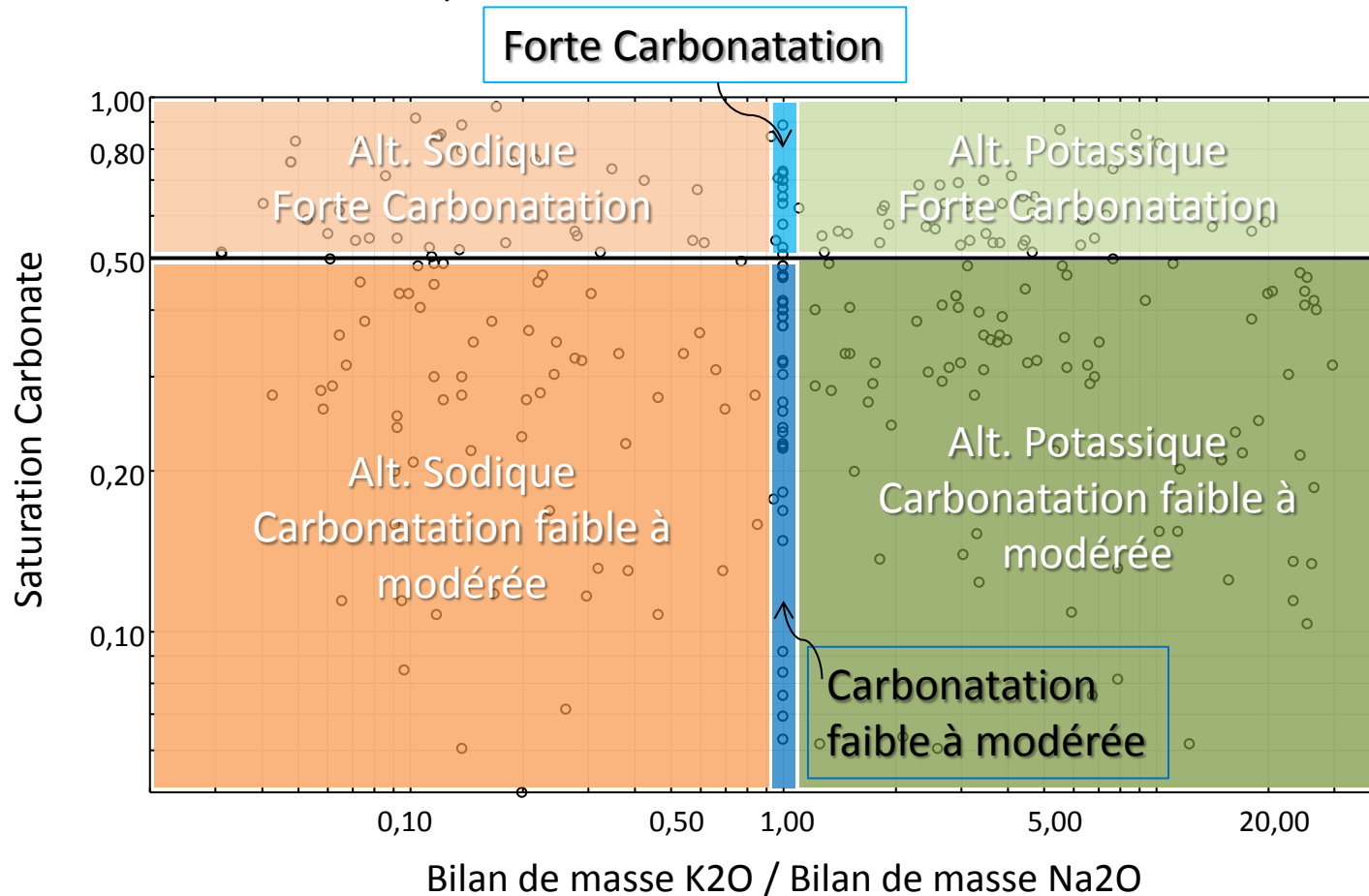
sur un segment McBean - Kerr-Addison d'environ 15 km, **aucun échantillon altéré non minéralisé (<200 ppb Au) n'a la signature hydrothermale des gisements.**

