

*VAL-JALBERT
PROJET HYDROÉLECTRIQUE*

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR
ERIC LAMONTAGNE
B.SC.AP.

ÉTUDE DE LA FRACTURATION AU LAC-ST-JEAN

MAI 1993



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

RESUME

Cette étude consiste au levé systématique et à l'interprétation des discontinuités structurales (joints, failles et cisaillements ductiles) au Lac-St-Jean. Cette compilation a surtout été concentrée au sud-ouest du Lac-St-Jean (Roberval - Chambord - Lac Bouchette), mais quelques affleurements-clés furent aussi compilés au pourtour du Lac-St-Jean.

La compilation globale des joints des 34 affleurements étudiés donne une dispersion des mesures dans tous les quadrants. Deux familles ressortent de façon nette: 169/88 et 112/84.

La compilation des discontinuités structurales (joints, failles et cisaillements ductiles) fait ressortir trois groupes de directions préférentielles: 010-030, 110-125 et 145-170.

Plusieurs tentatives (essais) de corrélation furent effectuées afin d'analyser la fracturation. Les trois principales sont: par unité lithostructurale, par secteur et le long de deux discontinuités structurales majeures. Quatre points ressortent de cette analyse des fractures:

- 1) Les patrons de fracturation sont influencés par le type d'unité lithostructurale, ce qui explique la forte dispersion dans les quatre quadrants de la compilation globale des joints.
- 2) Cinq secteurs de fracturation homogène peuvent être identifiés autour du Lac-St-Jean.
- 3) Deux familles de fractures principales sont identifiées; a) l'une à (169/88) contrôlée par une ancienne fabrique grenvillienne et b) l'autre à (110/81) qui s'étale de 110 à 130 degrés et qui est reliée à la formation du graben du Saguenay.
- 4) Les discontinuités structurales furent réactivées par des cisaillements après la formation du graben.

Plusieurs petits tremblements de terre de magnitude de 1.5 à 4.5 furent localisés depuis 1900 au sud-ouest du Lac-St-Jean (Roberval-Chambord). Ces tremblements de terre s'alignent suivant une direction préférentielle approximative de 140 degrés.

Deux zones pourraient indiquer un potentiel d'activité séismique dans ce secteur: 1) La zone de faille du Lac Bouchette et 2) une zone qui comprend plusieurs discontinuités structurales (joints, failles et cisaillements ductiles) dans l'éventail de directions 120-160 degrés. Nous proposons deux hypothèses pour expliquer cette séismicité du sud-ouest du Lac-St-Jean. Soit: 1) Une séismicité reliée à celle du Saguenay, ou 2) une séismicité associée au coin nord-ouest du bloc tectonique de Jacques-Cartier.

Le modèle de formation de graben en extension de Bosworth (1985) explique bien les structures retrouvées au Lac-St-Jean. De plus, il a l'avantage d'expliquer l'asymétrie du graben du Saguenay (absence du mur sud au Saguenay et absence du mur nord au Lac-St-Jean) et incorpore les failles de transfert, repérées sur le terrain, et qui sont perpendiculaires aux failles normales listriques. Ce modèle laisse encore cependant place à amélioration.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de mémoire, Gérard Woussen, de ses judicieux conseils, sa disponibilité, sa franchise, son encouragement et son encadrement tout au long de cette étude.

Je tiens également à remercier les membres de mon comité de mémoire, Guy Archambault, Denis W. Roy et Reynald Du Berger, pour les précieux conseils qu'ils m'ont donnés durant l'élaboration et la rédaction de ce mémoire.

J'aimerais remercier grandement la Commission de contrôle de l'énergie atomique et son représentant M. Joe Wallach pour sa participation financière et technique à ce projet.

J'aimerais aussi remercier la Fondation Thomas Léon Tremblay, la Fondation Asselin et le Fonds PAIR de l'université du Québec à Chicoutimi pour leur aide financière par l'entremise de bourses d'étude.

Je suis également reconnaissant envers Wulf Muller, Réal Daigneault et Alain Rouleau pour les précieux conseils qu'ils m'ont prodigués lors de visite du terrain d'étude.

Finalement, le support technique de Claude Dallaire, Denis Côté et Yvon Boudreault de l'U.Q.A.C., de Maurice Lamontagne de la Commission géologique du Canada et d'Etienne Martin (Cégep d'Alma) a été très apprécié.

TABLE DES MATIERES

	Page
a. Liste des figures.	ix
b. Liste des planches photographiques.	xii
c. Liste des tableaux.	xiii
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.	1
1. PROBLEMATIQUE ET BUT DU TRAVAIL.	1
2. METHODE DE TRAVAIL.	5
CHAPITRE 2 CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL DU LAC-ST-JEAN.	8
CHAPITRE 3 EFFET DE FACE	12
CHAPITRE 4 COMPILATION SUR PROJECTION STEREOGRAPHIQUE.	13
1. CARTE DES DIRECTIONS PRINCIPALES DE JOINTS.	13
2. CARTE ET STEREOGRAMME DES DIRECTIONS DE FAILLES.	14
3. CARTE DES DIRECTIONS PRINCIPALES DES CISAILLEMENTS DUCTILES.	14
4. STEREOGRAMME DE LA COMPILATION GLOBALE DES JOINTS.	14
5. STEREOGRAMME DE LA COMPILATION GLOBALE DES JOINTS ET DES PLANS DE STRIES.	17

	Page
CHAPITRE 5 CORRELATION DES FRACTURES	20
1. ANALYSE DES FRACTURES PAR UNITE LITHOSSTRUCTURALE.	20
1.1 Calcaire Trenton-schistes Utica.	23
1.2 Granites tardi-tectoniques.	25
1.3 Anorthosite du Lac-St-Jean.	27
1.4 Mangérite.	31
1.5 Gneiss granitique.	31
1.6 Gneiss mixtes, Paragneiss.	33
1.7 Discussion.	36
2. ANALYSE DES FRACTURES PAR SECTEUR.	38
2.1 Secteur 1. (Alma, St-Henri-de-Taillon)....	38
2.2 Secteur 2. (Desbiens, St-André)....	40
2.3 Secteur 3. (Chambord)....	43
2.4 Secteur 4. (Roberval)....	43
2.5 Secteur 5. (Ouest St-Félicien)....	45
2.6 Secteur 6. (Dolbeau)....	47
2.7 Discussion.	47
3. ANALYSE DES FRACTURES LE LONG DES DISCONTINUITES	
STRUCTURALES MAJEURES.	57
3.1 Faille Lac Bouchette.	58
3.2 Faille de graben à Chambord.	59
3.3 Discussion.	62
CHAPITRE 6 ORIENTATION DES AXES X-Y-Z DE L'ELLIPSOIDE	
DE DEFORMATION ENREGISTREE PAR LES FRACTURES.	68

	Page
1. INTRODUCTION.	68
2. METHODE D'ANALYSE.	71
2.1 Méthode d'Arthaud.	71
2.2 Méthode d'Angelier.	72
2.3 Méthode de Reches.	74
3. DISCUSSION.	75
 CHAPITRE 7 SEISMICITE DU LAC-ST-JEAN.	 77
1. INTRODUCTION.	77
2. POSSIBILITE D'UNE ORIENTATION PREFERENTIELLE À 140.	78
3. IMPLICATIONS SEISMOTECTONIQUES.	79
3.1 Faille Lac Bouchette.	79
3.2 Réseau de failles dans l'éventail de directions 120-160	
.....	81
4. DISCUSSION.	83
4.1 Première hypothèse.	83
4.2 Deuxième hypothèse.	84
 CHAPITRE 8 DISCUSSION, INTERPRETATION, MODELISATION.	 87
1. INTRODUCTION.	87
2. MODELE DE GRABEN AVEC FAILLES DE TRANSFERT.	88
2.1 Modèle de Ramsay et Huber (1987).	88
2.2 Similitudes avec le graben du Saguenay.	88

	page
3. MODELE DE GRABEN ASYMETRIQUE AVEC FAILLES NORMALES LISTRIQUES.	91
3.1 Géométrie de propagation de rift continental asymétrique.....	91
3.2 Similitudes avec le graben du Saguenay.	93
4. Réactivation en cisaillement des failles fragiles.	94
 CHAPITRE 9 CONCLUSION.	 96
 REFERENCES.	 100
 APPENDICE I: Fractures, calcaire.....	 106
APPENDICE II: Fractures, granite.....	116
APPENDICE III: Fractures, anorthosite.....	123
APPENDICE IV: Fractures, mangérite.....	143
APPENDICE V: Fractures, gneiss granitique.....	146
APPENDICE VI: Fractures, complexe de gneiss.....	161
APPENDICE VII: Foliation et cisaillements ductiles.....	170
APPENDICE VIII: Plans de stries et stries par lithologie et total....	173
APPENDICE IX: Orientation des affleurements.....	186
APPENDICE X: Regroupements (divers).....	189
APPENDICE XI: Aff. 1 et 2 (joints, plans de stries et stries).....	204
APPENDICE XII: Méthode des pôles d'Euler.....	207
APPENDICE XIII: Séismes depuis 1900 au Saguenay Lac-St-Jean....	209
APPENDICE XIV: Modèle d'évolution des Appalaches.....	211

Liste des figures

	page
Figure 1: Localisation des épicentres au Lac-St-Jean.	2
Figure 2: Cadre de l'étude.	4
Figure 3: Géologie sommaire du Lac-St-Jean et localisation des affleurements.	6
Figure 4: Géologie et structure sommaire du Lac-St-Jean.	10
Figure 5: Carte des directions principales des joints, des failles et des cisaillements ductiles au Lac-St-Jean.	15
Figure 6: Compilation des mesures de failles au Lac-St-Jean.	16
Figure 7: Compilation des mesures de joints pour l'ensemble des affleurements au Lac-St-Jean.	18
Figure 8: Compilation des mesures de joints et de plans de stries pour l'ensemble des affleurements au Lac-St-Jean.	19
Figure 9: Compilation des mesures de joints sur le calcaire.	26
Figure 10: Compilation des mesures de joints sur les granites tardi-tectoniques.	28
Figure 11: Compilation des mesures de joints sur l'anorthosite. ...	30
Figure 12: Compilation des mesures de joints sur la mangérite. ...	32
Figure 13: Compilation des mesures de joints sur les gneiss granitiques.	34
Figure 14: Compilation des mesures de joints sur les gneiss mixtes, paragneiss.	35
Figure 15: Compilation des mesures de joints dans le secteur 1.	41
Figure 16: Compilation des mesures de joints dans le secteur 2. ...	42
Figure 17: Compilation des mesures de joints dans le secteur 3. ...	44

	Page
Figure 18: Compilation des mesures de joints dans le secteur 4.	46
Figure 19: Compilation des mesures de joints dans le secteur 6.	48
Figure 20: Compilation des mesures de joints sur la limite sud-ouest du graben au Lac-St-Jean.	51
Figure 21: Compilation des mesures de joints pour les affleurements peu déformés.	55
Figure 22: Compilation des mesures de joints pour les affleurements déformés.	56
Figure 23: Compilation des mesures de joints pour les affleurements le long de la faille du Lac Bouchette.	60
Figure 24: Compilation des mesures de plans de stries pour les affleurements le long de la faille du Lac Bouchette.	61
Figure 25: Compilation des mesures de joints pour les affleurements le long d'une faille de graben à Chambord.	63
Figure 26: Compilation des mesures des plans de stries pour les affleurements le long d'une faille de graben à Chambord... .	64
Figure 27: Compilation des mesures de plans de stries pour les affleurements 1 et 2 de calcaire à Chambord.	70
Figure 28: Superposition des figures 1 (épicentres) et 5 (joints, failles et cisaillements ductiles).	82
Figure 29: Tremblements de terre localisés depuis 1900 au Saguenay Lac-St-Jean.	85
Figure 30A: Déplacement compatible liant deux zones de faille normale avec une faille de transfert.	89
Figure 30B: Représentation schématique des segments de failles du graben du Saguenay intercalés par des failles de	

transfert. 89

Figure 31: Modèle de propagation de rift continental asymétrique... 92

Liste des planches photographiques

	Page
Planche 1: Nombreuses stries de friction sudhorizontales le long des plans des fractures.	24
Planche 2: Nombreuses stries de friction subhorizontales le long d'un plan de fracture.	24
Planche 3: Plan de faille défini par le rebroussement près de la verticale des lits de calcaires.	65
Planche 4: Détermination du sens de mouvement d'une faille à l'aide des stries subhorizontales et de zones abritées.	69
Planche 5: Ultra-cataclasite millimétrique à centimétrique dans un affleurement de gneiss granitique le long de la faille du Lac Bouchette.	80
Planche 6: Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) d'ultra-cataclasite montrant un fort broyage des grains de quartz et de micas.	80

Liste des tableaux

	page
Tableau 1: Liste des affleurements par unité lithostructurale.	21
Tableau 2: Résumé des familles majeures.	37
Tableau 3: Liste des affleurements par secteur.	39
Tableau 4: Résumé des familles majeures par secteur.	49
Tableau 5: Liste des affleurements en fonction de la déformation au Lac-St-Jean.	54
Tableau 6: Liste des affleurements le long des discontinuités structurales majeures.	54

CHAPITRE I

INTRODUCTION

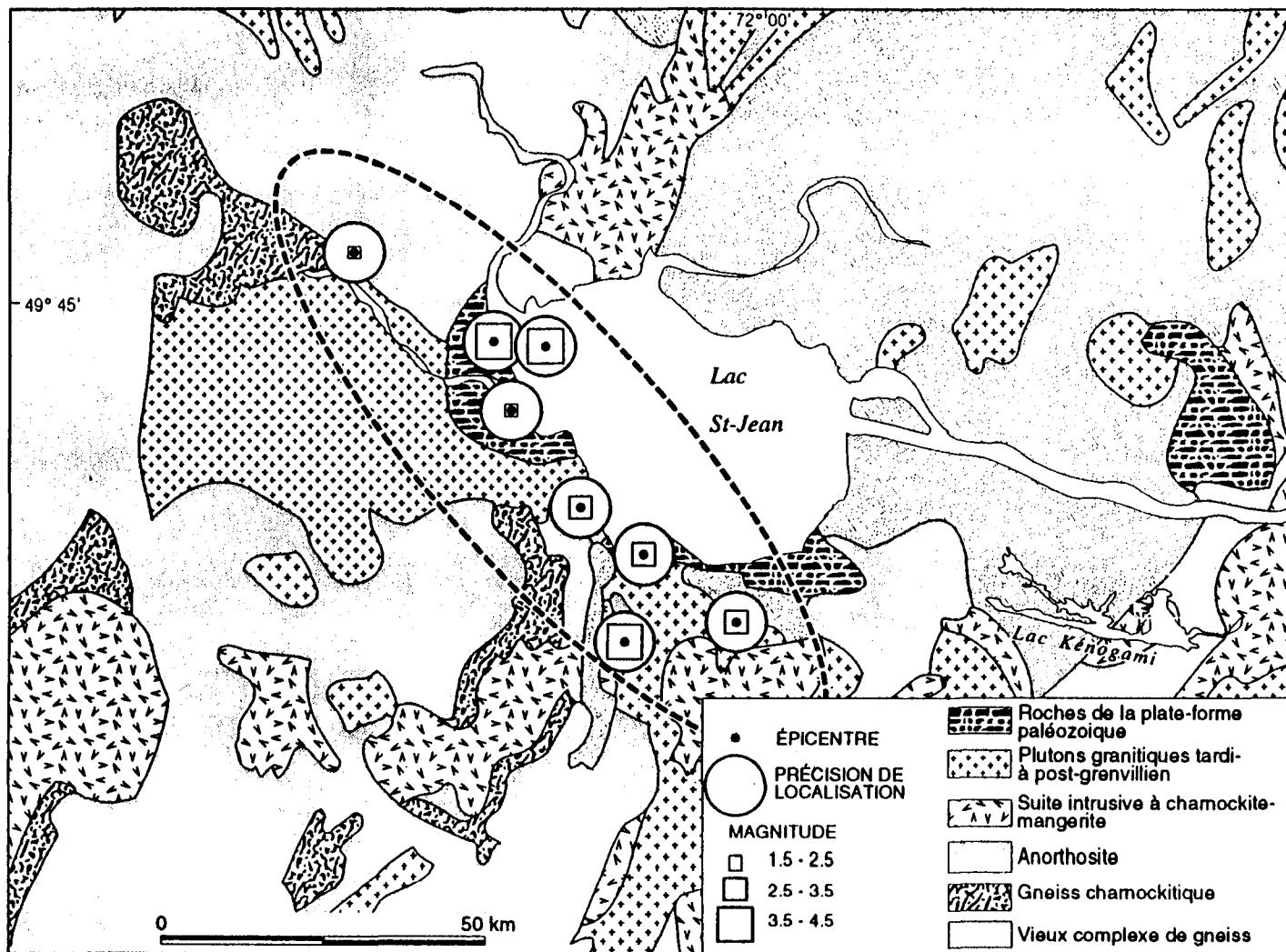
1. PROBLEMATIQUE ET BUT DU TRAVAIL

Le 25 novembre 1988, un tremblement de terre de magnitude MbLg 6.5 se produisait à une profondeur de 29 km dans le socle précambrien de la région du Saguenay (Québec) (North et al., 1988). C'était le plus important tremblement de terre pour une région habitée dans l'est du Canada depuis celui du Témiskaming (Québec) en 1935. Outre ce séisme, plusieurs petits tremblements de terre de magnitude de 1.5 à 4.5 furent localisés depuis 1900 au sud-ouest du Lac-St-Jean (Roberval, Chambord) par la Commission géologique du Canada (C.G.C.) (Lamontagne, communication personnelle). Ceux-ci se situent dans une ellipse dont le grand axe a une direction approximative de 140 degrés (Figure 1).

Etant donné cette activité séismique, plusieurs questions, dont certaines d'ordre pratique peuvent être posées:

- Y-a-t-il une ou des failles d'orientation d'environ 140 degrés dans le secteur de Chambord-Roberval qui pourrai(en)t être responsable(s) des petits séismes ressentis dernièrement?

Figure 1: Localisation des épicentres au Lac-St-Jean. Sont notés également: La magnitude de ces tremblements de terre et la précision de localisation des épicentres à plus ou moins 5 km. (Du Berger, comm. personnelle).



- Y-a-t-il une relation causale entre ces petits séismes et le tremblement de terre du Saguenay?
- Est-il possible d'avoir dans ce secteur des tremblements de terre de grande magnitude comme celui du Saguenay, avec une profondeur de foyer moindre, qui pourraient menacer plusieurs structures critiques (barrages, hôpitaux, écoles, usines, voies de communication) de la région?

Cette étude se situe dans la région du Lac-St-Jean, à environ 170 km au nord nord-ouest de la ville de Québec, et est délimitée entre les latitudes 48 et 49 degrés nord et les longitudes 71 et 73 degrés ouest. Les principales communes comprises dans ce quadrilatère sont: Desbiens, St-André du Lac, Chambord, Lac-Bouchette, Roberval, St-Félicien, Normandin, Dolbeau, Mistassini, St-Henri-de-Taillon et Alma (Figure 2).

Le présent projet vise, par l'étude des discontinuités structurales (joints, failles, etc.) au Lac-St-Jean, à tenter de répondre aux questions posées précédemment. Ceci permettra de mieux comprendre la région du Lac-St-Jean structuralement (réseaux de joints et de failles), mécaniquement (systèmes des contraintes) et géophysiquement (failles séismogéniques). De plus, on pourra ainsi mieux évaluer le risque séismique de la région ce qui pourrait servir éventuellement à un meilleur zonage séismique dans le cadre du Code national du bâtiment.

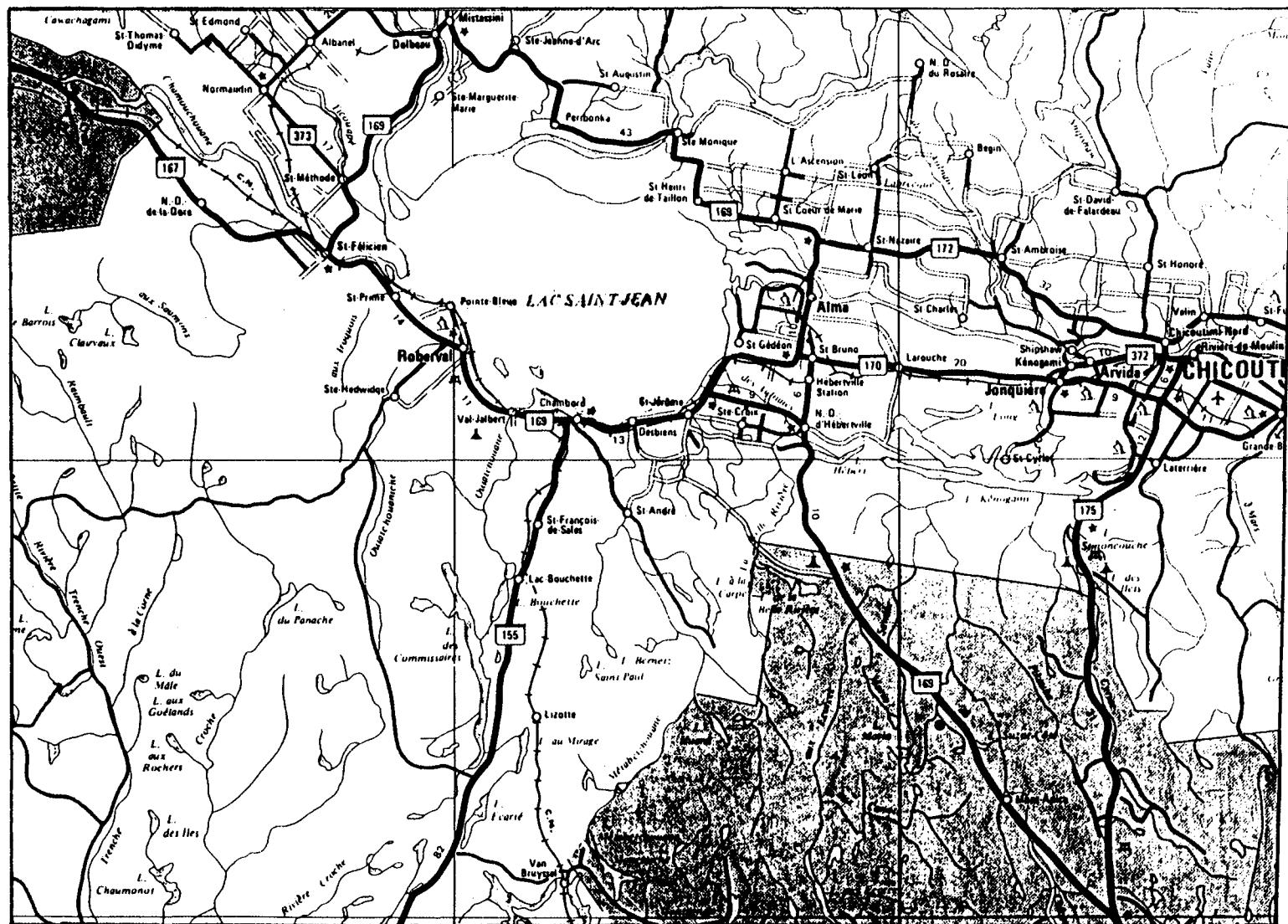


Figure 2

Cadre de l'étude

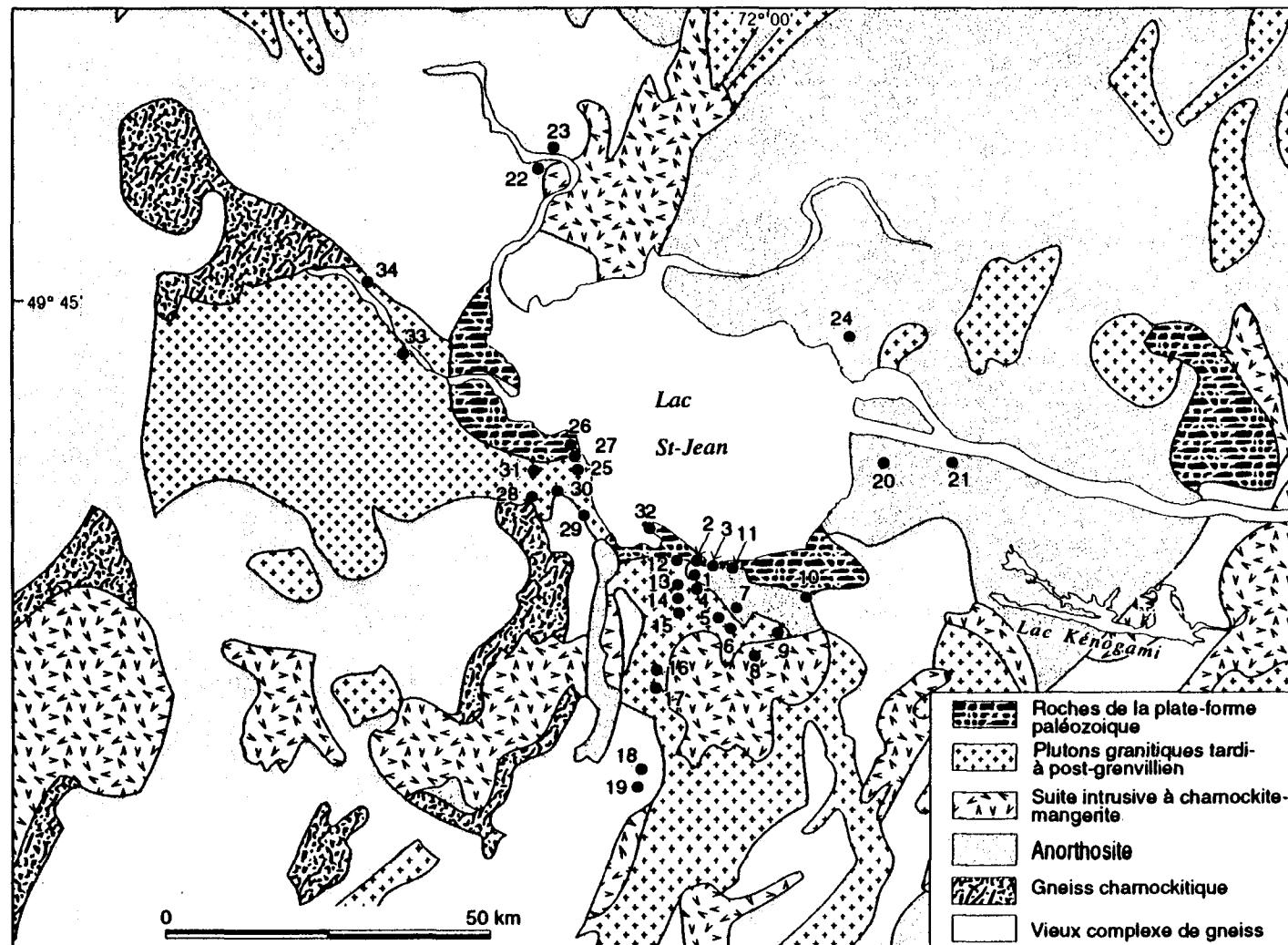
2. METHODE DE TRAVAIL:

Pour essayer de trouver une ou des solutions à la problématique précitée, nous avons entrepris une étude sur le terrain pendant l'été 1991. Ces travaux de terrain consistaient au levé systématique de joints et de failles. Cette compilation a surtout été concentrée au sud-ouest du Lac-St-Jean (Roberval - Chambord - Lac-Bouchette). Quelques affleurements-clés furent également compilés au pourtour du Lac-St-Jean. Il est à noter que la plupart des affleurements étudiés étaient situés le long de coupes de route, dans des carrières et le long de cours d'eau (Figure 3).

L'étude des fractures à l'échelle de l'affleurement est faite à l'aide de méthodes statistiques qui utilisent la projection stéréographique de type Schmidt. Les données furent compilées sur un chiffrier électronique et traitées avec le programme Dips de l'Université de Toronto (Hoek et Diederichs, 1989). Les observations effectuées dans l'étude des fractures diffèrent pour chaque type de fracture. Pour les joints, il faut noter: 1) la direction et le pendage du plan, 2) la relation avec les autres discontinuités (stratification, foliation); pour les failles, il faut noter: 1) la direction et le pendage du plan moyen de la faille, 2) la direction et le plongement des stries et du miroir qui les porte, 3) la nature de la faille, 4) le sens du mouvement lorsque c'est possible (Blès, 1981). Ces observations de terrain, jointes à l'étude sur stéréogramme des relations géométriques entre les diverses familles, permettent

Géologie sommaire du Lac-St-Jean et localisation des affleurements.

Figure 3



généralement d'évaluer la distribution des systèmes de fracturation appartenant à des phases tectoniques différentes ainsi qu'à l'établissement d'une chronologie relative des différentes phases de déformation.

CHAPITRE 2

CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL DU LAC-ST-JEAN

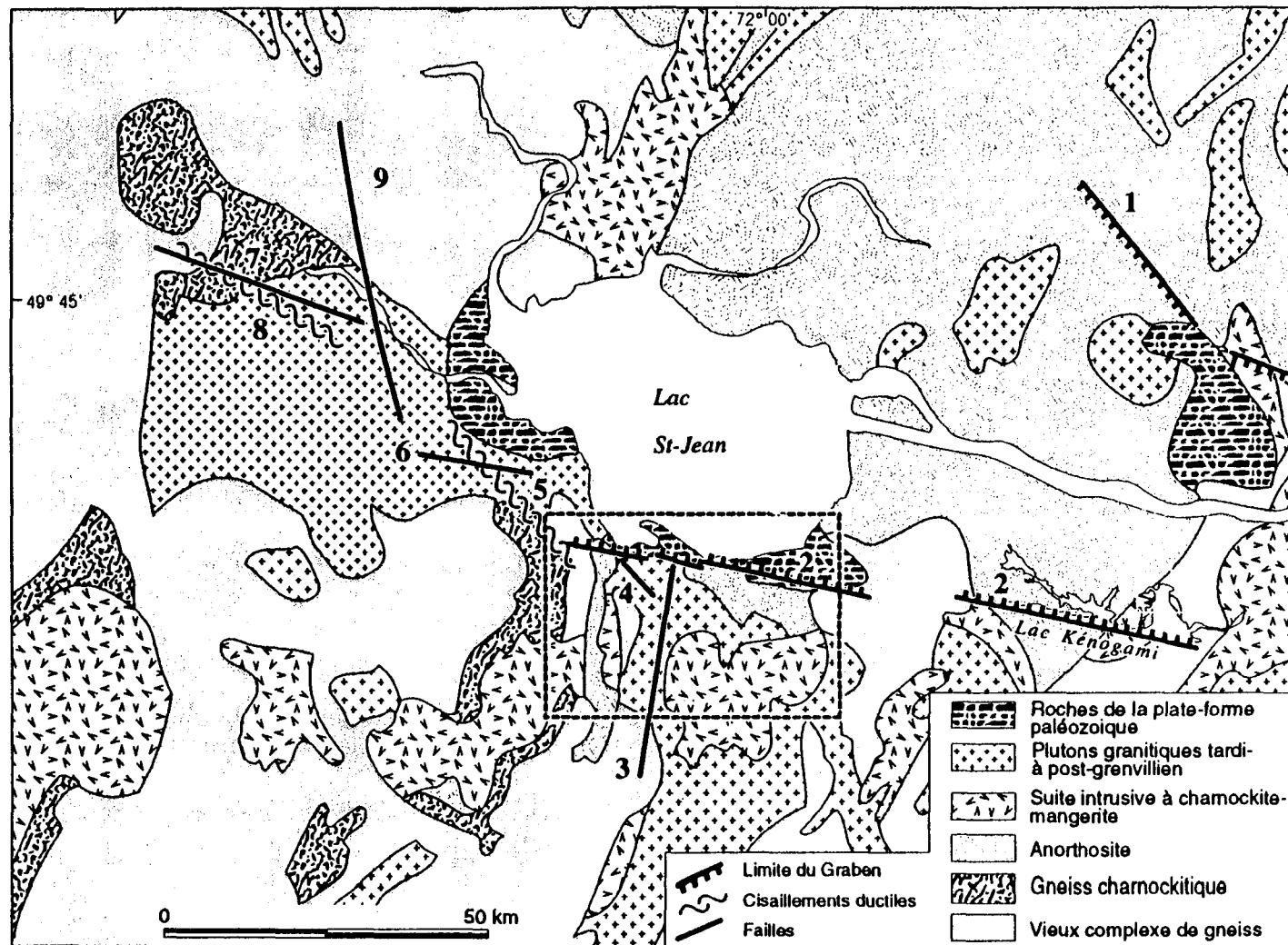
La région du Lac-St-Jean fait partie de la "Ceinture polycyclique allochtone" de la province de Grenville (Rivers et al., 1989). Par ordre chronologique, les principales unités reconnues dans cette région (Dimroth et al., 1981; Roy et al., 1986) sont: 1) des roches quartzo-feldspathiques, déformées de façon complexe, d'origine et d'âge inconnus recoupées par 2) des gneiss granitiques. Les deux premières unités constituent un complexe de gneiss ancien polycyclique envahi par: 3) des gneiss charnokitiques, 4) des essaims de dykes de composition tholéitique, maintenant largement transposés parallèlement à la foliation et 5) de grands plutons de mangérite et d'anorthosite (ca. 1054 Ma, Higgins et Van Breemen, 1989). Les plutons de mangérite ont une superficie moyenne de l'ordre de 600 km² chacun. Les plutons d'anorthosite sont immenses au nord-est du Lac-St-Jean (25000 km²) et montrent des degrés de déformation variables. Ceux au Sud du Lac-St-Jean sont plus petits (600 km²) et sont très déformés. Toutes les unités précitées furent déformées, métamorphisées et migmatisées sous les conditions du faciès supérieur des amphibolites lors de l'orogénie Grenville (Roy et al., 1986). Finalement, 6) des plutons granitiques polyphasés tardi-à post-Grenville avec des contacts francs recoupent les autres

unités. Ces plutons ont une superficie moyenne de 2000 km². Des lambeaux de calcaires ordovicien, témoins d'une transgression marine, reposent en discordance sur le socle précambrien (Desbiens et Lespérance, 1988).

Au niveau des grandes fractures identifiables sur le terrain et sur les cartes topographiques on remarque (Figure 4):

- 1) Le mur nord du graben du Saguenay qui suit le linéament de Tchitogama de direction Nord-Ouest Sud-Est.
- 2) La poursuite en échelon du mur sud du Graben du Saguenay au Lac-St-Jean avec une légère réorientation à partir du Lac Kénogami.
- 3) La faille du Lac Bouchette de direction NNE-SSW. Elle a été repérée sur une longueur d'environ 50 km le long de la route 155 de Chambord jusqu'au Lac des Commissaires. Il est à noter que cette faille est parallèle au linéament du St-Maurice.
- 4) La faille de la rivière Ouiachouane de direction NW-SE (Benoit et Valiquette, 1964), d'une longueur de 10 km.
- 5) Une zone de cisaillement ductile, orientée à 145 80 SW, au sud de Roberval. Elle montre une linéation d'étirement subhorizontale, une longueur de 50 km et une largeur de 5 km. D'après quelques mesures effectuées (150 à 160 degrés), il semble que la foliation est oblique par rapport à la zone, d'où un mouvement oblique gauche.
- 6) Une zone de faille de direction 110 degrés au sud de St-Félicien qui semble être l'extension du mur sud du graben du Saguenay.
- 7) Une faille de direction 120 degrés le long de la rivière du Cran qui

Figure 4: Géologie et structure sommaire du Lac-St-Jean. Les numéros des zones de failles correspondent à ceux des pages 9 et 11.



pourrait être l'extension ouest du mur du graben du Saguenay (Benoit, 1960).

8) Une zone de cisaillement ductile de direction 125 degrés à l'ouest du Lac-St-Jean (Benoit, 1960) .

9) Un linéament important de direction 170 degrés qui semble être la limite ouest du graben au Lac-St-Jean. Il suit une série de petits lacs à l'ouest du Lac-St-Jean.

La **carte des structures majeures et mineures (joints, failles, cisaillements ductiles)** dans le secteur encadré en pointillés (Figure 4) est donnée dans une pochette en annexe. On retrouve aussi dans cette pochette, une **carte montrant toutes les structures majeures et mineures (failles, cisaillements ductiles)** trouvées au pourtour du **Lac-St-Jean**.

CHAPITRE 3

EFFET DE FACE

L'effet de face peut biaiser les résultats d'une prise de mesures sur le terrain. Cet effet de face pourra être important si la prise de mesures se fait le long d'une seule façade (ex. coupe de route) et moins important si elle se fait le long de plusieurs façades (ex. une carrière). Les affleurements qui ont servi à la prise de mesures pour cette étude se situaient le long de coupes de route, dans des carrières et le long de cours d'eau.

Les stéréogrammes qui montrent l'orientation des affleurements le long des coupes de route, dans des carrières et le long de cours d'eau, de même que seulement le long des coupes de route sont donnés à l'appendice IX. À l'aide de ces stéréogrammes, qui montrent des orientations dans toutes les directions, on peut supposer que l'effet de face est faible à l'échelle régionale (plusieurs affleurements), mais qu'il peut être important à l'échelle locale (un affleurement le long d'une coupe de route).

Etant donné que nous considérons plusieurs affleurements à la fois dans l'analyse de la fracturation, la correction de Terzaghi (1965) n'a pas été effectuée.

CHAPITRE 4

COMPILATION SUR PROJECTION STEREOGRAPHIQUE

Les mesures (fractures fragiles, et/ou plans de stries, et/ou stries) pour chaque affleurement étudié (Figure 3) sont projetées sur un canevas de Schmidt et données aux appendices I, II, III, IV, V et VI. Les mesures de foliation prises sur les affleurements au Lac-St-Jean sont aussi projetées sur un canevas de Schmidt et données à l'appendice VII.

1. CARTE DES DIRECTIONS PRINCIPALES DE JOINTS

Les directions principales de joints pour les différents affleurements étudiés au pourtour du Lac-St-Jean sont données à la figure 5. On n'a retenu, sur cette figure, que les directions majeures pour chaque affleurement ou groupe d'affleurements lorsque ceux-ci étaient situés à proximité l'un de l'autre (Appendices I à VI). À première vue, on remarque que les directions varient selon les secteurs. Une étude plus détaillée sera présentée au prochain chapitre.

2. CARTE ET STEREOGRAMME DES DIRECTIONS DES FAILLES

Les failles fragiles répertoriées dans notre étude au Lac-St-Jean sont présentées à la figure 5. La grande faille, de direction NNE (faille du Lac Bouchette), a été étudiée sur plusieurs affleurements à l'aide de mesures projetées sur canevas de Schmidt (Appendice V). Deux directions majeures de failles sont notées sur cette carte: 120 et 160 degrés. Ce sont deux des orientations majeures qui ressortent sur le stéréogramme des orientations des failles répertoriées au Lac-St-Jean (Figure 6). La direction 120 degrés représente probablement les failles associées au graben.

3. CARTE DES DIRECTIONS PRINCIPALES DES CISAILLEMENTS DUCTILES

Les cisaillements ductiles identifiés au Lac-St-Jean sont donnés à la figure 5. Ces failles précambriennes se regroupent selon cinq directions majeures: 020, 045, 120, 145 et 160 degrés. Sur le stéréogramme donné à l'appendice VII, deux de ces trois directions majeures ressortent très bien: 020 et 160 degrés.

4. STEREOGRAMME DE LA COMPILATION GLOBALE DES JOINTS

La compilation globale des joints de tous les affleurements visités donne une dispersion des mesures dans tous les quadrants. Deux

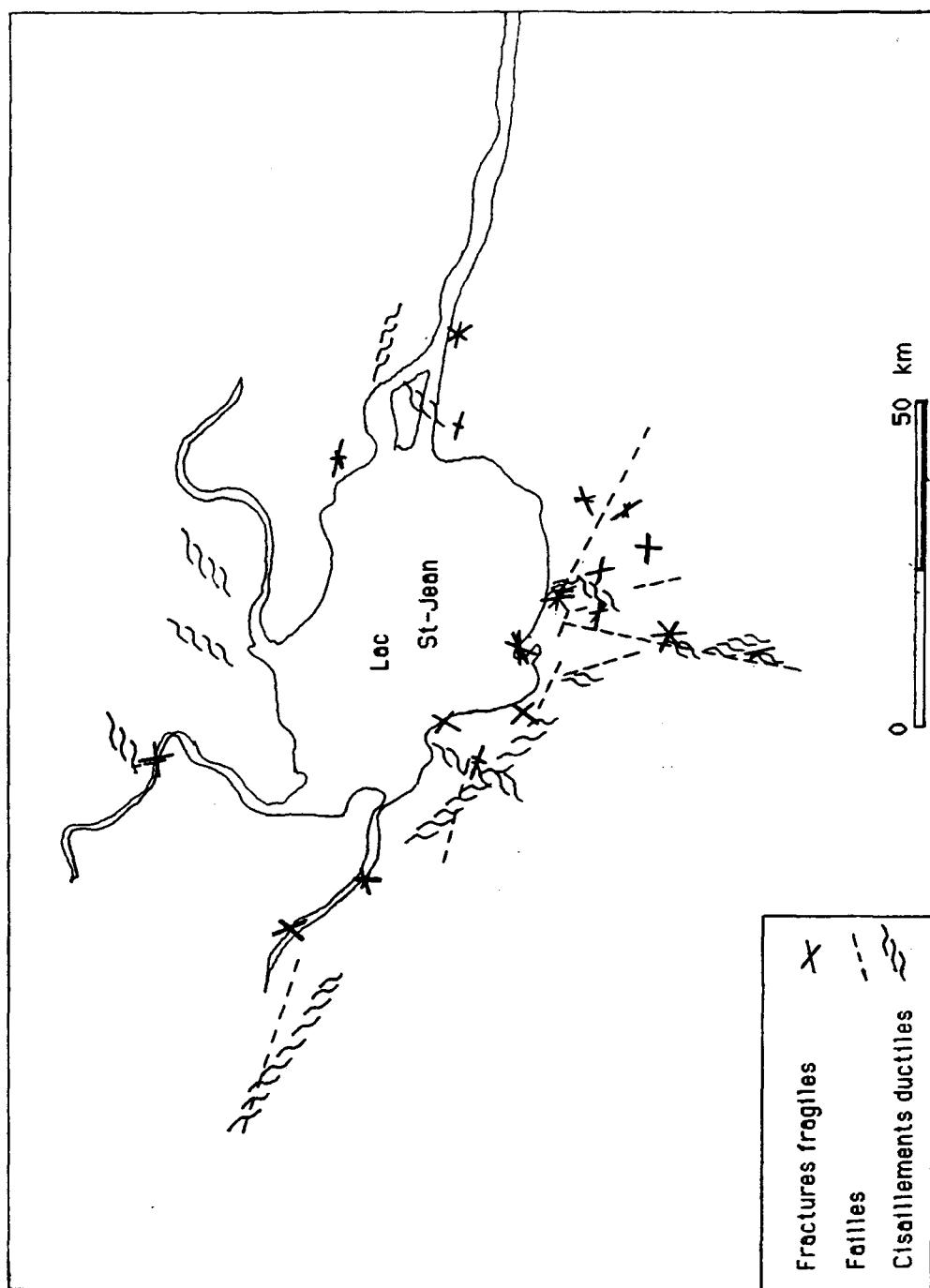


Figure 5

Carte des directions principales des joints, des failles et des cisaillements ductiles au Lac-St-Jean.

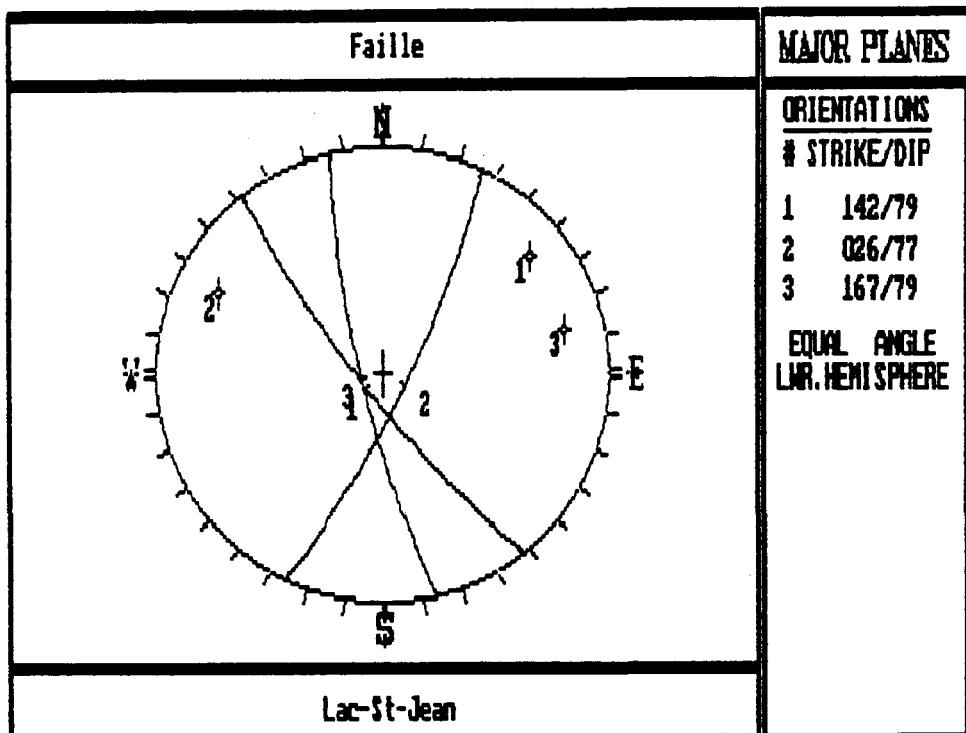
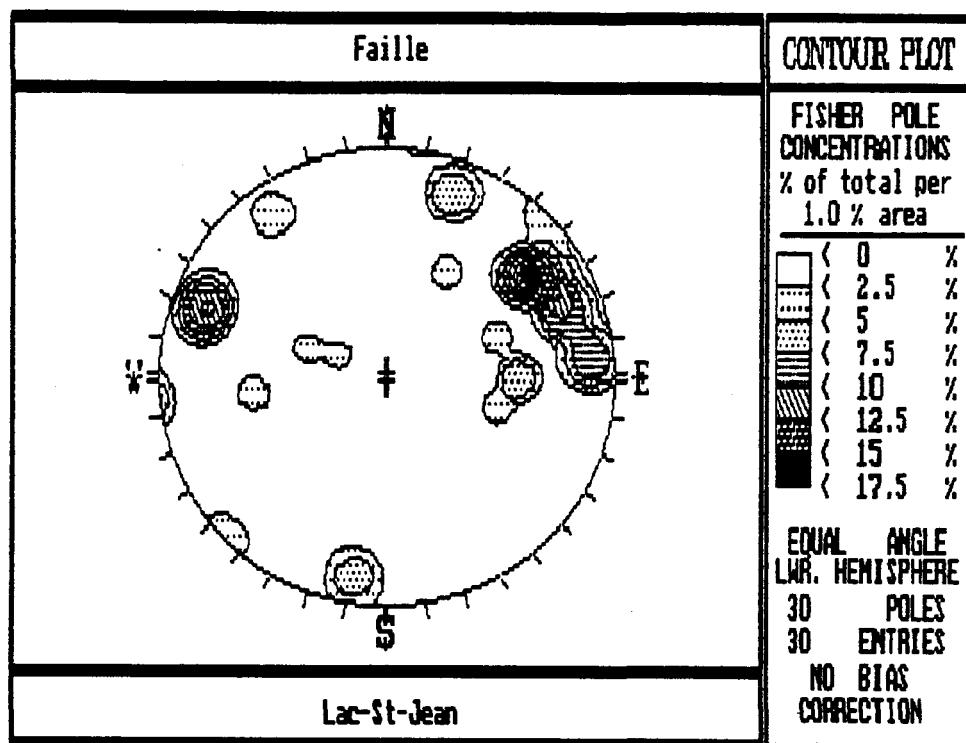


Figure 6

Compilation des mesures de failles au Lac-St-Jean.

familles avec un angle d'environ 60 degrés ressortent de façon nette: 169/88 et 112/84 et une autre plus diffuse à 030/85 (Figure 7).

5. STEREOGRAMME DE LA COMPILATION GLOBALE DES JOINTS ET DES PLANS DE STRIES

La compilation globale des plans de faille contenant les stries de tous les affleurements (stéréogramme donné à l'appendice VIII) superposée à la compilation globale des joints donne sensiblement les mêmes familles (figure 8).

Certaines directions sont communes aux joints, aux failles et aux cisaillements ductiles. C'est ainsi qu'en superposant les trois (Figure 5), on remarque 3 groupes de directions préférentielles: 020 à 045, 110 à 125 et 145 à 170 degrés. Le groupe variant entre 110 à 125 degrés représente probablement des segments de graben au Lac-St-Jean.

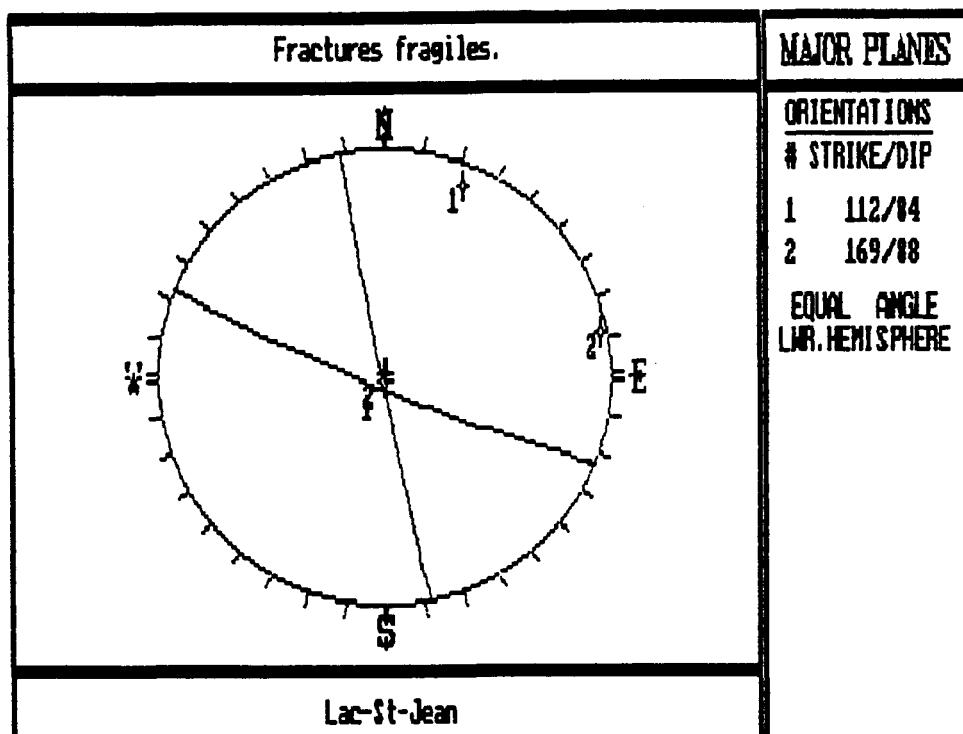
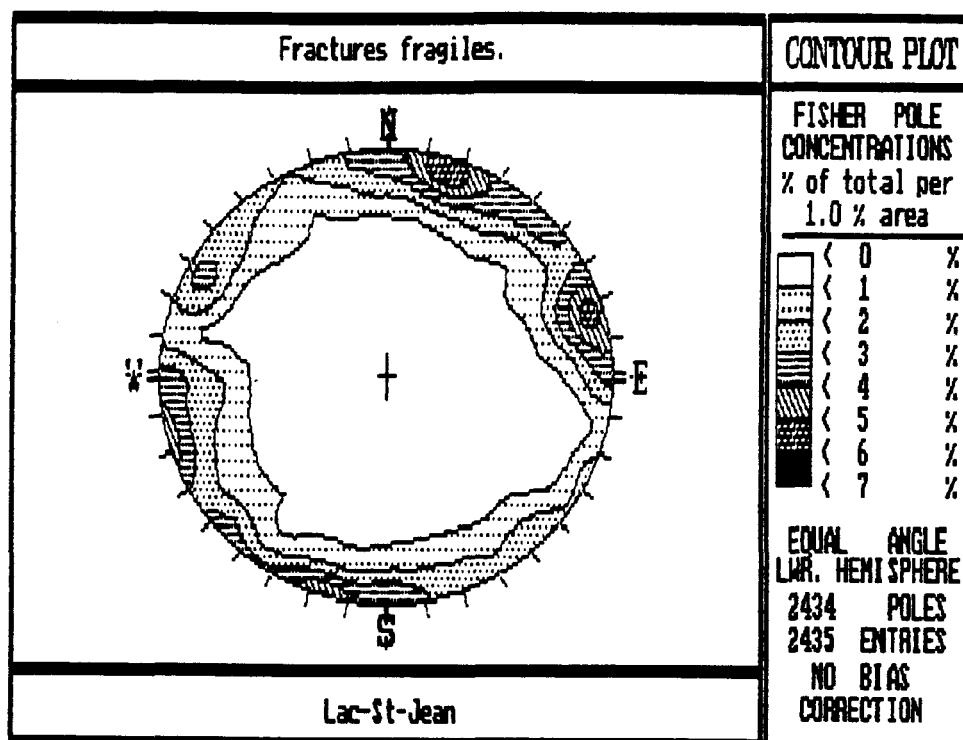


Figure 7: Compilation des mesures de joints pour l'ensemble des affleurements au Lac-St-Jean.

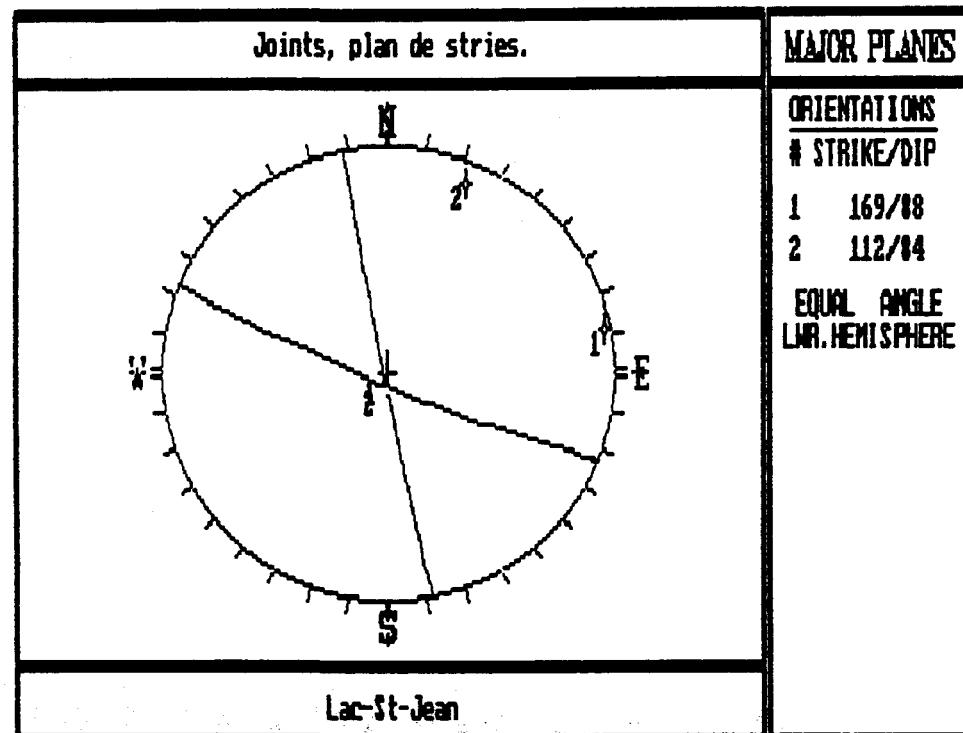
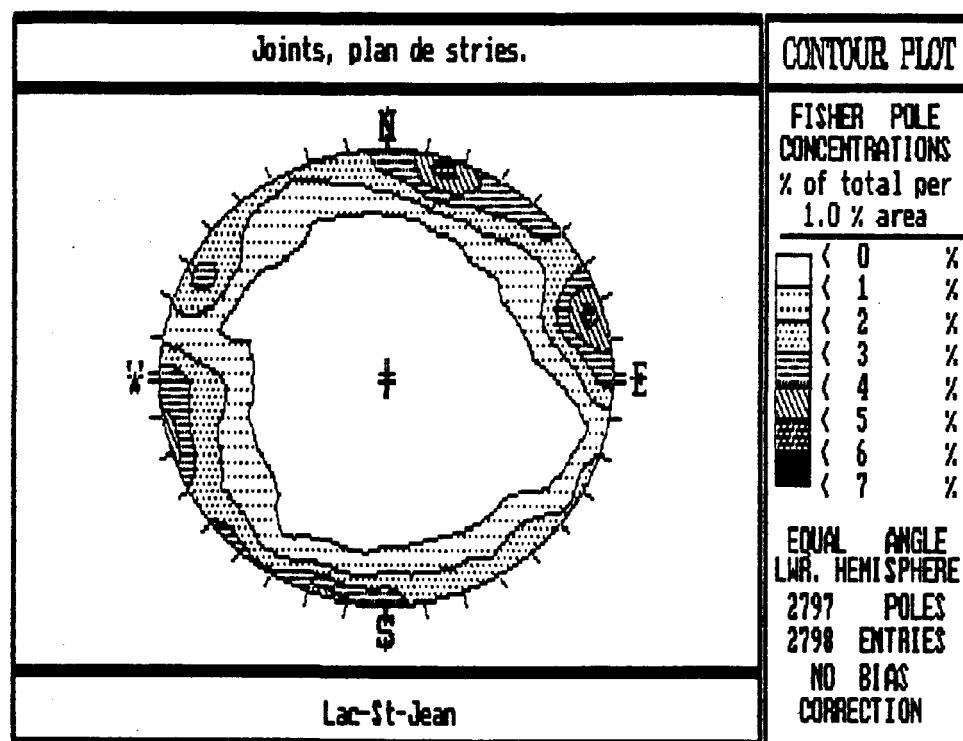


Figure 8: Compilation des mesures de joints et plans de stries pour l'ensemble des affleurements au Lac-St-Jean.

CHAPITRE 5

CORRELATION DES FRACTURES

Dans ce chapitre, des regroupements de fractures seront effectués afin de mieux comprendre la fracturation au Lac-St-Jean. Ces regroupements de fractures se feront successivement: 1) par unité lithostructurale, 2) par secteur et, 3) le long des discontinuités structurales majeures. D'autres regroupements qui donnent de l'information redondante sont donnés à l'appendice X.

1. ANALYSE DES FRACTURES PAR UNITE LITHOSTRUCTURALE

Une série de 34 affleurements fut sélectionnée pour l'étude des joints (Tableau 1, Figure 3). Le principal critère qui a motivé la sélection est le bas pourcentage d'affleurements dans ce secteur (sud et ouest du Lac-St-Jean). Conséquemment, nous avons travaillé sur presque tous les affleurements accessibles.

Pour chaque unité lithostructurale, nous décrirons de façon brève les caractéristiques principales de l'unité et nous montrerons les stéréogrammes des familles des joints et leurs plans correspondants.

Tableau 1: Liste des affleurements par unité lithostructurale

A. Ordovicien

I. Calcaire Trenton-Schistes Utica

1. Carrière Inter-Cité Chambord (Calcaire Trenton)
2. Côte Chambord (Calcaire Trenton)
26. Carrière Roberval (Calcaire Trenton)
27. Plage Roberval (Calcaire Trenton)
32. Pointe Chambord (Schistes Utica)

B. Précambrien

II. Granites tardi-tectoniques

9. Tour de communication St-André
25. Carrière granite Roberval
28. Route Roberval St-Hedwidge
29. Chemin cultivateur Sud Roberval
30. Route Roberval St-Hedwidge
31. Côte St-Prime

III. Anorthosite du Lac-St-Jean

3. Côte Chambord, route 169
7. Trou de la fée, Desbiens
8. Route St-André Métabetchouan
10. Route St-André Métabetchouan
12. Route 155 Côte Chambord
17. Route 155 Lac Bouchette
20. Carrière Granite National Alma
21. Carrière Inter-Cité Alma
24. Route 169 St-Henri-de-Taillon

Tableau 1: suite...IV. Mangérite

- 33. Chûte à Michel St-Félicien
- 34. Chûte à l'Ours Normandin

V. Gneiss granitique

- 4. Route Chambord St-André
- 5. Sous ligne haute tension, route Chambord St-André
- 6. Le long de la rivière Métabetchouan St-André
- 15. Route 155 , sous ligne haute tension

VI. Complexe de gneiss-paragneiss

- 18. Route 155 Lac des Commissaires
- 19. Route 155 Lac des Commissaires
- 22. Route 169 Rivière Mistassini
- 23. Route 169 Rivière Mistassibi

Les compilations sur stéréogramme des plans de stries et des stries pour chaque unité lithostructurale sont donnés à l'appendice VIII.

1.1 Calcaire Trenton-schistes Utica:

L'étude des fractures dans les roches sédimentaires permet d'identifier le(s) jeu(x) de fractures le(s) plus récent(s). Cinq affleurements de roches ordoviciennes furent étudiés (Tableau 1). Trois de ces affleurements se situent à Chambord (deux affleurements de calcaire et un de schistes) et les deux autres à Roberval (calcaires).

Le calcaire de Roberval est très peu fracturé (fracturation métrique) et ne présente aucune strie de friction le long des fractures.

Le calcaire de Chambord est très fracturé par endroits (fracturation décimétrique à centimétrique) avec de nombreuses stries de friction subhorizontales le long des plans des fractures (Planches 1 et 2). Ces stries sont toujours imprimées dans une fine couche millimétrique de calcite à la surface des plans des fractures. Cette calcite, forme un réseau anastamosé de veinules millimétriques à centimétriques sur l'affleurement.

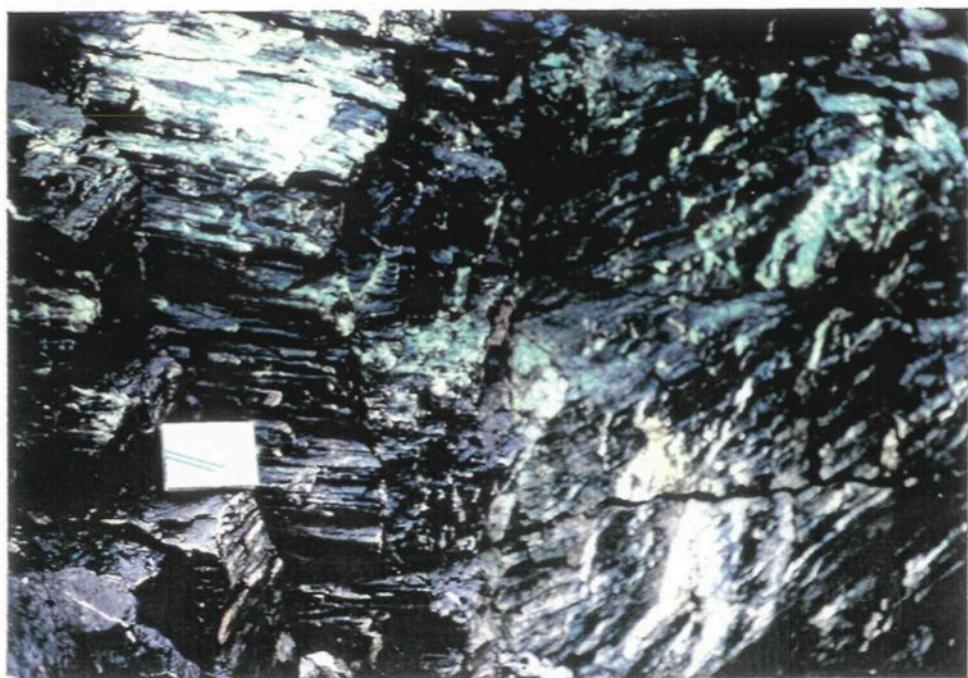


Planche 1: Nombreuses stries de friction subhorizontales le long des plans des fractures. Affleurement no. 2, calcaire à Chambord.



Planche 2: Nombreuses stries de friction subhorizontales le long d'un plan de fracture. Affleurement no. 1, calcaire de Chambord.

L'affleurement de schistes d'Utica sur la pointe de Chambord est moyennement fracturé (fracturation décimétrique à métrique) et ne présente aucune strie de friction sur les plans des fractures. Les plans de fractures dans les calcaires et les schistes sont toujours droits et faciles à mesurer.

En regardant le stéréogramme combiné de ces cinq affleurements, une dispersion importante dans les quatre quadrants peut être notée (Figure 9). Cette dispersion peut s'expliquer d'une part, par la grande différence dans l'intensité de la déformation fragile entre les calcaires des affleurements (1 et 2), des schistes de l'affleurement (32) et des calcaires des affleurements (26 et 27) (Figure 3) et d'autre part, par la différence de compétence entre les calcaires et les schistes. Le calcaire, qui ne se fracture pas selon les patrons principaux du Lac-St-Jean (Figure 7), réagit très facilement à la déformation, ce qui est une observation commune (Goodman, 1989).

1.2 Granites tardi-tectoniques:

Six affleurements de granites tardi-tectoniques furent étudiés (Tableau 1, Figure 3). Tous ces affleurements se retrouvent dans le pluton de Roberval à l'exception de l'affleurement (9) qui se retrouve dans un granite porphyrique peu ou pas déformé entre Métabetchouan et St-André. Les plutons de granite se mettent en place dans toutes les autres roches précambriennes et les contacts avec l'encaissant sont nets.

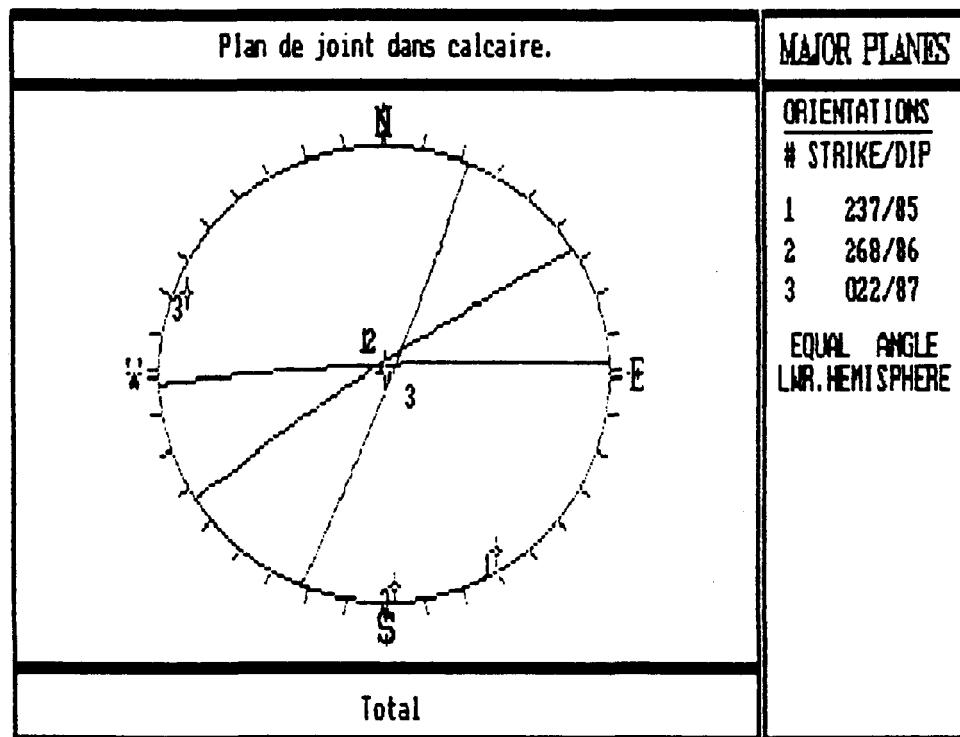
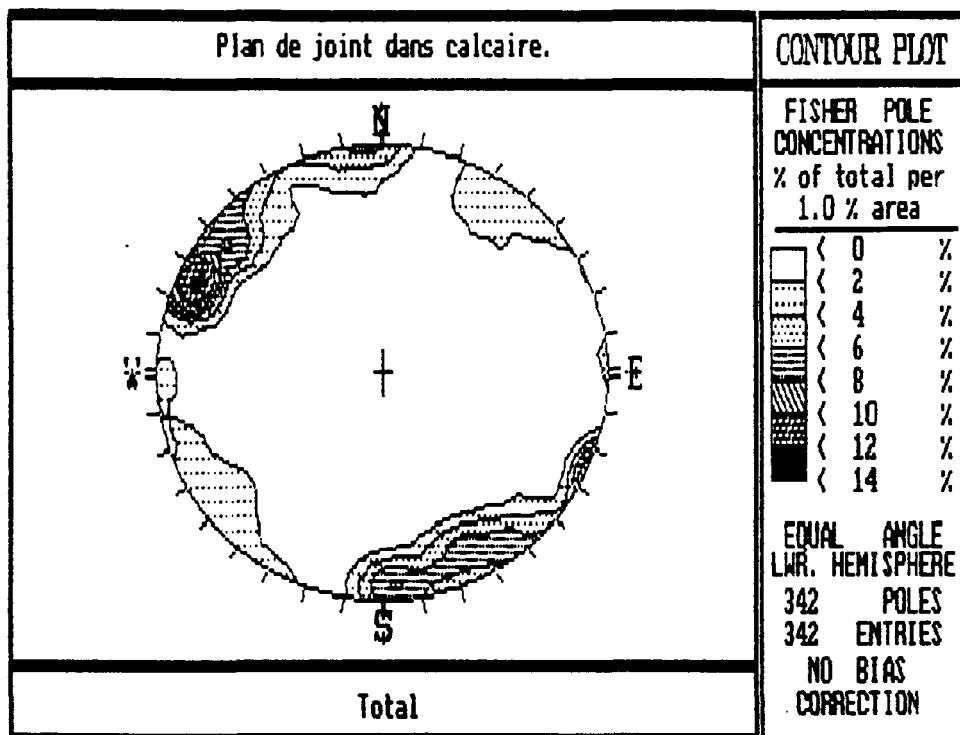


Figure 9

Compilation des mesures de joints sur le calcaire.

Les affleurements (28, 30 et 31), qui sont porphyriques, changent graduellement d'une texture porphyrique, à oeillée, à flaser et à mylonitique à proximité de zones de déformation ductile. La largeur de ces zones déformées varie de 1 à 3 kilomètres. Les plans des fractures fragiles dans le granite sont droits et non striés.

Sur stéréogramme, le regroupement de ces six affleurements de granite montre deux familles de joints quasi-orthogonales à 035/83 et 121/88 très claires (Figure 10). La famille à 121/88 montre une faible dispersion entre 112/84 et 134/86.

Le granite porphyrique peu déformé se fracture uniformément selon deux orientations qui sont cependant différentes des familles majeures du sud du Lac-St-Jean (Figure 7). Les plans d'anisotropie des zones de mylonitisation des affleurements 28 (160/ 80), 30 (160/80) et 31 (020/35) n'ont pas influencé les deux familles de fracturation.

1.3 Anorthosite du Lac-St-Jean

Le massif d'anorthosite du Lac-St-Jean est polyphasé et sa superficie est de 20 000 kilomètres carrés. Neuf affleurements d'anorthosite furent étudiés au Lac-St-Jean; six se retrouvent au sud du Lac et trois à l'est (Tableau 1, Figure 3).

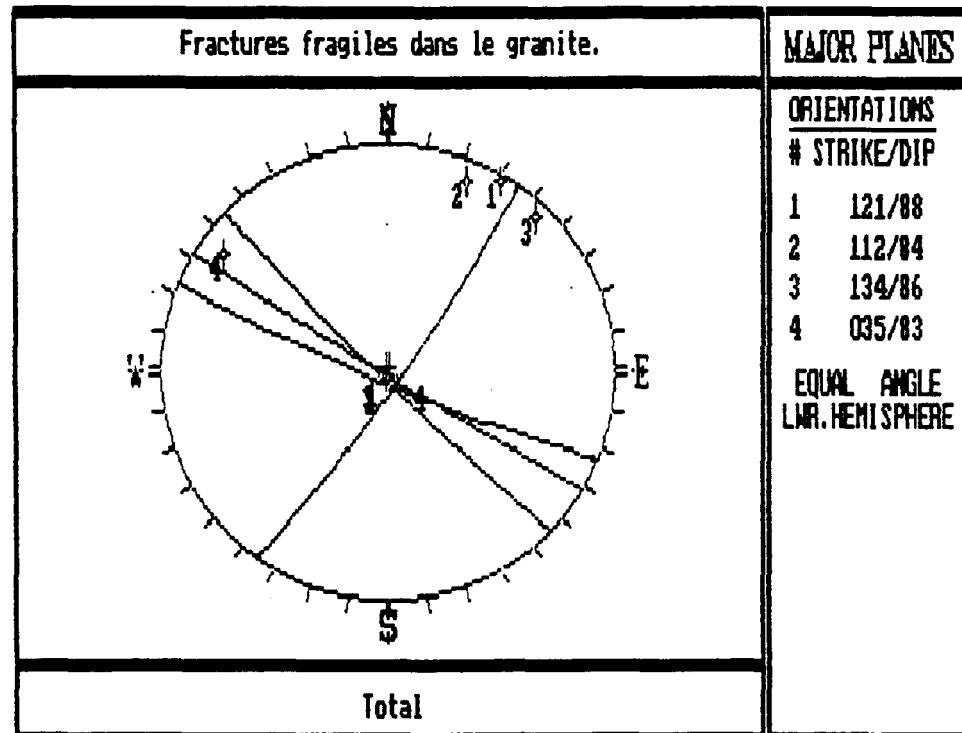
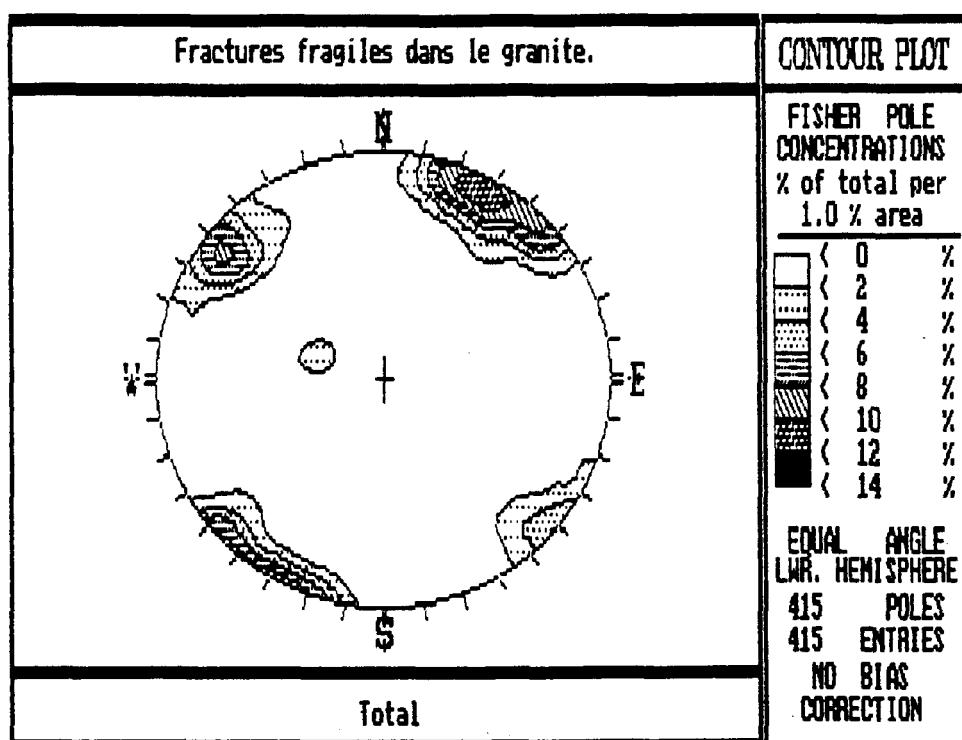


Figure 10

Compilation des mesures de joints sur les granites tardi-tectoniques.

L'anorthosite au sud du Lac-St-Jean a été déformée par l'orogénie du Grenville. Elle est recristallisée et par conséquent sa teinte est grise avec quelques porphyroclastes de couleur noire. Elle est presque toujours recoupée par des granites sous forme de dykes, de brèches intrusives ou de plutons. Cette anorthosite a aussi été affectée par les déformations fragiles, qui ont produit plusieurs stries de friction de diverses orientations à la surface des fractures.

L'anorthosite à l'est du Lac-St-Jean a été peu déformée lors de l'orogénie Grenville et conséquemment sa couleur est d'un noir profond. La présence de litage rythmique subhorizontal à grande échelle ainsi que la composition des minéraux rend ce secteur similaire aux intrusions anorthositiques litées de la province de Nain (Woussen et al., 1988). Cette anorthosite a aussi été affectée par les déformations fragiles, mais très peu de stries de friction sont observées.

L'anorthosite, déformée ou non, se fracture selon des plans irréguliers et plutôt courbes. Une faible dispersion autour du/des patron(s) principal(aux) peut par le fait même être acceptée.

