

Tectonique analytique et quantitative du Bassin de Lodève (Hérault, France)

par Jean-Claude HORRENBERGER* et Pierre SIRIEYS**

RÉSUMÉ. — Le style tectonique du bassin de Lodève a fait l'objet d'observations et de mesures variées, angulaires (directions, pendages, pitches) et linéaires (espacements, rejets) en surface, en travaux souterrains, en mine à ciel ouvert et sur coupes du gisement. L'ensemble a permis une reconstitution séquentielle des mouvements et déformations du bassin, ainsi qu'une quantification de certains de ces épisodes. En particulier, la déformation, qui, en se localisant sur des surfaces de failles, a un caractère discontinu, a pu être homogénéisée. Sa valeur, dans le cas continu équivalent, ainsi que sa variation spatiale, ont été déterminées.

MOTS CLÉS. — Déformation (continue, discontinue, homogénéisée), Extension, Contraction, Taux de glissement, Mouvements (dextres, senestres ; normaux, inverses), Rotation, Glissement, Plis, Failles, Stries, Pitch, Rejet.

Analytic and quantitative tectonic of the Lodève basin (Hérault, France)

ABSTRACT. — The tectonic style of the Lodève basin was the subject of observations and various measures either angular (direction, dip, pitch) or linear (space, offset) in surface, in underground, in open air mines and of bed cross-section. All of them allowed a sequential restoration of the movements and strains of the basin as well as quantification for some of these episodes. Specially, the strain which, by being located on fault surfaces with a discontinuous nature, has been homogenised. Its value, in the continuous equivalent case as well as its space variation, was to be determined.

KEY WORDS. — Strain (continuous, discontinuous, homogeneised), Extension, Contraction, Sliprate, Movement (dextral, sinistral; normal, inverse), Rotation, Slip, Folds, Faults, Striae, Pitch, Offset.

* Université Louis Pasteur, Laboratoire de Géologie Structurale, 1, rue Blessig - F 67084 Strasbourg Cedex - France.

** Université Joseph Fourier, Institut Dolomieu, 15, rue Maurice Gignoux - F 38031 Grenoble Cedex - France.

Sa bordure nord est soulignée par un système dense de fractures normales conjuguées à un rejet modeste. (...) L'essentiel de l'effondrement paraît s'être produit postérieurement au dépôt des couches permienues et avant le Trias soit au cours de la phase palatine."

Selon J. C. Horrenberger [ULP-LGS, 1987] la cinématique des faisceaux de failles LP-SJB (N70-110), d'Olmet (N10-20), des Cévennes (N10-40) et de Liausson-Salasc (N70-90) conjugue les effets de 5 épisodes tectoniques majeurs successifs d'âge :

1/ tardi-hercynien :

- réactivation en cisaillement inverse des surfaces axiales (pentées 70-80°) des plis hercyniens subE-W (LP-SJB),
- décrochement sénestre (Olmet, Cévennes), conformément à une compression N-S.

2/ permien à crétacé :

- réactivation en jeu normal des surfaces de cisaillement précitées : initiation et propagation des failles synpermienues (LP-SJB) ; cloisonnement en prismes et lanières d'effondrement progressivement basculés vers le sud ; glissement sur S_0 , en régime distensif à extension majeure N160 à N20,
- réactivation en jeu normal avec effondrement à l'ouest (Olmet) et à l'est (Cévennes : flexure de Rabieux) en régime distensif à extension majeure locale N90 à N120,
- réactivation en jeu normal avec effondrement au sud (Liausson-Salasc) en régime distensif à extension majeure locale N-S.

Le bassin péricontinental (ceinturant au SE un socle hercynien en cours de démantèlement), devait largement s'ouvrir au sud, sud-est et est ; la déformation a dû se concentrer progressivement à l'aplomb de discontinuités hercyniennes à tardi-hercyniennes majeures du socle à l'origine de l'arc tectonique Salasc-Liausson-Rabieux-Arboras se prolongeant, vers le nord-est, au-delà de Largentière ; cette zone mobile a dû contrôler l'effondrement graduel vers le sud, sud-est, est du bassin, ne laissant subsister que des lambeaux marginaux tels que ceux de Lodève (au sud) et de Largentière (à l'est) (Pl.1, 1 et 2).

3/ éocène :

- rejeu "inverse" des failles LP-SJB et de S_0 ,
- ouverture-bréchification (Olmet),
- décrochement sénestre sur S_0 redressée (environ 60° pendage SE) et fracturation subverticale (Cévennes : Clermont l'Hérault et Rabieux),
- rejeu "inverse" des failles avec crochonnement et verticalisation de S_0 (Liausson) ; plissement d'axe subE-W (Salasc), conformément à une compression N160 à N20 (phase pyrénéo-provençale marquée).

Le raccourcissement a dû induire la réactivation en jeu inverse de la zone mobile précitée et son cisaillement sur des failles peu pentées néoformées, le long de son segment N60-90 (surépaississement des pélites saxoniennes par cisaillement intraformationnel, décollement du Lias, voire du Trias, plissement du Jurassique) : la réactivation en jeu sénestre des lanières d'effondrement et leur lenticulation partielle, le long de son segment N 20-50 (de Rabieux à Largentière, voire au-delà) (Pl.1, 3).

4/ oligocène : rejeu "normal" du faisceau de failles N10-40 (Cévennes) : effondrement à l'est.

5/ miocène : plissement d'axe N30 (Arboras, est de la faille des Cévennes) conformément à une compression N110-120 (phase alpine discrète).

3. – ÉTUDES DE TERRAIN

La structuration du bassin de Lodève a été étudiée par Horrenberger *et al.* [ULP-LGS 1976 à 1990] ; Ruhland *et al.* [1977] ; Horrenberger et Ruhland [1981] à l'aide de 3 groupes de mesures et observations concernant :

- l'orientation (azimut, pendage) des surfaces de stratification et de failles et des stries (pitch),
- le mouvement sur la strie, avec analyse des 4 cas : normal-dextre, normal-sénestre, inverse-dextre, inverse-sénestre (notés nd, ns, id, is), les rejets et les espacements,
- le plissement (plans axiaux, longueurs d'onde).

Ces mesures ont été effectuées :

- en surface, sur affleurements dans divers secteurs du bassin (*Capitoul-Fer, Capitoul-Usine, Moulin de la Charité, St-Jean de la Blaquièrre, Puech-Lazert*, notamment), sur stratification, failles (fig. 2, 3 et 4) et structures plissées (fig. 5) ;
- en Travaux Miniers Souterrains (TMS) dans 4 secteurs : *Faille Méridionale, Faille de Rivièral, Faille de Saint-Julien et Tréviels*.
- en Mine à ciel ouvert (MCO) : Zones faillées de *Mas d'Alary* et de *Tréviels*.
- sur coupes du gisement (CDG) à *Tréviels*.

La zone de Tréviels a été étudiée à l'aide de 16 coupes NS, au 1/1000°, espacées de 100 m (numérotées en nombres impairs de 1 à 31), qui couvrent une superficie de l'ordre de 1500 x 400 m pour une profondeur (atteignant le socle) de 200 m.

4. – GÉOMÉTRIE DES STRUCTURES

Notations : S_0 = Stratification ; F, G = Familles de failles à regard N, S ; ω = azimut ; β_{S_0} , β_F , β_G = pendages de S_0 , F, G ; α_F , α_G = angle aigu faille F, G avec S_0 ; 2μ = angle dièdre FG ; $\delta = (Z,c)$; $\alpha = (Z,z)$; f_F , f_G = fréquence de la famille F, G ; e_m = espacement moyen ; γ_{S_0} , γ_F , γ_G = taux de glissement sur S_0 , F, G ; l_0 , l = longueurs initiale et finale ; $\varepsilon = l/l_0 - 1$: $> 0 \rightarrow$ extension, $< 0 \rightarrow$ contraction ; X, Y, Z = axes cinématiques (directions principales de la déformation, avec Z contraction majeure) ; a, b, c = axes de la structure, avec $ab = S_0$.

