

De problématiques de l'exploration minérale à l'élaboration de solutions concrètes : les contributions du Consorem à la recherche appliquée

**Stéphane Faure, Réal Daigneault, Benoit Lafrance,
Silvain Rafini, et Sylvain Trépanier**

Québec Exploration, 23 novembre 2011



contributions du Consorem à la recherche appliquée

Introduction: chaîne de l'innovation

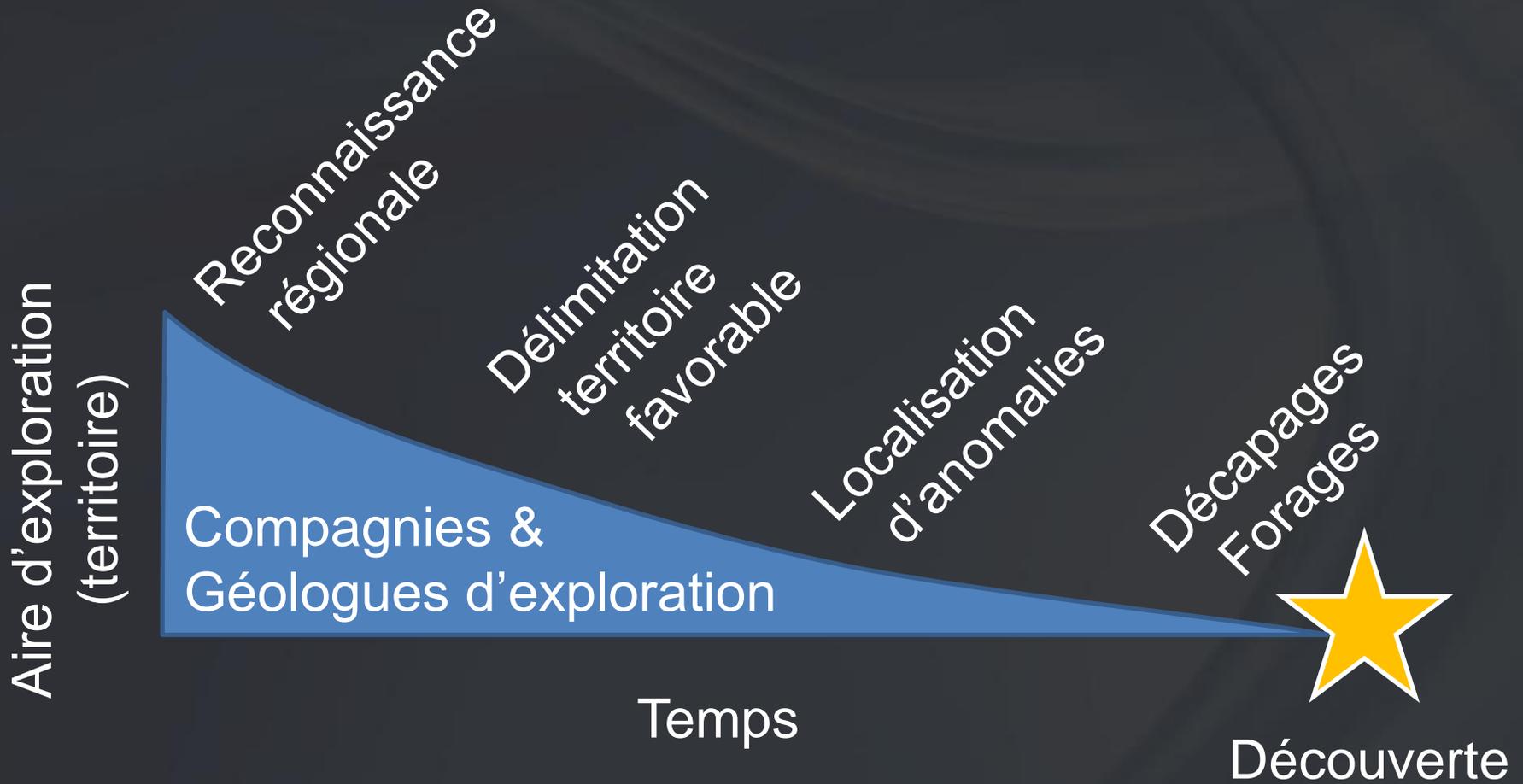
Exemples de transferts de la science vers l'exploration

- Exploration pour les gisements IOCG*
- Exploration du diamant
- Exploration géochimique avec LithoModeleur

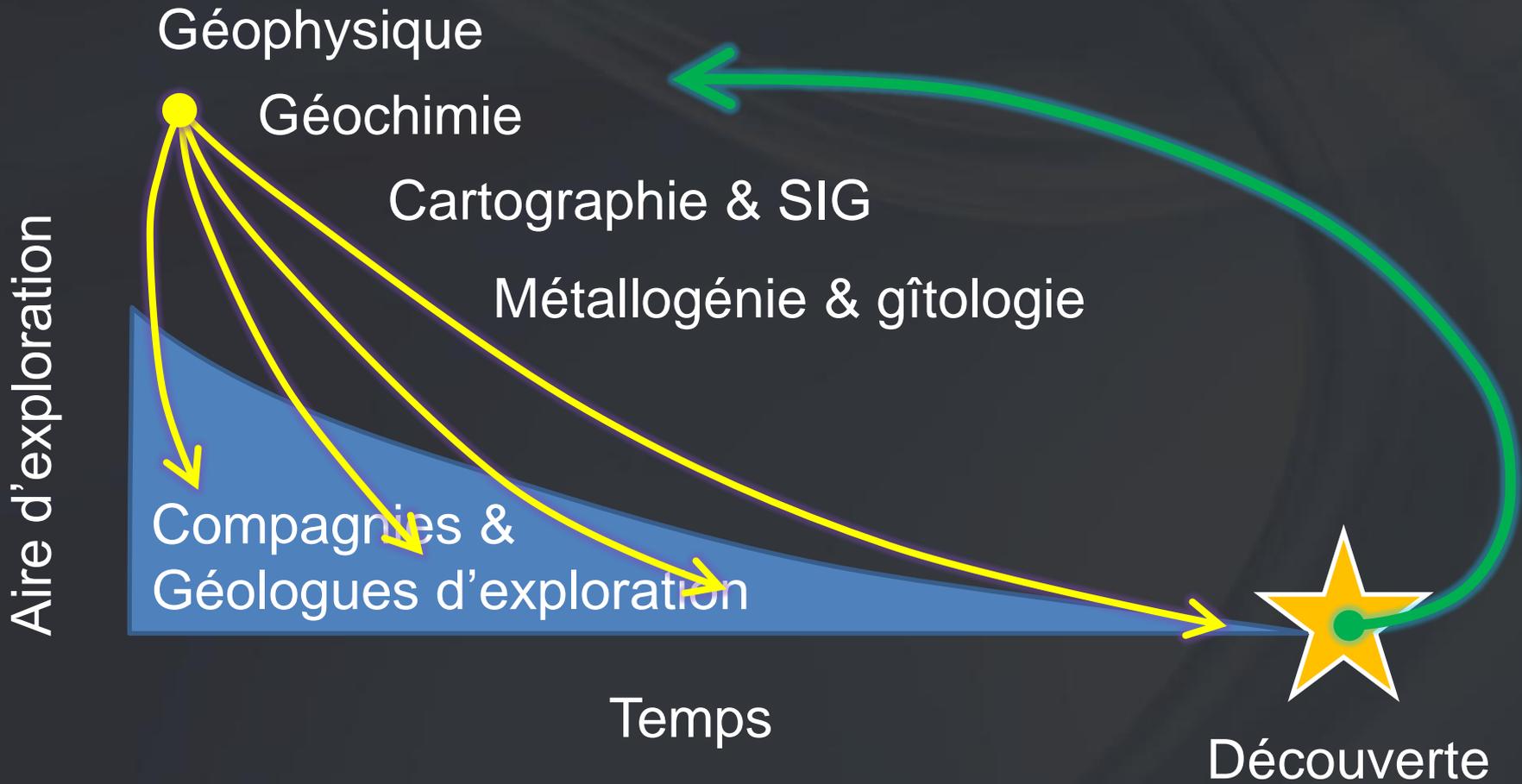
* *Iron Oxydes Copper Gold*

Introduction

Industrie minière



Introduction



Introduction

Intervenants en exploration dans la chaîne d'innovation

Recherche fondamentale universitaire

Recherche appliquée (consortium, compagnies services)

Transfert & formation

→ Entreprises

Aire d'exploration

Sphère académique - Universités

Recherche appliquée, R&D, transfert

Gouv.

Compagnies & Géologues d'exploration

Gouv.

