

## MB 2000-06

Quantification de l'altération hydrothermale des roches du camp minier de Joutel à partir d'analyses d'éléments majeurs

Documents complémentaires

*Additional Files*



Licence



Licence

Cette première page a été ajoutée  
au document et ne fait pas partie du  
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources  
naturelles

Québec 

# Quantification de l'altération hydrothermale des roches du camp minier de Joutel à partir d'analyses d'éléments majeurs

Mathieu Piché

MB 2000-06



2000

**DOCUMENT PUBLIÉ PAR GÉOLOGIE QUÉBEC**



**Direction**

Alain Simard p.i.

**Service géologique du Nord-Ouest**

Robert Marquis

**Responsable du processus des études**

Pierre Verpaelst.

Manuscrit accepté pour publication le 00/03/29

Cette étude a été effectuée dans le cadre du projet  
« Volcanogénie et métallogénie du district de Joutel »  
supervisé par Marc Legault de Géologie Québec.

**Lecture critique**

Pierre Pilote et Abdelali Moukhsil

**Édition**

Jean-Pierre Lalonde

**NOTES**

Ce document est une reproduction fidèle du manuscrit soumis par l'auteur sauf pour une vérification et une mise en page sommaire destinées à assurer une qualité convenable de reproduction. Le manuscrit a cependant fait l'objet d'une lecture critique et de commentaires à l'auteur avant la remise de la version finale au ministère.

## RÉSUMÉ

Le projet d'étude de quantification de l'altération hydrothermale des roches du camp minier de Joutel à partir des éléments majeurs a été initié en mai 1999. Les travaux de terrain se sont déroulés de juin à juillet 1999.

Ce projet s'inscrit dans le cadre du projet plus vaste intitulé "Volcanologie et métallogénie du camp minier de Joutel" supervisée par Marc Legault de Géologie Québec.

320 échantillons de roches ont été recueillis et 5352 analyses chimiques localisées provenant des données historiques des travaux d'exploration des compagnies qui ont œuvrés dans le secteur des feuillets SNRC 32 E 08, 32 E 09 et 32 E 10 ont été compilés.

Le programme de calcul des minéraux normatifs du faciès des schistes verts NORMAT a été utilisé pour calculer les indices d'altérations basés sur des ratios de minéraux normatifs.

La structure des calculs de minéraux normatifs de NORMAT produit les minéraux des schistes verts usuels. En plus, les quantités résiduelles des cations sont assignées à des minéraux les plus plausibles au faciès des schistes verts sans égard au fait que la contre partie anionique (CO<sub>2</sub>, Cl) soit mesurée ou non. Le ratio d'oxydation du fer est fixé en fonction du fer résiduel après le calcul de l'actinote.

Le calcium est également distribué selon un ratio établi entre l'alumine et la somme du fer et du magnésium. Ceci permet d'éliminer la migration du calcium vers le plagioclase si les éléments alcalins sont légèrement lessivés. Ainsi, l'apparition des minéraux alumineux lors du lessivage des éléments alcalins est beaucoup plus précoce que dans une structure de calculs en cascade comme c'est le cas dans la norme CIPW. Le programme de calcul de norme NORMAT calcule la perte au feu normative à partir de la somme des contenus en eau des minéraux normatifs calculés. Par une série d'itérations, du CO<sub>2</sub> virtuel est ajouté jusqu'à ce que la valeur de

la perte au feu normative égale celle de la perte au feu mesurée.

Les minéraux carbonatés normatifs ainsi calculés permettent de quantifier l'intensité de la carbonatation de la roche à partir d'analyses de roches qui n'incluent pas le CO<sub>2</sub>.

Les indices d'altération de paragonite et de séricite normative forment des anomalies en forme de halos creux de 300 à 500 mètres de diamètre externe qui sont centrés sur le gisement de sulfure massif volcanogène de la Mine de Poirier. Les indices de chlorite et de pyrophyllite normative forment des anomalies ponctuelles centrées sur la portion nord-ouest du gisement à l'intérieur des creux centraux des anomalies de paragonite et de séricite.

La sidérite normative forme une anomalie linéaire de 200 mètres de largeur qui s'étend des mines d'or de Eagle et de Telbel au nord-ouest, jusqu'au village abandonné de Joutel au sud-est. Ailleurs dans la région étudiée, plusieurs cibles d'explorations possédant les caractéristiques des anomalies d'indices d'altérations et de minéraux normatifs de la Mine de Poirier et des gisements de Eagle et de Telbel ont été définis.

## TABLE DES MATIÈRES

<u>1.0 INTRODUCTION</u> .....	1
<u>2.0 PROBLÉMATIQUE</u> .....	4
<u>2.1 Types de gisements</u> .....	4
<u>3.0 GÉOLOGIE RÉGIONALE</u> .....	4
<u>4.0 DONNÉES LITHOGÉOCHIMIQUES</u> .....	4
<u>5.0 CALCUL DES MINÉRAUX NORMATIFS</u> .....	5
<u>5.1 Schéma des calculs de minéraux normatifs</u> .....	5
<u>6.0 ÉVALUATION DU CO<sub>2</sub></u> .....	6
<u>6.1 Notion de CO<sub>2</sub> virtuel</u> .....	6
<u>6.2 Première boucle d'itération</u> .....	6
<u>6.3 Seconde boucle d'itération<sub>2</sub> virtuel</u> .....	6
<u>6.4 Boucles d'itérations subséquentes</u> .....	7
<u>7.0 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS</u> .....	7
<u>7.1 Indices d'altérations</u> .....	7
<u>7.2 Détermination des seuils anormaux</u> .....	9
<u>8.0 PARAMÈTRES STATISTIQUES DES MINÉRAUX ET INDICES</u> .....	9
<u>9.0 ÉTABLISSEMENT DES SEUILS PAR DES CRITÈRES GÉOLOGIQUES -EXEMPLE DE LA MINE DE POIRIER</u> .....	19
<u>10.1 Rrésumé des seuils anormaux</u> .....	24
<u>10.0 ANOMALIES DE SIDÉRITE NORMATIVE ASSOCIÉE AUX GISEMENTS AURIFÈRES DE EAGLE ET TELBEL</u> .....	26
<u>11.0 CIBLES D'EXPLORATION</u> .....	27
<u>11.1 Sulfures massifs volcanogènes</u> .....	27
<u>11.2 Minéralisations aurifères</u> .....	27
<u>12.0 CONCLUSIONS</u> .....	27
<u>14.0 RÉFÉRENCES</u> .....	28

## LISTE DES FIGURES

<u>Figure 1. Localisation du camp minier de Joutel et de la région étudiée .....</u>	<u>2</u>
<u>Figure 2. Carte de localisation des analyses lithogéochimiques. ....</u>	<u>3</u>
<u>Figure 3. Histogramme de l'indice FRAIS. ....</u>	<u>11</u>
<u>Figure 4. Histogramme des valeurs de l'indice de paragonite. ....</u>	<u>11</u>
<u>Figure 5. Histogramme de l'indice de séricite. ....</u>	<u>12</u>
<u>Figure 6. Histogramme de l'indice de chlorite. ....</u>	<u>12</u>
<u>Figure 7. Histogramme de l'indice de pyrophyllite. ....</u>	<u>13</u>
<u>Figure 8. Histogramme de l'indice combiné de paragonite et de séricite. ....</u>	<u>13</u>
<u>Figure 9. Histogramme de l'indice combiné de chlorite et de pyrophyllite. ....</u>	<u>14</u>
<u>Figure 10. Histogramme de l'indice de perte au feu. ....</u>	<u>14</u>
<u>Figure 11. Histogramme du CO<sub>2</sub> calculé pour les roches de la région de Joutel. ....</u>	<u>15</u>
<u>Figure 12. Graphique du CO<sub>2</sub> mesuré et du CO<sub>2</sub> calculé. ....</u>	<u>15</u>
<u>Figure 13. Histogramme de l'ankérite normative des roches de la région de Joutel. ....</u>	<u>16</u>
<u>Figure 14. Histogramme de la sidérite normative des roches de la région de Joutel. ....</u>	<u>16</u>
<u>Figure 15. Carte géologique de la région de la Mine de Poirier. ....</u>	<u>19</u>
<u>Figure 16. Carte des isovaleurs de l'indice FRAIS du secteur de la Mine de Poirier. ....</u>	<u>20</u>
<u>Figure 17. Carte des isovaleurs de l'indice de paragonite du secteur de la Mine de Poirier. ....</u>	<u>21</u>
<u>Figure 18. Carte des isovaleurs de l'indice de séricite du secteur de la Mine de Poirier. ....</u>	<u>22</u>
<u>Figure 19. Carte des isovaleurs de l'indice de chlorite du secteur de la Mine de Poirier. ....</u>	<u>23</u>
<u>Figure 20. Carte des isovaleurs de l'indice de pyrophyllite du secteur de la Mine de Poirier. ....</u>	<u>24</u>
<u>Figure 21. Synthèse des zones anormales des indices de paragonite, séricite, chlorite et pyrophyllite normatives du secteur de la Mine de Poirier. ....</u>	<u>25</u>
<u>Figure 22. Carte géologique du secteur des mines Eagle et Telbel. ....</u>	<u>26</u>

## LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau 1. Provenance et nombre d'analyses lithogéochimiques.</u> .....	4
<u>Tableau 2. Minéraux et indices d'altérations calculés par le programme NORMAT.</u> .....	8
<u>Tableau 3. Caractéristiques de la distribution des valeurs des indices et des minéraux normatifs</u> .....	17
<u>Tableau 4. Valeurs des indices et minéraux normatifs en fonction de valeurs de centiles.</u> .....	18
<u>Tableau 5. Seuils anomaux déterminés empiriquement avec l'exemple de la Mine de Poirier.</u> .....	24

**Hors texte**

Carte 1: 20 000 du feuillet 32E 08 NW.....En pochette

## 1.0 INTRODUCTION

Ce rapport se veut un sommaire des travaux réalisés de mai à novembre 1999 sur le camp minier de Joutel. La région étudiée est située dans le feuillet SNRC 32E08 Nord-Ouest. Ces travaux constituent le volet géochimique de l'étude intitulée « Volcanologie et métallogénie du district de Joutel ». Cette étude est dirigée par Marc Legault de Géologie Québec. Outre Mathieu Piché, les autres participants à cette étude sont Réal Daigneault (UQAC), Wulf Mueller (UQAC), Michel Jebrack (UQAM), François Baillargeon (UQAM) et Michel Gauthier (UQAM). Les buts spécifiques du volet géochimique de cette étude sont: 1) compiler les analyses lithogéochimiques d'éléments majeurs de la région, 2) compléter l'échantillonnage dans les secteurs non couverts, 3) uniformiser le format des données de géochimie des roches et inclure ces nouvelles données dans la banque de géochimie des roches de la base de données SIGEOM et 4) produire des cartes de faciès d'altération de la région étudiée, ceci dans le but de définir des cibles d'exploration pour l'industrie minérale.

La méthode utilisée pour quantifier les types et l'intensité des altérations à partir des analyses lithogéochimiques est celle des minéraux normatifs du faciès des schistes verts qui a été développée par Mathieu Piché. Les indices normatifs de paragonite, de séricite, de chlorite et de pyrophyllite normative permettent de quantifier l'altération hydrothermale liée au lessivage des éléments alcalins de façon absolue, sans références externes à des protholites frais, des courbes de différenciation ou à des éléments traces. Ces indices sont peu sensibles à l'hétérogénéité de la qualité des analyses chimiques. De plus, l'indice de perte au feu permet d'évaluer l'intensité de la carbonatation des roches avec des analyses qui ne contiennent pas le CO<sub>2</sub>.

Ces indices sont construits de façon à éliminer l'influence de la composition originale de la roche sur la valeur de ces indices d'altération. Ils sont donc appropriés pour une utilisation régionale.



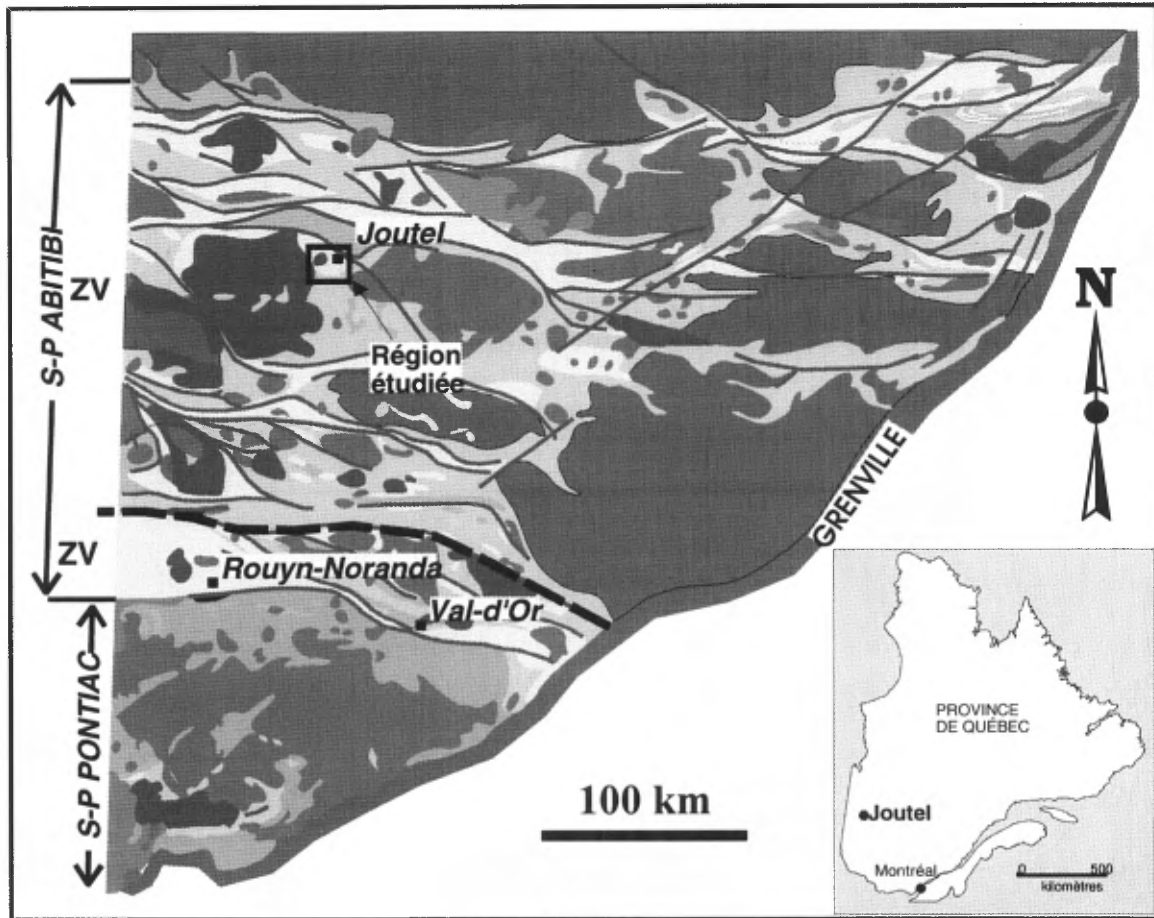


Figure 1. Localisation du camp minier de Joutel et de la région étudiée (Legault et al. 2000).

