

Atelier CONSOREM Québec Exploration 2010

Évaluation quantitative des contrôles géologiques des minéralisations aurifères : exemple de Val d'Or

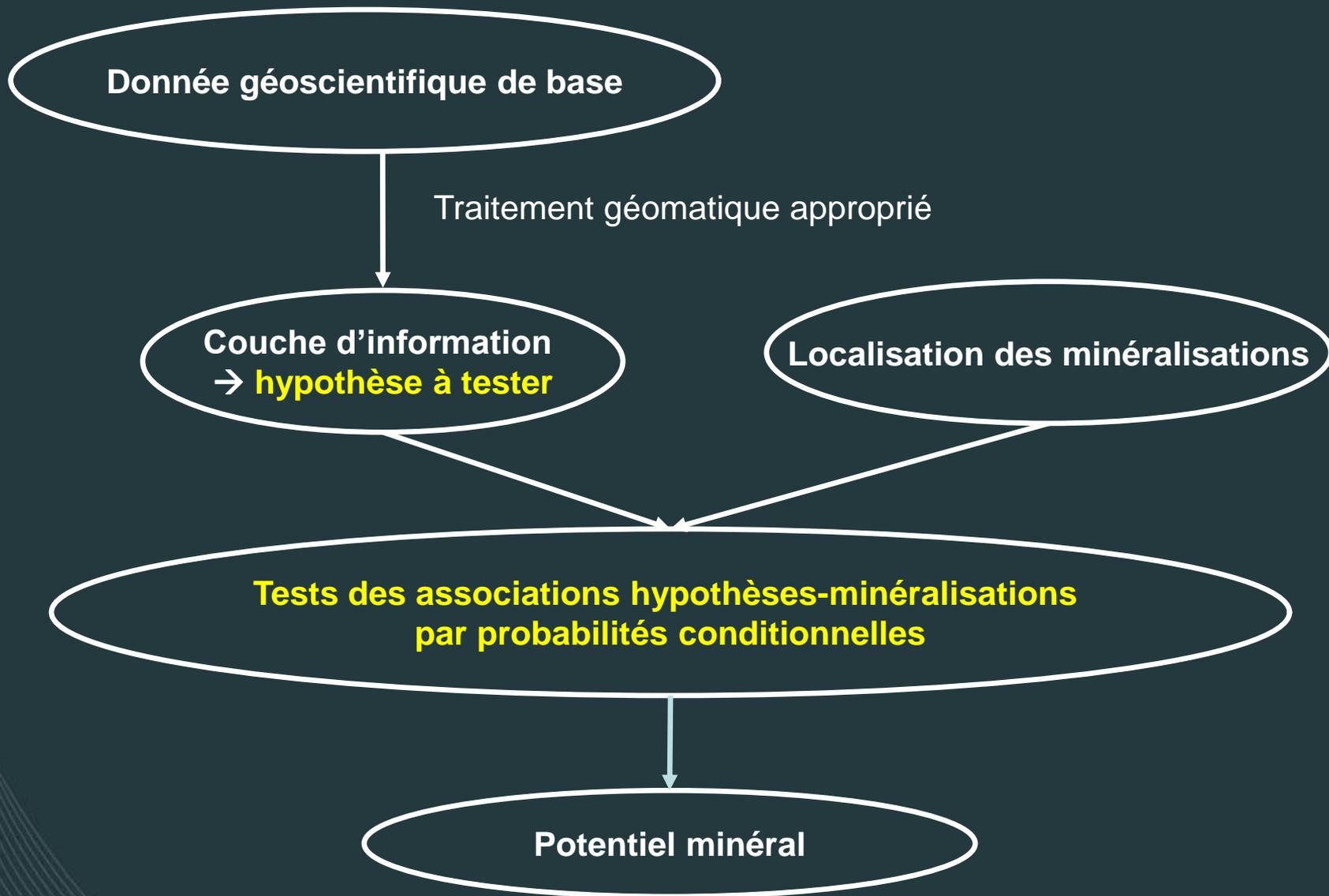
Présenté par: Sylvain Trépanier



Introduction

- Quels sont les contrôles sur la localisation des minéralisations d'un certain type dans une région donnée?
- Différentes façons de tenter de répondre à cette question très importante...
 - Étudier en détail quelques gisements (études métallogéniques) et généraliser les contrôles à l'ensemble de la région
 - Regarder simultanément tous les gisements connus dans une région et tenter de trouver quels sont leurs contrôles communs → **tests d'hypothèses**
 - Approche qualitative
 - **Approche quantitative → région avec plusieurs gisements**
- Évaluation quantitative des contrôles géologiques des minéralisations de quartz-carbonates-tourmaline dans la région de Val d'Or

Méthode de traitement



Logiciel CONSOREM

Évaluation de potentiel minéral dirigée

Projet Couches évidentielles Carte Mapinfo Statistiques spatiales Évaluation du potentiel Aide

Carte des couches de l'évaluation de potentiel

Calcul des probabilités conditionnelles de gisements

Nom de la couche matricielle évidentielle
Dist_Failles_89_137

Sélection automatique des intervalles des classes

Nombre d'intervalles: Nombre d'éléments égaux Intervalles de valeurs égales

Sélection manuelle des intervalles de classes

0 236 658 1434

(1) Contraste maximal pour le calcul de la favorabilité

(2) Contraste minimal pour le calcul de la favorabilité

	Classe	Nombre de Cellules	Nombre de gisements inclus	Cote	V
▶	0 - 236 --> 0	4525 (25%)	39 (58.2%)	4.207	0
	236 - 658 --> 0	4526 (25%)	14 (20.9%)	0.792	-0
	658 - 1434 --> 0	4526 (25%)	10 (14.9%)	0.525	-0
	1434 - 7095 --> 0	4526 (25%)	4 (6%)	0.19	-0

Projet actuel: C:\PotentielMineral\Projet\C:\PotentielMineral\Projet\monProjetEvaluation.pro

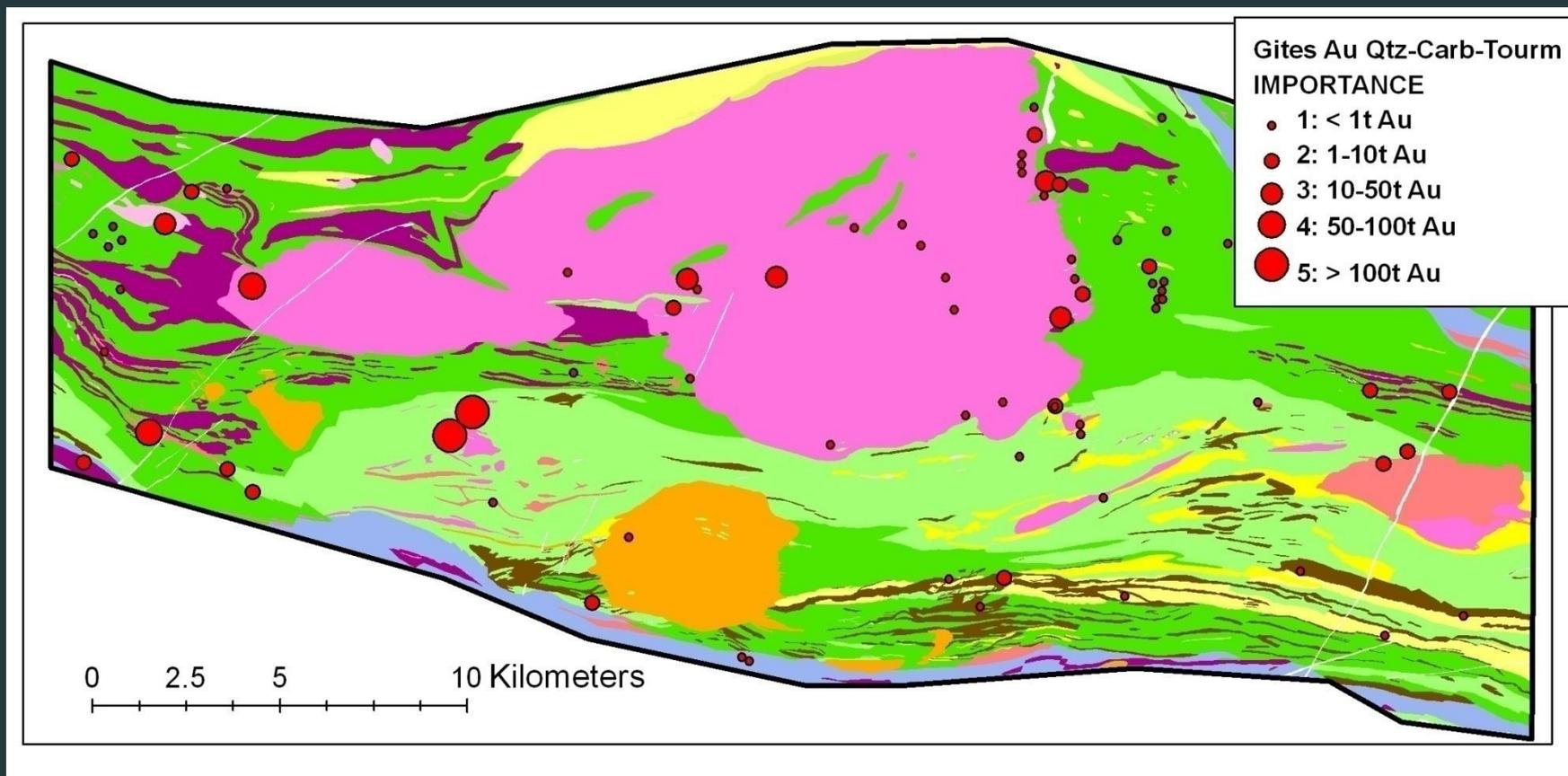
Plan de la présentation

- **Région d'intérêt, minéralisations considérées, données disponibles et hypothèses à tester**
- Évaluation des associations spatiales par probabilités conditionnelles
- Résultats des tests d'hypothèses sur les contrôles des minéralisations aurifères à quartz-carbonates-tourmaline à l'échelle du camp de Val d'Or
- Implications pour l'exploration à l'échelle du camp
- Outils logiciels

Minéralisations aurifères de la région de Val d'Or

- Au moins 3 types de minéralisations :
 - Veines de quartz-carbonates-tourmaline orogéniques tardives (type tardif) : ex : Sigma (Pilote et al., 2000)
 - Brèches, dissémination et veines de quartz-carbonates déformées (type précoce) ex : Kiena (Pilote et al., 2000)
 - Minéralisations volcanogènes aurifères