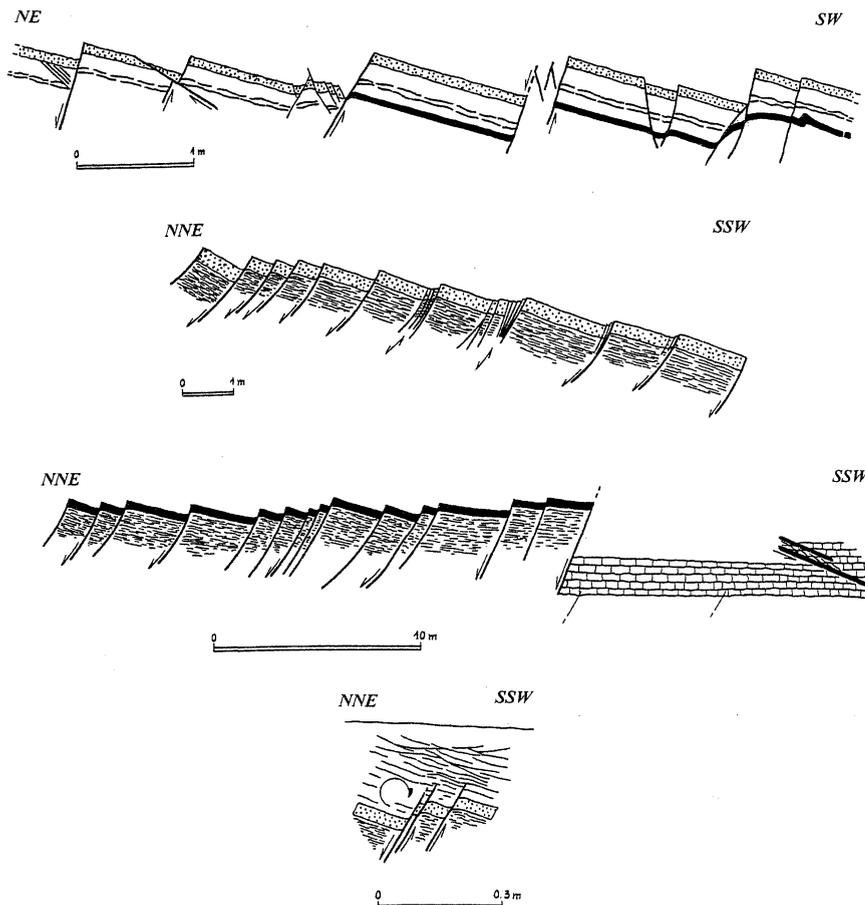


FIG. 2. – Autunien du secteur de St-Jean de la Blaquière. Coupes supérieures (2) au Moulin de la Charité ; coupes inférieures (2) à Puech-Lazert.

Section transversale subméri-dienne de lanières d'effondrement (N)-basculement (S) d'échelle décimétrique à pluridécamétrique. Fracturation multiscale syn- à postsédimentaire. (Mesure systématique des orientations de S_0 , de F et des tectoglyphes. Demi-flèche = sens de l'effondrement).

L'ensemble des mesures d'orientation est illustré à l'Annexe 1 sur des canevas de Wulff établis à l'aide d'un logiciel de Pêcher [1989]. L'analyse statistique, représentée sur les histogrammes de l'Annexe 2, précisée ces résultats sur les différents sites étudiés.

4.1. Les couches

La structure est de type monoclinale (hors zones plissées) d'azimut moyen proche de 90° . La population des mesures des pendages à Tréviels CdG, proche d'une loi normale, a pour caractéristiques :

Couche n°	Nombre de mesures	Moyenne (\varnothing)	Écart-type (\varnothing)
1	25	18,19	2
15	146	18,17	2,3
31	21	16,80	1,9

4.2. La fracturation

La fracturation du massif est essentiellement constituée par 2 familles de failles conjuguées, assimilées à des plans (bien que ces surfaces présentent parfois une faible courbure), l'une (F) à regard N, l'autre (G) à regard S.

Le réseau de fracturation est de type **fractal** : motif élémentaire matérialisé par des lanières d'effondrement, d'ordres successifs, d'échelle décimétrique à kilométrique, emboîtées les unes dans les autres, juxtaposées, dont la géométrie reflète 2 modes de *fractalisation*, l'un par rupture cisailante synthétique (mode S), l'autre par ruptures cisailantes synthétique et antithétique conjuguées (mode S-A), suivies de glissements non-équilibrés induisant la rotation de cellules-lanières. Ce concept de fractale, apparu dans le modèle de fracturation d'ordres multiples de Ruhland [in Vialon *et al.*, 1976], formulé et développé par Mandelbrot [1982] a été appliqué aux structures S-C-C' par Hippert [1999].

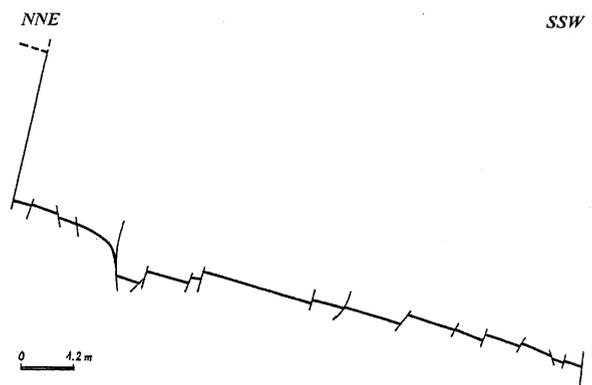


FIG. 3. – Autunien du secteur du Capitoul (niveau-repère 4). Reconstitution graphique d'une section transversale subméri-dienne de lanières en effondrement-basculement (Le jeu inverse n'est qu'apparent : il résulte de la rotation du massif de 15 à 20° vers le sud. L'extension est estimée par la largeur des lanières et les rejets).

En considérant – arbitrairement – les failles : Majeures à rejets $r > 20$ m, moyennes : $5 \text{ m} < r < 20$ m et mineures : $r < 5$ m, les 2 systèmes majeurs F et G sont accompagnés de systèmes moyens à mineurs (fig. 4a) caractérisés par des surfaces de failles plus réduites (n'atteignant pas le socle) et des rejets bien moins importants. Entre 2 failles majeures apparaissent [ULP-LGS, 1976-90] 5 ou 6 fractures moyennes à mineures de la même famille.

– Orientation de la fracturation

Les azimuts des familles F et G se regroupent dans la bande 70-110° avec un maximum dans la tranche 80-90°. Les pendages, distincts pour F et G, conduisent à TrévielsCdg à une moyenne $\beta_F = 55,3^\circ$ (écart-type 7,3°) et $\beta_G = 69,4^\circ$ (écart-type 8,8°).

– Fréquence de la fracturation

La fréquence, f , d'une famille, inverse de l'espacement moyen normal, e_m , apparaît dans le massif avec des valeurs différentes pour les 2 familles F et G. À Tréviels (Cdg, couche 15) sur les 16 coupes sont observées en moyenne 5 failles F (de 3 à 9) pour 3 failles G (de 1 à 6). La famille antithétique F est donc presque 2 fois plus fréquente que la famille synthétique G.

Globalement apparaissent des dièdres de subsidence ayant en moyenne pour pentes 55 et 70°, soit un angle aigu moyen des dièdres $2\mu = 55^\circ$. Dans une section NS de ces dièdres (entre les familles conjuguées F et G) la bissectrice de l'angle aigu $\langle FG \rangle$ fait un angle δ voisin de 10° avec la normale à la couche. Fracturation et dièdres de subsidence sont schématisés sur les figures de l'Annexe 3.

4.3. La striation

– Les pitchs

Les surfaces S_o , F et G sont caractérisées par des stries (traces des mouvements de glissement effectués sur ces surfaces) repérées par leur pitch θ (mesuré en

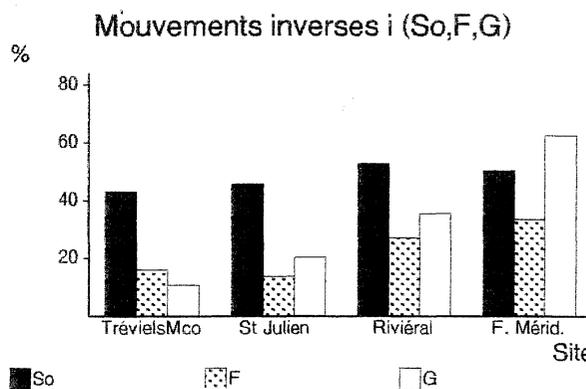
MCO et TMS). Plus de 60% des valeurs de θ sont dans la tranche 80-90.

– Les sens des mouvements

Proportion de mouvements inverses i .

Nombre de mesures :

Tréviels MCO	14 (S_o) + 64 (F) + 19 (G)
St-Julien	11 (S_o) + 37 (F) + 11 (G)
Riviéral	21 (S_o) + 64 (F) + 20 (G)
F. Mérid.	10 (S_o) + 15 (F) + 16 (G)



C'est la stratification, peu pentée, qui est le plus souvent utilisée par le mouvement $S \rightarrow N$.

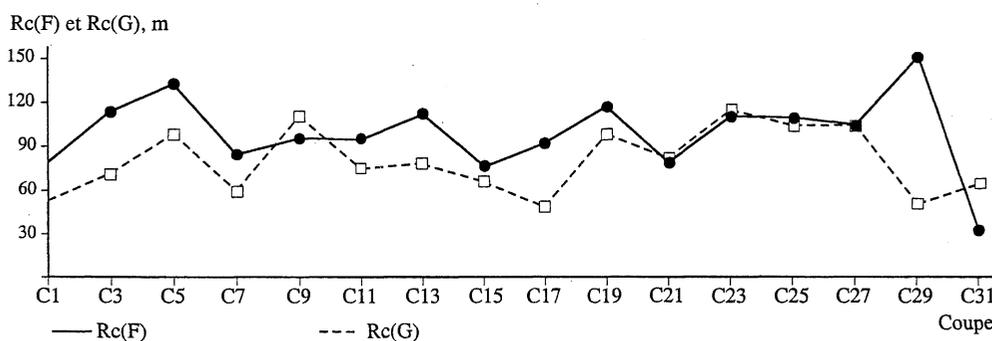
– Les rejets

Valeurs des rejets cumulés R_c , sur F et G, mesurés à TrévielsCdg, sur la couche 15.