Le stéréogramme de compilation totale des joints pour les neuf affleurements d'anorthosite montre une bonne dispersion des mesures, mais deux familles ressortent très bien: 103/81 et 169/88 (Figure 11). Ces deux familles, qui font un angle d'environ 60 degrés

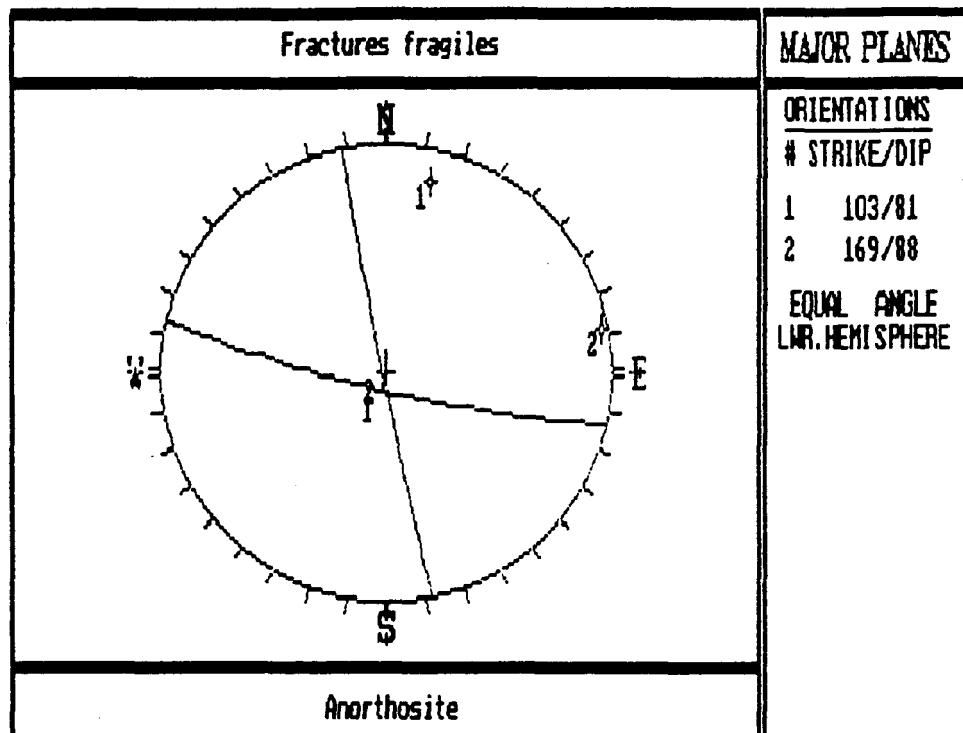
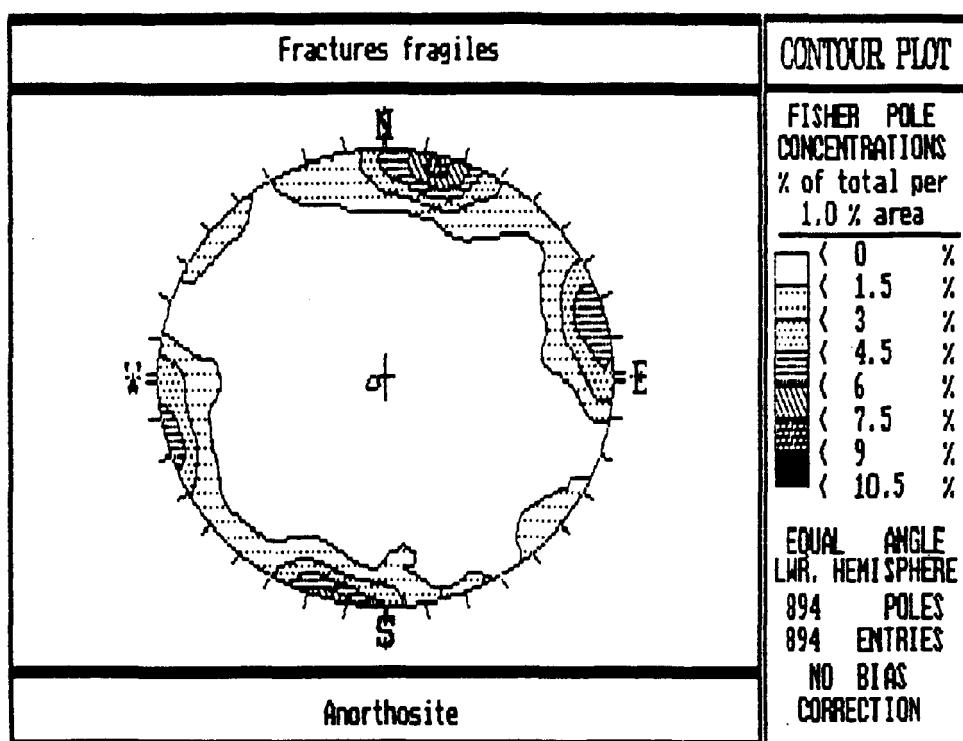


Figure 11

Compilation des mesures de joints sur l'anorthosite.

entre-elles, sont similaires à celles de la compilation générale des joints au Lac-St-Jean (Figure 7).

1.4 Mangérite:

La mangérite, quoique plus commune au Saguenay, est présente dans quelques petits plutons au Lac-St-Jean. Deux affleurements le long de la rivière Chamouchouane furent étudiés (Tableau 1, Figure 3). La mangérite montre, sur ces deux affleurements, une structure gneissique soulignée par les minéraux mafiques. La fracturation est très nette (droite) et aucune strie de friction ne fut observée sur des plans de fractures.

Le stéréogramme des joints, malgré une légère dispersion, montre deux familles: 156/82 et 002/82 (Figure 12). La mangérite semble se fracturer selon deux orientations préférentielles, mais le peu d'affleurements étudiés et le secteur restreint en superficie peuvent biaiser les résultats.

1.5 Gneiss granitique:

Quatre affleurements furent étudiés dans l'unité de gneiss granitique (Tableau 1, Figure 3). Ce gneiss présente une fracturation très droite et plusieurs stries de friction furent mesurées sur des plans de fractures. Ces stries sont imprimées dans une fine couche

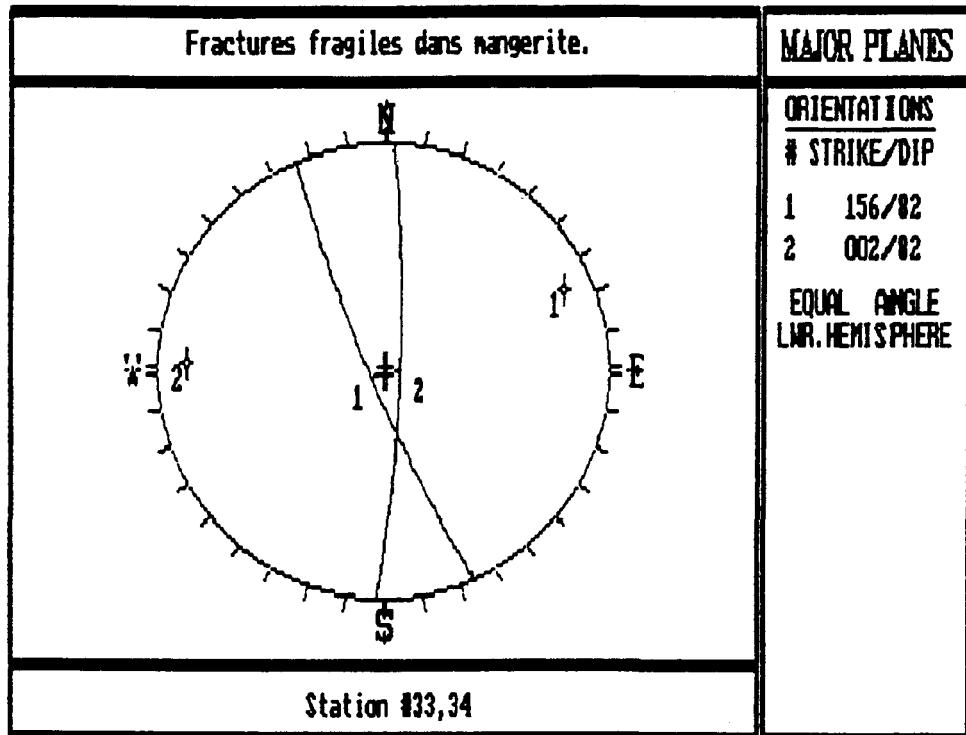
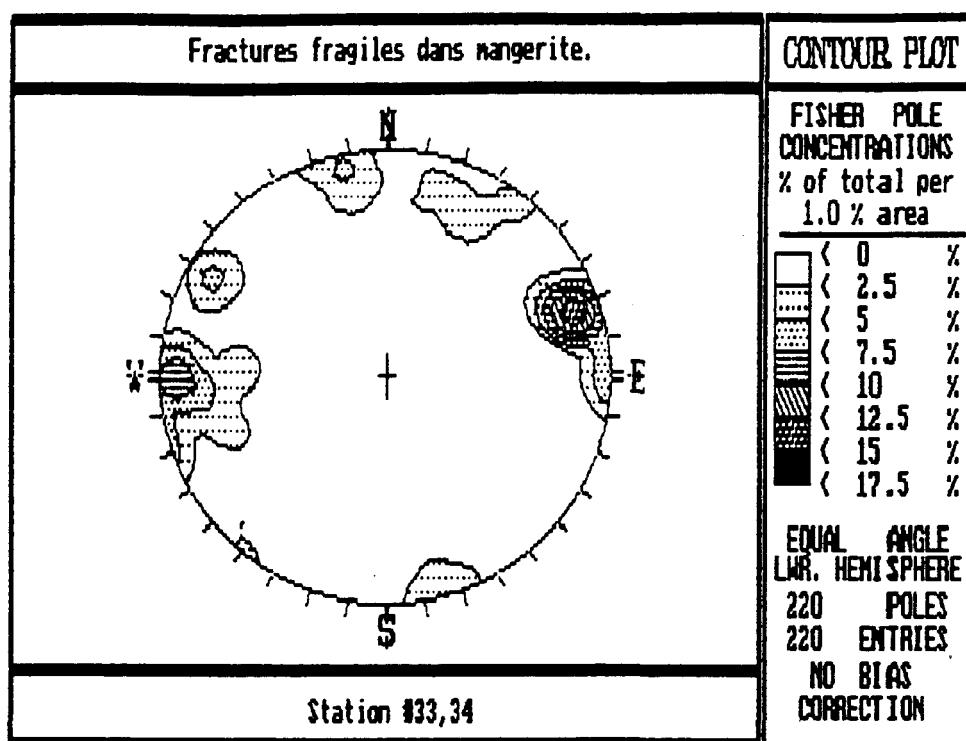


Figure 12

Compilation des mesures de joints sur la mangérite.

millimétrique de chlorite à la surface des fractures.

Le stéréogramme montre deux familles de fractures nettes avec une légère dispersion, soit: 103/81 et 350/72 (Figure 13). Ces familles correspondent à deux des orientations préférentielles majeures du sud du Lac-St-Jean (Figure 7).

1.6 Gneiss mixte, Paragneiss:

Le complexe de gneiss, qui comprend les plus vieilles roches de la région, forme généralement l'encaissant des masses plutoniques (anorthosite du Lac-St-Jean, mangérite et granite). Quatre affleurements furent étudiés (Tableau 1, Figure 3); deux au sud du Lac-St-Jean (Lac des Commissaires) et deux au nord (Dolbeau). La fracturation dans cette unité est droite à légèrement courbe et plusieurs stries de friction furent observées à la surface de quelques fractures. Ces stries sont imprimées dans un matériel chloriteux. Des mesures d'orientation des plans de stries et de stries ont été prises sur ces affleurements et les stéréogrammes sont donnés à l'appendice I à VI.

Le stéréogramme montre deux familles de joints majeures (164/89 et 083/85) avec une légère dispersion (Figure 14). La fracturation dans les gneiss mixte-paragneiss semble suivre deux des orientations préférentielles au sud et à l'ouest du Lac-St-Jean (Figure 7).

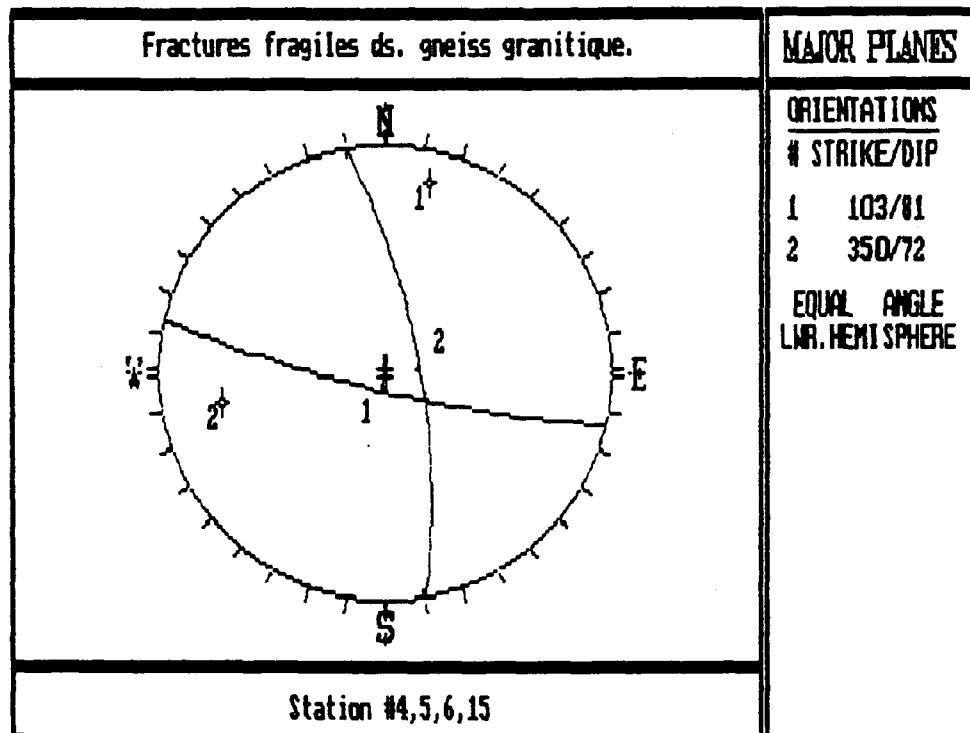
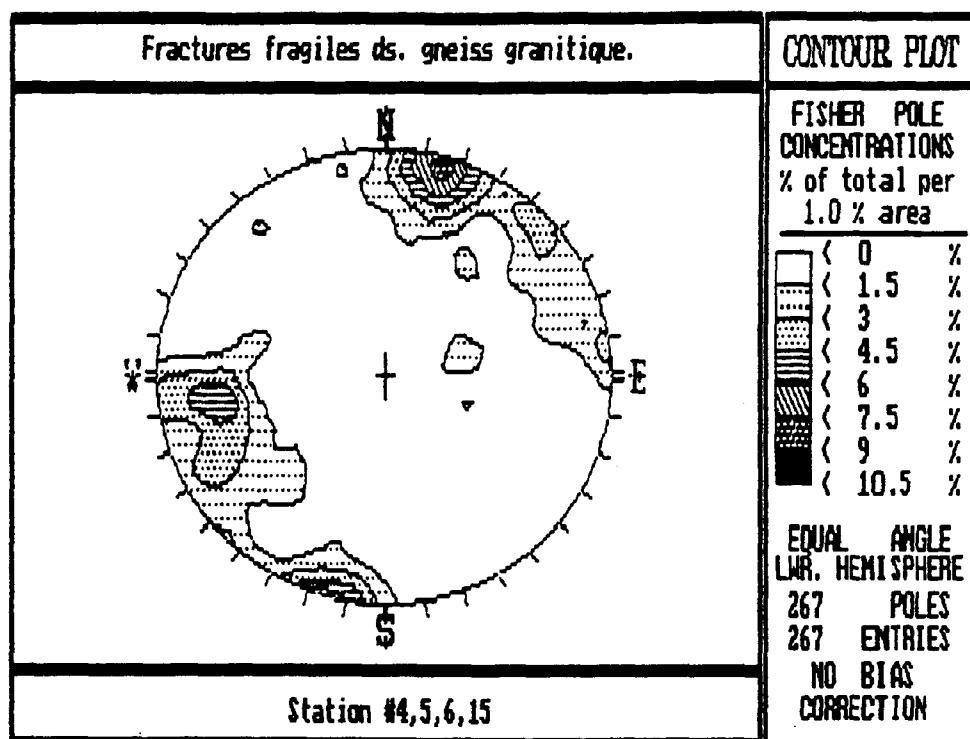


Figure 13

Compilation des mesures de joints sur les gneiss granitiques.

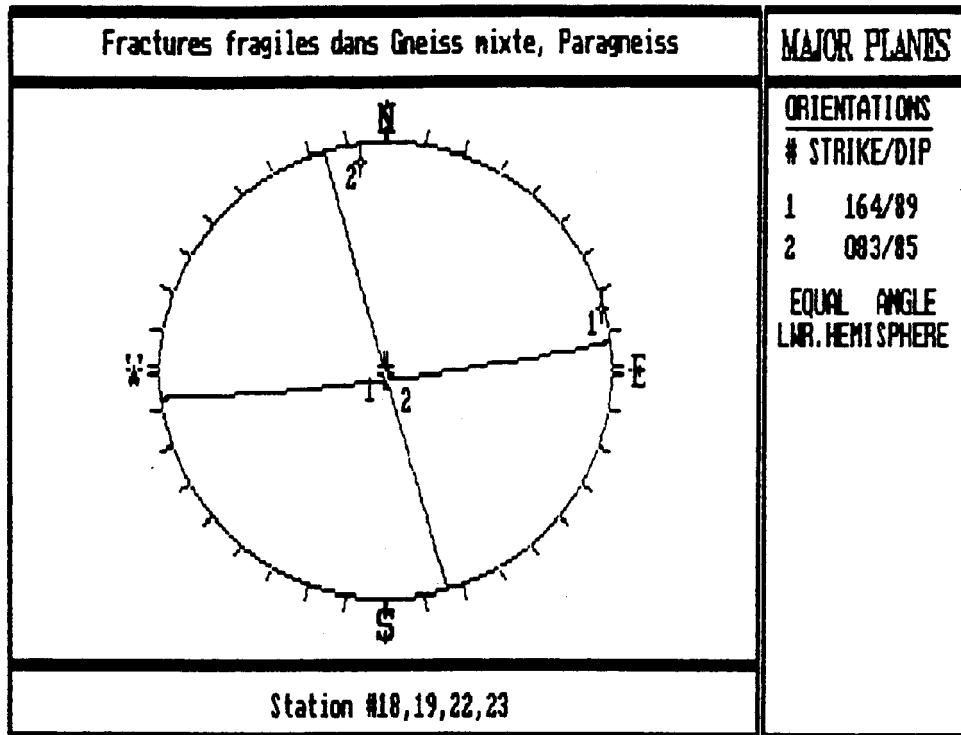
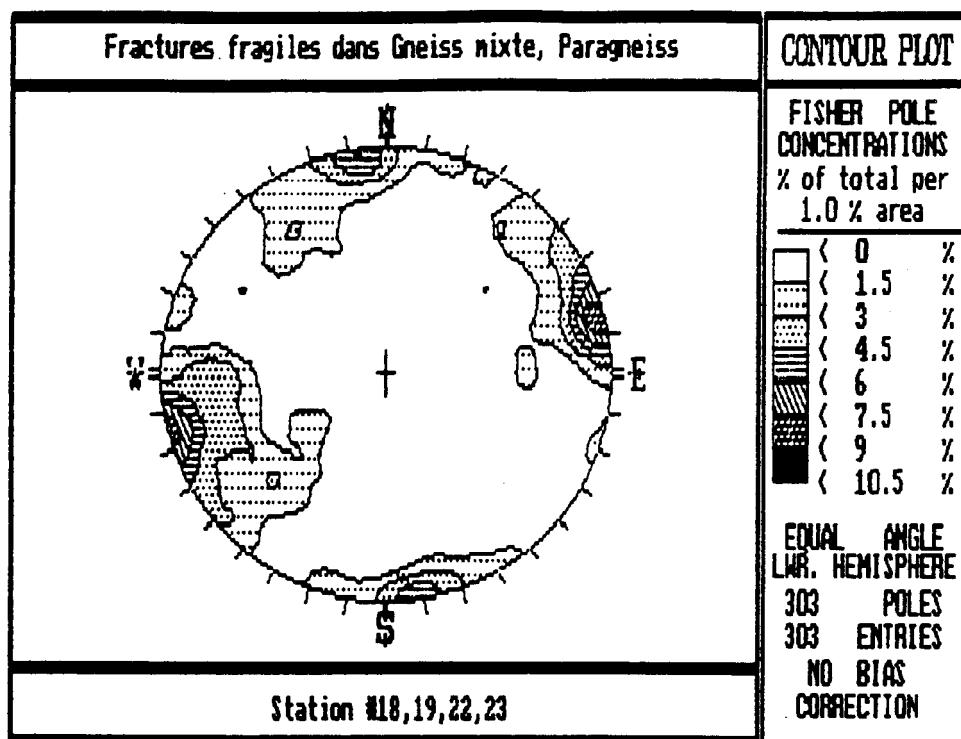


Figure 14

Compilation des mesures de joints sur les gneiss mixtes, paragneiss.

1.7 Discussion

L'examen des fractures par unité lithostructurale indique que: 1) La dispersion autour des directions principales est faible en général pour chaque lithologie à l'exception du calcaire de Trenton et des schistes d'Utica qui se fracturent suivant un éventail de directions. 2) Chaque lithologie a une famille spécifique.

Ceci démontre que les familles de fractures sont influencées par le type d'unité lithostructurale au Lac-St-Jean. Ceci explique aussi la forte dispersion observée dans la compilation générale des joints au Lac-St-Jean (Figure 7). Par contre, deux directions (165,110) sont communes à plusieurs lithologies, d'où l'émergence de familles majeures dans la compilation totale des joints (Tableau 2).

L'examen du tableau 2, révèle que la direction 160 revient dans toutes les lithologies qui montrent une fabrique préexistante (anorthosite, mangérite, gneiss granitique, gneiss mixte, paragneiss) alors qu'elle est absente dans les lithologies plus tardives (granites tardi et post-tectonique, calcaires, schistes). Cette direction 160 semble donc représenter une fracturation contrôlée par une fabrique grenvillienne préexistante.

Il est à noter que cette fabrique fait un angle de 52 degrés avec le grain tectonique Grenvillien (032 68) et qu'elle est subparallèle à la plupart des zones de mylonites observées (Appendice VII).

Tableau 2: Résumé des familles majeures**Unités lithostructurales**

1. Calcaire-Schistes: 237/85; 268/86; 022/87
(057) (088)
2. Granite: 035/83; 121/88
3. Anorthosite: 103/81; 169/88
4. Mangérite: 002/82; 156/82
5. Gneiss granitique: 103/81; 350/72
(170)
6. Gneiss mixtes, Paragneiss: 083/85; 164/89

L'autre direction, 110, commune à plusieurs lithologies, peut représenter une orientation préférentielle de fracturation associée à la formation du graben du Saguenay puisqu'elle est parallèle au Lac Kénogami qui représente la limite Sud de ce graben.

2. ANALYSE DES FRACTURES PAR SECTEUR

La même série de 34 affleurements fut sélectionnée pour l'étude par secteur (Figure 3) et les divers regroupements effectués sont donnés au tableau 3.

Ces regroupements par secteur furent effectués afin d'évaluer: 1) La variation de dispersion de la fracturation dans plusieurs lithologies. 2) Le comportement des directions 160 et 110 dans des secteurs de déformations différents autour du Lac-St-Jean.

Pour chaque secteur, nous donnerons les limites, nous identifierons les combinaisons de lithologies et nous présenterons les stéréogrammes des patrons de joints et des plans correspondants. Les regroupements intermédiaires qui ont servi à construire les regroupements principaux du tableau 3, sont donnés à l'appendice X.

2.1 Secteur 1

Trois affleurements furent étudiés dans ce secteur (Tableau 3,

Tableau 3: Liste des affleurements par secteur

Secteur 1 (Alma, St-Henri-de-Taillon)

Affleurements: 20, 21, 24 (Anorthosite)

Secteur 2 (Desbiens, St-André)

Affleurements: 5, 6, 7, 8, 9, 10 (Anorthosite, Gneiss Granitique, Granite)

Secteur 3 (Chambord)

Affleurements: 1, 2, 3, 4, 12 (Calcaire, Gneiss Granitique, Anorthosite)

Secteur 4 (Roberval)

Affleurements: 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 (Calcaire, Granite)

Secteur 5 (Ouest St-Félicien)

Affleurements: 33, 34 (Mangérite)

Secteur 6 (Dolbeau)

Affleurements: 22, 23 (Gneiss mixtes-Paragneiss)

Figure 3), deux se retrouvent à Alma et l'autre à St-Henri-de-Taillon. Les trois affleurements sont composés d'anorthosite peu déformée de couleur noire.

Le stéréogramme de compilation des joints montre une forte dispersion dans les quatre quadrants, avec une famille majeure à 103/81 (Figure 15). Cette famille, qui s'aligne parfaitement avec le linéament du Saguenay, est une des familles majeures des joints au Lac-St-Jean (Figure 7). On remarque que la famille 160/80, contrôlée par la déformation grenvillienne est absente. Ceci semble normal, étant donné que l'anorthosite dans les secteurs est et nord du Lac-St-Jean, est peu affectée par les déformations grenvillienes (Woussen et al., 1988) et que par conséquent, son comportement est similaire à celui des granites tardi- et post-tectonique, des calcaires et des schistes Ordoviciens.

2.2 Secteur 2

Six affleurements furent étudiés dans ce secteur (Tableau 3). Trois affleurements se retrouvent au sud de Desbiens et les trois autres le long de la route de Métabetchouan à St-André (Figure 3). Ces affleurements sont contenus dans l'anorthosite déformée, le gneiss granitique et le granite.

Le stéréogramme de compilation des joints pour ces affleurements

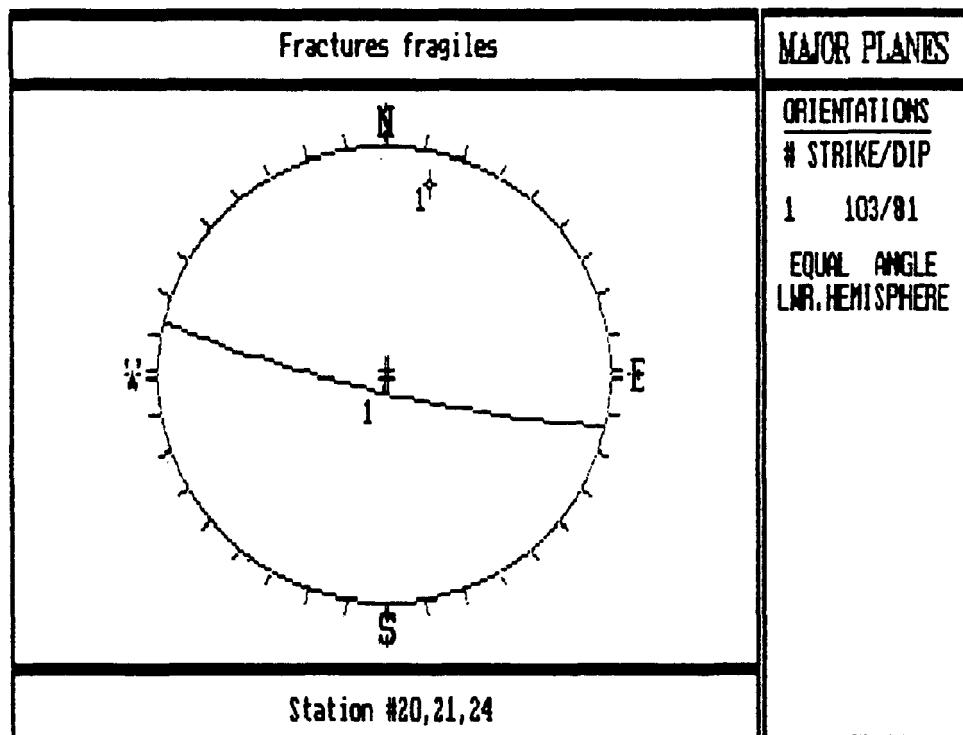
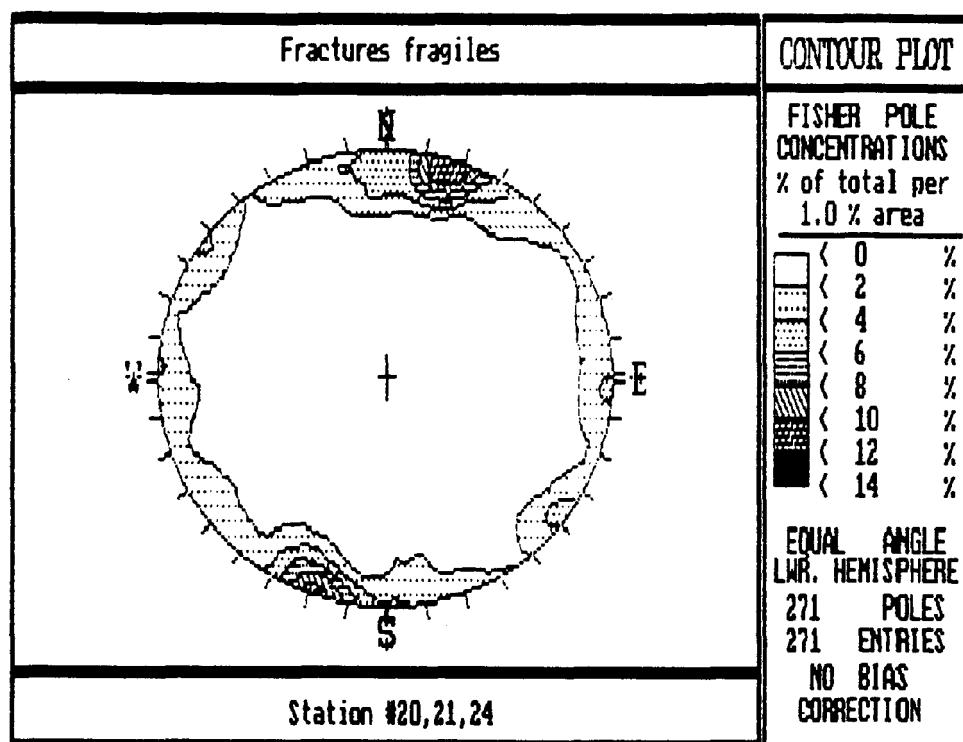


Figure 15

Compilation des mesures de joints dans le secteur 1.

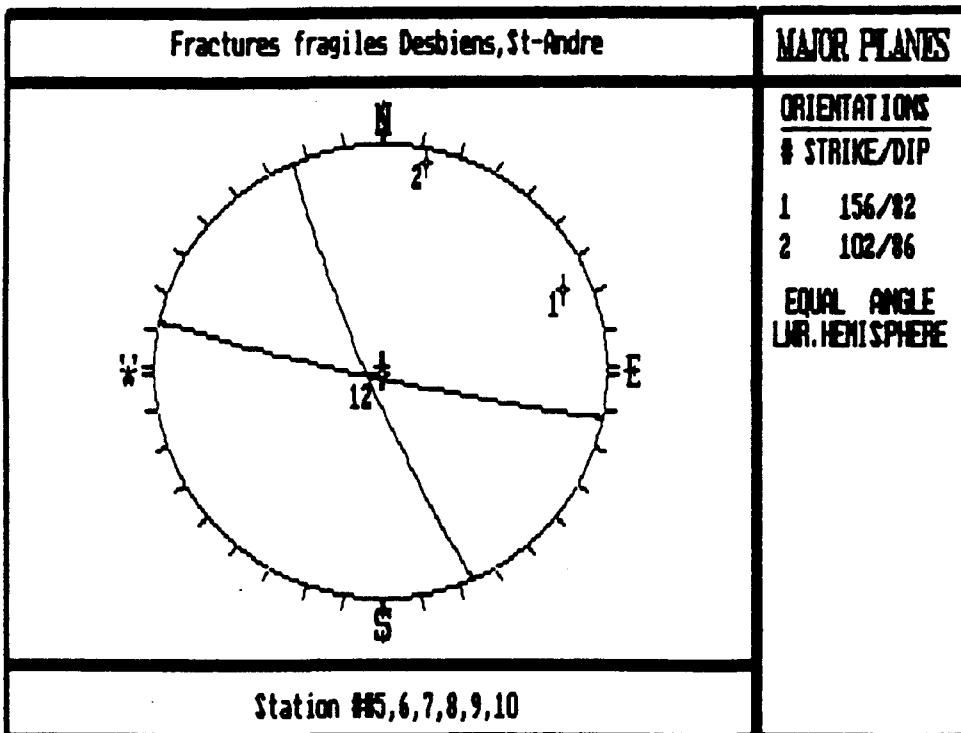
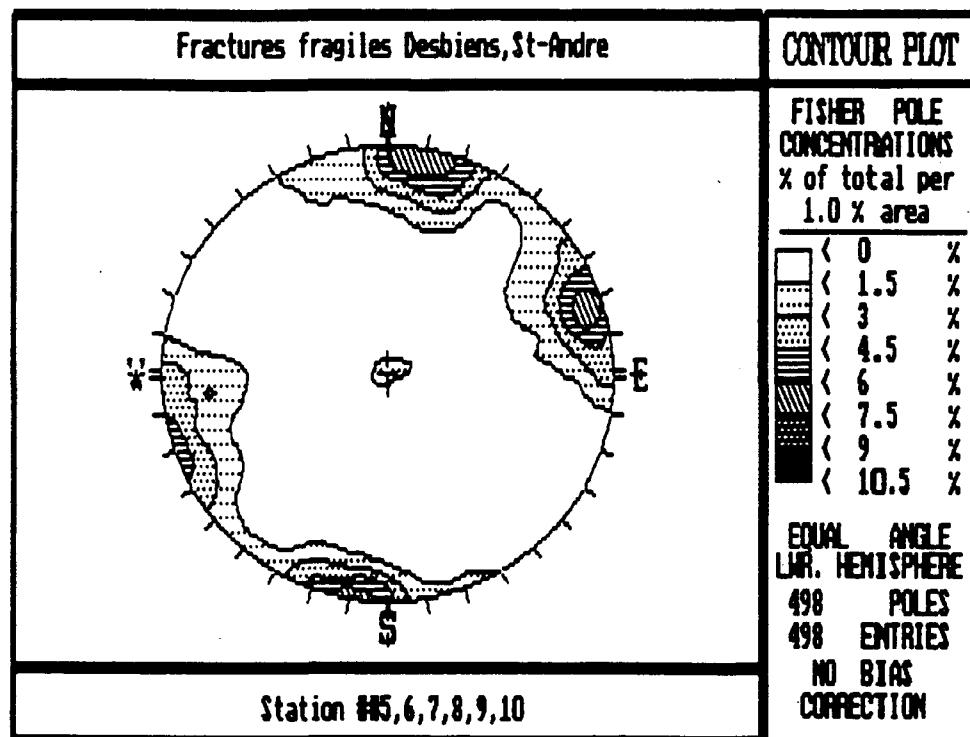


Figure 16

Compilation des mesures de joints dans le secteur 2.

montre une faible dispersion à proximité de deux familles majeures: 156/82 et 102/86 (Figure 16). Ces deux familles ont presqu'un angle de 60 degrés entre-elles et s'alignent approximativement selon les familles majeures de la compilation des joints au Lac-St-Jean (Figure 7).

2.3 Secteur 3

Les cinq affleurements étudiés se retrouvent dans le secteur de Chambord (Tableau 3, Figure 3). Ils comprennent: le calcaire ordovicien affecté par les failles, l'anorthosite du Lac-St-Jean déformée et des gneiss granitiques.

Le stéréogramme de la compilation des joints pour ces affleurements montre une bonne dispersion avec une famille très forte à 352/87 (172/87) et trois autres familles moins importantes à 281/87 (101/87), 241/83 (061/83) et 317/83 (137/83) (Figure 17). On remarque que deux de ces orientations (352/87, 281/87) correspondent aux deux orientations principales de la compilation totale des joints au Lac-St-Jean (Figure 7) alors que les deux autres représentent des orientations de faille dans le secteur.

2.4 Secteur 4

Ce secteur regroupe sept affleurements du secteur de Roberval

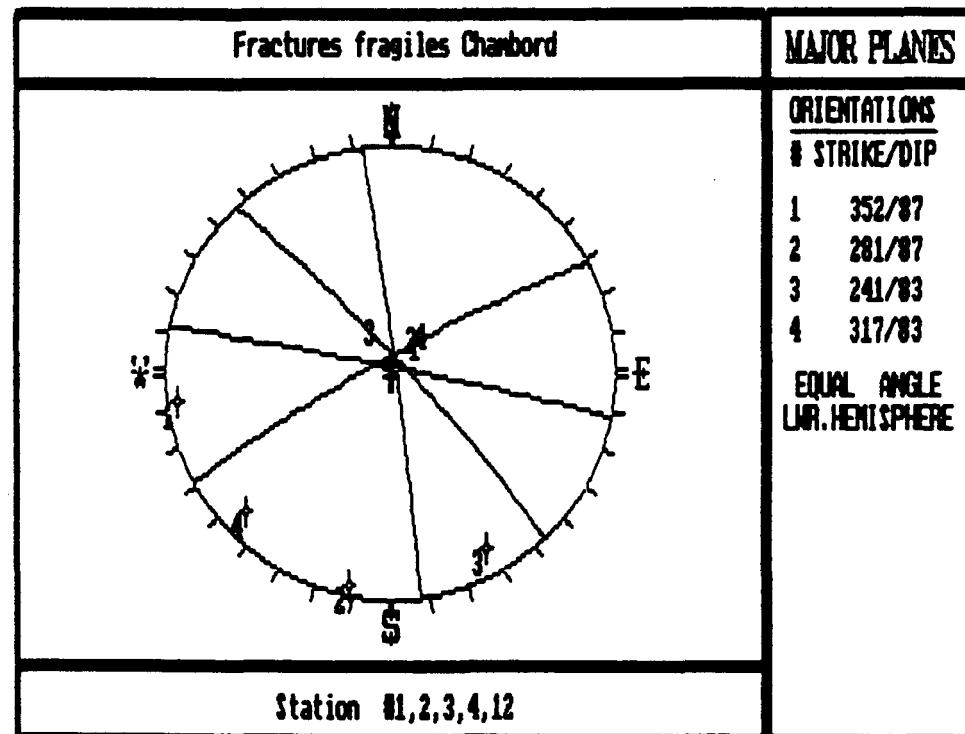
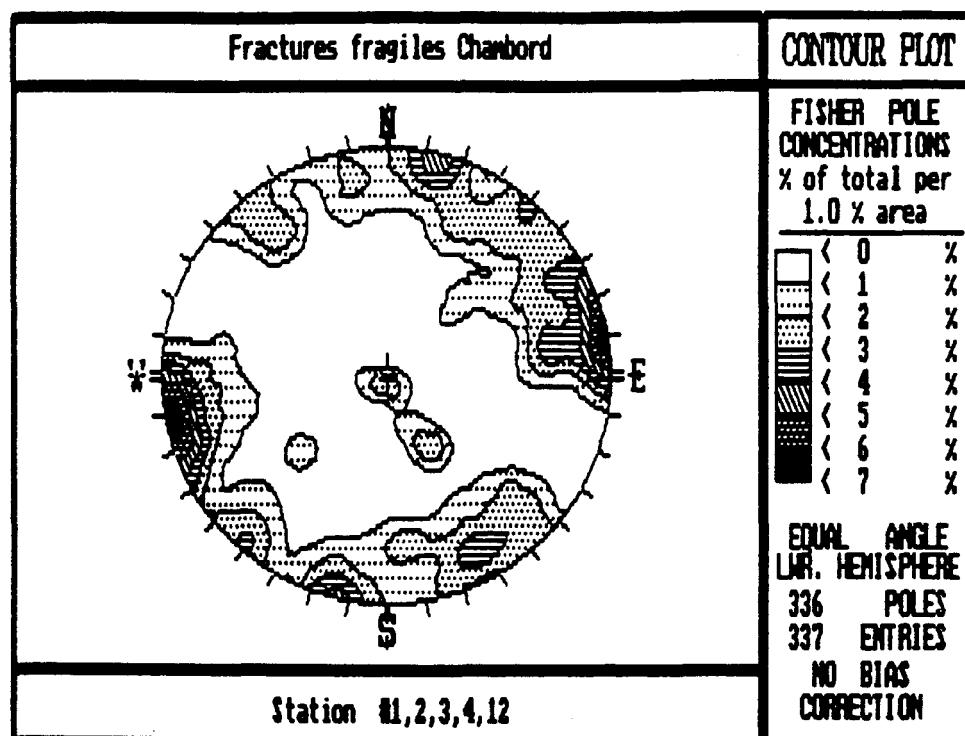


Figure 17

Compilation des mesures de joints dans le secteur 3.

(Tableau 3, Figure 3). Ces affleurements sont contenus dans le calcaire ordovicien non affecté par les failles et dans des granites tardi- à post-tectonique.

Le stéréogramme de compilation des joints pour ces sept affleurements montre une faible dispersion. Deux familles quasi orthogonales ressortent de façon très claire: 121/88 et 035/83 (Figure 18). La famille à 035/83 est très concentrée alors que celle à 121/88 s'étend à plus ou moins 10 degrés de la direction moyenne. La région de Roberval et ses environs présentent deux familles de joints bien définis dans des roches très peu déformées. Il est donc normal qu'on ne retrouve pas la famille 160/80 typique des roches affectées par la déformation grenvillienne, étant donné que ce secteur n'a subi que des déformations sous des conditions fragiles.

2.5 Secteur 5

Ce secteur regroupe les affleurements (33) et (34) contenus dans la mangérite à l'ouest de St-Félicien (Tableau 3, Figure 3).

Le stéréogramme des joints, malgré une légère dispersion, montre deux familles nettes: 156/82 et 002/82 (Figure 12). On retrouve la famille 160/80 dans ces roches qui ont subi la déformation grenvillienne.

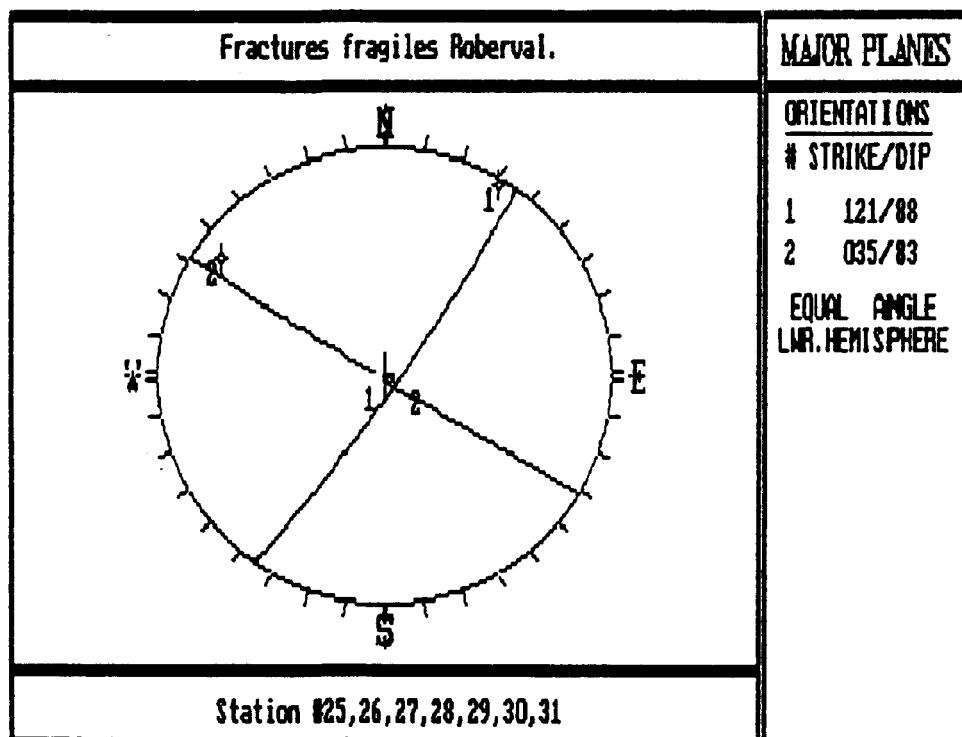
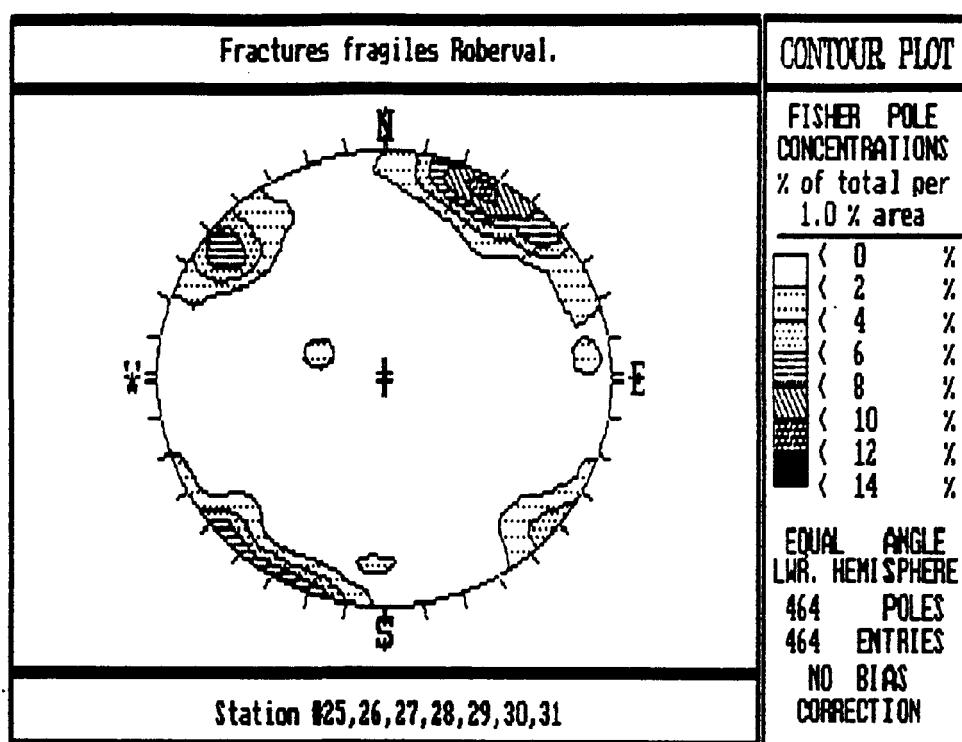


Figure 18

Compilation des mesures de joints dans le secteur 4.

2.6 Secteur 6

Ce secteur comprend deux affleurements de gneiss mixtes et paragneiss qu'on retrouve à Dolbeau (Tableau 3, Figure 3).

Le stéréogramme de la compilation des joints de ces deux affleurements montre une dispersion moyenne autour des deux familles majeures observées: 168/89 et 083/85 (Figure 19). Etant donné le manque d'affleurements dans ce secteur, on n'a pris en compte que deux affleurements. Les familles semblent être assez bien définies, mais il peut être téméraire de faire des interprétations à partir de seulement deux affleurements situés à proximité l'un de l'autre. La famille 160/80 ressort très bien dans ces roches qui ont subi la déformation grenvillienne.

2.7 Discussion

L'examen des fractures par secteurs indique que: 1) La direction 160 ne ressort que dans les secteurs affectés par la déformation grenvillienne. 2) La direction 110, dans la majorité des secteurs, ressort dans un éventail de directions. 3) Les familles de fractures sont très bien définies dans certains secteurs (secteurs 2, 4, 5 et 6) alors que pour d'autres, elles présentent une forte dispersion (secteurs 1 et 3) (Tableau 4).

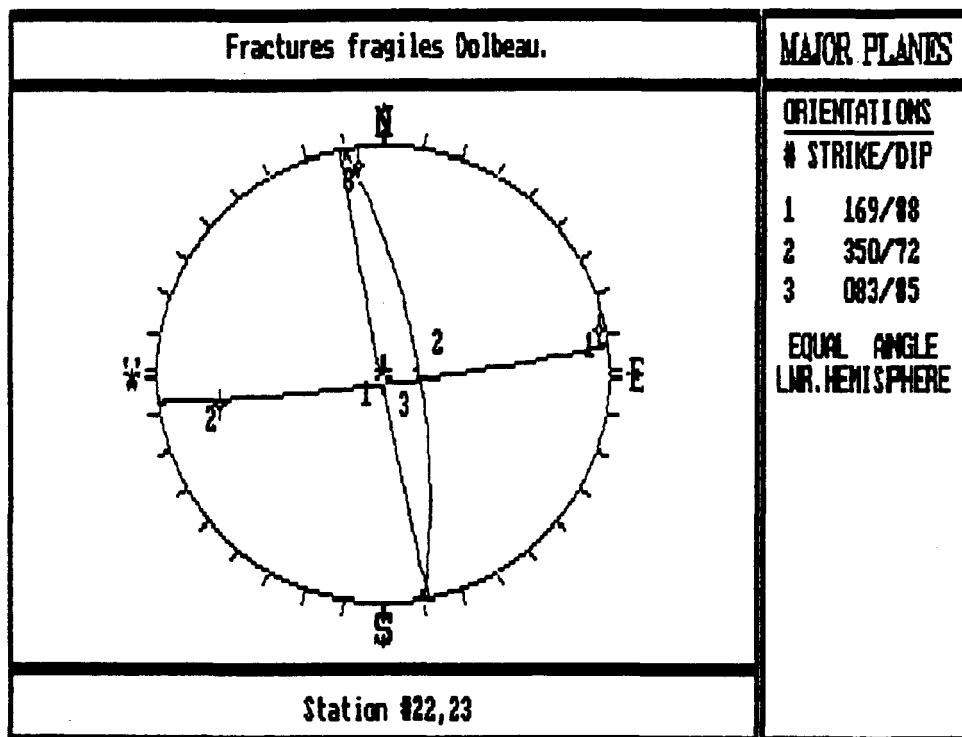
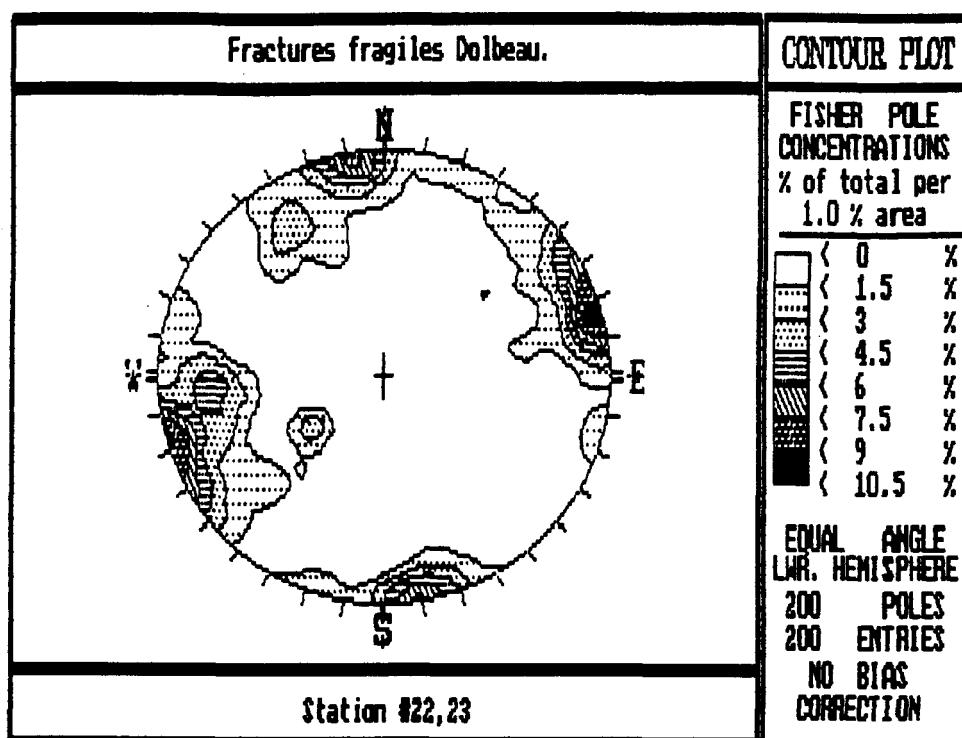


Figure 19

Compilation des mesures de joints dans le secteur 6.

Tableau 4: Résumé des familles majeures

Par secteur

Secteur 1: Alma

Forte dispersion Patron: 103/81

Secteur 2: Desbiens, St-André

Faible dispersion Patrons: 156/82: 102/86

Secteur 3: Chambord

Secteur 4: Roberval

Faible dispersion Patrons; 121/88; 035/83

Secteur 5: St-Félicien

Faible dispersion Patrons: 156/82; 002/82

Secteur 6: Dolbeau

Faible dispersion Patrons: 169/88: 083/85

Le premier point démontre que la fracturation de direction 160 reprend une ancienne fabrique grenvillienne.

Le deuxième point montre que la direction 110 ressort dans les secteurs 1 (110), 2 (102), 3 (101), 4 (121) et 6 (083). Cet éventail de directions est sensiblement le même que celui des différents segments de graben du Saguenay au Lac-St-Jean (Figure 4).

Le stéréogramme de compilation des joints des sept affleurements de la limite sud du graben au Lac-St-Jean (Desbiens à St-Prime) montre une forte dispersion de directions dans l'éventail de directions 110-130 degrés (Figure 20).

Ces constatations, indiquent que les différentes directions de familles de fracturation dans les secteurs 1, 2, 3, 4 et 6 sont toutes reliées à la formation des segments de graben au Lac-St-Jean.

Le troisième point montre que, malgré la présence de deux ou trois lithologies, les familles de fracturation se définissent généralement bien par secteur spécifique au Lac-St-Jean.

Cependant, les secteurs 1 et 3 font exception. Ceci peut s'expliquer: 1) par le(s) type(s) de déformation que le secteur a subi (haute P-T et/ou fragile) et 2) par l'intensité de la déformation qui peut différer à l'intérieur d'un secteur ou entre secteurs.

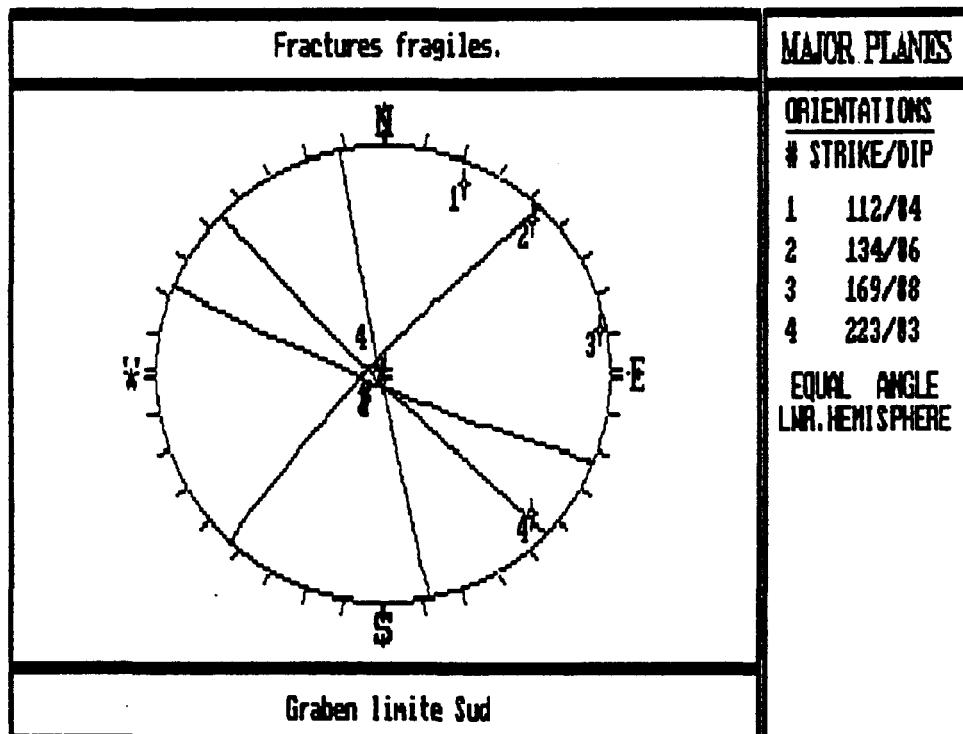
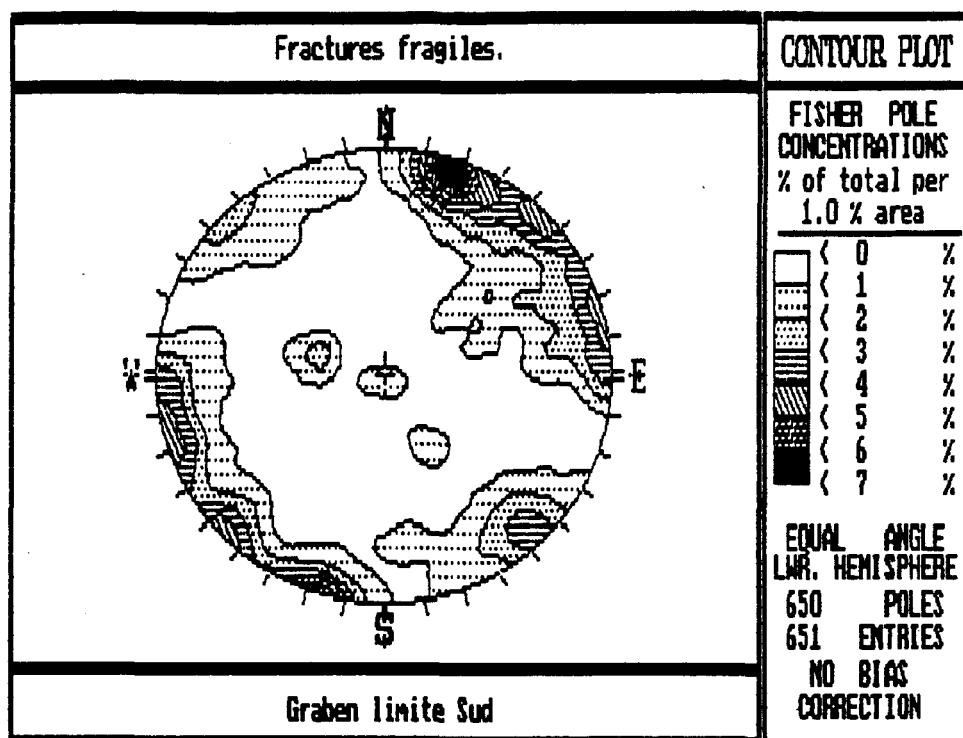


Figure 20: Compilation des mesures de joints sur la limite sud du graben du Saguenay au Lac-St-Jean.

Quatre cas peuvent être identifiés à partir des deux critères ci-haut mentionnés. Ceux qui ont influencé la fracturation de nos secteurs sont:

- 1) Secteurs affectés par la déformation grenvillienne sur laquelle s'est superposée une déformation fragile normale (fracturation métrique, pas de failles) (secteurs 2, 5 et 6).
- 2) Secteurs affectés par une déformation grenvillienne sur laquelle s'est superposée une déformation fragile intense (fracturation décimétrique à centimétrique et failles) (secteur 3).
- 3) Secteurs affectés seulement par une déformation fragile normale (secteur 4).
- 4) Secteurs affectés seulement par une déformation fragile intense (secteur 1).

Lorsque les roches ont subi la déformation grenvillienne, le patron de joints est généralement net si la déformation fragile est normale (secteur 2, 5 et 6). Lorsque les roches ont subi la déformation grenvillienne et une déformation fragile intense (fracturation centimétrique à décimétrique avec stries de friction imprimées sur les plans de fractures), les familles de joints sont très diffuses avec une forte dispersion (secteur 3). Lorsque les roches n'ont pas subi la déformation grenvillienne, les patrons de joints sont influencés par l'intensité de fracturation sous les conditions fragiles. Le secteur 4 montre une intensité de fracturation normale avec des patrons de joints clairs alors que le secteur 1 montre une intensité de fracturation variable (métrique à centimétrique) avec

une forte dispersion, mais une famille de joints nette à 110 degrés.

Suite à ces constatations, nous avons séparé les divers affleurements en deux groupes (Tableau 5). Le groupe (1) comprend les affleurements n'ayant subi que la déformation sous les conditions fragiles avec une intensité de fracturation normale (non déformé). Alors que le groupe (2) englobe les affleurements déformés sous les conditions fragiles (intensité de fracturation intense plus failles) et ductiles.

Il est à noter que les trois affleurements d'anorthosite du secteur 1 ont été placés dans le groupe peu déformé parce qu'ils ne présentaient pas de stries de friction, une intensité de fracturation très variable (normale, métrique à intense, centimétrique) et une famille nette à 103 degrés.

Le stéréogramme de la compilation totale des joints pour le regroupement d'affleurements peu déformés montre une forte dispersion. Quatre familles ressortent faiblement: 035/83, 121/88, 156/82 et 258/87 (078/87) (Figure 21). Ces quatres orientations sont similaires à celles de failles majeures observées dans le secteur de Chambord (Voir figure 7).

Le stéréogramme de la compilation des joints pour le regroupement d'affleurements déformés montre une dispersion moyenne à proximité de deux familles très claires: 169/88 et 103/81

Tableau 5: Liste des affleurements en fonction de la déformation au Lac-St-Jean

Affleurements de roches peu déformées: 9, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 32, 33, 34

Affleurements de roches déformées: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 17, 18, 19, 22, 23, 30, 31, 33

Tableau 6: Liste des affleurements le long des discontinuités structurales majeures

Faille Lac Bouchette

Joints (affleurements: 12, 15, 17, 18, 19)

Plans de stries (affleurements: 12, 14, 15, 14A, 16, 17, 18)

Faille graben Chambord

Joints (affleurements: 2, 3, 10, 12)

Plans de stries (affleurements: 2, 3, 10, 12)

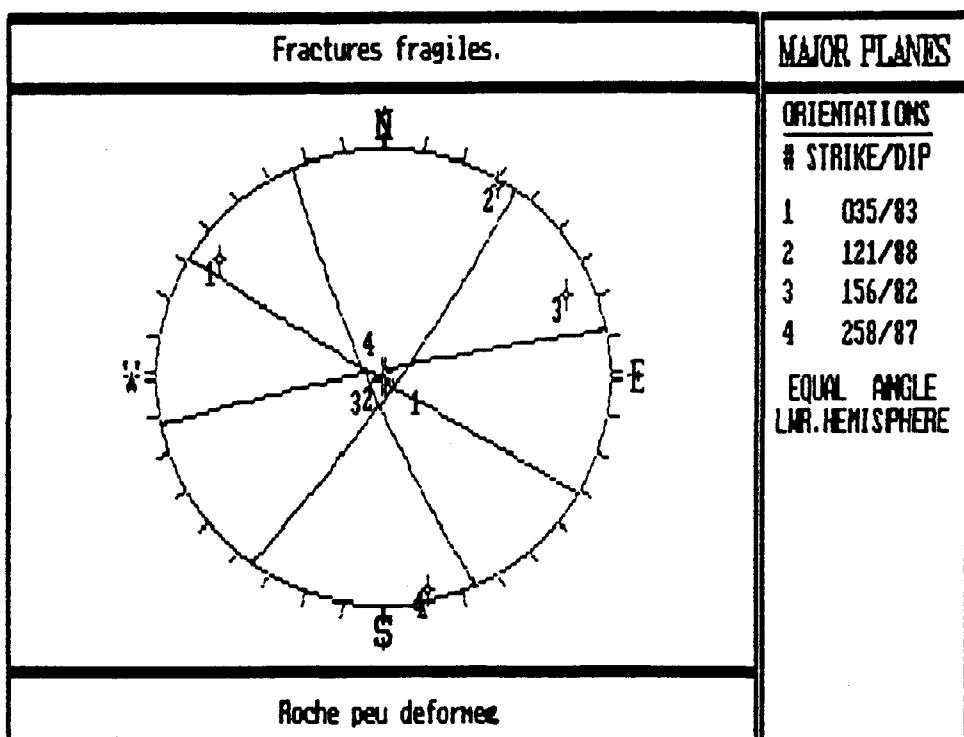
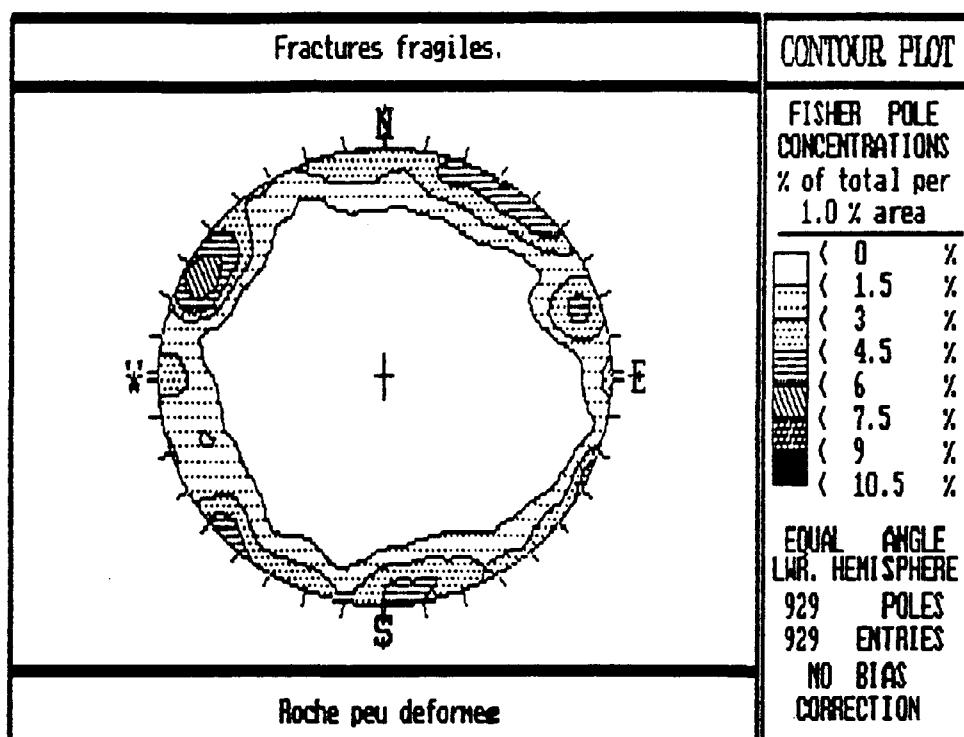


Figure 21: Compilation des mesures de joints pour les affleurements peu déformés.

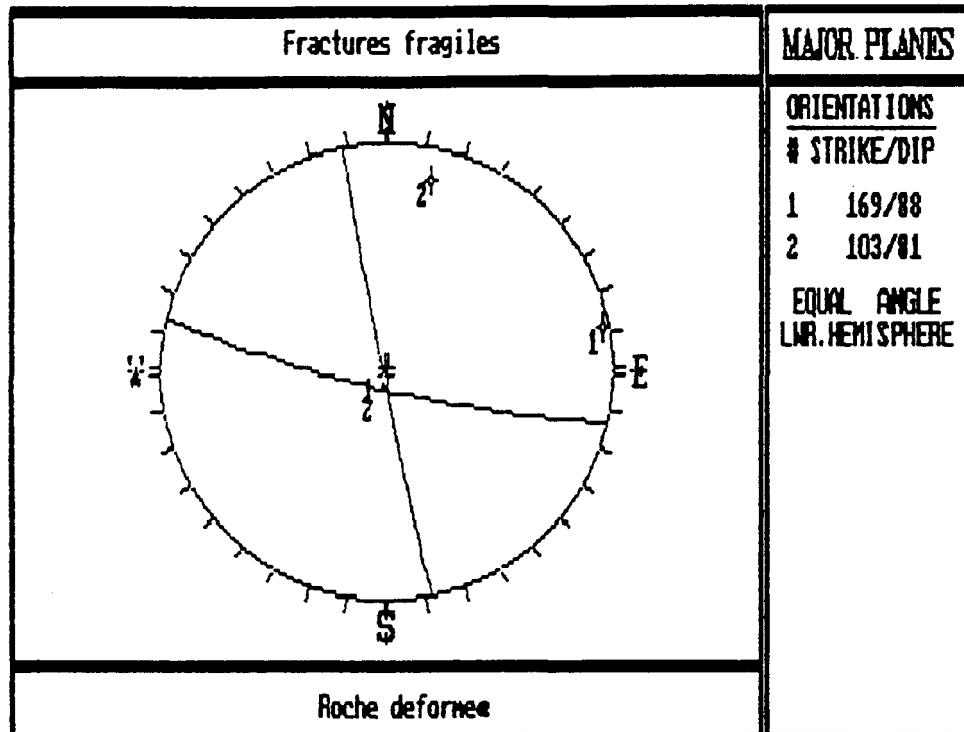
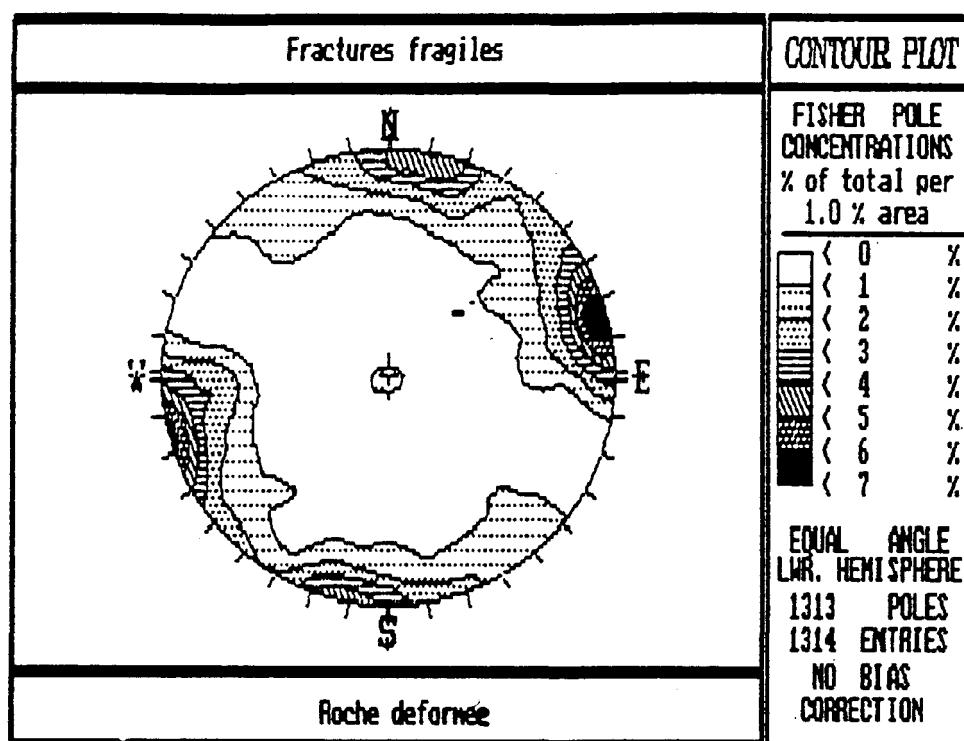


Figure 22: Compilation des mesures de joints pour les affleurements déformés.

(Figure 22). Ces deux familles ressortent aussi faiblement de la compilation totale des joints au Lac-St-Jean.

Il est à noter que la majorité des affleurements de roches déformées (ductiles) se retrouvent à l'extérieur du graben du Saguenay alors que la majorité des affleurements de roches non déformées se retrouvent à l'intérieur du graben. Les stéréogrammes de compilation des joints à l'intérieur et à l'extérieur du graben donnent nécessairement les mêmes résultats que ceux des roches déformées ou non déformées (Appendice X).

La déformation ductile représentée par une ancienne fabrique grenvillienne semble jouer un rôle important sur l'orientation de la fracturation au Lac-St-Jean. Une étude de quelques discontinuités structurales nous renseignera peut-être sur le rôle qu'elles ont pu jouer.

3. ANALYSE DES FRACTURES LE LONG DES DISCONTINUITES STRUCTURALES MAJEURES

Deux discontinuités majeures seront étudiées lors de cette analyse: La faille du Lac Bouchette (7 affleurements) et une faille du graben à Chambord (4 affleurements) (Figure 3). Ces deux discontinuités majeures sont étudiées afin d'évaluer: 1) Le rôle de la déformation

ductile, représentée par une ancienne fabrique grenvillienne, sur les patrons de fracturation majeurs (165/88 et 110/81). 2) La comparaison entre les orientations des plans de joints et les plans de stries le long des deux discontinuités structurales majeures (Tableau 6).

Les stéréogrammes des joints et des plans de stries des discontinuités structurales plus petites, de même que les regroupements intermédiaires qui ont servi à bâtir ceux présentés au Tableau 6, sont donnés à l'appendice X.

Pour chaque discontinuité structurale majeure, on donnera: la localisation, les lithologies présentes le long de la faille et les stéréogrammes des mesures effectuées sur le terrain.

3.1 Faille du Lac Bouchette

Cette faille, de direction 010/80, se situe le long de la route 155, de Chambord jusqu'au Lac des Commissaires. Cinq affleurements furent étudiés pour les joints et sept pour les plans de stries (Tableau 6, Figure 3). Ces affleurements sont contenus dans l'anorthosite, le gneiss granitique, les gneiss mixtes et les paragneiss. Cette faille, à quelques endroits, est superposée sur une ancienne zone de faille ductile grenvillienne.

Le stéréogramme de la compilation des joints montre une bonne dispersion. Deux familles ressortent: 103/81 et 169/88 (Figure 23). Ces deux familles sont à-peu-près les mêmes que celles de la compilation totale des joints au Lac-St-Jean (Figure 7).

Le stéréogramme de la compilation des plans des stries montre un groupement à proximité des pôles est et ouest (Figure 24). Le plan moyen est orienté approximativement à 010/80. Ce plan représente probablement le plan moyen de la faille du Lac Bouchette.

La concordance entre les plans de stries et la famille de joints 169/88 est bonne, mais celle avec la famille 103/81 est mauvaise. Selon Pollard et Aydin (1988) les fractures se forment souvent en extension pour rejouer à un autre moment en cisaillement. Ceci semble le cas pour l'orientation 169/88. En effet, les fractures ayant cette veille orientation semblent avoir été réactivées en cisaillement lors d'événements plus récents.

3.2 Faille du graben de Chambord:

Cette faille de direction 120/80 se situe le long de la route 169, entre Chambord et Desbiens. Quatre affleurements furent étudiés (joints et plans de stries) le long de cette faille (Tableau 6, Figure 3). Ces affleurements sont dans le calcaire et l'anorthosite.

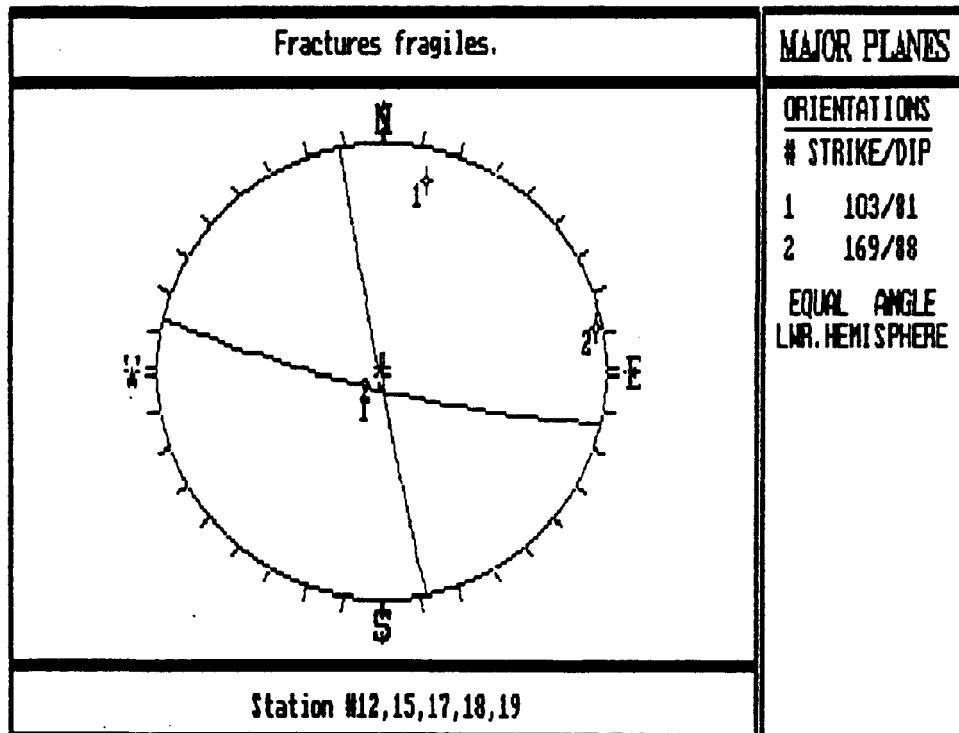
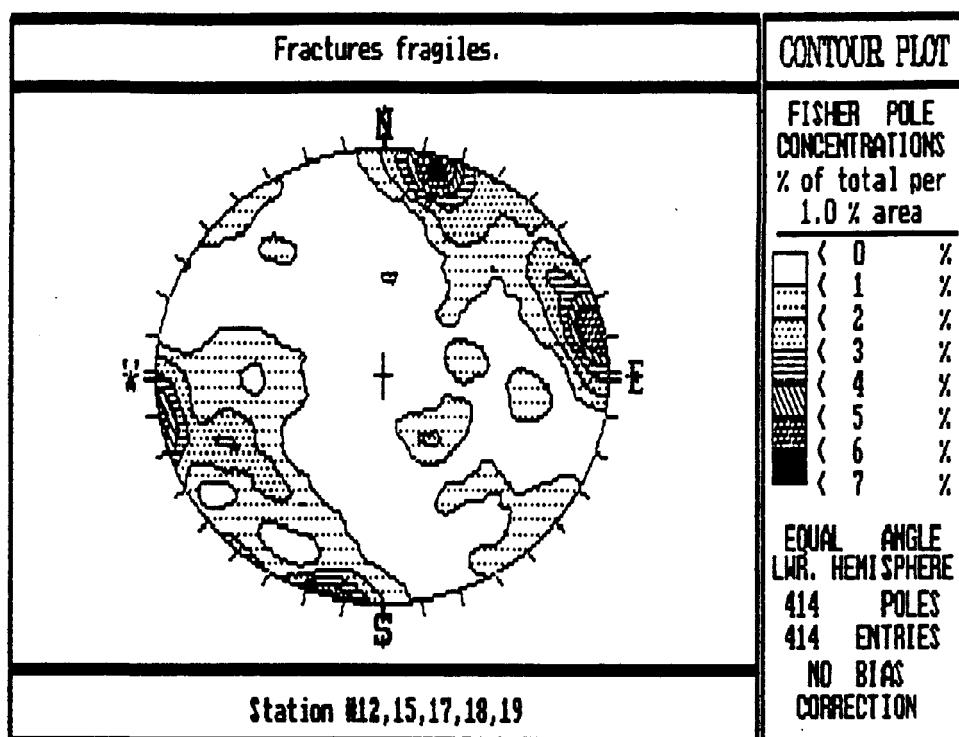


Figure 23: Compilation des mesures de joints pour les affleurements le long de la faille du Lac Bouchette.

