



Les décrochements, fracturations et mouvements de blocs associés. Exemples des massifs subalpins dauphinois.

Jean Pierre Robert

► To cite this version:

Jean Pierre Robert. Les décrochements, fracturations et mouvements de blocs associés. Exemples des massifs subalpins dauphinois.. Sciences de la Terre. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1976. Français. NNT : . tel-00633849

HAL Id: tel-00633849

<https://theses.hal.science/tel-00633849>

Submitted on 19 Oct 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Doctorat de spécialité

N° d'ordre

W. G. J. J. J.

THESE

PRESENTÉE A L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE

ET MÉDICALE DE GRENOBLE POUR

OBTENIR LE GRADE

DE DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ

SPECIALITÉ : SCIENCES DE LA TERRE

MENTION : GÉOLOGIE APPLIQUÉE

PAR

JEAN PIERRE **ROBERT**

LES DECROCHEMENTS,

FRACTURATIONS ET MOUVEMENTS DE BLOCS

ASSOCIÉS

EXEMPLES DES MASSIFS SUBALPINS DAUPHINOIS

Soutenue le 30 Juin 1976 devant la commission d'examen

MM R BARBIER

Professeur

Président

P VIALON

Professeur

Rapporteur

G ROMIER

Maître de conférence

Invité

M DAYRE

Maître assistant

Examineur

REMERCIEMENTS

Les idées de base de ce mémoire résultent des nombreuses discussions qui ont eu lieu au sein de l'équipe d'analyse structurale dirigée par M. P. VIALON et à laquelle je me rejouis d'avoir appartenu: Aussi il m'est agréable de remercier tous ses membres et en particulier M. VIALON qui m'a initié à la recherche et qui m'a apporté son aide et son soutien tout au long de ce travail.

Je remercie également :

- M. G. ROMIER qui a bien voulu résoudre le problème que je lui avais posé.
- M. M. DAYRE qui m'a largement aidé à écrire un chapitre mécanique rigoureux.
- M. R. BARBIER qui m'a fait le grand honneur de bien vouloir présider mon jury de thèse.
- M. H. ARNAUD qui m'a toujours bien accueilli et qui m'a conseillé utilement pour la rédaction du chapitre consacré au Vercors.
- MM. POULET de l'I.F.P., et GRILLOT du laboratoire d'Hydrogéologie de Montpellier qui m'ont permis de bénéficier de leur matériel pour réaliser les filtrages optiques.
- MM. FABRE et BOUDON, Melle CAMPESTRINI ainsi que tous mes camarades de 3ème cycle.
- Melle C. GODÉCAUX a qui je dois la présentation claire et soignée de ce mémoire ainsi que M. BRAULT qui en a assuré l'impression.

Ce travail s'inscrit dans le cadre du contrat 32 - 44 de l'A.T.P. « Géodynamique » qui l'a partiellement soutenu.

Je dédie ce travail à mes parents.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
Chapitre I : GENERALITES SUR LES DECROCHEMENTS ET LES FRACTURES QUI LEUR SONT ASSOCIEES.	3
I - Aspect mécanique de la rupture des roches.	4
A - Contraintes normales et tangentielles	
B - Etat de contrainte en un point	
C - Cercle de Mohr	
D - Propriétés du cercle de Mohr	
E - Implications pour les fractures des variations de σ_m , φ et θ .	
F - Les zones de décrochement	
II - Les structures liées aux zones de décrochement.	11
A - Les fractures.	
- les cisaillements conjugués de Riedel	
- les fentes d'extension	
- les cisaillements P	
- les cisaillements parallèles	
- combinaison de ces fracturations.	
B - Les plis.	
III - Notion d'ordre.	16
A - Exemple 1.	
B - Exemple 2.	
IV - Fracturation de la couverture liée à un mouvement décrochant du socle.	20
A - Description du modèle	
B - Conduite des essais.	
C - Résultats	
- 1) la couche d'argile est mince	
- 2) la couche d'argile est épaisse	
D - Remarques	

Chapitre II : FORMES ET COMPORTEMENT DES BLOCS DECOUPES DANS LES ZONES DE DECROCHEMENT. 25

I - Les blocs : mouvements, ruptures, déformations. 26

II - Les mouvements de blocs dans les zones de décrochement 28

A - Les deux familles ont des sens de mouvement opposés. 28

Modèle 1.

- 1) Rotations dont est le siège ce modèle
- 2) Aspect général du modèle après déformation
- 3) Les déformations dans les blocs

Modèle 2.

- 1) Rotations au sein du modèle
- 2) Aspect du modèle après déformation
- 3) Les déformations des blocs.

Modèle 3.

- 1) Rotations au sein du modèle
- 2) Aspect général du modèle après déformation
- 3) Déformation des blocs

B - Les deux familles ont le même sens de mouvement 40

Modèle 1.

- 1) Rotations au sein du modèle 1
- 2) Aspect général après déformation
- 3) Déformations des blocs

Modèle 2

- 1) Rotations au sein de ce modèle
- 2) Aspect général du modèle après la déformation
- 3) Déformation des blocs

Modèle 3

- 1) Rotations au sein de ce modèle
- 2) Aspect général du modèle après la déformation
- 3) Déformation des blocs

III - Les fractures courbes. 49

A - Mécanismes conduisant à la formation de fractures courbes

B - Les mouvements le long des fractures courbes

IV - Les corps tectoniques élémentaires : formes et significations. 56

A - Formes géométriques

B - Formes émoussées

Chapitre III : METHODE UTILISEE POUR LE PRELEVEMENT ET LE TRAITEMENT DES DONNEES SUR LA FRACTURATION D'UN MASSIF. 61

I - Prélèvement et traitement des données photogéologiques. 62

A - Prélèvement des données

B - Traitement de la photointerprétation

II - Prélèvement et traitement des mesures de terrain. 64

A - Prélèvement des mesures de terrain

- 1) les angles mesurés
- 2) choix des plans à mesurer sur un affleurement
- 3) choix de la position des stations.

B - Traitement des données de terrain.

Chapitre IV : FRACTURATIONS ASSOCIEES AUX DECROCHEMENTS DU VERCORS SUD-ORIENTAL. 75

I - Fracturations associées au décrochement du Jasneuf. 77

A - Etude photogéologique

B - Aspect général de la fracturation dans la région du Jasneuf.

- 1) Fracturation de la zone de décrochement proprement dite
 - a) les couloirs de glissement
 - b) les blocs.
- 2) fracturation de la zone située de part et d'autre du décrochement
- 3) Schéma récapitulatif

II - Le décrochement de la Cléry	87
A - Etude photogéologique	
B - Description globale de la fracturation	
1) Fracturation de la zone de décrochement au sens strict	
- dans sa partie Sud Ouest	
- dans sa partie Nord Est	
2) fracturation de part et d'autre de la zone de décrochement proprement dite	
a) fracturation de la zone située au Sud Ouest de la Bergerie de Peyre Rouge.	
b) Fracturation dans la zone du Roc Mazilier	
c) fracturation de la zone comprise entre le Pas des Bachassons, le Pas de la Selle, et la Bergerie de Peyre Rouge.	
III - Résultats des filtrages optiques : interprétation et comparaison.	101
Chapitre V : FRACTURATION DU SYNCLINAL DENT DE CROLLES-GRANIER (CHARTREUSE ORIENTALE).	105
I - Présentation des grands décrochements	107
A - La faille de Bellefond	
B - La faille de l'Alpe	
C - La faille de l'Alpette	
II - La fracturation à l'échelle de la photoaérienne	109
A - Les résultats de l'interprétation photogéologique	
1) le secteur de Bellefond	
2) le secteur de l'Alpe	
3) le secteur de l'Alpette	
B - Les familles mises en évidence	
1) famille N 15 - 20	
2) famille N 50 - 60	
3) famille N 80 - 120	
III - Les mesures de terrain	116
A - les mesures de stratification	
B - Les mesures de fracturation	
1) Le secteur de Bellefond	
2) Le secteur de l'Alpe	
3) Le secteur de l'Alpette	
4) Interprétation de la fracturation fine.	

C - Les mesures de stries.	
Conclusion sur la fracturation du synclinal Dent de Crolles - Granier.	123
CONCLUSIONS GENERALES	137
I - Caractères généraux des décrochements	137
II - Place des cinq décrochements étudiés dans la tectonique alpine.	141
REFERENCES	147

INTRODUCTION

Il est indiscutable que les fractures qui affectent les roches résultent de la rupture de ces roches sous des sollicitations qui ont agi pendant les temps géologiques. Les fractures reflètent donc, si une analyse mécanique et cinématique est possible, les caractéristiques et l'action des contraintes auxquelles les roches affectées ont été soumises. Par conséquent, la fracturation est un élément précieux pour qui veut reconstituer l'histoire des déformations subies par un massif rocheux. Il faudra montrer que certains problèmes de tectonique peuvent être résolus par une étude fine de la fracturation.

On précisera d'abord des conditions dans lesquelles apparaît tel ou tel type de fracture. On analysera ensuite les rapports existant entre les grands décrochements d'une région et la fracturation plus fine que l'on rencontre à leurs abords ; puis on s'intéressera aux formes et aux mouvements des blocs découpés par ces fractures.

Après avoir établi quelques modèles théoriques on tentera de les appliquer à l'étude des fracturations qui affectent d'une part un grand synclinal de la Chartreuse orientale et d'autre part un **vaste plateau** du Vercors sud oriental. Cette étude comportera deux étapes ; on recensera d'abord les fractures majeures puis, des mesures de terrain nous permettront d'apprécier la fracturation plus fine de ces **massifs**. Ces derniers sont caractérisés par une tectonique simple : des plis à grand rayon de courbure, tronçonnés par des décrochements qui les prennent en écharpe. Le traitement des données ainsi acquises sera fait par filtrage optique pour l'interprétation photo géologique et par un programme original de traitement statistique pour les mesures de terrain permettant de reconnaître automatiquement la forme des blocs découpés par les fractures. Puis en schématisant et en interprétant les résultats ainsi obtenus on essayera de conclure par un historique de l'évolution des déformations dans la région en tentant de reconstituer le rôle qu'a pu jouer le socle dans la tectonique de cette région. On devra pour cela se placer dans un cadre plus large que celui des massifs subalpins externes.

Chapitre I

GÉNÉRALITES SUR LES DÉCROCHEMENTS ET LES FRACTURES QUI LEUR SONT ASSOCIÉES.

I - ASPECT MÉCANIQUE DE LA RUPTURE DES ROCHES

On va tout d'abord rappeler quelques définitions de la tectonique cassante. On adoptera celles qui sont recommandées par le Comité Français de Mécanique des Roches. (revue de l'Industrie Minérale, numéro spécial 15 juillet 1970).

Surface de discontinuité : Surface ou zone mince à l'intérieur d'un milieu continu ou entre deux milieux continus différents, en général assimilable à un plan sur une certaine étendue.

Surface de non adhérence : Surface de discontinuité perpendiculairement à laquelle la résistance à la traction est nulle : exemple, fissure, fracture, diaclase non virtuelle.

Surface de moindre résistance : Surface de discontinuité perpendiculairement à laquelle la résistance à la traction n'est pas nulle : exemples, clivage, diaclase virtuelle, la plupart des joints.

Fissure : Surface de non adhérence d'étendue limitée ne traversant pas le volume considéré : Exemple paille d'un métal fondu, fissure de retrait à la surface du béton ou de l'argile.

Fracture : Surface de non adhérence de grande étendue, partageant le volume considéré en parties distinctes : exemples, diaclase, joint de stratification ouvert au voisinage du sol.

Joint : Surface de contact entre deux matériaux différents, en général sans vide ni annulation de la résistance à la traction perpendiculaire. Par extension ensemble de deux surfaces de contact et d'un matériau encaissant, à l'image du joint du mortier dans une maçonnerie. Exemples, joint de grain, joint de stratification, joint de schistosité : extension joint argileux ou marneux, certains filons.

Ouverture : Distance perpendiculaire entre les parois d'une surface de discontinuité ouverte : distance perpendiculaire entre les deux surfaces de contact d'un joint à matériau intermédiaire.

Famille de surfaces de discontinuités : Ensemble des surfaces sensiblement parallèles dans le domaine étudié.

Espacement : Distance perpendiculaire entre deux surfaces d'une même famille.

Réseau des surfaces de discontinuité : Ensemble des familles d'orientations différentes dans le domaine étudié, délimitant des blocs, les dimensions des blocs définissent la maille du réseau.

Matrice : A l'échelle des discontinuités considérées, matériau situé entre les diverses discontinuités (matériau des blocs).

Remplissage : Matériau remplissant les parties ouvertes des surfaces de discontinuité, et dont les propriétés mécaniques sont généralement inférieures à celle de la matrice. Exemples : Produits de broyage dans une faille, matériaux d'apport dans une fissure. Il y a toutes les transitions entre une fissure remplie et un joint.

Stratification : Disposition d'une roche sédimentaire en bancs parallèles, de composition identique ou différente, séparés par des joints de stratification. (Lorsque ces joints s'ouvrent au voisinage de la surface du massif, ils échappent à la définition n°4).

Schistosité : Disposition de nombreuses roches métamorphiques en feuillets parallèles de même nature, qui favorise leur séparation suivant des joints de schistosité très rapprochés (Lorsque ces joints s'ouvrent, ils échappent à la définition n°4).

Clivage : Aptitude d'un cristal à se séparer facilement suivant certaines directions de plan du réseau cristallin. Désigne aussi l'opération de séparation en deux parties ou en feuillets minces d'un cristal, et par extension la séparation d'un matériau schisteux, notamment des schistes ardoisiers.

Diaclase : Fracture sans rejet, transversale à la stratification ou à la schistosité ; par extension diaclase virtuelle : surface de moindre résistance transversale à la stratification ou à la schistosité.

Faille : Surface de discontinuité avec déplacement relatif tangentiel des deux lèvres, appelé rejet, souvent souligné par des stries ; avec ou sans interposition d'une zone broyée (une fracture, un joint de stratification, un ensemble de fissures peuvent jouer le rôle d'une faille).

A - CONTRAINTES NORMALES ET TANGENTIELLES

Soit un volume de roche soumis à des sollicitations et une petite facette appartenant à ce volume. Il s'exerce en un point de cette facette une contrainte qui se décompose en :

- une contrainte normale à la facette nommée σ_n
- une contrainte parallèle à la facette nommée τ

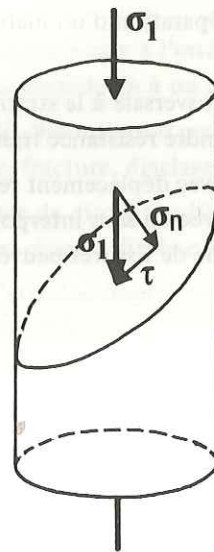


Fig. 1 : Définition des contraintes normales et tangentielles.

B - ETAT DE CONTRAINTE EN UN POINT

On appelle état de contrainte en un point l'ensemble des couples de valeurs σ_n et τ relatifs à l'ensemble des éléments de surface passant par ce point.

L'état de contrainte en un point est caractérisé par les directions de contraintes principales qui correspondent à des facettes pour lesquelles $\tau = 0$.

Ce sont :

- σ_1 la contrainte principale majeure.
- σ_2 la contrainte principale intermédiaire.
- σ_3 la contrainte principale mineure.

On appelle contrainte moyenne σ_m une contrainte telle que :

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

C - CERCLE DE MOHR

C'est une représentation plane de l'état de contrainte en un point M de l'espace dans un système σ, τ .

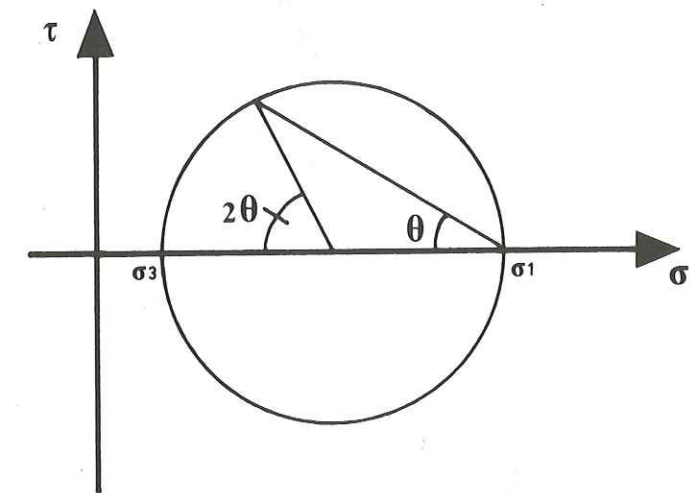


Fig. 2 : Définition du cercle de Mohr

D - PROPRIÉTÉS DU CERCLE DE MOHR.

- Tout point du cercle a pour coordonnées σ et τ valeurs des contraintes normales et tangentielles s'exerçant sur une facette. L'angle θ (voir figure 2) est l'angle que fait la facette avec la direction de contrainte principale majeure.

- Soit un cercle représentant un état de contrainte produisant la rupture. Au point représentatif de la facette pour laquelle la rupture a eu lieu on peut tracer la tangente au cercle de Mohr. Si on assimile la rupture suivant une facette à un glissement plan sur plan, l'angle φ que fait la tangente au cercle au point représentatif de la contrainte sur la facette de glissement avec l'axe des σ , peut être appelé angle de frottement interne du matériau. $\tan \varphi$ est le coefficient de frottement interne du matériau.

- L'ensemble des cercles représentatifs des états de contraintes produisant la rupture d'un matériau, admet en général une enveloppe appelée «courbe intrinsèque».

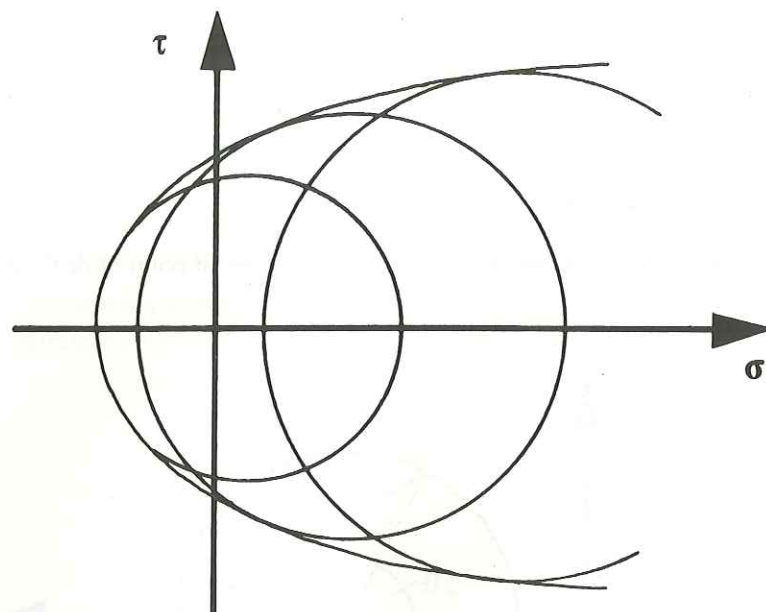


Fig. 3 : Courbe intrinsèque - Cas général.

Une expression simple de l'équation de cette enveloppe est de la forme $|\tau| = |\tau_0 + \tau_g \varphi|$

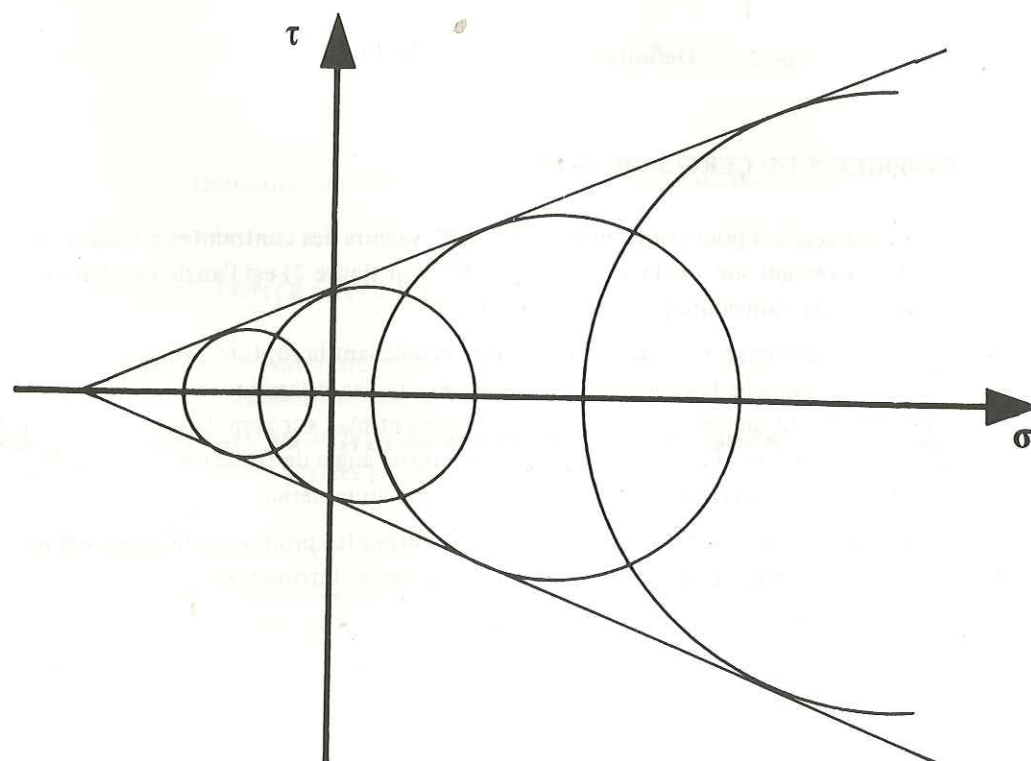


Fig. 4 : Courbe intrinsèque - Cas où $|\tau| = |\tau_0 + \tau_g \varphi|$

Tous les cercles tangents à la courbe intrinsèque sont des cercles de rupture et tous ceux qui sont compris dans la zone hachurée représentent des états de contrainte que le matériau peut supporter sans rupture.

- On constate que la facette qui en un point donné subit la contrainte tangentielle maximale est celle qui correspond à un angle $\theta = 45^\circ$. Si on pense à priori que c'est la contrainte tangentielle qui produit la rupture on peut s'attendre à ce que les fractures se développent en faisant un angle de 45° avec la direction de la contrainte principale majeure. Or on observe au cours des essais que la valeur de cet angle est inférieure ou égale à 45° . Ceci est en accord avec la relation $|\tau| = |\tau_0 + \tau_g \varphi|$ et le point de contact correspond bien à la rupture.

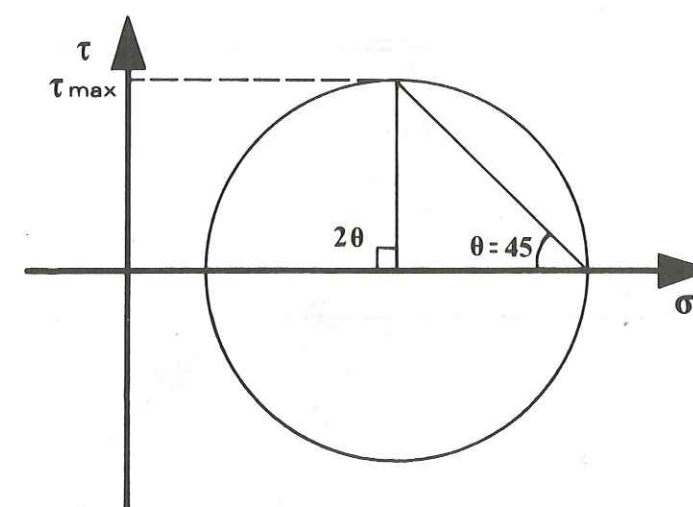


Fig. 5 : Contrainte tangentielle maximale

E - IMPLICATIONS, POUR LES FRACTURES, DES VARIATIONS DE σ_m , φ , θ .

Soit une roche dont la courbe intrinsèque a une allure parabolique. Dans le domaine où cette roche obéit à une loi de rupture avec frottement deux cas peuvent se présenter :

- pour une contrainte moyenne forte, donc un comportement plastique ou pseudo plastique dominant l'angle de frottement interne φ est petit et l'angle θ est grand (voisin de 45°). Il est raisonnable de penser que si une facette faisant un tel angle avec σ_1 devient un plan de rupture, il en résultera une fracture qui restera fermée et qui sera le siège de glissements importants. Divers indicateurs de mouvements (des stries principalement) pourront alors être observés sur un tel plan.
- pour une contrainte moyenne faible, donc un comportement fragile l'angle de frottement interne φ est grand et l'angle θ est petit. Il est probable que les fractures apparaissant dans de telles conditions auront tendance à s'ouvrir et ne seront le siège que de très faibles mouvements.

quand on observe de telles fractures dans les roches, elles ne portent pas de stries mais elles sont souvent remplies par diverses minéralisations, le plus souvent du quartz ou de la calcite.

F - LES ZONES DE DÉCROCHEMENT

Si on change d'échelle d'observation, on s'aperçoit que les plans de fracturation conjugués que nous avons supposés apparaître à $\pi/4 - \varphi/2$ de σ_1 s'organisent en échelon sur une direction qui fait un angle $\pi/4$ avec la direction supposée être celle de σ_1 .

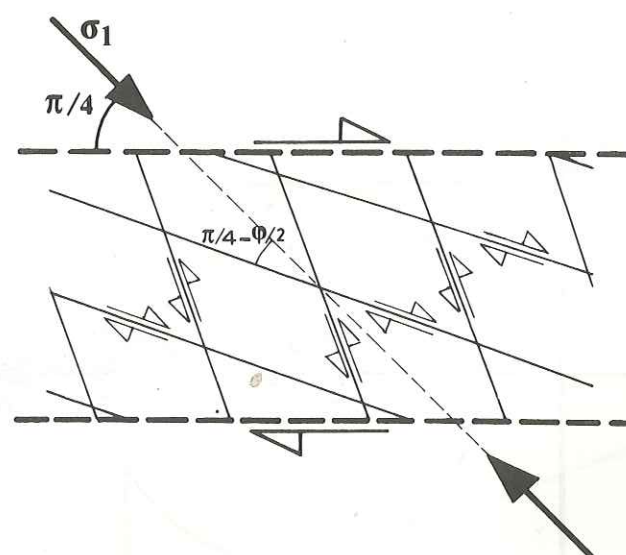


Fig. 6 : Plans de fractures conjugués à l'intérieur d'une zone de décrochement.

Ces directions suivant lesquelles s'organisent les échelons qui sont le siège de mouvements tangentiels très importants sont appelées «zones de décrochement». La fracturation y semble souvent anarchique, il n'y a pas un seul grand plan de glissement mais de nombreuses petites surfaces le long desquelles les mouvements restent généralement modestes. La largeur de telles zones est très variable mais elle est surtout fonction de la valeur du déplacement relatif des deux compartiments individualisés. Il est souvent difficile de tracer avec précision les limites en largeur de ces zones de décrochement car généralement l'intensité de la fracturation diminue progressivement quand on s'éloigne de la partie médiane.

II - LES STRUCTURES LIÉES AUX ZONES DE DÉCROCHEMENTS

Ces structures ont un trait commun : elles s'organisent en échelon. On distinguera deux catégories : les fractures et les plis.

A - LES FRACTURES

Même si la fracturation des zones de décrochement paraît d'abord très complexe elle se résout généralement en un nombre limité de familles. On va passer en revue les plus fréquentes d'entre elles.

- les cisaillements conjugués de Riedel.

Ce sont les fractures de type pseudo-plastiques décrites précédemment ;

L'une de ces fractures, nommée R, est de même sens que le décrochement et fait avec ce dernier un angle de $\varphi/2$.

L'autre, nommée R', a, un sens de mouvement contraire à celui du décrochement et fait avec ce dernier un angle de $\pi/2 - \varphi/2$.

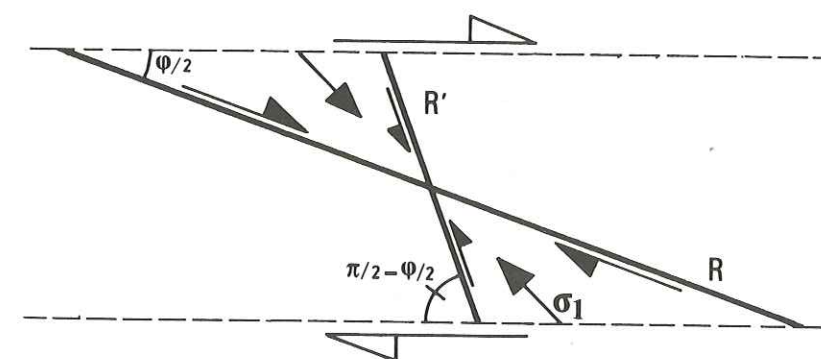


Fig. 7 : Cisaillements conjugués de Riedel.

- les fentes d'extension

Ce sont des ruptures que l'on considère généralement comme étant de type fragile avec un faible mouvement et une tendance à l'ouverture. Elles apparaissent à un stade précoce de la déformation et leur direction est toujours voisine de celle de σ_1 . Par le fait du mouvement décrochant ces fractures sont tordues à mesure qu'elles se développent ; ils s'ensuit que la partie centrale de la fracture a généralement plus tourné que ses extrémités. Cela donne à ces fractures un aspect sigmoïde caractéristique. Elles sont notées T.

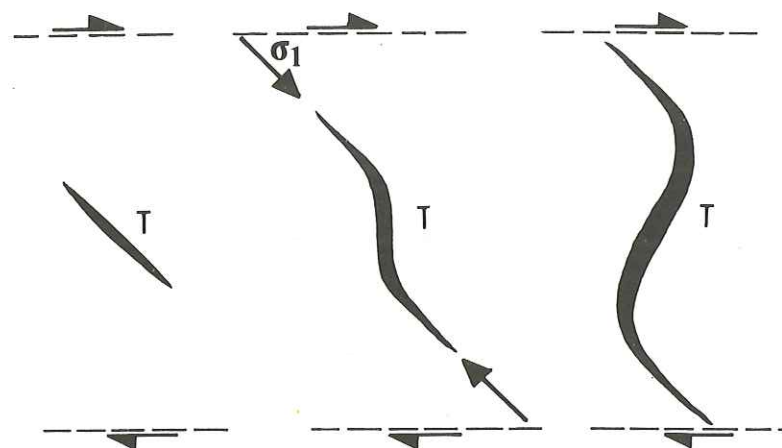


Fig. 8 : Evolution de fentes d'extension.

- les « cisaillements P ».

Ce sont des fractures qui demeurent fermées et qui ont un fort mouvement latéral ; leur direction est symétrique de R par rapport au décrochement. Comme R cette fracture est synthétique (même sens de mouvement que le décrochement). Elle est moins fréquente que les précédentes, on suppose qu'elle apparaît sous des contraintes plus élevées.

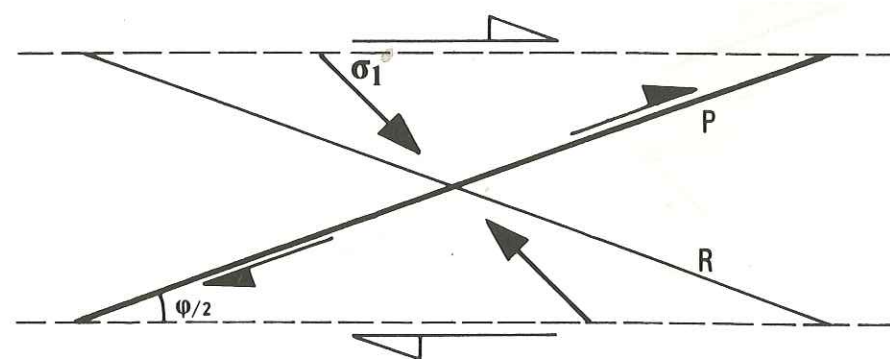


Fig. 9 : Cisaillements P.

- les « cisaillements parallèles ».

Un décrochement est presque toujours accompagné par des fractures de même direction et de même sens que lui mais de moindre importance ; elles peuvent même parfois prendre le relais du décrochement majeur.

Ils sont notés D

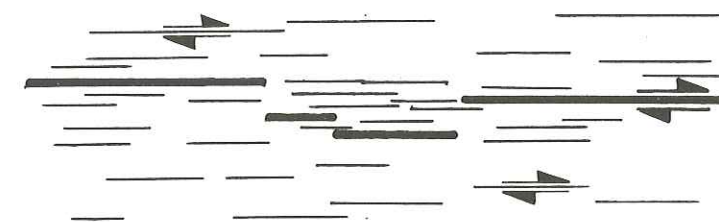


Fig. 10 : Cisaillements parallèles D

- combinaisons de ces fracturations

Ces fractures contribuent fréquemment à réunir les autres familles que l'on vient de décrire d'où cet aspect tréssé qui caractérise la fracturation des zones de décrochement. On peut reprendre un schéma de Skempton montrant comment quelques unes des fracturations précipitées se combinent dans une zone de décrochement.

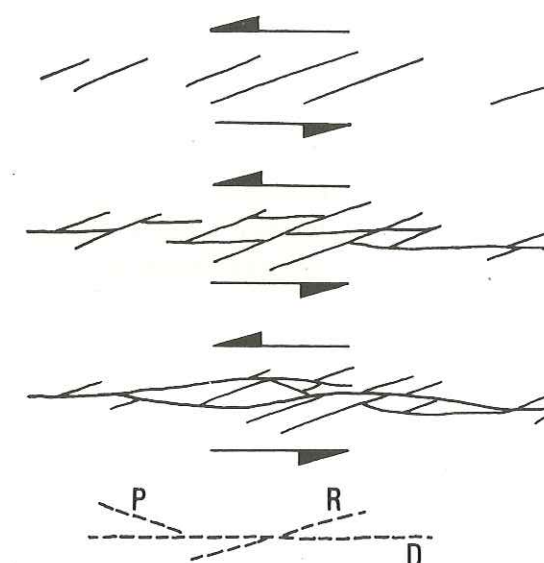


Fig 11 : 3 stades de l'évolution de la fracturation associés à un décrochement (D'après SKEMPTON).

Il est rare de rencontrer toutes ces fracturations réunies en un même endroit, mais en suivant suffisamment longtemps une zone de décrochement on rencontre tout de même la plupart d'entre elles.

En particulier, Tchalenko et Ambraseys ont décrit, le long d'une faille sismique d'Iran, un certain nombre de réseaux de fractures résultant des diverses combinaisons des fracturations décrites précédemment. On peut reproduire ici quelques uns de ces réseaux.

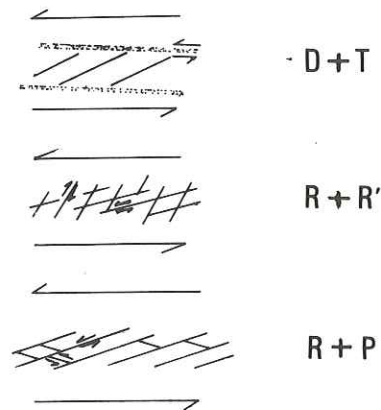


Fig. 12 Réseaux de fractures associés à une faille sismique d'Iran
(d'après TCHALENKO)

B - LES PLIS

Les plis qui apparaissent dans les zones de décrochements se disposent en échelons à 90° de la contrainte σ_1 donc à 45° de la direction de mouvement principale. Ils sont souvent la seule manifestation, dans la couverture d'un décrochement du socle ; ils prennent alors un aspect sigmoïde caractéristique.

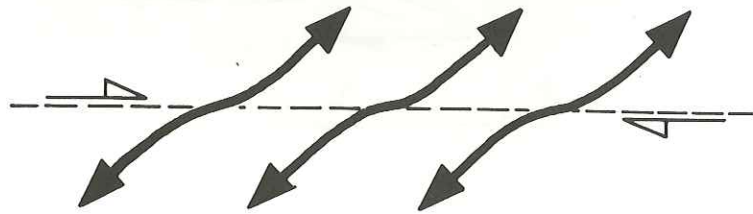


Fig. 13 : Plis tordus par un décrochement sous-jacent.

Il ne faut pas confondre ces plis avec ceux (voir pages 31,32) qui peuvent apparaître dans les blocs soumis à une distorsion et qui ont une sigmoïté inverse

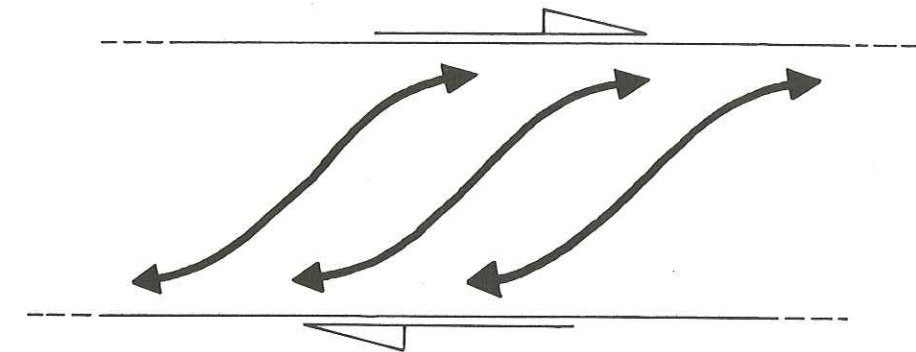


Fig. 14 : Plis en échelon tordus dans une zone de décrochement.

On ne parlera pas ici des fissurations classiques associées aux plis (Voir à ce sujet Ruhland, Vialon et al.).

III - NOTION D'ORDRE

A - EXEMPLE 1

L'observation d'un décrochement D conduit, si l'on veut respecter la théorie de Mohr-Coulomb, à placer la contrainte responsable de l'apparition de ce décrochement à $\pi/4 - \varphi/2$ de sa direction

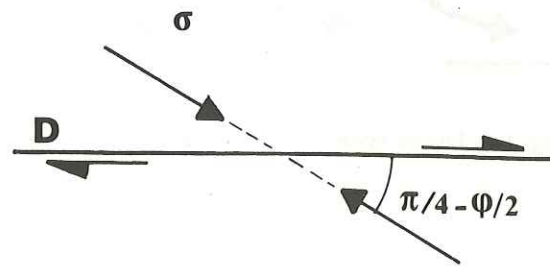


Fig 15: Plan de glissement simple

Mais en changeant d'échelle d'observation on s'aperçoit que ce décrochement est en réalité une zone de décrochement fracturée par des cisaillements conjugués de Riedel. On est donc conduit à penser que à l'intérieur de cette zone de décrochement σ a été déviée en σ' qui fait un angle de $\pi/4 - \varphi/2$ avec les deux Riedel R et R'.

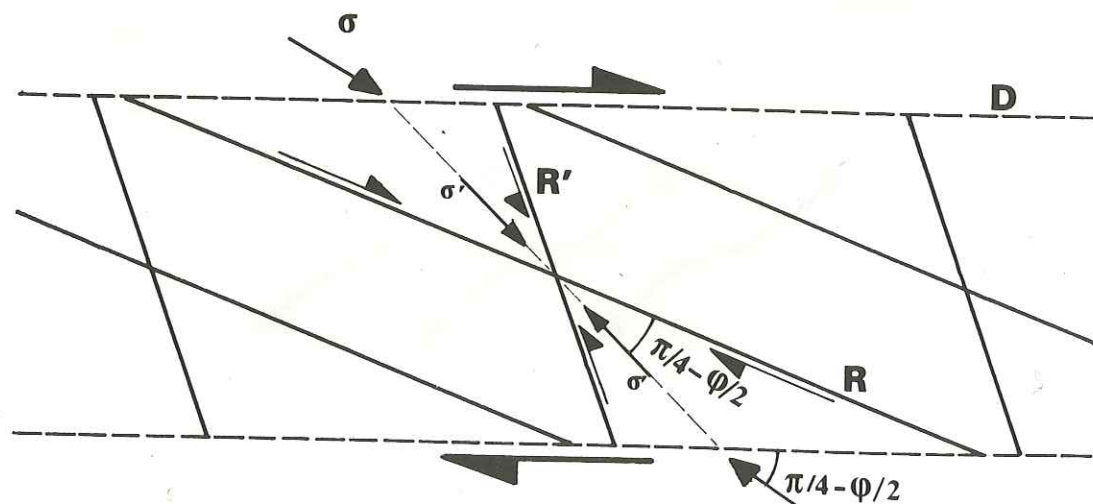


Fig. 16 : Zone de décrochement et les fractures de Riedel qui lui sont associées.

Si l'on change une nouvelle fois d'échelle d'observation, les fractures R_1 et R_1' peuvent à leur tour nous apparaître comme des zones complexes de décrochement elles aussi fracturées par des cisaillements conjugués de Riedel R_2' et R_2 auxquels une contrainte σ'' doit être associée.

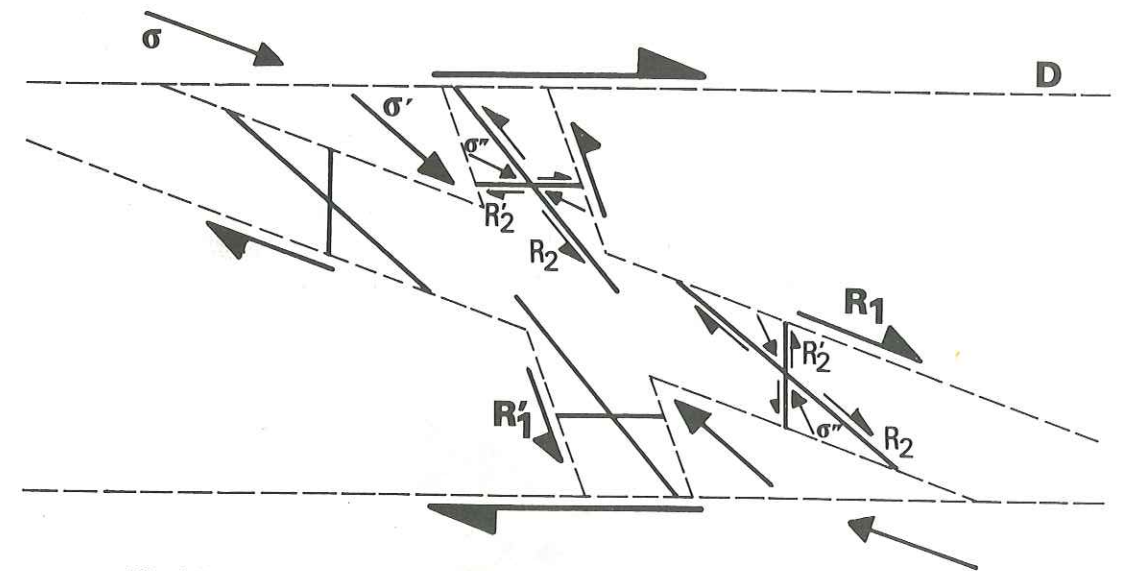


Fig. 17 : Zones de décrochements de premier et de deuxième ordre et les fractures de Riedel qui leur sont associées.

On peut dire que chacun de ces stades d'observation correspond à un ordre.

Le passage d'un ordre à l'autre nécessite un changement de l'échelle d'observation et une révision de l'état de contrainte au sein du matériau.

Un ordre est donc défini par une déformation. On entend par là que des déformations d'ordre 1 et d'ordre 2 auront des tailles différentes. Pour une fracture par exemple seront prises en considération longueur, largeur et intensité du rejet.

Cela se traduit pour les contraintes par le fait qu'un état de contrainte d'ordre 2 sera plus local qu'un état de contrainte d'ordre 1.

On voit ainsi qu'il existe au sein d'un massif des états de contrainte locaux et globaux.

B - EXEMPLE 2

Si l'exemple choisi précédemment (décrochements et cisaillements conjugués de Riedel associés) était assez simple il en existe de plus complexes pour lesquels étant donné un ordre 1 il existe plusieurs ordres 2.

Soit une strate horizontale soumise à l'action d'une compression, elle aussi horizontale. La strate va se plisser.

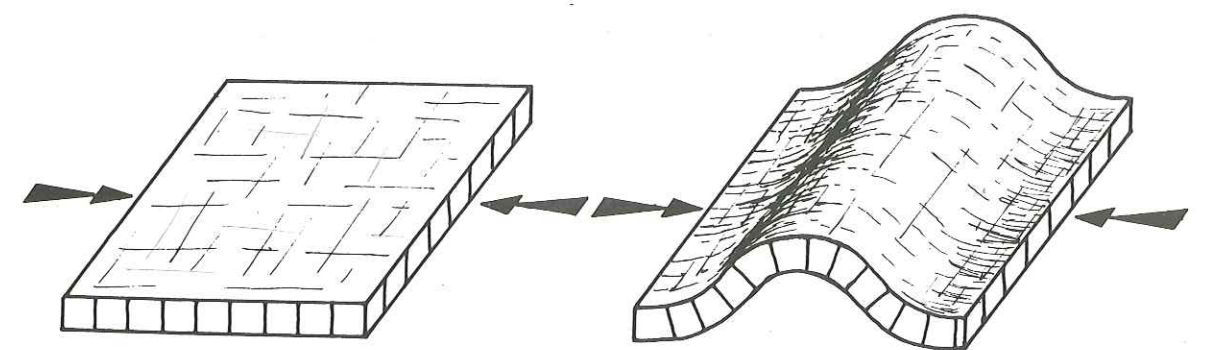


Fig. 18 : Plissement d'une strate.

L'ensemble contrainte déformation que l'on vient de décrire constitue un ordre 1. A partir de cet ordre 1 on peut envisager trois déformations d'ordre 2, différentes :

1) si l'on se place à la charnière du pli (à déformation de charnière, cf. Mattauer), la déformation 1 (le plissement) va faire apparaître des contraintes locales que l'on pourra appeler d'ordre 2. Ces contraintes seront de tension à l'extrados du pli et de compression à l'intrados et elles seront responsables respectivement de l'ouverture de fentes d'extension et du glissement de failles inverses. Ces deux types de fractures sont des déformations d'ordre 2.

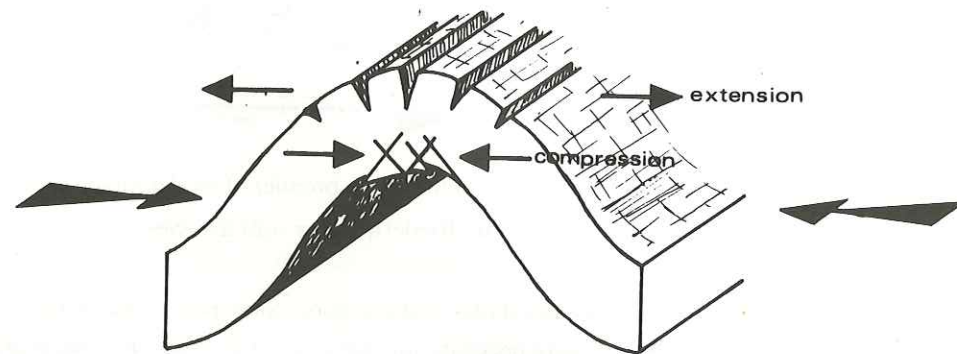
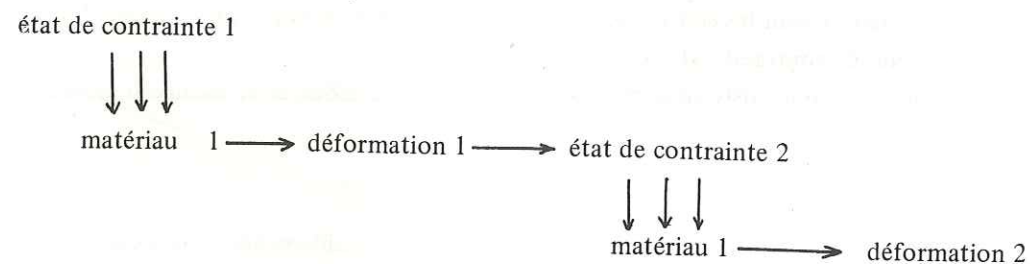


Fig 19 : Mise en évidence d'état de contrainte de deuxième ordre.

On peut résumer cela de la façon suivante :



2) On va cette fois se placer dans le cas où, pendant le plissement (déformation 1) les propriétés mécaniques du matériau changent (par exemple à cause de la perte de fluides). On aura alors affaire à un matériau 2 et si l'état de contrainte 1 continue à s'exercer sur ce matériau 2 on aboutira à une déformation de deuxième ordre qui sera par exemple une grande faille inverse. Dans le cas de la déformation d'ordre 1 s'arrête quand commence celle d'ordre 2.

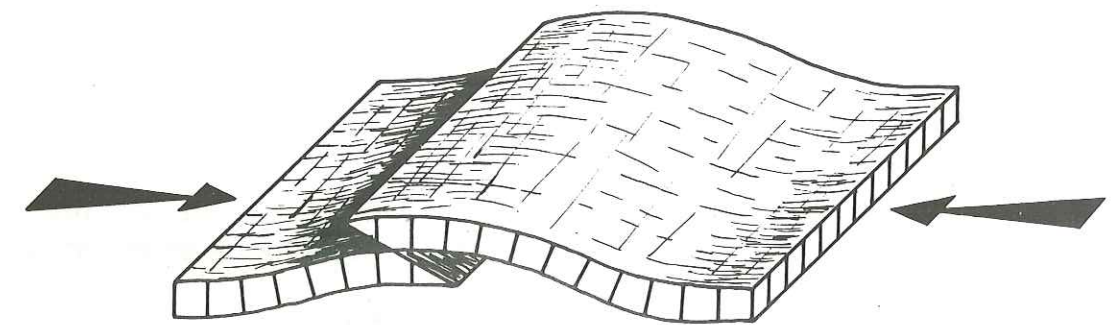
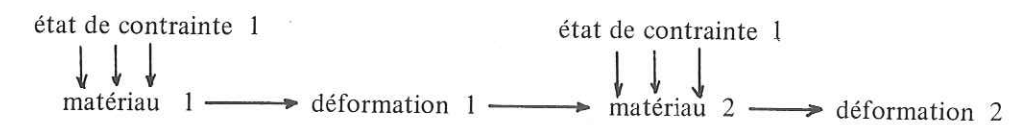


Fig. 20 : Rupture de la charnière d'un pli, la compétence du matériau ayant évolué.



3) On envisage cette fois le cas le plus complet qui est la combinaison des deux précédents : La déformation 1 provoque d'une part un changement des propriétés mécaniques du matériau et d'autre part l'apparition d'états de contrainte locaux d'ordre 2. Celle-ci sera la combinaison des deux précédentes par exemple une rupture en faille inverse du pli dans la charnière affaiblie par la fracturation liée aux contraintes locales.