Moyennes : $R_c(F)_m = 97 \text{ m}$
 $R_c(G)_m = 78 \text{ m}$

Valeurs maximales : $R(F)_{max} = 65 \text{ m}$
 $R(G)_{max} = 63,5 \text{ m}$

Rejets cumulés (TrévCdg, C1 à C31)



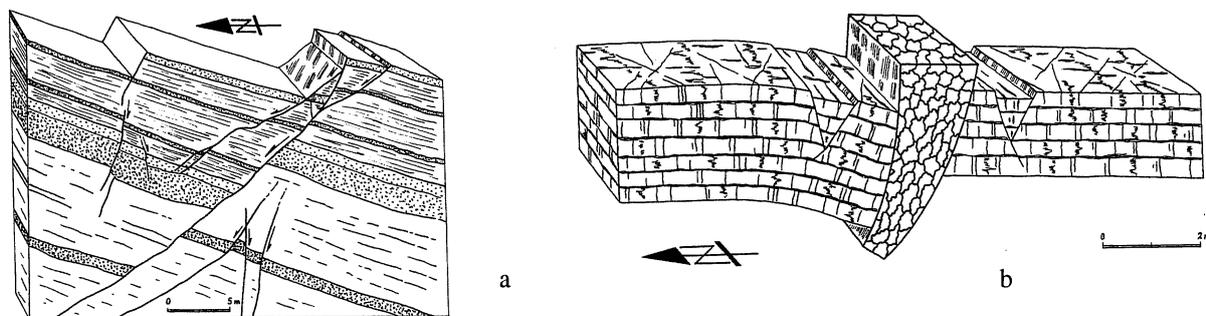


Fig 4. – Failles majeures et moyennes. Les deux phases.

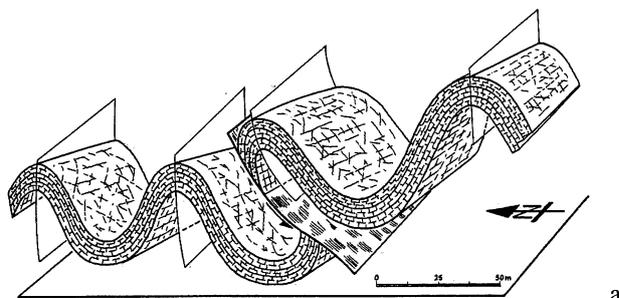
4a -Autunien de la MCO de Tréviels.

Faïlle majeure (rejet 5m) normale N75, et failles moyennes associées normales et inverses (actuelles) découpant des prismes et des lanières d'échelle métrique à plurimétrique en effondrement-basculement (extension subméridienne).

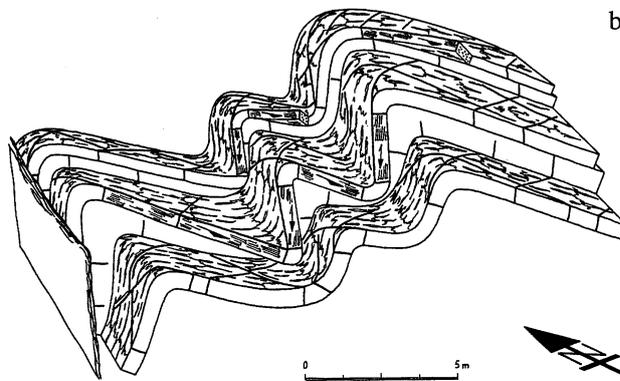
4b : Jurassique de Navacelles (30 km au nord de Lodève)

Superposition de 2 phases tectoniques coaxiales subméridiennes, la première distensive, la seconde compressive :

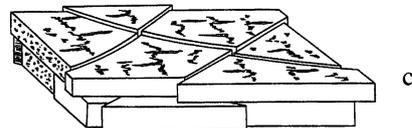
1- structures de direction subE-W : bréchification d'une zone de faille majeure, prismes d'effondrement, fentes d'extension, diaclases ; 2- activation et stylolithisation de la zone de faille bréchifiée, joints stylolithiques et fentes d'extension, gauchissement de S_0 .



a



b



c

4.4. Le plissement

Géométrie des structures plissées (fig 5).

– Lias du secteur de *Salasc* (fig. 5a).

Ce secteur est caractérisé par des plis isopaques, cylindriques, décamétriques (4 à 5 longueurs d'ondes) dont un flanc cisailé (pli-faïlle de chevauchement), et une méga-flexure au S de Salasc.

– Lias du secteur de *Mourèze*.

Dans le synclinal de *Mourèze*, la bréchification efface la majorité des structures plicatives.

– Lias de la carrière de Clermont l'Hérault.

Le parement SW présente une flexure d'axe N10,10S dont les couches subverticales sont réactivées en décrochement senestre (vraisemblablement au cours de la phase pyrénéo-provençale).

– Jurassique du secteur d'*Arboras* (fig. 5b).

Dans ce secteur les plis sont isopaques, cylindriques à coniques, plurimétriques. Le déplissement (fig. 5c) de l'une de ces structures restitue la position originelle de la fracturation découpant les couches ainsi remises à l'horizontale, et permet la construction de l'axe de raccourcissement N110-115, subperpendiculaire à la direction axiale (phase alpine discrète).

FIG. 5. – Plissement et déplissement.

5a : Lias au sud de la Faille de Salasc.

Plis concentriques isopaques droits d'axes subE-W plongeant vers l'est. Évolution locale du plissement vers le déversement au nord amplifié par le cisaillement du flanc inverse (compression N-S).

5b et 5c : Dogger du secteur d'Arboras.

b) Plis concentriques déversés vers l'WNW (axes N32, 20° SSW) ; fractures de cisaillement conjuguées, stylolithes et fentes de tension anté-plissement ; zone faillée N30-40 interrompant le plissement (compression N120).

c) Le déplissement rétablit la configuration tectonique originelle.

Résultats des mesures.

Secteur	Référence pli n°	Nature	Surface axiale	Orientation				Angle de fermeture (°)
				Surface axiale		Axe		
				Azimut ω/N (°)	Pendage β (°)	Azimut ω/N (°)	Pendage β (°)	
Salasc	1	droit	plane	87	90	87	30E	100
	2	droit	plane	98	87S	100	25E	120
	5 Est	droit	plane	82	90	82	14E	100
	5 Ouest	droit	plane	98	90	98	14E	120
Arboras	En moyenne déjetés v. WNW		plane	42	62SE	32	20SSW	115

5. – CINÉMATIQUE

5.1. Axes cinématiques

Les résultats des mesures montrent un faible écart entre les azimuts moyens de S_0 (environ 80°) et des dièdres de fracturation FG (environ 90°), et une obliquité (δ) du plan bissecteur du dièdre sur le plan normal à la couche. Les axes cinématiques XYZ (de la déformation incrémentale générant les failles F et G) et ceux de la structure stratifiée abc sont proches mais non coaxiaux. L'extension moyenne dans la direction EW est quasi nulle ; le champ de déformation globale est donc un champ de déformation plane ; le bassin peut être analysé dans une coupe à peu près NS. L'axe de rotation de la structure (à peu près EW) coïncide avec l'axe cinématique Y. En outre les pichs étant compris en majorité (de 60 à 80%) entre 80 et 90°, rarement inférieurs à 60°, les composantes décrochantes du déplacement sont faibles devant les composantes normales. Les mouvements inverses (cf. § 3) utilisent le plus souvent la stratification S_0 , peu pentée.

5.2. Les séquences

L'angle 2μ entre F et G (sensiblement égal à 55°) conduit (pour un géomatériau de type Coulomb) à un angle de frottement de l'ordre de 35°, qui suggère des cisaillements s'effectuant dans un milieu déjà induré. L'obliquité de Z sur c (δ) et sur z (α) indique la rotation d'ensemble, préalable à ces cisaillements conjugués, d'un volume soumis à une compaction progressive.

La séquence « successive », caractérisée par le cisaillement d'une structure monoclinale horizontale (c vertical), puis la rotation (rigide) d'environ 18°, ne peut donc être retenue du fait de l'angle δ (et des rejets non-compensateurs), pas plus que celle caractérisée par la rotation rigide de la structure monoclinale (d'environ 18°), puis les cisaillements selon F et G (du fait de l'angle α).

La séquence « simultanée » caractérisée par des glissements sur S_0 , F et G s'effectuant au cours de la rotation, paraît la plus crédible.