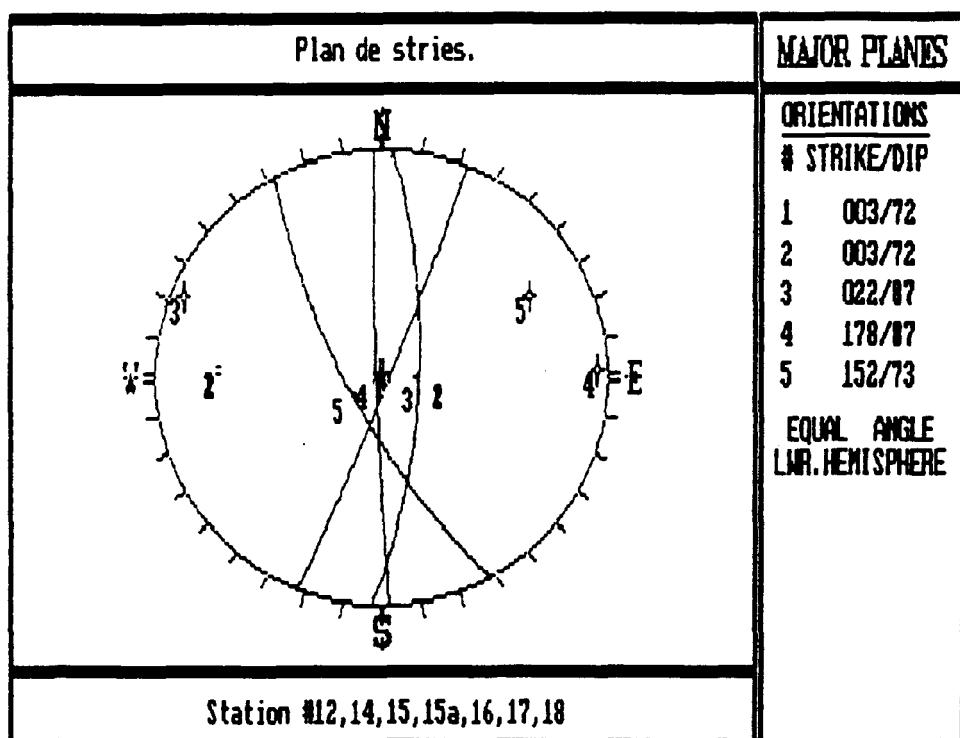
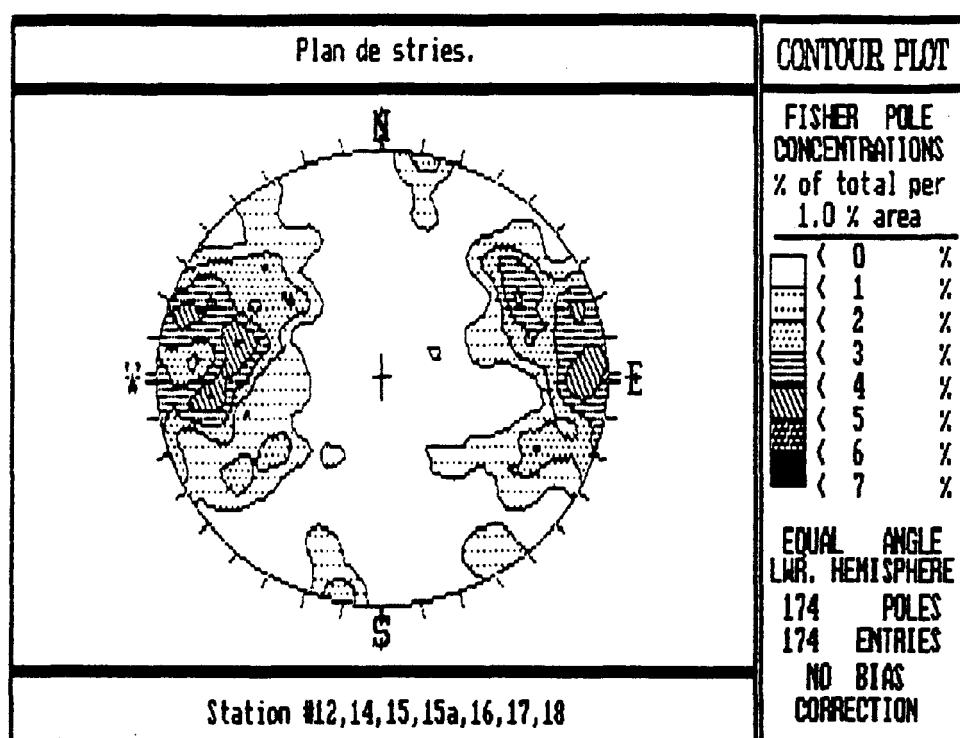


Figure 24: Compilation des mesures des plans de stries pour les affleurements le long de la faille du Lac Bouchette.

Le stéréogramme de la compilation des joints montre une forte dispersion. Une famille claire ressort à 169/88, alors qu'une plus diffuse ressort à 103/81 (Figure 25).

Le stéréogramme de la compilation des plans des stries montre une forte dispersion dans le premier et le troisième quadrant. Trois familles ressortent: 139/67, 327/68 et 183/87 (Figure 26). Ces trois familles représentent trois plans de failles dont l'un (139/67) correspond à une faille observée sur le terrain. En effet l'affleurement (11) (Figure 3) présente un plan de faille défini par le rebroussement près de la verticale des lits de calcaires (Planche 3).

La concordance entre les plans de stries et le patron de joints 169/88 est acceptable, mais celle avec le patron de joints 103/81 est mauvaise.

3.3 Discussion

L'examen des fractures le long de la faille du Lac Bouchette et de la faille de graben de Chambord indique que: 1) Les familles de joints 169/88 et 103/81 ressortent très bien le long des deux failles. 2) La concordance entre les plans de failles et la famille de joints 169/88 est bonne, mais elle est mauvaise avec la famille de joints 103/81.

Ceci indique que les familles de joints régionales (169/88,

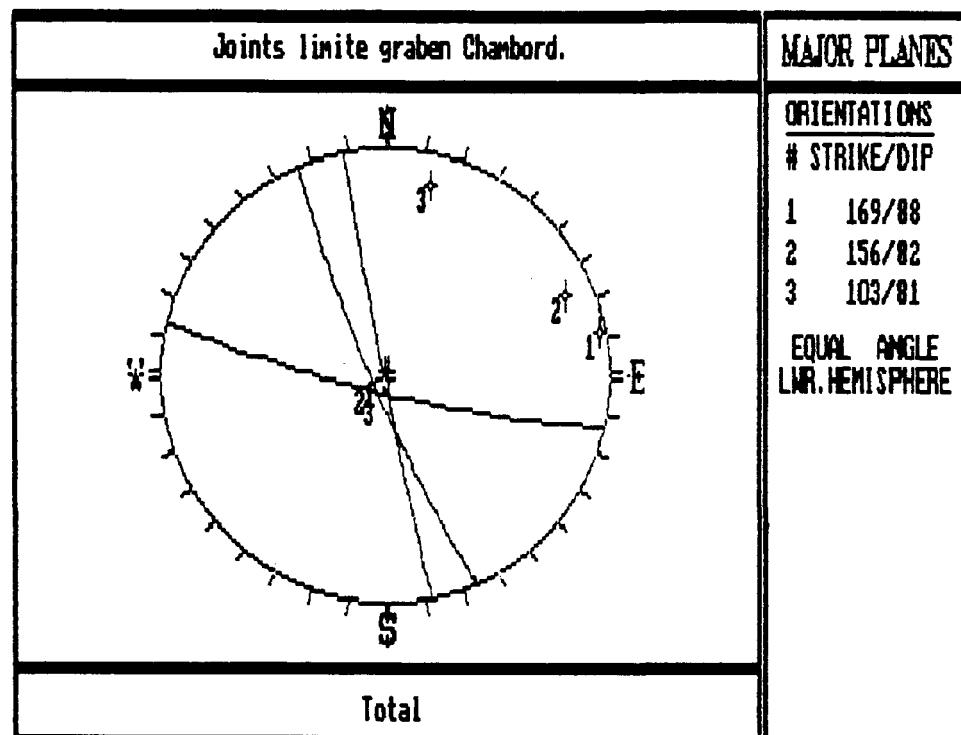
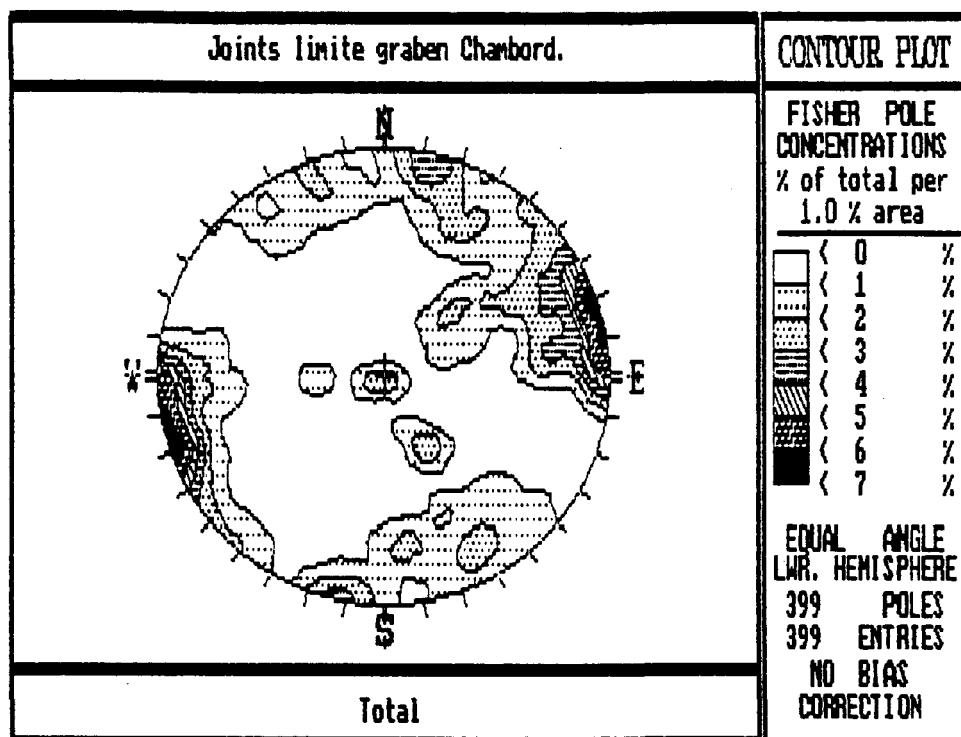


Figure 25: Compilation des mesures de joints pour les affleurements le long d'une faille de graben à Chambord.

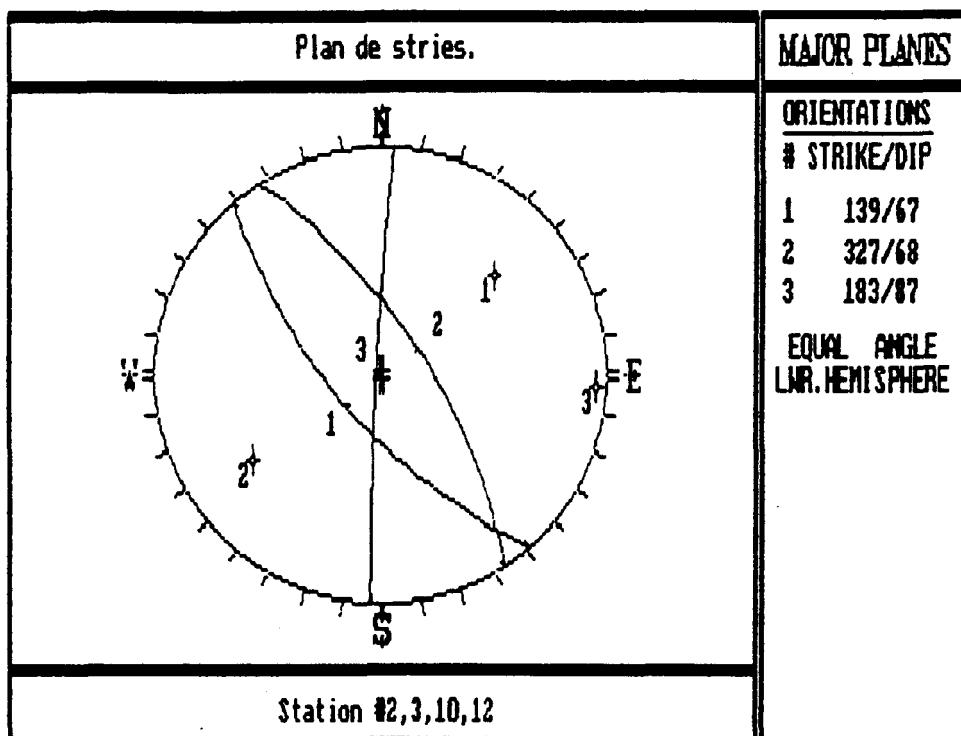
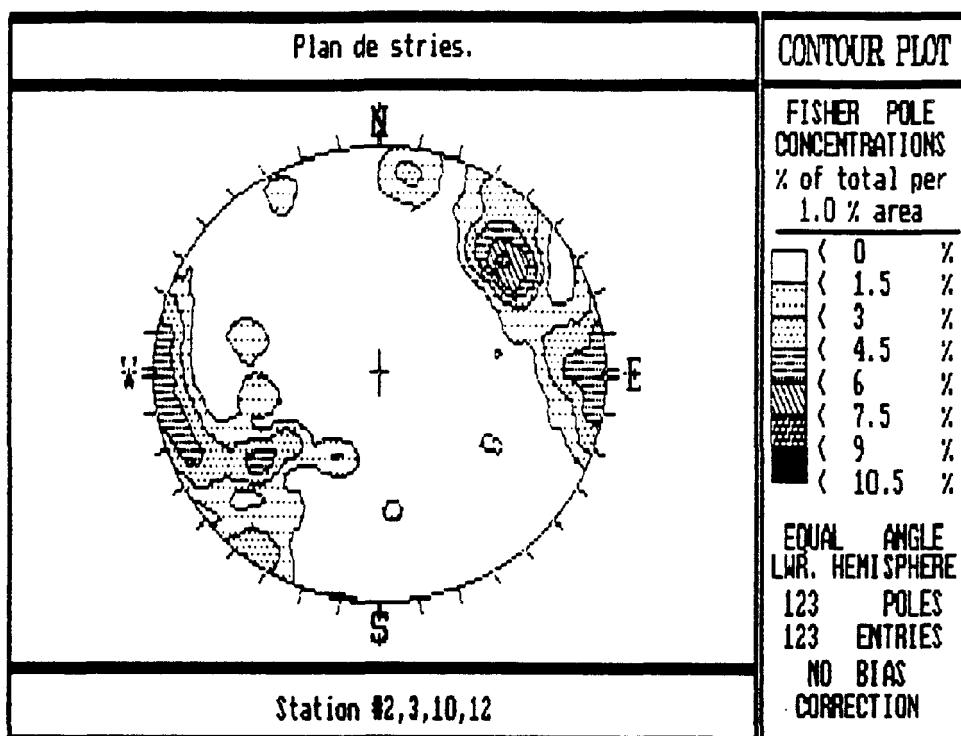


Figure 26: Compilation des mesures des plans de stries pour les affleurements le long d'une faille de graben à Chambord.



Planche 3: Plan de faille défini par le rebroussement près de la verticale des lits de calcaires. Affleurement no. 11, Chambord.

103/81) ne se font pas oblitérer le long des discontinuités structurales locales (Figure 7). Ceci démontre aussi, qu'il y a, pour ces deux failles, concordance entre les plans de stries et les plans de joints avec l'orientation 169/88.

Donc, cette famille de joints ancienne (169/88) a pu facilement influencer l'orientation de la fracturation reliée au nouveau système de contraintes (Blès, 1981).

Ce point est probablement la clef de l'explication des stéréogrammes de roches déformées et non déformées (Figures 21 et 22). En effet, les patrons de joints des roches déformées sont grandement affectés par l'orientation de la fracturation régionale ancienne 169/88, d'où la formation de patrons clairs. Par contre, les roches non déformées n'ont pu être influencées par cette fracturation régionale ancienne. La fracturation, par conséquent, n'a pas d'orientation préférentielle prédéterminée et peut se faire selon diverses orientations.

Cette analyse des fractures par unité lithostructurale, par secteur et le long de discontinuités structurales au Lac-St-Jean a fait ressortir les points suivants:

- 1) Les patrons de fracturation sont influencés par le type d'unité lithostructurale.
- 2) La fracturation présente une forte dispersion au Lac-St-Jean

étant donné que chaque lithologie a un patron spécifique.

- 3) La fracturation se définit généralement bien par secteur homogène autour du Lac-St-Jean.
- 4) Il existe une famille de fractures régionale (169/88) contrôlée par une ancienne fabrique grenvillienne.
- 5) Il existe une famille de fractures régionale (110/81) en éventail reliée à la formation du graben du Saguenay.

CHAPITRE 6

ORIENTATION DES AXES X-Y-Z DE L'ELLIPSOÏDE DE DEFORMATION ENREGISTRÉE PAR LES FRACTURES

1. INTRODUCTION

La recherche des contraintes principales dans le secteur de Chambord a été faite dans le but d'essayer d'étendre les résultats à l'ensemble du Lac-St-Jean.

Les affleurements de calcaire (1) et (2) de Chambord ont été retenus parce qu'ils: 1) représentent bien les patrons de fracturation de ce secteur; 2) montrent plusieurs stries de friction subhorizontales centimétriques à métriques, imprimées dans une fine couche millimétrique de calcite à la surface des plans de fractures; 3) montrent des sens de mouvements à l'aide de zones abritées (Petit, 1987) (Planche 4).

Le stéréogramme de la compilation des plans de stries pour ces deux affleurements montrent quatre familles majeures: 031/80, 061/81, 130/75, 164/89 (Figure 27). Avec les sens de mouvements et les évidences de terrain (intersection de failles conjuguées qui donnent la contrainte intermédiaire sigma 2) ces quatre familles se



Planche 4: Détermination du sens de mouvement à l'aide (1) des stries subhorizontales et (2) de zones abritées. Affleurement no. 1, calcaire de Chambord.

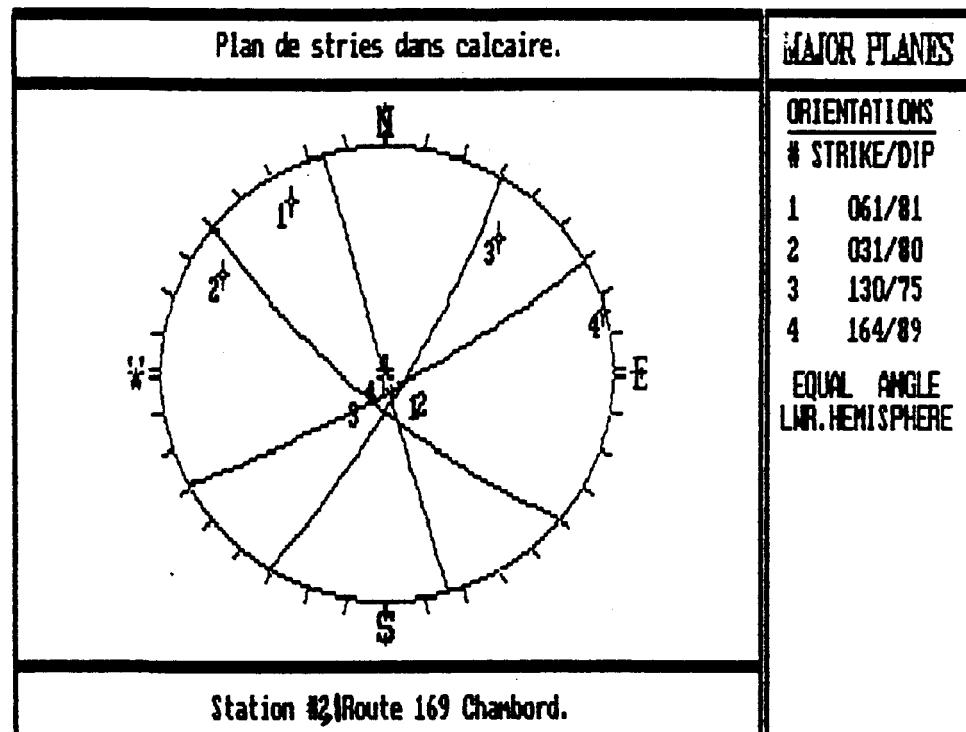
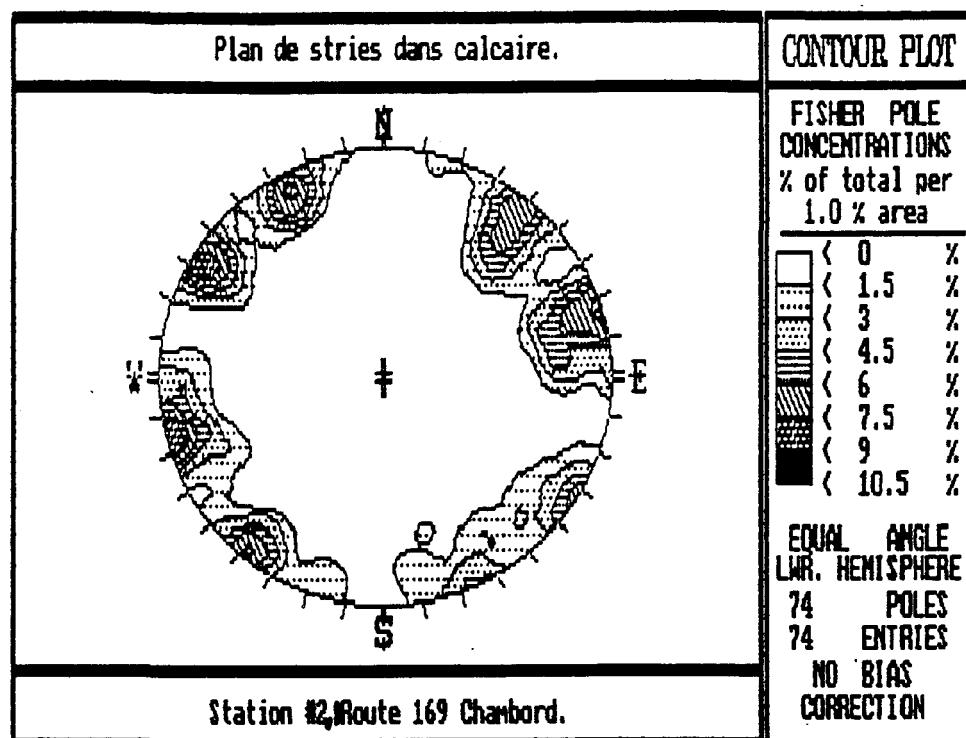


Figure 27: Compilation des mesures des plans de stries pour les affleurements 1 et 2 de calcaire de Chambord.

divisent en deux paires de failles conjuguées: 031/80 dextre, 061/81 senestre et 130/75 dextre, 164/89 senestre. On ne peut dire si ces deux systèmes sont contemporains ou non parce qu'aucun indice de recouplement n'a pu être observé. Le stéréogramme des stries montre approximativement la même chose que celui des plans de stries étant donné que celles-ci sont subhorizontales (Appendice XI). Les patrons de joints pour ces affleurements sont sensiblement les mêmes que ceux des plans de stries (Appendice XI). Ceci indique vraisemblablement que les glissements se sont fait sur des plans préexistants (joints) (Blès, 1981).

2. METHODE D'ANALYSE

Diverses méthodes de détermination des contraintes sous des conditions fragiles (Arthaud, 1969; Angelier, 1977; Reches 1990) furent testées sur les données des affleurements (1) et (2) de calcaire.

2.1 Méthode d'Arthaud

La méthode d'Arthaud (1969) est une méthode graphique de détermination des directions de déformations d'une population de failles cassantes; elle a été définie pour une déformation cassante et non-continue affectant un matériel anisotrope. Cette méthode est

basée sur la notion de plan de mouvement ("M"). Ces plans sont définis comme étant perpendiculaires à la faille et contenant la strie mesurée. Ces plans de mouvement contiennent par définition au moins une direction principale de déformation et ils vont s'intersecter à un, deux ou trois points correspondant, selon la forme de l'ellipsoïde de déformation, à l'axe d'extension (X), à l'axe intermédiaire (Y) ou à l'axe de raccourcissement (Z) dans la mesure où la déformation est uniaxiale. Le pôle (B) de ce plan de mouvement est perpendiculaire à la direction de glissement dans le plan de faille.

Dans le système conjugué ou quasi conjugué, l'axe "B" de chacun des plans de faille sera parallèle à leur ligne d'intersection, alors que dans un système à glissement oblique, les axes "B" de chacun des plans de faille auront une orientation différente et ne seront pas parallèles à leur axe d'intersection.

2.2 Méthode d'Angelier

La méthode d'Angelier (Angelier et Mechler, 1977) est d'application plus générale que celle d'Arthaud (1969) parce qu'elle ne se limite pas seulement au cas d'une ellipsoïde de révolution. Elle s'applique à tous les cas. Elle a été définie pour une population de failles formées par un champ de contraintes homogène, appliqué sur un matériel non homogène, et dans lequel la direction de glissement se fait, le long du plan de faille, dans la même direction et le même sens que la

contrainte de cisaillement maximum. À chaque jeu de faille peuvent être associés quatre dièdres droits qui séparent le plan de faille et le plan auxiliaire perpendiculaire à la strie. Deux dièdres opposés, seront dits de compression et les deux autres d'extension.

En combinant les observations pour tous les plans de faille, les zones communes en compression et en extension peuvent être définies sur stéréogramme. Une courbe d'isofréquence maximum correspond à la direction d'extension et une courbe d'isofréquence minimum, à la direction de compression. Toute direction qui correspond à un point de courbe de 10 par exemple signifie que 10% des failles jouent en extension et 90% en compression. À noter que ces directions d'extension et de compression doivent se trouver dans les zones de maxima et de minima mais pas forcément au centre de celles-ci.

Les deux méthodes ont été testées, mais elles ne donnent pas des résultats probants. Les causes théoriques qui expliquent l'échec de ces deux méthodes sont les suivantes (Archambault, comm. personnelle):

- 1) Les hypothèses simplificatrices trop nombreuses mènent à un modèle irréaliste. Six hypothèses ont été retenues pour démontrer notre affirmation ci-haut:
 - a) Ces méthodes supposent que les blocs sont séparés par des failles subrigides. Cela n'est pas le cas réel.
 - b) Ces méthodes supposent que les stries donnent la direction du

cisaillement maximum, ce qui n'est pas le cas réel.

c) Ces méthodes supposent qu'il n'y a pas de déformation plastique entre les plans de discontinuités. Cela n'est pas le cas réel.

d) Ces méthodes assument une situation globalement homogène produisant des mouvements indépendants et faibles.

e) Ces méthodes supposent qu'il n'y a pas de couple dans le matériau. Cela n'est pas le cas en cisaillement simple.

f) Ces méthodes assument l'homogénéité et l'isotropie du milieu fissuré.

2) De plus, le champ des contraintes se réoriente durant les phases subséquentes de glissement. Les glissements et les stries se produisent avec le système de contraintes réorienté. Donc, ces méthodes qui utilisent les stries, vont donner le champ de contraintes réorienté et non le vrai champ de contraintes.

2.3 Méthode de Reches

La méthode mathématique de Reches (1990), basée sur le critère de Coulomb-Anderson, n'a pu être testée sur nos données. La complexité des calculs sans un logiciel essentiel non disponible a empêché son utilisation.

Les résultats expérimentaux de Reches (1983) ont cependant été comparés au stéréogramme représentant les plans de stries de la

faille du Lac Bouchette (Figure 24). Avec des patrons similaires, pour les résultats expérimentaux de Reches et ceux de la faille du Lac Bouchette, on peut approximer la contrainte majeure comme étant Nord-Sud. Mais le système de failles du Lac Bouchette est sans doute local et ne peut être étendu à l'ensemble du secteur de Chambord et encore moins à la région du Lac-St-Jean sans l'étude d'autres sites.

3. DISCUSSION

En analysant les fractures par secteur (chapitre 2), on voit que les résultats diffèrent d'un endroit à l'autre (ex: Chambord, Roberval). Alors, même si les contraintes principales avaient pu être déterminées pour le secteur de Chambord, les différences de patron de fracture d'un secteur à l'autre interdiraient d'utiliser cette détermination locale pour déterminer approximativement les contraintes et en étendre les conclusions à l'ensemble du Lac-St-Jean (Archambault, 1985).

De plus, la région du Lac-St-Jean peut avoir subi plusieurs changements d'orientation de contraintes au cours de son histoire géologique. Les principaux mouvements qui ont pu faire varier le champ des contraintes principales de cette région, du plus vieux au plus jeune, sont: l'orogénie du Grenville (ca 1000 Ma, Rivers et al., 1989), l'ouverture de l'océan Iapétus (ca 550 Ma, Gélard et al., 1991), la compression appalachienne reliée à l'orogénie taconique (ca 450 Ma, Stockmal et al., 1987), la compression appalachienne reliée à

l'orogénie acadienne (ca 350 Ma, Stockmal et al., 1987) et l'ouverture de l'océan Atlantique (ca 180 Ma, Sutter et Smith, 1979).

Nous avons tenté de retracer les effets possibles de l'ouverture de l'océan Atlantique dans la région du Lac-St-Jean en appliquant la méthode des pôles d'Euler (Van der Voo, 1992) à la région du Lac-St-Jean. La position de la région implique une faille transformante potentielle d'azimut local de 126 degré (Appendice XII). Cet azimut est voisin de la direction d'une des failles principales du graben dans le secteur de Chambord (Figure 4). Les nombreuses stries subhorizontales observées dans le calcaire pourraient représenter le dernier des mouvements majeurs qu'a subi ce secteur. Toutefois, d'autres études similaires devraient être faites dans d'autres secteurs pour établir la validité de cette assertion.

La manifestation de plusieurs orientations de systèmes de failles au Lac-St-Jean est probablement due à une succession d'événements dans le temps avec lesquels seraient associés des champs de contraintes différents.

Les nombreuses stries retrouvées sur les plans de fracture pourraient représenter soit: le dernier mouvement de cette succession d'événements majeurs (ouverture Atlantique) ou un important événement local plus récent (ex: Faille Lac Bouchette).

CHAPITRE 7

SEISMICITE DU LAC-ST-JEAN

1. INTRODUCTION

La séismicité au Lac-St-Jean est faible. Par contre, les quelques épicentres qui ont été localisés se regroupent selon une ellipse de direction 140 degrés (Figure 1) dont le grand axe fait 100 kilomètres de long au Sud-Ouest du Lac-St-Jean.

En compilant la liste des séismes depuis 1900 au Saguenay Lac-St-Jean (Lamontagne M., comm. personnelle), on voit que ceux qui affectent le Lac-St-Jean sont de faible magnitude (1.5 à 4.5) et qu'ils ont tous été enregistrés depuis 1981 seulement (Appendice XIII). Il faut faire attention cependant au fort biais instrumental dû à l'évolution temporelle du RTEC (réseau télémétré de l'Est du Canada).

D'après une étude effectuée sur les deux événements les plus récents, on a pu démontrer que certaines phases anormales que présentaient certains enregistrements de ces séismes étaient en réalité des réfractions sur le moho (Lamontagne, 1991).

2. POSSIBILITE D'UNE ORIENTATION PREFERENTIELLE À 140 DEGRES

En regardant la reconstruction des Appalaches dans le secteur de l'île d'Anticosti (Appendice XIV), on voit qu'un important promontoire de direction préférentielle (145 degrés) a résulté du rifting de l'océan Iapétus. Ce promontoire a largement influencé le développement subséquent des Appalaches (Stockmal, 1987). À l'Acadien, une importante faille transformante de direction 145 degrés a pris naissance le long de cet accident et a relié des subductions en sens opposé (Appendice XIV).

Le "rifting" de l'océan Iapétus au Cambrien a donc influencé le secteur de l'île d'Anticosti. Ce "rifting" a pu avoir aussi des répercussions dans d'autres secteurs à l'ouest du Fleuve St-Laurent.

Une étude des linéaments d'image radar (Roy et al., 1993) dans le secteur de l'épicentre du tremblement de terre du Saguenay montre une importante direction préférentielle à 140-150 degrés. Cette direction est d'ailleurs parallèle à l'un des plans nodaux du tremblement de terre du Saguenay. Au Lac-St-Jean, la direction moyenne de 140 degrés représente l'alignement des épicentres avec lesquels sont associés un grand nombre de structures (joints, failles et cisaillements ductiles).

Donc, il se pourrait très bien que ces failles d'orientation préférentielle (moyenne 140 degrés) du Lac-St-Jean aient été

initiées par l'ouverture de l'océan Iapétus au Cambrien.

Cependant, une étude à plus grande échelle serait nécessaire pour confirmer les hypothèses.

3. IMPLICATIONS SEISMOTECTONIQUES

Deux zones pourraient éventuellement être séismogéniques au Lac-St-Jean. Une de ces zones (010/80) représente le système de failles du Lac Bouchette. L'autre représente l'orientation du grand axe de l'ellipse de la figure 1 au sud-ouest du Lac-St-Jean. Cette zone n'est pas représentée par une seule faille rectiligne mais plutôt par une série de petites failles en échelons dans l'éventail de directions 120-160 degrés.

3.1 Faille du Lac Bouchette

La plupart des affleurements le long de la faille du Lac Bouchette montrent des fractures qui ont déjà été séismogéniques (Sibson, 1982, Meissner et Strehlau, 1982, Sholz, 1988) soulignées par la présence d'ultra-cataclasites de largeur millimétrique à centimétrique (Planches 5 et 6). Ces ultra-cataclasites recoupent les mylonites et les joints et tendent à former des patrons anastamosés. Ces ultra-cataclasites sont vraisemblablement des

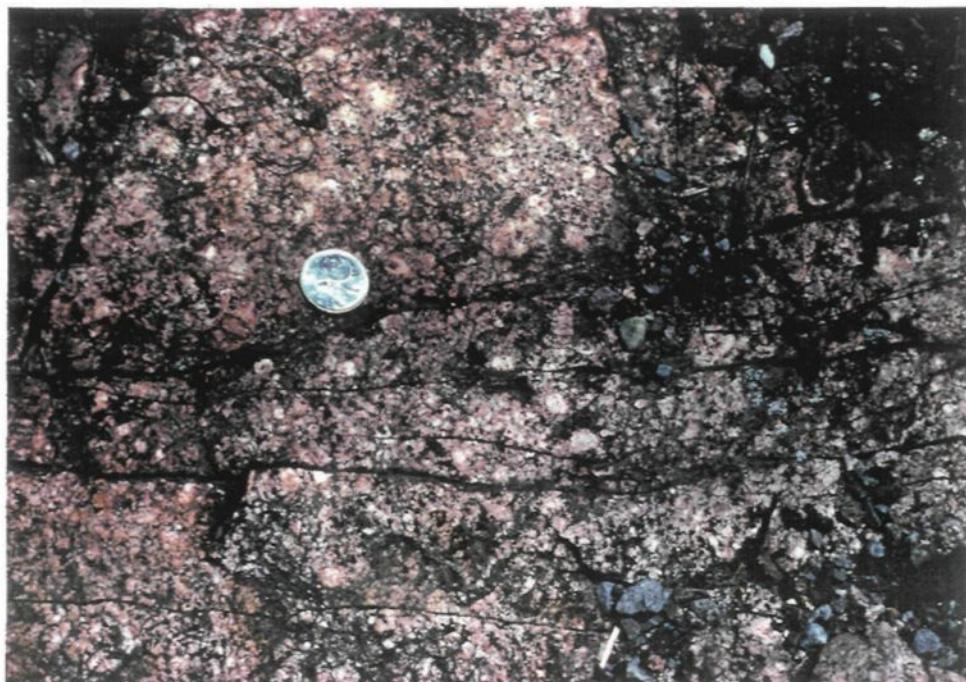


Planche 5: Ultra-cataclasite millimétrique à centimétrique dans le gneiss granitique le long de la faille du Lac Bouchette.

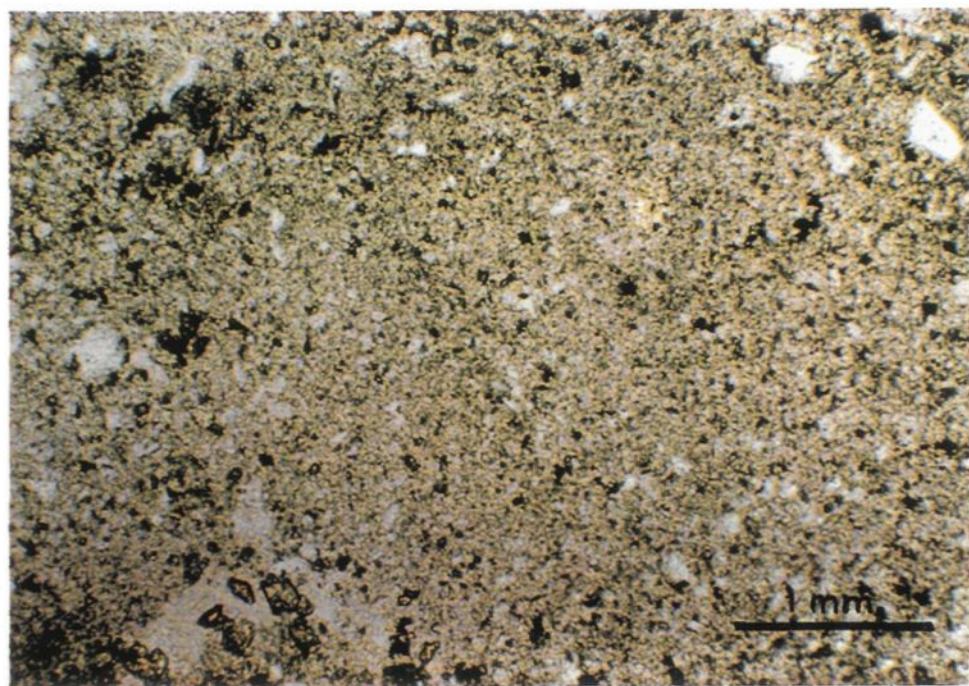


Planche 6: Photomicrographie en lumière naturelle (x2.5) d'ultra-cataclasite montrant un fort broyage des grains de quartz et micas.

témoins d'anciens tremblements de terre le long de cette faille.

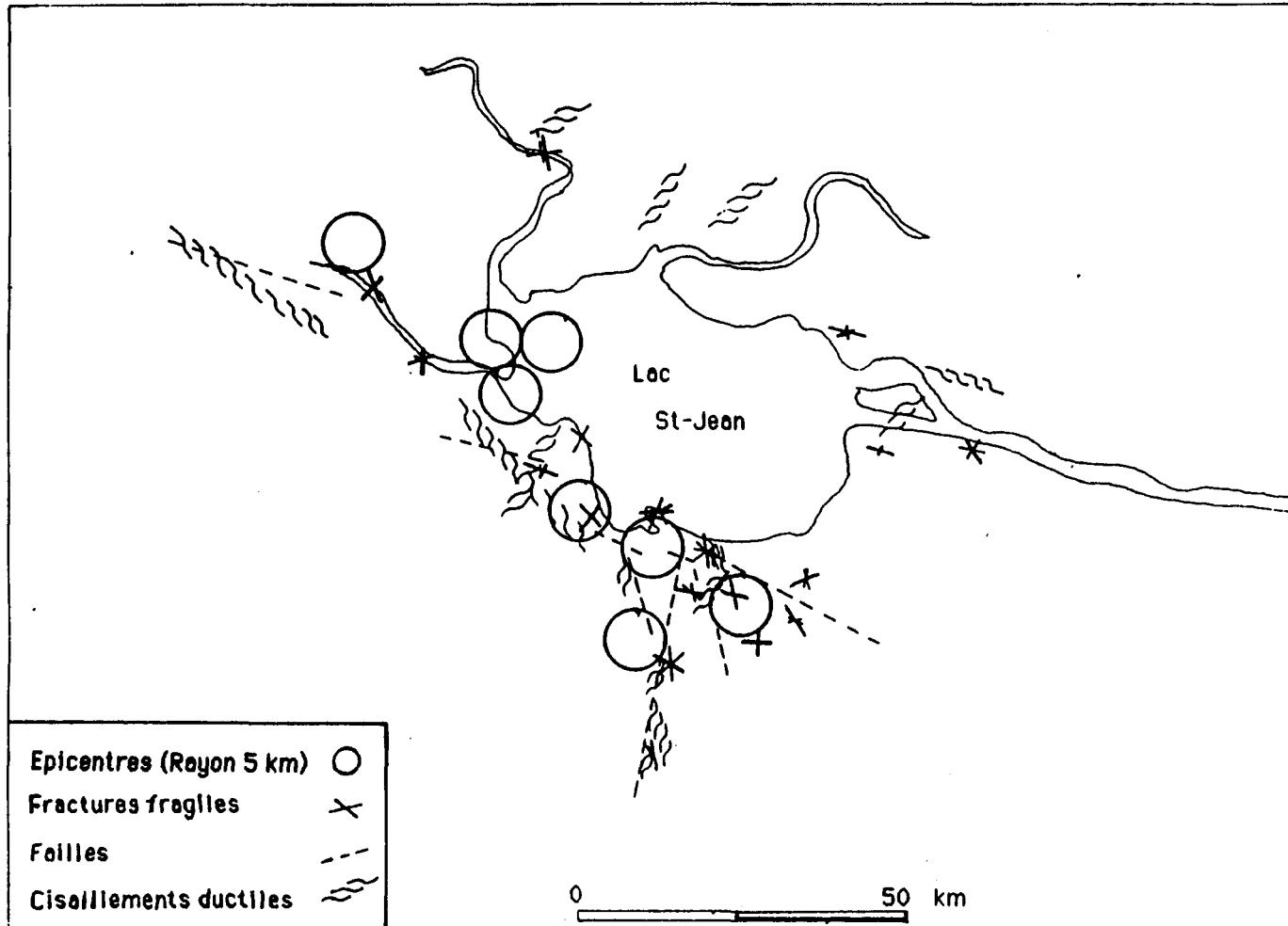
Cette ancienne zone d'activité séismique (Faille du Lac Bouchette) pourrait être le site de tremblements de terre importants si elle se réactivait dans le futur même si le peu d'épicentres localisés jusqu'à maintenant le long de cette faille pourrait nous inciter à négliger son importance.

3.2 Réseau de failles dans l'éventail de directions 120-160

L'autre zone potentiellement séismogénique est représentée par une ellipse de direction 140 degrés au sud-ouest du Lac-St-Jean (Figure 1). Une superposition de la figure 1 (épicentres) et 5 (joints, failles, cisaillements ductiles) a été effectuée dans le but d'essayer de trouver une correspondance entre les discontinuités et les épicentres. Trois des épicentres au sud du Lac-St-Jean (Chambord) s'alignent parfaitement avec les segments de failles du graben de direction 120 degrés (Figure 28). Cependant, il faut tenir compte de la précision de localisation des épicentres (plus ou moins 5 km.) qui est insuffisante, ainsi que du peu de séismes localisés.

Le secteur à l'ouest du Lac-St-Jean ne présentait que quelques affleurements le long de la rivière Chamouchouane. La majorité de ce secteur est recouvert d'épais dépôts glaciaires. C'est pourquoi il est impossible d'associer des failles visibles aux quatre épicentres

Figure 28: Superposition de la figure 1 (épicentres) et 5 (joints, failles et cisaillements ductiles).



repertoriés. Ceux-ci semblent s'aligner malgré tout parallèlement à la direction de la rivière Chamouchouane.

Cet alignement d'épicentres associé aux orientations de failles retrouvées au sud-ouest du Lac-St-Jean, qui s'étend dans l'éventail de directions 120-160 degrés, suggère un potentiel séismogénique et mérite une attention particulière dans la surveillance séismique (Figure 28).

4. DISCUSSION

Deux hypothèses peuvent être envisagées pour évaluer la séismicité présente au sud-ouest du Lac-St-Jean: 1) Le développement d'une séismicité reliée au tremblement de terre du Saguenay, reflétant des mouvements d'ajustements tectoniques reliés aux mouvements provoqués par le tremblement de terre du Saguenay. 2) Une séismicité associée à une bordure du bloc tectonique de Jacques-Cartier (Du Berger et al., 1989).

4.1 Première hypothèse

Comme mentionné précédemment, tous les tremblements de terre localisés au sud-ouest du Lac-St-Jean, ont été enregistrés dans les années quatre-vingt (Figure 29). Toutefois, si on supprime le séisme

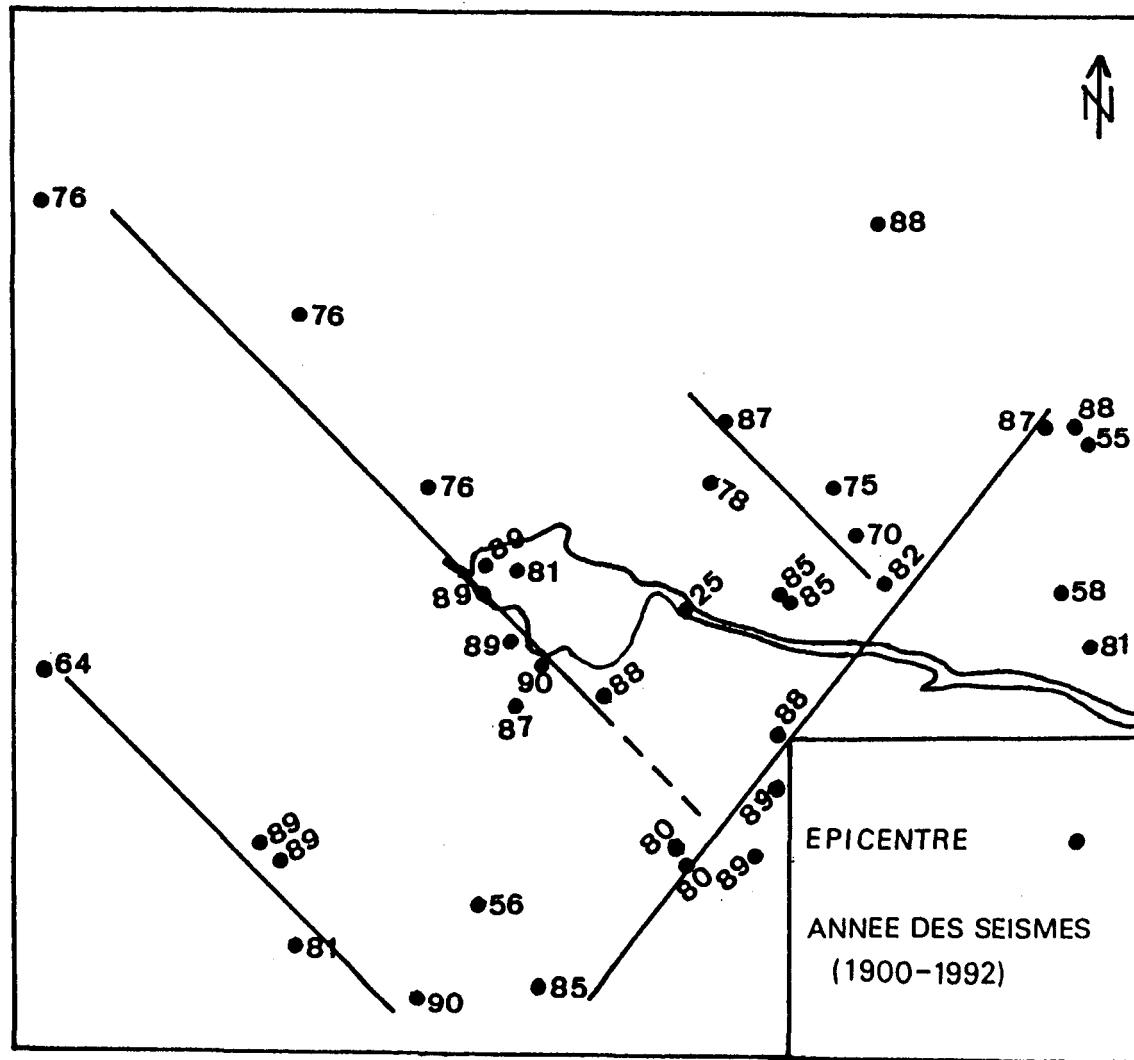
de 1981, tous les autres se sont produits depuis 1987. Or, le tremblement de terre du Saguenay a eu lieu en novembre 1988. On pourrait donc penser à un lien de causalité entre les deux séismicités. Cependant, ces deux systèmes séismiques ne peuvent être liés facilement, car leurs contextes structuraux sont fort différents.

On peut noter aussi sur la figure 29 que les épicentres s'alignent selon des orientations préférentielles perpendiculaires et parallèles à l'ellipse de direction 140 degrés du sud-ouest du Lac-St-Jean. On ne peut toutefois discuter des inter-relations qu'il pourrait y avoir entre ces alignements d'épicentres et celui du sud-ouest du Lac-St-Jean, car l'étude de ces autres zones dépasse le cadre de la présente étude. Cependant, il faut noter que les orientations (parallèle et perpendiculaire) sont les mêmes que celles des deux plans nodaux du tremblement de terre du Saguenay (Du Berger et al., 1989)

4.2 Deuxième hypothèse

Un grand bloc tectonique peut être cerné par les linéaments du mur sud du graben du Saguenay, le Saint-Laurent et le Saint-Maurice (Du Berger et al., 1989). Si la faille du Lac Bouchette représente la continuation en échelons du linéament du Saint-Maurice (moyenne possibilité) et que les failles au sud-ouest du Lac-St-Jean

Figure 29: Tremblements de terre localisés depuis 1900 au Saguenay Lac-St-Jean.



sont reliées au graben du Saguenay (forte possibilité), la zone séismique au sud-ouest du Lac-St-Jean coinciderait alors avec le coin nord-est d'un grand bloc tectonique. Si tel était le cas, on pourrait accorder à cette région un potentiel séismogénique plus important à la lumière de la théorie qui suggère une séismicité plus active à la jonction de linéaments (Talwani et al., 1991). Il est à considérer cependant que la séismicité intra-continentale est relativement basse avec des récurrences généralement longues.

La zone de failles qui s'étend dans l'éventail de directions 120-160 degrés au sud-ouest du Lac-St-Jean devrait éventuellement être étudiée attentivement au cours des prochaines années, car elle pourrait être le lieu d'un séisme important qui pourrait endommager sérieusement les structures critiques dans cette région.

Finalement, il serait bon: 1) D'essayer de voir sur plusieurs décades si la séismicité se poursuit ou s'interrompt au sud-ouest du Lac-St-Jean et au Saguenay. 2) D'étudier les autres alignements d'épicentres montrés à la figure 29 et voir les relations possibles entre ces alignements d'épicentres et celui du sud-ouest du Lac-St-Jean.

On pourra alors entrevoir des réponses aux questions qu'on se pose sur le contexte séismotectonique, puis d'un point de vue plus pratique, mieux évaluer le risque séismique dans l'optique de projets hydro-électriques futurs dans cette région.

CHAPITRE 8

DISCUSSION, INTERPRETATION, MODELISATION

1. INTRODUCTION

Deux grandes théories peuvent expliquer la formation d'un graben. Soit: 1) Les modèles d'extension orthogonale avec des failles normales parallèles et des failles à composantes horizontales de déplacement perpendiculaires à l'axe du graben (Gibbs, 1984; Gibbs, 1985; Lister et al., 1986). 2) Des modèles de failles à composantes horizontales de déplacement (forme des bassins "Pull-apart") qui sont parallèles à l'élargissement du graben et des failles normales qui sont perpendiculaires (plus ou moins 15 degrés) à l'axe du graben. Ce deuxième modèle forme des "Rhombo-chams" (Aydin et Nur, 1982; Mann et al., 1983; Sylvester, 1988).

Les failles normales repérées au Saguenay Lac-St-Jean sont parallèles à l'axe du graben alors que les failles à composantes horizontales de déplacement lui sont perpendiculaires (failles de transfert). Donc, le graben du Saguenay s'est probablement formé dans un régime d'extension plutôt qu'en cisaillement.

Les nombreuses stries subhorizontales retrouvées sur les failles

dans le secteur de Chambord ne proviennent pas d'un système de formation de graben en cisaillement (modèle 2), mais de réactivations plus récentes. Ces réactivations sont venus oblitérer l'ancien système de stries sudverticales associées aux failles normales du graben du Saguenay qui sont retrouvées sporadiquement en particulier sur les affleurements d'anorthosite du secteur de Chambord.

Il est difficile de modéliser la région du Saguenay Lac-St-Jean, car très peu de données sont disponibles. Toutefois, deux modèles faisant appel à une extension ont été retenus comme hypothèses de travail.

2. MODELE DE GRABEN AVEC FAILLES DE TRANSFERT

2.1 Modèle de Ramsay et Huber (1987)

Les segments de failles normales d'un flanc de graben peuvent être liés l'un à l'autre par une faille à pente forte (faille de transfert) (Figure 30A). Le vecteur de mouvement de cette faille de transfert a des composantes verticales et horizontales.

2.2 Similitudes avec le graben du Saguenay

Les failles reliées au graben du Saguenay au Lac-St-Jean varient en direction et les principales sont: 110 et 130 degrés.

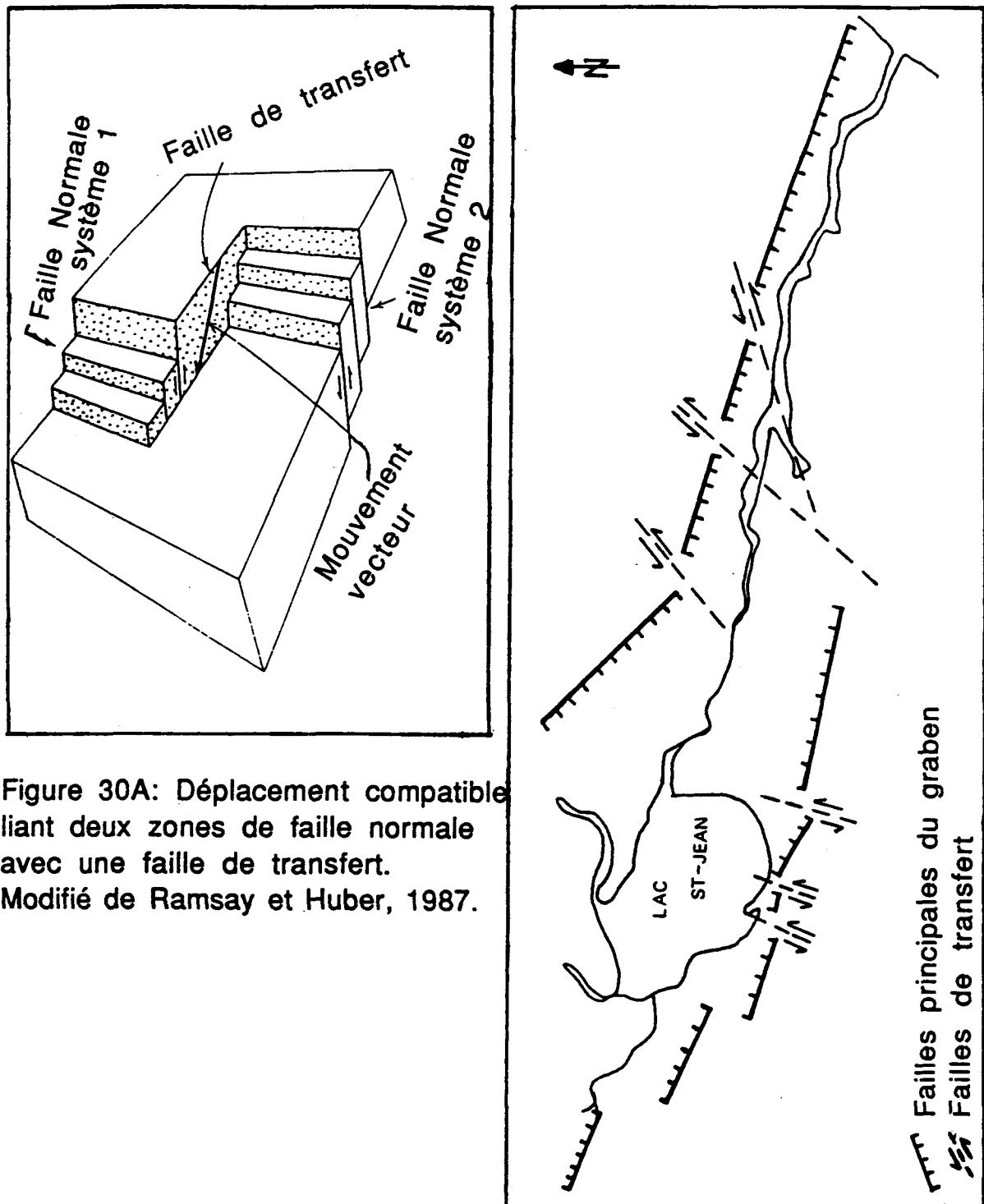


Figure 30B: Représentation schématique des segments de failles du graben du Saguenay intercalés par des failles de transfert.

Ceci correspond aussi à certaines directions principales de fractures identifiées sur le terrain.

Toutes les failles reliées au mur sud du graben du Saguenay, du Lac Kénogami à Roberval, de même que toutes celles du mur nord sont systématiquement décalées de façon senestre par des failles qui varient en direction et dont les principales sont: 030 et 060 degrés (Figure 30B). Ceci correspond aussi à certaines directions principales de fractures identifiées sur le terrain. Le même décalage senestre peut-être observé le long de la rivière Saguenay.

Il est donc possible que ces failles soient des failles de transfert entre les différents segments des failles de graben (Ramsay et Huber, 1987).

Certaines failles qui constituent le réseau principal de la figure 30B furent identifiées dans le secteur de Chambord. En effet, trois segments de graben intercalés de failles de transfert furent repérés dans ce secteur (carte en pochette).

Sur les failles de transfert identifiées dans le secteur de Chambord, il y a des combinaisons de mouvements verticaux et latéraux (stries dans les deux directions) qui pourraient représenter les deux composantes de mouvement (Ramsay et Huber, 1987).

Par contre, les failles à l'Ouest de Roberval sont décalées de

façon dextre, mais leur relation avec le graben du Saguenay reste incertaine.

3. MODELE DE GRABEN ASYMETRIQUE AVEC FAILLES NORMALES LISTRIQUES

3.1 Géométrie de propagation de rift continental asymétrique

Selon Bosworth (1985), quand le "rifting" est initié, deux détachements de faibles angles opposés peuvent se développer simultanément et se propager dans la direction du pôle d'ouverture pour les deux masses continentales divergentes (Figure 31). Un des systèmes de détachement est bloqué peu après, et un demi-graben se développe. Le détachement actif se propage le long de l'axe du rift.

Le traitement théorique de cette propagation de failles est considéré comme une structure entière en évolution. Il y aura augmentation près de la surface des failles listriques à angles forts et une propagation latérale des détachements peu profonds. Eventuellement, la courbure des failles normales listriques fera en sorte que le système favorisera de nouveaux détachements, lesquels seront liés aux précédents par une zone d'accommodation (Figure 31). Le même processus du "rifting" va reprendre, mais cette fois avec un détachement de polarité opposée.

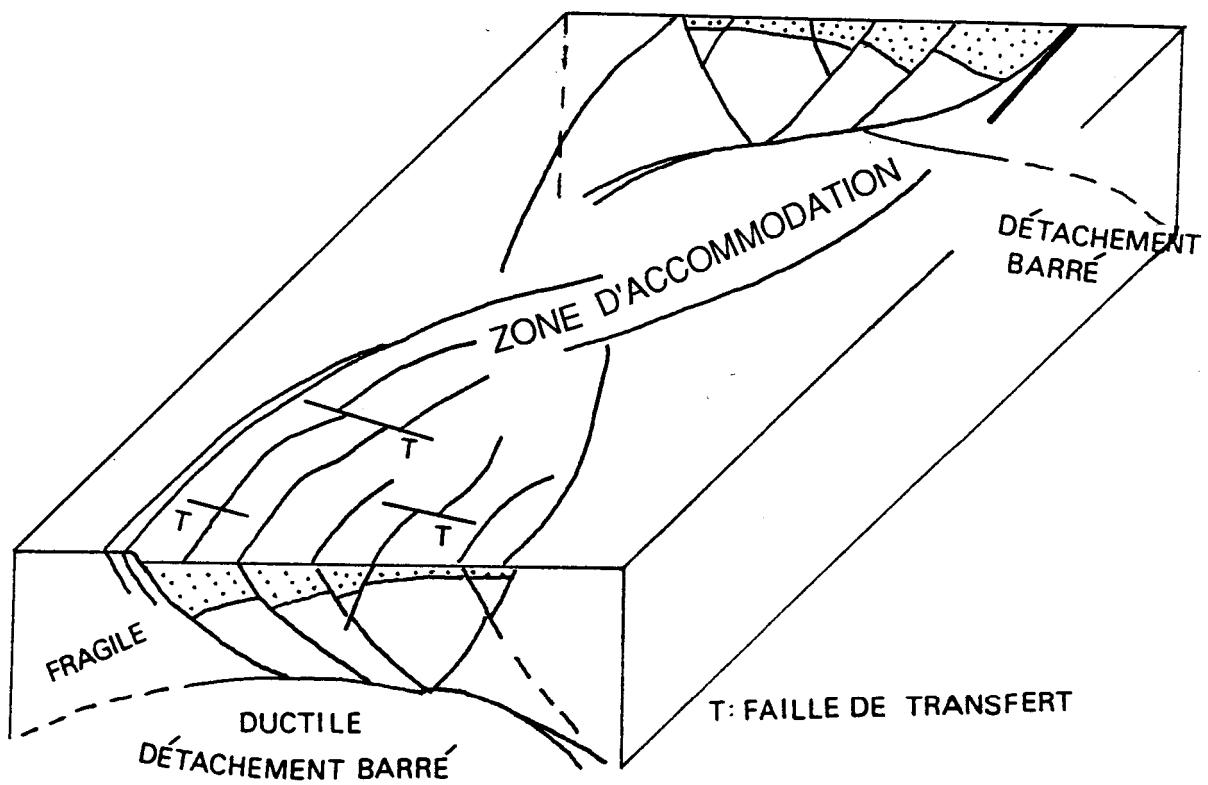


Figure 31: Modèle de propagation de rift continental asymétrique.
Modifié de Bosworth, 1985.

Cela entraînera la formation d'un autre demi-graben, mais opposé au premier. De plus, des failles de transfert (Gibbs, 1984) accompagneront la formation de ces rifts asymétriques (Figure 31).

3.2 Similitudes entre le modèle de développement de rift de Bosworth (1985) et le graben du Saguenay.

On remarque que les murs nord et sud du graben du Saguenay ne sont pas continus. Le mur sud disparaît à l'extrémité est du Lac Kénogami alors que le mur nord disparaît au Lac-St-Jean.

Ceci ne peut être expliqué dans le premier modèle, mais cadre très bien dans le deuxième. En effet, lors de la formation du graben du Saguenay d'est en ouest, le détachement du mur sud s'est probablement bloqué alors que celui du mur nord s'est développé. D'où la présence d'une moitié de graben au nord de la rivière Saguenay, du Fleuve St-Laurent jusqu'au Lac Tchitogama.

Le système a évolué et favorisé de nouveaux détachements. La transition entre l'ancien système et le nouveau est accompagnée d'une zone d'accommodation. Cette zone pourrait représenter le secteur de Larouche à Jonquière. Ensuite, c'est le détachement du mur nord qui s'est bloqué pour favoriser le développement du mur sud au Lac-St-Jean, du Lac Kénogami jusqu'à Roberval.

Donc on se retrouve avec des demi-grabens asymétriques opposés qui sont séparés par une zone d'accommodation (Figure 31).

Les nombreuses failles de transfert qui séparent les segments de graben du premier modèle accompagnent la formation des demi-grabens du second modèle en servant de zones d'accommodations à plus petite échelle.

Ce deuxième modèle cadre très bien avec l'asymétrie du graben du Saguenay et les structures repérées au Lac-St-Jean. Cependant plusieurs travaux restent à faire pour renforcer les bases de ce modèle. Toutefois, il constitue un excellent outil de départ.

4. REACTIVATION EN CISAILLEMENT DES FAILLES FRAGILES

Malgré la présence d'un graben indiquant un faillage normal, à un moment donné de l'histoire géologique régionale, la majorité des failles fragiles de la région du Lac-St-Jean et du Saguenay montrent des stries de friction subhorizontales. Ceci indique une (des) réactivation(s) en cisaillement de la majorité des failles. Cette réactivation est la dernière que la roche ait subie puisque les stries représentent généralement le dernier mouvement.

Deux périodes de réactivation récente des failles peuvent être suggérées: 1) Lors de l'ouverture de l'Atlantique (coulissement

WNW-ESE) (voir chapitre 6). 2) Le système de contrainte actuel pour l'est de l'Amérique du Nord qui est NE-SW.

Donc les nombreuses stries subhorizontales retrouvées en majorité dans le secteur de Chambord proviendraient soit: a) des failles de transfert, ou b) des réactivations en cisaillement des failles fragiles ou c) de la combinaison des deux.

CHAPITRE 9

CONCLUSION

L'étude effectuée sur les discontinuités structurales (joints, failles et cisaillements ductiles) a permis de mieux comprendre la région du Lac-St-Jean structuralement, mécaniquement et géophysiquement.

D'un point de vue structural, les principaux points qui ressortent de cette étude sont :

- 1) La compilation globale des joints des 34 affleurements étudiés au Lac-St-Jean donne une dispersion des mesures dans tous les quadrants. Deux familles ressortent de façon nette: 169/88 et 112/84.
- 2) La compilation des discontinuités structurales (joints, failles et cisaillements ductiles) fait ressortir trois groupes de directions préférentielles: 010-030, 110-125 et 145-170.
- 3) Les patrons de fracturation sont influencés par le type d'unité lithostructurale ce qui explique la forte dispersion dans les quatre quadrants de la compilation globale des joints.
- 4) Cinq secteurs de fracturation homogènes peuvent être identifiés autour du Lac-St-Jean.
- 5) Deux familles de fractures principales sont identifiées; a) l'une à

(169/88) contrôlée par une ancienne fabrique grenvillienne et b) l'autre à (110/81) qui s'étale de 110 à 130 degrés et qui est reliée à la formation du graben du Saguenay.

6) Les discontinuités structurales furent réactivées par des cisaillements après la formation du graben.

7) Le modèle de formation de graben en extension de Bosworth (1985) explique bien les structures retrouvées au Lac-St-Jean. De plus, il a l'avantage d'expliquer l'asymétrie du graben du Saguenay et incorpore les failles de transfert, repérées sur le terrain, et qui sont perpendiculaires aux failles normales listriques.

D'un point de vue mécanique, diverses méthodes de détermination des contraintes sous les conditions fragiles furent testées sur les données des affleurements (1) et (2) de calcaire de Chambord. Mais aucune n'a donné des résultats probants. De plus, il n'est pas certain que si on avait déterminé les contraintes principales dans ce secteur (Chambord), elles représenteraient les contraintes régionales du Lac-St-Jean.

D'un point de vue géophysique, deux zones pourraient éventuellement être seismogéniques au sud-ouest du Lac-St-Jean. L'une de ces zones (alignement d'épicentres à 140 degrés) semble active présentement. Deux hypothèses peuvent être envisagées pour évaluer cette séismicité: 1) une séismicité reliée au tremblement de terre du Saguenay ou 2) une séismicité associée à une bordure d'un grand bloc tectonique (bloc tectonique de Jacques-Cartier).

Le but principal de ce projet était d'essayer de trouver des réponses aux questions posées sur le contexte séismotectonique, à l'aide de l'étude des discontinuités structurales au Lac-St-Jean.

Première question: (Y a-t-il une ou des failles d'orientation d'environ 140 degrés dans le secteur de Chambord-Roberval qui pourrai(en)t être responsable(s) des petits séismes ressentis localement récemment?) Il n'y a pas de faille unique de type San Andreas de direction 140 degrés au sud-ouest du Lac-St-Jean. Cependant, il existe une quantité impressionnante de structures (joints, failles et cisaillements ductiles) dans l'éventail de directions 120-160 degrés.

Deuxième question: (Y a-t-il une relation causale entre ces petits séismes et le tremblement de terre du Saguenay?) Il semble y avoir une relation causale entre ces deux zones séismiques. Cependant, pour avoir une meilleure compréhension entre ces deux zones séismiques (Saguenay versus Lac-St-Jean), nous recommandons une surveillance seismique de ces deux zones au cours des prochaines décades.

Troisième question: (Est-il possible d'avoir dans ce secteur des tremblements de terre de grande magnitude comme celui du Saguenay?) D'après les hypothèses envisagées pour évaluer la séismicité et les structures présentes au sud-ouest du Lac-St-Jean, il pourrait y avoir éventuellement une possibilité de fort séisme dans ce secteur. Cependant, il est à considérer que la séismicité intra-continentale est relativement faible avec des récurrences

généralement longues.

Beaucoup d'autres études seront nécessaires pour pouvoir mieux évaluer les hypothèses posées lors de ce projet et apporter une meilleure compréhension seismo-tectonique et géomécanique de la région du Lac-St-Jean.

REFERENCES

- Angelier, J., et Mechler, P. 1977. Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. Bulletin de la Société géologique de France, (7), XIX, pp. 1309-1318.
- Archambault, G. 1985. Archean wrench fault tectonics and structural evolution of the Blake River Group, Abitibi Belt: Discussion. Canadian Journal of Earth Sciences, 22, pp. 943-945.
- Arthaud, F. 1969. Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissement, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles. Bulletin de la Société géologique de France, (7), XI, pp. 729-737.
- Aydin, A., and Nur, A. 1982. Evolution of pull-apart basins and their scale independence. Tectonics, 1, pp. 91-105.
- Benoît, F.-W. 1960. Preliminary report on Chomedey-Paquet Area. Roberval electoral district, geological survey branch, P.R. 426.
- Benoît, F.W., et Valiquette, G. 1964. Ministère des Richesses naturelles, Québec, Service de l'exploration géologique, Rapport géologique 140.

- Blès, J.-L. 1981. La fracturation des roches. Bureau de recherches géologiques et minières. BRGM, B.P. 6009, 45 060 Orléans cedex.
- Bosworth, W. 1985. Geometry of propagating continental rifts. Marathon international oil company, Houston, Texas. *Nature*, 316.
- Desbiens, S., Lespérance, P.J. 1988. Stratigraphy of the Ordovician of the Lac-St-Jean and Chicoutimi area, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26, pp. 1185-1202.
- Dimroth, E., Woussen, G., and Roy, D.W. 1981. Geological history of the Saguenay region, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, pp. 1506-1522.
- Du Berger, R., Roy, D.W., Lamontagne, M., Woussen, G., North, R.G., Wetmiller, R.J. 1991. The Saguenay (Québec) earthquake of November 25, 1988: seismologic data and geologic setting. *Tectonophysics*, 186, pp. 59-74.
- Gélard, J.-P., Jébrak, M., Prichonnet, G. 1992. Les contraintes phanérozoïques dans la plate-forme du Saint-Laurent, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29, pp. 499-505.
- Gibbs, A.D. 1984. Structural evolution of extensional basin margins. *Journal of Geological Society of London*, 141, pp. 609-620.

Gibbs, A. D. 1985. Discussion on the structural evolution of extensional basin margins. Journal of Geological Society of London, 142, pp. 939-942.

Goodman, R.E. 1989. Introduction to rock mechanics. Second Edition. University of California at Berkeley, 562 p.

Higgins, M., and Van Breemen, O. 1989. Age of the Lac-St-Jean anorthosite and associated mafic rocks. Program with abstracts, Geological Association of Canada meeting, Montréal, May 1989.

Hoek, E., and Diederichs, M. 1989. Dips, version 2.1 Rock engineering group. Department of civil Engineering, University of Toronto.

Lamontagne, E. 1991. Etude de deux tremblements de terre au Lac-St-Jean. Projet de fin d'étude, U.Q.A.C., 18p.

Lister, G. S., Etheridge, M. A., and Symonds, P. A. 1986. Detachment faulting and the evolution of passive continental margins Geology, 14, pp. 245-250.

Mann, P., Hempton, M.R., Bradley, D.C. and Burke, K. 1983. Development of pull-apart basins. Journal Geological, 91, pp. 529-554.

Meissner, R., and Strehlau, J. 1982. Limits of stress in the continental crust and their relation to the depth-frequency relation of shallow earthquakes. Tectonics, 1, pp. 73-89.

- North, R.G., Wetmiller, R.J., Adams, J., Anglin, F.M., Hasegawa, H.S., Lamontagne, M., Du Berger, R., Seeber, L., Ambruster, J. 1989. Preliminary results from the November 25, 1988, Saguenay (Québec) earthquake. *Seismological Research Letters*, 60, pp. 89-93.
- Petit, J.P. 1987. Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. *Journal of Structural Geology*, 9, pp. 597-608.
- Pollard, David D., and Aydin, A. 1988. Progress in understanding jointing over the past century. *Geological society of America Bulletin*, 100, pp. 1181-1204.
- Ramsay, J.G., and Huber, M.I. 1987. The techniques of modern structural geology. Volume 2: Folds and Fractures. Academic Press, 700pp.
- Reches, Ze'ev 1983. Faulting of rocks in three-dimensional strain fields . II. Theoretical analysis. *Tectonophysics*, 95, pp. 133-156.
- Reches, Ze'ev 1990. The stress states associated with slip along clusters of faults: Application to the aftershocks of Morgan Hill earthquake, 1984 and Kalmata earthquake, 1986. *Mechanics of Jointed and Faulted Rock*, Rossmanith (ed.) Balkema, Rotterdam. ISBN 90 6191 155 9.

Rivers, C.T., Martignole, J., Gower, C.F., and Davidson A. 1989. New tectonic divisions of the Grenville Province, southeast Canadian Shield. *Tectonics*, 8, pp. 63-84.

Roy, D.W., Woussen, G., Dimroth, E., and Chown E.H. 1986. The Central Grenville Province: a zone of protracted overlap between crustal and mantle processes. In: J.A. Moore, A. Davidson and Baer A.J. (1986). *New perspectives on the Grenville Province*. Geological Association of Canada. Special Paper, 31, pp. 51-60.

Roy, D.W., Schmidt, L., Woussen, G., and Du Berger, R. 1993. Airborne SAR images and the tectonic setting of the 1988 Saguenay earthquake, Québec, Canada. Presented at the ninth thematic conference on geologic remote sensing, Pasadena, California, USA, 8-11 february 1993.

Scholz, C.H. 1988. The brittle-plastic transition and the depth of seismic faulting. *Geologische Rundschau*, 71, pp. 319-328.

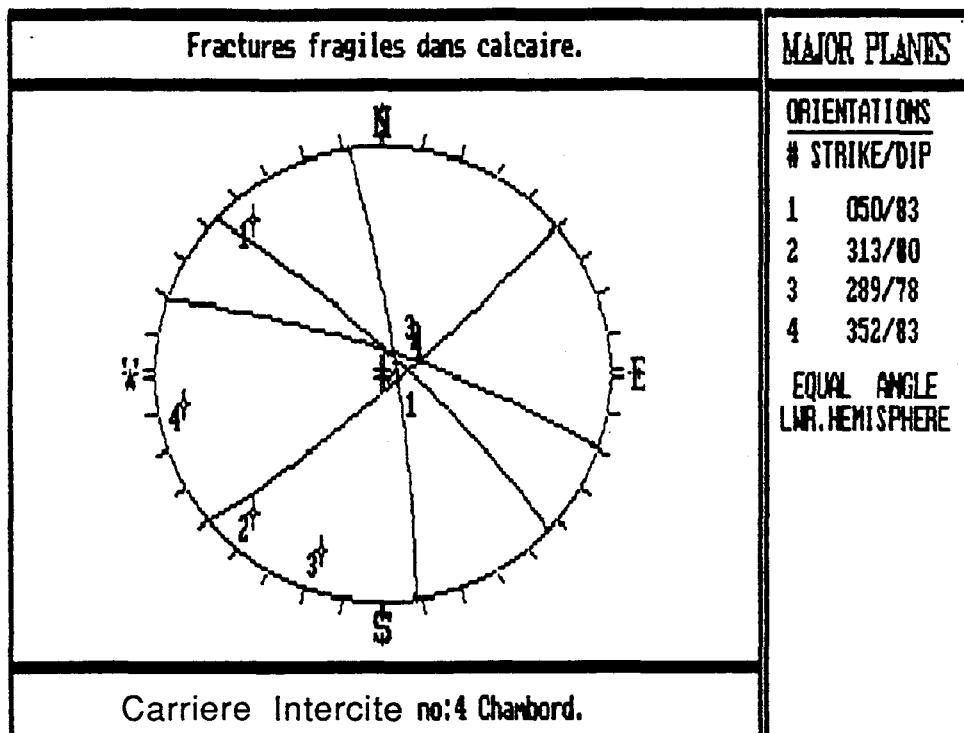
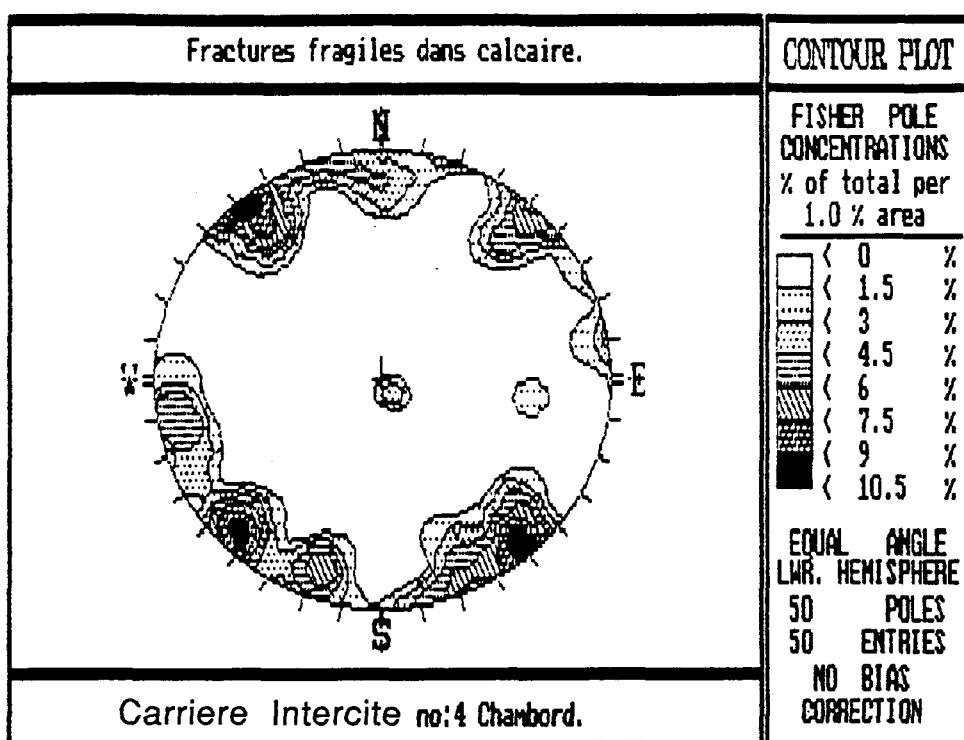
Sibson, R.H. 1982. Fault zone models heat flow and the depth distribution of earthquakes in the continental crust of the United States. *Seismological Society America Bulletin*, 72, pp. 151-163.

Stockmal, G.S., Colman-Sadd, S.P., O'Brien, S.J., and Quinlan, G. 1987. Collision along an irregular margin: a regional plate tectonic interpretation of the Canadian Appalachians. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 24, pp. 1098-1107.

- Sutter, J.F. and Smith, T. E. 1979. $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ Age of diabase intrusions form newark trend basins in Connecticut and Maryland: Initiation of central Atlantic rifting. *American Journal of Science*, 11, pp. 1208-1219.
- Sylvester, A.G. 1988. Strike-slip faults. *Bulletin of the Geological Society of America*, 100, pp. 1666-1703.
- Talwani, P., and Rajendran, K. 1991. Some seismological and geometric features of intraplate earthquakes. *Tectonophysics*, 186, pp. 19-41.
- Terzaghi, R.D. 1965. Sources of errors in joint surveys; *Geotechnique*, 15, pp. 287-304.
- Van der Voo, R. 1992. Jurassic paleopole controversy: Contributions form the Atlantic-bordering continents. *Departement of geological Sciences, University of Michigan. Geology*, 20, pp. 975-978.
- Woussen, G., Martignole, J. and Nantel, S. 1988. The Lac-St-Jean anorthosite in the St-Henri-de-Taillon area (Grenville Province): A relic of a layered complex. *Canadian Mineralogist*, 103, pp. 1013-1125.