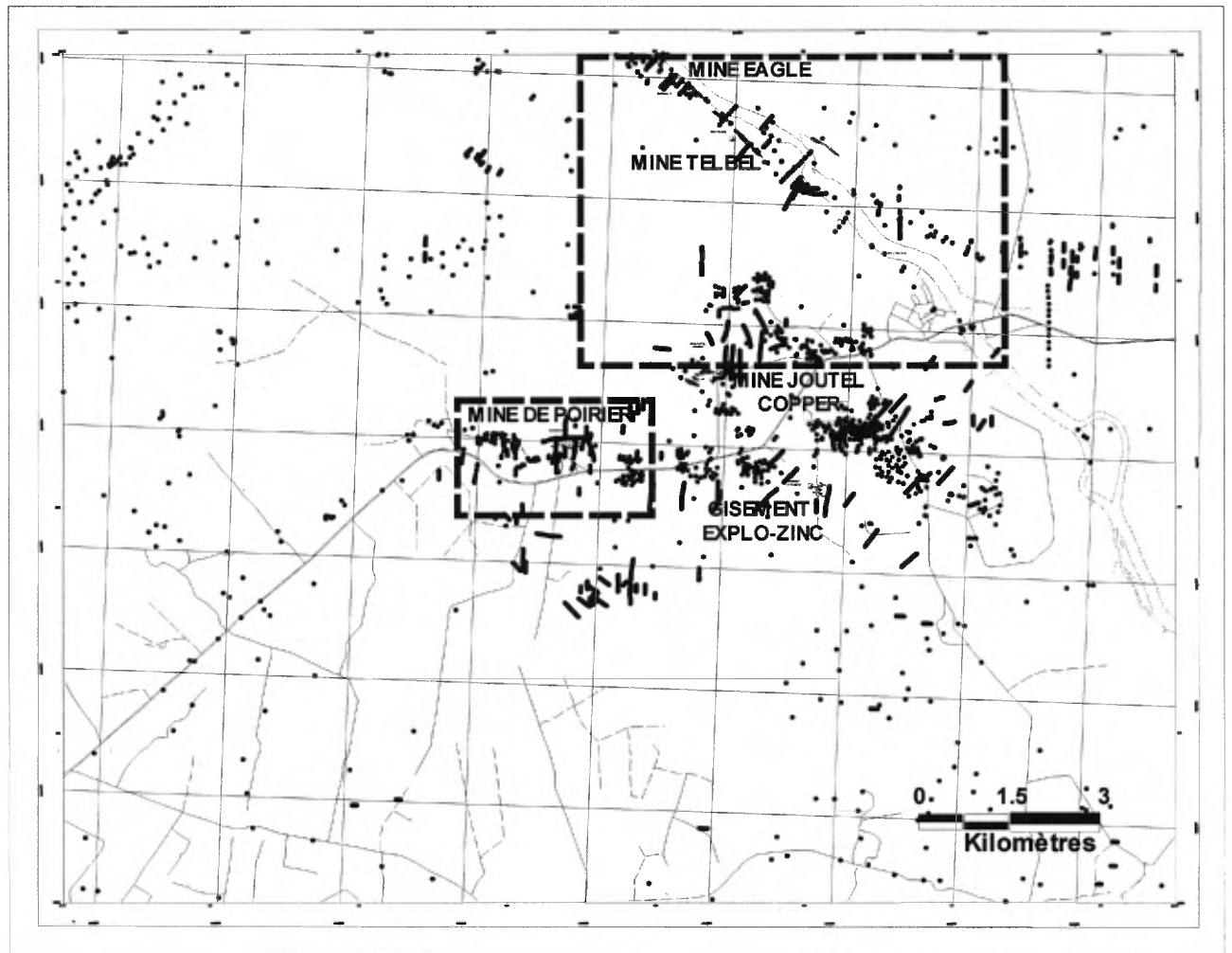


Figure 2. Carte de localisation des analyses lithogéochimiques du feuillet SNRC 32 E 08 NW. Les cadres en traits pointillés réfèrent à des exemples décrits plus loin dans le texte. Le cadre au centre de la carte délimite les roches de la Mine de Poirier tandis que celui de la portion Nord de la carte délimite les roches associées aux mines Eagle et Telbel.

## 2.0 PROBLÉMATIQUE

Le camp minier de Joutel est un lieu approprié pour vérifier l'efficacité de l'utilisation de la géochimie des roches comme outil d'exploration. La région contient cinq gisements et la distribution des analyses chimiques couvre bien le territoire.

### 2.1 Types de gisements

La région contient trois gisements dont le type s'apparente aux gisements de sulfures massifs volcanogènes. Ceux-ci sont d'ouest en est, le gisement de Mine de Poirier (riche en cuivre), le gisement de Joutel Copper (composé de cuivre et de zinc) et le gisement de Explo-Zinc (riche en zinc).

La région contient également les gisements aurifères des mines Eagle et Telbel. La minéralisation y est associée à un horizon de tuf felsique carbonatisé et pyriteux qui est situé en bordure du couloir de déformation de la rivière Harricana.

Le but de l'étude est de vérifier si par les 5672 analyses chimiques compilées et recueillies dans le cadre de ce projet s'il est possible de produire une image régionale de l'étendue des zones d'altérations associées à ces gisements.

## 3.0 GEOLOGIE RÉGIONALE

Voir le rapport Volcanologie et métallogénie de la région de Joutel rédigé par Legault et al. 2000.

## 4.0 DONNÉES LITHOGÉOCHIMIQUES

Les données lithogéochimiques utilisées dans ce rapport proviennent de quatre sources. La première est constituée des données historiques des travaux de cartographie du Ministère des Ressources naturelles du Québec. La seconde source de données provient des analyses que nous avons recueillies dans le cadre de cette étude. La troisième source de données provient de la banque d'analyses lithogéochimiques de Jean Descarreaux et Associés Ltée. La quatrième source de données provient de données non publiées des compagnies minières qui ont été actives dans la région de l'étude.

Les méthodes analytiques ne sont pas définies dans les analyses des sources 3 et 4. Les analyses

des sources 1 et 2 ont été faites par fluorescence-X au Centre de Recherche Minérales de Québec. Ces analyses ont été compilées dans la base de données SIGEOM. Un code lithologique compatible avec la légende générale de la carte géologique (Sharma, 1996) a été généré à partir des descriptions lithologiques existantes.

**Tableau 1. Provenance et nombre d'analyses lithogéochimiques.**

ORGANISME	NOMBRE	SOURCE
161814 Canada Inc	17	3
Agnico Eagle	2483	4
Les Ressources Aur	539	4
<b>Dubé 1987-88 *</b>	<b>116</b>	<b>1</b>
<b>Legault 1999 *</b>	<b>320</b>	<b>2</b>
Cominco	35	3
Dejour Mines	94	3
Jean Descarreaux, 1972	24	3
Essor Explorations	9	3
André Gobeil	34	3
Joutel Copper Mines	344	2, 3
Kernow	48	4
Long Lac Minerals	68	3
Malartic Highgrade	1	3
McConnell, 1976	237	3
Mine de Poirier	133	2, 3
Minnova	307	3
Mirandor	6	3
Noranda	699	2, 3
Onyx	29	3
Phelps Dodge	27	3
Rambo	11	3
Teck Corporation	91	4

\* Données de Géologie Québec - MRNQ

Les données ont été vérifiées et ont été intégrées à la base de données SIGEOM à l'état brut sauf pour les analyses qui de toute évidence apparaissaient avoir été modifiées.

Ces dernières consistaient en grande majorité en données recalculées sur une base anhydre. Si ces analyses contenaient le total original et la valeur de la perte au feu, les valeurs originales des oxydes ont été recalculées avant d'être incluses dans la base de données. Les autres analyses suspectées d'avoir été modifiées, mais n'ayant pas les éléments suffisants pour régénérer les valeurs originales, ont été laissées comme telles dans la base de données. Un champ de la base de données identifie l'auteur (ou la compagnie) des analyses.

## 5.0 CALCUL DES MINÉRAUX NORMATIFS

Tout calcul normatif repose sur un modèle pétrologique. Par exemple, le calcul de la norme CIPW crée les minéraux normatifs dans l'ordre inverse de la série de cristallisation de Bowen. Les premiers minéraux normatifs calculés sont sous-saturés en silice. Les calculs subséquents recombinaient ces minéraux avec la silice provisionnelle pour créer les minéraux normatifs finaux.

La séquence de calcul de minéraux du programme NORMAT est également basée sur l'inverse de la série de Bowen et la redistribution de la silice à partir des minéraux sous saturés vers les minéraux sursaturés, puis au quartz. Les calculs qui créent les minéraux du faciès des schistes verts sont basés sur des hypothèses de réactions entre les minéraux ignés provisionnels.

Dans la norme CIPW, les minéraux non-silicatés sont calculés en premiers. Si les valeurs de CO<sub>2</sub>, S, Cl et autres anions ne font pas parties des données initiales, le programme produit des résultats différents de la composition modale de la roche.

Le programme NORMAT utilise une approche opposée. Les quantités excédentaires des éléments chimiques qui subsistent après le calcul des minéraux silicatés sont converties en minéraux non-silicatés les plus plausibles au faciès des schistes verts.

A la fin des calculs des minéraux silicatés, l'excès de CaO est converti en calcite. L'excès de FeO est converti en magnétite, en ankérite ou en sidérite. L'excès de MgO est converti en brucite, en dolomie ou en magnésite. L'excès de MnO est converti en manganite ou en rhodocrosite, et l'excès de TiO<sub>2</sub> en anatase. Les surplus de NaO et de K<sub>2</sub>O sont convertis en halite et en sylvite ou en alunite, et le Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en diasprore. Seul le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> n'est pas utilisé de cette façon, dans le but de limiter les champs de sortie.

Une autre différence fondamentale entre le programme NORMAT et CIPW est que le CaO est partagé entre les feldspaths et les minéraux ferromagnésiens par un ratio entre l'alumine et la somme du FeO et du MgO, au lieu d'être assigné aux feldspaths en premier et aux minéraux ferromagnésiens par la suite. Ce nouveau calcul

produit les mêmes résultats que l'ancien avec des roches fraîches. Cette modification fait en sorte que lorsque la roche est partiellement lessivée en Na<sub>2</sub>O et en CaO, le calcium n'est pas entièrement utilisé pour le calcul des feldspaths, ce qui entraînerait autrement le calcul de moins de cpx ou d'actinote au lieu de minéraux alumineux normatifs.

Le contenu en eau des minéraux calculés par NORMAT est comparé à la perte au feu mesurée. Par une série de boucles d'itérations, du CO<sub>2</sub> virtuel est ajouté jusqu'à ce que la valeur de la perte au feu normative égale la perte au feu mesurée. Les carbonates sont calculés en cascade à partir de la calcite, de la dolomie-ankérite, de la sidérite-magnésite et finalement de la rhodocrosite.

### 5.1 Schéma des calculs de minéraux normatifs

- 1- Les pourcentages poids des oxydes sont convertis en pourcentages moléculaires et recalculés à 100%.
- 2- L'apatite est calculée.
- 3- **Début de la boucle d'itération. Calcul des carbonates.**
- 4- Le sphène et l'anatase sont calculés.
- 5- La chromite est calculée.
- 6- La magnétite minimum est calculée avec la valeur du ratio Fe<sup>+++</sup>/Fe<sup>—</sup>—qui est défini par l'utilisateur.
- 7- Le psilomélane est calculée. Par la suite, l'excès de MnO est en partie comptabilisé comme du FeO ou sert à produire de la manganite selon la valeur d'un ratio défini par l'utilisateur.
- 8- L'olivine provisionnelle est calculée. Les excès de fer et de magnésium seront utilisés lors du calcul de la brucite et de la magnétite finale.
- 9- La cancrinite potassique et sodique (kalsilite et néphéline) ainsi que l'albite et l'orthose sont calculées de façon standard. Les excès de Na<sub>2</sub>O et de K<sub>2</sub>O sont mis de coté pour le calcul de l'alunite de l'halite et de la sylvite.
- 10- Un ratio de partage du calcium entre l'anorthite provisionnelle et la trémolite est calculé.
- 11- L'alumine qui aurait formé l'anorthite est mise de coté pour le calcul de l'épidote.
- 12- La paragonite et la séricite hydrothermales sont calculées ensemble avec l'alumine excédentaire, l'albite et l'orthose.
- 13- La chlorite hydrothermale est calculée avec l'alumine excédentaire, l'olivine provisionnelle et du quartz de façon

similaire aux calculs de norme développés par Riverin (1977).

- 14- L'actinote et la trémolite sont calculées avec l'olivine provisionnelle, du quartz et du CaO.
- 15- L'épidote est calculée avec l'alumine mise de côté par l'anorthite, du CaO et du quartz. L'excès de CaO forme de la calcite. De l'alumine métamorphique est libérée par cette réaction.
- 16- De la paragonite et de la séricite métamorphique sont calculées avec l'alumine métamorphique, l'albite et l'orthose.
- 17- De la chlorite métamorphique est formée avec l'excès d'alumine métamorphique et l'olivine provisionnelle.
- 18- De la serpentine et de la magnétite sont produites avec l'olivine provisionnelle.
- 19- L'excès d'olivine provisionnelle est réduit en brucite, en magnétite et en quartz.
- 20- Le talc est calculé avec la serpentine et le quartz.
- 21- La pyrophyllite hydrothermale et le diaspore hydrothermal sont calculés à partir de l'excès d'alumine hydrothermale et du quartz.
- 22- La pyrophyllite métamorphique et le diaspore hydrothermal sont calculés à partir de l'excès d'alumine hydrothermale et du quartz.
- 23- L'alunite, l'halite et la sylvite sont calculées à partir des excès de Na<sub>2</sub>O, de K<sub>2</sub>O et d'alumine hydrothermale.
- 24- **Calcul de la perte au feu normative. Retour au point 3 si nécessaire.**
- 25- Calcul de l'indice de perte au feu et fin des calculs.

