



OR dans les granitoïdes et les porphyres archéens

Par Stéphane Faure

CONSOREM

Consortium de recherche en exploration minérale

UQAM UQAC MRN Arianne Aurizon Cambior Maude Lake McWatters Noranda Soquem



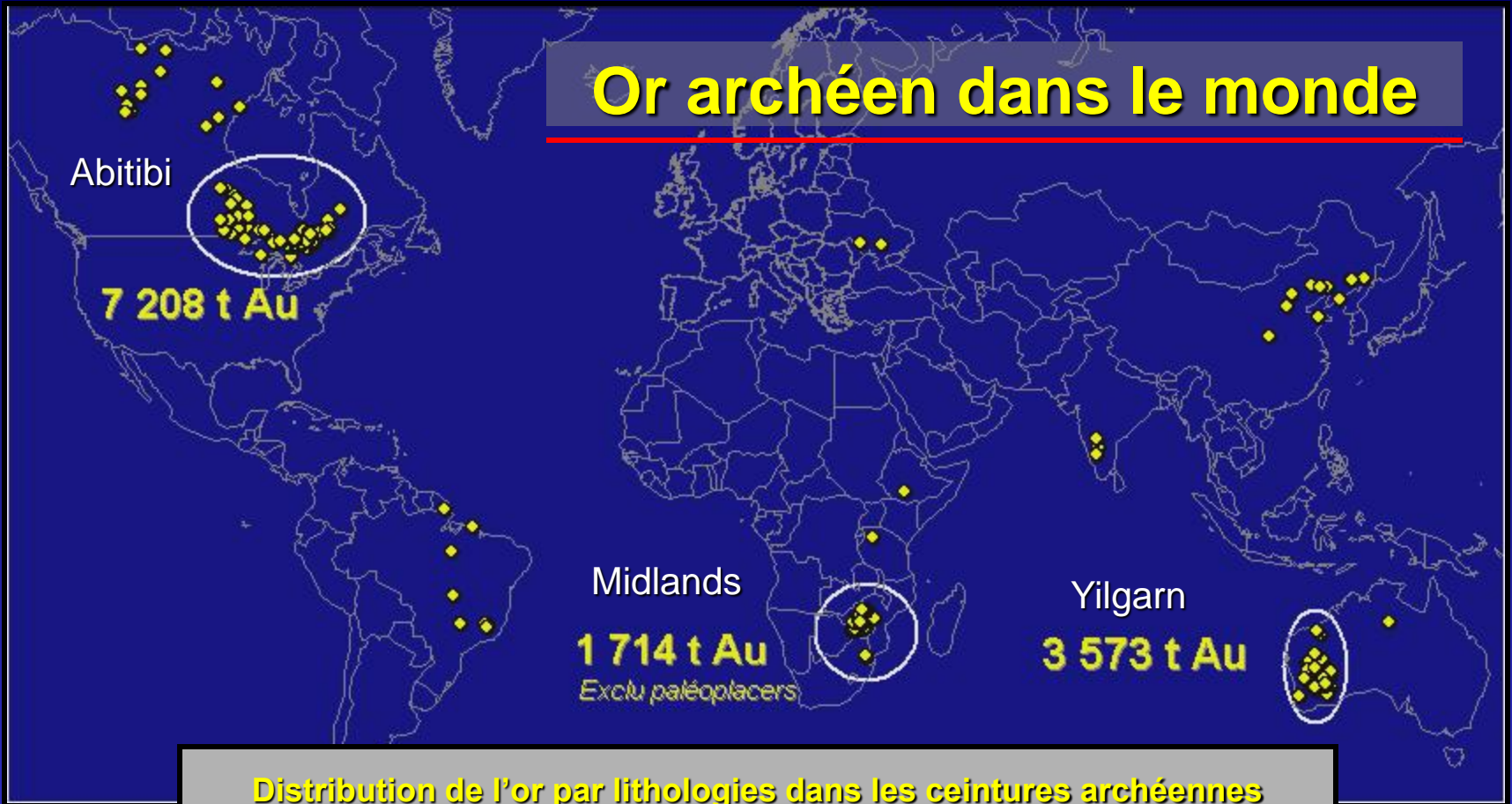
Or dans le monde

A part les conglomérats aurifères, les deux styles de minéralisation aurifère les plus importants en terme de nombre de mines et de tonnes d'or sont :

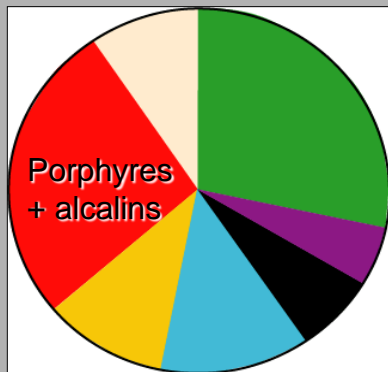
- 1) les gîtes **mésothermaux** à filons de quartz-carbonates associés à des zones de cisaillement et;
- 2) les gîtes à **sulfures disséminés** et stockwerks adjacents à des massifs de **porphyres**

(Robert et Poulsen, 1997)

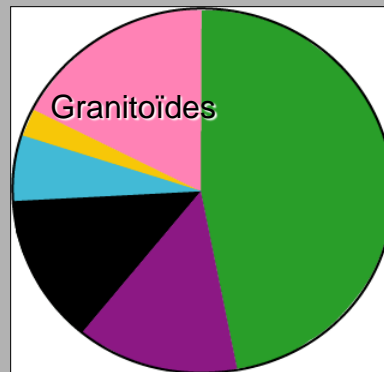
Or archéen dans le monde



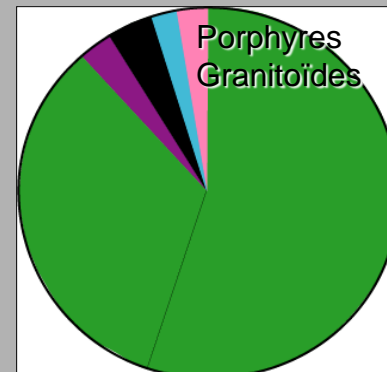
Distribution de l'or par lithologies dans les ceintures archéennes



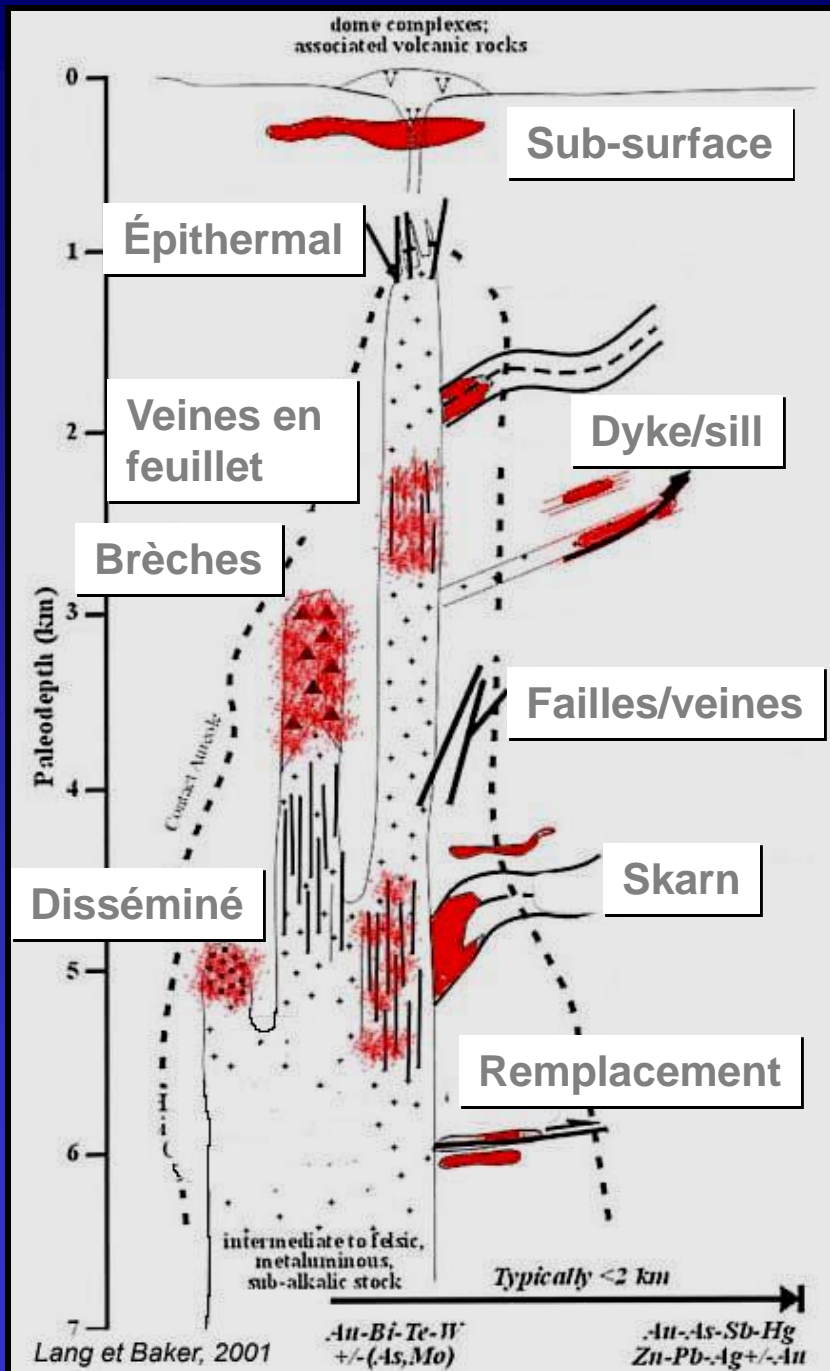
Abitibi



Midlands



Yilgarn



Modèle *Intrusion-related*

Large spectre depuis les systèmes porphyriques jusqu'aux systèmes épithermaux, également types mésothermaux, Carlin, et skarns

Age: Phanérozoïque

Peu à l'Archéen

Distinctions

Or lié aux intrusions

Minéralisation contemporaine et associée à une intrusion

Association métallique dépendante de la nature de l'intrusion

Zonalité minérale, métallique et des altérations

Ex: camp de Malartic

VS

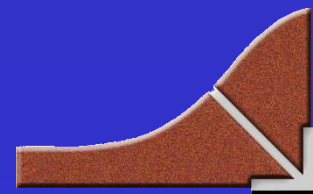
Or dans les intrusions

Minéralisation postérieure à l'emplacement de l'intrusion

Indépendant de la nature de l'intrusion = piège structural

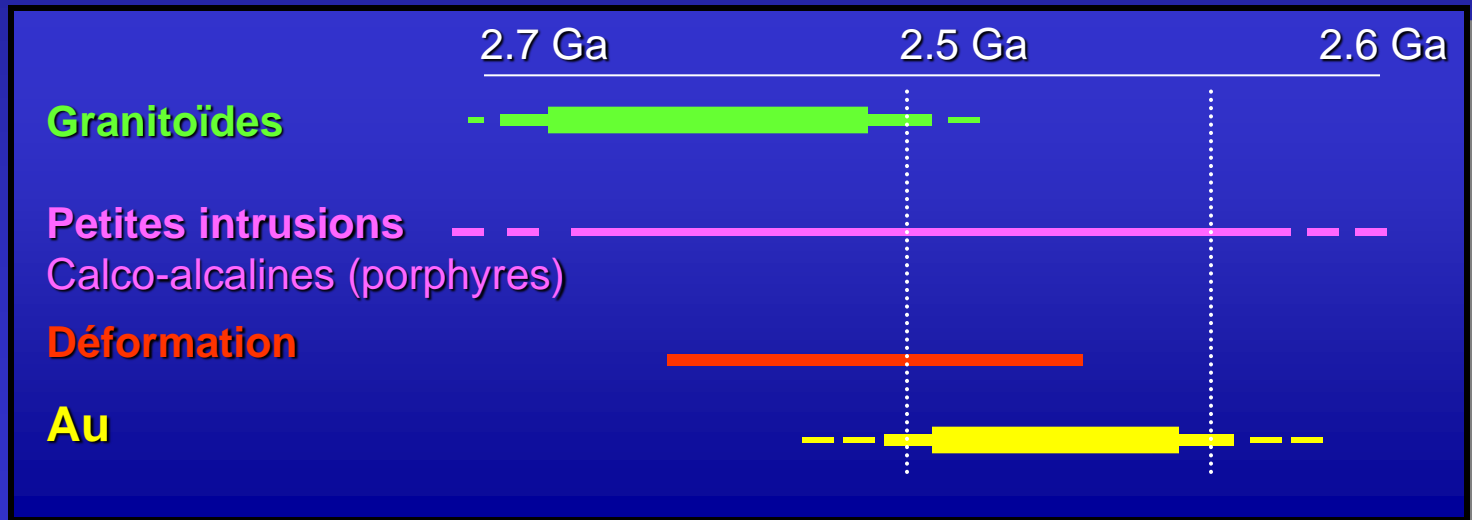
Zonalité mal définie

Ex: Or orogénique dans pluton de Bourlamaque



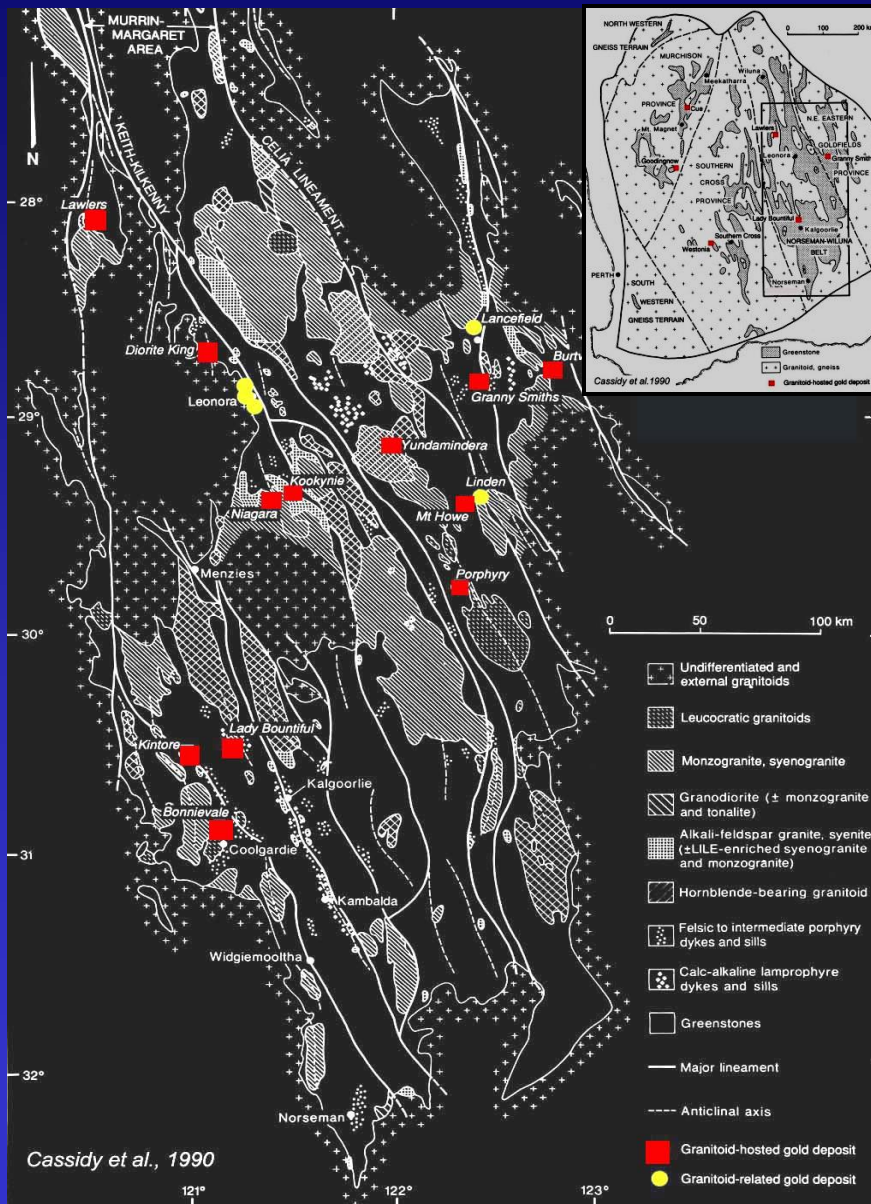
Or dans les INTRUSIONS - Australie

	Granitoïdes	Porphyres
Contenu en Au	3,0%	5,4%
Nb mines	6,6%	8,0%
Total Au	127 t	74,8 t
Exemples	Granny Smith (31,1 t Au) Edna May (27,7 t Au)	Porphyry (12 t Au) Jubilee (10,5 t Au) Jupiter