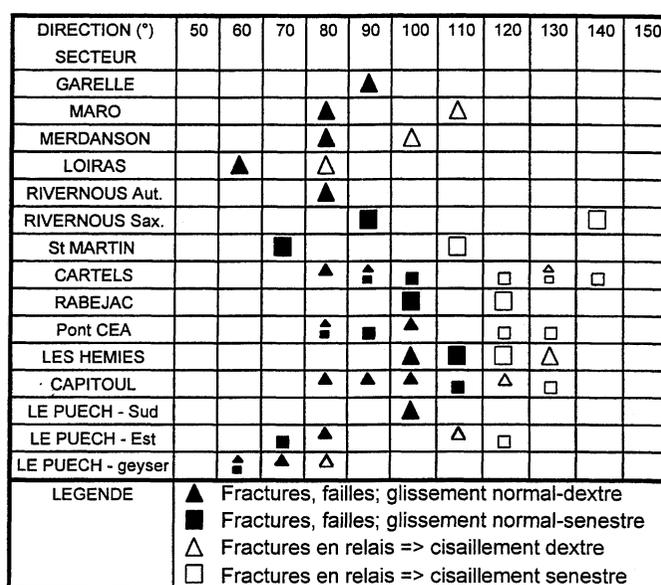


FIG. 6. – Cinématique des fractures N60-140 dans le faisceau de failles le Puech-St-Jean de la Blaquièrre.

5.3. Analyse cinématique (fig 4b)

La déformation globale [Blachère *et al.*, 1984 ; [ULP-LGS, 1992] se compose de 2 séquences essentielles : une phase d'Extension D_1 , de l'Autunien au Crétacé, de direction NS (caractérisée par les failles F et G), puis une phase de Contraction D_2 , NS, pyrénéo-provençale (se manifestant par des plissements et la réactivation en « inverse » de S_0 et des familles F et G).

5.3.1. La déformation D_1 : cette séquence (Autunien-Crétacé) se manifeste par :

- la rotation (axe environ EW, angle d'environ 18°) de la structure monoclinale,
- le glissement « normal » $N \rightarrow S$, couche à couche, marqué par la rotation de microlithons (fig. 7),
- les glissements «normaux» conjugués : ($N \rightarrow S$) sur G (famille synthétique) et ($S \rightarrow N$) sur F (famille antithétique).

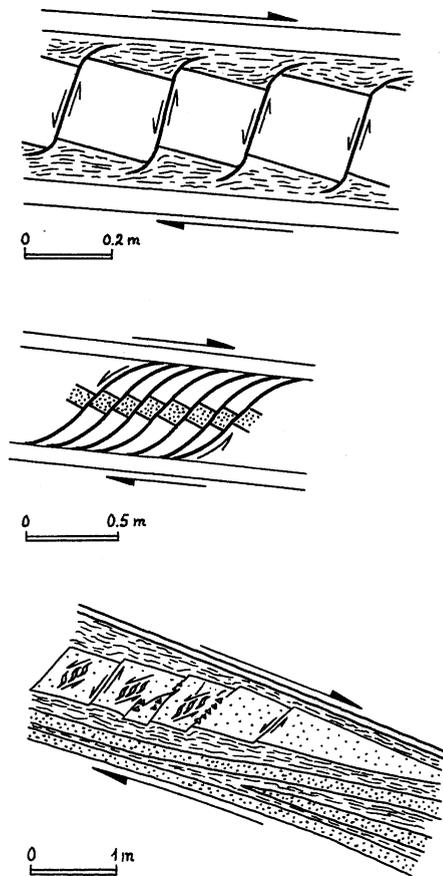


FIG. 7. – Autunien des secteurs de Loiras-Usclas, St-Jean de la Blaquière et Mas d'Alary. Section nord-sud. Structures induites par le glissement sur S_0 :

- Rotation de prismes issus de la diaclason d'un niveau compétent (L-U),
- Diaclases sigmoïdes (SJB),
- Niveau gréseux lenticulaire tronçonné, puis basculé vers le sud \rightarrow Rotation et bréchification des tronçons et fentes d'extension sigmoïdes (MA).

Dans un essai de modélisation [ULP-LGS, 1992] D_1 est décomposée en 11 incréments de déformation associant la rotation aux glissements alternés sur F, G et S_0 .

5.3.2. La déformation D_2 : cette séquence, pyrénéo-provençale, se manifeste par :

- des plissements (à plans axiaux subverticaux, voisins d'EW),
- un glissement couche à couche « inverse » $S \rightarrow N$ sur la stratification (pentée environ 18° par D_1),
- des rejeux en « inverse » ($S \rightarrow N$ sur G, $N \rightarrow S$ sur F) sur la fracturation induite par D_1 ,
- une néofracturation (failles inverses de chevauchement).

6. – ANALYSE QUANTITATIVE

6.1. Méthode

L'analyse quantitative consiste à déterminer les champs cinématiques reliant une configuration initiale de référence (ici un milieu à stratification horizontale) à la configuration actuelle (sur laquelle ont été effectuées les mesures), et à en déduire les déformations séquentielles.

La cinématique est totalement déterminée quantitativement par la déformation progressive (appelée parfois « chemin » de la déformation), qui permet d'obtenir la déformation entre deux instants quelconques, obtenue à partir des champs de vitesse pour chaque phase. La méthode [appliquée à la phase extenso-décrochante du bassin de Carmaux, Saidessalam *et al.*, 1986] consiste ici à superposer les champs de vitesse relatifs au glissement sur S_0 (g_C), sur F et G (g_F et g_G) et à la rotation rigide (r). Les problèmes d'intégration des équations s'avèrent assez complexes (et finalement peu rentables).

Pour une séquence donnée, la déformation globale est néanmoins quantifiable, sans se préoccuper de son chemin, par référence entre états initial et final (actuel).

La déformation de ce milieu sédimentaire débute par sa consolidation caractérisée par une déformation continue avec une importante variation de volume. Dans le milieu consolidé (induré) la déformation prend un caractère discontinu en se localisant sur des surfaces de failles, mécanisme s'effectuant alors à volume sensiblement constant. C'est seulement cette déformation isovolume qui est envisagée ici et évaluée par homogénéisation [Sirieys, 1996].

6.2. Éléments de quantification

Cette détermination est effectuée à l'aide d'éléments marqueurs variés.

- Le glissement couche à couche, normal ou inverse, est évalué par la rotation des lithons (fig. 7). Le taux de glissement γ_c , fourni par l'angle de cette rotation (lui-même obtenu par les gradients des rejets), varie de $2,3$ à 19° , soit des valeurs de γ_c comprises entre $0,04$ et $0,34$ avec une moyenne (11 mesures) de $\gamma_c = 0,18$.

Les mesures directes, sur les figures, des angles de rotation des lithons conduisent à des valeurs de γ_c comprises entre $0,17$ et $0,34$ avec une moyenne (8 valeurs) de $\gamma_c = 0,23$ [ULP-LGS, 1976].

- Le glissement sur les familles F et G, de type ns ou nd pour l'extension, de type is ou id pour la contraction, est obtenu à l'aide des rejets et des fréquences.

Les taux de glissement moyens (homogénéisés) déterminés sur la couche 15 (coupe 15) sont : sur F : $\gamma_F = 0,38$; sur G : $\gamma_G = 0,89$. Cette différence dans les taux de glissement conduit à un décalage, de l'ordre de 19 m.

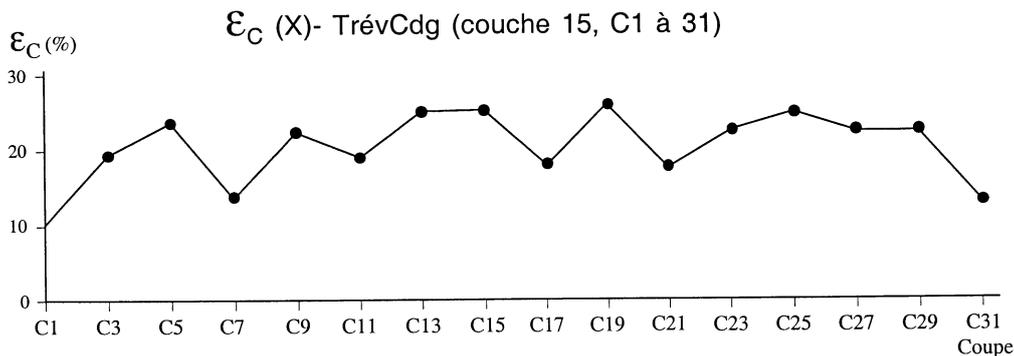
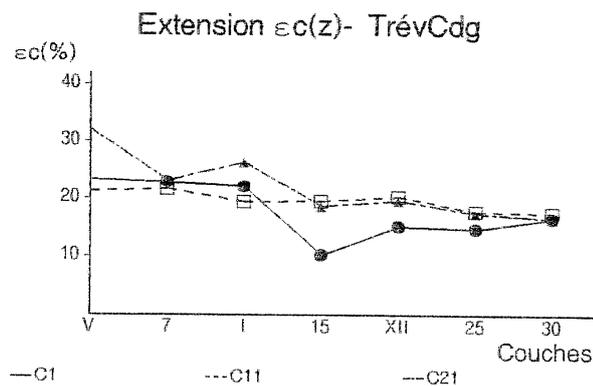
L'absence de marqueurs adéquats n'a pas permis d'obtenir de données chiffrées concernant le glissement inverse.

- Le tronçonnement des couches. L'extension est définie par $\epsilon_c = l_1/l_0 - 1$ (où l_0 et l_1 sont la longueur initiale et celle occupée par les tronçons).