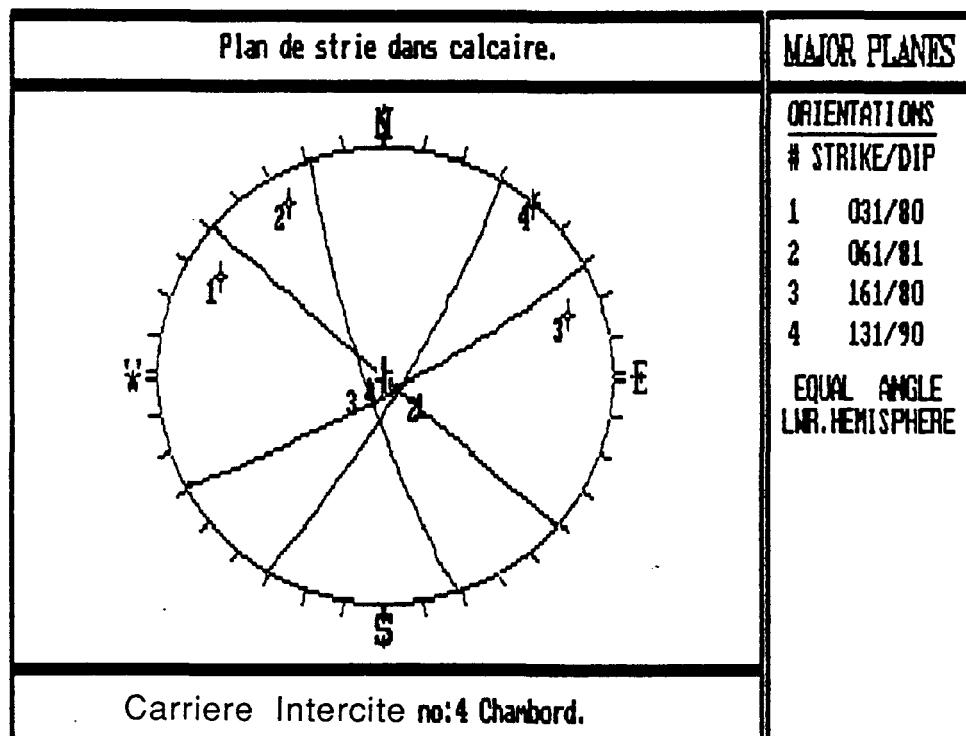
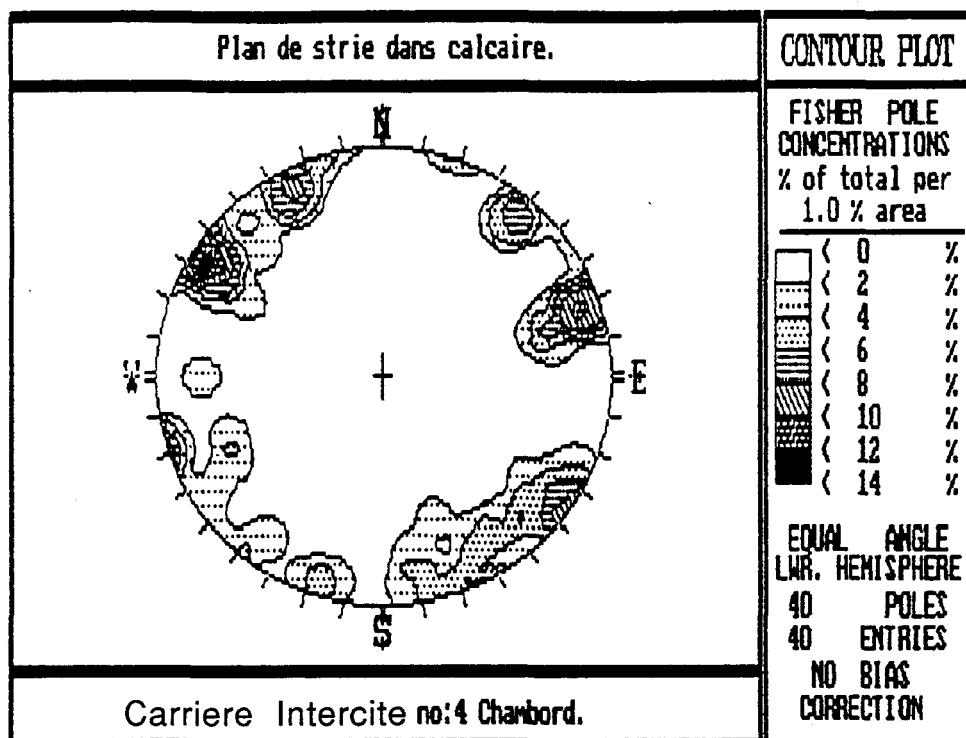
APPENDICE ICOMPILEATION DES JOINTS, PLANS DE STRIES ET STRIESUnité lithostructurale 1. Calcaire Trenton-shistes Utica

1. Aff. 1 Carrière Intercite Chambord (Calcaire Trenton)
2. Aff. 2 Côte Chambord (Calcaire Chambord)
3. Aff. 26 Carrière Roberval (Calcaire Trenton)
4. Aff. 27 Plage Roberval (Calcaire Trenton)
5. Aff. 32 Pointe Chambord (Calcaire Chambord)



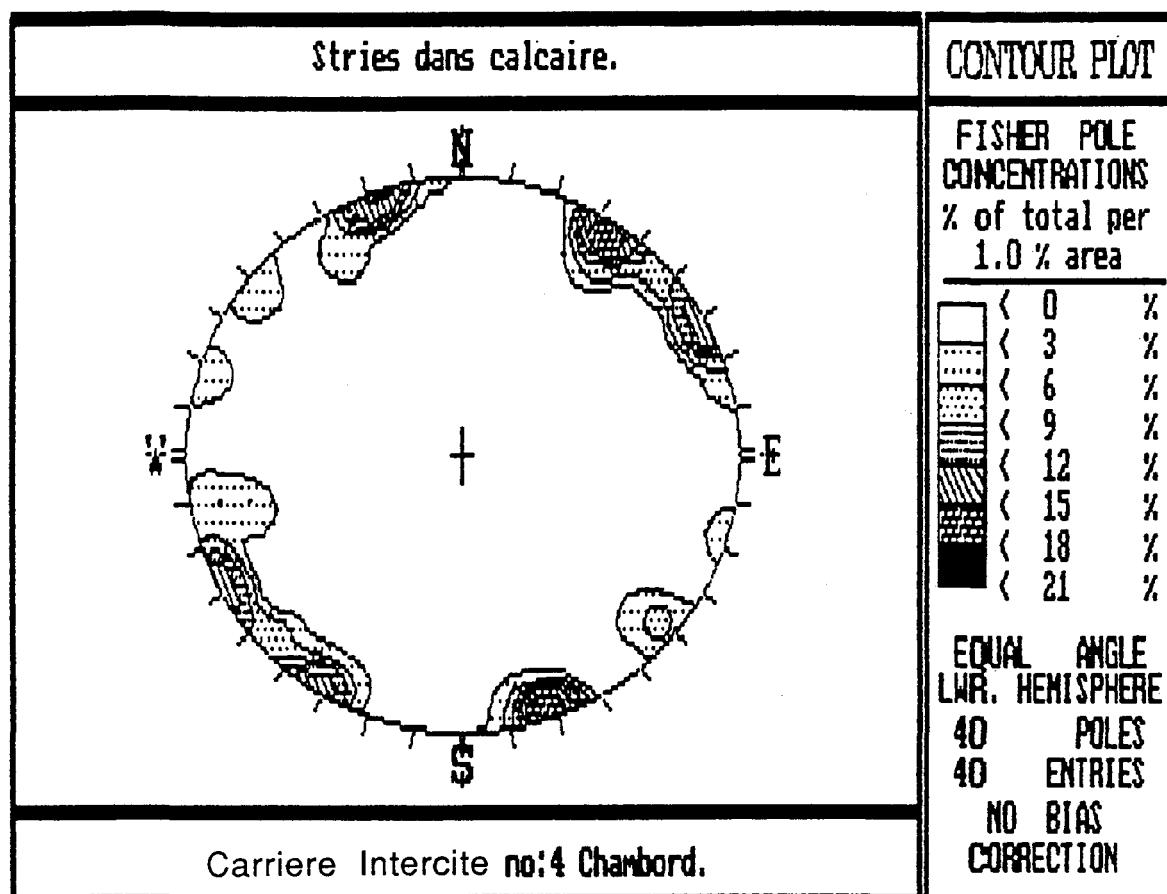
APPENDICE I: Figure 1

Compilation des joints sur l'affleurement 1

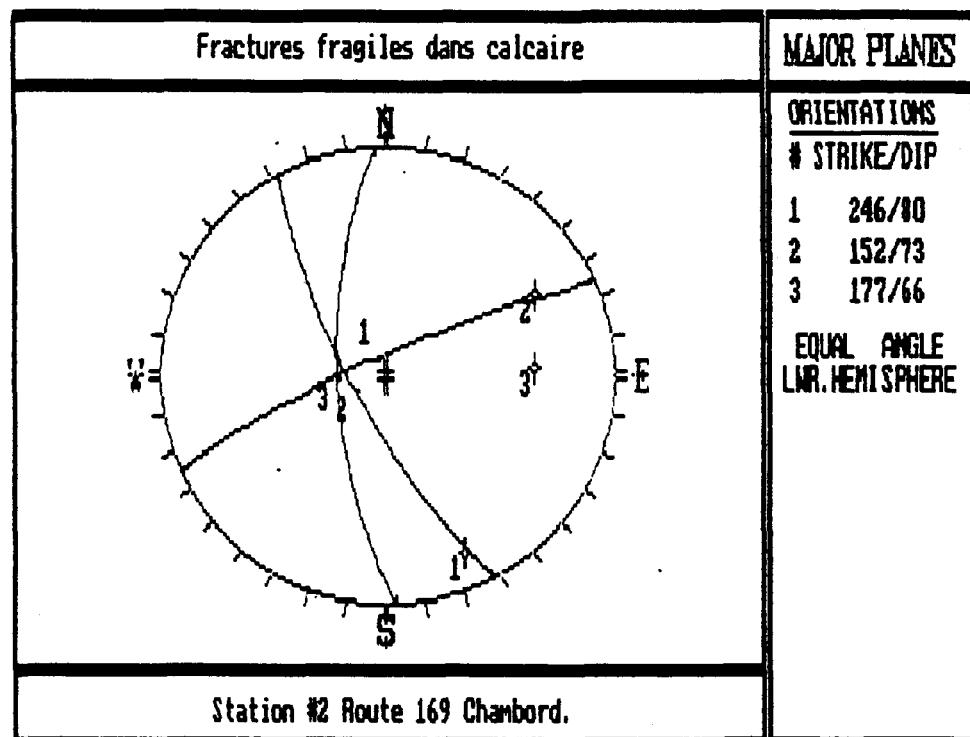
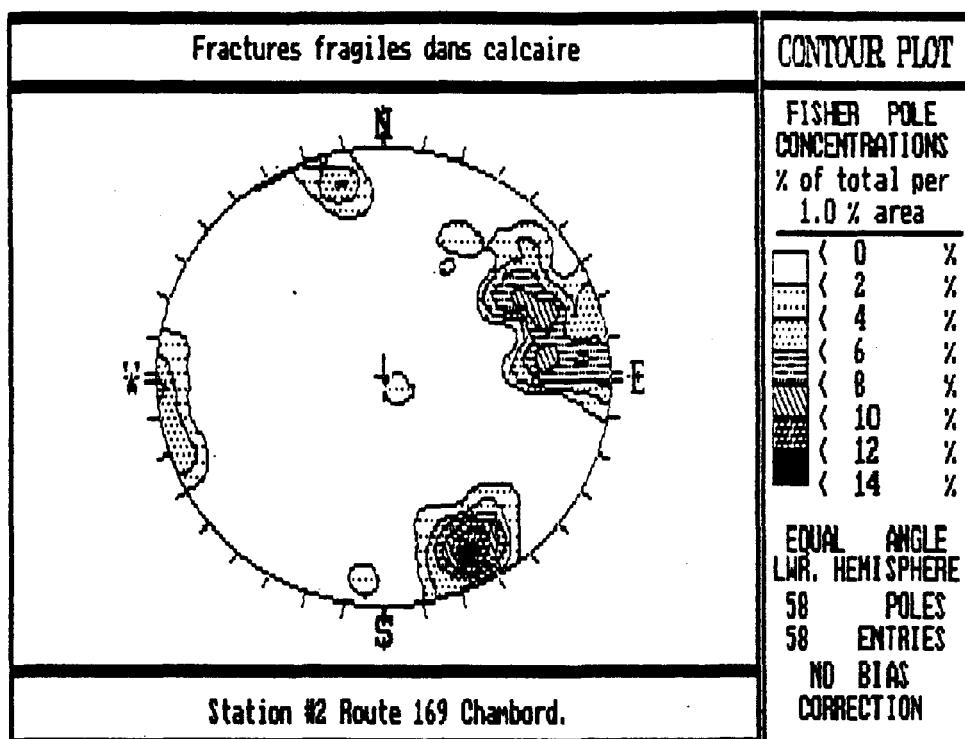


APPENDICE I: Figure 2

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 1

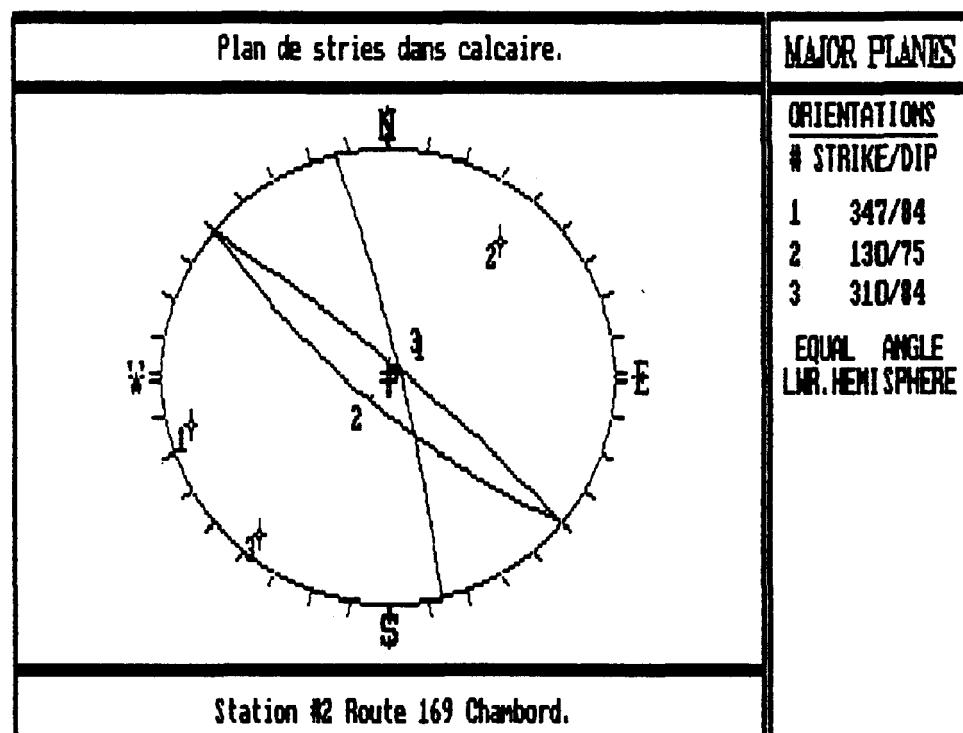
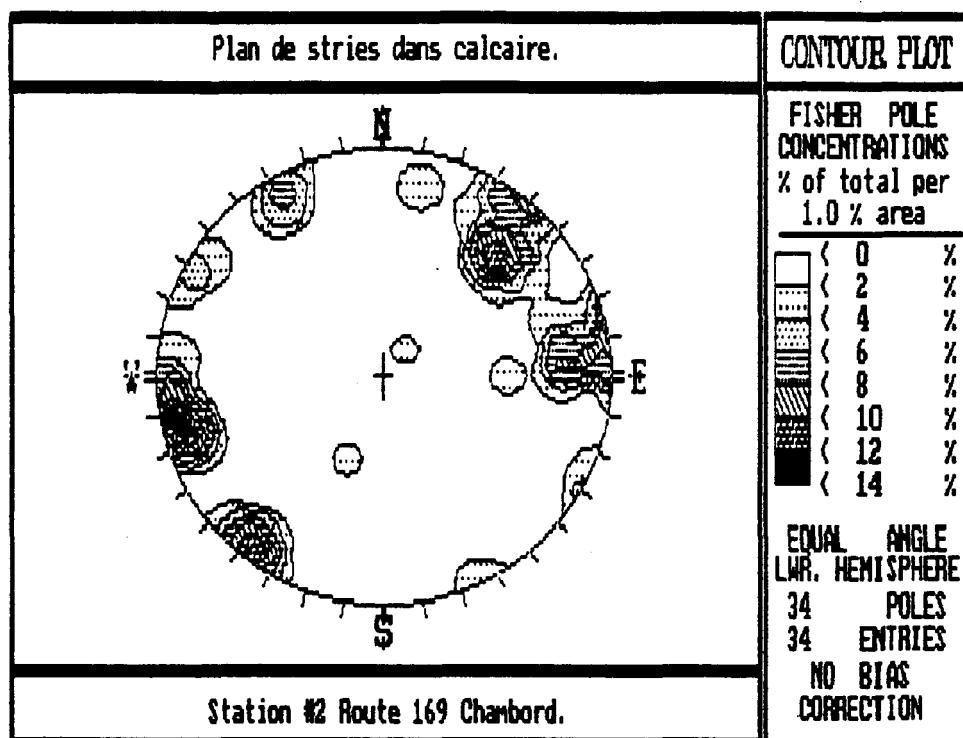


APENDICE I: Figure 3
Compilation des stries sur l'affleurement 1



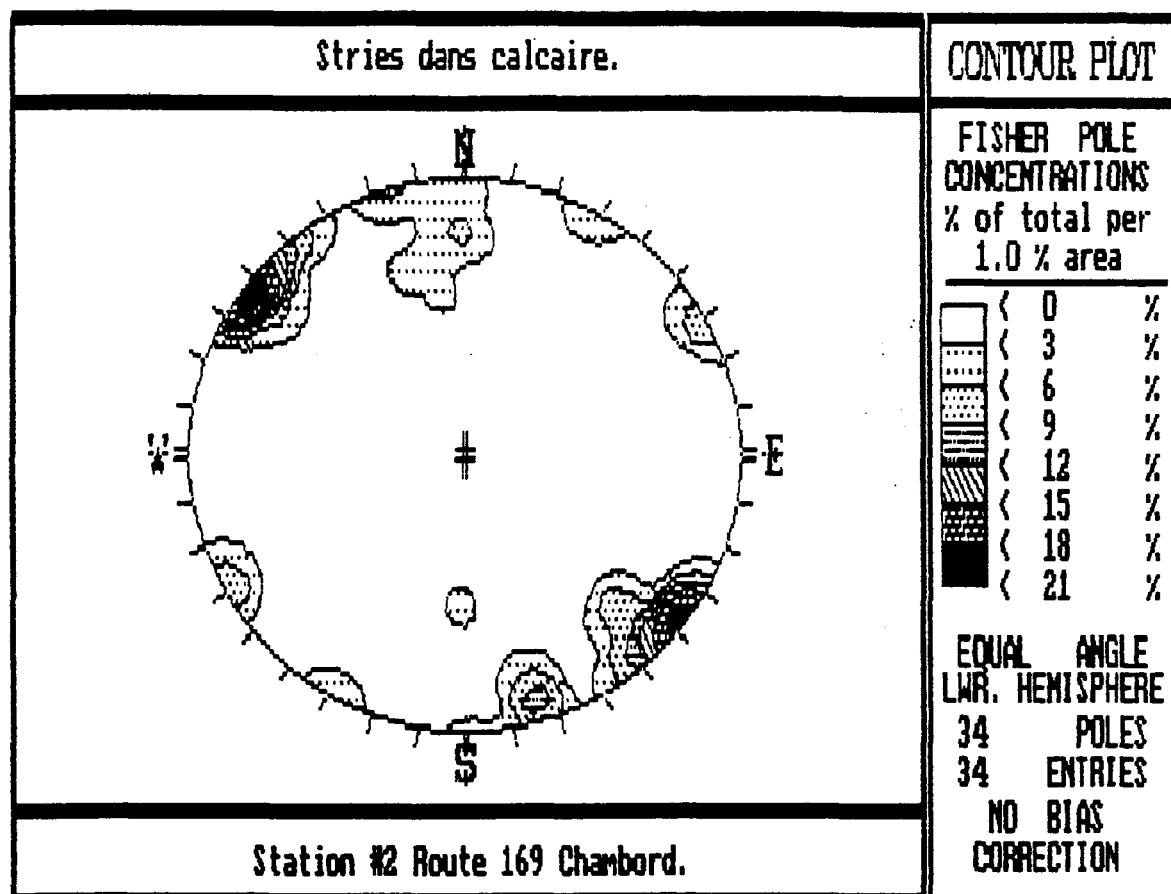
APPENDICE I: Figure 4

Compilation des joints sur l'affleurement 2



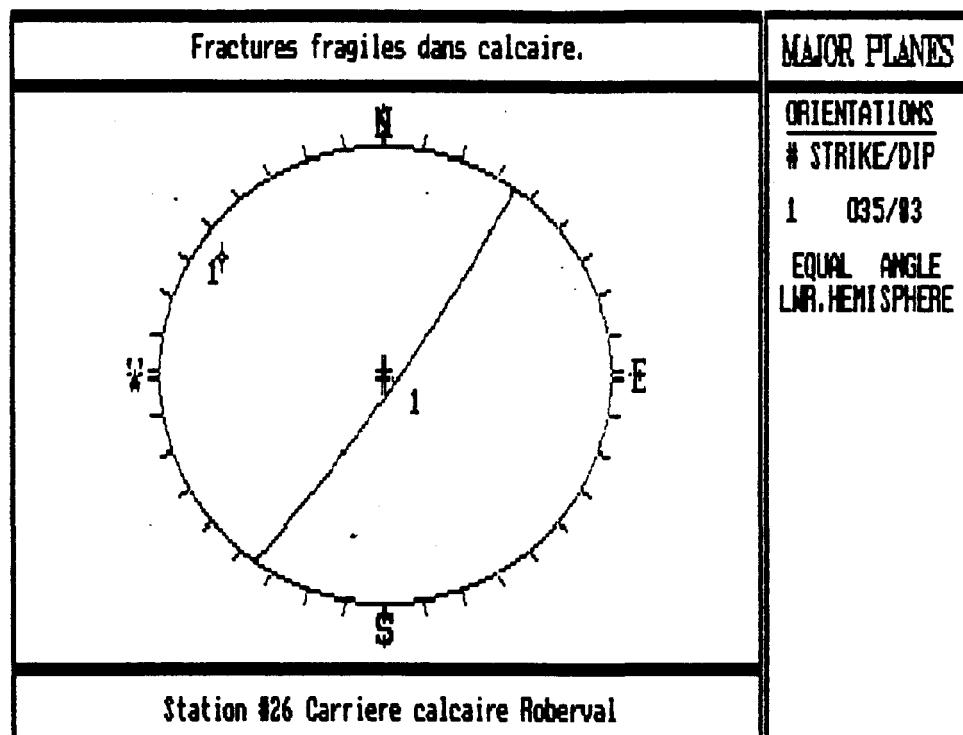
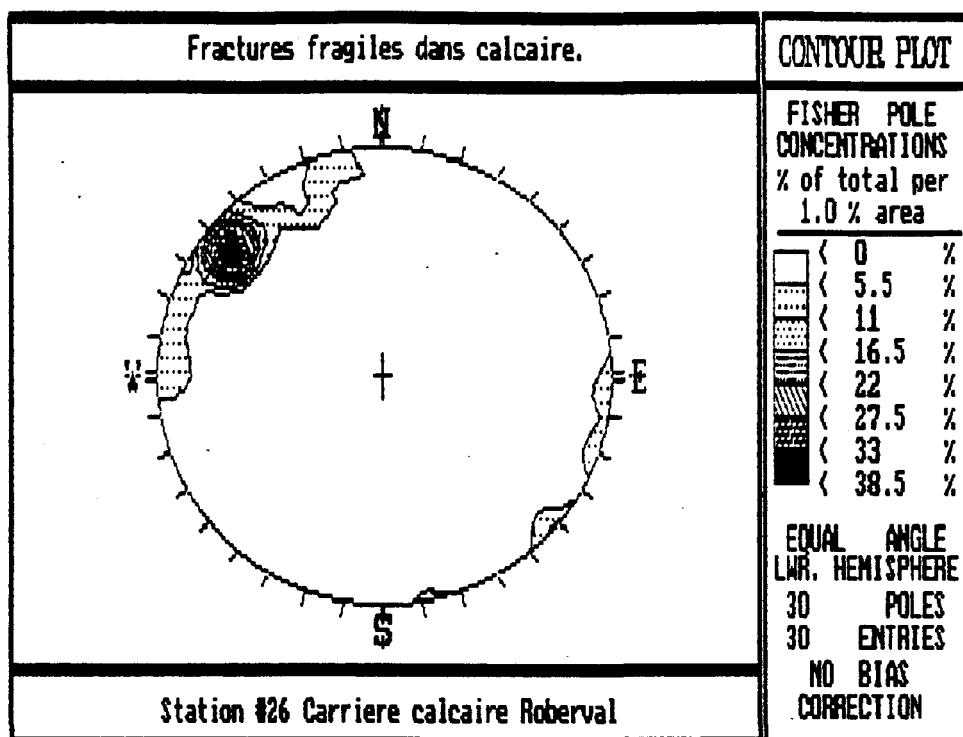
APPENDICE I: Figure 5

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 2



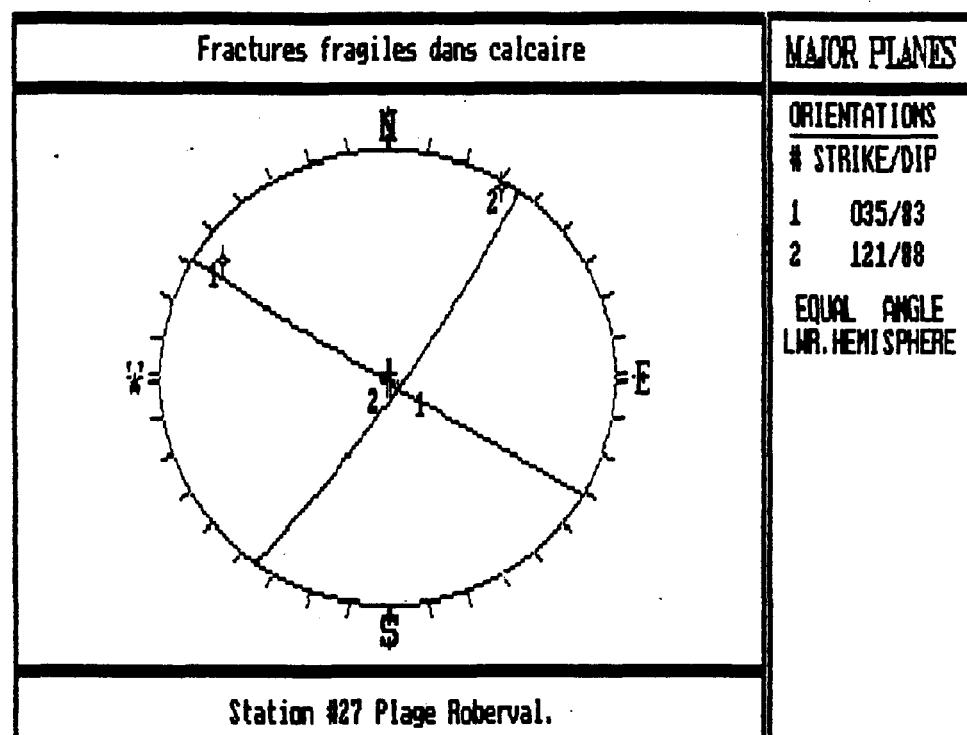
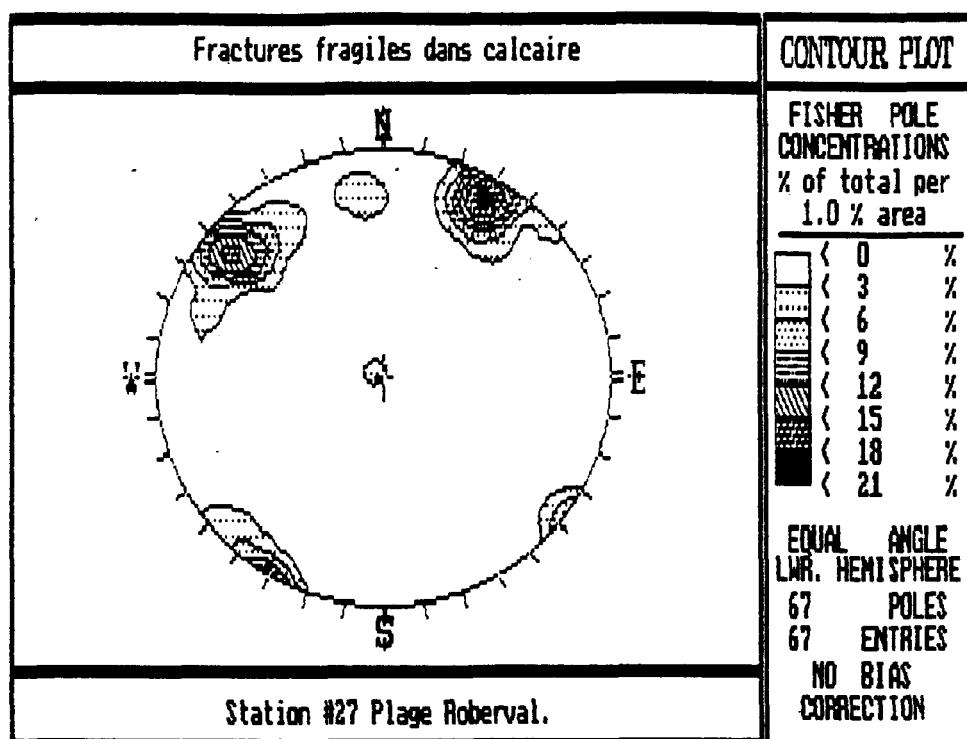
APENDICE I: Figure 6

Compilation des stries sur l'affleurement 2



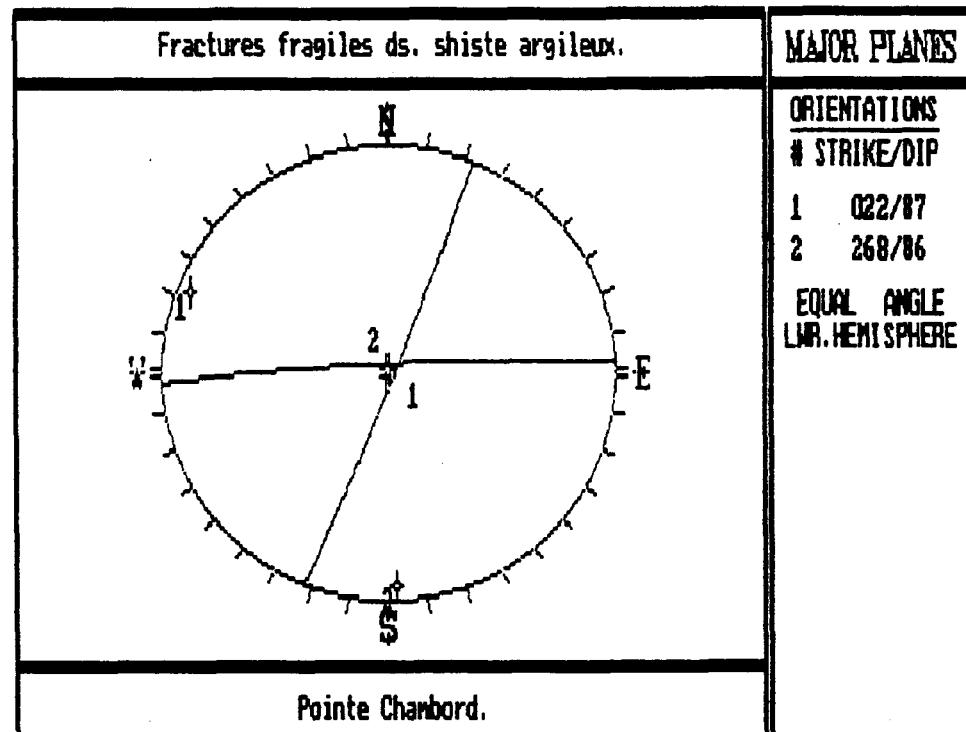
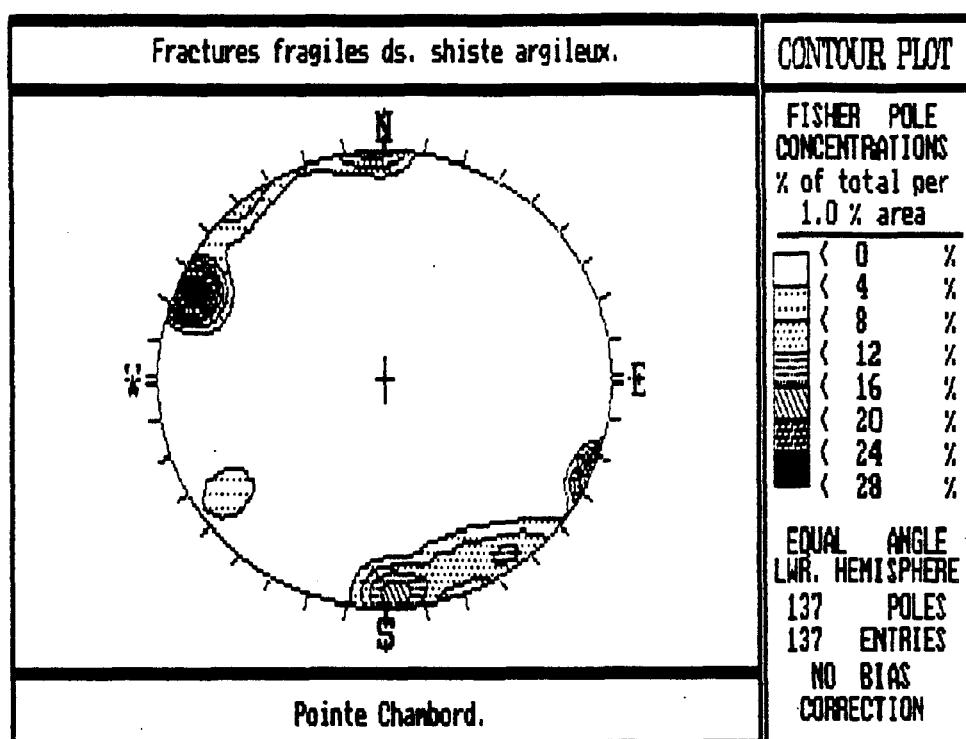
APPENDICE I: Figure 7

Compilation des joints sur l'affleurement 26



APPENDICE I: Figure 8

Compilation des joints sur l'affleurement 27



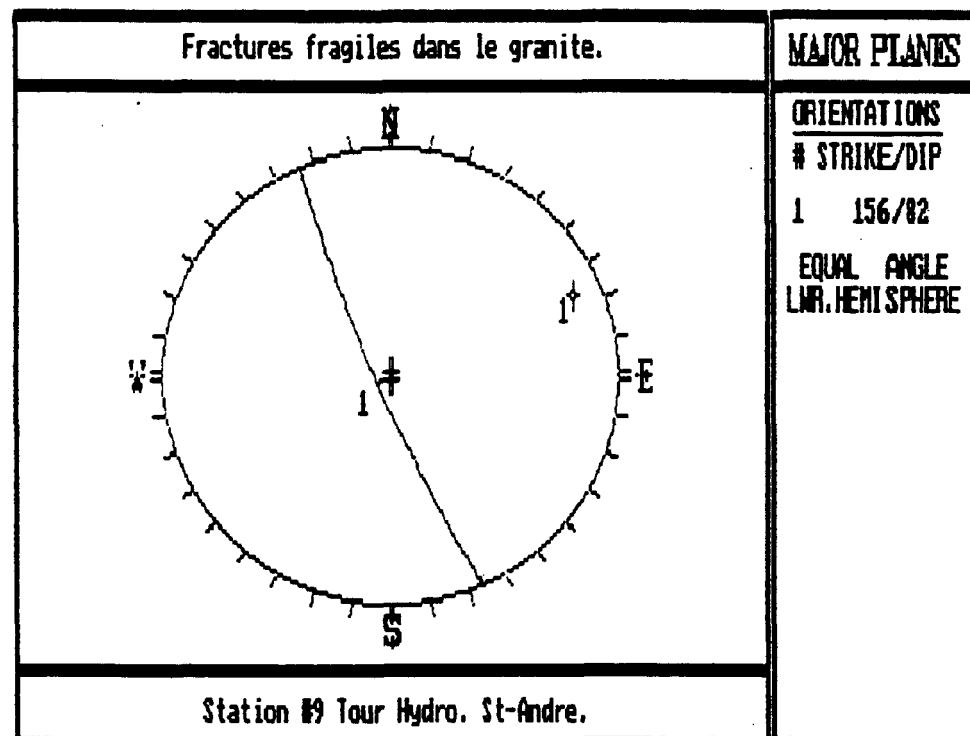
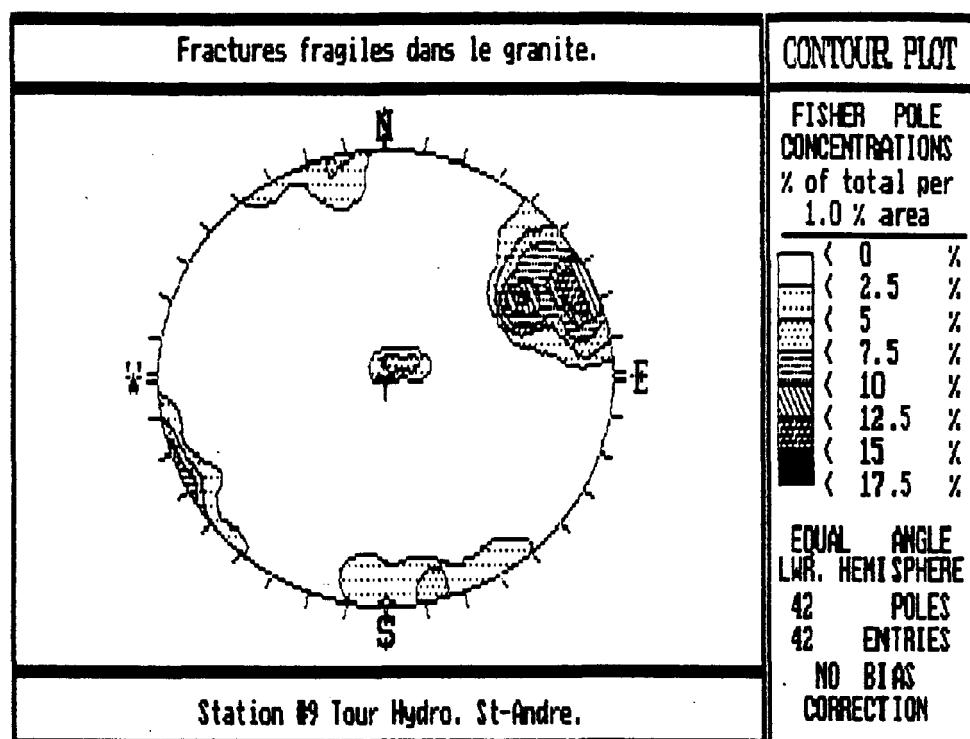
APPENDICE I: Figure 9

Compilation des joints sur l'affleurement 32

APPENDICE II
COMPILEATION DES JOINTS

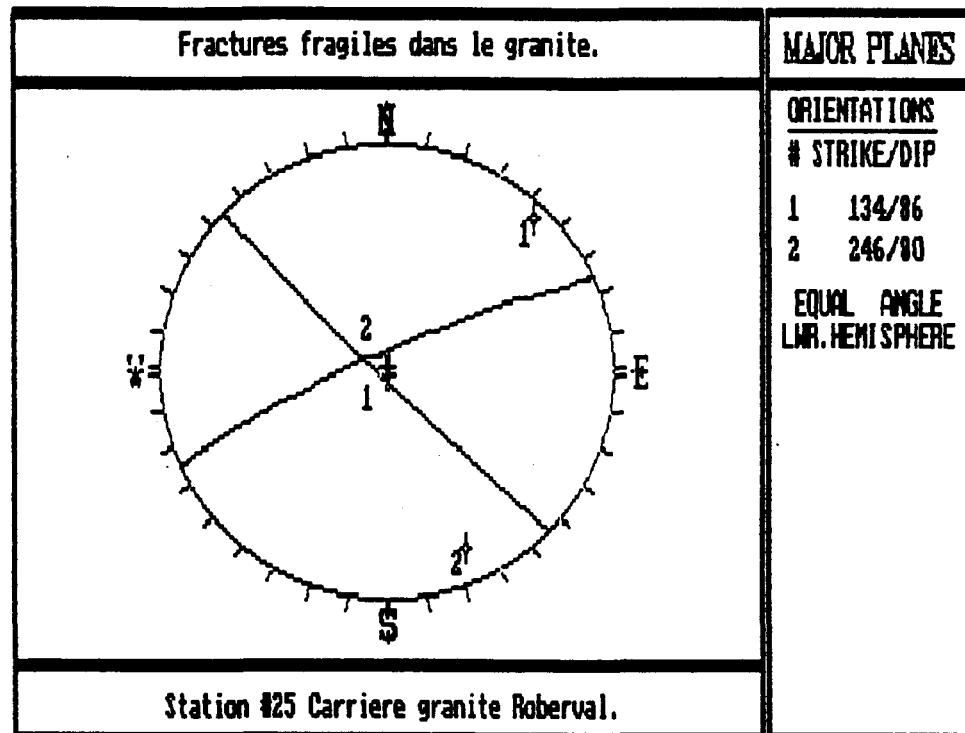
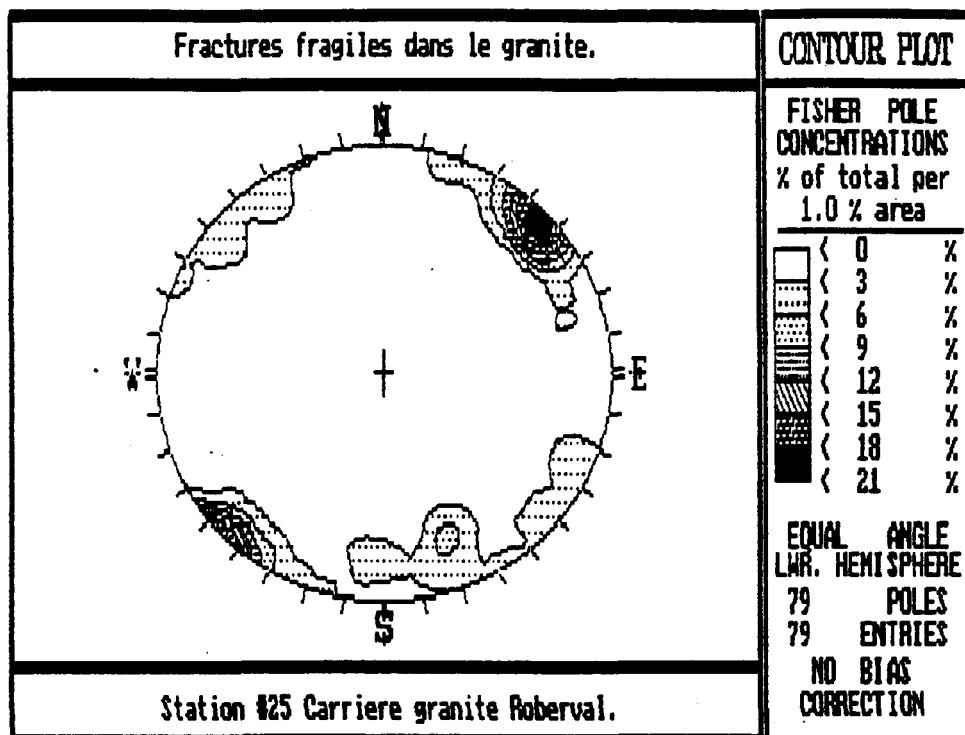
Unité lithostructurale 2. Granites Tardi-tectoniques

1. Aff. 9 Tour de comminication St-André
2. Aff. 25 Carrière granite Roberval
3. Aff. 28 Rang Nord Roberval
4. Aff. 29 Chemin cultivateur Nord de Roberval
5. Aff. 30 Rang Nord Roberval
6. Aff. 31 Côte St-Prime



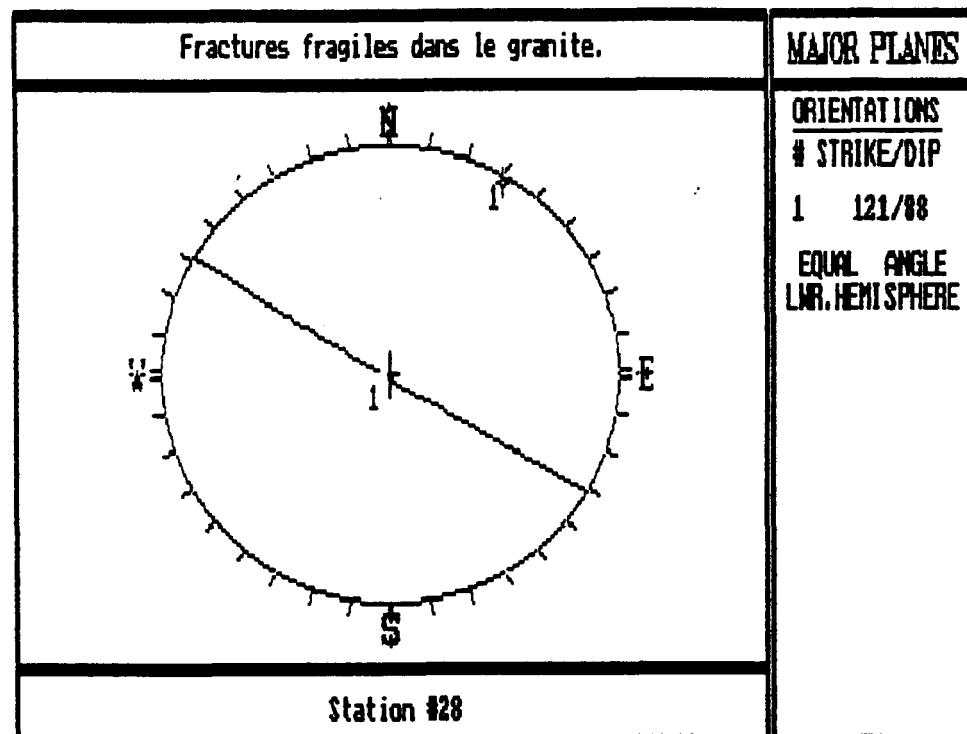
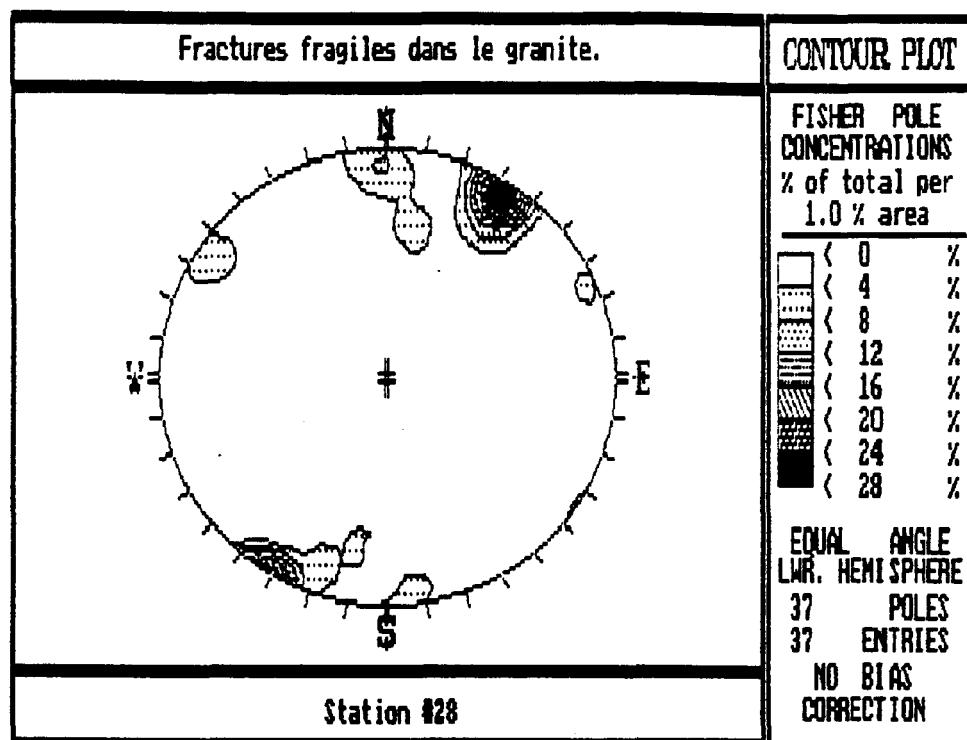
APPENDICE II: Figure 1

Compilation des joints sur l'affleurement 9



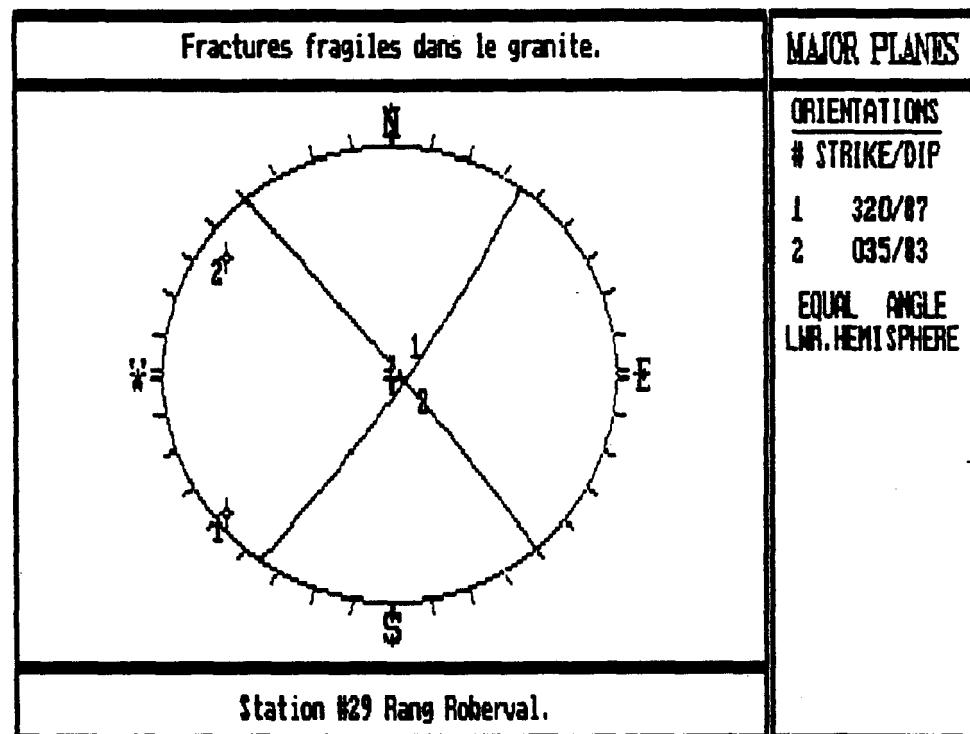
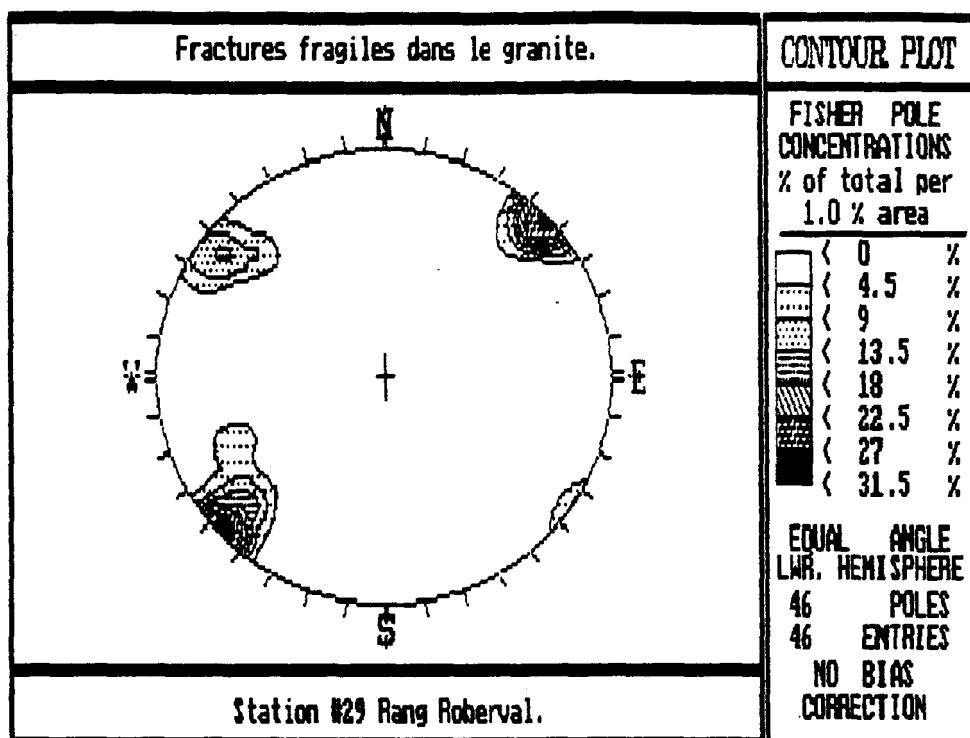
APPENDICE II: Figure 2

Compilation des joints sur l'affleurement 25



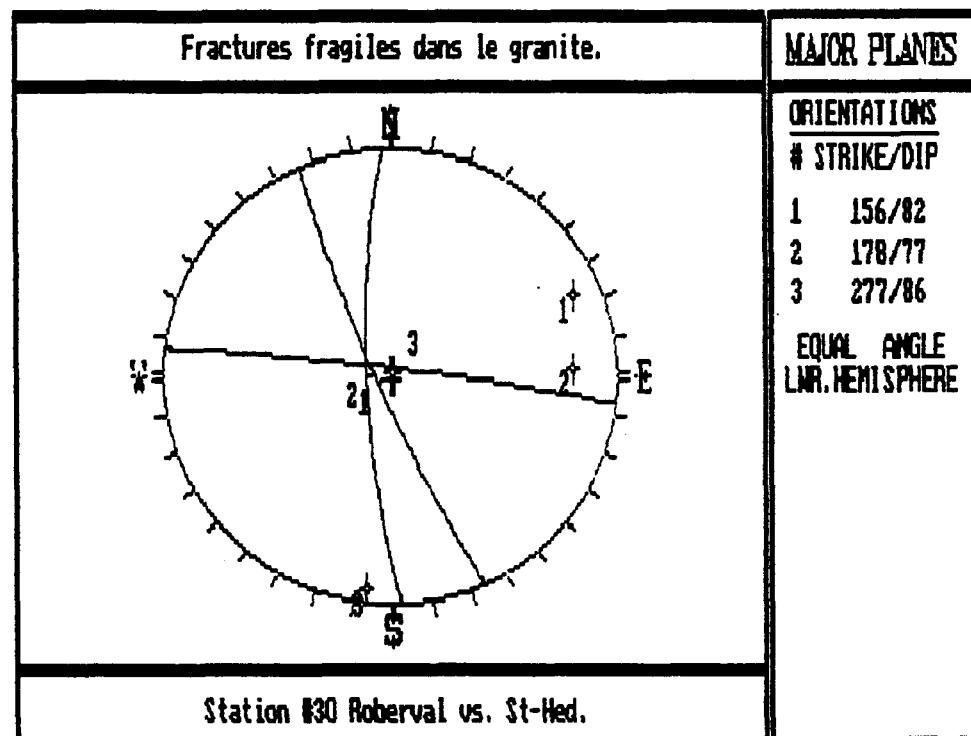
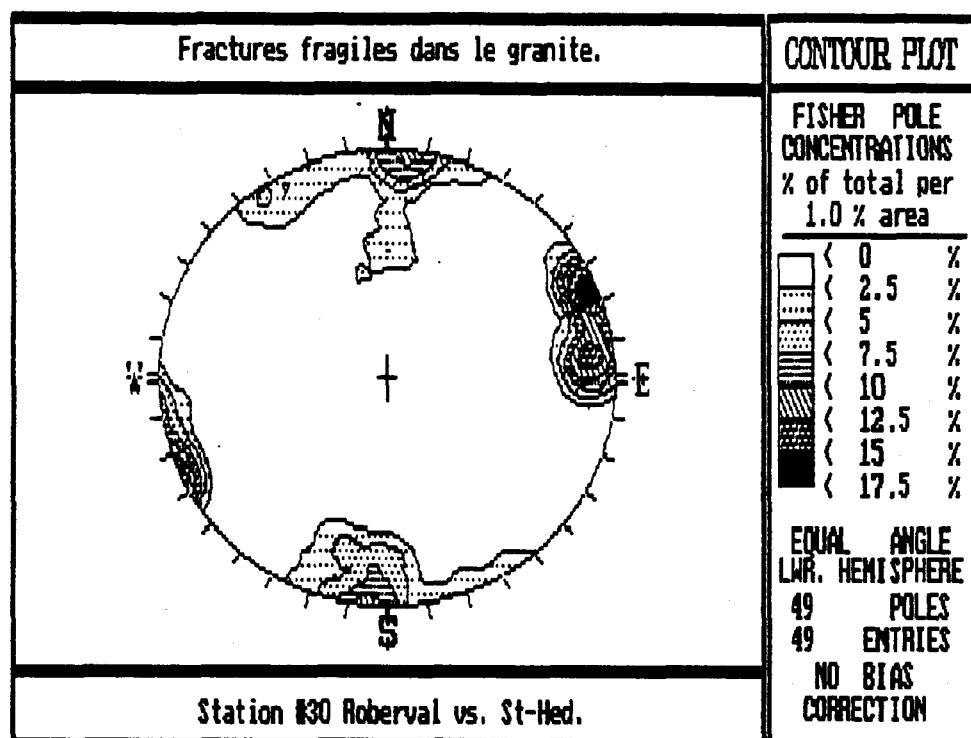
APPENDICE II: Figure 3

Compilation des joints sur l'affleurement 28



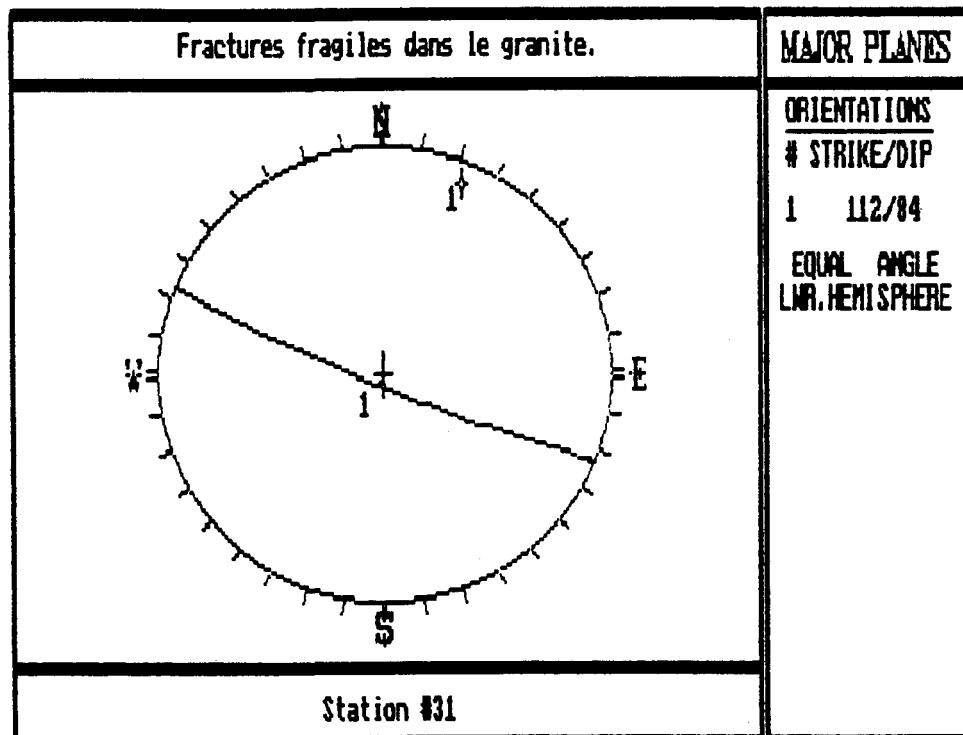
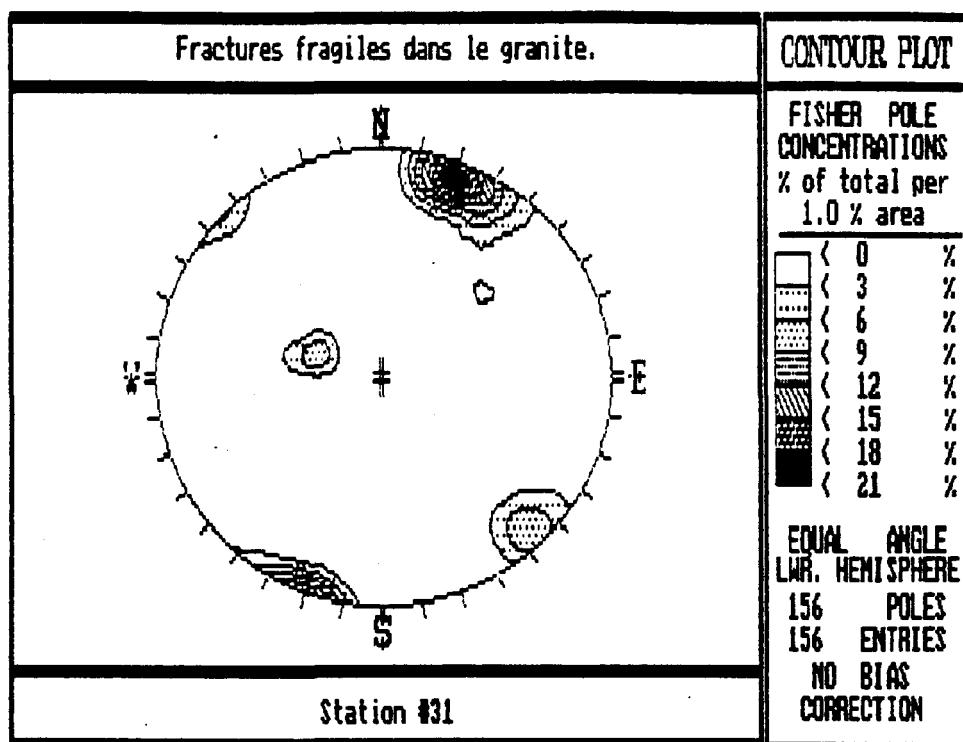
APPENDICE II: Figure 4

Compilation des joints sur l'affleurement 29



APPENDICE II: Figure 5

Compilation des joints sur l'affleurement 30

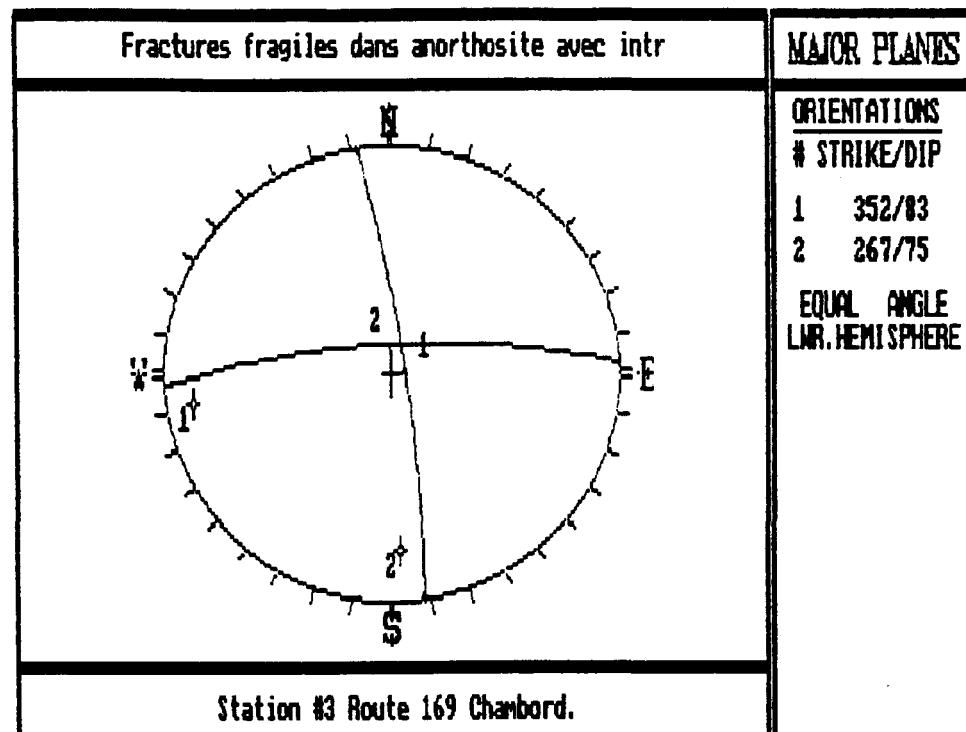
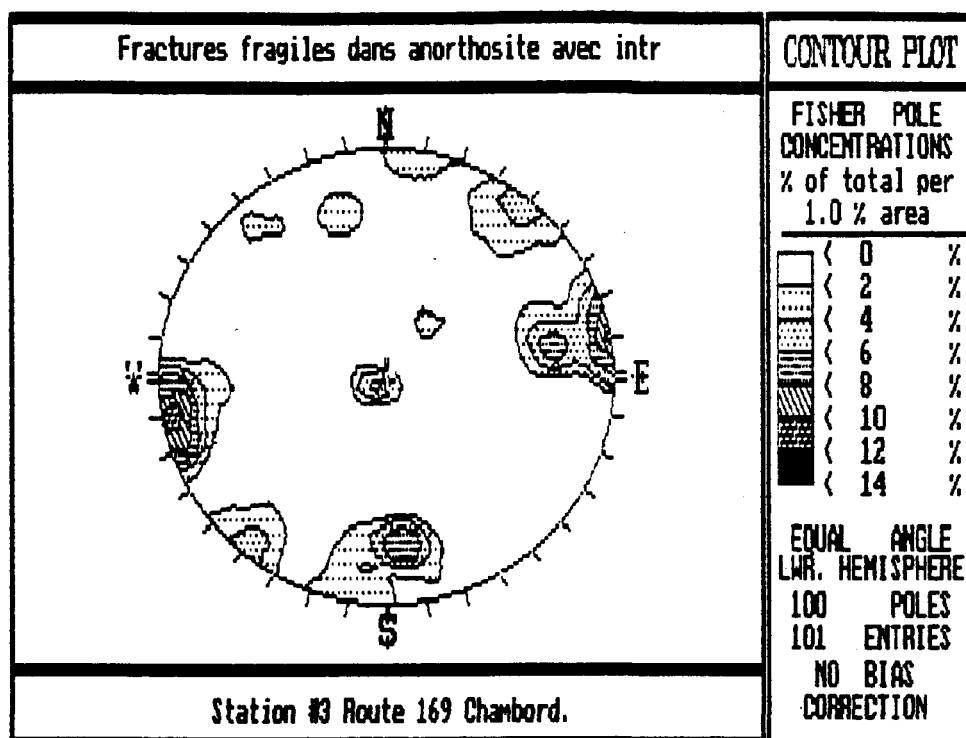


APPENDICE II: Figure 6

Compilation des joints sur l'affleurement 31

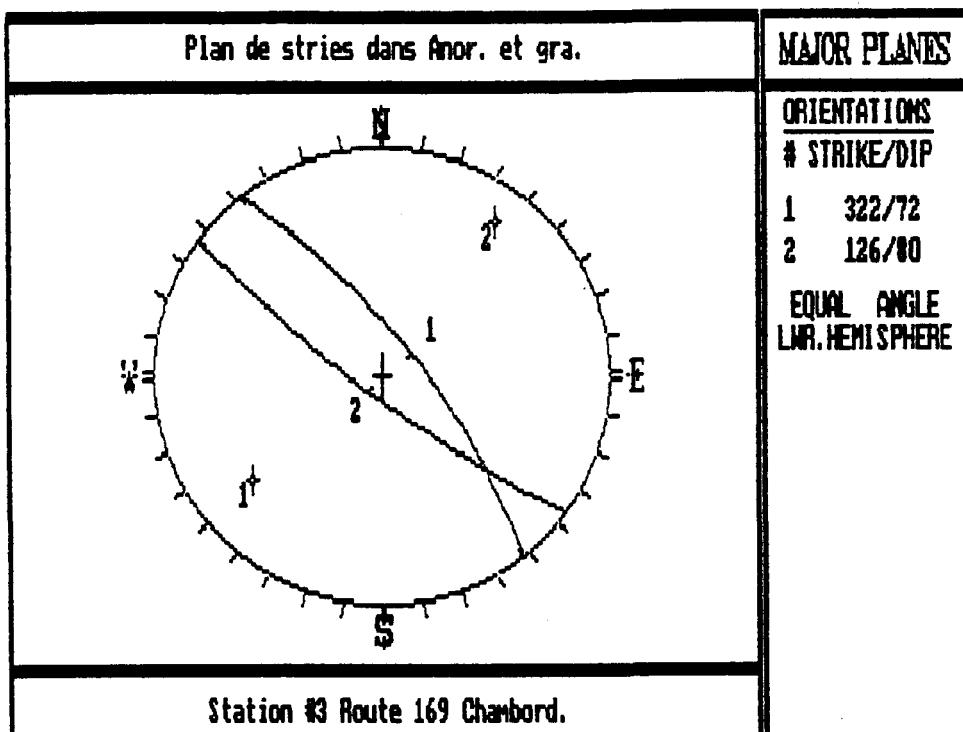
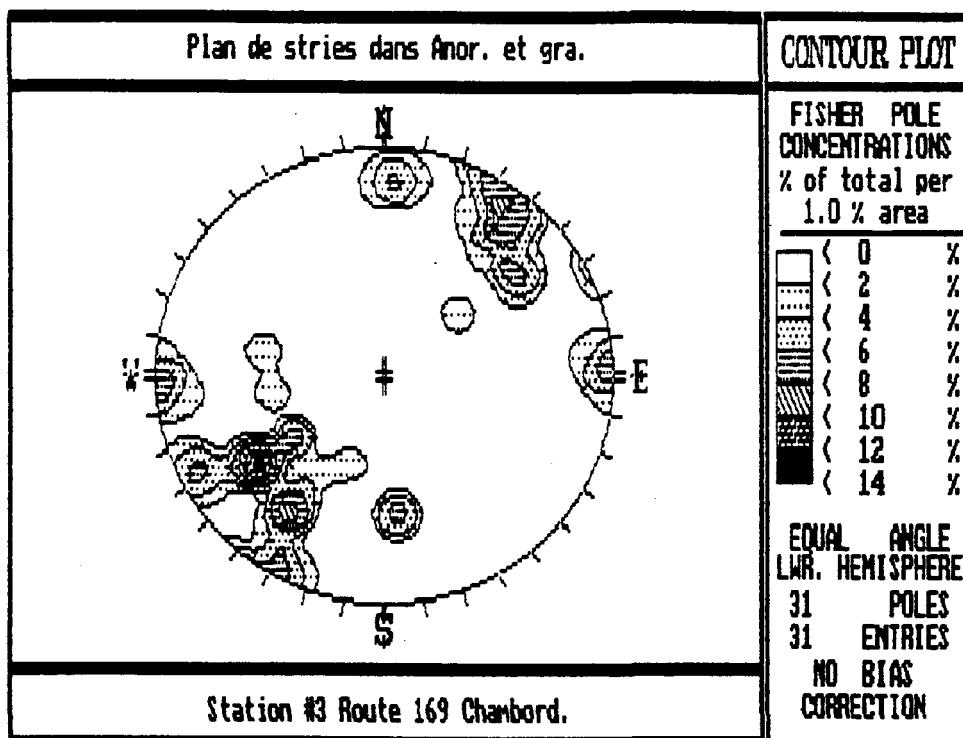
APPENDICE IIICOMPILED DES JOINTS, DES PLANS DE STRIES ET DES STRIESUnité lithostructurale 3. Anorthosite du Lac-St-Jean

1. Aff. 3 Côte Chambord , route 169
2. Aff. 7 Trou de la fée, Desbiens
3. Aff. 8 Route St-André Métabetchouan
4. Aff. 10 Route St-André Métabetchouan
5. Aff. 12 Route 155 Côte Chambord
6. Aff. 17 Route 155 Lac Bouchette
7. Aff. 20 Carrière Granite National Alma
8. Aff. 21 Carrière Inter-Cité Alma
9. Aff. 24 Route 169 St-Henri-de-Taillon



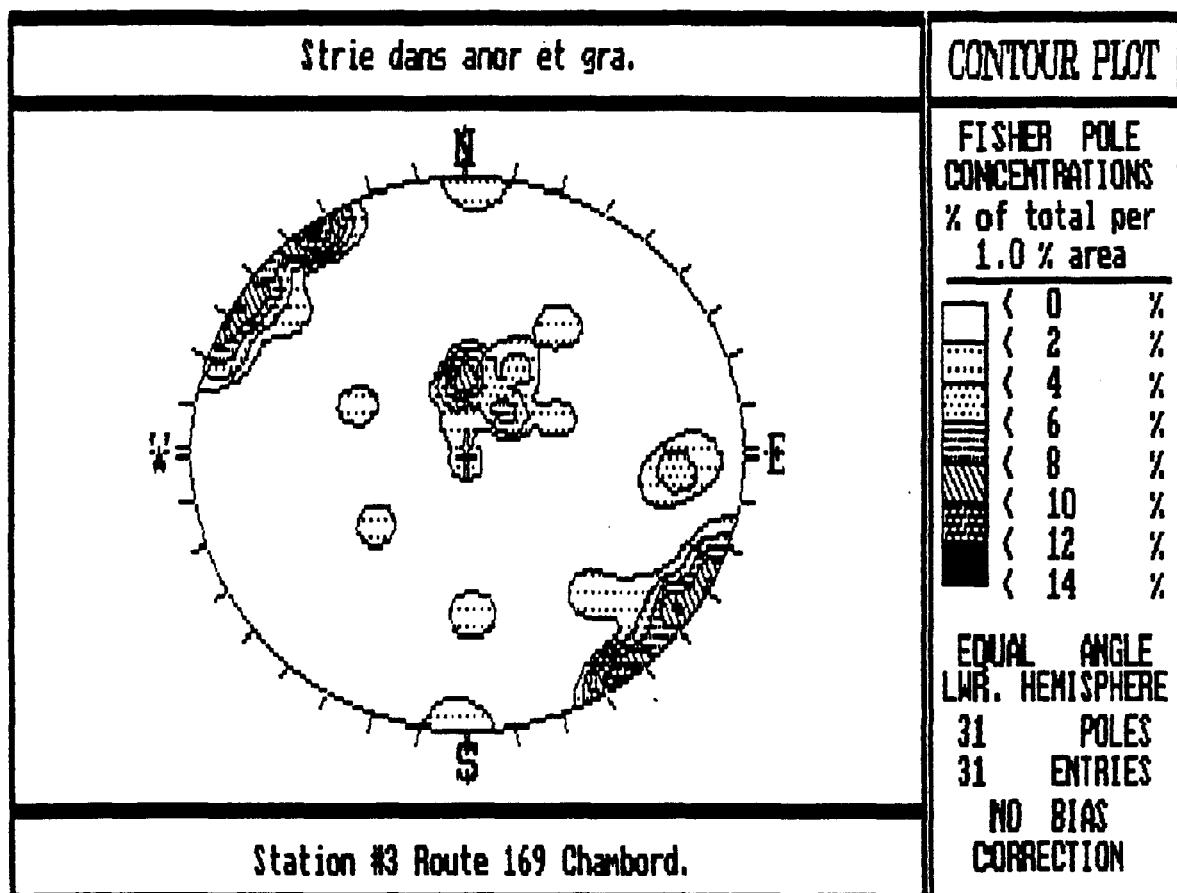
APPENDICE III: Figure 1

Compilation des joints sur l'affleurement 3



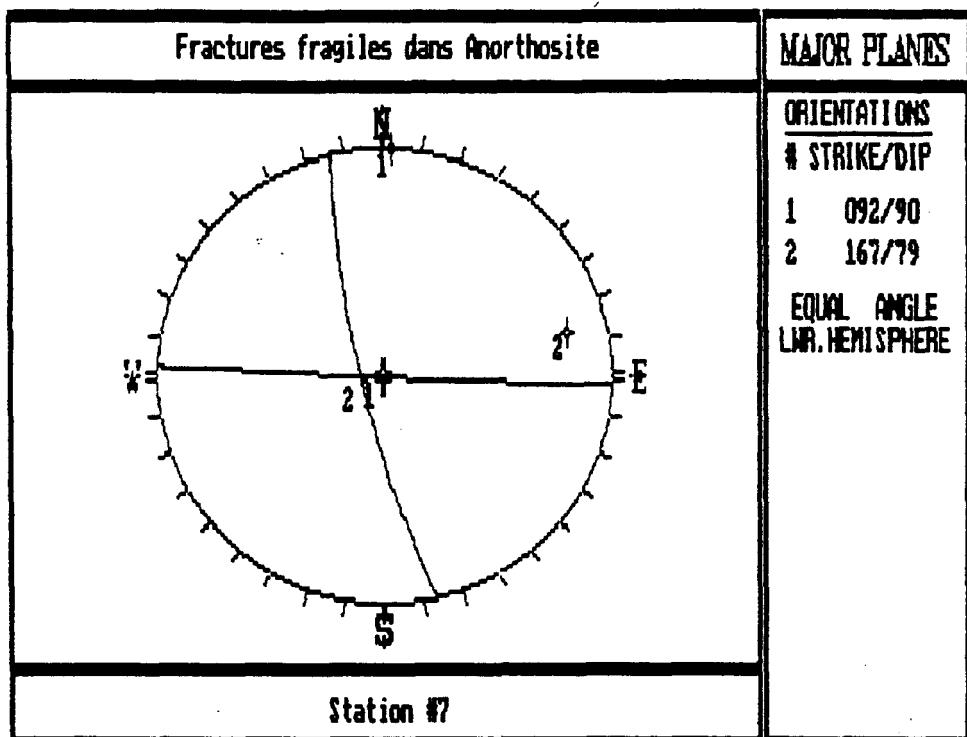
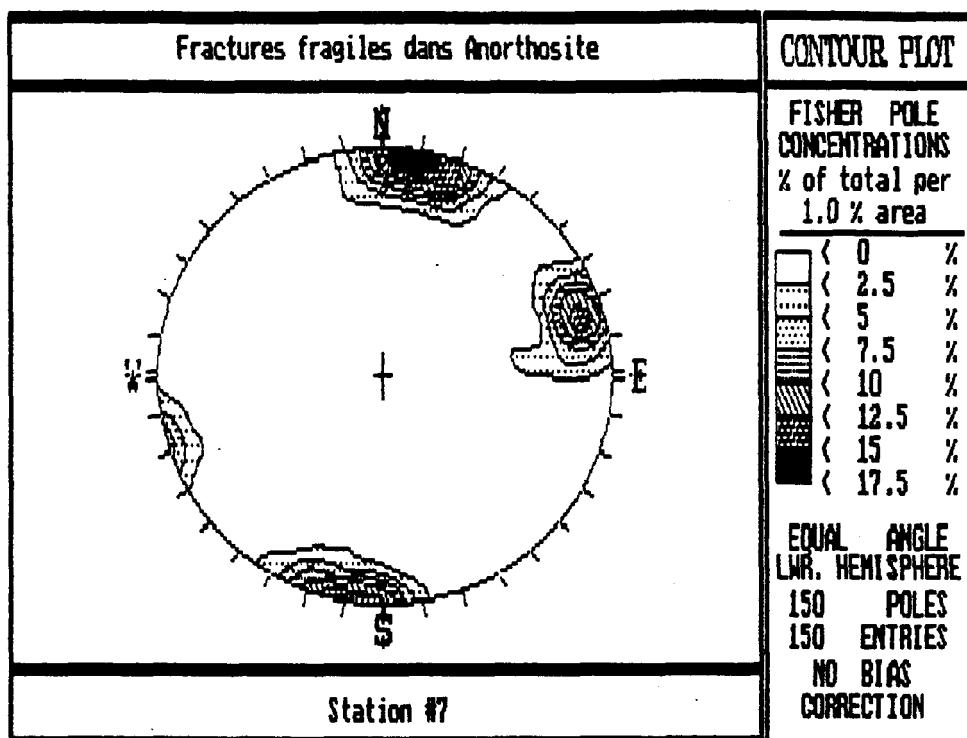
APPENDICE III: Figure 2

