

MODÈLE UDEC¹

Interprétation et prévision des paléocontraintes dans le sud de l'Abitibi

(Rouyn-Malartic-Val-d'Or: 32c et 32d)

Par Stéphane Faure

CONSOREM

Consortium de recherche en exploration minérale

UQAM UQAC MRN Arianne Aurizon Cambior Maude Lake McWatters Noranda Soquem

Objectifs

PHASE 1

- Apprentissage d'UDEC version éducationnelle (modèle simple)
- Application dans la région de Val-d'Or (32C-4)

=> Solutions multiples

PHASE 2

- Utilisation de la version professionnelle pour des modèles complexes
- Application au sud de l'Abitibi (32C et D)
- Documentation et ajouts de paramètres et de modèles géomécaniques
- Meilleure utilisation de la capacité du logiciel

⇒ Choix d'une solution pour le modèle SPCPM

Objectifs des 2 phases complétés

- Près pour l'intégration dans SPCPM
- Reste la rédaction d'un rapport pour les procédures



Modèle UDEC

Idée de Cundall (1971) adaptée pour PC (1985) par Itasca (mécanique des roches)
=> Géologie économique (Oliver et Hollyland, 1990)

Programme numérique 2D ou 3D basé sur la méthode des éléments distincts

- Modélisation en milieu discontinu (polygones)
- Discontinuités entre les blocs
- Système en évolution (incrémental)

Intégration de nombreux **paramètres géomécaniques**,
dont la conduction thermique et la pression des fluides

Simule:

- La déformation (statique/dynamique) et rotation de blocs (rigides ou non)
- Le déplacement le long des discontinuités (failles, contacts)
- L'écoulement des fluides et le flux de chaleur

Utilités en géologie

- champ des paléocontraintes
 - cartographie des **paléopressions**
 - Intensité du déplacement de long de discontinuités
- 

Objectifs phase I

- Facilité le transfert de données topologiques de Mapinfo vers Udec, et vis-versa
- Tester un modèle simple avec la version académique
=> Val-d'Or (32C-04)
- Déterminer les zones favorables (basses pressions) pour l'emplacement de minéralisation aurifère

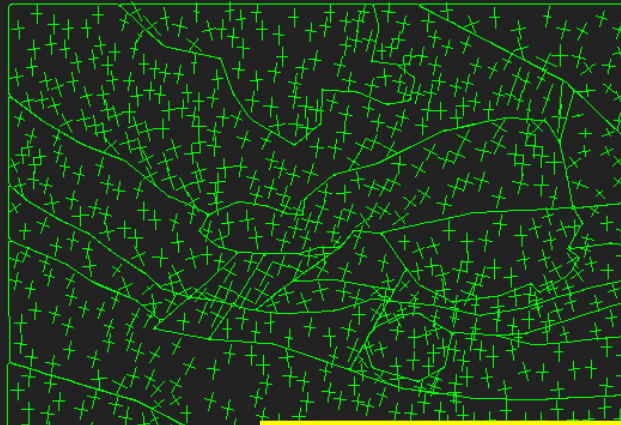
=> Critère pondéré pour l'intégration dans SPCPM*

* *Système de production de cartes de potentiel minéral*

UDEC 3.10

Cycle 1000
Time 6.341E+01 sec
block plot
principal stresses
minimum = -1.871E+08
maximum = -1.822E+06
0 1E+09

Champ de contraintes



Présentation des résultats dans UDEC

Job Title :
From File : valdor3.txt

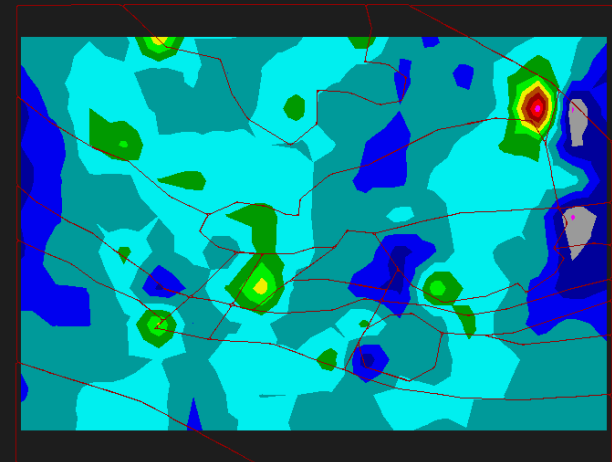
UDEC 3.10

Cycle 1000
Time 6.340E+01 sec
block plot
major principal stress cont
contour interval= 5.000E+06
number of contour/color= 2
-1.850E+08 to -7.000E+07



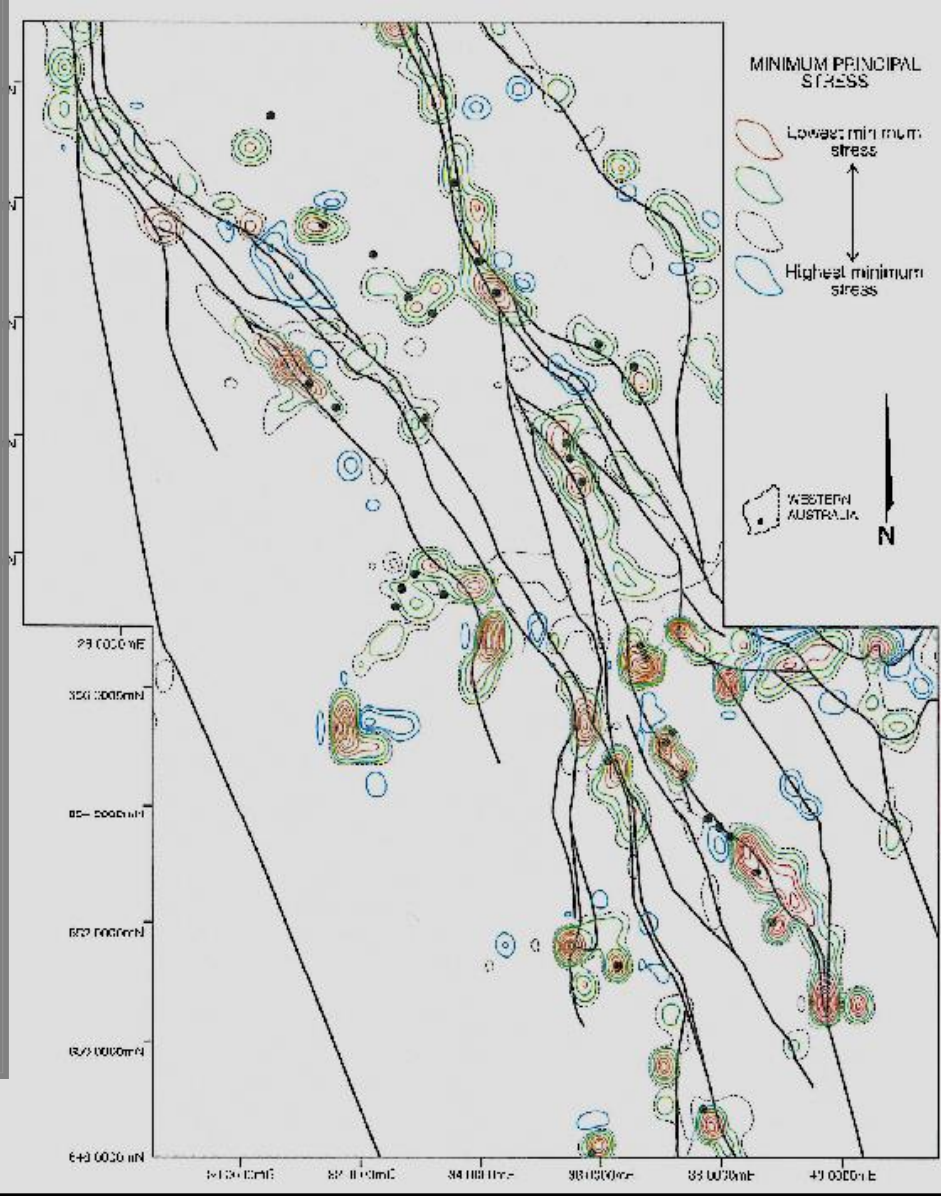
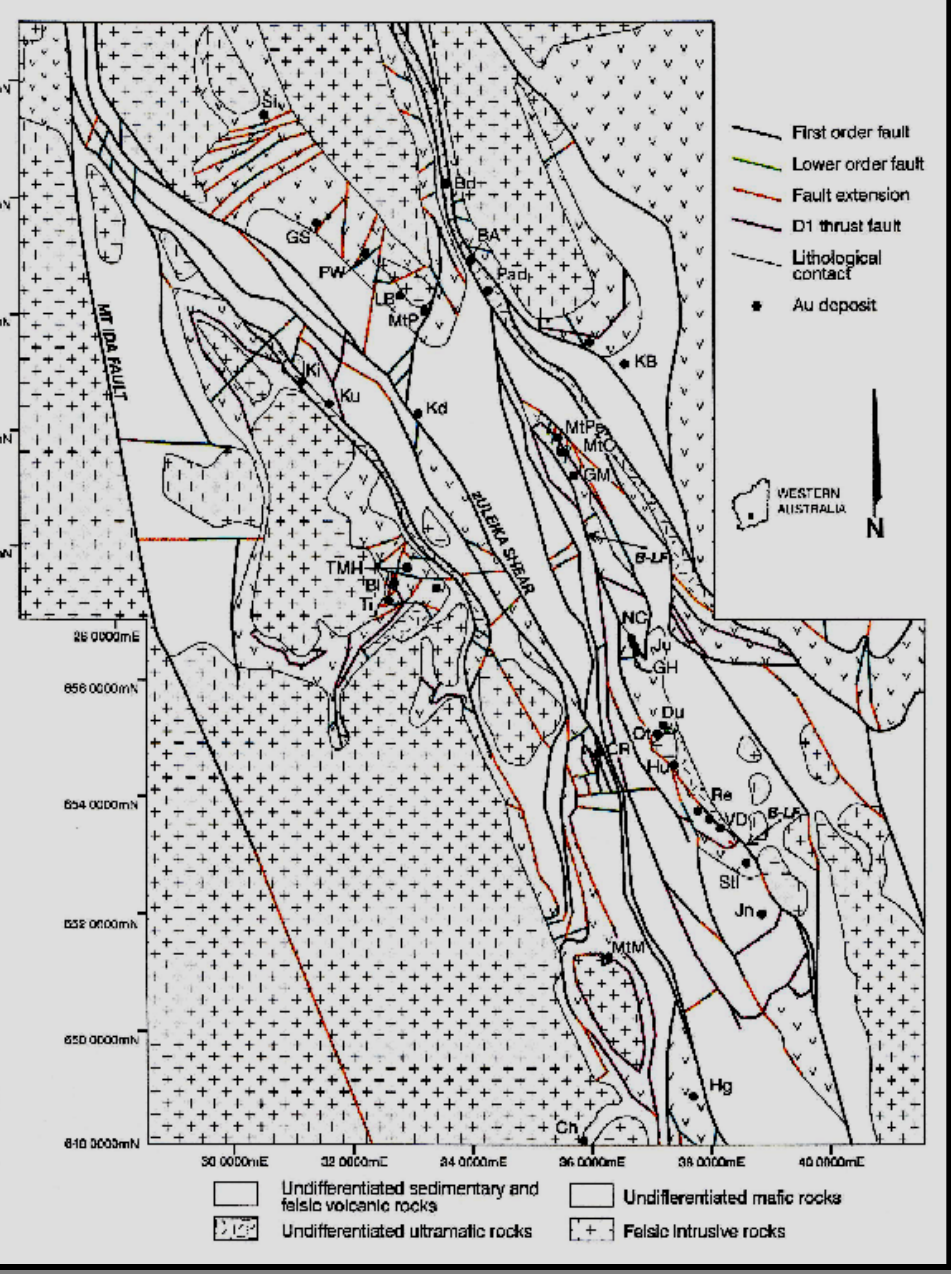
no. zones : total 606
at yield surface (*) 0
yielded in past (X) 0

Pressions min et max



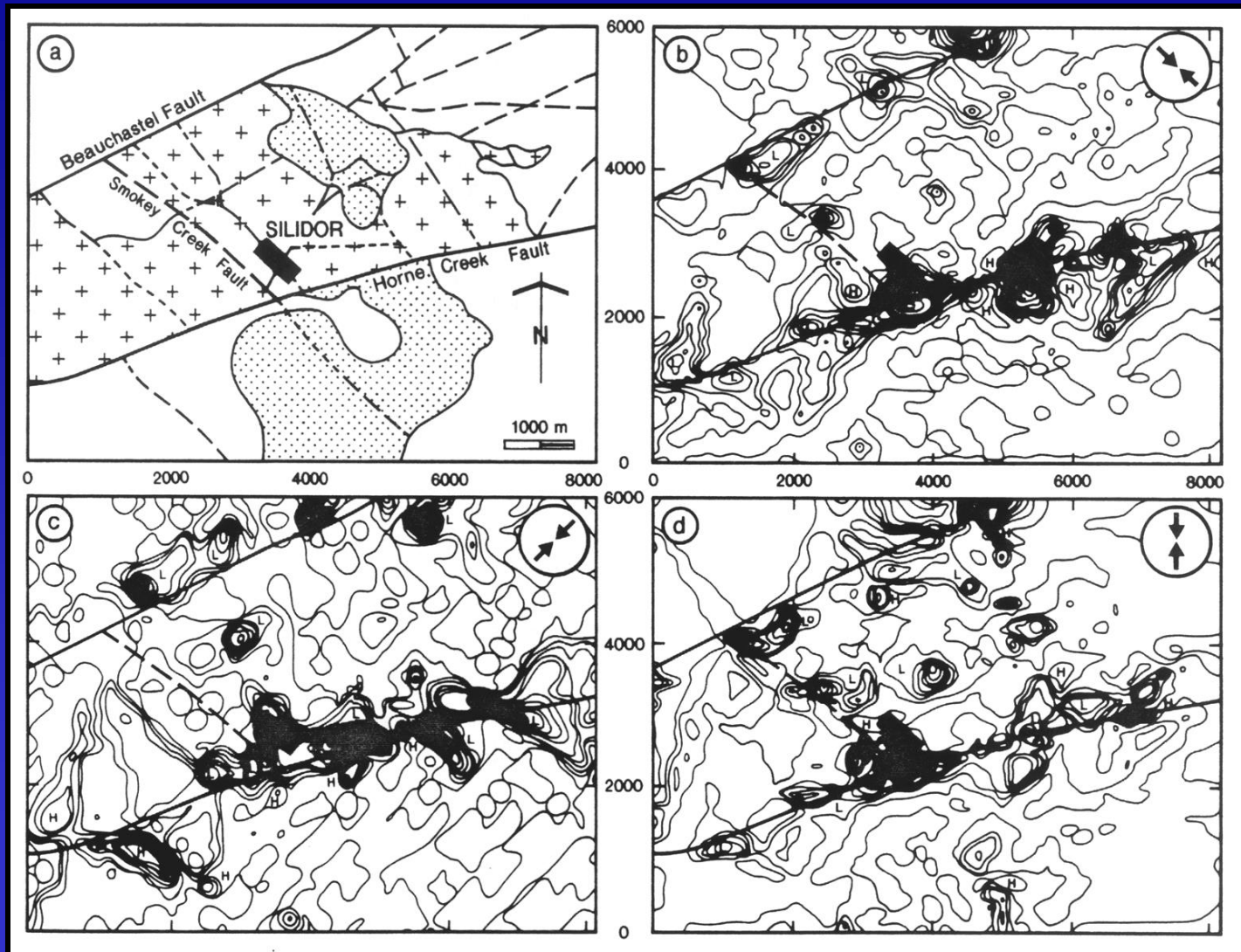
2.750 2.825 2.900 2.975 3.050 3.125
(e+5)

Exemples et applications



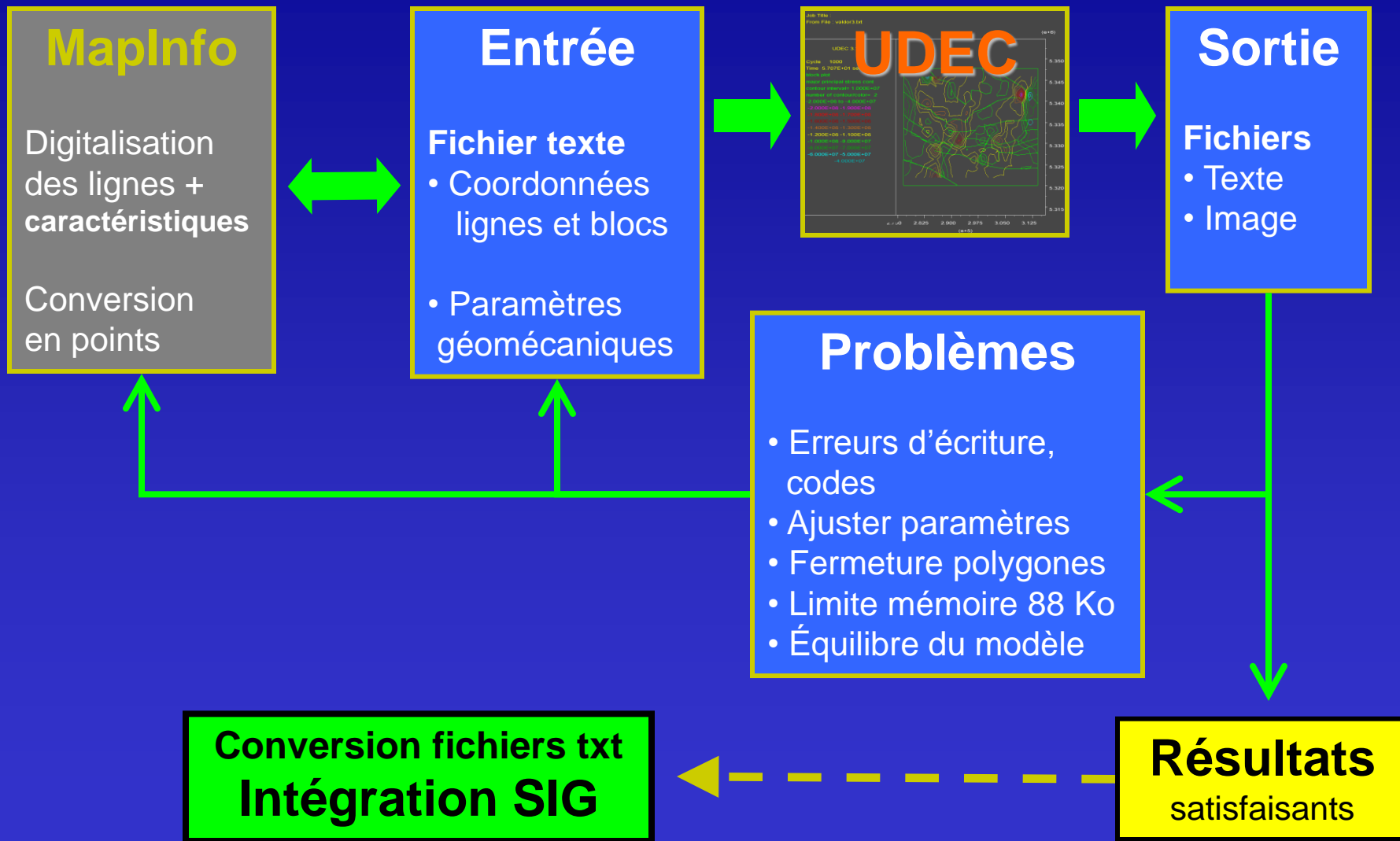
(Groves et al., 2000)