Données d'après Cassidy et al., 1990 et Barley et al., 1990

Or dans les GRANITOÏDES - Australie



Granitoïdes externes stériles

Gneiss rubané
Syn-tectoniques
Tardi-tectoniques

Granitoïdes internes

Hôtes de la minéralisation
Compositions variées

*Suite
calco-alkaline*

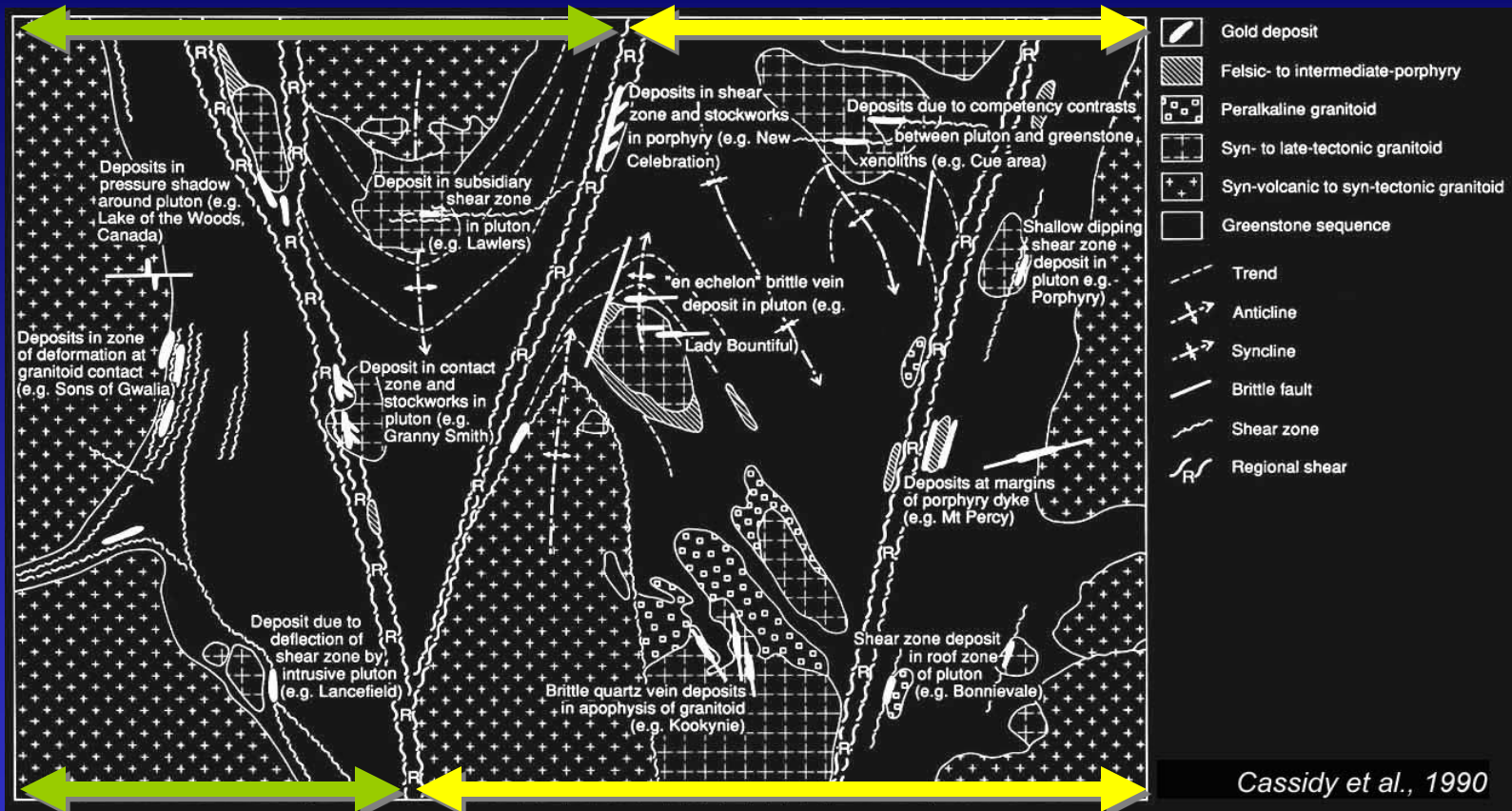
Intrusions
syn-volcaniques
à syn-tectoniques

Petites intrusions
syn à tardi-tectoniques

*Suite
peralkaline - alcaline*

Intrusions
tardi-volcaniques
à post-tectoniques

Au contrôlé par GRANITOÏDES vs encaissé dans GRANITOÏDES



Contrôlé par GRANITOÏDES

- Indépendant du type de granite
- Intrusion < 2km (~ 500m) du dépôt
- Zones perméables (shear zone) dans intrusions, en bordure, ou adjacentes

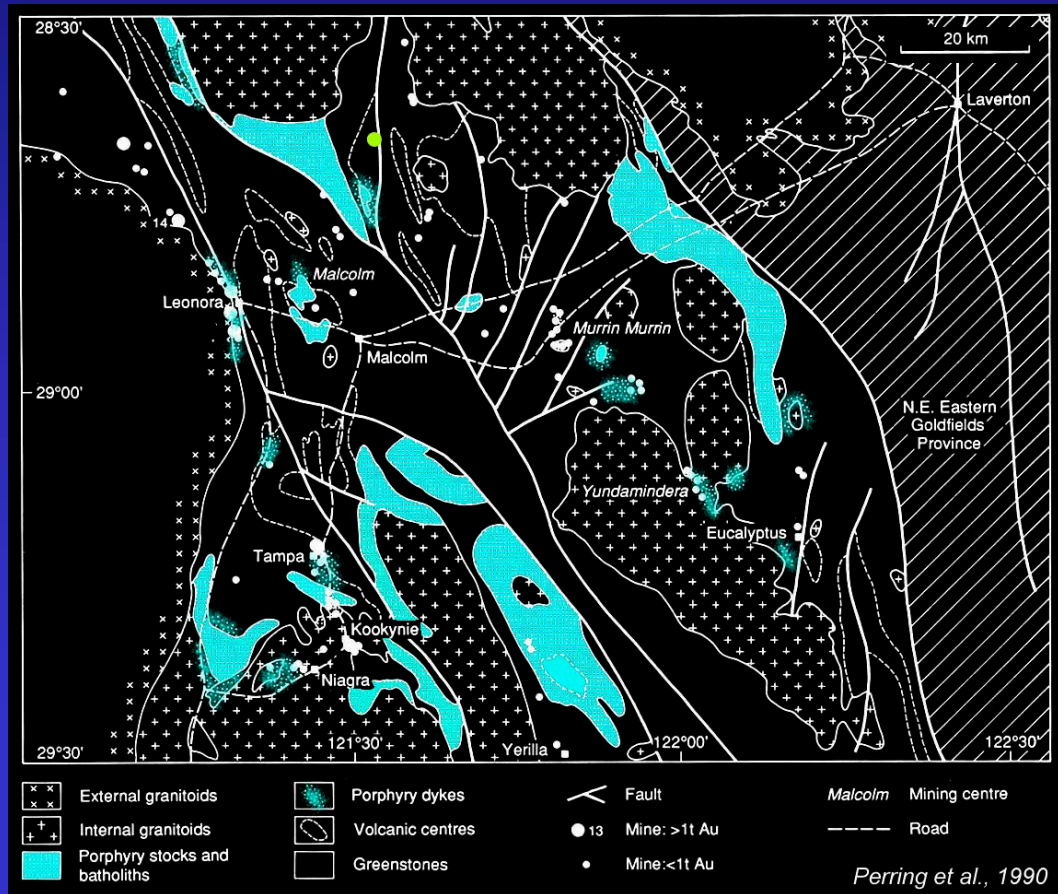
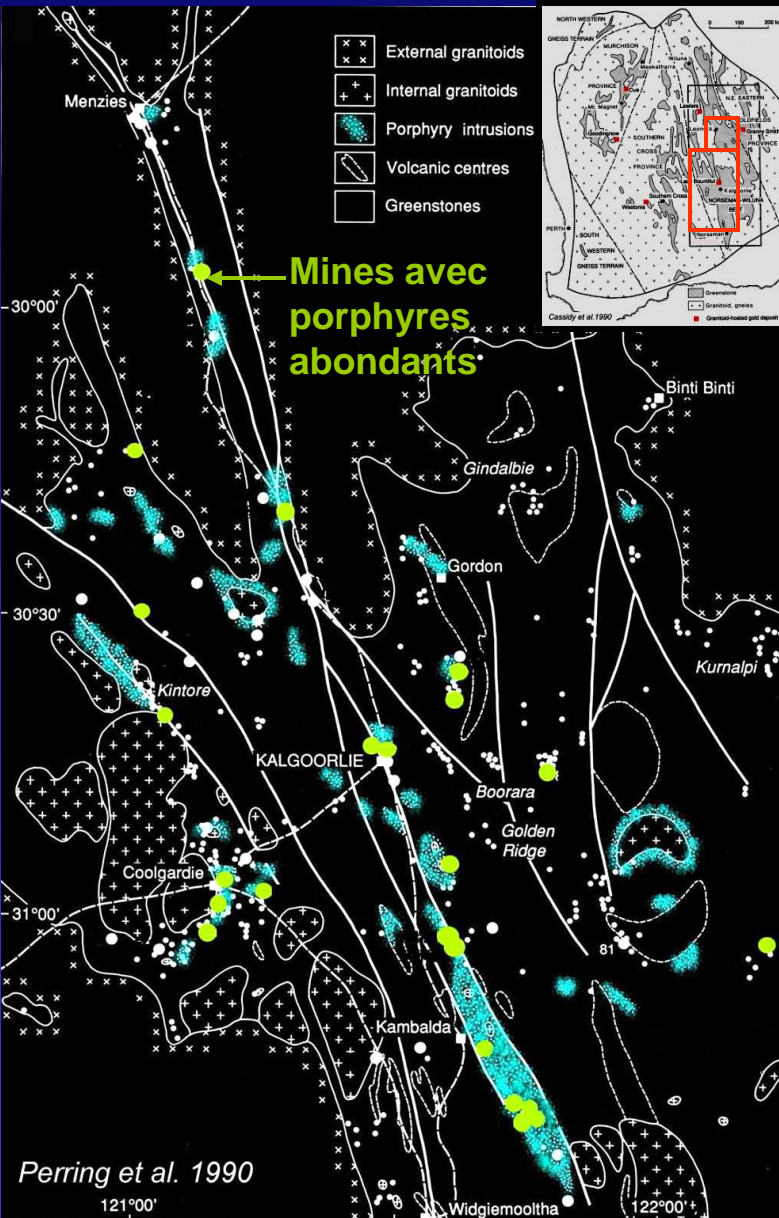
Encaissé dans GRANITOÏDES

- Majorité des mines dans petites intrusions calco-alcalines (BO) syn à tardi-tectoniques
- Zones de faible déformation ductile à fragile

Or dans les PORPHYRES - Australie

Porphyres dans environnement des dépôts: **90%** des mines
 Porphyres dans les travaux de mines: **48%**
 Porphyres en abondance: **33%**

Au au contact ou dans porphyres dans **26%** des dépôts majeurs



Conclusion Granitoïdes - Australie

Composition:

granitoïdes BO, diorite QZ, tonalite, granodiorite, monzonite, syénite

Métamorphisme des granites

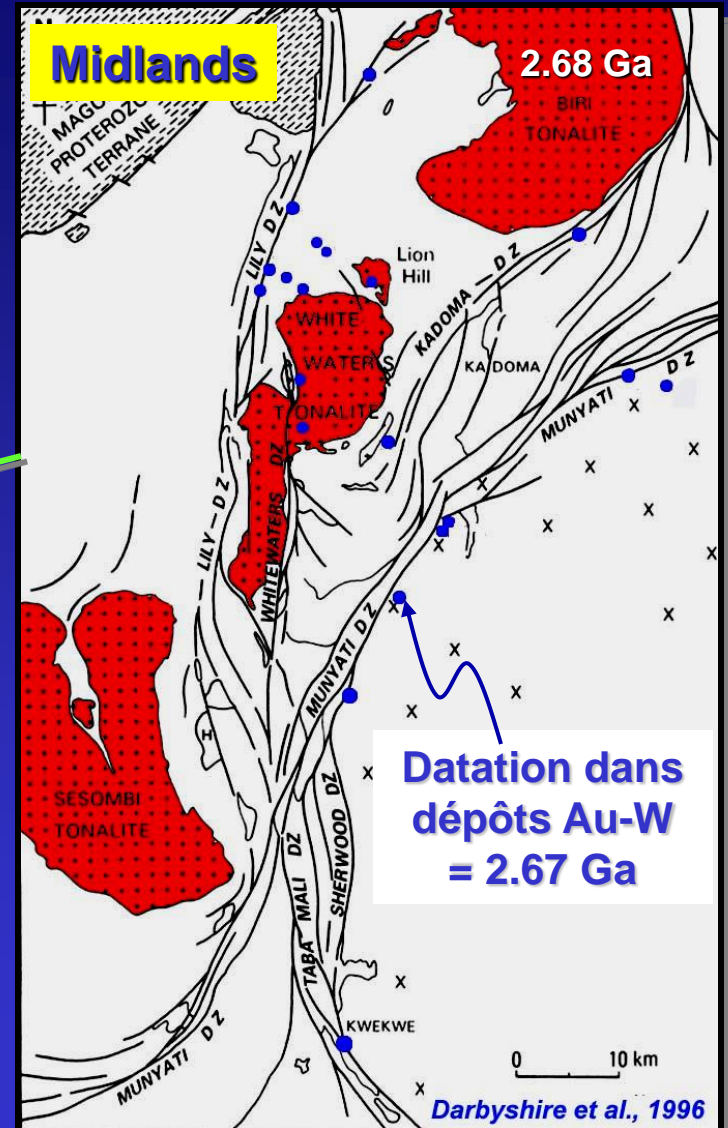
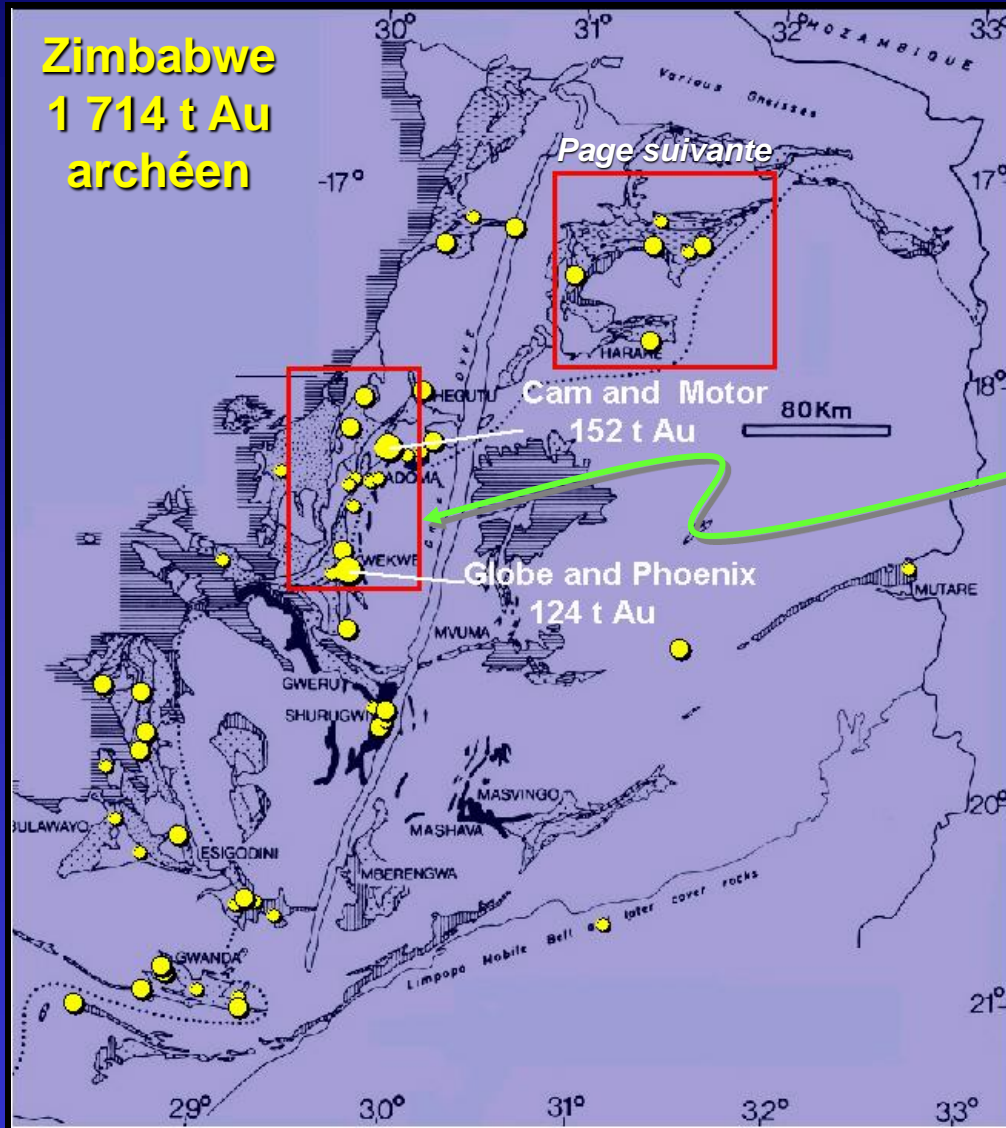
Faciès sous schistes verts à amphibolite supérieur
donc comportement fragile à ductile