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 3



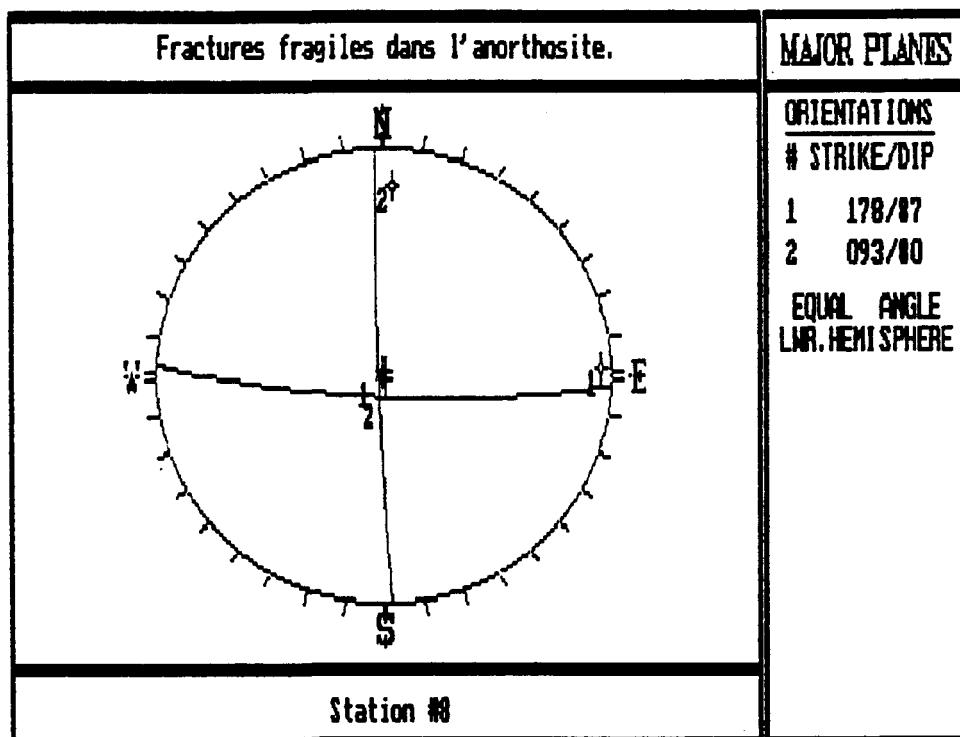
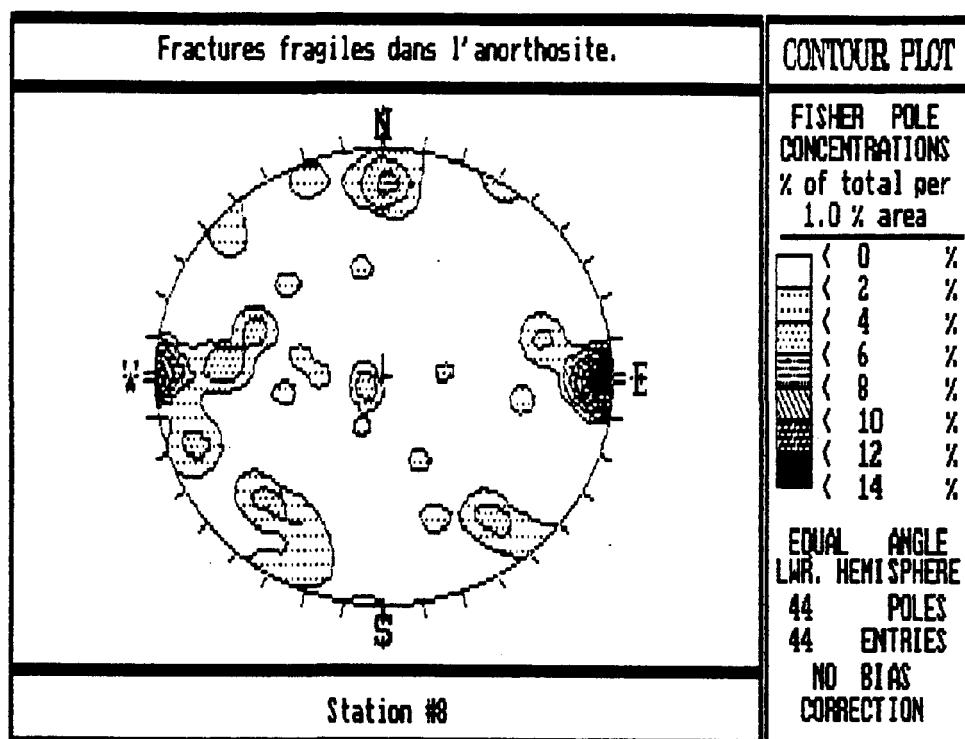
APENDICE III: Figure 3

Compilation des stries sur l'affleurement 3



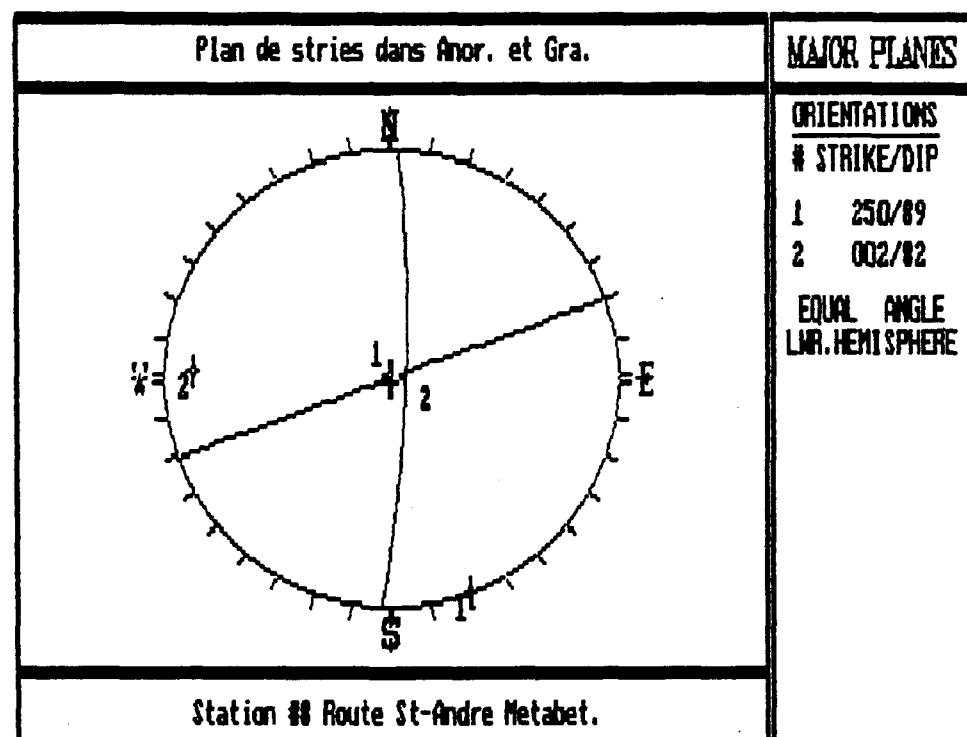
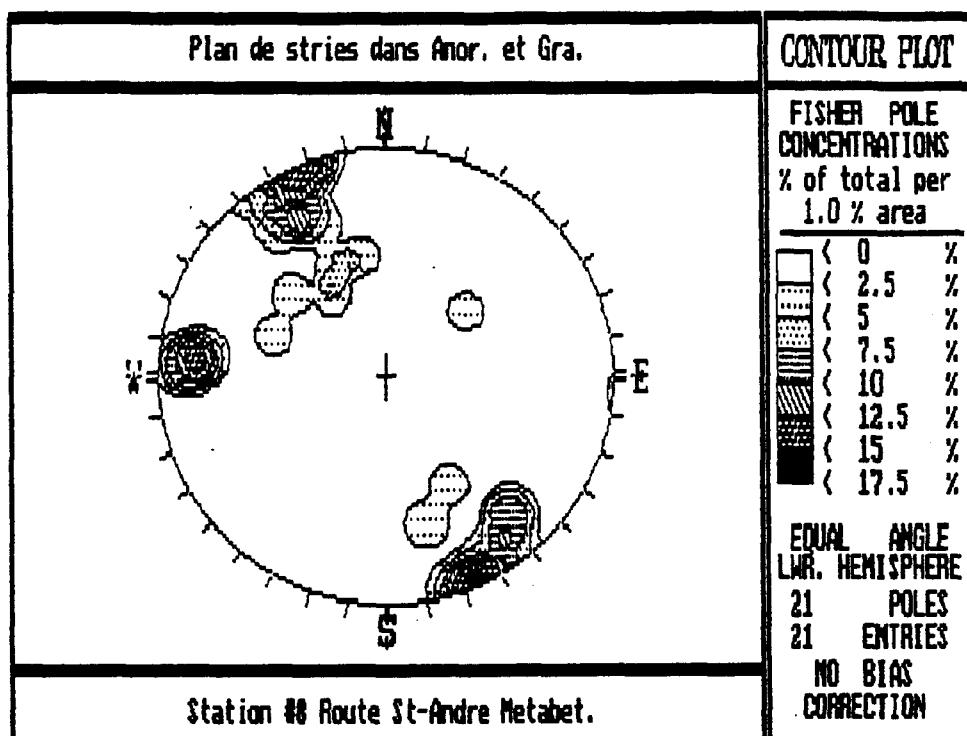
APPENDICE III: Figure 4

Compilation des joints sur l'affleurement 7



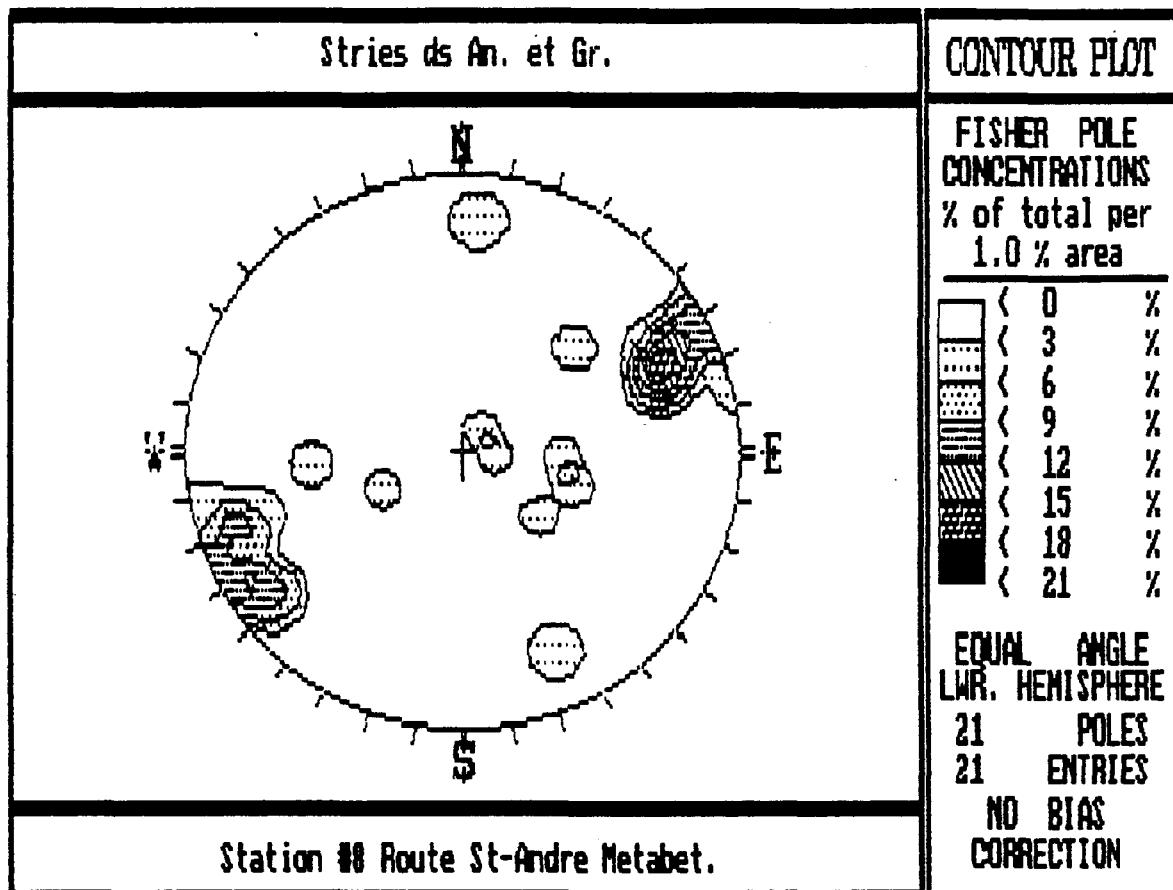
APPENDICE III: Figure 5

Compilation des joints sur l'affleurement 8



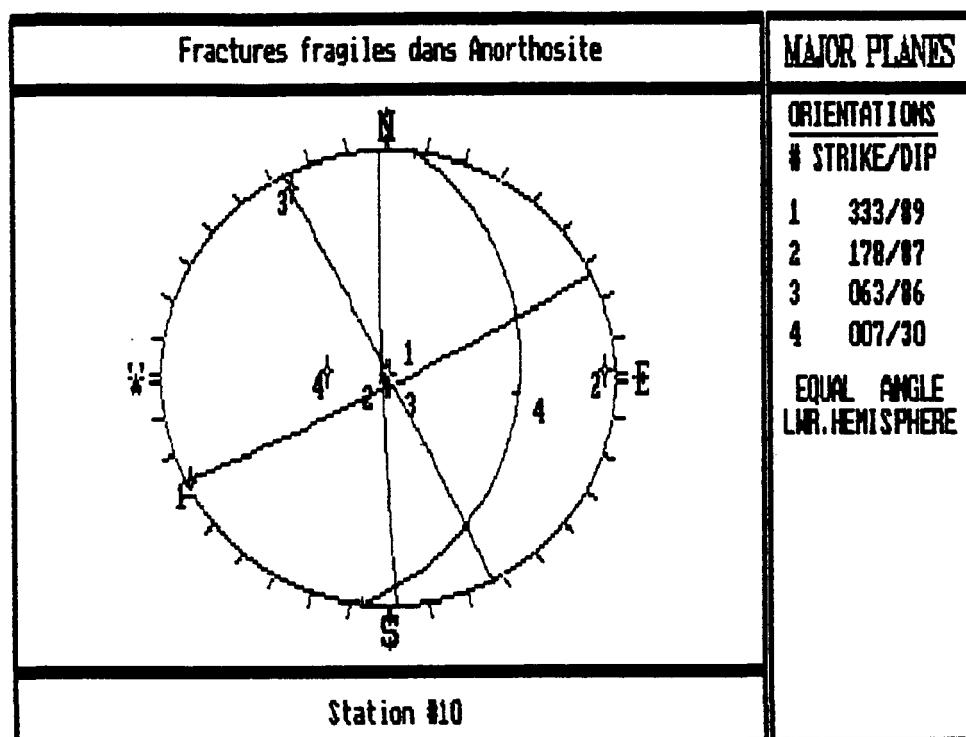
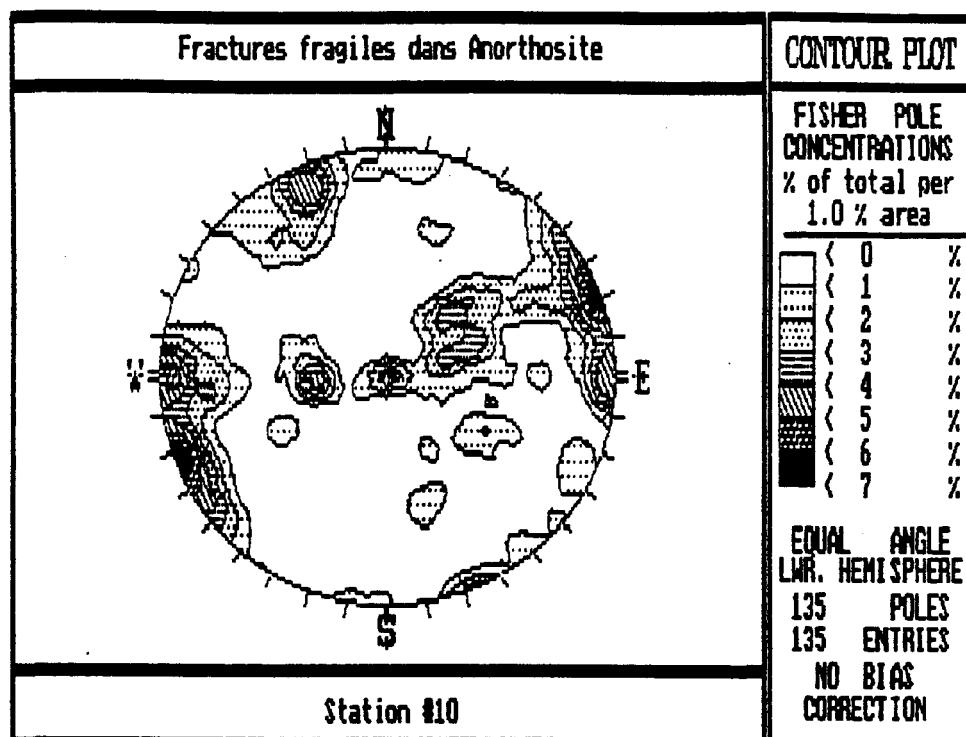
APPENDICE III: Figure 6

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 8



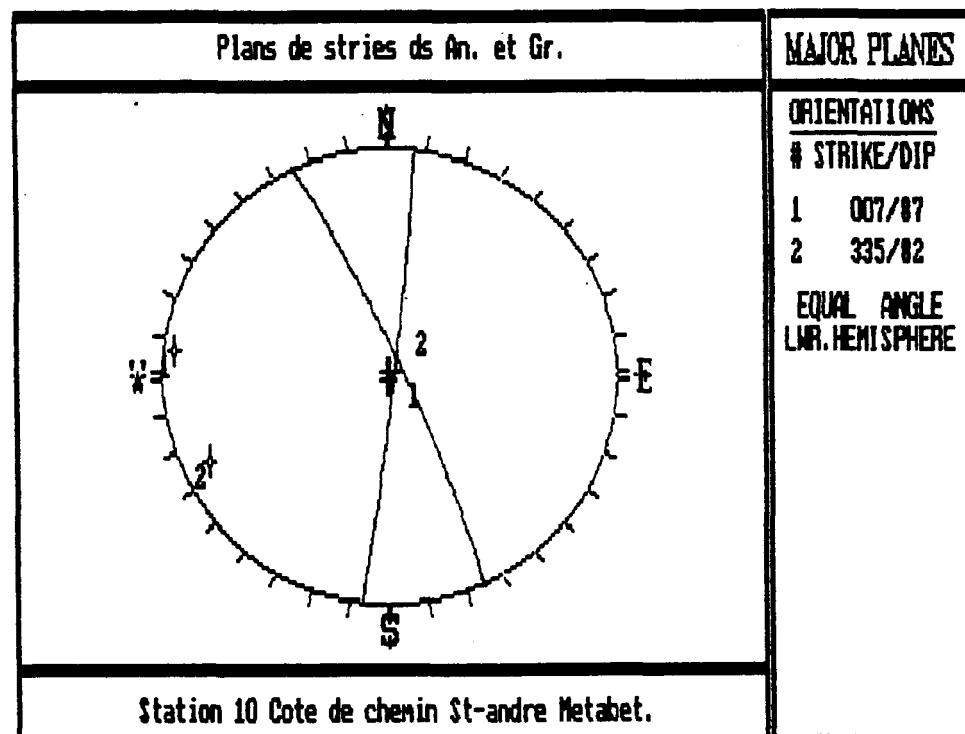
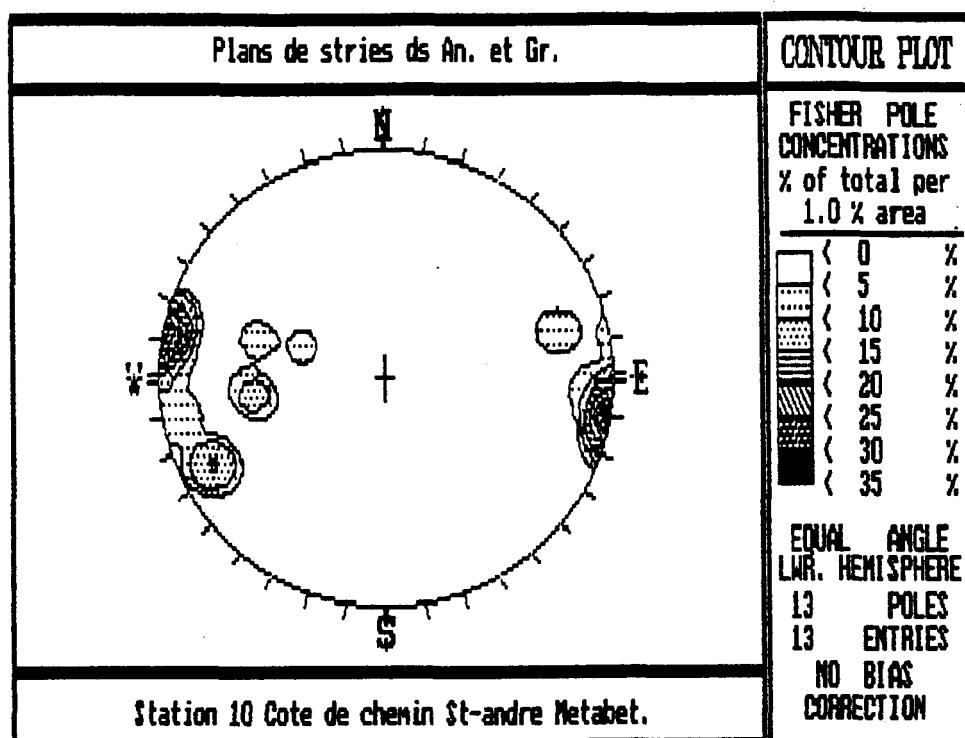
APENDICE III: Figure 7

Compilation des stries sur l'affleurement 8



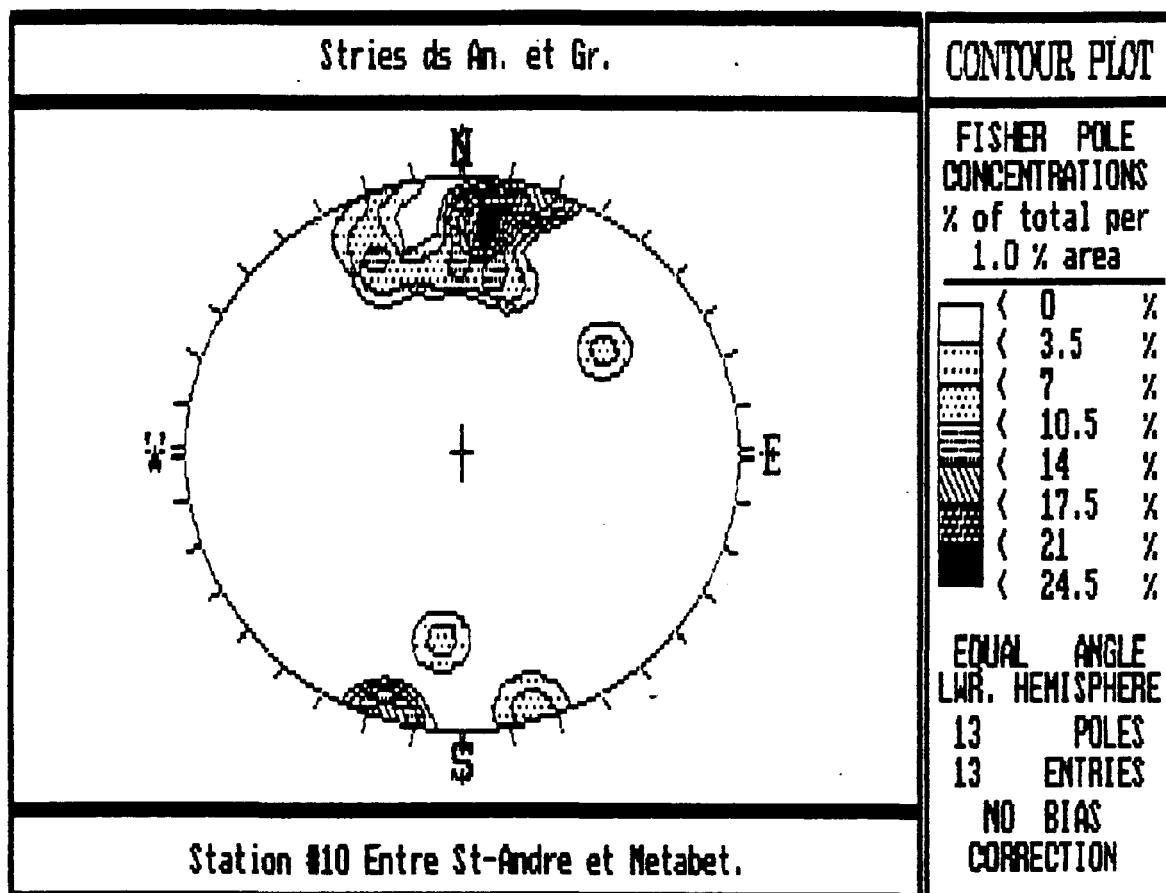
APPENDICE III: Figure 8

Compilation des joints sur l'affleurement 10

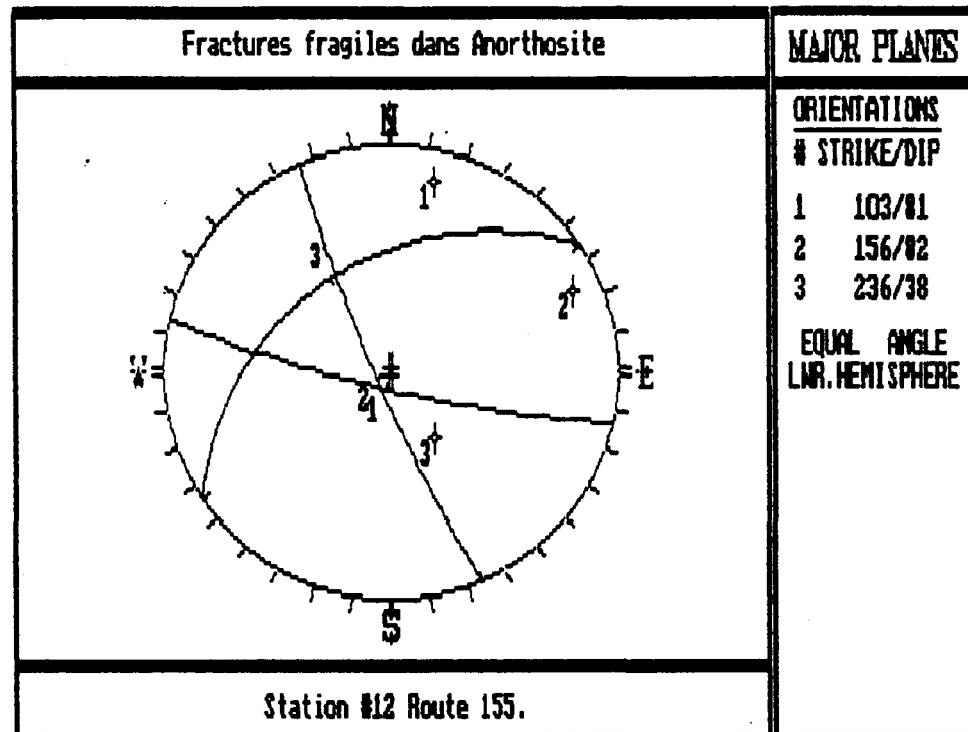
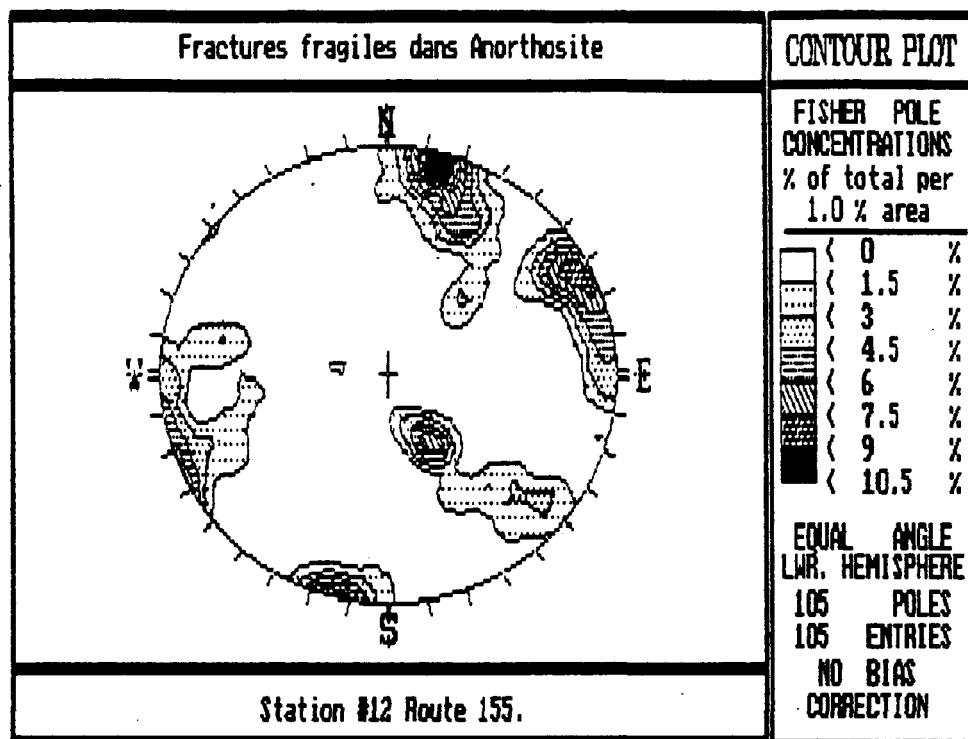


APPENDICE III: Figure 9

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 10

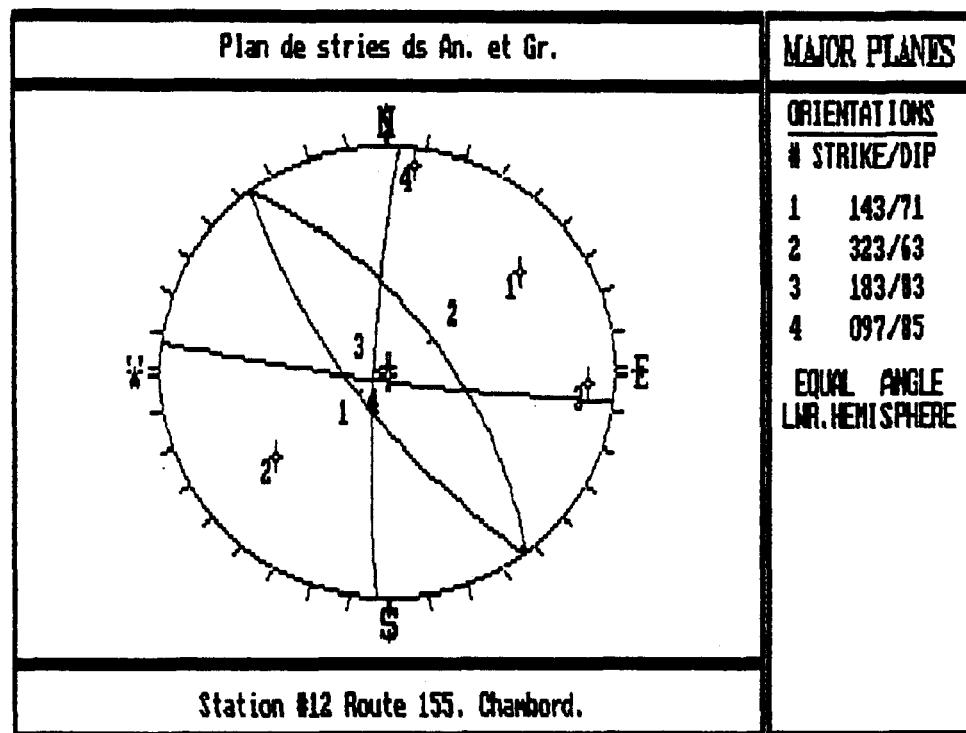
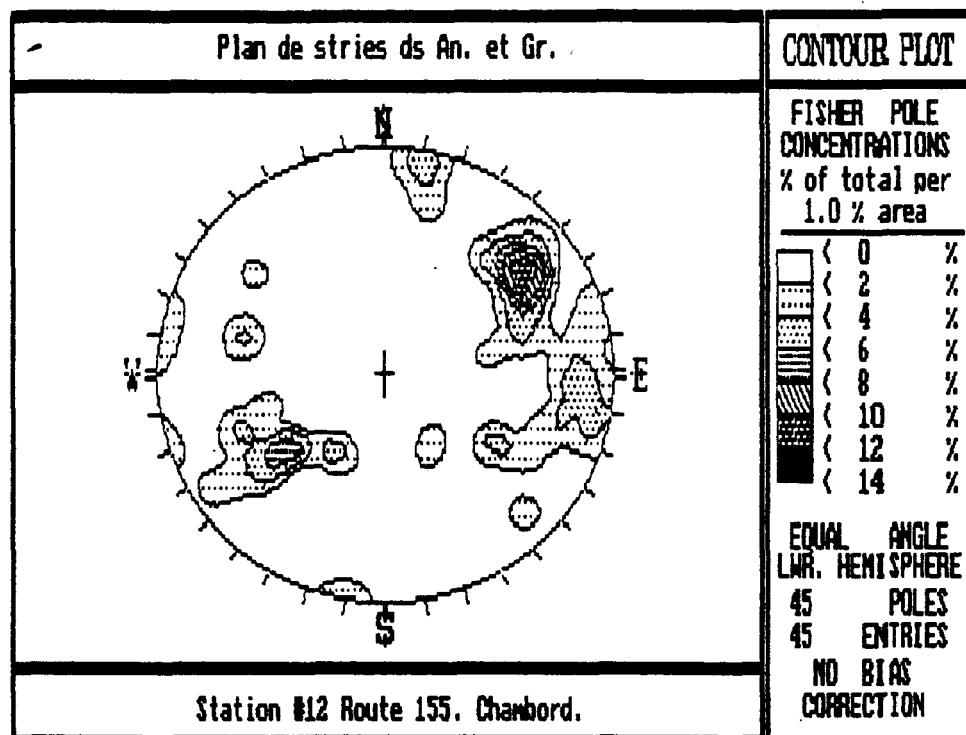


APENDICE III: Figure 10
Compilation des stries sur l'affleurement 10



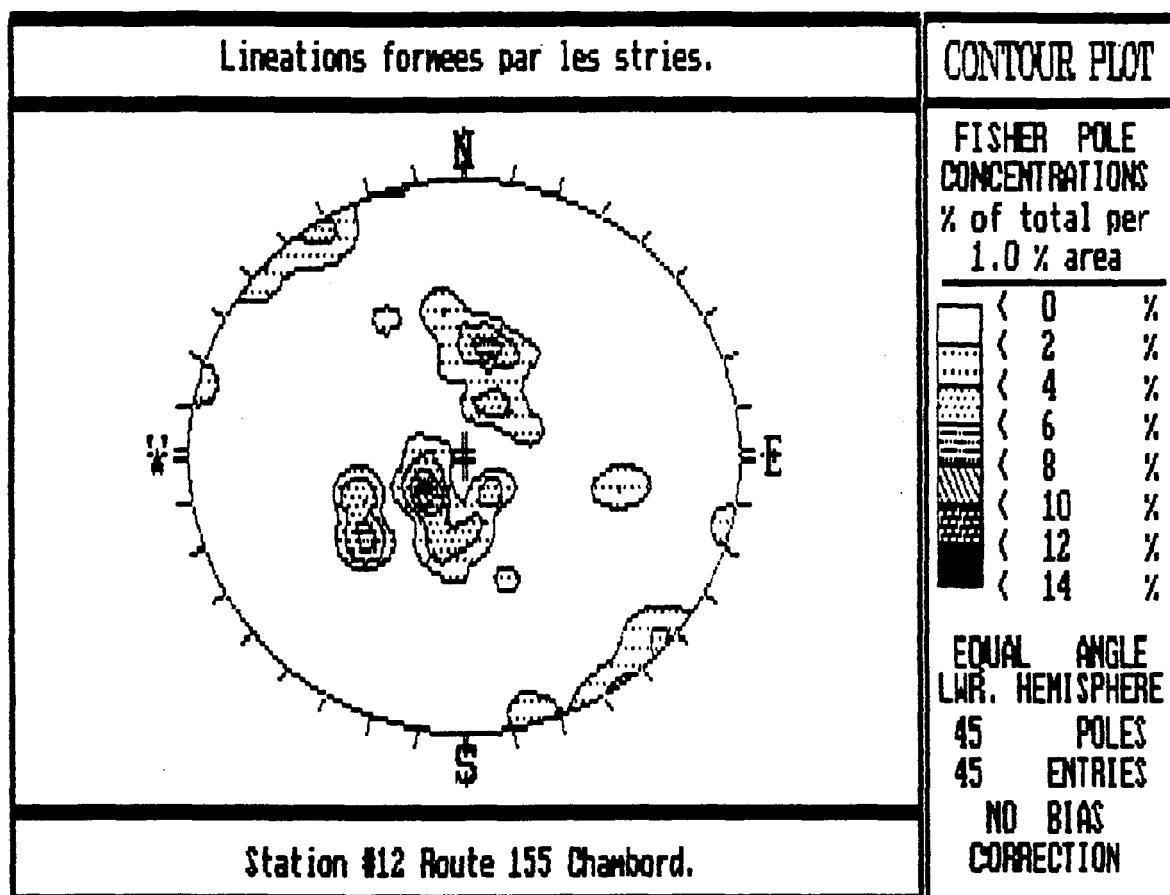
APPENDICE III: Figure 11

Compilation des joints sur l'affleurement 12



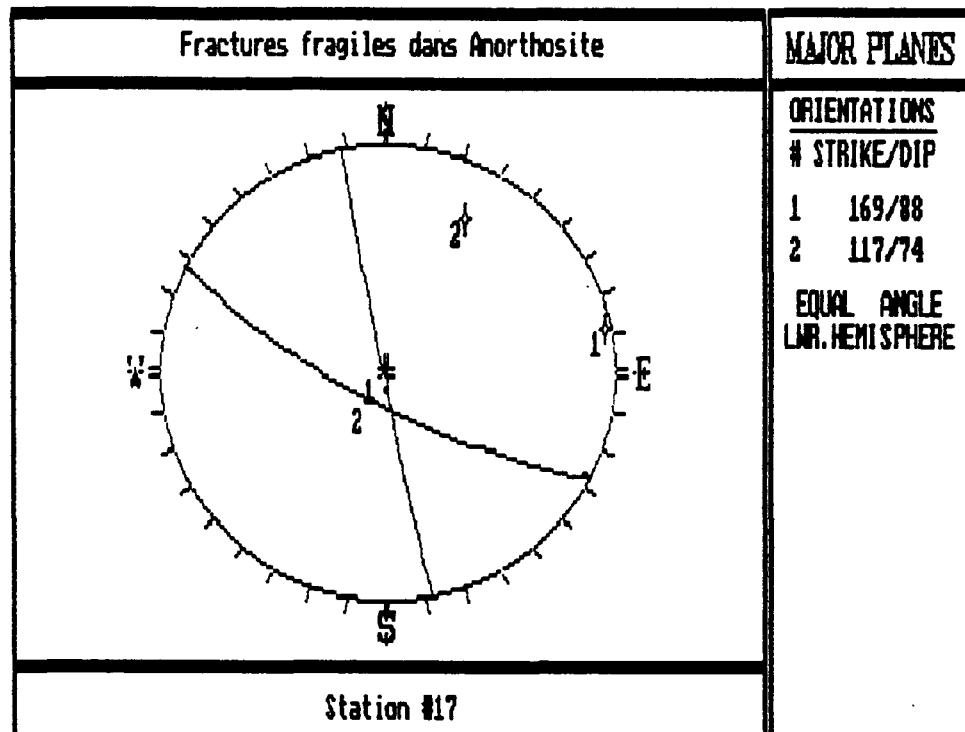
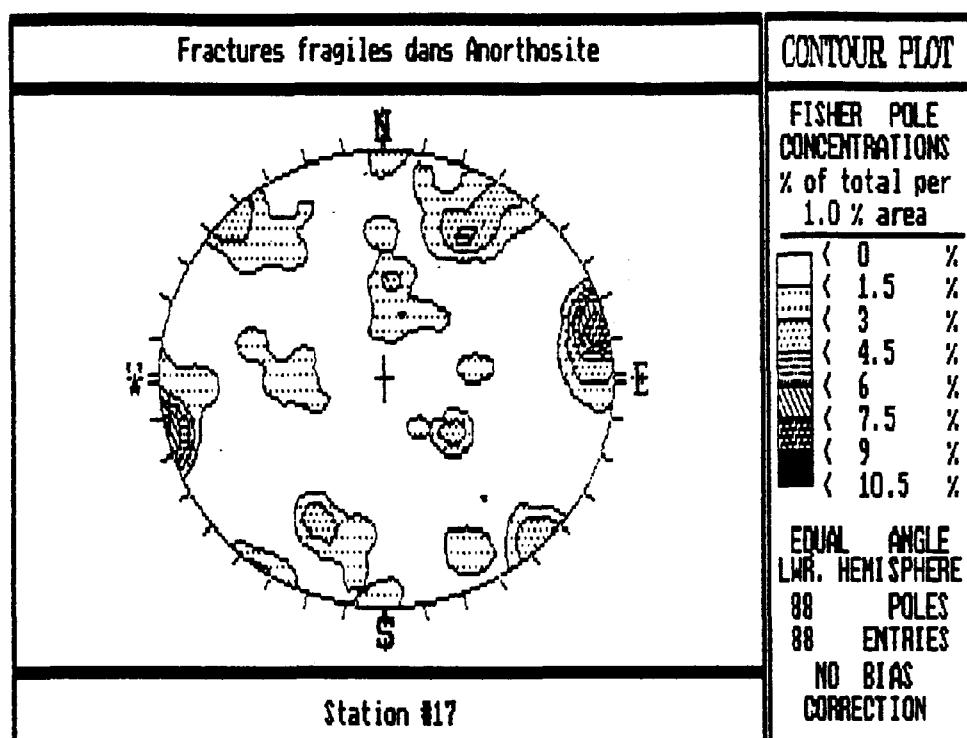
APPENDICE III: Figure 12

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 12



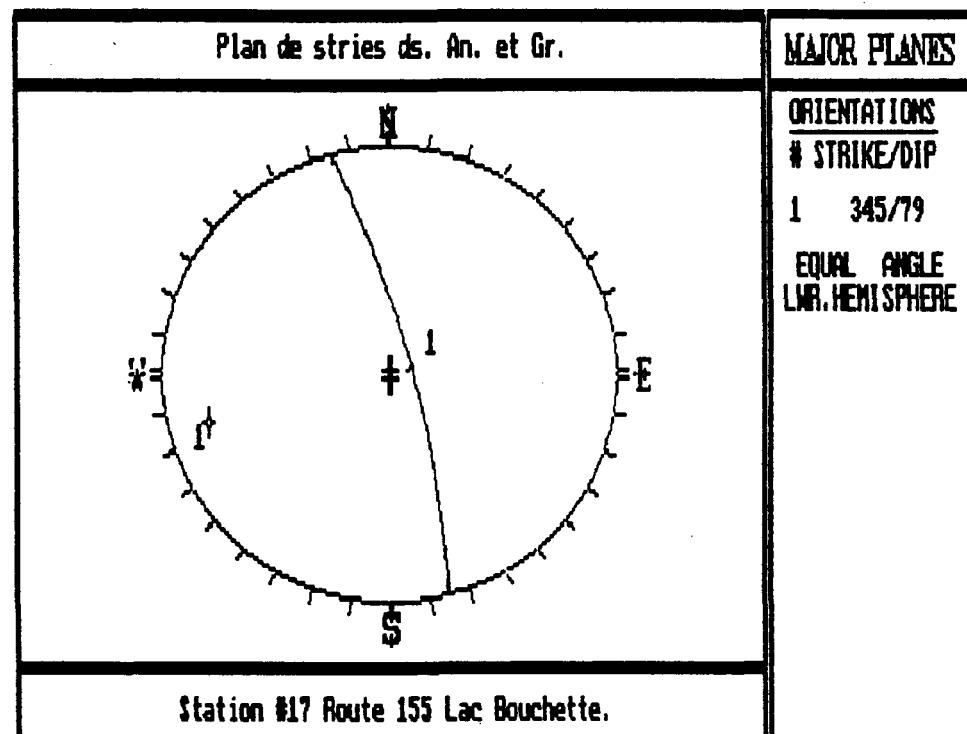
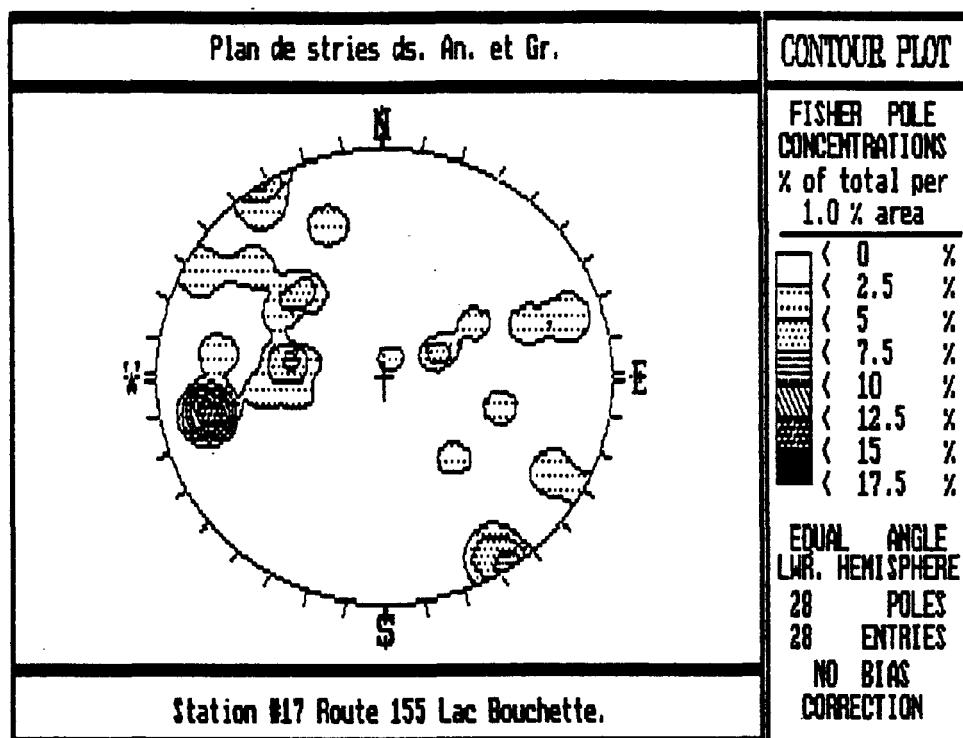
APENDICE III: Figure 13

Compilation des stries sur l'affleurement 12



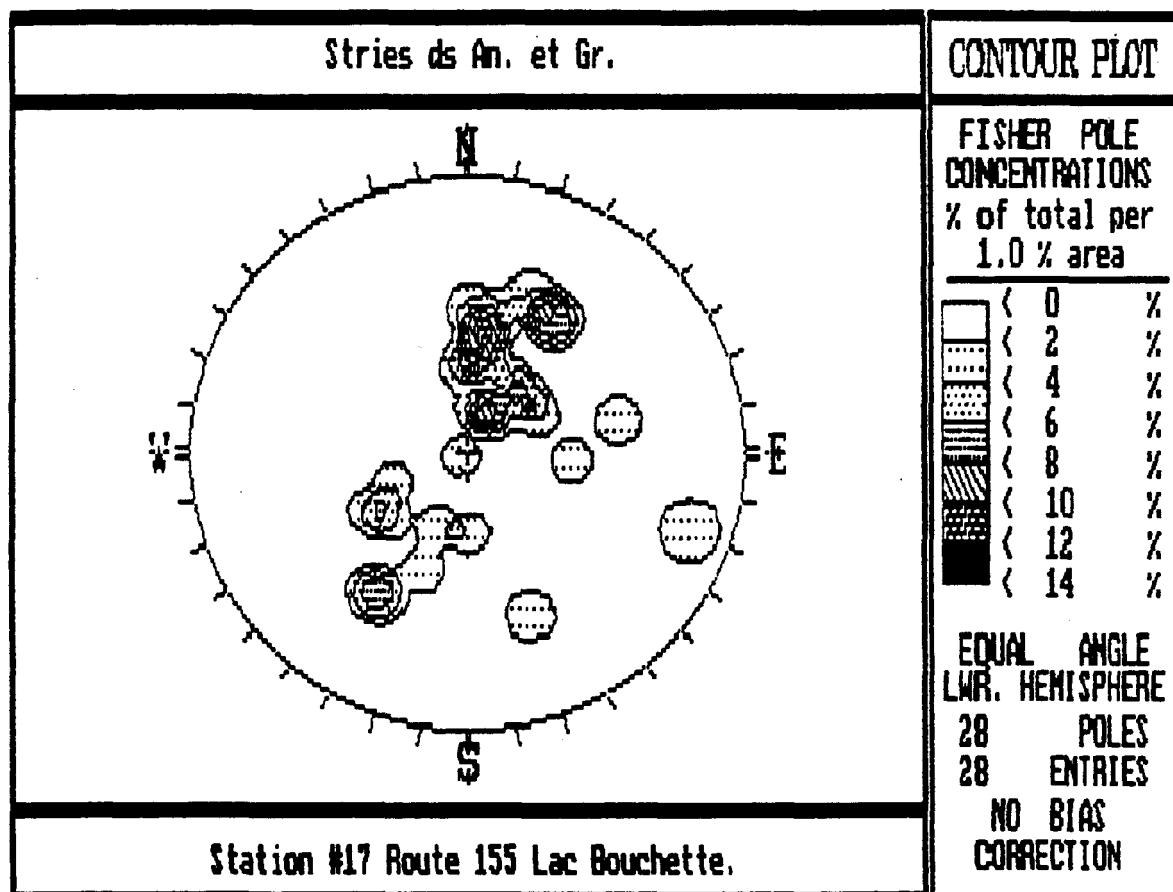
APPENDICE III: Figure 14

Compilation des joints sur l'affleurement 17

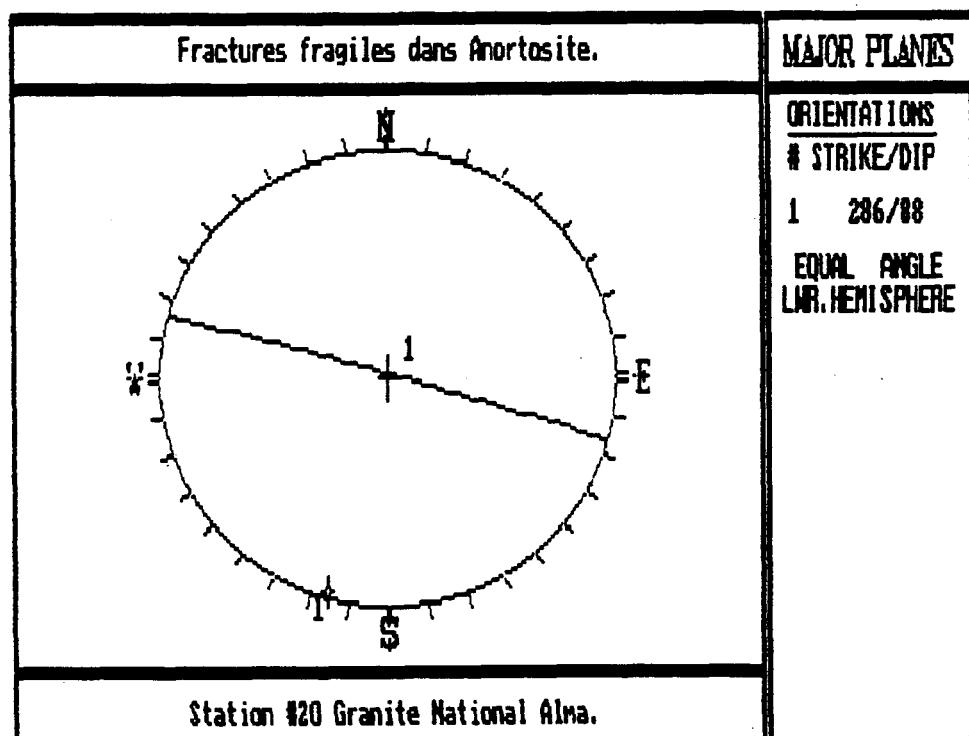
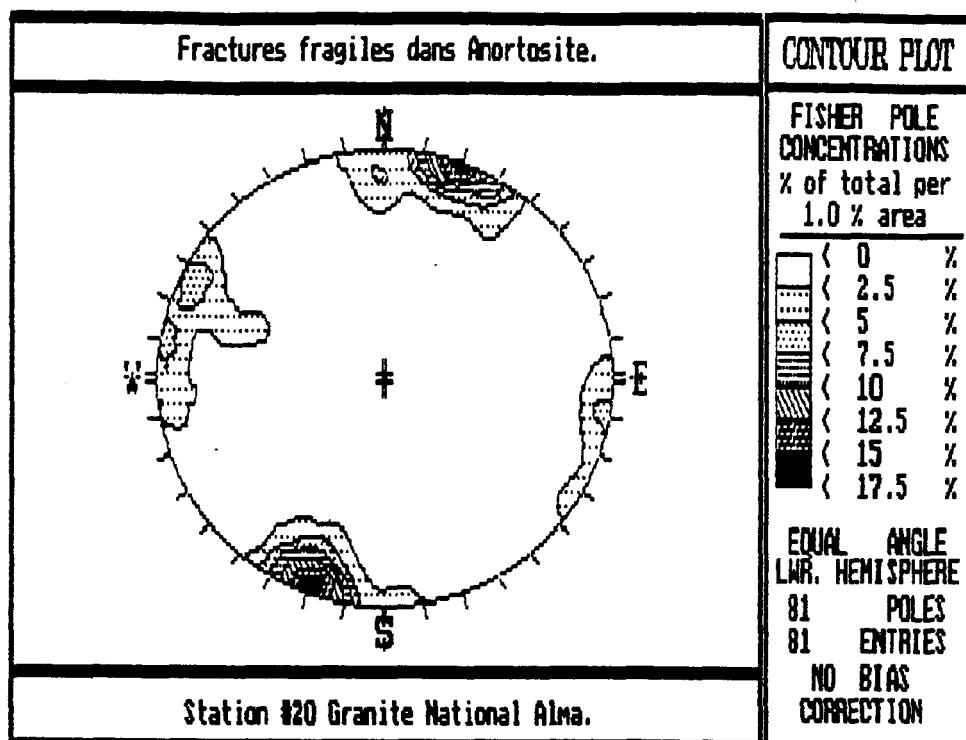


APPENDICE III: Figure 15

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 17

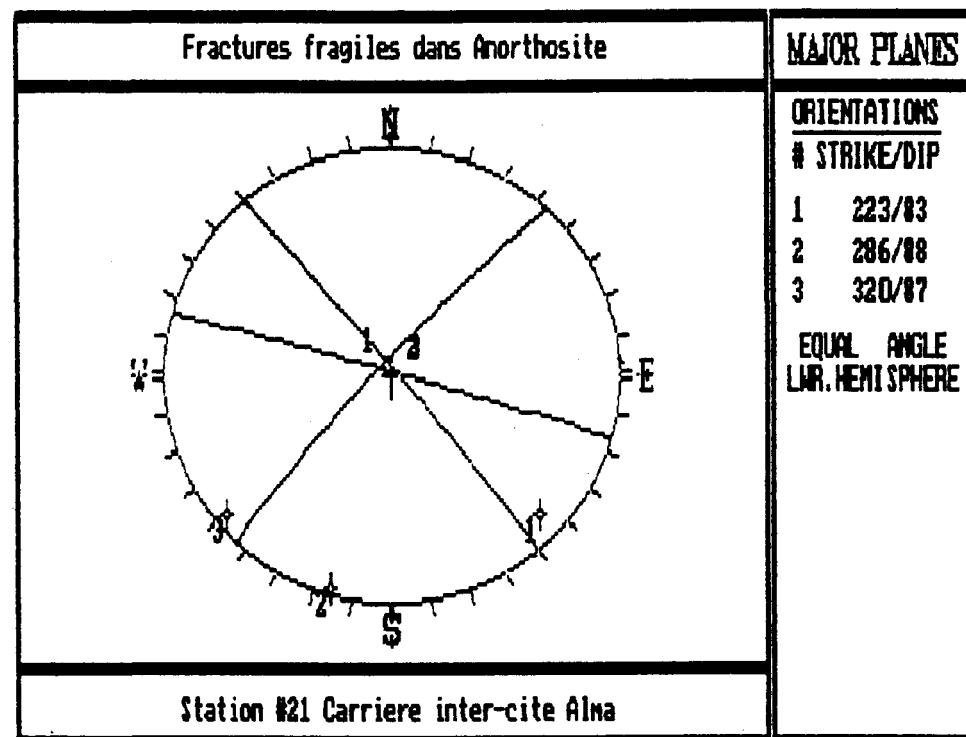
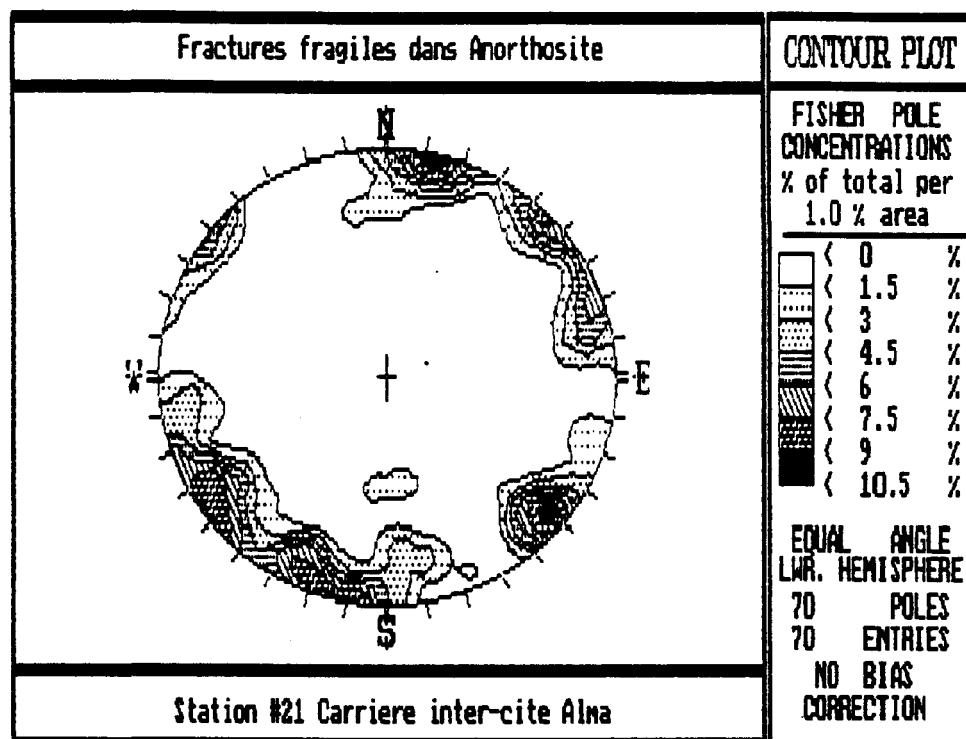


APENDICE III: Figure 16
Compilation des stries sur l'affleurement 17

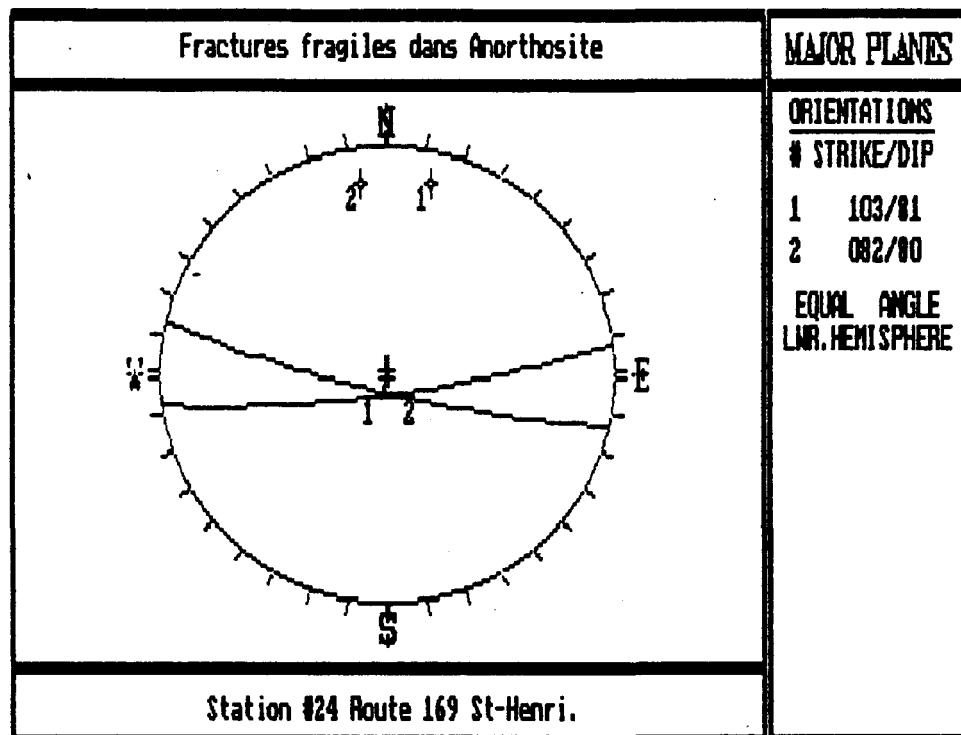
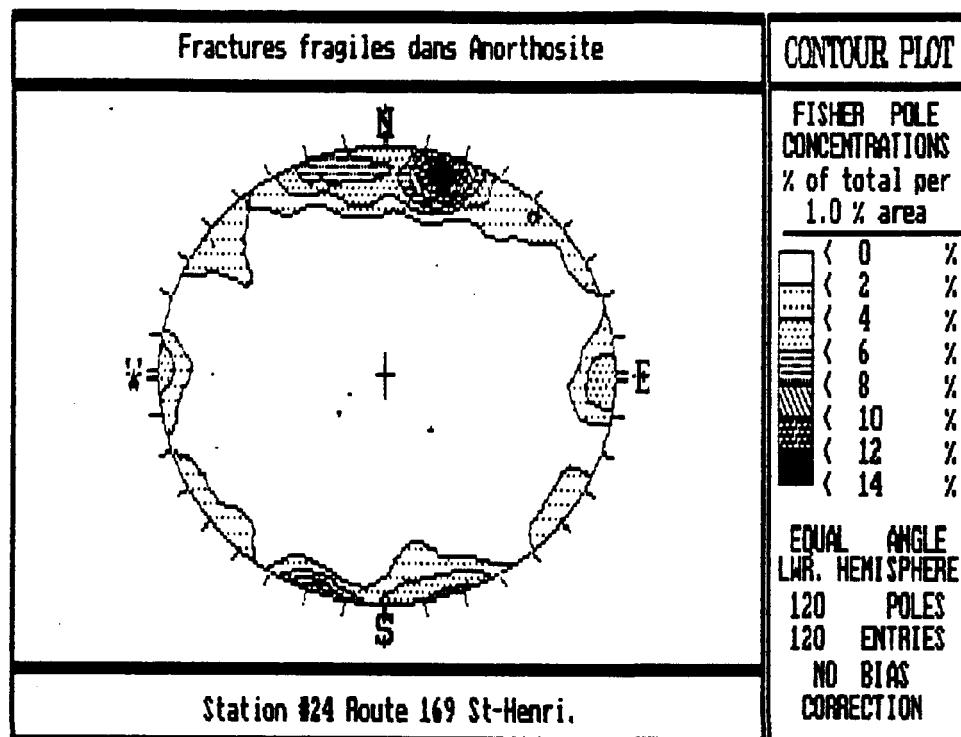


APPENDICE III: Figure 17

Compilation des joints sur l'affleurement 20



APPENDICE III: Figure 18
Compilation des joints sur l'affleurement 21



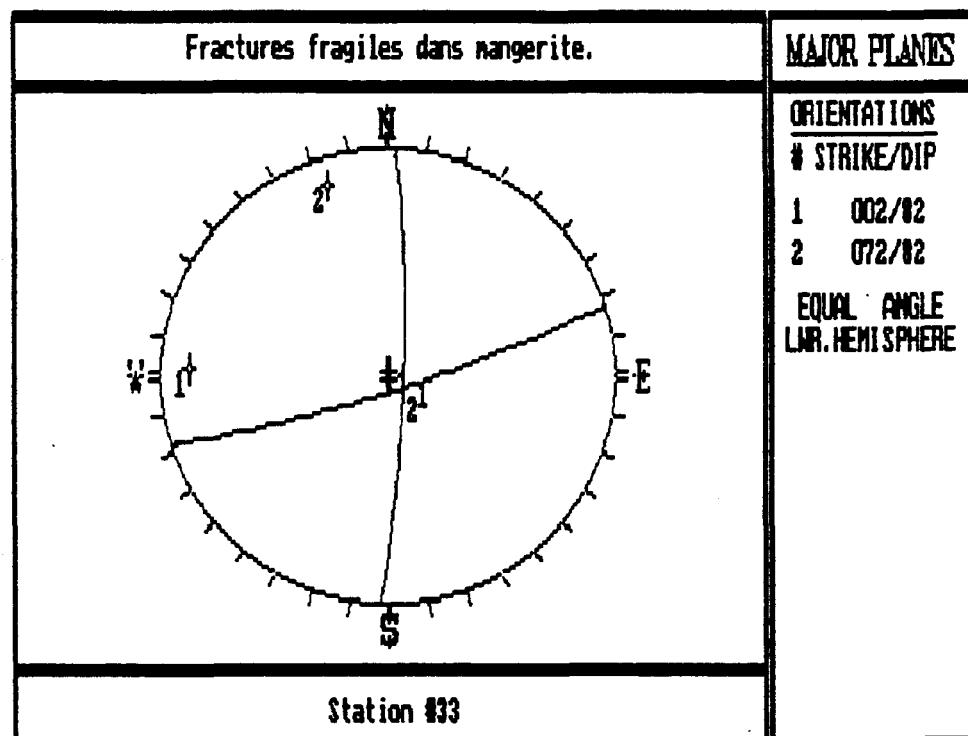
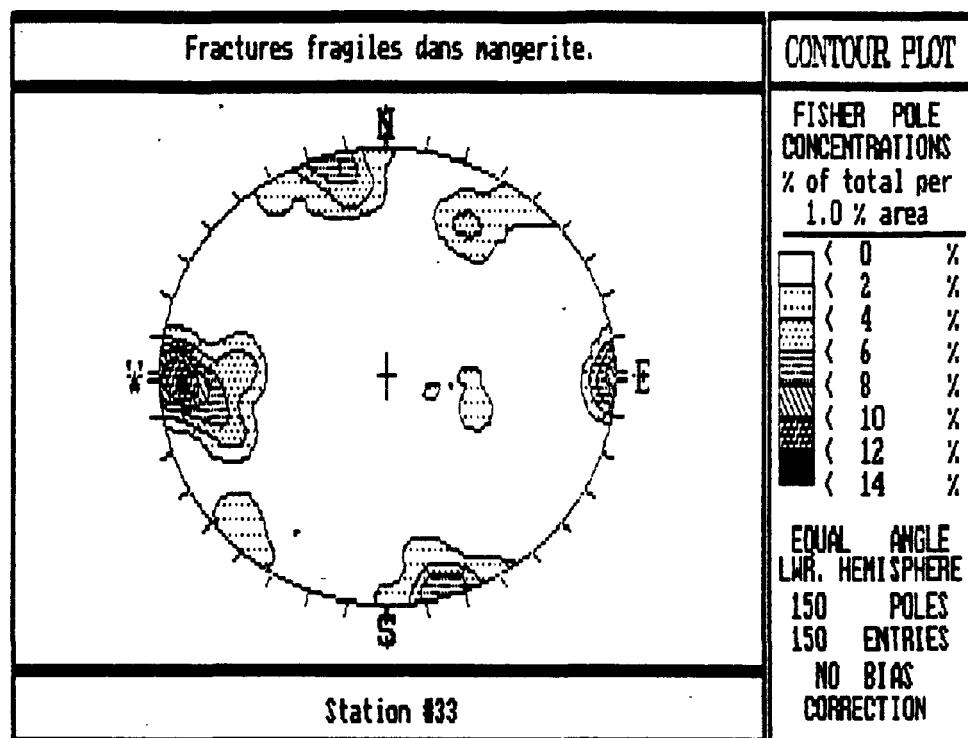
APPENDICE III: Figure 19

Compilation des joints sur l'affleurement 24

APPENDICE IV
COMPILEDATION DES JOINTS

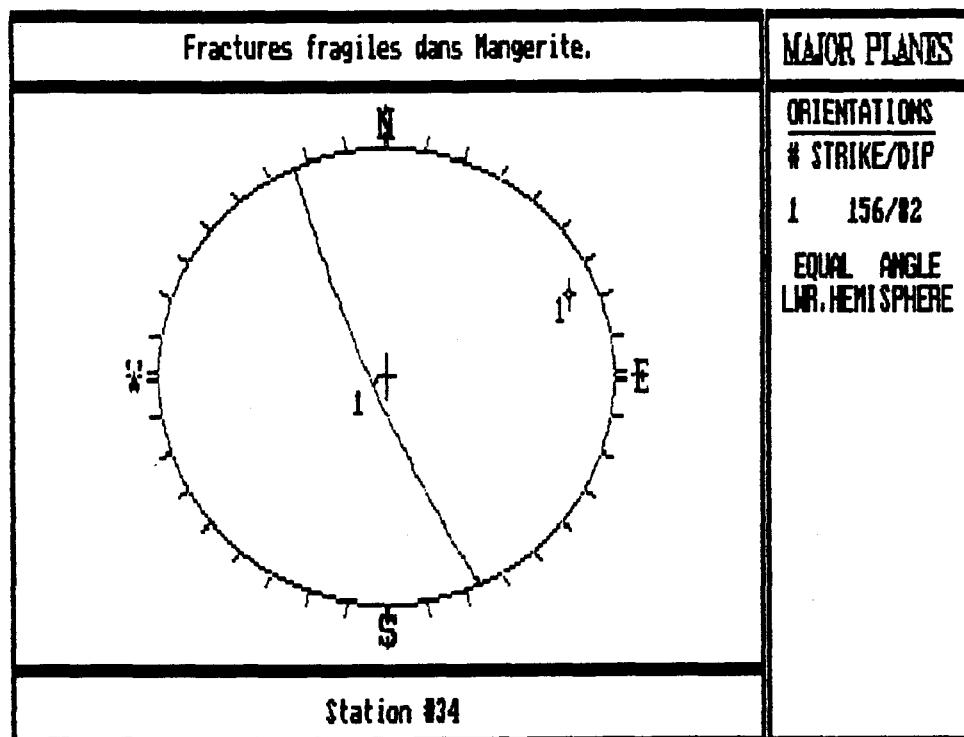
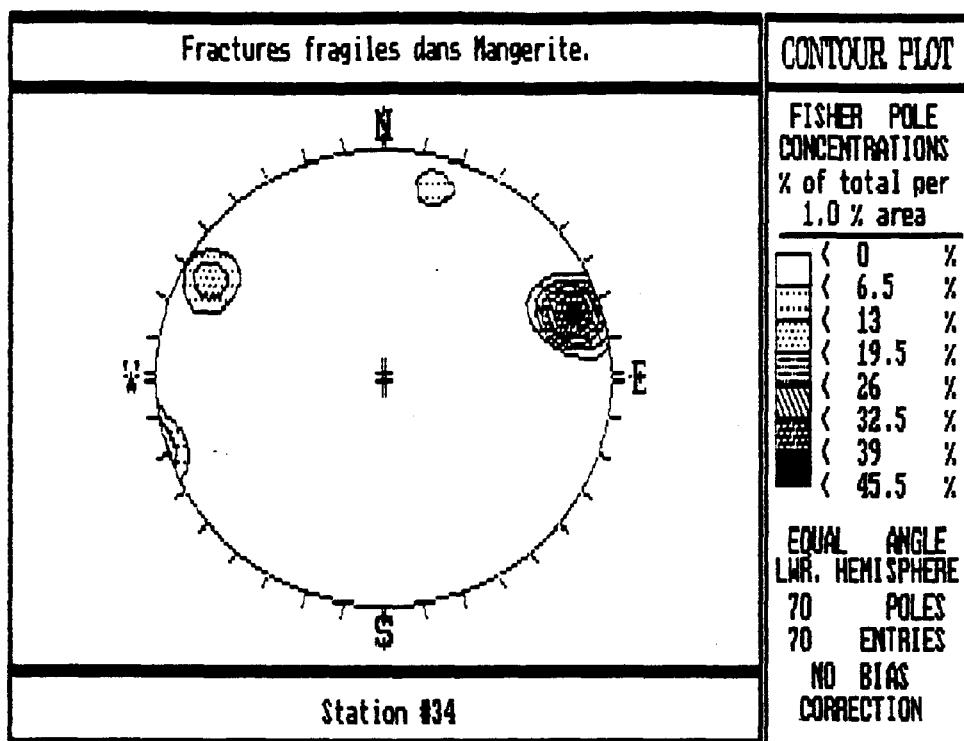
Unité lithostructurale 4. Mongérite

1. Aff. 33 Chute à Michel St-Félicien
2. Aff. 34 Chute à l'Ours Normandin



APPENDICE IV: Figure 1

Compilation des joints sur l'affleurement 33

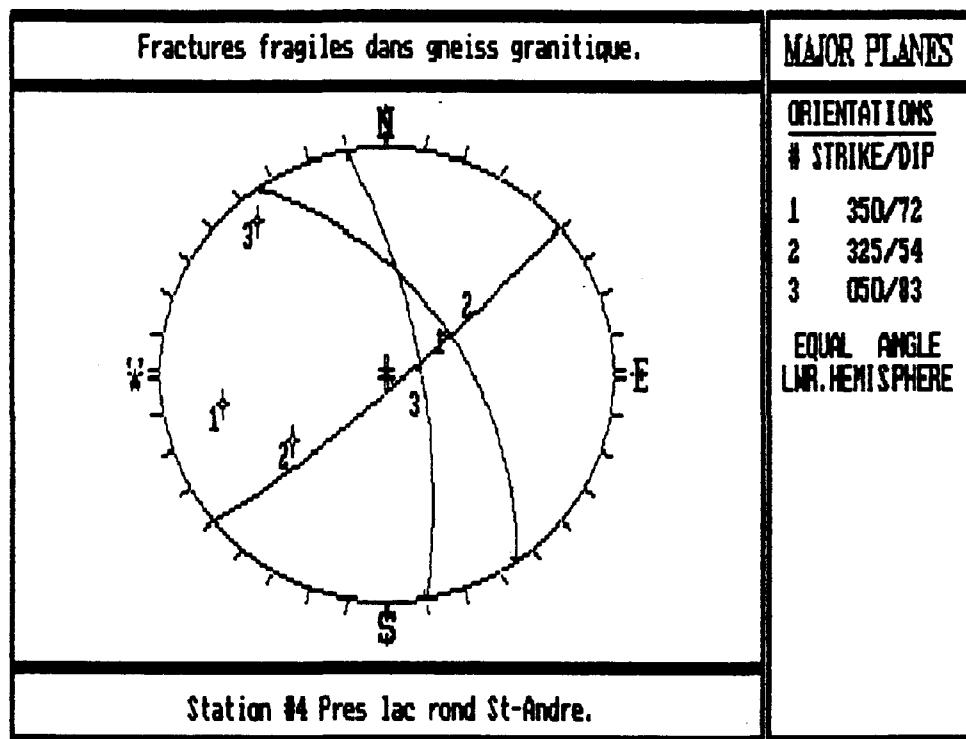
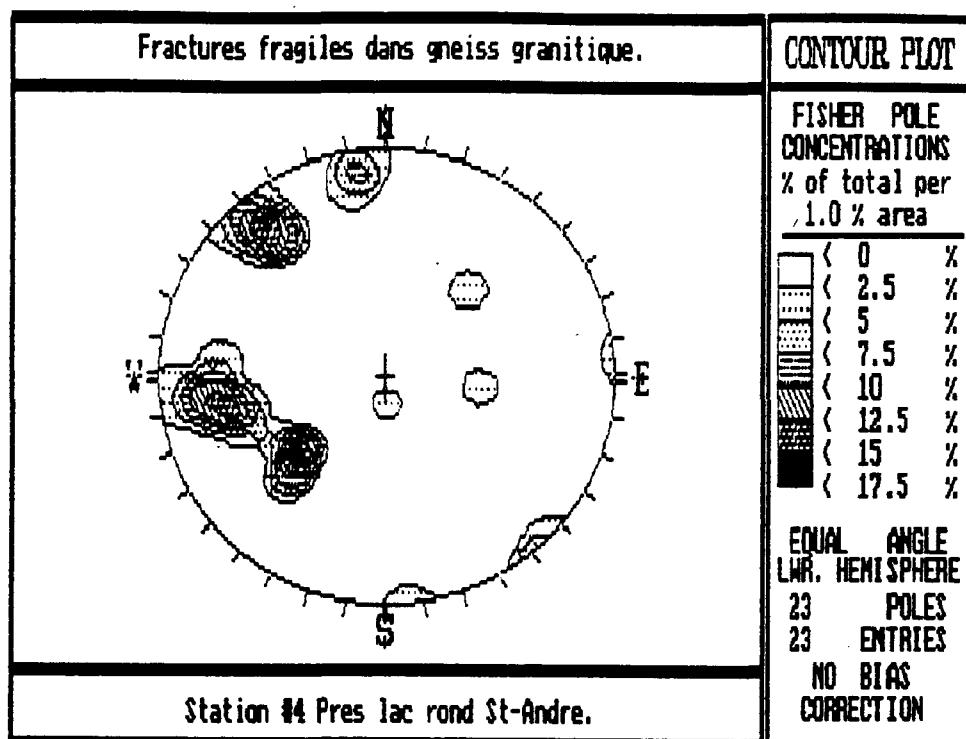