6.3. Champ de déformation

- L'extension ϵ_c des couches cisillées par F ou G et décalées, a été déterminée à Tréviels sur les coupes 1, 11 et 21 à partir des couches notées V, 7, I, 15, XII, 25 et 30 [ULP-LGS, 1981]. Elle décroît légèrement autour de 20% avec la profondeur, sur une hauteur de 160 m. Elle varie peu d'est en ouest, autour de 21 % sur une distance de 1500 m.

La séquence D_1 peut, en moyenne, être caractérisée par la déformation rotationnelle exprimée dans (xz) avec ($x = N \rightarrow S$) par la matrice $(T)_{xz}$ explicitée à l'Annexe 4, qui représente les résultats de mesures sur la couche V, coupe 11 (les déformations principales étant $\epsilon_1 = 21\%$ et $\epsilon_2 = -18\%$).



- La contraction, marquée par le plissement, est estimée par la longueur des couches plissées (il s'agit de plis parallèles, isopaques), éventuellement par le taux de glissement banc sur banc lors du plissement. Le raccourcissement, contrairement à l'extension, est très hétérogène, beaucoup plus localisé. « Les effets [de la compression subméridienne] se marquent discrètement dans l'Autunien. Le Saxonien et le Trias, vigoureusement dans le Lias et le Jurassique, et s'exacerbent du Nord vers le Sud » [ULP-LGS, 1987].

Contraction (ε)		
Série	Site	ε%
Trias	Nord du bassin	1
Autunien	Zone des gisements	~10
Lias	Sud (F. de Salasc)	≥50

Au Mas d'Alary, en MCO, le raccourcissement horizontal (résultant notamment du glissement sur S_0) a été évalué à 8,17% [Blachère *et al.*, 1984].

6.4. Champ de déplacement (schéma général)

Du fait de la forte dispersion des azimuts des familles de failles entre N60 et N110 (avec une moyenne voisine de N90), les composantes décrochantes des rejets (fig. 6) sont en moyenne dextres pour les plans à $\omega \leq 90^\circ$ et senestres pour les plans à $\omega \geq 90^\circ$ (En fait cette limite évolue de 90° à 115° lorsque l'on se déplace de la Garelle au Puech), ce qui conduit à des déplacements à composante horizontale globalement voisine de NS. Les mesures et observations s'accordent avec un champ de déplacement régional homogénéisé à vecteur déplacement à composantes : horizontale $N \rightarrow S$ et verticale descendante pour D_1 (Annexe 4), horizontale $S \rightarrow N$ et verticale ascendante pour D_2 , les composantes décrochantes observées résultant alors de la dispersion azimutale des failles de chaque famille (caractéristique spécifique de la déformation d'un milieu fracturé).

7. – CONCLUSION

Le bassin de Lodève présente une déformation polyphasée par fracturation diachrone, de type fractal, et activation des surfaces de stratification S_0 et des failles conjuguées F et G en glissements alternatifs, au cours d'une rotation progressive. Les marqueurs tels que rotation des lithons, fréquence de la fracturation, rejets, couches tronçonnées, longueurs d'ondes des plis ont permis sa quantification, pour les phases D_1 , extensive (voisine de 21 %), et D_2 , contractive (de l'ordre de 8%),

l'une et l'autre d'orientation NS. La déformation discontinue a pu être homogénéisée (à partir d'éléments tels que rejets, espacements), permettant, outre la comparaison quantitative entre phases de déformations continues et discontinues, d'atteindre les champs de déplacements globaux.

REMERCIEMENTS

Les travaux à l'origine de cette étude ont pu être réalisés grâce à la disponibilité, voire la coopération, de l'ensemble des personnels de la Cogéma-Division minière de l'Hérault.

Références

- ALABOUVETTE B. avec la coll. de AUBAGUE M., BAMBIER A., FEIST R. & H. (1982). – Notice explicative de la feuille Lodève à 1/50.000. (P25). *BRGM, Serv. Carte Géol.*
- BLACHERE H., COMTE D., DELORME D., HORRENBERGER J. C. (1984). – Déformation polyphasée des sédiments permien du bassin de Lodève. Mise en évidence de la phase de compression pyrénéenne : Ses effets sur les structures héritées de la phase de distension pennienne. *Sci. Géol., Bull. Strasbourg*, **37**, 2, 119-130.
- HIPPERT I. (1999). – Are S-C structures, duplexes and conjugate shear zones different manifestations of the same scale invariant phenomenon ? *J. Struct. Geol.*, **21**, 8/9, 975-984.
- HORRENBERGER J.C. & RUHLAND M. (1981). – Déformation progressive des sédiments permien du bassin de Lodève (Hérault, France). *Rev. Géol. dyn. Géog. phys.*, **23**, 3, 225-234.
- MANDELBROT B. (1982). – The Fractal Geometry of Nature. W.A. Freeman, San Francisco.
- PÊCHER A. (1989). – Schmidtmac -A program to display and analyse directional data. *Computers & Geosciences*, **15**, 8, 1315-1326.
- RUHLAND M., HORRENBERGER J. C., LAVERSANNE J., LILLIE F., GAUTHIER-LAFAYE F. & HEITZ J. L. (1977). – Analyse tectonique du bassin de Lodève, Hérault. Géométrie et cinématique d'une zone en extension rotationnelle. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, **5**, 263-265.
- SAIDESSALAM M., HORRENBERGER J. C. & SIRIEYS P. (1986). – Fracturation et déformation du bassin de Carmaux (Tarn, France). *C. R. Acad. Sci., Paris*, **302**, II, 1243-1248.
- SIRIEYS P. (1996). – Champs cinématiques associés à une famille de failles striées. *Bull. Soc. géol. France*, **167**, 2, 263-268.
- Université Louis Pasteur Laboratoire de Géologie Structurale (ULP-LGS (1976). – Géométrie et cinématique du secteur de St-Jean de la Blaquière (Hérault). 60 p. (J. C. Horrenberger et J. L. Heitz). Rapport interne ULP-Cogéma (inédit).
- ULP-LGS (1980). – Géométrie et cinématique du secteur de Rabejac (Hérault). 18 p (J. C. Horrenberger et H. Joly). Rap. int. ULP-Cogéma (inédit).
- ULP-LGS (1980). – Géométrie et cinématique du secteur de Sallèles (Hérault). 22 p (J. C. Horrenberger et H. Joly). Rap. int. ULP-Cogéma (inédit).
- ULP-LGS (1981). – Traitement quantitatif des coupes du gisement de Tréviels. (J. C. Horrenberger). Rap. int. (inédit).
- ULP-LGS (1985-87). – Observations et mesures en TMS : Quartiers de Riviéral et de St-Julien. (J. C. Horrenberger). Rap. int. (inédit).
- ULP-LGS (1987). – Étude de l'environnement tectonique du bassin de Lodève (Hérault). : 64 p. (J.C. Horrenberger et C. Staffelbach). Rap. int. ULP-Cogéma (inédit).
- ULP-LGS (1990). – Structures fondamentales de la déformation polyphasée du gisement uranifère de St-Martin du Bosc (Hérault) : synthèse et essai de modélisation, 100 p. (J. C. Horrenberger *et al.*). Rap. int. ULP-Cogéma (inédit).
- ULP-LGS (1992). – Essai de modélisation d'une séquence de déformation rotationnelle polyphasée, par mécanisme de glissements différentiels alternatifs (joint mécanique <- -> joint lithologique) : Cas de la zone des gisements uranifères du bassin de Lodève (Hérault). 6 p., 4 tab., 13 pl. (J. C. Horrenberger). Rap. int. (inédit).
- VIALON P., RUHLAND M. & GROLIER J. (1976). – Éléments de Tectonique analytique. Masson Ed., 116 p.