Contrôle structural d'abord (contraste de compétence)
chimique également ($\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) \uparrow$)

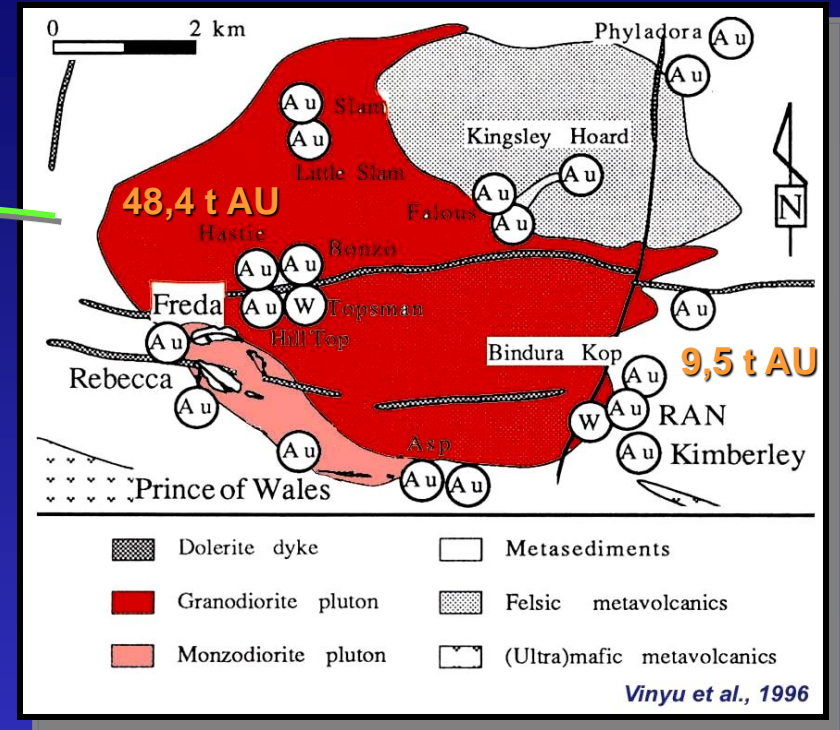
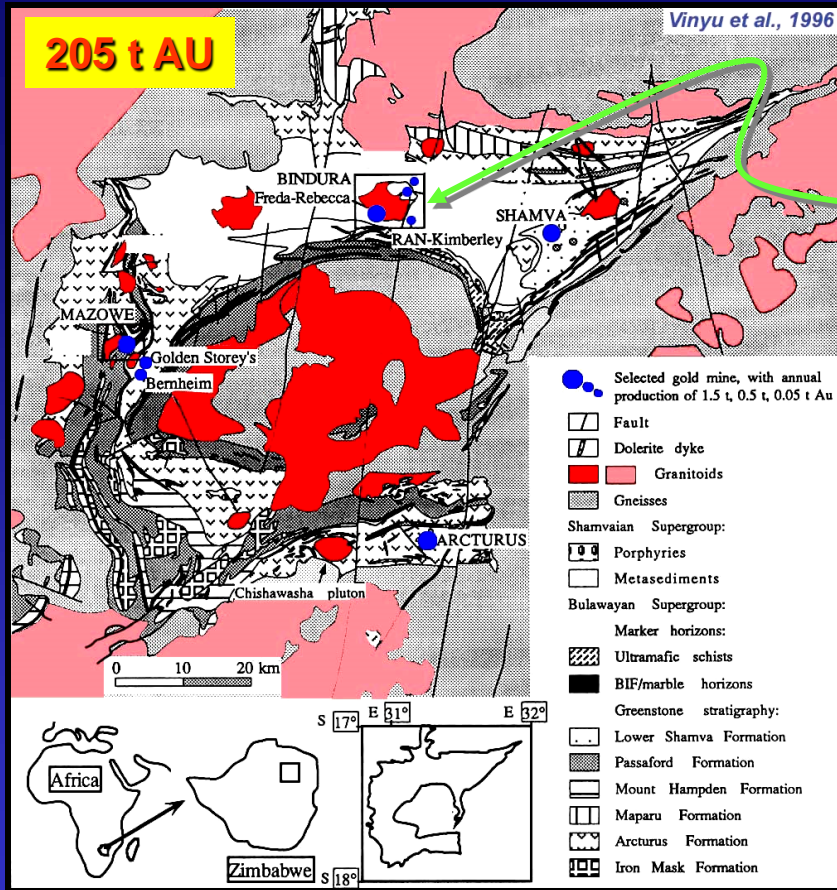
Présence de porphyres est un des nombreux facteurs
qui contrôlent la minéralisation.
Souvent antérieurs à la déformation et l'or
= **contrôle mécanique**

Or lié aux intrusions au Zimbabwe

Zimbabwe
1 714 t Au
archéen



Or lié aux intrusions au Zimbabwe



Contrôle structural (différents niveaux supracrustaux);
Structures verticales, déformation ductile à cassante

Au associé et synchrone à des intrusions mafiques-felsiques
(gabbro-tonalite-granite) tardi à post-tectoniques

Or lié aux porphyres au Zimbabwe

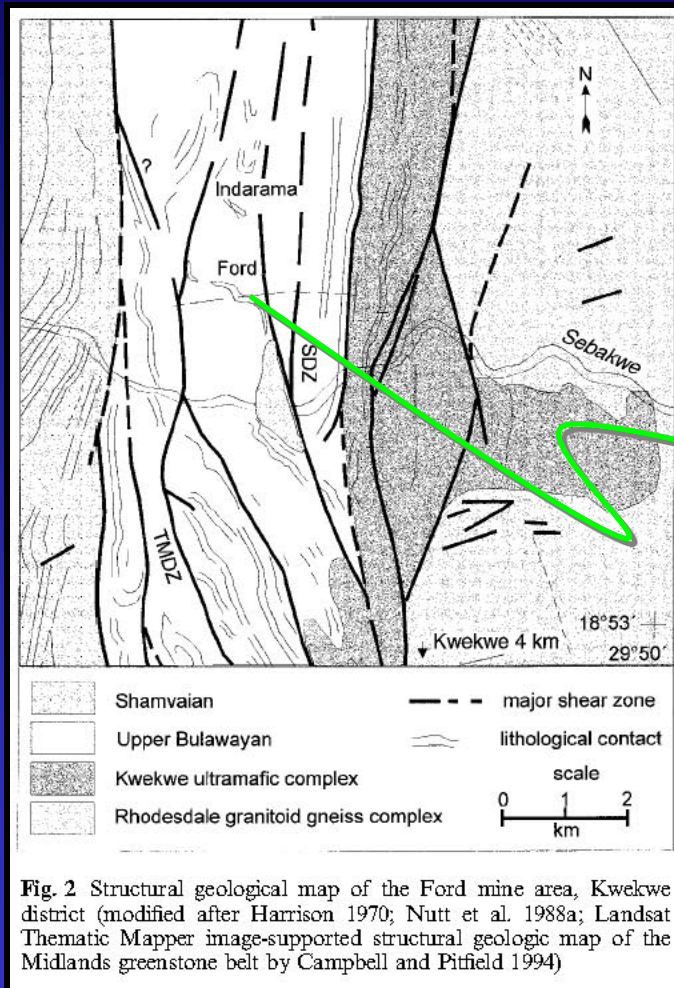
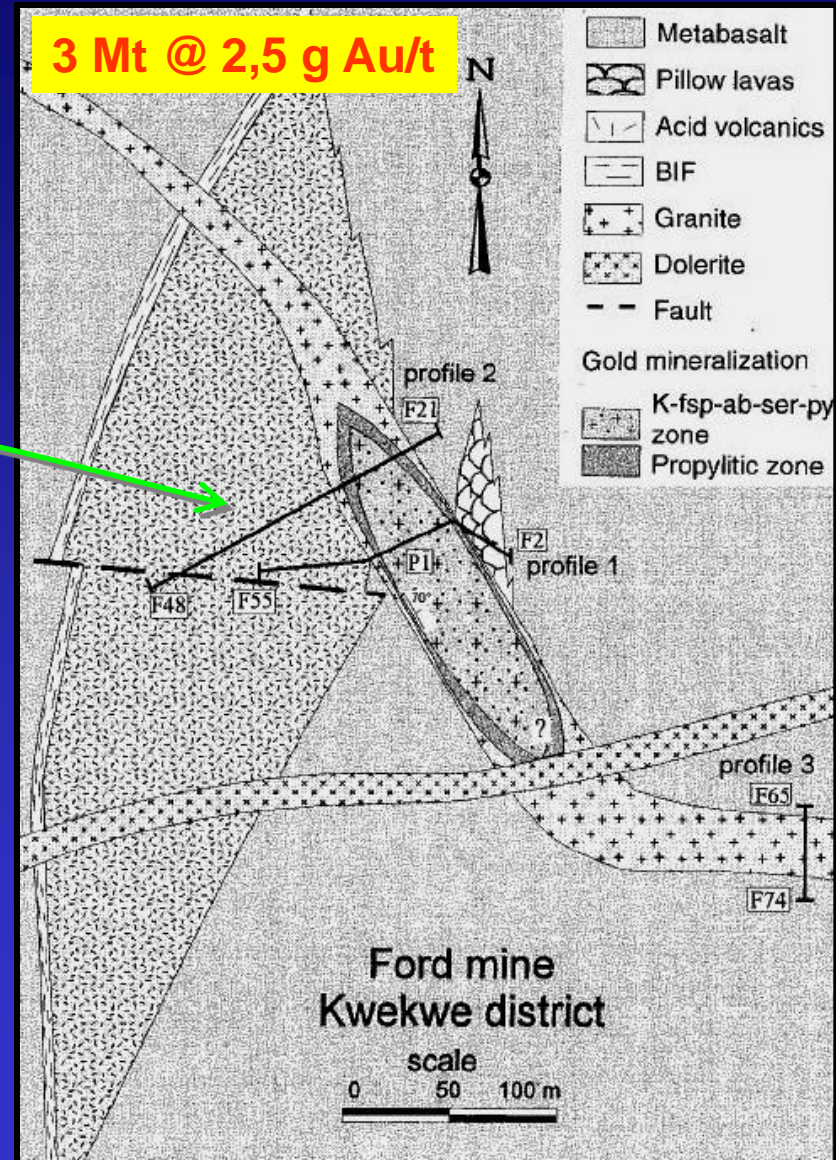


Fig. 2 Structural geological map of the Ford mine area, Kwekwe district (modified after Harrison 1970; Nutt et al. 1988a; Landsat Thematic Mapper image-supported structural geologic map of the Midlands greenstone belt by Campbell and Pitfield 1994)

Buchholz et al. 1998



Or lié aux intrusions en ABITIBI

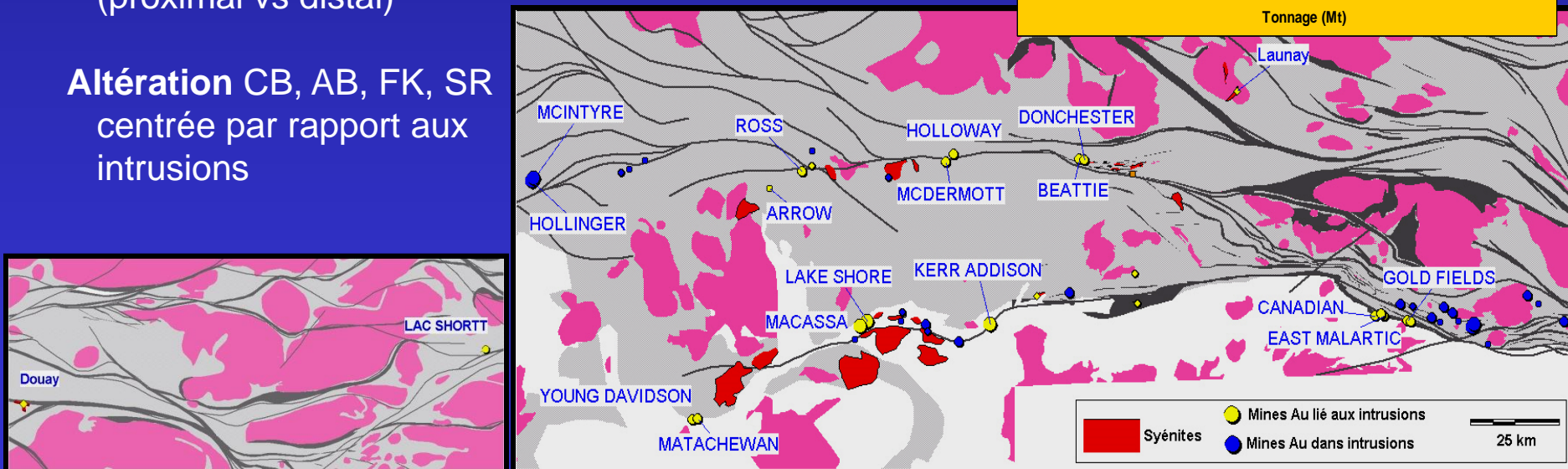
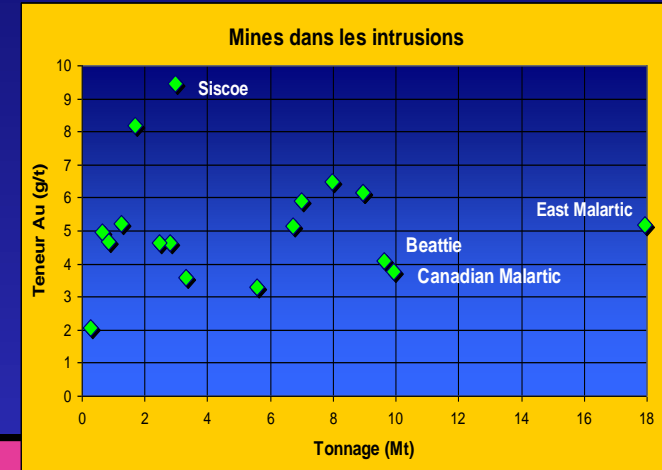
Caractéristiques de l'or lié aux intrusions alcalines