APPENDICE IV: Figure 2

Compilation des joints sur l'affleurement 34

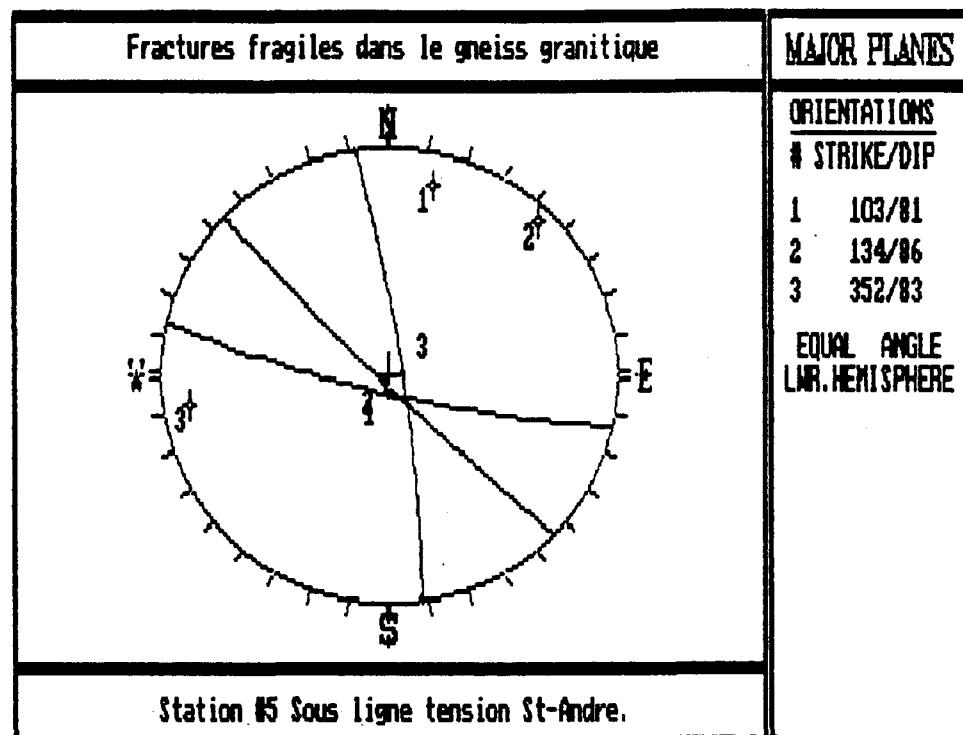
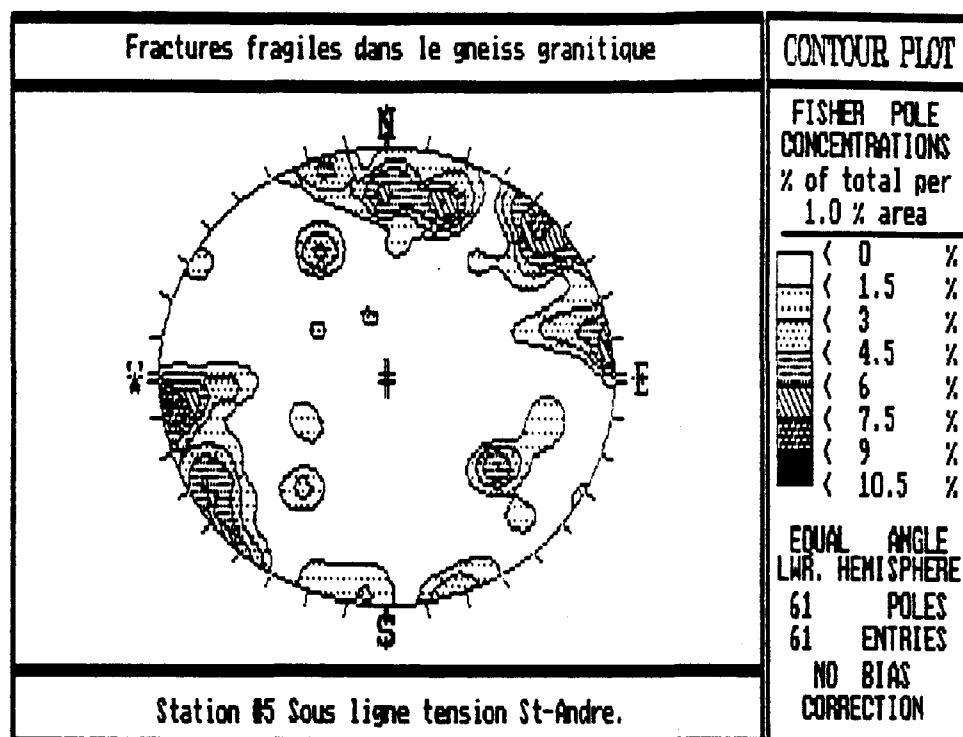
APPENDICE YCOMPILATION DES JOINTS, DES PLANS DE STRIES ET DES STRIESUnité lithostructurelle 5. Gneiss granitique

1. Aff. 4 Route Chambord St-André
2. Aff. 5 Route Chambord St-André (sous ligne haute tension)
3. Aff. 6 Le long de la rivière Métabetchouan (St-André)
4. Aff. 14 Route 155 Côte Chambord
5. Aff. 15 Route 155 Côte Chambord
6. Aff. 15A Route 155 Côte Chambord
7. Aff. 16 Route 155 Entre Chambord et St-François-de-Salle



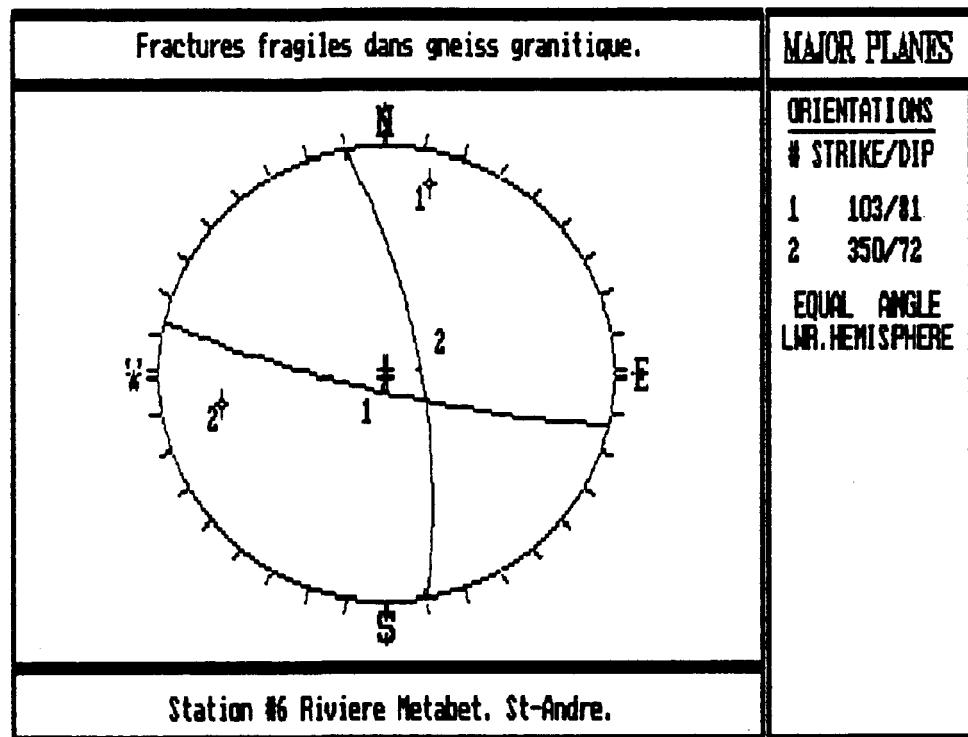
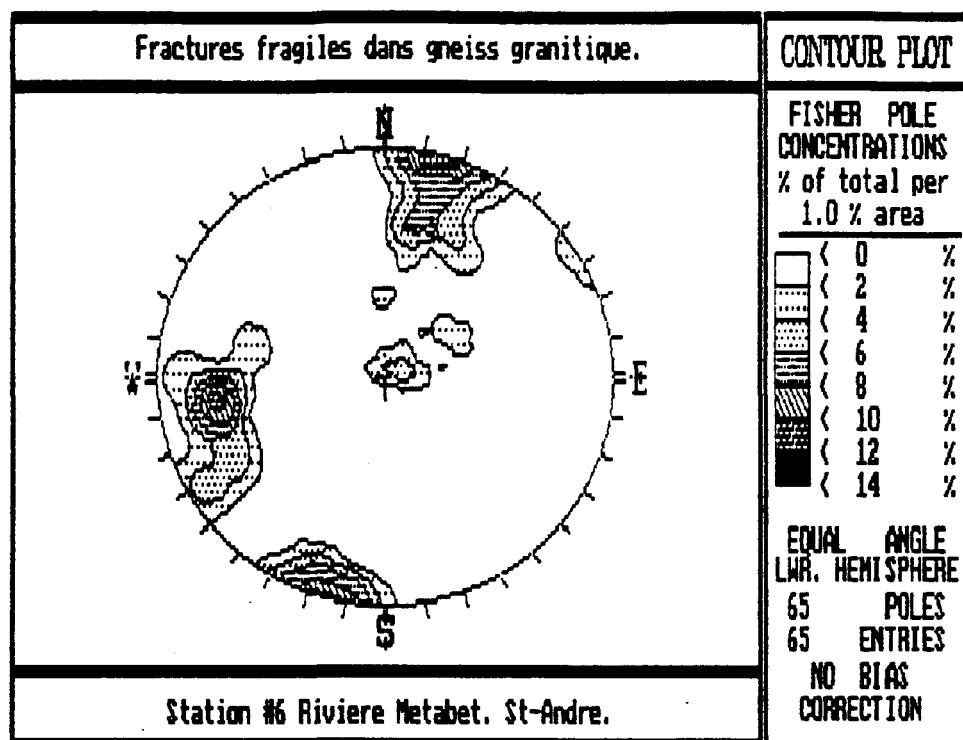
APPENDICE V: Figure 1

Compilation des joints sur l'affleurement 4



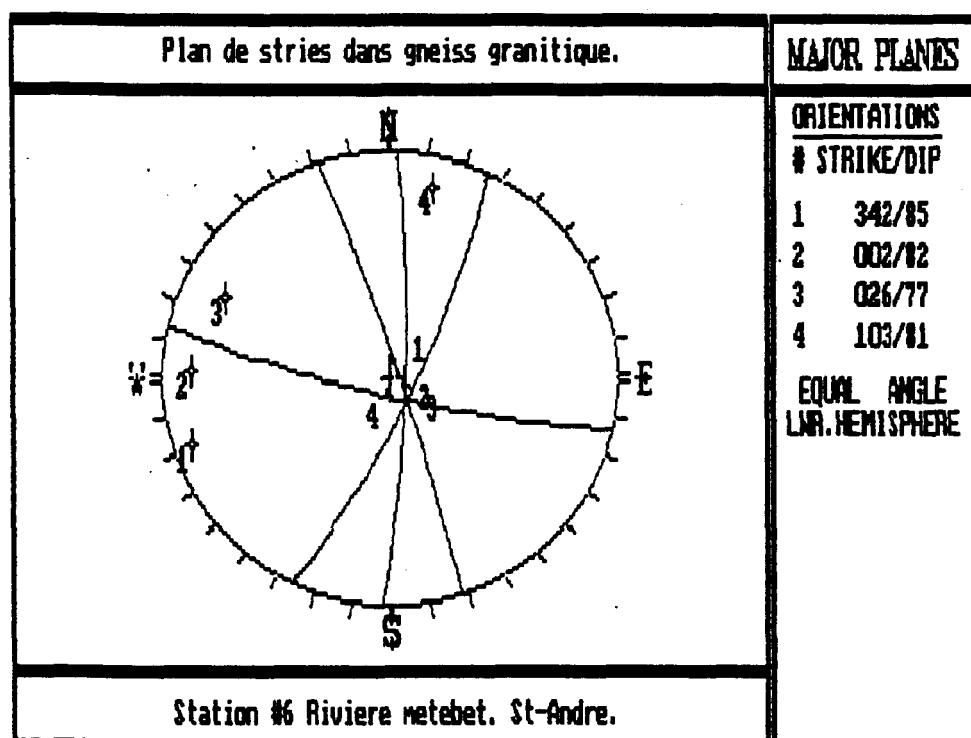
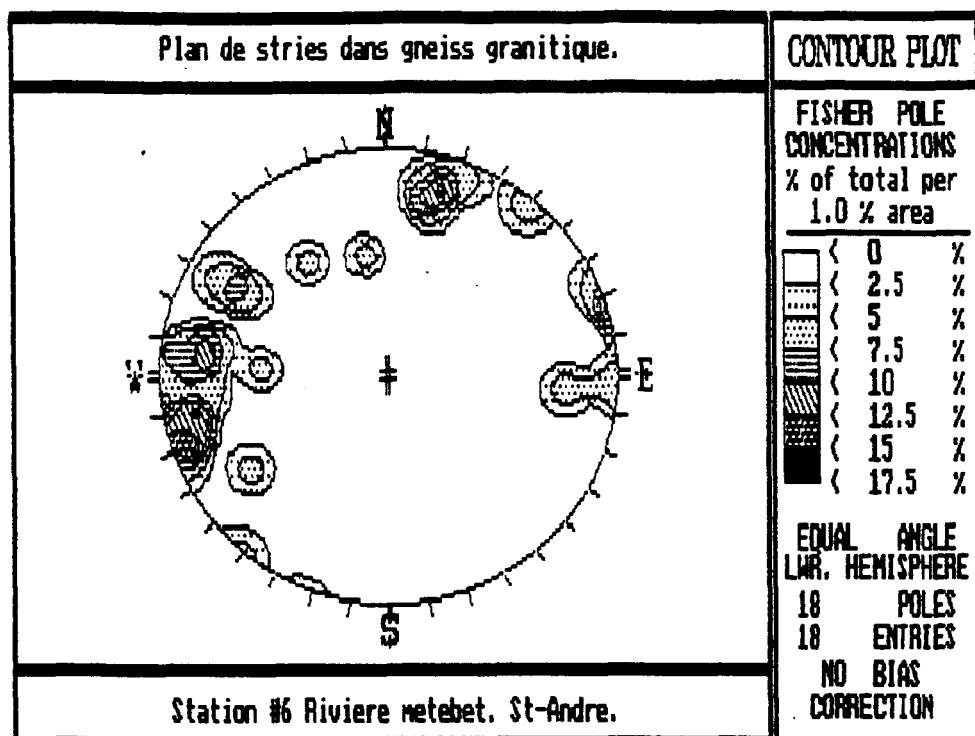
APPENDICE V: Figure 2

Compilation des joints sur l'affleurement 5



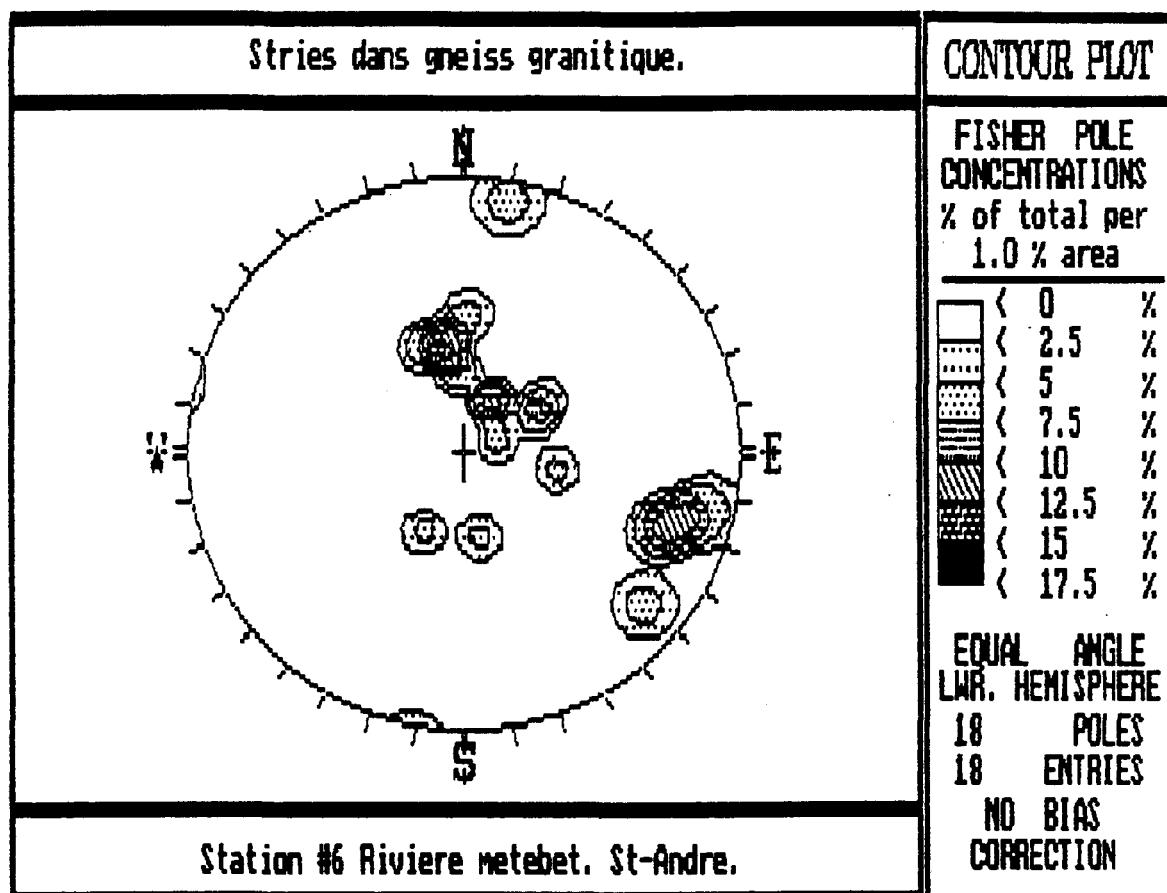
APPENDICE V: Figure 3

Compilation des joints sur l'affleurement 6

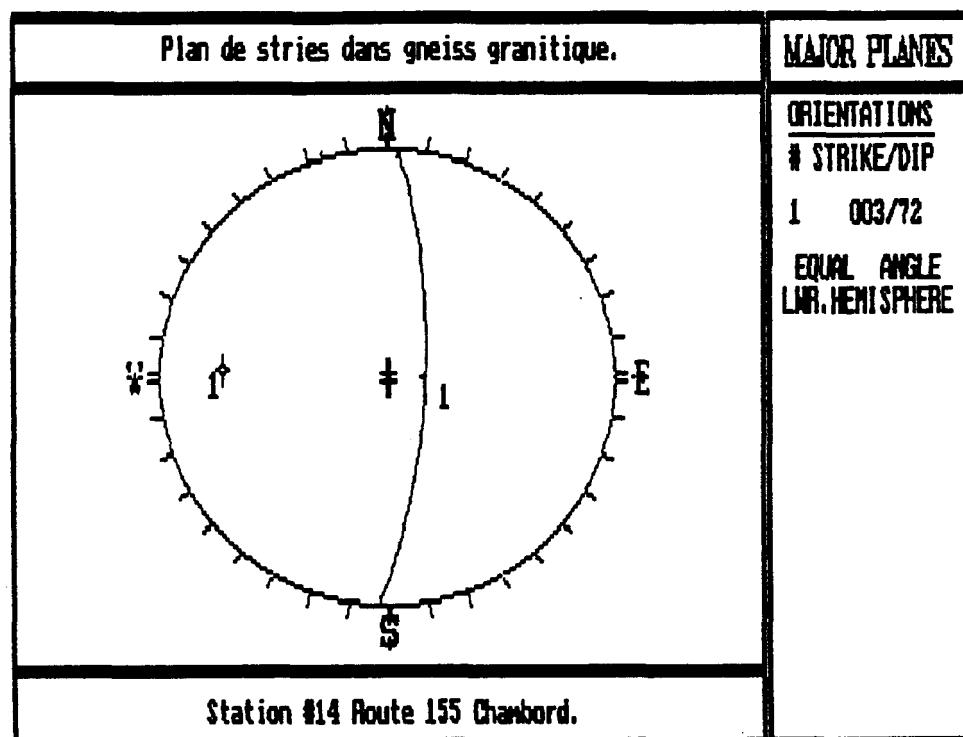
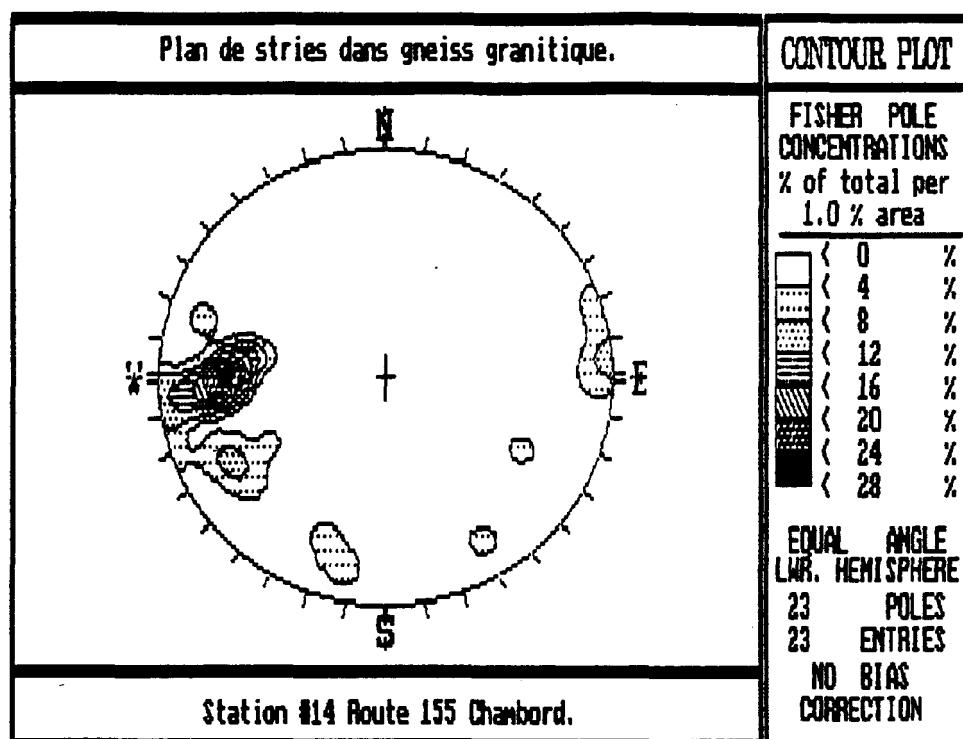


APPENDICE V: Figure 4

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 6

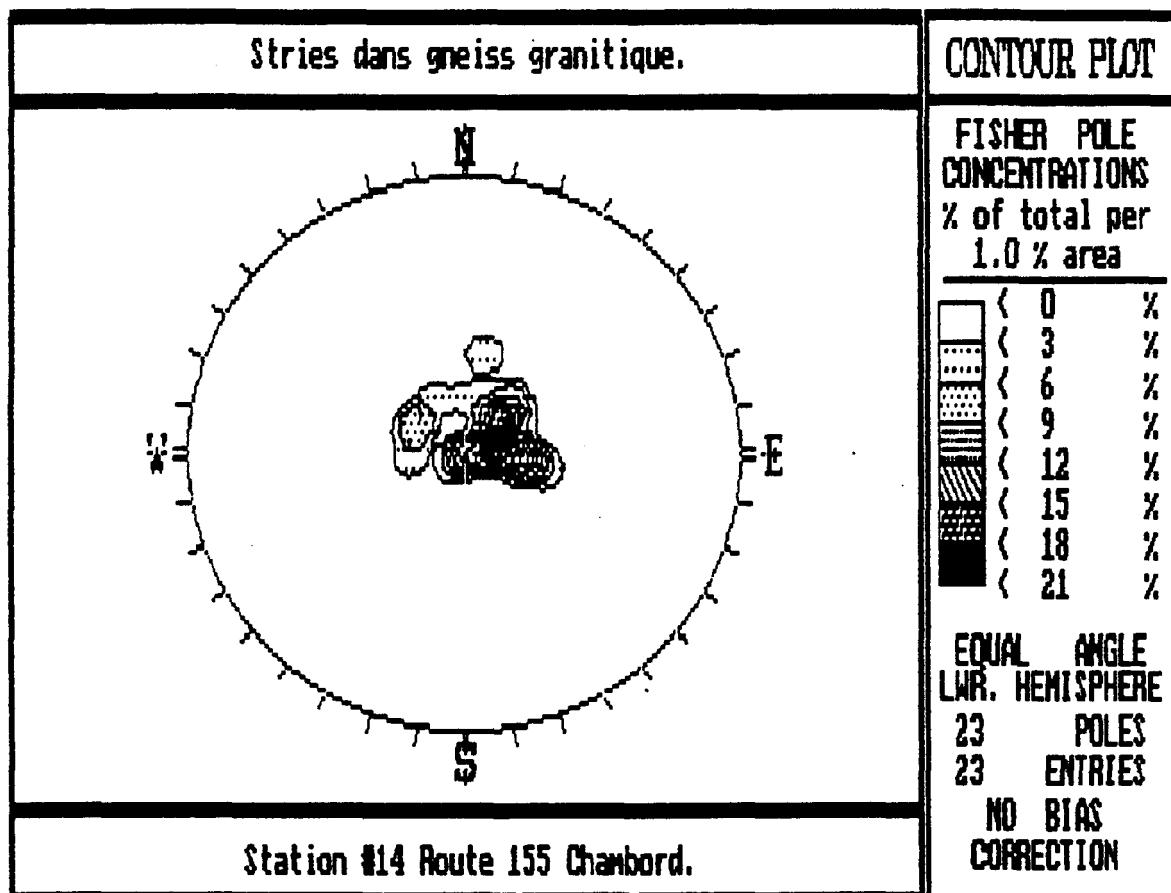


APENDICE V: Figure 5
Compilation des stries sur l'affleurement 6



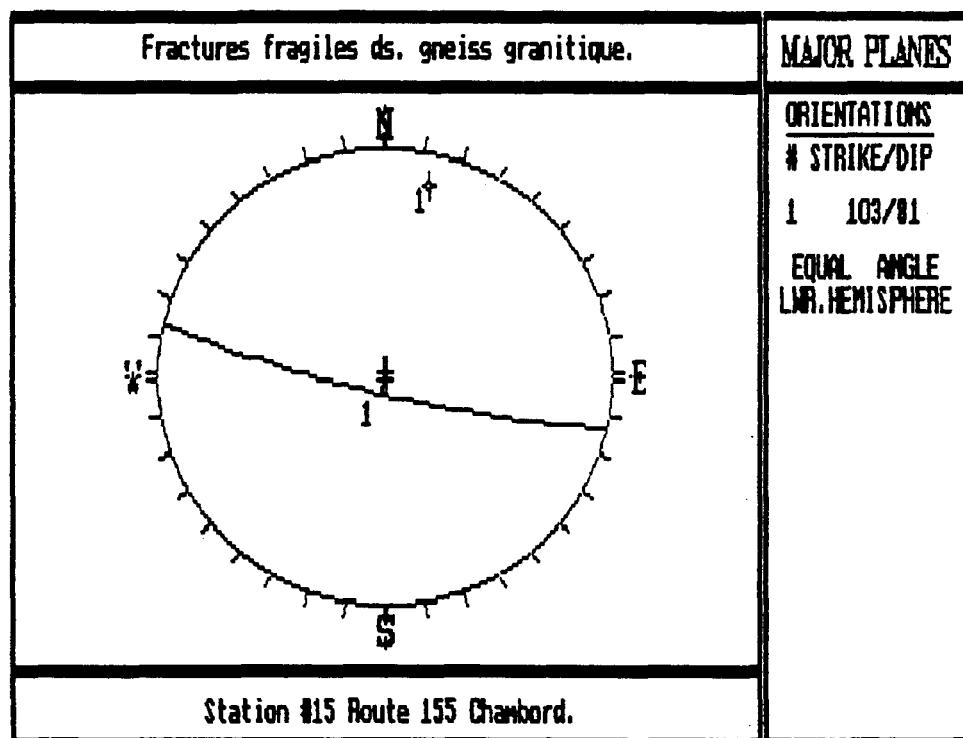
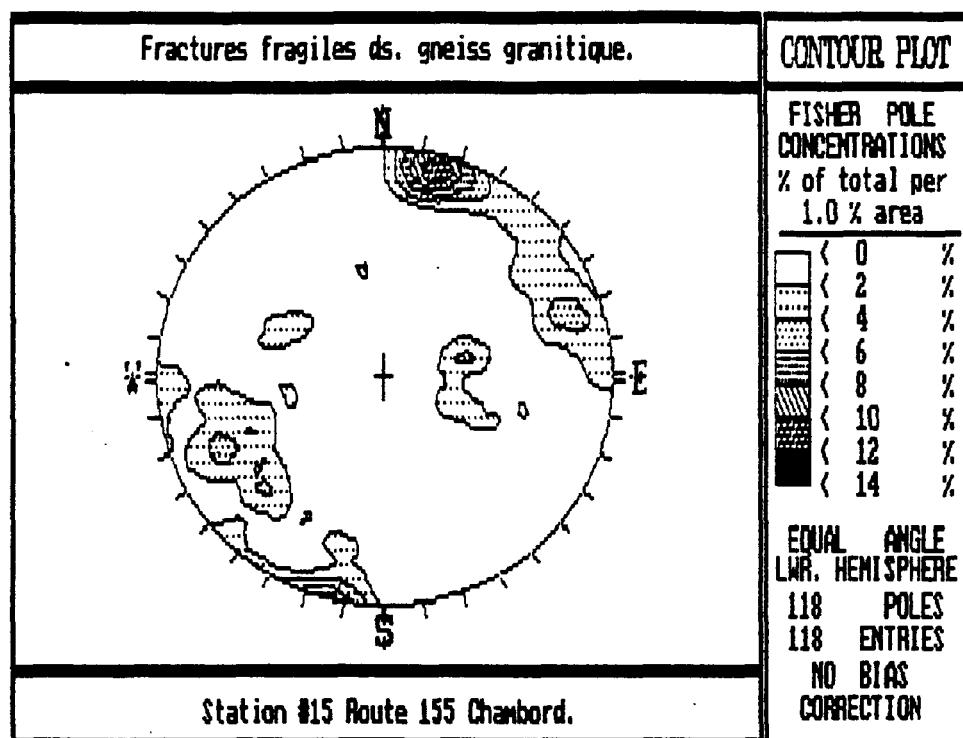
APPENDICE V: Figure 6

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 14



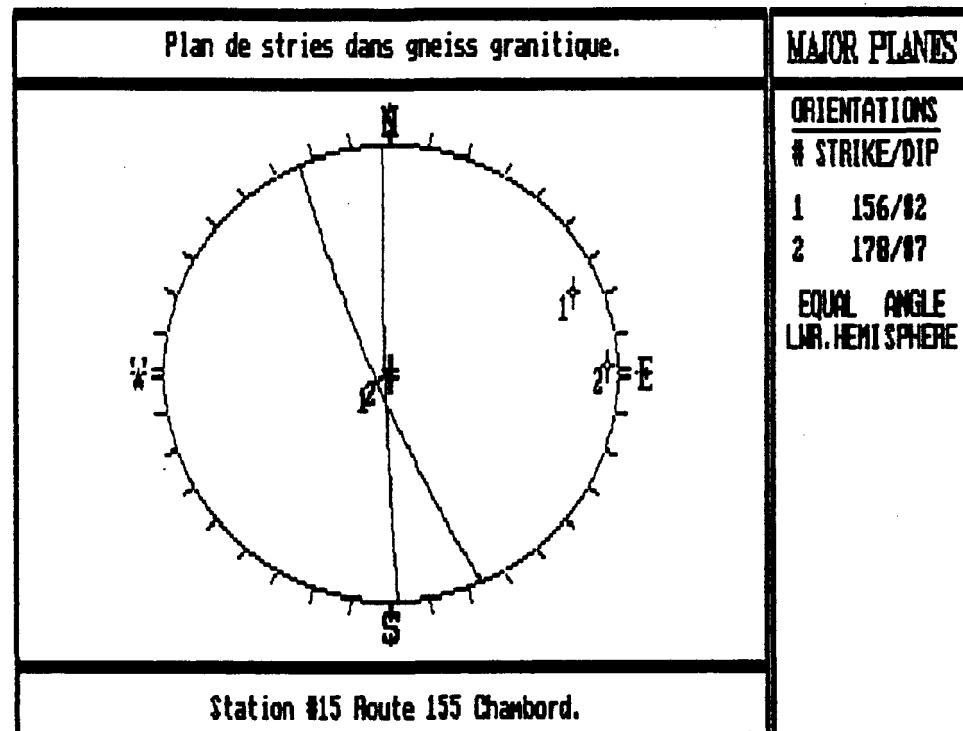
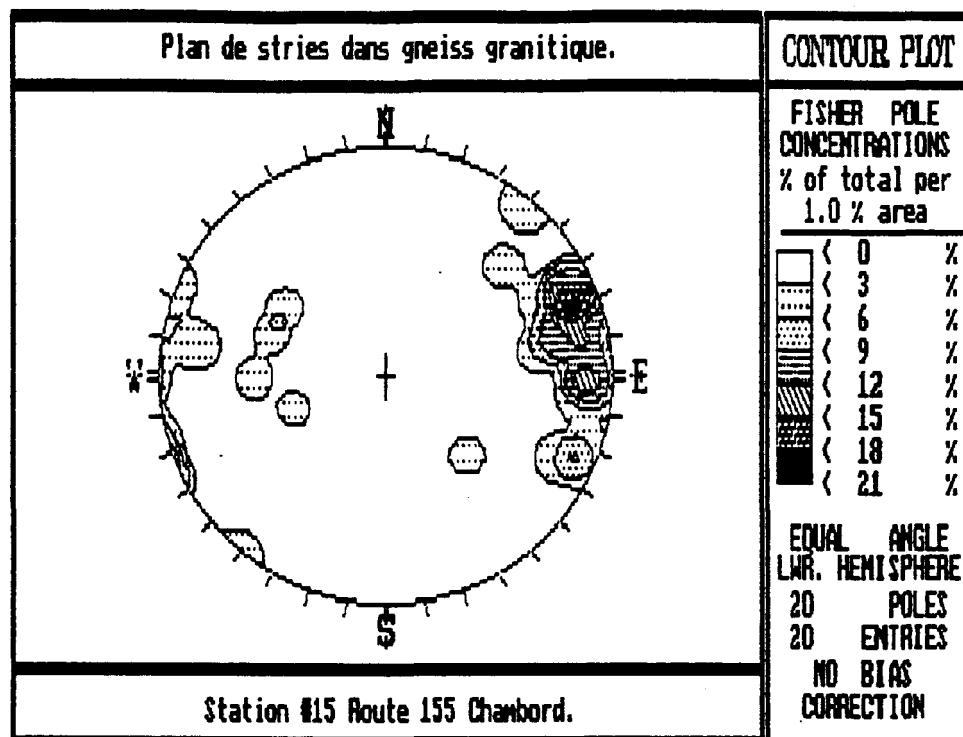
APENDICE V: Figure 7

Compilation des stries sur l'affleurement 14



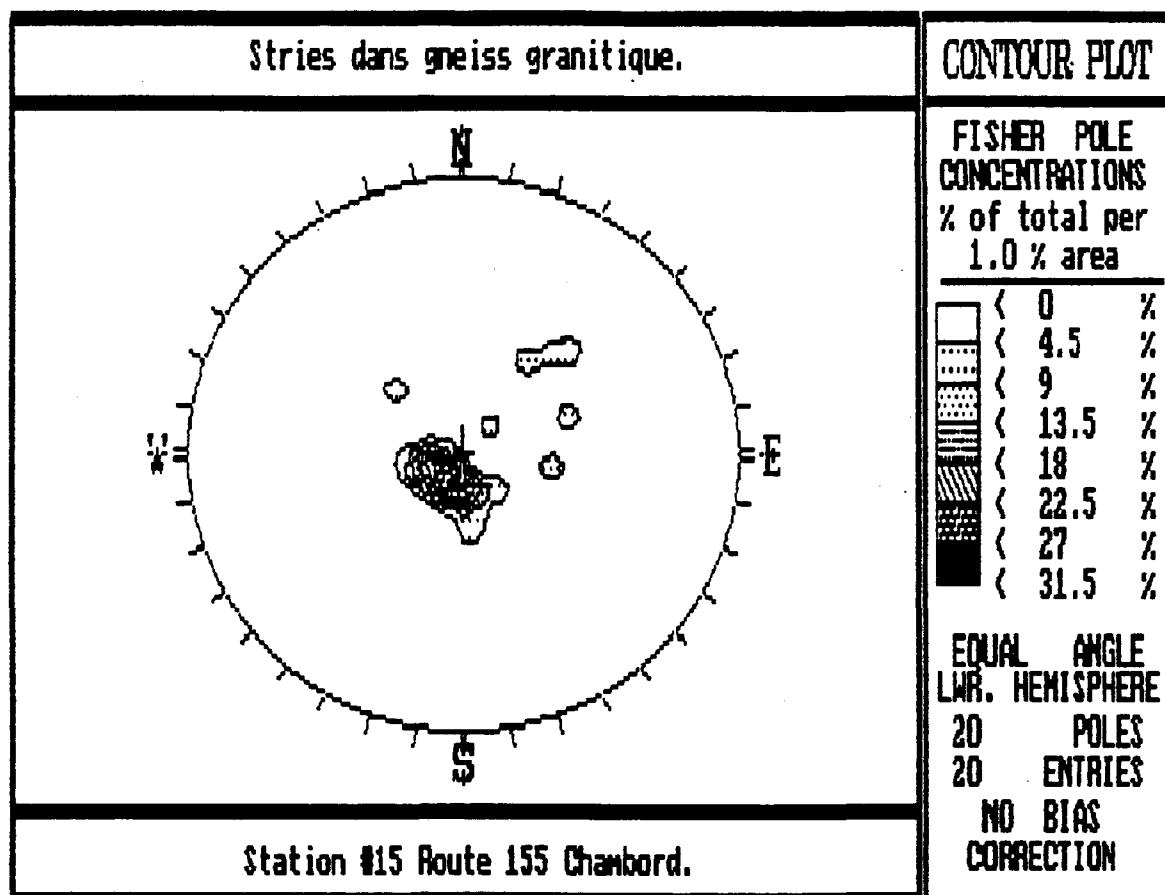
APPENDICE V: Figure 8

Compilation des joints sur l'affleurement 15



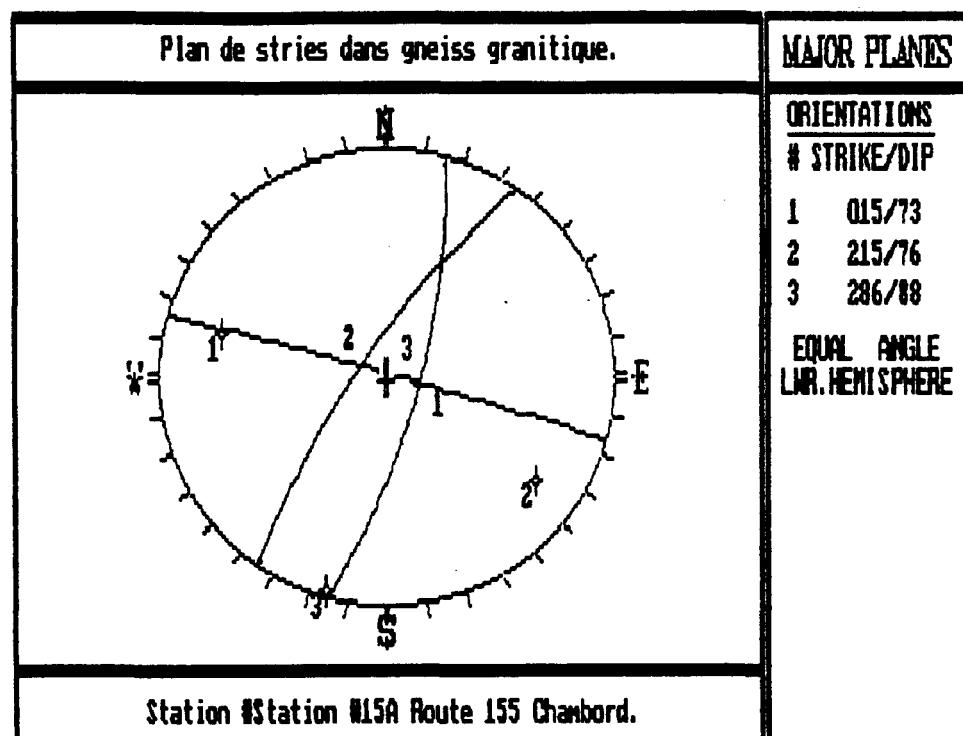
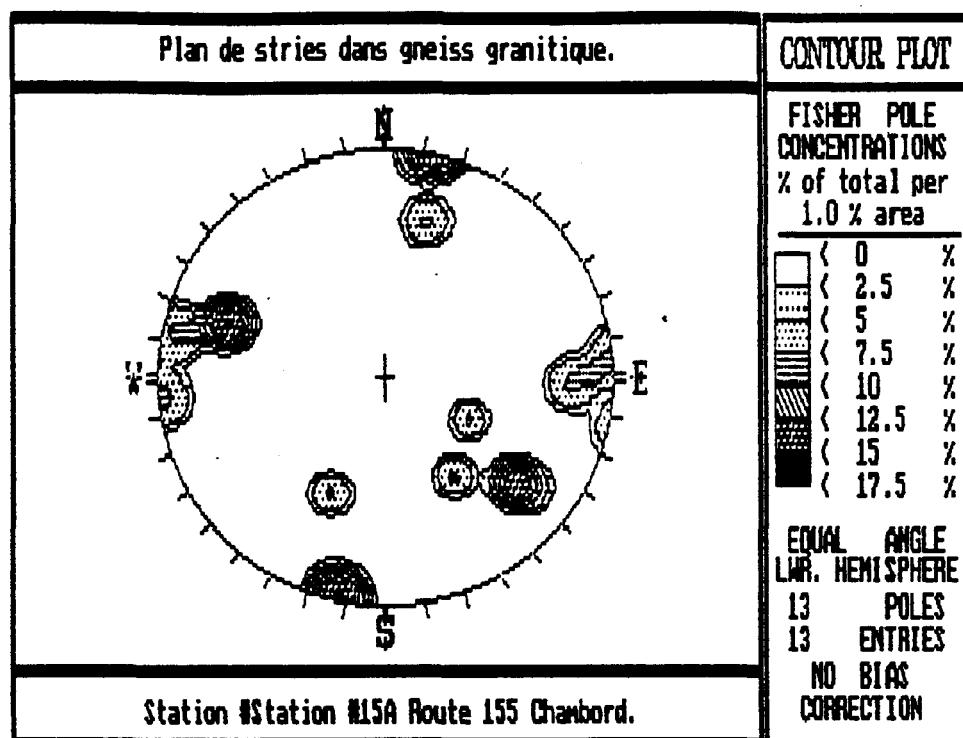
APPENDICE V: Figure 9

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 15



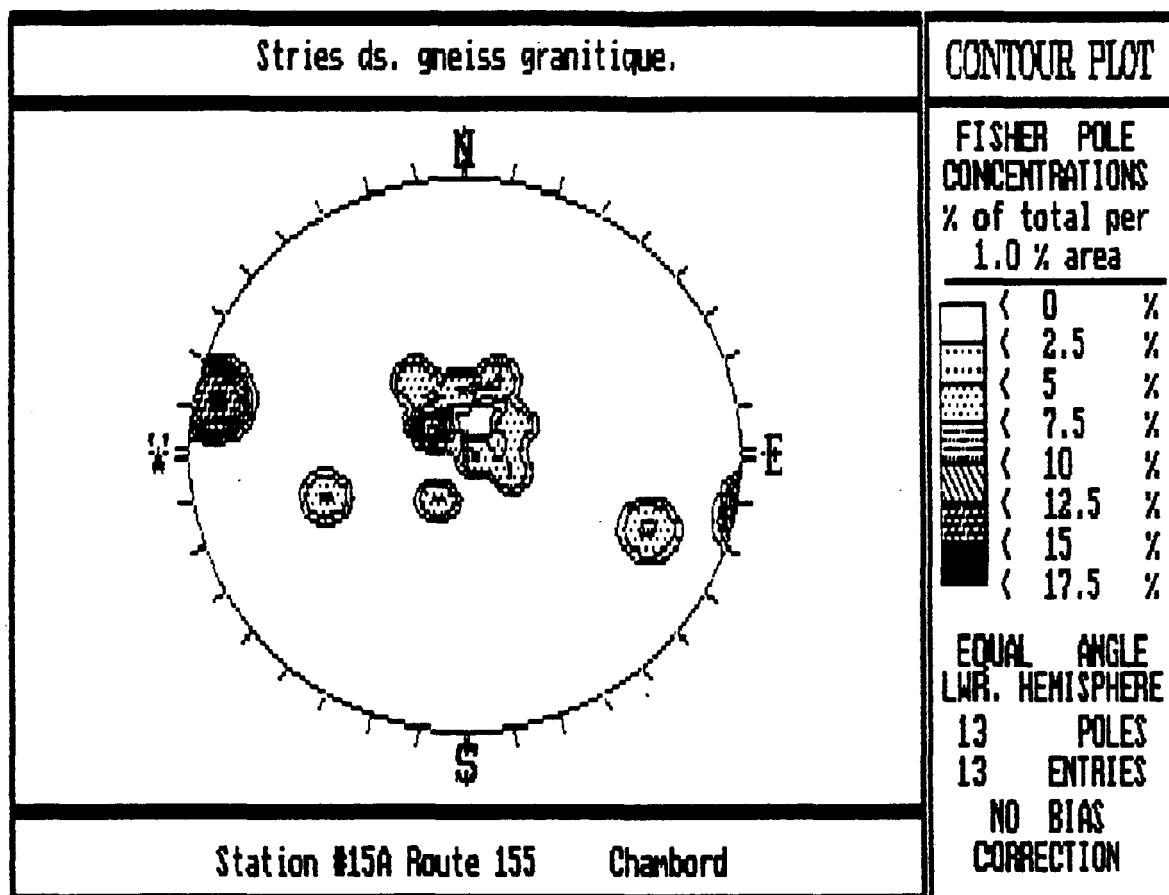
APENDICE V: Figure 10

Compilation des stries sur l'affleurement 15

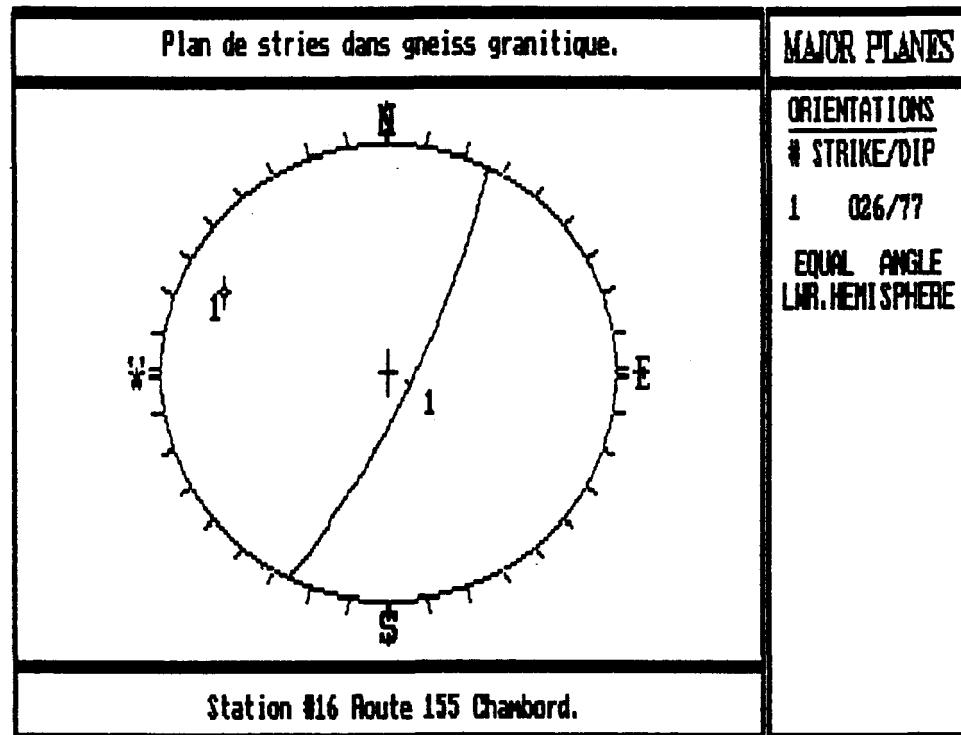
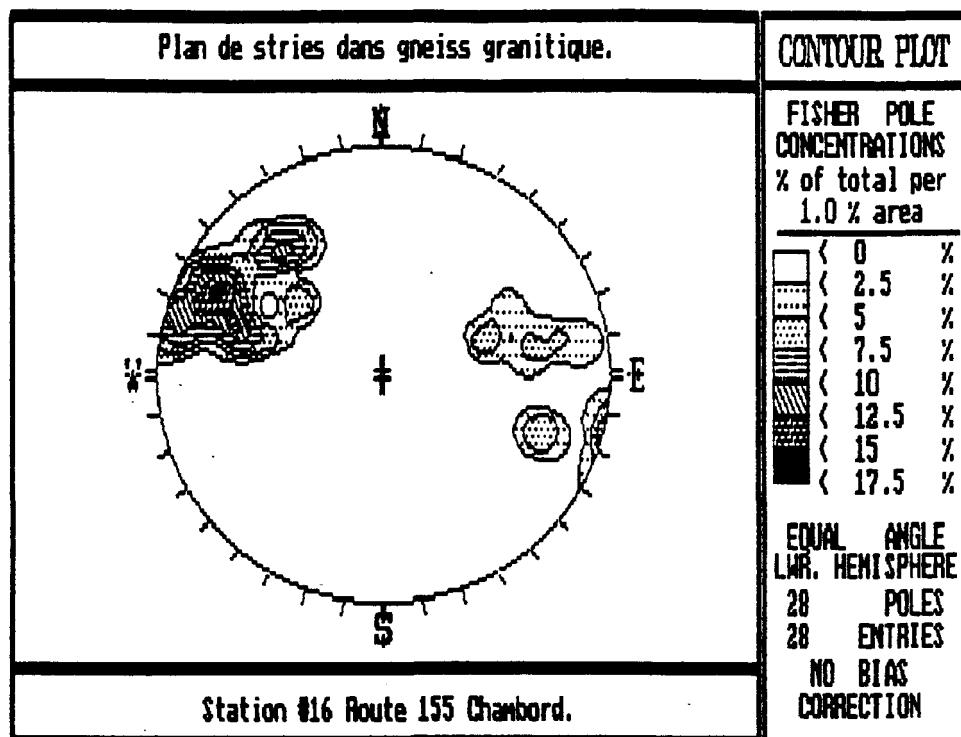


APPENDICE V: Figure 11

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 15A

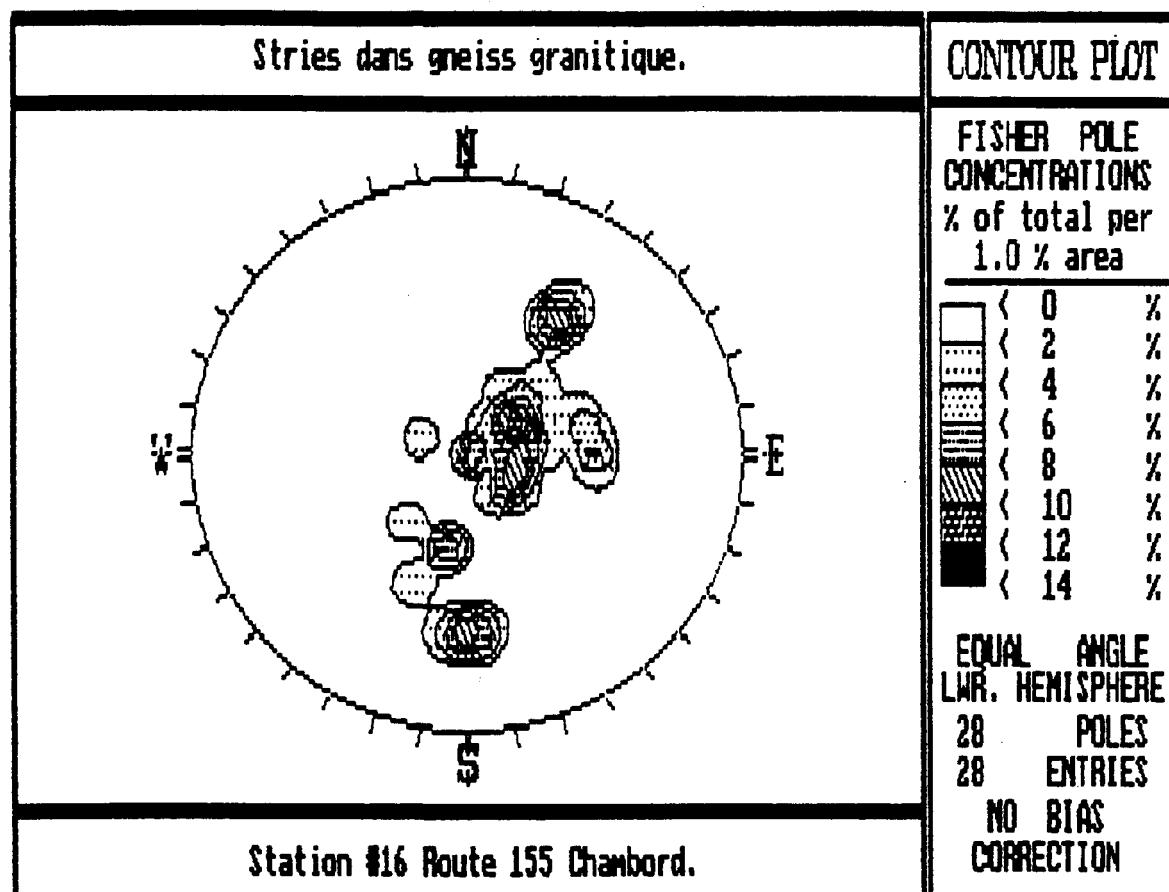


APENDICE V: Figure 12
Compilation des stries sur l'affleurement 15A



APPENDICE V: Figure 13

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 16

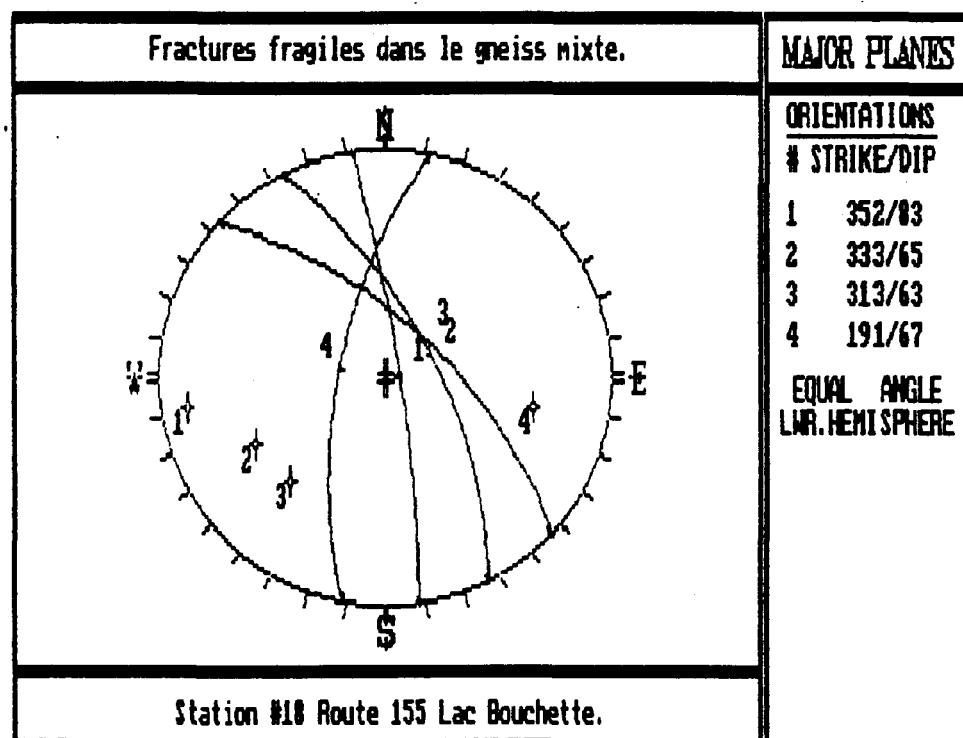
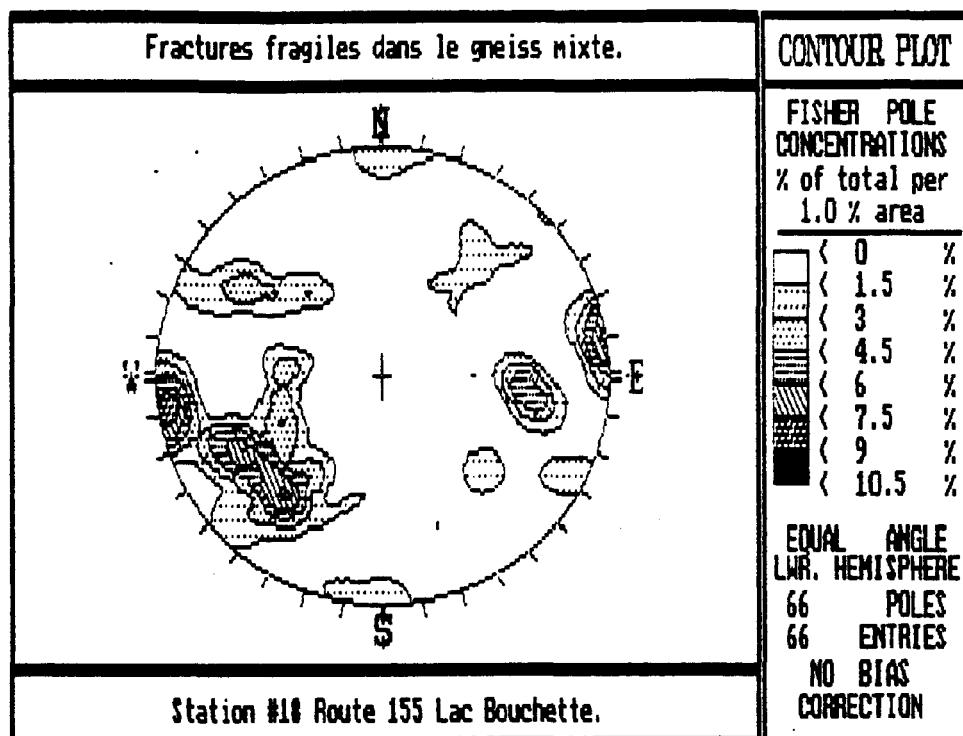


APENDICE V: Figure 14

Compilation des stries sur l'affleurement 16

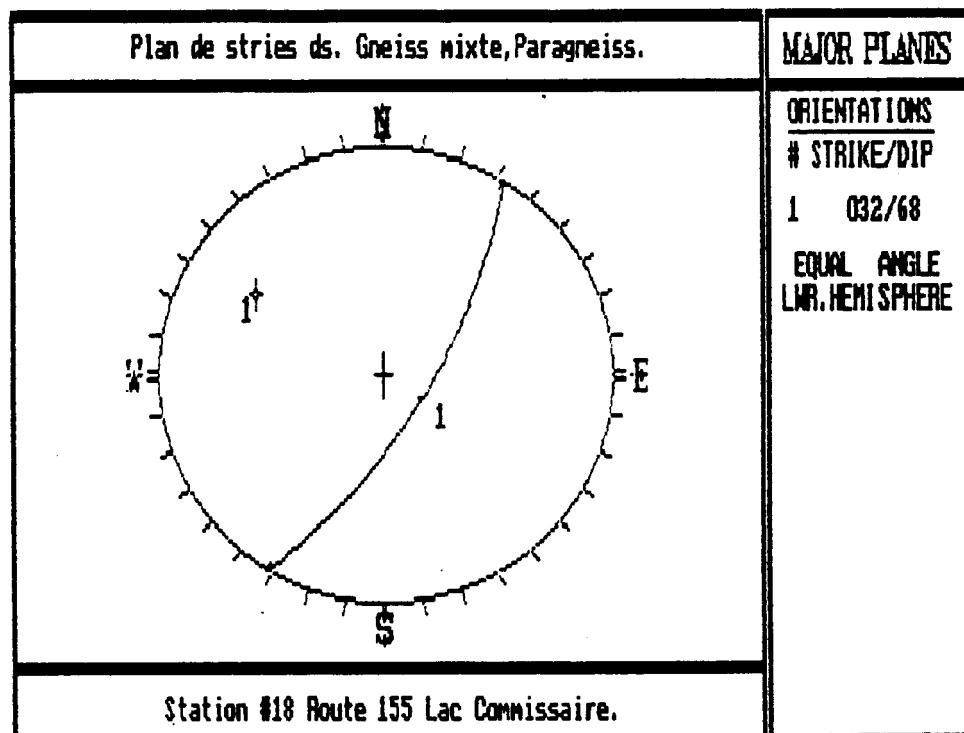
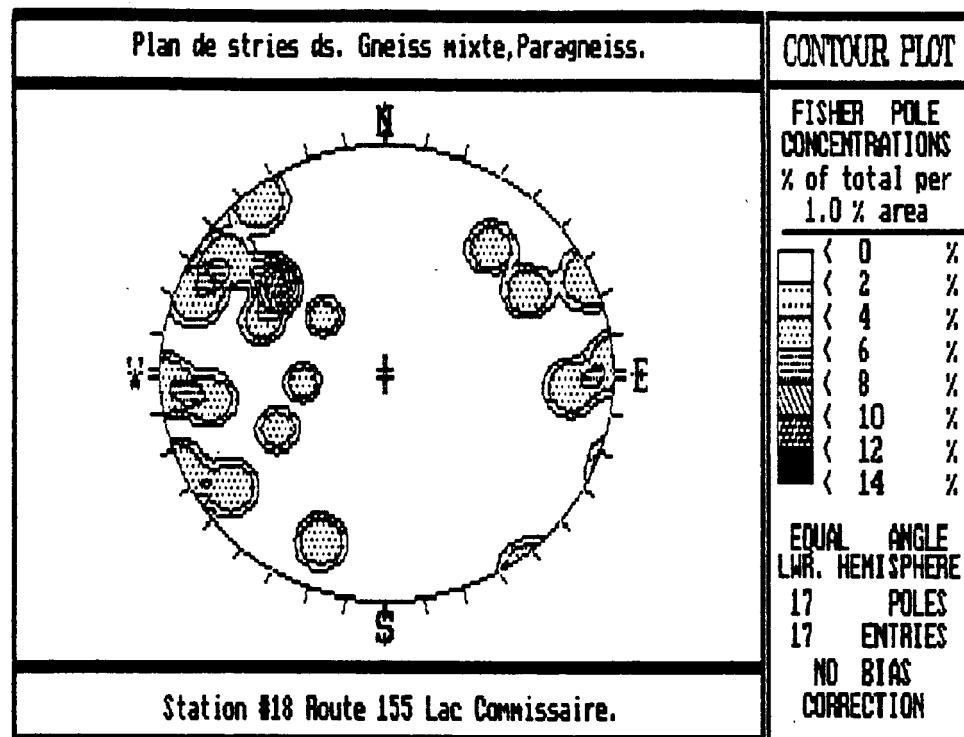
APPENDICE VICOMPILEATION DES JOINTS, DES PLANS DE STRIES ET DES STRIESUnité lithostructurale 6. Complexe de gneiss, paragneiss

1. Aff. 18 Route 155 Lac des Commissaires
2. Aff. 19 Route 155 Lac des Commissaires
3. Aff. 22 Route 169 Rivière Mistassini
4. Aff. 23 Route 169 Rivière Mistassibi



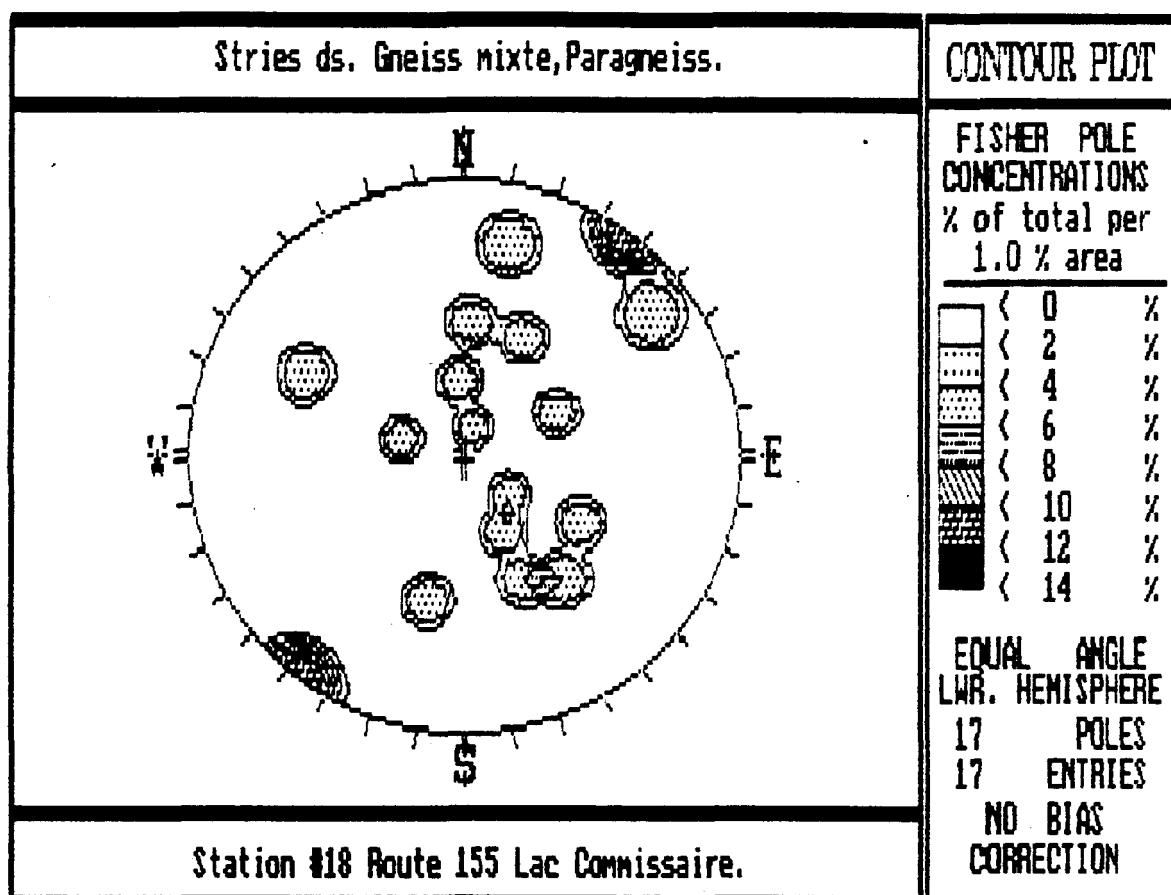
APPENDICE VI: Figure 1

Compilation des joints sur l'affleurement 18



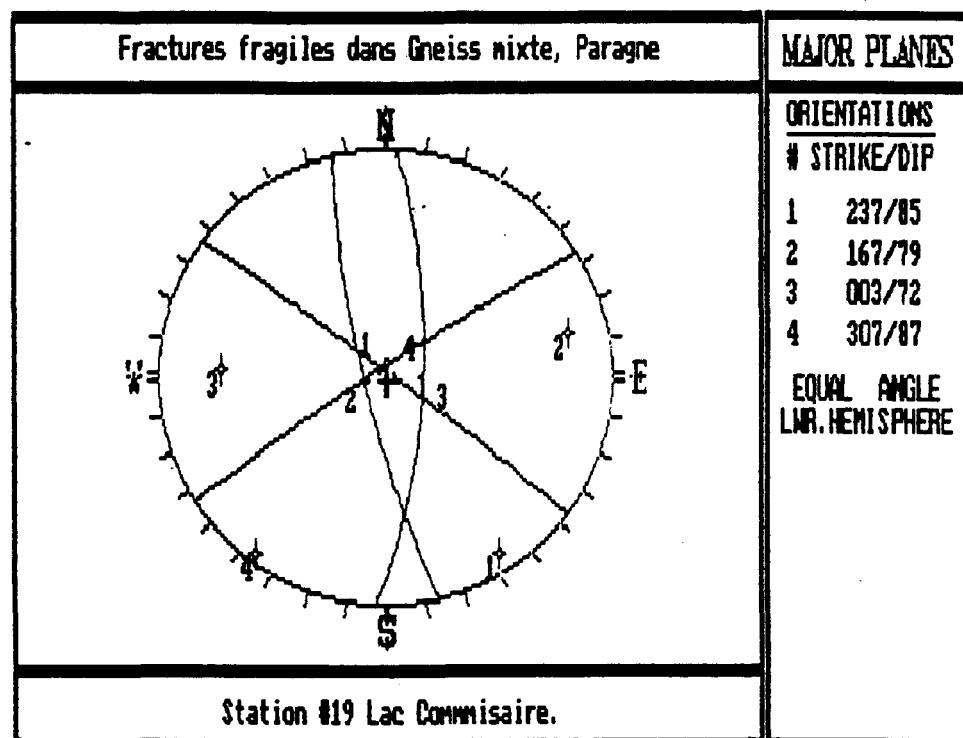
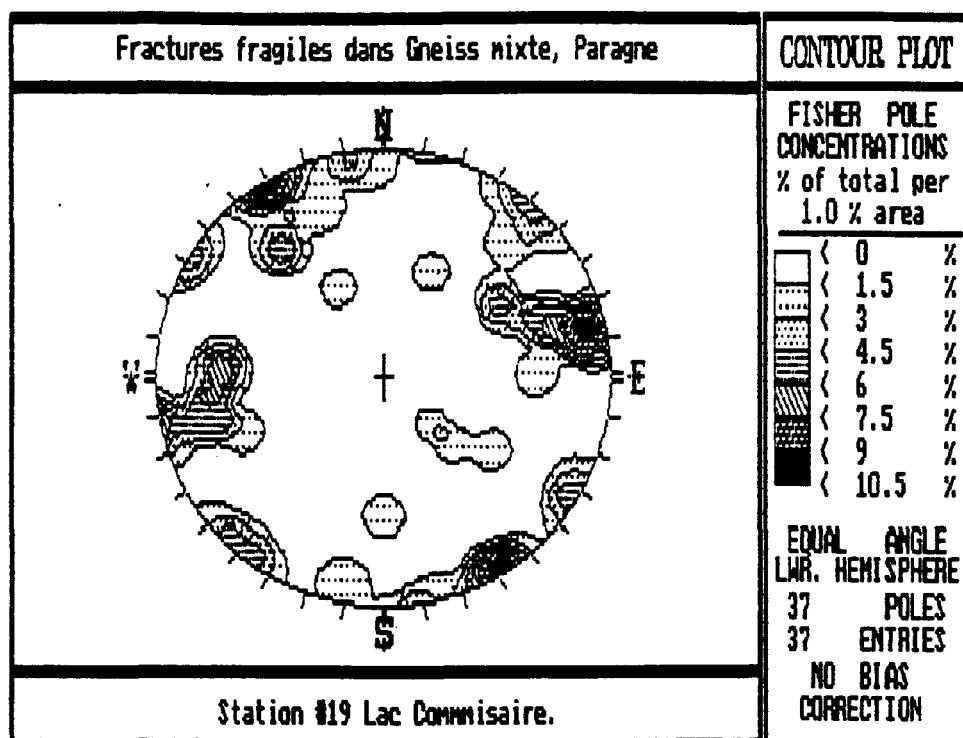
APPENDICE VI: Figure 2

Compilation des plans de stries sur l'affleurement 18



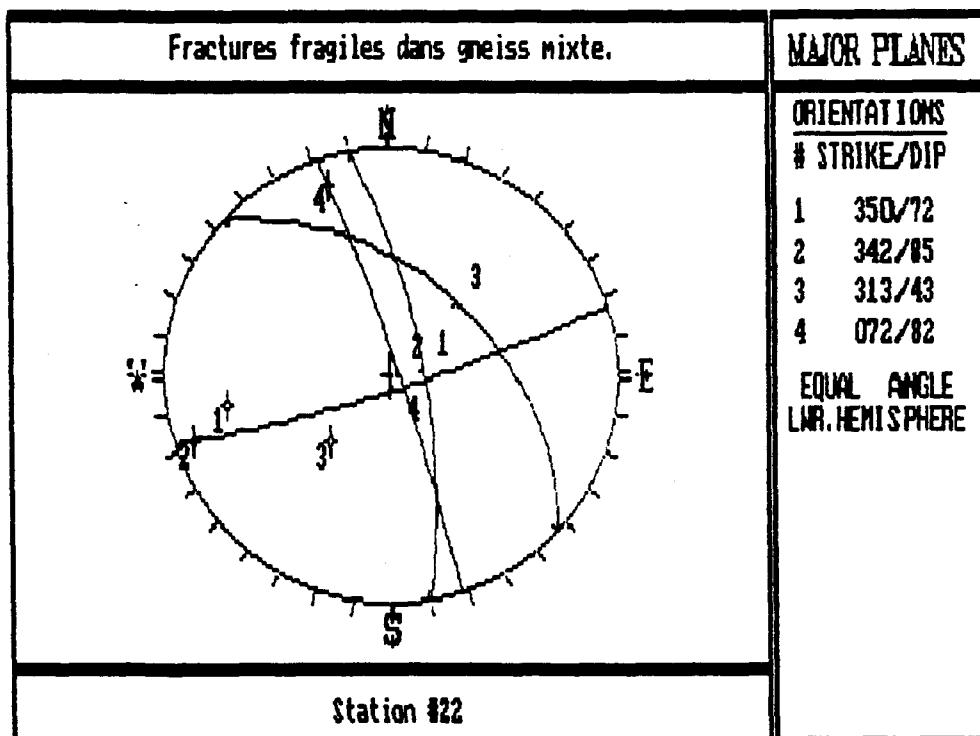
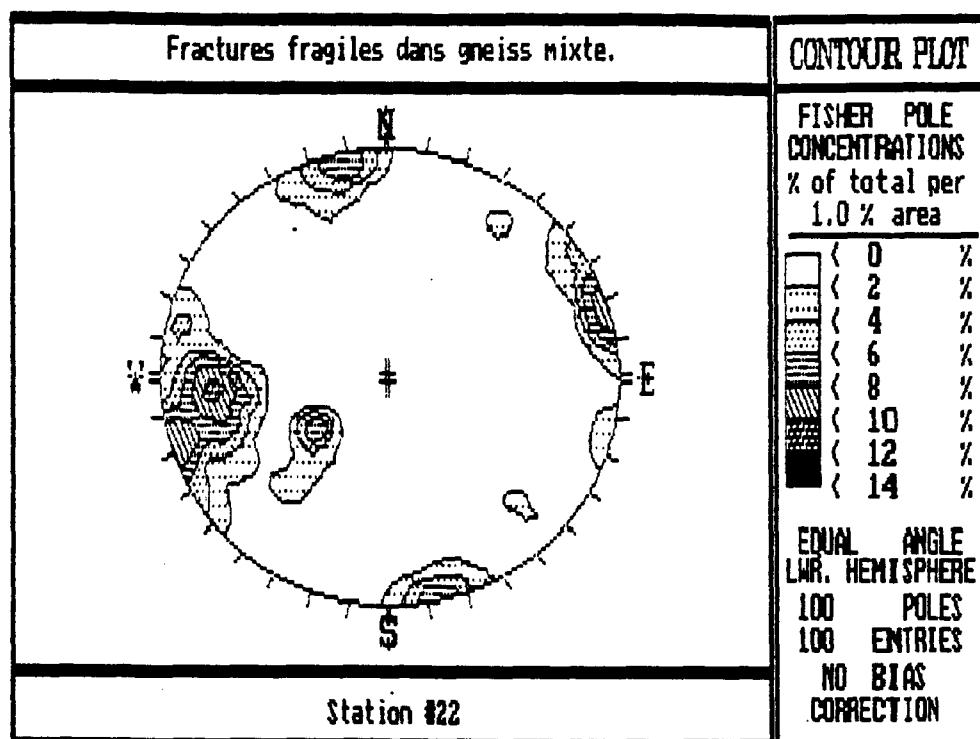
APENDICE VI: Figure 3