Région d'intérêt



Géologie tirée de Lamothe, 2006. Gîtes du SIGÉOM

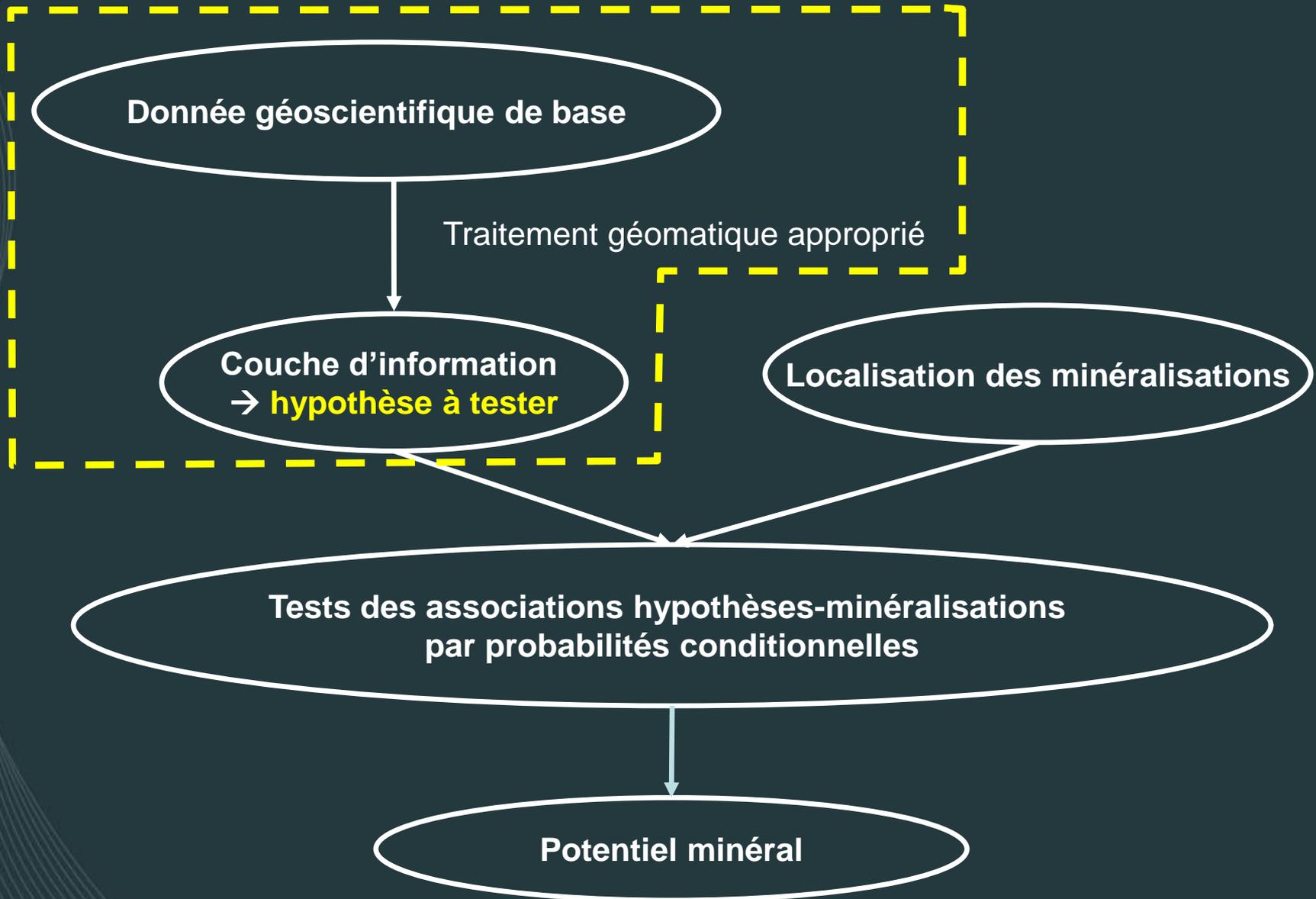
Secteur d'intérêt: champ filonien de Val d'Or à quartz-tourmaline, tel que décrit par Robert (1994)

Minéralisations considérées: Gîtes travaillés, gisements et mines actives et fermées, décrites dans le SIGÉOM comme des veines de quartz-carbonates-tourmaline

Données géoscientifiques brutes: région Val d'Or

- Cartes géologiques au 1: 50000 (Lamothe, 2006)
- Failles (SIGEOM, 2004)
- Minéralisations (SIGEOM, 2004)

Méthode de traitement

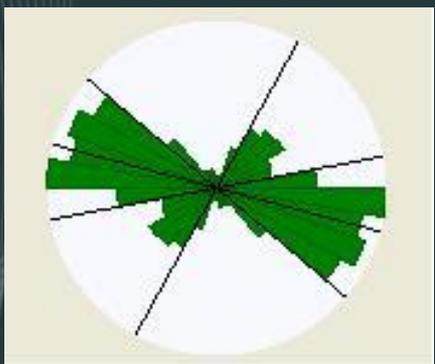


Hypothèses à tester: couches structurales

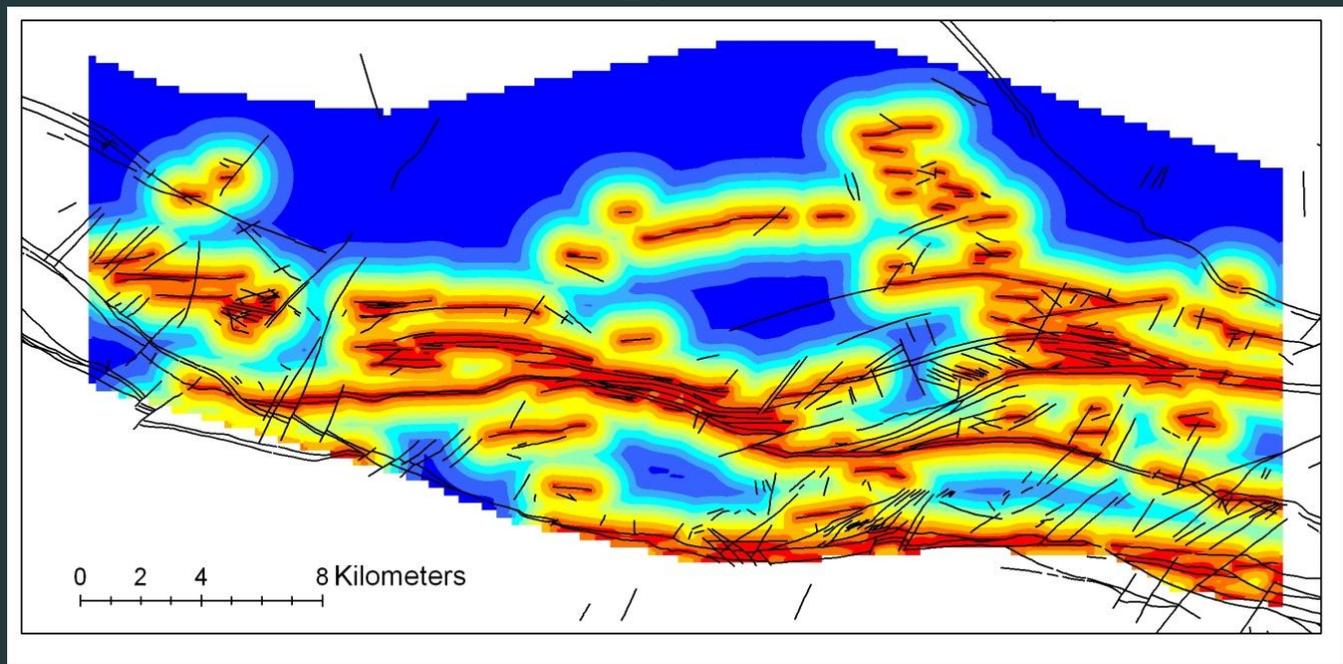
- Proximité d'une zone de cisaillement selon la famille d'orientation
- Proximité de la faille Cadillac
- Densité de zones de cisaillement, rayon 500 m
- Densité de zones de cisaillement, rayon 2 km

Exemple: proximité d'une zone de cisaillement selon la famille de direction

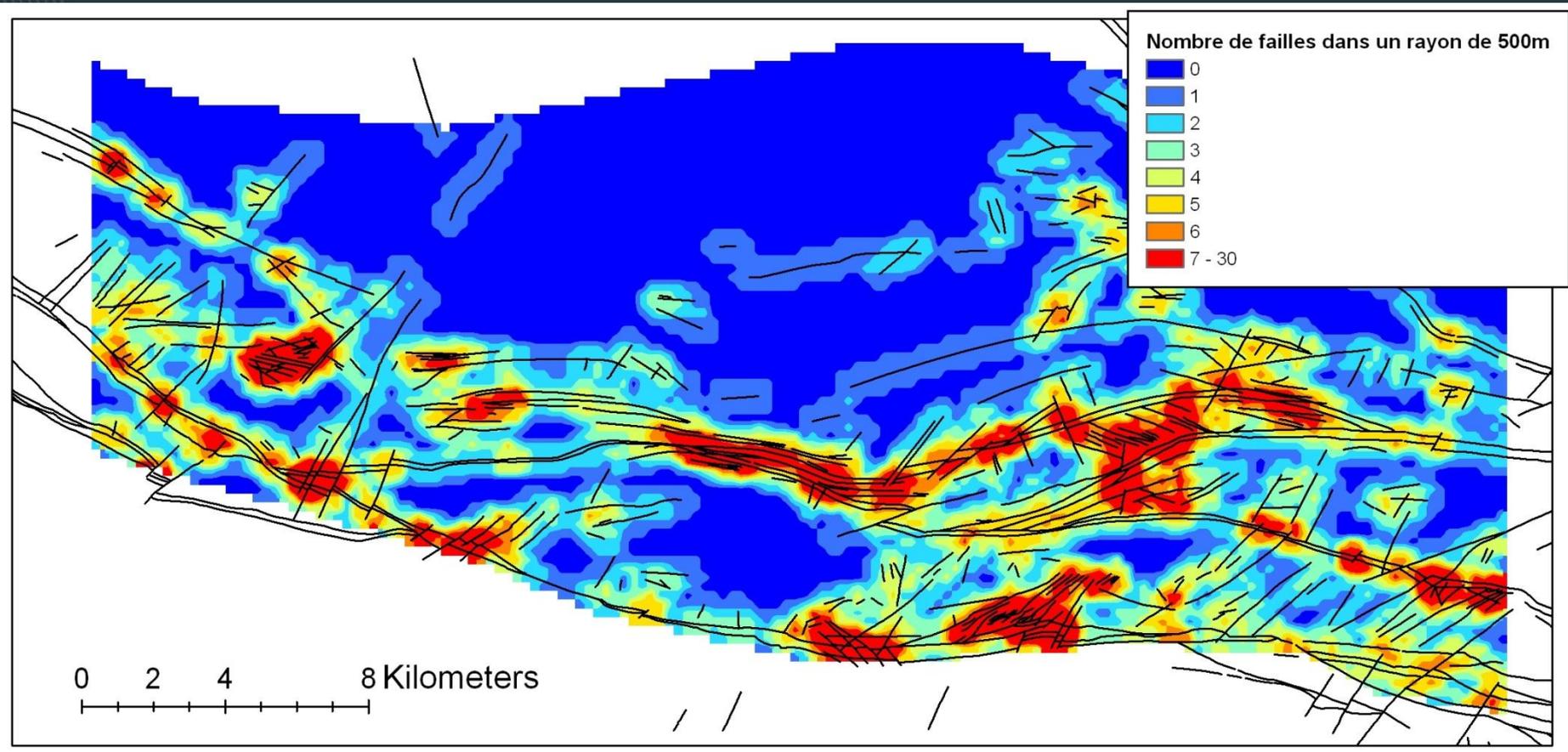
Proximité d'une zone de cisaillement
E-O



Division selon l'abondance des directions....