Exemples et applications

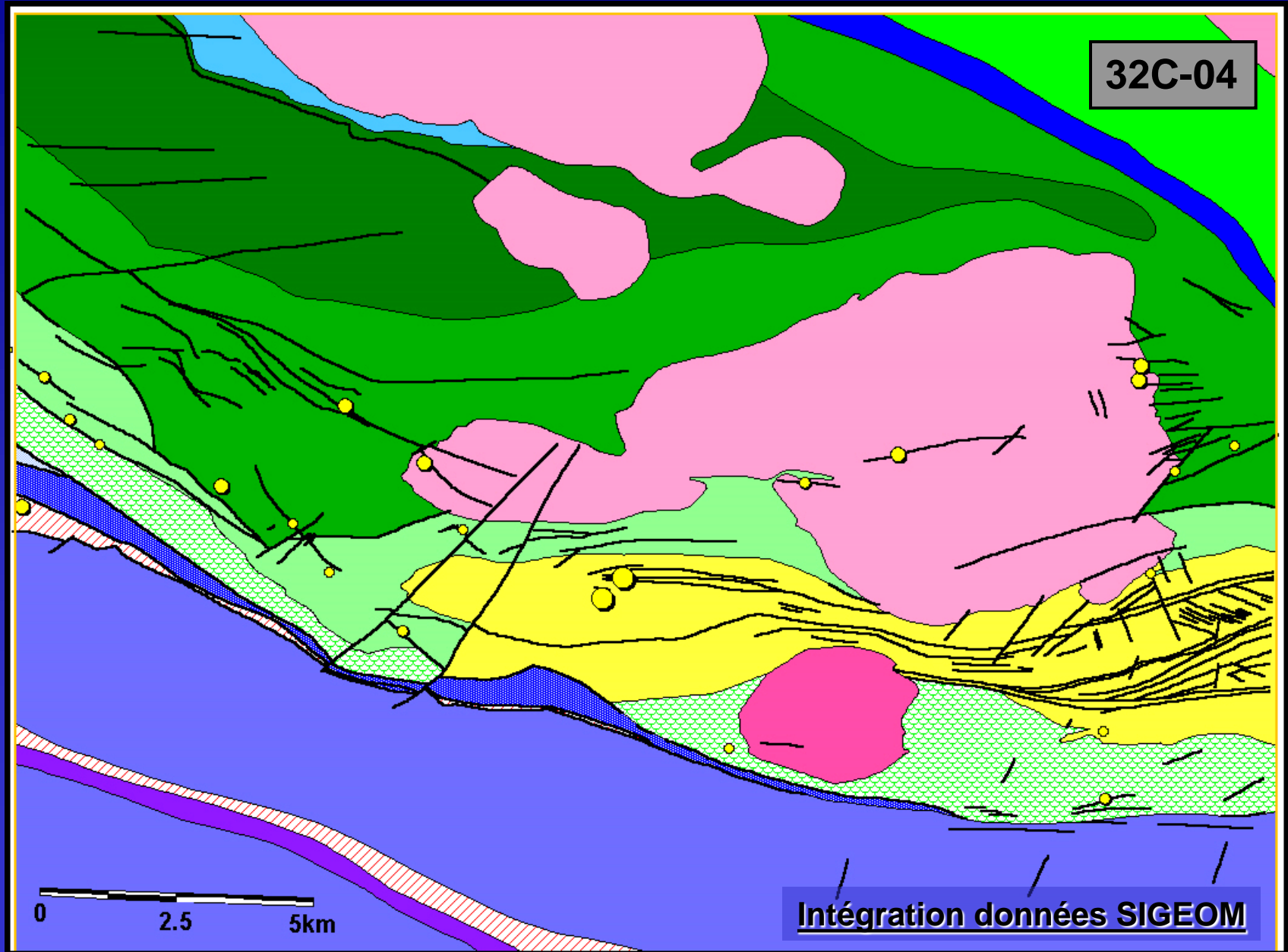


(Carrier et al., 2000)

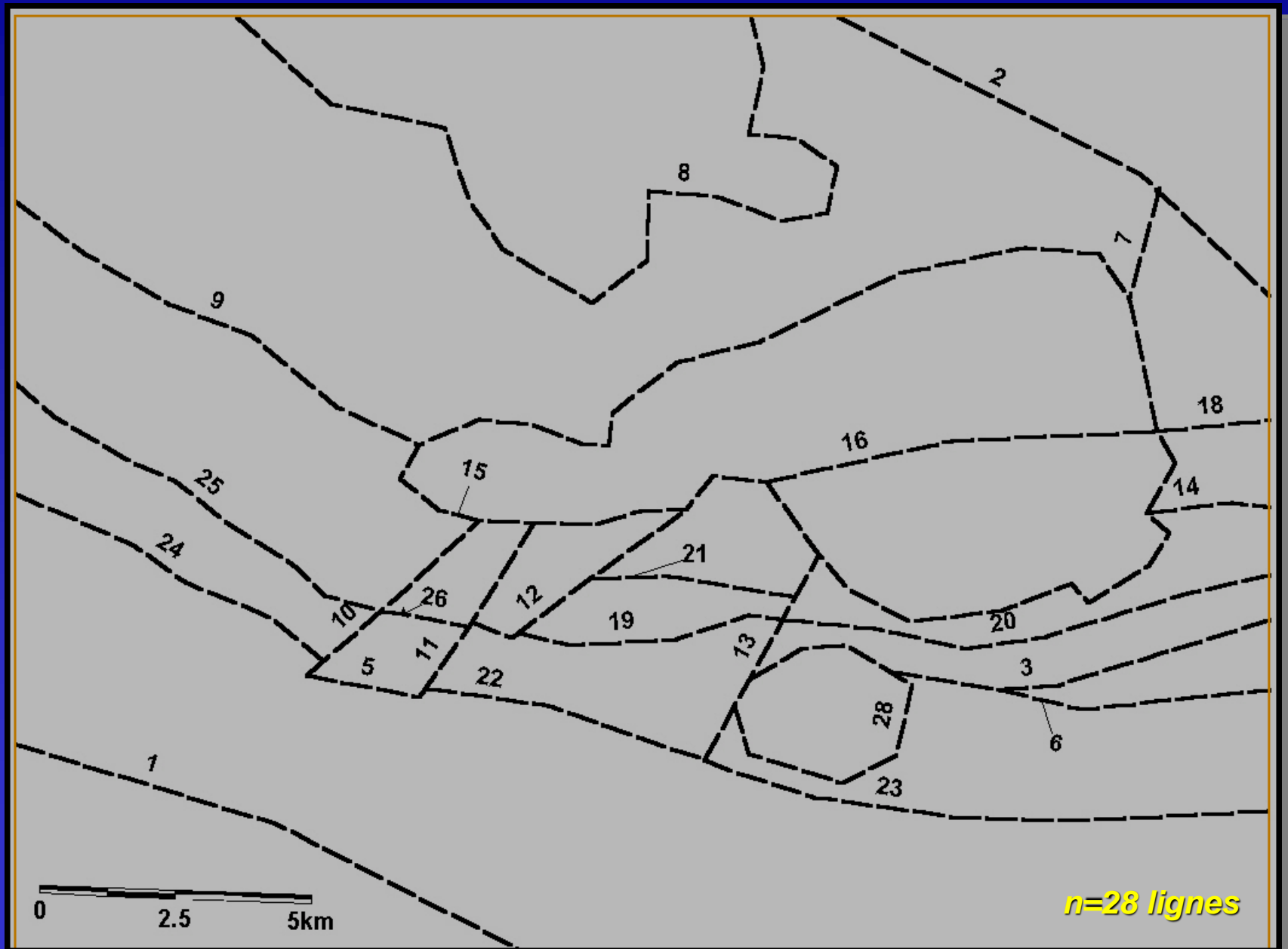
Fonctionnement



Transfert de la géologie vers UDEC



Digitalisation et identification des lignes



Génération des points géocodés

Microsoft Excel - Pt_Lignes_Model3.xls

Echier Edition Affichage Insertion Format Outils Données Fenêtre ?

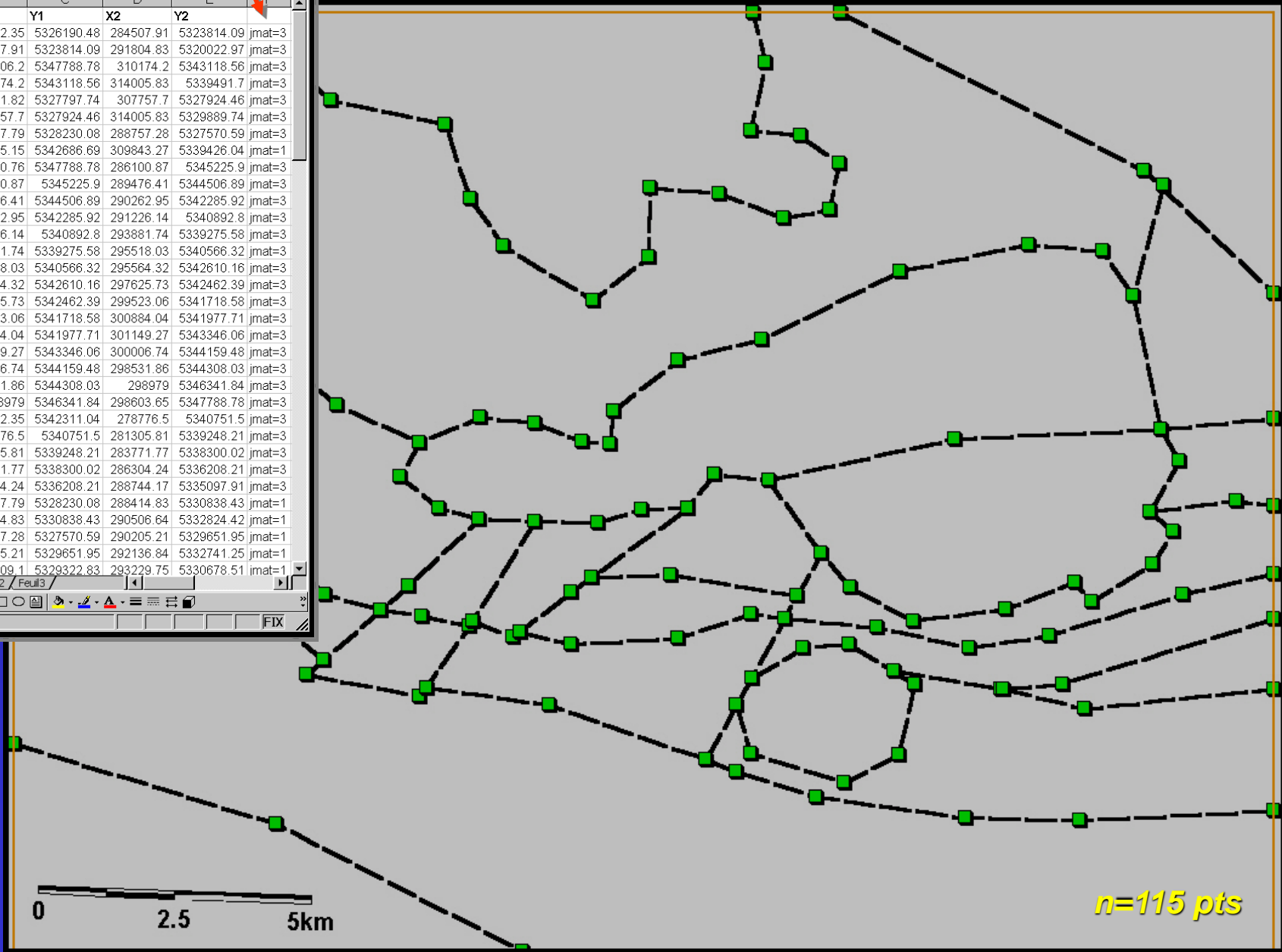
H3

	A	B	C	D	E	F
1	ID_Lignes	X1	Y1	X2	Y2	
2	1	276732.35	5326190.48	284507.91	5323814.09	jmat=3
3	1	284507.91	5323814.09	291804.83	5320022.97	jmat=3
4	2	301206.2	5347788.78	310174.2	5343118.56	jmat=3
5	2	310174.2	5343118.56	314005.83	5339491.7	jmat=3
6	3	305951.82	5327797.74	307757.7	5327924.46	jmat=3
7	3	307757.7	5327924.46	314005.83	5329889.74	jmat=3
8	5	285387.79	5328230.08	288757.28	5327570.59	jmat=3
9	7	310745.15	5342686.69	309843.27	5339426.04	jmat=1
10	8	283320.76	5347788.78	286100.87	5345225.9	jmat=3
11	8	286100.87	5345225.9	289476.41	5344506.89	jmat=3
12	8	289476.41	5344506.89	290262.95	5342285.92	jmat=3
13	8	290262.95	5342285.92	291226.14	5340892.8	jmat=3
14	8	291226.14	5340892.8	293881.74	5339275.58	jmat=3
15	8	293881.74	5339275.58	295518.03	5340566.32	jmat=3
16	8	295518.03	5340566.32	295564.32	5342610.16	jmat=3
17	8	295564.32	5342610.16	297625.73	5342462.39	jmat=3
18	8	297625.73	5342462.39	299523.06	5341718.58	jmat=3
19	8	299523.06	5341718.58	300884.04	5341977.71	jmat=3
20	8	300884.04	5341977.71	301149.27	5343346.06	jmat=3
21	8	301149.27	5343346.06	300006.74	5344159.48	jmat=3
22	8	300006.74	5344159.48	298531.86	5344308.03	jmat=3
23	8	298531.86	5344308.03	298979	5346341.84	jmat=3
24	8	298979	5346341.84	298603.65	5347788.78	jmat=3
25	9	276732.35	5342311.04	278776.5	5340751.5	jmat=3
26	9	278776.5	5340751.5	281305.81	5339248.21	jmat=3
27	9	281305.81	5339248.21	283771.77	5338300.02	jmat=3
28	9	283771.77	5338300.02	286304.24	5336208.21	jmat=3
29	9	286304.24	5336208.21	288744.17	5335097.91	jmat=3
30	10	285387.79	5328230.08	288414.83	5330838.43	jmat=1
31	10	288414.83	5330838.43	290506.64	5332824.42	jmat=1
32	11	288757.28	5327570.59	290205.21	5329651.95	jmat=1
33	11	290205.21	5329651.95	292136.84	5332741.25	jmat=1
34	12	291509.1	5329322.83	293229.75	5330678.51	jmat=1

Feuille1 / Feuille2 / Feuille3

Dessin

Prêt



Exemple de fichier envoyer vers UDEC

```
Exemple_fichier.txt - WordPad
Fichier Edition Affichage Insertion Format ?
ro 200
b 276732.35 5320023 276732.35 5347789 314005.83 5347789 314005.83 5320023
cr 276732.35 5326190.48 284507.91 5323814.09
cr 284507.91 5323814.09 291804.83 5320022.97
cr 301206.2 5347788.78 310174.2 5343118.56
.
.
.
cr 306007.62 5327785.57 308435.53 5327230.1
cr 308435.53 5327230.1 314005.83 5327803.96
gen edge 3500
ch b 2 mat=3
ch b 178 mat=4
.
.
.
ch b 16611 mat=5
prop mat=1 den=2660 b=24.8e9 s=19.4e9
prop mat=2 den=2740 b=32e9 s=21.1e9
prop mat=3 den=2300 b=12e9 s=10e9
prop mat=4 den=2800 b=20e9 s=15e9
prop mat=5 den=2700 b=15e9 s=11e9
ch 276732.35 5326190.48 284507.91 5323814.09 jmat=3
ch 284507.91 5323814.09 291804.83 5320022.97 jmat=3
.
.
.
ch 308435.53 5327230.1 314005.83 5327803.96 jmat=3
prop jmat 1 jkn 8.00E+08 jks 3.00E+08 jcoh 5.00E+03
prop jmat 2 jkn 3.50E+08 jks 1.40E+08
prop jmat 3 jkn 8.00E+07 jks 3.00E+07
prop jmat 4 jkn 9.00E+09 jks 4.50E+09 jcoh 1.50E+06
prop jmat 5 jkn 7.20E+09 jks 3.60E+09
bo 275732.35 277232.35 5320023 5347789 str -5e7 0 0
bo 313505.83 315005.83 5320023 5347789 str -5e7 0 0
bo 276732.35 314005.83 5319023 5320523 str 0 11e7 -11e7
bo 276732.35 314005.83 5347289 5348789 str 0 11e7 -11e7
damp auto
hist unbal
step 4000
Pour de l'aide, appuyez sur F1
```

1

2

3

4

5

Arrondi des blocs

Cadre (limite)

Création des lignes (± 125)
=> Génère les blocs

Maillage triangulaire (<1000)

Caractérisation des blocs (± 30)

Paramètres géomécaniques
(densité, module cis. et rigidité)

Définition des discontinuités

Paramètres géomécaniques
(raideur normale et tangentielle, cohésion)