Compilation des stries sur l'affleurement 18



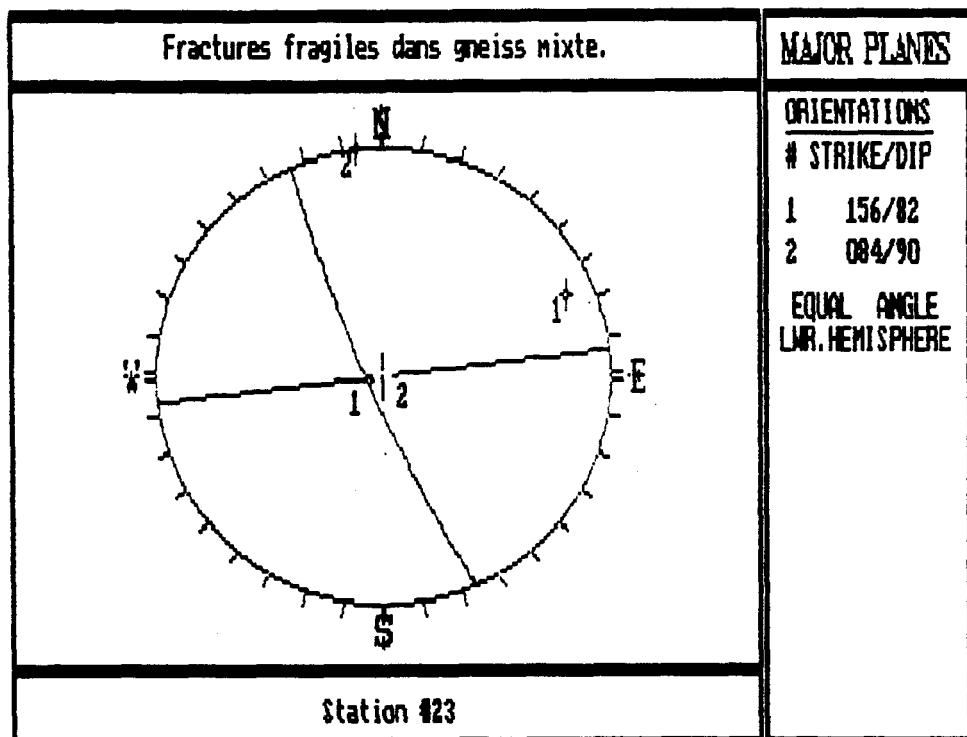
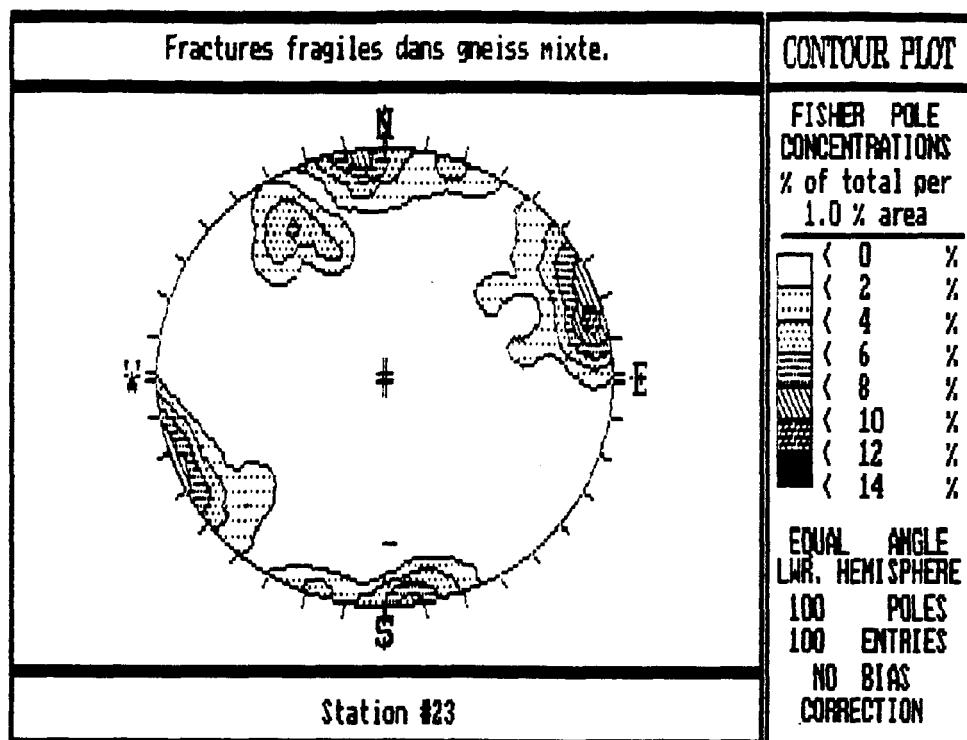
APPENDICE VI: Figure 4

Compilation des joints sur l'affleurement 19



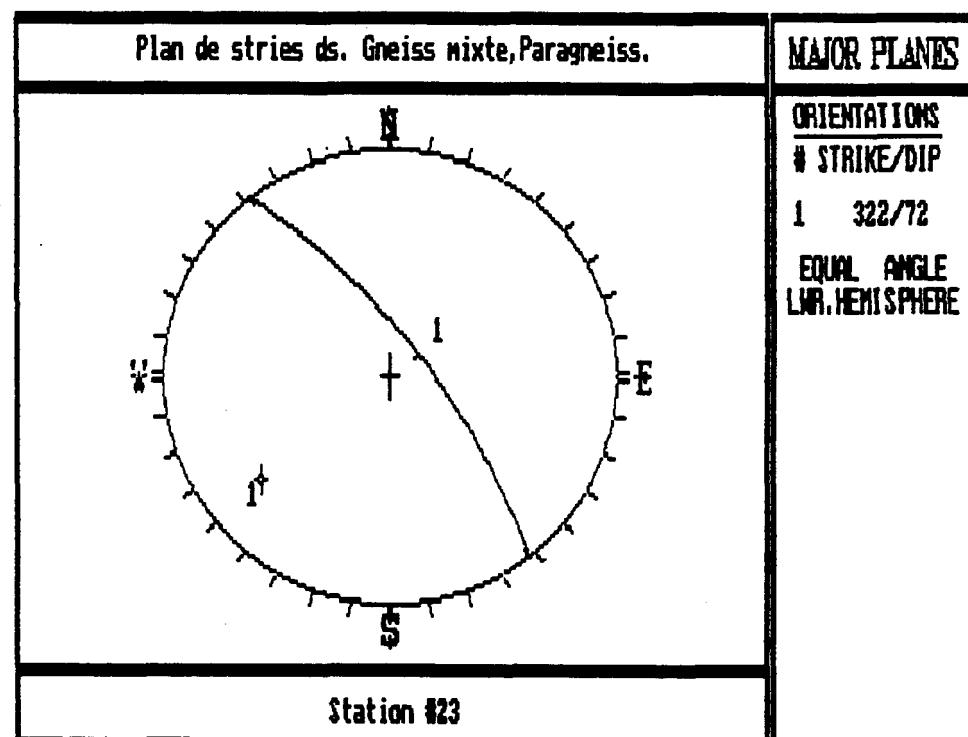
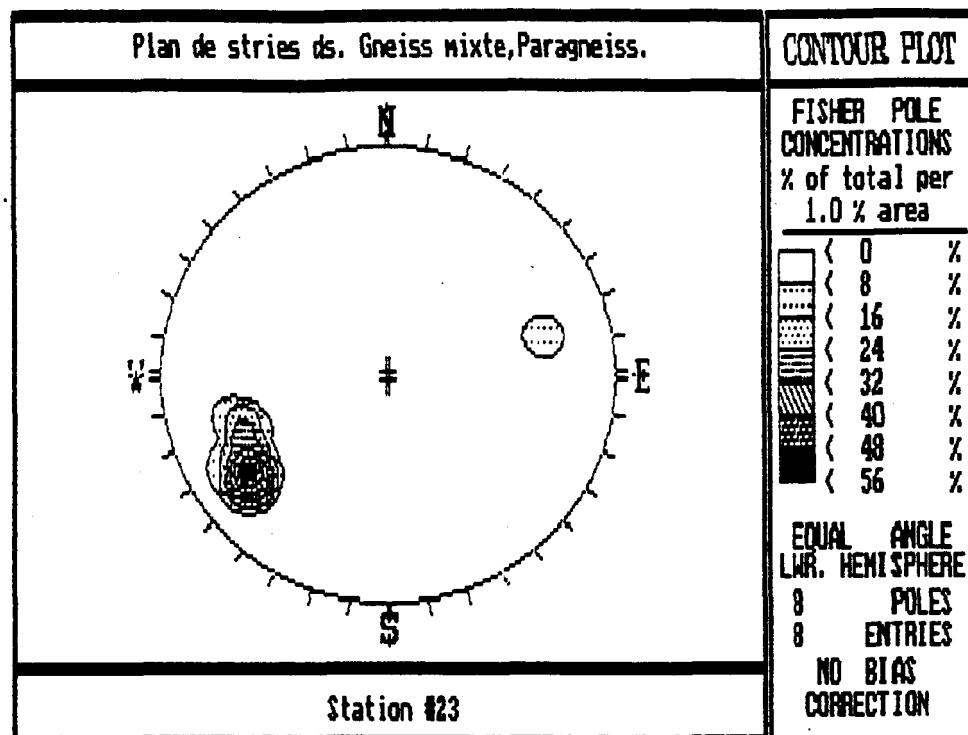
APPENDICE VI: Figure 5

Compilation des joints sur l'affleurement 22



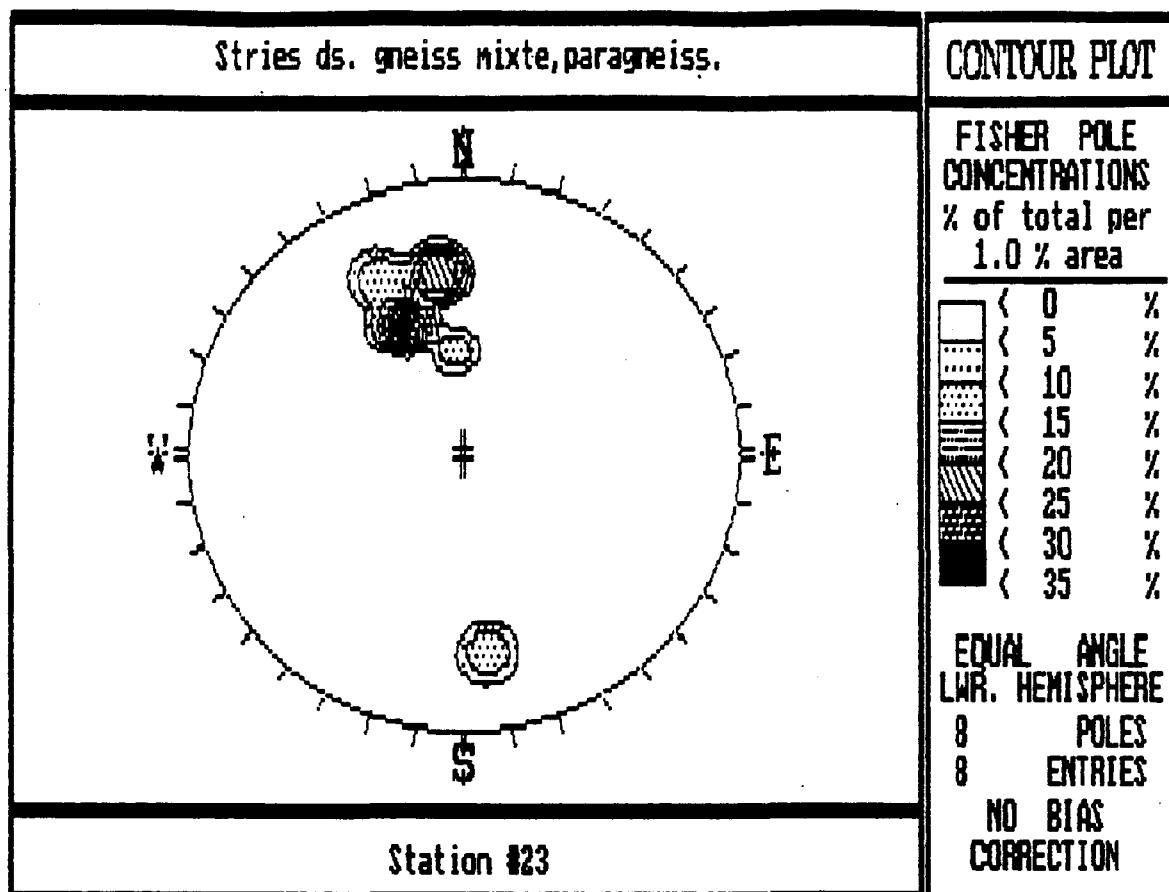
APPENDICE VI: Figure 6

Compilation des joints sur l'affleurement 23



APPENDICE VI: Figure 7

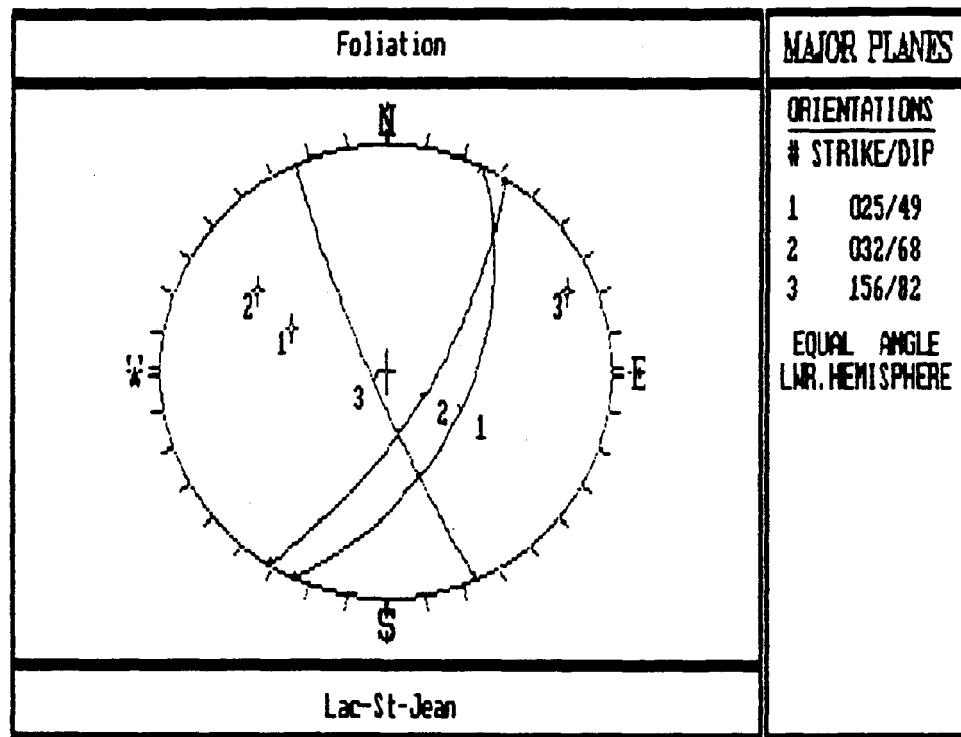
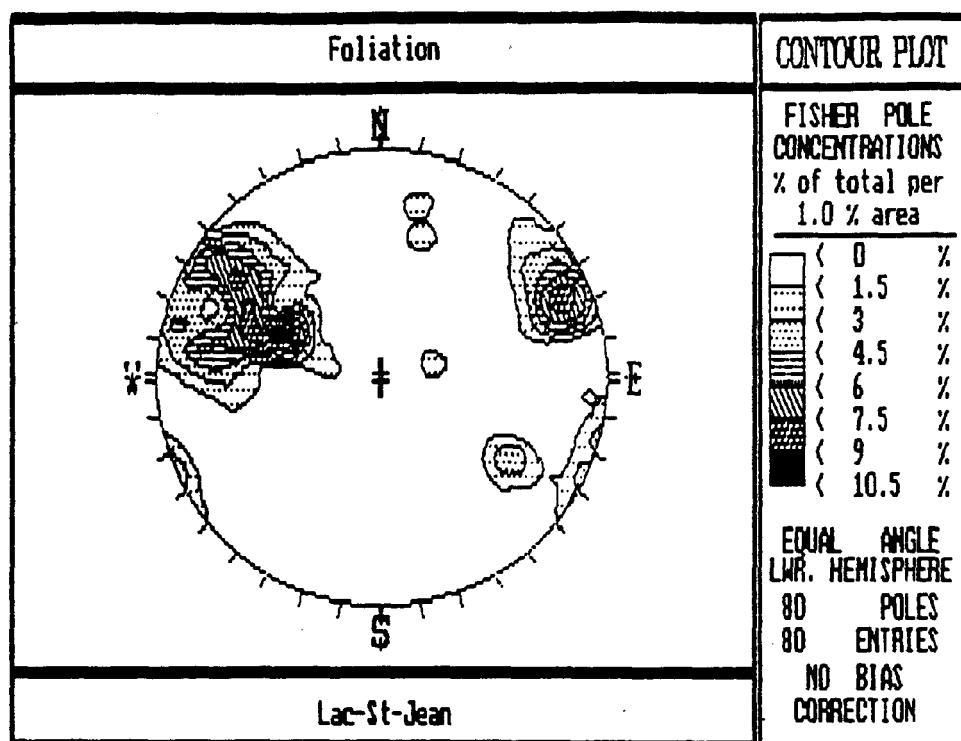
Compilation des plans de stries sur l'affleurement 23

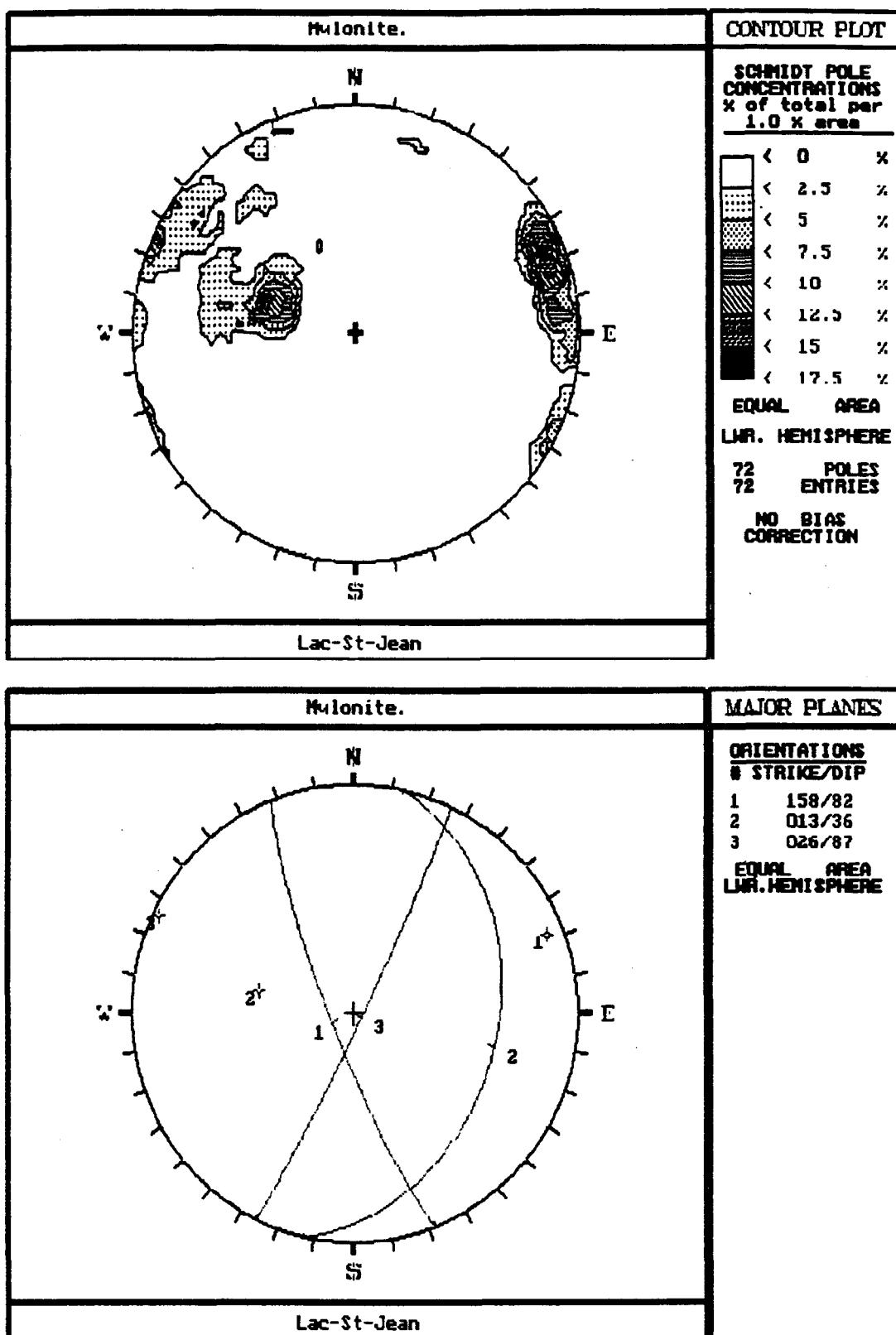


APENDICE VI: Figure 8
Compilation des stries sur l'affleurement 23

APPENDICE VII

1. Foliation au Lac-St-Jean
2. Cisaillements ductiles au Lac-St-Jean





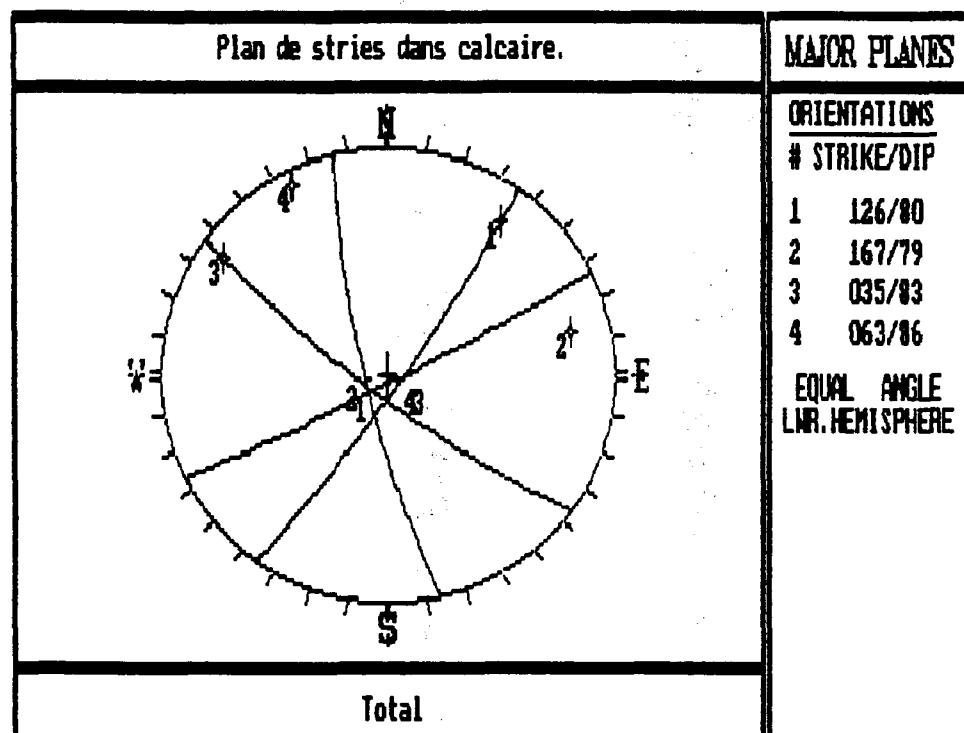
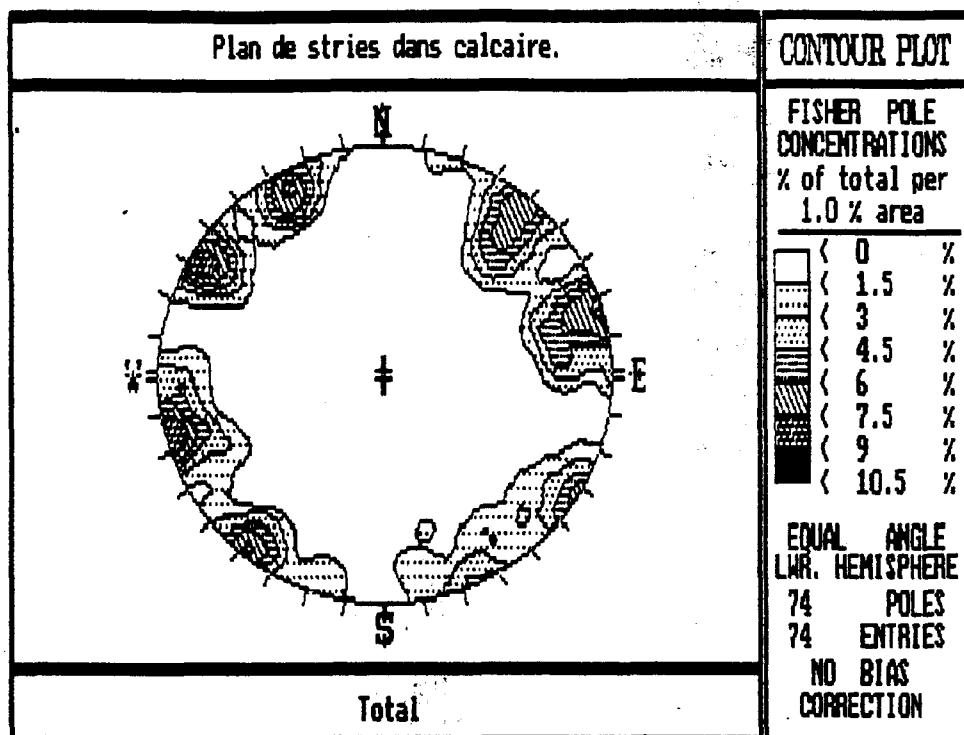
APPENDICE VII: Figure 2

Compilation des mesures des cisaillements ductiles au Lac-St-Jean

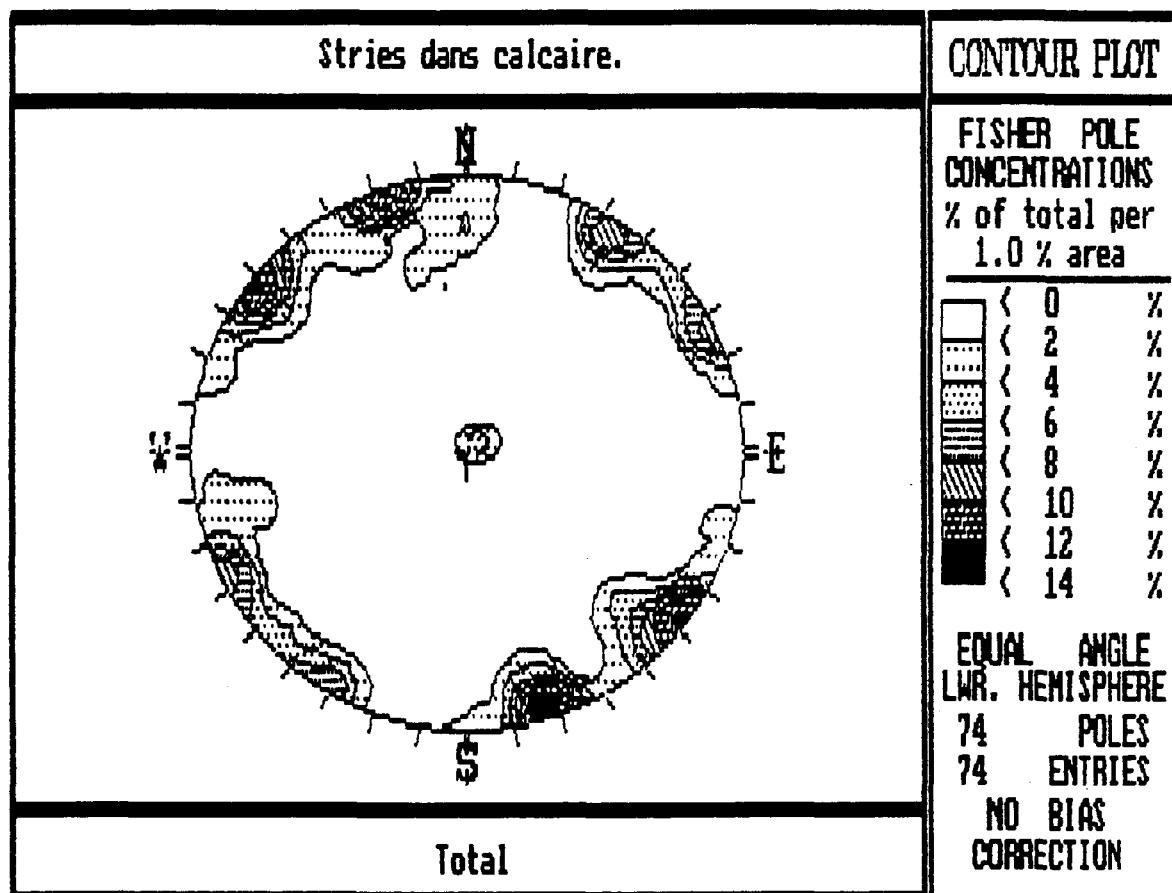
APPENDICE VIII

COMPILATION DES PLANS DE STRIES ET DES STRIES PAR UNITE
LITHOSTRUCTURALE ET TOTAL

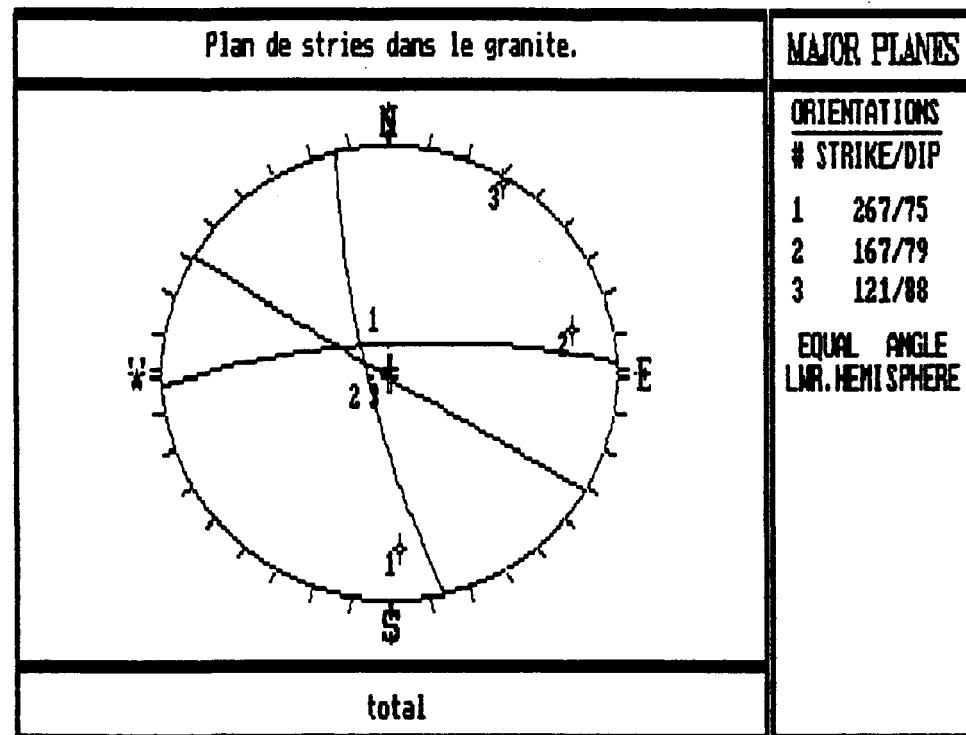
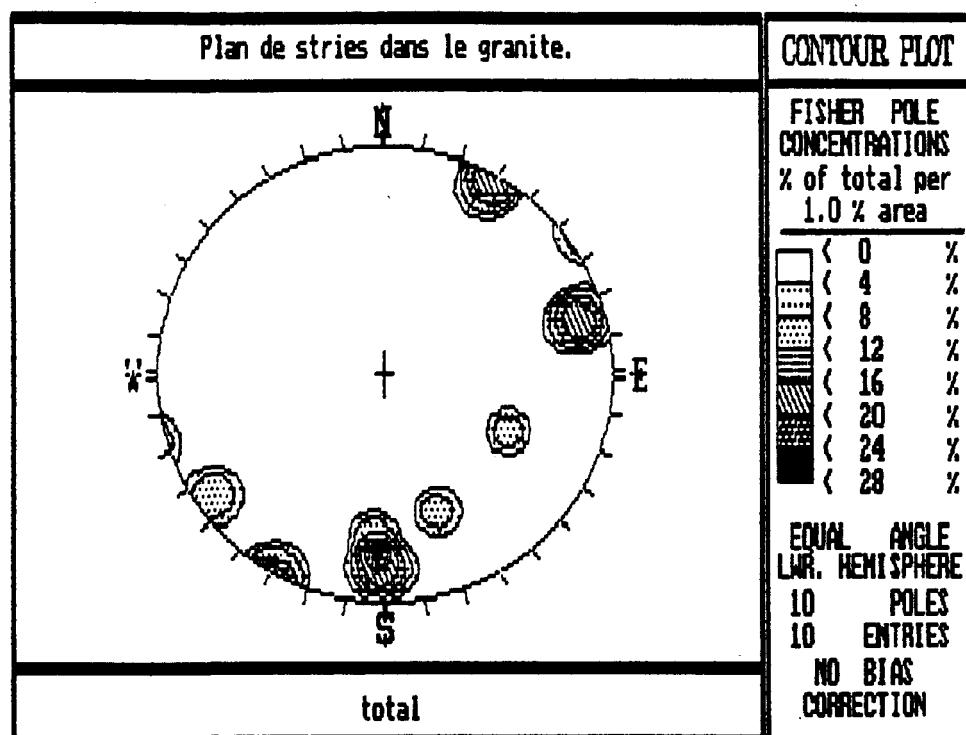
1. Calcaire, compilation des plans de stries
2. Calcaire, compilation des stries
3. Granite, compilation des plans de stries
4. Granite, compilation des stries
5. Anorthosite, compilation des plans de stries
6. Anorthosite, compilation des stries
7. Gneiss granitiques, compilation des plans de stries
8. Gneiss granitiques, compilation des stries
9. Gneiss mixtes-paragneiss, compilation des plans de stries
10. Gneiss mixtes-paragneiss, compilation des stries
11. Compilation des plans de stries pour l'ensemble du Lac-St-Jean
12. Compilation des stries pour l'ensemble du Lac-St-Jean



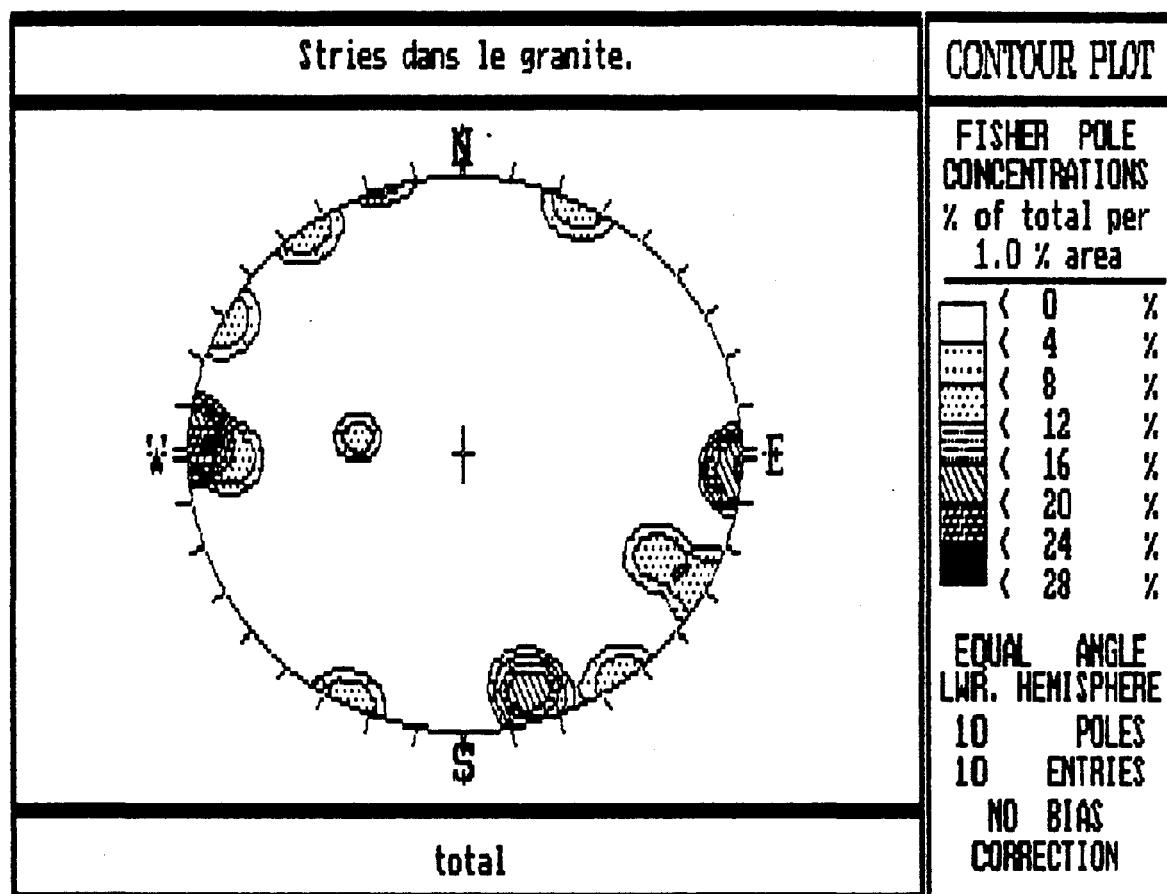
APPENDICE VIII: Figure 1
Compilation des mesures de plans de stries sur le calcaire



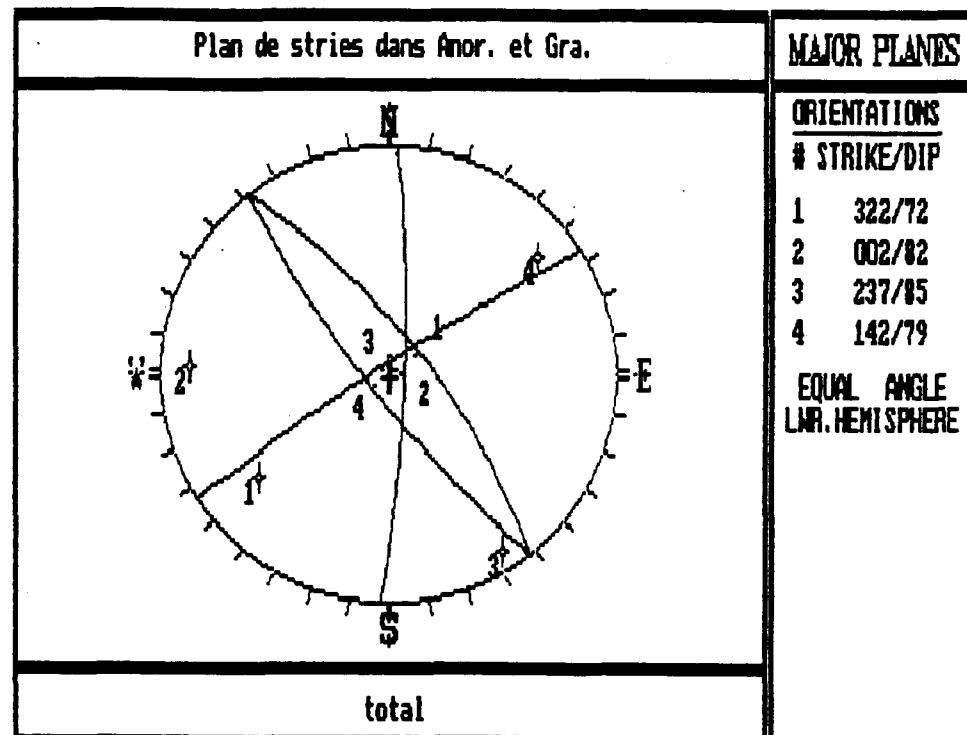
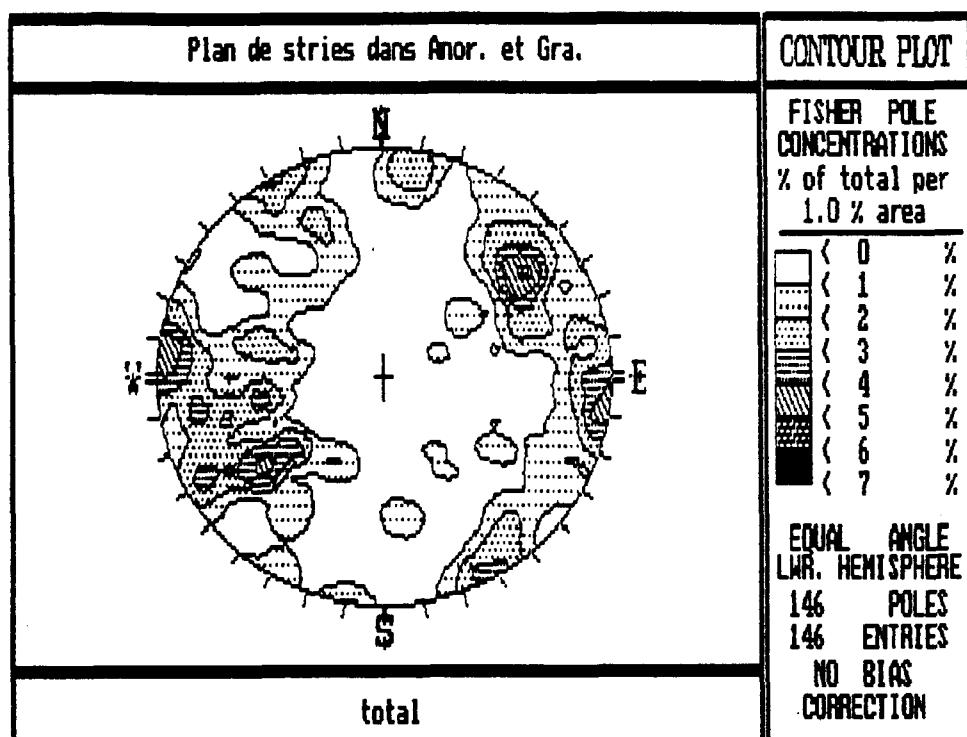
APPENDICE VIII: Figure 2
Compilation des mesures de stries sur le calcaire



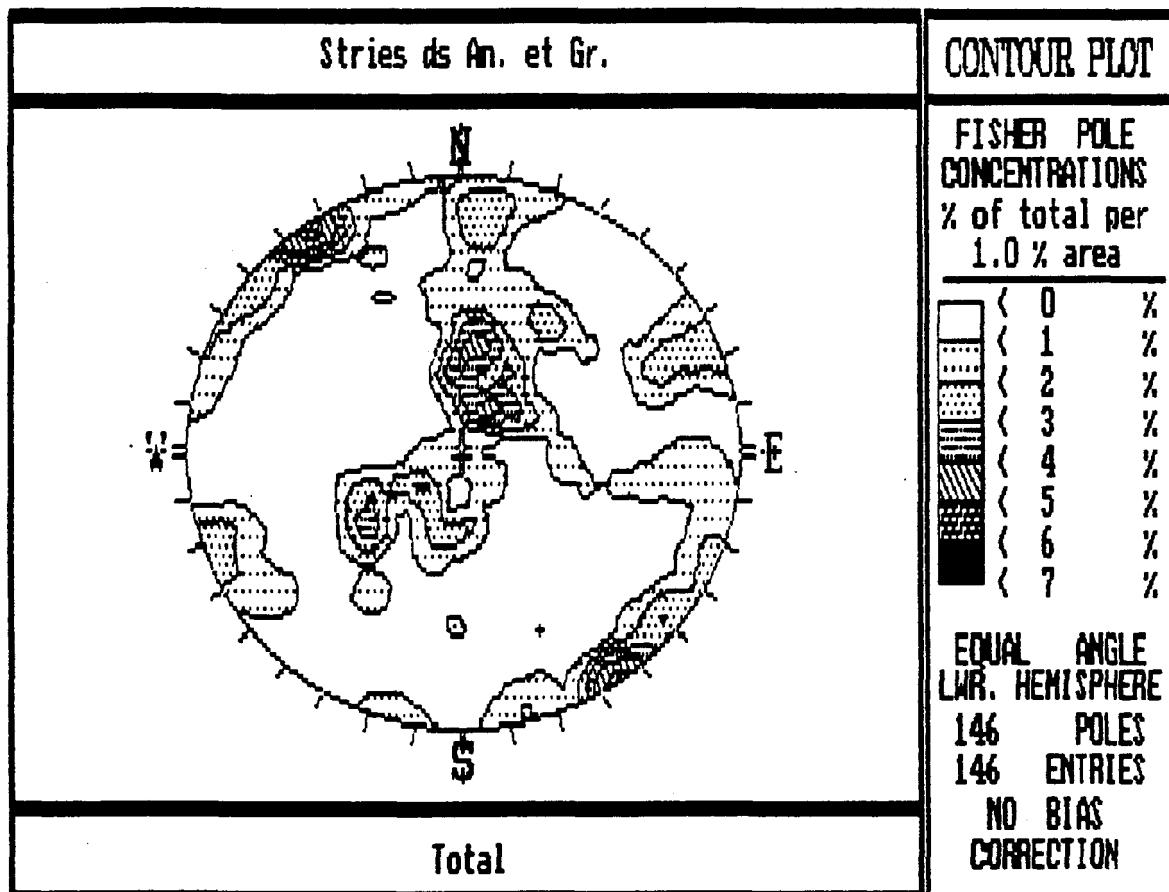
APPENDICE VIII: Figure 3
Compilation des mesures de plans de stries sur le granite



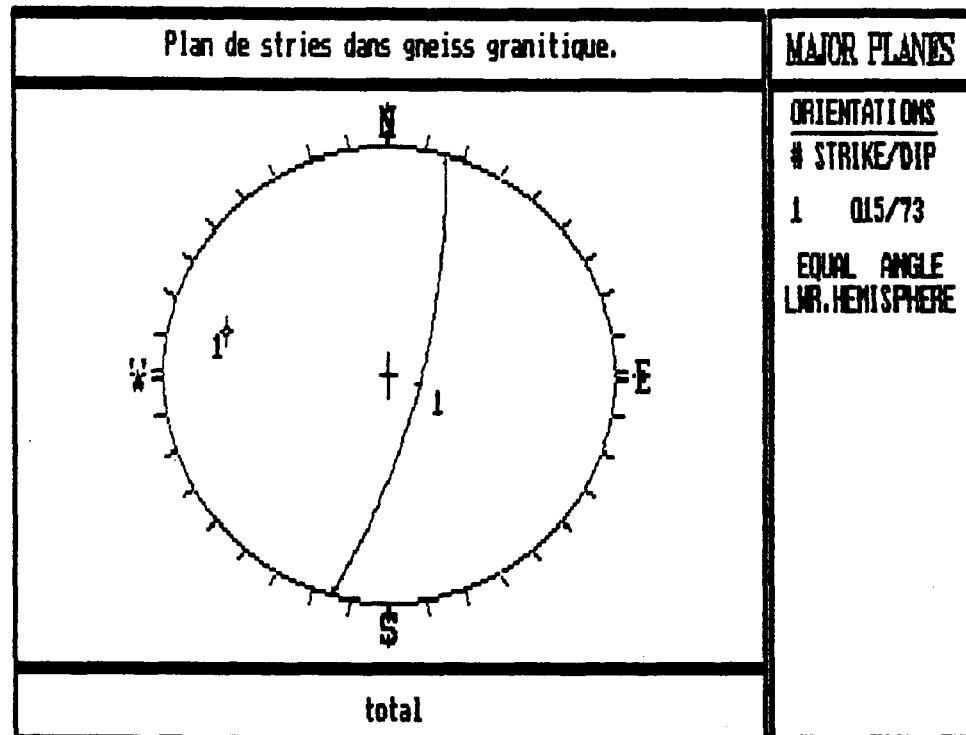
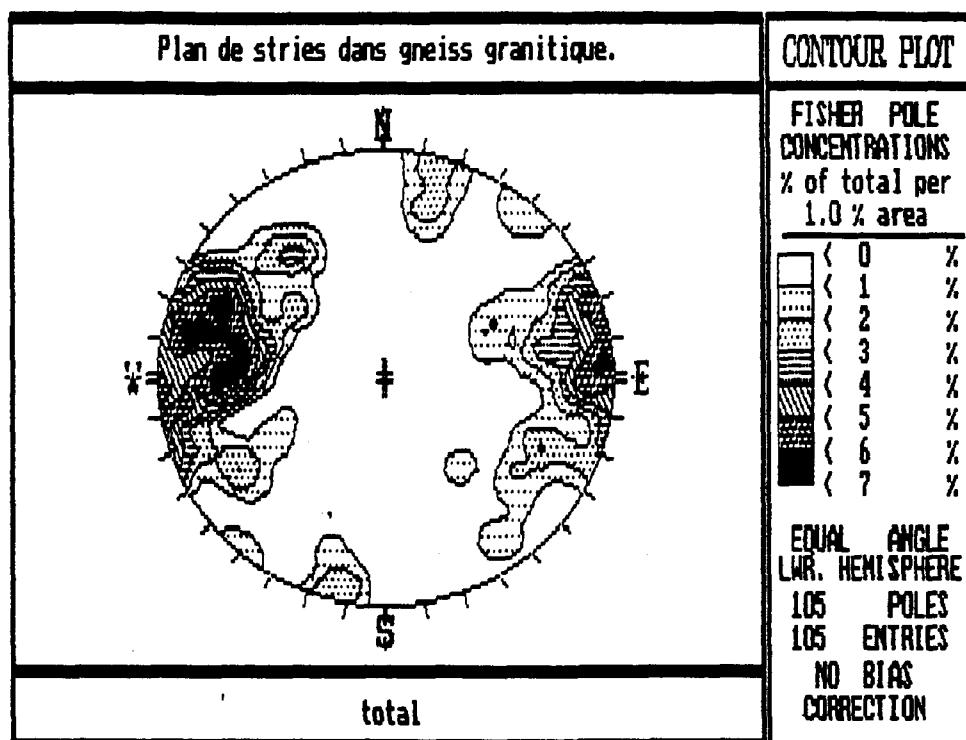
APPENDICE VIII: Figure 4
Compilation des mesures de stries sur le granite



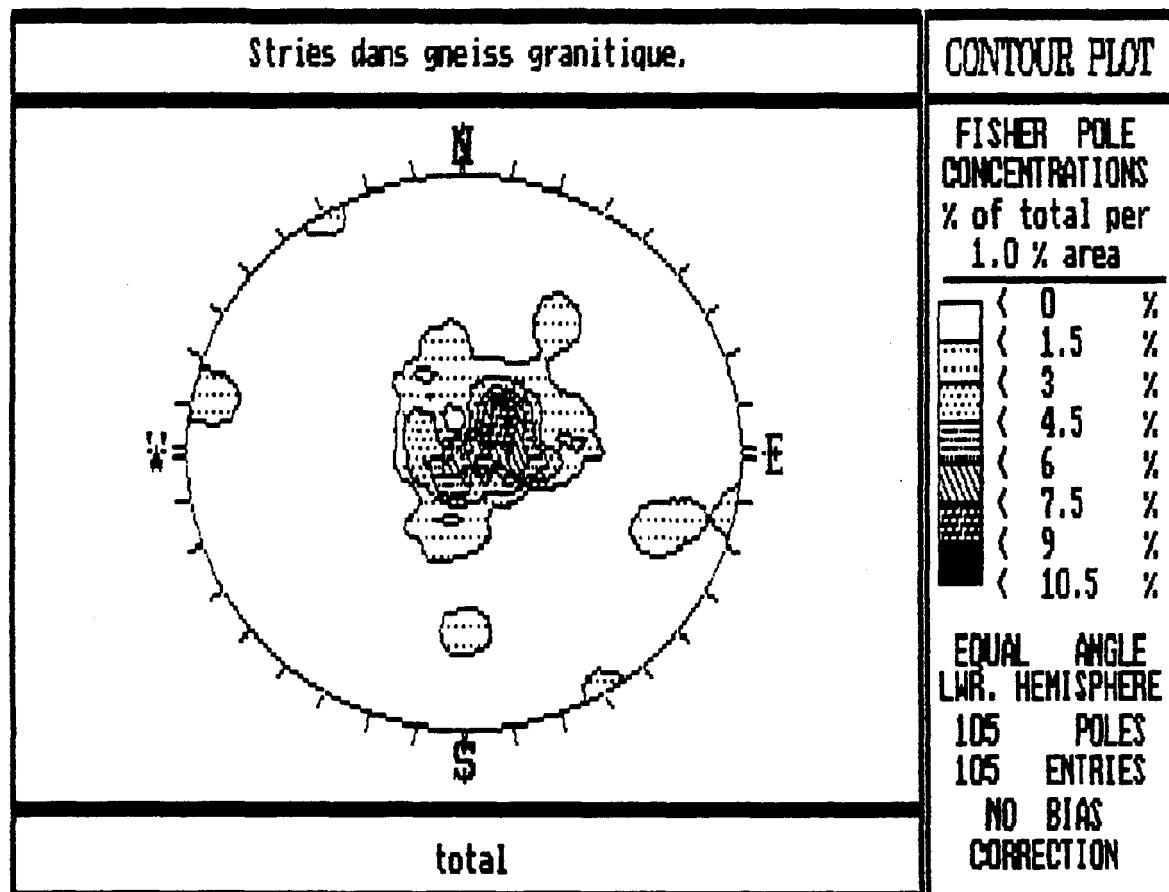
APPENDICE VIII: Figure 5
Compilation des mesures de plans de stries sur l'anorthosite



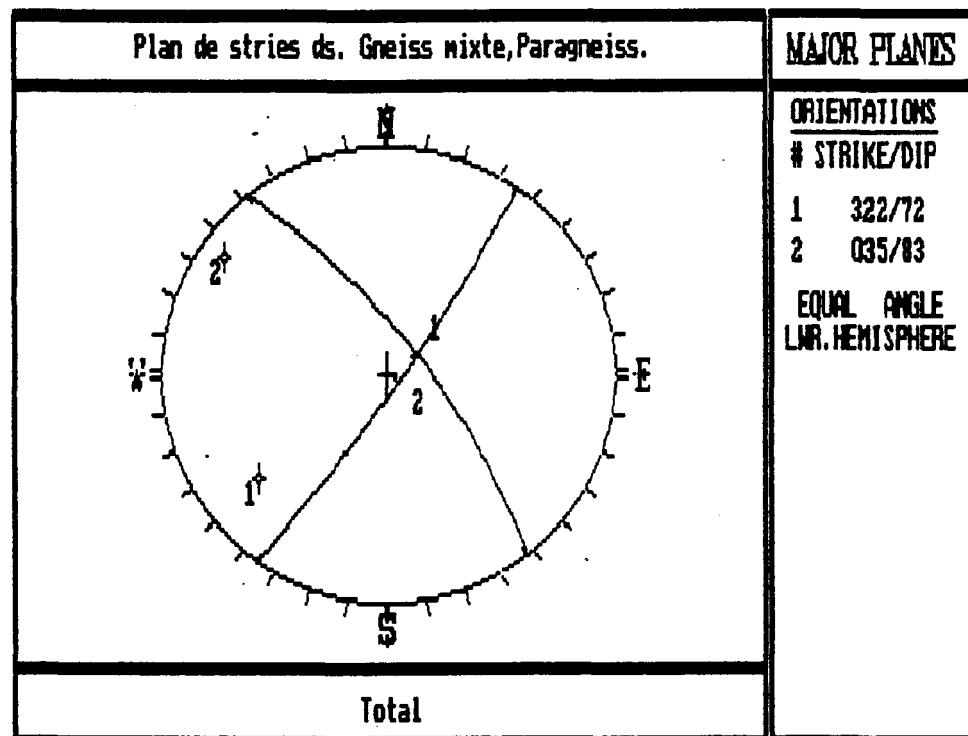
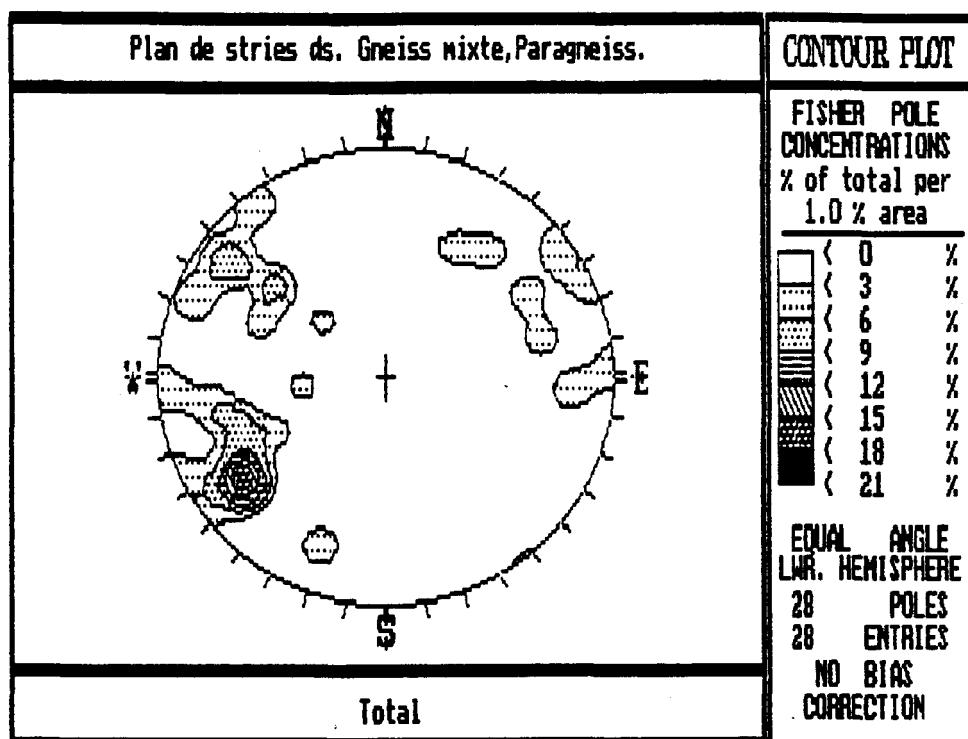
APPENDICE VIII: FIGURE 6
Compilation des mesures de stries sur l'anorthosite



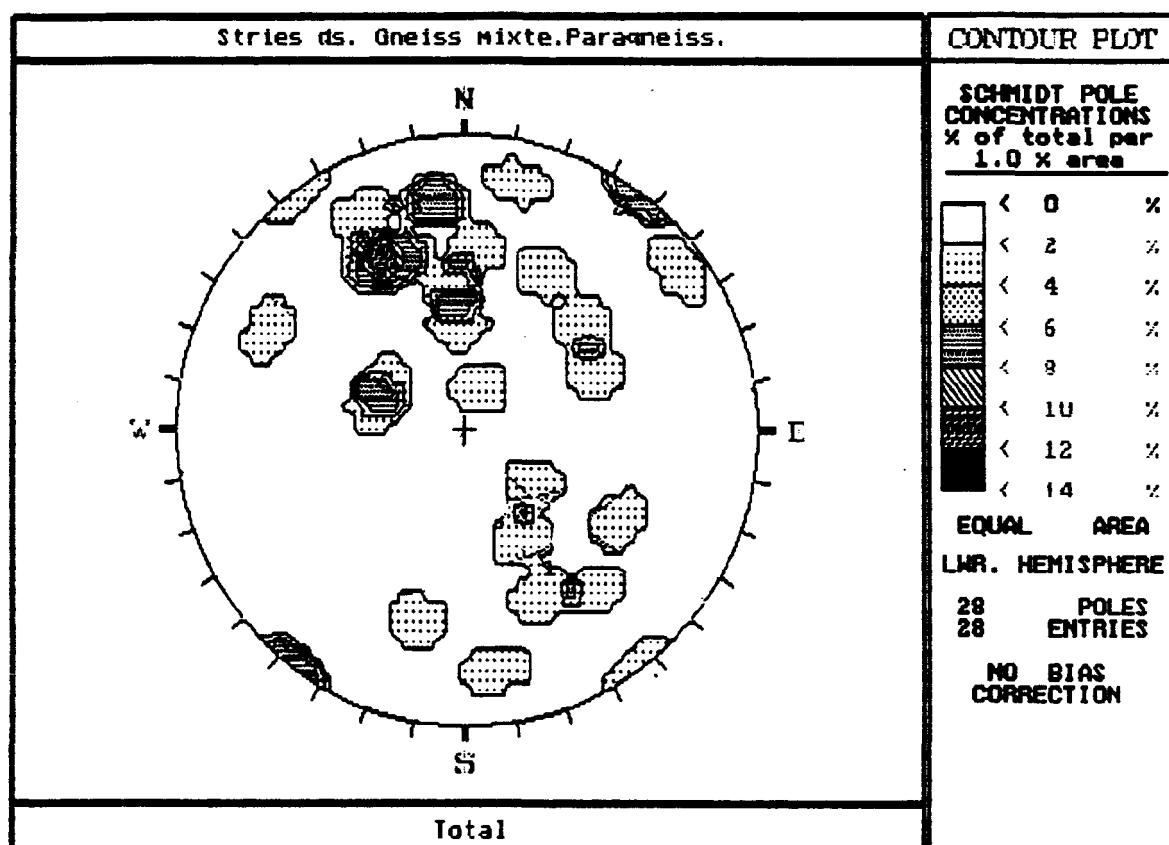
APPENDICE VIII: Figure 7
Compilation des mesures de plans de stries sur les gneiss granitiques



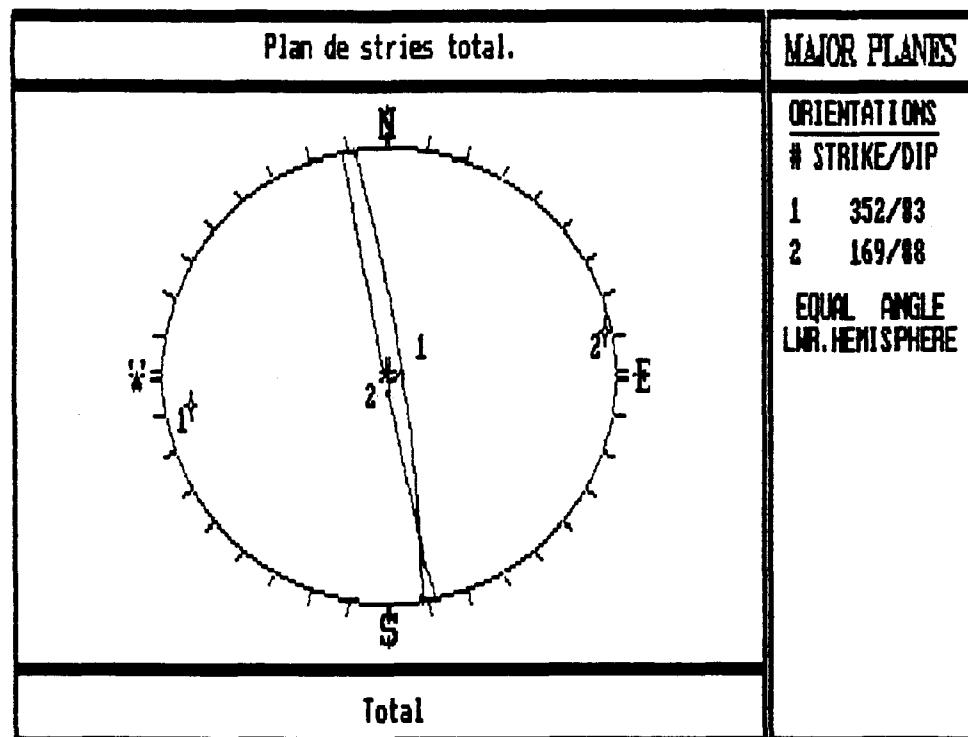
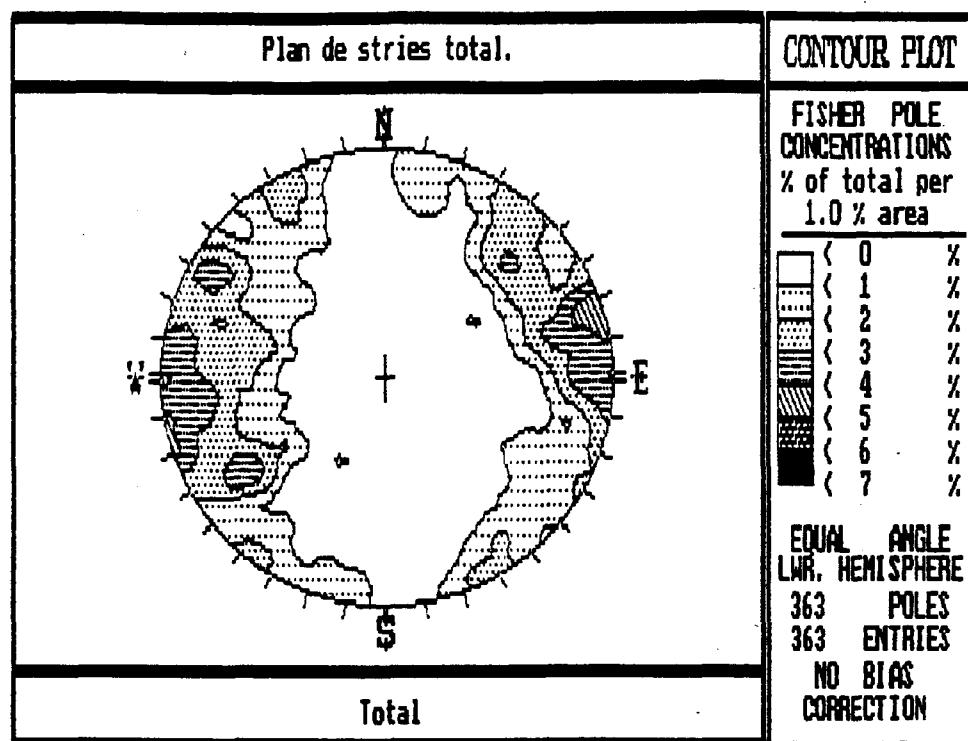
APPENDICE VIII: Figure 8
Compilation des mesures de stries sur les gneiss granitiques



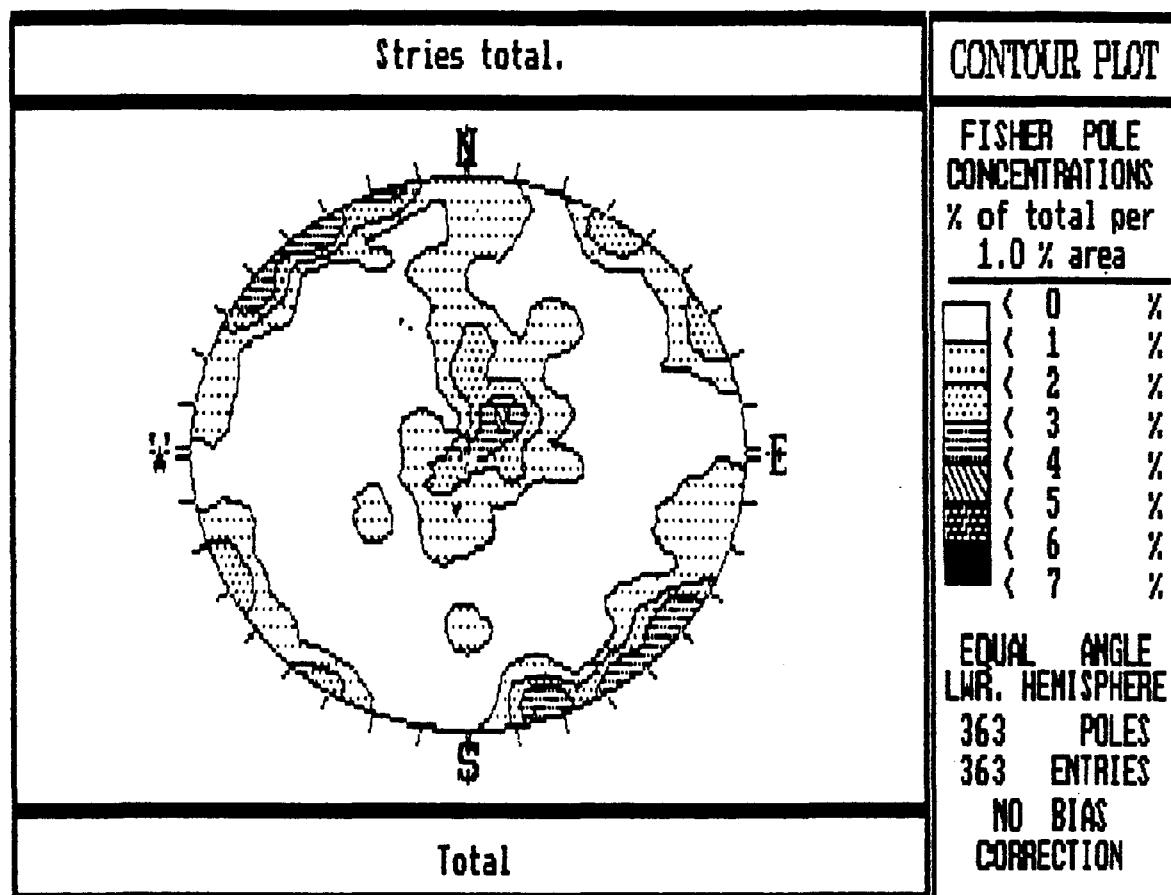
APPENDICE VIII: Figure 9
Compilation des mesures de plans de stries sur les gneiss mixtes-paragneiss



APPENDICE VIII: Figure 10
Compilation des mesures de stries sur les gneiss mixtes-paragneiss



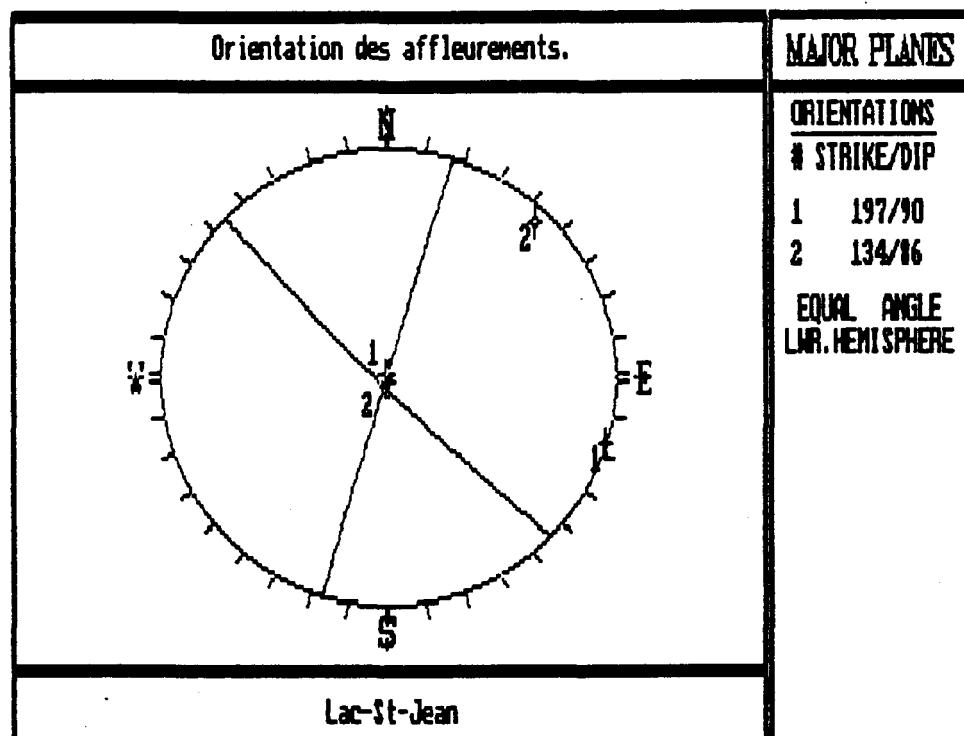
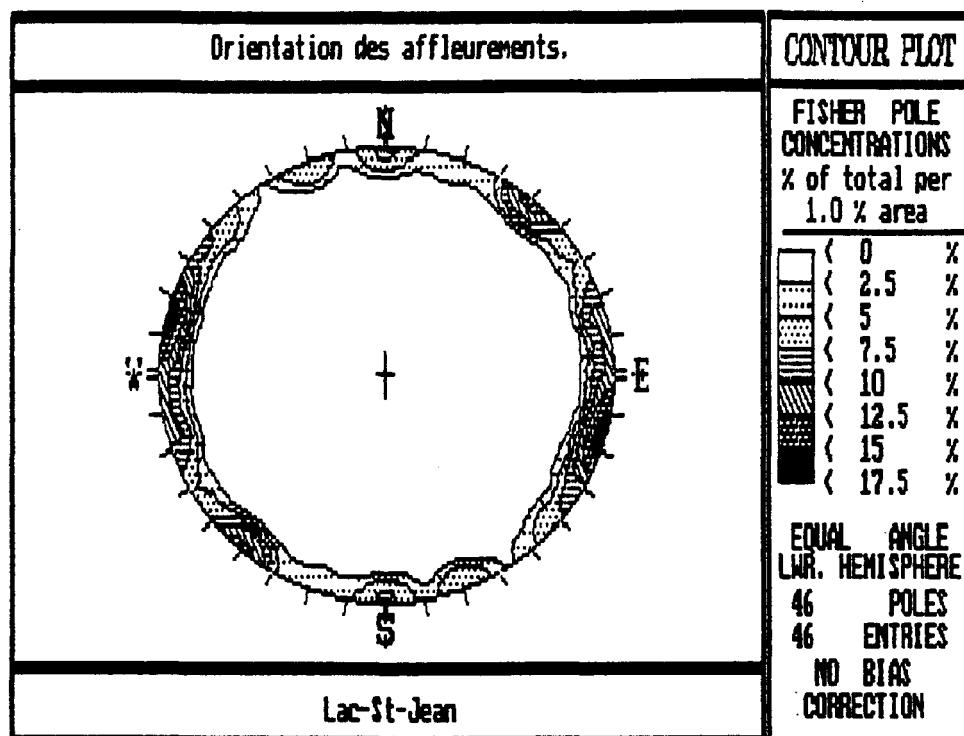
APPENDICE VIII: Figure 11
Compilation des mesures de plans de stries pour l'ensemble du Lac-St-Jean



APPENDICE VIII: Figure 12
Compilation des mesures de stries pour l'ensemble du Lac-St-Jean

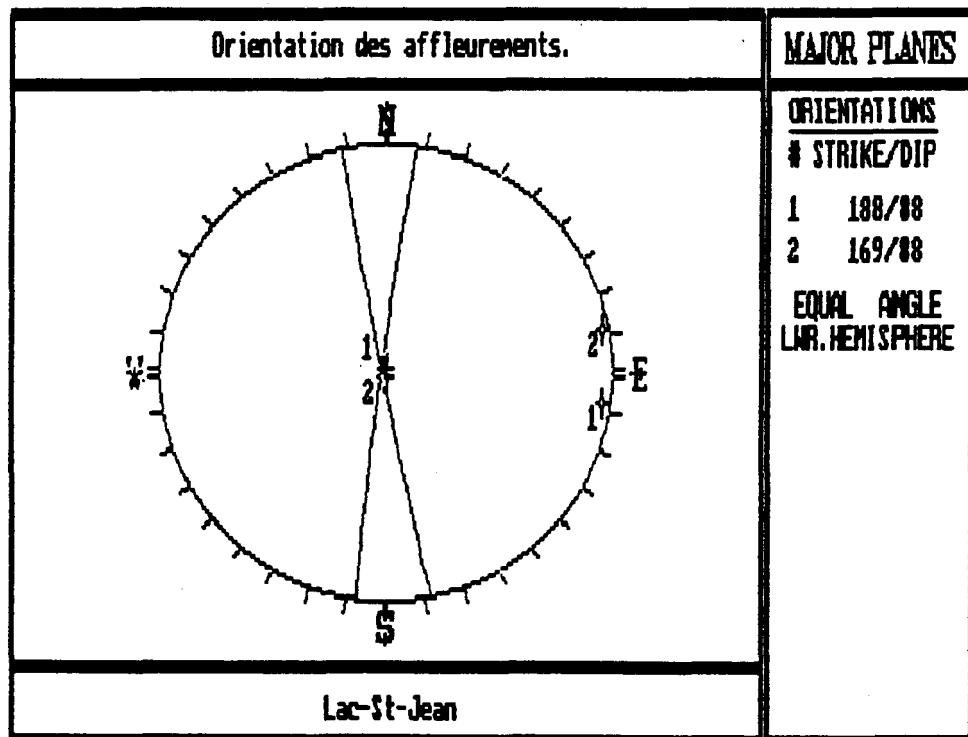
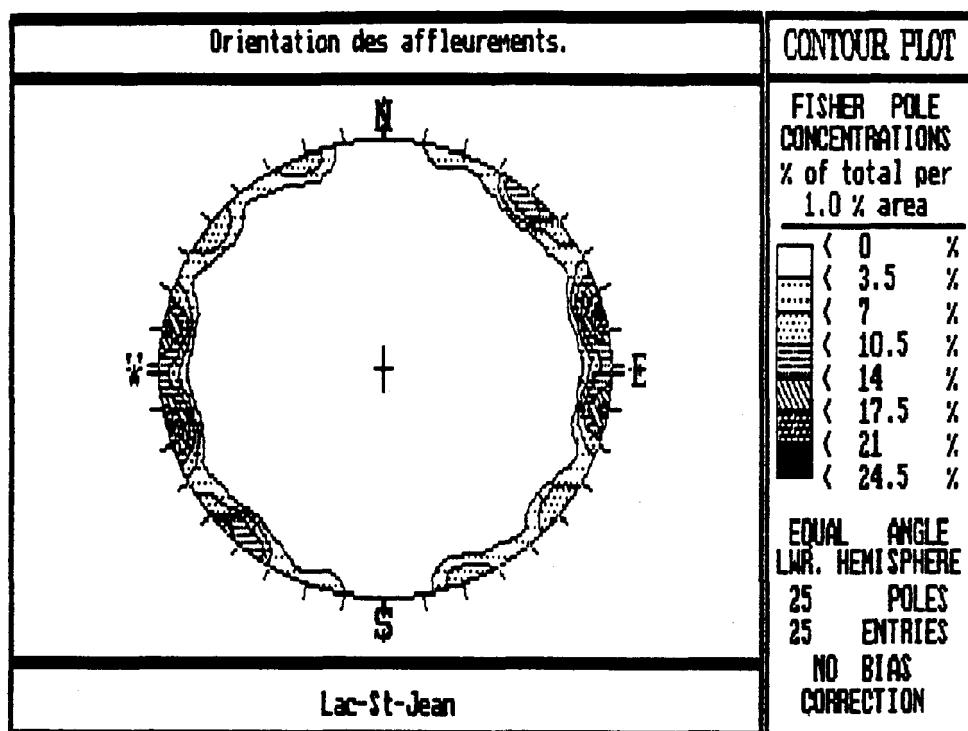
APPENDICE IX
ORIENTATION DES AFFLEUREMENTS

1. Le long des coupes de route, dans des carrières et le long de cours d'eau
2. Le long des coupes de route



APPENDICE IX: Figure 1

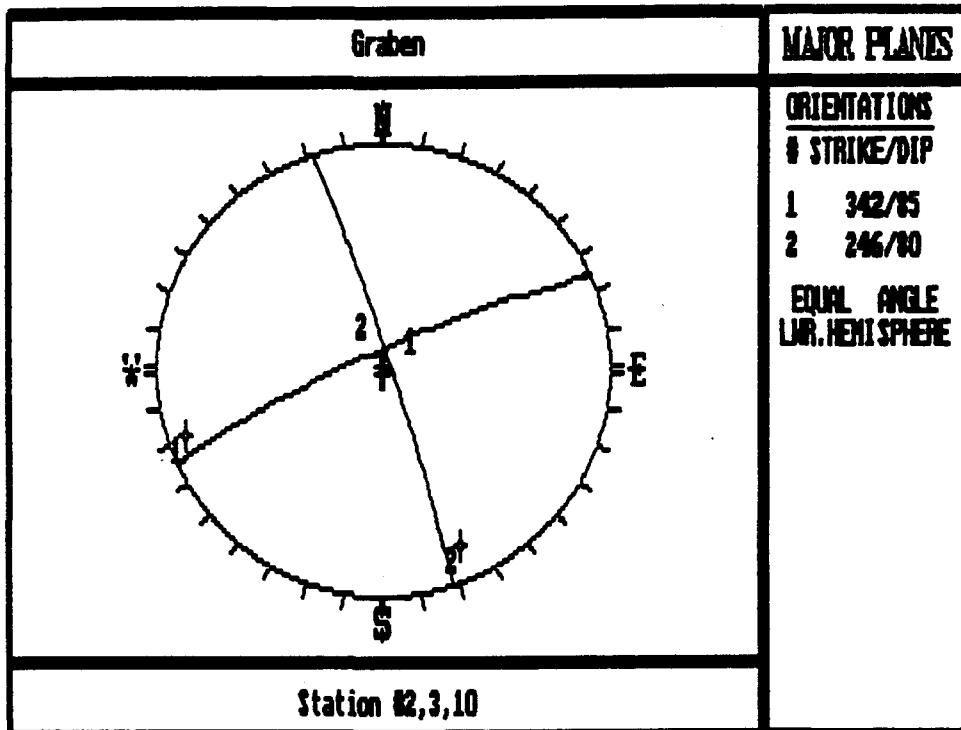
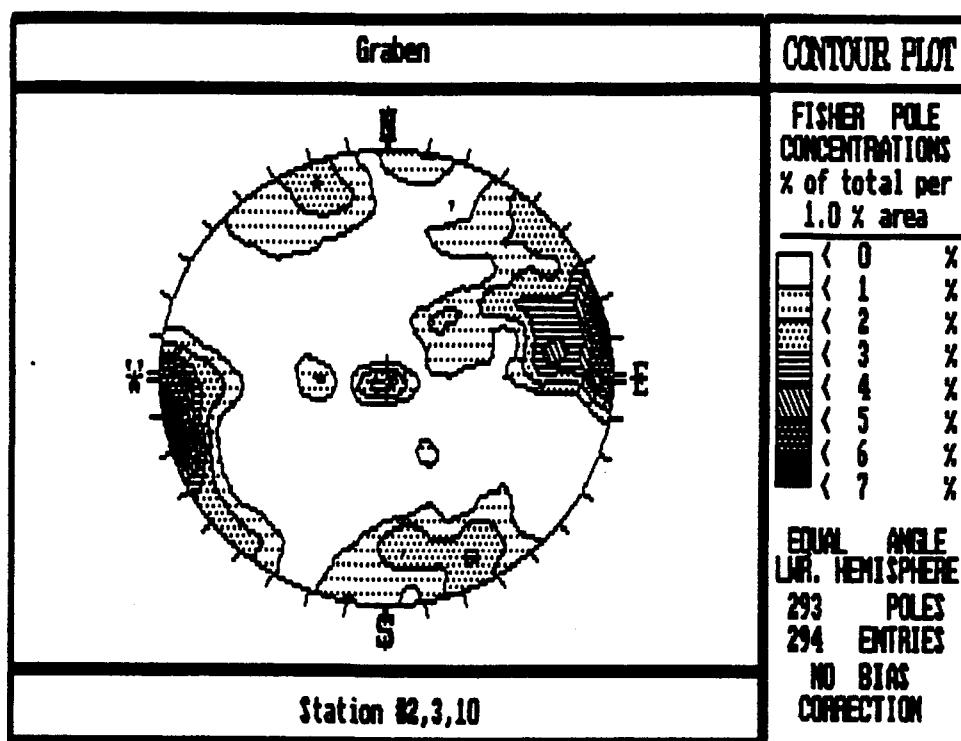
Orientation des affleurements le long des coupes de route, dans des carrières et le long de cours d'eau.