Exemple: densité (nombre) de failles dans un rayon de 500m



Hypothèses à tester: couches lithologiques

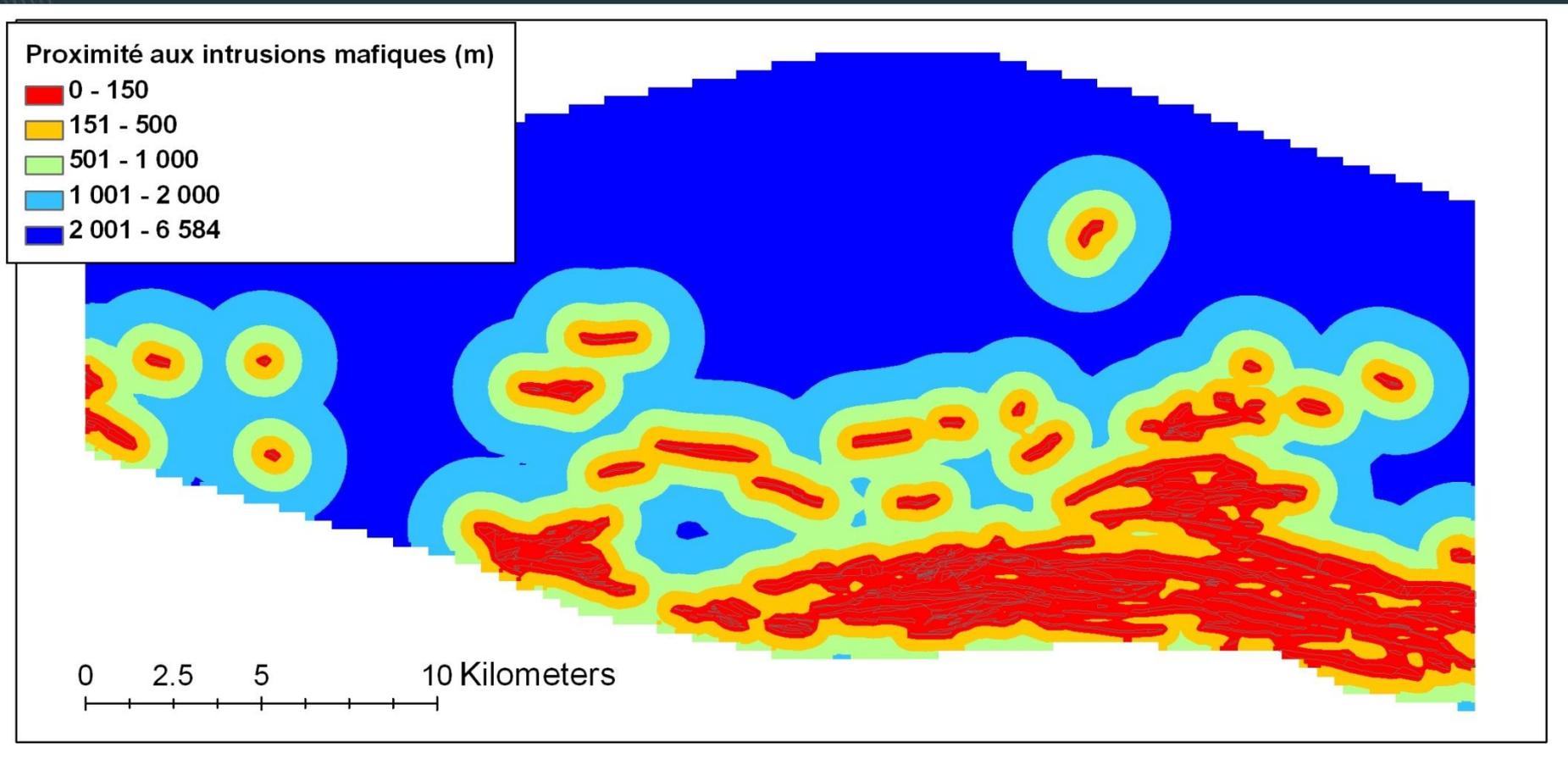
Intrusions

- Proximité à une intrusion
- Proximité à une intrusions intermédiaire à felsique, tous types
- Proximité à une intrusion de syénite-monzonite
- Proximité à une intrusion intermédiaire-felsique sauf monzonite-syenite
- Proximité à une intrusion mafique

Volcanites

- Proximité à des volcanites
- Proximité de volcanites ultramafiques
- Proximité de volcanites mafiques
- Proximité de volcanites et pyroclastites intermédiaires
- Proximité de volcanites et pyroclastites felsiques

Exemple: proximité à une intrusion mafique



Hypothèses à tester: couches de contacts lithologiques

- Proximité à un contact Intrusion – Volcanite

Contacts Intrusions - Volcanites selon le type

- Proximité à un contact Intrusion - Volcanite mafique
- Proximité à un contact Intrusion - Volcanite intermédiaire
- Proximité à un contact Intrusion - Volcanite ultramafique
- Proximité à un contact Intrusion - Volcanite felsique

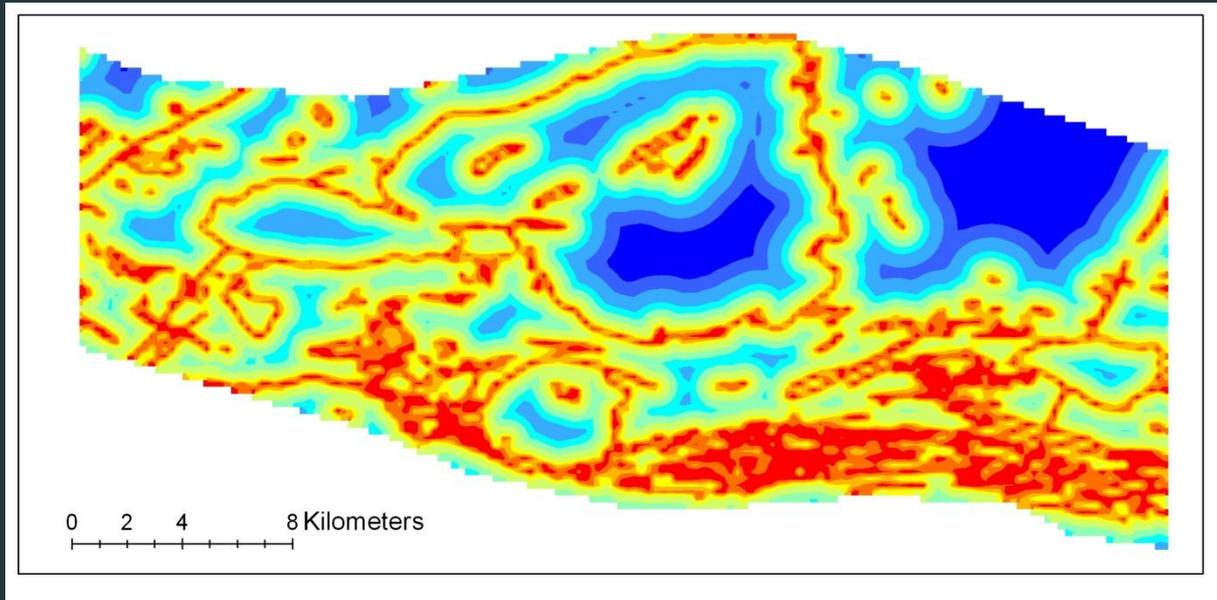
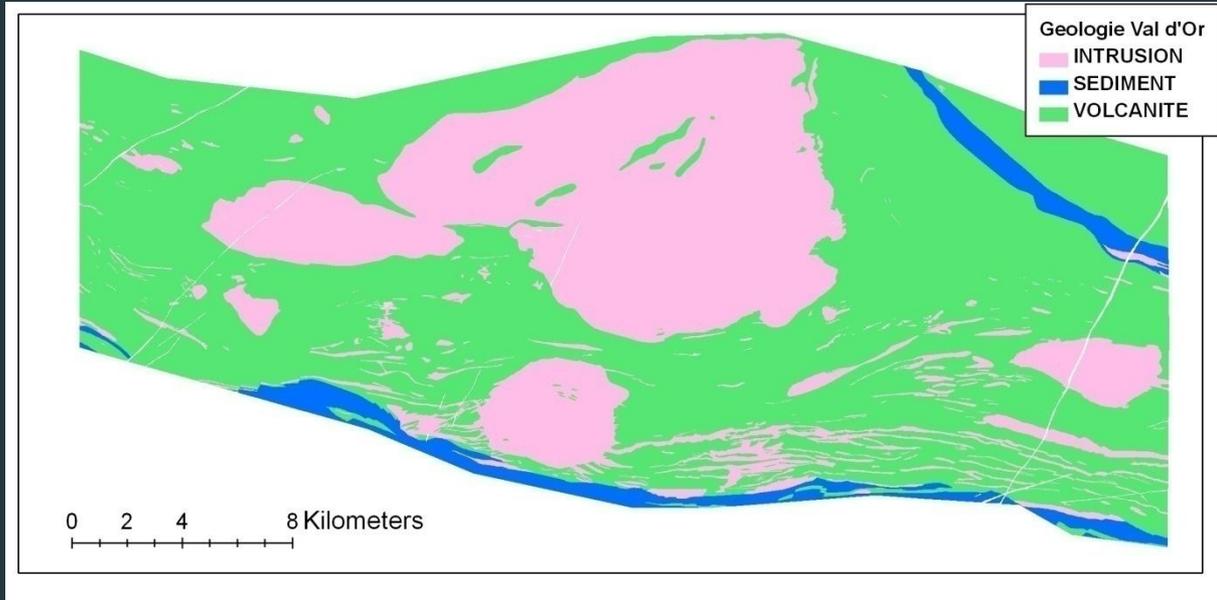
Contacts Volcanites – Intrusions selon le type

- Proximité à un contact Volcanite – Intrusion mafique
- Proximité à un contact Volcanite – Intrusion interm-felsique (sauf monzo.)
- Proximité à un contact Volcanite – Intrusion monzonite

Contacts Volcanites - Volcanites

- Proximité à un contact Volcanite felsique – Volcanite mafique
- Proximité à un contact Volcanite felsique – Volcanite intermédiaire
- Proximité à un contact Volcanite mafique – Volcanite intermédiaire
- Proximité à un contact Volcanite mafique – Volcanite ultramafique

Exemple: proximité à un contact volcanites-intrusion



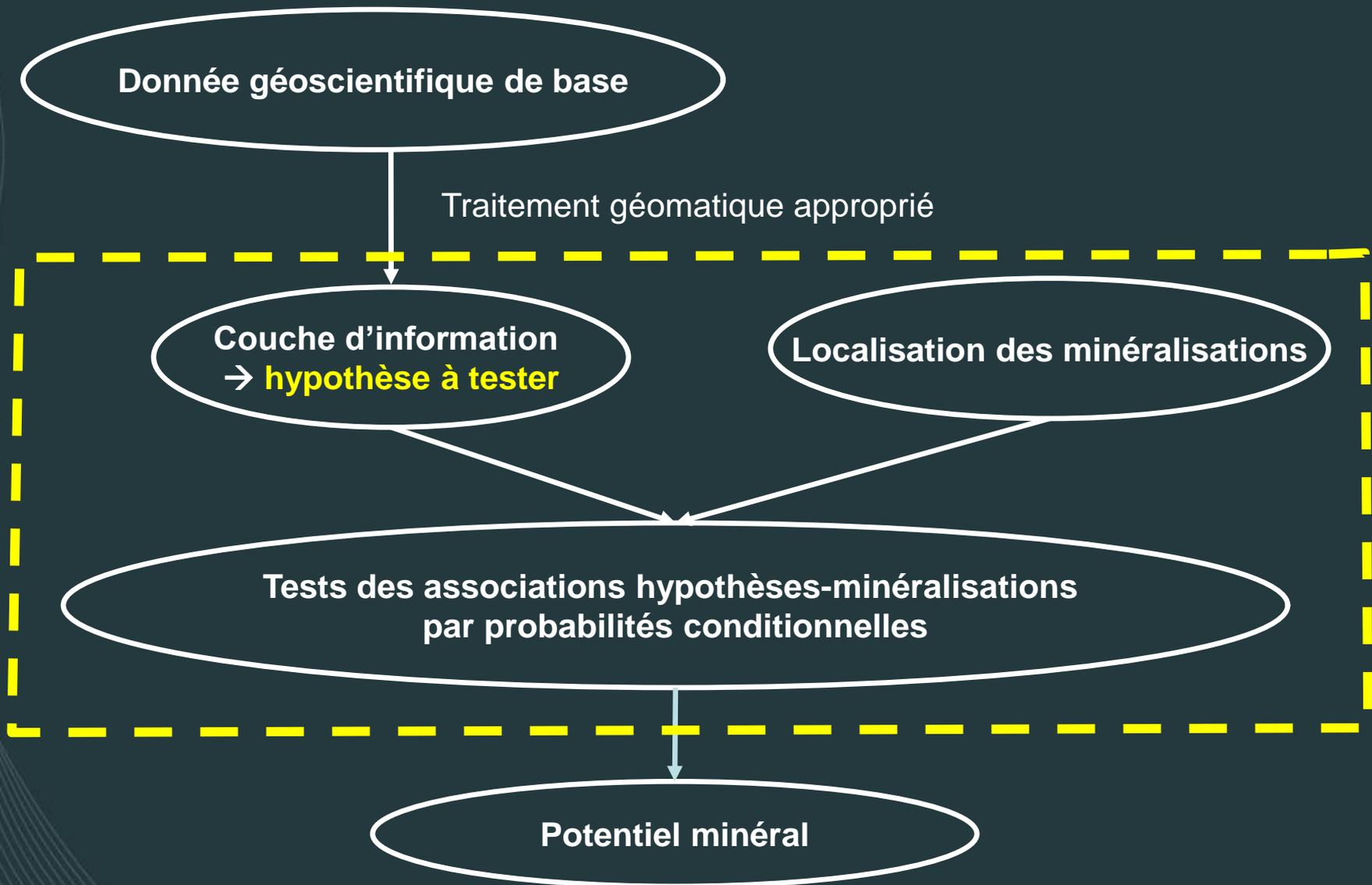
Hypothèses à tester: autres couches lithologiques