Donc **champs discriminants utiles pour vectoriser l'exploration**

5. Portrait hydrothermal

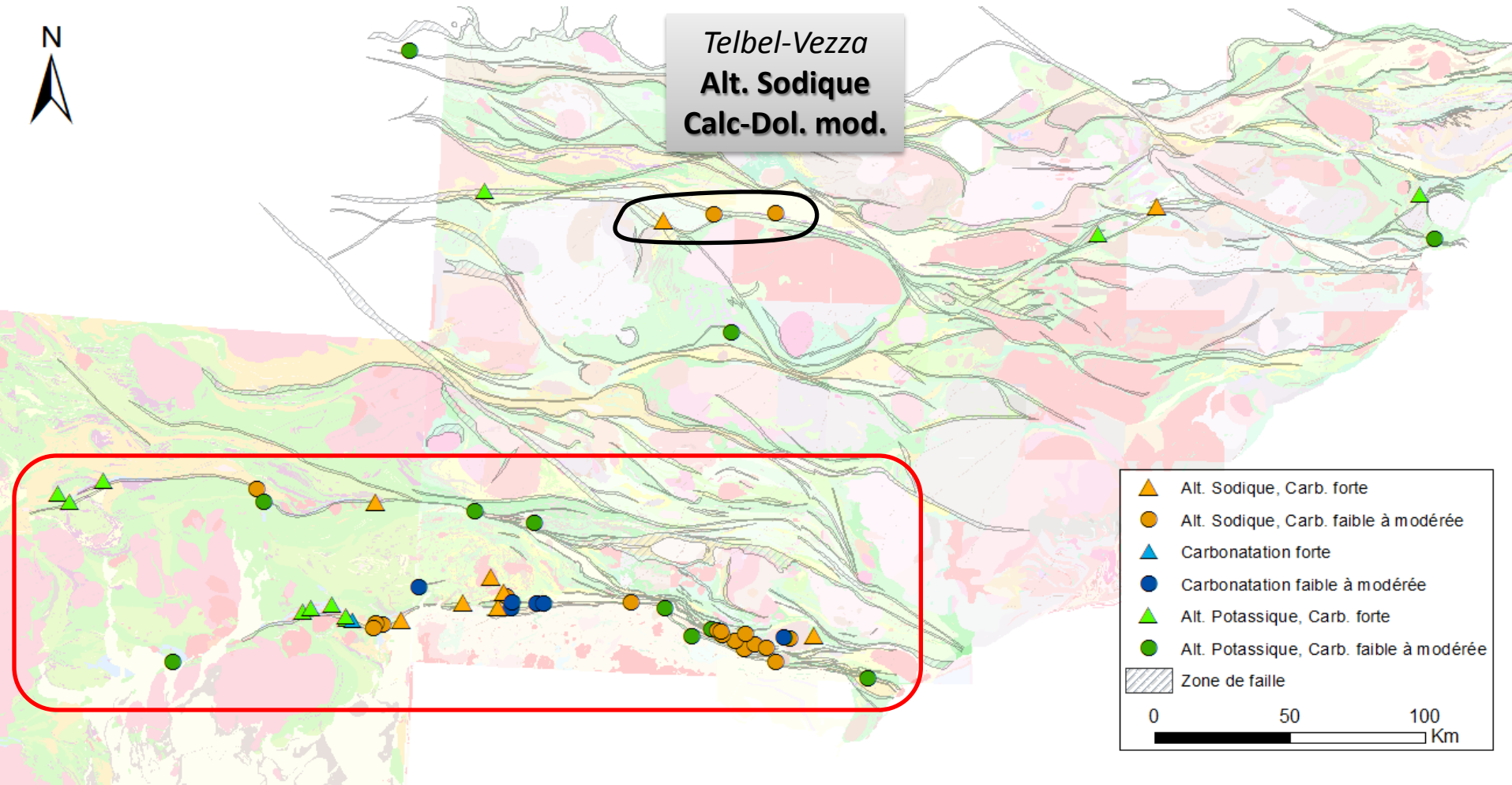
Nouveau regard avec l'outil de caractérisation

On place les échantillons minéralisés des 56 gisements dans l'outil de caractérisation des altérations pour identifier leurs paramètres dominants (Alt. Potassique, Sodique, intensité de Carbonatation)