Temps

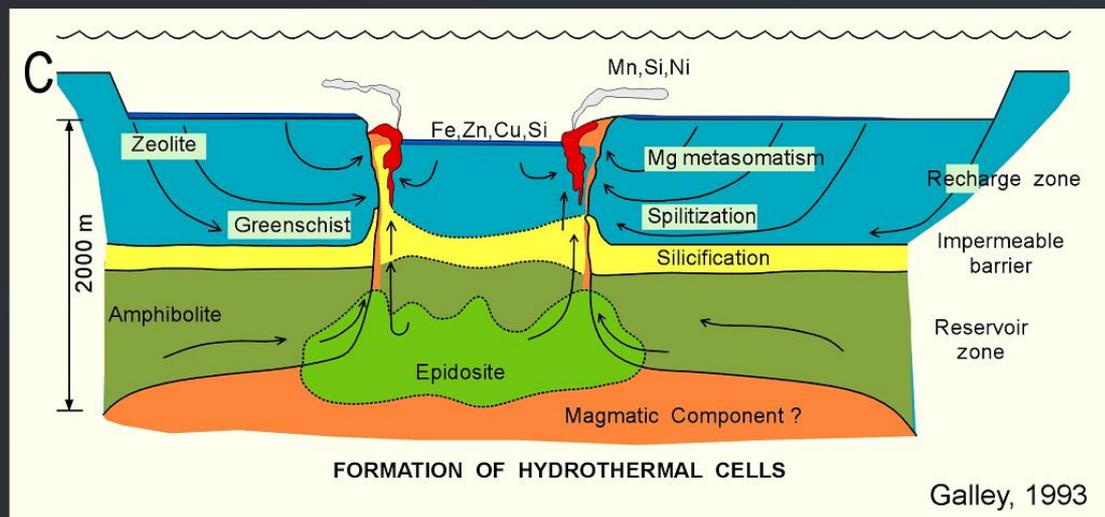
Découverte

Introduction

Exemple de problématique et de transfert

Problématique:

- Altérations géochimiques autour des sulfures massifs volcanogènes (SMV)



Modèle d'altération hydrothermal sous les SMV

Coussins silicifiés

Introduction

Exemple de problématique et de transfert

Problématique:

- Altérations géochimiques autour des sulfures massifs volcanogènes (SMV)

Méthodes fondamentales développées

- Bilans de masses (Gresens 1967, travaux de MacLean, etc.)
- Minéraux normatifs (Piché et Jébrak 2004)

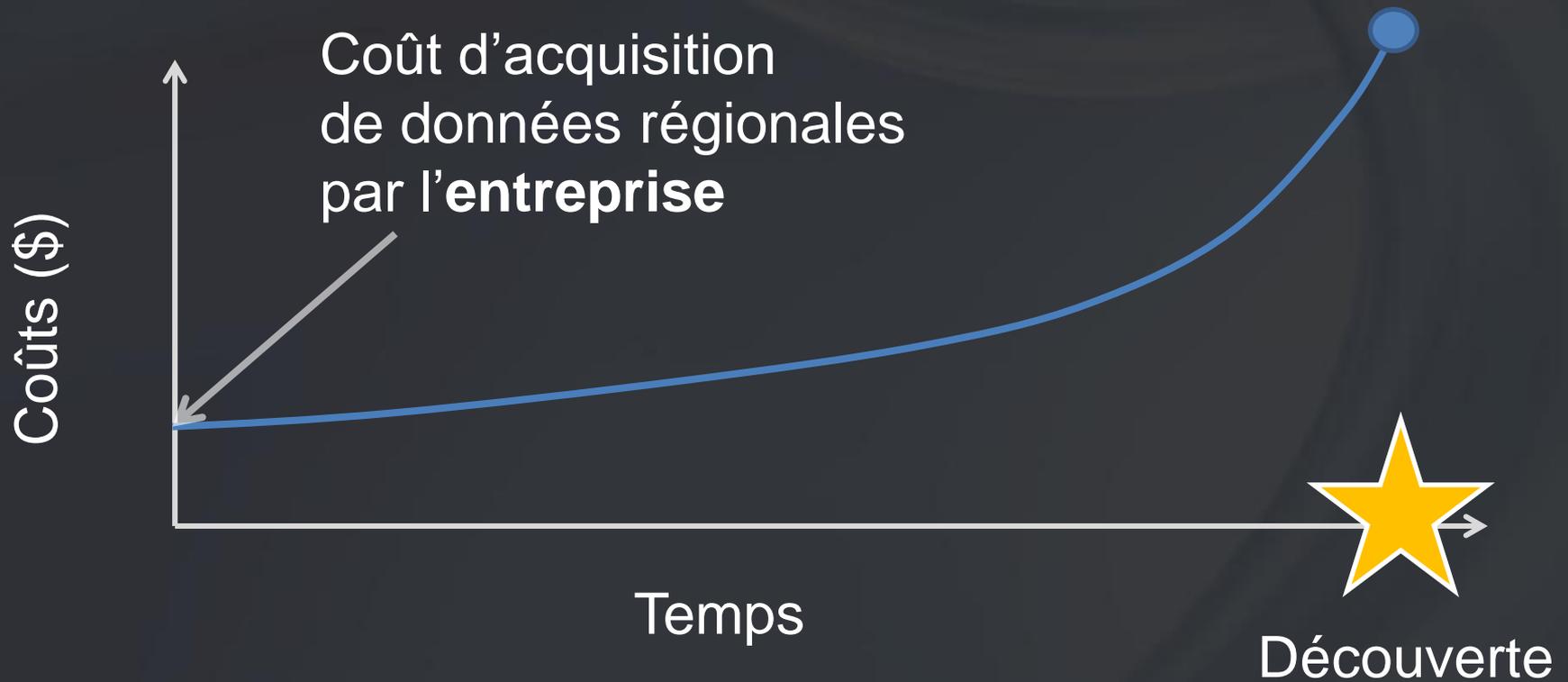
Transfert/applications vers les géologues d'exploration pour une application quotidienne

- Logiciel Normat (Mathieu Piché)