- Diversité lithologique (nombre d'unités lithologiques distinctes), rayon de 500m
- Diversité lithologique, rayon de 2000m

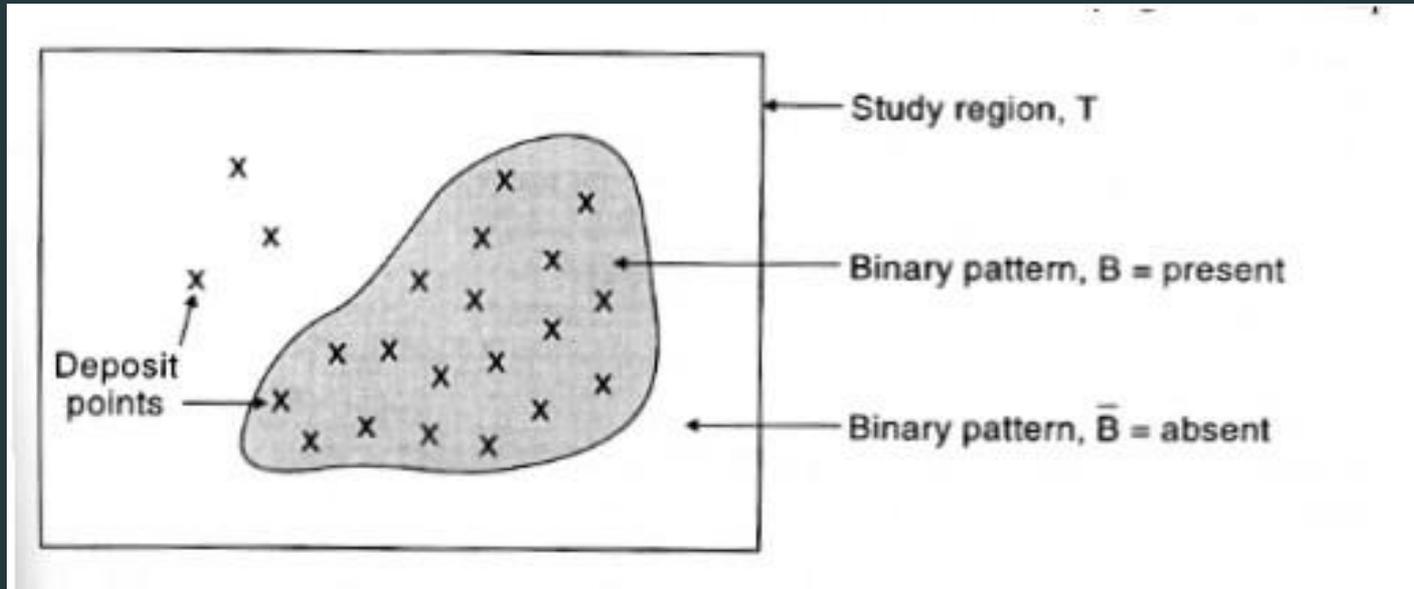
Plan de la présentation

- Région d'intérêt, minéralisations considérées, données disponibles et hypothèses à tester
- **Évaluation des associations spatiales par probabilités conditionnelles**
- Résultats des tests d'hypothèses sur les contrôles géologiques des minéralisations aurifères à quartz-carbonates-tourmaline à l'échelle du camp de Val d'Or
- Implications pour l'exploration à l'échelle du camp
- Outils logiciels

Méthode de traitement

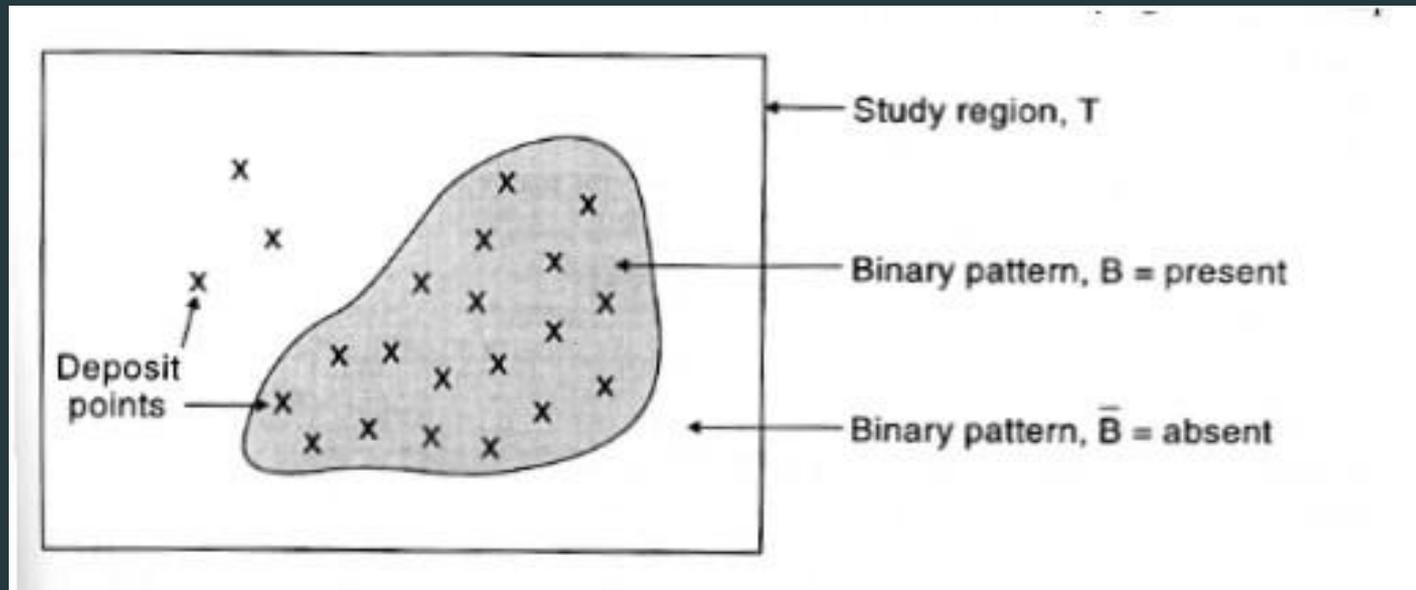


Probabilités conditionnelles



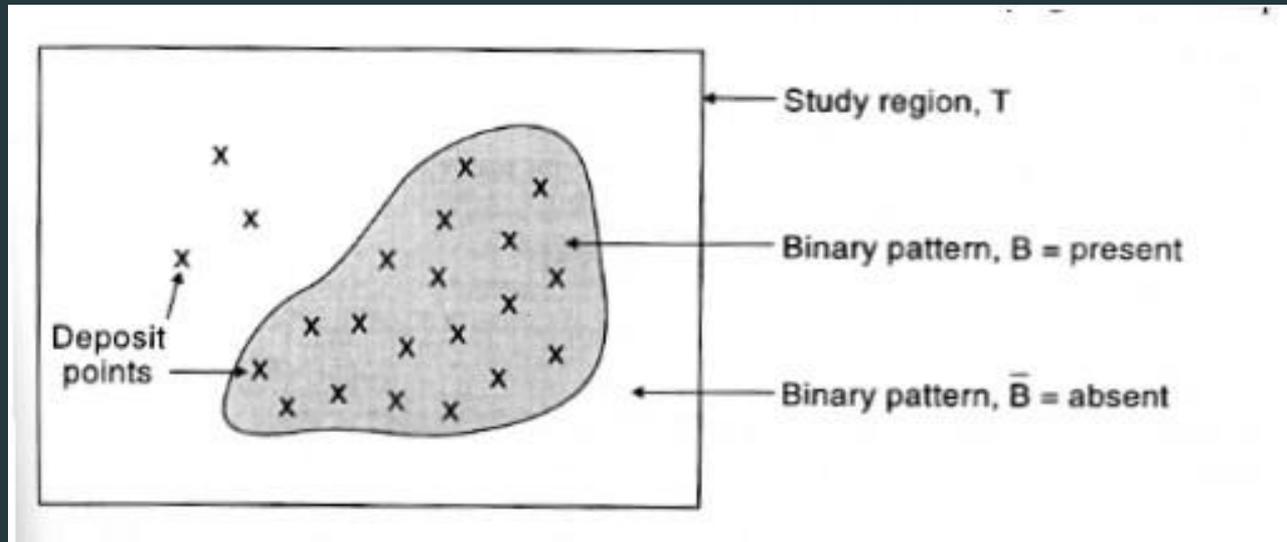
- Diviser la région d'étude en cellules de taille fixe (ex: 10000)
- Calculer le nombre de cellules qui ont une certaine valeur pour une données géoscientifique (ex: zone grise; ex: 3600). 10000 – 3600 = 6400 n'y sont pas.
- Calculer le nombre de cellules total contenant des gisements dans la zone grise (ex: 19) et le nombre à l'extérieur

Probabilités conditionnelles



- La cote de trouver un gisement dans une cellule de la zone grise est égale à
 - Nombre de cellules avec gisement dans la zone grise / nombre de cellules sans gisements dans cette zone
 - $19 / 3581 = 0.005305$ (note: cote de 1 = probabilité de 0.5)
- La cote de trouver un gisement dans une cellule hors de cette zone est égale à
 - Nombre de cellules avec gisement hors de la zone grise / nombre de cellules sans gisements hors de cette zone
 - $3 / 6397 = 0.0004689$

Probabilités conditionnelles



- La cote de trouver un gisement dans une cellule de la zone grise est **11 fois plus** élevée qu'à l'extérieur
 - $0.0053 / 0.000469$. Cette valeur s'appelle le ratio des **cotes**.
- Il y a donc une association entre la zone grise et les gisements et on a calculé son importance
- Ratio Cotes 1 : aucune association
 - pas plus de gisements dans une classe (zone) que si les gisements étaient lancés au hasard sur la carte
- Ratio Cotes > 1 : association positive
- Ratio Cotes 0-1 : association négative

Plan de la présentation

- Région d'intérêt, minéralisations considérées, données disponibles et couches d'information générées
- Évaluation des associations spatiales par probabilités conditionnelles
- **Tests d'hypothèses sur les contrôles géologiques des minéralisations aurifères à quartz-carbonates-tourmaline à l'échelle du camp de Val d'Or**
- Implications pour l'exploration à l'échelle du camp