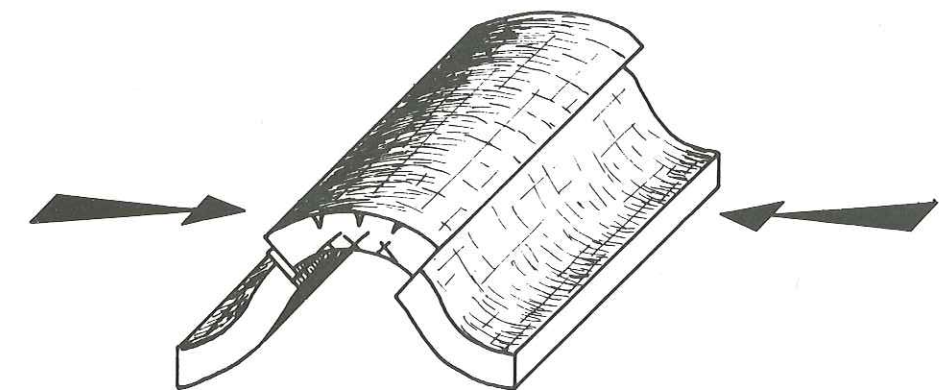
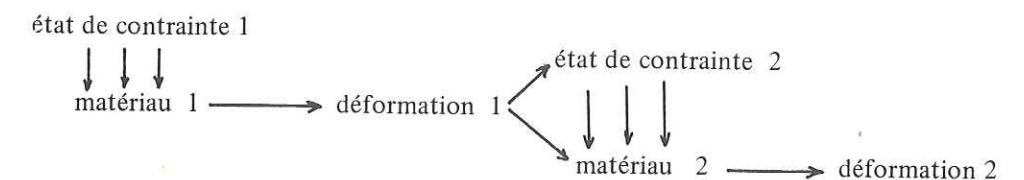


Fig. 21 : Rupture de la charnière d'un pli, les effets précédents se superposant.



IV - FRACTURATION DE LA COUVERTURE LIÉE A UN MOUVEMENT DÉCROCHANT DU SOCLE ; ANALYSE EXPÉRIMENTALE. (FABRE ET ROBERT 1976).

Ces essais ont été réalisés avec le concours de D. FABRE.

Le jeu de failles anciennes du socle est indiscutablement un élément moteur de première importance pour l'élaboration des grandes déformations de la couverture. Une étude expérimentale nous a semblé nécessaire pour une meilleure compréhension des relations, sur le plan de la fracturation, entre le socle et la couverture.

La conception du modèle nous a amené à faire quelques hypothèses simplificatrices : nous supposons le socle indéformable par rapport à la couverture et nous supposons également que le socle est affecté par un décrochement plan, vertical et dont le rejet est strictement horizontal, les lèvres des deux compartiments restant collées.

A) Description du modèle

Il s'agit d'un bâti permettant de faire coulisser deux plateaux en bois l'un contre l'autre. On étale une couche d'argile à cheval sur les deux plateaux mobiles. L'argile simule la couverture et les plateaux le socle.

B) Conduite des essais

On utilise une argile de poterie de Vallauris. Les paramètres que nous ferons varier sont :

- l'épaisseur de la couche d'argile
- le collage de l'argile sur le bois des plateaux

C) Résultats

D'après les fissurations obtenues on peut classer l'ensemble des essais réalisés en deux catégories :

1) La couche d'argile est mince et elle est bien collée.

Il apparaît dans l'argile des fissures qui se disposent en échelon au-dessus de la discontinuité entre les deux plateaux sous-jacents et le long de laquelle ces derniers glissent. Ces fissures ont une direction qui fait avec celle du décrochement un angle voisin de 15° . Si on poursuit le mouvement des plateaux représentant le socle, il y a rupture des ponts d'argile qui séparent les fissures et le décrochement du socle apparaît dans la couverture

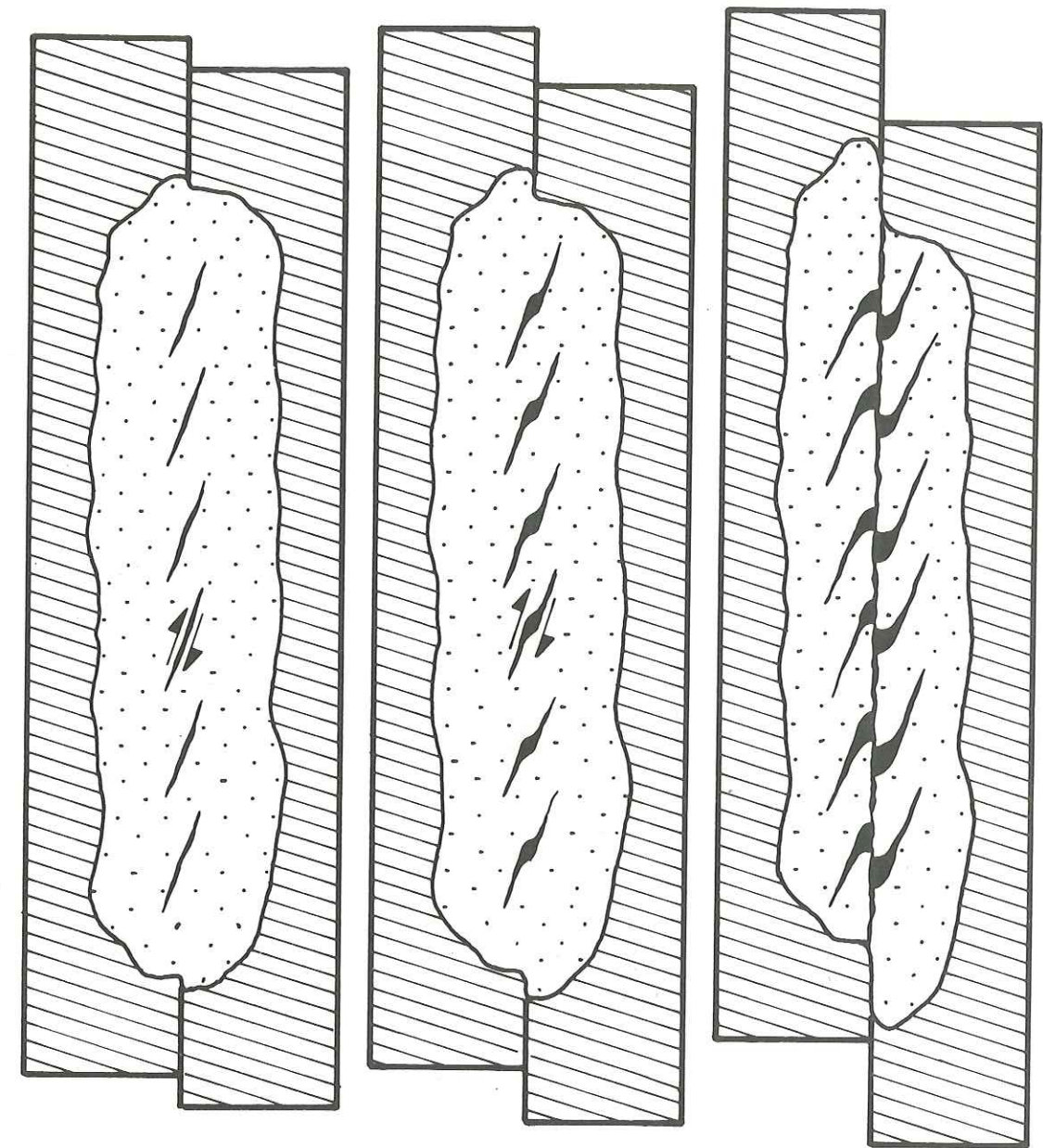


Fig. 22 : Déformation de la couche d'argile quand elle est mince et bien collée.

Ces fissures, étant données les mouvements dont elles sont le siège et leur direction, sont des Riedel R. On trouve donc pour l'argile qui a servi à réaliser l'essai un angle de frottement interne $\varphi : 30^\circ$. Cette valeur n'est pas surprenante dans la mesure où l'argile ayant servi à l'essai n'était pas saturée en eau.

Au cours du mouvement les fissures s'ouvrent aux abords du décrochement et prennent de ce fait un aspect assez voisin de celui des fentes d'extension. Mais alors que ces dernières s'ouvrent sans glissement, les fractures de Riedel témoignent avant tout d'un glissement de même sens que celui du décrochement et ne s'ouvrent que localement aux abords de ce dernier, elles peuvent porter des stries. Fractures d'extension et de Riedel se distinguent également par l'angle qu'elles font avec le décrochement.

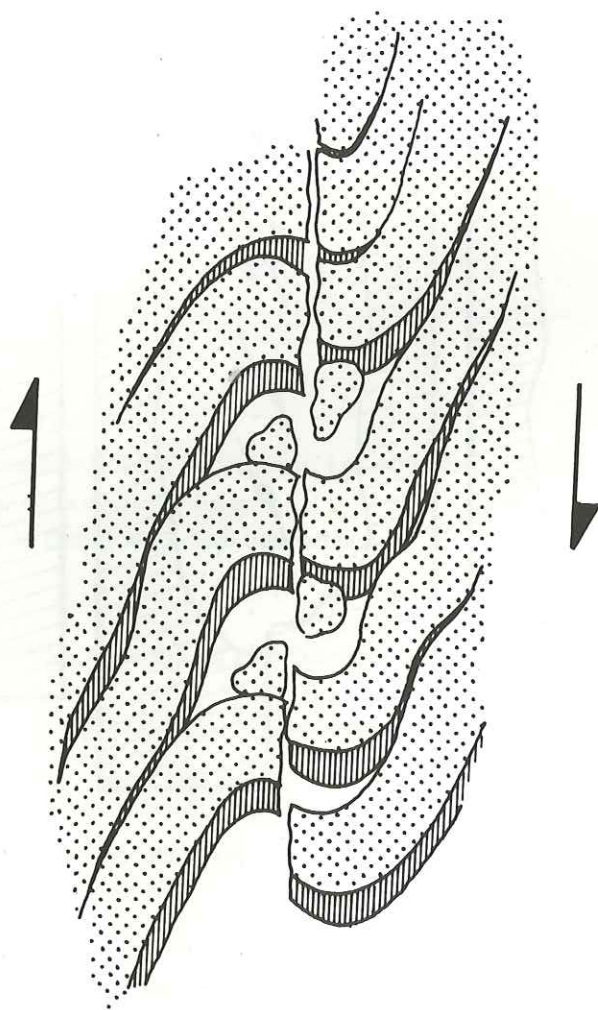


Fig. 23 : Détail de la rupture des bandes découpées par les Riedel R.

2) La couche d'argile est épaisse et son adhérence aux plateaux est faible (simulation d'un décollement de la couverture par rapport au socle).

Comme précédemment des Riedel R apparaissent mais dans ce cas ils affectent rapidement une bande beaucoup plus large. Par endroits apparaissent également des Riedel R', ils font avec le décrochement un angle de 70 à 90°. Si l'on poursuit le déplacement des plateaux, l'un des Riedel R prend le pas sur les autres et alors toute la déformation de la couverture s'engage dans cette fissure jusqu'à ce qu'elle rompt complètement la couverture. Dans cette dernière un Riedel R devient le décrochement principal et en définitive le décrochement majeur de la couverture n'a pas la direction de celui du socle.

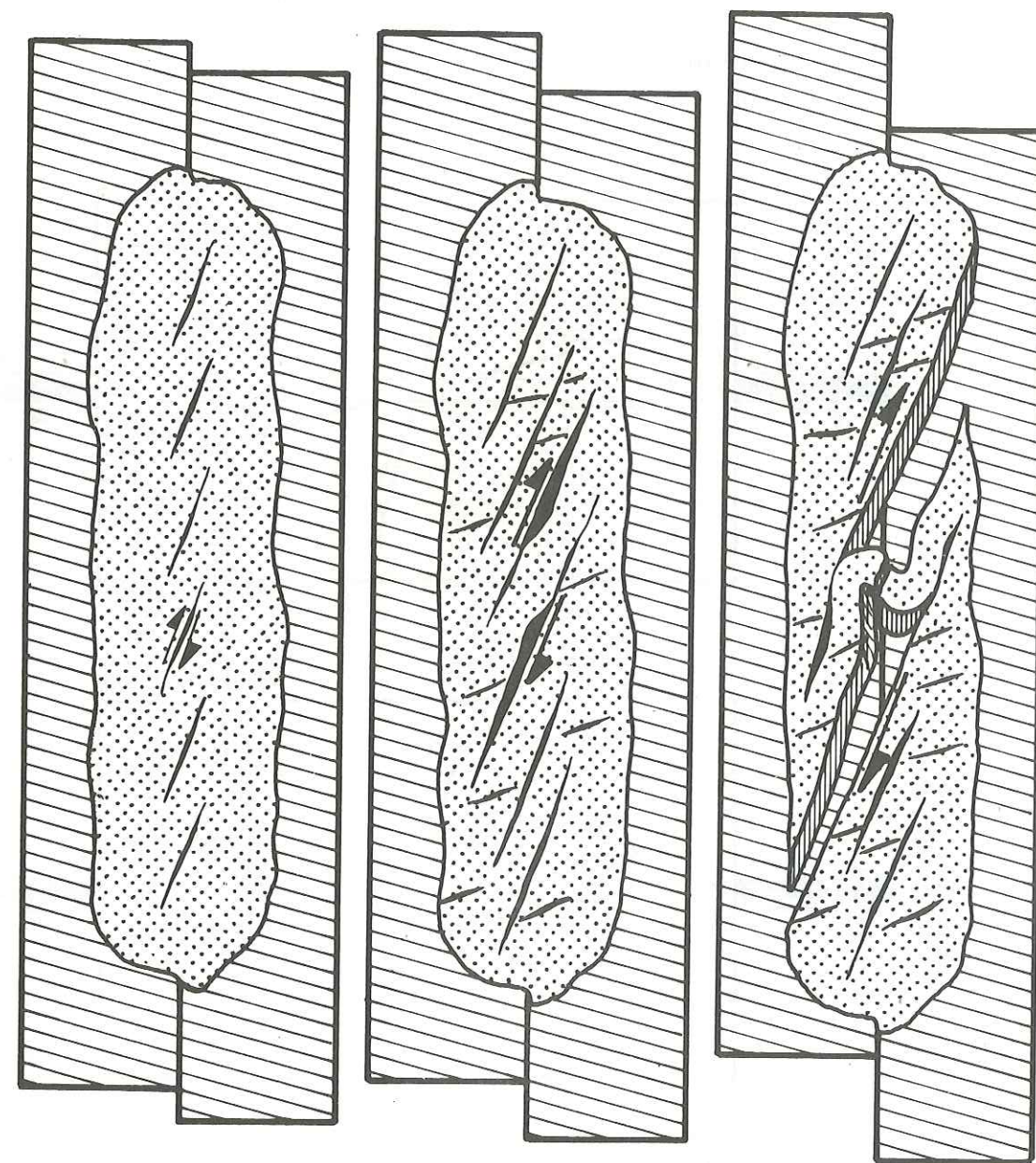


Fig. 24 : Rupture de la couche d'argile quand elle est épaisse et peu adhérente.

D) Remarques

De faibles variations de la teneur en eau autour de la valeur moyenne n'ont pas eu d'influence notable sur la fracturation. La forme des contours de la couche d'argile ne semble pas elle non plus influencer sur le mode de rupture.

La présence de Riedel R' semble bien être liée à l'importance du mouvement selon les Riedel R : en effet dans le premier type d'essais les Riedel R' sont peu développés ou bien même ils n'apparaissent pas tandis que dans le second type ils sont bien individualisés à proximité du Riedel R qui est le siège d'un glissement important.

Dans le deuxième type d'essais la direction du décrochement du socle ne coïncidant pas avec celui de la couverture il apparaît dans le mouvement décrochant de la couverture, une composante qui provoque son ouverture. Ces essais permettent de retenir deux modèles de fracturation d'une couverture par un mouvement décrochant du socle

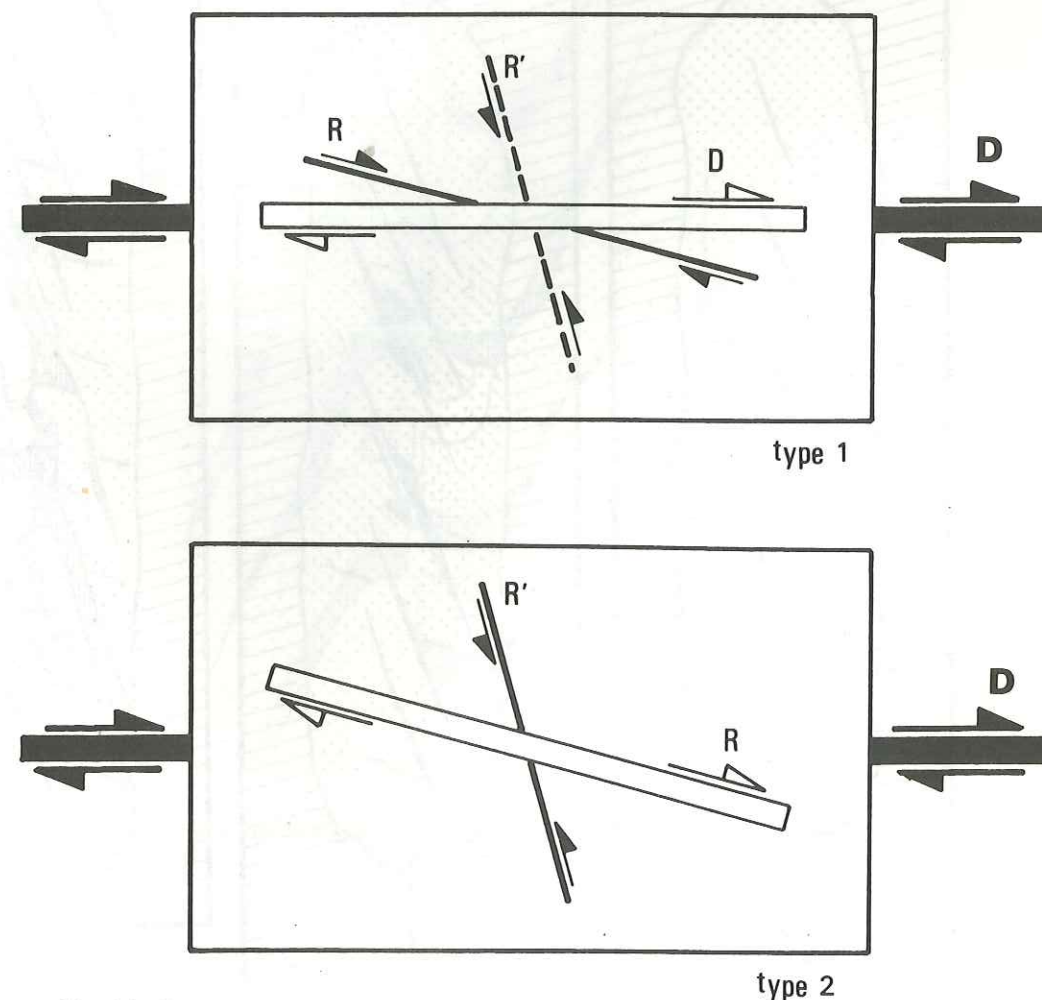


Fig. 25 : Deux types de rupture de couverture sur un mouvement décrochant du socle.

Chapitre II

FORMES ET COMPORTEMENT DES BLOCS DÉCOUPÉS DANS LES ZONES DE DÉCROCHEMENT

On appelle « bloc » un volume de roche limité par des surfaces de discontinuités (fractures et stratification). Un bloc garde une certaine indépendance quand l'ensemble auquel il appartient se déforme.

Un bloc réagit en fonction des sollicitations qui lui sont propres et donc d'une façon différente des blocs voisins.

Les blocs se caractérisent par leurs volumes et leurs formes. Le volume est fonction de l'ordre auquel on se place ; les blocs sont de même ordre que les fractures qui les limitent. La forme des blocs se ramène à l'étude dans l'espace, d'une part de l'orientation des plans de discontinuité qui se rencontrent dans un massif et d'autre part de la densité relative des diverses familles constituées par ces plans.

I - LES BLOCS : MOUVEMENTS, RUPTURES ET DÉFORMATIONS.

Soumis à des sollicitations mécaniques, un bloc peut réagir de différentes façons :

- il peut se déplacer en masse. Sa géométrie ne change pas, seule sa position dans l'espace varie. Deux types de mouvements élémentaires peuvent être distingués : les translations et les rotations.

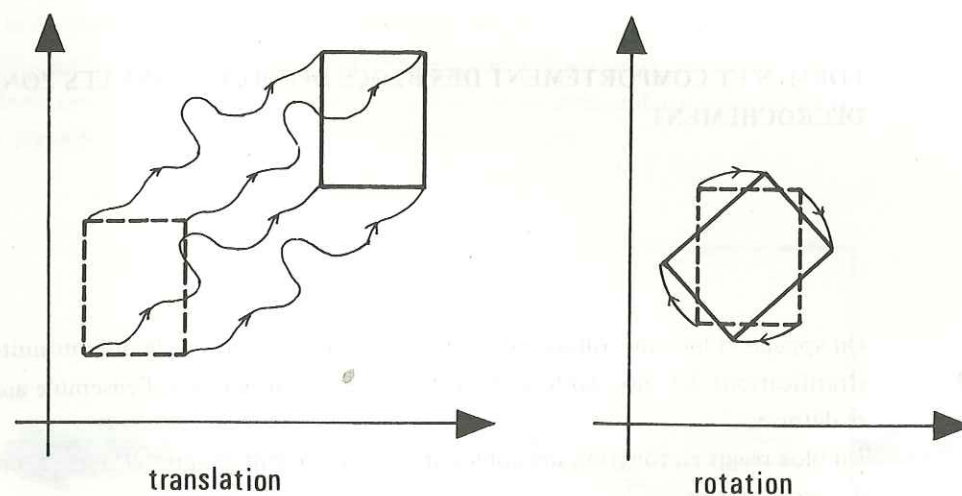


Fig. 26 : Mouvements de blocs

- il peut se fracturer. Le bloc est dans ce cas déformé de façon discontinue, toute la déformation s'engage dans un seul plan. Au niveau de ce plan il peut y avoir un mouvement qui sera un glissement, une ouverture ou une combinaison des deux.

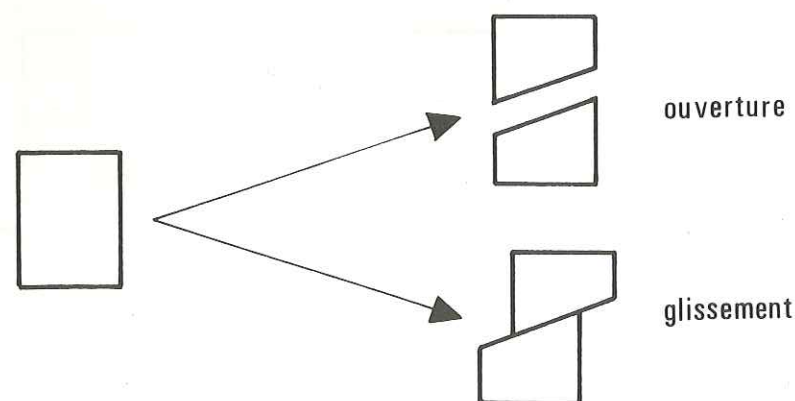


Fig. 27 : Ruptures de blocs

- il peut enfin se déformer de façon continue. Cette déformation peut alors être un aplatissement ou une distorsion.

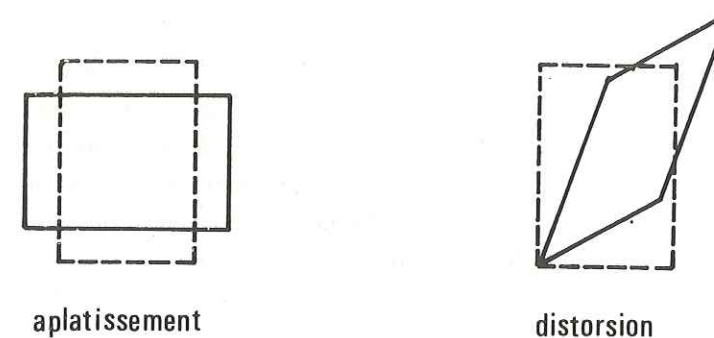


Fig. 28 : Déformations des blocs

On voit que dans ce cadre le mot rotation n'a qu'un sens très limité. Cependant, en raison des habitudes prises, ce terme sera employé dans la suite du texte à la fois dans son acception stricte (rotation de bloc) et avec le sens défini ici comme un glissement dans les expressions rotations externes et internes.

Les déplacements, les ruptures et les déformations peuvent se succéder au cours de l'histoire tectonique d'un bloc, et, suivant l'ordre dans lequel ces trois phénomènes s'enchainent, on peut aboutir à plusieurs types de formes pour le bloc final.

Certaines de ces combinaisons seront plus fréquentes que d'autres. Il est rare, en effet, de voir les déformations cassantes précéder les déformations souples mais il convient d'être prudent car cela dépend des conditions aux limites pour le bloc considéré et celles-ci peuvent varier à chaque instant en fonction des mouvements des autres blocs de l'ensemble sur lequel agissent les contraintes.

II - LES MOUVEMENTS DE BLOCS DANS LES ZONES DE DÉCROCHEMENTS.

On a fait précédemment l'inventaire des principales familles de fractures qui pouvaient apparaître dans une zone de décrochement. Etant donné leur nombre il est difficile de recenser et de passer en revue la totalité des formes et des mouvements dont de telles zones seront le siège ; aussi n'envisagera-t-on que quelques cas simples : des réseaux équivalents constitués de seulement deux familles de fractures. On analysera les mouvements pouvant apparaître dans un tel système lorsque sur celui-ci agissent des sollicitations capables de provoquer un mouvement décrochant suivant une zone de direction donnée. Deux cas se présentent selon que sur les deux familles de fractures les sens de mouvement sont opposés ou bien identiques.

A - LES DEUX FAMILLES ONT DES SENS DE MOUVEMENT OPPOSÉS.

On choisit un réseau constitué d'une part de la famille D parallèle et de même sens que le décrochement, et d'autre part de la famille R' qui fait un angle d'environ 75° avec le décrochement et qui est de sens contraire. Trois modèles peuvent résulter de la mise en mouvement d'un tel dispositif.

Modèle 1 : seul un mouvement s'engage suivant la famille D.

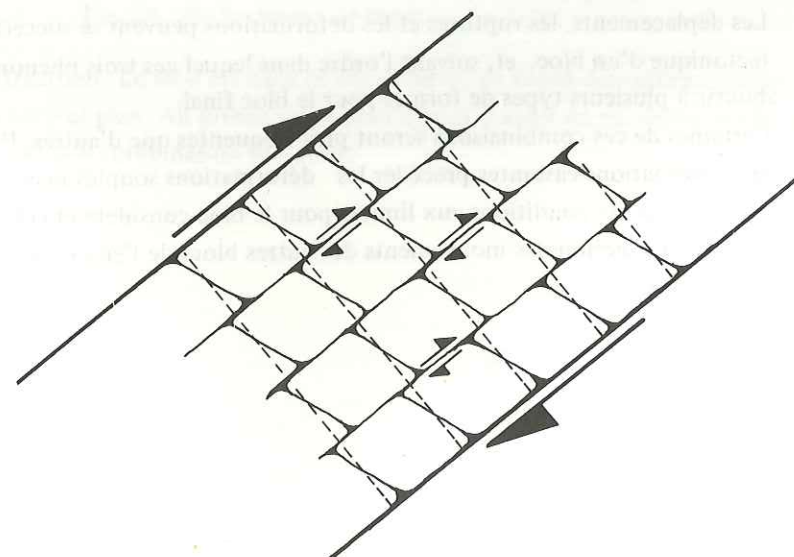
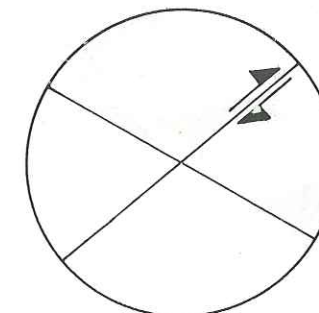


Fig. 29 : Mouvements des blocs au sein du modèle 1.

1) Rotations dont est le siège ce modèle :

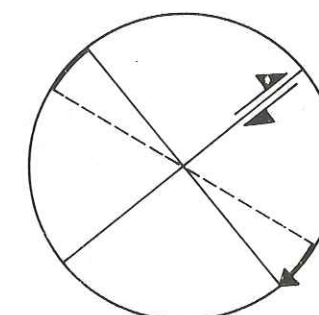
- rotations internes :



il ne se produit que des glissements dextres suivant la famille D.

Fig. 30 : Rotations internes

- rotations externes :



Il y a un glissement dextre suivant les fractures de la direction D et de la direction R' qui s'obtient à cette échelle en intégrant tous les décalages élémentaires. Le bloc a subi une rotation dans le sens horaire.

Fig. 31 : Rotations externes

2) Aspect général du modèle après déformation

La zone de décrochement n'est pas aplatie perpendiculairement à D. Seuls les plans de la famille D portent des stries. Les fractures R' ont elles tendance à s'ouvrir surtout si les frottements au niveau des fractures D ne sont pas homogènes. Par conséquent, on pourra rencontrer dans certaines fractures de la famille R' des figures d'extension (par exemple des fibres de calcite) indiquant une direction d'extension plus ou moins parallèle à D.

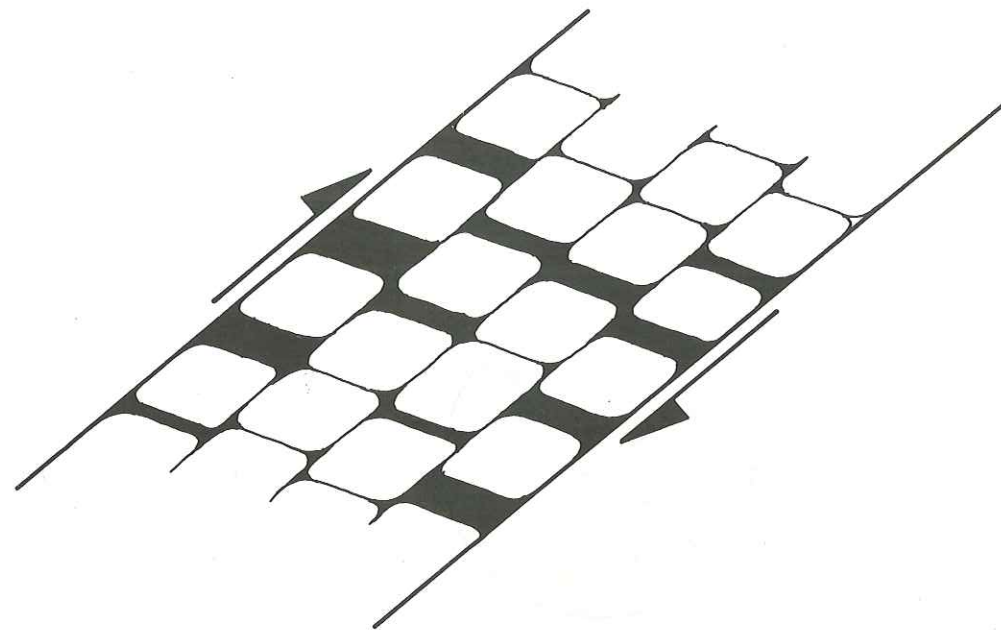


Fig. 32 : Aspect du modèle 1 après déformation

3) Les déformations dans les blocs.

On aura des déformations cassantes qui seront les fractures de deuxième ordre par rapport aux glissements de la famille D et des plis pourront se former à l'intérieur des blocs perpendiculairement à la contrainte σ . La direction de cette dernière fait avec D et R' des angles respectivement de $\pi/4$ et de $\pi/4 - \varphi/2$.

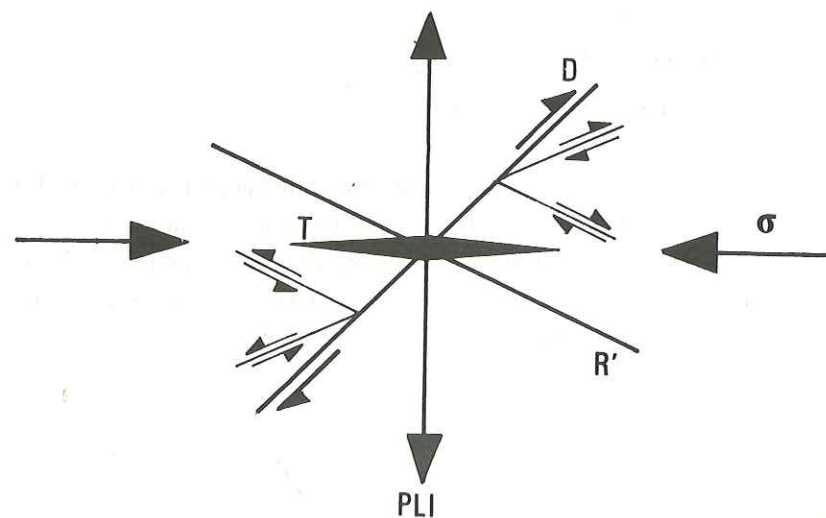


Fig. 33 : Fracturation des blocs dans le modèle 1.

Si des glissements se poursuivent il y aura une distorsion générale du bloc qui aura tendance à déformer les structures apparues précocement (surtout les plis) qui prendront de ce fait un aspect sigmoïde.

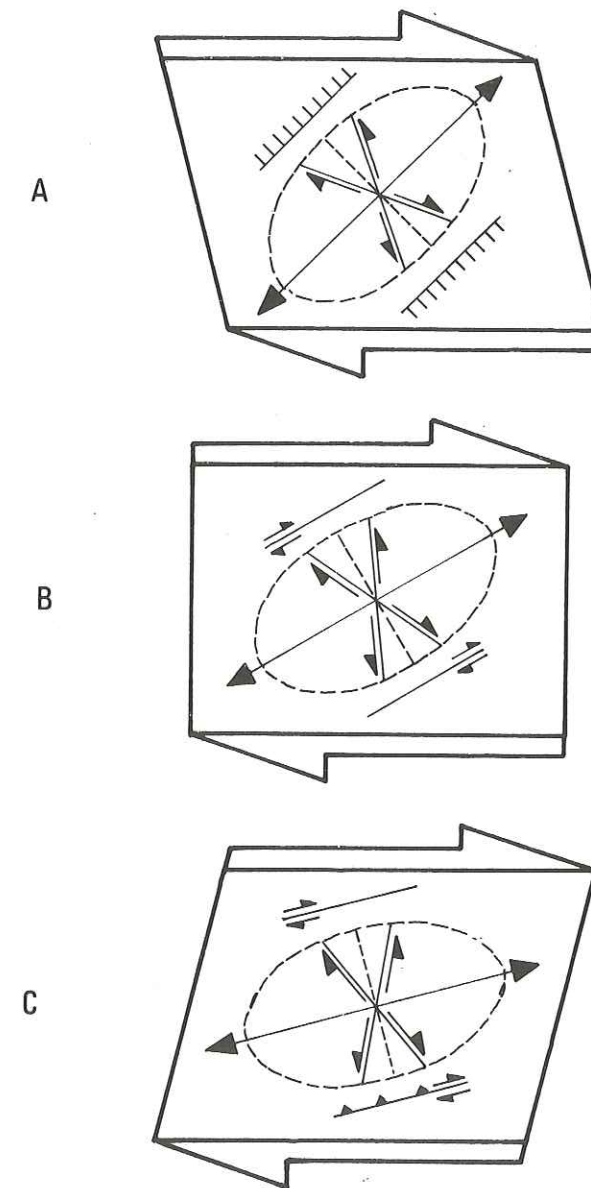


Fig. 34 : Evolution de (A vers C) de la distorsion d'un bloc et fracturations concomittantes (d'après THOMAS 1974).

En réalité la valeur de la distorsion n'est pas la même en tous les points du bloc, elle est plus forte au voisinage des bords du bloc le long desquels se fait le mouvement.

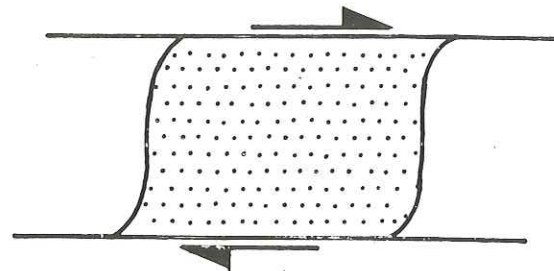


Fig. 35 : Déformations souples d'un bloc du modèle 1.

Modèle 2 :

Seul un glissement s'engage suivant la famille R'.

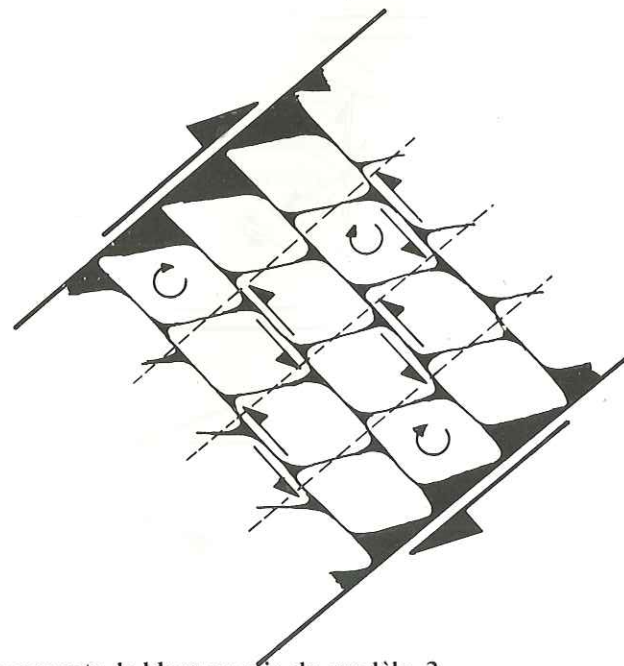


Fig. 36 : Mouvements de blocs au sein du modèle 2.

1) rotations au sein de ce modèle :

- Les rotations internes :

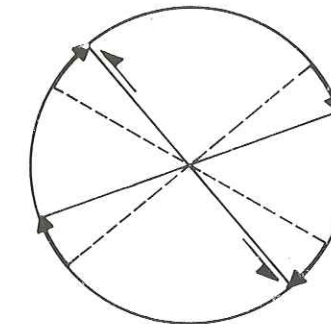


Fig. 37 : Rotations internes

Des glissements senestres se produisent suivant la famille R' et il y a une rotation de chacun des blocs dans le sens horaire.

- Les rotations externes :

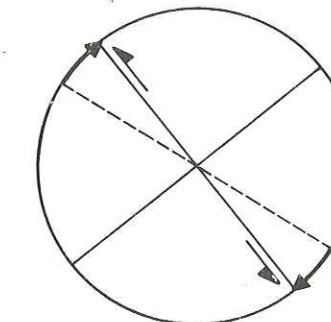


Fig. 38 : Rotations externes

La famille R' subit un glissement senestre et une rotation de sens horaire.

2) Aspect général du modèle après déformation

Il n'y aura pas d'aplatissement général de la zone de décrochement mais au contraire une tendance à l'écartement des deux compartiments, ce qui semble difficile d'où un blocage rapide du mouvement. On trouvera des stries sur les fractures R' ; néanmoins les mouvements ne seront jamais considérables suivant cette famille. Les fractures D s'ouvrent accompagnant ainsi une distorsion générale de la zone de décrochement.

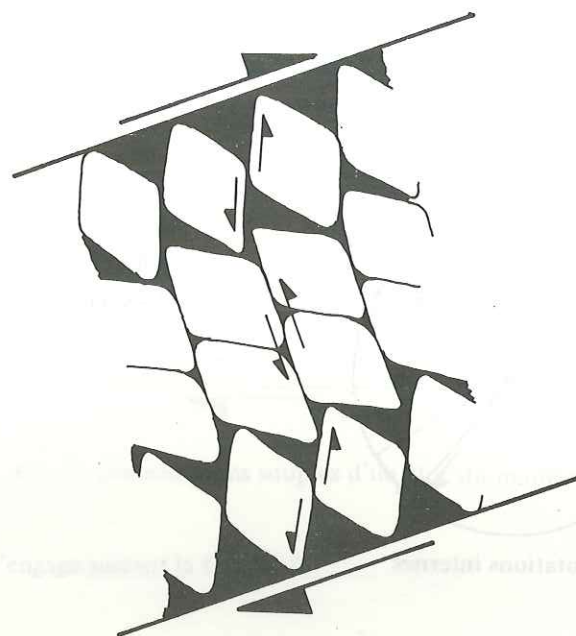


Fig. 39 : Modèle 2 après déformation.

3) Les déformations des blocs :

La contrainte σ a la même position par rapport au bloc que dans le cas 1 vu précédemment. Il existe en outre des variations des contraintes locales.

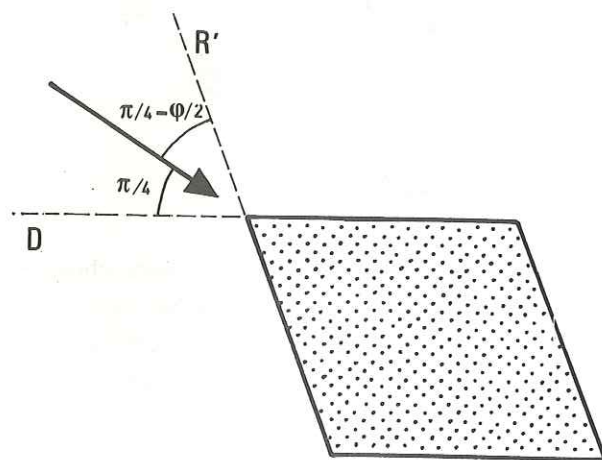


Fig. 40 : Position de la contrainte σ par rapport aux limites du bloc

La fracturation du bloc est associée aux glissements le long des plans de famille R' .

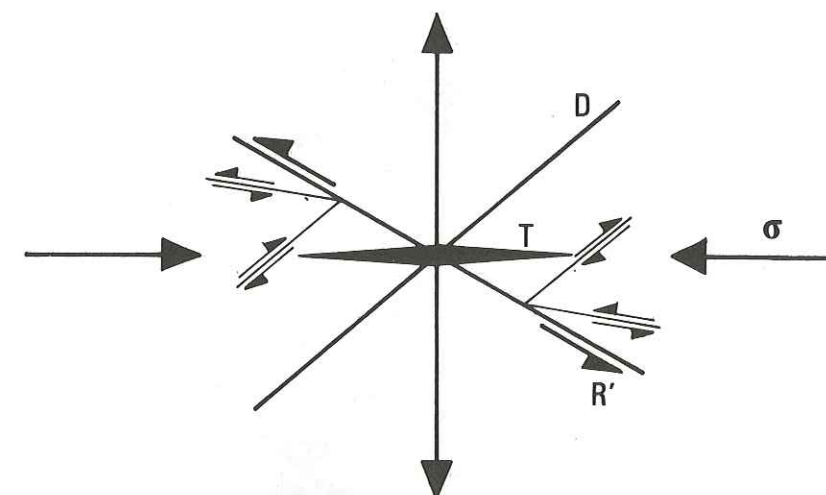


Fig. 41 : Fracturations des blocs au sein du modèle 2.

Les blocs seront soumis à des distorsions soulignant les glissements senestres. En liaison avec ces distorsions, apparaîtront des plis dont la direction axiale sera aussi une direction d'étirement.

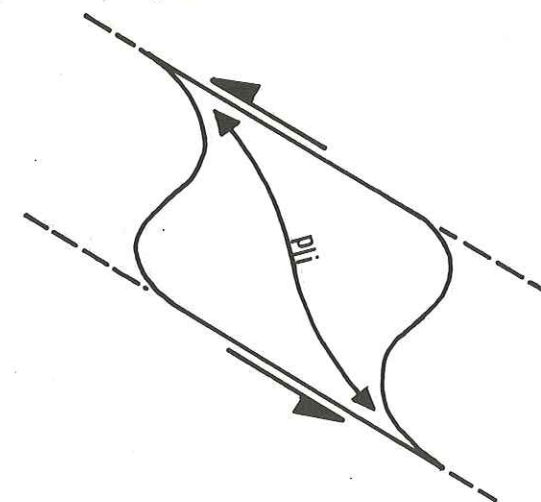


Fig. 42 : Déformation souple d'un bloc au sein du modèle 2. On peut constater que la sigmoïdité du pli est inverse de celle du modèle précédent.

Modèle 3 :

Des mouvements ont lieu suivant les familles «D» et «R'».

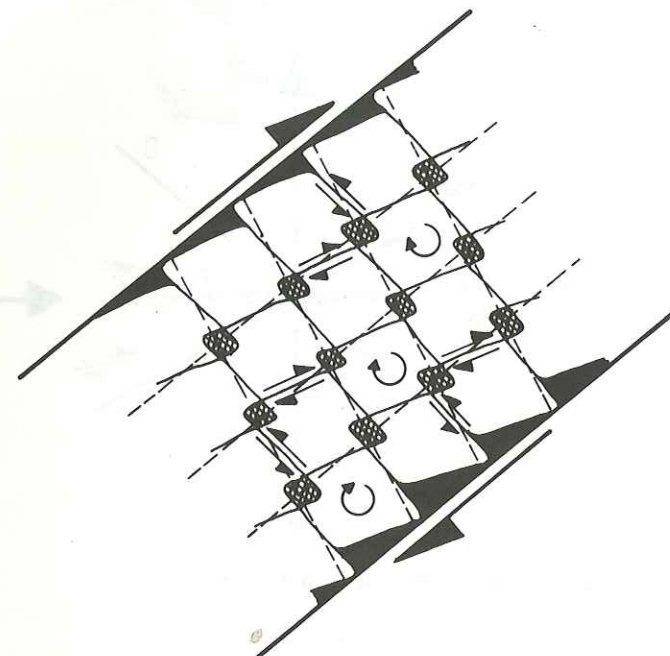


Fig. 43 : Mouvements des blocs dans le modèle 3.

1) Rotations au sein du modèle :

- Les rotations internes :

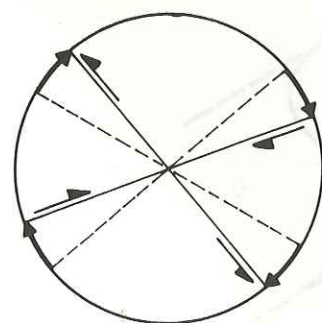


Fig. 44 : Rotations internes

Les familles «D» et «R'» sont le siège de glissements respectivement dextres et senestres et les blocs subissent une rotation de sens horaire.

- Les rotations externes :

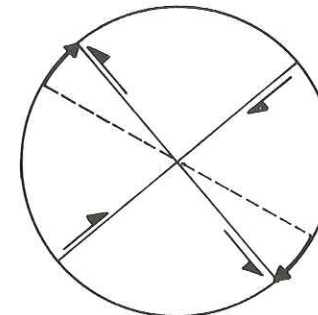


Fig. 45 : Rotations externes.

Il y a une rotation de la famille «R'» et un glissement senestre selon cette même famille ; la famille «D» ne subit elle qu'un glissement dextre.

2) Aspect général du modèle après déformation

Le serrage est cette fois trop fort et la largeur de la zone de décrochement diminue. Les deux familles restent fermées et elles portent des stries ; toutefois il n'y a jamais de glissements considérables car un blocage intervient rapidement. On rencontre des zones mylonitiques résultant du broyage du coin des blocs. Il est probable que certains blocs seront chevauchants si la surcharge le permet.

3) Déformation des blocs

Cette fois le bloc sera découpé par les fracturations associées aux mouvements sur D et R'.

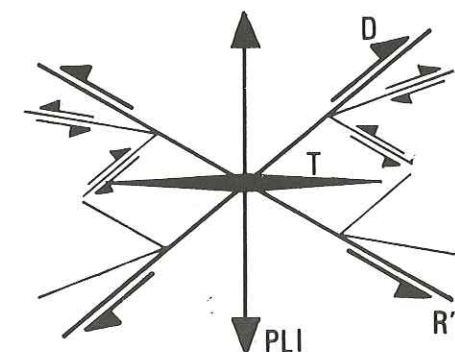


Fig. 46 : Fracturation des blocs du modèle 3.

La distorsion des blocs sera complexe car elle résultera de deux glissements : suivant D et suivant R'. Le pli associé à cette distorsion ne sera pas sigmoïde mais l'étirement axial sera important.

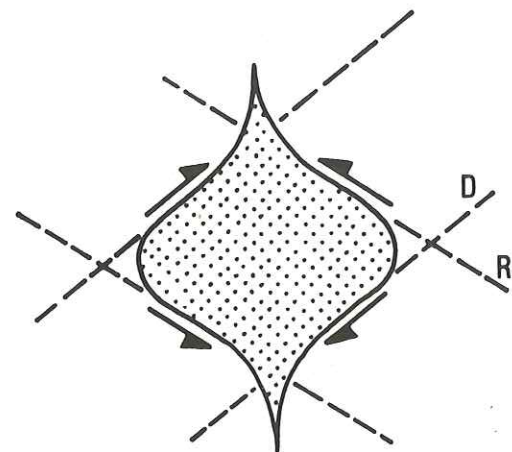


Fig. 47 : Déformation souple d'un bloc du modèle 3.

Autres cas de réseaux de fractures constitués de deux familles ayant des sens de mouvement contraire. Tous ces cas sont identiques à celui que l'on vient de détailler en ce qui concerne les mouvements de blocs mais il faut tenir compte du fait que la position de σ sera différente par rapport au bloc.

- cas $R \rightarrow R'$

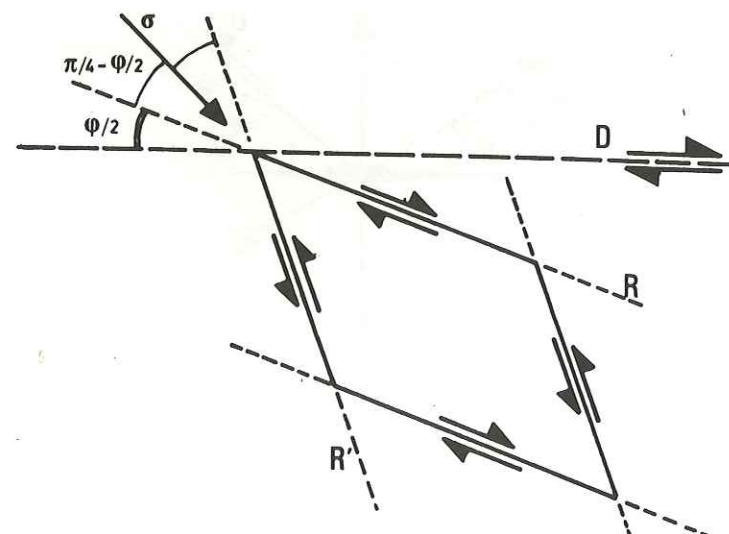


Fig. 48 : Position de σ par rapport aux faces d'un bloc limité par les fractures R et R'.