## 6.0 ÉVALUATION DU CO<sub>2</sub>

### 6.1 Notion de CO<sub>2</sub> virtuel

La quantité maximum de CO<sub>2</sub> qu'une roche peut contenir est dépendante de son contenu en éléments qui peuvent former des carbonates. Ces éléments sont le FeO, le MgO, le MnO et le CaO. Le programme NORMAT utilise des quantités de CO<sub>2</sub> virtuel pour calculer un ensemble de minéraux normatifs dont la perte au feu calculée est le plus près possible de la perte au feu mesurée.

### 6.2 Première boucle d'itération

Lors de la première boucle, le programme n'inclut pas de CO<sub>2</sub> virtuel dans le calcul des minéraux sauf pour l'excédant de CaO et si de la cancrinite est calculée. La valeur de la perte au feu normative est comparée avec la perte au feu mesurée.

Si la perte au feu normative est supérieure à la perte au feu mesurée, le programme assigne une valeur négative à l'indice de perte au feu. Ceci se produit lorsque la roche contient moins de matière volatile que sa composition le lui permettrait au faciès des schistes verts. Le programme inscrira l'ensemble des minéraux normatifs calculés par cette boucle d'itération dans le fichier de sortie. Ces minéraux normatifs ne contiendront pas de carbonate sauf s'il y a un surplus de CaO et s'il y a formation de cancrinite normative.

Les huit indices d'altérations ( **IFRAIS, IPARA, ISER, ICHLO, IPYRO, IDIAS, ISERPAR, ICHLOPYR** ) ainsi que les champs **MINALT** et **MINFRAIS** sont calculés lors de cette première boucle d'itération.

### 6.3 Seconde boucle d'itération

Lors de cette boucle d'itération, le programme assigne du CO<sub>2</sub> virtuel à tout le CaO, le FeO, le MgO et le MnO et calcule un ensemble de minéraux normatifs comme si la roche était complètement carbonatisée. La perte au feu normative est calculée et comparée à la perte au feu mesurée.

Si la perte au feu normative est inférieure à la perte au feu mesurée, le programme assigne une valeur supérieure à 100 (max. 200) à l'indice de perte au feu. Ceci se produit lorsque la roche contient plus de matière volatile que ce que sa composition cationique le lui permet au faciès des schistes verts. Le graphite, les sulfures et les valeurs anormalement hautes en H<sub>2</sub>O- sont les principales causes de ce phénomène.

Dans ce cas, le programme inscrira dans le fichier de sortie les minéraux calculés lors de cette boucle d'itération. Les minéraux calculés lors de cette boucle seraient ceux qui seraient dans la roche si celle-ci était complètement carbonatisée.

#### 6.4 Boucles d'itérations subséquentes

Si la perte au feu mesurée est supérieure à la perte au feu normative de la première boucle et est inférieure à celle de la seconde boucle, le programme va ajuster la quantité de CO<sub>2</sub> virtuel jusqu'à ce que la perte au feu normative égale la perte au feu mesurée. La valeur de l'indice de perte au feu aura une valeur entre 0 et 100. Les minéraux normatifs seront calculés et inscrits dans le fichier de sortie en tenant compte de la quantité de CO<sub>2</sub> virtuel nécessaire à ce que la perte au feu normative soit égale à la perte au feu mesurée.

L'indice de perte au feu est également indépendant du type de roche car il est basé sur un calcul ou la perte au feu mesurée est comparée à des valeurs de pertes au feu normatives de la même analyse, ce qui fait en sorte que le facteur lithologique est éliminé. Les indices d'altération produits par NORMAT peuvent donc être utilisés pour évaluer l'altération hydrothermale sur un grand nombre d'analyses de roches provenant de vastes régions, sans avoir à tenir compte de l'effet de la composition originale des roches sur la valeur des indices.

### 7.0 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

#### 7.1 Indices d'altérations

L'hypothèse de départ retenue est que dans une roche fraîche, l'alumine est uniquement située dans les feldspaths. La stœchiométrie de l'alumine et des éléments alcalins est constante dans les feldspaths ainsi que dans toutes les roches fraîches, quel que soit le contenu en alumine et en éléments alcalins. Cette hypothèse est vraie dans l'optique du calcul normatif où le calcium est distribué de façon automatique entre le plagioclase normatif et les minéraux ferromagnésiens calciques normatifs.

L'altération hydrothermale des roches s'observe dans la majorité des environnements géologiques par un lessivage du sodium et du calcium qui constituaient le plagioclase de la roche. La stœchiométrie de l'alumine et des éléments alcalins d'une roche altérée est différente de celle des feldspaths.

Les minéraux peralumineux normatifs du faciès des schistes verts qui sont calculés par le programme NORMAT sont la paragonite, la séricite, la chlorite, la pyrophyllite et le diaspore. La présence de ces minéraux dans le résultat du calcul de la norme reflète le lessivage des éléments alcalins de la roche. Les minéraux normatifs qui cèdent les éléments alcalins sont l'albite, l'épidote, la trémolite-actinote, l'orthose et le sphène.

En recalculant ces deux groupes de minéraux normatifs dans un ratio variant entre 0 et 100, la dilution avec les autres constituants de la roche se trouve éliminée. L'indice ainsi calculé est donc indépendant du type de roche.

Tableau 2. Minéraux et indices d'altérations calculés par le programme NORMAT.

TITRE	DESCRIPTION
MIN. FRAIS	Albite+Actinote+Épidote+Orthose+Trémolite+sphène
MIN. ALT.	ParagoniteH+pyrophylliteH+SériciteH+ChloriteH+DiasporeH
IFRAIS	Indice : MINFRAIS * 100 / (MINFRAIS + MINALT)
IPARA	Indice : ParagoniteH * 100 / (MINFRAIS + MINALT)
ISER	Indice : SériciteH * 100 / (MINFRAIS + MINALT)
ICHLO	Indice : ChloriteH * 100 / (MINFRAIS + MINALT)
IPYRO	Indice : PyrophylliteH * 100 / (MINFRAIS + MINALT)
IDIASP	Indice : DiasporeH * 100 / (MINFRAIS + MINALT)
ISERPAR	Indice : (SériciteH + ParagoniteH) * 100 / (MINFRAIS + MINALT)
ICHLPYR	Indice : (ChloriteH + PyrophylliteH) * 100 / (MINFRAIS + MINALT)
IPAF	Indice : (PAF - PAFMIN) * 100 / (PAFMAX - PAFMIN)
ACTINOTE	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>
ALBITE	Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
ALUNITE	(Na,K) Al <sub>3</sub> O <sub>2</sub> (SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>
ANATASE	TiO <sub>2</sub>
ANKERITE	Ca Fe (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
APATITE	Ca <sub>5</sub> P <sub>3</sub> O <sub>12</sub> OH
BRUCITE	MgO OH
CALCITE	Ca CO <sub>3</sub>
CANCRINITE K	Cancrinite potassique K <sub>6</sub> Al <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>24</sub> CO <sub>3</sub> 2H <sub>2</sub> O
CANCRINITE Na	Cancrinite sodique Na <sub>6</sub> Al <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>24</sub> CO <sub>3</sub> 2H <sub>2</sub> O
CHLHYDR	Chlorite hydrothermale (Fe, Mg) <sub>4-5</sub> Al <sub>2-3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>14</sub> 4(H <sub>2</sub> O)
CHLORITE MET.	Chlorite métamorphique (Fe, Mg) <sub>4-5</sub> Al <sub>2-3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>14</sub> 4(H <sub>2</sub> O)
CHLORITE Fe	Chlorite ferrifère Fe <sub>4-5</sub> Al <sub>2-3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>14</sub> 4(H <sub>2</sub> O)
CHLORITE Mg	Chlorite magnésienne Mg <sub>4-5</sub> Al <sub>2-3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>14</sub> 4(H <sub>2</sub> O)
CHROMITE	Fe Cr O <sub>4</sub>
DIASPORE HYDR.	Diaspore hydrothermal AlO OH
DIASPORE MET.	Diaspore métamorphique AlO OH
DOLOMITE	Ca Mg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
EPIDOTE	Ca <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> (OH)
HALITE SYLVITE	Halite-Sylvite (Na K) Cl
MAGNESITE	Mg CO <sub>3</sub>
MAGNETITE	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
ORTHOSE	K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
PARAGONITE HYDR.	Paragonite hydrothermale Na Al <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>11</sub> H <sub>2</sub> O
TITRE	DESCRIPTION
PARAGONITE MET.	Paragonite métamorphique Na Al <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>11</sub> H <sub>2</sub> O
PYROPHYLLITE HYDR.	Pyrophyllite hydrothermale Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> H <sub>2</sub> O
PYROPHYLLITE MET.	Pyrophyllite métamorphique Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> H <sub>2</sub> O
QUARTZ	SiO <sub>2</sub>
RODOCHROSITE	MnO CO <sub>2</sub>
MANGANITE	MnO OH
PSILOMELANE	K Mn <sub>5</sub> O <sub>10</sub> (OH) H
SERICITE HYDR.	Séricite hydrothermale K Al <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>11</sub> H <sub>2</sub> O
SERICITE MET.	Séricite métamorphique K Al <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>11</sub> H <sub>2</sub> O
SERPENTINE	Mg <sub>6</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>14</sub> 4(H <sub>2</sub> O)
SIDERITE	Fe CO <sub>3</sub>
SPHENE	Ca Ti SiO <sub>4</sub> OH
TALC	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>11</sub> H <sub>2</sub> O
TREMOLITE	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>23</sub> H <sub>2</sub> O
TOTAL CATIONIQUE	Somme des minéraux normatifs
H <sub>2</sub> O+ CALCULÉ	H <sub>2</sub> O+ normative
H <sub>2</sub> O- CALCULÉ	H <sub>2</sub> O- normative
CO <sub>2</sub> CALCULÉ	CO <sub>2</sub> normatif
GAIN AU FEU	Gains au feu normatifs (oxydation du Fe <sup>++</sup> et du Mn <sup>++</sup> )
PAF CALCULÉE	H <sub>2</sub> O+ + H <sub>2</sub> O- + CO <sub>2</sub> + GAF

**H = hydrothermal, M = métamorphique**

## 7.2 Détermination des seuils d'anomalie

La valeur à laquelle un indice d'altération constitue une anomalie géologique est toujours déterminée arbitrairement, peu importe la méthode choisie. Lorsque les seuils d'anomalie sont choisis à partir des paramètres statistiques, les valeurs de seuils anomalie sont déterminées par des paramètres reliés à la forme de la courbe de distribution des valeurs de l'indice. La signification géologique des seuils ainsi déterminés n'est pas définie. Cette méthode est valable si les échantillons sont distribués de façon homogène sur le terrain à investiguer et que la population d'analyses n'est pas biaisée par un grand nombre de roches anormales.

Dans le cas de la région de Joutel, une portion significative des échantillons est groupée le long de forages qui recoupent des roches fortement altérées près d'indices minéralisés et de gisements. Il est donc probable que la distribution des valeurs des indices d'altérations serait biaisée vers les hautes valeurs.

Ainsi, il est possible que des seuils d'anomalie établis à partir de paramètres statistiques des données de Joutel soient trop élevés pour que les anomalies délimitées aient une utilité comme outil d'exploration.

Il a donc été décidé de déterminer la valeur des seuils d'anomalie des différents indices à partir de critères géologiques plutôt que statistiques. Des cartes informatisées ont été produites avec chaque indice d'altération et minéral normatif et des valeurs seuils ont été déterminés en fonction de la taille et de la géométrie des zones anormales associées aux gisements connus. Ainsi, les valeurs de seuils d'anomalie ainsi déterminés auraient une signification géologique subjective.

Peu importe que la population d'analyses soit biaisée ou non, les caractéristiques statistiques des distributions des valeurs des indices d'altérations fournissent des informations sur la manière dont l'indice représente le phénomène de l'altération hydrothermale. Ces paramètres sont énumérés dans les tableaux 2 et 3. Les histogrammes des figures 2 à 9 permettent de visualiser ces paramètres statistiques.

## 8.0 PARAMÈTRES STATISTIQUES DES MINÉRAUX ET INDICES

Les figures 3 à 9 représentent les distributions des valeurs des indices de minéraux frais, de paragonite, de séricite, de chlorite et de pyrophyllite pour les roches de la région de Joutel.

L'indice des minéraux frais (figure 3) montre une distribution constituée de trois populations. La première population est constituée des roches fraîches avec une valeur de 100. La seconde population de roches a une distribution normale biaisée vers les basses valeurs et avec un mode dans la classe de 80 à 85. La troisième population est constituée des roches complètement altérées avec une valeur de l'indice des minéraux frais de zéro (0).

La distribution des valeurs de l'indice de paragonite (IPAR, figure 4) est de type normal, tronquée à gauche à 0 et légèrement biaisée vers les hautes valeurs (à droite) avec un mode dans la classe de 15 à 20.

La distribution des valeurs de l'indice de séricite (ISER, figure 5) est similaire à celle de l'indice de paragonite sauf qu'elle est moins étendue et qu'elle est plus fortement biaisée vers la gauche (hautes valeurs). Le mode de l'indice de séricite est situé dans la classe de 15 à 20.

Les distributions des indices de chlorite et de pyrophyllite (ICHLO et IPYRO, figures 6 et 7) sont de type lognormal. La majorité des roches ont une valeur d'indice de chlorite et de pyrophyllite de zéro (0).

L'indice de séricite-paragonite (ISERPAR, figure 8) a une distribution normale biaisée vers la droite (hautes valeurs) avec un mode principal entre les valeurs de 15 et 20. Un mode secondaire à 0 représente les roches fraîches et un autre mode est présent entre 40 et 45.

L'indice de chlorite-pyrophyllite (ICHLOPYR, figure 9) a une distribution lognormale avec un mode à 0. La presque totalité des échantillons ont une valeur de 0.

La figure 10 représente la distribution de l'indice de perte au feu (IPAF). Cet indice a en gros une distribution normale avec une moyenne de 40.