Comportement des bordures
Compression, extension, fixe, direction

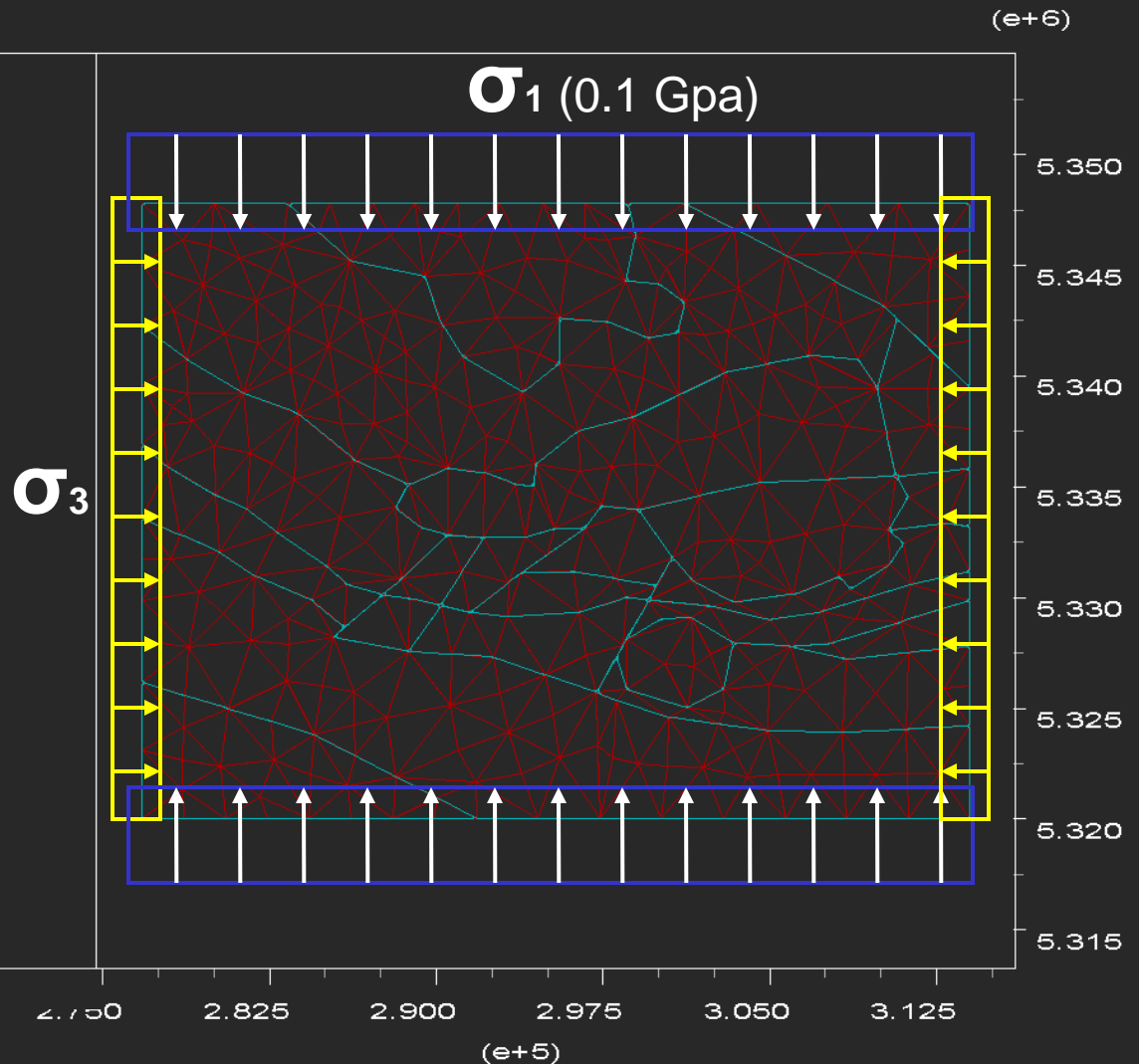
Nombre d'incrémentations (cycle)

Maillage et conditions aux limites

Job Title :
From File : valdor3.txt

UDEC 3.10

Cycle 0
Time 0.000E+00 sec
zones in fdef blocks
no. zones : total 606
at yield surface (*) 0
yielded in past (X) 0
tensile failure (o) 0
block plot



Résultats: Tenseur des contraintes

Job Title :
From File : valdor3.txt

(e+6)

UDEC 3.10

Cycle 500
Time 3.170E+01 sec

zones in fdef blocks

no. zones : total 606
at yield surface (*) 0
yielded in past (X) 0
tensile failure (o) 0

Principal stresses

(color code - diff. stress)

Differential stress range:

1.794E+06 -> 8.631E+07

8.000E+07 9.000E+07

7.000E+07 8.000E+07

6.000E+07 7.000E+07

5.000E+07 6.000E+07

4.000E+07 5.000E+07

3.000E+07 4.000E+07

2.000E+07 3.000E+07

1.000E+07 2.000E+07

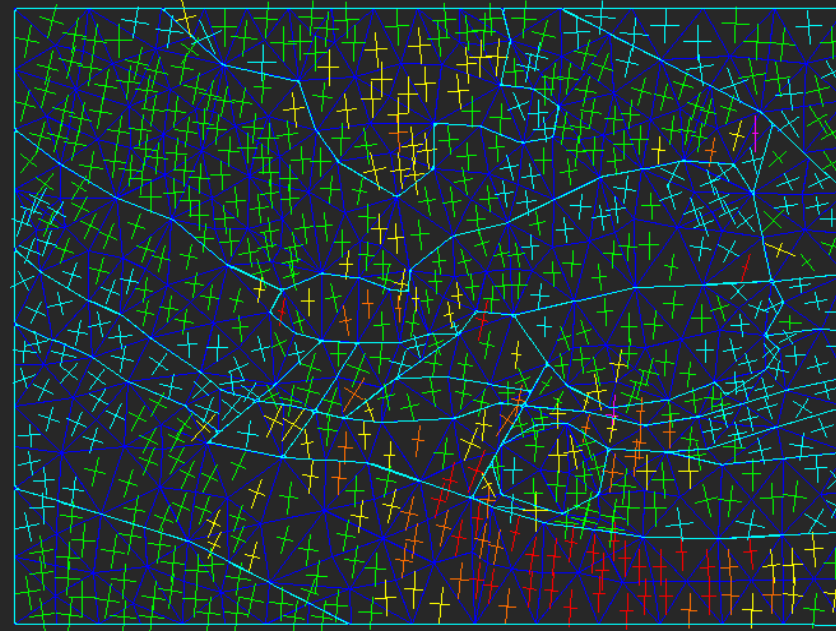
0.000E+00 1.000E+07



0 1E+09

no. zones : total 606

at yield surface (*) 0



2.750 2.825 2.900 2.975 3.050 3.125

(e+5)

Résultats: contraintes moyennes minimales (indicateur de pression)

(e+6)

UDEC 3.10

Cycle 1000

Time 6.340E+01 sec

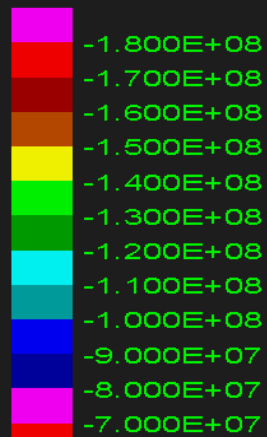
block plot

major principal stress cont

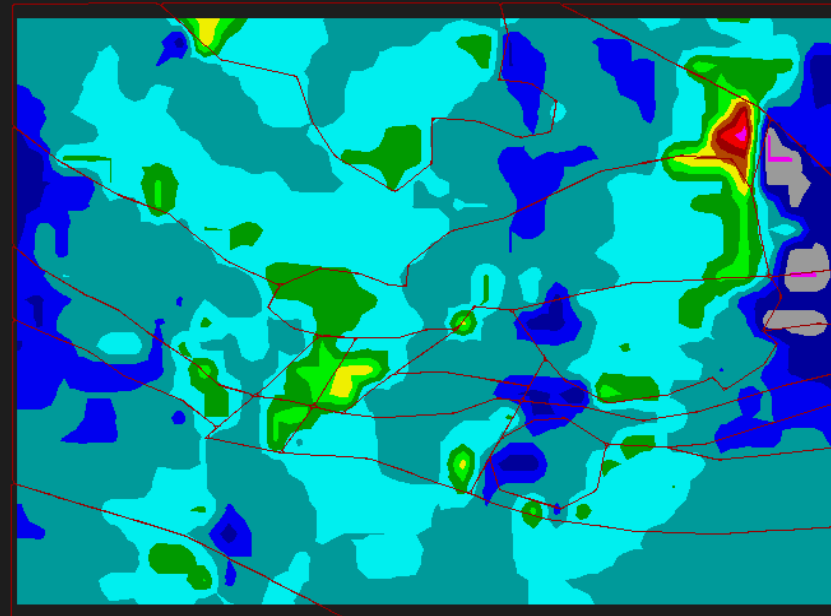
contour interval= 5.000E+06

number of contour/color= 2

-1.850E+08 to -7.000E+07



block plot



2.750 2.825 2.900 2.975 3.050 3.125

(e+5)

5.350

5.345

5.340

5.335

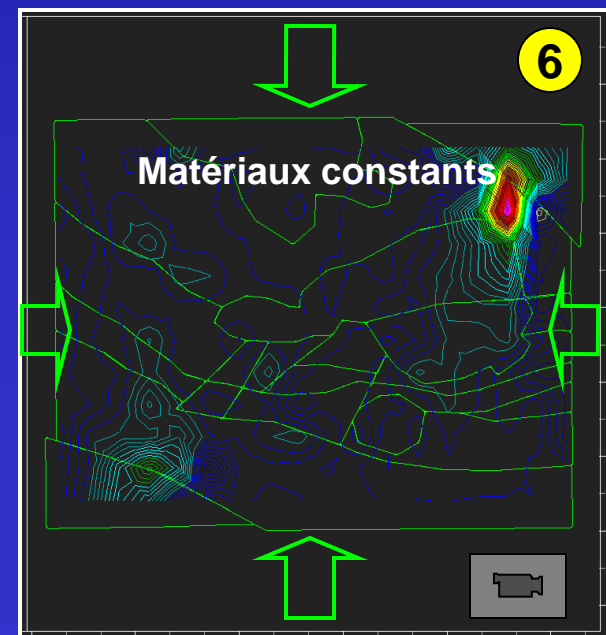
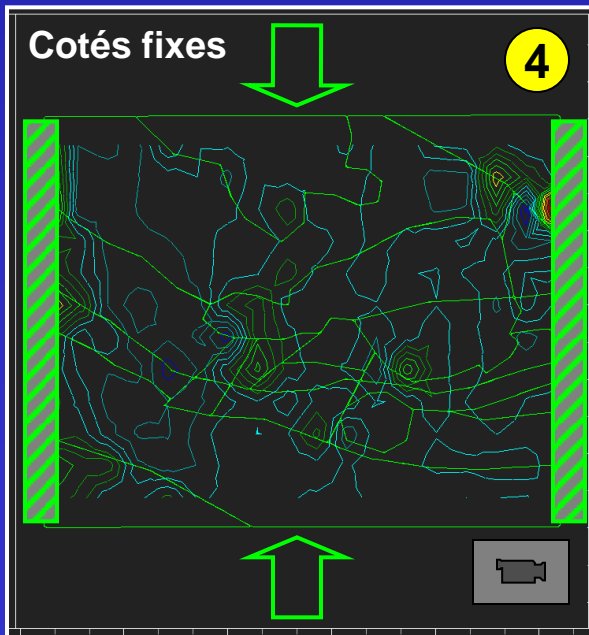
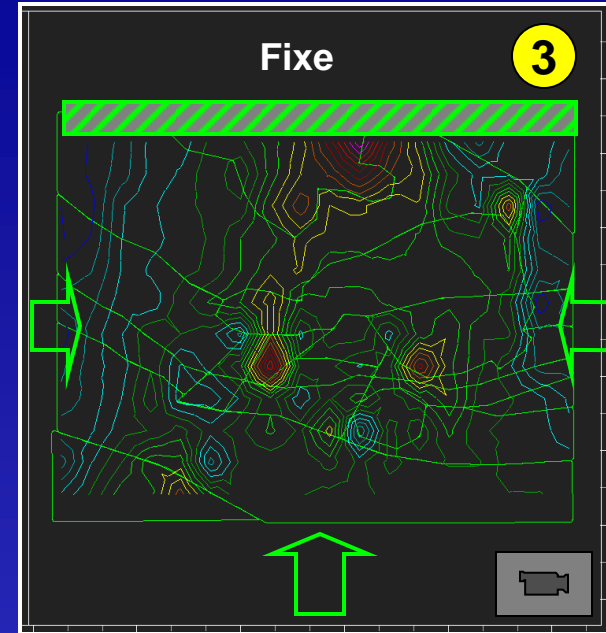
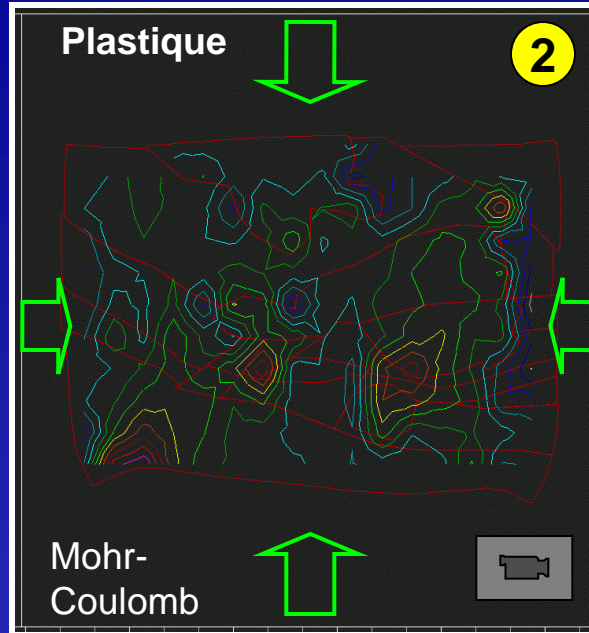
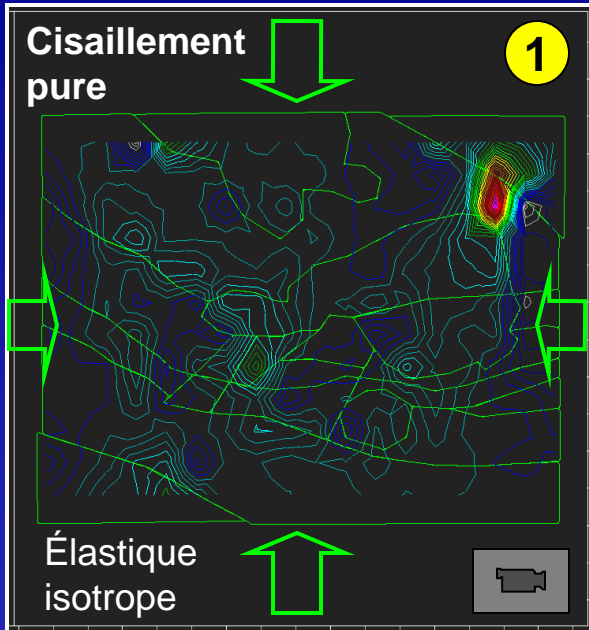
5.330

5.325

5.320

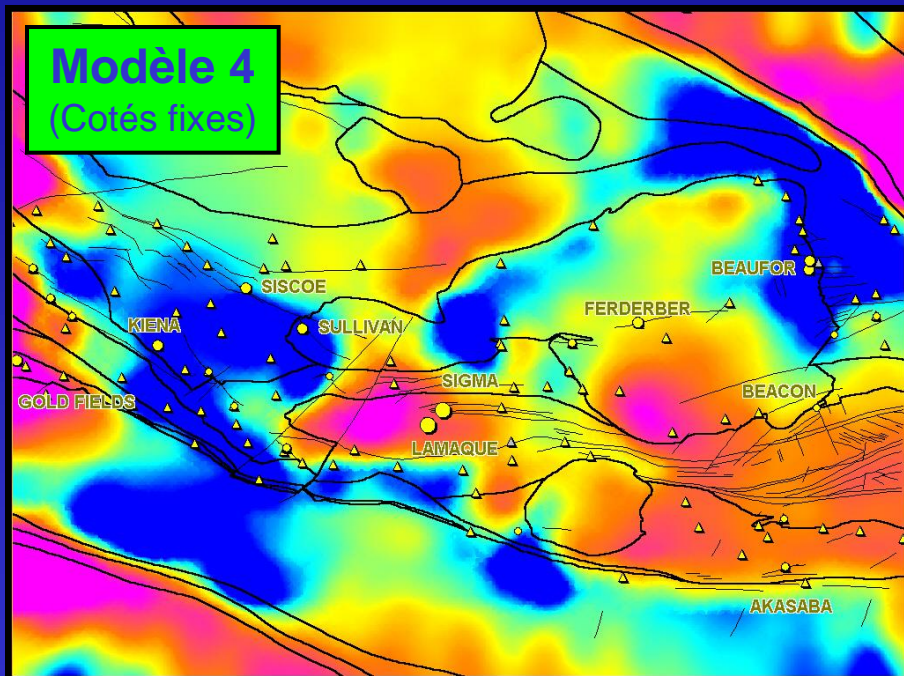
5.315

Modèles testés

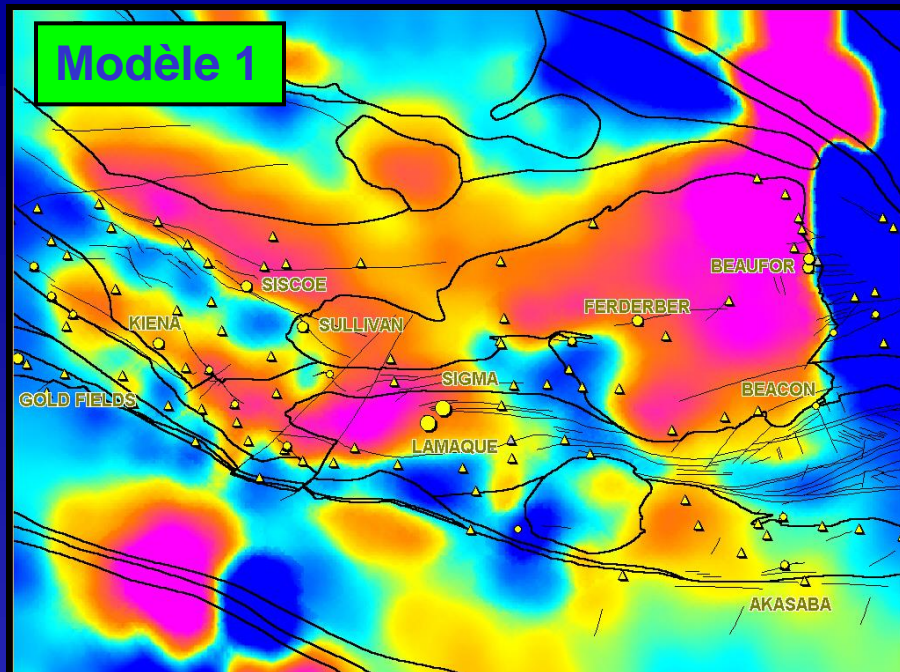


Intégration des résultats dans un SIG

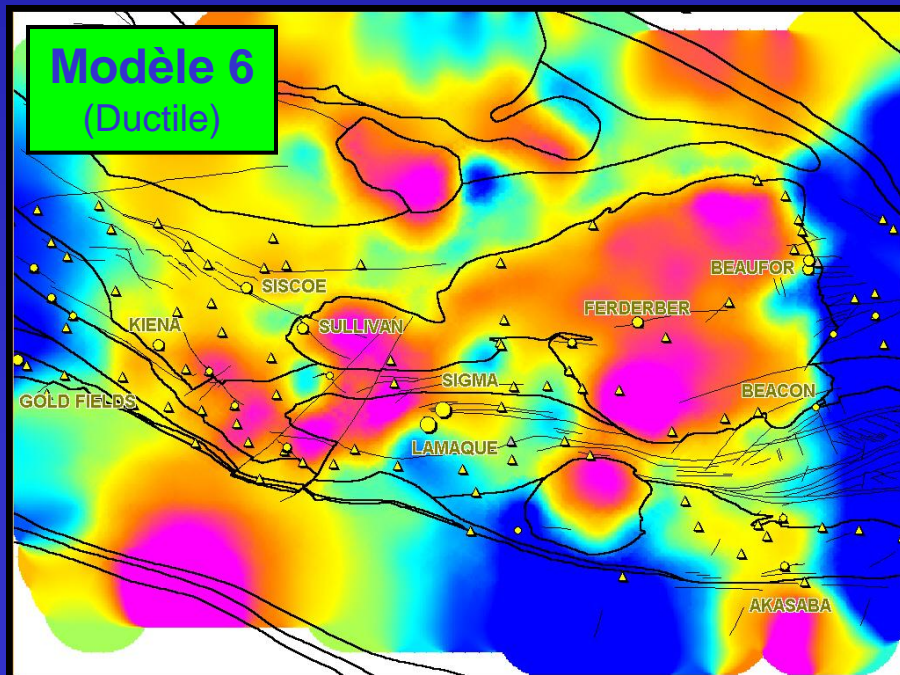
Modèle 4
(Côtés fixes)