Failles majeures (Cadillac – Porcupine Destor), sédiments type Timiskaming

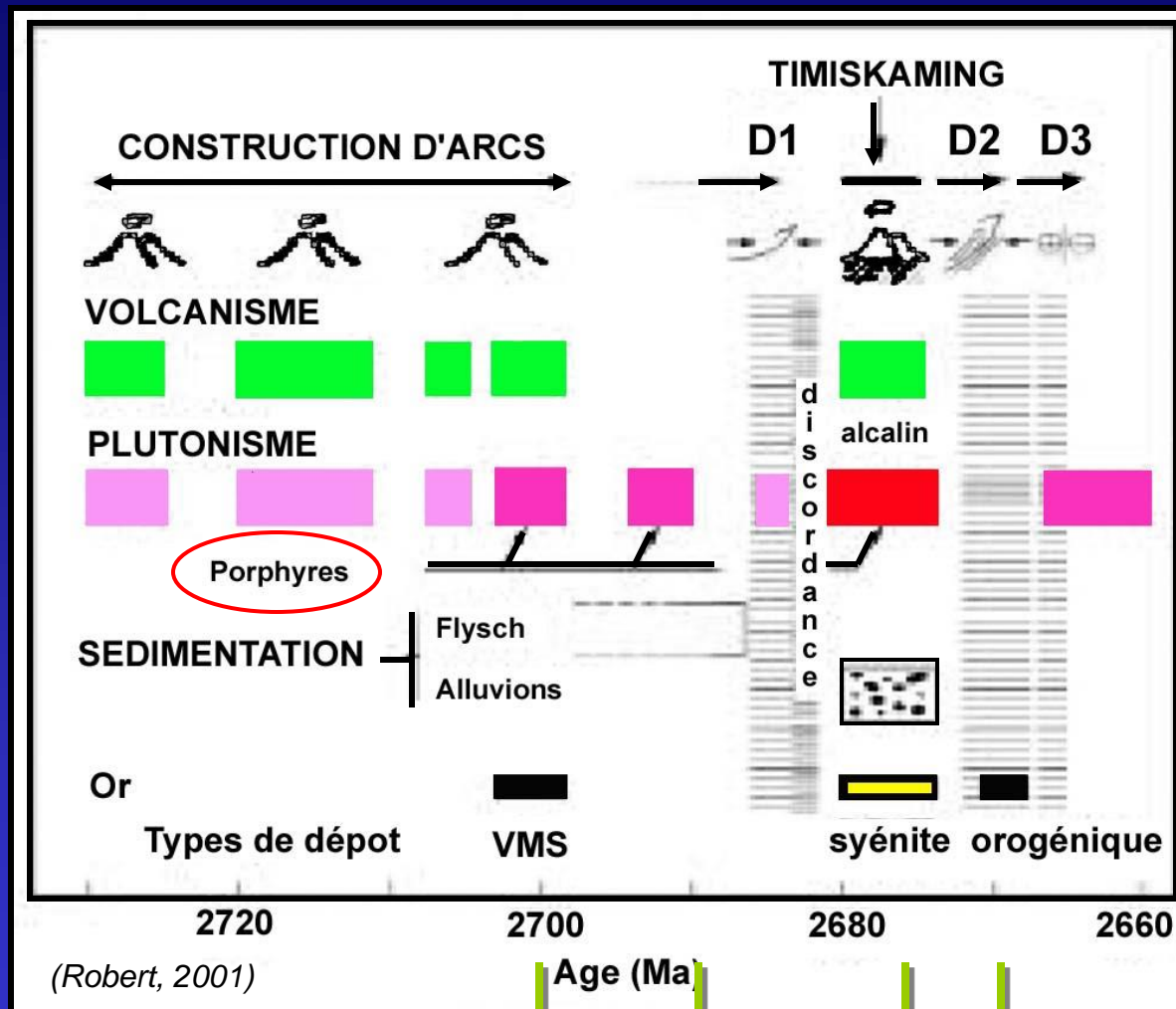
Petites intrusions et dykes, monzonite à Qz ou syénites, syn à tardi-tectoniques, associées aux bassins sédimentaires

Minéralisation disséminée et stockwerks QZ-CB-FK, ('sheeted veins' absentes) dans intrusions ou en marge, contacts lithologiques, et failles loin des intrusions (proximal vs distal)

Altération CB, AB, FK, SR centrée par rapport aux intrusions



Or associé aux SYÉNITES - Abitibi



Troilus
Don Rouyn

Kiena

Malartic
Sigma

Type et nature des intrusions hôtes

Type	I Ignée	A Anorogénique	S Sédimentaire
Composition	Tonalite, diorite à monzogranite	Syénite, monzonite, granite à biotite	Granite à 2 micas, leucogranite
Tectonique	Anté-orogénique	Tardi à post-orogénique	Syn à post-orogénique
Morphologie	Intrusions multiples	Petites intrusions, multiples injections, de courte durée	Intrusions multiples, plutons, diapires
Altération	Sodique	Potassique	
Minéralisation	Porphyres, filons	Veines, stocwerks, diatrèmes, plugs	
Exemples archéens	Troilus, Pearl Lake	Lamaque, Camflo, Douay, Malartic	Launay

Or et intrusions - ABITIBI

HOLLINGER-McINTYRE
(Timmins)

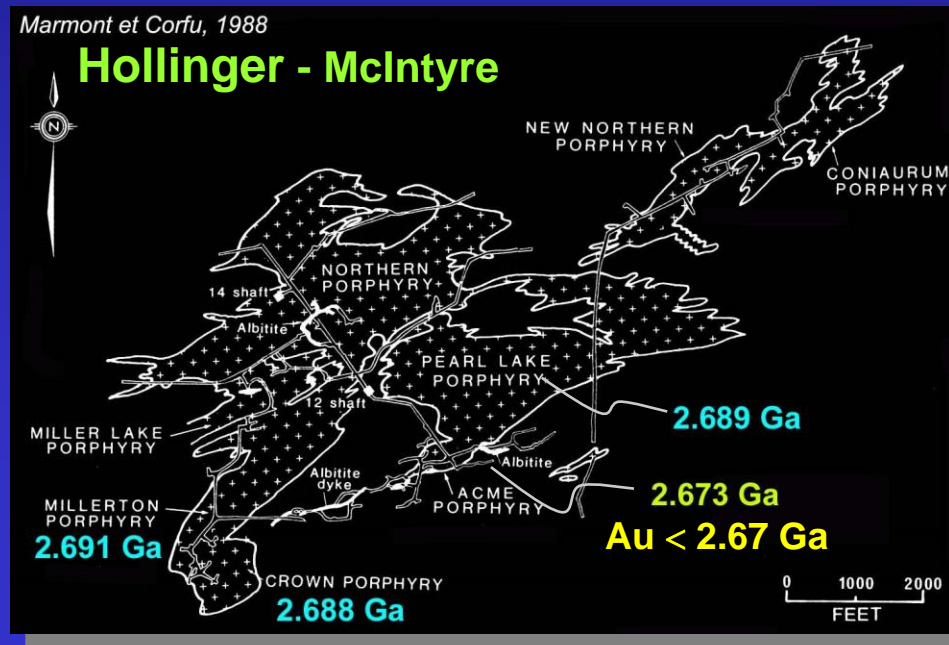
1089 t Au (@ 10 g/t Au)
Basaltes
Porphyres Qz-Fp
Au-(Ag) (Cu-Au)

KIRKLAND LAKE
(Kirkland Lake)

872 t Au (@ 15,4 g/t Au)
Syénites
(Sédiments, tufs)
Au-Te-Mo

MALARTIC
(Malartic)

162 t Au (@ 4,4 g/t Au)
Monzodiorite-Syénites
Sédiments (Diorite)
Au-Te-Cu-Mo

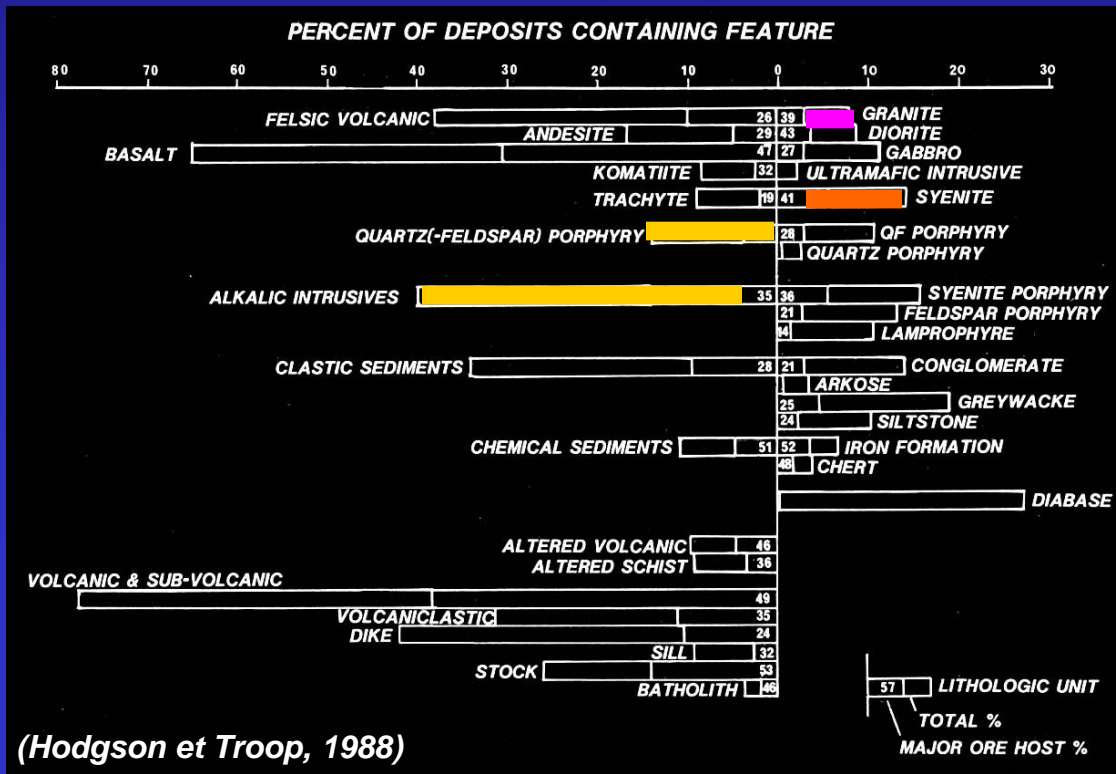


TIMMINS – KIRKLAND LAKE

25% de la production total Au est située dans des intrusions felsiques, alors qu'elles représentent < 4% de la surface des ceintures

70 % des mines ont de petites intrusions mafiques à felsiques dans leur environnement

- Plus forte concentration de porphyres près des mines que dans le reste de la ceinture
- Corrélation positive entre la présence de porphyres QZ-FP et le contenu en Au des dépôts

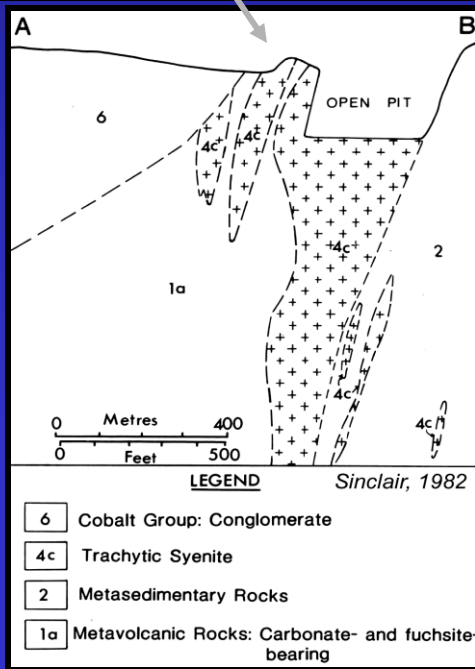
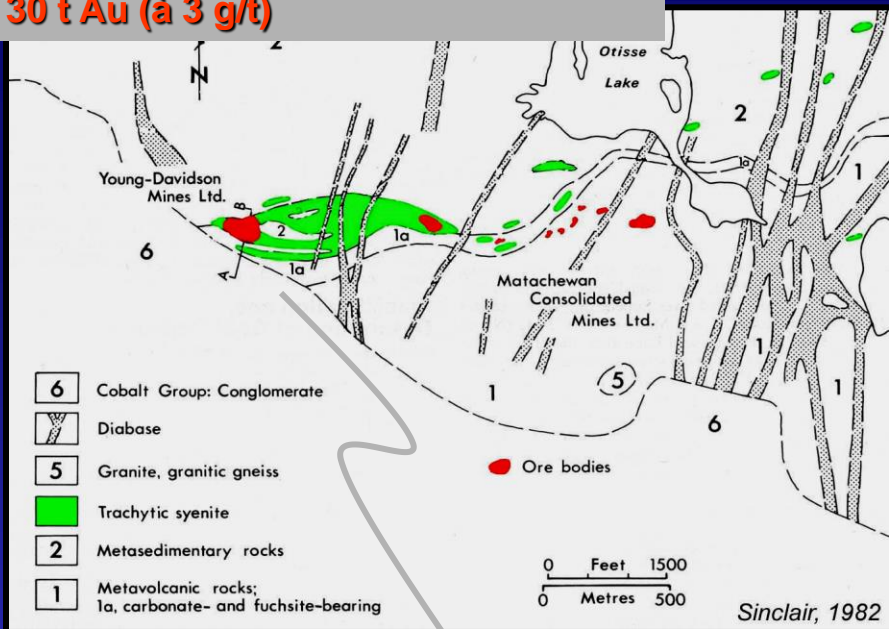


Porphyres à QZ-FP associés à des dépôts plus riches et à un assemblage de Scheelite-Molybdène-Tourmaline

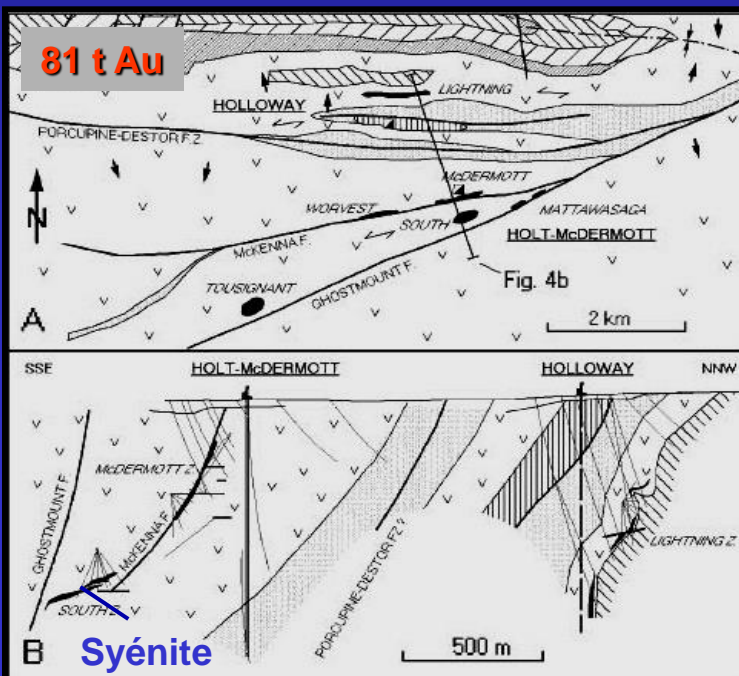
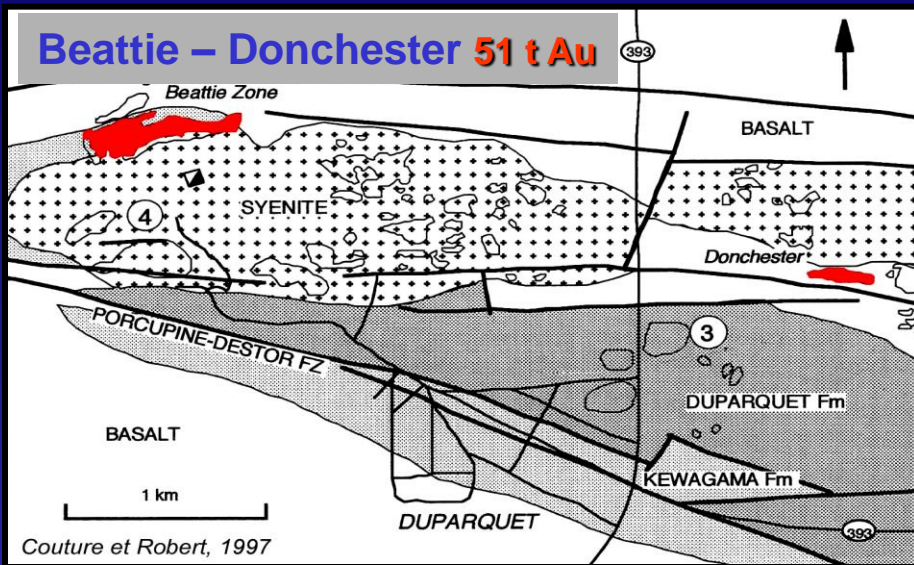
Porphyres sous-saturés (alcalines) n'ont pas d'incidence sur contenu en Au; ils sont par contre plus souvent contemporains de l'or avec un assemblage de Galène-Molybdène-Tellure