- cas $P \rightarrow R'$

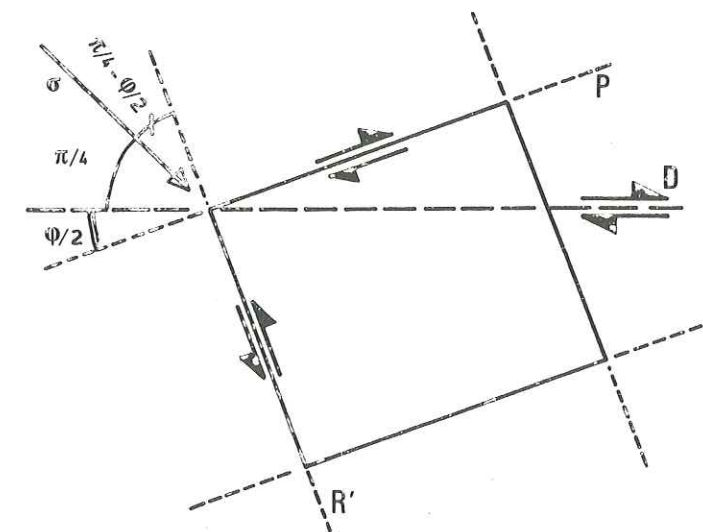


Fig. 49 : Position de σ par rapport aux faces d'un bloc limité par les fractures R' et P.

B - LES DEUX FAMILLES ONT LE MEME SENS DE MOUVEMENT .

On choisit pour exemple un réseau composé de fractures R et de fractures D. Ces deux familles ont le même sens de mouvement que le décrochement majeur et elles font entre elles un angle de $\varphi/2$. La contrainte fait avec R un angle de $\pi/4 - \varphi/2$ et avec D un angle de $\pi/4$.

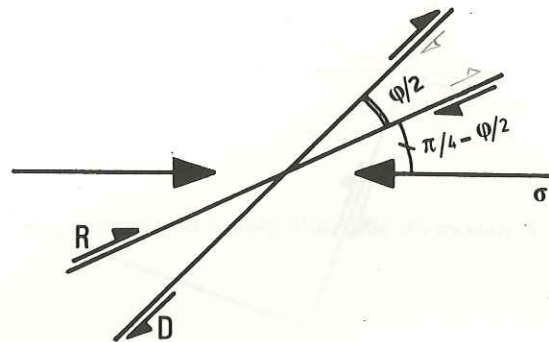


Fig. 50 : Position de σ par rapport aux blocs découpés par une fracturation D + R.

Comme précédemment on essayera, par l'analyse de trois modèles, de mettre en évidence les déformations pouvant se produire dans une zone de décrochement ainsi fracturée.

Modèle 1

Il s'engage un mouvement suivant la seule famille «D».

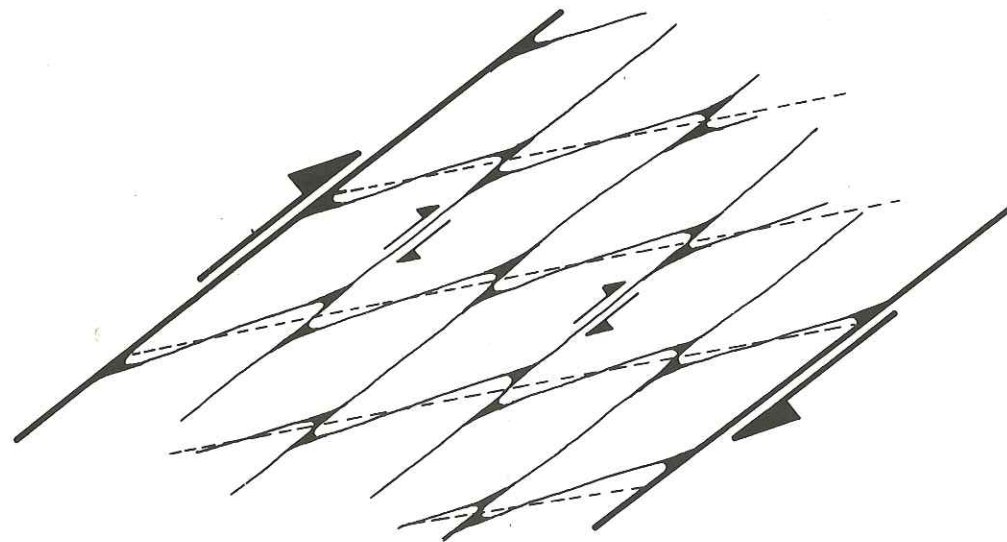


Fig. 51 : Mouvements des blocs au sein du modèle 1.

1) Rotations dont est le siège ce modèle

- les rotations internes :

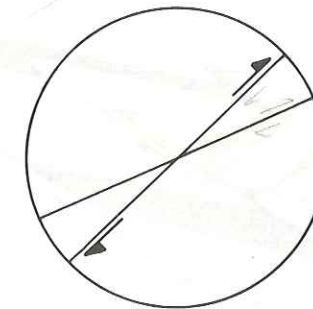


Fig. 52 : Rotations internes

Il y a seulement des glissements suivant la famille «D».

- les rotations externes :

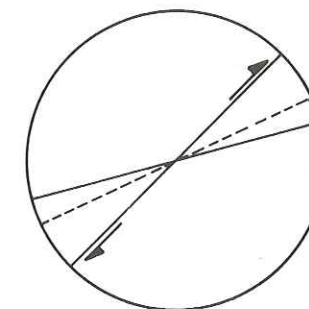


Fig. 53 : Rotations externes.

Il ya un glissement dextre suivant la famille «D» et une rotation de la famille «R».

2) Aspect du modèle après la déformation

La largeur de la zone de décrochement ne subit aucune variation. Les fractures de la famille D restent fermées et elles portent des stries. Par contre, les fractures de la famille R auront tendance à s'ouvrir surtout si les glissements selon D n'ont pas partout la même intensité. Si il y a des cristallisations de calcite les fibres auront la même direction que D.

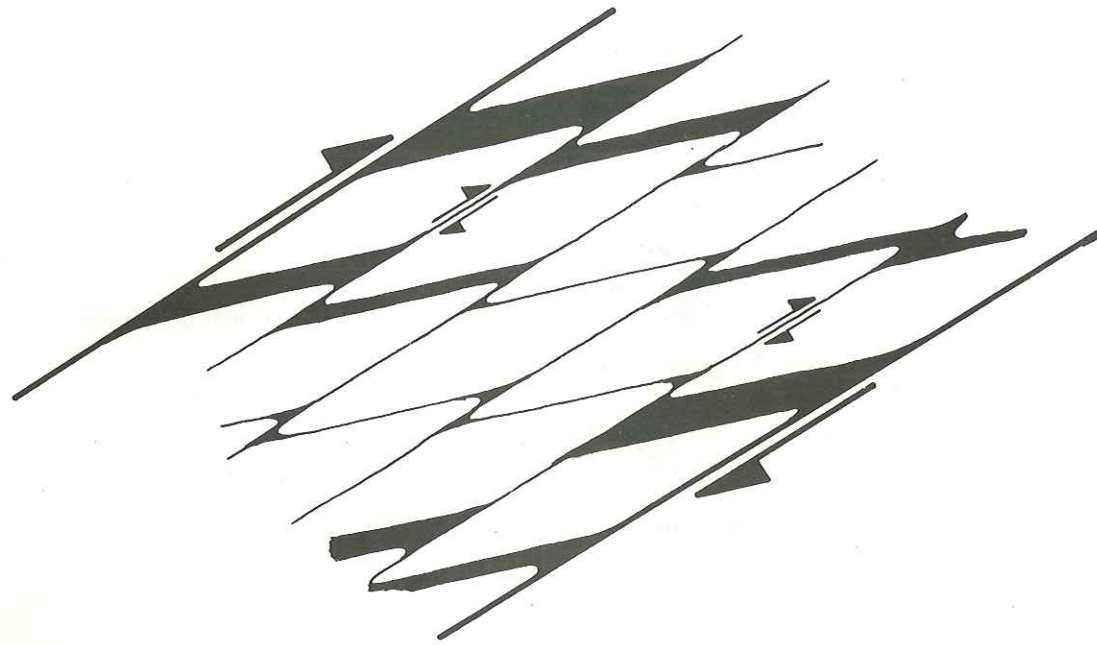


Fig. 54 : Modèle 1 après déformation.

3) Déformations des blocs

On rencontrera dans les blocs les fracturations associées au glissement de la famille D (R,R', P,T..)

Les déformations souples subies par ces blocs : on aura une distorsion générale du bloc accompagnée de la déformation d'un pli. Il s'ensuit un étirement du bloc parallèlement à la direction axiale du pli.

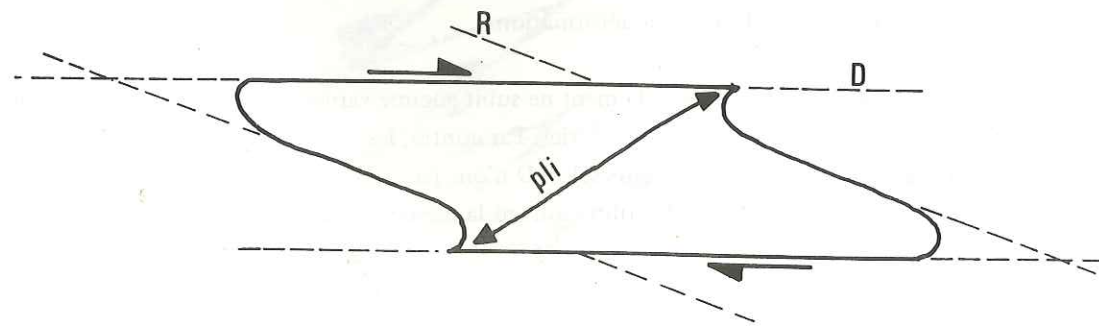


Fig. 55 : Déformation souple d'un bloc du modèle 1.

Modèle 2 :

Seul un mouvement s'engage suivant la famille «R».

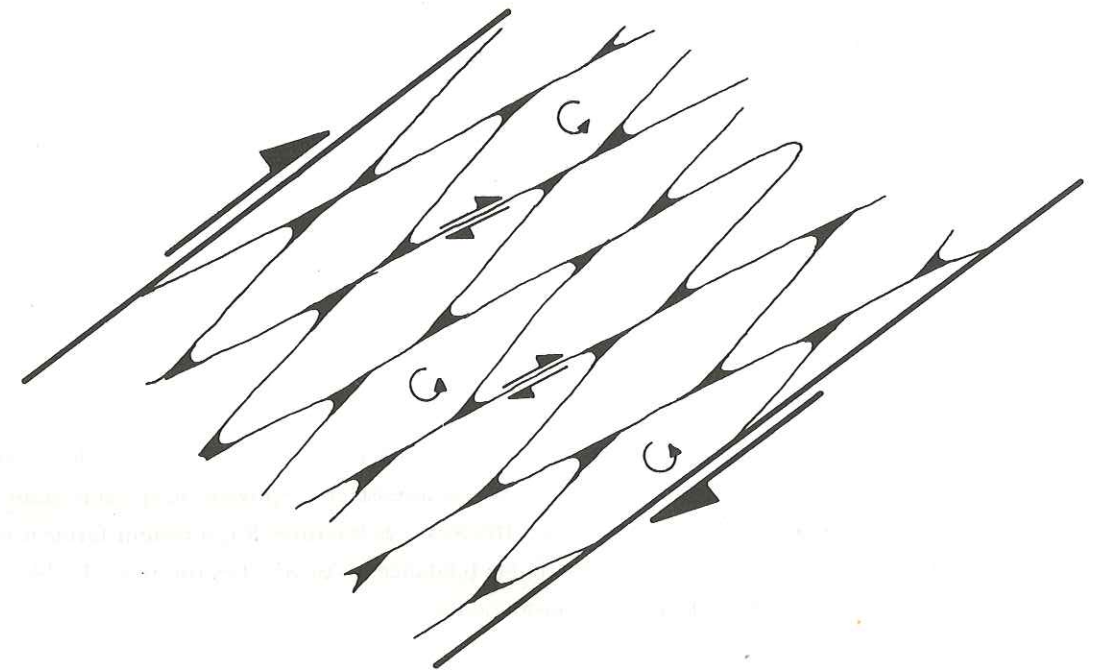


Fig. 56 : Mouvements des blocs dans le modèle 2.

1) Rotations au sein de ce modèle

- rotations internes :

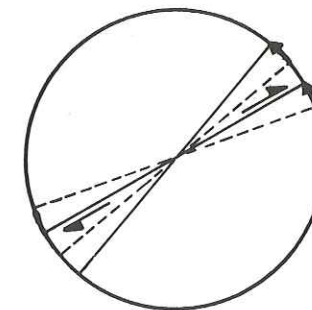


Fig. 57 : Rotations internes

Il ya une rotation antihoraire des blocs
et un glissement a lieu suivant la famille «R».

- rotations externes :

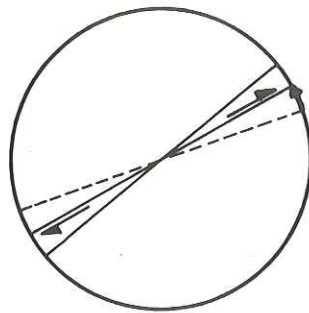


Fig. 58 : Rotations externes

La famille «R» subit un glissement dextre et une rotation de sens antihoraire.

2) Aspect général du modèle après la déformation

Le serrage est plus important que dans le cas précédent, la largeur de la zone de décrochement va diminuer. L'étirement général du modèle est intense et il équivaut, le système étant additif, à un étalement général des formations affectées. Les fractures R qui restent fermées portent des stries ; celles de la famille D ont une faible tendance à s'ouvrir. Les rotations des blocs sont faibles mais les glissements peuvent être considérables.

3) Déformations des blocs.

On rencontrera les fracturations associées aux glissements selon R.

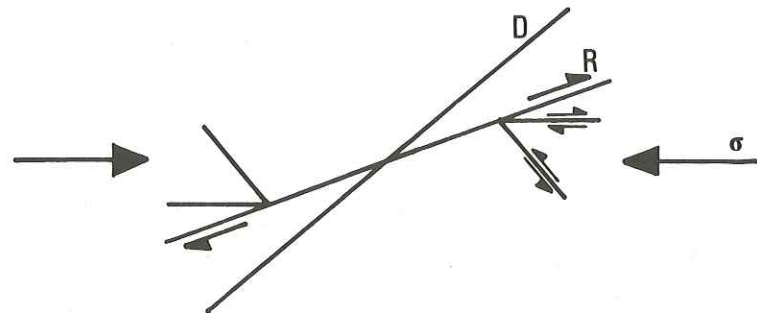


Fig. 59 : Fracturations des blocs du modèle 2.

La distorsion sera faible et le pli pourra ne pas apparaître, ce qui n'exclue pas un étirement important.

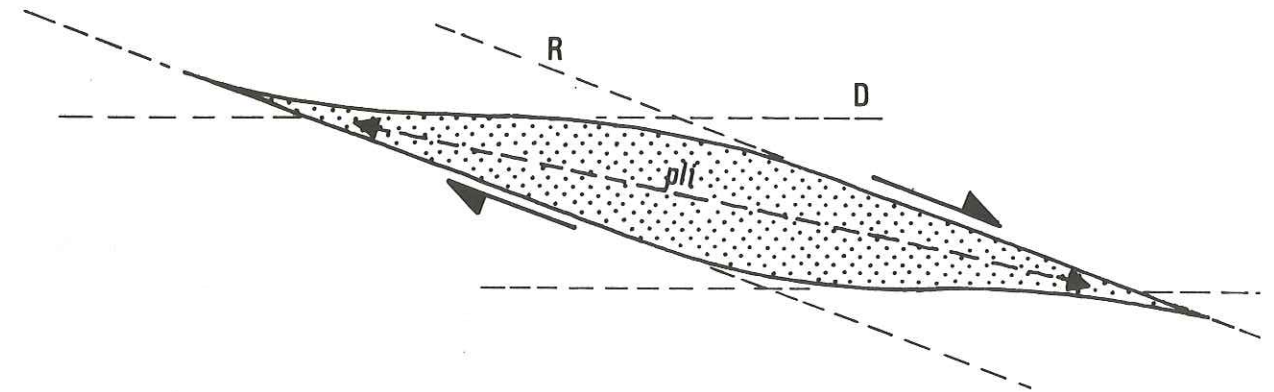


Fig. 60 : Déformation souple des blocs du modèle 2.

Modèle 3 :

Il ya un mouvement suivant les deux familles «D» et «R».

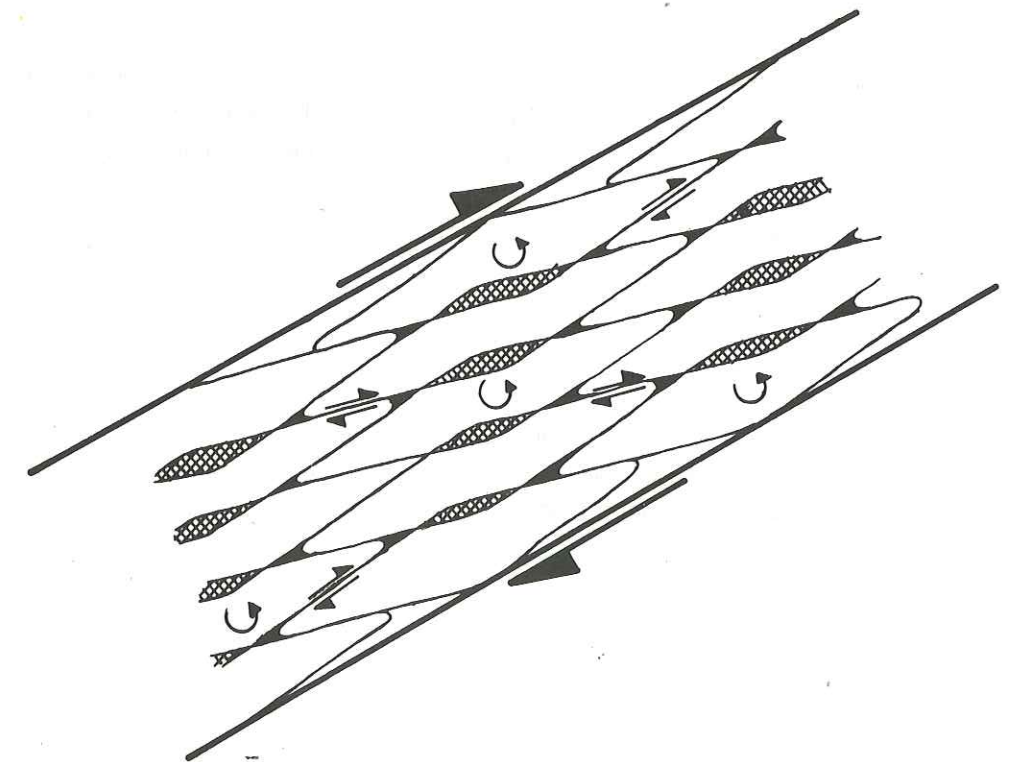


Fig. 61 : Mouvements des blocs au sein du modèle 3.

1) Rotations au sein de ce modèle

- rotations internes :

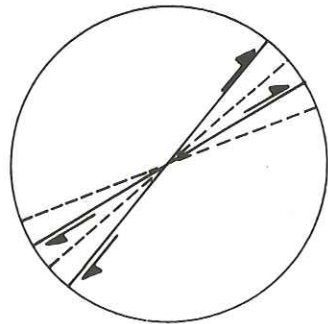


Fig. 62 : Rotations internes

Les familles «D» et «R» subissent toutes les deux des glissements dextres et les blocs subissent eux une rotation de sens antihoraire.

- rotations externes :

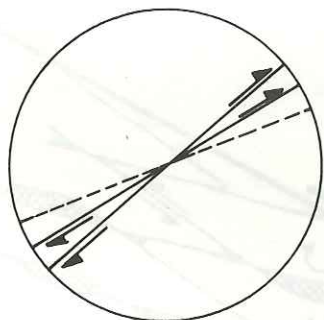


Fig. 63 : Rotations externes.

Des glissements dextres ont lieu suivant les deux familles ; la famille «R» subit de plus une rotation de sens antihoraire.

2) Aspect général du modèle après la déformation

Il y a un aplatissement général de la zone de décrochement. Les deux familles de fractures portent des stries. Chacun des blocs va subir un serrage important de direction à sa grande diagonale. Les angles obtus des blocs vont sans doute s'encaisser.

3) Déformations des blocs

Les cassures de deuxième ordre rencontrées dans les blocs sont les fracturations associées aux deux glissements : selon D et selon R.

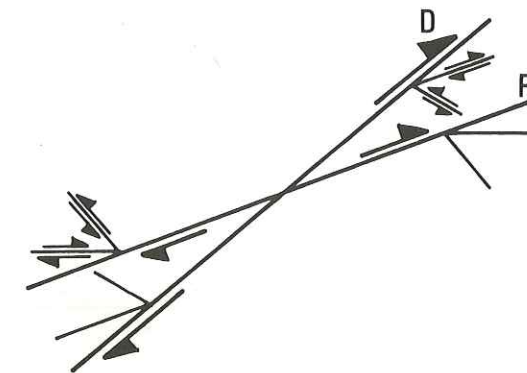


Fig.64 : Fracturations des blocs du modèle 3.

Le serrage auquel est soumis chacun des blocs va faire apparaître suivant leur grande diagonale un pli qui s'accompagnera d'un étirement axial intense.

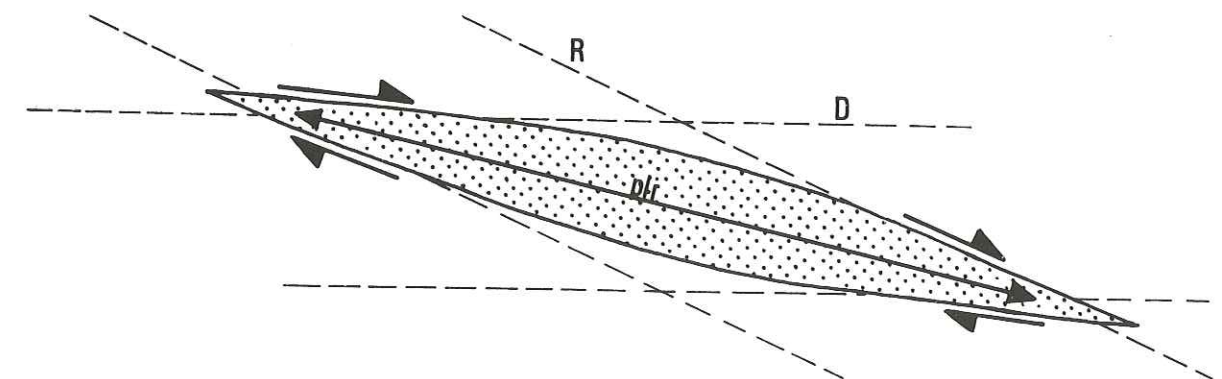


Fig. 65 : Déformation souple des blocs du modèle 3.

Les trois derniers modèles suivants concernent aussi deux familles de fractures avec le même sens de mouvement. Ces exemples sont voisins des cas précédents. Il faudra toutefois tenir compte du fait que la position des contraintes par rapport au bloc ne sera pas toujours la même.

- cas $R + P$:

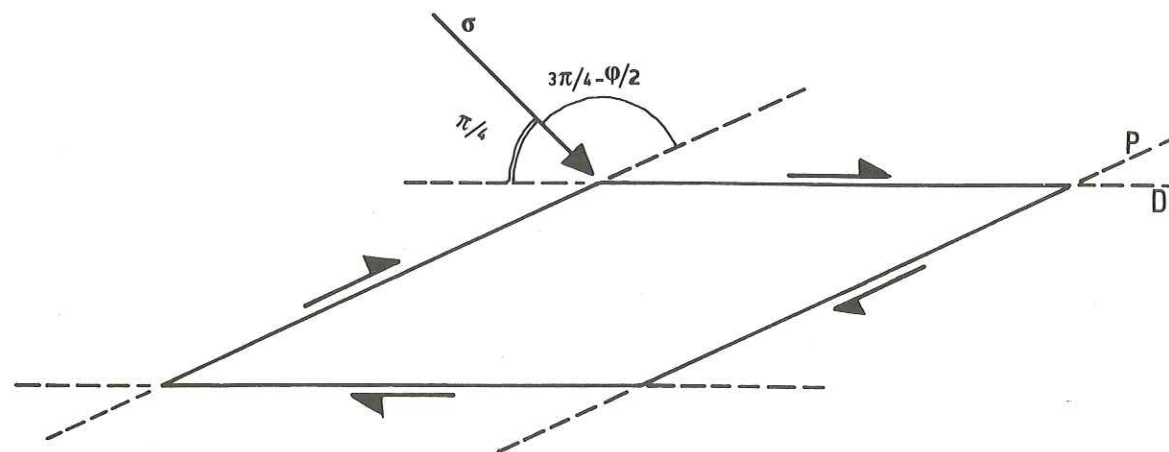


Fig. 67 : Position de la contrainte σ par rapport aux faces d'un bloc découpé par les fractures P et D.

- cas $D + P$

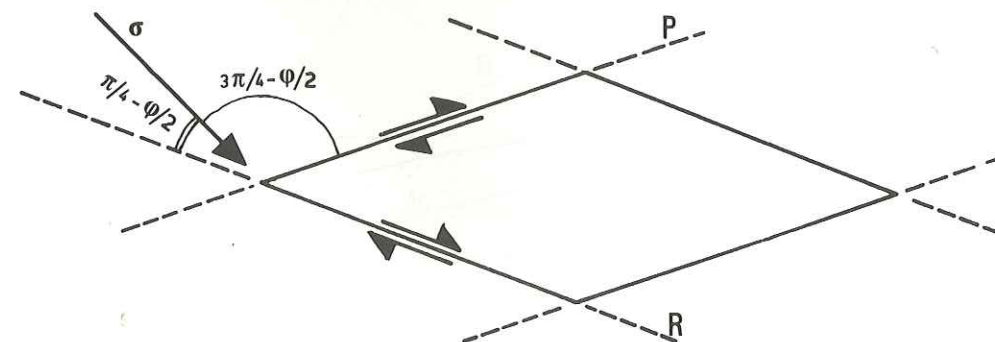


Fig. 66 : Position de la contrainte σ par rapport aux faces d'un bloc découpé par des fractures P et R.

III - LES FRACTURES COURBES

On a jusqu'à présent assimilé les fractures à des plans. C'est une simplification qui, bien que pratique, ne correspond pas souvent à ce que l'on observe réellement. En effet, les fractures sont généralement des surfaces gauches complexes.

On va tenter d'analyser d'une part les circonstances qui peuvent être à l'origine de l'apparition de ces fractures courbes, et d'autre part les mouvements particuliers dont elles sont le siège.

A - MECANISMES CONDUISANT A LA FORMATION DE FRACTURES COURBES

1) Une distorsion peut déformer une fracture plane à l'origine.

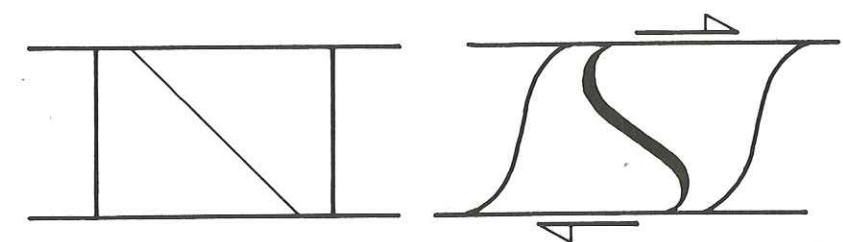


Fig. 68 : Formation d'une fracture courbe (où sigmoïde) par distorsion.

2) Mc Kinstry met en évidence dans son étude sur les fractures de deuxième ordre le rôle très important joué par la friction dans l'apparition de celles-ci. On peut reprendre cette étude en supposant que l'intensité de la friction varie au cours de la mise en mouvement de deux compartiments le long d'une faille. Avant l'apparition du plan de faille l'intensité de la friction est très forte mais à mesure que le mouvement s'amplifie le plan de faille devient de plus en plus lisse et par conséquent la friction de moins en moins forte. Il s'ensuit que la direction, de la faille qui continue à croître, le déplacement se poursuivant, va faire un angle de plus en plus grand avec le décrochement de premier ordre.

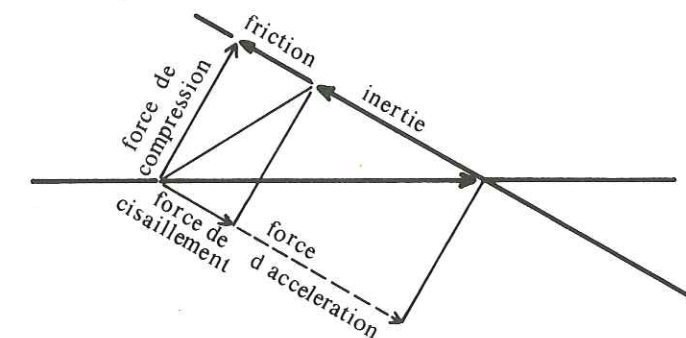


Fig. 69 : Forces intervenant pendant un glissement (d'après McKINSTRY).

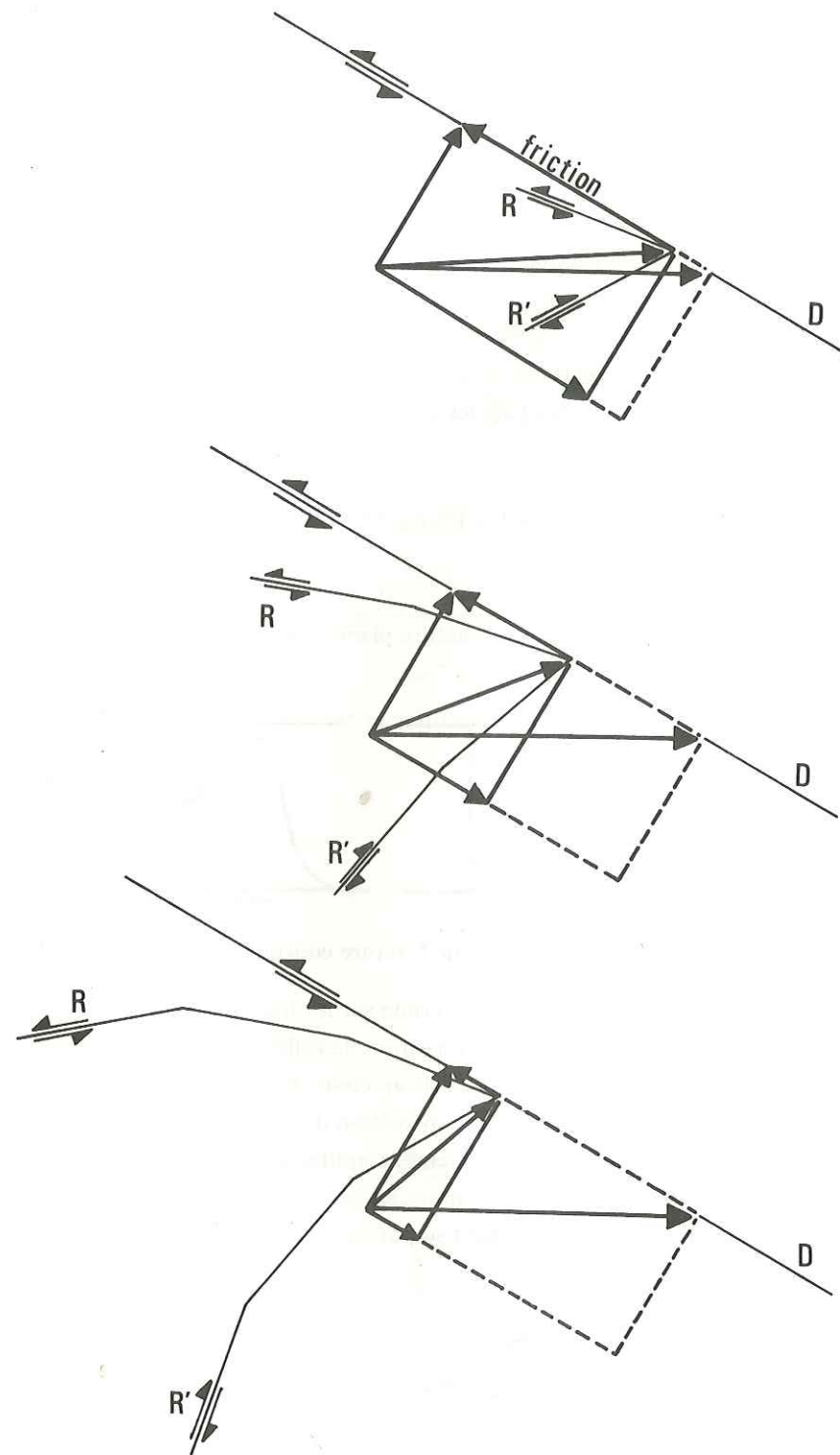


Fig. 70 : Apparition de fractures courbes due a la variation de l'intensité de la friction.

3) Soit un bloc soumis à une compression.

Sur l'une des faces de ce bloc, les forces de compression sont identiques en tous points, sur l'autre face elles décroissent régulièrement dans une direction donnée.

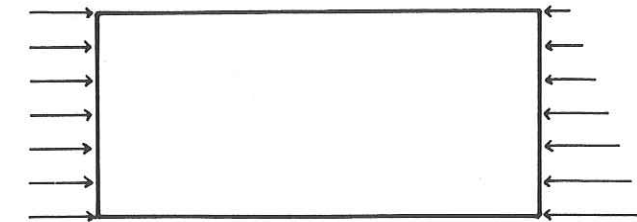


Fig. 71 : Bloc soumis à des forces différentes sur deux de ses faces opposées.

Il s'ensuit une évolution de l'état de contrainte à l'intérieur du bloc quand on se déplace d'une face vers l'autre. De ce fait, les deux plans de glissement situés à $\pi/4 - \psi/2$ de σ_1 subissent un basculement et si sous l'effet de la compression une fracture traverse le bloc elle sera courbe.

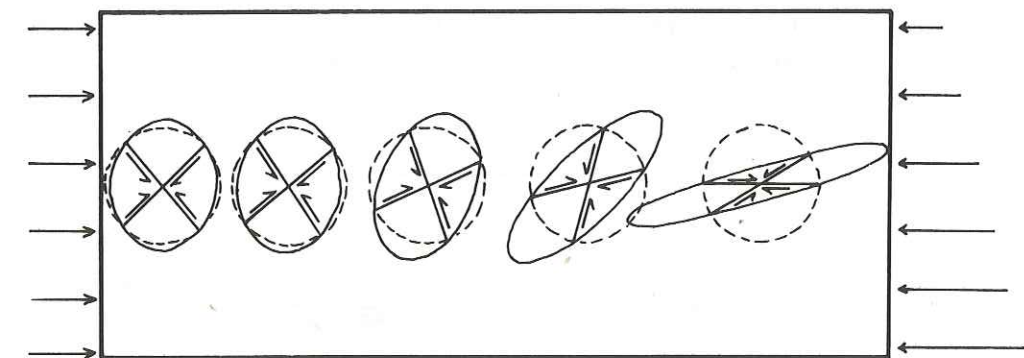


Fig. 72 : La déformation du bloc n'est pas la même en chacun de ses points, il y a une rotation des plans de cisaillements conjugués. (d'après BADGLEY)

4) Si on a un réseau de fractures composé de Riedel «R» et «R'» et que, comme c'est généralement le cas, seule la famille «R» est le siège d'un glissement, alors la famille «R'» aura fréquemment une allure courbe. En effet, les glissements sont souvent plus intenses au voisinage du décrochement que loin de celui-ci et donc le décalage des Riedel «R» sera de moins en moins important quand on s'éloignera du décrochement. Une telle courbure n'apparaît qu'en intégrant les petits segments des R' et elle n'est par conséquent, visible qu'à une échelle d'observation convenable.

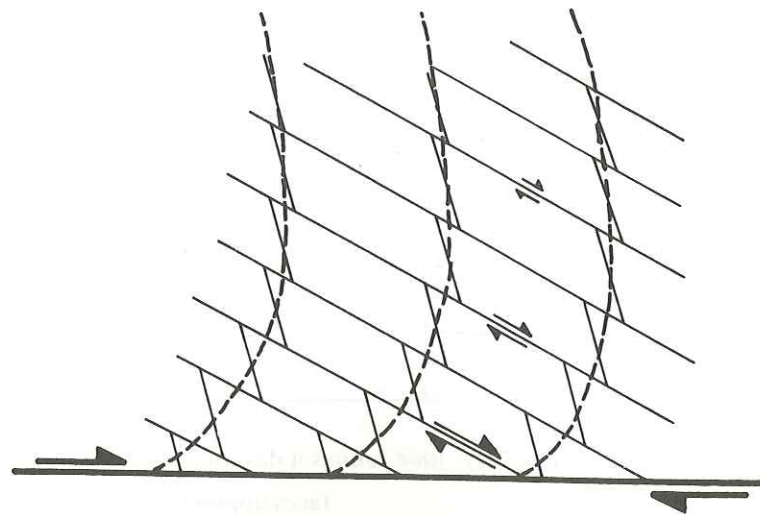


Fig. 73 : Apparition de fractures courbes due aux différences d'intensité des glissements suivant les Riedel R.

5) Au cours de leurs mouvements les blocs voient fréquemment certains de leurs angles s'émousser ; on a alors l'impression d'avoir à faire à une fracture courbe alors qu'il s'agit en réalité de **deux** fractures de directions voisines qui ont été mises en continuité.

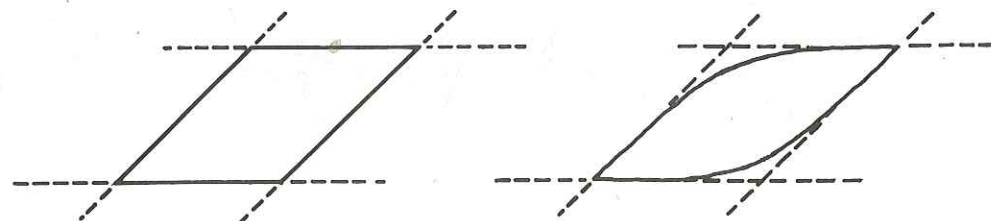


Fig. 74 : Usure par glissement des angles obtus d'un bloc.

B - LES MOUVEMENTS LE LONG DES FRACTURES COURBES

Il existe d'innombrables cas de figures mais on peut en analyser quelques uns particulièrement simples. Dans les schémas qui suivent la fracture courbe peut être unique ou résulter de la réunion de deux fractures dont l'angle s'émousse (par exemple D + P dans le premier cas ou D + R dans le deuxième cas).

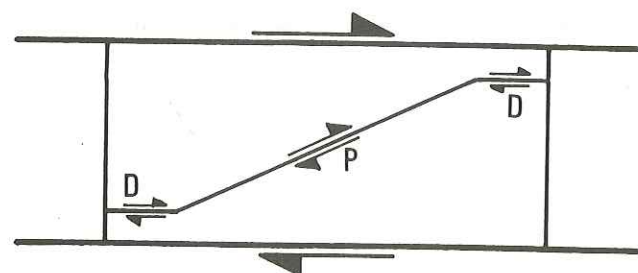


Fig. 75 : Fracture courbe nait de la jonction de fractures P et D.

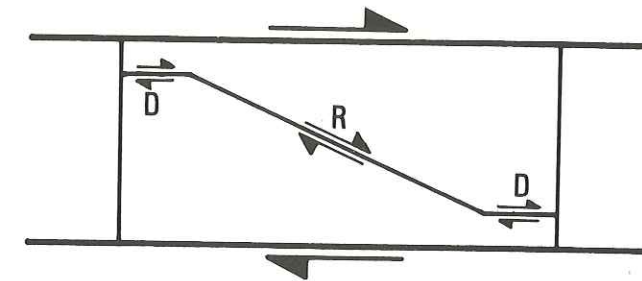


Fig. 76 : Fracture courbe nait de la jonction de fractures D et R.

1) Cas où la courbure de la fracture s'oppose au glissement

- si les deux blocs ont un comportement rigide et qu'ils n'ont pas la possibilité de s'écarter, ils auront tendance à se chevaucher ou à se fracturer.

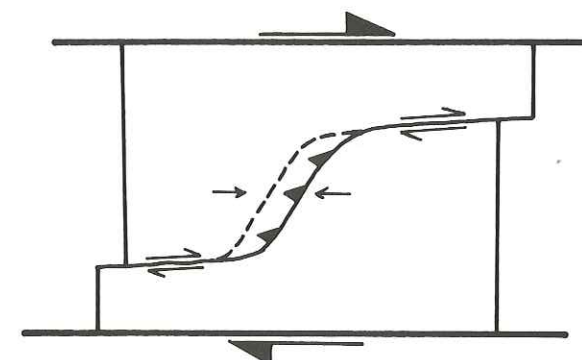


Fig. 77 : Affrontement de deux blocs dans le cas défini ci-dessus.

- si les blocs ont un comportement souple, des plis vont apparaître

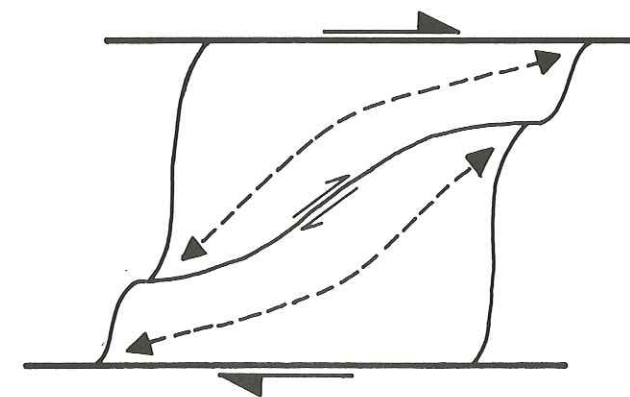


Fig. 78 : Affrontement de deux blocs dans le cas défini ci-dessus.

- si les blocs ont la possibilité de s'écarter le plan de glissement va s'ouvrir et éventuellement se remplir de calcite ou de quartz.

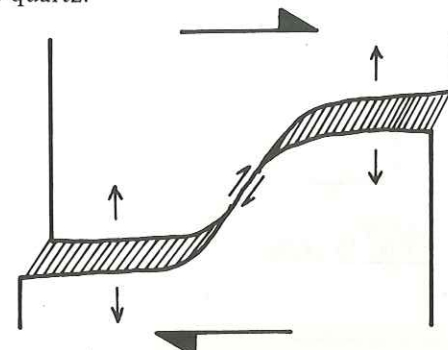


Fig. 79 : Affrontement de deux blocs dans le cas défini ci-dessus.

2) Cas où la courbure de la fracture ne s'oppose pas au glissement.

La fracture aura un aspect complexe avec une zone d'ouverture et des zones de glissement restant fermées. Il apparaît une zone d'extension sans qu'il soit nécessaire de prévoir un écartement des deux compartiments ; les fibres constituant le remplissage auront la même direction que le décrochement.

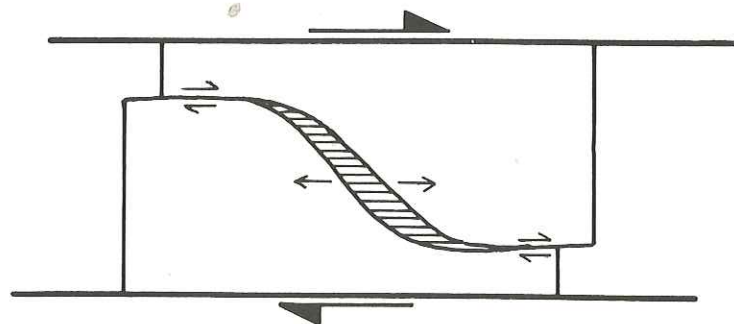


Fig. 80 : Affrontement de deux blocs dans le cas défini ci-dessus.

3) Cas complexe où les deux types de courbures se succèdent :

- si les deux compartiments ont la possibilité de s'écarter, des phases d'extension et de compression alternent.

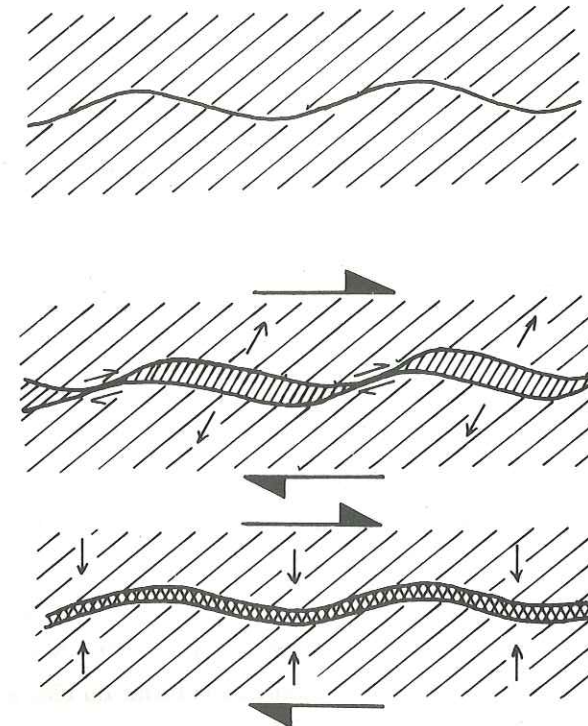


Fig. 81 : Jeu complexe d'une fracture dont le plan est irrégulier.

On rencontrera dans ce cas de figure, des structures semblant à priori témoigner de plusieurs phases tectoniques.

- si les deux compartiments n'ont pas la possibilité de s'écarter il s'ensuivra une mylonitisation importante tendant à rendre la fracture rectiligne.

IV - LES CORPS TECTONIQUES ÉLÉMENTAIRES : FORMES ET SIGNIFICATION.

Un bon moyen de rendre compte de la fracturation d'un affleurement est de décrire la forme des blocs découpés par les fractures: On peut grâce à elle remonter aux principales familles de fractures et aux directions majeures de mouvement.

Si les blocs ont gardé une forme géométrique on a un nombre limité de familles bien individualisées et on peut dire qu'il n'y a pas eu de mouvements importants au niveau des fractures.

Par contre, si les blocs ont des formes émoussées aucune famille n'apparaît clairement et il y a alors lieu de penser que certaines fractures ont été les témoins de glissements importants. On peut alors, même en l'absence de stries, déduire de la forme du bloc les directions majeures de mouvement.

Si le nombre de formes que peuvent prendre les blocs est théoriquement illimité, il n'en existe pratiquement qu'une dizaine. On reprendra à ce sujet les résultats acquis par F. LILLIE au cours de son étude sur les gisements uranifères de Vendée.

Les principales formes mises en évidence par F. LILLIE sont les suivantes :

A - FORMES GÉOMÉTRIQUES

- Les panneaux

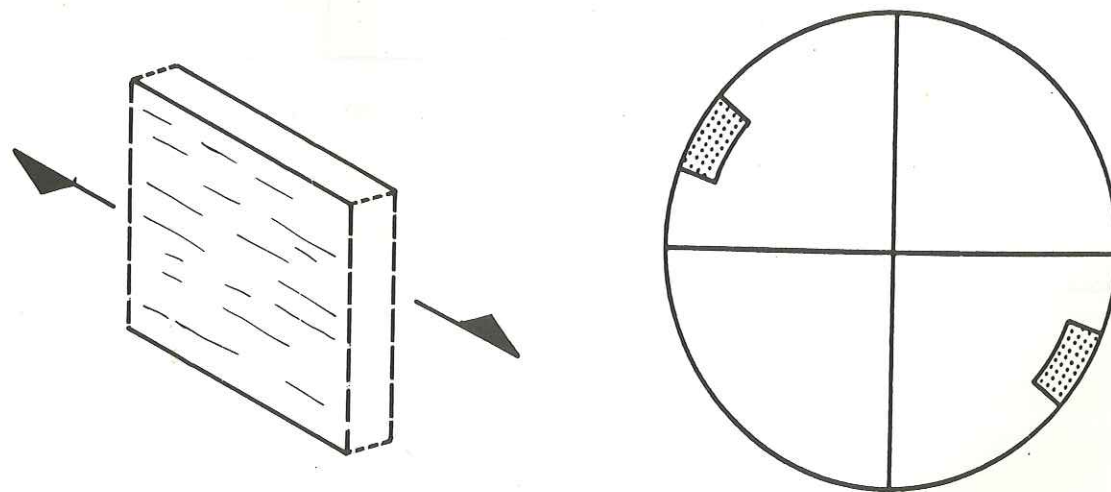


Fig. 82 : Panneau et répartition sur canevas stéréographique des pôles des plans de fractures susceptibles de découper des blocs ayant cette forme. On obtient un tel schéma quand la fracturation n'est constituée que par une famille bien réglée. (par exemple la famille D).

- les bornes : cette forme est découpée par un réseau de fractures de deux familles bien réglées orthogonales.

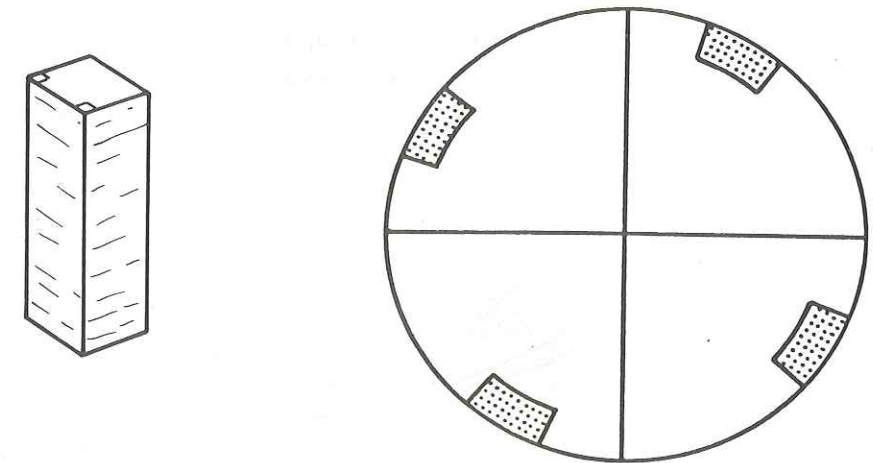


Fig. 83 : Borne et canevas stéréographique représentatif.