Méthode de tests d'hypothèses

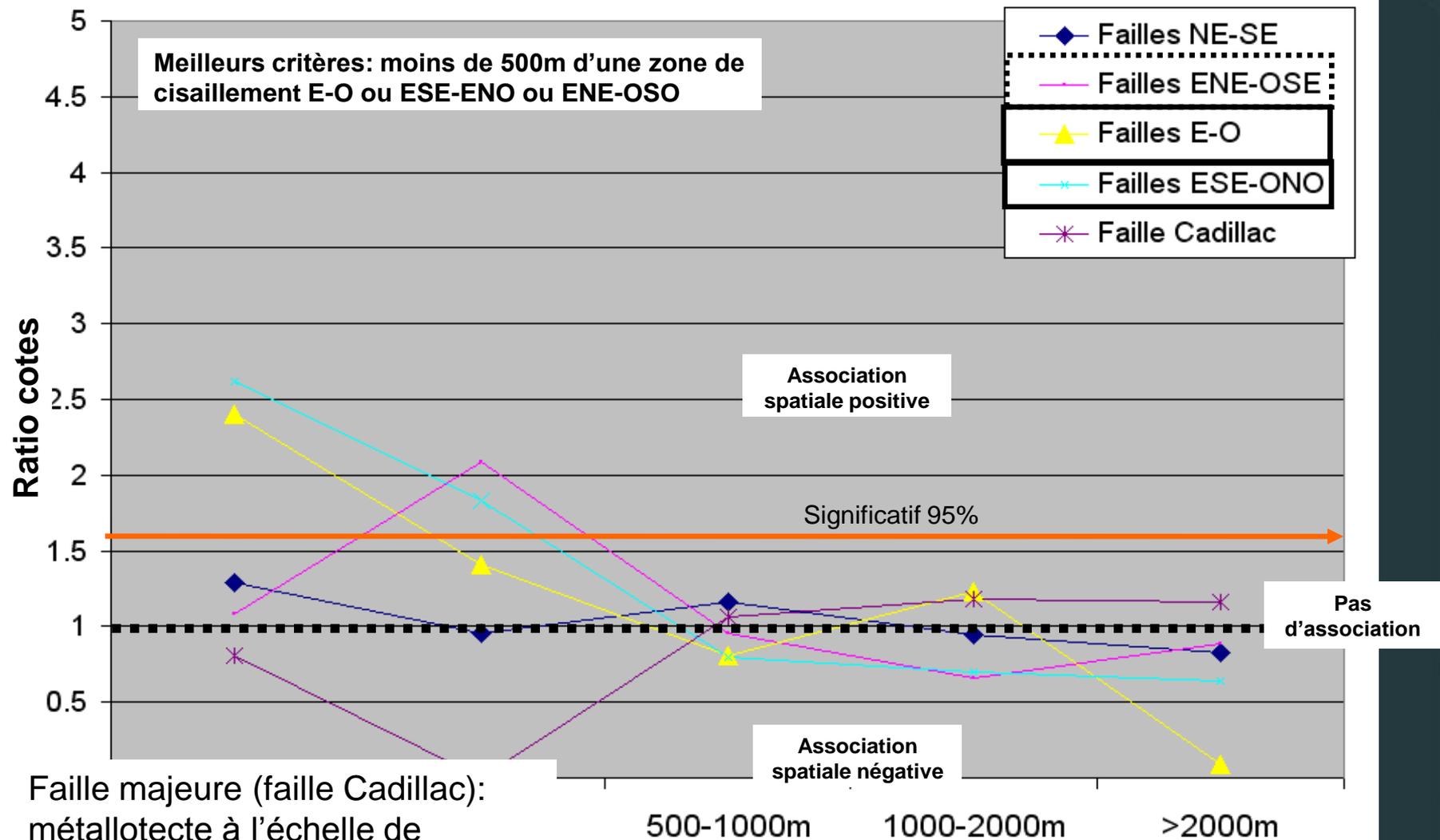
- Pour les hypothèses de **proximité à**, séparer chaque couche en intervalles:
 - 5 intervalles pour lignes: 0-150m, 150-500, 500-1000, 1000-2000, +2000
 - Polygones: un intervalle de plus pour distance de 0 (intérieur)
- Pondérer les minéralisations selon leur importance économique (réserves+production, selon le SIGEOM).
- Les plus importantes compteront plus
 - < 1 t Au: comptent pour 1
 - 1 – 10 t Au: comptent pour 2
 - 10 – 50 t Au: comptent pour 3
 - 50 – 100 t Au comptent pour 4
 - > 100 t Au: comptent pour 5

Exemple de probabilités conditionnelles pour une couche

Exemple: couche de proximité aux zones de cisaillement E-O

Intervalle de distance (m)	Nombre de cellules de la carte (%)	Nombre de gisements pondérés inclus	Ratio Cotes
0 - 150	1217 (13.2%)	32 (27.4%)	2.522
150 - 500	1875 (20.3%)	30 (25.6%)	1.36
500 - 1000	2009 (21.7%)	22 (18.8%)	0.832
1000 - 2000	2057 (22.3%)	30 (25.6%)	1.207
> 2000	2080 (22.5%)	3 (2.6%)	0.089

Associations, couches structurales



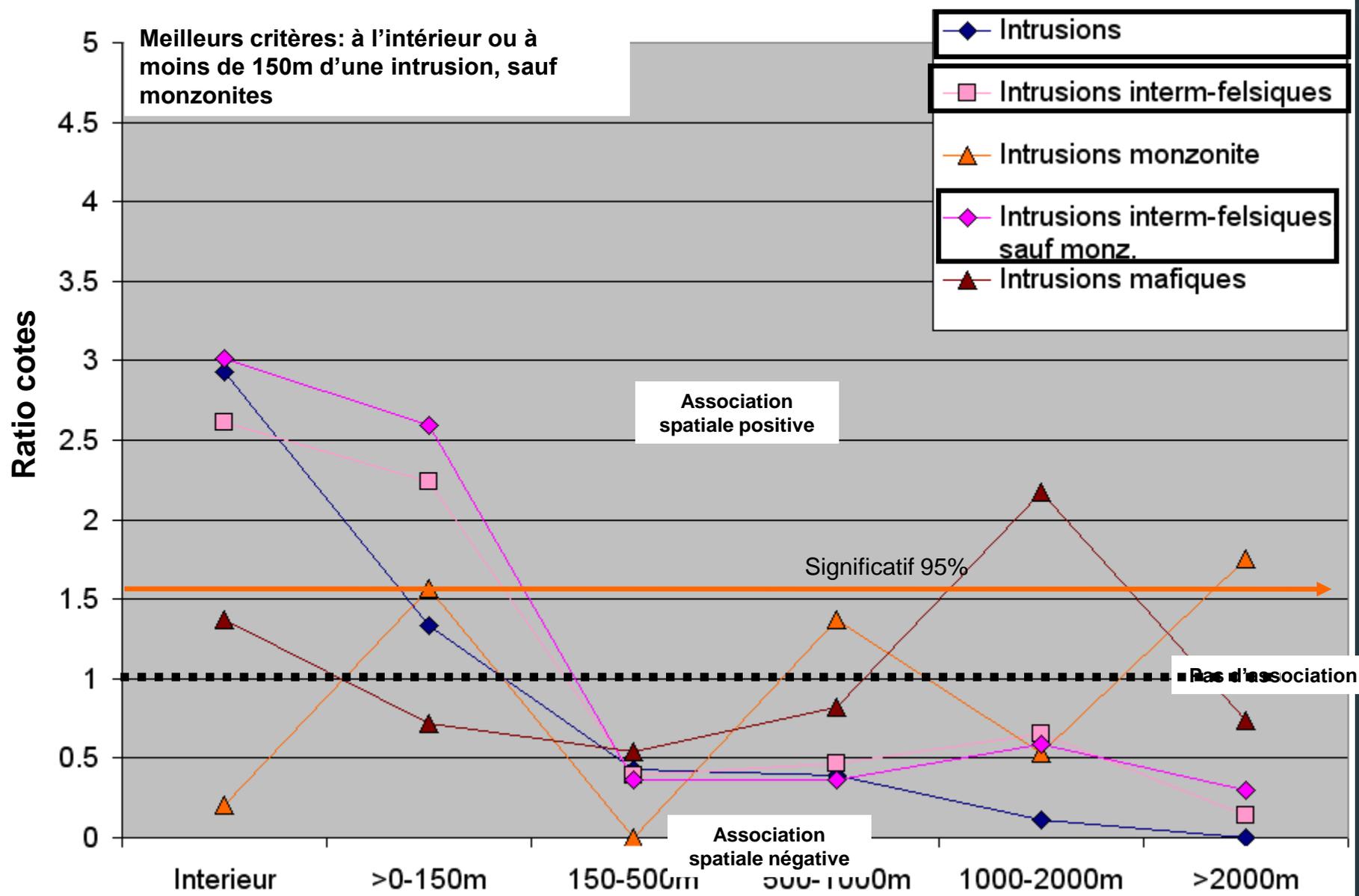
Faille majeure (faille Cadillac):
 métallotecte à l'échelle de
 l'Abitibi, pas du camp