Introduction

Intervenants en exploration et chaîne d'innovation

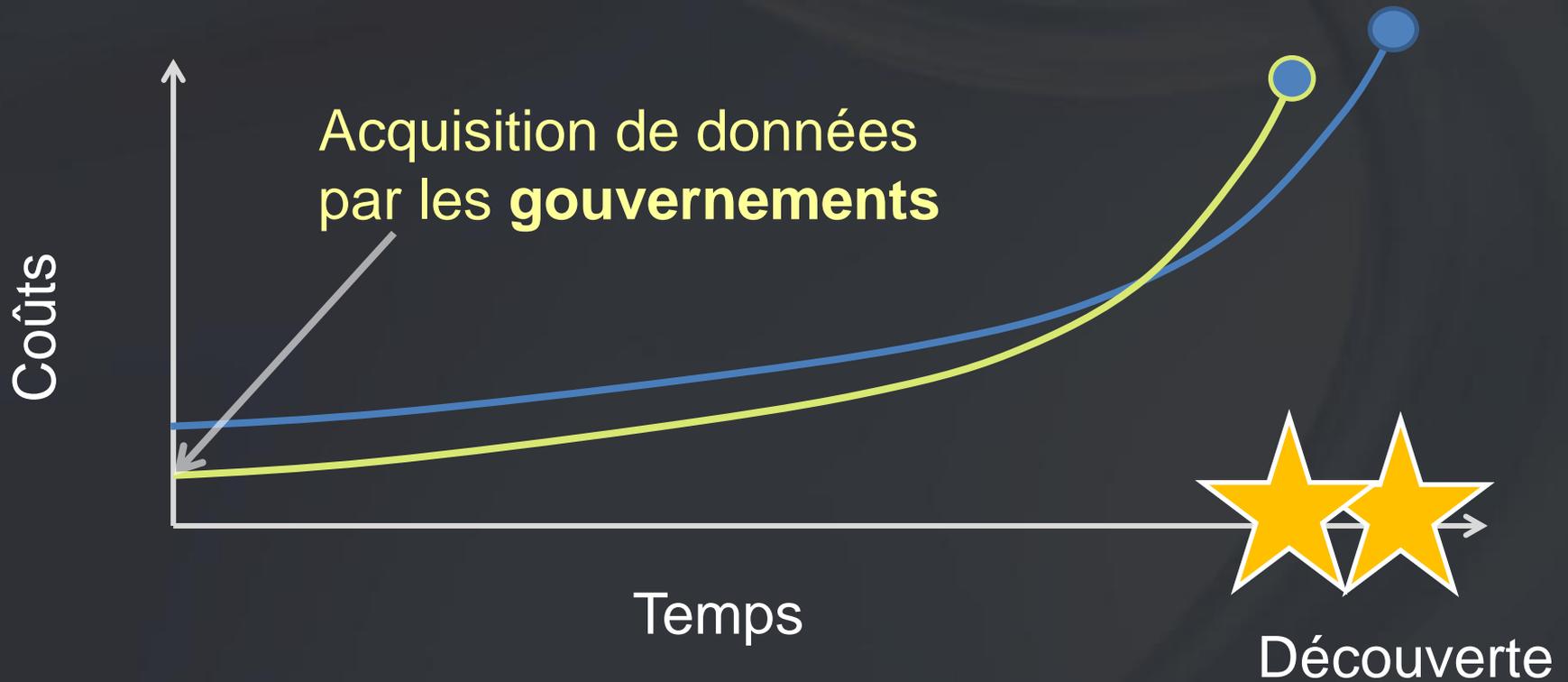
Investissements en exploration minérale



Introduction

Intervenants en exploration et chaîne d'innovation

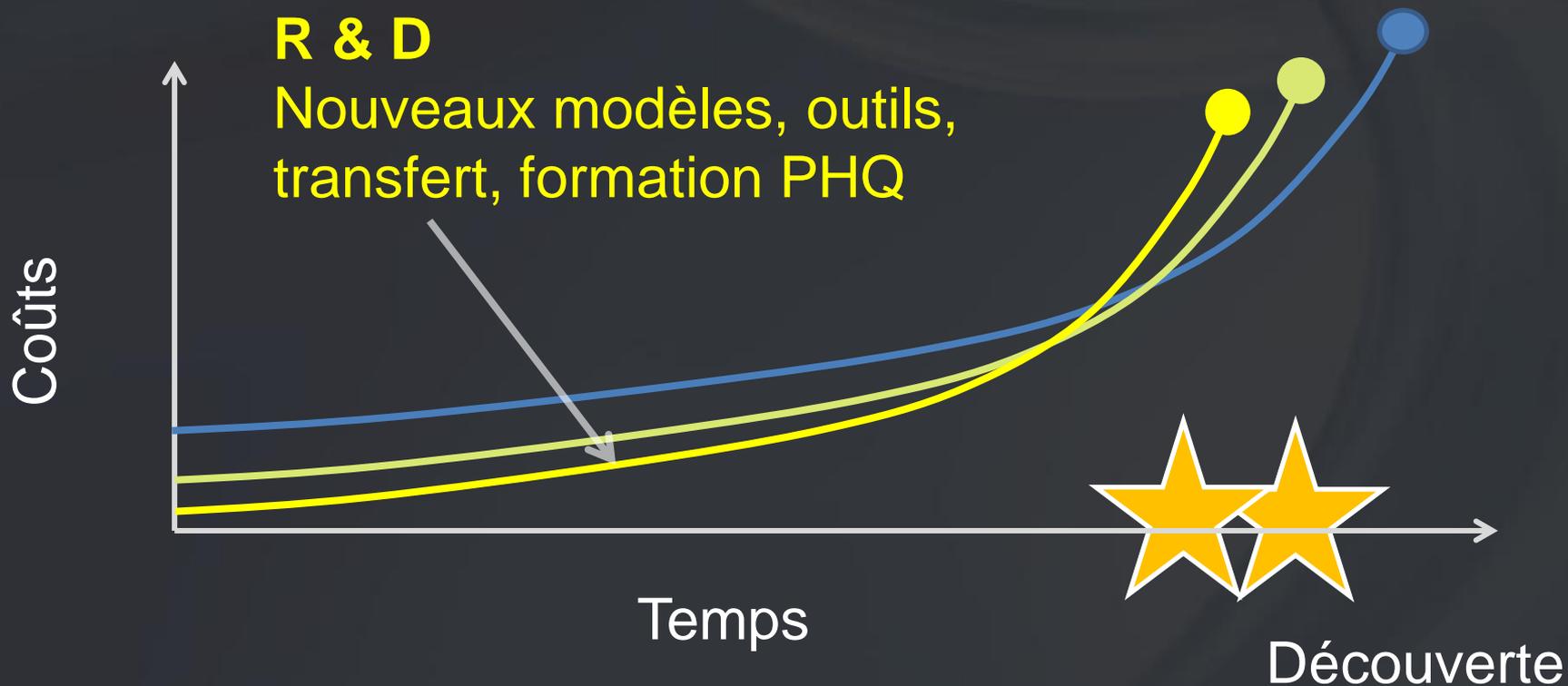
Investissements en exploration minérale



Introduction

Intervenants en exploration et chaîne d'innovation

Investissements en exploration minérale



Trois exemples de transfert faits par le Consorem depuis la recherche fondamentale vers l'industrie minérale

1- Exploration pour les IOCG*

Exemple d'intégration de concepts géologiques

2- Exploration du diamant

Exemple d'intégration de modèles fondamentaux

3- Exploration géochimique avec LithoModeleur

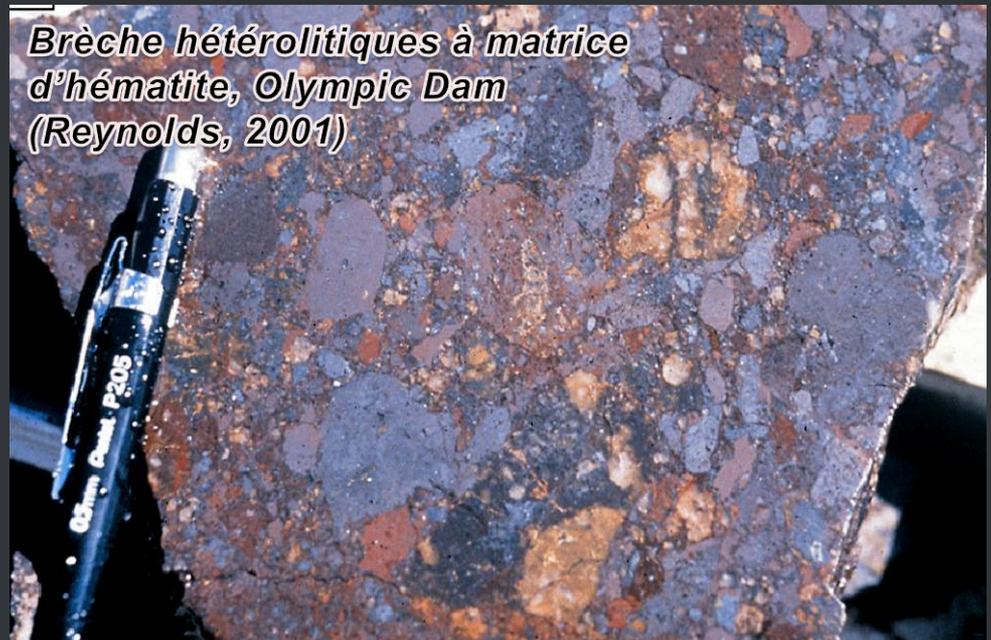
Exemple d'une méthode et d'un outil pour l'utilisateur

Exploration IOCG

Problématique :

- Gisements de fer-oxydes polymétalliques (IOCG)
 - minéralisations attrayantes pour leur contenu en Au, Cu, U
 - énorme volume de minerai (Gt)
- Confusion des modèles d'exploration
 - plusieurs types de gisements différents (carbonatites, skarns, porphyres alcalins, syénites, etc...)

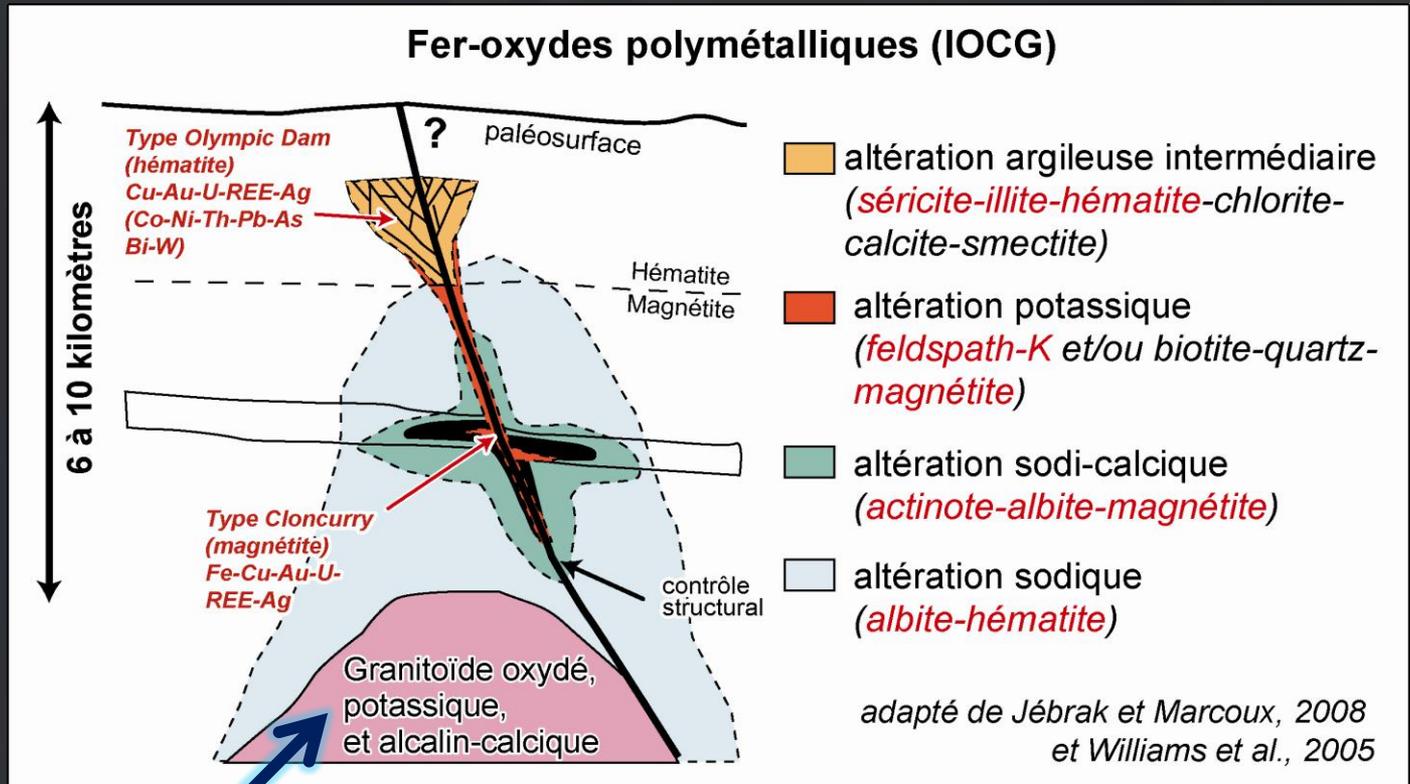
➤ **Stratégie d'exploration difficile à établir dûe à la grande hétérogénéité gîtologique**



Exploration IOCG

Objectif

Établir une stratégie d'exploration régionale basée sur les caractéristiques des **IOCG sensu stricto** (Groves et al. 2010); Olympic Dam et Cloncurry (Australie), Candelaria (Chili), et Carajas (Brésil). Trouver un élément clé...