- les prismes : cette forme est découpée par un réseau de fractures de deux familles bien réglées faisant entre elles un angle quelconque.

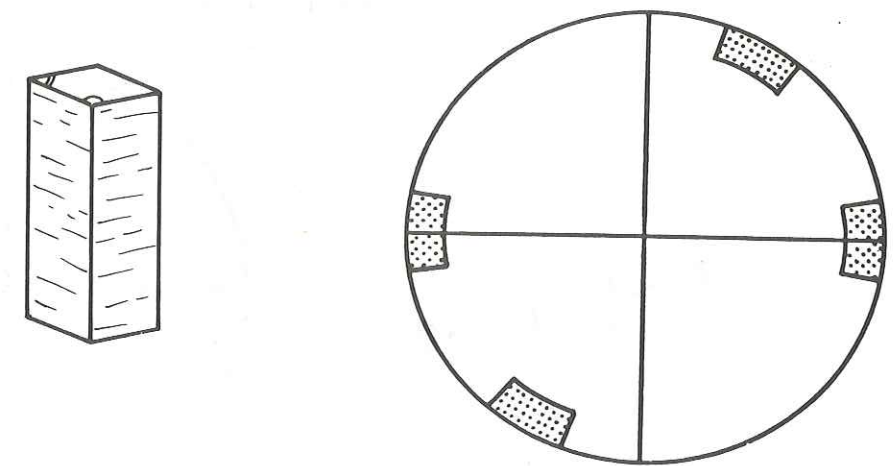


Fig. 84 : Prisme et canevas stéréographique représentatif.

B - FORMES EMOUSSEES

- Corps pisciformes : cette forme est découpée par un réseau constitué d'une seule famille mal réglée (ce sont surtout les pendages qui **varient**).

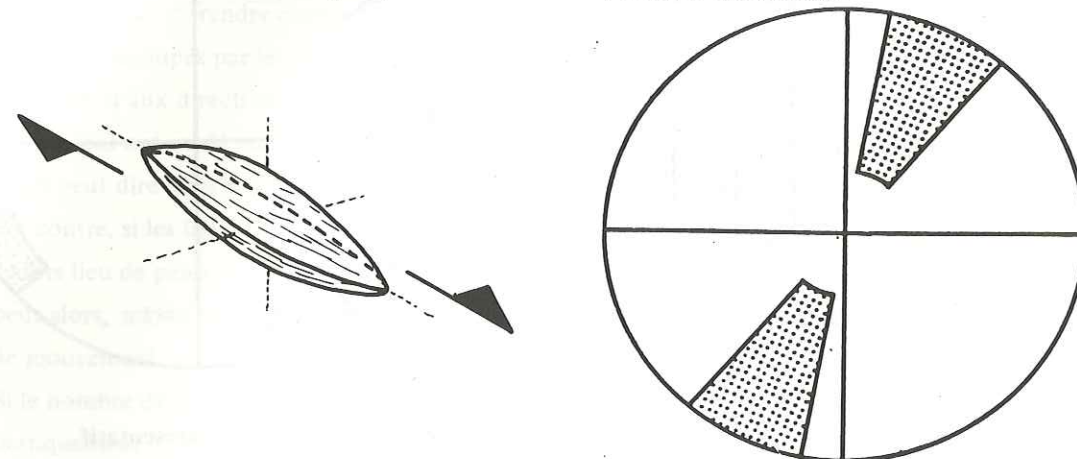


Fig. 85 : Corps pisciformes et canevas stéréographique représentatif.

- Amandes : cette forme est découpée par un réseau constitué d'une seule famille mal réglée (ce sont surtout les directions qui varient).

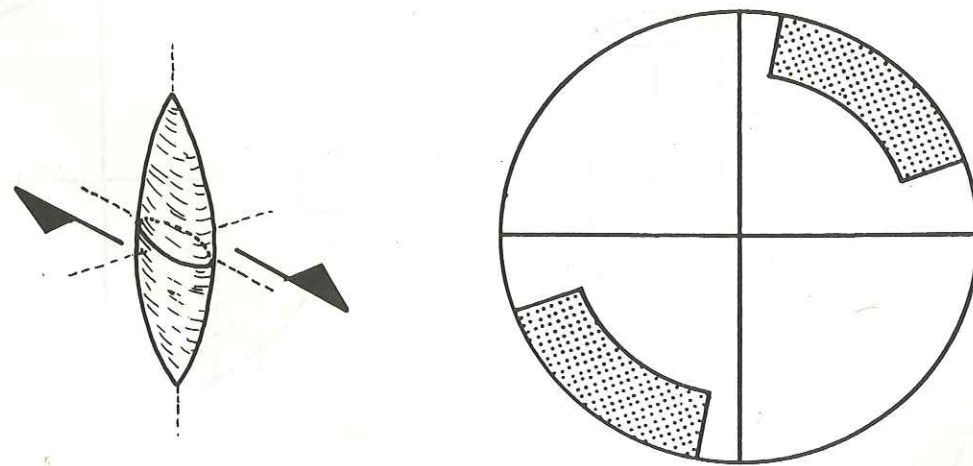


Fig. 86 : Amandes et canevas stéréographique représentatif.

- lentilles : cette forme est découpée par une seule famille mal réglée.

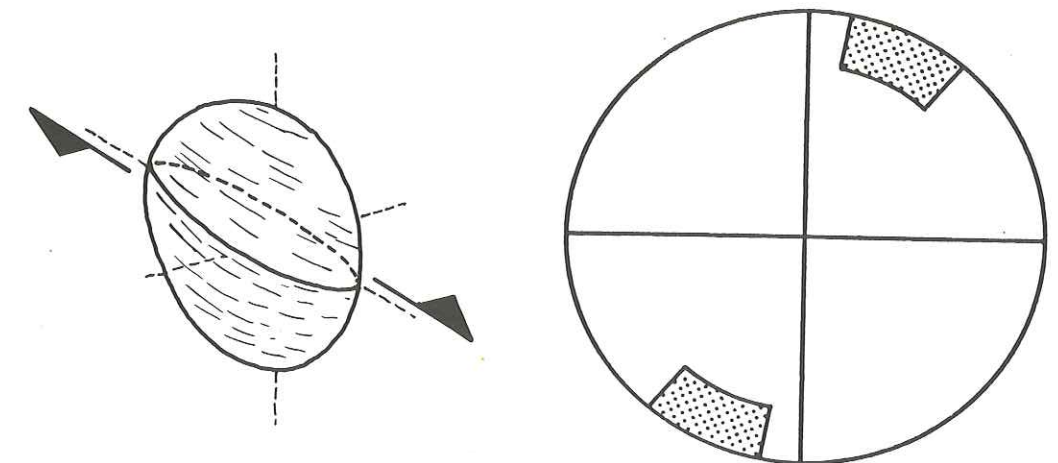


Fig. 87 : Lentille et canevas stéréographique représentatif

- rouleaux cylindriques. la fracturation qui découpe cette forme n'a aucune orientation préférentielle.

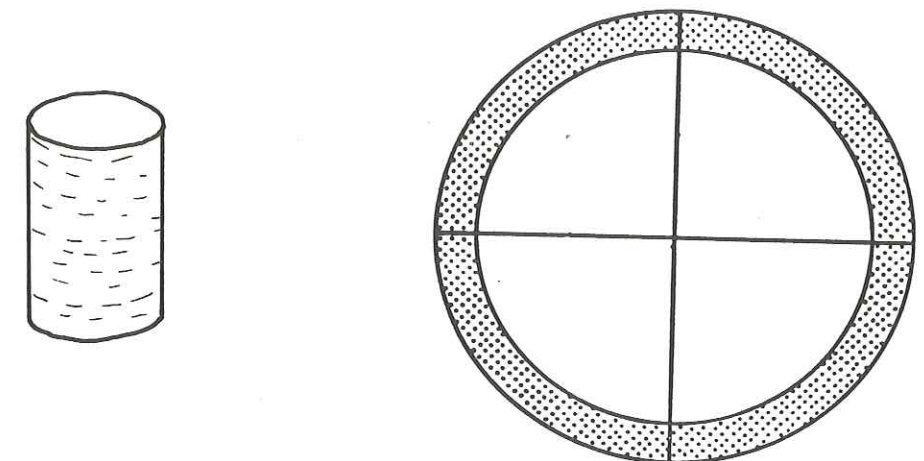


Fig. 88 : Rouleau cylindrique et canevas stéréographique représentatif

- rouleaux coniques

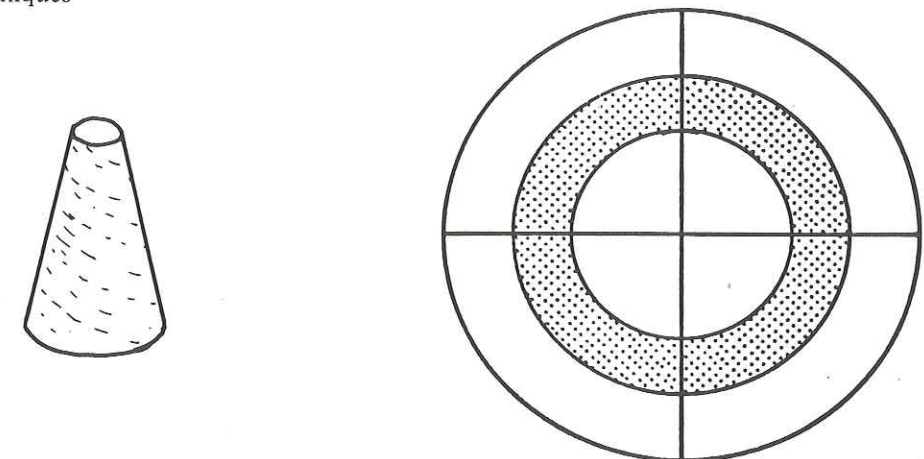


Fig. 89 : Rouleau conique et canevas stéréographique représentatif

Chapitre III

MÉTHODE UTILISÉE POUR LE PRÉLEVEMENT ET LE TRAITEMENT DES DONNÉES SUR LA FRACTURATION D'UN MASSIF.

Pour rendre compte de la fracturation des régions étudiées on se place à deux échelles d'observation classiquement utilisées : la photographie aérienne et les mesures de terrain.

Les résultats bruts d'une telle étude sont souvent lourds à manipuler et peu explicites. En conséquence, on est rapidement amené à les schématiser. Ce travail de simplification habituellement long et fastidieux étant donné le nombre élevé de mesures, doit néanmoins être parfaitement objectif. C'est pour cela que l'on fera appel aux techniques élaborées que sont le filtrage optique et l'analyse statistique, pour traiter respectivement l'interprétation photogéologique et les données de terrain.

I - PRÉLEVEMENT ET TRAITEMENT DES DONNÉES PHOTOGÉOLOGIQUES

A - PRÉLEVEMENT DES DONNÉES

On dispose de photographies aériennes de format 90 x 90 cm qui sont des agrandissements réalisés à partir de clichés IGN de format courant. La taille de ces documents interdit leur étude en vision stéréoscopique mais l'agrandissement permet de travailler avec une plus grande précision surtout dans les zones où la fracturation est très dense.

L'interprétation est faite sur papier Kodatrace. Sur ce dernier on représente par un trait fin toutes les fractures qui se voient directement ou qui sont révélées par des alignements divers (surtout végétation). Les fractures sont donc représentées par un trait dont la longueur est celle de l'intersection du plan de fracture avec la surface topographique. On peut rarement repérer des décalages de formations ou de bancs car l'étude porte sur des plateaux calcaires très monotones du point de vue stratigraphique. Etant donnée l'échelle de la photographie interprétée et le grain de celle-ci on ne relève guère que les fractures dont la longueur est supérieure à 100 m. Les données ainsi acquises présentent de nombreuses imperfections. Il est évident qu'un certain nombre de fractures, même si elles ont une taille convenable, pourront passer inaperçues (végétation, éboulis, ...). Inversement, on pourra prendre pour des fractures un certain nombre d'éléments qui n'en sont pas (limites de coupes de bois, chemins faits par le bétail sur les alpages, ...).

En toute rigueur il faudrait reporter les fractures sur une carte topographique afin d'éviter les erreurs dues aux distorsions que l'on rencontre inévitablement sur les bords de la photographie. Mais ces erreurs sont du même ordre que celles que l'on fait avec une boussole, on peut par conséquent, les tolérer dans une étude de ce type. Il en va de même pour l'erreur introduite par les pendages des plans de fracture. On a d'ailleurs pu en grande partie contrôler sur le terrain les résultats de la photogéologie et notamment le fait que les fractures ont dans leur grande majorité un pendage fort. Hormis les quelques griefs que l'on vient de formuler l'étude de fracturation par photo interprétation reste une méthode d'investigation très intéressante, elle est rapide et permet de connaître avec une bonne précision deux paramètres importants des fractures (longueur d'affleurement et direction) et cela à l'échelle régionale.

B - TRAITEMENT DE LA PHOTO INTERPRÉTATION

Ce traitement est fait par filtrage optique (POULET, DROGUE et al) . On reporte l'interprétation faite sur papier Kodatrace sur un calque de bonne qualité en prenant soin que les traits représentatifs des fractures aient tous une épaisseur rigoureusement constante de 1,5 mm. Il faut de plus en plus que la densité de l'encrage du trait ne varie pas trop. Ce calque est ensuite réduit sur un négatif de format 24 x 36 mm. Sur ce négatif les traits représentatifs des fractures doivent avoir de 0,05 à 0,1 mm d'épaisseur. C'est sous cette forme que le document va être analysé en l'éclairant au moyen d'une fente fine orientée derrière laquelle est une source lumineuse (laser). On fait tourner le négatif de 10 en 10° et on mesure l'intensité lumineuse qui traverse le document pour chacune des 18 classes de direction. La valeur ainsi trouvée est directement proportionnelle à la longueur cumulée de toutes les fractures ayant la direction sélectionnée. On ramène en pourcentage l'intensité mesurée pour chacune des 18 classes ce qui permet de tracer une rosace par document analysé.

Les rosaces résultant des filtrages optiques ont un aspect un peu inhabituel en ce sens que leur enveloppe est très lisse ; et même si les directions majeures de la fracturation sont visibles ces rosaces donnent un sentiment d'imprécision. Cela est partiellement dû au fait que l'épaisseur des traits est prise en compte au cours du filtrage. On peut en partie remédier à ce phénomène en soustrayant aux valeurs de chacune des directions la valeur de la plus faible d'entre elles. Cela revient à supprimer la partie centrale de la rosace et à faire apparaître une direction pour laquelle il n'y aurait aucune fracture. De cette façon les pics sont conservés et ils apparaissent plus nettement.

Toutes les interprétations de fracturation ont subi deux filtrages ,

- l'un avec un montage dit classique a été réalisé à l'I.F.P.
- l'autre avec un montage dit amélioré a été effectué au laboratoire d'hydrogéologie de Montpellier. (*)

Les résultats des deux méthodes seront toujours présentés conjointement on pourra alors apprécier l'efficacité du montage amélioré.

Il faut toutefois noter que, même si la méthode est en elle-même très fiable, les résultats d'un filtrage optique ne doivent pas être accueillis sans quelque circonspection. Il est en effet apparu que le moindre défaut de la diapositive traitée se traduisait par des résultats aberrants. La réalisation de ce document nécessite par conséquent, un soin tout particulier.

(*) Nous avons le devoir de remercier ici MM. POULET de l'I.F.P. et M. DORGUE de l'Université de Montpellier qui nous ont permis de réaliser ces mesures par filtrages optiques dans leurs laboratoires.

II - PRELEVEMENT ET TRAITEMENT DES MESURES DE TERRAIN.

A - PRÉLEVEMENT DES MESURES DE TERRAIN

1 - Les angles mesurés.

On assimile, pour les mesures de terrain, les fractures à des plans. On repère l'orientation de ces plans par deux angles : φ et θ

Etant donnés trois plans

- le plan de la fracture F
- un plan horizontal H
- un plan vertical orthogonal à F et à H.

les angles φ et θ se définissent de la façon suivante :

- φ : c'est l'azimut de pendage. Dans le système de plans décrit ci-dessus c'est la valeur en degré de l'angle mesuré dans le plan horizontal entre le nord magnétique et l'intersection $H \cap V$. Par convention on ne retient pour la mesure de φ que la demi-droite $H \cap V$ qui se trouve au-dessus de F et il se mesure toujours dans le sens horaire. φ varie donc de 0 à 360°.
- θ : c'est le pendage du plan de fracture. Sa valeur est celle de l'angle aigu formé par les intersections $F \cap V$ et $F \cap H$.

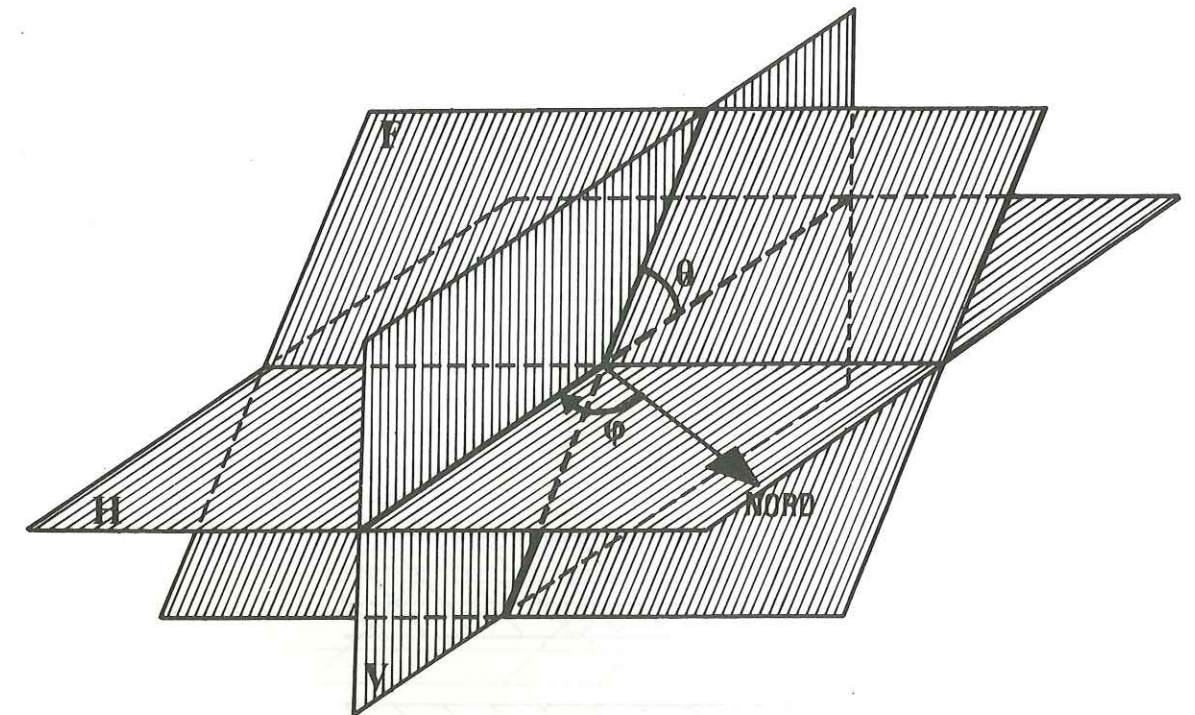


Fig. 90 : Définition de φ et θ .

2 - Choix des plans à mesurer sur un affleurement.

On devrait, idéalement, sur un bon affleurement (une dalle par exemple) tracer une forme géométrique et mesurer toutes les fractures ainsi circonscrites mais cela est difficilement réalisable. Aussi essaye-t-on de mesurer un maximum de fractures dans un minimum d'espace. Cela entraîne pour la surface explorée une forme variable suivant que l'on travaille sur une dalle, au pied d'une falaise etc... Divers paramètres influent sur la représentativité de telles mesures :

- forme de la surface explorée
- réseau de fractures équivalent ou non.
- quand la surface explorée à une forme allongée, orientation de celle-ci par rapport au réseau de fractures.

Ces paramètres sont malheureusement la plupart du temps incontrôlables. Divers cas peuvent se présenter :

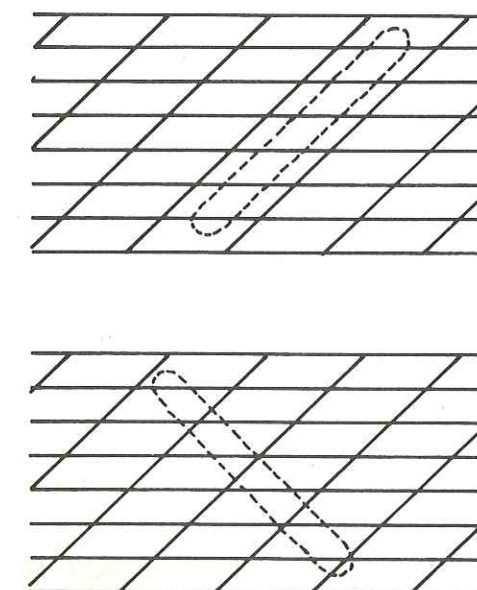
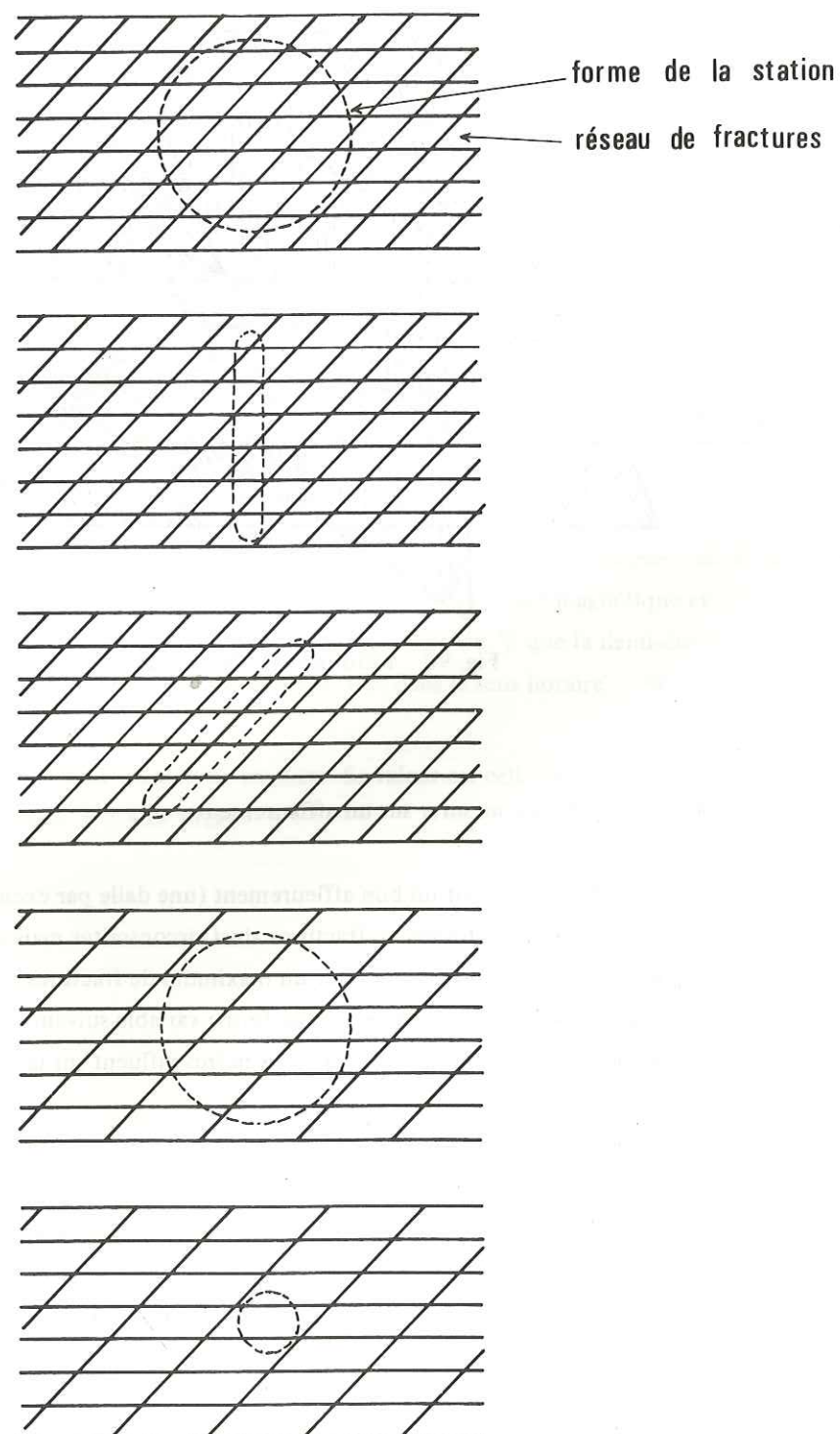


Fig. 91 : Divers cas de la position d'une station par rapport au réseau de fractures.

Le mieux est donc de faire le plus grand nombre de mesures possibles afin qu'au moins toutes les familles de fractures soient représentées, mais il est exceptionnel que les mesures reflètent de façon statistique la densité de ces familles. Une erreur de prélèvement est donc systématiquement introduite à ce niveau. Il faudra en tenir compte dans les interprétations ultérieures.

3 - Choix de la position des stations

Si comme nous venons de le voir, les stations de mesures recouvrent une certaine surface on peut néanmoins les considérer, à l'échelle de la carte, comme des points.

Idéalement, les stations devraient être choisies et placées de façon systématique aux noeuds d'un carroyage. Cela s'avère rapidement irréalisable car les affleurements propices aux mesures ne sont finalement pas très nombreux. Aussi a-t-on préféré choisir la position des stations en fonction des affleurements tout en essayant évidemment de les répartir de façon convenable. Une seconde erreur est donc ainsi introduite qui rendra le traitement et l'interprétation encore plus délicats.

B – TRAITEMENT DES DONNÉES DE TERRAIN

On dispose d'un certain nombre de données prélevées de la façon décrite ci-dessus. L'utilisation de celles-ci pour mieux connaître les efforts auxquels a été soumis le massif (finalité du prélèvement) ne peut se faire qu'au prix d'une schématisation. Il y a alors un équilibre à trouver entre conserver le maximum de l'information contenue dans les données brutes et éliminer un certain nombre de détails afin de mieux faire apparaître les traits caractéristiques.

En ce qui concerne les mesures d'orientation de fractures, on a l'habitude de les reporter sur un canevas stéréographique et de faire apparaître des zones où la densité des pôles est plus forte et qui permettent à leur tour de déterminer un point moyen représentatif de chaque groupement. Une telle manière de procéder est valable tant que les nuages de points sont peu étendus. Dans le cas contraire on risque de ne voir qu'une famille de fracture là où il y en a 2 ou 3 (par exemple les familles D, R, P étant donné l'angle faible qui les séparent les unes des autres). Il est donc intéressant de prendre en considération l'étendue du nuage ainsi que sa forme.

C'est pour pallier ces problèmes que l'on a choisi de déterminer, pour chaque station de mesures, la forme du bloc que l'ensemble des fractures relevées doivent, en moyenne, découper.

On se limitera à la reconnaissance des formes que l'on a décrites au Chapitre 2 § 4. Leur représentation permet de faire apparaître les directions majeures de fracturation et donne en même temps une idée de «l'émoussé» du bloc qui est fonction de la dispersion des valeurs.

On peut sur canevas stéréographique reconnaître les différentes formes de blocs. Mais pour s'affranchir de la subjectivité qui entache inévitablement des déterminations manuelles, on a élaboré un programme de calcul permettant la détermination automatique des formes, directement à partir des mesures de terrain. Il faut tout de même fixer un certain nombre de limites arbitrairement cela permet néanmoins d'appliquer à tous les cas des critères de choix identiques. Ce programme a été réalisé par G. Romier (*). Pour réaliser ce programme on a fait d'abord des essais sur des valeurs de φ et θ obtenus pour des formes de blocs théoriques idéales. Pour affiner la méthode on a dans un stade suivant testé le programme sur des mesures réelles qui reportées sur canevas permettaient une détermination claire de telle ou telle forme, le résultat du calcul pouvant alors être facilement contrôlé.

Le programme permet donc de passer très rapidement des mesures brutes de terrain aux formes des blocs découpés par la fracturation relevée. On s'affranchit ainsi des reportssouvent fastidieux sur stéréogramme. C'est ainsi qu'on a pu traiter environ 3500 mesures de fractures prélevées dans le massif de la Chartreuse.

(*) G. Romier que nous remercions d'avoir bien voulu nous aider dans ce domaine et nous permettre d'utiliser son travail dans ce mémoire.

Le fait d'utiliser les angles que font 2 à 2 les plans de fractures permet d'opérer les déterminations sur un nombre élevé d'éléments ce qui rend celles-ci meilleures.

Si, en théorie, on peut faire passer des stations de grande dimension (en ce qui concerne le nombre de mesure) il apparaît qu'au delà de 50 mesures le temps de calcul devient très long.

On doit cependant rappeler que les données ne sont pas prélevées de façon objectives, il y a donc au départ un biaisage de la méthode. Il s'agit d'un choix entre 9 possibilités. Il est évident que l'on affinerait beaucoup la méthode en augmentant ce nombre et il est probable que l'on verrait alors, diminuer le pourcentage de formes non déterminées.

Un autre perfectionnement de la méthode consisterait à faire déterminer automatiquement les directions majeures (orientations des faces des blocs) pour chaque station.

PROGRAMME «PROGEO»

A PROGEO CONTIENT LES FONCTIONS ET PARAMETRES POUR LA RECONNAISSANCE DES STRUCTURES DE FAIBLES

CHOIX CONE COORD DFT DSTAT FR GEOLOG1 HISTO TRI
A1 A2 HOW K10 K8

HOW
PARAMETRES FIXES POUR DES CLASSES DE 5 DEGRES, ET UN TEST DU K12 A 10 POUR CENT

A1
5 A2
18 K8
24 K10
65

VGO[]V

V GO N
[1] CHOIX N
[2] $U \leftarrow (2, \rho F) \rho (90 - T), F - 180$
[3] CONE U
[4] $K9 \leftarrow 600 \div A2$
[5] $M \leftarrow (H \div K9) \div \rho H$
[6] $L \leftarrow (I \div H) - (L \div M)$
[7] $J \leftarrow J1 \div (\rho M) - 1$
[8] $J \leftarrow ((M \div J1) - M \div J) \div (L \div J1) \div J$
[9] $\rightarrow ((\rho J) = 0) \div LR$
[10] IND $\leftarrow 0$
[11] GEOLOG1
[12] $\rightarrow 0$
[13] LR: 'ROULEAU CONIQUE?'
[14] 'ANGLE'
[15] $(-0.5 + M \times H[M] \div H[M]) \times A1$; 'DEGRES'
[16] $M \times H[M] \div H[M]$
[17] IND $\leftarrow 1$
[18] GEOLOG1

V

VCHOIX[]V

V CHOIX N
[1] $N1 \leftarrow N \div (N - 1)$
[2] $F \leftarrow F1 \div F1[N1 + 1]$
[3] $T \leftarrow TOTO[N1 + 1]$
[4] $N1 \leftarrow 10$

V

VCOLE[]V

V CONE U; X; X0; C
[1] X $\leftarrow$ COORD U
[2] $X0 \leftarrow X \div (\rho U) [2]$
[3] $C \leftarrow (+/X0 \div 2) \times 0.5$
[4] $C \leftarrow C \div ([1] \times (X0 \div (\rho U) [2] \rho 1) \times X \div C$
[5] $C \leftarrow 200$
[6] $C \leftarrow 180 \times C \div (01)$
[7] 'DISTRIBUTION DES ANGLES AVEC L'AXE SUPPOSE'
[8] $[] \leftarrow H \div ((200 \div (+/H)) \times H \div (0, A1, A2) \text{ FR } C)$

V

VGEOLOG1[]V

V GEOLOG1
[1] $N \leftarrow \rho T$
[2] $NT \leftarrow N \times (N - 1) \div 2$
[3] $A3 \leftarrow 200 \div A2$
[4] $A4 \leftarrow 200 \times A3$
[5] $K9 \leftarrow A3 \div (A4 \times K8 \div A2 \times NT) \times 0.5$
[6] $T \leftarrow (0T) \div 180$
[7] $F \leftarrow (0F) \div 180$
[8] $P \leftarrow F$
[9] $I \leftarrow 0$
[10] $C \leftarrow 10$
[11] $I1 \leftarrow I + 1$
[12] $J \leftarrow I$
[13] $J11 \leftarrow J + 1$
[14] $D \leftarrow (((20F[I]) \times (20F[J])) + ((10F[I]) \times (10F[J])) \times (10T[I]) \times (10T[J])) + ((20T[I]) \times (20T[J]))$
[15] $C \leftarrow C, D$
[16] $\rightarrow (C \div N) \div 11$
[17] $\rightarrow (I \div N - 1) \div 11$
[18] $X \leftarrow (180 \times (-200) \div (01))$
[19] $X \leftarrow X \div (180 - X)$
[20] $[] \leftarrow NT$
[21] 'DISTRIBUTION DES ANGLES DES PLANS DEUX A DEUX'
[22] $[] \leftarrow F \div ((200 \div (+/F)) \times F \div (0, A1, A2) \text{ FR } X)$
[23] TRI
[24] $AC \leftarrow 1$ HISTO F
[25] $NT \leftarrow N \div F \div T \div P \div C \div D \div X \div A3 \div A4 \div K9 \div I \div J \div DES \div CHI \div MO1 \div MO2 \div MV1 \div MV2 \div MO \div A1 \div A2 \div IV \div 10$

V

VTRI[]V

V TRI

```
[1] X2←HT×(+/(F-A3)*2)÷A4
[2] →(L1,L2)[1+X2≤K8]
[3] L2: 'ROULEAU CYLINDRIQUE'
[4] →L0
[5] L1: M←(F≥K9)/ρF
[6] L←(⌈F/ρ⌉)-(L/ρ)
[7] ρ←ρJ1+(ρH)-1
[8] J←((M/J+1)-M[ρ])>(L÷ρ1))/ρ
[9] →((ρρ)=0)/L3
[10] →((ρρ)=1)/L4
[11] 'DOULE: PLUS DE DEUX PICS'
[12] →L0
[13] L3: 'UN SEUL PIC'
[14] →(((⌈F/ρ⌉)-L/ρ1+(F>0)/ρF)=A2-1)/L31
[15] 'LENTILLE OU PAINNEAU'
[16] MV←(+/F[M])÷ρM
[17] →(MV>K10)/L32
[18] 'LENTILLE'
[19] →L0
[20] L32: 'PAINNEAU'
[21] →L0
[22] L31: →(LND=0)/L310
[23] 'ROULEAU CONIQUE'
[24] →L0
[25] L310: DSTAT(180×T÷(ρ1))
[26] SDT←SD1×2
[27] DSTAT PH(360-PH+(180×PH÷(ρ1)))
[28] →(SDT≥SD1)/L311
[29] 'AMANDE'
[30] →L0
[31] L311: 'POISSON'
[32] →L0
[33] L4: M1←M[ρJ1+ρ[1]]
[34] M2←M[ρJ1+ρ((ρM)-J1)]
[35] MO1←(F[M1]×M1)÷+/F[M1]
[36] MO2←(F[M2]×M2)÷+/F[M2]
[37] MO1←+/MO1
[38] MO2←+/MO2
[39] MV1←(+/F[M1])÷ρM1
[40] MV2←(+/F[M2])÷ρM2
[41] →((|(MV2-MV1)÷(MV1+MV2))≥0.15)/L5
[42] L←MO+MO2-MO1
[43] 'BORNE: PLUS DE 13, OU PRISME'
[44] →L0
[45] L5: 'MODES DE HAUTEURS DIFFERENTES,
MODE 1:'
[46] L←MO1
[47] L←MV1
[48] 'MODE 2:'
[49] L←MO2
[50] L←MV2
[51] →L310
[52] L0: 'FIN'
```

VDSTAT[]V

V DSTAT X;R;MAX;MIN;ρ;MEAN;VAR;SD;MD;MTD;MODE;V;M

```
[1] R←(MAX+X[ρX])-MIN+(X+X[AX])[1]
[2] SD←(VAR+(+/X-DEAN+(+/X)*N)*2)÷(N+ρX-1)*0.5
[3] ('RANGE' ;R)
[4] ('STANDARD DEVIATION' ;SD)
[5] SD1←SD
```

VHISTO[]V

V G+W HISTO F;MAX;K;M;Q;CHI;DES

```
[1] MAX←⌈F/ρ⌉+0.5+ρW
[2] ρ←ρF
[3] L1: G←(' '), (⌈/(0,(⌈F/ρ⌉+(L[A]≥MAX)/A)))ρ'
[4] A←(ρK)/A
[5] G[K+1]←'T'
[6] M←ρG
[7] G←G(6,M)ρG
[8] L←G+(6×M)ρG
[9] →(0<MAX+M×X-1)/L1
[10] A2←ρF
[11] G←ρ0
[12] DES←((1+A2),2)ρ'
[13] CHI←((1+A2),2)ρ 2 0 DFT(90÷A2)×(-1+1A2)
[14] Q←(DES,CHI)
[15] Q←(Q,DES)
[16] L←Q+Q
[17] Q←ρ0
```

A LE PROGRAMME DFT EST UN PROGRAMME STANDARD APL

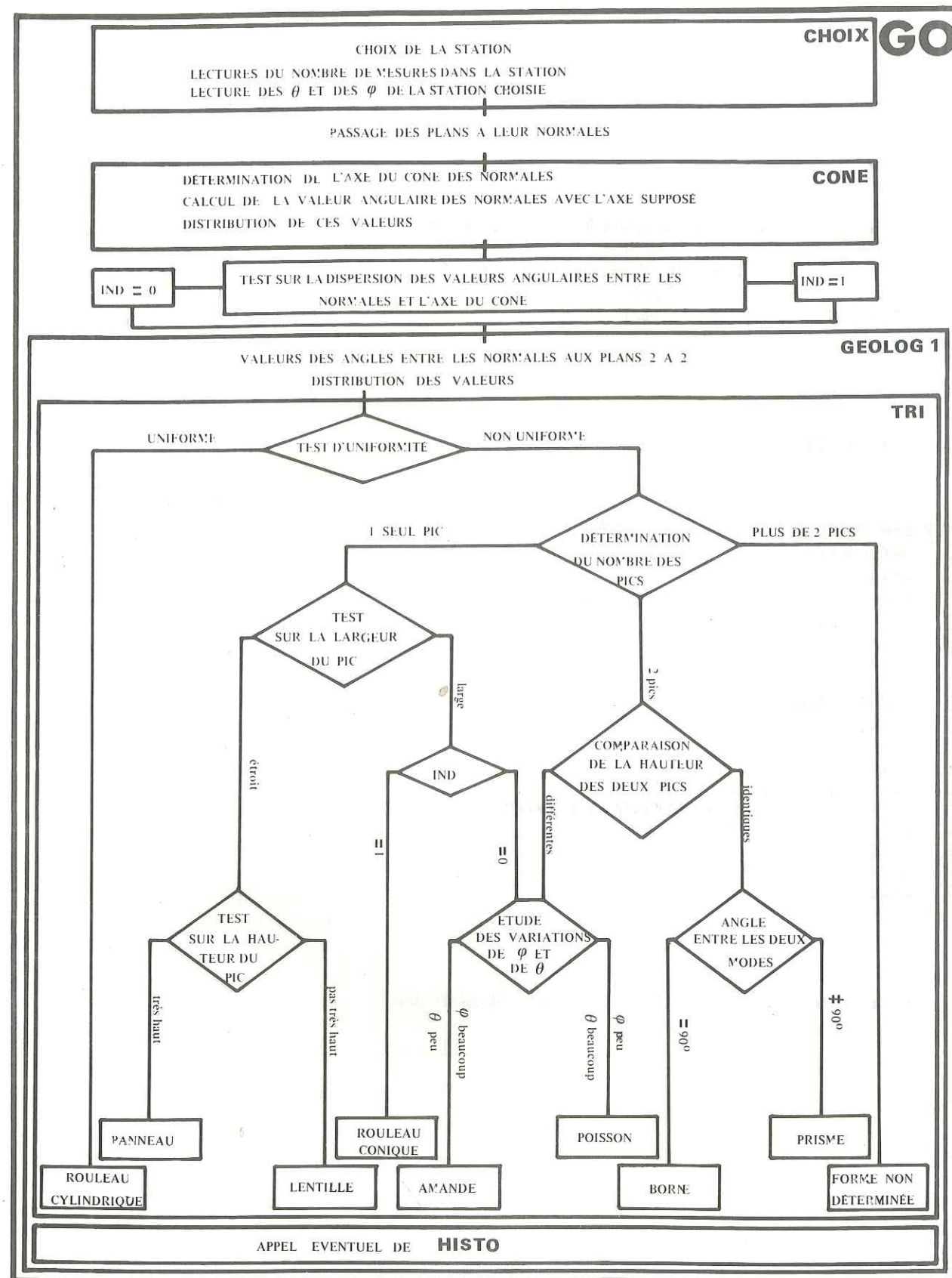


Fig. 92 : Organigramme du programme montrant la suite des opérations effectuées depuis les données de terrain jusqu'à la détermination des formes élémentaires des blocs.

Chapitre IV

FRACTURATIONS ASSOCIÉES AUX DECROCHEMENTS DU VERCORS SUD ORIENTAL

Le massif du Vercors est situé immédiatement à l'Ouest et au Sud de Grenoble. C'est dans sa partie sud orientale que sont situés les décrochements de la Cléry et du Jasneuf. Ces deux failles ainsi que tout le Vercors sud oriental ont été étudiés par H. Arnaud. On ne reviendra pas sur l'étude stratigraphique. Par contre, en ce qui concerne l'analyse de la fracturation on va essayer de compléter celle qui a été faite par H. Arnaud en changeant d'échelle d'observation. On essaiera de prendre en compte un grand nombre de fractures et pas seulement les failles ayant une dimension suffisante pour être cartographiées.

Les deux décrochements affectent des calcaires datés du Barrémien inférieur. La plupart des affleurements sont constitués par des calcaires à débris qui peuvent être plus ou moins lités mais qui restent toujours suffisamment compétents pour donner des falaises impressionnantes comme sur la bordure ouest du Trièves. Leur litage confère souvent à ces calcaires un débit en grosses dalles qui ont toujours plus ou moins glissé les unes sur les autres ce qui rend difficile les observations et les mesures de fractures. Par conséquent, il a été impossible de faire des mesures systématiques en vue d'une exploitation statistique. Pour remédier à cela, les observations de terrain, évidemment partielles et subjectives, permettent néanmoins, de rendre compte de la fracturation fine du massif. Les données des photos aériennes, par contre, sont d'excellente qualité.

Hormis les grands décrochements, la tectonique de cette région se caractérise par des plis qui ne sont le plus souvent que des ondulations très amples.

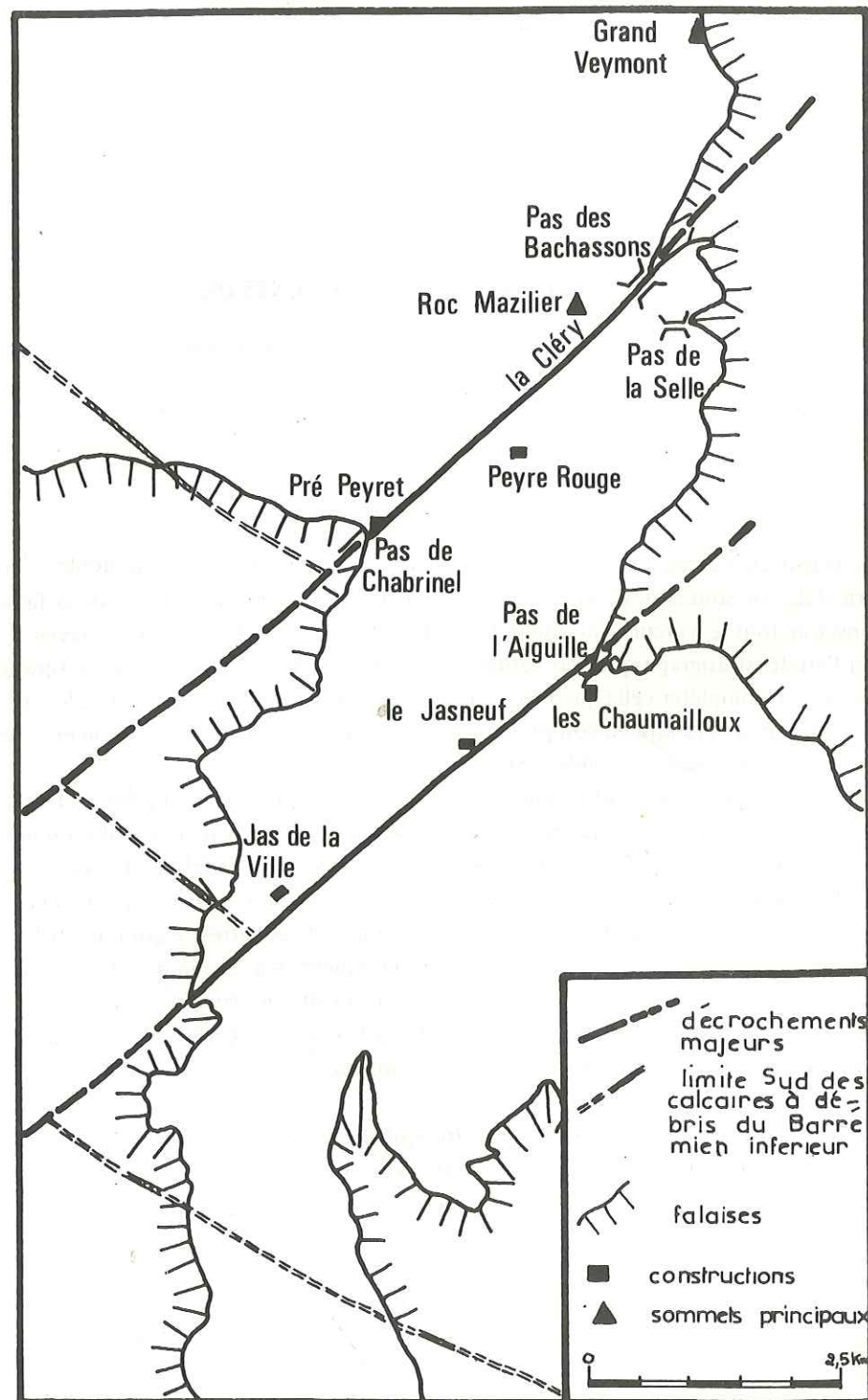


Fig. 93 : Mise en évidence du décalage de la limite d'extension Sud des calcaires à débris de l'ensemble 2 supérieur (Barremien inférieur) (d'après H. Arnaud).

I - FRACTURATIONS ASSOCIÉES AU DÉCROCHEMENT DU JASNEUF.

Cette faille traverse la partie Sud du massif du Vercors puisqu'il est possible de la suivre depuis le Diois jusqu'aux abords du Mont Aiguille. On se limitera pour la présente étude à la partie de ce décrochement comprise entre le Pas de l'Aiguille au nord-est et le Jas de la Ville au sud-ouest. Ce secteur est particulièrement favorable pour mener à bien une étude de fracturation en raison de l'horizontalité des strates, de la qualité des affleurements (très peu de végétation).

Entre le Jas de la Ville et le Pas de l'Aiguille, le décrochement a une direction moyenne de N 50 E. Des arguments stratigraphiques (H. Arnaud) permettent de dire que cette faille a un rejet presque uniquement horizontal et de 3 km dans le sens dextre (voir figure 93).

A - ETUDE PHOTOGÉOLOGIQUE

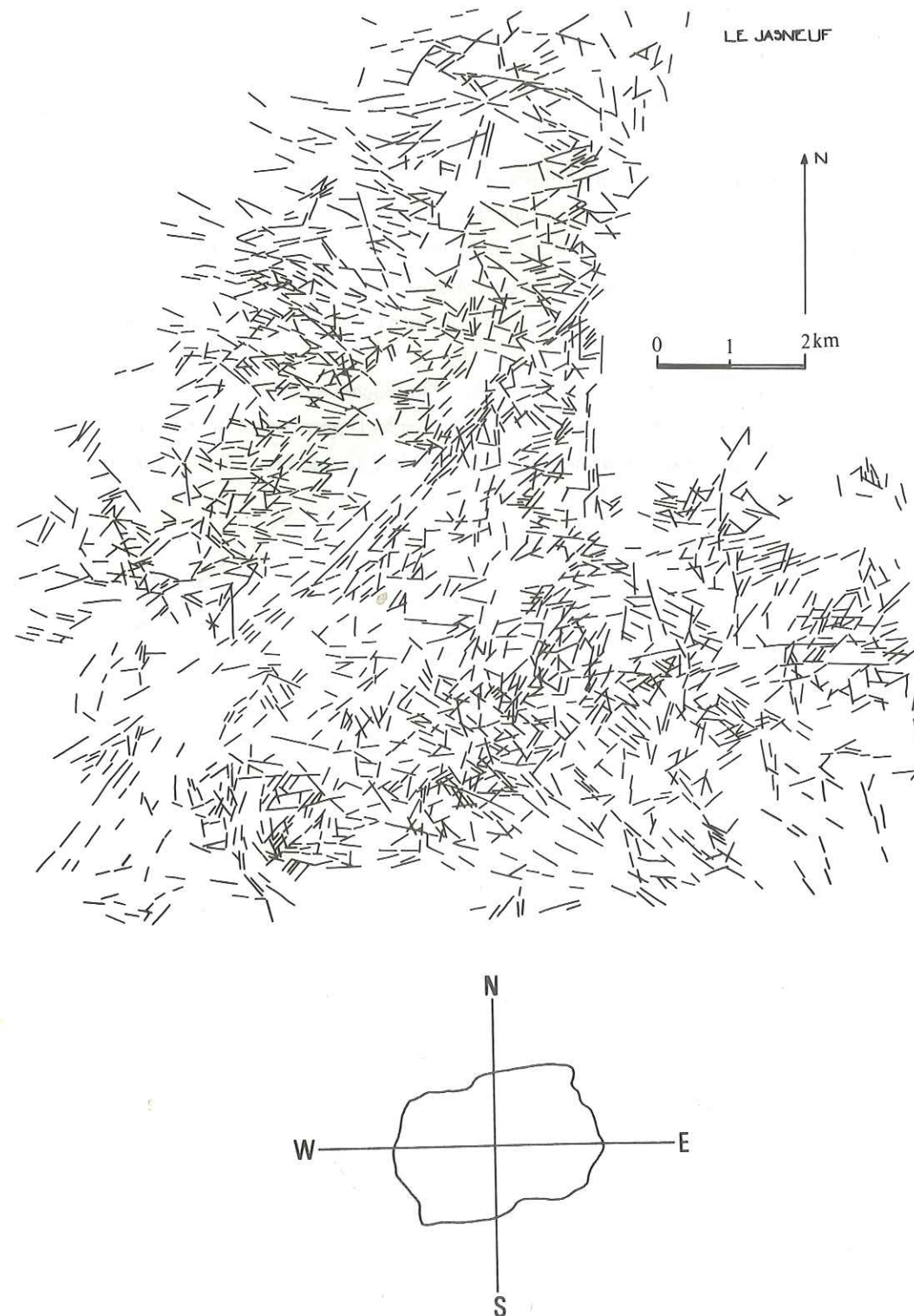


Fig. 94 : Interprétation photogéologique et rosace résultant du filtrage optique (méthode Lab. Hydrogéologie Montpellier).