En détail, la distribution semble multimodale. Des modes sont observés à -15, 50 et 110.

La figure 11 représente la distribution du CO<sub>2</sub> calculé. C'est une distribution normale, tronquée à 0 et biaisée vers la droite (hautes valeurs) dont le mode est entre 0 et 2%. La figure 12 montre la corrélation entre le CO<sub>2</sub> calculé et le CO<sub>2</sub> mesuré.

Les figures 13 et 14 représentent respectivement les distributions de valeurs de l'ankérite et de la sidérite normative. Il s'agit de distributions lognormales où la majorité des échantillons ont une valeur de zéro (0).

Le tableau 3 représente les paramètres statistiques de la distribution des indices d'altération et des minéraux normatifs.

Les valeurs des indices d'altérations sont compilées et les valeurs des seuils anormaux sont établies à partir des centiles 50%, 68%, 95%, 97,5% et 99%. Le tableau 4 représente la liste

des valeurs des différents indices et minéraux correspondant à ces centiles.

De cette description des caractéristiques statistiques de la distribution des valeurs des indices et minéraux normatifs produits avec les échantillons de Joutel, il apparaît que comme point de départ, les seuils d'anomalie des indices et minéraux à distribution lognormale soit simplement toute valeur plus grande que zéro (0). Ceci est vrai pour l'indice de chlorite, l'indice de chlorite-pyrophyllite, l'ankérite et la sidérite normative.

Les seuils anormaux des indices et minéraux normatifs qui ont une distribution normale, qu'elle soit tronquée à zéro (0) ou qu'elle soit biaisée ou non devront être déterminés empiriquement avec des critères géologiques. Ceci est vrai pour les indices de séricite, de paragonite, de séricite-paragonite, l'indice de perte au feu et du CO<sub>2</sub> calculé.

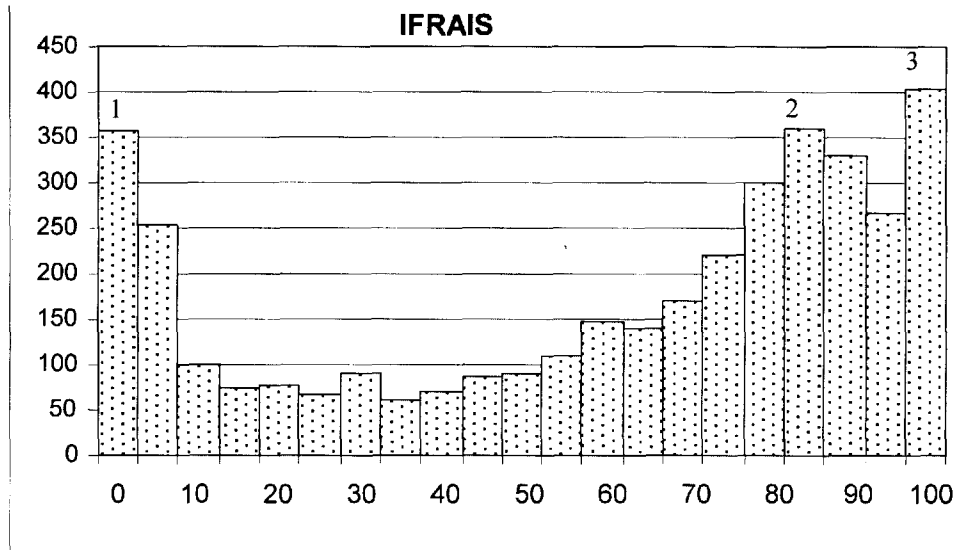


Figure 3. Histogramme de l'indice FRAIS. Les échantillons qui ont une valeur de l'indice frais de 100 ne sont pas lessivés en éléments alcalins. À l'inverse, les échantillons qui ont une valeur de 0 sont complètement lessivés en éléments alcalins.

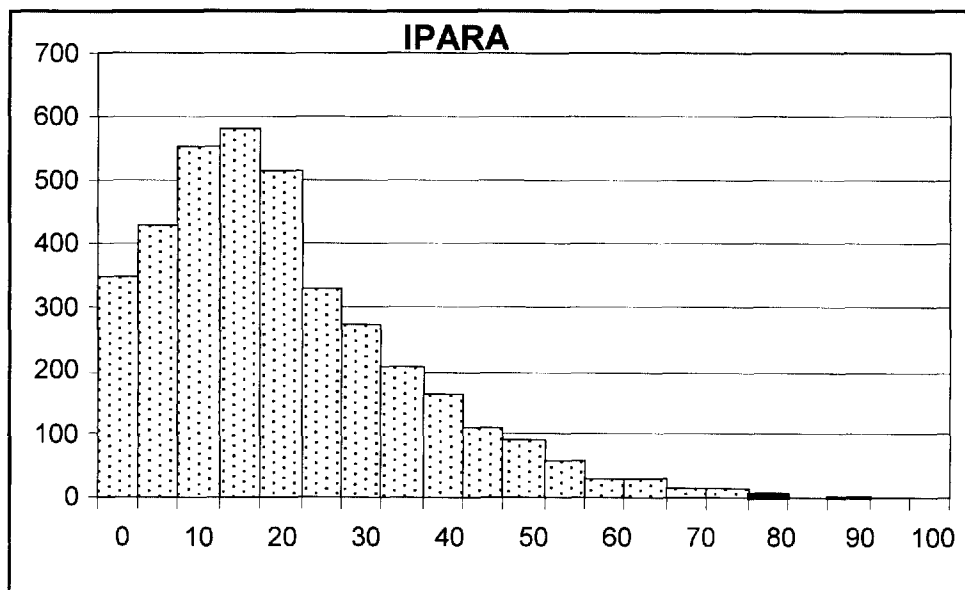


Figure 4. Histogramme des valeurs de l'indice de paragonite pour les roches de la région de Joutel. Les roches qui ont une valeur de 0 pour cet indice n'ont pas de paragonite hydrothermale. Ce peut être le cas pour des roches fraîches ou des roches lessivées ou dépourvues en sodium.

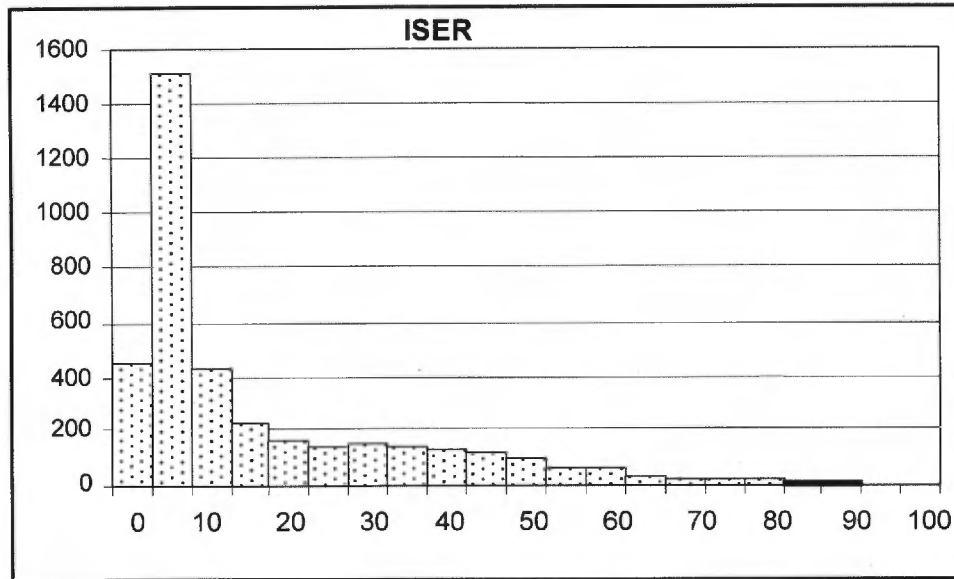


Figure 5. Histogramme de l'indice de séricite des roches de la région de Joutel. Les roches qui ont une valeur de 0 pour cet indice ne contiennent pas de séricite hydrothermale. Ce peut être le cas pour des roches fraîches et des roches dépourvues ou lessivées en potassium.

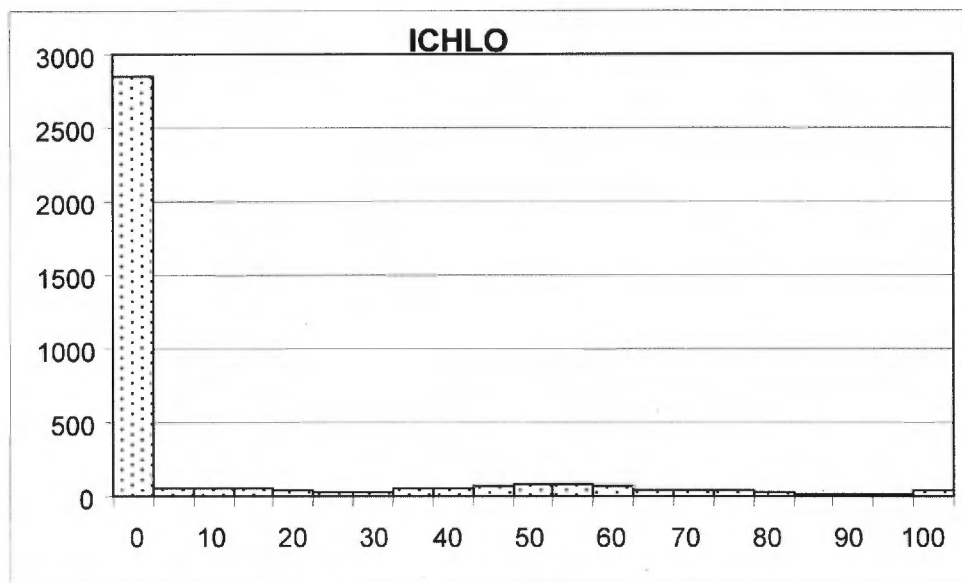
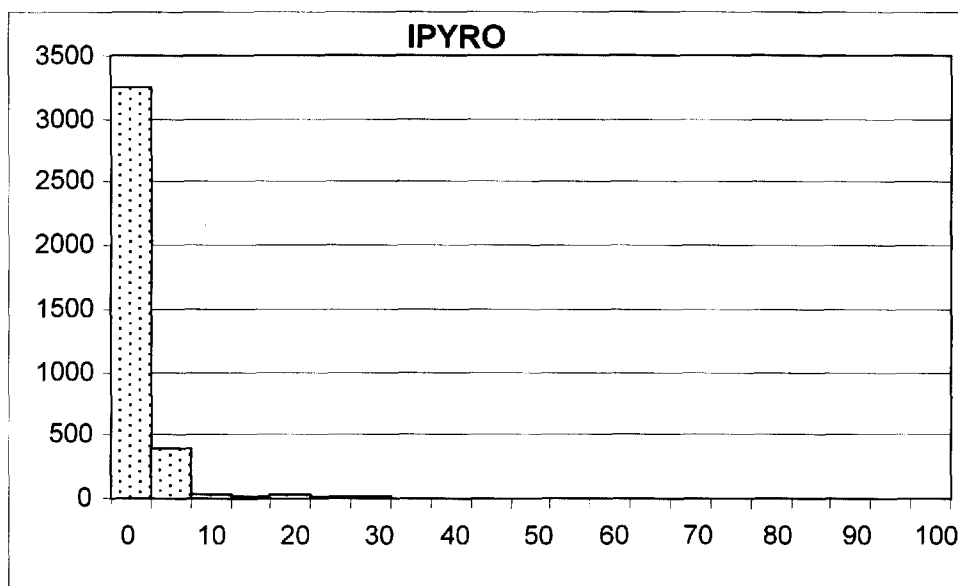
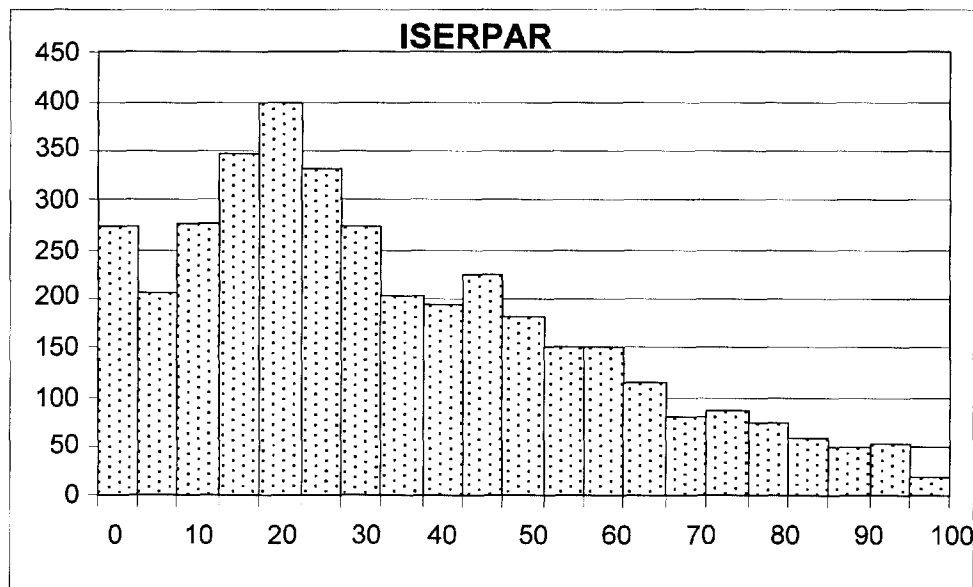


Figure 6. Histogramme de l'indice de chlorite des roches de la région de Joutel. Les roches qui ont une valeur de 0 pour cet indice ne contiennent pas de chlorite hydrothermale. C'est le cas des roches fraîches ou des roches partiellement lessivées en éléments alcalins.



**Figure 7.** Histogramme de l'indice de pyrophyllite des roches de la région de Joutel. Les roches qui ont une valeur de 0 pour cet indice sont des roches qui ne contiennent pas de pyrophyllite hydrothermale. Ce peut être le cas des roches fraîches ou des roches partiellement lessivées en éléments alcalins.



**Figure 8.** Histogramme de l'indice combiné de paragonite et de séricite des roches de la région de Joutel. La valeur de cet indice est moins dépendante du ratio  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  original de la roche. Cet indice permet de bien quantifier l'altération hydrothermale faible.