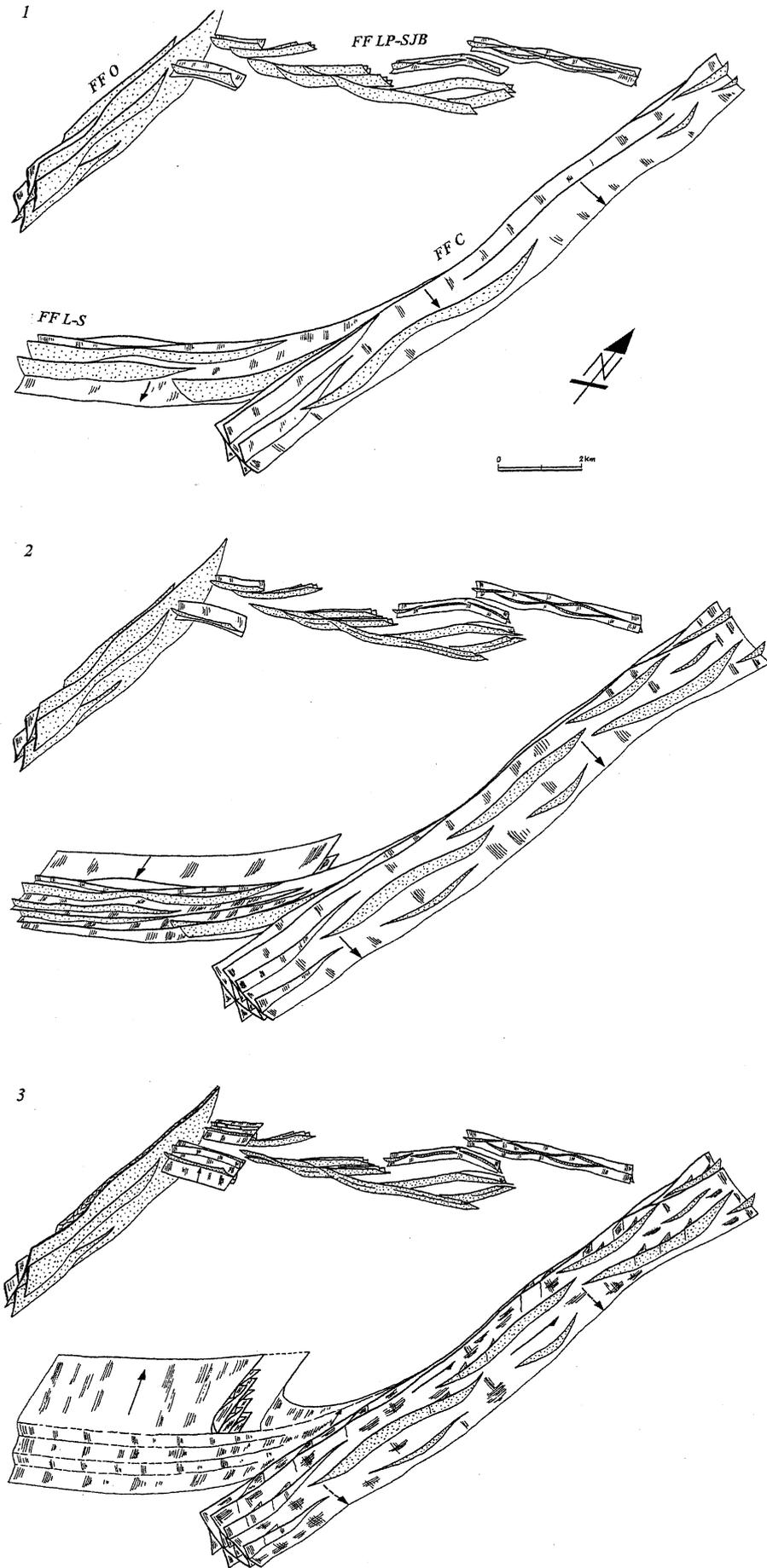
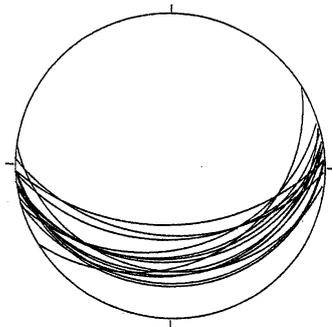


PLANCHE 1. – Essai de reconstitution du bassin de Lodève ; géométrie et cinématique de la fracturation à la fin du Permien (1), du Trias-Jurassique (2) et de l'Éocène (3).

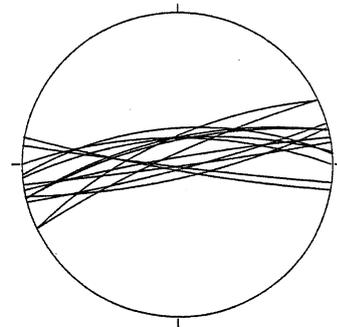
Annexe 1

Représentation sur canevas de Wulff [Logiciel de Pêcher, 1989] de la stratification S_0 et des familles de failles F et G. a) Capitoul-Fer, b) Capitoul-Usine, c) Tréviels, d) Mas d'Alary, e) Saint-Julien, f) Riviéral, g) Faille Méridionale.

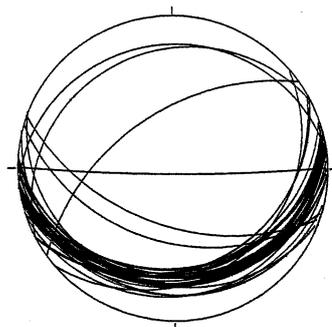


Wulff Hémisphère inférieur (15 val.).
Stratification

a.
LODÈVE
Capitoul-Fer.

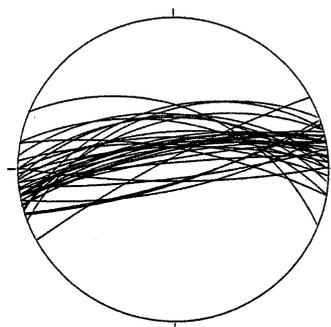


Wulff Hémisphère inférieur (15 val.).
Failles

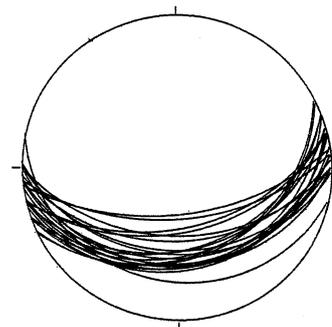


Wulff Hémisphère inférieur (36 val.).
Stratification

b.
LODÈVE
Capitoul-Usine

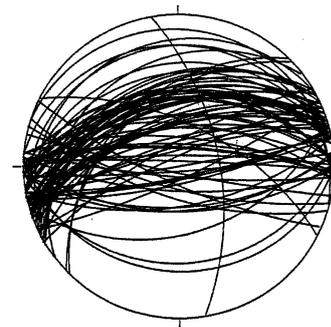


Wulff Hémisphère inférieur (32 val.).
Failles

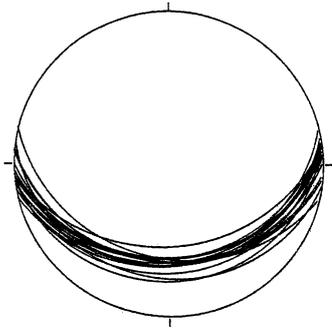


Wulff Hémisphère inférieur (25 val.).
Stratification

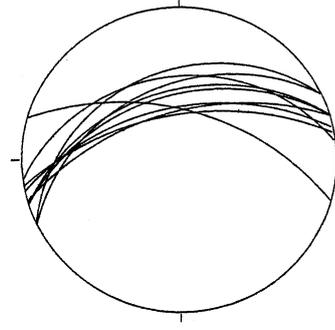
c.
LODÈVE
Tréviels (MCO).



Wulff Hémisphère inférieur (84 val.).
Failles

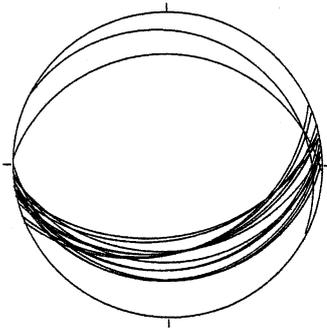


Wulff Hémisphère inférieur (18 val.).
Stratification

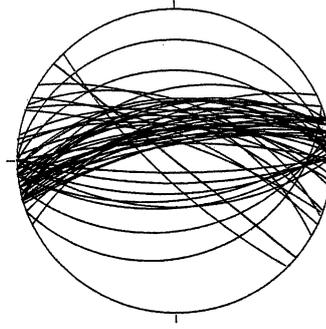


Wulff Hémisphère inférieur (9 val.).
Failles

d.
LODÈVE
Mas d'Alary.

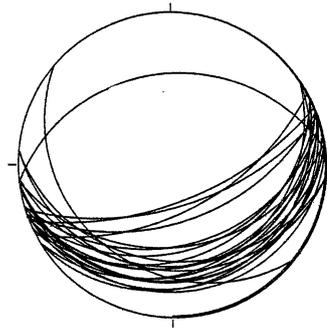


Wulff Hémisphère inférieur (16 val.).
Stratification

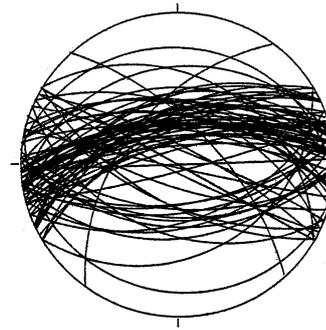


Wulff Hémisphère inférieur (50 val.).
Failles

e.
LODÈVE
Saint-Julien (TMS).

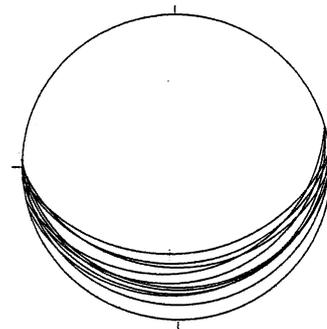


Wulff Hémisphère inférieur (25 val.).
Stratification

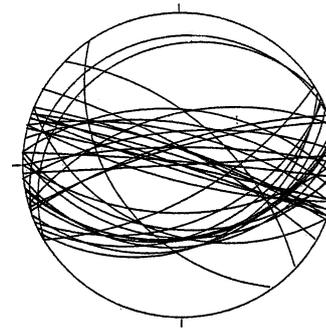


Wulff Hémisphère inférieur (88 val.).
Failles

f.
LODÈVE
Riviéral (TMS).