Young-Davidson – Matachewan

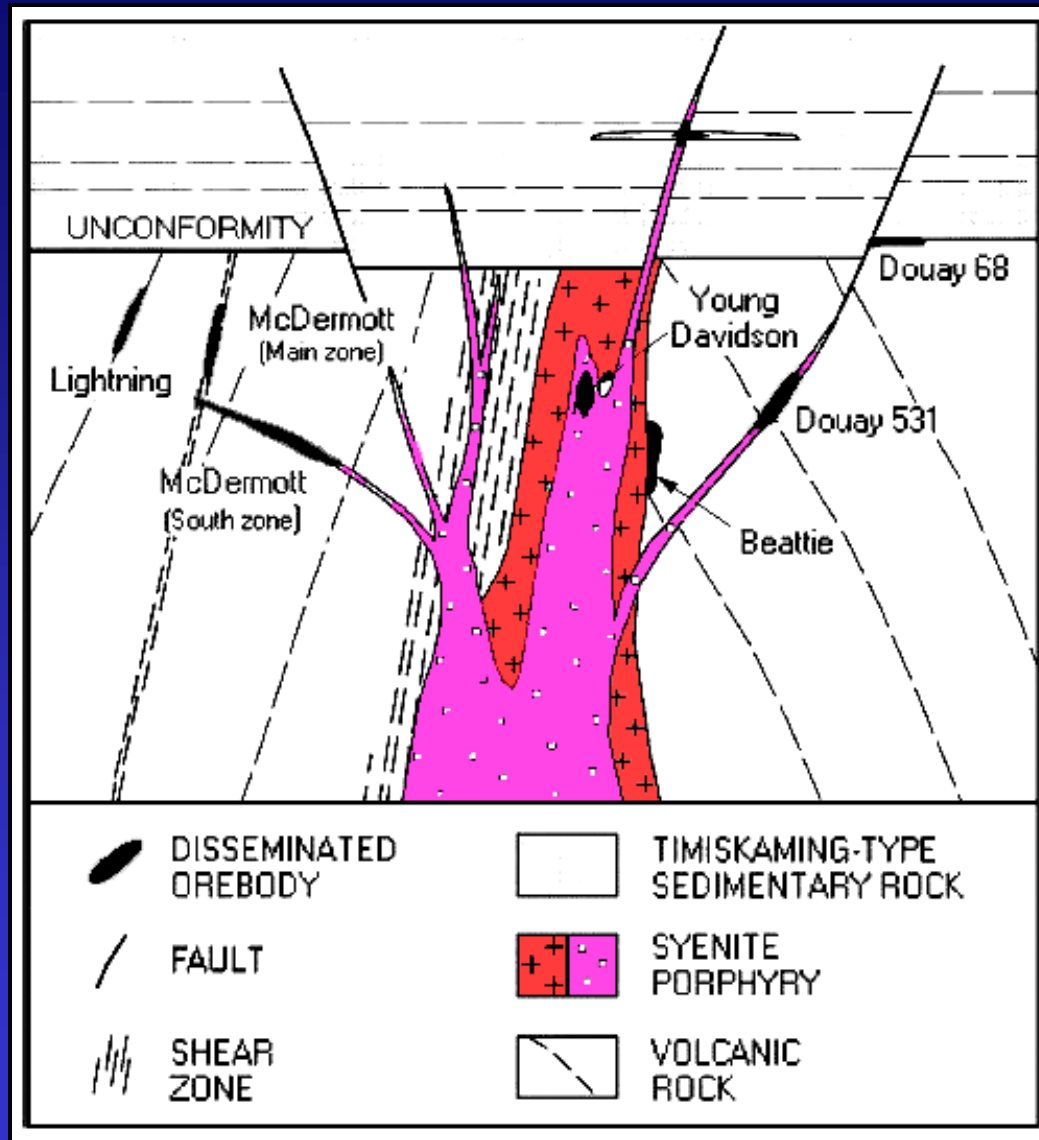
30 t Au (à 3 g/t)



Or et syénites en Abitibi

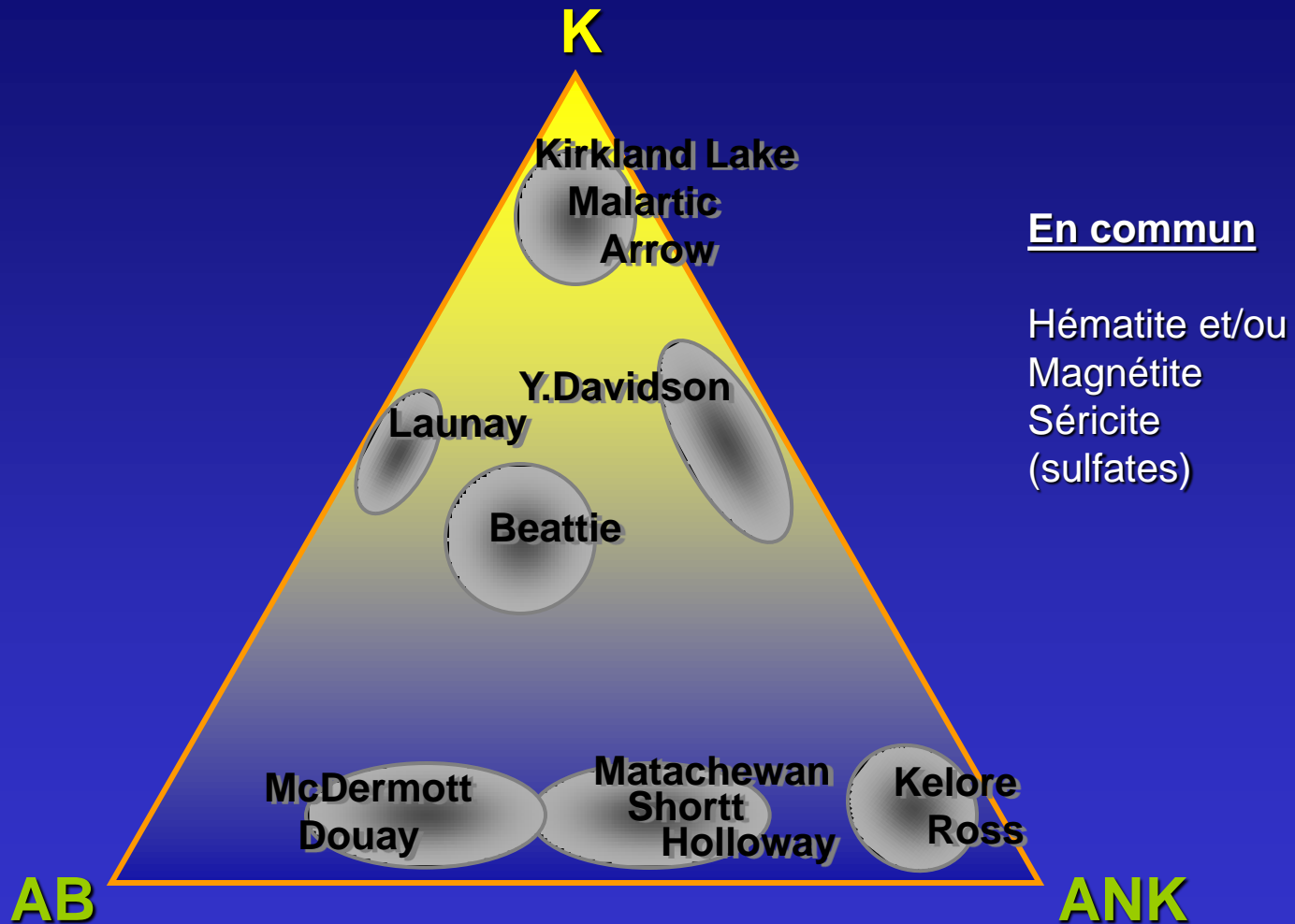


Modèle pour l'or associé aux syénites



(Robert, 2001)

Altérations associées (Abitibi)



Conclusions Au dans les intrusions - Monde

Chaque ceinture de roches vertes présente ses particularités;

Zimbabwe ⇒ Or synchrone aux granites

Australie ⇒ Or tardif par rapport aux granites et aux porphyres

Abitibi ⇒ Or synchrone ou tardif par rapport aux porphyres

⇒ **Pourquoi pas d'Or lié aux Granites en Abitibi ?**

Malgré qu'il existe une corrélation positive entre la présence de porphyres et les dépôts aurifères, il semble que dans la majorité des cas les intrusions sont souvent antérieures à l'or et la déformation et qu'il agissent comme un piège rhéologique et chimique.

MALARTIC

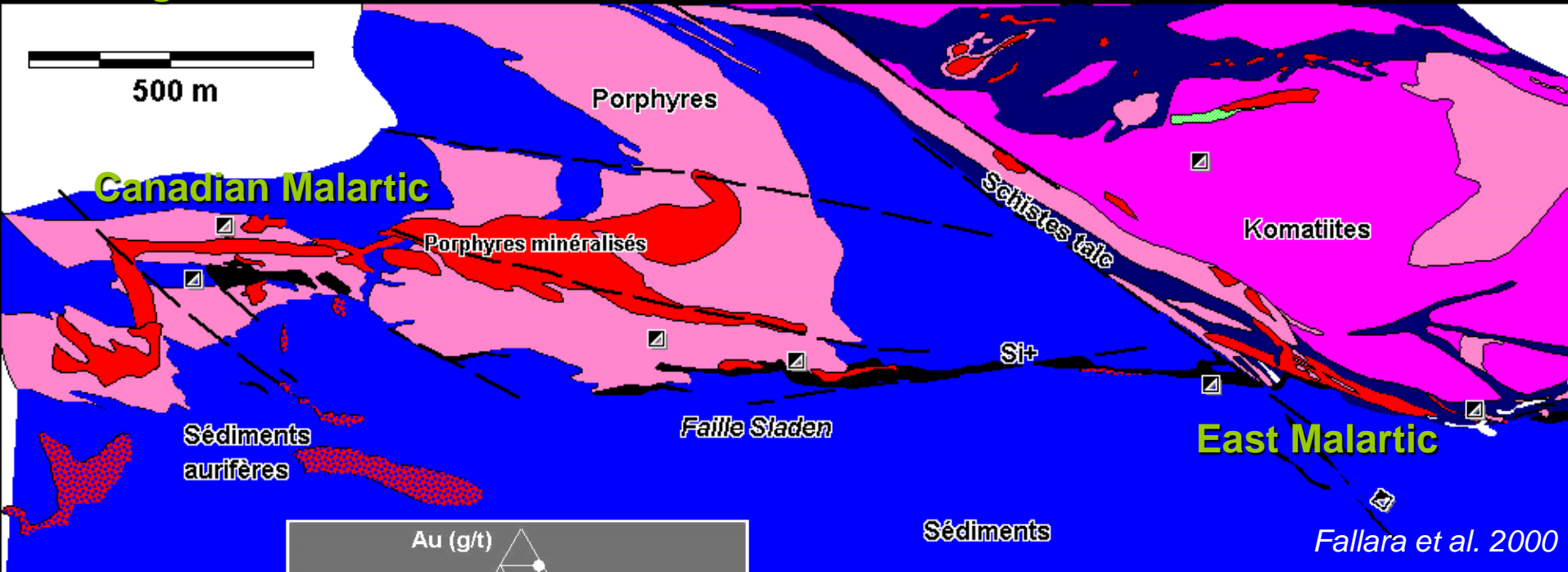
Objectifs:

- Signature **géophysique et géochimique des porphyres**
- **Altérations** hydrothermales à l'échelle de la séquence des mines
- **Méthodes discriminantes** pour l'altération et la minéralisation associées aux porphyres
 - ⇒ Corrélations sur les éléments majeurs et traces
 - ⇒ Analyse en composantes principales
 - ⇒ Analyse spatiale de l'altération

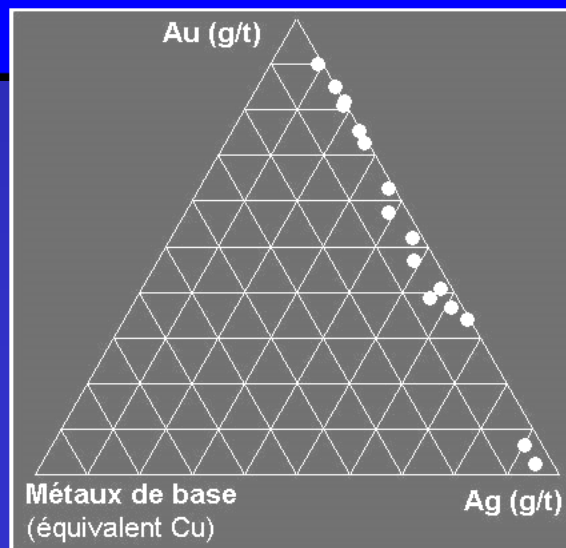
But: Outils de caractérisation applicable pour l'exploration

Minéralisation – Malartic

Géologie du niveau 4 700'