B - ASPECT GÉNÉRAL DE LA FRACTURATION DANS LA RÉGION DU JASNEUF.

Pour une meilleure description de la fracturation de ce secteur on distinguera plusieurs domaines:

- celui de la zone de décrochement au sens strict,
- celui des zones de part et d'autre du décrochement.

1) Fracturation de la zone de décrochement proprement dite

Large en moyenne de 500 m, cette zone a une direction N 50 E. Elle est le siège de la quasi totalité des mouvements décrochants. Topographiquement, elle se traduit par une dépression à fond plat. Très rarement, comme au Nord du Pas de l'Aiguille, un plan de mouvement majeur et unique apparaît. On a le plus souvent un nombre important de surfaces de glissement qui sont en fait des couloirs dans lesquels la déformation est considérable et qui séparent des blocs relativement peu affectés par les sollicitations qu'ils ont subit. On étudiera séparément ces deux domaines.

a) Les couloirs de glissements :

C'est dans ces couloirs que la plus grande part du déplacement s'est effectuée. De tels couloirs affleurent bien le long du chemin qui va du refuge des Chaumailoux à celui du Jasneuf. Ils ont là une largeur modeste (quelques décimètres) mais cette taille atteint quelquefois plusieurs dizaines de mètres. En fait, la largeur des couloirs de glissement est très variable, car ils moulent toujours des blocs aux formes en lentilles ce qui fait que les espaces entre ces blocs peuvent varier.

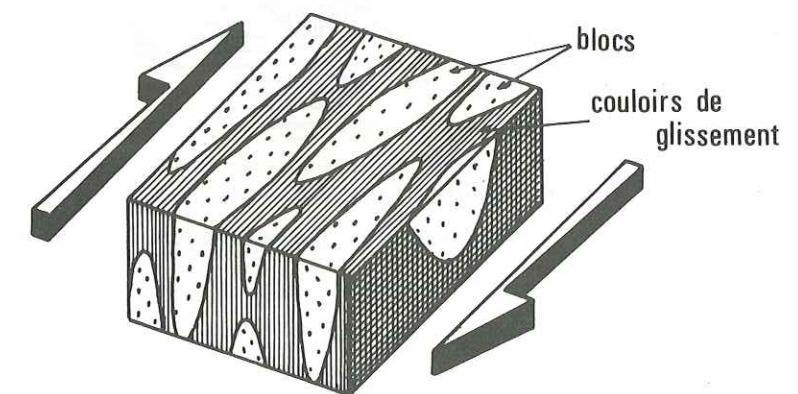


Fig. 95 : Bloc de diagramme schématisé montrant les rapports supposés entre les blocs et les couloirs de glissement (Hachuré)

Ils sont remplis d'un broyat de calcaire toujours plus ou moins recristallisé et souvent affecté par une schistosité vraie tordue par les mouvements des blocs adjacents.

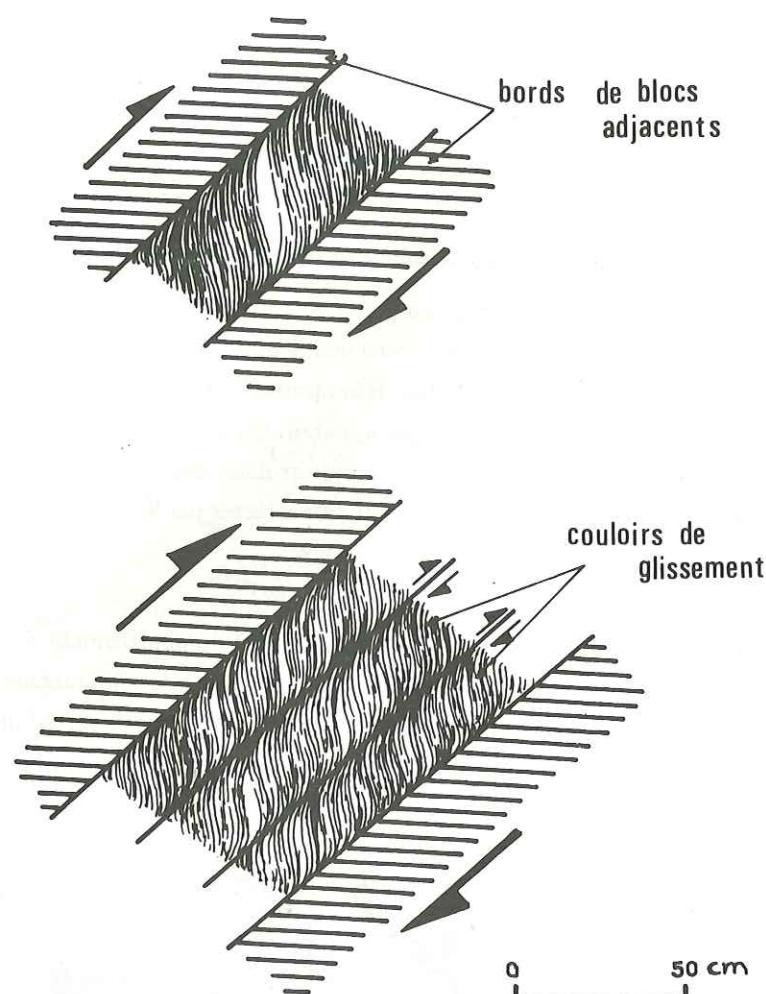


Fig. 96 : Schistosité des couloirs de glissement à peine schématisée, observée entre le Pas de l'Aiguille et la Bergerie de Jasneuf.

b) Les blocs :

En plan, les blocs ont une forme allongée plus ou moins effilée aux deux extrémités. Quand ils n'ont pas été trop déplacés par le mouvement général on peut reconnaître les fractures qui les ont individualisés. Ce sont essentiellement des fractures de type D, R et P. Etant donné que sur le terrain tous les plans de glissement observés sont verticaux et portent des stries horizontales on peut faire l'hypothèse que tous les plans de la zone de décrochement ont les mêmes propriétés. Par conséquent, les valeurs angulaires que la photo interprétation fait apparaître entre les diverses familles peuvent être considérées comme très peu différentes des valeurs réelles.

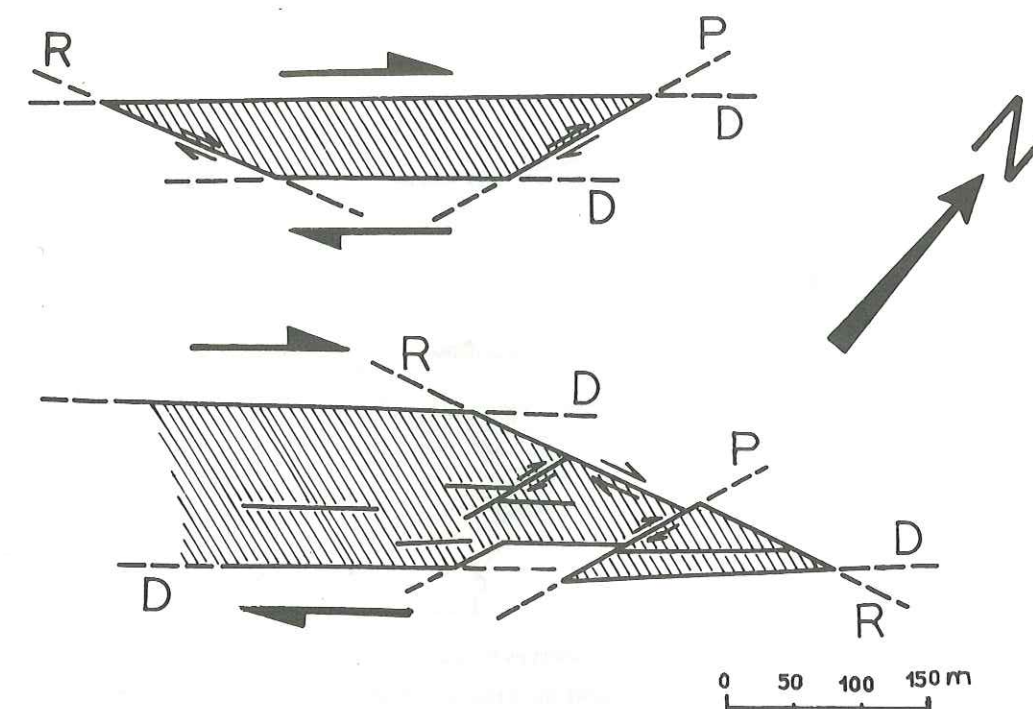


Fig. 97 : Blocs observés sur photo aérienne immédiatement au Sud de la Bergerie du Jasneuf et interprétation de leurs limites.

Toutes les stries rencontrées sur les bords des blocs sont horizontales, et dextres quand il est possible de reconnaître le sens de mouvement. Outre le glissement auquel sont soumis les blocs, il est probable aussi qu'ils ont subi des rotations tendant à rendre leur axe d'allongement parallèle à la direction du mouvement.

Chaque bloc est soumis à des sollicitations particulières qui lui sont propres. Il s'ensuit que tous les blocs ne se déforment pas de la même façon. Aussi ne faudra-t-il pas penser à plusieurs phases tectoniques si dans des blocs situés à proximité l'un de l'autre s'observent des déformations complètement différentes.

La plupart du temps, et c'est le cas ici, ces déformations peuvent s'intégrer en un ensemble cohérent dans le contexte général ; elles témoignent d'états de contrainte locaux qui trouvent parfaitement leur place dans un état de contrainte régional.

Pour la zone de décrochement du Jasneuf les déformations que l'on a pu relever dans les blocs sont de deux types : ce sont les fractures et les plis.

- les fractures

Il a été impossible, étant donné l'état d'altération de la roche, de faire des mesures de façon statistique. On a néanmoins pu se rendre compte des divers types de fracture qui affectaient les blocs. Apparaissent surtout :

- des fractures de Riedel R associées aux glissements ayant lieu sur les bords du bloc.
- des fentes d'extension dues à l'étirement général du bloc.

On n'a jamais observé ces deux fracturations réunies sur un même bloc, du moins quand elles sont de même ordre, comme sur les schémas ci-dessus.

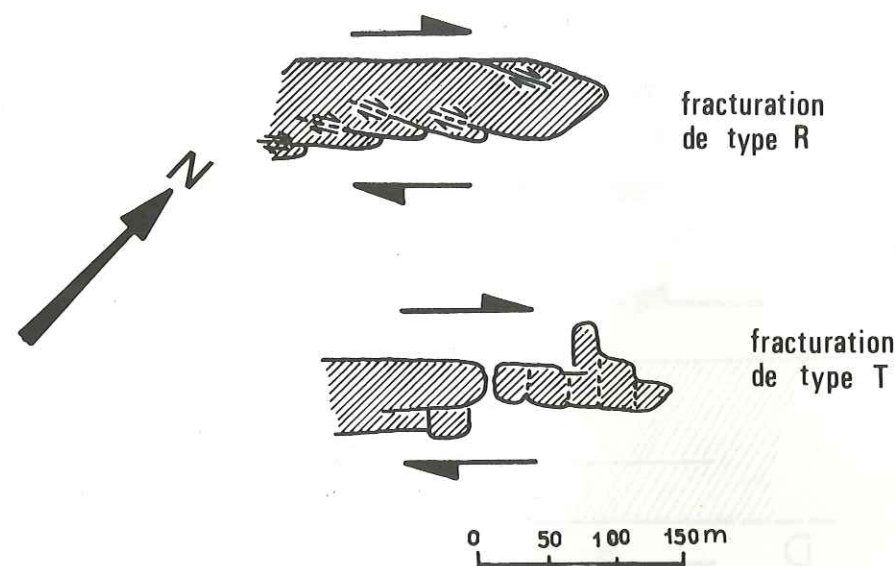


Fig. 98 : Blocs observés en photo aérienne immédiatement à l'Ouest du Jasneuf. Mise en évidence de fracturation R et T.

- les plis -

Un pli décamétrique a pu être mesuré dans un bloc situé à 20 m au S.W du refuge du Jasneuf. La stratification étant difficilement observable on n'a pu faire qu'un nombre limité de mesures ; par conséquent la position de l'axe n'est déterminée qu'approximativement.

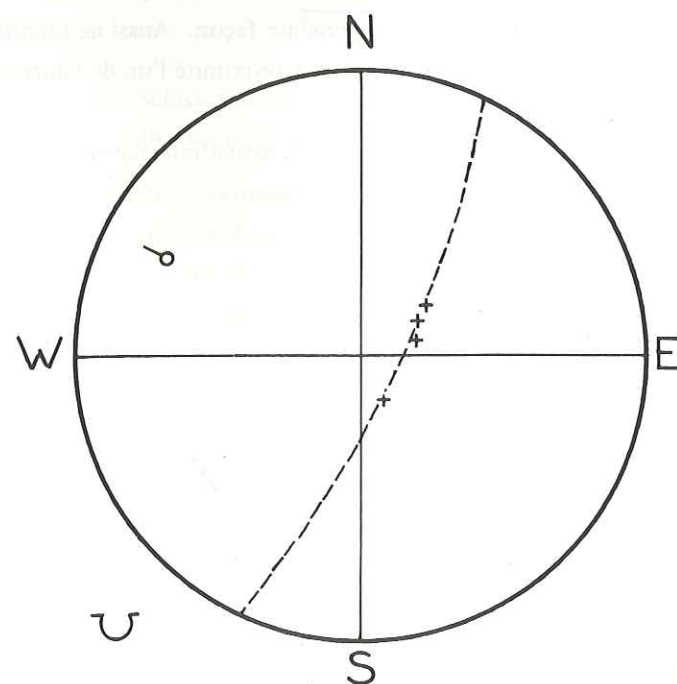


Fig. 99 : Axe de pli construit d'après les mesures faites sur le bloc de la figure 100.

Son axe a une direction N 116 E et il plonge de 16° vers le NW. Une telle orientation ne peut s'expliquer que par des sollicitations tout à fait propres à un bloc. Une interprétation de ce pli peut être donnée grâce à l'étude des fractures qui lui sont adjacentes. (Chapitre II P. 32)

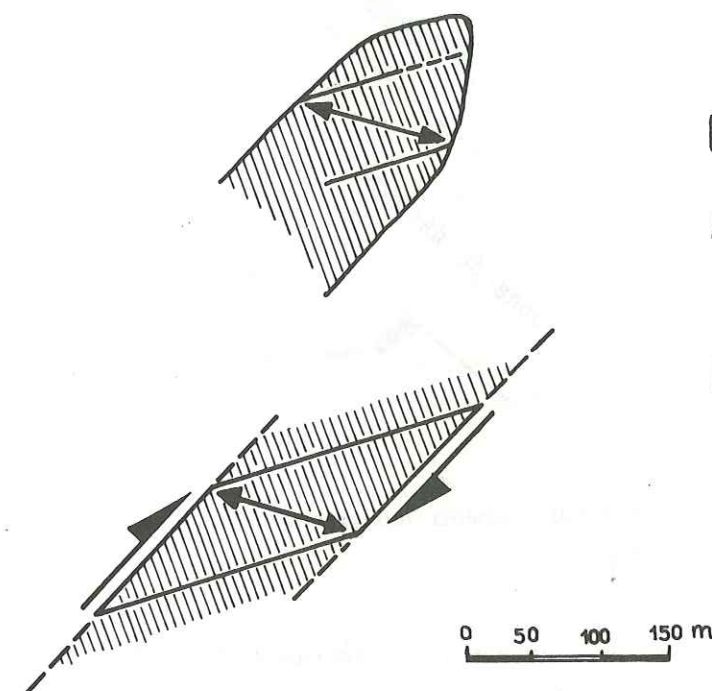


Fig.100 : Bombement anticlinal observé immédiatement à l'Ouest du Jasneuf et son interprétation en fonction des glissements aux limites du bloc qui le porte.

2) Fracturation de la zone située de part et d'autre du décrochement

Cette zone encadre la précédente, et les effets du décrochement y sont beaucoup moins sensibles. Les couloirs de glissement ont disparu, de même que les blocs aux formes très allongées. Néanmoins, la fracturation de cette zone est assez typique et elle comprend :

Des fractures de type D de direction N 50 E ; elles restent fermées mais aucun mouvement n'a pu y être mis en évidence

Des fractures de type T (d'extension) ; elles sont caractérisées par des longueurs importantes (kilométriques), et sur le terrain, la trace est dans le détail assez confuse ; c'est le plus souvent une dépression herbue jalonnée de scialets qui témoignent d'une zone où la karstification s'est installée de façon préférentielle. Ces fractures sont bien reconnaissables quand le vide créé par l'extension a été comblé par un remplissage bréchiq. Ces brèches sont constituées de blocs calcaires anguleux, de taille à peine décimétrique et mal soudés par un ciment grossier

également calcitique. En moyenne, l'épaisseur du remplissage bréchique augmente quand on se rapproche du décrochement où il passe de quelques centimètres à une dizaine de mètres.

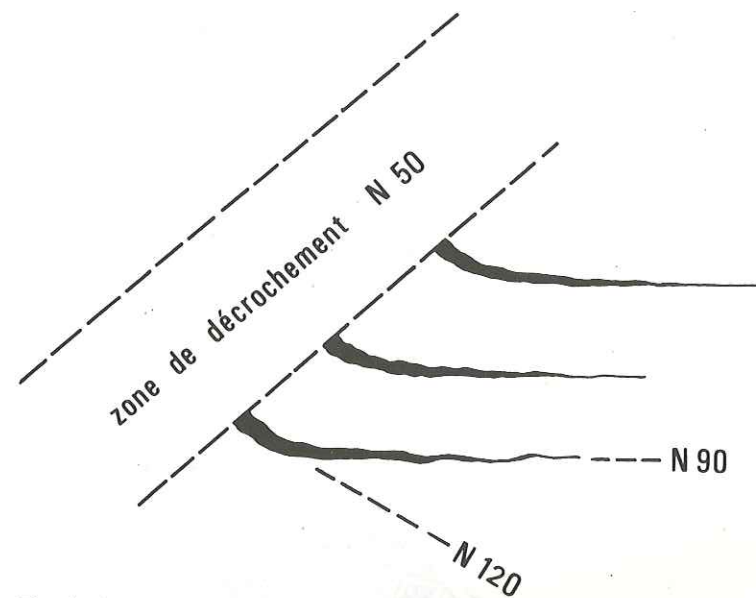


Fig. 101 : Schéma interprétatif des fractures à remplissage bréchique

Ces fractures d'extension ont une direction qui varie de N 90 E à N 120 E quand on se rapproche du décrochement. Cette torsion suggère d'une part que ces fractures ont une origine précoce dans l'ensemble des déformations accompagnant le décrochement et d'autre part qu'elles deviennent sigmoïdes étant entraînées par la rotation d'ensemble. Il s'ensuit une augmentation de la valeur de l'angle que font les fractures T avec le décrochement majeur. Cela rend possible l'application de la méthode élaborée par Ramsay et Graham (1970) pour préciser, en fonction de l'angle de rotation la valeur du rejet total du décrochement. Si l'on estime la largeur de la zone du décrochement (zone dans laquelle les fractures T ont subi une rotation) à 500 m, on trouve pour le rejet une valeur de 500 m. C'est une valeur très faible si on la compare à celle donnée par H. Arnaud (environ de 3 km), (rapport de 1 à 6) mais il faut tenir compte du fait que la largeur estimée pour la zone de cisaillement est très imprécise et, en outre, que l'on ne peut plus observer les fractures d'extension dans la zone de décrochement, zone où la torsion de ces fractures a sans doute été la plus forte. Par conséquent, il n'est pas étonnant que la valeur trouvée ici pour le rejet soit inférieure à la réalité. De plus il est fort probable que lorsque le glissement s'engage dans la zone centrale du décrochement, il n'entraîne plus la torsion des domaines adjacents (et donc des fractures T qui s'y trouvent).

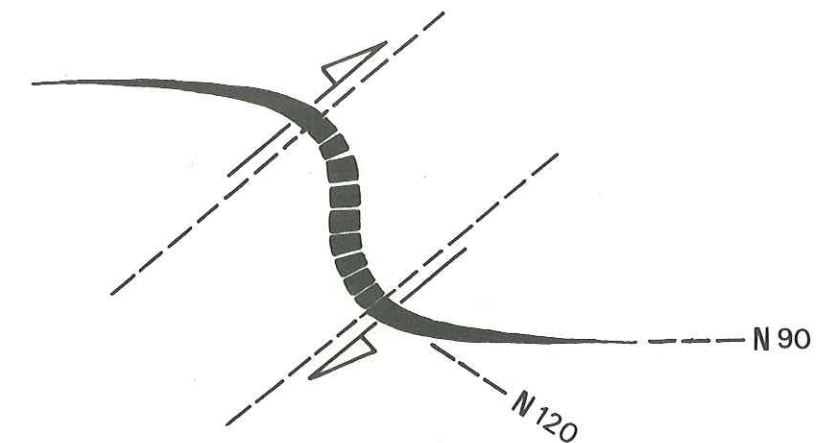


Fig. 102 : Rotation présumée des fractures à remplissage bréchique dans la zone de glissement en admettant que la zone centrale de décrochement n'engage pas de glissement majeur décalant la fracture sans accentuation de la torsion.

Les seules déformations que l'on a reconnu dans les blocs découpés par un réseau D + T, dans les zones situées de part et d'autre du décrochement, sont des fractures.

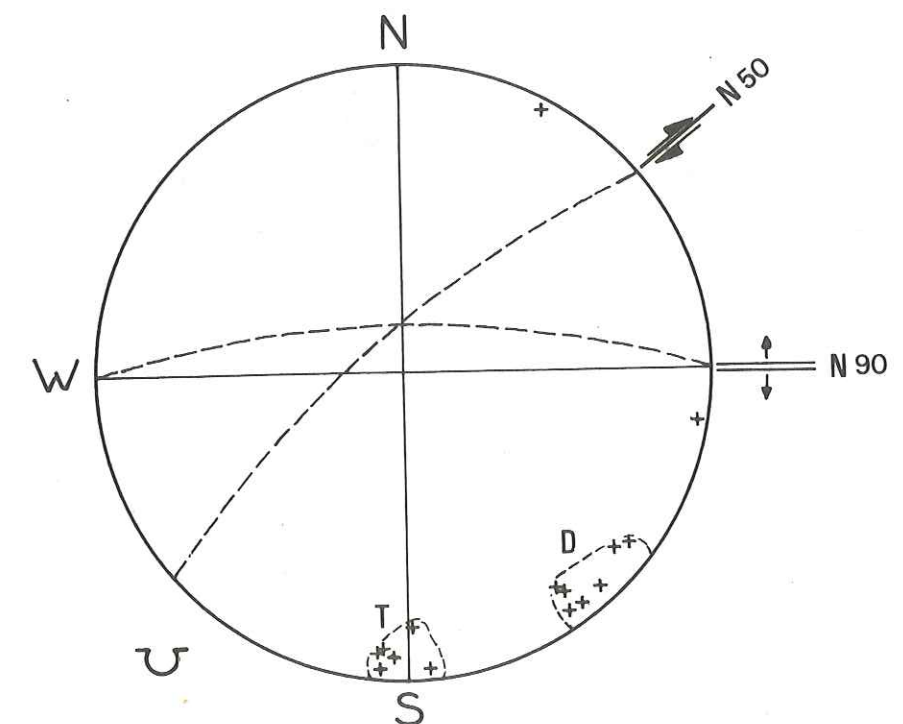


Fig. 103 : Fracturation métrique à décimétrique relevée dans un bloc des zones situées de part et d'autre du décrochement.

On voit, malgré le faible nombre de points d'observation, que la fracturation observée à l'intérieur des blocs est la même que celle qui individualise les blocs eux-mêmes. Ceci constitue, en plus de l'absence complète de stries, un argument pour dire que les blocs de ce secteur n'ont pas subi de mouvements importants.

3) Schéma récapitulatif

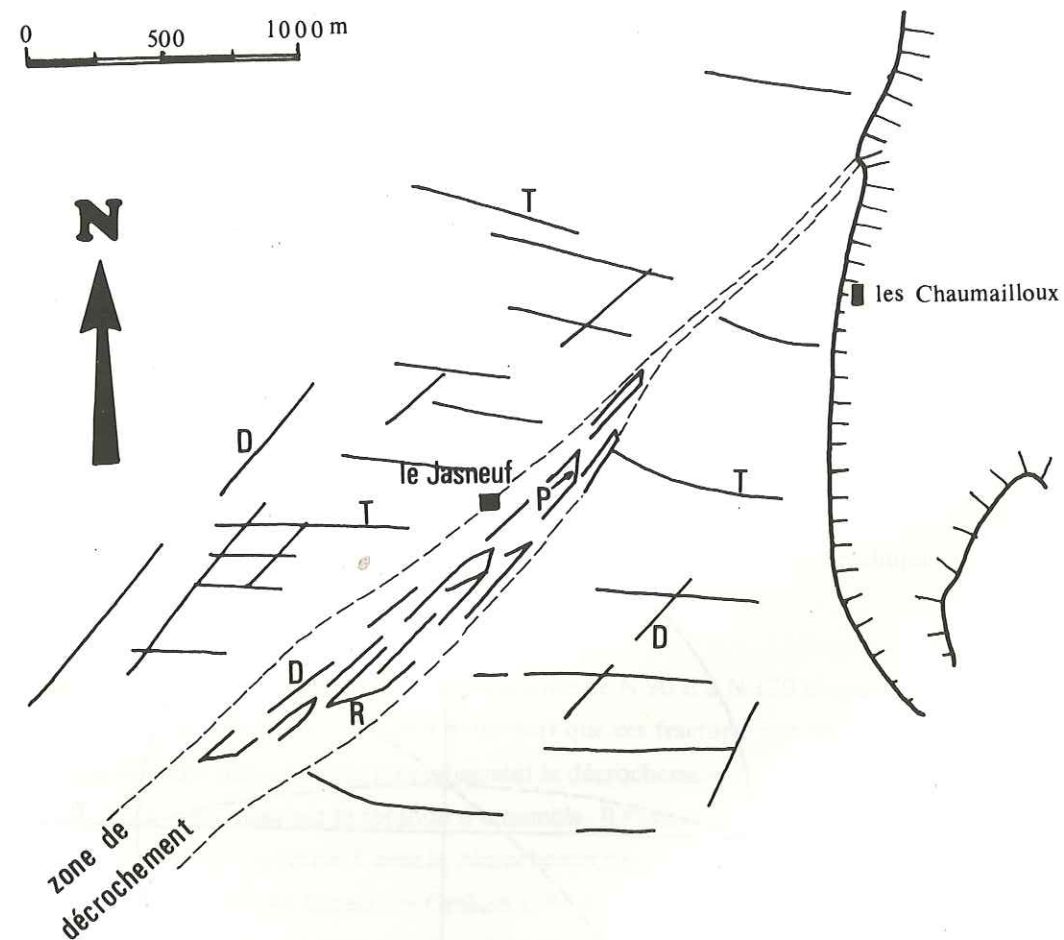


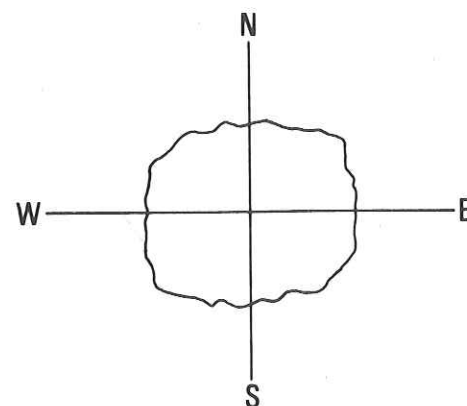
Fig. 104 : Schéma récapitulatif de la fracturation dans le secteur du Jasneuf.

II - DECROCHEMENT DE LA CLÉRY

Ce décrochement est situé immédiatement au Nord de celui du Jasneuf. Il a une extension considérable puisque prenant naissance dans le Diois on peut le suivre à travers tout le Vercors jusqu'à la région de Monestier de Clermont. On pense même qu'il pourrait jouer un rôle dans le décalage de la barre bajocienne au nord de Sinard.

La présente étude de ce décrochement ne portera que sur le tronçon compris entre le Pas de Chabrinel au S W et le Pas des Bachassons au N E. Il a dans ce secteur une direction moyenne N 45 E. Toutes les données convergent pour conférer à cette faille un mouvement de rejet horizontal dextre. Grâce à l'étude de la limite d'extension vers le Sud des faciès à débris au Barremien inférieur H: Arnaud trouve pour le rejet une valeur de 3,5 km environ. Si dans la partie SW du tronçon étudié les faciès ressemblent beaucoup à ceux que l'on peut trouver dans la région du Jasneuf, en revanche dans sa partie N E, des niveaux marneux sous-jacents aux calcaires à débris apparaissent par le jeu d'un petit anticlinal; cette différence lithologique se répercute directement sur la fracturation comme nous le montrerons.

A - ETUDE PHOTOGEOLOGIQUE



B - DESCRIPTION GLOBALE DE LA FRACTURATION

Comme dans le cas précédent cette description se fera en deux étapes : on analysera d'abord les fractures rencontrées dans la zone du décrochement lui-même puis celles se trouvant de part et d'autre de cette zone.

1) Fracturation de la zone de décrochement au sens strict.

Elle prend deux aspects différents selon que l'on se trouve dans la partie S W ou dans la partie N E.

a) - dans la partie S W du décrochement, comprise entre le Pas de Chabrinel et les anciennes carrières romaines qui se trouvent à environ 1,5 km au N E, le décrochement ressemble en beaucoup de points à ce que l'on a pu observer au Jasneuf. Il a environ 300 m de largeur, et il existe des couloirs de glissement tout à fait semblables à ceux que l'on a déjà décrit et ceux-ci délimitent des blocs qui ont la particularité de rester très en relief ce qui facilite beaucoup leur observation.

Il est difficile de reconnaître les fractures qui ont découpé ces blocs car ceux-ci ont sans doute été déplacés par le mouvement général et leurs formes témoignent d'un écoulement dû au glissement considérable. On peut cependant trouver un élément de réponse en étudiant la fracturation de la falaise qui borde la zone de décrochement au N E du refuge du Pas de Chabrinel.

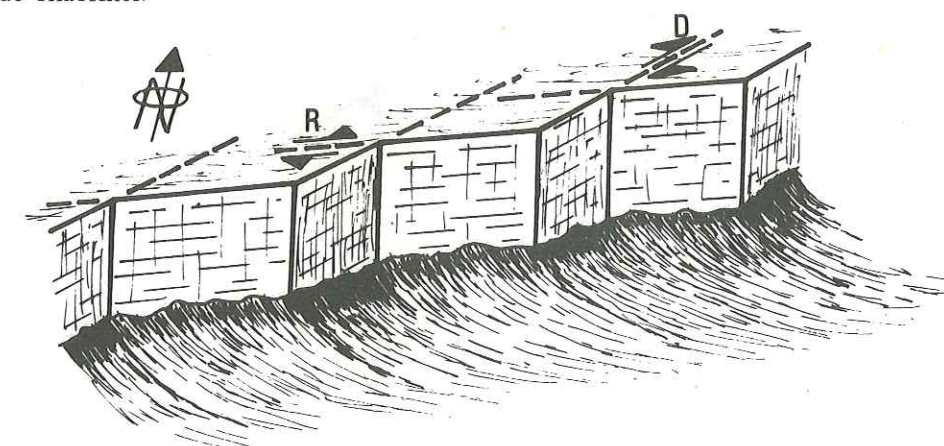


Fig. 106 : Aspect de la falaise bordant le décrochement N E du Pas de Chabrinel.

Interprétation des directions de mouvement.

Ce découpage résulte d'une fracturation D + R caractérisée par la direction des fractures (N 50 E, N 50 - 70 E) et par les mouvements dextres selon les deux familles. On a donc de bonnes raisons de penser que les blocs coincés dans la zone de décrochement proviennent d'un découpage par un réseau de type D + R.

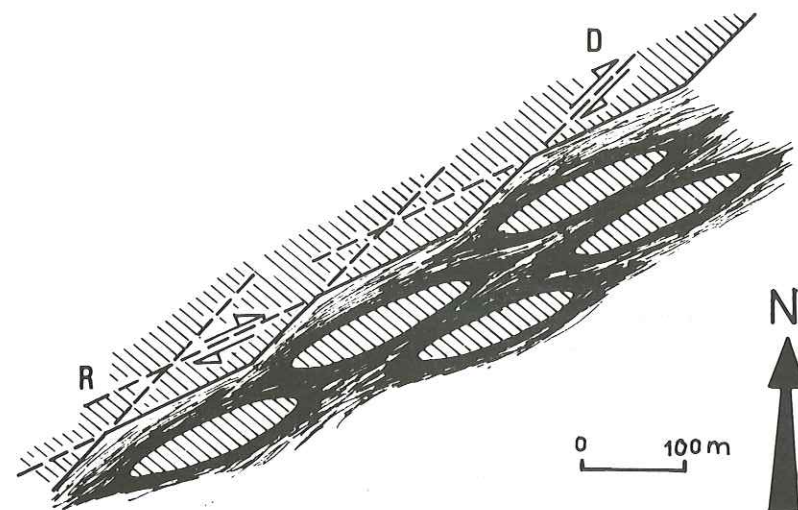


Fig. 107 : Vue en plan schématisée et interprétée de la zone de décrochement et de la falaise représentée sur la figure 106.

On a pu relever deux plis anticlinaux décamétriques dans les blocs de la zone de décrochement

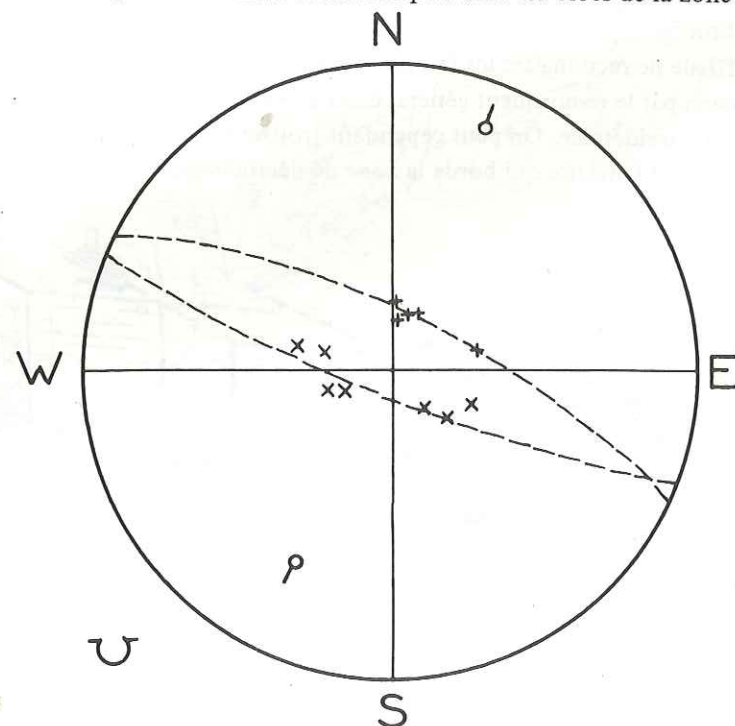


Fig. 108 : Construction des axes de deux plis observés à environ 500 m au N E du Pas de Chabrinel

Ces plis ont une direction axiale moyenne N 25 E. Ils se trouvent de part et d'autre d'une fracture P de direction N 30 E. Ils résultent du serrage d'un bloc pisciforme entre deux blocs adjacents. Des phénomènes identiques ont été observés sur des blocs beaucoup plus grands aux abords de la faille de San Andréas (Ronald et al., 1973).

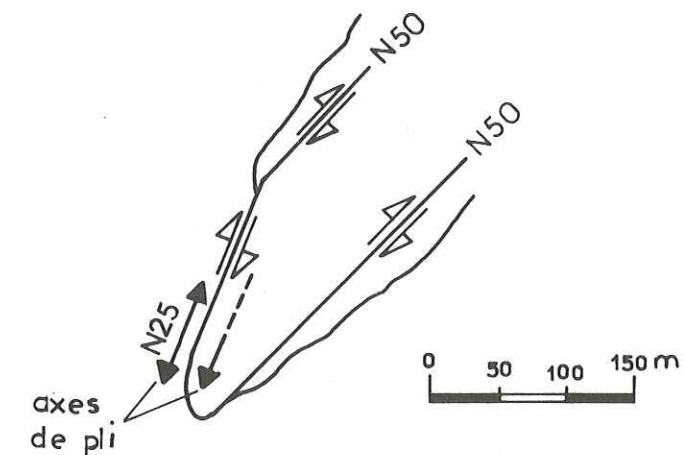


Fig. 109 : Interprétation des deux plis construits sur la figure précédente.

Rapports des glissements aux limites du bloc.

La fracturation des blocs de la zone de décrochement est caractérisée par l'abondance des Riedel R et des fentes d'extension T. On va essayer de le montrer par l'interprétation photo-géologique et par les mesures de terrain.

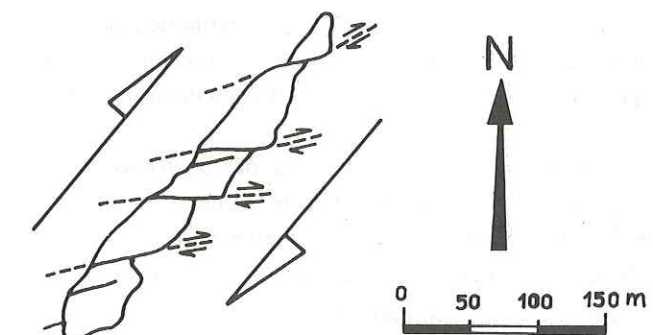


Fig. 110 : Interprétation de la fracturation d'un bloc observé sur photo aérienne. Le bloc est situé immédiatement au N E du refuge du Pré Peyret.

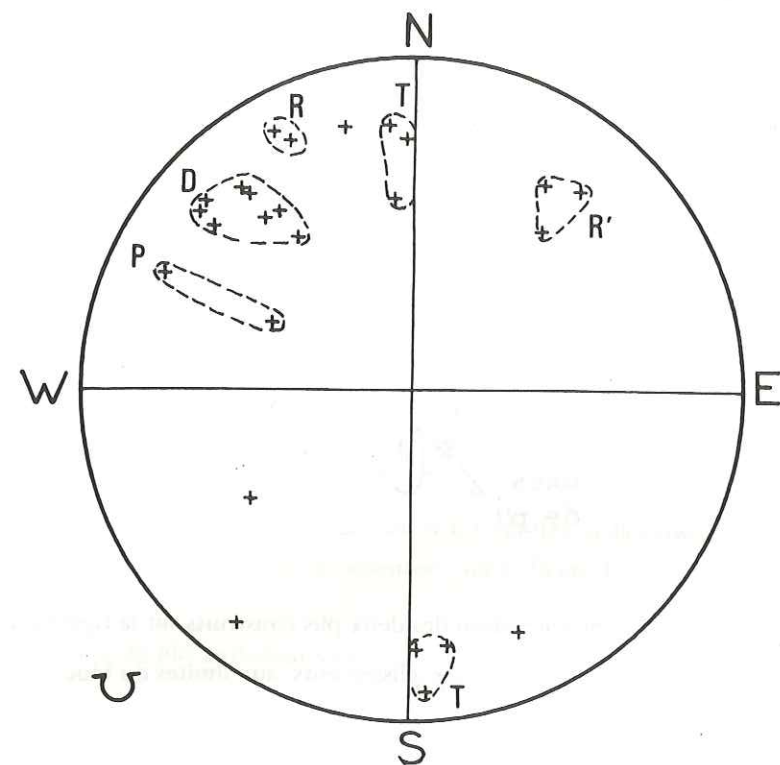


Fig. 111 : Fracturation décamétrique du bloc de la figure précédente

En photo aérienne seules les fractures de type R ont une dimension suffisante pour être visibles. Par contre, les mesures de terrain font apparaître toutes les fracturations habituellement associées aux décrochements : P, D, R, T, R'. Paradoxalement les fractures R sont mal représentées sur le stéréogramme. Cela s'explique par le fait qu'elles sont peu nombreuses et qu'elles échappent souvent aux mesures de terrain en raison même de leur grande dimension. Elles jalonnent en effet les grands couloirs d'érosion où les mesures sont impossibles.

b) - dans sa partie N E, jusqu'au Pas des Bachassons, le décrochement recoupe des calcaires marneux et dans la topographie l'accident ne se traduit plus que par un petit talweg de quelques dizaines de mètres de largeur. Il n'y a plus ici qu'un seul plan de glissement. Une série de mesures en rive droite du talweg a permis de mettre en évidence les principales familles de fractures présentes. On peut les interpréter grâce à leurs directions. Cette interprétation est d'ailleurs confirmée par les stries qu'on a pu relever sur les plans de fractures.

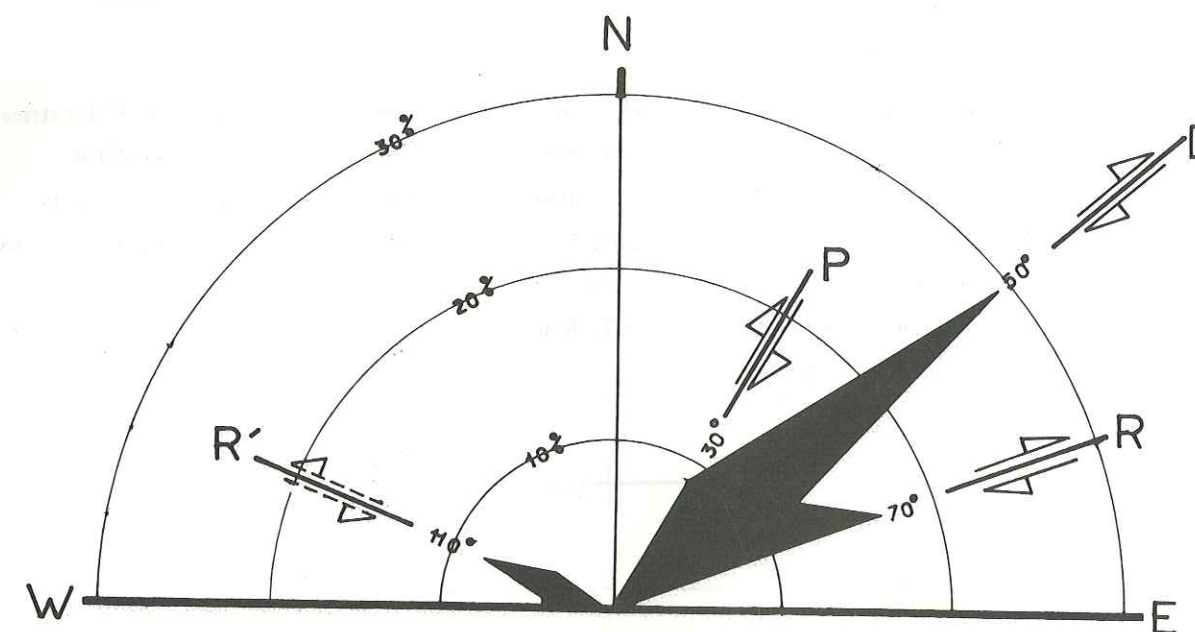


Fig. 112 : Fracturation décamétrique relevée dans le talweg situé au S O du Pas de Bachassons.

2) Fracturation de part et d'autre de la zone de décrochement proprement dite.
On distinguera :

- la zone située au S W de la bergerie du Peyre Rouge
- La zone du roc Mazilier
- la zone située entre le Pas des Bachassons, le Pas de la Selle et la bergerie de Peyre Rouge.

a) Fracturation de la zone située au S W de la bergerie de Peyre Rouge.

Ce sont, comme au Jasneuf, des fractures d'extension de direction N 90 E avec des remplissages bréchiques, et des failles de type D parallèles au décrochement, ces dernières sont d'ailleurs peu nombreuses.

b) Fracturation dans la zone du Roc Mazilier.

L'étude de la photo aérienne fait apparaître une famille majeure de direction N 30 E. Ces fractures sont très certainement de type P. Sur le terrain on constate que ces fractures restent fermées mais ne portent pas de stries. On en conclut que les glissements, s'il y en a eu, n'ont pas dû être très importants.

Les mesures de terrain font apparaître deux autres familles :

- l'une de direction N 60 - 80 est constituée par des fractures, qui portent souvent des stries horizontales indiquant un mouvement dextre : ce sont vraisemblablement des Riedel R.
- l'autre de direction N 160 - 170 est constituée de fractures très souvent remplies par la calcite. On peut admettre que ce sont des fractures d'extension, et alors deux hypothèses peuvent être envisagées pour expliquer leur origine :
 - ce seraient des fractures de type T, de même ordre que le décrochement majeur tordues par le mouvement général.

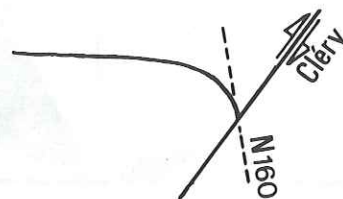


Fig. 113 : Hypothèse expliquant la présence de fractures à remplissage bréchique de direction N 160 E.

- ce seraient des fractures qui témoignent de l'étirement des blocs découpés par les deux familles mises en évidence précédemment.

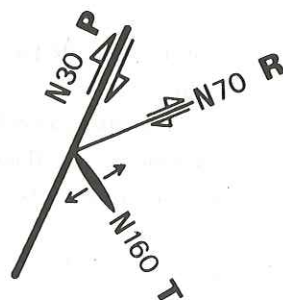
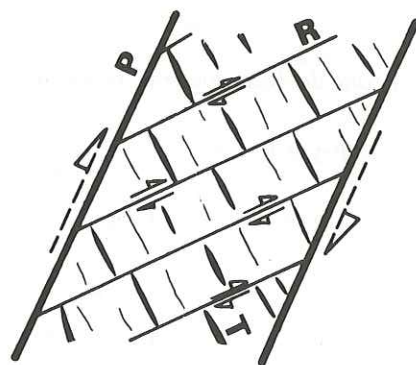


Fig. 114 : Interprétation de la fracturation dans la zone du Roc Mazilier.

Cette deuxième hypothèse semble la plus vraisemblable étant données les dimensions relativement faibles de ces fractures d'extension d'autant plus, qu'une grande faille N 90 E traverse toute cette zone pratiquement sans être déviée 500 m au Nord du Roc Mazilier.

c) Fracturation de la zone comprise entre le Pas des Bachassons, le pas de la Selle et la Bergerie de Peyre Rouge.

La photo aérienne de ce secteur fait nettement apparaître deux familles de fractures :

- l'une N 75 E.
- l'autre N 130- 140 E.

les quelques stries que l'on a pu relever sur ces fractures indiquent pour la première famille des glissements dextres et pour la seconde des glissements senestres.

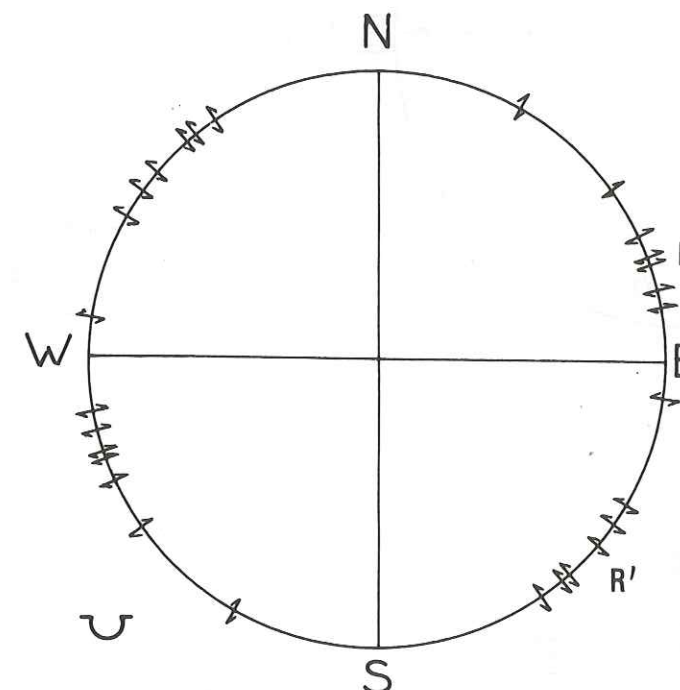


Fig. 116 : Stries relevées dans la zone comprise entre le Pas des Bachassons, le Pas de la Selle et la Bergerie de Peyre Rouge.

Par leurs directions et par leurs sens de mouvement ces deux familles sont incontestablement des Riedel R et R'. Si les Riedel R restent toujours fermés il n'en va pas de même avec les Riedel R' qui ont une nette tendance à s'ouvrir (présence de dépressions herbues et de scialets). C'est une chose que l'on avait déjà pu remarquer au cours des essais sur argile décrits au chapitre I.

Les blocs découpés par ces deux familles sont eux-mêmes fracturés. Afin de mieux caractériser la fracturation de ces blocs on en a choisi 25 et on a fait une station de mesures pour chacun d'eux. Pour les blocs ainsi étudiés, apparaissent une ou deux familles de fractures. Quand il y en a deux elles sont orthogonales comme on peut le voir sur les stéréogrammes ci-après.