Wulff Hémisphère inférieur (10 val.).
Stratification



Wulff Hémisphère inférieur (38 val.).
Failles

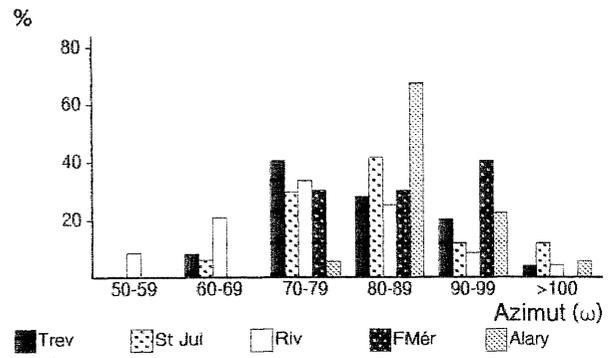
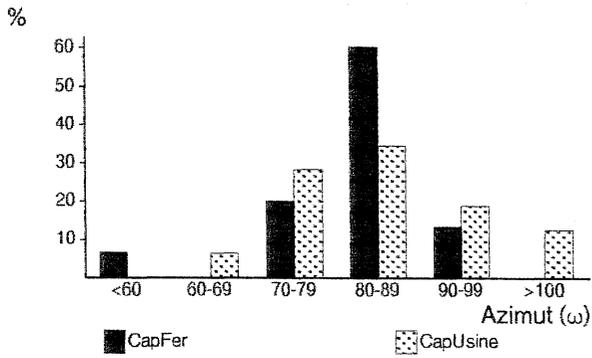
g.
LODÈVE
Faille Méridionale
(TMS).

Annexe 2

Histogrammes des azimuts, pendages et pitchs sur So, F et G pour les divers sites.

Histogrammes des azimuts (ω)

La stratification S_0 (ω_{S_0})



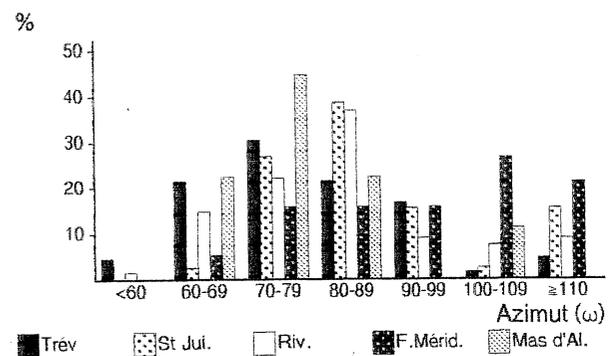
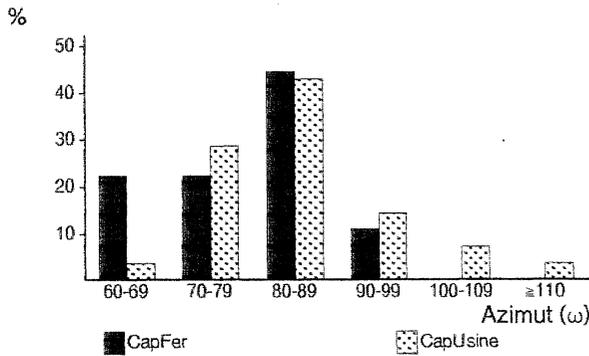
Affleurements

Capitoul Fer	15 mesures
Capitoul Usine	32 mesures

MCO et TMS

Tréviels MCO	25 mesures	St-Julien	17 mesures
Mas d'Alary	18 mesures	Riviéral	24 mesures
		Faille Méridionale	10 mesures

Failles F (ω_F)



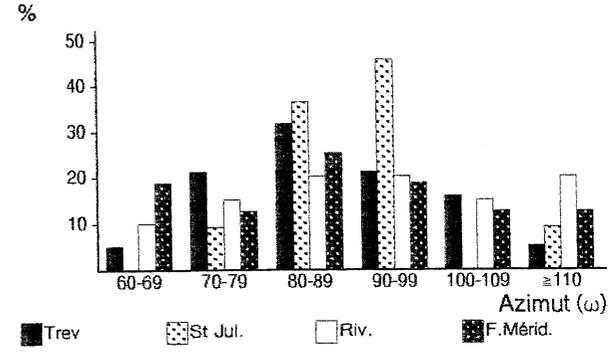
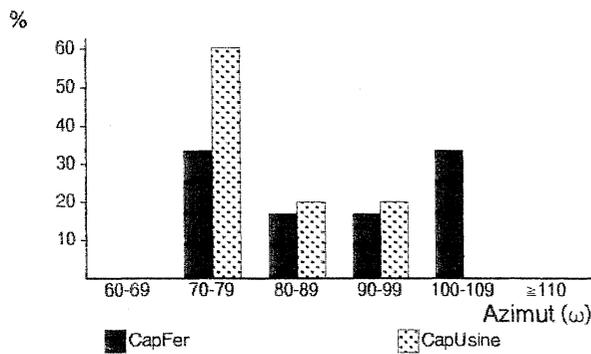
Affleurements

Capitoul Fer	09 mesures
Capitoul Usine	27 mesures

MCO et TMS

Tréviels MCO	66 mesures	St-Julien	39 mesures
Mas d'Alary	09 mesures	Riviéral	68 mesures
		Faille Méridionale	19 mesures

Failles G (ω_G)



Affleurements

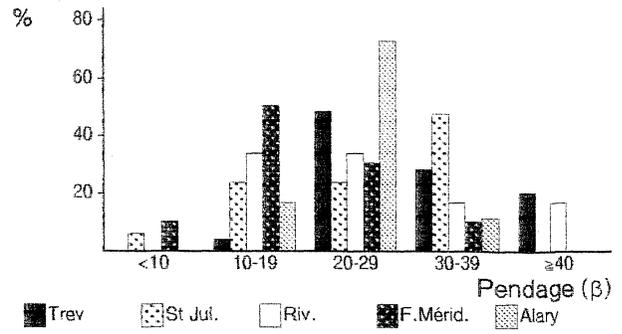
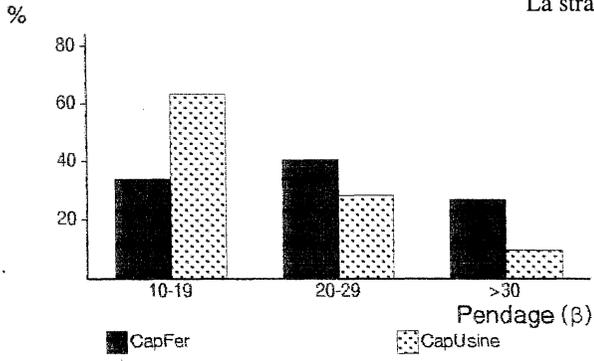
Capitoul Fer	06 mesures
Capitoul Usine	05 mesures

MCO et TMS

Tréviels MCO	19 mesures	Riviéral	20 mesures
St-Julien	11 mesures	Faille Méridionale	16 mesures

Histogrammes des pendages (β)

La stratification S_0 (β_{S_0})



Affleurements

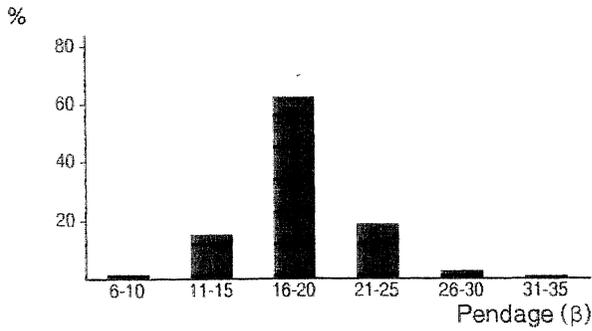
Capitoul Fer	15 mesures
Capitoul Usine	32 mesures

MCO et TMS

Tréviels MCO	25 mesures
Mas d'Alary	18 mesures

St-Julien

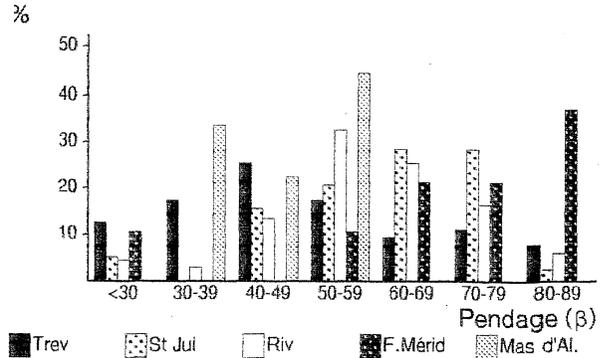
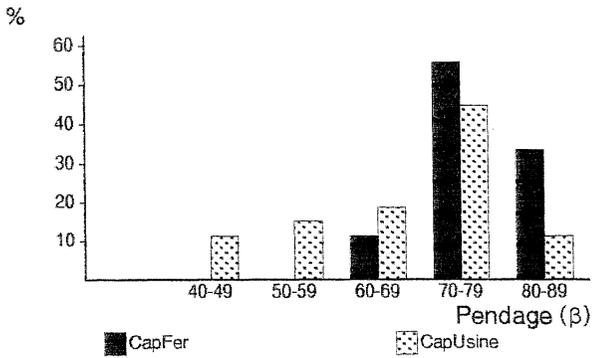
Riviéral	24 mesures
Faille Mérid.	10 mesures