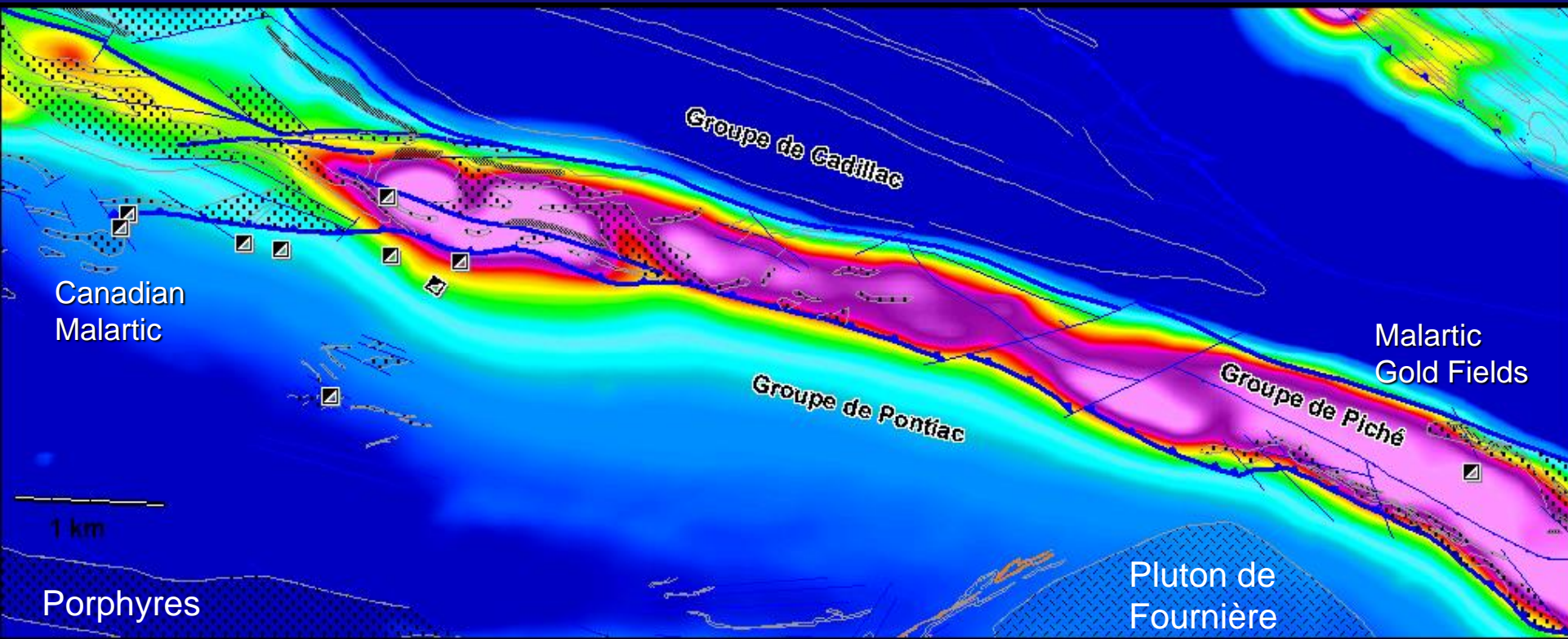


Fallara et al. 2000



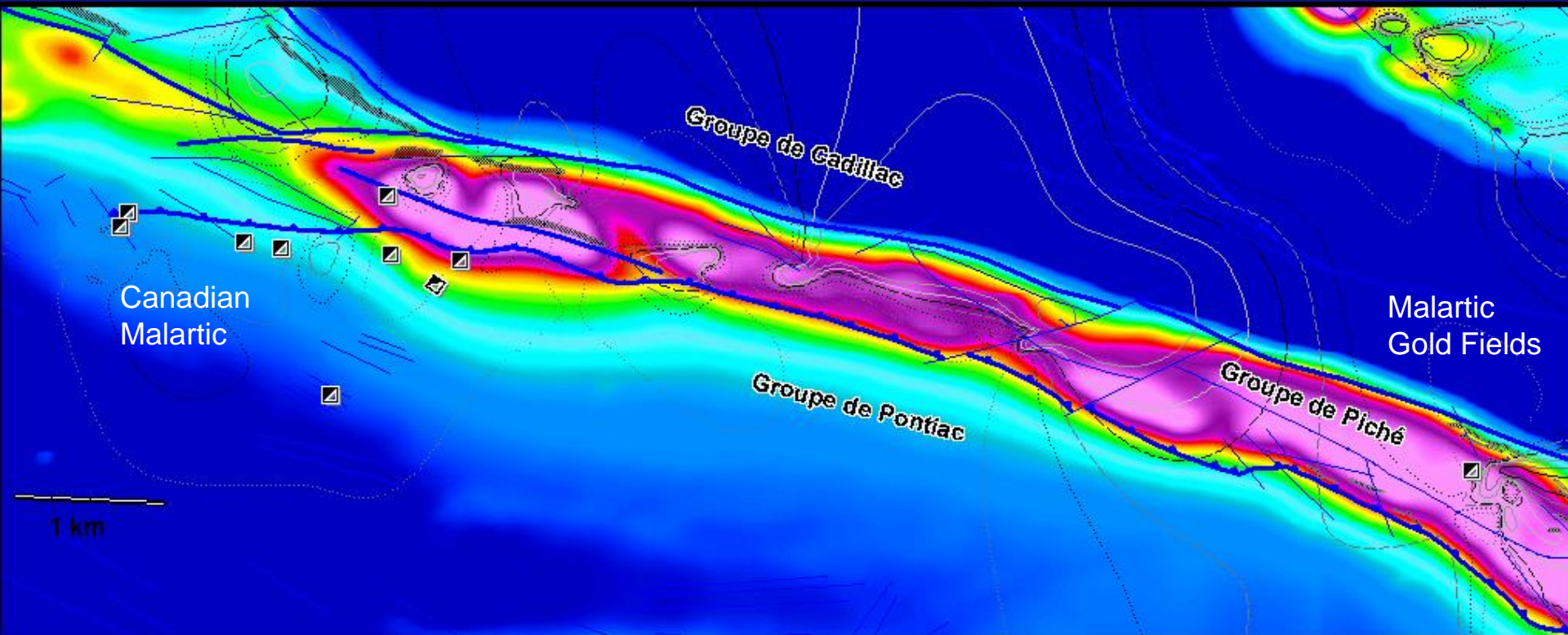
East Malartic	88,2 t Au
Barnat-Sladen	37,7 t Au
Canadian Malartic	33,5 t Au

Porphyres et magnétisme - séquence des mines

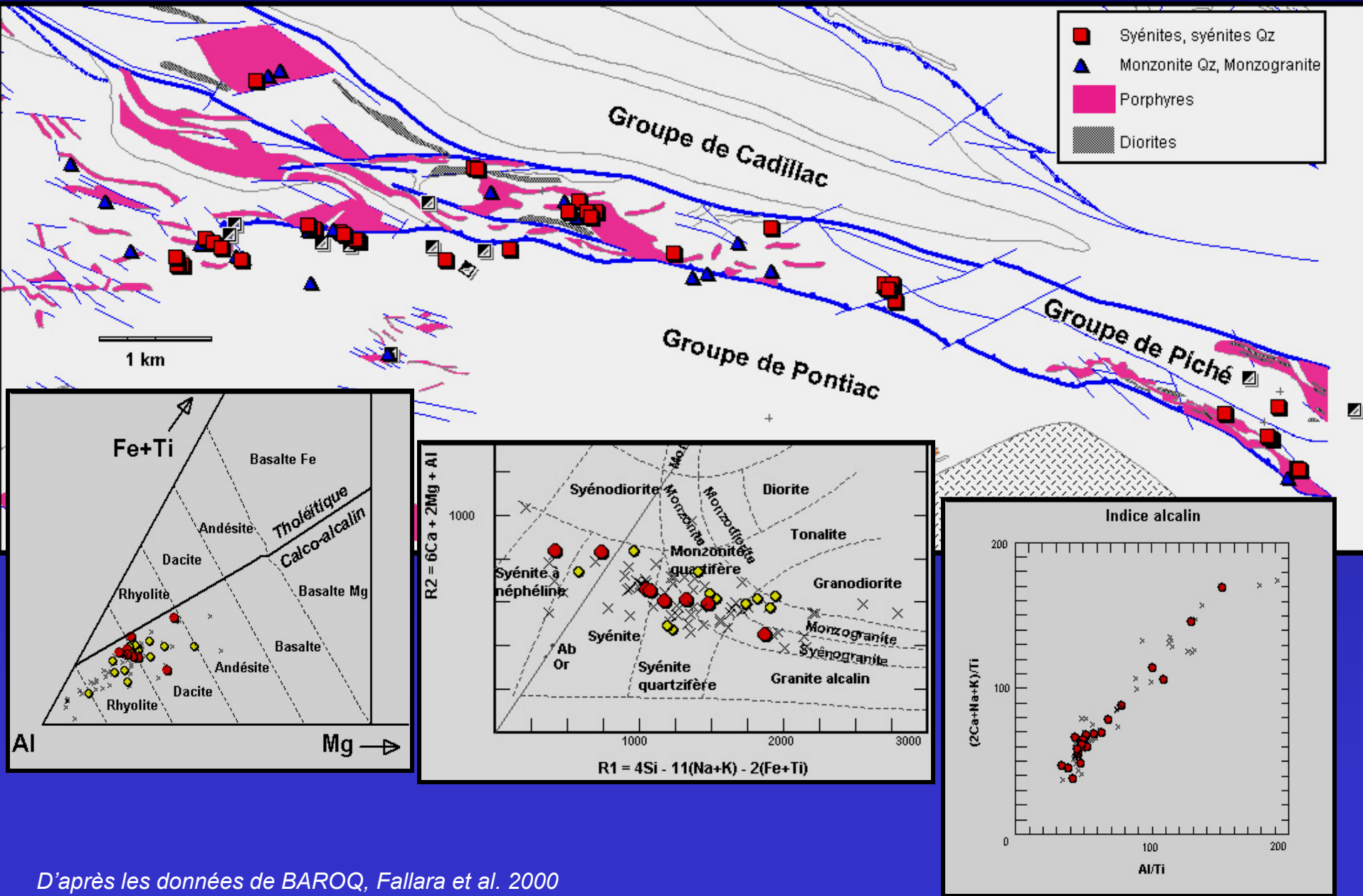


Magnétisme et magnétite normative

Lignes de contour de la **Magnétite normative** sur champ magnétique



Géochimie des porphyres – séquence des mines



Altération porphyres – échelle régionale

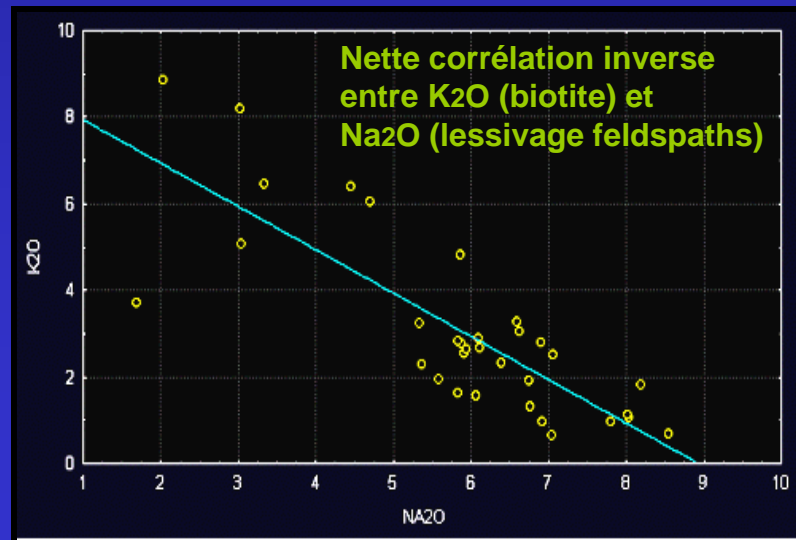
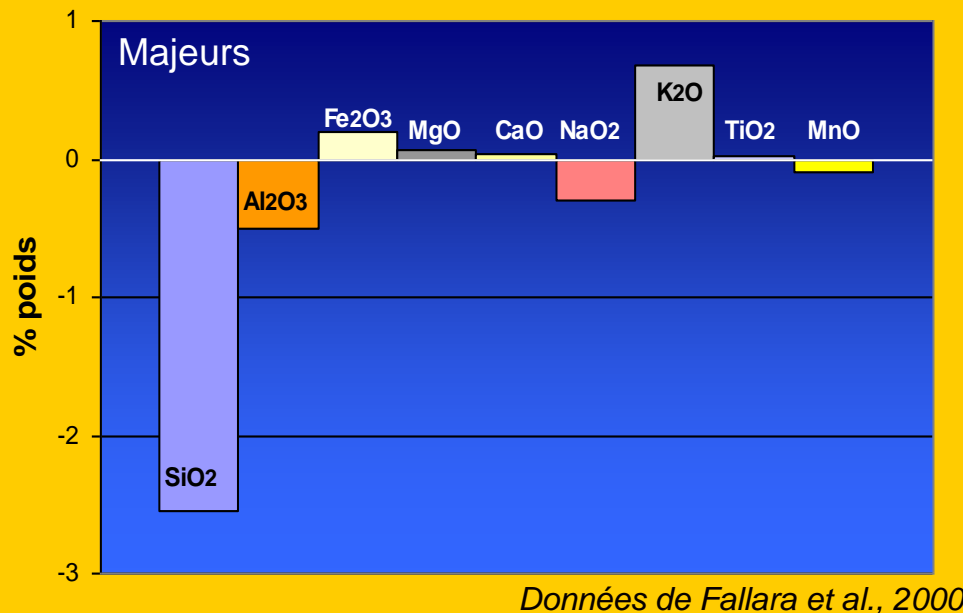
PORPHYRES FRAIS

Plagio matrice	30-45%
Plagio phénocrx	30-75%
An (calcicité)	17-25
Microcline	30-35%
Feldspath K	-
Biotite	3%
Muscovite	3%

PORPHYRES ALTÉRÉS

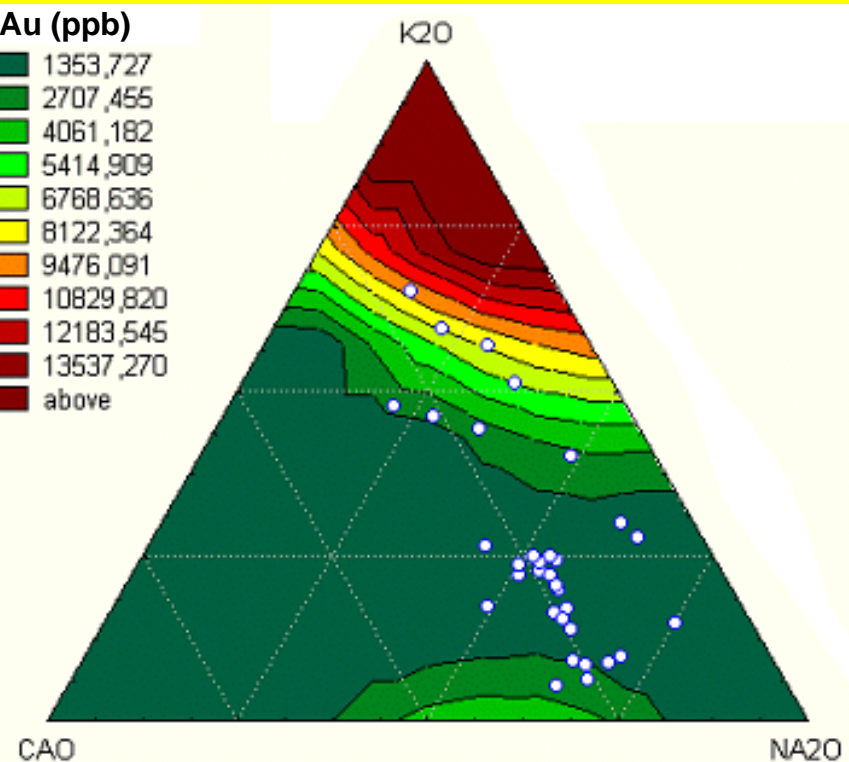
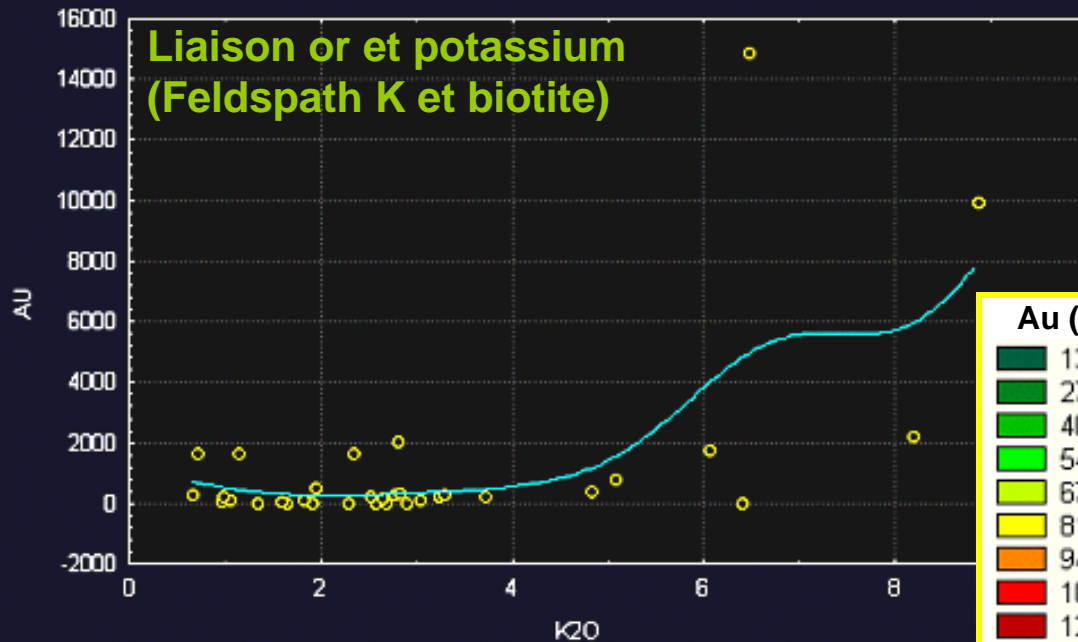
Plagio matrice	15-55%	Variable
Plagio phénocrx	45-85%	(↑)
An (calcicité)	30-40	↑
Microcline	3%	↓
Feldspath K	<15%	↑
Biotite	<25%	↑
Muscovite-séricite	<20%	↑
Quartz	<50%	↑
Chlorite	<40%	↑
Hornblende	10%	↑
Py + Hem	<8%	↑
Carbonates	5%	↑

Gains et pertes des porphyres altérés
(Échelle régionale - carte 32 D01-200)



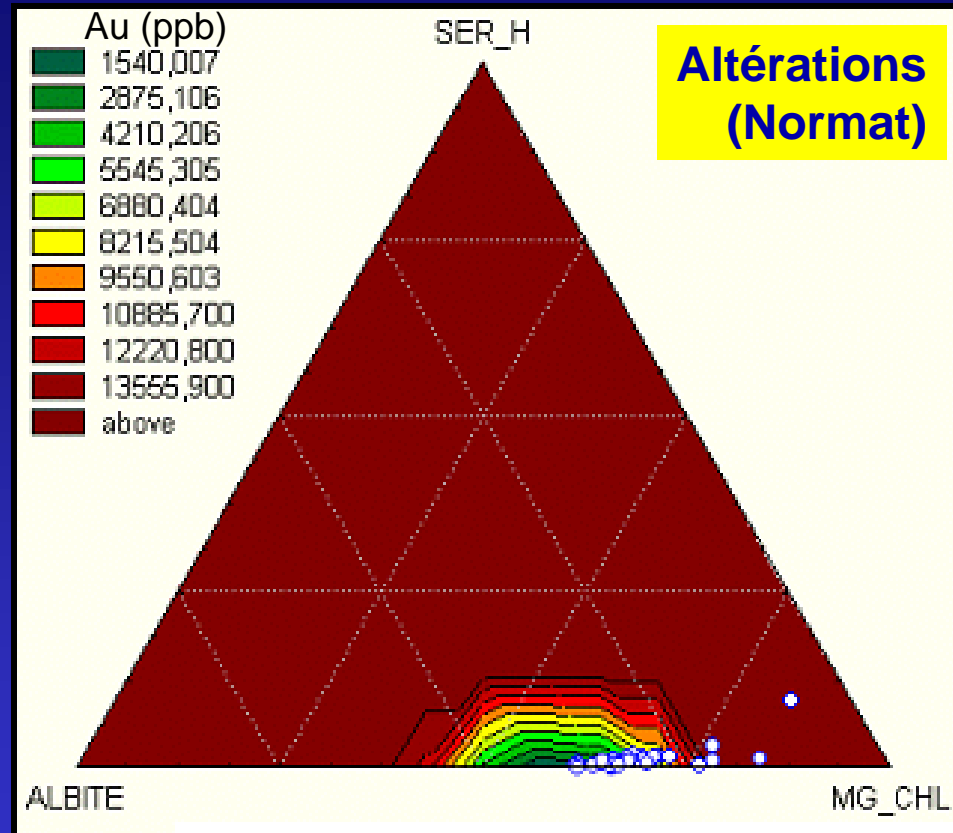
A quoi est associé l'or ?