Modèle 1



Modèle 6
(Ductile)



Intensité des pressions



Forte

Faible

Conclusion – Phase I

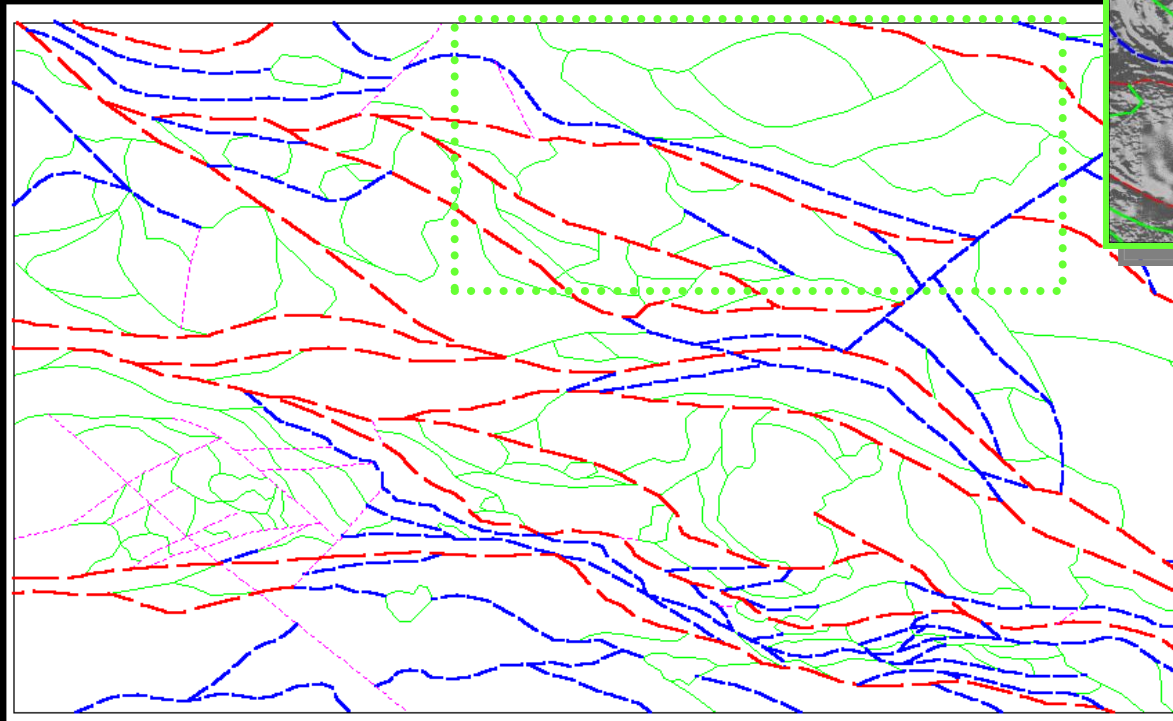
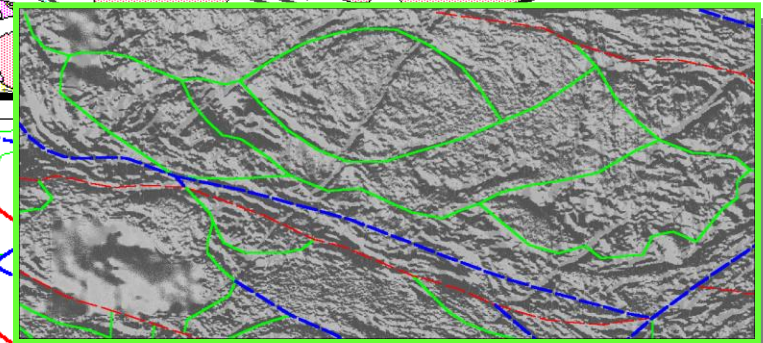
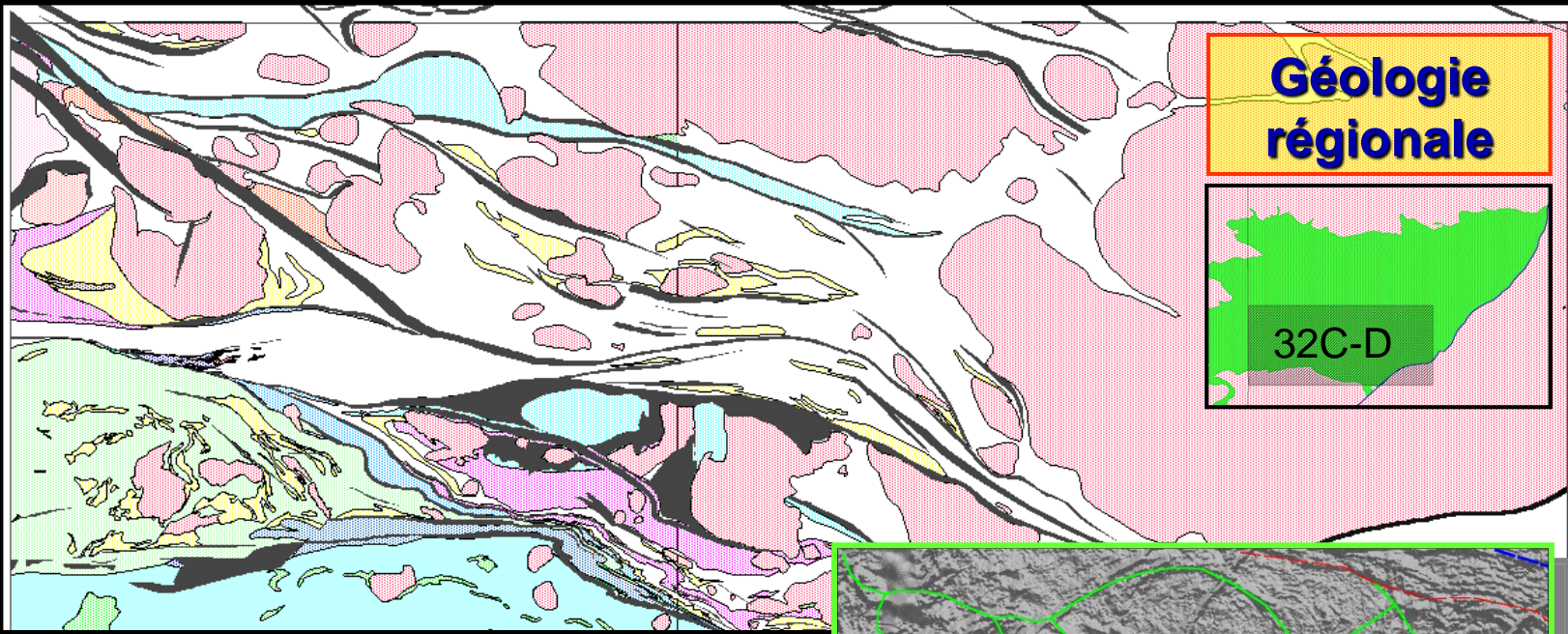
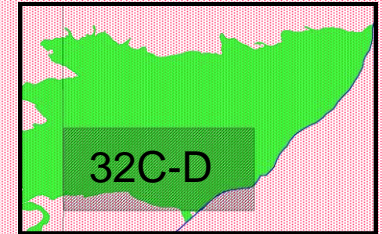
- Outil puissant pour déterminer les contraintes d'un modèle
- Beaucoup de paramètres => plusieurs solutions
- Résultats dans le secteur de Val-d'Or porte à réflexion :
mines situées dans les pressions intermédiaires
- Mieux définir ou revoir les paramètres géomécaniques en fonction
des connaissances géologiques
- Souhaitable d'établir un modèle avec UDEC professionnel

Phase II

- Utilisation de la version professionnelle pour des modèles complexes
- Application au sud de l'Abitibi (32C et D)
- Documentation et ajouts de paramètres et de modèles géomécaniques
- Meilleure utilisation de la capacité du logiciel

⇒ Choix d'une solution pour le modèle SPCPM

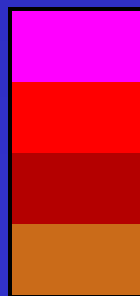
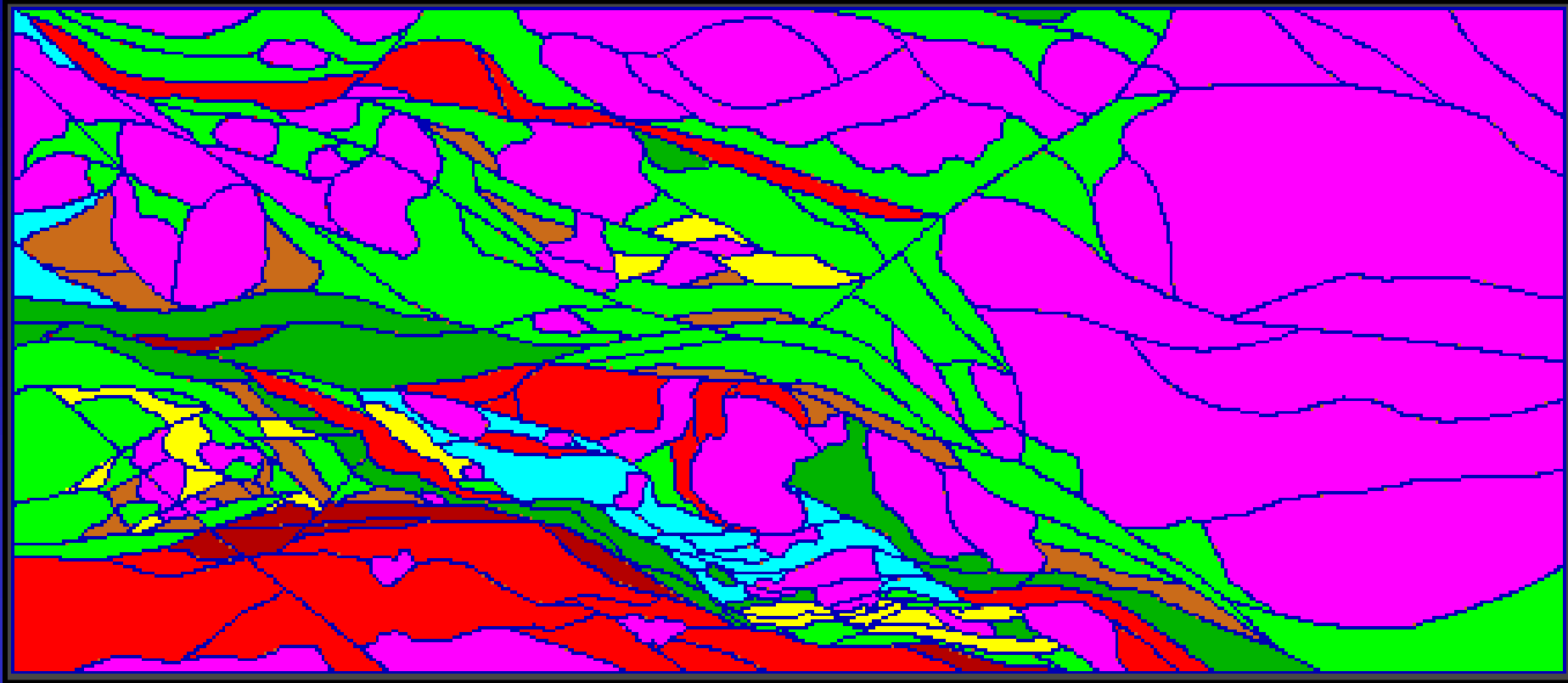
Géologie régionale



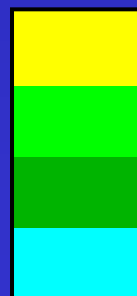
Interprétation géologique pour UDEC

- Couloir de failles
- - - Faille 2^{ème} ordre
- Faille cassante
- Contact

Intégration de la géologie dans UDEC



Granitoïdes
Wackes, silts
Conglomérats
Rhyolites, dacites



Andésites, rhyolites
Andésites, basaltes
Basaltes
Basaltes, ultramafiques

Statistiques

	<u>n=</u>	
<u>Blocs</u>	253	
<u>Contacts</u>	173	867 segments
<u>Failles</u>	107	769 segments
<u>Maillage</u>	47 929	triangles
<u>Programme</u>	2 665	lignes
<u>Compilation</u>	11	minutes

Modèles rhéologiques utilisés

1. Elastique isotrope (modèle par défaut dans UDEC)

Comportement simpliste. Valide pour des matériaux homogènes, isotropes et continus

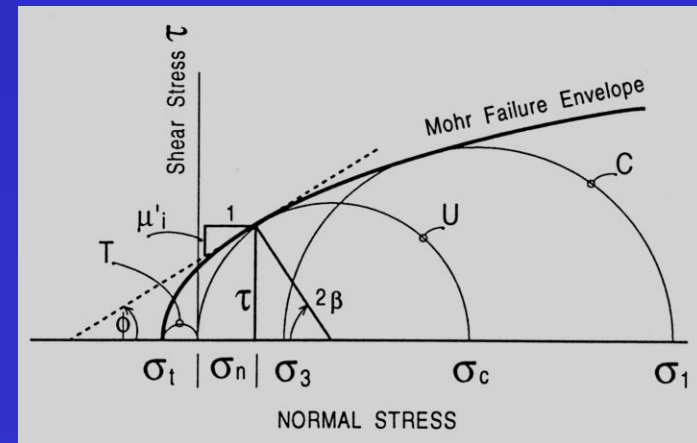
(Utilise seulement les paramètres d'élasticité; modules de cisaillement et de compression)

Bon comme première approximation d'un modèle

2. Modèle Mohr-Coulomb

Pour des blocs déformables; enveloppe de rupture correspond au critère de Mohr-Coulomb (*angle friction et tension*)

Pour simuler déformation des roches, ciments et sols



Paramètres géomécaniques utilisés

Blocs géologiques

Type de roches	Densité (kg/m ³)	Module compression (Gpa)	Module cisaillement (Gpa)	Angle friction (°)	Cohésion (Mpa)	Résistance traction (Mpa)
Granitoïdes	2660	2.48E+10	1.94E+10	51	55.1	4.1E+06
Wackes, silts, schistes	2350	1.60E+10	1.30E+10	30	31.0	
Conglomérats, grès	2450	1.44E+10	1.09E+10	27.8	27.2	1.2E+06
Rhyolites, rhyodacites	2300	1.96E+10	1.35E+10	35	60.0	
Ryolites, andésites	2370	2.15E+10	1.50E+10	30	60.0	
Andésites, basaltes	2600	2.50E+10	1.80E+10	31	65.0	1.1E+06
Basaltes	2700	3.20E+10	2.11E+10	31	66.0	1.1E+06
Basaltes, ultramafiques	2850	3.50E+10	2.10E+10	21	60.0	



Failles

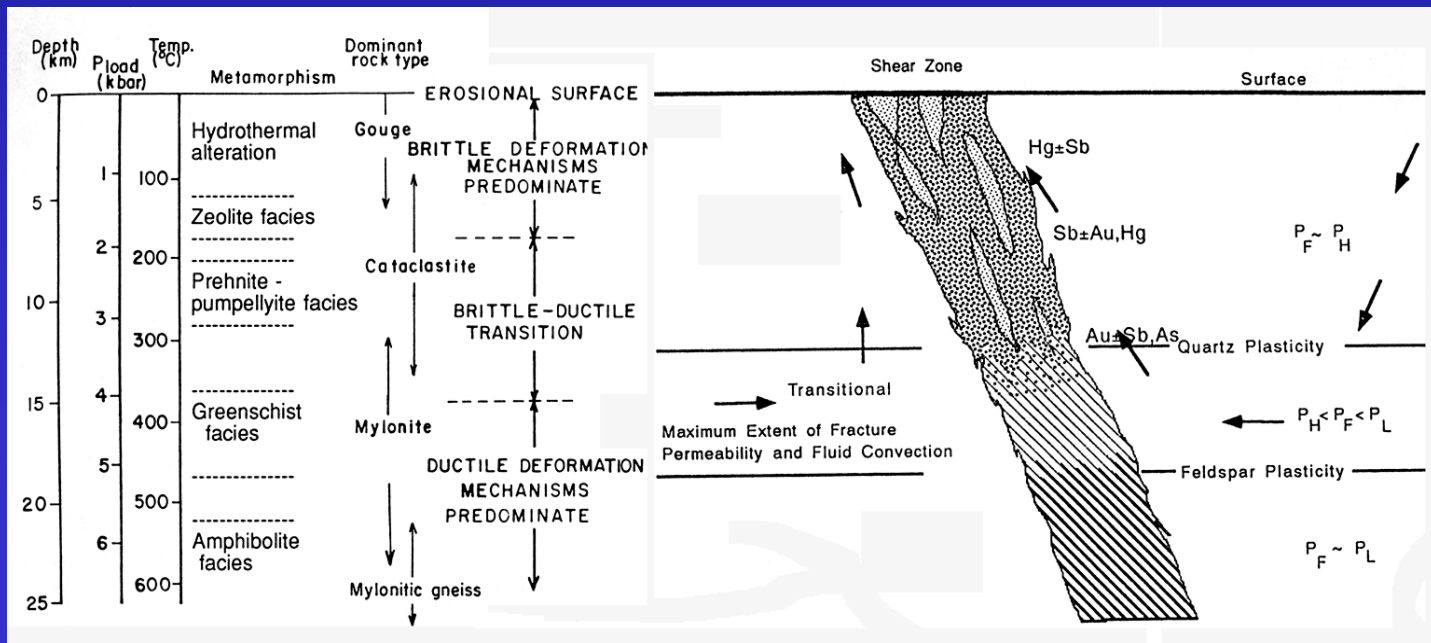
Type de contacts	Raideur normale (Gpa/m)	Raideur tangentielle (Gpa/m)	Cohésion (Mpa)	Angle friction (°)
Contacts géologiques	1.80E+09	9.00E+08		
Couloirs de déformation ductiles	1.00E+08	5.00E+07		
Failles ductiles-cassantes (2ième ordre)	4.00E+08	1.50E+08		
Failles cassantes à fort angle	8.00E+08	3.00E+08	5.00E+03	37