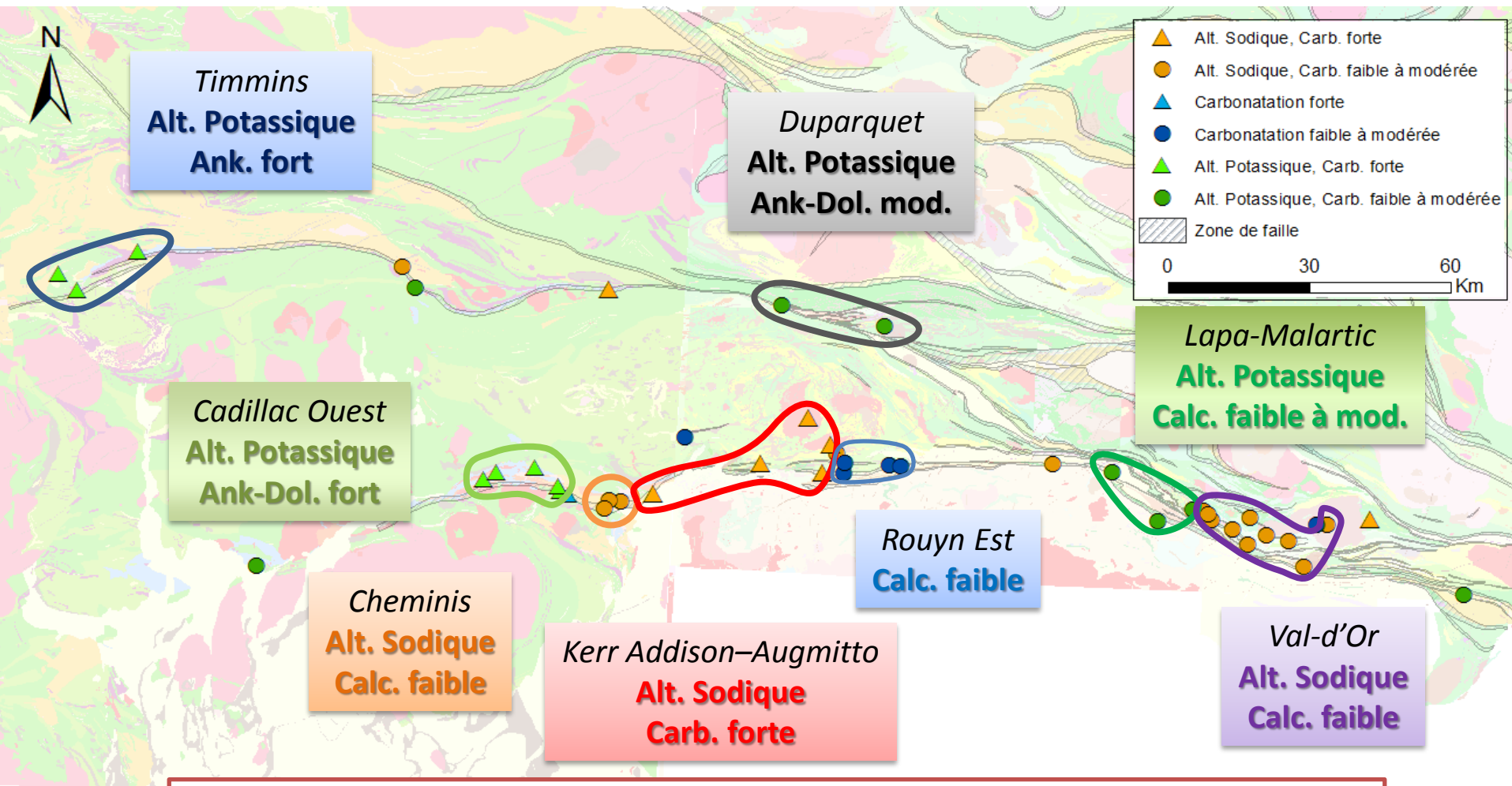
5. Portrait hydrothermal

Distribution des champs hydrothermaux caractérisés par le nouvel outil
→ illustre les paramètres dominants