**Liaison or et potassium
(Feldspath K et biotite)**



**Échantillons les plus riches
en or = enrichis en Potassium**

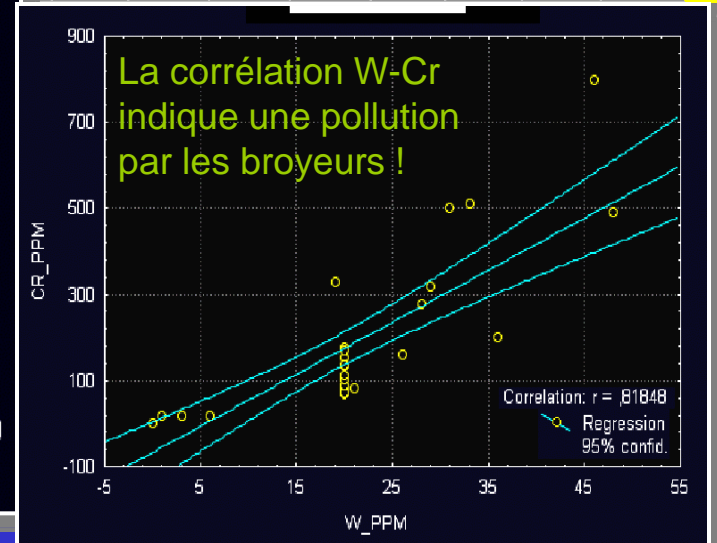
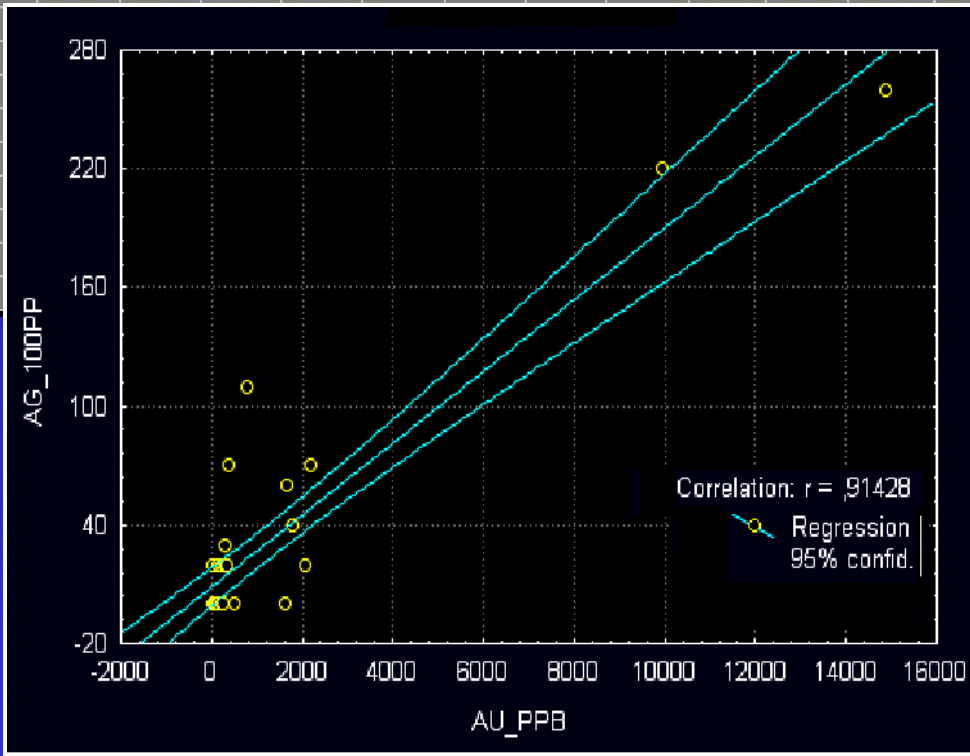
Relations or et minéraux normatifs



L'or est associé à la phase Chlorite-Mg (biotite)
plus qu'à la Séricite

Tableau de corrélations - Éléments traces

Variable	AG	AS	AU	BA	CO	CR	CU	GA	LA	LI	MO	NB	NI	PB	SB	SR	U	V	W	ZN	ZR
AG	1	0,2	,94*	-0,33	0,24	0,24	-0,2	-0,2	-,56*	-,50*	0,15	-0,29	-0,03	,80*	0,2	0,01	-0,2	-0,3	0,21	0,02	-0,34
AS		1	0,13	-,82*	0,02	,53*	0,08	-,96*	-0,38	-,53*	0,01	-,94*	-0,29	0,02		-,66*		-,57*		-,50*	-,93*
AU			1	-0,24	0,07	0,04	-0,09	-0,09	-0,42	-,55*	-0,11	-0,17	-0,18	,73*	0,1	0,13	-0,1	-0,15	0,13	0,01	0,01
BA				1	-0,13	-,65*	-0,18	,83*	,57*	,65*	-0,13	,77*	0	-0,06	-,8*	,53*	,8*	,62*	-,82*	0,46	,72*
CO					1	0,47	0,05	0,04	-0,28	0,09	,83*	-0,09	,69*	0,25	0	-,015	0	0,12	0,02	,61*	0,06
CR						1	-0,04	-,49*	-,50*	-0,19	0,43	-,64*	,52*	-0,01	,5*	-,69*	-,5*	-,66*	,52*	-0,27	-0,29
CU							1	-0,12	0,41	0	-0,01	0,08	-0,08	-0,2	0,1	0,1	-0,1	0,25	0,09	0,04	-0,02
GA								1	0,39	,53*	-0,02	,88*	0,35	-0,01		,53*		,60*	-,96*	,52*	,93*
LA									1	,55*	-0,22	0,4	-0,29	-0,4	-0,4	0,08	0,4	0,36	-0,4	0,16	0,41
LI										1	0,3	,51*	0,33	-0,3	-,5*	0,11	,5*	0,38	-,52*	0,43	,63*
MO											1	-0,06	,67*	0,18	0	-0,15	0	-0,04	0,01	,56*	0,09
NB												1	0,18	-0,08	-,9*	,78*	,9*	,73*	-,92*	,52*	,83*
NI													1	0,01	-0,3	-0,1	0,3	0,03	-0,3	0,38	,51*
PB														1	0	0,17	0	0,01	0,02	0,1	-0,19
SB															1	-,66*	-,10*	-,57*		-,50*	-,93*
SR																1	,7*	,70*	-,63*	0,45	0,41
U																	1	,57*		,50*	,93*
V																		1	-,55*	,62*	0,43
W																			1	-,49*	-,94*
ZN																					
ZR																					



0,44
1

Analyse en composantes principales

Variable	F1	F2	F3	
SIO2	-,766313 *	-0,271636	-0,441859	
AL2O3	0,220586	,749186 *	0,125236	
FE2OT	,878817 *	0,054948	0,335223	
MGO	0,531049	0,292056	0,549771	
CAO	,737548 *	0,068691	0,319469	
NA2O	0,152916	,868589 *	0,056156	
K2O	-0,063794	-,836648 *	0,075502	
TIO2	,953066 *	0,002992	0,040775	
MNO	,797764 *	0,017896	0,348967	
P2O5	,836966 *	0,022833	-0,075348	
LOI	0,312791	-0,470693	0,656594	
AG	-0,020084	-,737585 *	-0,147607	
AU	0,031339	-,770060 *	0,036723	
BA	0,116957	0,301229	-,780000 *	
CU	0,342779	0,193053	0,084581	
LA	0,601974	0,577074	-0,324463	
NI	0,050921	0,177998	0,340233	
PB	0,053421	0,073393	0,163759	
SR	-0,089529	0,023886	-,771705 *	
V	0,567179	0,001853	-0,1822	
Expl.Var	5,434859	4,040619	2,811962	
Prp.Tot	27%	20%	14%	61%