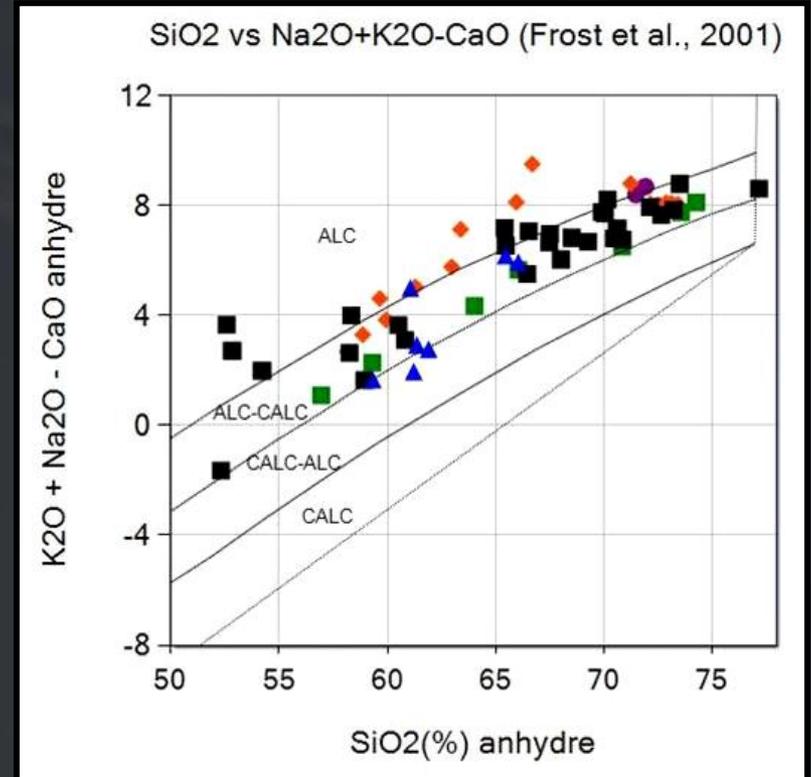
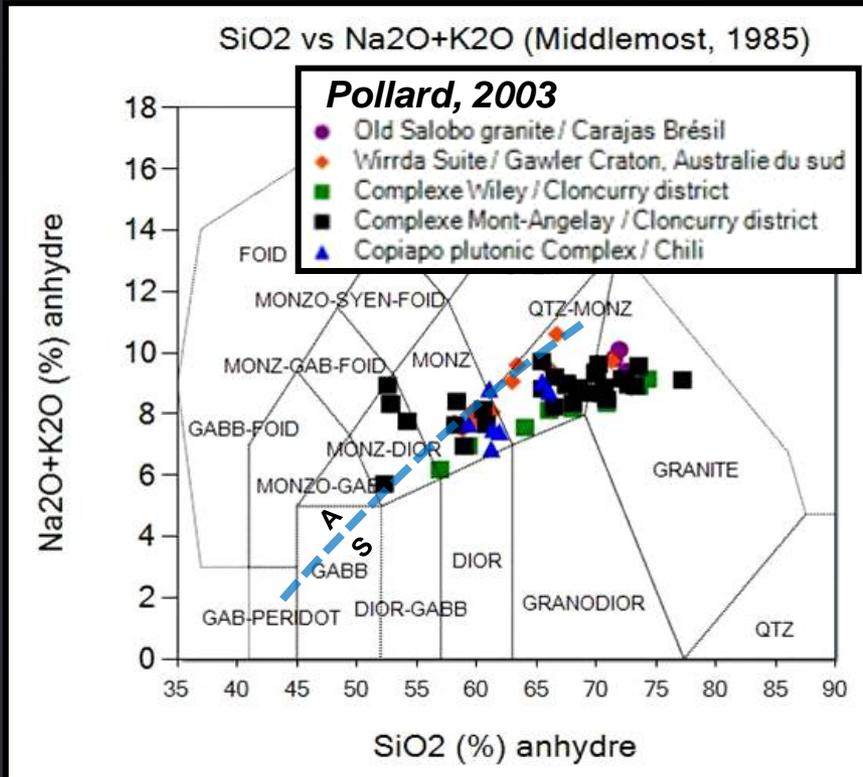


Présence d'**intrusions génétiquement** associées aux IOCG, moteur du système hydrothermal

Exploration IOCG

Objectif :

Reconnaître la signature lithogéochimique favorable des intrusions génétiquement associées aux IOCG



Série Monzodiorite, monzodiorite à qtz,
monzonite à qtz et granite

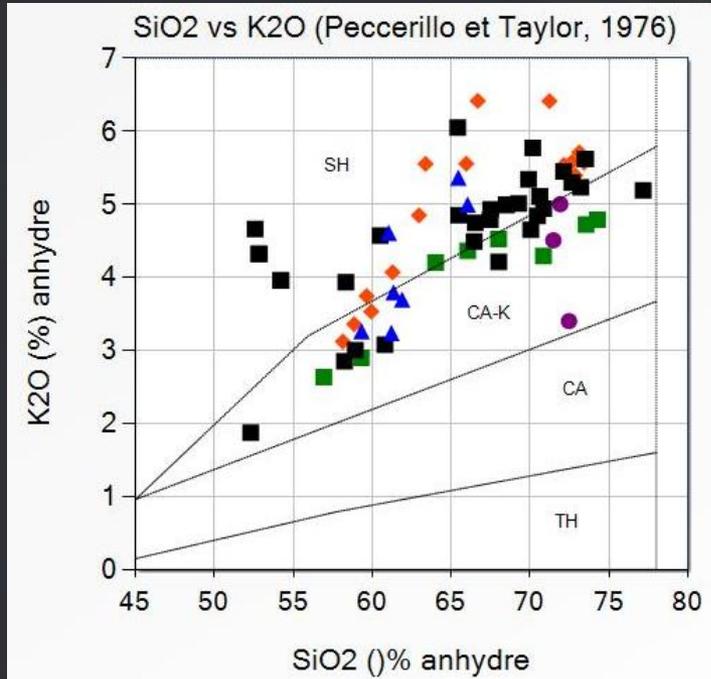
Alcalin-calcique à alcalin

Les intrusions génétiquement associées aux IOCG forment une série magmatique bien définie et géochimiquement caractéristique

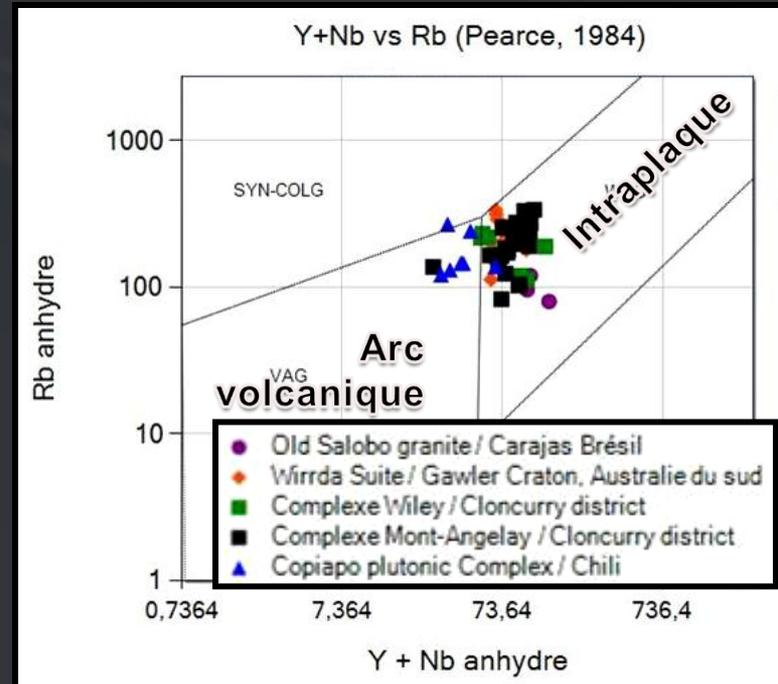
Exploration IOCG

Objectif :

Reconnaître la signature lithogéochimique favorable des intrusions génétiquement associées aux IOCG