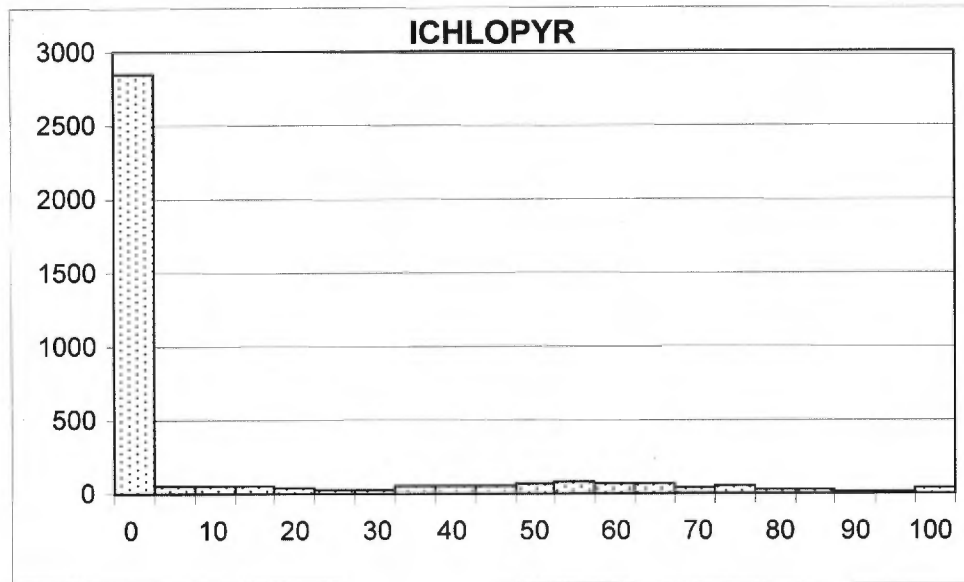


Figure 9. Histogramme de l'indice combiné de chlorite et de pyrophyllite des roches de la région de Joutel. Cet indice permet de bien quantifier l'altération hydrothermale avancée.

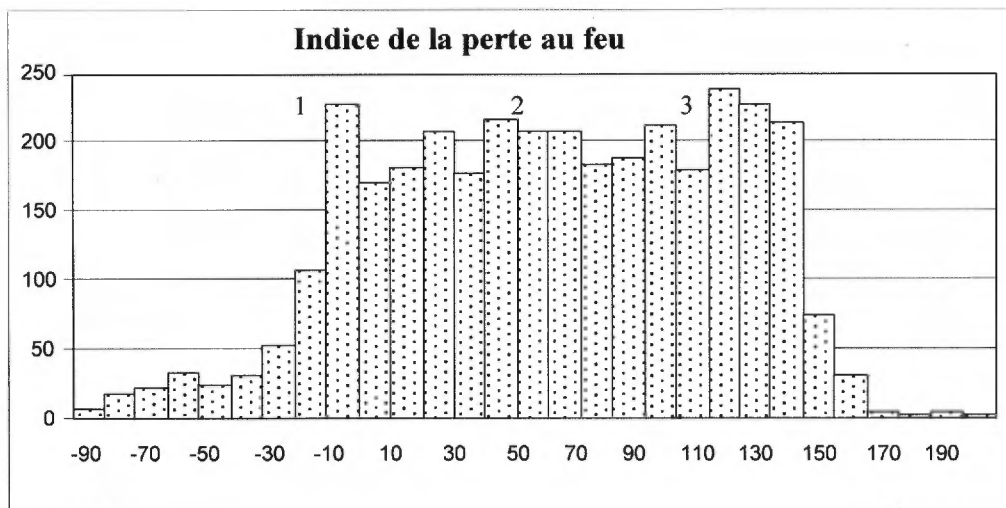


Figure 10. Histogramme de l'indice de perte au feu. Les échantillons avec une valeur inférieure à zéro représentent des roches dont le faciès métamorphique est supérieur à celui des schistes verts. Les échantillons qui ont une valeur entre 0 et 100 sont des roches au faciès des schistes verts dont la carbonatation varie de nulle à totale. Les échantillons qui ont une valeur de l'indice IPAF supérieur à 100 sont des roches totalement carbonatées qui contiennent d'autres phases volatiles, tel le soufre.

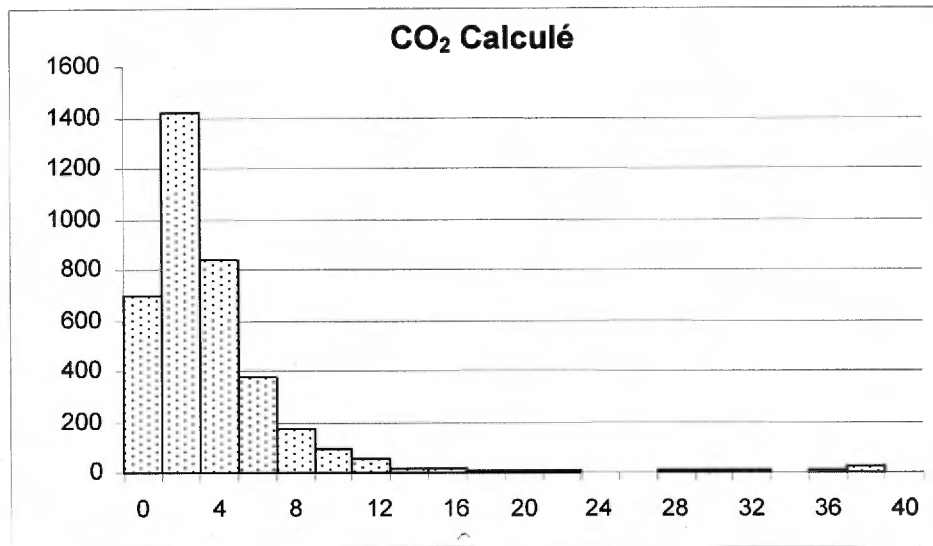


Figure 11. Histogramme du CO<sub>2</sub> calculé pour les roches de la région de Joutel.

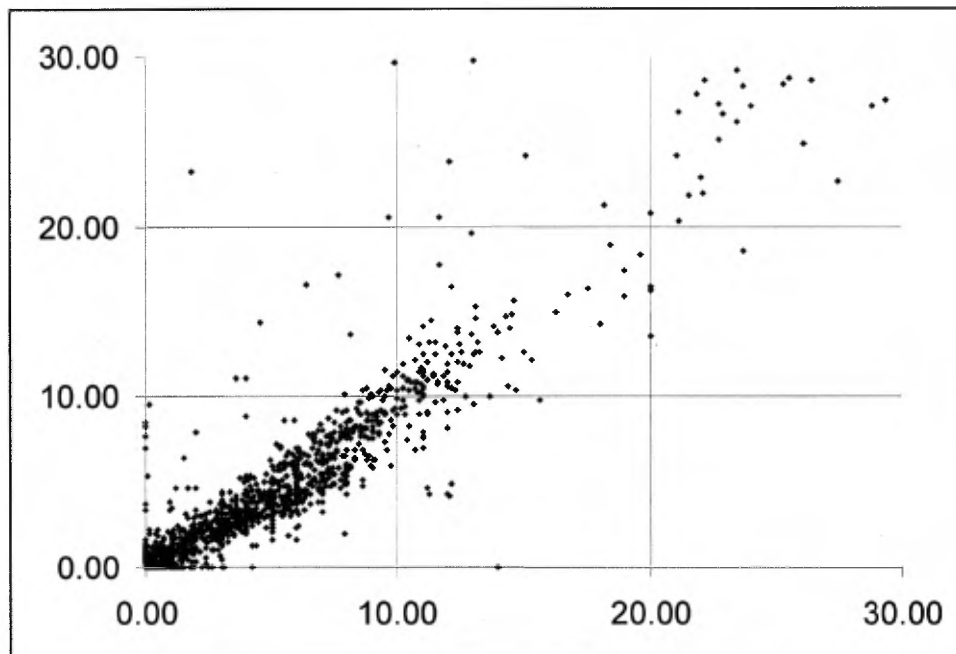
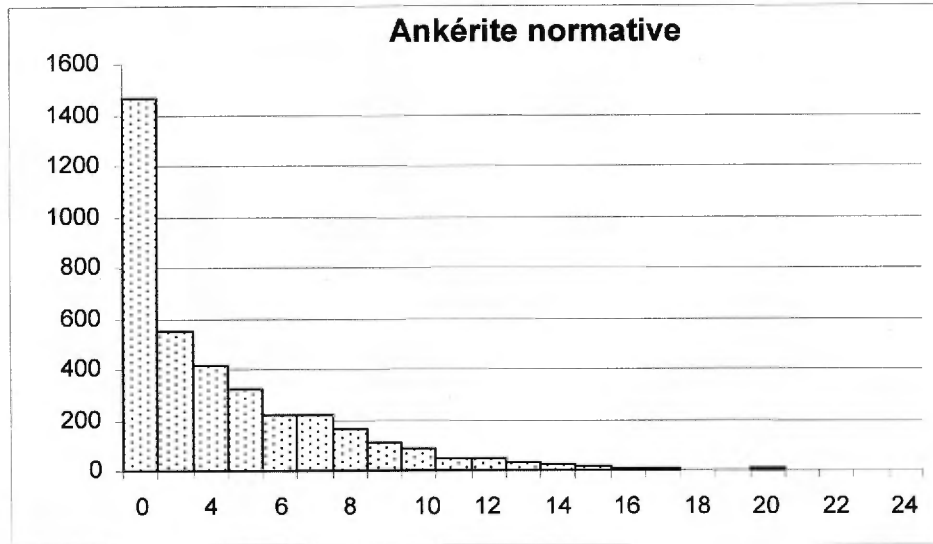
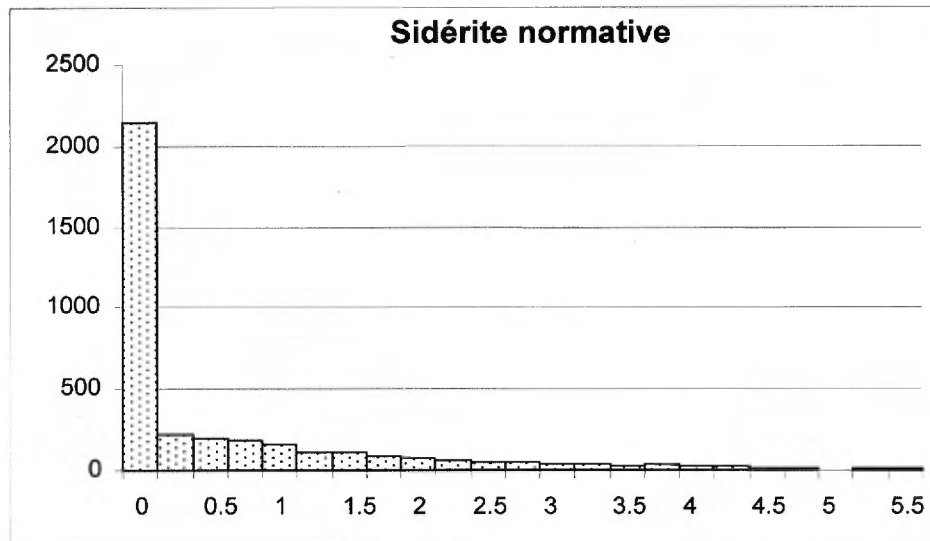


Figure 12. Graphique du CO<sub>2</sub> mesuré en abscisse, et du CO<sub>2</sub> calculé en ordonnée, des roches de la région de Joutel qui ont été analysées pour le CO<sub>2</sub> (1351 analyses). Le coefficient de corrélation est de 0,91 et la droite de régression passe par 0 et a une pente près de 1.



**Figure 13.** Histogramme de l'ankérite normative des roches de la région de Joutel.



**Figure 14.** Histogramme de la sidérite normative des roches de la région de Joutel.

**Tableau 3. Caractéristiques de la distribution des valeurs des indices et des minéraux normatifs.**  
 Nombre d'échantillons = 3750.

	Moyenne	Écart type	mode 1	mode 2	Mode 3	Médiane	Kurtosis	Asymétrie
MIN. FRAIS	34.30	24.92	0.00	56.00		36.40	-1.21	0.04
MIN. ALT.	19.18	14.30	0.00	14.00	42.00	16.26	1.36	0.99
IFRAIS	57.49	34.50	0.00	86.00	100.00	69.86	-1.17	-0.55
IPARA	18.09	15.26	0.00	14.00		14.63	1.20	1.14
ISER	13.40	17.70	2.00	30.00		4.50	1.69	1.54
ICHLO	10.43	22.40	0.00	50.00		0.00	3.66	2.15
IPYRO	0.59	3.19	0.00	8.00		0.00	52.92	6.94
IDIASP	0.00	0.00	0.00			0.00		
ISERPAR	31.49	24.26	0.00	18.00		25.69	-0.26	0.73
ICHLPYR	11.02	23.58	0.00	58.00		0.00	3.29	2.10
IPAF	40.12	65.64	-15.00	50.00	110.00	46.02	-0.32	-0.47
ACTINOTE	0.00	6.66	0.00	16.00	0.00	0.00	6.13	2.63
ALBITE	0.00	13.09	0.00	16.00		4.51	1.55	1.34
ALUNITE	0.00	0.00	0.00			0.00		
ANATASE	2.50	0.28	0.00	0.30		0.20	9.63	1.88
ANKERITE	2.11	3.07	0.00			0.72	9.85	2.39
APATITE	0.17	0.21	0.00	0.20		0.12	113.93	6.72
BRUCITE	0.00	0.00	0.00			0.00		
CALCITE	0.75	1.83	0.00			0.00	109.57	6.68
CANCR. K	0.00	0.00	0.00			0.00		
CANCR. Na	0.00	0.08	0.00			0.00		
CHL HYDR.	5.29	11.10	0.00	18.00		0.00	9.93	2.78
CHL. MET.	0.15	1.07	0.00			0.00	97.01	9.19
CHL. Fe	2.34	4.87	0.00	8.00		0.00	12.44	2.97
CHL. Mg	3.10	6.91	0.00	10.00	0.00	0.00	17.73	3.50
CHROMITE	0.00	0.01	0.00			0.00	64.02	5.67
DIASP. HYD	0.00	0.00	0.00			0.00		
DIASP. MET	0.04	0.39	0.00			0.00	139.98	10.98
DOLOMITE	1.39	2.27	0.00			0.42	22.39	3.50
EPIDOTE	1.09	3.77	0.00			0.00	37.88	5.32
HALIT. + SYLV.	0.00	0.02	0.00			0.00		
MAGNESITE	0.51	1.23	0.00			0.00	28.69	4.66
MAGNETITE	1.47	1.78	0.00	0.70		0.87	7.93	2.16
ORTHOSE	2.05	2.74	0.00			0.61	2.01	1.50
PARA. HYDR.	15.02	9.85	4.00	16.00		14.52	-0.72	0.31
PARA. MET.	2.03	5.16	0.00	8.00	18.00	0.00	6.79	2.72
PYRO. HYDR.	0.70	2.46	0.00			0.00	26.45	4.76
PYRO. MET.	0.19	1.20	0.00			0.00	68.29	7.88
QUARTZ	38.59	18.55	0.00	36.00	58.00	40.19	-0.52	-0.40
RODOCROSITE	0.04	0.20	0.00			0.00	171.45	12.21
MANGANITE	0.01	0.10	0.00			0.00	481.01	21.24
PSILOMELANE	0.10	0.15	0.10			0.07	137.12	8.73
SER. HYDR.	7.07	6.84	2.00			4.98	0.80	1.11
SER. MET.	0.17	0.61	0.00			0.00	41.85	5.52
SERPENTINE	0.05	0.71	0.00			0.00	341.88	17.62
SIDERITE	1.79	9.17	0.00			0.00	86.45	8.97
SPHENE	0.51	0.98	0.90			0.00	13.26	2.94
TALC	2.16	4.01	0.00			0.00	13.92	2.87
TREMOLITE	3.09	7.94	0.00	6.00	28.00	0.00	7.53	2.85
H2O+ CALC.	2.11	1.28	1.50			1.80	6.26	1.79
H2O- CALC.	0.51	0.19	0.60			0.52	0.91	0.14
CO <sub>2</sub> CALC.	2.81	4.63	0.00			1.57	27.72	4.61
GAF	-0.25	0.66				-0.14	70.63	-7.97
PAF CALC.	5.17	3.97	3.70			4.13	16.46	3.43
PAF à 100%	5.36	8.40	0.00	3.30		3.92	96.56	8.98