Coupes du gisement (Tréviels Cdg)

Couche 15 146 mesures

Failles F (β_F)



Affleurements

Capitoul Fer	09 mesures
Capitoul Usine	27 mesures

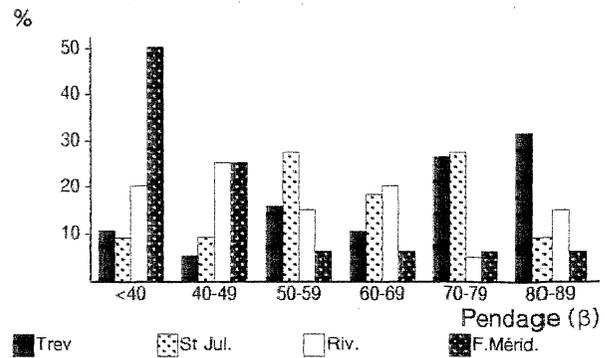
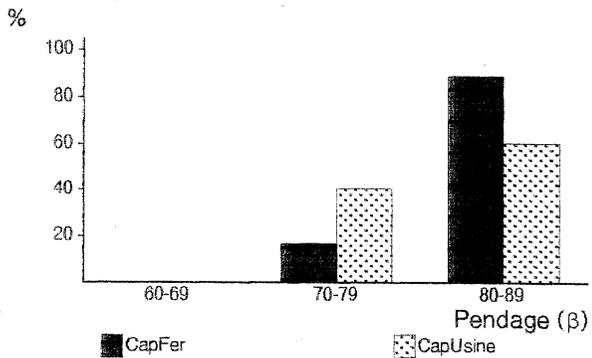
MCO et TMS

Tréviels MCO	66 mesures
Mas d'Alary	09 mesures

St-Julien

Riviéral	68 mesures
Faille Mérid.	19 mesures

Failles G (β_G)



Affleurements

Capitoul Fer	06 mesures
Capitoul Usine	05 mesures

MCO et TMS

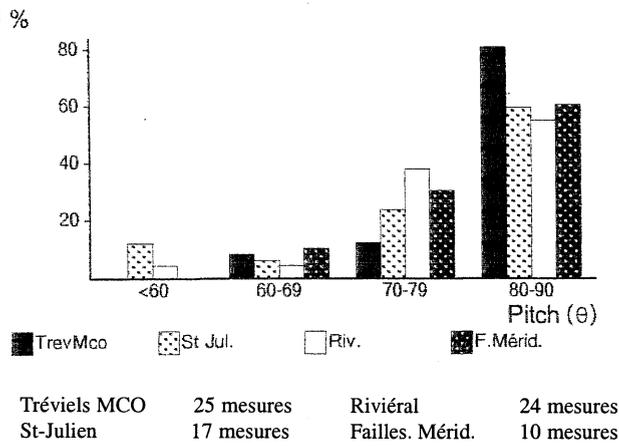
Tréviels MCO	19 mesures
St-Julien	11 mesures

St-Julien

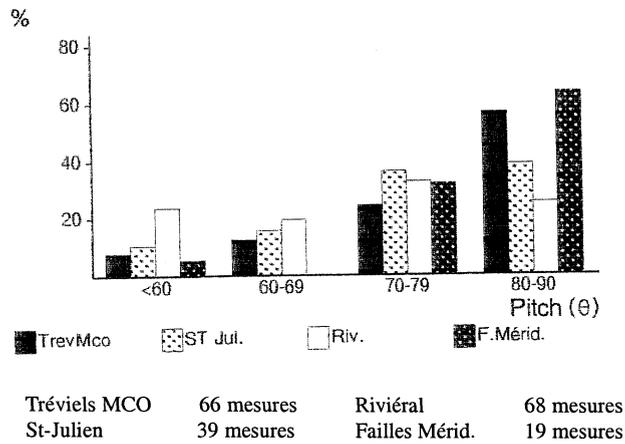
Riviéral	20 mesures
Faille Mérid.	16 mesures

Histogrammes des pitches (θ). (S_o , F, G - pitches)

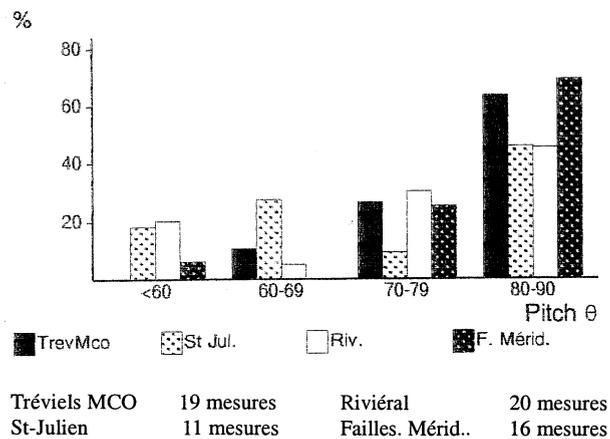
La stratification S_o (θ_{S_o})



Failles F (θ_F)

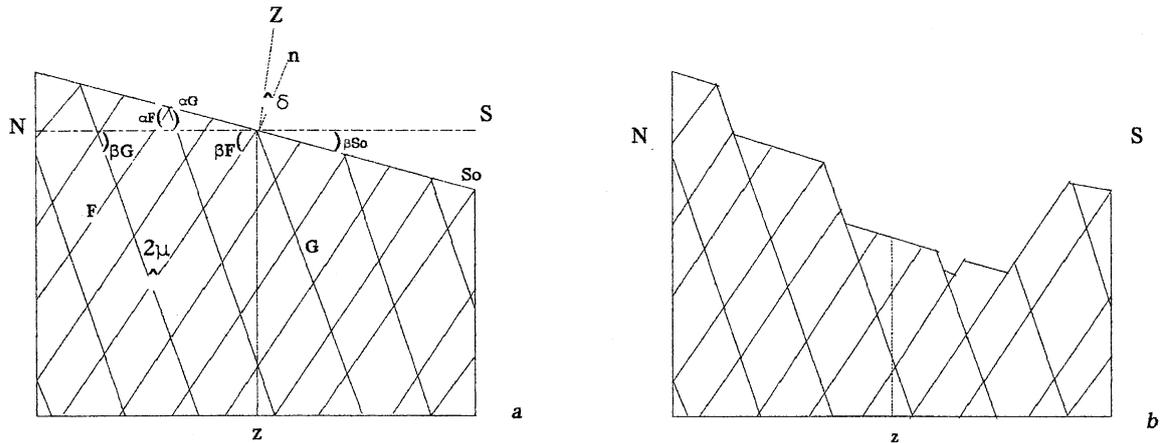


Failles G (θ_G)



Annexe 3

Schéma de la fracturation : a) Les familles F et G ; b) Dièdres de subsidence.



Annexe 4

Champs cinématiques : Déformation rotationnelle et champs de déplacement « moyen ».

La déformation rotationnelle, relative à la phase D₁, est déterminée à TrévielsCdg (coupe 11, couche V, qui caractérise une valeur moyenne d'ensemble) par la méthode du tronçonnement.

Les 4 composantes de la déformation rotationnelle finie, en milieu initial, de matrice $(T)_{xz} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}$

dans les axes (xz) sont déterminées par :

- L'extension de la couche, (de 21 %), soit : $a_{11}^2 + a_{21}^2 = (1,21)^2 = 1,46$
- Sa rotation, (de - 18°), soit : $a_{21}/a_{11} = \tan (-18^\circ) = 0,32$
- L'invariance de volume, donc de surface, soit : $a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12} = 1$
- La rotation rigide, (de - 18°), soit : $(a_{21} - a_{12})/a_{11} + a_{22} = - 0,32$

$$\text{soit } (T)_{xz} = \begin{pmatrix} 1,15 & 0,25 \\ -0,37 & 0,79 \end{pmatrix}$$

Un deuxième calcul, séquentiel (donc approché) concernant la superposition de glissements simples affectés des taux de glissement mesurés : sur G ($\gamma_G = 0,89$), sur F ($\gamma_F = - 0,38$) et sur S₀ ($\gamma_c = 0,25$) conduit à la déformation rotationnelle de matrice T' dans (xz) :

$$(T')_{xz} = \begin{pmatrix} 1,18 & 0,3 \\ -0,38 & 0,75 \end{pmatrix}$$

de composantes voisines de celles de T. Elle fournit une extension ϵ_c de 23,9 % et une rotation de S₀ de - 17,8 % (pour une rotation rigide de - 19,4 %), valeurs proches de celles obtenues avec T.

Le champ de déplacement « moyen » de composantes (u, v, w) dans (x, y, z) est donc caractérisé par :

$$\begin{aligned} u &= 0,15x + 0,25z \\ v &= 0 \\ w &= - 0,37x - 0,21z. \end{aligned}$$