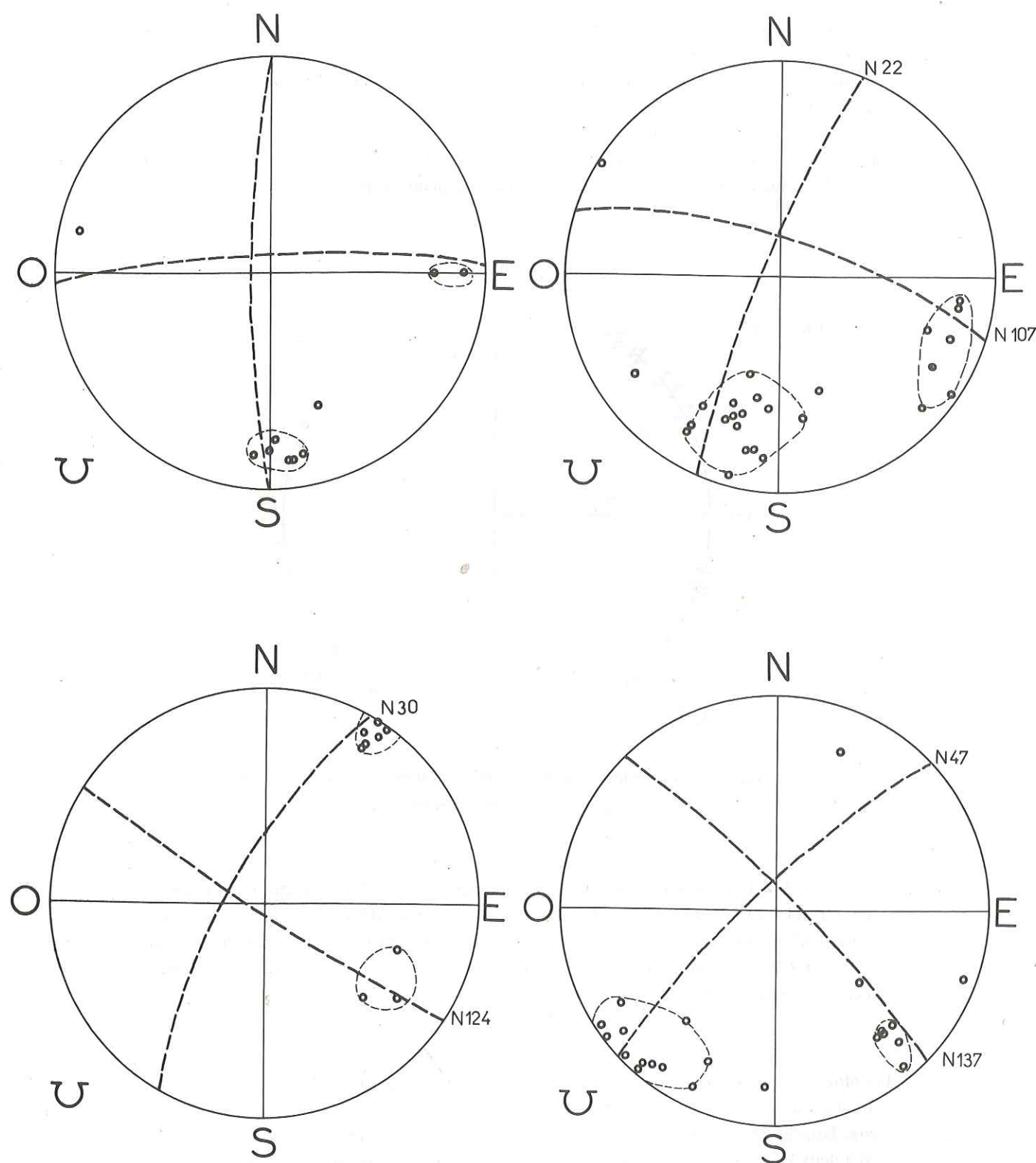


Fig. 117 : Mesures de fractures métriques au sein de quatre blocs situés de plus en plus loin du décrochement.

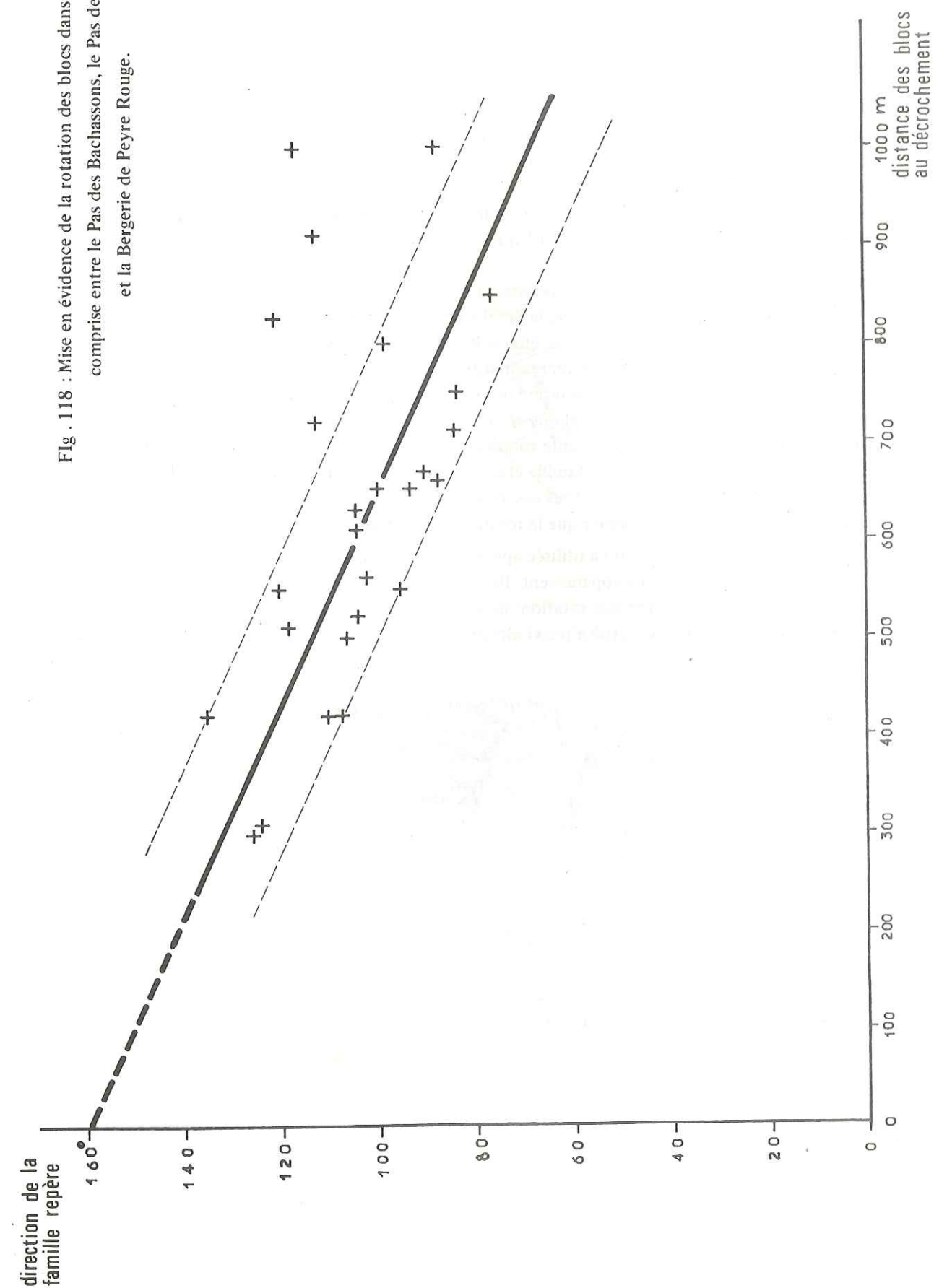


Fig. 118 : Mise en évidence de la rotation des blocs dans la zone comprise entre le Pas des Bachassons, le Pas de la Selle et la Bergerie de Peyre Rouge.

L'orientation du dièdre constitué par les deux familles varie d'un bloc à l'autre. Cela permet de mettre en évidence des rotations différentielles entre les blocs. Il reste deux problèmes à résoudre : trouver le sens de rotation et l'orientation des deux familles de fractures avant qu'ait eu lieu la rotation. On fait l'hypothèse que les rotations ont une intensité décroissante quand on s'éloigne du décrochement. On trace un graphique sur lequel chacun des blocs est représenté par un point dont la disposition est fonction :

- de la distance du bloc au décrochement
- de la direction pour ce bloc de la famille de fractures qui pour l'ensemble des blocs varie entre N 80 E et N 130 E (c'est elle qui est la mieux représentée).

On reporte de cette façon les points représentatifs de l'ensemble des blocs. Ces points s'organisent de telle manière que la valeur de la rotation diminue à peu près linéairement quand on s'éloigne du décrochement. Cela implique pour la rotation un sens dextre et on peut avoir au moins une idée de l'orientation « ante rotation » des fractures qui affectent les blocs. Elle doit être voisine de N 70 E pour la famille étudiée et par conséquent de $N 70 + 90 = 160 E$ pour la seconde famille. Ce sont en tous cas les valeurs que l'on trouve loin du décrochement dans une zone où l'on peut espérer que la rotation est négligeable.

La méthode graphique que l'on a utilisée appelle plusieurs commentaires :

- plusieurs points aberrants apparaissent. Ils s'expliquent par une géométrie propre à certains blocs qui subissent de ce fait une rotation anormalement grande. On peut à ce propos donner l'exemple d'un bloc situé à proximité du Pas de la Selle.

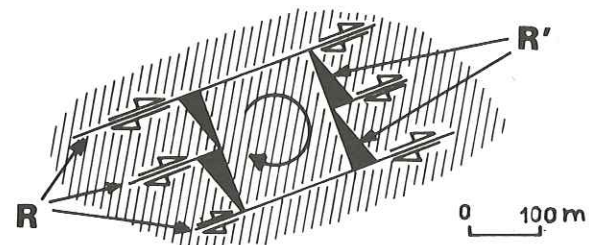


Fig. 119 : Interprétation de la rotation des blocs « anormalement grande » de l'un des blocs.

- On peut en extrapolant la droite moyenne, trouver une valeur de la rotation au niveau du décrochement lui-même. Cette rotation serait dans ce cas de $160 - 70 = 90^\circ$.

On peut schématiser ce qui a dû être la position des fractures avant la rotation.

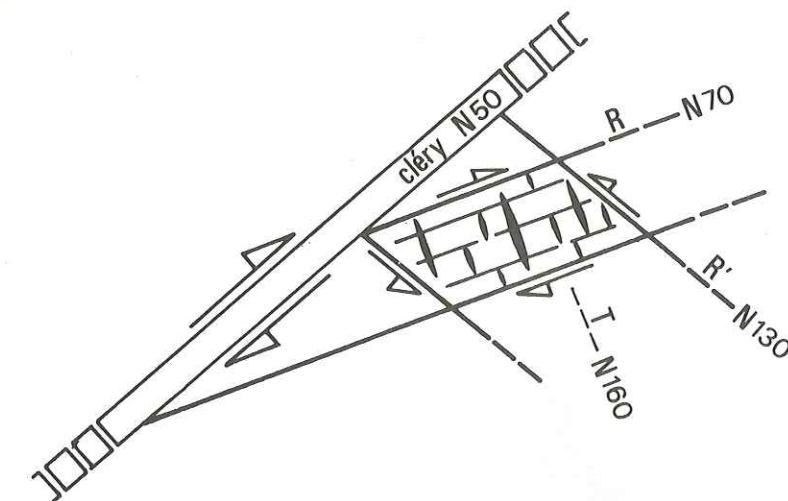


Fig. 120 : Interprétation de la fracturation de la zone Peyre Rouge, Pas des Bachassons, Pas de la Selle.

L'origine mécanique de ces deux familles est difficile à déterminer. Les fractures de la famille N 70 E semblent bien être des Riedel R du décrochement majeur du même ordre que ceux qui délimitent les blocs. Une fracturation dense de type Riedel R est d'abord apparue ; puis suivant quelques fractures un glissement important a bien eu lieu (ce sont les fractures qui délimitent actuellement les blocs) alors que les autres Riedel R ont été entraînés par la rotation générale du bloc, sans glissement notable dans leur plan. Quand aux fractures de la famille N 160 E peut-être traduisent-elles l'étirement des blocs dont la forme est surtout allongée parallèlement aux Riedel R. Quelques une de ces fractures sont d'ailleurs remplies de calcite. Les fractures qui délimitent les blocs, aussi bien les Riedel R N 70 majeurs (siège de glissements importants) que les Riedel R' N 130 n'ont pas subi de rotation. On remarque que la fracturation R' est ici moins pénétrative que la fracturation R puisque contrairement à cette dernière on ne la retrouve pas à l'intérieur des blocs à l'échelle des mesures de terrain. Les résultats auxquels on est conduit par cette méthode graphique sont assez vraisemblable dans la mesure où l'on trouve à peu près la fracturation que l'on avait décrite de l'autre côté du décrochement dans la zone du Roc Mazilier laquelle n'aurait donc pas subi de rotation.

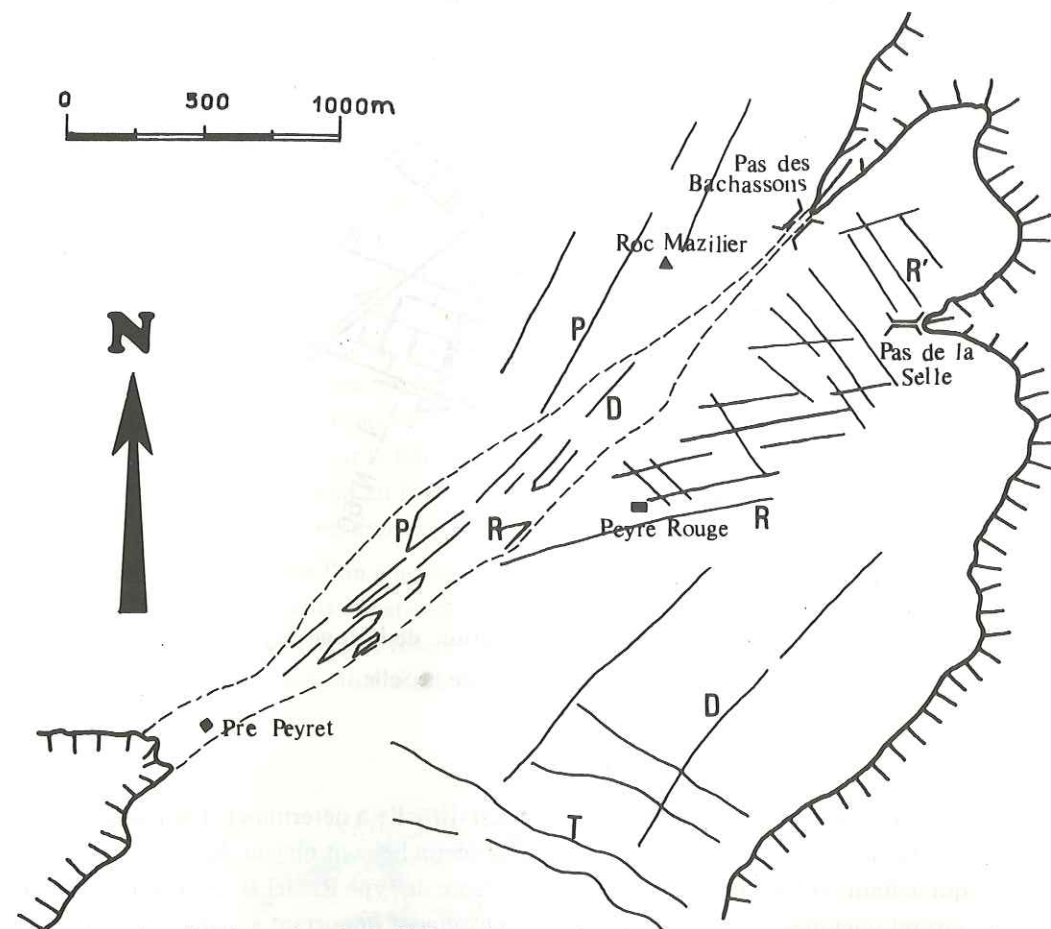


Fig. 121 : Schéma récapitulatif de la fracturation dans le secteur de la Cléry.

III - RÉSULTATS DES FILTRAGES OPTIQUES : INTERPRÉTATION ET COMPARAISON

A partir du relevé sur photos aériennes des réseaux de fractures des décrochements de la Cléry (Fig. 94) et du Jasneuf (Fig. 105) on a effectué une mesure de densité des familles au moyen de la méthode du filtrage optique.

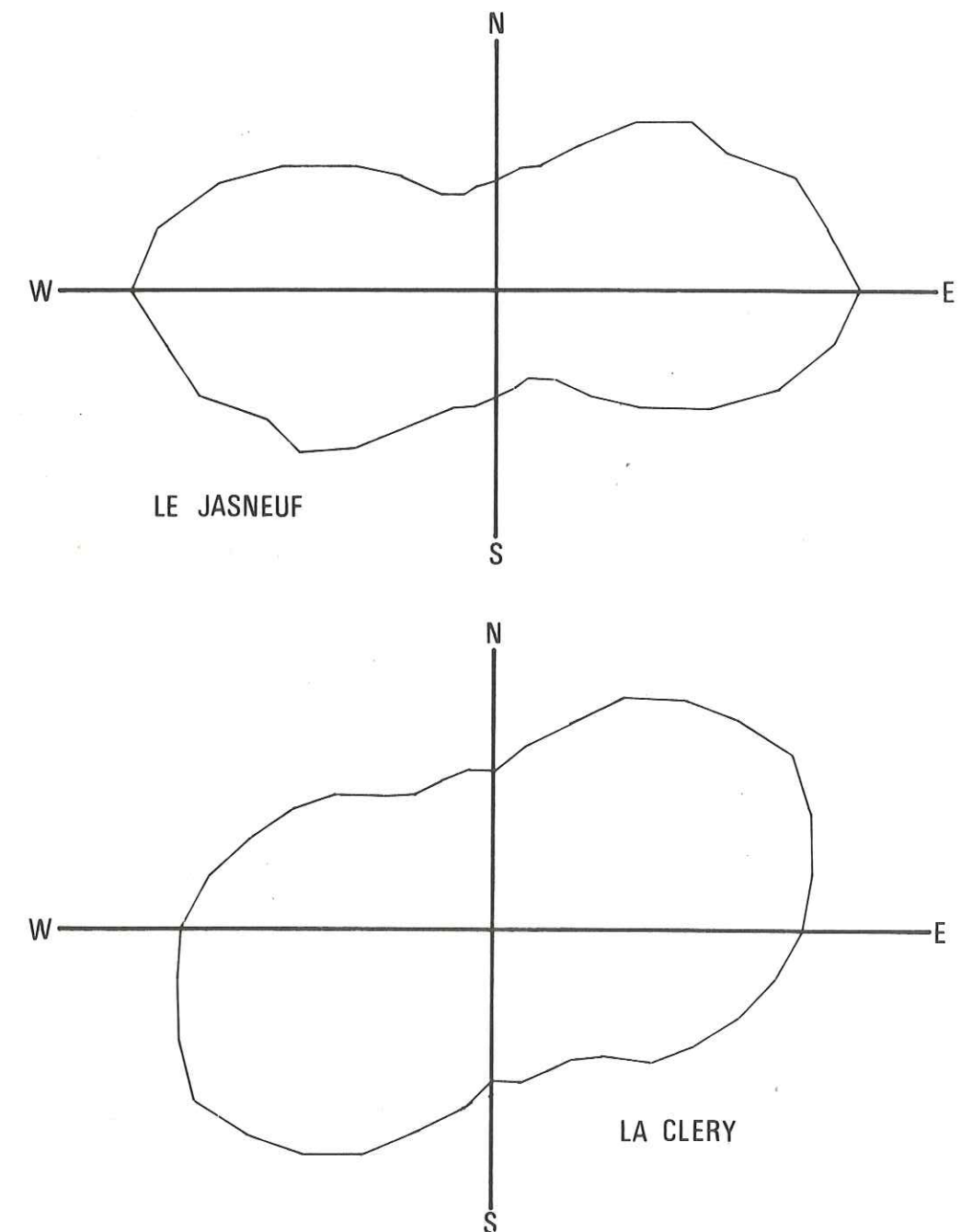


Fig. 122 ; Rosaces résultant du filtrage optique (Méthode I.F.P.)

Les rosaces des filtrages optiques représentent la courbe enveloppe des intensités lumineuses correspondant au nombre de fractures selon les différents azimuts. Elles sont donc représentatives de la fracturation totale des deux secteurs Jasneuf et Cléry. Elles ont un aspect général voisin en ce sens que leur enveloppe est lisse et qu'elles paraissent ne mettre en évidence qu'un seul pic majeur chacune.

La rosace Jasneuf présente un pic majeur N 90 E. et un pic annexe N 50 E. Cela traduit le fait que la fracturation associée au décrochement est surtout constituée par des fractures de type T et D. Cela n'exclut d'ailleurs pas la présence des autres familles (P, R, R',) qui, pour la dimension et l'échelle prise en compte par la photo aérienne sont moins nombreuses.

La rosace Cléry indique clairement une direction préférentielle N 60 E et on a une répartition assez homogène des directions de fracturation de part et d'autre de ce pic. Le décrochement de la Cléry est surtout accompagné par des fractures de type D et R.

On peut noter que du Jasneuf à la Cléry on a une disparition des fractures d'extension T au profit des Riedel R. C'est ce qui explique la symétrie plus grande de la rosace Cléry, et aussi son orientation moyenne plus proche du grand décrochement cartographique. La différence qui existe entre la fracturation des deux secteurs peut s'interpréter par une différence de comportement entre les deux roches affectées. Dans l'ensemble les calcaires que l'on trouve au Jasneuf sont plus compétents que ceux de la Cléry qui deviennent très marneux par endroits. Aussi n'est-il pas très surprenant que le comportement des calcaires du Jasneuf soit plus fragile que celui des marno-calcaires de la Cléry. Il s'ensuit qu'au Jasneuf les fractures d'extension T (caractéristiques d'un comportement fragile) sont relativement plus abondantes qu'à la Cléry et qu'inversement les fractures avec glissement (caractéristiques d'un comportement pseudo-plastique) sont plus nombreuses à la Cléry qu'au Jasneuf.

Dans les deux cas les fractures de la famille D sont bien représentées. Ce résultat était assez prévisible dans la mesure où on trouve la direction de la fracture majeure du secteur. Mais on aurait pu penser que cette direction coïnciderait avec le pic majeur des deux rosaces. Si cela n'est pas, c'est qu'il existe dans les directions de fracturation associées à un décrochement une dissymétrie par rapport au plan majeur du glissement et qui caractérise le sens de celui-ci.

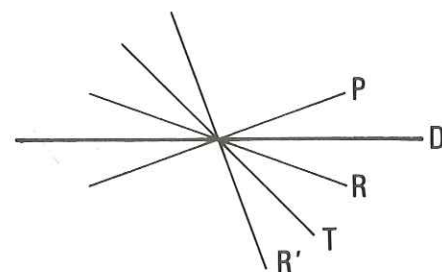


Fig. 123 : Fracturation associée à un décrochement dextre. Mise en évidence de la dissymétrie existant de part et d'autre du décrochement.

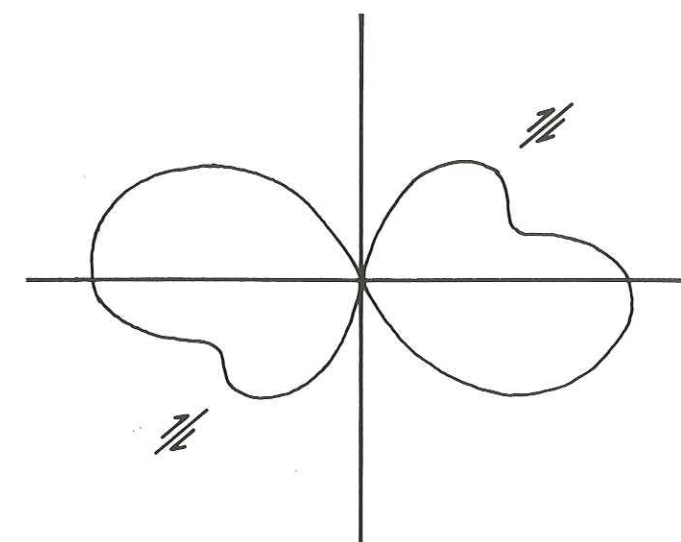


Fig. 124 : Rosace théorique des fracturations associées à un décrochement N 50 E dextre.

Pour les deux rosaces les proportions de fractures mineures dérivées du décrochement sont tout à fait comparables à celles qui ressortent d'un schéma théorique. C'est la raison pour laquelle au Jasneuf, la dissymétrie par la plus grande abondance des fractures T entraîne aussi un décalage du pic des maxima.

Ce résultat peut paraître banal dans le cas où nous nous trouvons où le sens de décrochement est connu. Mais cette dissymétrie sur une zone de fracture majeure peut être utile pour déterminer un sens de mouvement sur des failles quelconques au sens de mouvement moins évident. Soulignons enfin qu'une telle étude montre que le comptage en histogrammes de fréquences des directions de fractures peut être illusoire, dans la mesure où ce n'est pas la direction de faille majeure (cartographiable) qui ressort.

Chapitre V

FRACTURATION DU SYNCLINAL DENT DE CROLLES - GRANIER (CHARTREUSE ORIENTALE)

Le massif de la Chartreuse est limité au Sud par la cluse de l'Isère et il s'étend vers le Nord jusqu'à celle de Chambéry. C'est l'un des massifs sub-alpins externes des plus typiques. Son architecture étudiée récemment par M. Gidon dans plusieurs articles peut être schématisée comme suit :

- plis à grand rayon de courbure, de direction subméridienne
- fractures directionnelles à tendance d'autant plus chevauchante vers l'Ouest que l'on s'adresse à des structures plus méridiennes.
- fractures SW-NE qui recoupent les structures précédentes et qui sont essentiellement décrochantes dans le sens dextre.

La bordure orientale de ce massif le long du Grésivaudan, entre la Dent de Crolles au Sud et le mont Granier au Nord, est constituée par une vaste gouttière synclinale perchée. C'est la fracturation de cette structure, longue d'environ 20 km, que l'on a choisi d'étudier aux abords des failles décrochantes dextres. Ce synclinal a la forme d'une auge à fond plat dont les bords se relèvent avec des pentages de 10 à 30°. L'ensemble a une largeur moyenne de 2 km. Par endroits, surtout dans la partie sud, il a été fortement attaqué par l'érosion et seul l'un de ses flancs subsiste, la largeur est alors plus faible (à peine 1 km).

Des calcaires Urgonien typiques constituent l'ossature de la structure et c'est dans ces calcaires que la fracturation a été analysée. Ils se prêtent bien à une telle étude car ils affleurent largement et en dépit de l'élargissement fréquent des fractures par des phénomènes de dissolution (lapiaz, et karstifications diverses) les mesures d'orientation des plans de fractures que l'on peut faire sont de bonne qualité.

Après avoir présenté les trois grandes failles cartographiées qui recoupent le synclinal on décrira sa fracturation en utilisant le plan et les méthodes présentées au chapitre III.

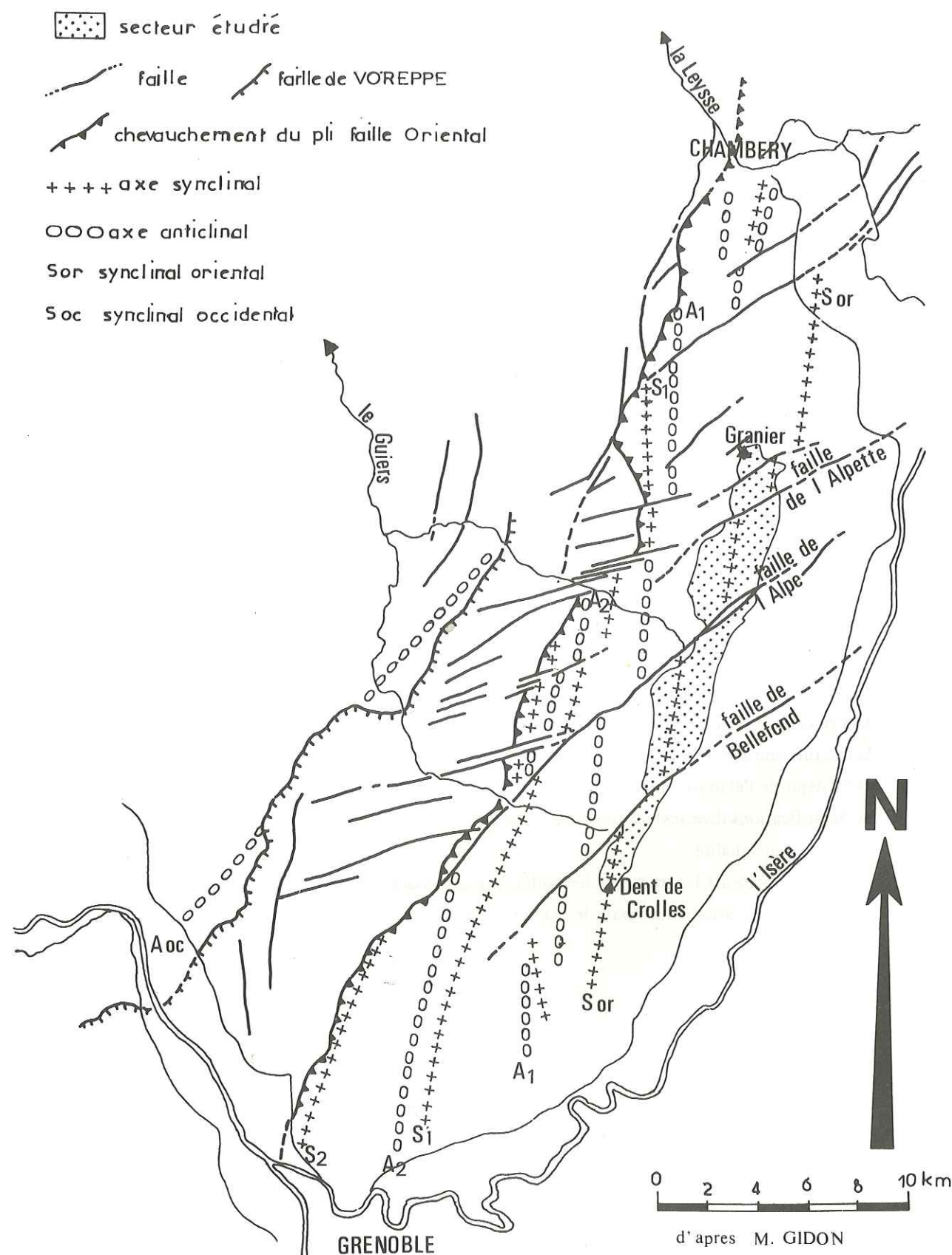


Fig. 125 : Localisation des principaux éléments de la tectonique du massif de la Chartreuse.

I - PRESENTATION DES GRANDS DÉCROCHEMENTS

J. Goguel a le premier reconnu et décrit les grandes failles obliques de la Chartreuse (Goguel 1948). Plus tard M. Gidon (1964 et 1966) au cours de son étude du massif en a repris la description. Il a en particulier redessiné le tracé de la faille de Bellefond, prouvant ainsi qu'on ne pouvait la dissocier des failles plus septentrionales de l'Alpe et de l'Alpette.

A - LA FAILLE DE BELLEFOND

C'est le plus méridional des grands décrochements du synclinal de la Chartreuse. On peut le suivre depuis le Sud de Chamechaude vers l'Ouest jusque dans la plaine de l'Isère vers l'Est où il disparaît sous les alluvions. Il a en moyenne une direction N 40 E mais il se réfracte en traversant le synclinal et il prend alors une direction N 50 E. Son rejet essentiellement horizontal décale l'axe du pli d'environ 1 500 m selon M. Gidon (voir figure 125) dans le sens dextre, si bien que les deux flancs opposés du synclinal sont mis dans le prolongement l'un de l'autre au niveau du décrochement. Un lambeau de Sénonien a été conservé à cheval sur les deux compartiments et de ce fait une partie du décrochement est masquée, aucune mesure n'a été faite dans ces calcaires Sénonien dont on peut toutefois noter la fracturation très dense qui va jusqu'à leur donner par endroits un aspect broyé. Le rejet vertical est pratiquement nul puisque le sommet de l'Urgonien est à peu près à la même altitude de part et d'autre de la faille. De plus presque toutes les stries observées sont à peu près horizontales.

B - LA FAILLE DE L'ALPE

Depuis le Sud du Couvent de la Grande Chartreuse on peut la suivre vers le NE jusqu'au col de l'Alpe et à partir de là elle s'amortit rapidement puisqu'elle ne décale pratiquement pas la corniche Tithonique située immédiatement à l'Est. Cette faille a une direction moyenne N 50 E. Elle a un rejet horizontal dextre de 1000 m selon M. Gidon et le compartiment sud est abaissé verticalement de 100 m. En traversant le synclinal le décrochement se divise en deux branches qui isolent la dépression du vallon de Pratecel. Cette dernière a 1500 m de long sur 100 m de large et à l'intérieur affleurent des calcaires d'âge Sénonien complètement broyés et recristallisés qui sont affectés par une schistosité parallèle au décrochement. Cette disposition est tout à fait comparable à celle que l'on a

décrite sous de plus petites dimensions dans le Vercors : des blocs peu déformés s'affrontent par l'intermédiaire de couloirs de glissements où la déformation est plus intense. Une conséquence est que les bordures des blocs sont constituées par de très beaux plans de glissement qui ne portent pas de stries, le matériau de remplissage ayant joué le rôle d'une poudre de polissage. En haut du vallon de Pratcel sur sa rive gauche on peut noter la présence d'une petite écaille chevauchante dont la signification tectonique reste peu claire.

C - LA FAILLE DE L'ALPETTE

C'est le plus septentrional de tous les décrochements étudiés. Déjà bien individualisé dans l'anticlinal chartreux médian cette faille traverse toute la Chartreuse orientale et se retrouverait même au delà de la cluse de Chambéry dans le massif des Bauges.

Elle traverse le synclinal oriental suivant une direction N 6 OE et décroche son axe dans le sens dextre d'environ 1500 m selon la carte de M. Gidon. L'observation de l'altitude de l'axe de part et d'autre de la faille permet de mettre en évidence un affaissement de 100 m du compartiment sud.

II - LA FRACTURATION A L'ECHELLE DE LA PHOTO AERIENNE.

La fracturation hectométrique est relevée grâce à trois photos aériennes. Elles ont été sélectionnées de façon à ce que les grands décrochements décrits précédemment soient représentés et aussi pour la qualité des observations qu'elles permettent de faire. Elles couvrent donc les secteurs de Bellefond, de l'Alpe et de l'Alpette. Elles représentent environ 70 % de la surface totale du synclinal.

Les fracturations relevées sur ces photographies d'avion ont été analysées par filtrage optique, suivant la technique décrite précédemment. Les résultats obtenus sont les suivantes :

A - RESULTATS DE L'INTERPÉTATION PHOTOGÉOLOGIQUE

1 - Secteur de Bellefond

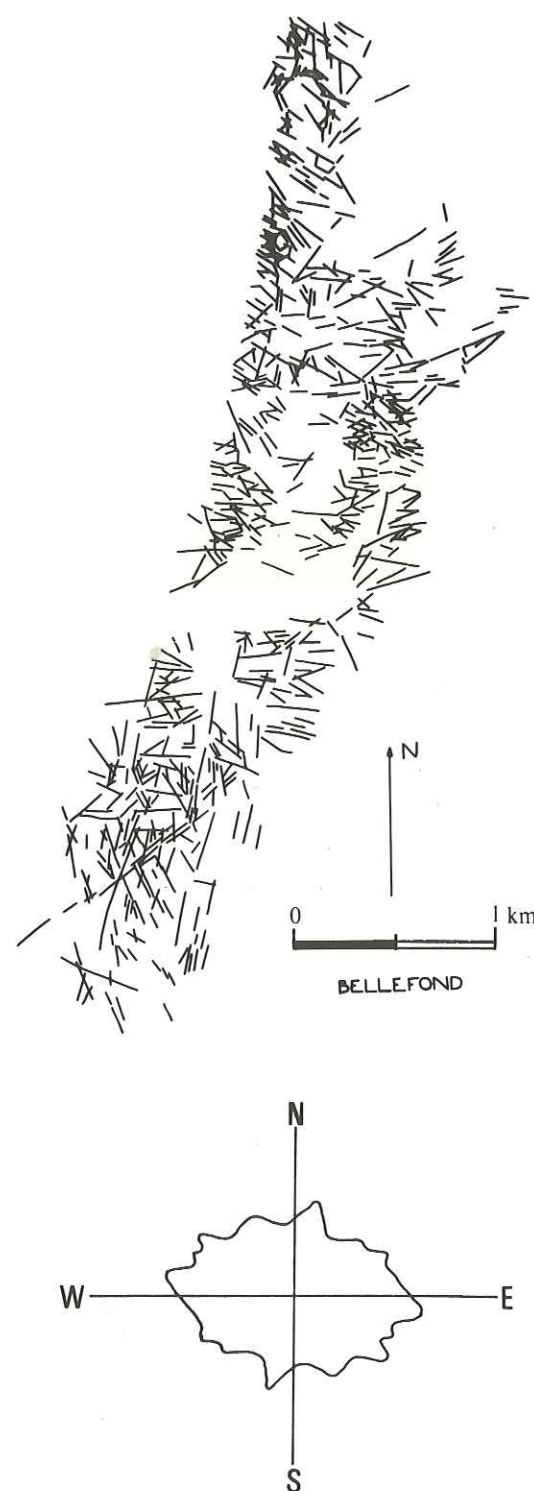


Fig. 126 : Schéma interprétatif et rosace résultant du filtrage optique (méthode Lab. hydrogéologie de Montpellier).

2 - Secteur de l'Alpe

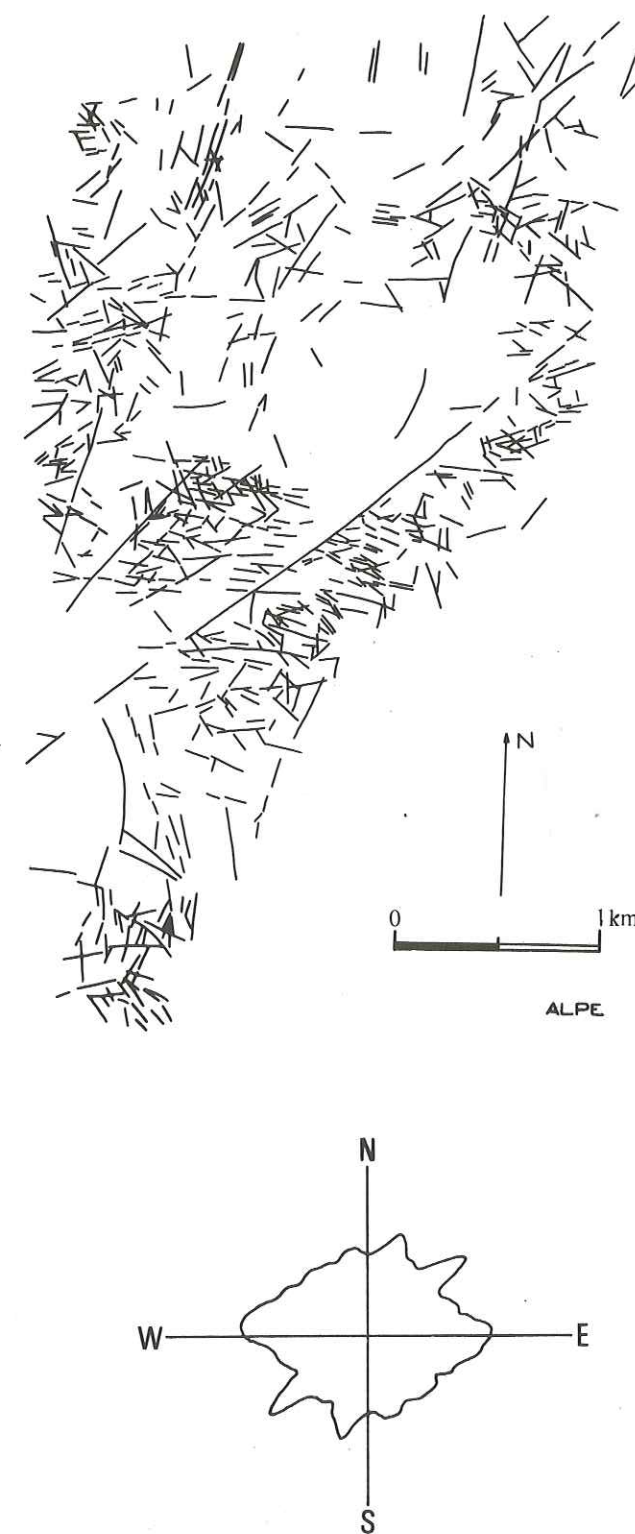


Fig. 127 : Schéma interprétatif et rosace résultant du filtrage optique (méthode Lab. hydrogéologie de Montpellier).

3 - Secteur de l'Alpette

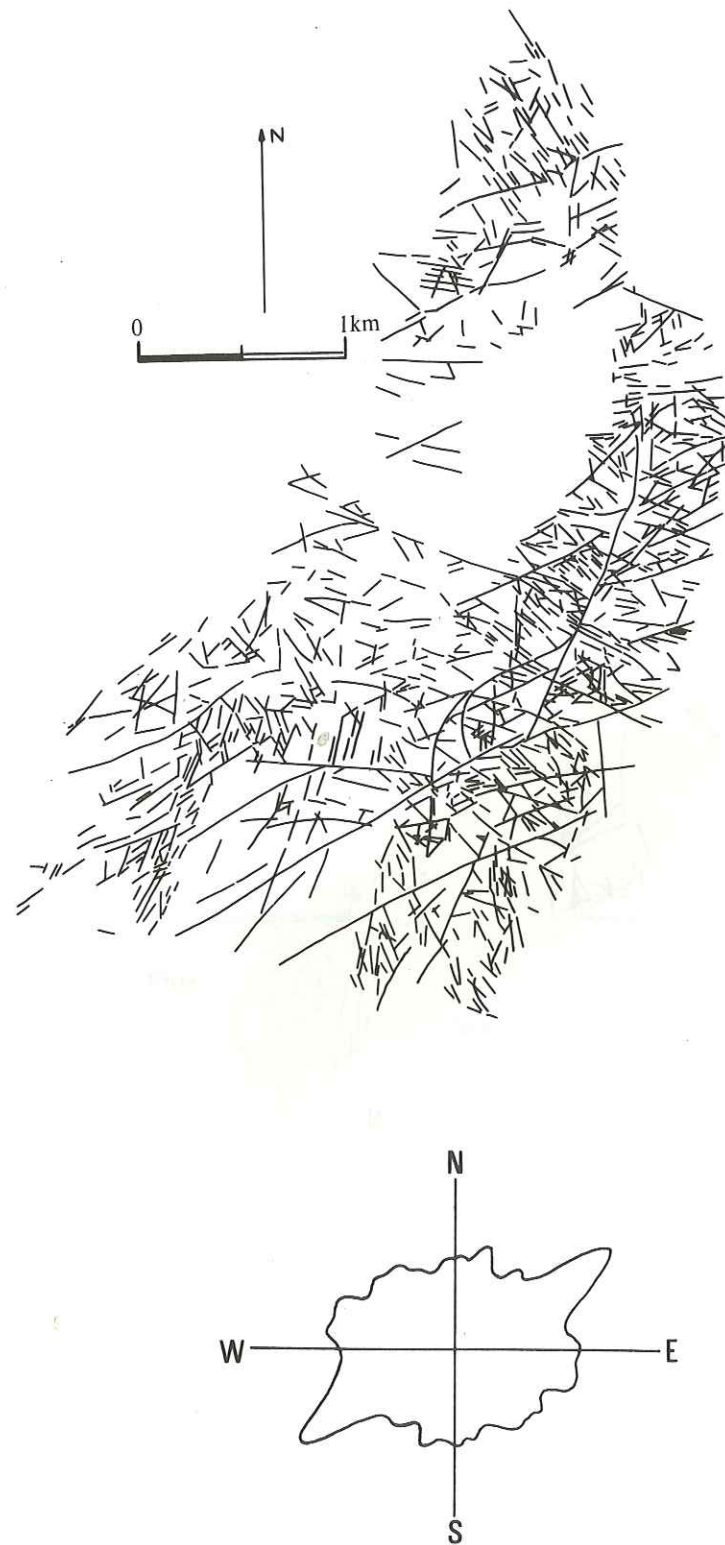


Fig. 128 : Schéma interprétatif et rosace résultant du filtrage optique (méthode Lab. hydrogéologie de Montpellier).

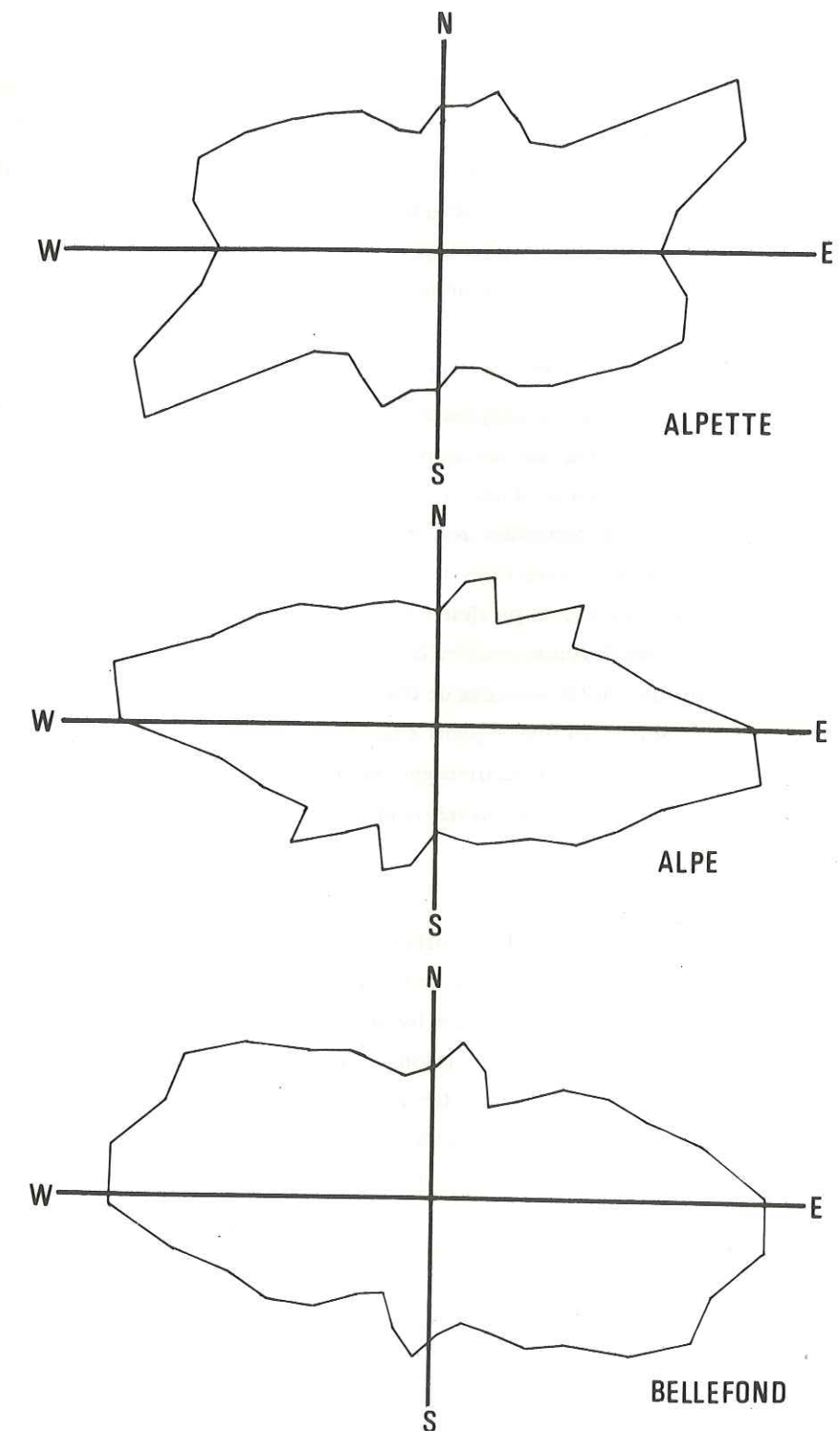


Fig 128 bis Rosaces résultant des filtrages optiques
Méthode I F P

B - FAMILLES MISES EN ÉVIDENCE.

I) Famille N 15 - 20 E.

Les trois rosaces présentent un pic pour cette direction. Les fractures de cette famille se rencontrent un peu partout sur la surface du synclinal ce sont des failles parallèles à la direction axiale du pli, mais elles sont particulièrement bien développées en quelques endroits.

- immédiatement au Sud du décrochement de Bellefond
- sur le plateau Alpe-Alpette où elles jalonnent le raccord entre le fond plat du synclinal et son flanc ouest
- à mi-hauteur du flanc est dans le secteur de l'Alpette.

Ces fractures ont souvent des rejets appréciables. Au Sud du décrochement de Bellefond, c'est toujours le compartiment Ouest qui est abaissé ; elles se traduisent alors dans la morphologie par une cascade de petites falaises d'une dizaine de mètres qui contribuent à accentuer le dessin du flanc Est du pli, le pendage restant faible.

Dans le secteur Alpe-Alpette les fractures de cette famille ont un sens du mouvement inverse, et toujours sur le flanc oriental du pli c'est cette fois le compartiment Est qui est abaissé.

Le pic représentant cette direction a sur les trois rosaces approximativement la même taille. On peut en conclure que la densité moyenne de ces fractures ne varie pas du Sud vers le Nord, quand on se déplace longitudinalement par rapport à la structure. Ce type de fractures parallèles à l'axe du pli est bien connu car il accompagne fréquemment les structures plissées. Elles représentent des ruptures de voute pour un matériau très compétent. Il s'agit de la famille dite «longitudinale».

2) famille N 50 - 60 E.