Tableau 4. Valeurs des indices et minéraux normatifs en fonction des centiles 99, 97.5, 95, 68 et 50 de la région de Joutel. Nombre d'échantillons = 3750.

<b>CENTILE</b>	<b>99</b>	<b>97.5</b>	<b>95</b>	<b>68</b>	<b>50</b>
<b>INDICES</b>					
IFRAIS (1/x)	0.00	0.00	0.00	61.57	69.86
IPARA	65.77	56.68	48.40	21.26	14.63
ISER	71.07	59.23	51.18	12.57	4.50
ICHLO	94.03	75.48	63.24	0.00	0.00
IPYRO	19.69	7.46	0.80	0.00	0.00
IDIASP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ISERPAR	93.86	88.21	79.50	40.14	25.69
ICHLPYR	97.06	80.17	68.17	0.00	0.00
IPAF	146.19	135.02	127.30	77.69	46.02
<b>MINÉRAUX</b>					
ACTINOTE	28.11	25.14	20.51	0.00	0.00
ALBITE	49.72	42.61	37.04	13.94	4.51
ALUNITE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ANATASE	1.20	0.91	0.75	0.34	0.20
ANKERITE	12.68	10.36	8.20	2.22	0.72
APATITE	0.82	0.63	0.48	0.20	0.12
BRUCITE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CALCITE	8.49	6.08	4.23	0.13	0.00
CANCR. K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CANCR. Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CHL. HYDR	48.74	35.61	28.45	0.00	0.00
CHL. MET	6.00	1.40	0.00	0.00	0.00
CHL. Fe	21.66	15.86	12.45	0.00	0.00
CHL. Mg	30.81	21.37	16.71	0.00	0.00
CHROMITE	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00
DIASP. HYDRO.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DIASP. MET.	1.81	0.00	0.00	0.00	0.00
DOLOMITE	10.34	7.74	5.71	1.38	0.42
EPIDOTE	19.31	12.43	8.33	0.00	0.00
HALITE + SYLVITE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MAGNESITE	6.75	3.81	2.64	0.24	0.00
MAGNETITE	7.60	6.26	5.15	1.54	0.87
ORTHOSE	10.76	9.22	7.76	2.46	0.61
PARA. HYDR.	37.63	35.17	31.99	19.56	14.52
PARA. MET.	21.23	18.65	15.90	0.00	0.00
PYRO HYDR	12.53	9.22	5.32	0.00	0.00
PYRO. MET.	7.26	2.13	0.00	0.00	0.00
QUARTZ	71.23	68.47	65.66	48.80	40.19
RODOCHROSITE	0.53	0.20	0.13	0.00	0.00
MANGANITE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PSILOMELANE	0.52	0.37	0.27	0.11	0.07
SER. HYDR.	26.21	23.38	20.55	8.59	4.98
SER. MET.	3.00	2.09	1.29	0.00	0.00
SERPENTINE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SIDERITE	46.63	8.41	4.10	0.45	0.00
SPHENE	4.43	3.21	2.26	0.19	0.00
TALC	16.77	13.49	10.73	1.21	0.00
TREMOLITE	34.42	29.84	24.56	0.00	0.00

## 9.0 ÉTABLISSEMENT DES SEUILS PAR DES CRITÈRES GÉOLOGIQUES -EXEMPLE DE LA MINE DE POIRIER

La Mine de Poirier est un gisement de sulfures massifs volcanogène de 6,3 millions de tonnes avec des teneurs de 1,77% Zn, 1,78% Cu et 3,5 g/t Ag. Les analyses des roches hôtes de la minéralisation proviennent de McConnell (1976) et de la compagnie Rio Algom. La figure 15 est un agrandi de la carte de Legault et al. (2000) de la région de la Mine de Poirier.

Le grand nombre et la dispersion des analyses lithogéochimiques en périphérie de la Mine de Poirier permettent de réaliser des cartes de contours d'iso valeurs d'indice d'altération.

Les cartes d'iso valeurs des figures 16 à 20 ont été générées par le logiciel Vertical Mapper™. L'algorithme de contour utilise la méthode des

voisins naturels. La dimension des cellules est de 25 mètres. La variation de densité des échantillons est compensée par agrégation des échantillons rapprochés dans un diamètre de 25 mètres. Ces paramètres ne sont pas validés par une analyse de covariance.

Il est entendu que cette méthode de représentation des données n'est pas une modélisation rigoureuse de la réalité. Les cartes d'isovaleurs produisent une représentation acceptable de la réalité lorsque les échantillons sont des mesures de variables continues tel l'intensité d'un champ magnétique. Une analyse chimique est unique et non reproductible. L'échelle à laquelle ce type de donnée se comporte comme une variable continue est arbitraire selon le point de vue de l'investigateur. Le lecteur est avisé de tenir ces faits en compte lors de l'examen et de l'interprétation de ces figures.

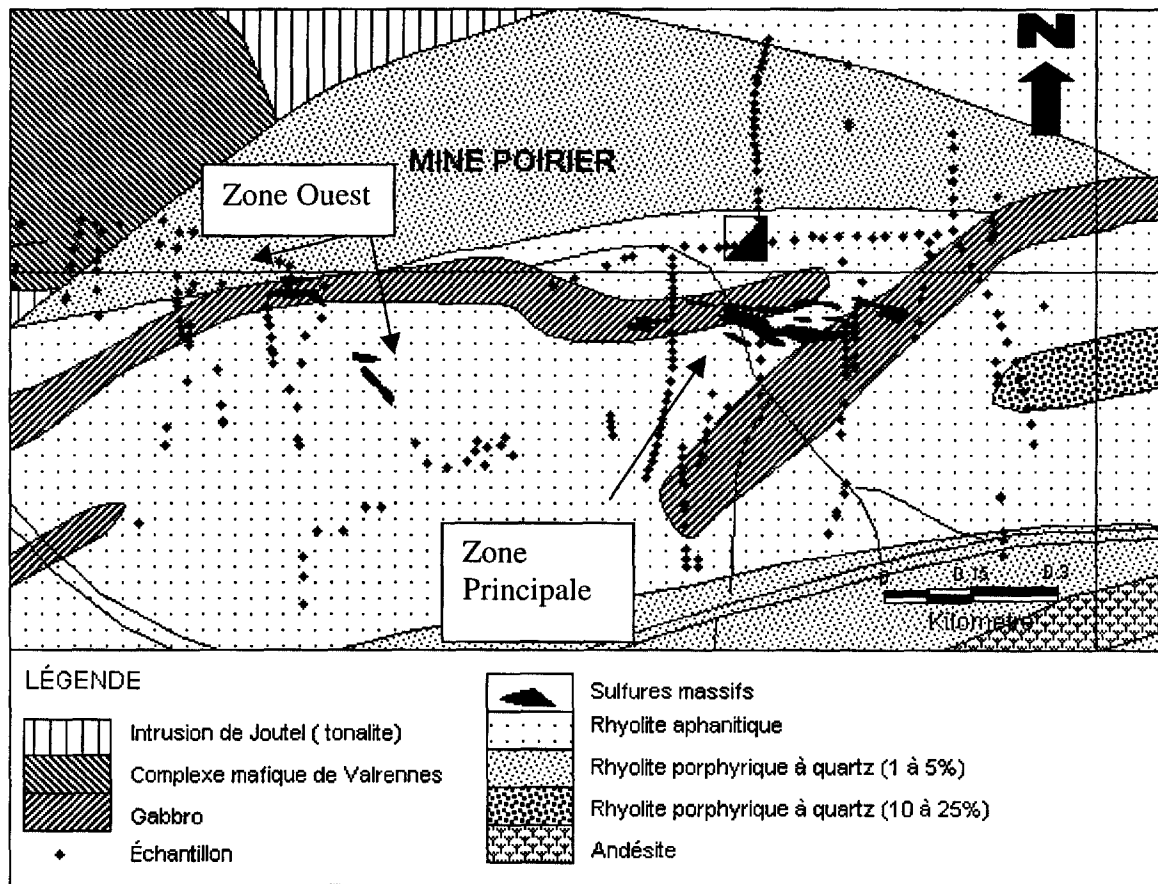


Figure 15. Carte géologique de la région de la Mine de Poirier tirée de Legault et al. (2000). Les échantillons proviennent de McConnell (1976) et de la compagnie Rio Algom. Voir la figure 2 pour la localisation. Pour simplifier le texte, les lentilles du gisement ont été divisées en Zone Ouest et en Zone Principale.

L'indice d'altération FRAIS a une valeur qui varie de 0 pour les roches lessivées en sodium et en calcium à 100 pour les roches fraîches. Cet indice mesure le lessivage en éléments alcalins. La formule de cet indice se trouve dans le tableau 2.

Sur la figure 13, la courbe d'iso valeur de IFRAIS de 75 à 100 définit une zone anormale de 300 mètres de largeur par 1500 mètres de longueur. L'allongement est-ouest de cette zone est parallèle à l'orientation des lentilles minéralisées de la Mine de Poirier. Il est à noter que l'altération se trouve préférentiellement à l'ouest des lentilles minéralisées.

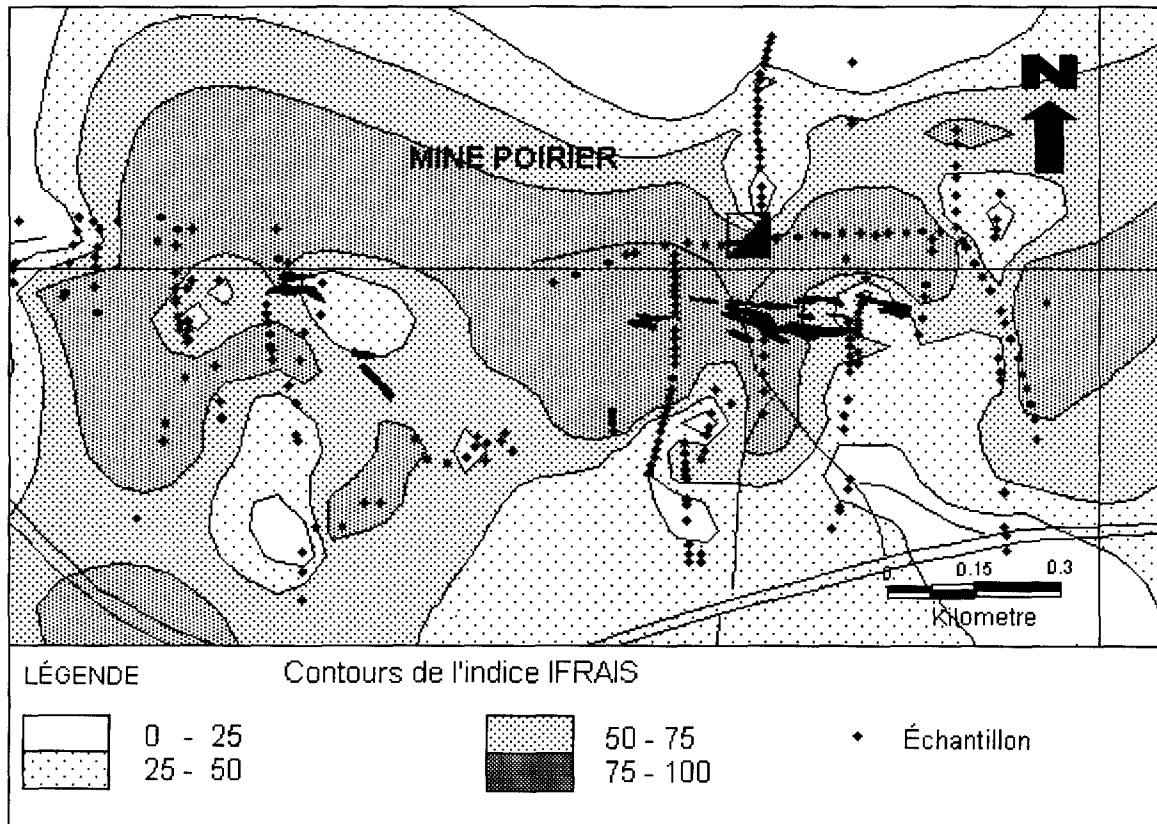
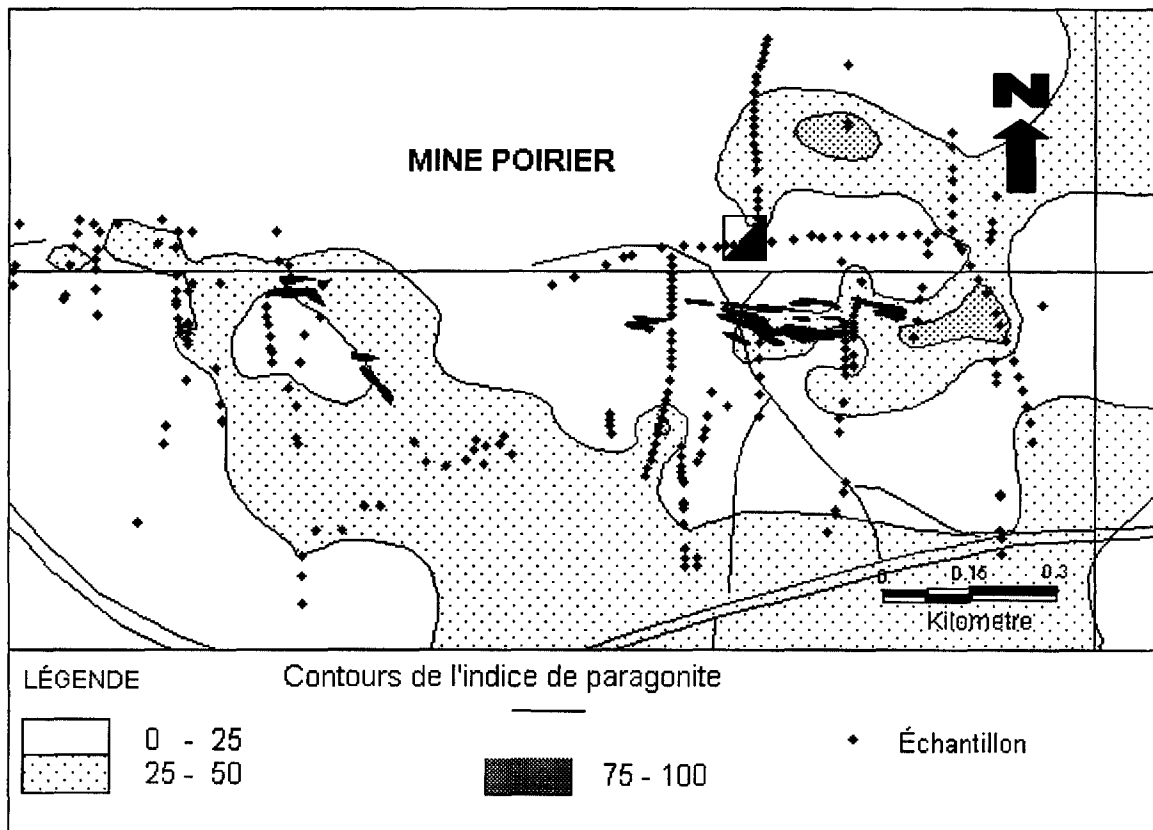