500-1000m

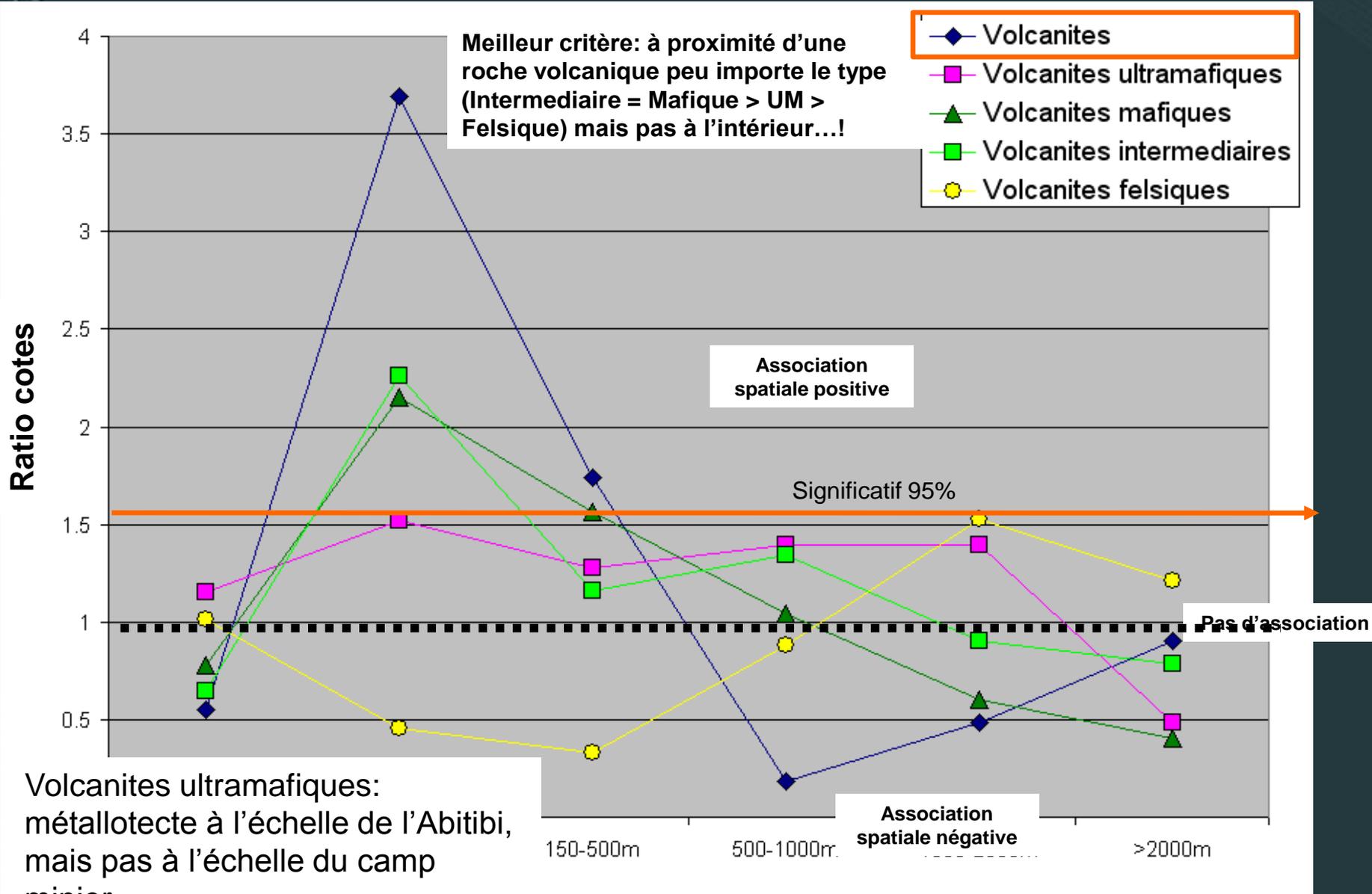
1000-2000m

>2000m

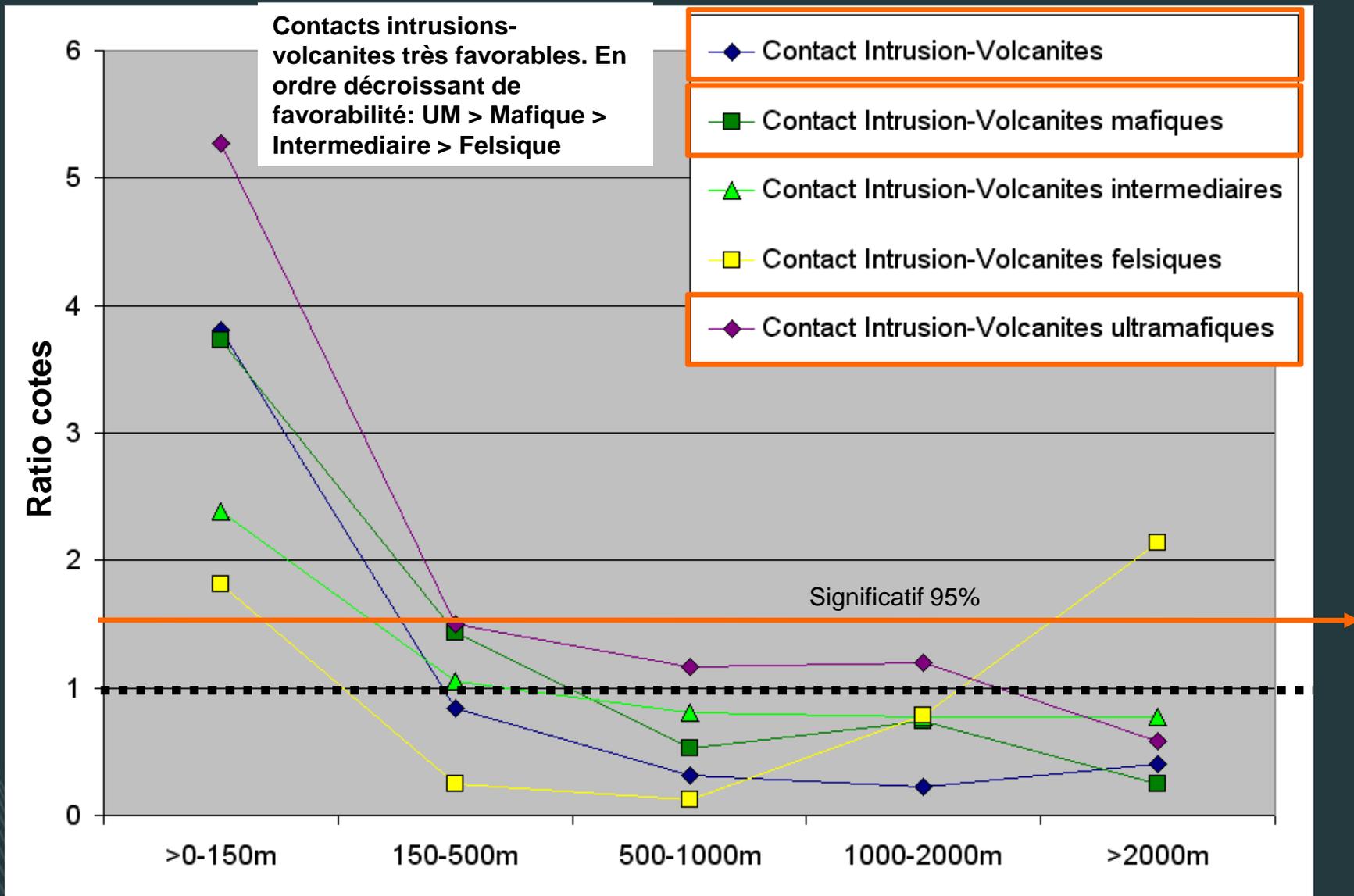
Associations, couches lithologiques (intrusions)



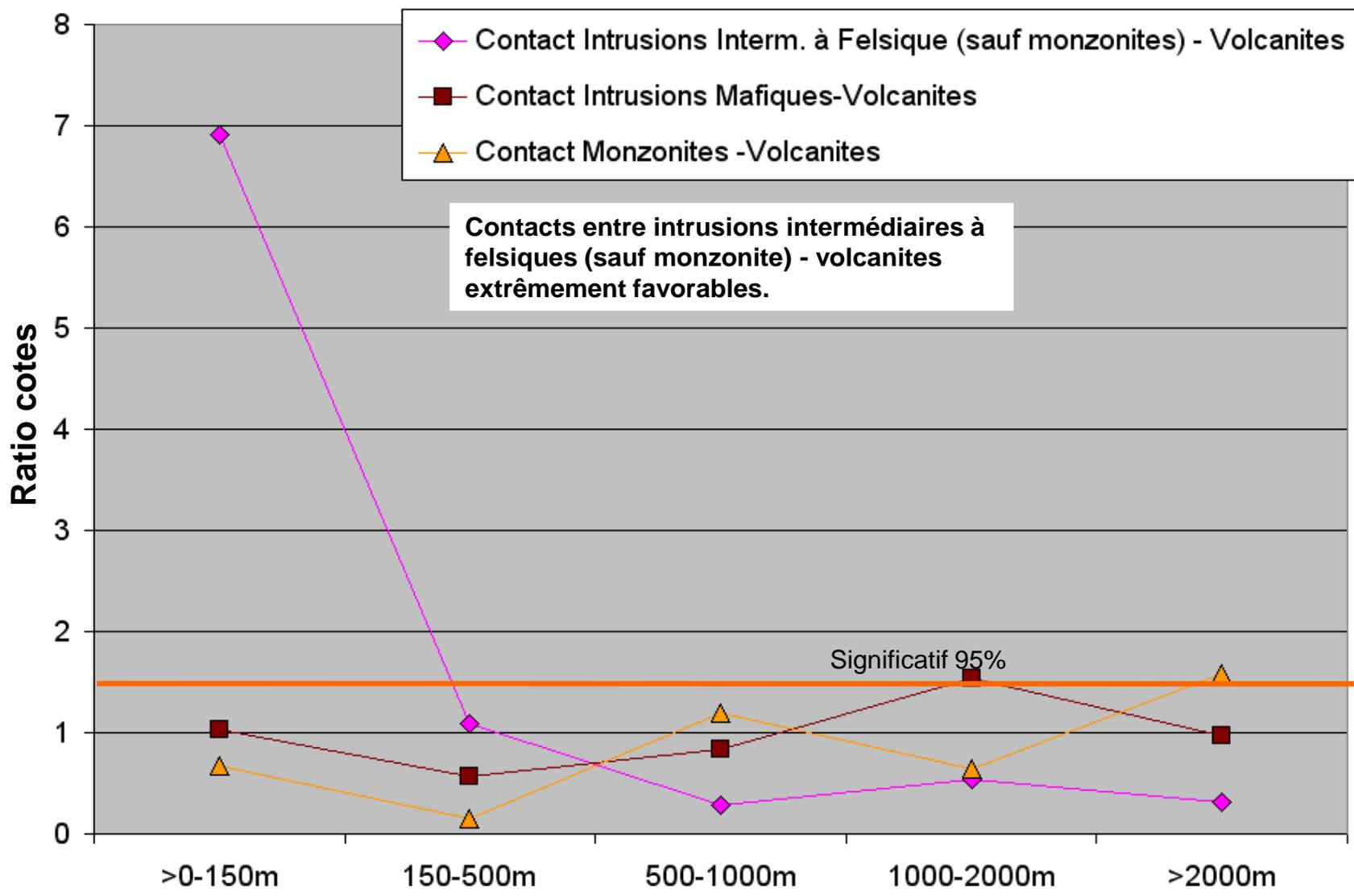
Associations, couches lithologiques (volcanites)



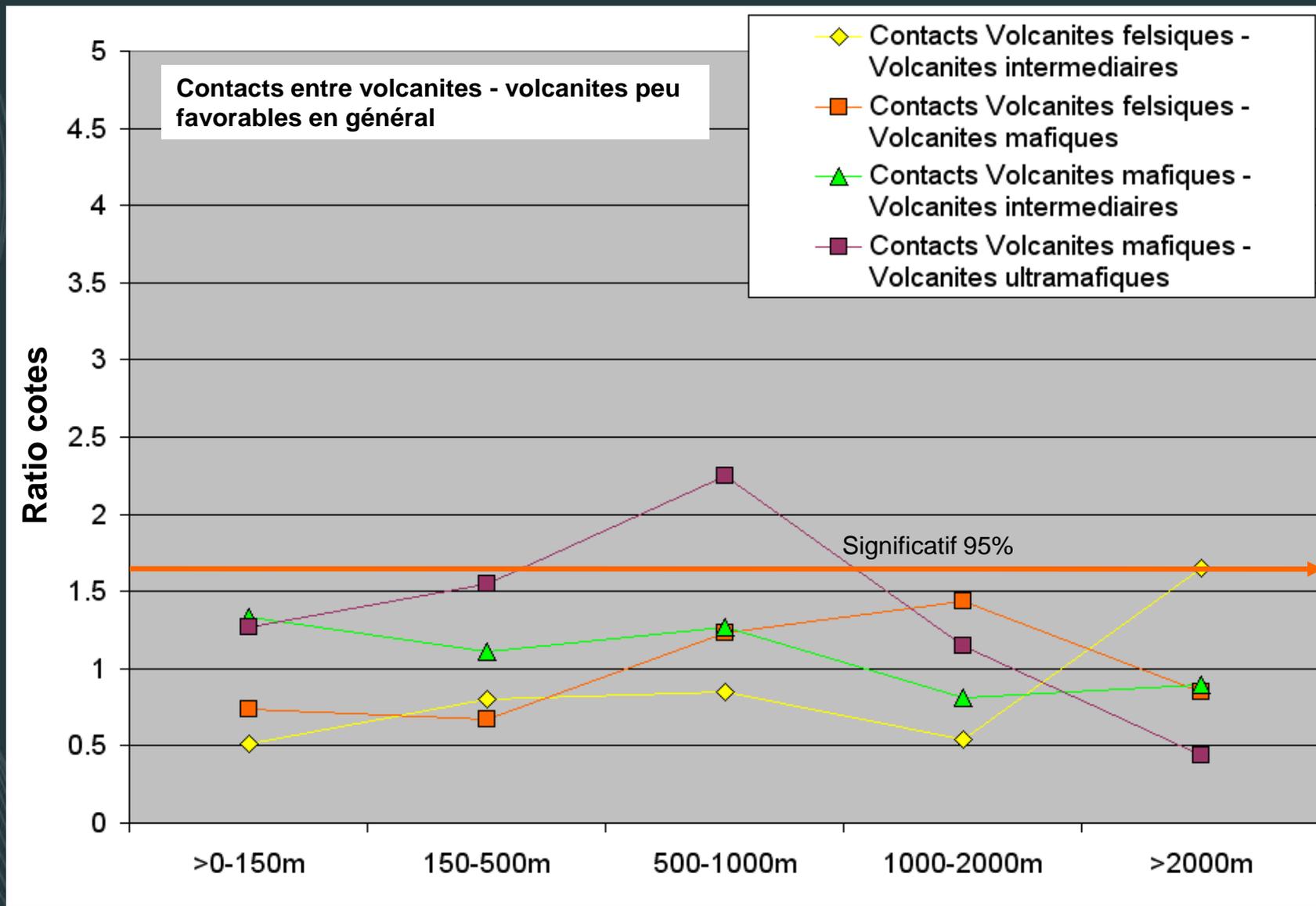
Associations, contacts intrusions – volcanites selon le type