5. Portrait hydrothermal

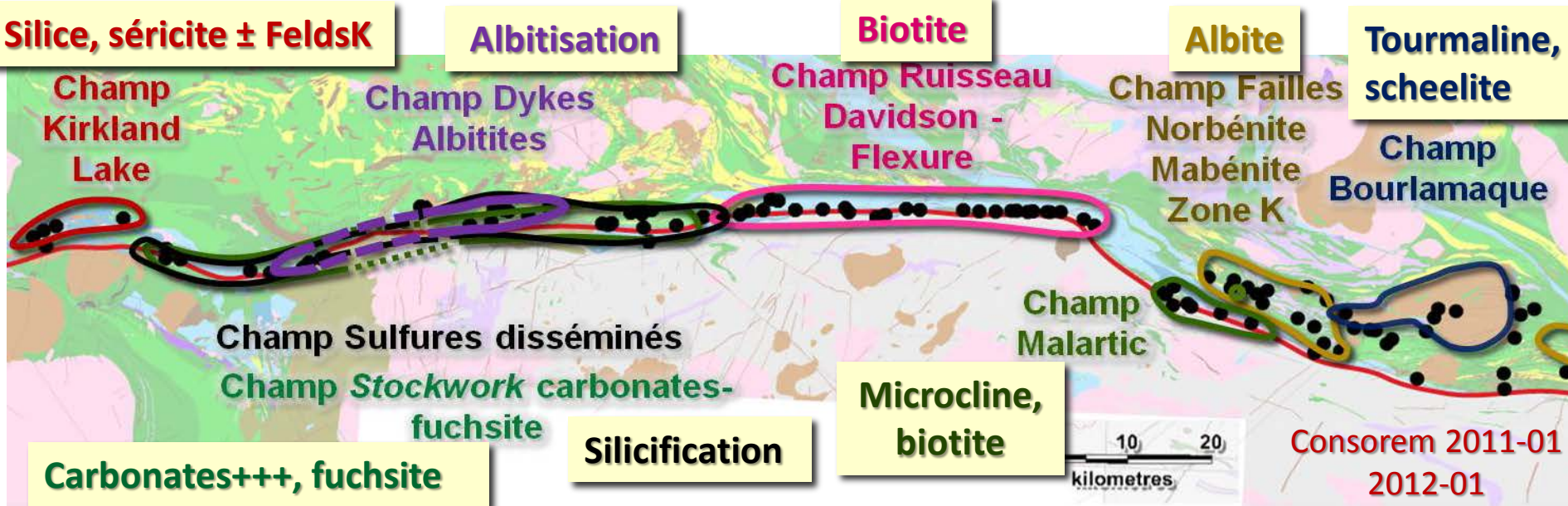
Distribution des champs hydrothermaux caractérisés par le nouvel outil
→ illustre les paramètres dominants



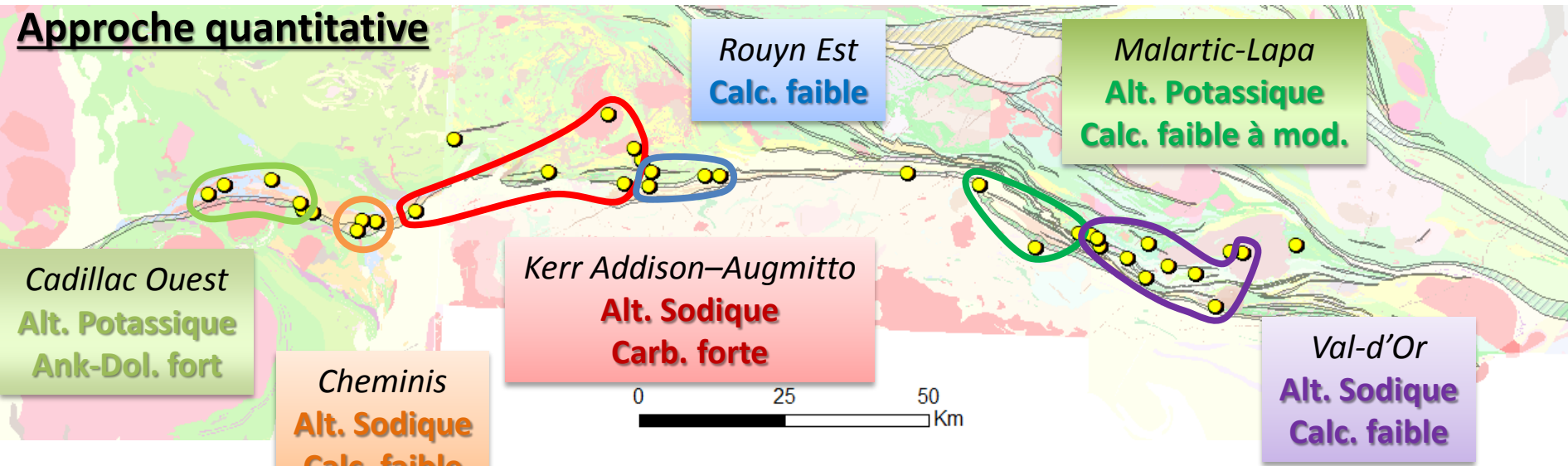
Portrait hydrothermal plus « lisible » en utilisant le nouvel outil de caractérisation des altérations dominantes

5. Discussions

Approche descriptive



Approche quantitative



Conclusions

Un nouvel outil de caractérisation des altérations, non soumis aux contraintes lithologiques

- Illustre les principales altérations et leurs intensités pour des contextes aurifères ignés non-VMS

Variabilité dans le portrait hydrothermal de l'Abitibi

- Une bonne correspondance des champs hydrothermaux de l'approche quantitative (ce projet) et de l'approche descriptive (2011-01 et 2012-01)

Merci de votre attention