Contraintes orogéniques

Estimations des contraintes fixées en bordure du modèle UDEC

Profondeur 10-12km
 Gradient 26,6 Mpa/km
 Pression \approx 300 Mpa
 lithostatique

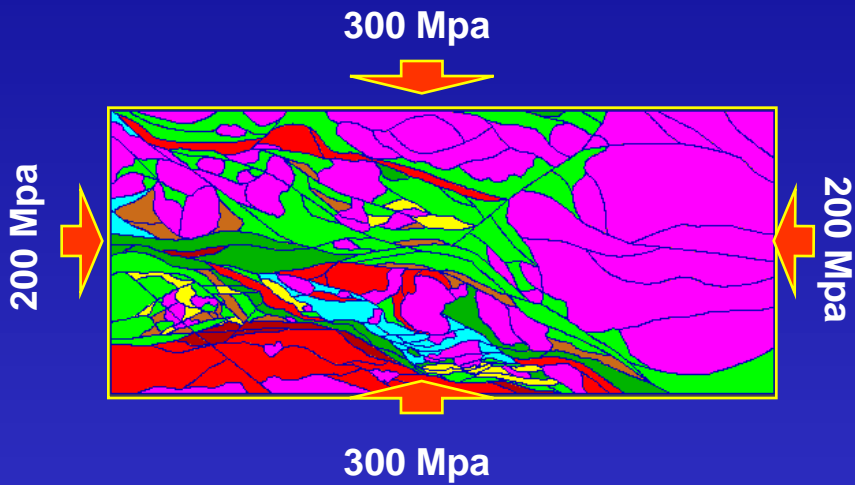
\Rightarrow Contraintes horizontales N-S (σ_1) \approx pression lithostatique



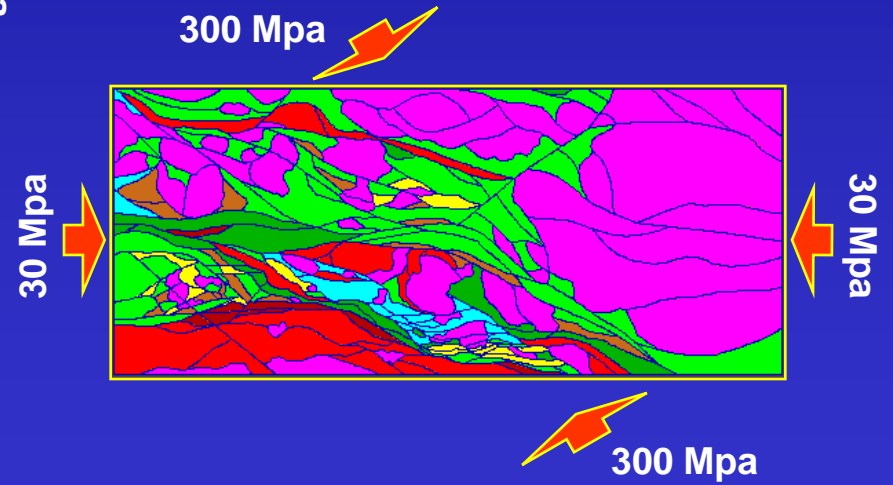
Modifié de Miller et al., 1992 et Nesbitt et Muehlenbachs 1990

Deux modèles testés

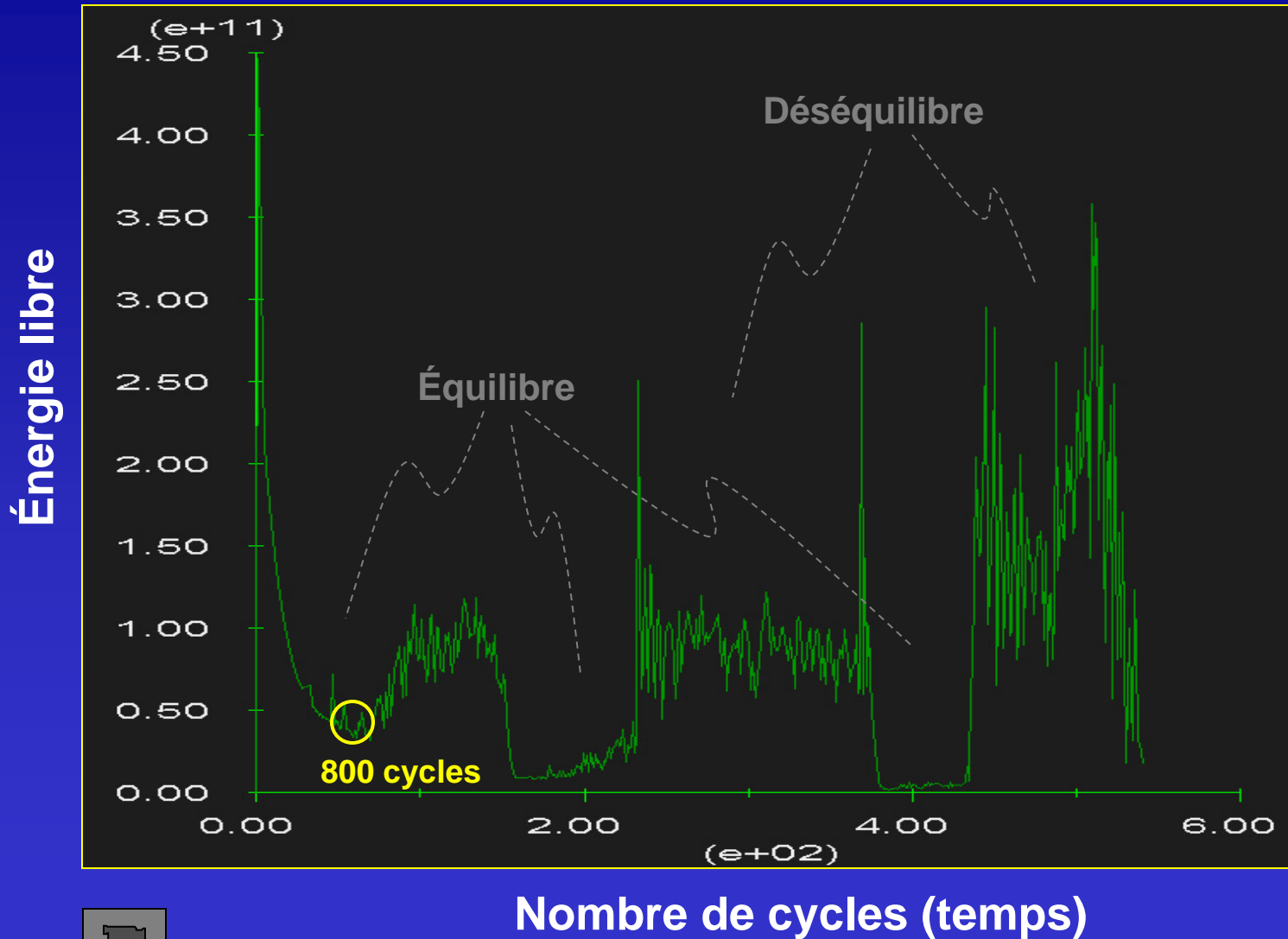
1 Modèle élastique



2 Modèle Mohr-Coulomb

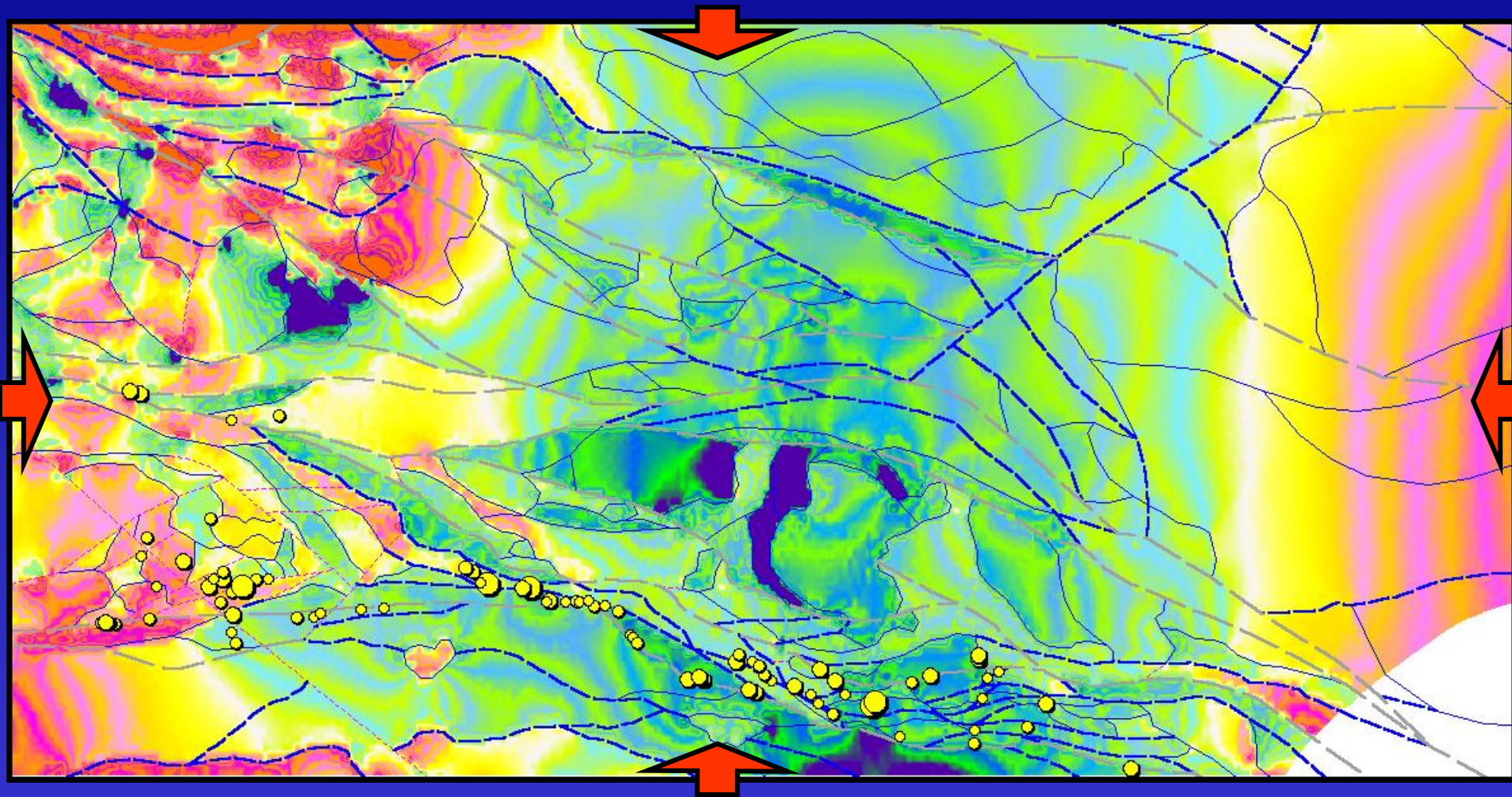


État d'équilibre du modèle élastique



Intégration des résultats

Différentiel de stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ à 800 cycles



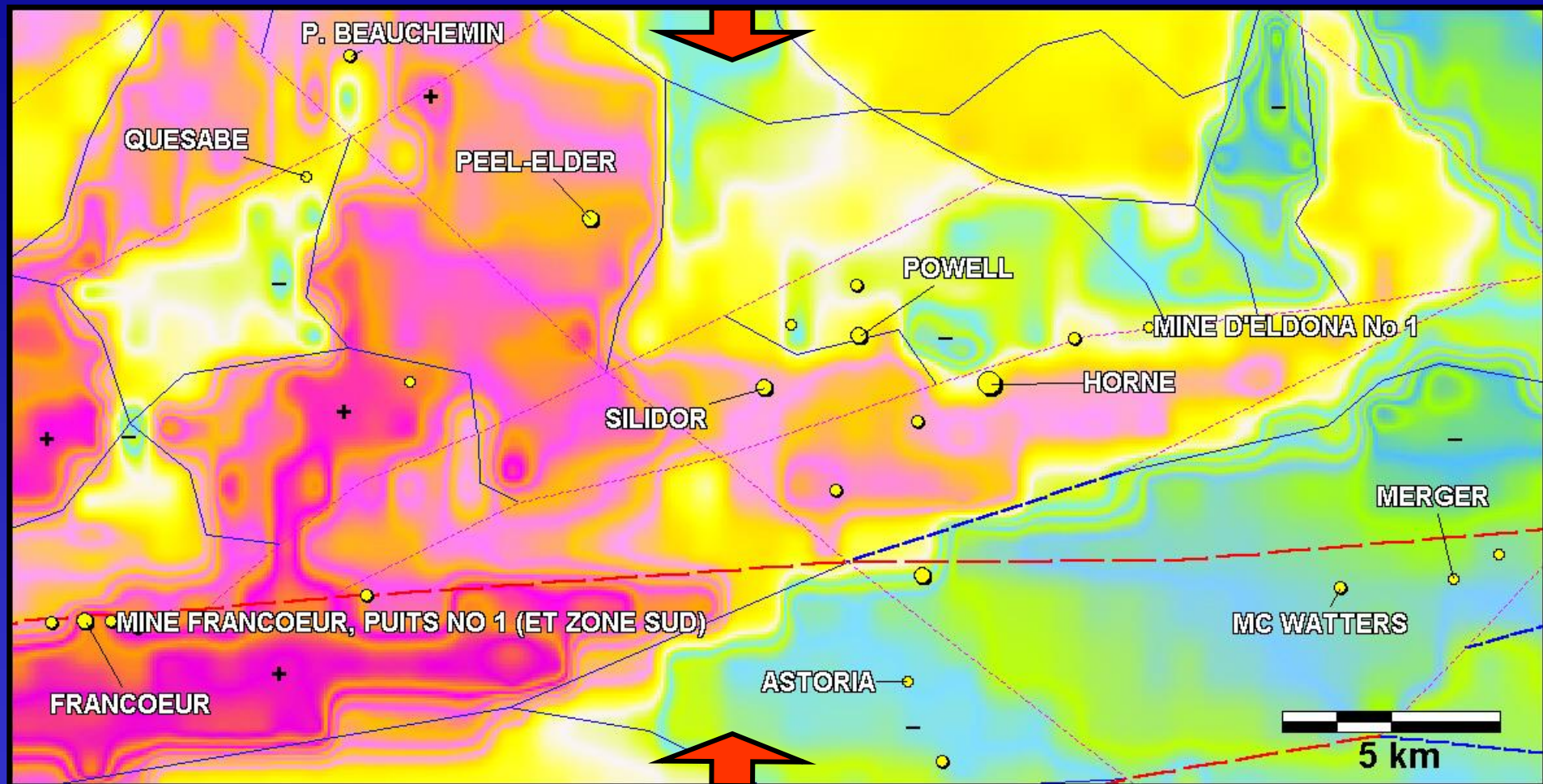
Intensité des pressions



Forte

Faible

Différentiel de stress $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ à 800 cycles - Rouyn-Noranda -



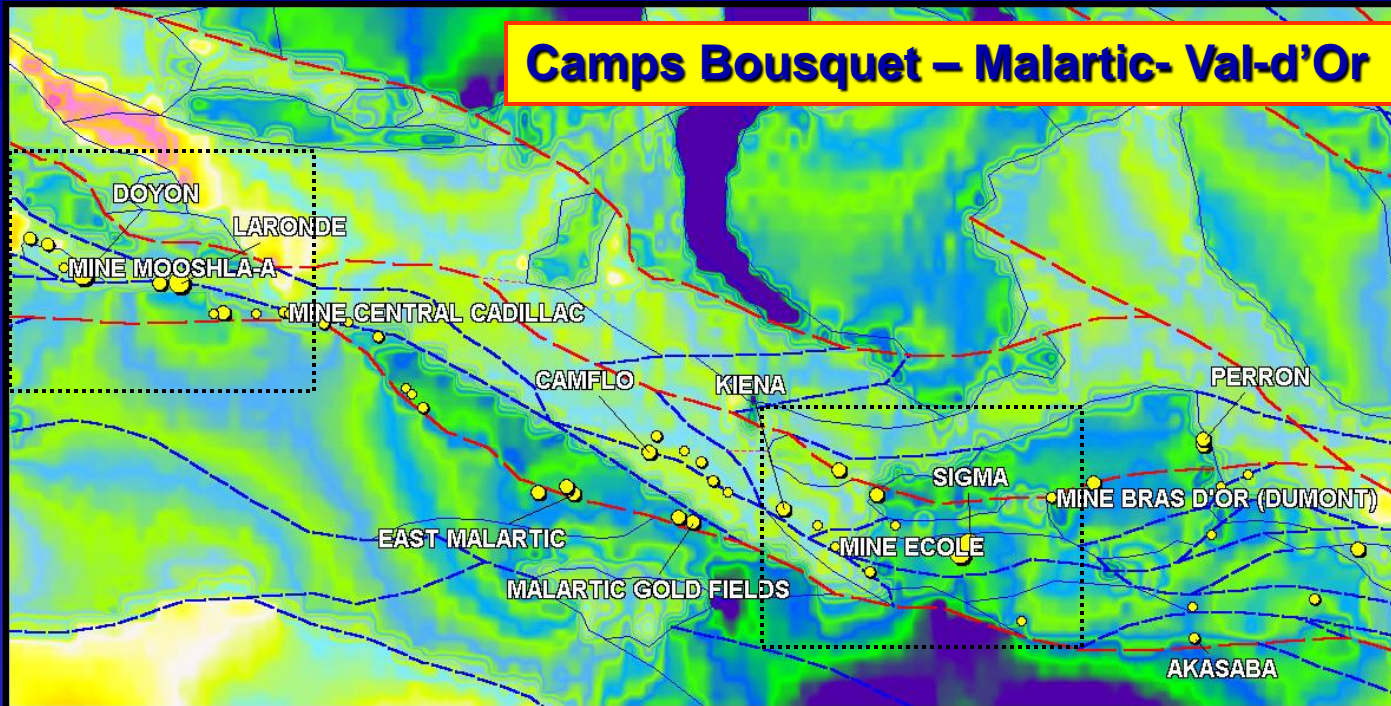
Intensité des pressions



Forte

Faible

Camps Bousquet – Malartic- Val-d'Or



Différentiel
de stress
 $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$
à 800 cycles