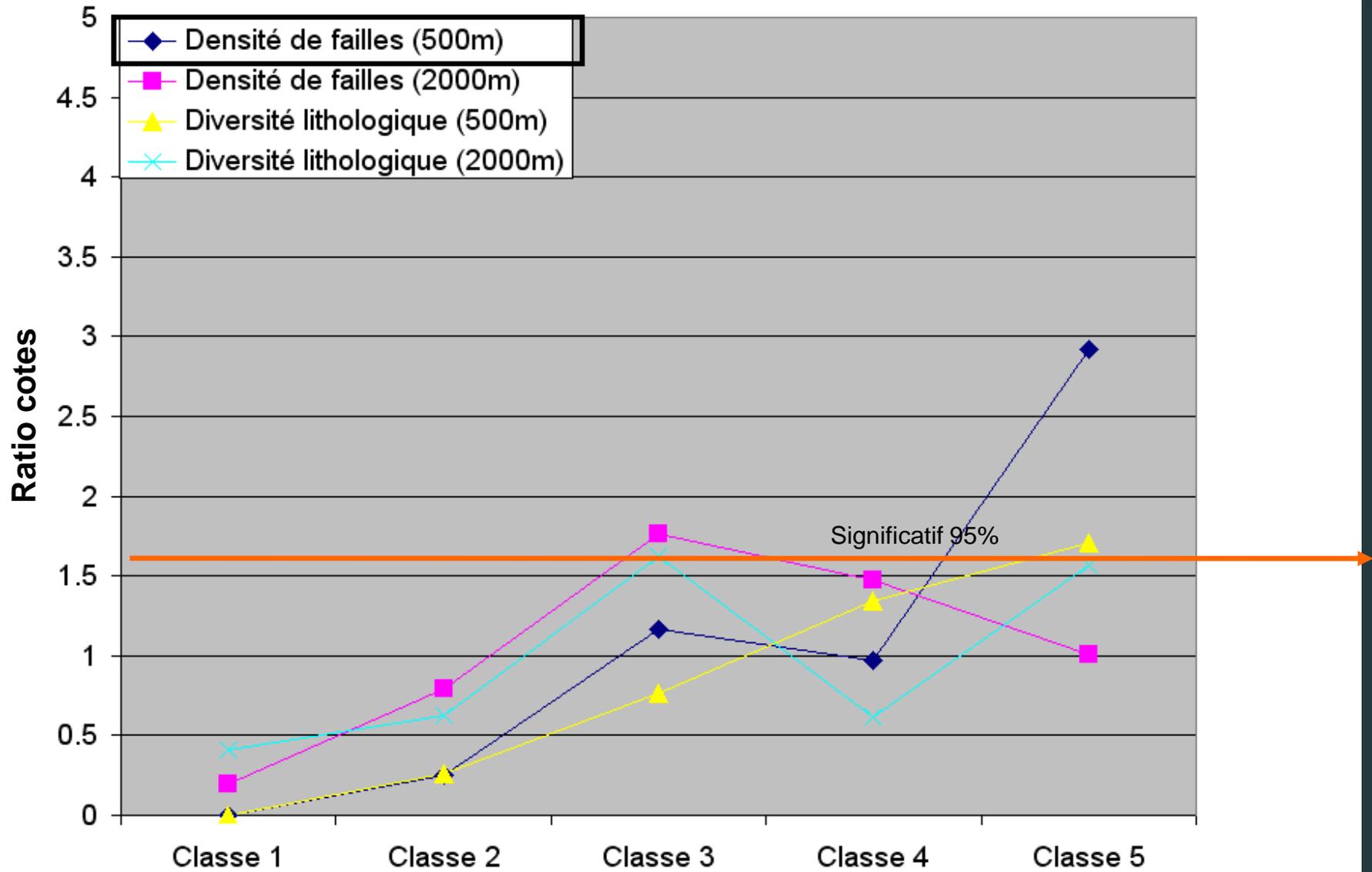
Associations, contacts volcanites - intrusions selon le type



Associations, contacts volcanites - volcanites



Associations, autres couches (non-proximité)



Plan de la présentation

- Principes de l'évaluation de potentiel
- Région d'intérêt, minéralisations considérées et données disponibles
- Tests empiriques d'hypothèses sur les contrôles des minéralisations aurifères à quartz-carbonates-tourmaline à l'échelle du camp de Val d'Or
- **Implications pour l'exploration à l'échelle du camp**
- Outils logiciels

Implications pour l'exploration

Meilleures associations spatiales avec veines aurifères à quartz-carbonates-tourmalines – maximisent le nombre de gisements en minimisant la surface

- Structural

- Densité de zones de cisaillement dans un rayon de 500m (2.9)
- Zones de cisaillement E-O (2.6)
- Zones de cisaillement ESE-ONO (2.4)

- Lithologies

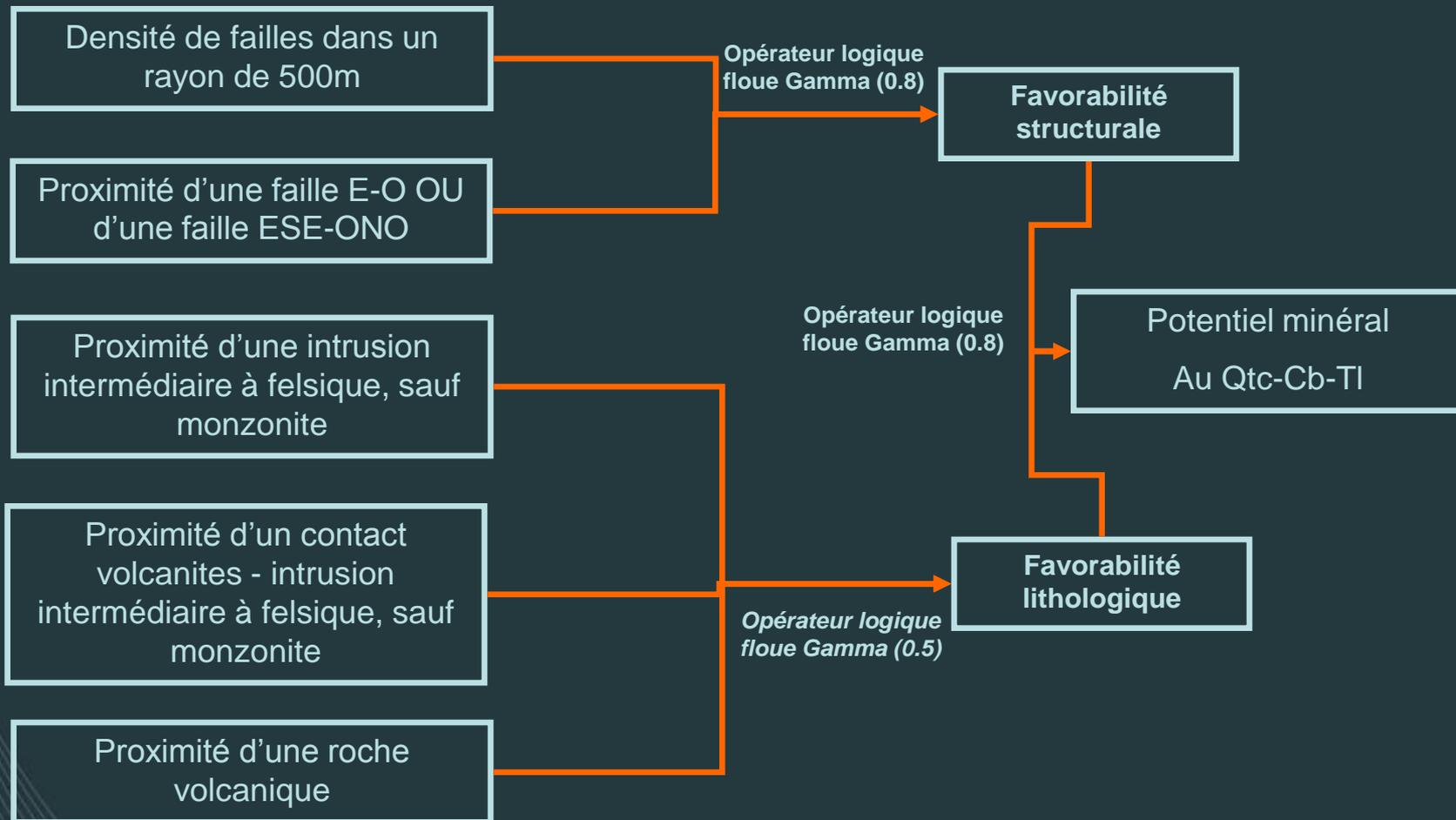
- À une distance de 1 – 150 m d'une roche volcanite (mafique = intermédiaire > ultramafique > felsique), mais pas à l'intérieur (3.7)
- À l'intérieur d'une intrusion intermédiaire à felsique (sauf monzo.) (3.0)

- Contacts lithologiques

- A moins de 150m d'un contact intrusion intermédiaire à felsique (sauf monzo.) et volcanites (6.9)
- A moins de 150m d'un contact intrusion – volcanite ultramafique (5.1) (mais peu fréquents sur la carte)

Implications pour le potentiel minéral

Modèle de potentiel minéral simple par logique floue à partir des meilleures couches
Couches pondérées selon les associations étudiées