Les pics qui la soulignent sont d'inégale importance. Cette fracturation, discrète dans la partie sud du synclinal, devient tout à fait prépondérante dans sa partie nord :

- dans le secteur de Bellefond ce sont des fractures courtes et peu nombreuses
- dans le secteur de l'Alpe elles sont plus longues mais guère plus nombreuses.
- dans le secteur de l'Alpette elles sont très longues (deux d'entre elles traversent pratiquement tout le synclinal) et elles ont une densité élevée.

Il est possible pour quelques unes d'entre elles de mettre en évidence un rejet horizontal dans le sens dextre.

Cette fracturation est évidemment à mettre en relation avec les grands décrochements

cartographiques décrits précédemment. Elle est constituée par des fractures de type D (Alpette) et par des fractures R (à Bellefond présence d'un pic à N 65 E)

La densité plus grande de ces familles de fractures dans la zone Nord du synclinal (par rapport à la partie Sud) est à souligner.

3) Famille N 80 - 120 E

Elle est soulignée dans les trois cas par des pics peu élevés mais très larges. C'est une famille mal réglée constituée de fractures courtes dont la densité est plus importante au voisinage des grands décrochements.

Leur rejet, quand on peut le voir, est vertical et il se fait dans les deux sens abaissant tantôt le compartiment nord, tantôt le compartiment sud.

On peut les interpréter comme étant des fractures d'extension plus ou moins perpendiculaires à l'axe du pli. Leur nombre élevé s'explique dans le cas présent par le fait qu'il y a coïncidence entre les directions des fractures d'extension associées :

- au plissement et qui sont situées à 90 ° de l'axe du pli (soit ici, pour une direction axiale N 10 E, des fractures T à N 100 E).
- au décrochement et qui font avec la direction de celui-ci un angle de 45 °. (soit ici, pour des décrochements N 50 dextres une famille T à N 95 évoluant en fractures sigmoïdes jusqu'à N 120 E)

La dispersion des directions pour cette famille nous permet d'envisager, au moins pour un certain nombre de fractures, une rotation de 20 à 25°.

III - MESURES DE TERRAIN

Trois types de mesures ont été relevées concernant :

- la stratification
- la fracturation
- les stries portées par les fractures.

A - LES MESURES DE STRATIFICATION

Elles sont souvent difficiles à prendre car les surfaces de bancs sont rendues très irrégulières par la karstification toujours intense des affleurements. De plus les pendages étant faibles, l'incertitude sur les mesures est grande.

De ce fait aucune construction axiale à partir des plans de stratification n'a pu être effectuée. L'axe du pli a été déterminé à partir des levés cartographiques. Compte tenu de l'imprécision de ce mode de mesure, il n'a pas été possible de distinguer, sur les différents tronçons découpés par les décrochements successifs, des variations dans la direction de cet axe qui s'établit en moyenne autour de N 10 E.

B - LES MESURES DE FRACTURATION

Elles sont faites de la façon qui est faite au chapitre III, page 64 . On a déjà souligné à ce niveau les nombreuses possibilités d'erreurs qui pouvaient intervenir dans la prise des mesures. En effet, on ne maîtrise que partiellement le prélèvement de l'échantillon et, de ce fait, on court toujours le risque de travailler sur des mesures peu représentatives de la réalité.

On présente pour les trois secteurs (Bellefond, Alpe, Alpette) les résultats bruts sous forme de rosaces de directions (en histogrammes de densité de direction).

On en construit une par station . On fait des classes de 10° et pour chacune de ces classes on calcule le pourcentage de plans qu'elle contient par rapport au nombre total de mesures faites pour la station. C'est ce pourcentage que l'on reporte pour construire les rosaces.

Ce mode de représentation, contrairement, aux canevas stéréographiques, ne permet pas de faire apparaître le pendage des plans mais en revanche il visualise mieux les directions majeures. Il n'est d'ailleurs, dans le cas présent, pas très important de tenir compte du pendage des fractures dans la mesure où la plupart d'entre elles sont subverticales. C'est ce qui, d'ailleurs, autorise l'utilisation des histogrammes circulaires.

On représente ensuite, également pour chaque station, la forme du bloc qui a été déterminée automatiquement par le programme de calcul (les rosaces tracées manuellement permettent de situer les orientations des faces des formes de blocs aussi reconnues)

A ce niveau un certain nombre de stations ne seront plus représentées car le programme de calcul ne permet pas toujours de préciser la forme du bloc en raison, par exemple, du trop grand nombre de familles de fractures relevées sur la station considérée.

1) Le secteur de Bellefond

La plupart des formes de blocs déterminées sont des bornes ou des prismes (voir page 57) peu aplatis. Il y aussi quelques prismes allongés , et il apparaît au voisinage du décrochement des formes allongées émoussées (amandes et lentilles).

Il ressort donc que la fracturation fine relevée à la boussole sur des secteurs d'une dizaine de m², est constituée le plus souvent par deux familles dont les directions sont orthogonales ou presque.

Il semble qu'au niveau du décrochement l'angle que font les deux familles entre elles ait tendance à diminuer jusqu'à devenir pratiquement nul.

En ce qui concerne les directions majeures il est difficile d'en reconnaître. Plusieurs orientations préférentielles apparaissent mais aucune n'est vraiment générale sur l'ensemble du secteur étudié. On peut néanmoins citer les directions suivantes :

N O - 30 E
N 50 - 70 E
N 90 - 100 E
N 120 - 140 E

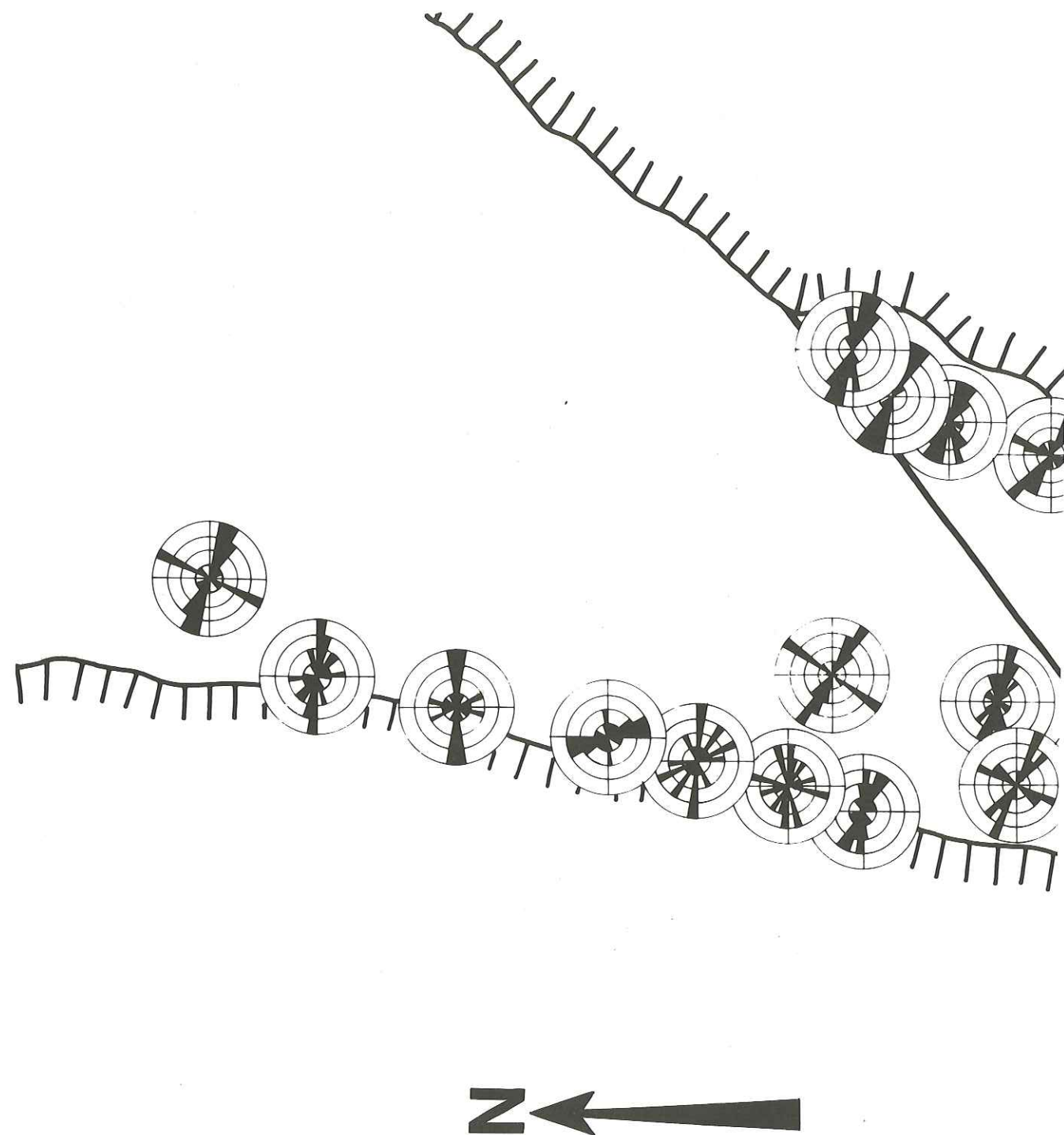
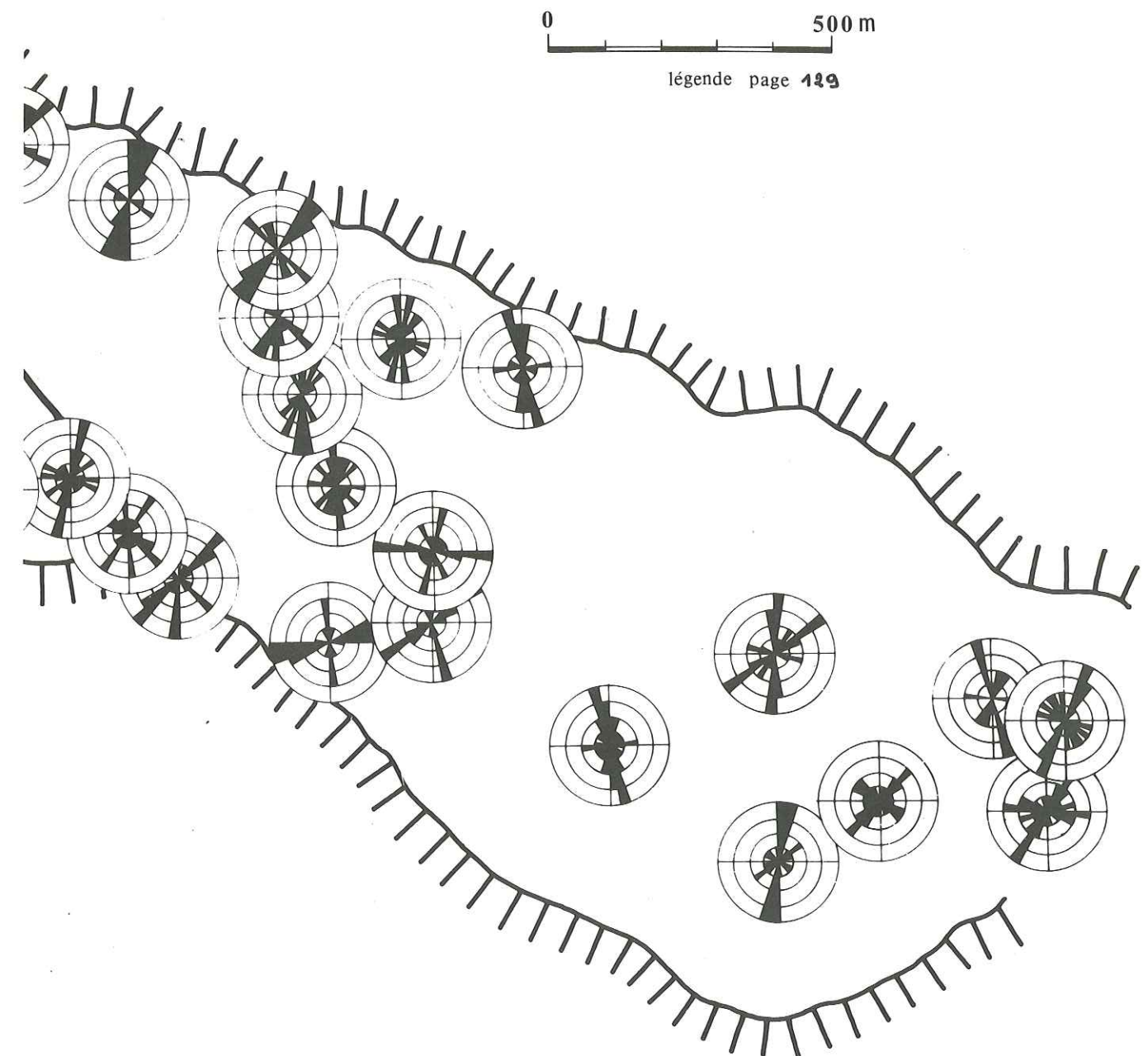


Fig. 129 : Rosaces construites d'après les mesures de terrain faites dans le secteur de Bellefond.



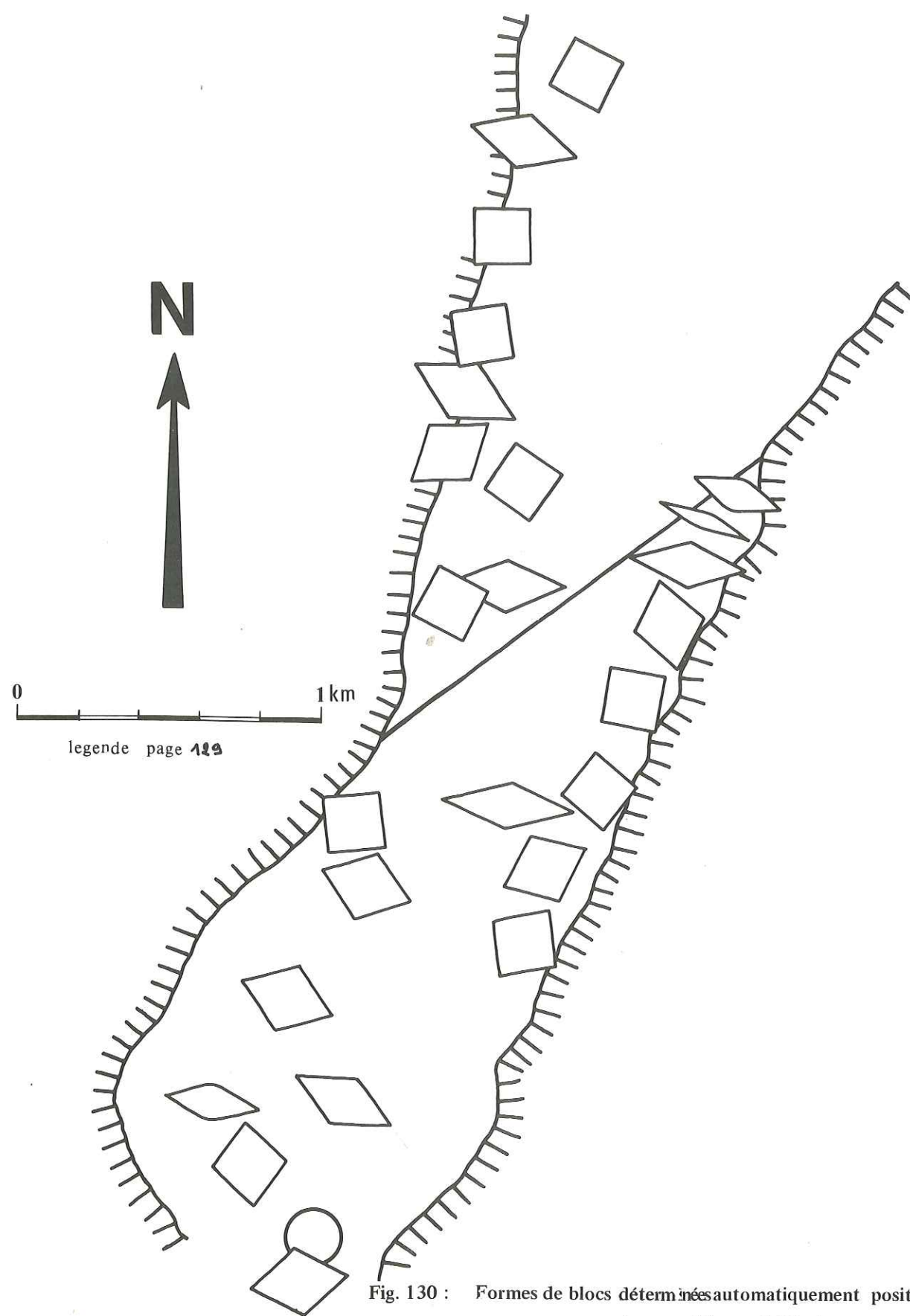


Fig. 130 : Formes de blocs déterminées automatiquement positionnées grâce au schéma précédent.

2) Le secteur de l'Alpe

Ici, ce sont les formes allongées (émoussées ou non) qui sont les plus nombreuses. Toutefois, il y a encore un pourcentage important de bornes et de prismes très peu aplatis. La fracturation est par conséquent constituée par une ou deux familles. Les directions de ces familles sont dans le détail assez confuses mais il est intéressant de noter la direction d'allongement des lentilles, des amandes et des prismes dont la forme est significative. Le grand axe des blocs allongés est, loin du décrochement, en moyenne N 90 E alors qu'à son voisinage il devient N 120-130E.

Il semble bien qu'il y ait eu au niveau du décrochement une rotation des blocs dans le sens dextre d'environ 30°.

En ce qui concerne les autres directions préférentielles ce sont les mêmes que celles qui ont été reconnues à Bellefond.

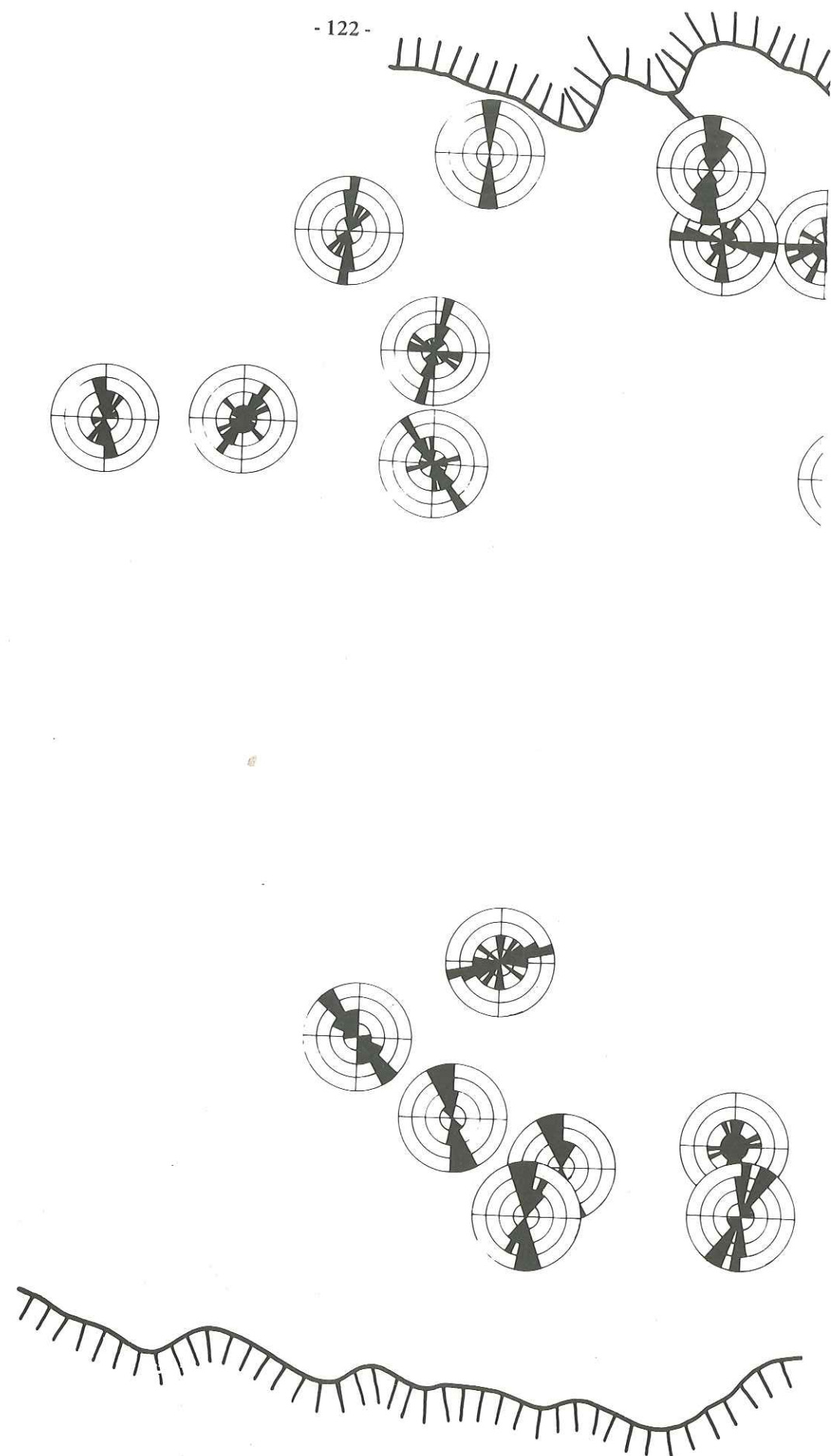
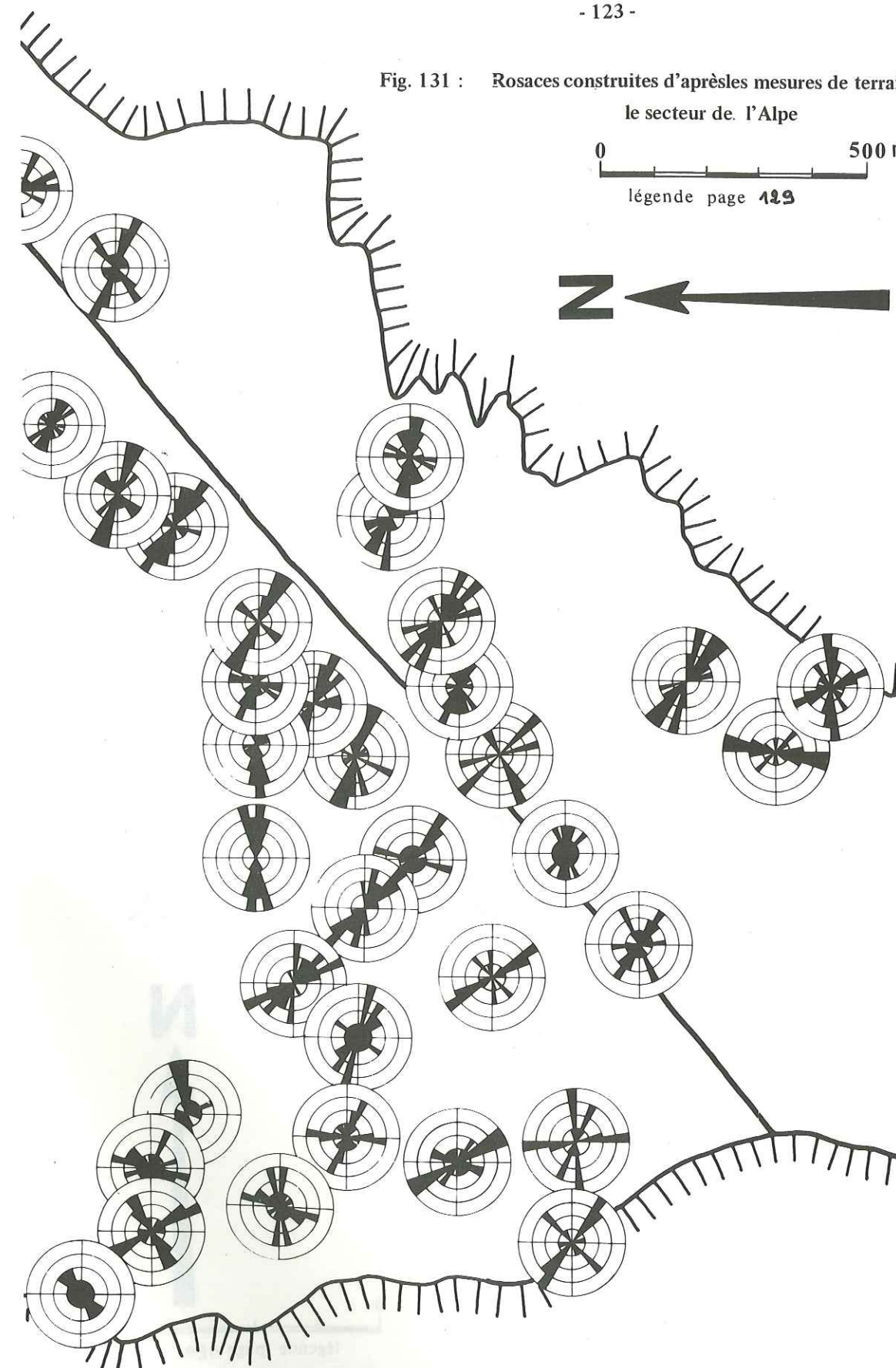


Fig. 131 : Rosaces construites d'après les mesures de terrain faites dans le secteur de l'Alpe

0 500 m
légende page 429



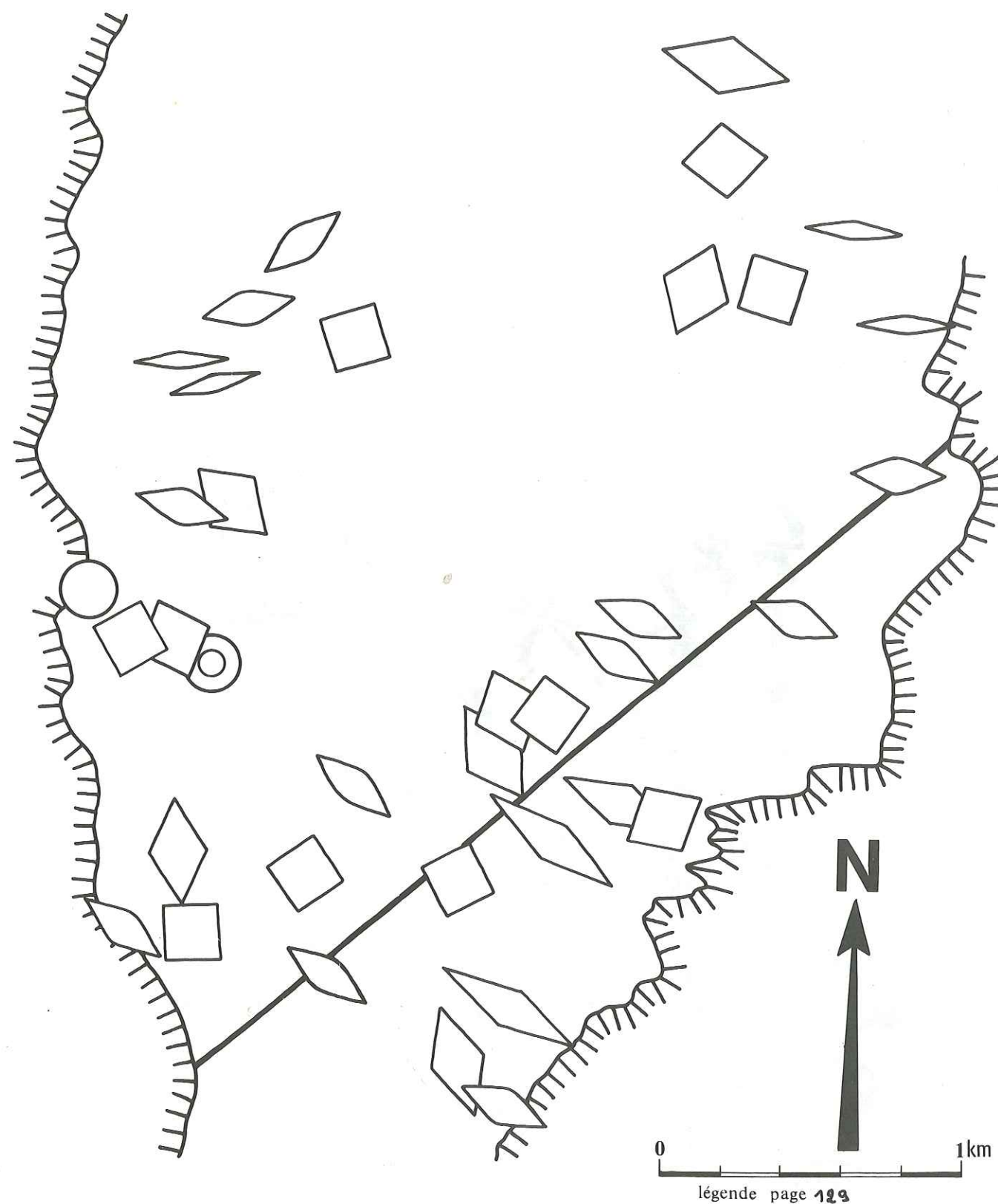


Fig. 132 : Formes de blocs déterminées automatiquement positionnées grâce au schéma précédent.

3) Le secteur de l'Alpette

Dans la partie du synclinal située au Sud du décrochement la direction N 90 E apparaît assez nettement mais alors que sur le flanc Est elle est conjuguée avec la direction N 140 E sur le flanc ouest elle l'est avec la direction N 50 E. C'est ce qu'indiquent les prismes allongés SW-NE sur le flanc ouest alors qu'ils sont SE-NW sur le flanc est.

Il semble, ici encore, que au niveau du décrochement les fractures soient tordues dans une rotation dextre ; la famille N 90 E devient N 135 E (l'allongement des formes est significatif à cet égard).

On remarque dans la partie sud la présence de plusieurs rouleaux cylindriques qui représentent une fracturation sans orientation préférentielle. Sur le Granier on retrouve la famille N 90 E associée à une fracturation N 170 - 180 E.

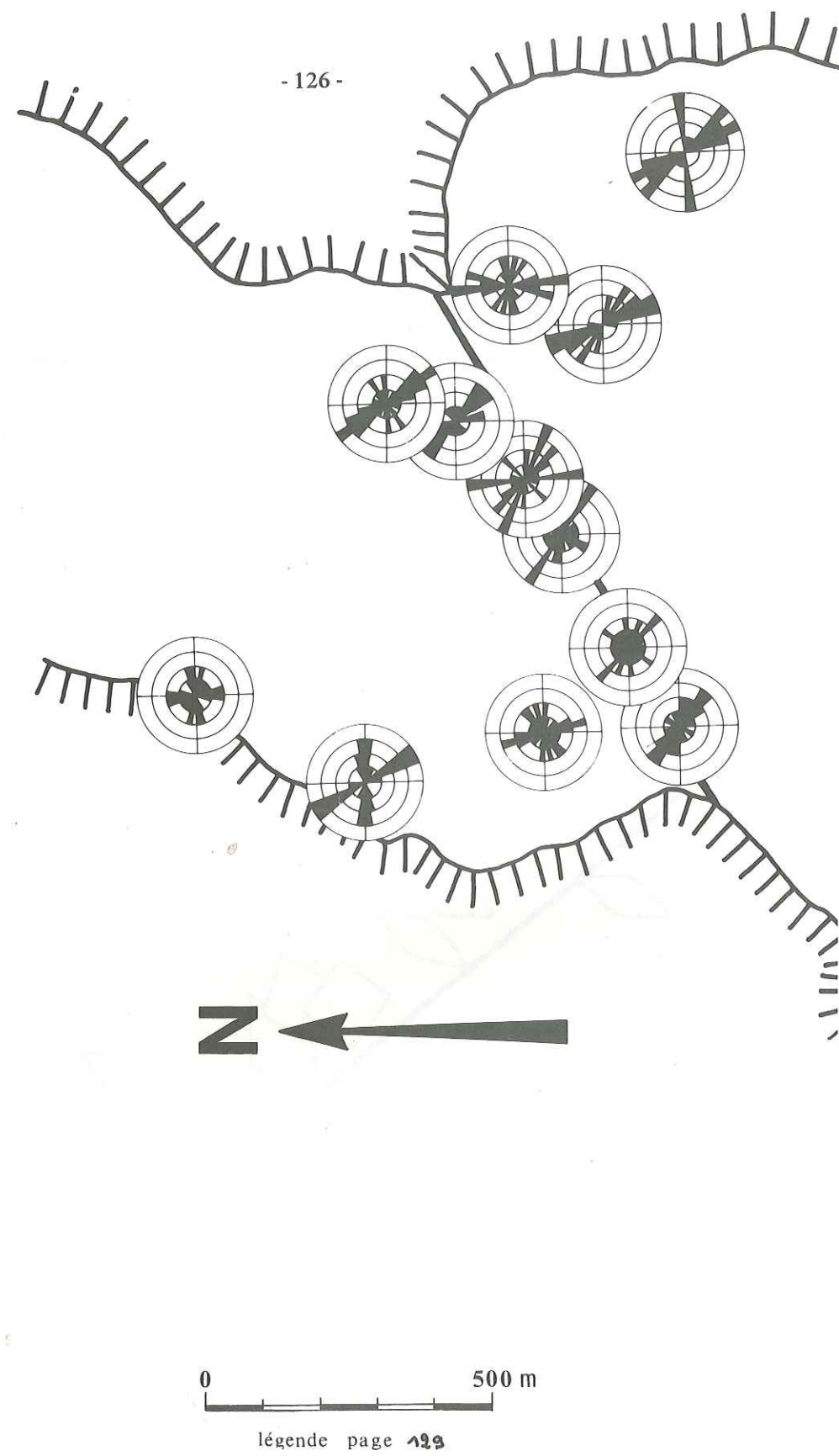
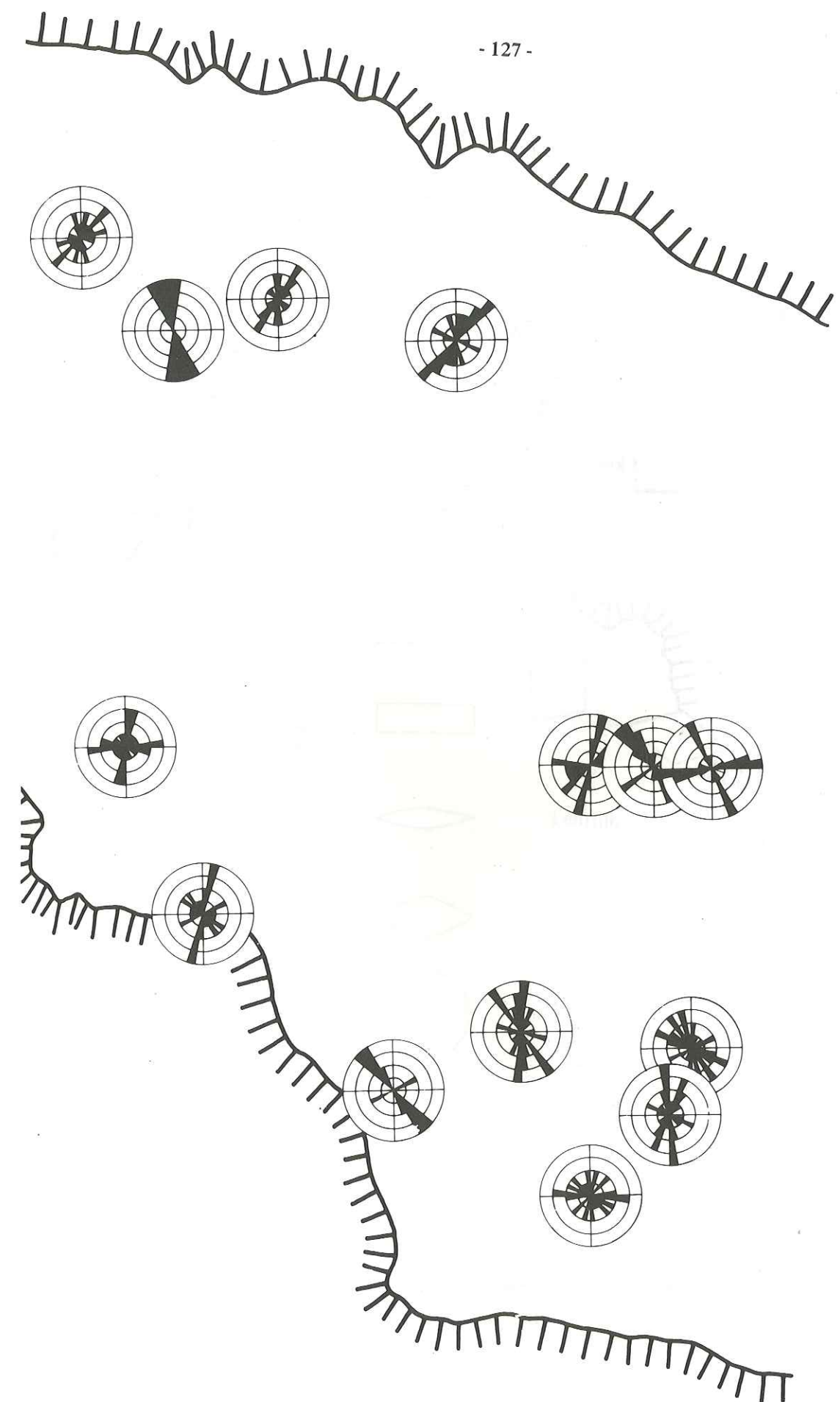


Fig. 133 : Rosaces construites d'après les mesures de terrain faites dans le secteur de l'Alpette.



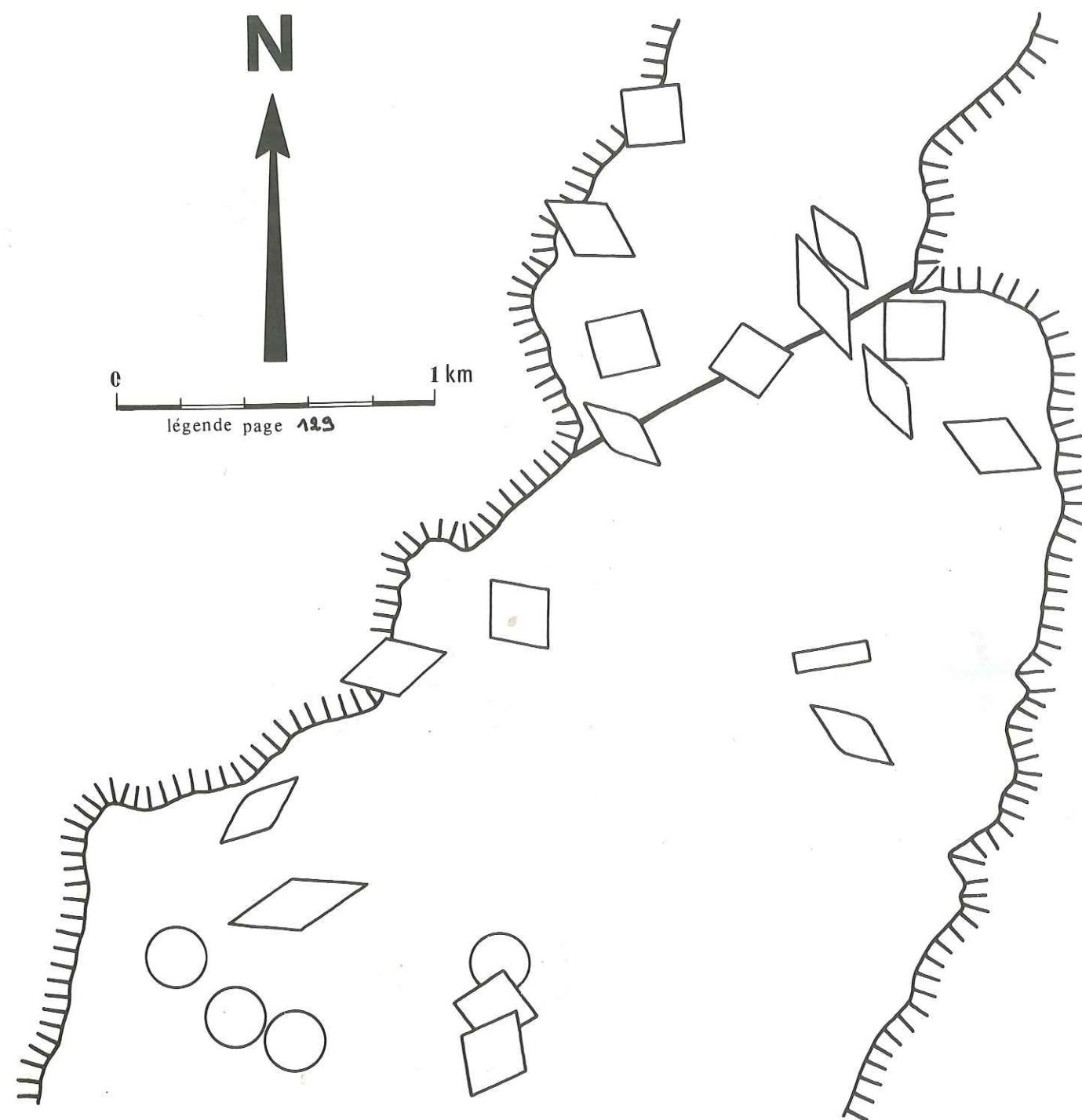
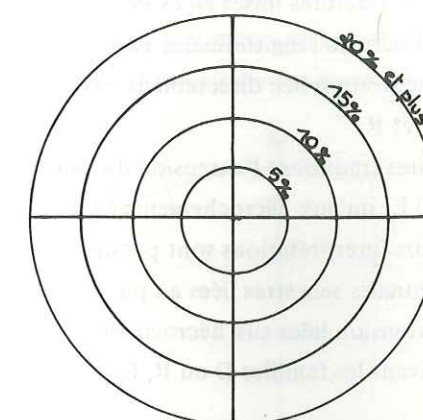
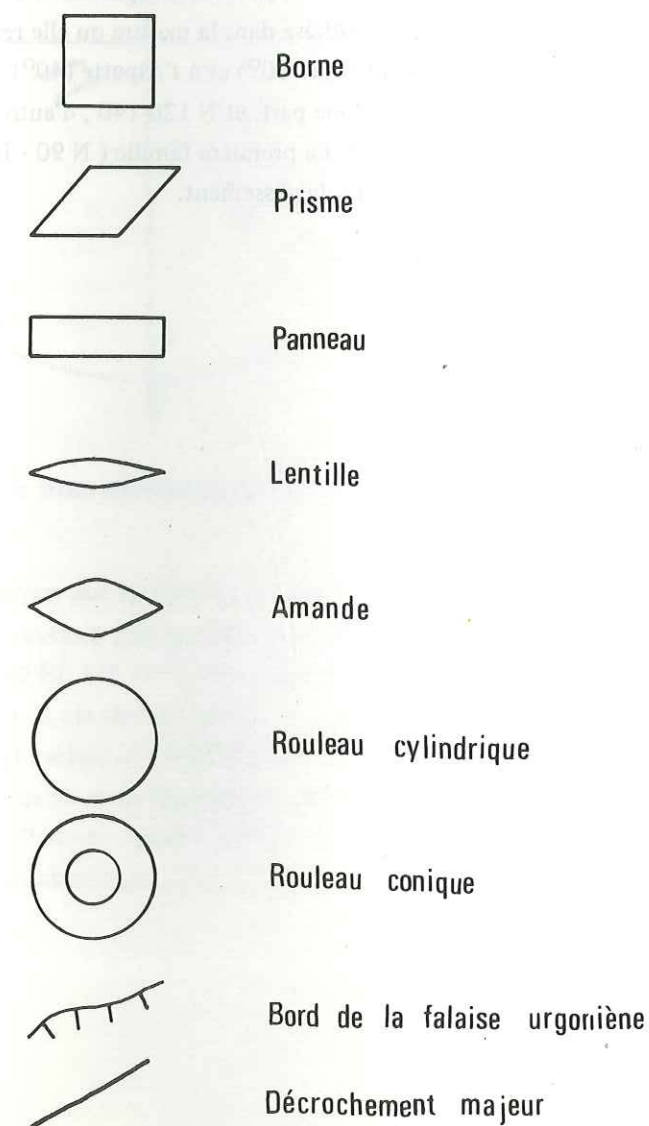


Fig. 134 : Formes de blocs déterminées automatiquement positionnées grâce au schéma précédent.



Rosace des pourcentages des directions de fracturation par station



4) Interprétation de la fracturation fine

On peut envisager pour les familles de fractures mises en évidence l'interprétation suivante :

- famille N 0- 30° E : ce sont les fractures longitudinales associées au pli ;
- famille N 50 - 70° E : c'est la fracturation liée directement aux décrochements avec des fractures de type D et R.
- famille N 90 - 100 E : ces fractures traduisent l'extension due aussi bien au pli (à 90° de l'axe N 10 E) qu'aux décrochements (à 45° de leur direction N 50 E).
- famille N 120-140 E : ici plusieurs interprétations sont possibles : elle peut représenter :
 - soit des fractures diagonales senestres liées au pli
 - soit des fractures d'extension liées aux décrochements ou au pli qui auraient été tordues par les glissements suivant les familles D ou R, (ce qui signifie une rotation de 20 à 40° des systèmes).
 - soit des fractures de type T sur R ayant subi une rotation relativement faible (environ 15°)

On préférera la deuxième hypothèse dans la mesure où elle recoupe les valeurs des rotations de bloc mises en évidence à l'Alpe (30°) et à l'Alpette (40°). On se trouverait donc en présence avec les familles N 90 - 100 d'une part, et N 120-140, d'autre part, de deux étapes successives des mouvements de décrochement. La première famille (N 90 - 100) représenterait aussi les fractures récentes, liées au dernier temps de glissement.

C - LES MESURES DE STRIES

Etant donnée l'intensité des phénomènes karstiques les fractures portent rarement des stries et seul le secteur de Bellefond a permis d'en relever suffisamment pour qu'elles soient significatives

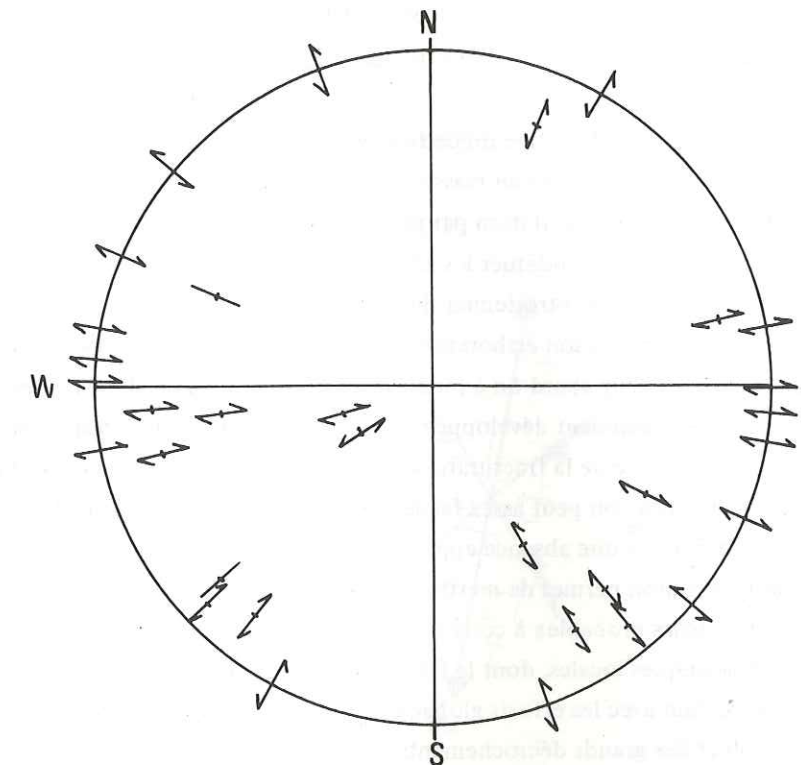


Fig. 135 : Mesures de stries relevées dans le secteur de Bellefond .

Sur ce canevas on peut remarquer que les familles de stries se séparent mal. Les stries indiquant un mouvement dextre sont beaucoup plus nombreuses et se disposent sur un large éventail de N 75 E (et même moins : N 40 E), à N 115 E. Les stries qui représentent un mouvement senestre sont plus rares et sont au-delà de ces chiffres limites. Compte tenu de la position du décrochement majeur (N 50°E dextre), il est évident que les fractures de Riedel R' (à mouvement senestre) ne pourront être situées qu'à partir de la direction N 120° (en admettant les valeurs habituelles) pour les angles séparant les différentes familles D, R et R'). Nous sommes donc bien dans ce cadre et la direction de l'axe Z, raccourcissement maximal fini local aux abords du décrochement, peut donc

être située N 120 E. Il faut cependant souligner la valeur très relative de ce chiffre, car dans le système RR' sur D N 50 E considéré, l'axe Z devrait idéalement être aux alentours d'une direction N 95 E. Mais il faut tenir compte des rotations générales (on voit ici une rotation de l'ordre de $25^\circ \approx 120 - 95$) ce qui entraîne la dispersion notée des fractures à stries (et le mélange éventuel des mouvements dextres et senestres en raison des ouvertures - glissement sur les fractures d'extension tordues).

Il ressort de l'étude de la fracturation fine un certain nombre d'éléments :

- seule la direction N 90 E est générale au massif. Il est probable que ce sont des fractures d'extension étant donnée leur orientation par rapport au pli et aux décrochements. La bonne régularité de cette direction doit indiquer les glissements tardifs dextres sur le décrochement.
- il semble que la fracturation est étroitement liée au plissement et que les décrochements n'ont joué qu'un rôle secondaire dans son élaboration. Ils ne font en effet que tordre les fractures préexistantes et même si à leur abord on a pu observer des fractures de Riedel, elles sont trop peu nombreuses et insuffisamment développées pour apparaître dans des mesures statistiques.

La grande complexité apparente de la fracturation fine du massif n'est pas tellement due à un nombre important de familles : on peut assez facilement faire apparaître des directions majeures dans chaque station, mais il y a une absence apparente de corrélation entre stations, contrairement, à ce que la photointerprétation permet de mettre en relief.

En fait il y a plusieurs causes probables à cette dispersion relative :

Les sollicitations mécaniques locales, dont la fracturation fine est la traduction, peuvent n'avoir qu'un rapport assez lointain avec les efforts globaux qui sont traduits par les orientations cartographiques du pli et des grands décrochements.