Figure 16. Carte des iso valeurs de l'indice FRAIS du secteur de la Mine de Poirier.



**Figure 17. Carte des iso valeurs de l'indice de paragonite du secteur de la Mine de Poirier.**

Les anomalies les plus fortes de l'indice de paragonite sont situées en périphérie des lentilles de sulfures de la Mine de Poirier. Sur la figure 17, l'aire couverte par les iso valeurs de 25 à 50 de l'indice de paragonite forme un halo en demi-lune de 200 mètres de largeur à l'est-nord-est des

lentilles minéralisées de la Zone Principale de la Mine de Poirier. Un autre axe anormal de 100 à 400 mètres de largeur se prolonge vers le sud-est sur au moins 1000 mètres à partir des lentilles minéralisées de la Zone Ouest de la mine.

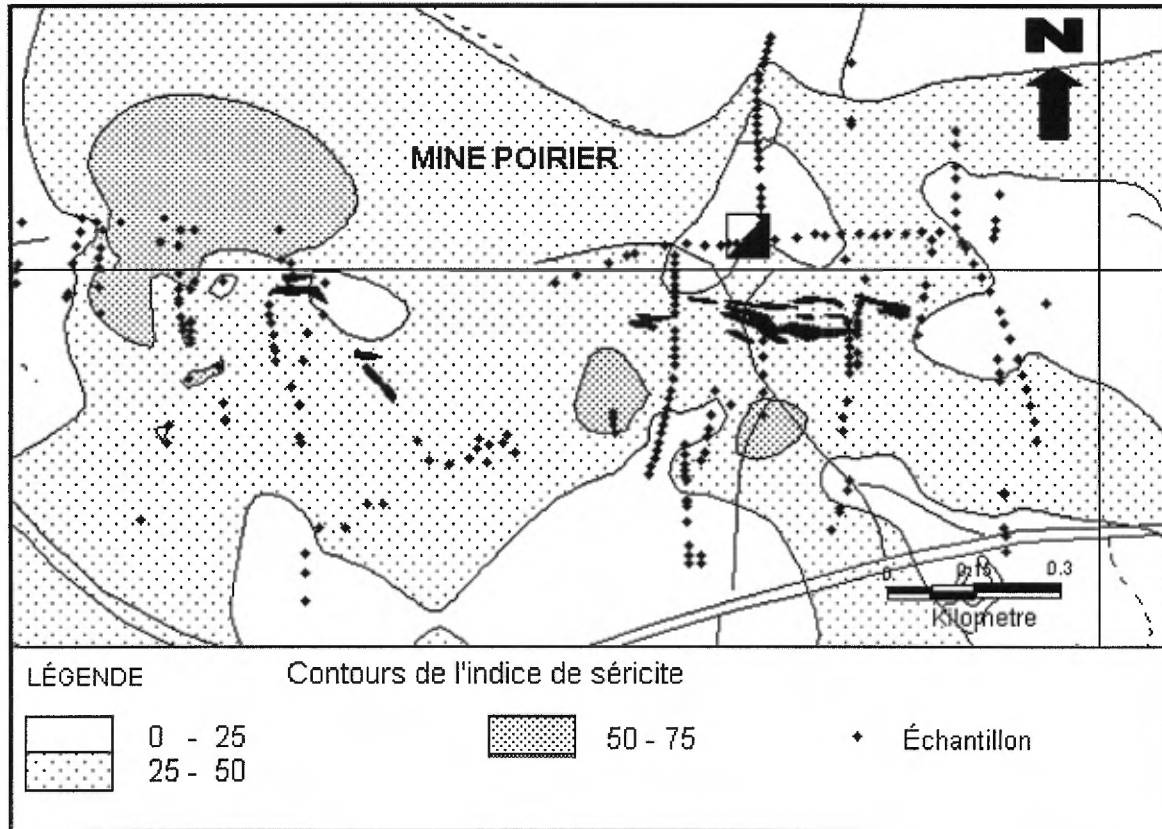


Figure 18. Carte des iso valeurs de l'indice de séricite du secteur de la Mine de Poirier.

Les anomalies les plus fortes de l'indice de séricite (50 à 75) sont situées à 200 mètres au sud de la Zone Principale de la Mine de Poirier et à 150 mètres au nord-ouest des lentilles de la Zone Ouest (fig. 18). Ces zones fortement anormales sont incluses dans un halo diffus moins anomal (25 à 50) de l'indice de séricite de 500 mètres d'épaisseur par au moins 1000 mètres de longueur dont l'allongement est parallèle à l'axe

long des lentilles de sulfures de la Mine de Poirier.

Il est à noter que la zone située immédiatement au nord de la Zone Principale de la Mine de Poirier ne forme pas d'anomalie d'indice de séricite. Des zones similaires sont situées immédiatement à l'est et à l'ouest des lentilles de la Zone Ouest de la mine.

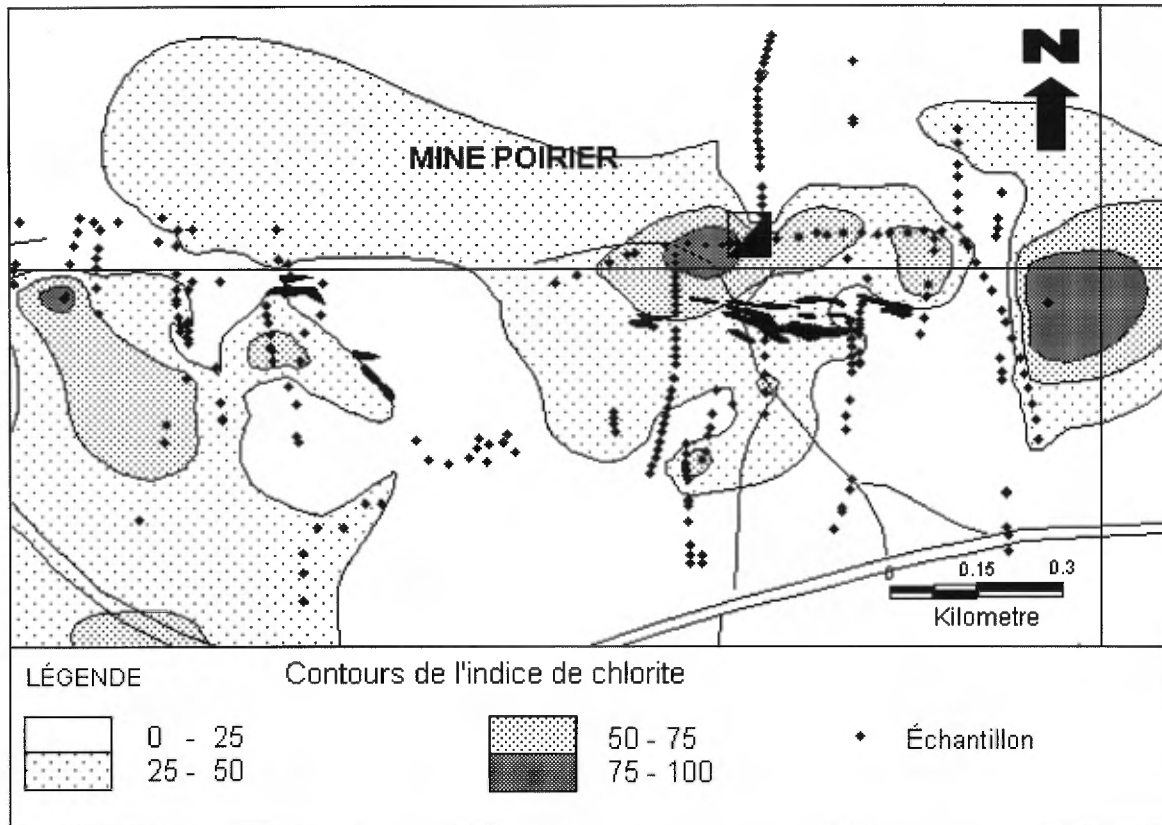


Figure 19. Carte des iso valeurs de l'indice de chlorite du secteur de la Mine de Poirier.

Les anomalies les plus fortes de l'indice de chlorite (50 à 100) sont situées à environ 100 m au nord des lentilles de sulfures de la Zone Principale de la Mine de Poirier et de 100 à 300 mètres au sud-ouest des lentilles de la Zone Ouest (Fig. 19). L'enveloppe des valeurs supérieures à 25 de l'indice de chlorite associée à la zone principale a une longueur de 1300 mètres et une épaisseur de 300 à 500 mètres au nord des lentilles de la Zone Principale. Au sud-ouest des lentilles de la Zone Ouest, l'anomalie a un diamètre de 700 mètres.

La relation géométrique entre les lentilles minéralisées et les anomalies de l'indice de chlorite est différente entre les lentilles de la Zone Principale et les lentilles de la Zone Ouest. La raison de ce phénomène ne peut être expliquée avec les données connues à ce jour. De nouvelles cibles d'exploration pourraient être générées si cette géométrie pouvait être validée par des données structurales et stratigraphiques.

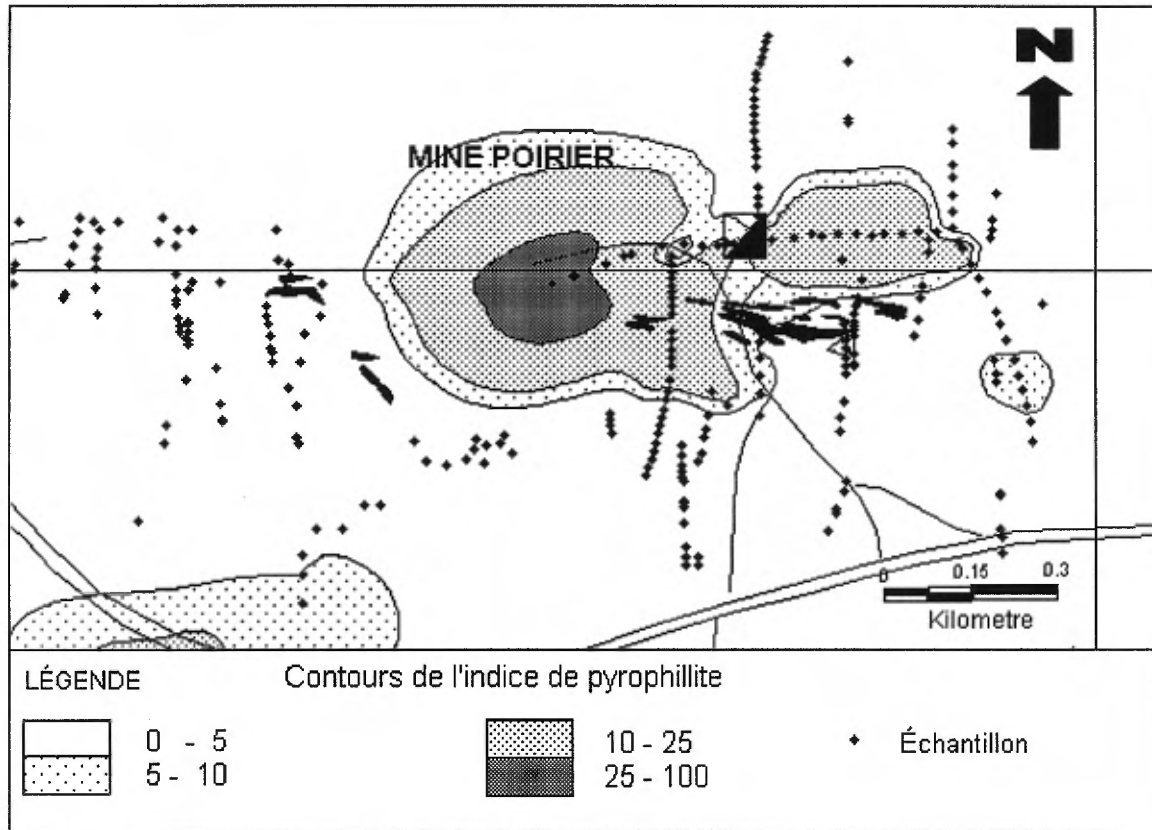


Figure 20. Carte des iso valeurs de l'indice de pyrophyllite du secteur de la Mine de Poirier

L'indice de pyrophyllite (Fig. 20) a une distribution encore plus restreinte que l'indice de chlorite. L'anomalie la plus forte de l'indice de pyrophyllite normative est située immédiatement au nord et à l'ouest de la Zone Principale. Une autre zone anormale se trouve à l'extrême sud-ouest de la figure 20. Celle-ci répète la relation géométrique divergente entre les anomalies et les lentilles de la Zone Principale et les lentilles de la Zone Ouest.