Calco-alkalin potassique à shoshonitique



Granitoïdes d'arc et intraplaques

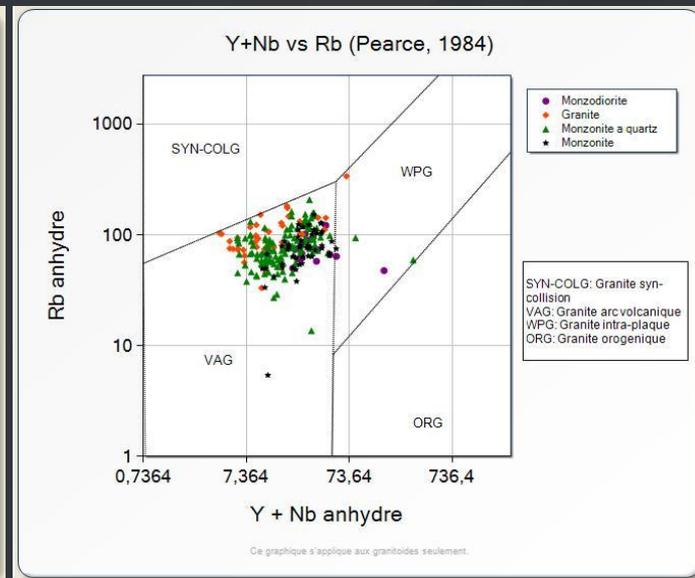
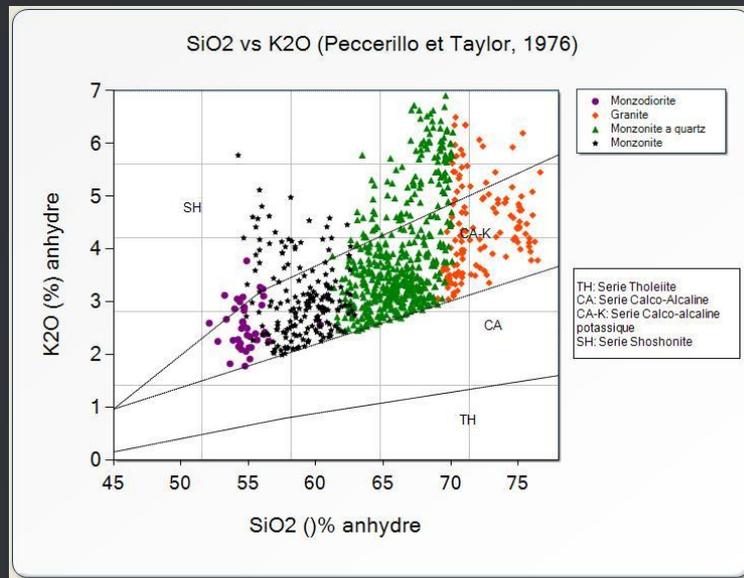
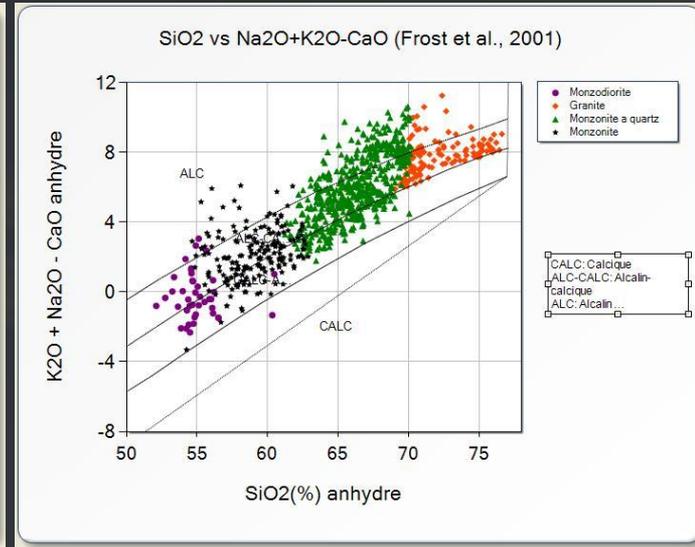
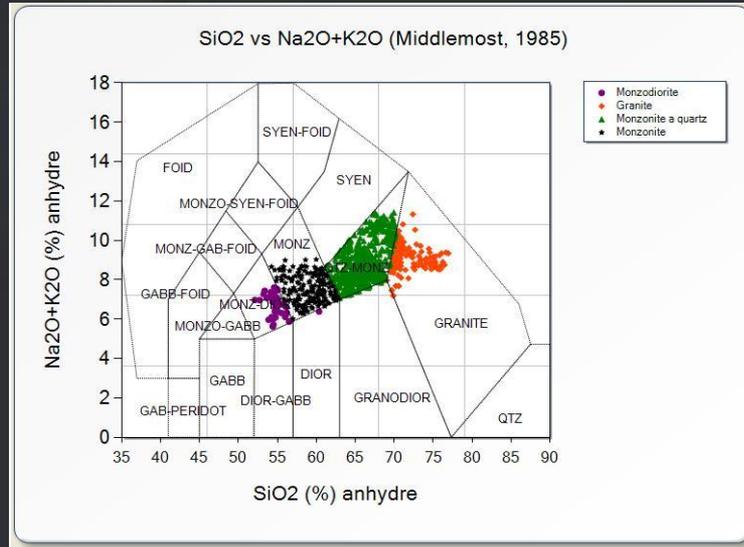
Les intrusions génétiquement associées aux IOCG forment une série magmatique bien définie et géochimiquement caractéristique

Exploration IOCG

Application et transfert à la ceinture archéenne de l'Abitibi

Identifier les intrusions caractéristiques de IOCG en Abitibi

882 données géochimiques retenues (0,06%)

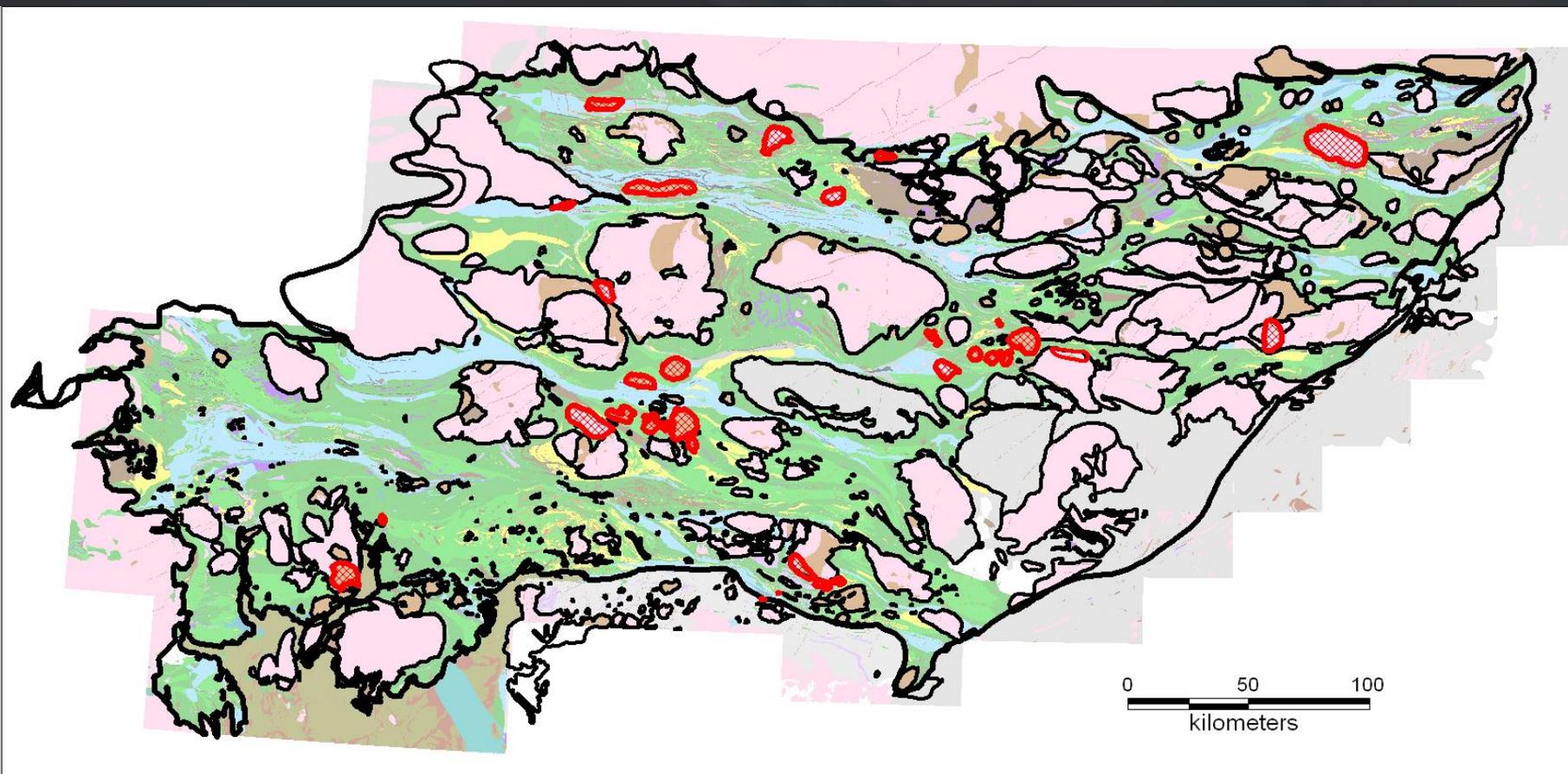


Exploration IOCG

Application et transfert à la ceinture archéenne de l'Abitibi:

Après analyse à l'échelle locale des différentes couches d'information (magnétisme, altérations et minéraux caractéristiques, minéralisations)

33 intrusions ont été sélectionnées comme étant favorables



Trois exemples de transfert faits par le Consorem depuis la recherche fondamentale vers l'industrie minérale

1- Exploration pour les IOCG*

Exemple d'intégration de concepts géologiques

2- Exploration du diamant

Exemple d'intégration de modèles géophysiques et
pétrologiques fondamentaux

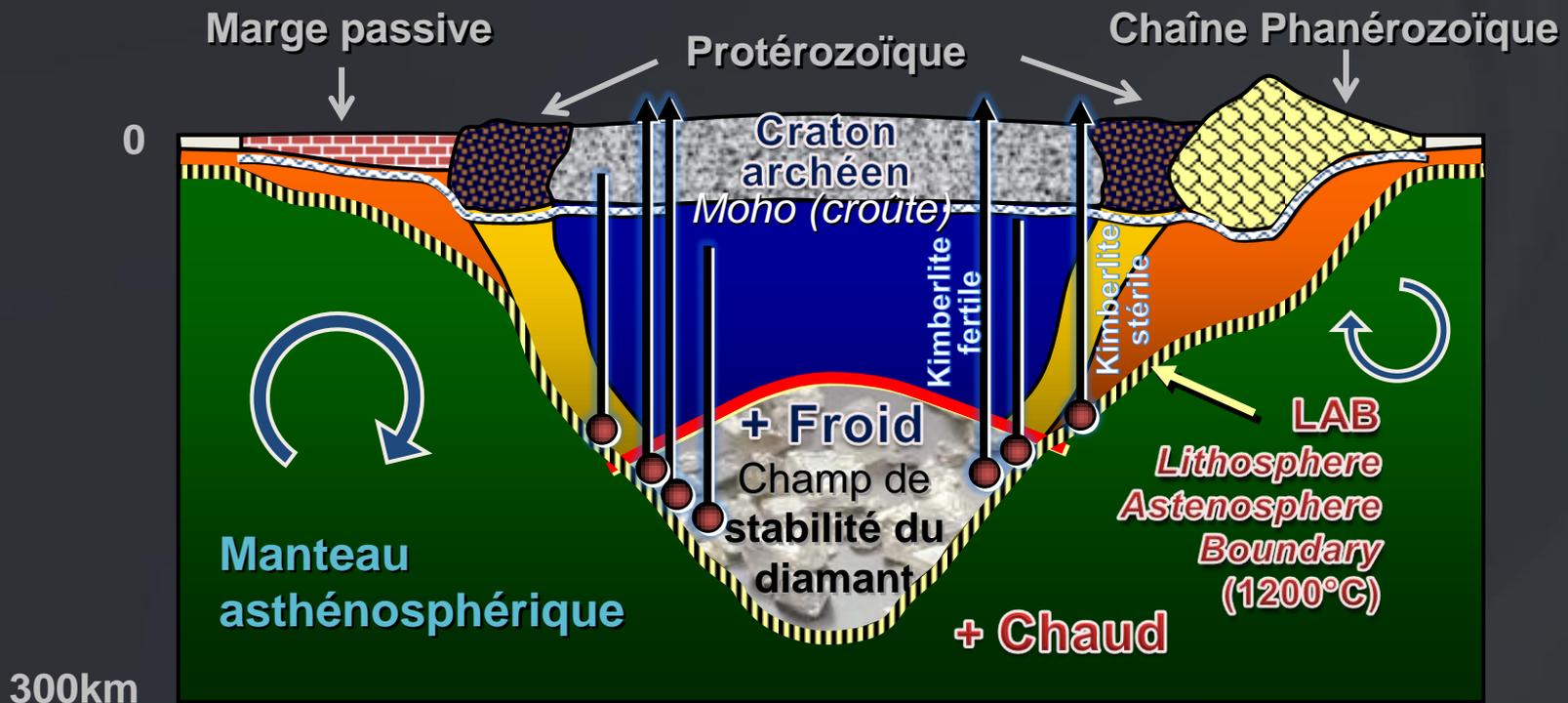
3- Exploration géochimique avec LithoModeleur

Exemple d'une méthode et d'un outil pour l'utilisateur

Exploration du diamant

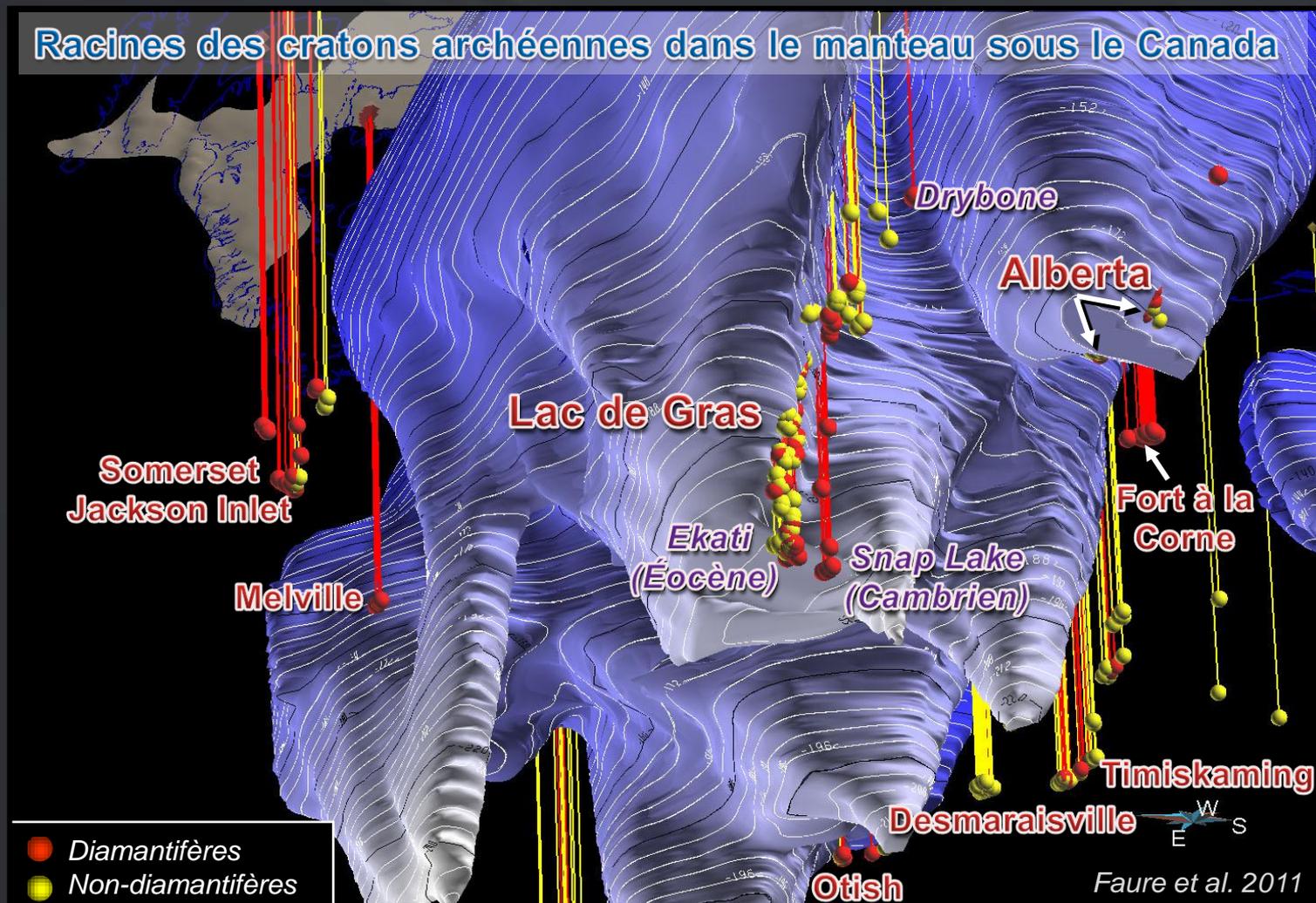
Problématique:

- Fertilité d'un territoire pour l'exploration déterminée par les conditions de préservation du diamant dans le manteau lithosphérique depuis sa formation à l'archéen
- Morphologie mal connue des racines cratoniques dans lesquelles des poches de diamants ont pu être préservées