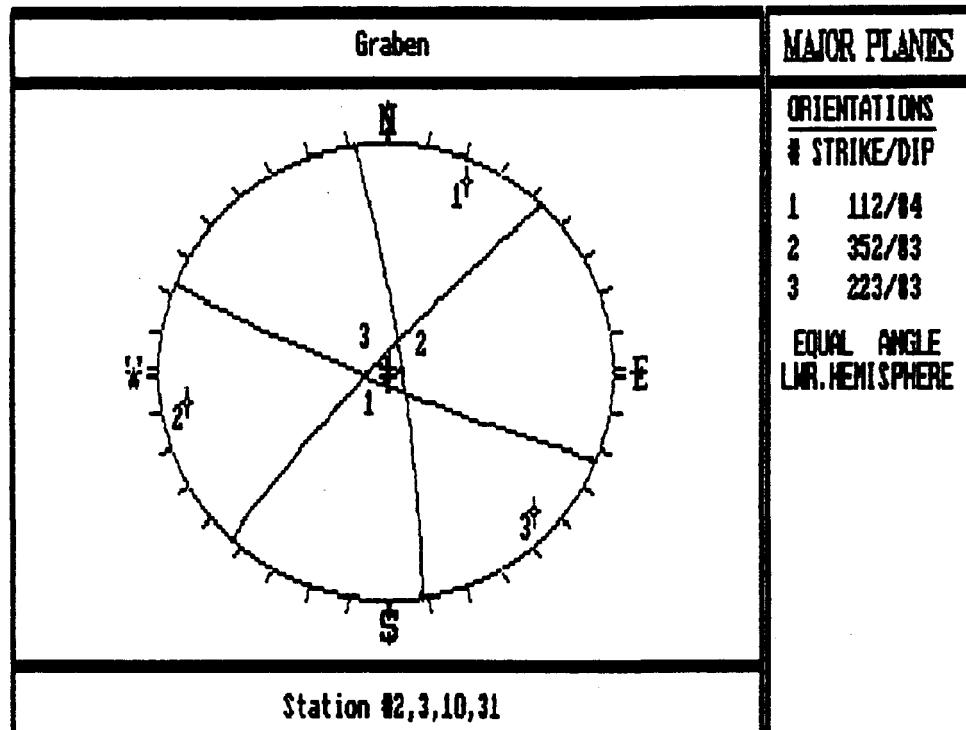
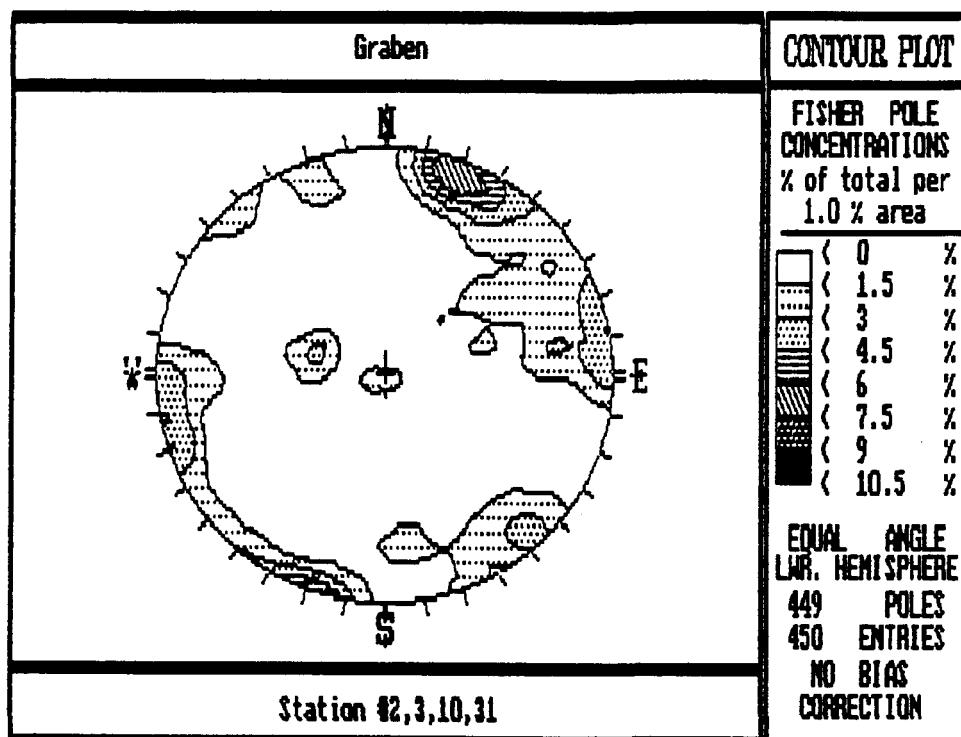
APPENDICE IX: Figure 2
Orientation des affleurements le long des coupes de route

APPENDICE X
REGROUPEMENTS (DIVERS)

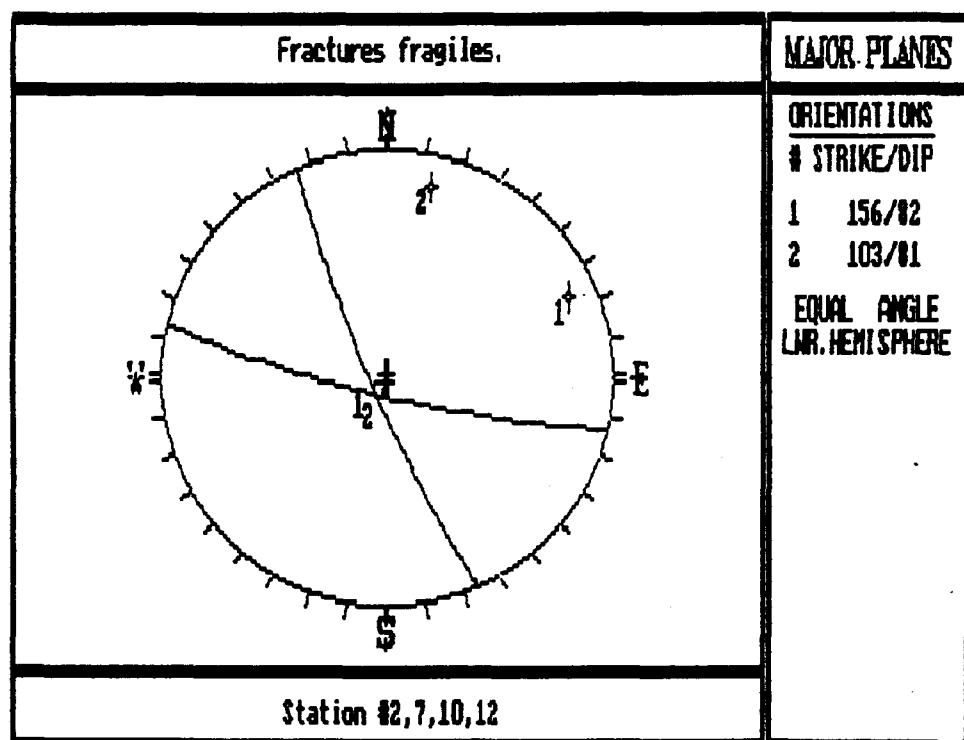
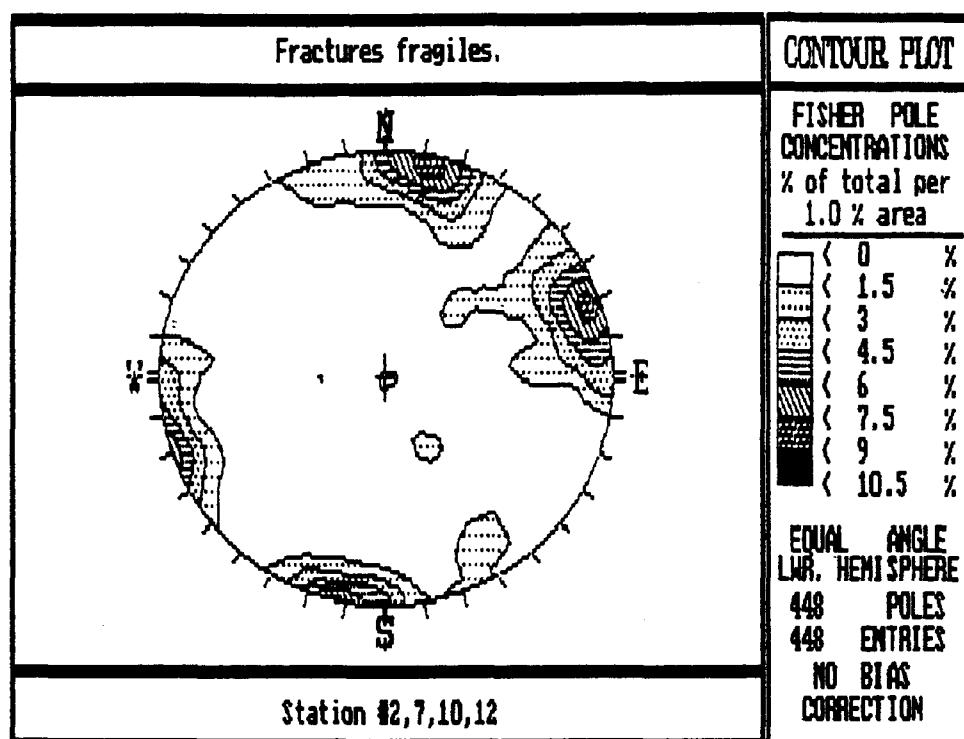
1. Affleurements 2, 3, 10 (joints)
2. Affleurements 2, 3, 10, 31 (joints)
3. Affleurements 2, 7, 10, 12 (joints)
4. Affleurements 2, 3 (plans de stries)
5. Affleurements 28, 30, 31 (joints)
6. Affleurements 5, 6, 7 (joints)
7. Affleurements 8, 9, 10 (joints)
8. Affleurements 18, 19 (joints)
9. Affleurements 12, 15, 17 (joints)
10. Affleurements 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12 (joints)
11. Affleurements 1, 2, 3, 4, 12, 32
12. Affleurements 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 32 (joints)
13. Graben intérieur (joints)
14. Graben extérieur (joints)



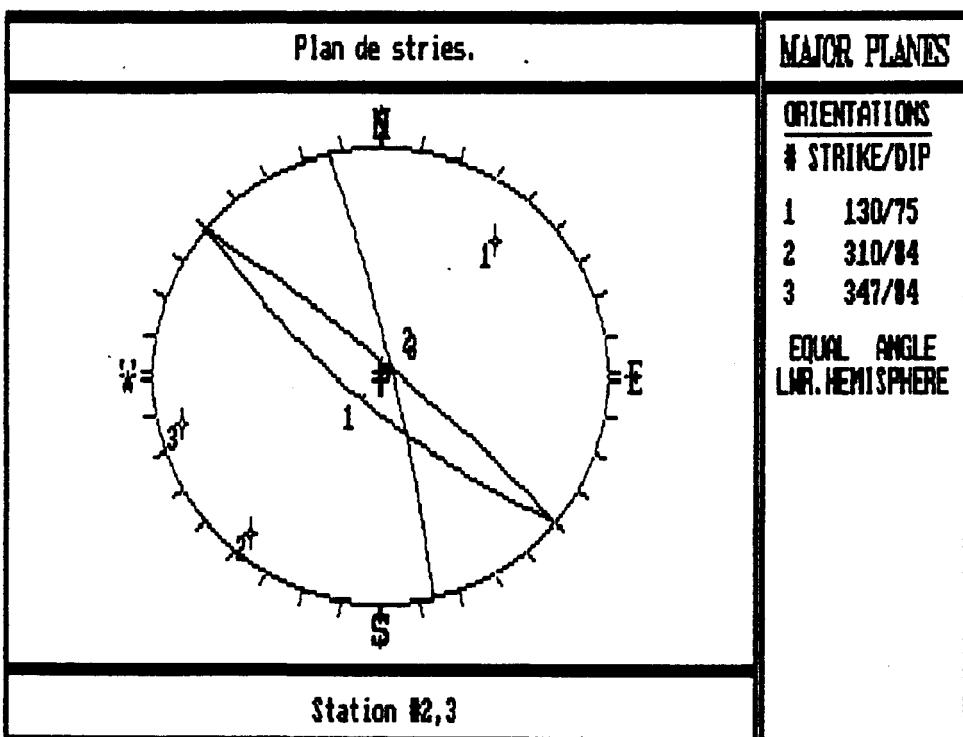
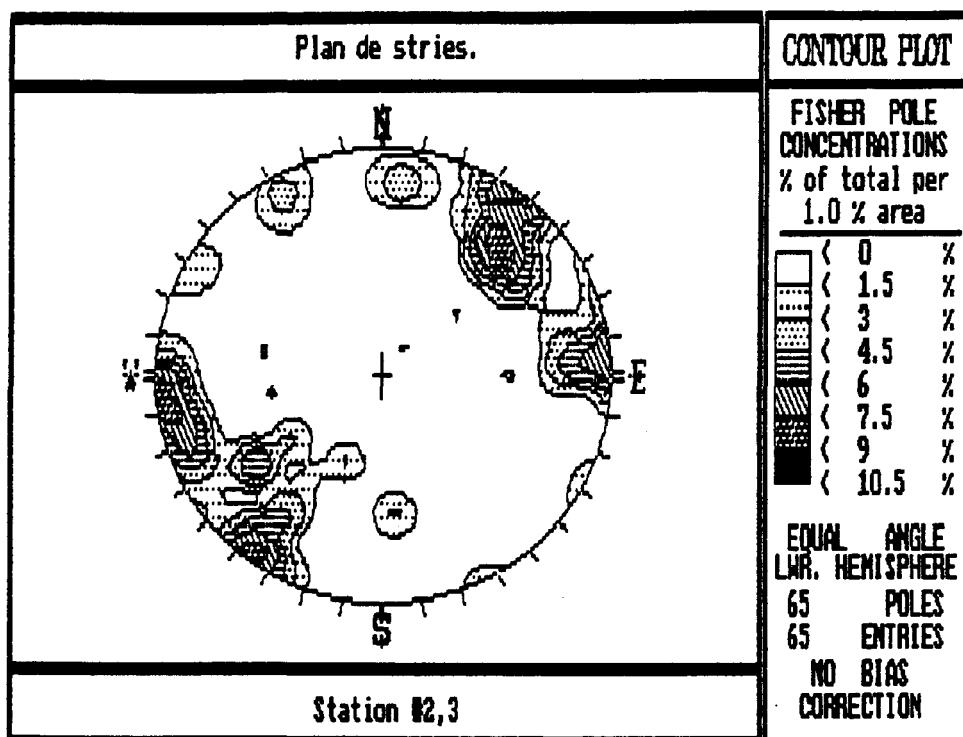
APPENDICE X: Figure 1
Compilation des mesures de joints pour les aff. 2, 3, 10



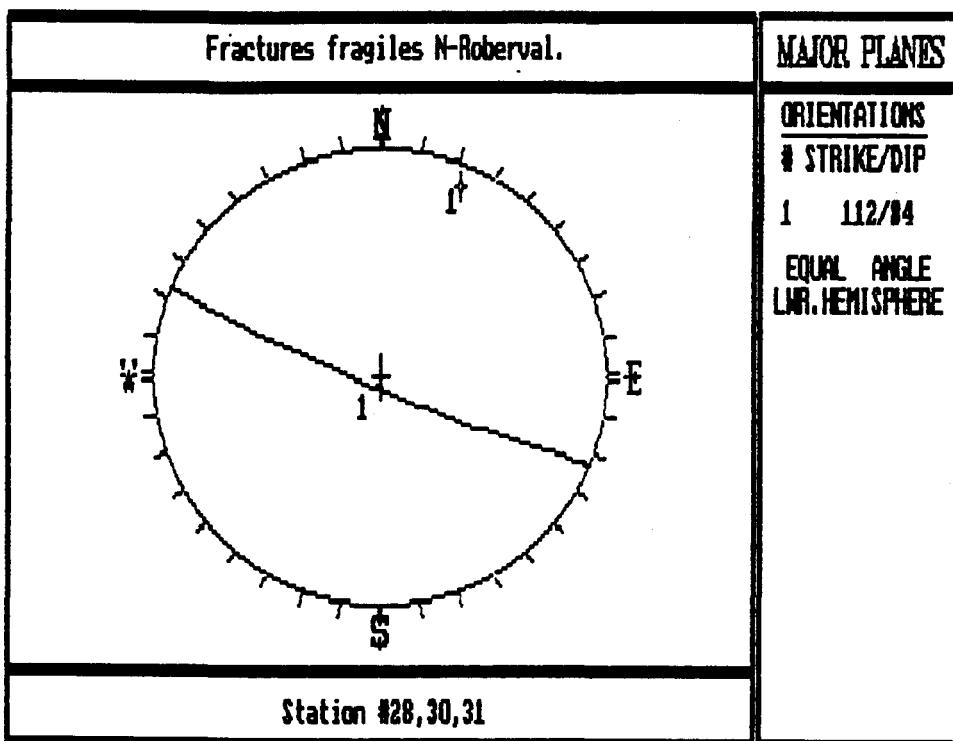
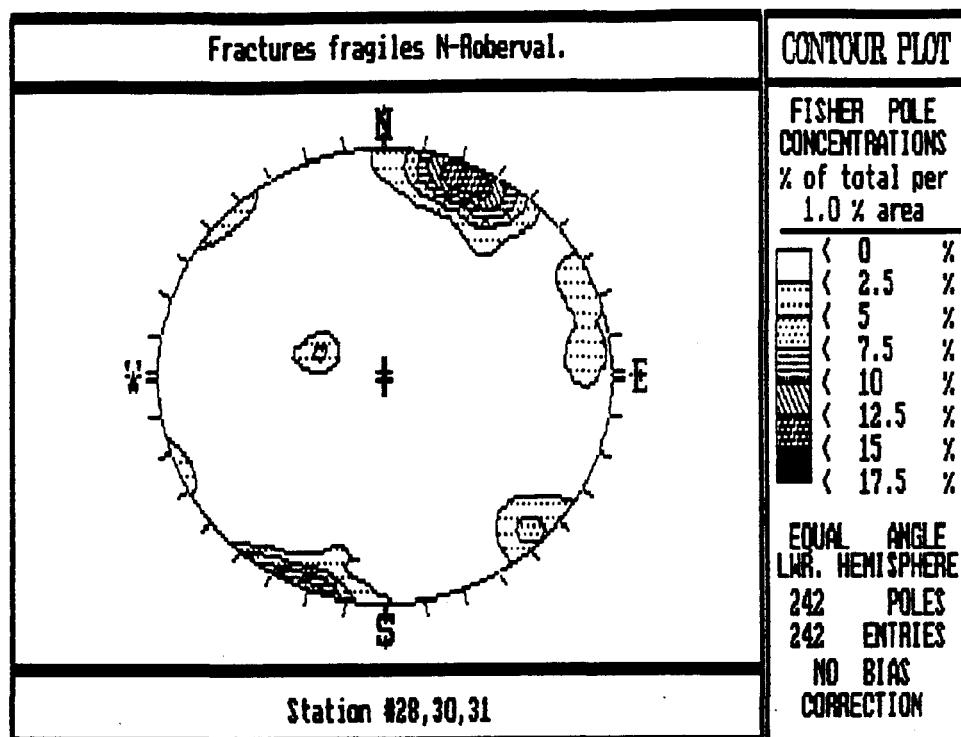
APPENDICE X: Figure 2
Compilation des mesures de joints pour les aff. 2, 3, 10, 31



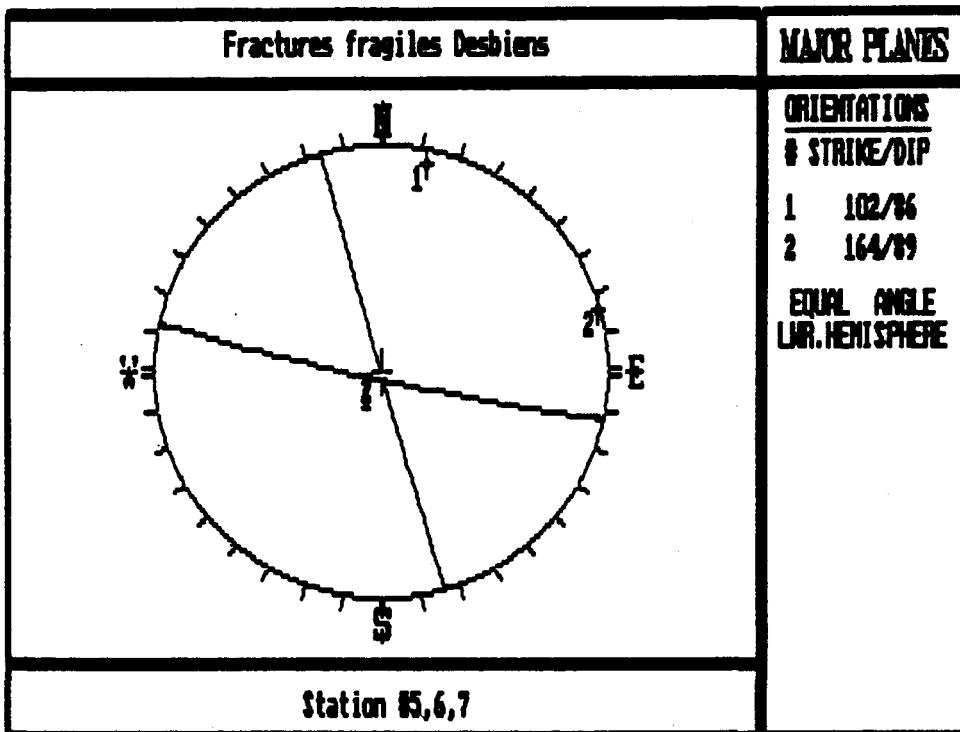
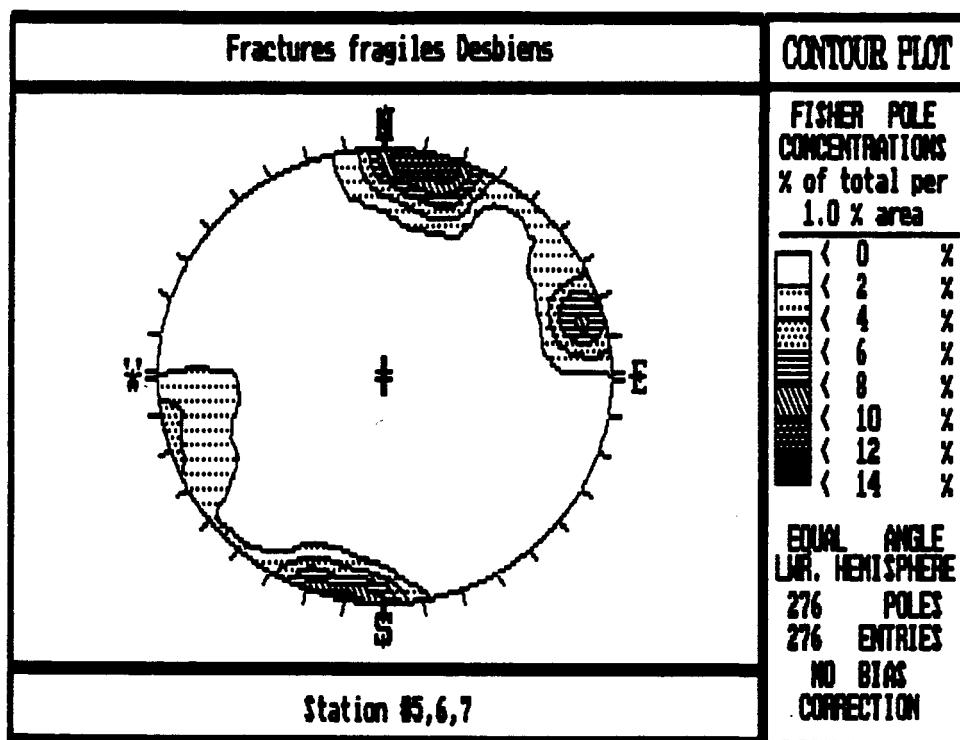
APPENDICE X: Figure 3
Compilation des mesures de joints pour les aff. 2, 7, 10, 12



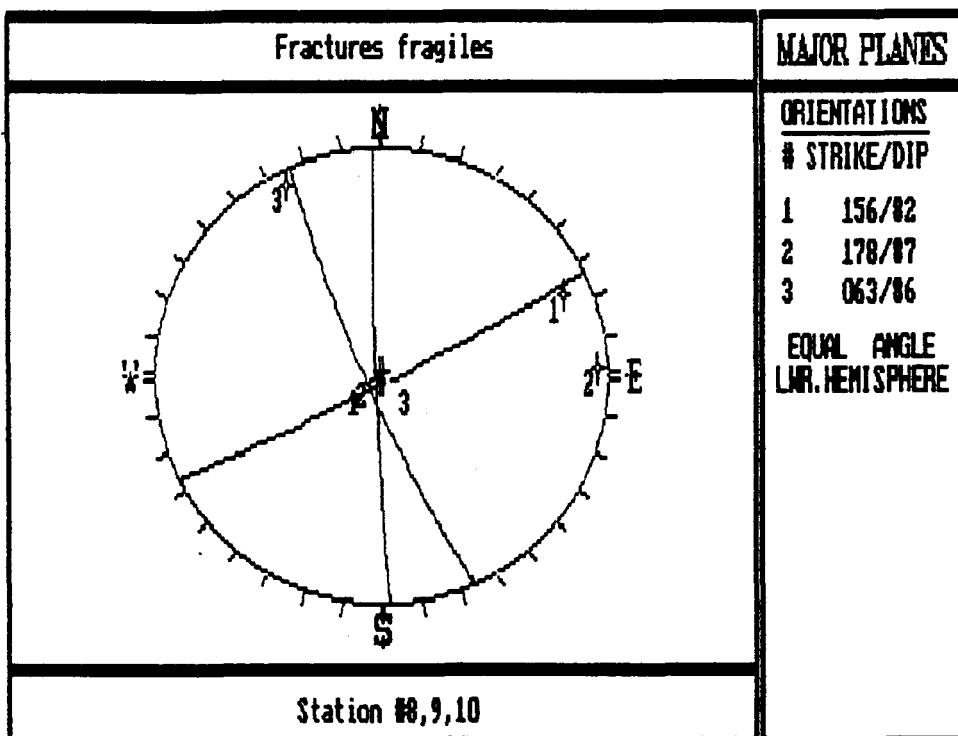
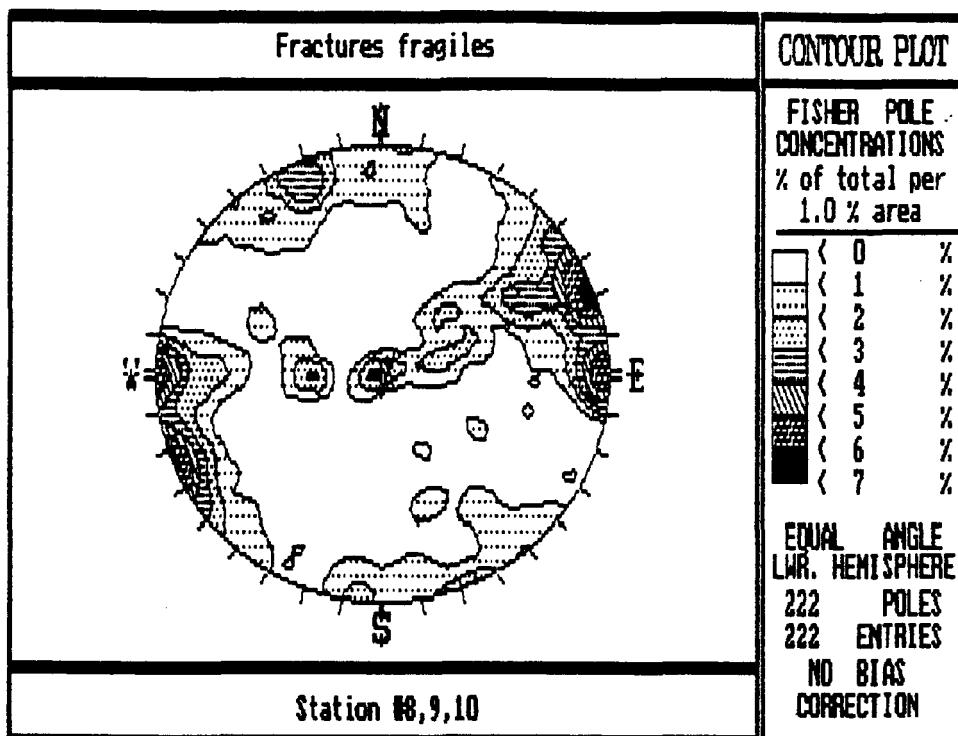
APPENDICE X: Figure 4
Compilation des mesures des plans de stries pour les aff. 2, 3



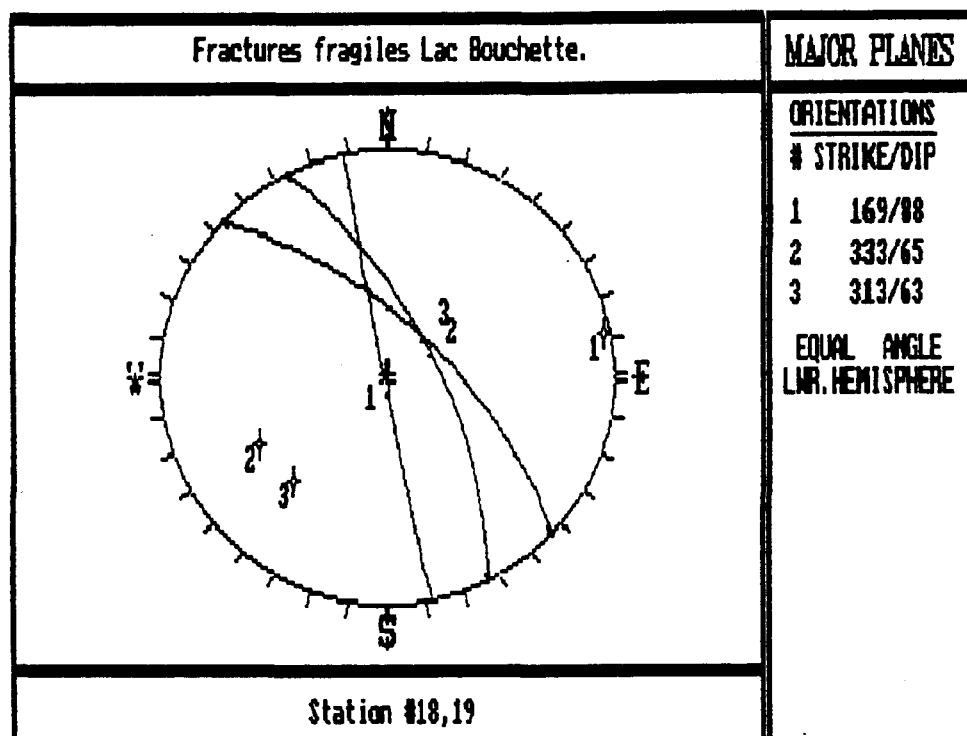
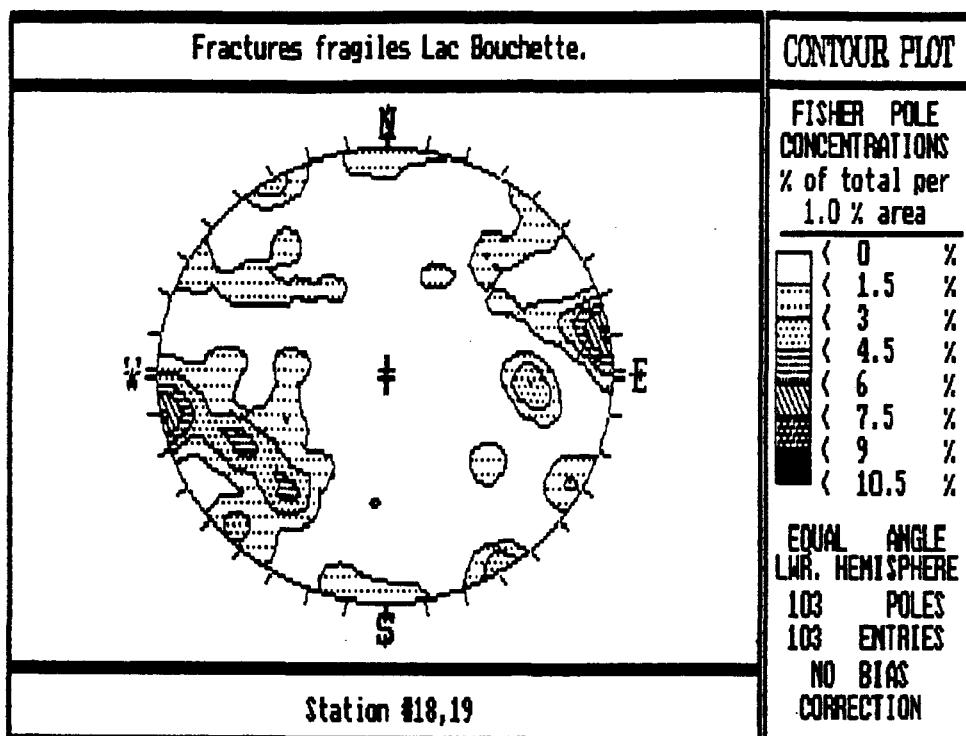
APPENDICE X: FIGURE 5
Compilation des mesures de joints pour les aff. 28, 30, 31



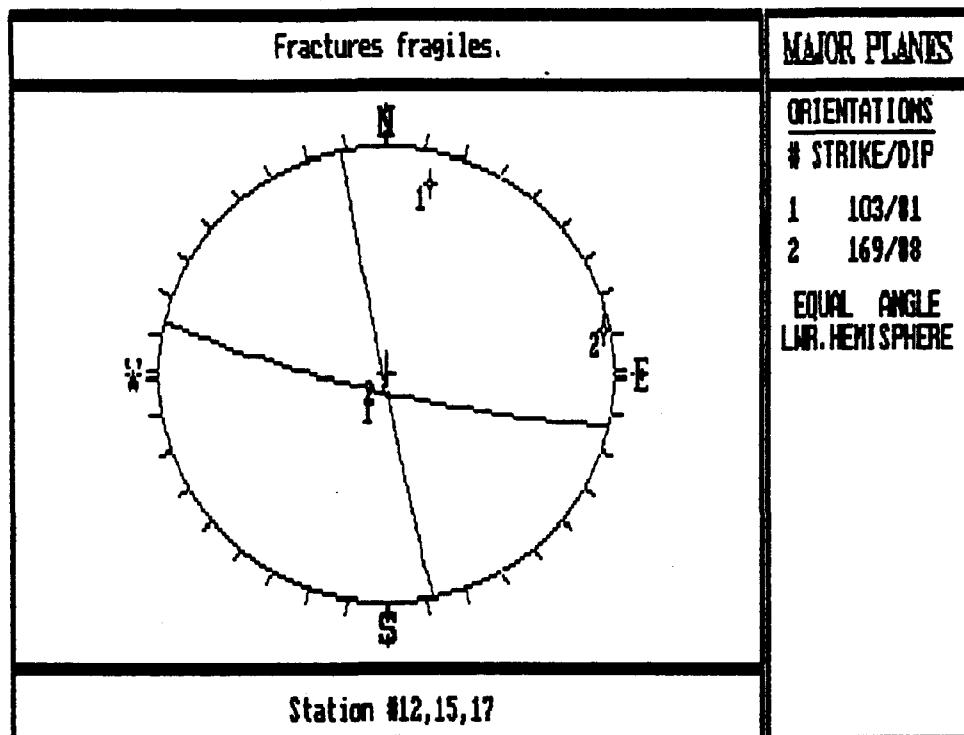
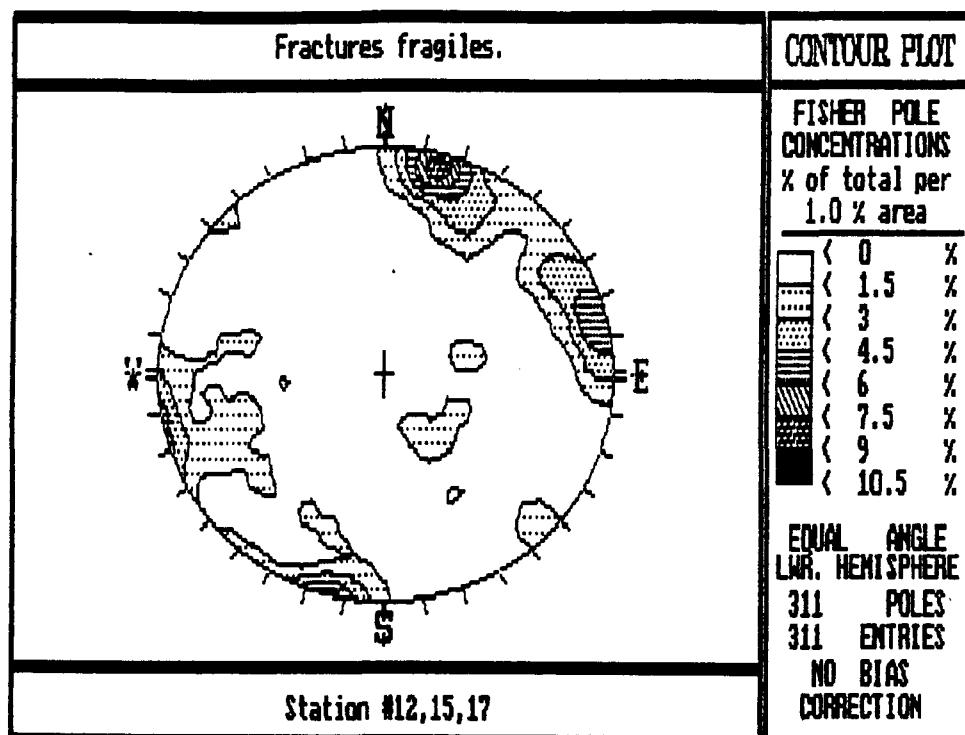
APPENDICE X: Figure 6
Compilation des mesures de joints pour les aff. 5, 6, 7



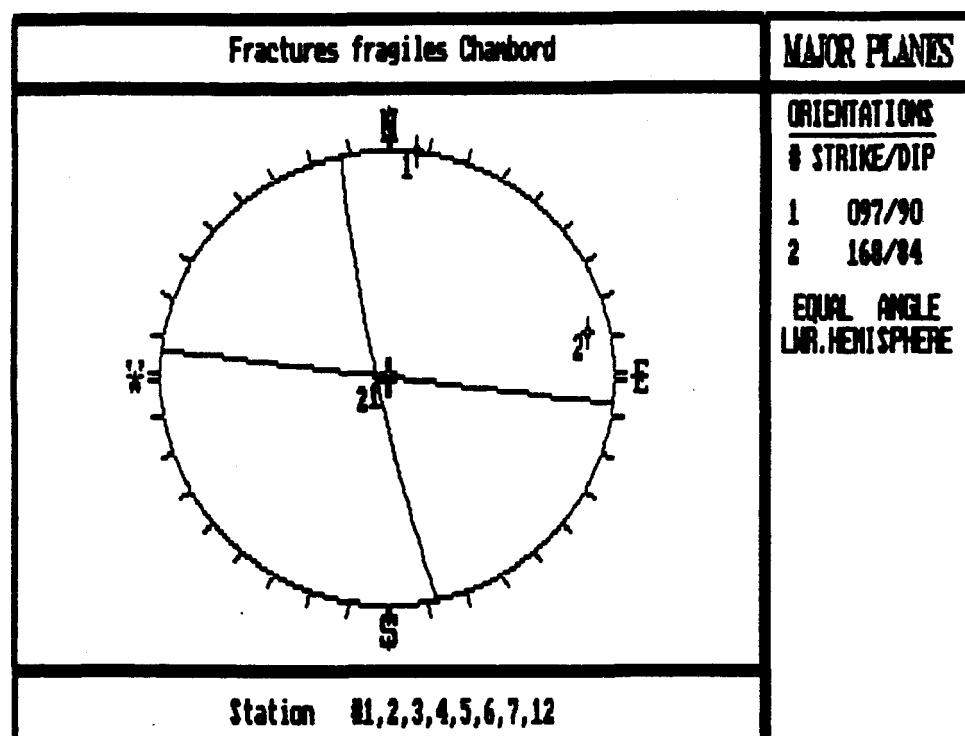
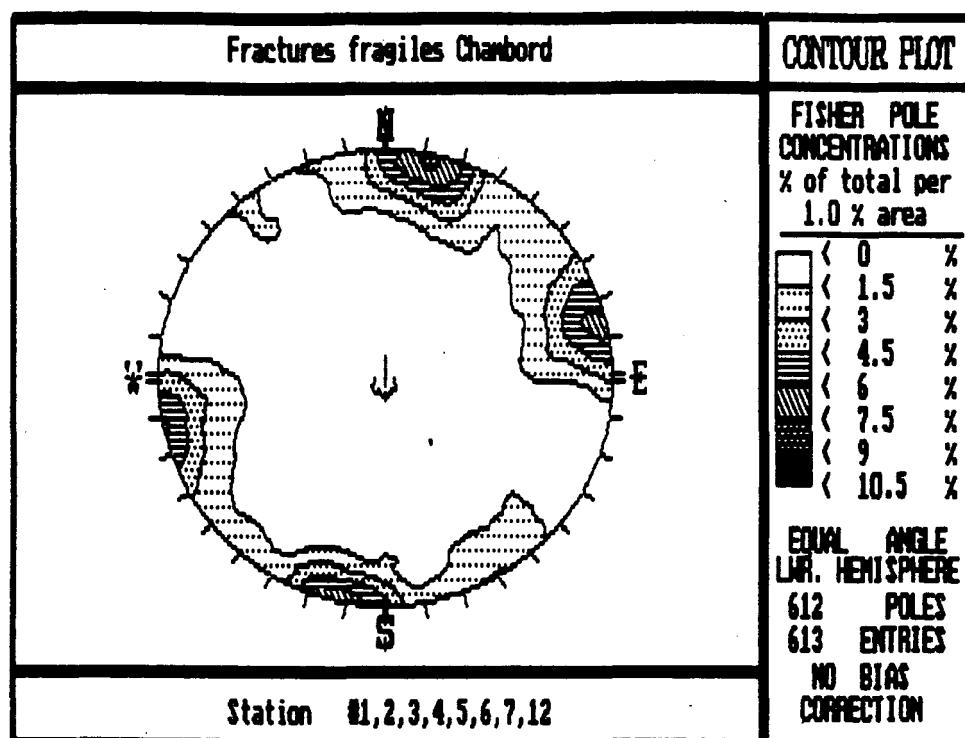
APPENDICE X: Figure 7
Compilation des mesures de joints pour les aff. 8, 9, 10



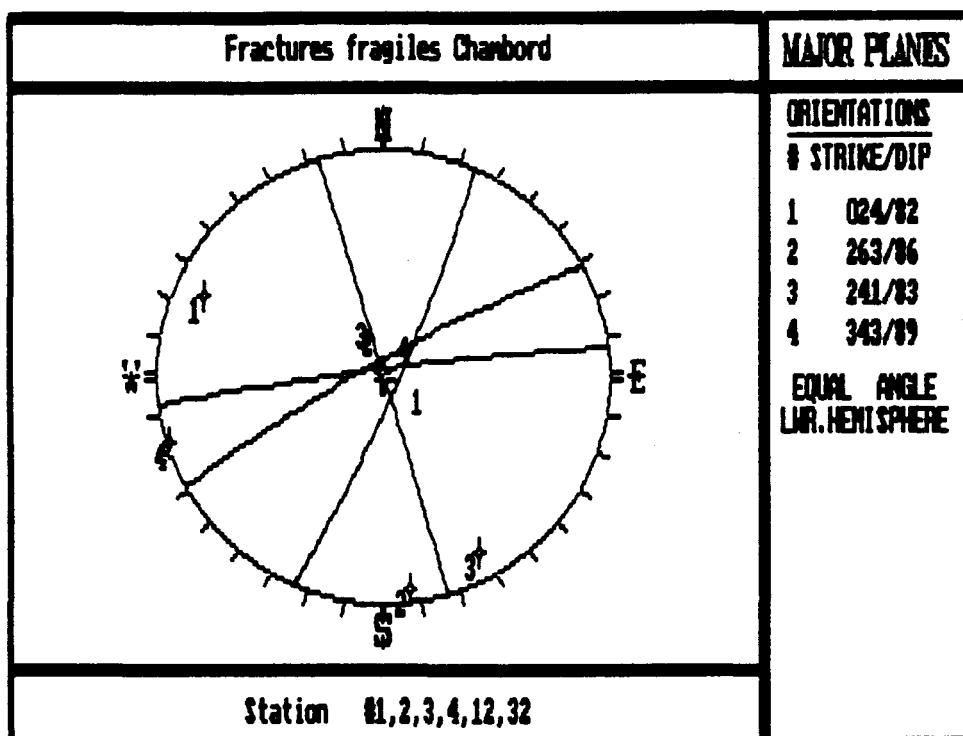
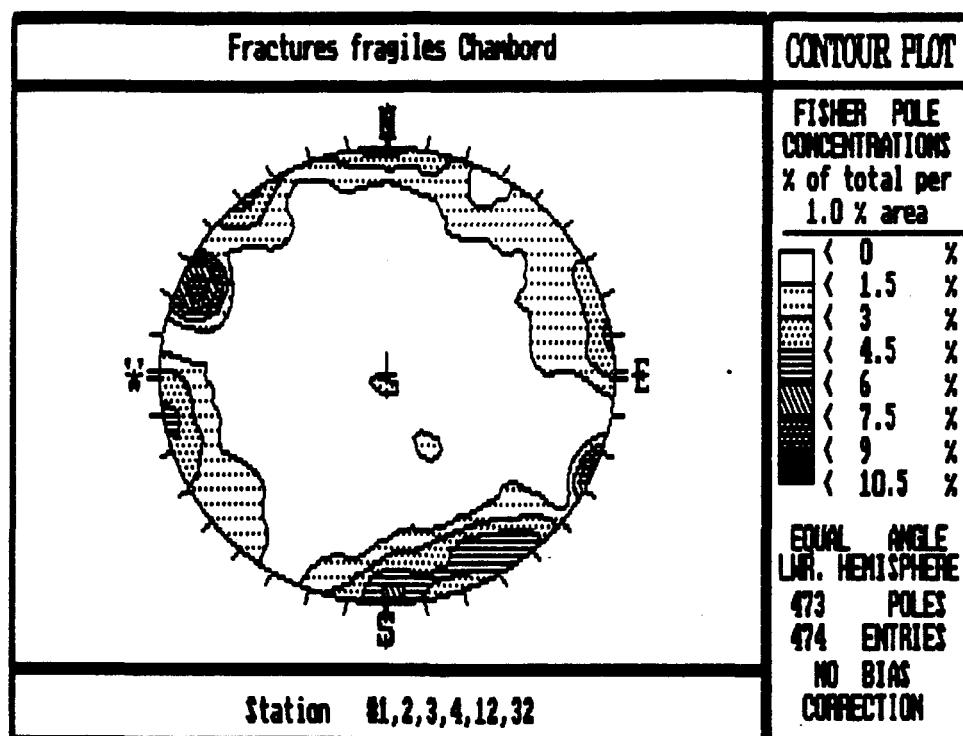
APPENDICE X: Figure 8
Compilation des mesures de joints pour les aff. 18, 19



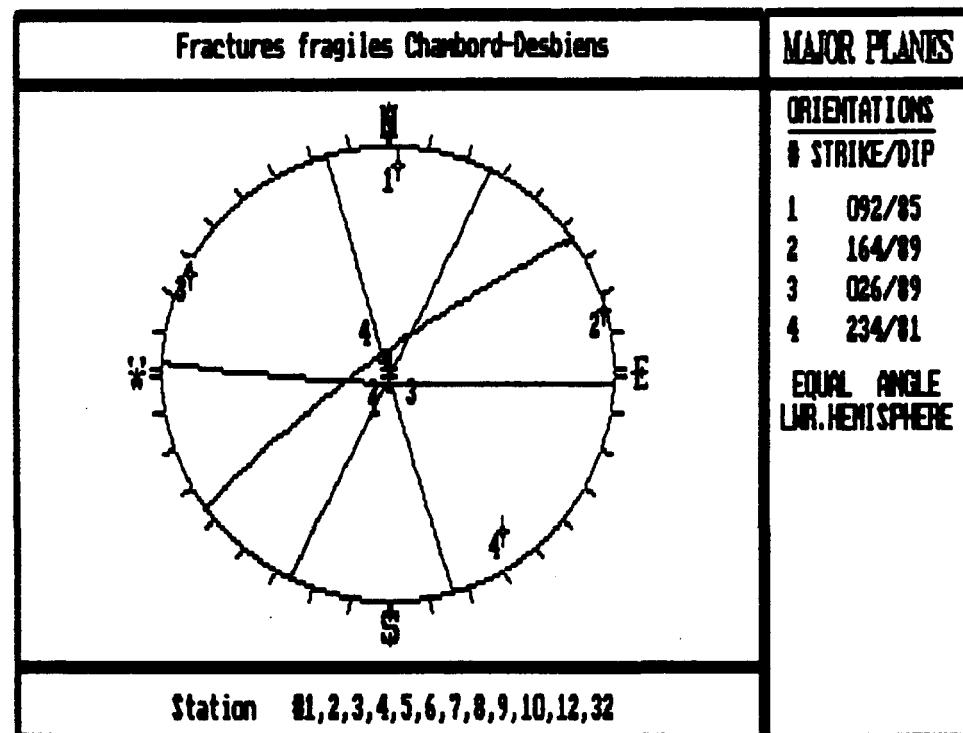
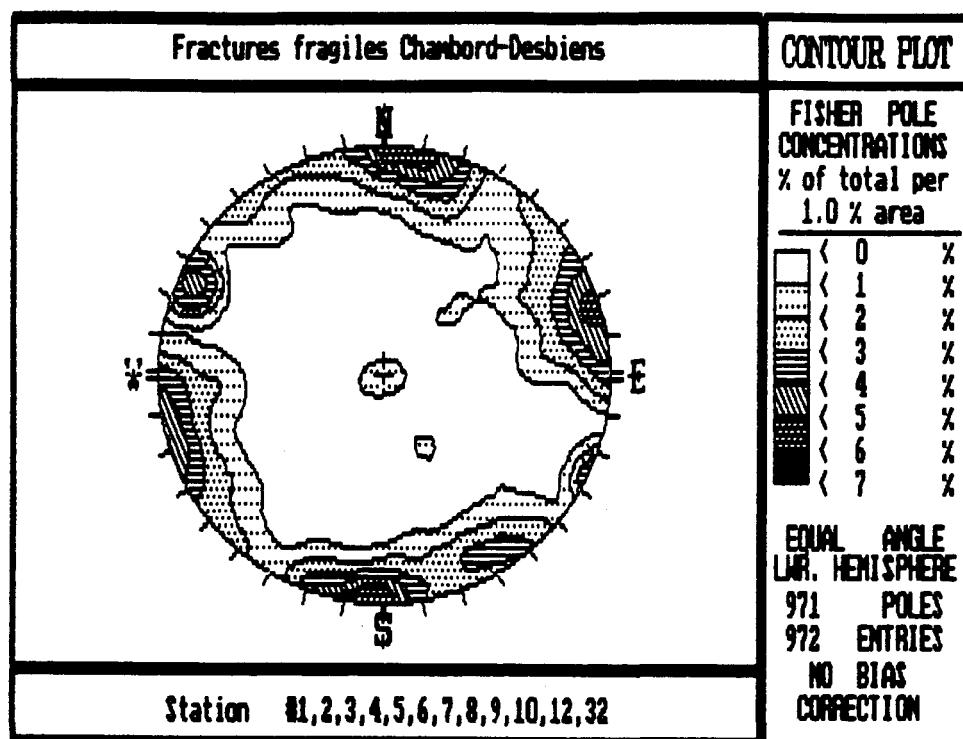
APPENDICE X: Figure 9
Compilation des mesures de joints pour les aff. 12, 15, 17



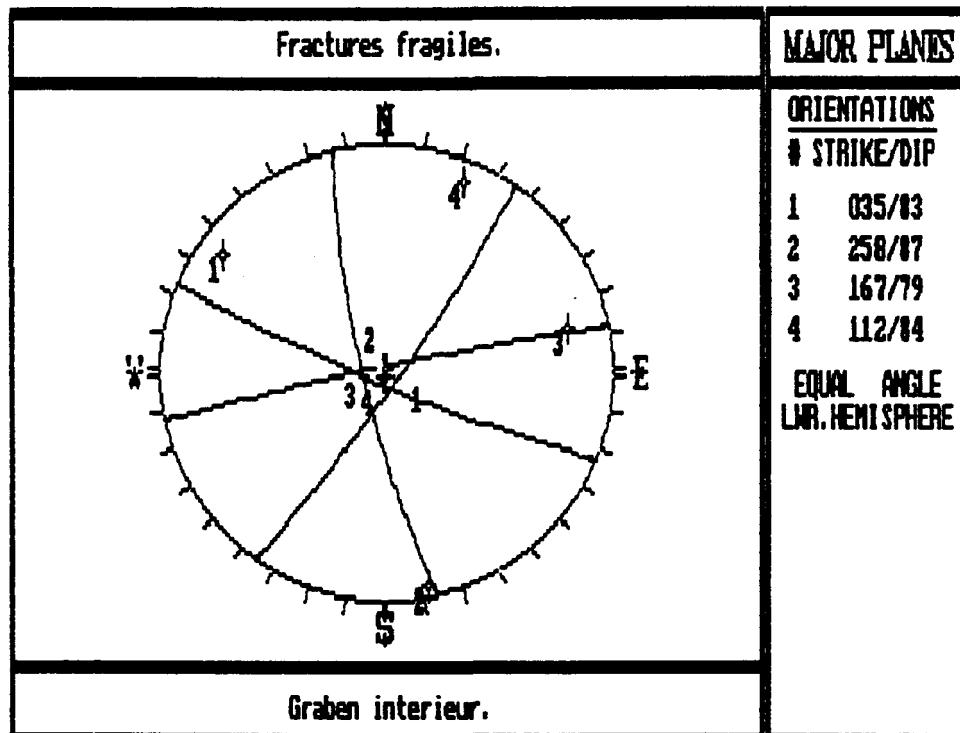
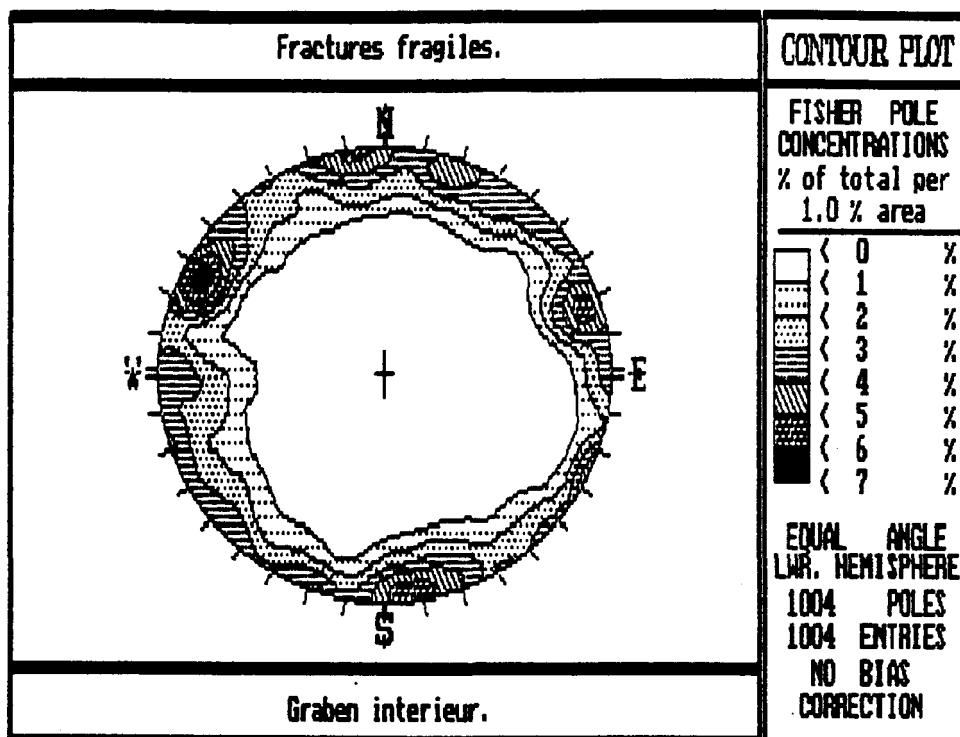
APPENDICE X: Figure 10
Compilation des mesures de joints pour les aff. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12



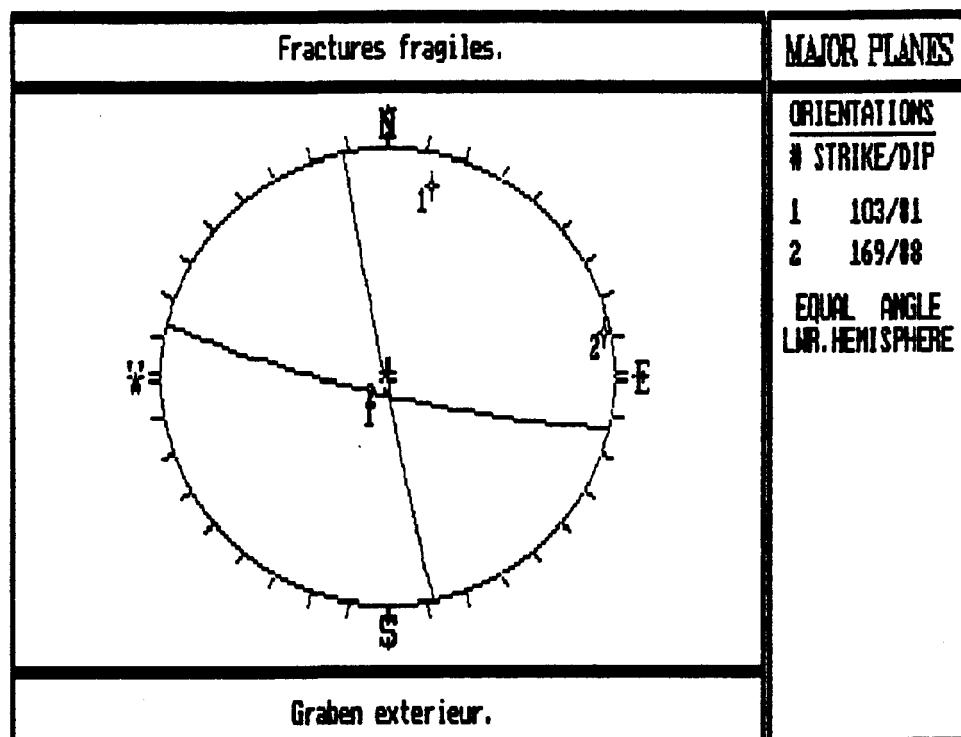
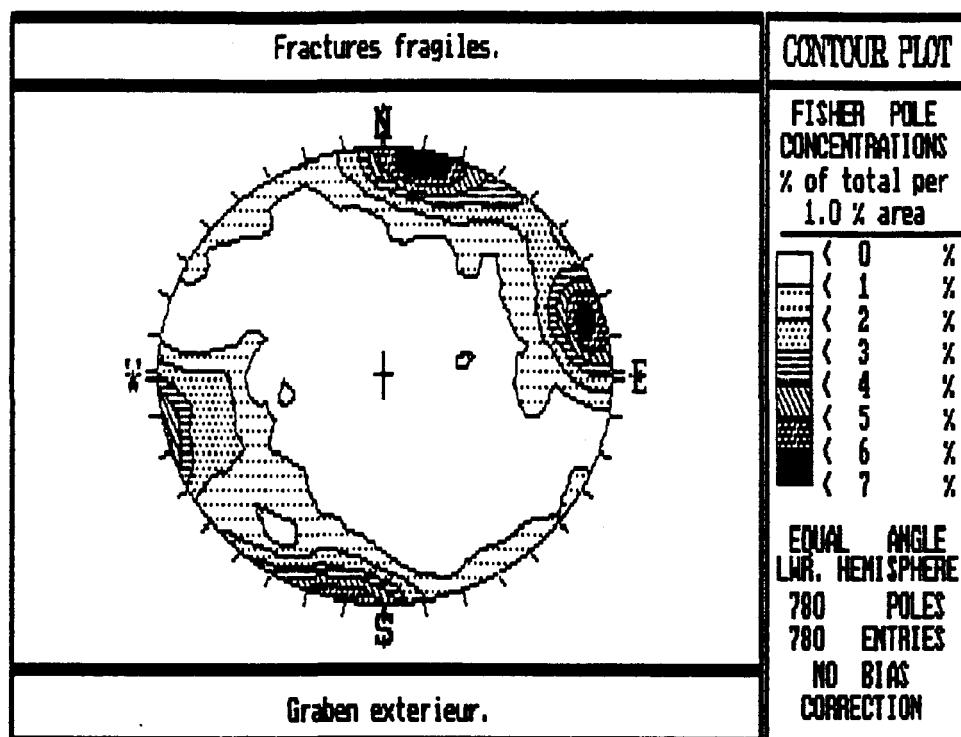
APPENDICE X: Figure 11
Compilation des mesures de joints pour les aff. 1, 2, 3, 4, 12, 32



APPENDICE X: Figure 12
Compilation des mesures de joints pour les aff. 1 à 10, 12, 32



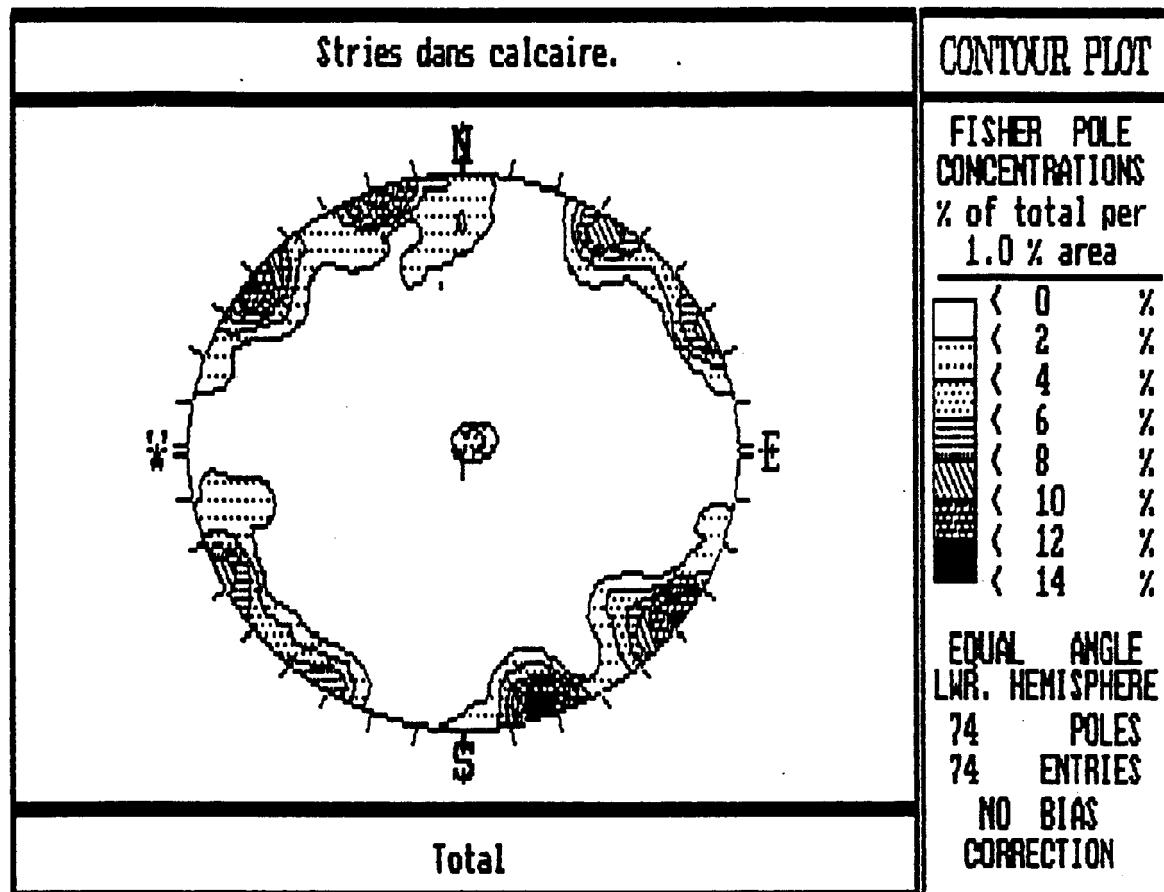
APPENDICE X: Figure 13
Compilation des mesures de joints pour les aff. du graben intérieur



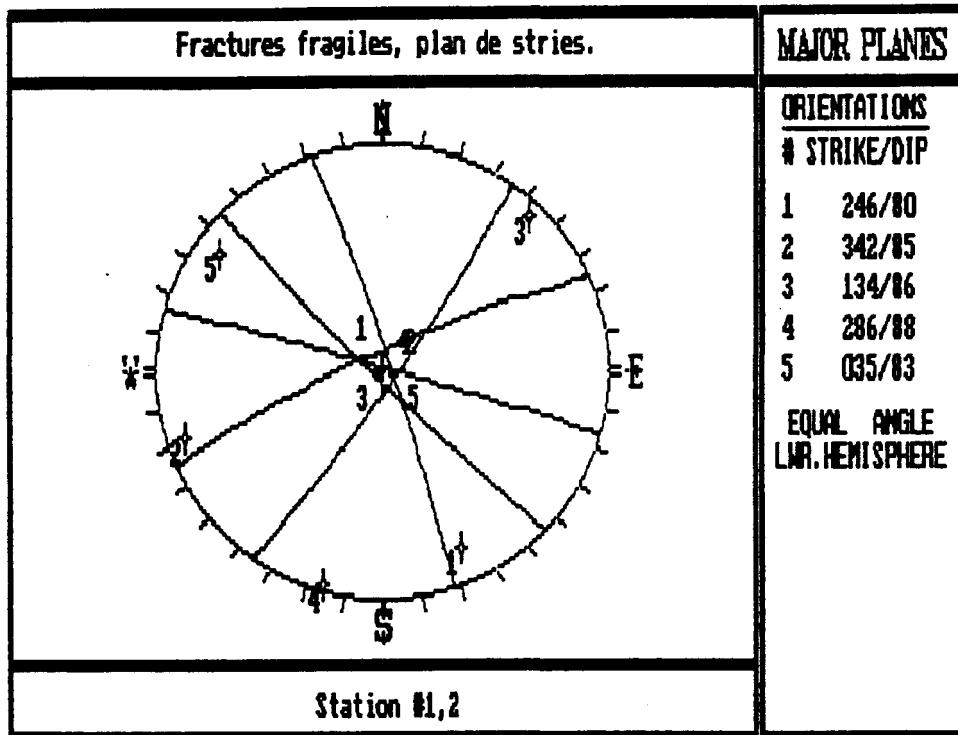
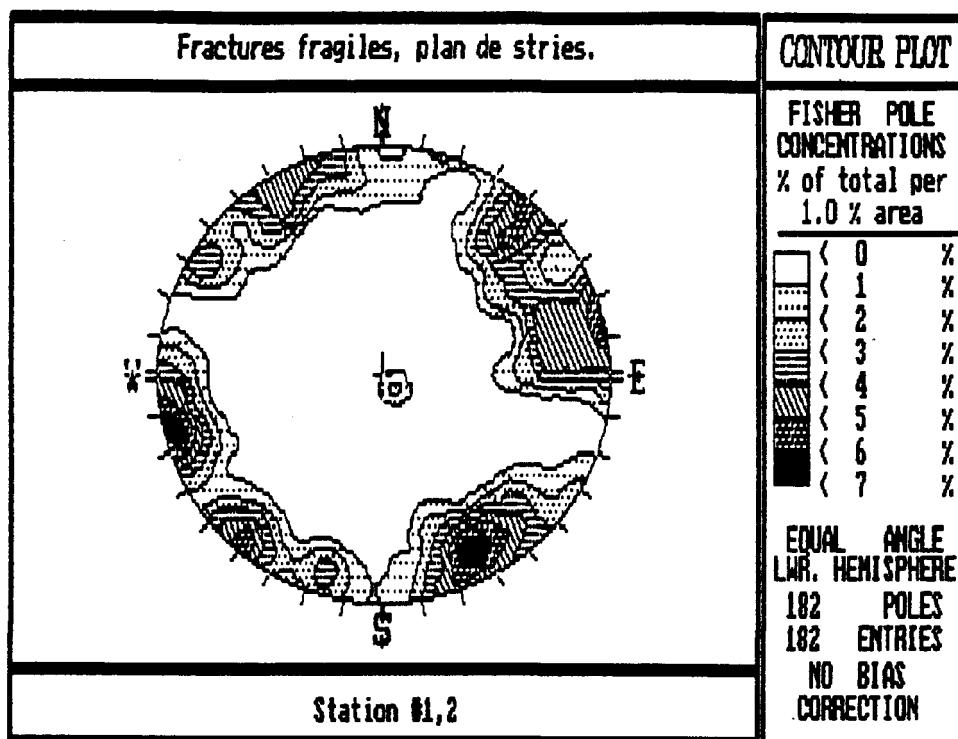
APPENDICE X: Figure 14
Compilation des mesures de joints pour les aff. du graben extérieur

APPENDICE XI

1. **Stries, aff. 1 et 2 de calcaire, Chambord**
2. **Joint et plans de stries, aff. 1 et 2 de calcaire, Chambord**



APPENDICE XI: Figure 1
Compilation des mesures de stries sur les affleurements 1 et 2 de calcaire de Chambord.

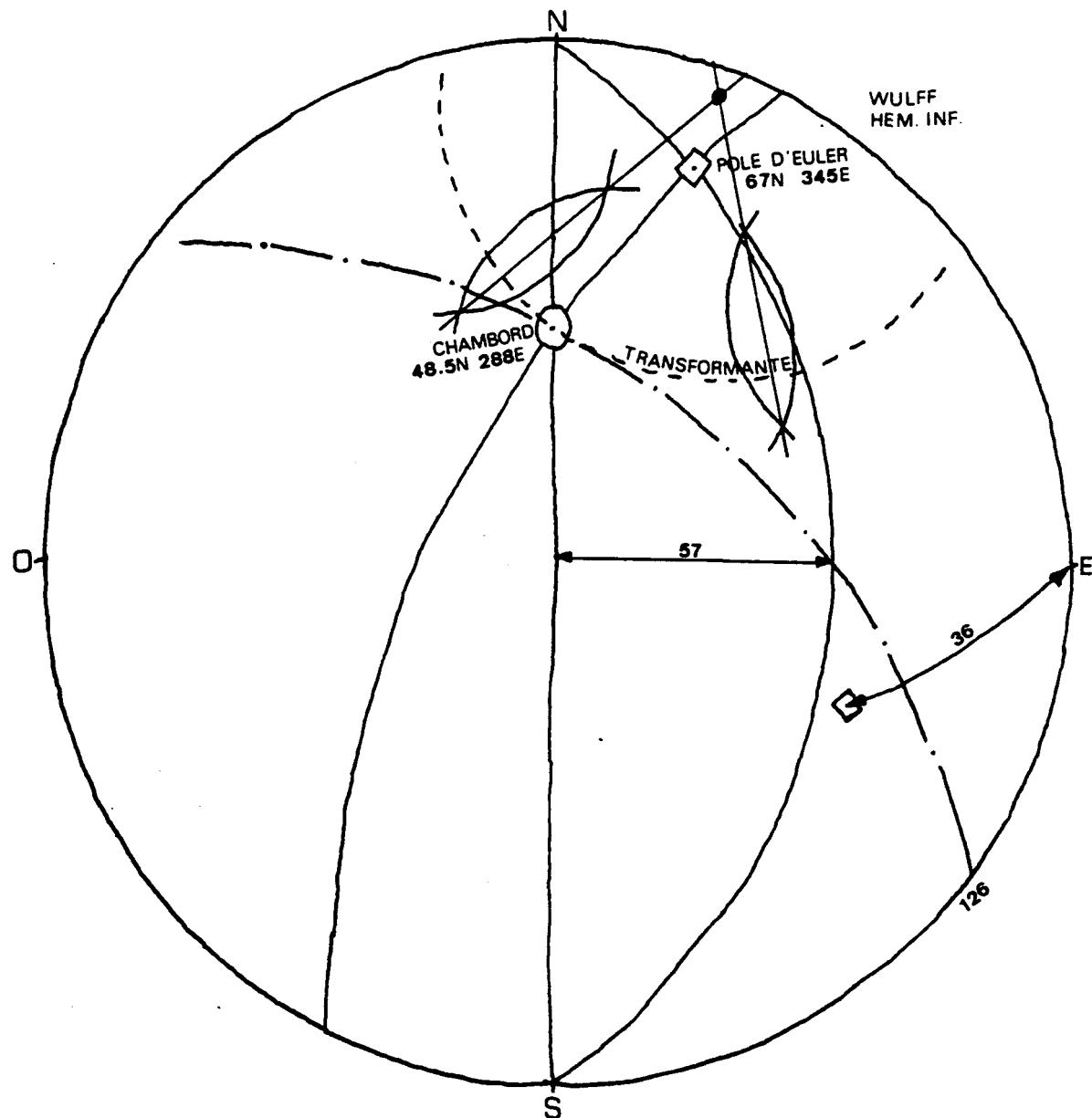


APPENDICE XI: Figure 2

Compilation des mesures de joints et de plans de stries sur les affleurements 1 et 2 de calcaire de Chambord.

APPENDICE XII

METHODE DES POLES D'EULER



APPENDICE XII: Figure 1

Stéréogramme montrant une faille transformante potentielle d'azimut local de 126 degrés trouvée à l'aide de la méthode des pôles d'Euler.

APPENDICE XIII

LISTE DES SEISMES DEPUIS 1900 AU SAGUENAY LAC-ST-JEAN

PROGRAM EQUBUS -- LINEPRINTER LISTING OF EVENTS.
GENERATED ON 31-MAR-92 AT 12:49:18

NUMBER OF EVENTS = 45

APPENDICE XIII: Figure 1

Liste des séismes depuis 1900 au Saguenay Lac-St-Jean

APPENDICE XIV

MODELE DE L'EVOLUTION DES APPALACHES DURANT LE PALEOZOIQUE

APPENDICE XIV: Figure 1
Modèle de l'évolution des Appalaches durant le paléozoïque. Tirée de
Stockmal, 1987.