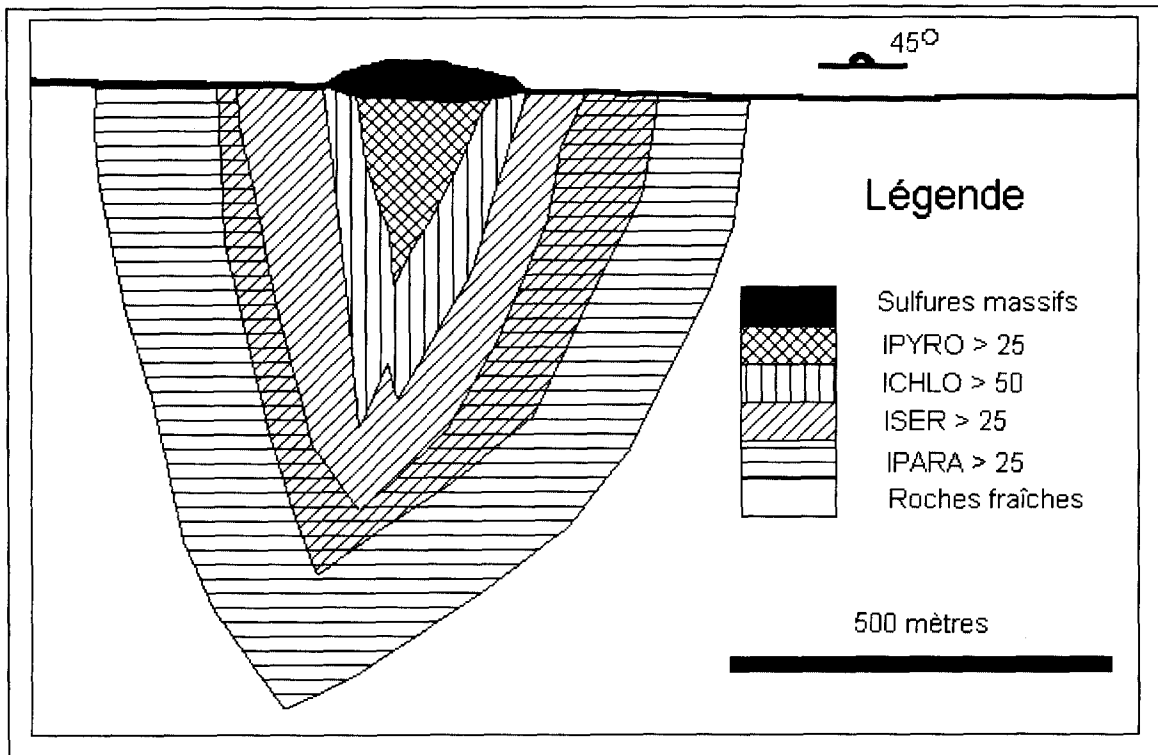
### 9.1 Résumé des seuils d'anomalies

Les valeurs des seuils d'anomalies des indices IFRAIS, IPARA, ISER, ICHLO, IPYRO, ISERPAR et ICHLOPYR sont résumées dans le tableau 5. Les valeurs seuils sont déterminées empiriquement par l'observation des zones anormales sur la carte.

Tableau 5. Seuils d'anomalies déterminés empiriquement à la Mine de Poirier.

	SEUIL D'ANOMALIE
IFRAIS	75
IPARA	25
ISER	25
ICHLO	25
IPYRO	>0
ISERPAR	25
ICHLOPYR	25

La figure 21 représente un modèle schématique de la distribution spatiale des anomalies des différents indices associées à un gisement de type VMS idéalisé. Ce modèle est basé sur l'interprétation des cartes des iso valeurs des indices de minéraux normatifs du secteur de la Mine de Poirier.



**Figure 21.** Schéma de la distribution spatiale des zones anomaliques des indices de paragonite, séricite, chlorite et pyrophyllite normatives dans les roches du mur d'un gisement de sulfure massif volcanogène idéalisé.



### 10.0 ANOMALIES DE SIDÉRITE NORMATIVE ASSOCIÉES AUX GISEMENTS AURIFÈRES DE EAGLE ET DE TELBEL

La partie sommitale de l'édifice de laves felsiques de la Formation de Joutel, située en bordure du corridor de déformation Harricana, est fortement carbonatisé. Le paroxysme de cette altération, qui correspond aux zones aurifères, est caractérisé par une sidéritisation et une pyritisation des tufs felsiques de la Formation de Joutel (Legault et al. 2000).

Les carbonates normatifs calculés permettent de visualiser l'intensité et la géométrie de cette altération. Par contre, les forts contrastes entre les roches non-carbonatisées du

Groupe des monts Cartwright et la distribution irrégulière des échantillons dans le secteur des mines Eagle et Telbel font en sorte que les cartes de contours générés par ordinateur sont incohérentes avec les observations de terrain. Il est donc nécessaire de délimiter les zones anomaliques manuellement.

Par essai et erreur, une valeur seuil de 3% de sidérite normative produit une zone anomalique qui correspond bien aux zones aurifères des mines Eagle et Telbel. Les zones anomaliques qui s'étendent au-delà des zones aurifères connues constitueraient des cibles d'exploration des plus valables.

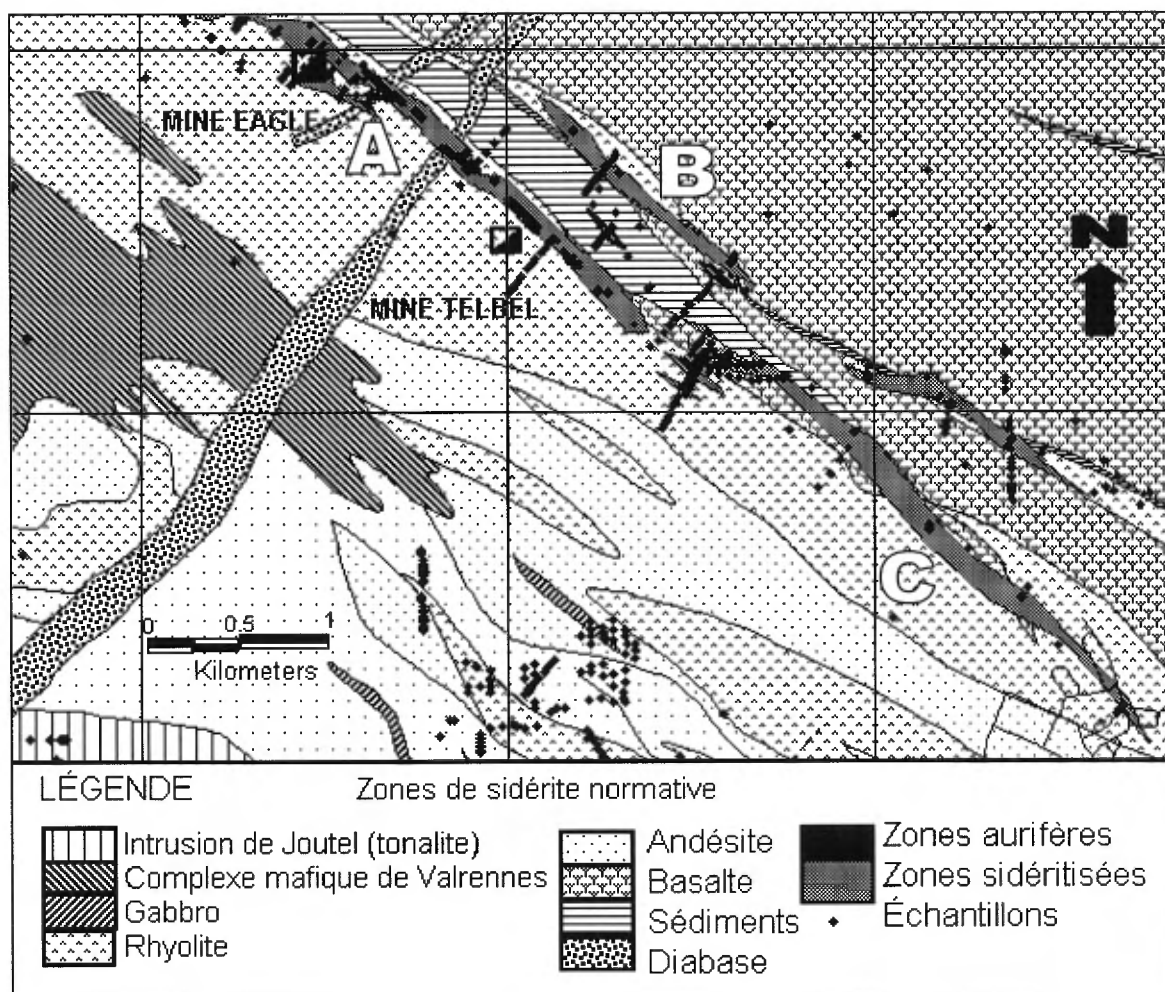


Figure 22. Carte géologique du secteur des mines Eagle et Telbel de Legault et al., 2000.

Deux zones anormales parallèles, séparées de 400 à 600 mètres, sont observées sur la figure 21. Ce sont des zones de moins de 300 mètres de largeur par plusieurs kilomètres de longueur. La zone A est associée aux gisements de Eagle et Telbel. Cette zone est située au sommet du membre de Eagle de la Formation de Joutel-Poirier. Cette zone est parallèle au couloir de déformation de Harricana tel que défini par Legault et al. (2000). Son attitude est sub-concordante dans sa portion nord-ouest et discordante en sa portion sud-est.

La zone B a une géométrie sub-concordante et est située au contact entre le Groupe de Vanier-Dalet-Poirier au sud et le Groupe de Cartwright au nord. Cette zone correspond au couloir de déformation de Joutel défini par Legault et al. (2000).

L'extension sud-est de l'anomalie A qui est hôte des mines Eagle et Telbel constituerait un secteur favorable à d'autres minéralisations aurifères (zone C).

## 11.0 CIBLES D'EXPLORATION

La carte en annexe montre les secteurs qui constituent des cibles d'exploration potentielles dans la recherche de minéralisations de sulfures massifs volcanogènes et aurifères.

### 11.1 Sulfures massifs volcanogènes

Les critères qui ont été utilisés pour choisir les zones apparaissant sur la carte sont les suivants:

- 1) Qu'une anomalie de l'indice de chlorite normative soit supérieure à 25.
- 2) Que des anomalies des indices de séricite et de paragonite supérieures à 25 entourent l'anomalie de l'indice de chlorite sans trop s'y superposer. Par analogie, l'anomalie de chlorite constitue le trou d'un beigne illustré par l'anomalie de séricite et de paragonite.
- 3) Que la dimension de l'anomalie soit au moins comparable en dimensions à celle qui est associée à la Mine de Poirier.

### 11.2 Minéralisations aurifères

Les critères qui ont été utilisés pour choisir les zones apparaissant sur la carte sont les suivants:

- 1) Que la cible soit caractérisée par un contenu en sidérite normative supérieure à 3%.

- 2) Que cette cible soit située dans le même environnement stratigraphique et structural que les mines Telbel et Eagle.

## 12.0 CONCLUSIONS

La compilation des analyses lithogéochimiques de la région de Joutel nous a permis de 1) construire des cartes d'indices d'altération basés sur les minéraux normatifs. 2) d'établir la zonalité et les faciès des minéraux d'altération et 3) de déterminer à partir de quelles valeurs ces indices et minéraux normatifs d'altérations sont anormaux.

Les altérations associées à la Mine de Poirier sont constituées d'une zone centrale de pyrophyllite normative à 100 mètres au nord-ouest des lentilles de sulfures, une zone de chlorite normative de 500 mètres de largeur qui se superpose à l'anomalie de pyrophyllite mais qui s'étend sur plus d'un kilomètre dans la direction ouest, nord-ouest, à partir des lentilles de sulfures et une zone de séricite et de paragonite normatives qui forment des zones de 200 à 500 mètres de largeur qui enveloppent les zones anormales en chlorite et en pyrophyllite.

Les altérations reliées aux mines Telbel et Eagle sont caractérisées par une anomalie de sidérite normative dont le seuil est fixé à plus de 3%. Ces anomalies ont une largeur de 200 à 300 mètres et une longueur de 1 à 3 kilomètres. Elles ont une orientation parallèle au corridor de déformation de la rivière Harricana.

Par extension, les zones anormales possédant les mêmes caractéristiques que celles associées à celles de la Mine de Poirier ou à celles des mines Eagle et Telbel constituent des cibles d'exploration avec un potentiel à investiguer en priorité.

### 13.0 RÉFÉRENCES.

DUBÉ, L. M., 1993. Géologie de la région de Joutel (Abitibi). Ministère des ressources naturelles du Québec, Secteur mines. ET 90-12. 62 pages.

LEGAULT, M., 2000, Contexte géologique du camp Minier de Joutel, Sous-Province de l'Abitibi. En Préparation. Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Secteur Mines. Géologie Québec.

McCONNELL, J. W., 1976. Geochemical Dispersion in Wallrocks of Archean Massive Sulphide Deposits. Thèse de Doctorat (Ph.D.) Queens University. Kingston, Ontario, Canada.

RIVERIN, G., 1977. Wall-rock alteration at the Millenbach Mine, Noranda, Quebec. Thèse de Doctorat (Ph.D.). Queens University, Kingston, Ontario, 225 pages.

SHARMA, K, 1986. Légende générale de la carte géologique – Édition revue et augmentée. Ministère des Ressources Naturelles, Direction de la Géologie. MB-96-28.