Exploration du diamant

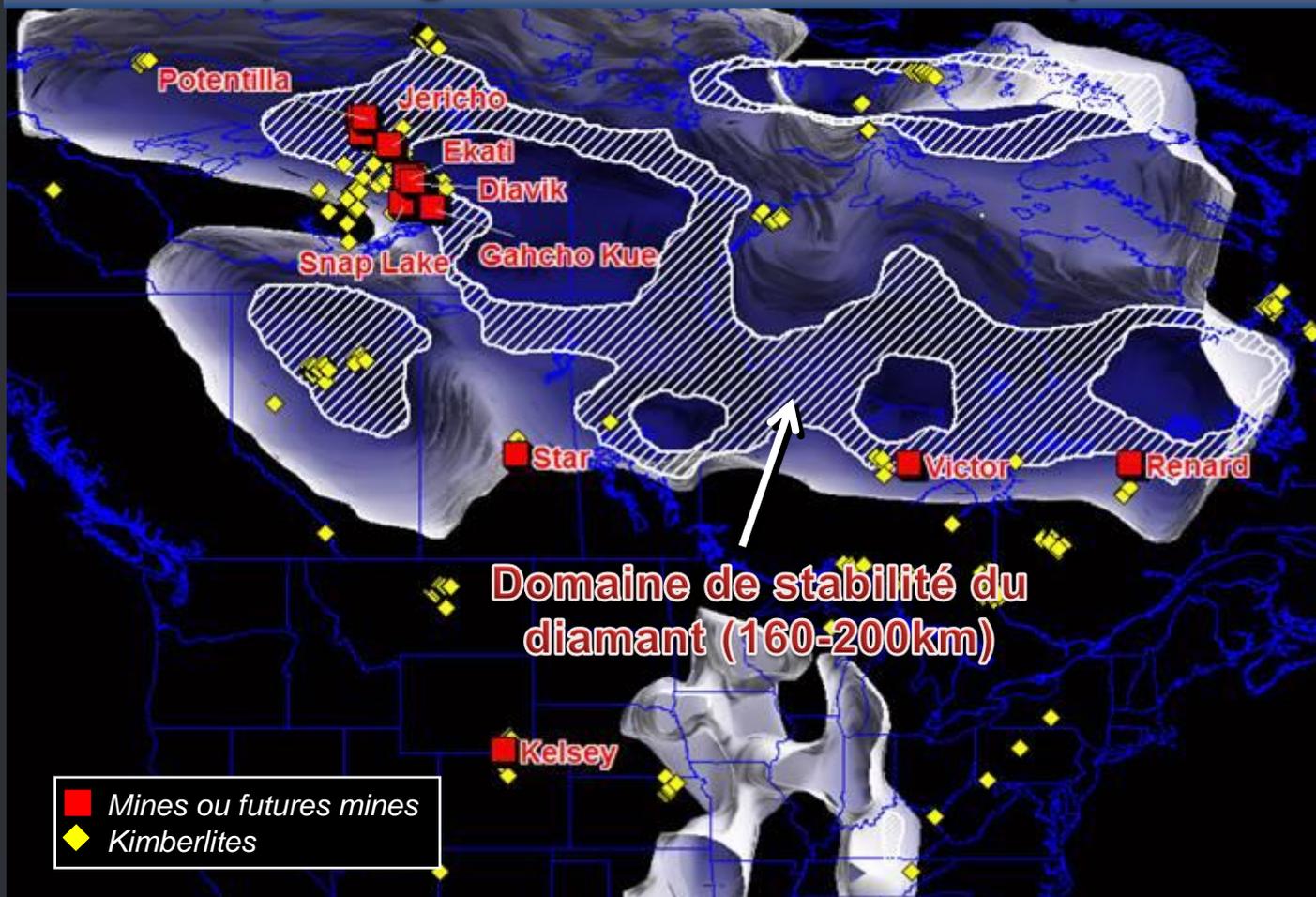
Objectif: déterminer les régions du manteau « fertiles » en comparant la tomographie sismique avec des données PT de xénolites mantelliques



Exploration du diamant

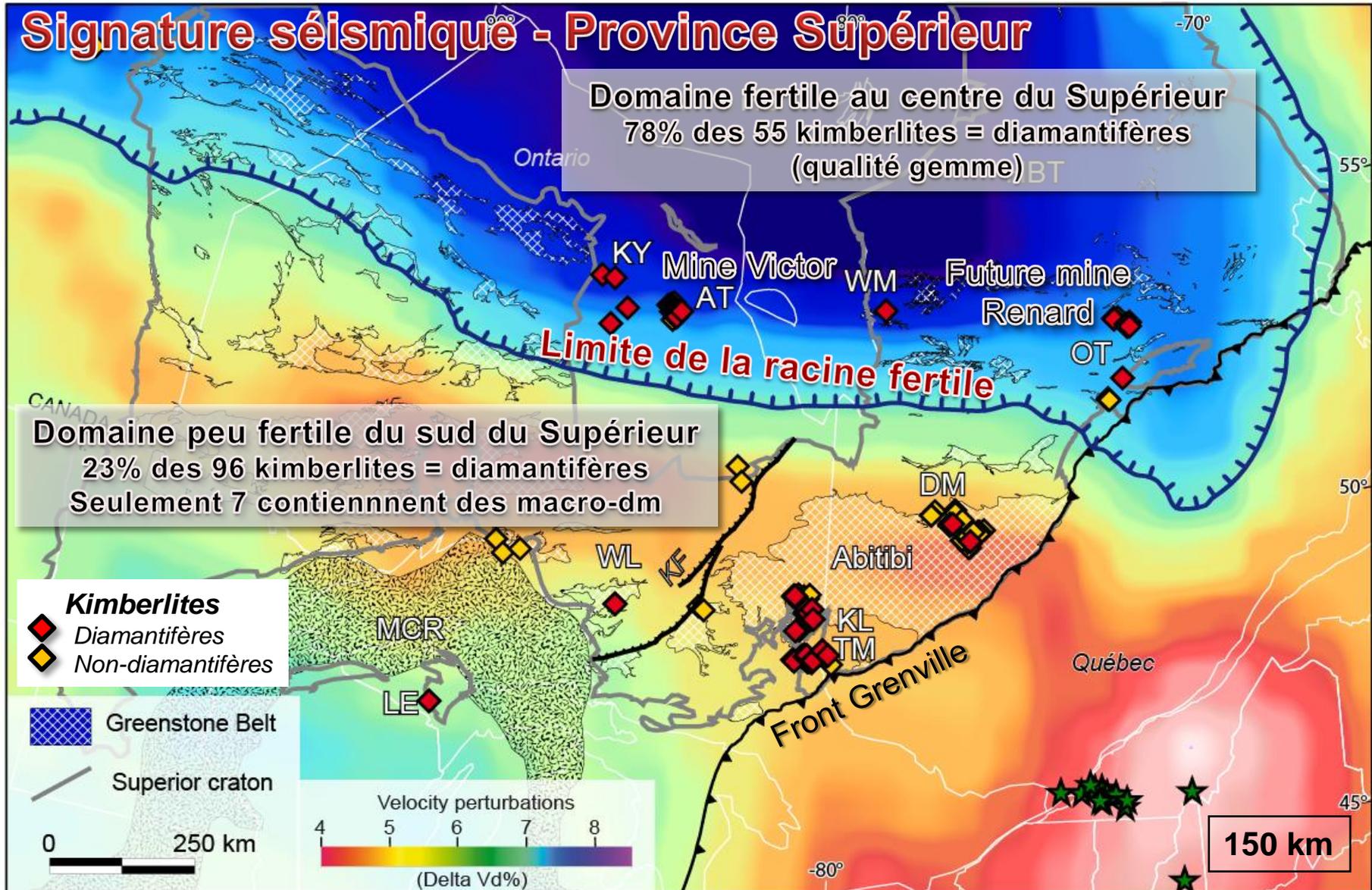
Résultats et transfert: Zones de préservation potentielle du diamant autour des racines des cratons, entre 160 et 200 km de profondeur. Projetée à la surface, cette zone fertile confirme le potentiel pour certains secteurs et ouvre de nouveaux territoires.

Morphologie des racines cratoniques



Exploration du diamant

Signature sismique - Province Supérieure



Trois exemples de transfert faits par le Consorem depuis la recherche fondamentale vers l'industrie minérale

1- Exploration pour les IOCG*

Exemple d'intégration de concepts géologiques

2- Exploration du diamant

Exemple d'intégration de modèles fondamentaux

3- Exploration géochimique avec LithoModeleur*

Exemple d'une méthode et d'un outil pour l'utilisateur

**Logiciel de traitements géochimiques développé par Consorem*

Géochimie des altérations hydrothermales

Problématique :

- Zones minéralisées s'accompagnent d'halos d'altération.
- Distinction des échantillons les moins altérés des plus altérés et proximaux de la minéralisation = tâche délicate.
- Méthode des bilans de masses (Gresens 1967, travaux de MacLean): calcule les gains / pertes réels des principaux oxydes lors du métasomatisme
- Très efficace pour identifier et caractériser l'altération associée aux minéralisations connues, mais....
- En exploration ?
 - Reconnaissance du **précurseur** difficile
 - Estimation qualitative en lames minces (temps)
 - Grande banque de données
- **Comment optimiser le processus pour les besoins de l'exploration ?**

Bilan de masse par modélisation du précurseur (nouvelle approche développée)