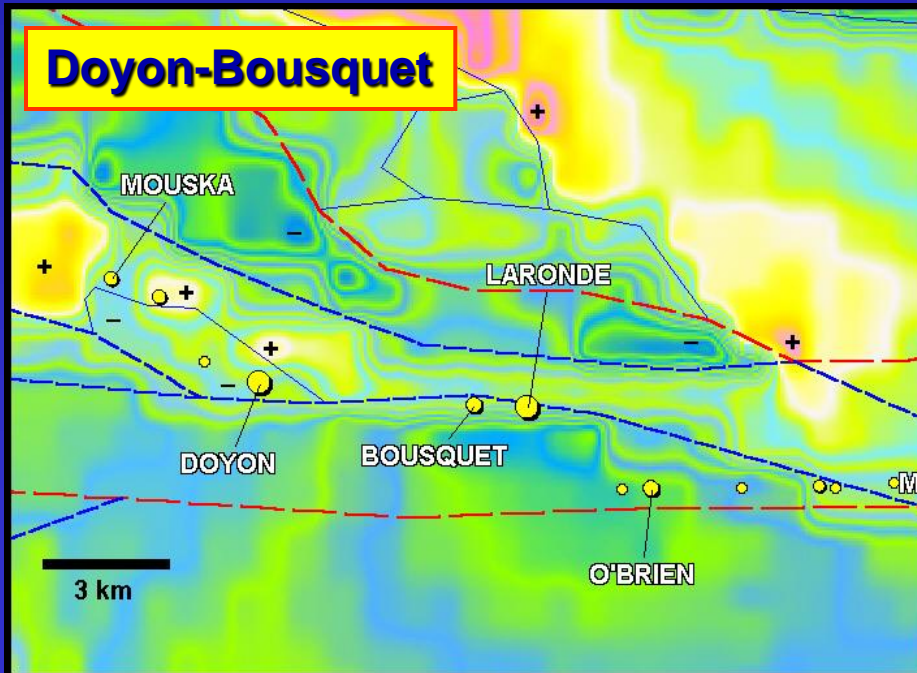
Intensité des pressions



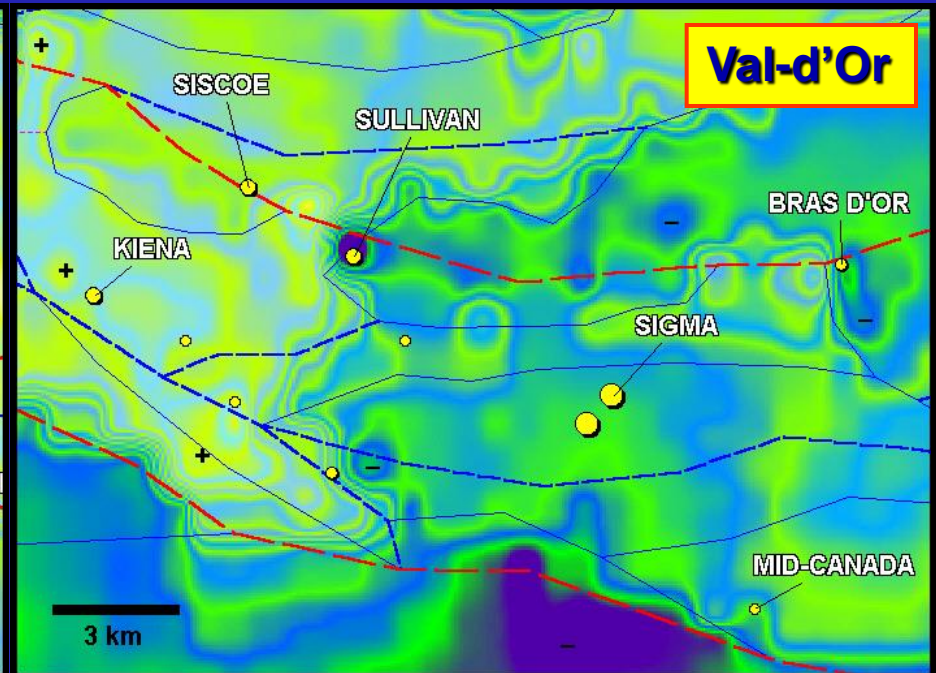
Forte

Faible

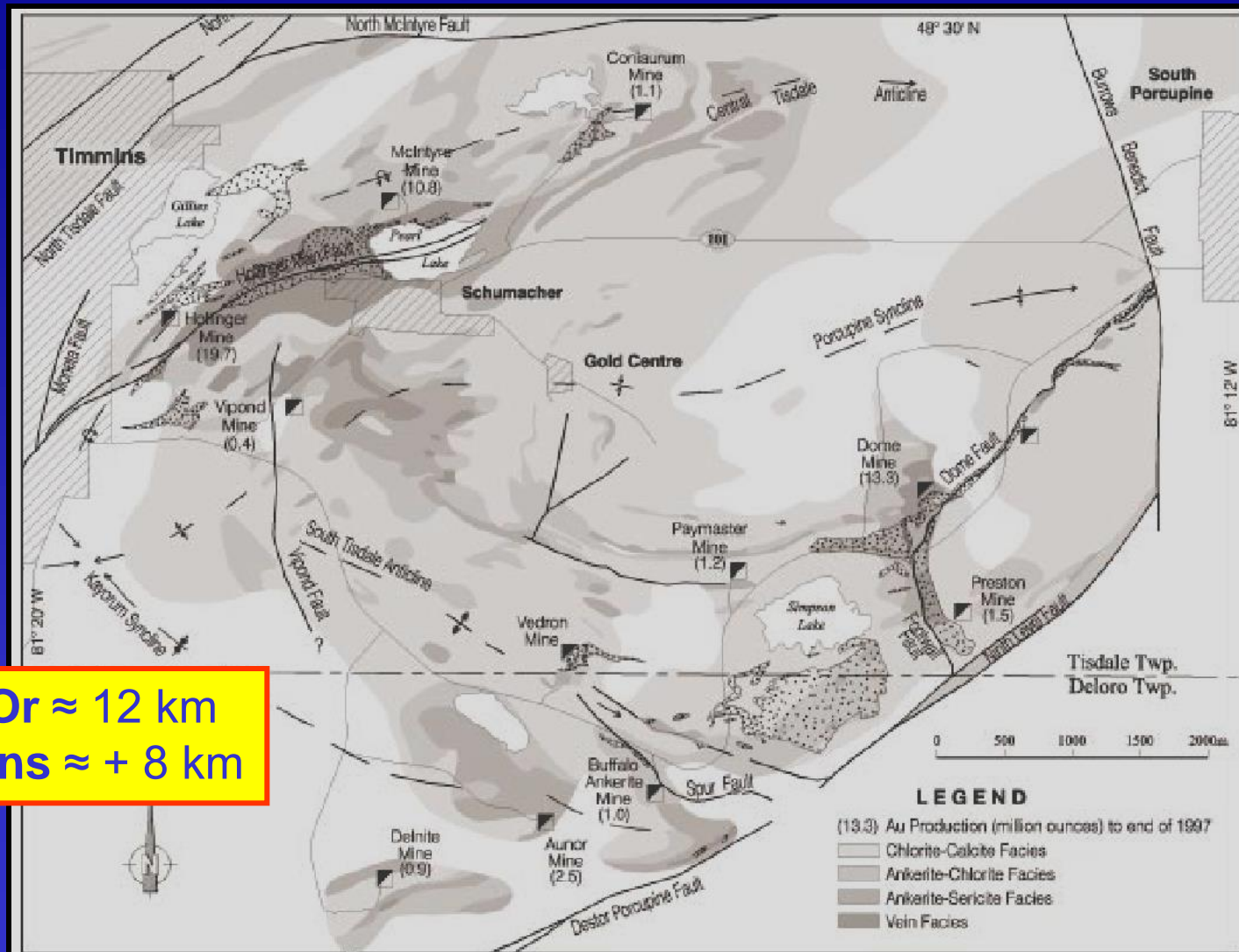
Doyon-Bousquet



Val-d'Or



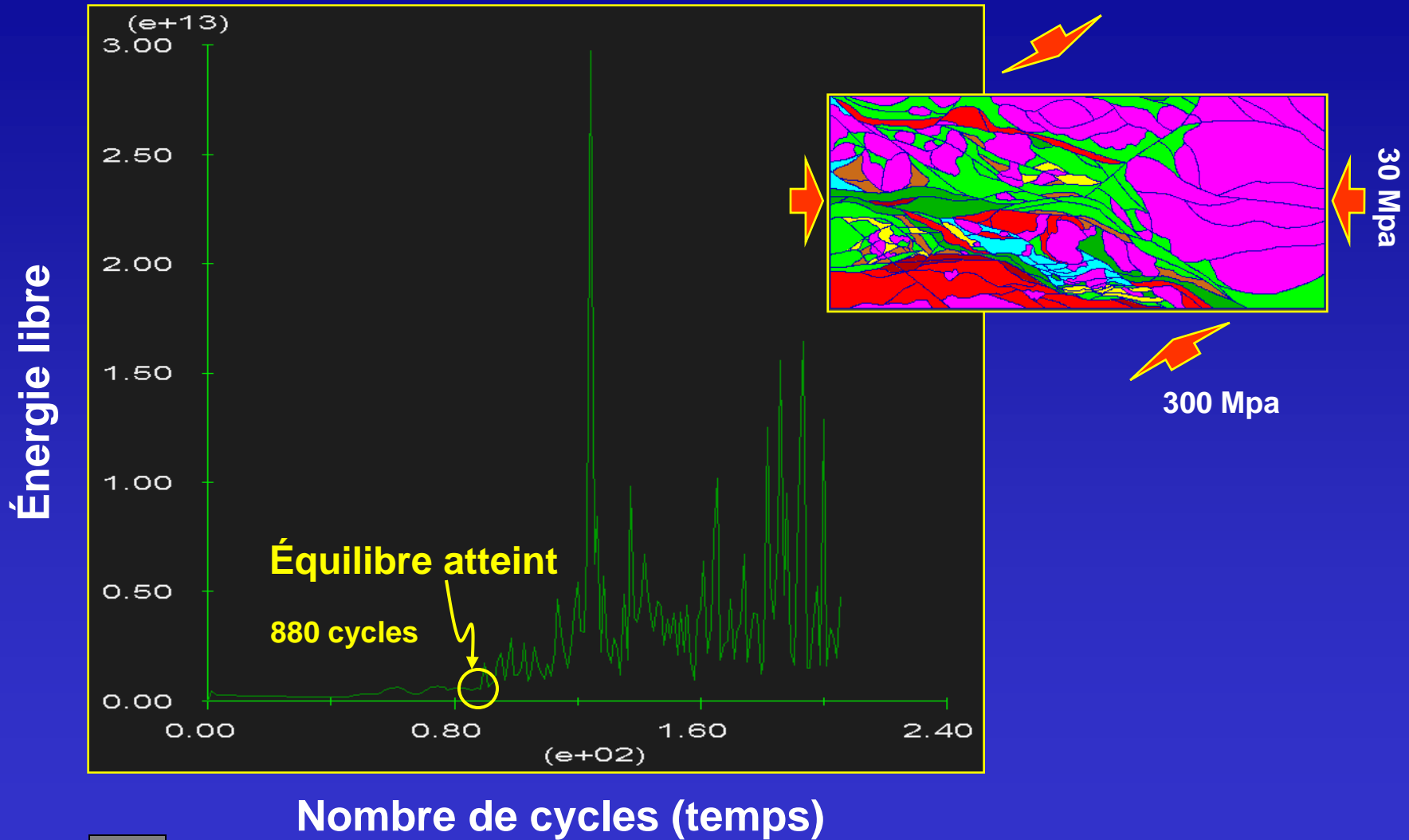
Comparaison avec la dimension du système hydrothermal de Timmins



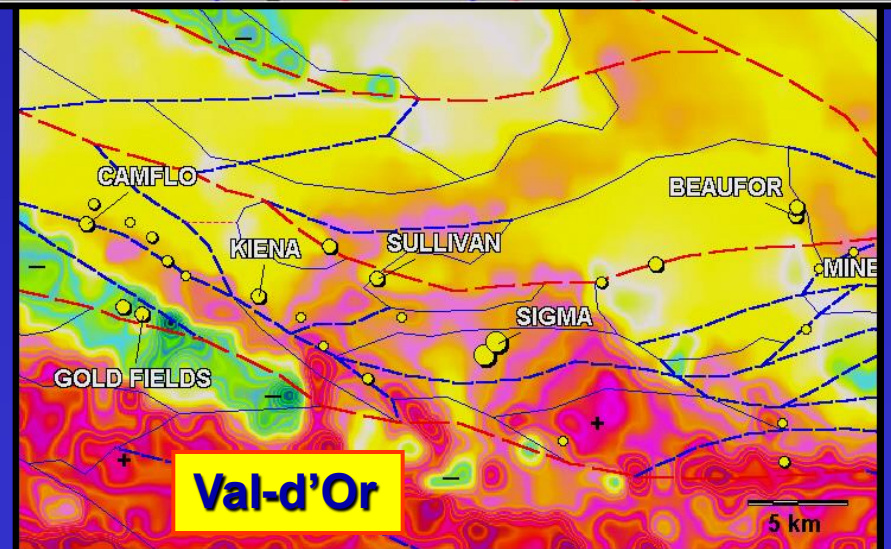
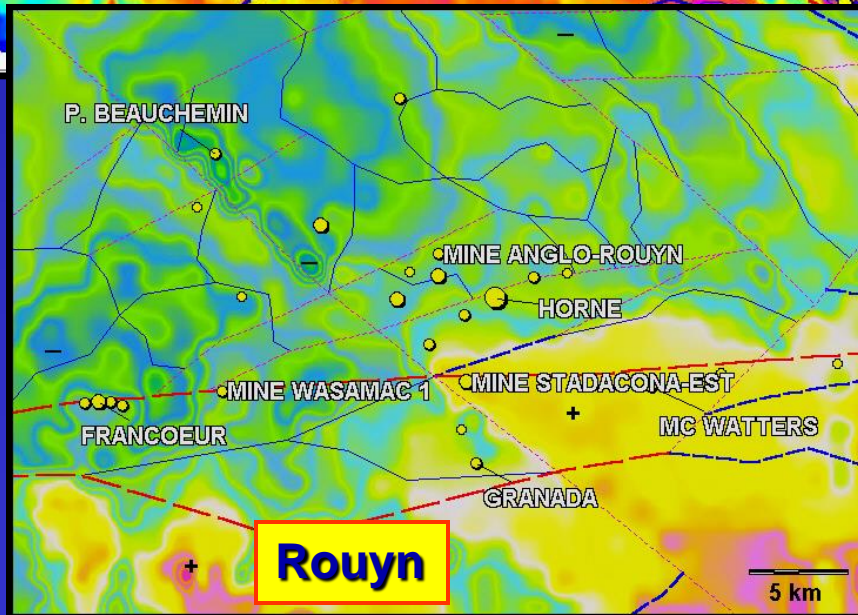
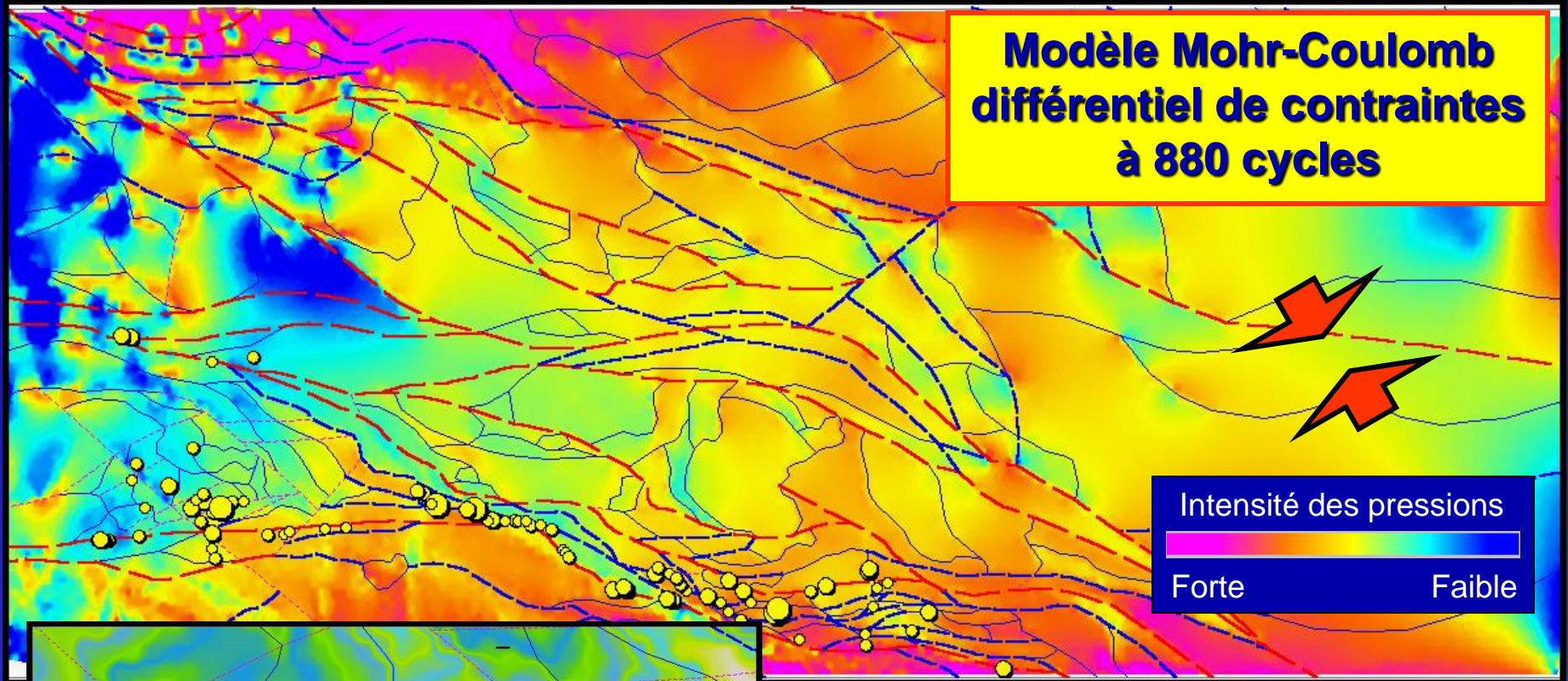
Val-d'Or \approx 12 km
 Timmins \approx + 8 km

FIGURE 4. Plan showing distribution of hydrothermal alteration assemblages mapped in outcrop relative to mines, porphyry intrusions, and major structures in the western portion of the Porcupine Gold Camp. Vein facies alteration includes ankerite and sericite, but also one or more of pyrite, quartz veinlets, and hydrothermal quartz and albite.