Implications pour le potentiel minéral

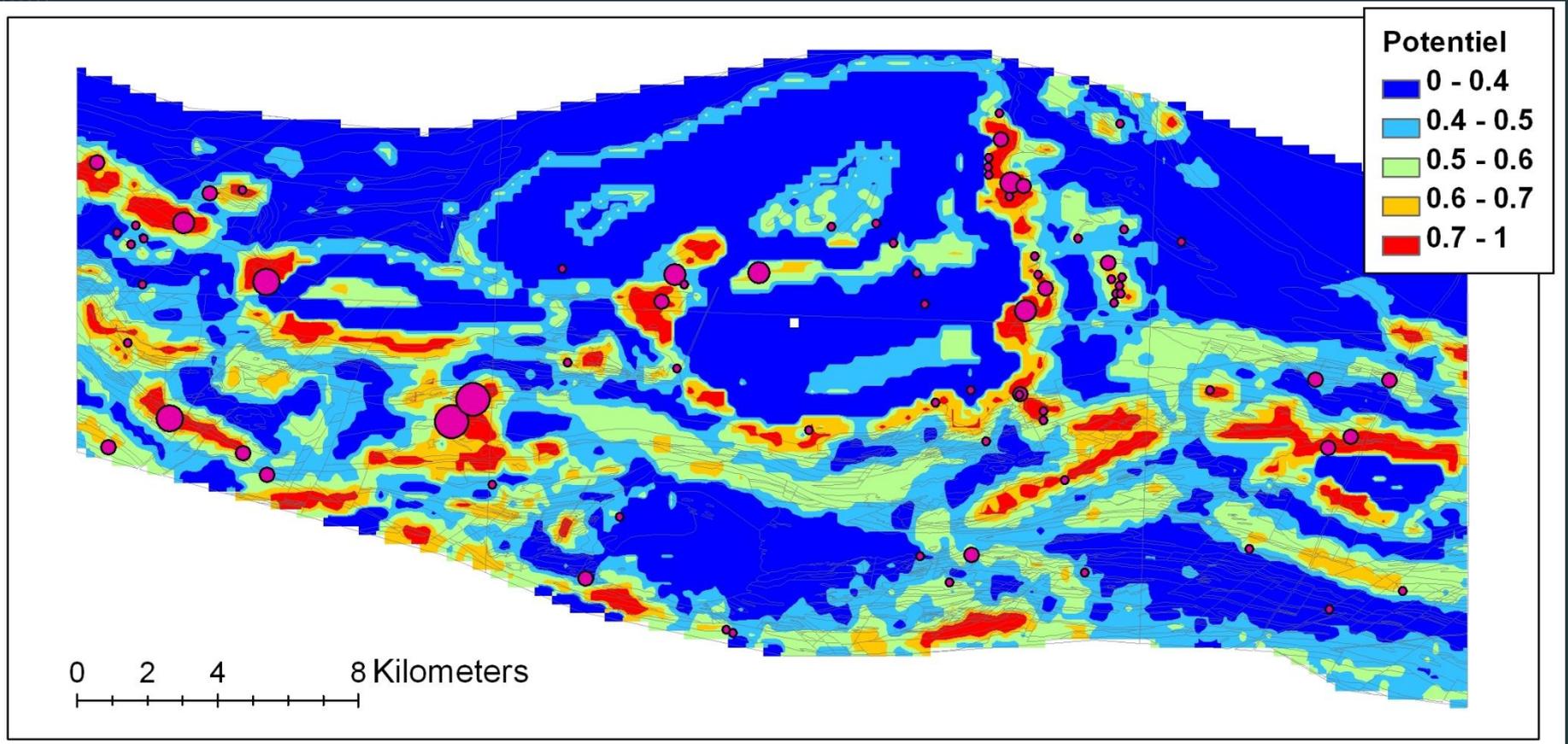
Favorabilité de la carte de potentiel résultante

Classe de potentiel	Nombre de cellules (%)	Nombre de gisements pondérés inclus	Ratio Cotes
0 - 0.1	812 (8.8%)	2 (1.7%)	0.178
0.1 - 0.2	559 (6.1%)	0 (0%)	0
0.2 - 0.3	1171 (12.7%)	1 (0.9%)	0.059
0.3 - 0.4	1618 (17.5%)	8 (6.8%)	0.342
0.4 - 0.5	2226 (24.1%)	14 (12%)	0.425
0.5 - 0.6	1706 (18.5%)	23 (19.7%)	1.082
0.6 - 0.7	537 (5.8%)	16 (13.7%)	2.615
0.7 - 0.8	485 (5.3%)	43 (36.8%)	11.411
0.8 - 1	124 (1.3%)	10 (8.5%)	7.385

58.9% des gisements pondérés dans 12.4% de la région

45.3% des gisements pondérés dans 6.6% de la région

Implications pour le potentiel minéral



Plan de la présentation

- Principes de l'évaluation de potentiel
- Région d'intérêt, minéralisations considérées et données disponibles
- Tests empiriques d'hypothèses sur les contrôles des minéralisations aurifères à quartz-carbonates-tourmaline à l'échelle du camp de Val d'Or
- Implications pour l'exploration à l'échelle du camp
- **Outils logiciels**

- ArcSDM

- Plugin de ArcGIS, gratuit (<http://www.ige.unicamp.br/sdm/ArcSDM93/download.php>)
- Très performant (vitesse de traitement)
- Pas très simple à utiliser (capricieux)
- Données ArcGIS seulement
- Connaissance assez approfondie du “Geoprocessing” de ArcGIS nécessaire pour créer correctement les couches d’information à évaluer
 - Ex: comment créer carte de distance à certains types de contacts lithologiques dans ArcGIS?

- Logiciel CONSOREM
 - Logiciel indépendant, disponible pour membres du Consorem
 - Accepte données Mapinfo ET ArcGIS (vectorielles et matricielles)
 - Principales fonctionnalités:
 - Construction des couches d'information →
 - Opérations géomatiques intégrées
 - Intuitifs, adaptés aux besoins
 - Calcul des probabilités conditionnelles
 - Potentiel minéral par logique floue et réseaux neuronaux

Logiciel CONSOREM: Distance aux types de contacts d'une carte de polygones

FormTemplateDistanceTypesContacts

Fichier source

Fichier contenant les objets
C:\Consorem USB\Projets 2009-2010\Atelier Potentiel Mineral Val d'Or Juin 2009\Do

Nombre d'objets définis: 3007

Création de la carte matricielle de distances

Préfixes des noms des carte matricielles de distances à générer
rstContacts

Choix des contacts

Champ définissant les unités de la carte
TYPE_GENER

INTRUSION
SEDIMENT
VOLCANITE

INTRUSION
SEDIMENT
VOLCANITE

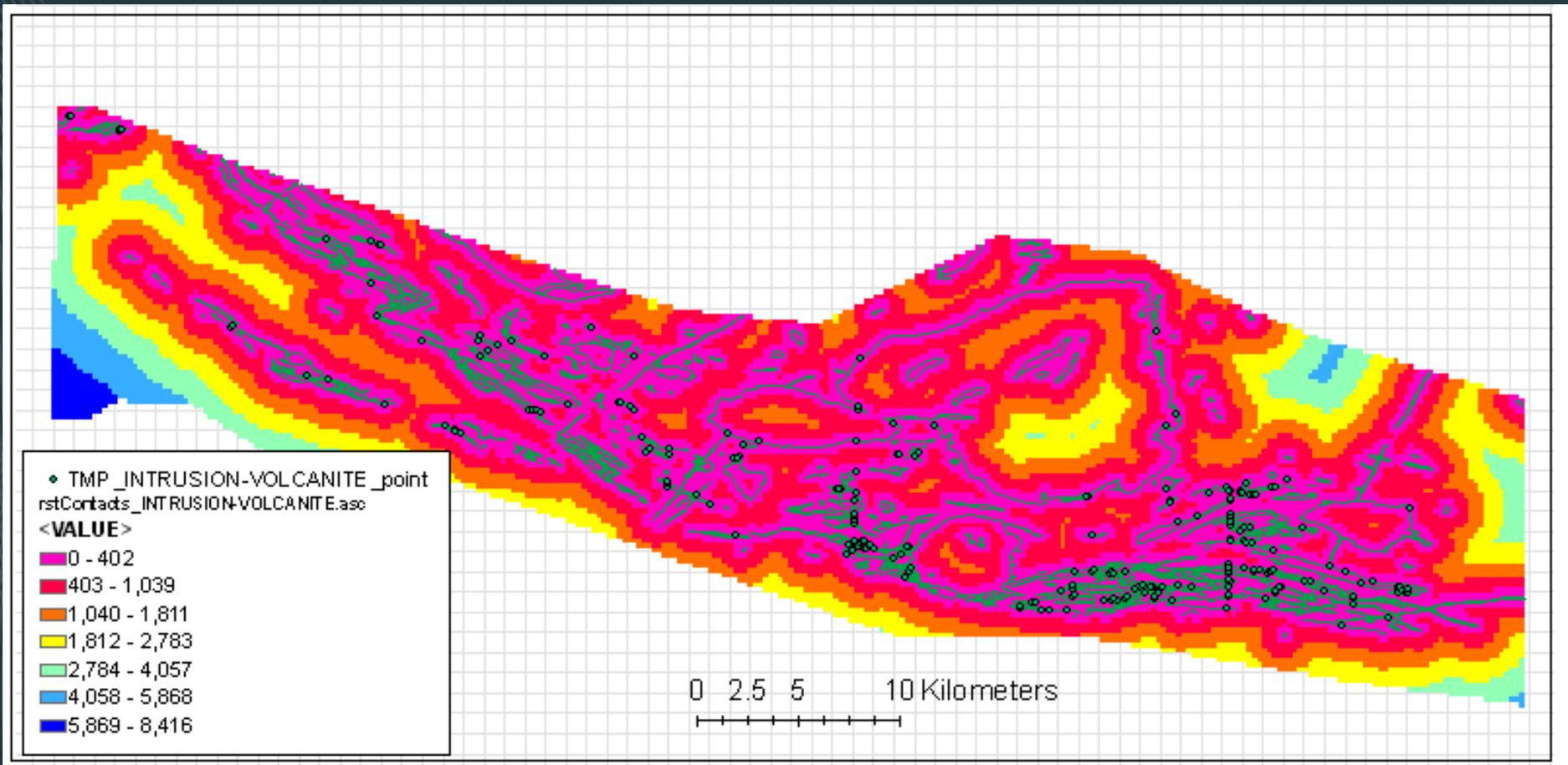
Liste des contacts sélectionnés
INTRUSION-VOLCANITE
INTRUSION-SEDIMENT
SEDIMENT-VOLCANITE

Parametres de création des contacts

Tolérance sur la création des contacts
5 m

Aide OK Annuler

Distance aux types de contacts d'une carte de polygones



Logiciel CONSOREM: calcul des probabilités conditionnelles

Choose a raster evidential layer:

mag_gsc_imp

Help

Automatically select class intervals

By intervals

Number of intervals

10

Equal number of cells

Equal interval ranges

One class for each unique value

INITIALIZE CLASSES

Manual selection of class intervals

	Minimum	Maximum
▶	-349.5684...	-127.4119...
	-127.4119...	-55.20512...
	-55.20512...	6.7021136...
	6.7021136...	57.434066...
	57.434066...	110.59790...
	110.59790...	164.48144...
	164.48144...	236.14961...
	236.14961...	346.79461...
	346.79461...	496.42877...
	496.42877...	1784.3468...

CALCULATE PROBABILITES

Conditional probabilities of selected classes

(1) Maximum contrast for favorability calculation

2

SAVE

GRAPHIC

(2) Minimal constrast for favorability calculation

-2

	Class	Number of cells	Number of deposits included	Odds	W+	W-	Contrast	Fuzzy favorabilty, from CMin(1) et CMax(2)
▶	-350 - -127 --> 0	27349 (10%)	9 (52.9%)	10.128	1.667	-0.648	2.315	1
	-127 - -55 --> 0	27350 (10%)	3 (17.6%)	1.929	0.568	-0.089	0.657	0.664
	-55 - 7 --> 0	27350 (10%)	1 (5.9%)	0.562	-0.531	0.045	-0.575	0.356
	7 - 57 --> 0	27350 (10%)	2 (11.8%)	1.2	0.163	-0.02	0.182	0.546
	57 - 111 --> 0	27350 (10%)	1 (5.9%)	0.562	-0.531	0.045	-0.575	0.356
	111 - 164 --> 0	27350 (10%)	0 (0%)	0	-Infinity	0.105	-2	0
	164 - 236 --> 0	27350 (10%)	1 (5.9%)	0.562	-0.531	0.045	-0.575	0.356
	236 - 347 --> 0	27350 (10%)	0 (0%)	0	-Infinity	0.105	-2	0

Conclusions

- Tests quantitatifs d'hypothèses sur le contrôle des minéralisations dans une région donnée
 - nécessite une région avec suffisamment de minéralisations connues
- Permettent de classer les hypothèses selon leur efficacité à retrouver les minéralisations connues → classement selon l'efficacité
- Logiciels permettent la mise en œuvre des opérations nécessaires