F1

Si opposé à Fe, Ca, Ti, P₂O₅

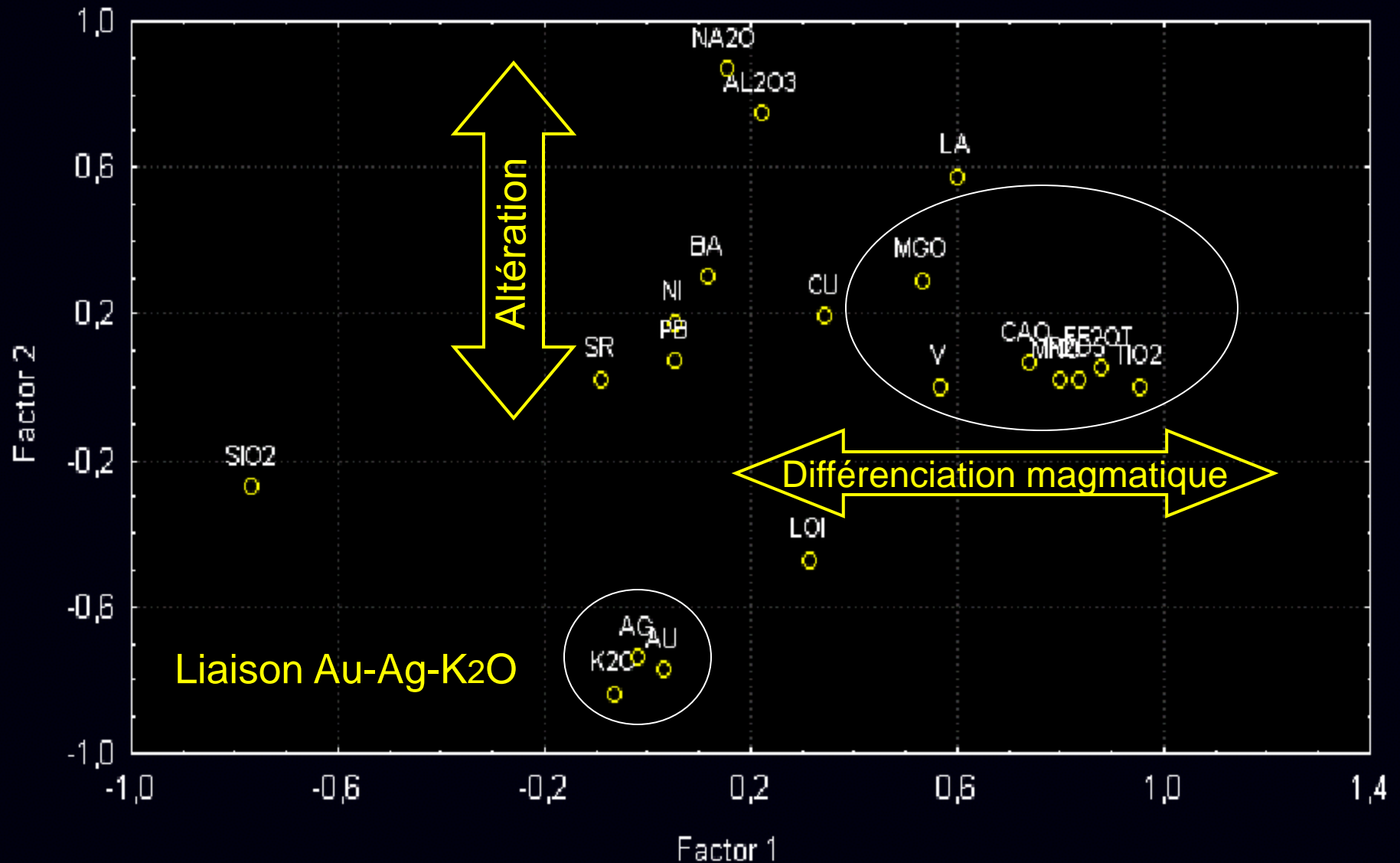
F2

Al₂O₃, Na₂O
opposés à K₂O, Au, Ag

F3

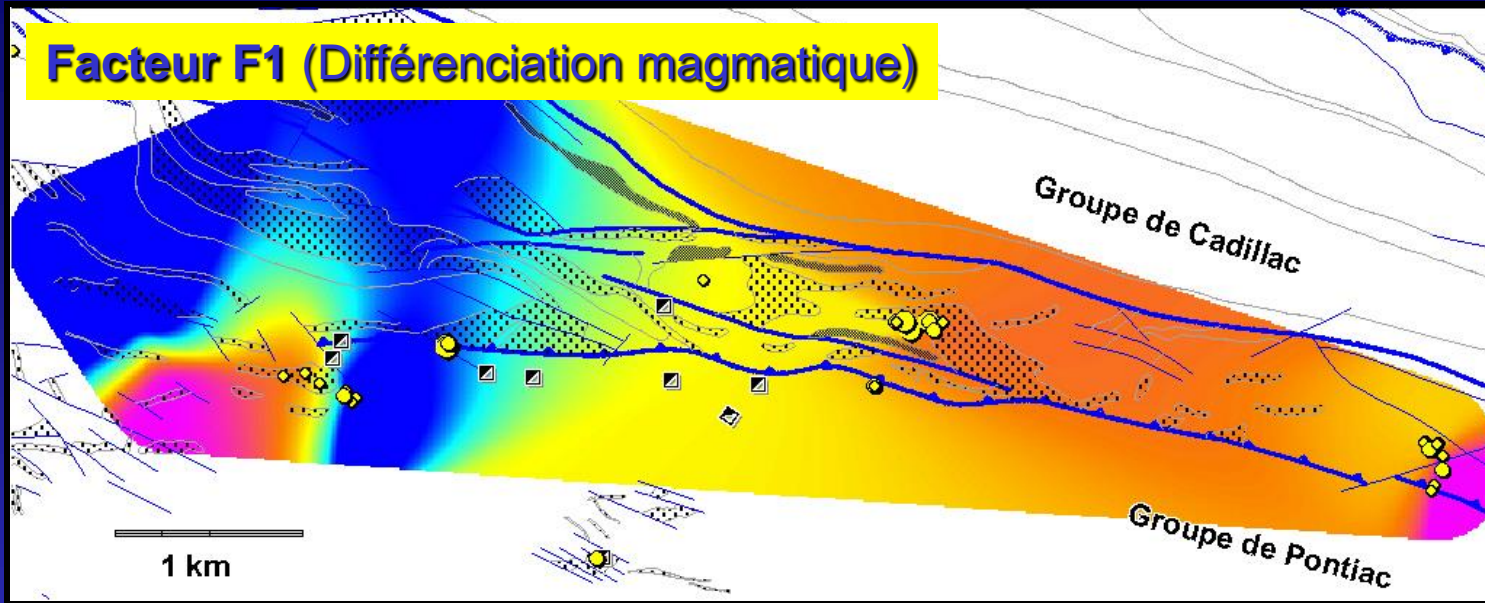
Ba, Sr opposés à LOI

Diagramme Facteur 1 vs Facteur 2

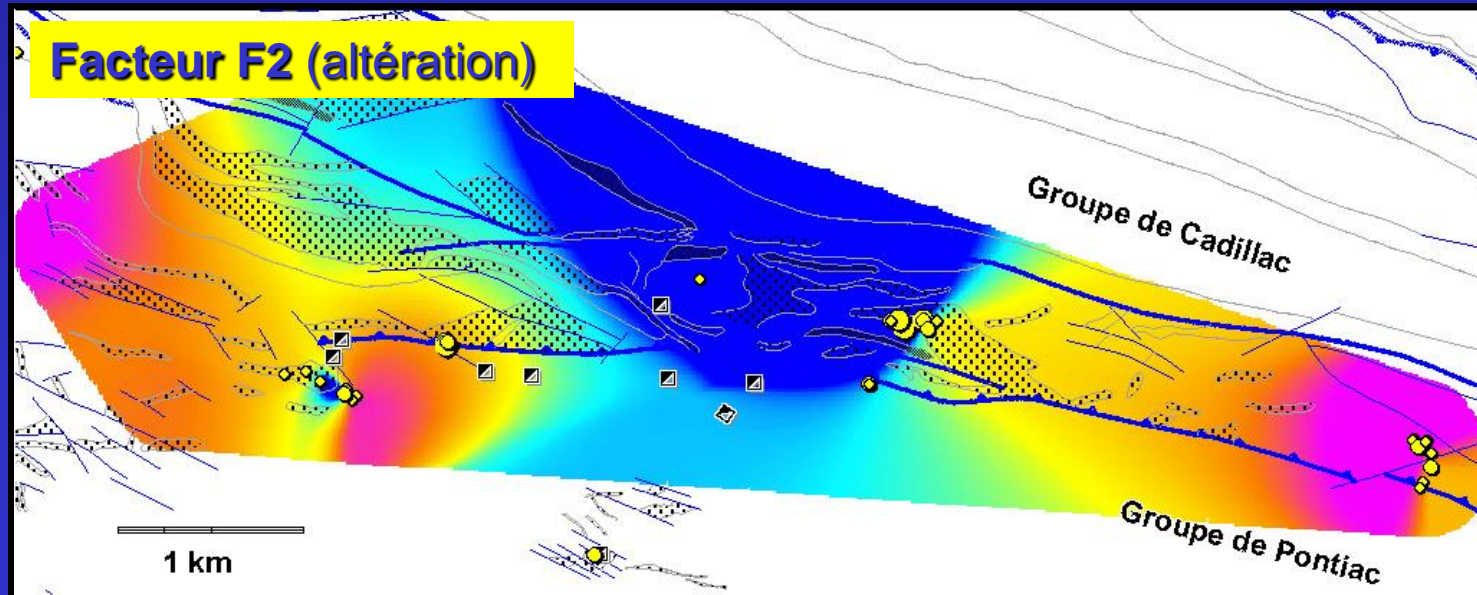


Analyses spatiales

Facteur F1 (Différenciation magmatique)

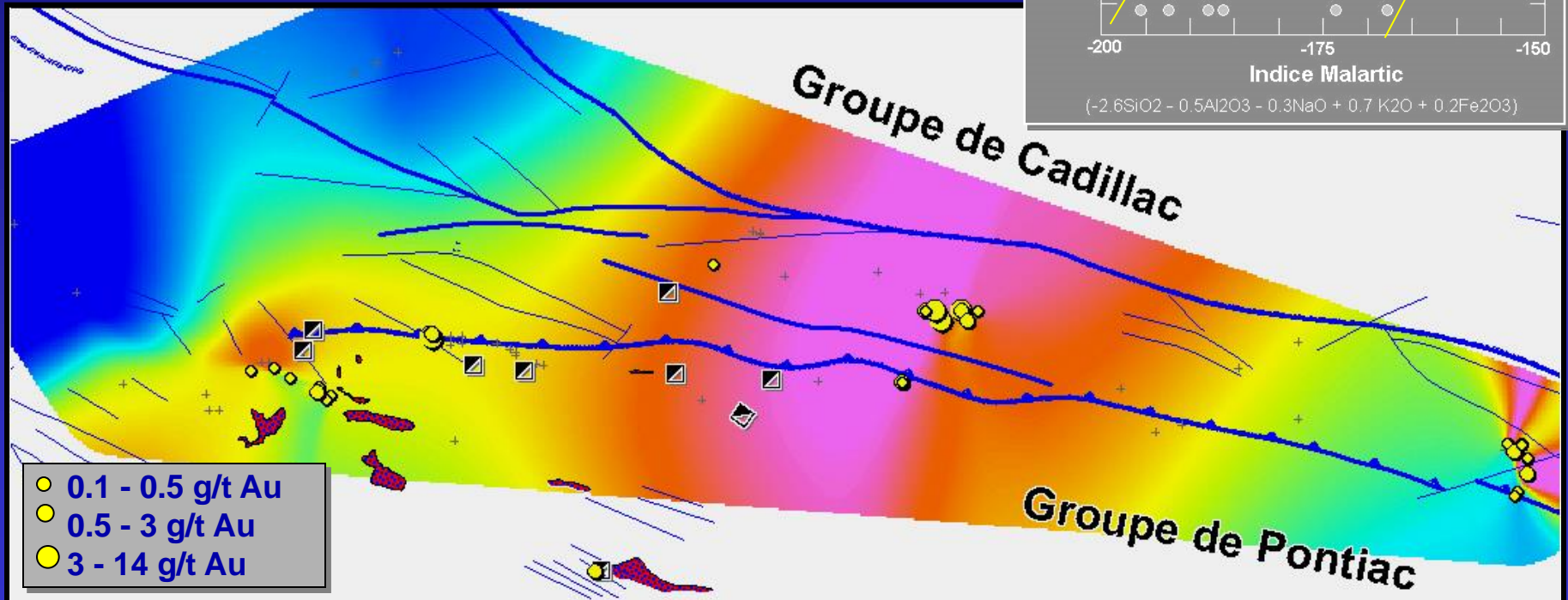
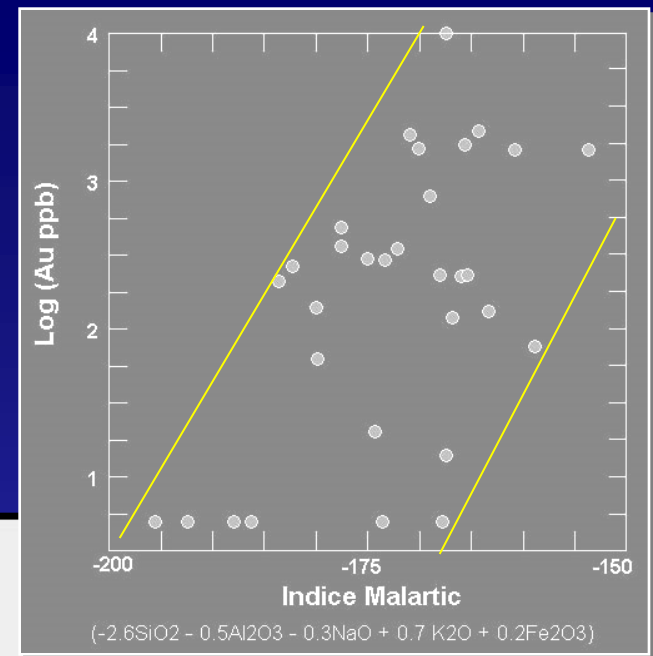


Facteur F2 (altération)

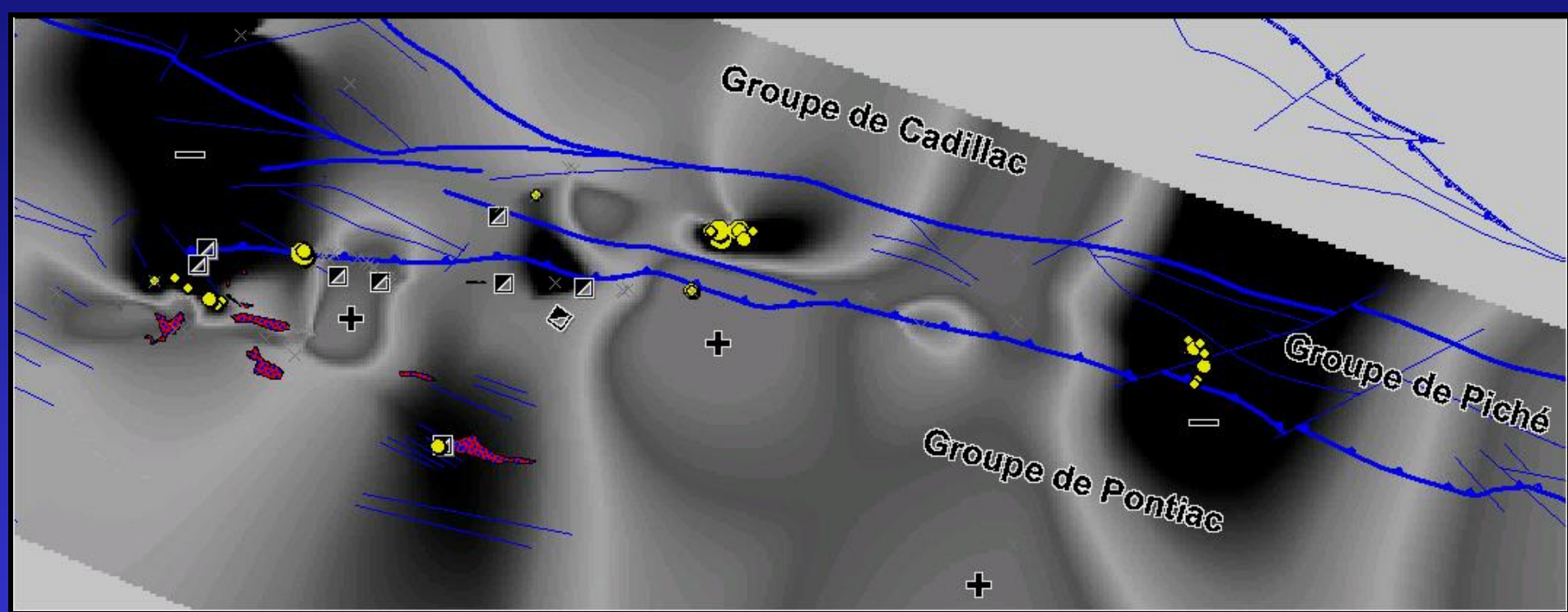


Analyses spatiales

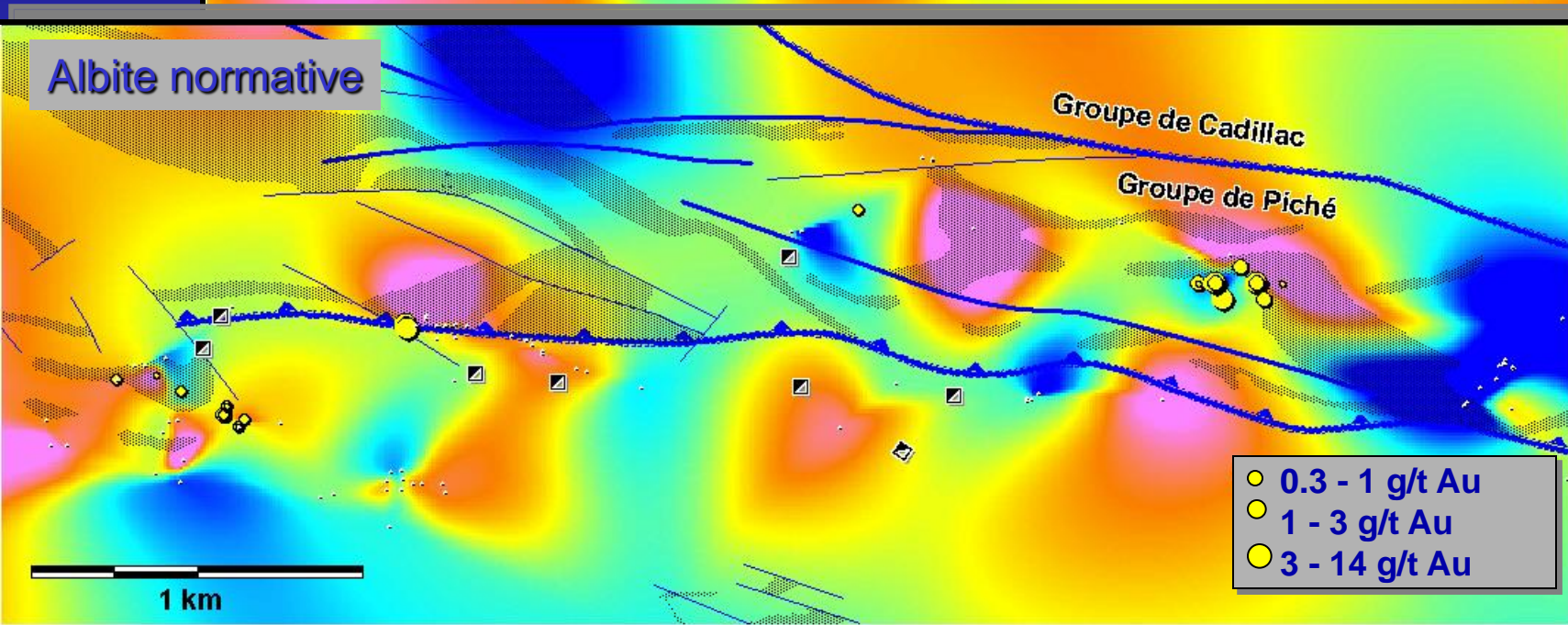
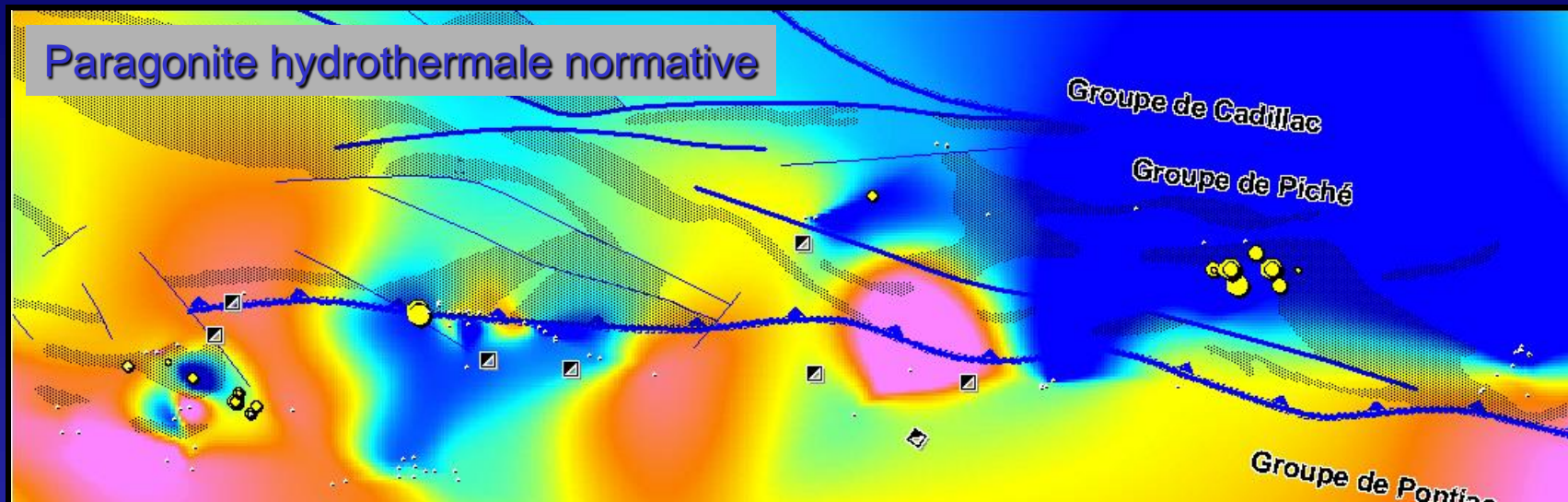
Indice *Malartic* dans les porphyres



Dilution du zirconium dans les intrusions et zones aurifères



Altération et Normat – séquence des mines



Conclusion Porphyres - Malartic

- Le mag et l'albite normative sont de bons discriminants pour localiser les porphyres, en particulier dans le groupe de Piché
- La base de données est incomplète et partiellement inutilisable (contamination, méthodes analytiques...)
- Pas d'association avec une pétrographie particulière pour l'or : Porphyres sont des syénites – monzonites peu altérés
- Principale altération est potassique, s'accompagne du lessivage des alcalins et de la dilution du zirconium
- Or clairement relié à la biotitisation et non à la séricite
- Paragonite hydrothermale se corrèle à l'or