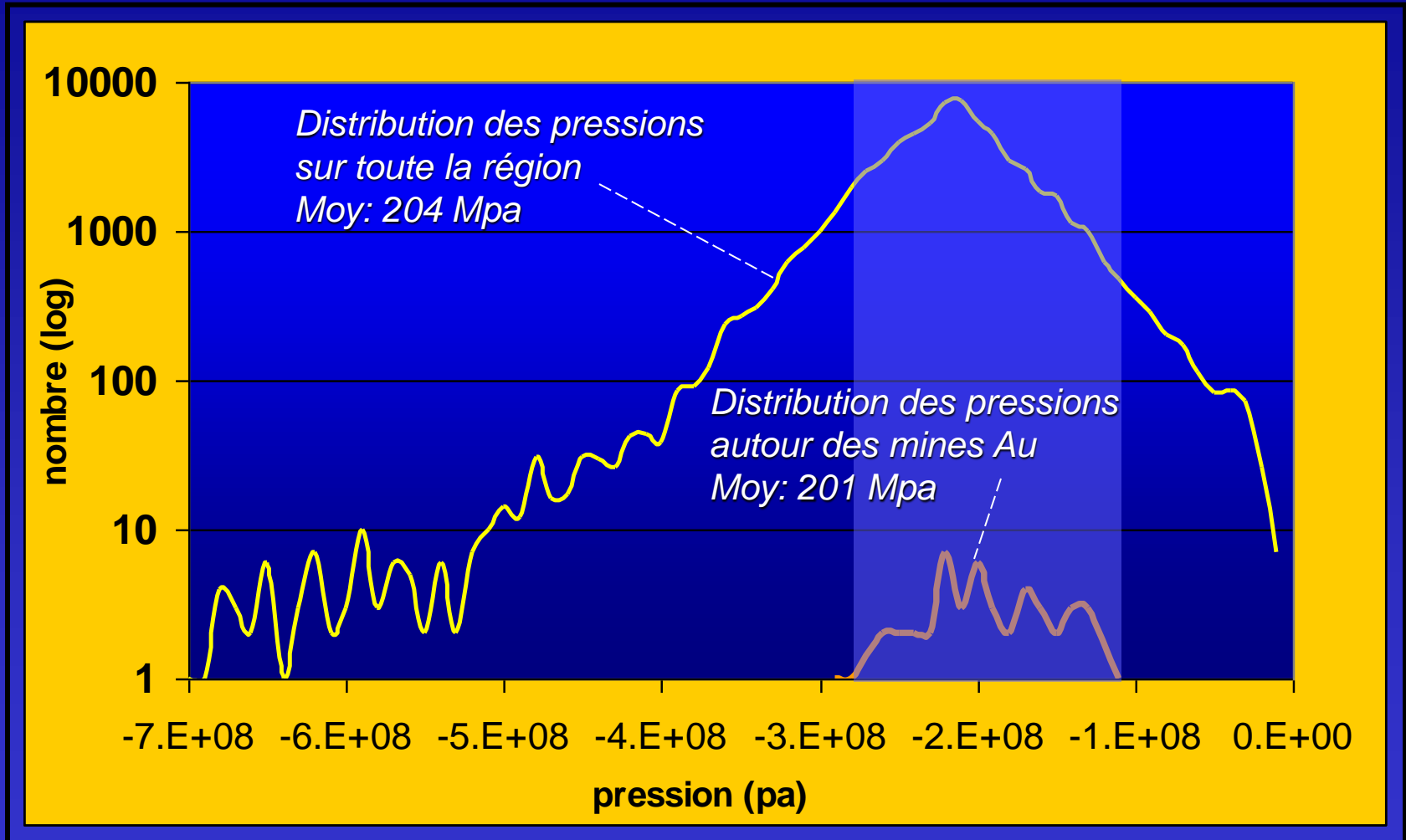
État d'équilibre du modèle Mohr-Coulomb



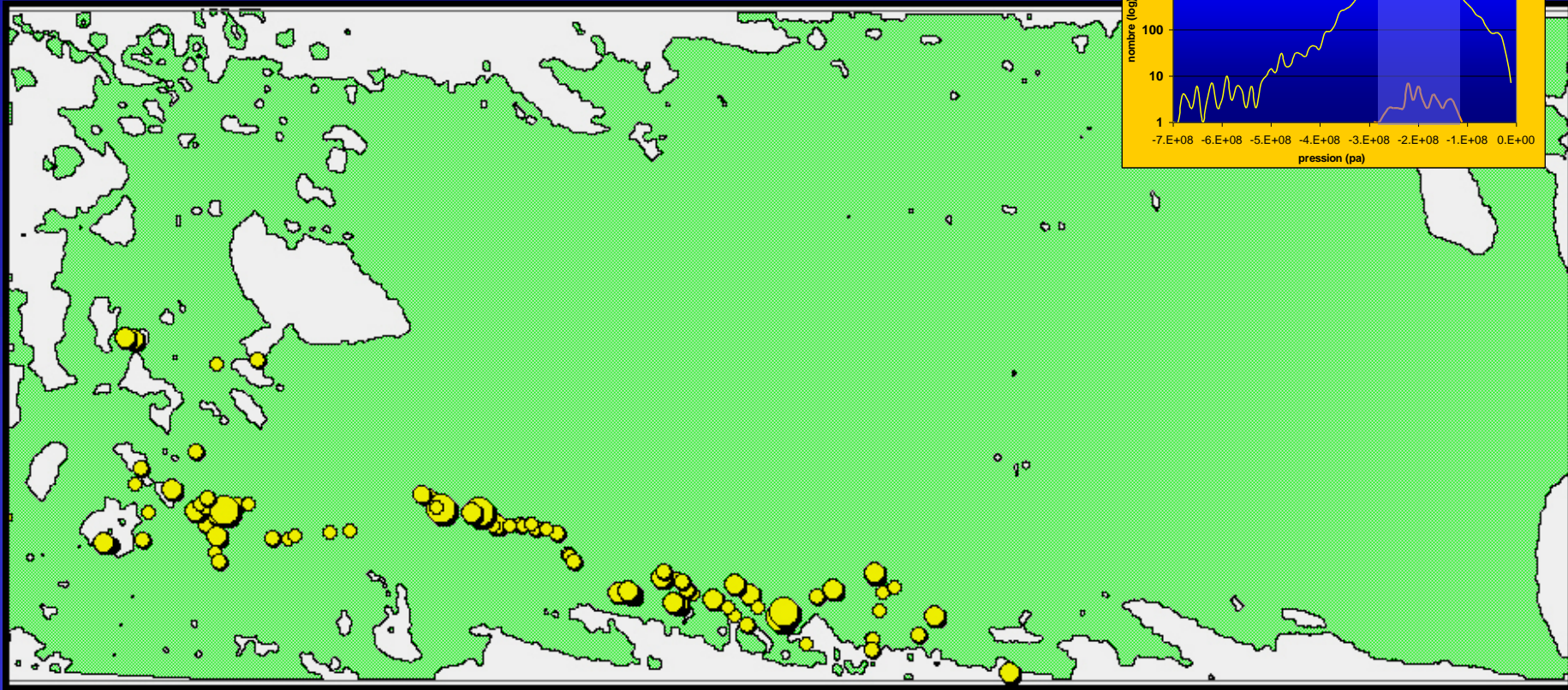
Modèle Mohr-Coulomb différentiel de contraintes à 880 cycles



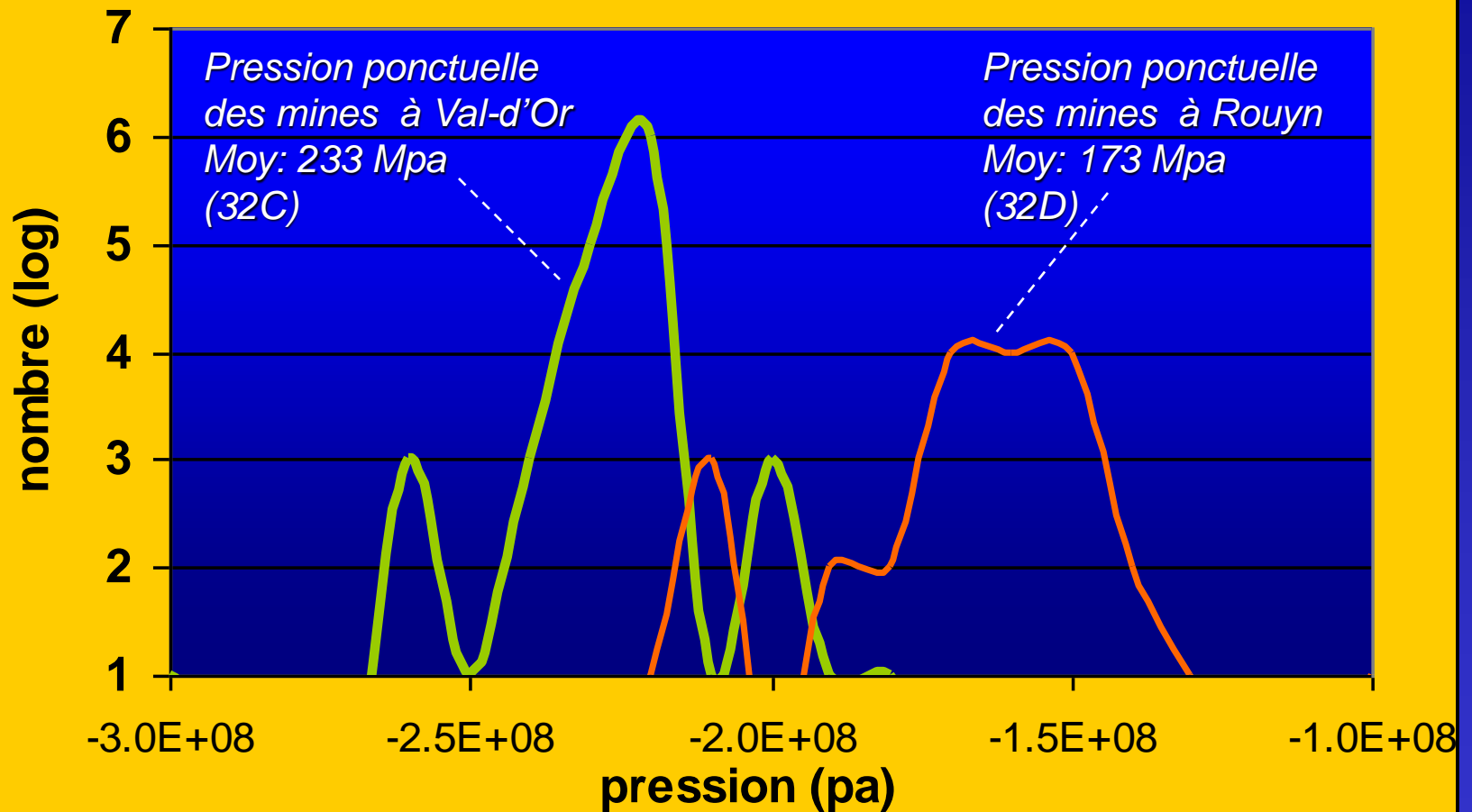
Pressions ambiantes et pressions autour des mines Au (1km)



Contour des pressions favorables regroupant 94% des mines Au

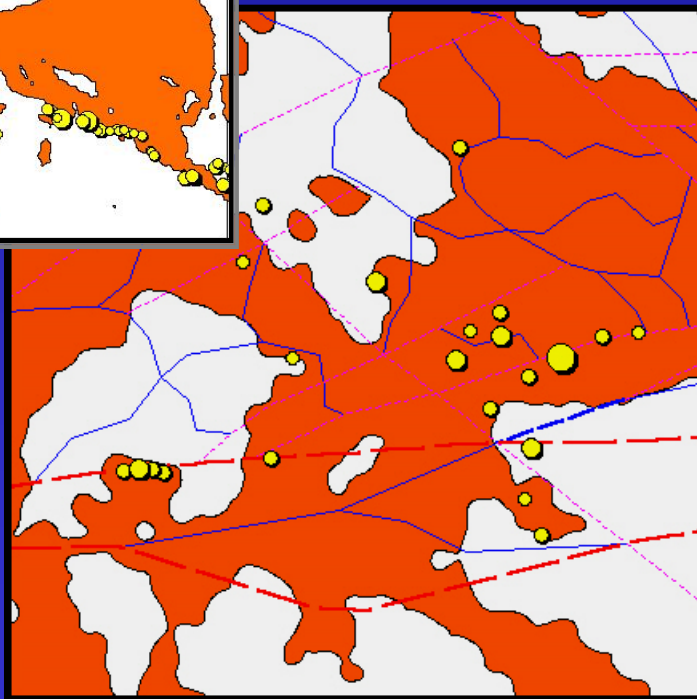
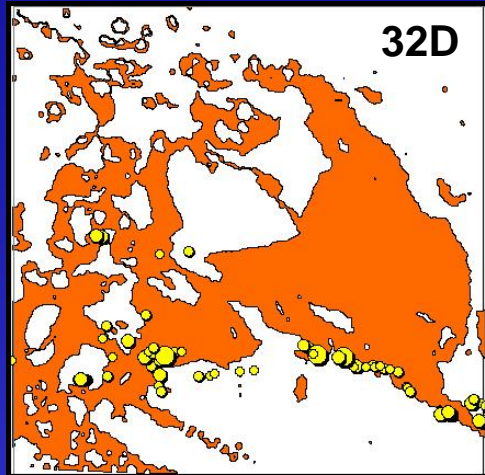


Pressions autour des mines Au par région (Rouyn et Val-d'Or)



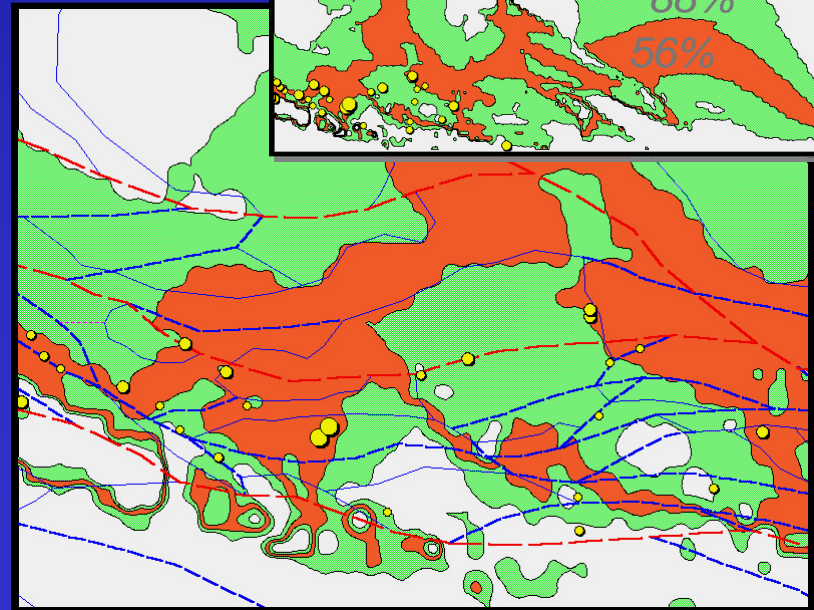
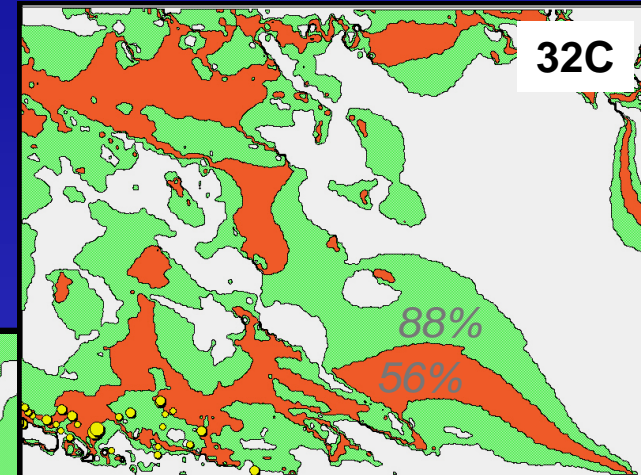
Contour des pressions favorables par SNRC (32C-D)

Contours des pressions favorables
regroupant 80% des mines Au de la
région de Rouyn



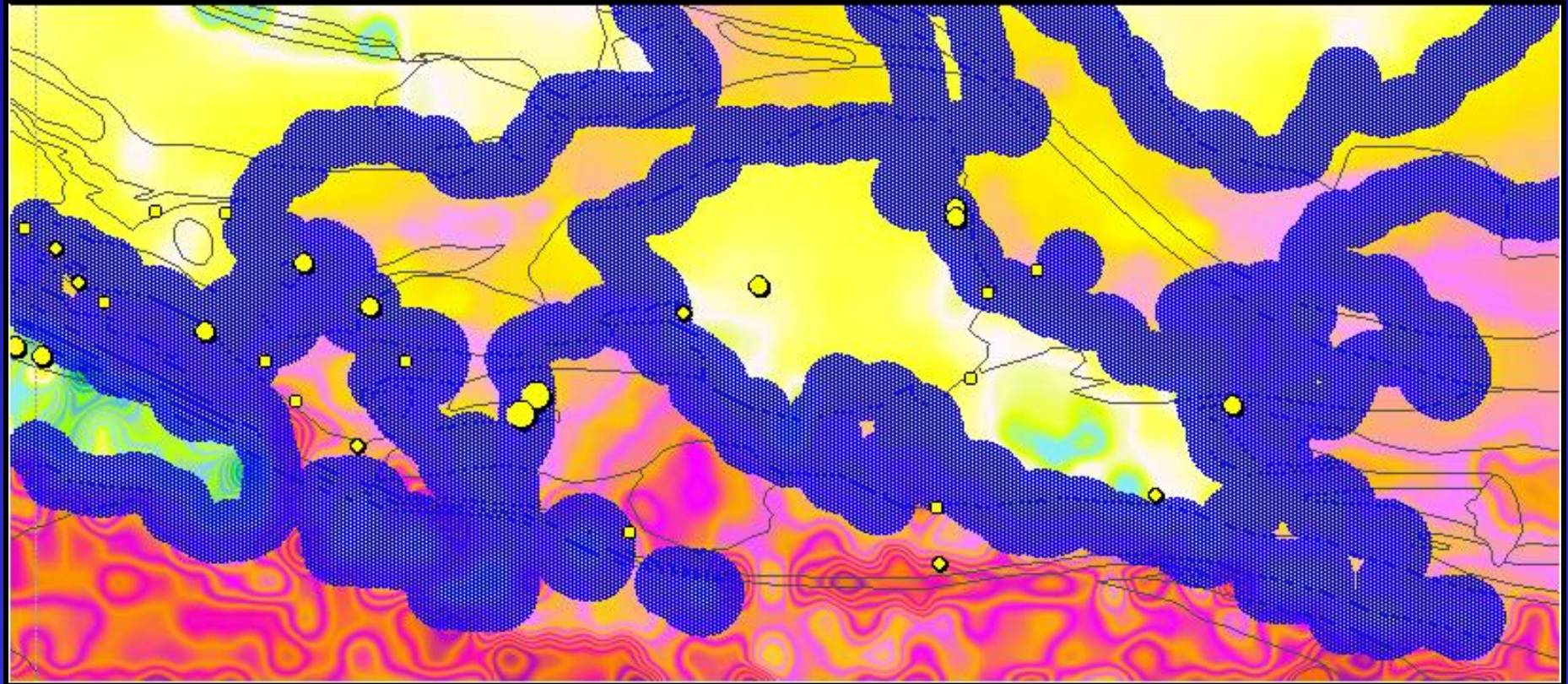
Intervalle 139-196 Mpa

Contours des pressions favorables
regroupant 88% et 56% des mines Au
de la région de Val-d'or