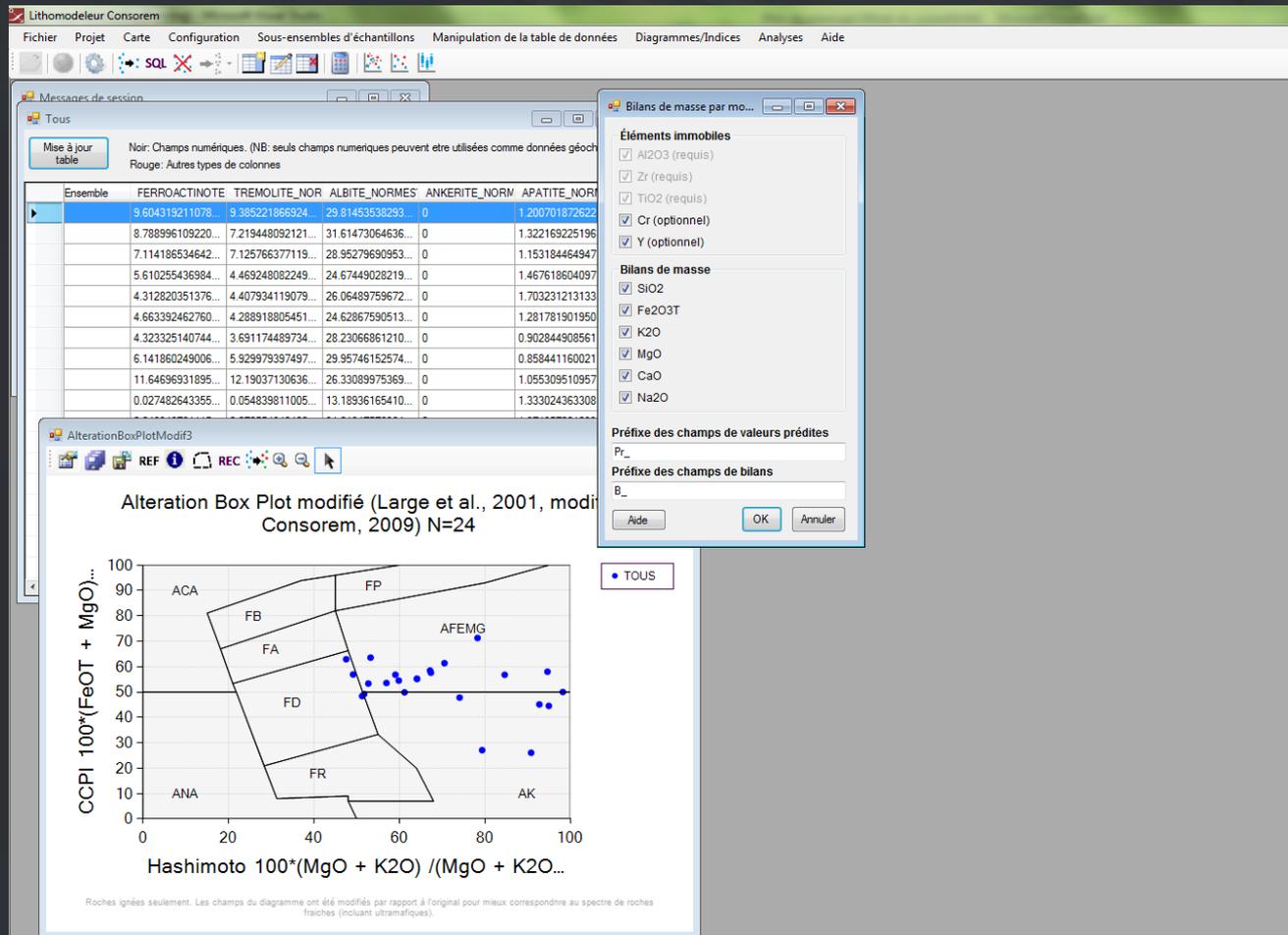
Objectif:

- Modéliser la composition ignée fraîche en SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , K_2O ... pour chaque échantillon altéré à partir de quelques éléments considérés peu mobiles: Y, Cr, Zr/ TiO_2 , Zr/ Al_2O_3 , etc.
- Formule calibrée par réseaux de neurones entraînés sur une banque de roches ignées fraîches (n=5076) de différentes compositions, affinités, contextes, âges dans le monde
- Par la suite, la composition du précurseur modélisé permet un calcul rapide, efficace et automatisé de bilans de masse d'après les équations de Gresens (1967)

Bilans de masse et LithoModeleur

Transfert technologique vers l'industrie:

- Bilans de masse par modélisation du précurseur intégré dans un logiciel (LithoModeleur). Utilisation simple et rapide en contexte d'exploration.



The screenshot displays the LithoModeleur software interface. The main window shows a data table with columns for mineral assemblages and their corresponding mass balance values. A dialog box titled "Bilans de masse par mo..." is open, allowing users to select immobile elements and mass balance components. A box plot chart titled "Alteration Box Plot modifié" is also visible, showing the distribution of data points across different alteration zones.

Ensemble	FERROACTINOTE	TREMOLITE_NOR	ALBITE_NORMES	ANKERITE_NORM	APATITE_NORM
9.604319211078...	9.385221866924...	29.81453538293...	0	1.200701872622	
8.788996109220...	7.219448092121...	31.61473064636...	0	1.322169225196	
7.114186534642...	7.125766377119...	28.95279630953...	0	1.153184464347	
5.610255436984...	4.469248082249...	24.67449028219...	0	1.467618604097	
4.312820351376...	4.407934119079...	26.06489759672...	0	1.703231213133	
4.663392462760...	4.288918805451...	24.62867590513...	0	1.281781901950	
4.323325140744...	3.691174489734...	28.23066861210...	0	0.902844908561	
6.141860249006...	5.929979397497...	29.95746152574...	0	0.858441160021	
11.64696931895...	12.19037130636...	26.33089975369...	0	1.055309510957	
0.027482643355...	0.054839811005...	13.18936165410...	0	1.333024363308	

Bilans de masse par mo...

Éléments immobiles

- Al2O3 (requis)
- Zr (requis)
- TiO2 (requis)
- Cr (optionnel)
- Y (optionnel)

Bilans de masse

- SiO2
- Fe2O3T
- K2O
- MgO
- CaO
- Na2O

Préfixe des champs de valeurs prédites
Pr_

Préfixe des champs de bilans
B_

Alteration Box Plot modifié (Large et al., 2001, modifié Consorem, 2009) N=24

CCPI 100*(FeOT + MgO)...

Hashimoto 100*(MgO + K2O) / (MgO + K2O...)

ACA, FB, FA, FD, FR, FP, AFEMG, ANA, AK

• TOUS

Roches ignées seulement. Les champs du diagramme ont été modifiés par rapport à l'original pour mieux correspondre au spectre de roches fraîches (noluant ultramafiques).

Conclusions

Le succès de l'exploration minérale peut être optimisé par:

- 1) Des outils facilitant l'intégration et l'interprétation de données géologiques
- 2) Des modèles d'exploration qui intègrent des concepts modernes issus de la recherche plus fondamentale
- 3) Du personnel qualifié capable d'utiliser ces nouveaux outils

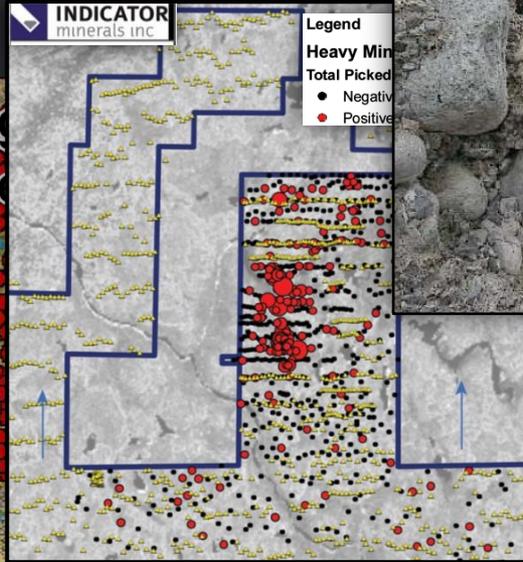
Le Consorem est un bon exemple de connexions entre la recherche plus fondamentale et les besoins des utilisateurs de l'exploration minérale

Merci et bonne journée

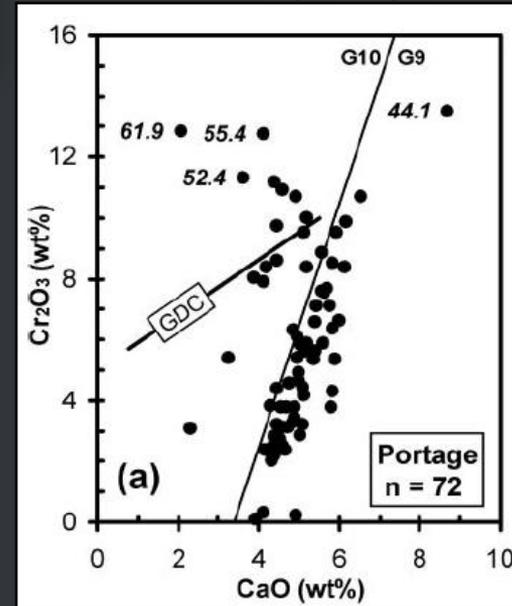
Exploration du diamant

Méthode traditionnelle

Échantillonnage
(du régional vers le local)



Détermination de minéraux indicateurs (KIM)



Découverte de kimberlites diamantifères

Trois exemples de transfert faits par le Consorem depuis la recherche fondamentale vers l'industrie minérale

1- Application à partir d'une intégration de concepts provenant de la littérature

Ex: Exploration pour les IOCG*

2- Intégration de données à caractère fondamental vers des applications pour l'exploration

Ex: Exploration du diamant

3- Confection de méthodes et d'outils orientés vers les utilisateurs

Ex: Exploration géochimique avec LithoModeleur