Cet effet d'échelle se retrouve au niveau des rotations. L'exemple des fractures d'extension de type T est particulièrement significatif : si l'on admet que ces discontinuités apparaissent à 45° des directions de décrochements (soit environ N 95-100), ou, ce qui revient au même, à 90° de l'axe du pli N 10°E, dans l'évolution ultérieure ces premières fractures sont tordues (formes sigmoïdes habituelles) jusqu'à une direction N 120-130E. Mais dans le même temps, aux abords même des décrochements, des discontinuités T N 95-100 peuvent venir recouper les fractures tordues sous un angle assez fort, alors que loin des glissements l'angle d'intersection peut être plus faible (rotation moindre des premières fractures T apparues). Cette disparité de la torsion se reflète dans la forme des blocs et l'apparente rotation de leur grande diagonale qui ne représente finalement que la torsion des fractures T précoces et leur découpage par les discontinuités T plus récentes. On tient compte ainsi de la grande régularité des familles de fractures N 90 - 100.

CONCLUSION SUR LA FRACTURATION DU SYNCLINAL DENT DE CROLLES - GRANIER.

On a fait l'analyse géométrique des déformations de cette structure et une vue rapide fait apparaître un ensemble simple parfaitement cohérent et classique : une structure plissée N 10 E accompagnée d'un réseau de fractures typique :

- des fractures longitudinales N 15 E;
- des fractures diagonales N 50 E et 140 E (cette dernière étant moins bien représentée que la famille N 50).
- des fractures transversales N 90 - 100 E).

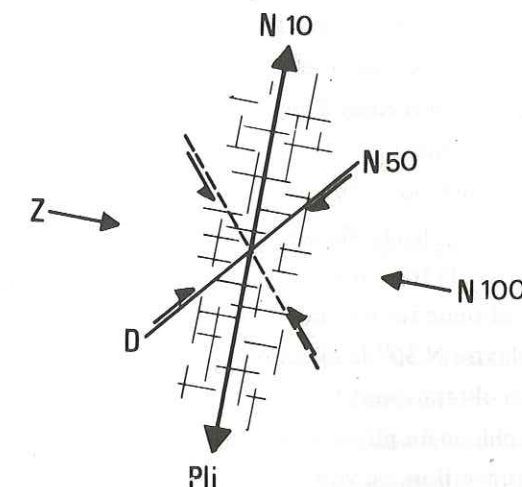


Fig. 136 : Schéma classique des déformations globales de la Chartreuse

Une étude plus complète et plus fine de la géométrie des structures met en relief plusieurs éléments complémentaires qui indiquent une évolution de ce schéma initial simple :

- l'axe du pli faiblement décroché dans sa partie sud, l'est de plus en plus vers le Nord. Il prend ainsi, par le jeu des failles N 50 E dextres, un aspect sigmoïde : Ce fait est souligné par une rotation plus forte des fractures et des blocs qu'elles délimitent dans la zone N du synclinal (Alpette) qu'au Sud (Alpe et moins encore Bellefond).

- il existe généralement deux familles de fractures diagonales et même si souvent l'une d'entre elles est plus importante que l'autre les mouvements dont elles sont le siège restent comparables. Ici l'une d'elles (N 50 E) est responsable de glissements cartographiables alors que l'autre (N 140 E) n'apparaît que dans les mesures fines de terrain.

- il faut également noter l'importance des fractures d'extension qui sont bien représentées aux deux échelles d'observation, et particulièrement la grande homogénéité de répartition des fractures N 90° E de ce type.

- La détermination des axes de déformation à l'aide des structures d'échelle cartographique (axe du synclinal de Chartreuse orientale), décrochements majeurs N 50 E à rejet kilométrique.) amène à situer la direction Z de raccourcissement maximal régional aux environs de N 95 - 100° E. Or, en faisant arguments des structures de plus petites tailles (stries, fracturations fines diverses, orientation des extensions locales...) les raccourcissements locaux sont définis suivant une direction N 120 - 130° E.

Cette disparité liée au changement d'échelle d'observation est d'ailleurs banale. Il est ainsi probable que l'axe de raccourcissement défini pour la Chartreuse orientale puisse apparaître comme une direction locale par rapport au champ de déformations envisagé à l'échelle de tout l'arc alpin occidental (voir plus loin l'interprétation des décrochements étudiés et leur place dans l'architecture globale des Alpes Occidentales).

Quoiqu'il en soit cette apparente variation des directions de raccourcissement entre N 95 - et N 130 peut être interprétée soit par une rotation d'ensemble des structures du massif (de 20 à 30° dans un sens senestre sur une direction Z supposée invariable N 120- 130), soit par une déviation des axes de raccourcissement dans les glissements sur les failles N 50 E.

En fait ces éventualités sont complémentaires et ne s'excluent pas mutuellement. Selon le modèle de Ramsay (1967 p), aux abords d'une zone de décrochement induite par un raccourcissement de direction donnée, la trajectoire de celle-ci est déviée jusqu'à pouvoir devenir perpendiculaire à la faille. Si l'on raisonne sur les directions connues en Chartreuse on s'aperçoit donc que sur le décrochement dextre N 50° la direction Z peut aller jusqu'à N 140 E. En fait la déviation est moindre, puisque les chiffres obtenus sont N 120 - 130. Si alors les directions Z N 95 - 100 (déduites de la direction cartographique du pli ou de la situation des fractures de Reidel sur le décrochement N 50) sont prises en considération, on voit que la rotation apparente est de l'ordre de 25 à 30°.

Ces valeurs sont du même ordre que celles qui ont été avancées pour la torsion des fractures T (de N 95 à N 130). Aussi, à l'échelle du synclinal, et pour prendre en compte dans la limite de ces dimensions, la majorité des structures observées peut-on suggérer l'évolution suivante :

- temps initial Z N 90 - 100
- d'où plis d'axe N 10. (donc zone de cisaillement maximal à environ 45° de Z).
- évolution : Z est dévié N 120 - 130 en raison du mouvement sur les zones de cisaillement maximal d'où forme sigmoïde du pli avec glissements sur les zones de décrochement , et création de R (N 70) ce qui entraîne des torsions de T vers N 130, et création des T sur R.

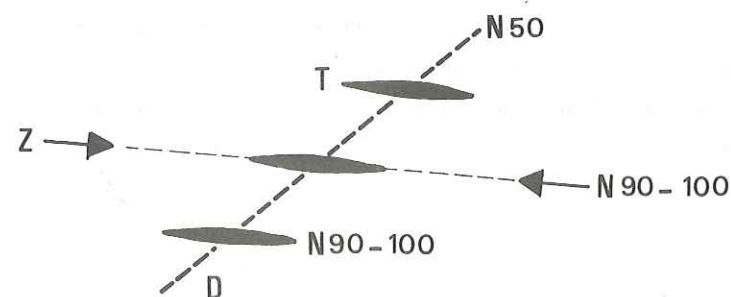


Fig. 137 : Temps initial des déformations en Chartreuse orientale

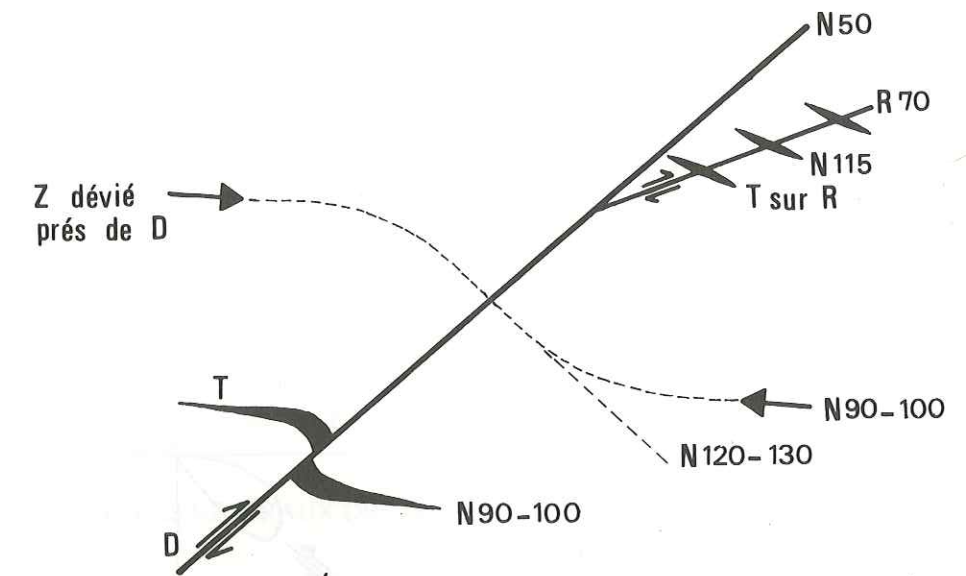


Fig. 138 : Evolution des structures, le mouvement décrochant s'amplifiant

Ce schéma représente un passage idéal d'un état initial à une structure finie à l'échelle d'observation choisie. Mais il ne faut pas omettre que l'état de contrainte à l'échelle du pli (défini ici par Z N 90 - 100) persiste. Il s'ensuit une persistance des phénomènes considérés comme initiaux et représentés par les glissements continus sur les décrochements et les créations corrélatives de fentes T récentes de direction N 90 - 100 qui peuvent donc recouper les fractures de même origine mais plus précoces et tordues.

Ces étapes de la déformation infinitésimale liées au champ de contraintes globales qui persiste tout au long de l'évolution des structures de la Chartreuse orientale, rendent bien compte des différentes directions des structures observées et de leur chronologie relative. Mais il faut tenter de situer cet ensemble dans un cadre plus général. On est alors conduit à se demander si la direction du Z N 90 - 100 valable à l'échelle du synclinal Dent de Crolles-Granier n'est pas lui-même une déviation locale relative, d'une direction de contraction plus générale et applicable à une région plus vaste. Ce problème sera abordé dans les conclusions.

Si, pour le moment, seules les fracturations étudiées en Chartreuse orientale aux abords des décrochements dextres N 50 : sont prises en considération, quelques points fondamentaux ressortent de notre étude.

Les comparaisons entre les résultats de l'étude photointerprétative sur des structures qui sont donc de grande taille et ceux obtenus à partir des données de la fracturation fine, ne sont pas aisées à établir. Cette différence d'échelle d'observation ne permet pas en particulier de faire apparaître une corrélation directe entre histogrammes de directions définies sur photoaérienne et formes des blocs découpés par la fracturation fine. Plusieurs raisons peuvent permettre de comprendre ces différences apparentes :

- Dans un cas, seules les directions de fractures sont utilisées, dans l'autre il s'agit de la forme de blocs découpés par des familles de fractures associées. Là on s'adresse à des structures en plan et sur de vastes surfaces, ici à des volumes et de tailles bien plus réduites.

- Ces observations sont en fait complémentaires. Avec l'étude des photoaériennes on mettra en évidence les rotations générales des structures associées dans l'ensemble du synclinal. Le sens de déplacement des maximums directionnels indique le sens des glissements pour la taille de l'objet considéré.

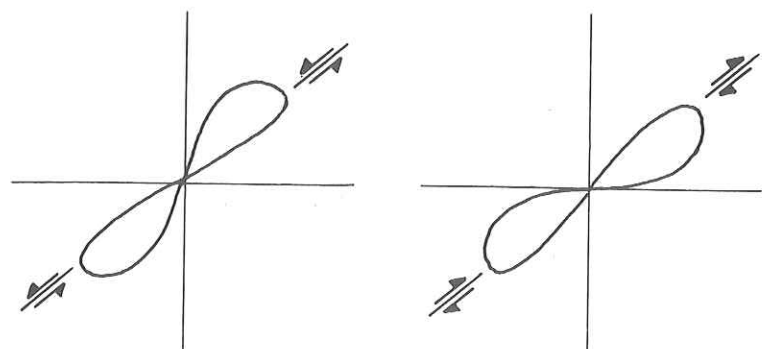


Fig. 139 : Mise en évidence par des rosaces de fracturation des rotations dextres (1) ou senestres (2) de l'ensemble de la fracturation du sens du décrochement

Avec l'étude de la forme et de la position des blocs on met en évidence l'évolution zone par zone des déplacements élémentaires (plus ou moins importants selon les lieux) au sein du massif.

Ainsi la photointerprétation définit l'état fini d'une géométrie de fractures vues dans un plan, la disposition des blocs dus aux petites fractures permet de déterminer une évolution de cette géométrie.

- Les méthodes de prélèvements des mesures (échantillonnage) sont très différentes. Pour la photointerprétation il est possible de penser que l'échantillonnage est assez objectif et représentatif à l'échelle considérée, de la géométrie d'ensemble. Il n'en est très probablement pas de même pour les mesures de terrain. En ce cas l'objectivité n'est sûrement pas respectée en raison de la qualité variable des affleurements et la représentativité des prélèvements est également perturbée par un facteur personnel qui n'est pas à négliger. Par ailleurs, le choix opéré au niveau du traitement statistique des mesures, peut aussi paraître arbitraire et d'autant plus qu'il n'est pas possible d'assurer que l'échantillonnage de base, quelques précautions qu'on ait prises soit parfaitement représentatif de toute la population de fractures du domaine étudié.

- un contrôle des correspondances entre ces différentes méthodes d'étude peut néanmoins être tenté. Si à partir des histogrammes de directions de fractures fournis par le filtrage optique on tente de construire la forme du bloc idéal ainsi découpé (de la même manière que ces blocs ont été construits à partir des mesures de terrain), on détermine des formes allongées (prismes ou amandes) dont les limites sont compatibles avec celles des blocs de petites tailles définis zone par zone. Il ressort en particulier une grande constance des fractures limitées N 90 - 100 dont on a souligné l'importance tant au point de vue de la structure d'ensemble que dans l'interprétation de l'évolution tectonique régionale.

CONCLUSIONS GENERALES

Les études théoriques et de terrain nous ont permis d'acquérir un certain nombre de résultats.

On va essayer d'en faire une synthèse qui comportera deux parties :

- un inventaire des caractéristiques des zones de décrochement
- une analyse de la situation et des implications, pour la tectonique alpine, des cinq décrochements étudiés.

I - CARACTERES GENERAUX DES DECROCHEMENTS

Les déplacements qui se produisent le long d'un plan de discontinuité ne sont souvent repérables que lorsqu'un marqueur (strate, niveau particulier...) est décalé par la fracture. Cette difficulté de la mise en évidence du mouvement et de son sens est accrue quand le déplacement se fait dans le plan où est effectuée l'observation. C'est ainsi que l'importance d'un décrochement peut être minimisée, voire passer complètement inaperçue.

En fait, il existe un certain nombre de caractéristiques qui permettent la mise en évidence des décrochements ; il s'agit de l'existence :

- d' un plan unique strié
- d' un relai de plans parallèles striés
- des échelons de discontinuités T, R, R', P, S.

Ainsi, un décrochement se définit moins souvent par le décalage d'un repère que par une association de structures élémentaires (souvent des discontinuités) disposées suivant des règles précises déterminées par les propriétés mécaniques des matériaux au moment de leur rupture. Au sein de tels ensembles chaque fracture peut apparaître à son tour comme un décrochement. Ces fracturations en relai et en échelon sont souvent associées et alors elles s'anastomosent et découpent des blocs dont les formes sont grossièrement losangiques.

Du fait de l'organisation en échelons des structures qui lui sont associées, un décrochement affecte généralement les terrains qu'il recoupe suivant une certaine largeur. C'est ce que l'on a appelé une « zone de décrochement ». A l'intérieur de cette zone la disposition en échelon est une organisation longitudinale des structures mais il en existe également une qui est transverse. On peut essayer de l'analyser en décrivant l'évolution idéale d'un décrochement.

Quand un mouvement décrochant s'amorce il apparaît dans un premier temps, selon une zone assez large, dont la direction est parallèle à celle du mouvement, des plis en échelons ou des fracturations soit de type $D + T$ si le matériau a un comportement fragile (par exemple un calcaire massif), soit de type $R + R'$ si le matériau est moins compétent (par exemple des calcaires plus argileux.).

La largeur de cette zone semble être surtout fonction de l'épaisseur des strates de terrain affectées. Si le mouvement décrochant général se poursuit, une seconde zone emboîtée dans la précédente apparaît ; elle est caractérisée par la multiplication de fractures D , R , et P . C'est désormais dans cette zone relativement étroite que l'essentiel du glissement va se produire et la zone large apparue précédemment n'évoluera pratiquement plus, si ce n'est peut-être par une exagération de l'ouverture des fractures T . Les familles D, R, P font entre elles des angles faibles ; les blocs qu'elles découpent ont des formes très allongées.

Le stade suivant de l'évolution du décrochement sera, le mouvement devenant très important, une démolition de l'assemblage des blocs qui constituaient la zone dernièrement formée.

Il s'ensuit une rotation des blocs qui tendent à paralléliser leur axe d'allongement avec la direction de décrochement et une abrasion très forte de leurs angles obtus. A ce stade les fractures ayant individualisé les blocs deviennent difficiles à reconnaître. Les déformations survenant alors permettent de distinguer deux domaines.

- celui des blocs aux formes amygdalaires compris entre les plans de fractures élémentaires de la zone, et où se développent des figures simples d'aplatissement et étirement (flexion en plis diagonaux et tronçonnements transverses avec fractures en extension).

- celui des bordures d'amygdales, le long de chaque discontinuité de cisaillement proprement dite, où se situent les glissements (rotations maximales) et où peut se développer un clivage schisteux.

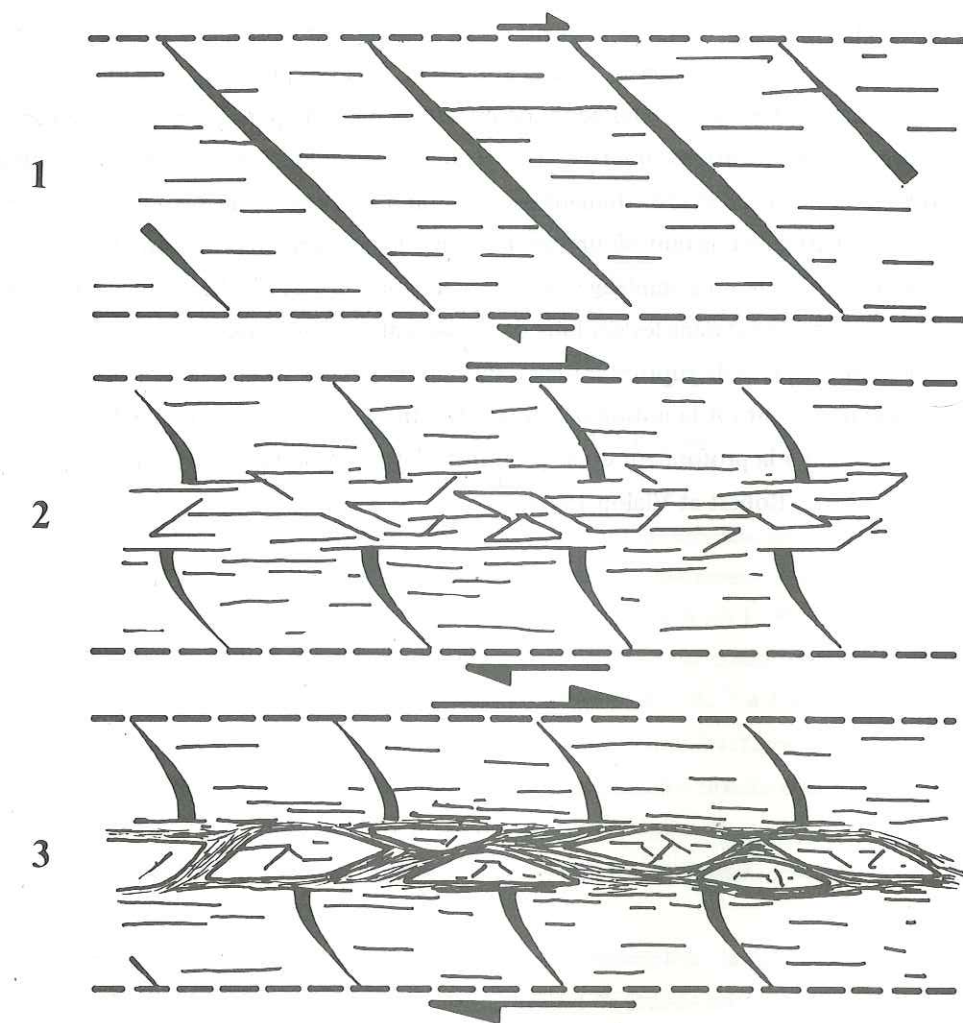


Fig.140 : 3 stades de l'évolution d'une zone de décrochement

Il est remarquable de constater qu'au cours de l'évolution d'un décrochement, la zone dans laquelle se fait le mouvement a tendance à être de plus en plus étroite. Cette concentration des déplacements s'accompagne de l'apparition de fracturations de plus en plus pénétratives. De fait, les structures observées sont telles que le long des plans de glissement interblocs le matériau se comporte comme s'il se trouvait sous forte contrainte moyenne (présence d'un clivage), alors que dans les blocs tout se passe comme si la contrainte moyenne était plus faible (cassures en extension et flexion). Cela paraît correspondre à des comportements de roches identiques placées à différents niveaux structuraux, c'est-à-dire à différentes profondeurs, ou à des matériaux de natures différentes. Dans le cas d'une zone de décrochement où l'ensemble des structures évolue à charge égale, la variation apparente de la contrainte moyenne ne peut être

mise sur le compte d'un changement de profondeur. D'autre part, si au début de la déformation la roche peut être considérée comme homogène, ce n'est plus le cas dès que les discontinuités se sont créées. Le matériel des zones de différents plans de partage, dérive de la roche initiale grâce aux modifications apportées par la rupture elle-même, les circulations de fluides divers qui y sont facilités, l'échauffement éventuel dû à la friction lors des glissements qui s'y produisent. Ainsi, à partir de l'instant où une zone de cisaillement est découpée en blocs la déformation ultérieure affecte un assemblage de matériaux composites. Le clivage schisteux qui peut affecter ceux qui se situent dans les couloirs de glissement est donc uniquement sous le contrôle de la position des plans de rupture initiaux qui entraînent cette modification d'état locale, et des déplacements qu'ils conduisent. A la notion de niveau structural, doit se substituer celle de position structurale, relative non à la profondeur où se produit la déformation mais à la situation par rapport aux glissements. (Robert et Vialon 1976).

II - PLACE DES CINQ DÉCROCHEMENTS ETUDIÉS DANS LA TECTONIQUE ALPINE.

Les failles que nous avons étudiées ont un certain nombre de points communs : Elles ont toutes une direction à peu près N 50. E et elles ont des rejets de valeurs comparables. Examinées dans leur contexte géologique régional les failles du Vercors (Jasneuf et Cléry) s'organisent en échelon suivant une bande directionnelle N 30 E. Ce caractère paraît accentué par l'existence plus au Sud du secteur étudié de la faille de Menée. Cependant ce dernier accident bien qu'orienté N 50 E comme les autres, a, au cours du temps été le siège de mouvements successivement dextres et senestres dont l'ancienneté a pu être prouvée grâce à des arguments stratigraphiques (Arnaud 1971).

De même en Chartreuse, les failles étudiées se disposent en échelon selon la direction axiale du vaste pli synclinal Dent de Crolles-Granier, lui aussi globalement orienté N 30 E, bien que sa direction déterminée sur carte détaillée s'établisse autour de N 10 E. Plus au nord dans le massif des Bauges ce canevas se retrouve aussi mais est compliqué par la présence de la faille de l'Arcalod (Doudoux 1973), décrochement dextre de 7 à 8 km qui a une direction N 30 E. En ce qui concerne le socle sur lequel repose cette couverture fracturée, les éléments de sa tectonique cassante ne sont que partiellement connus. Cette connaissance résulte d'une part des études géophysiques et d'autre part des observations qui ont été faites bien au delà de la zone étudiée, là où affleure le socle (bordure cévenole du Massif Central et massifs cristallins externes des Alpes : Belledonne et Pelvoux).

Sans doute, parce qu'on ne la connaît que de façon incomplète, la fracturation du socle semble assez simple. Elle est constituée par un réseau de grands décrochements comprenant deux familles :

- l'une de direction N 50 E qui fonctionne dans le sens senestre
- l'autre également ^{senestre} qui est orientée N 30 E et qui est probablement constituée par les Riedel R de la famille précédente. Au niveau du massif de Belledonne ces failles pincent des sédiments d'âge carbonifère.

Ces éléments étant situés, on peut essayer d'élaborer un modèle cinématique satisfaisant à ce schéma que nous impose l'observation. Plusieurs solutions peuvent être proposées ; nous en présenterons deux.

A - Les cinq décrochements étudiés sont la manifestation dans la couverture, d'un mouvement décrochant du socle de direction N30°E et de sens dextre. Les fractures décrochantes de la couverture correspondraient alors aux failles de Riedel R (N 50E) sur un décrochement profond. C'est ce que semblerait indiquer les résultats des essais sur modèle d'argile que nous avons obtenus : pour un faible mouvement le long de la faille de socle apparaissent dans la couverture des fractures en échelon faisant un angle de 15 à 20° avec la discontinuité du socle, et qui deviennent dans cette couverture, les discontinuités majeures traduisant le déplacement du socle. La faille de l'Arcalod prend dans cette hypothèse toute sa signification : elle représenterait l'exact homothétique du décrochement de socle dans la couverture. Cependant, plus au Sud (en Chartreuse) la discontinuité profonde ne serait exprimée que par ses Riedel R, comme dans le modèle expérimental mentionné plus haut. Cette interprétation nécessite un changement de comportement de la couverture entre Bauges et Chartreuse. En outre, imaginer un tel décrochement pose d'autres problèmes : aucune donnée géophysique ne confirme la présence d'une telle faille ; le sens dextre du mouvement de cette fracture ne correspond pas au sens de fonctionnement senestre des familles de failles N 30E qui paraît nécessaire pour rendre compte de manière cohérente des différentes associations de structures complexes (Vialon et al 1976) ou qui est vérifié en bordure du Vercors (Arnaud 1973) ; aucune raison apparente (variation d'épaisseur de la couverture, différence du déplacement de socle ...) ne vient justifier le comportement différent sur un tel décrochement dans les Bauges et en Chartreuse.

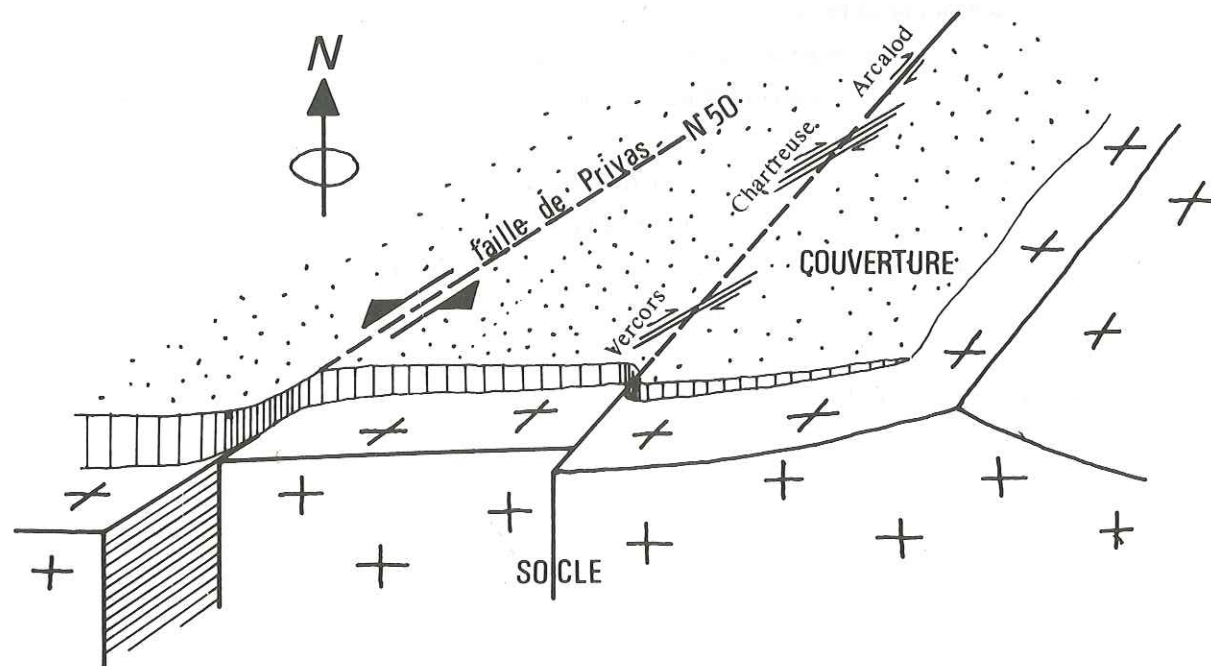


Fig. 141 : Relations des cinq décrochements étudiés avec les failles de socle dans l'hypothèse A.

B - Les familles de décrochements N 50 E et N 30 E du socle découpe celui-ci en blocs de formes amygdalaires. L'un de ces blocs constituerait le soubassement des massifs de la Chartreuse et du Vercors. Les glissements le long des bordures d'un tel bloc, provoquent des déformations qui se traduisent dans la couverture par l'apparition de plis parallèles au grand axe de l'amygdale et par un étirement également parallèle à cet axe. La rotation de l'amygdale provoque sa distorsion et l'étirement de ses pointes, en conséquence ces plis ont souvent une forme sigmoïde. Au lieu d'être continue cette sigmoïde est souvent réalisée par le jeu de décrochements qui fonctionnent en sens inverse de ceux qui limitent l'amygdale dans le socle. Les décrochements de la Chartreuse et du Vercors joueraient dans la couverture un tel rôle pour, respectivement, les pointes Nord et Sud de l'amygdale de socle.

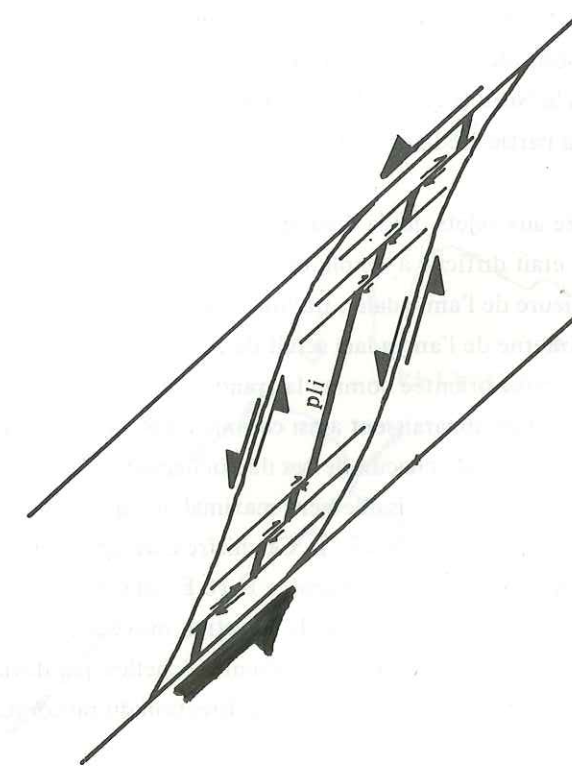


Fig. 143 : Mise en évidence, pour une amygdale, de rotations externes senestres et de rotations internes dextres.

Un certain nombre d'observations et de raisonnements paraissent étayer ce modèle :

En admettant une amygdale de socle limitée par des dislocations senestres N 50 E (au NW : faille de l'Isère prolongée sous le N de la Chartreuse ; au SE : faille de Menée et satellites prolongée vers le N du Pelvoux) et ses dérivées de Riedel R N 30 E (à l'Ouest : failles senestres (H. Arnaud) de la bordure orientale de Vercors ; à l'est : faille bordière de Belledonne), la couverture enserrée dans ces limites tend à se contracter en un plissement parallèle à sa grande diagonale, soit ici selon une direction moyenne N 30-40 E. C'est bien là une direction générale qui a été invoquée pour le synclinal de Chartreuse orientale et aussi pour l'alignement des échelons de failles N 50 E de la couverture en Vercors et en Chartreuse.

Les déplacements dextres le long de ces failles devraient donc correspondre à la rotation interne de l'amygdale qui tend à devenir sigmoïde (forme cartographique en S) avec étirement selon l'axe du plissement. Les extrémités de l'amygdale possible, qui seraient ainsi les zones du Vercors méridional et de Chartreuse orientale, sont les régions les plus affectées par les torsions et étirements. De fait, en Chartreuse, les décrochements dextres qui par intégration déterminent la forme sigmoïde sont plus nombreux et provoquent ainsi (à déplacement équivalent sur chacun d'eux) vers le Nord (faille de l'Alpe) une torsion plus grande que vers le S, où ils tendent à disparaître dans la partie médiane de l'amygdale, avant de réapparaître à son extrémité sud (Vercors).

La faille de Menée aux rejets qui la distinguent de ses apparents homologues du Jasneuf de la Cléry, et qui était difficile à expliquer dans les modèles précédents, prend ainsi toute sa valeur de limite majeure de l'amygdale, traduite directement dans la couverture.

La déformation interne de l'amygdale serait de cette façon sous le contrôle d'un couple de cisaillement dextre sur une zone orientée comme la grande diagonale de cette vaste unité : N 30 - 40 E. Les failles N 50 - 60 E dextres apparaissent ainsi comme les Riedel R d'un tel cisaillement.

En se plaçant à l'échelle de chacun de ces décrochements N 50 dextres, il est possible de considérer qu'ils représentent le cisaillement maximal du champ de contrainte local. Dans ce cas la direction de Z est $50 + 45 = N 95 E$. Ce chiffre correspond à celui qui a été déterminé plus haut. La direction axiale du pli congénère N 10 E, deviendrait dans ce cas, par intégration des déplacements sur les fractures N 50 E, la direction moyenne N 30 - 40 de la grande diagonale de l'amygdale. On remarque ainsi qu'aux différentes échelles, par déviation des différents axes de raccourcissements, on retrouve la même direction du raccourcissement global fini Z N 120 - 130 E.

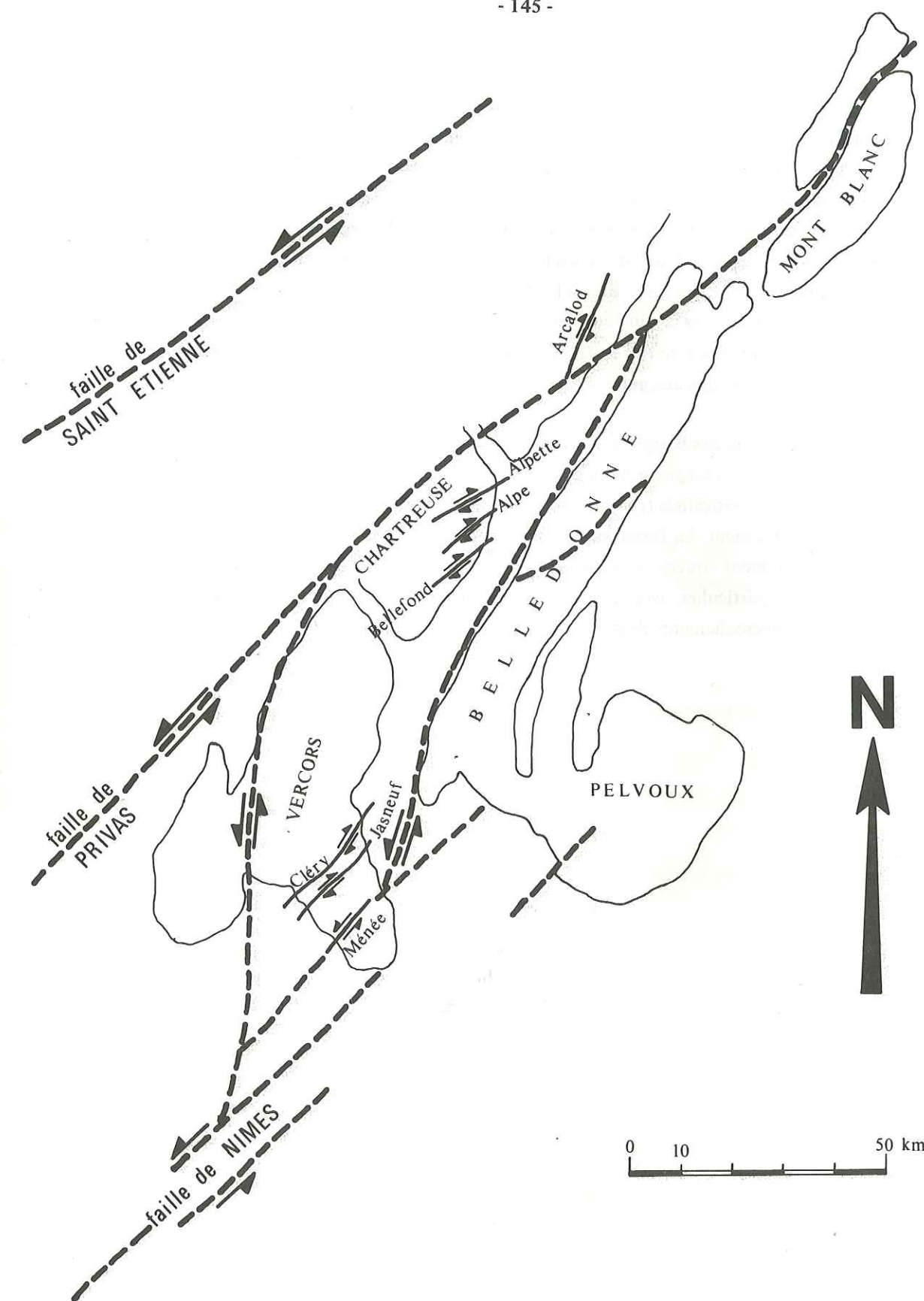


Fig. 144 : Carte schématique des grandes fractures présumées du socle des Alpes externes et des décrochements étudiés.

Nous l'avons établi pour la rotation locale au niveau des failles N 50 dextres. On peut le situer de la même manière à 90° de la direction de la grande diagonale de l'amygdale (N(30 - 40) $\pm$ 90° = N 120 - 130). On le retrouve si l'on examine la déviation de la contraction sur les fractures senestres et leurs Riedel R : sur une dislocation N 50 E senestre Z peut se situer dans tout le quadrant sud défini entre la direction de la dislocation et sa perpendiculaire (direction limite N 140°) ; sur le Riedel R senestre corrélatif (N 30 E) la déviation de Z va jusqu'à N 120 E (perpendiculaire à la fracture décrochante).

Il semble ainsi que dans la cohérence du système puisse être trouvé sinon une preuve de la validité de ce modèle, du moins de très forts arguments en sa faveur. Il n'est pas jusqu'à la faille de l'Arcalod, qui dans une autre unité amygdalaire probable, trouve aussi sa place dans cette interprétation.

En effet, au niveau des Bauges le serrage des grandes unités amygdalaires paraît plus intense si l'on en juge par la longueur d'onde des plis. On aurait alors sur les flancs des plis, des plans de couches qui, verticalisés (ce qui n'est jamais le cas en Chartreuse) deviennent presque parallèles à l'axe de plissement. La forme sigmoïde de celui-ci peut alors être obtenue par glissement dextre et étirement couche sur couche (avec laminage) sur ses flancs. Il s'agirait ainsi d'un cas particulier, avec glissement sur un plan de faiblesse préexistant convenablement orienté, des décrochements dextres de Chartreuse et Vercors.

REFERENCES

ALBERDING H. (1957)

Application of principles of wrench - fault tectonics of Moody and Hill to Northern South America
Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 68, pp. 785 - 790

ARNAUD H. (1971)

Le plateau de Glaudasse : structure et place dans le cadre géologique régional.
Essai d'interprétation photogéologique de la fracturation du Vercors Sud-Oriental.
Trav. Lab. Geol. Grenoble T 47, pp. 25 - 44.

ARNAUD H. (1971)

La zone de Borne : secteur intermédiaire entre le Vercors et le Dévoluy, principaux caractères et relations entre la tectonique et la paléogéographie
C.R.Ac. Sc. T 272, pp. 12 - 15.

ARNAUD H. (1973)

Mise en évidence d'un important décalage antémioène de sens senestre le long de la faille de Presles (Vercors Occidental).
C.R. Ac. Sc. T 276, pp. 2245 - 2248

ARTAUD F. (1969)

Méthode de détermination graphique des directions de raccourcissements, d'allongement et intermédiaire d'une population de failles.
Bull. Soc. Géol. France T XI, pp. 729 - 737.

BADGLEY P.C. (1965)

Structural and tectonic principles.
Harper and Row publisher,
New York.

BARBIER R. et DEBELMAS J. (1960)

La structure du chaînon Bastille Jalla - Mt Rachais près de Grenoble.
C.R.Ac. Sc. T 250, pp. 2539 - 2595

BODEUR Y. (1976)

Evaluation de l'amplitude du décrochement cevenol par le décalage des fasciès
récifaux fortlandiens des environs de Ganges (Hérault).
C.R.Ac. Sc. T 282 Série D pp. 961 - 963.

BOUCHE P. et POULET M. (1971)

Méthode et exemple d'étude sur photographies aériennes de la fracturation naturelle
des carbonates.
Rev. I.F.P. XXVI, 1 pp. 3 - 21

BOURROILH R. et BOURROILH B. (1972)

Analyse spectrale et filtrage en éventail des cartes structurales
C.R.Ac. Sc. T 275 série D pp. 1335 - 1338

CAIRE A. (1973)

La lenticulation tectonique . Exemples Jurassiens.
An. Sc. Université de Basançon.
Géologie 3^{em} série, fasc. 18.

CHINNERY M.A. (1966)

Secondary faulting
Can. J. Earth Sci. Vol. 3 pp. 163 - 190

CHOQUET C. (1972)

Etude géotechnique et hydrogéologique d'aménagements du canal de Provence
au Nord de Toulon (Var)
Thèse 3^{ème} cycle - Grenoble.

CLOOS E. (1955)

Experimental analysis of fracture pattern
Geol. Soc. America Bull. , 66 pp. 241 - 256.

DAYRE M. , GAMOND J-P et VIALON P. (1972)

Mise en évidence du rôle des fractures de décrochement de type cevenol dans la formation
de certains plissements subalpins.
3^{ème} Réunion annuelles des Sciences de la Terre - Montpellier avril 1975 p. 120.

DOUDOUX B. (1973)

Nouvelles données tectoniques sur le massif des Banges (Savoie)
Ann. du Centre Universitaire de Savoie
T. 1 série Sc. Nat. pp. 125 - 139.

DROGUE C. , MAS G. , GRILLOT J-C, LLORIA C. et GUERIN R. (1975)

Utilisation du filtrage optique pour l'étude de la fracturation des roches carbonatées en
hydrogéologie.
Rev. Geogr. Phys. et Geol. Dyn. (2) vol. XVII fasc. 1 pp. 39 - 44

FABRE D. (1976)

Quelques observations sur la déformation des matériaux cohérents au cours d'essais de
laboratoire. Essai d'application à l'analyse structurale des massifs rocheux.
Thèse de docteur ingénieur - Grenoble - 210 pages.

FABRE D., ROBERT J-P (1976)

Analyse expérimentale des ruptures de la couverture liées à un mouvement décrochant
du socle et applications.
Ann. Soc. Géol. Nord. T XCV, 3, pp. 175 - 182.

FONTANEL A. et GRAU G. (1968)

Traitement optique de l'information en géophysique et dans le domaine de la
photographies aériennes.
L'onde électrique t. 48, n° 492 pp. 235 - 244.

FREUND R. (1970)

Rotation of strike slip fault in Sistan, Southeast Iran
J. of Geol. Vol 78, pp. 188 - 200.

GAMOND J-F (1972)

Les plis coniques : analyses théorique et implications mécaniques
Thèse de 3^{ème} cycle - Grenoble - 107 pages.

GAUTIER J-M, GRUNEISEN P., MASSA D., RUHLAND (1973)

Fracturation et analyse tectonique sur carotte de sondage. Etude méthodologique appliquée au champ d'Haïssi Messaoud Nord
Sci. Geol. Bull. 26, 2-3, pp. 115-159.

GIDON M. (1964)

Nouvelles contribution à l'étude du massif de la Grande Chartreuse et ses relations avec les régions avoisinantes.
Trav. Lab. Geol. Grenoble T 3, pp. 187 - 205.

GIDON M. (1964)

La tectogenèse alpine dans le massif de la Grande Chartreuse (Isère et Savoie)
C.R. Ac. Sc. T 258 pp. 3518-3519.

GIDON M. (1966)

Sur la tectonique de l'élément chartreux oriental au Sud Est de Saint-Pierre de Chartreuse (Isère)
Trav. Lab. Geol. Grenoble T. 42, pp. 117-125.

GOGUEL J. (1945)

La tectonique de fond dans les Alpes externes
B.S.G.F. (5) XIV pp. 207 - 212.

GOGUEL J. (1948)

Le rôle des failles de décrochement dans le massif de la Grande Chartreuse
B.S.G.F. T. 48 5ème série pp. 227 - 235.

GOGUEL J. (1963)

L'interprétation de l'arc des Alpes occidentales.
B.S.G.F. 7, 5, n°1, pp. 20-30.

GRATIER J-P, LEJEUNE B., VERGNE J-L. (1973)

Etude des déformations de la couverture et des bordures sédimentaires des massifs cristallins externes de Belledonne, des Grandes Rousses et du Pelvoux.
Thèse de 3ème cycle - Grenoble - 289 pages.

GRATIER J-P (1975)

Clivage schisteux et déformations : analyse d'un secteur clef du bassin mesozoïque de Bourg d'Oisans (Alpes Maritimes)
Trav. Lab. Geol. Grenoble T 51, pp. 41-50

GRUNEISEN P., HIRLEMAN G., JANOT P., RUHLAND M. (1973)

Analyse de la fracturation naturelle d'une structure plissée : l'anticlinal de la Lance (Drôme).
Sci. Geol. Bull. 26, 2-3 pp. 161-186.

HAFNER W. (1951)

Stress distributions and faulting.
Bull. Soc. Geol. America Vol. 62 pp. 373-398.

HANCOCK P. (1972)

The analysis of an echelon veins
Geol. Mag. Vol. 109.

HARDING T.P. (1974)

Petroleum traps associated with wrench faults.
Am. Ass. Petroleum Geol. Bull. Vol. 58 N°7., pp. 1290 - 1304.

KERKOVE C., ANTOINE P. (1964)

Sur l'existence de failles de décrochement dans le massif des Bauges.
Trav. Lab. Geol. Grenoble T. 40, pp. 81 - 89

LAJTAI E.Z. (1969)

Mechanics of second order faults and tension gashes.
Geol. Soc. Am. Bull. 80, II, pp. 2253 - 2272.

LILLIE F. (1974)

Analyse tectonique et fracturation des gisements uranifères de Vendée.
Thèse de 3ème cycle. Strasbourg 101 pages.

- McKINSTRY H.E. (1953)
Shear of the second order
Ame. Jour. Sci. 251 pp. 401-414.
- Mc QUILLAN H. (1974)
Fracture patterns on Kuh - e Asmari anticline South west Iran.
Am. Ass. Petroleum Geologists Bull. Vol. 58, n° 2, pp. 236 - 246.
- MATTAUER M. (1973)
Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre.
Hermann ed. Collection Méthodes, Paris.
- MASSA D., RUHLAND M., THOUVENIN J. (1972)
Structure et fracturation du champ d'Hassi Messaoud
Rev. I.F.P. 27, 4 et 5 pp. 489 - 713.
- MOODY J-D (1973)
Petroleum exploration aspects of wrench fault tectonics
Am. Ass. Petroleum Geologists Bull. Vol. 57, 3, pp. 449 - 476.
- MODDY J-D, HILL M-J (1956)
Wrench-fault tectonics
Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 67 pp. 1207-1246.
- MUEHLBERGER W.R. (1961)
Conjugate joint sets of small dihedral angle
Journal of Geologie vol 69, pp. 211-219.
- PARIS A. (1969)
Relation entre la déformation et la fracturation des roches en Provence Occidentale
Thèse 3ème cycle Grenoble.

- RAMSAY J-G (1967)
Folding and fracturing of rocks
Mc. Graw - Hill edit. New-York
- RAMSAY J.G., GRAHAM R.H. (1970)
Strain variations in shear belts
Can Jour. Earth Sc. 7, pp. 786 - 813
- RIEDEL W. (1929)
Zur Mechanik Geologischer Brucherscheinungen.
Zentralbl. F., Min., Geol. u. Paläont., pp. 354 - 368.
- ROBERT J-P, VIALON P. (1976)
Déformation interne et déformation aux limites dans un assemblage de blocs découpés
par un cisaillement. Le clivage schisteux des niveaux structuraux supérieurs:
Réunion de la Soc. Geol. de France à Toulouse (à paraître).
- RONALD E., WILCOX R.E., HARDING T.P., SEELY D.R. (1973)
Basic wrench tectonics
Am. Ass. Petroleum Geologists Bull. vol 57 n°1, pp. 74-96.
- RUHLAND M. (1973)
Méthode d'étude de la fracturation naturelle des roches associée à divers modèles structuraux
Sci. Geol. Bull. 26, 2-3 pp. 91-113.
- SKEMPTON A.W. (1965)
Some observations on tectonic shear zones.
1er Congrès Inter. de mécanique des roches, Lisbonne 1966, pp. 329-335.
- TCHALENKO J-S, AMBRASEYS N.N. (1970)
Structural analysis of the Dasht - e Bayaz (Iran) earthquake fractures.
Geol. Soc. Am. Bull. , 81, pp. 41-60.

THOMAS G.E. (1974)

Lineament block tectonics : williston-Blood Creek Basin
Am. Ass. Petroleum Geologists vol. 58, n°7, pp. 1305-1322.

VIALON P. (1974)

Les déformations «synschisteuses» superposées en Dauphiné: Leur place dans la collision des éléments du socle Préalpin. Conséquences pétrostructurales
Bull. Suisse Miner. Petrog. Vol. 54, 2-3 pp. 663-690.

VIALON P., RUHLAND M., GROLIER J. (1976)

Elements de tectonique analytique
Masson editeur - Paris

VIALON P., BOUDON J., GAMOND J-F, GRATIER J-P, ROBERT J-P, DEPARDON J-P,
GAY M., RUHLAND M. (1976)

L'arc alpin occidental : Orientation de structures primitivement Est-Ouest par glissement et étirement dans un système de compression Nord Sud ?
Eclog. Helveticae . (sous presse).

DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES UTILISÉS

Carte géologique de la France

- feuille MENS 1/50 000 ème
- feuille LA CHAPELLE EN VERCORS 1 / 50 000 ème
- feuille DOMENE 1 / 50 000 ème
- feuille MONTMELIAN 1 / 50 000 ème

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le 1.6.76

Le Président de la thèse

du jury.

R. BARBIER
professeur.

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale

Philippe Cau