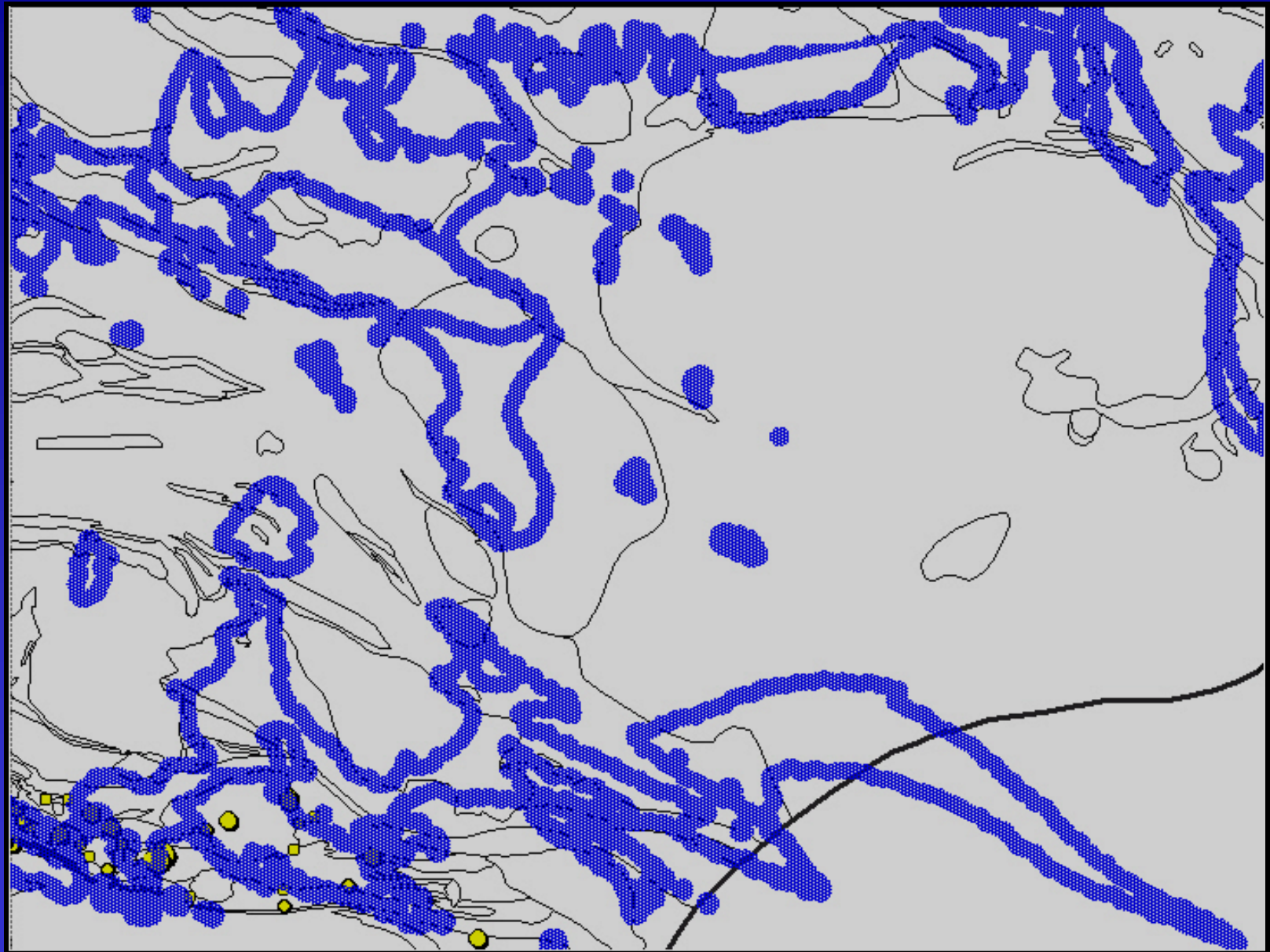
Intervalles 270-200 Mpa et 246-220 Mpa

Contour des pressions favorables secteur de Val-d'Or

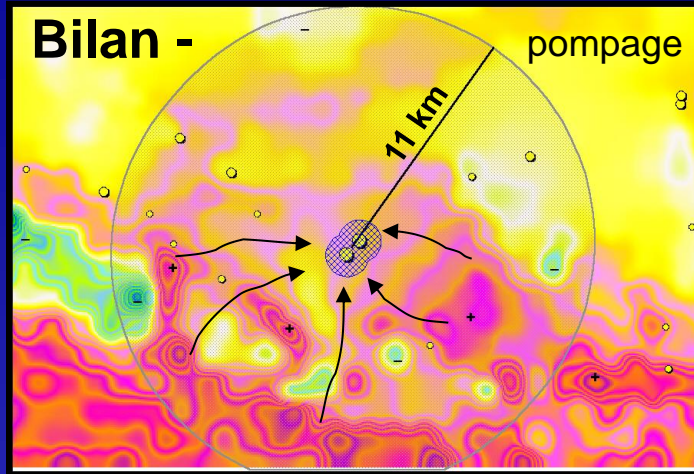


Zone de 1km autour de l'isopression 240 Mpa

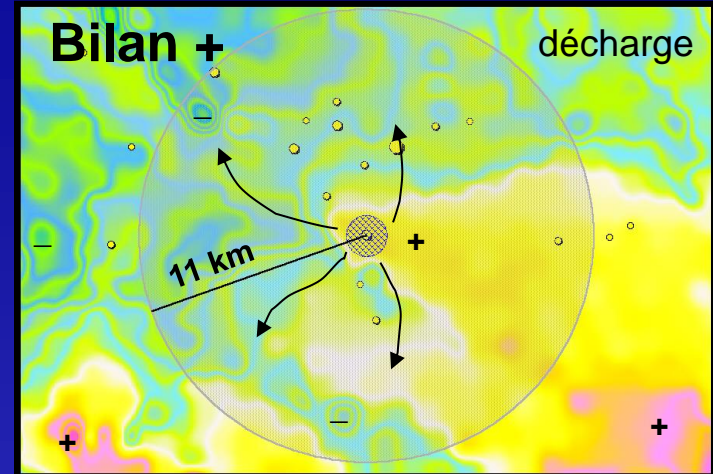
Contour des pressions favorables – 32 C



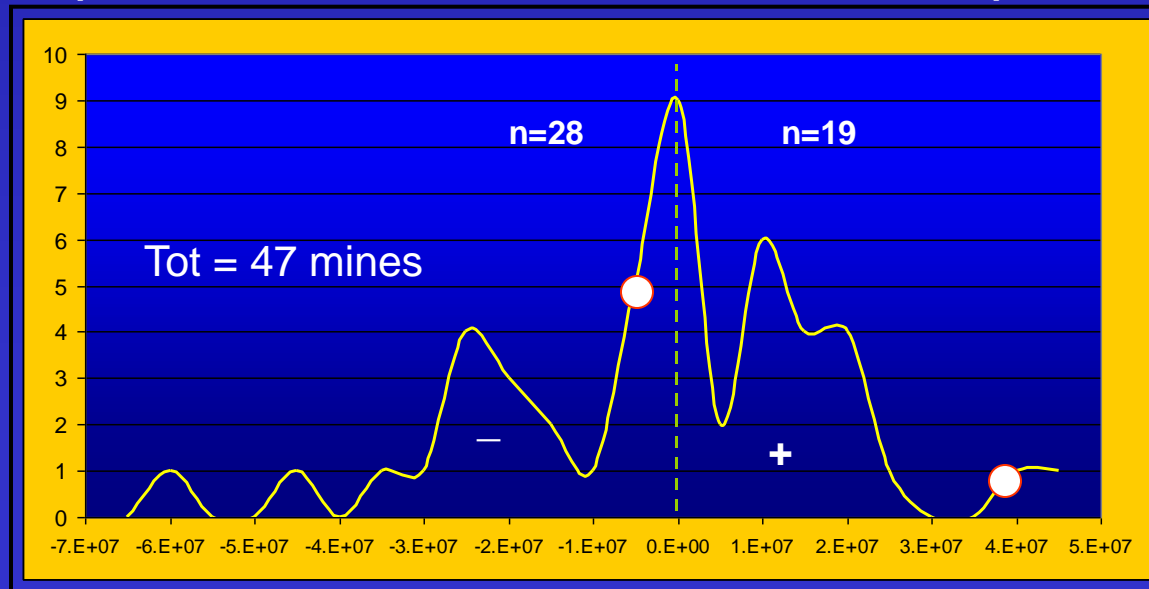
Différence de pressions relatives autour des mines Au



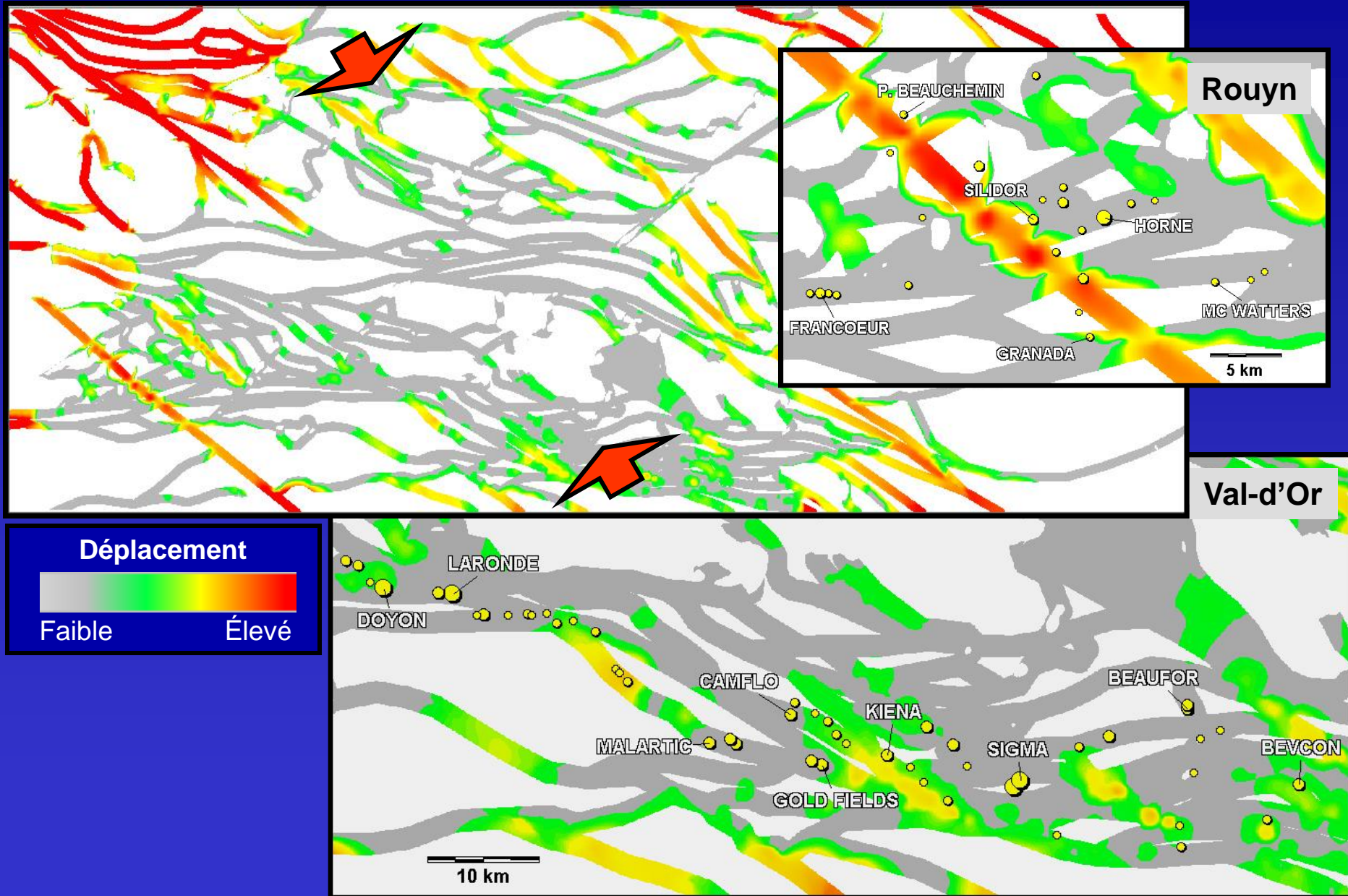
Pression moy. 11 km = 246 Mpa
 Pression moy. 1 km = 240 Mpa
 Différence: - 6 Mpa autour 1 km



Pression moy. 11 km = 185 Mpa
 Pression moy. 1 km = 222 Mpa
 Différence: + 37 Mpa autour 1 km

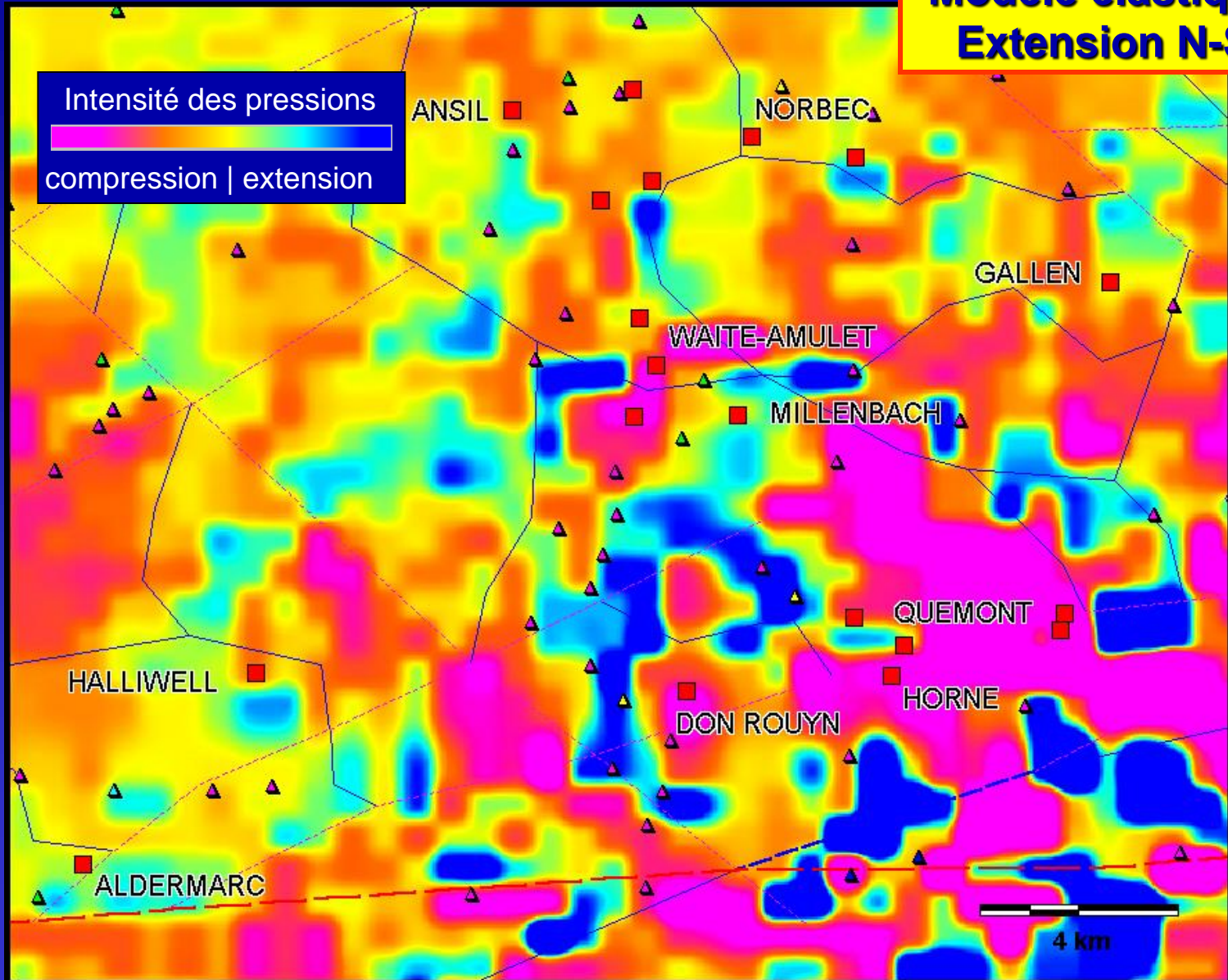


Taux de déplacement le long des failles et contacts (composante de cisaillement)



Modèle élastique Extension N-S

Intensité des pressions
compression | extension



4 km

Conclusion

- Arrive à des solutions multiples causées par :

L'interprétation faite à partir de la carte géologique
Adaptation du modèle géologique pour UDEC
Choix des paramètres géomécaniques
Modèles rhéologiques
Conditions fixés en bordure du modèle

- Choix d'une solution unique pour le SPCPM

Considérant les limites de la modélisation et de la simulation et en fixant bien les limites du modèle choisi, il est possible de proposer des aires de paléo-pressions favorables qui, statistiquement, regroupent la majorité des mines d'or