

La déformation cassante: les failles

Visite à la carrière du Mas Lamourier

Introduction

Toute étude d'une déformation tectonique (ici les failles) comporte trois aspects:

- un aspect géométrique où l'on décrit sur le terrain l'objet étudié
- un aspect cinématique où l'on cherche à reconstituer les trajectoires de la déformation c'est-à-dire les déplacements liés à la déformation.
- un aspect dynamique où l'on recherche le moteur ayant entraîné la déformation.

Localisation

Le mas Lamourier est situé sur la route d'Alès à Saint Ambroix, après les Rosiers. Pour atteindre la carrière il faut tourner à gauche, quelques centaines de mètres avant le carrefour pour Rousson. Soyez prudent car l'intersection est située dans un virage. La carrière est visible dès que l'on a dépassé le mas. Le stationnement ne pose pas de problèmes.

1- Description du site : l'aspect géométrique des failles

En regardant vers le S. nous observons des couches de **calcaire** régulièrement stratifié. Ces couches se débitent généralement en **strates** décimétriques visibles à gauche de la photo. Sur la partie droite de la photo les bancs sont massifs et **les joints de stratification** peu apparents.

En observant mieux la partie droite de la carrière nous nous rendons compte que les joints sont de plus en plus serrés lorsque nous montons dans la série.

Au fond de la carrière les couches à joints serrés viennent buter brutalement sur les autres. Il y a manifestement une discontinuité, c'est-à-dire que l'on passe brutalement d'un type de sédimentation à l'autre. Ces discontinuités sont dûs à des cassures ou **failles**.

Examinons les bords de ces failles: les géologues parlent de **lèvres**. Les deux bords se sont déplacés l'un par rapport à l'autre et la surface qui en résulte est le **plan de faille** qui d'ailleurs est rarement une surface plane. Le plan de faille sépare deux **compartiments**.

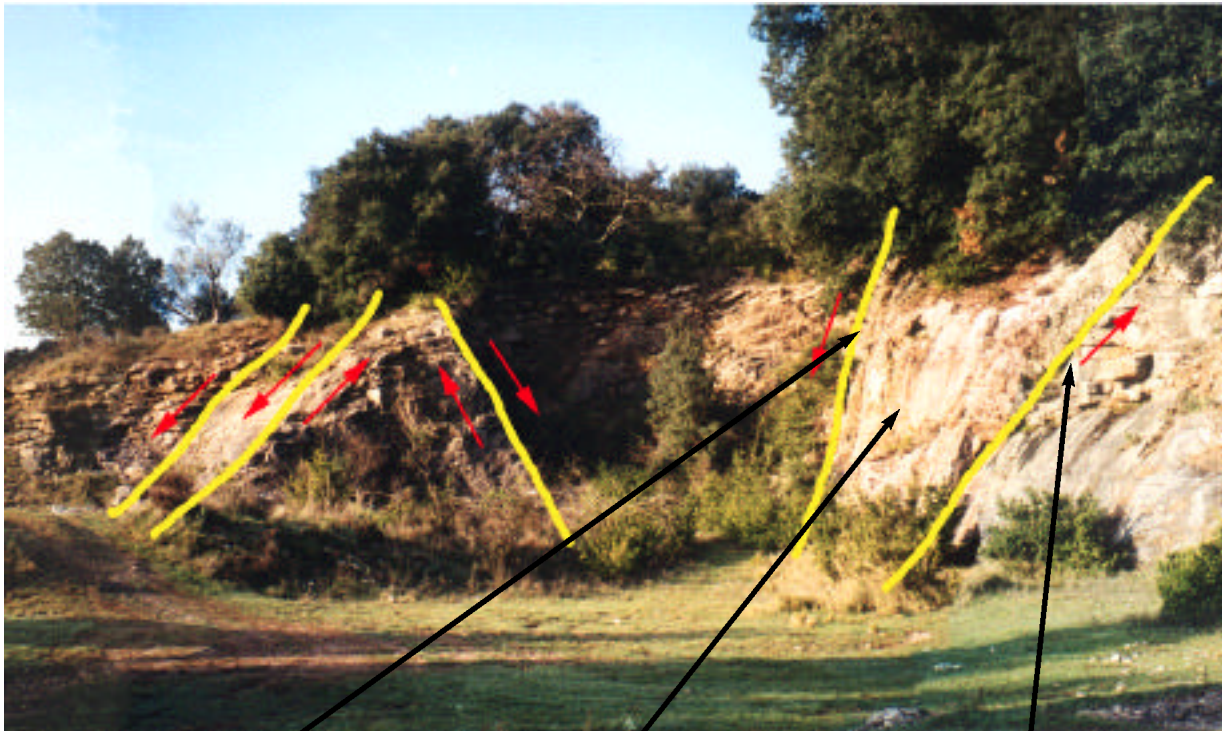
L'examen des lèvres montre qu'elles sont souvent lisses car enduites de cristallisations (ici de la calcite). Nous parlons de **miroir de faille**.

Ce miroir est couvert de **stries** qui sont sensiblement parallèles. Parfois il peut exister deux ou plusieurs **familles de stries** n'ayant pas les mêmes directions.



**Situation
de la carrière
du Mas de Lamourier:**

- carte topographique
au 1/25000 - IGN
- carte géologique au
1/50000 - BRGM



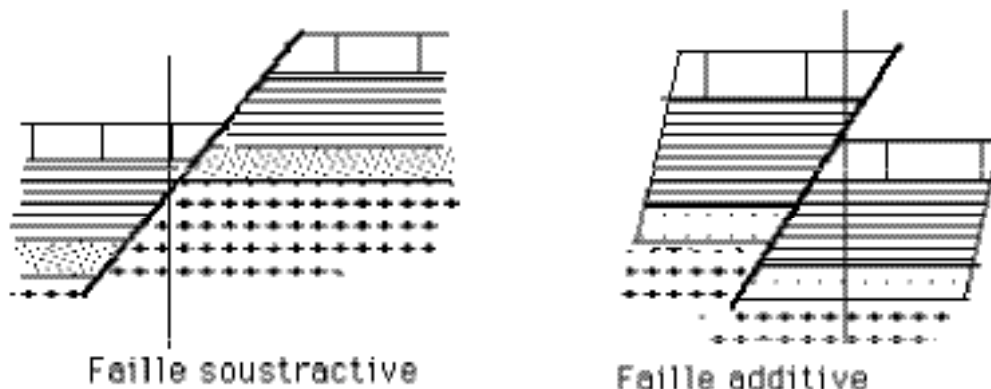
Brèche de
faille



Crochons

Différents types de failles.

Lorsque le plan de faille est incliné vers le compartiment affaissé nous parlons de **faille normale ou soustractive**. En effet si l'on fore nous constaterons que certaines couches ont disparues (ici la couche représentée par des pointillés)



Si le plan de faille surplombe le compartiment affaissé, la faille est dite **inverse ou additive** car lors d'un forage nous pouvons recouper deux fois la même couche.

Il n'est pas toujours aisé de reconnaître sur le terrain le compartiment affaissé en l'absence de **niveau repère**. Celui-ci peut se différencier des autres par sa lithologie, par ses caractéristiques sédimentologiques ou son contenu fossilifère. En l'absence de niveau repère il faudra étudier le miroir de la faille.

Le rejet d'une faille est la valeur du déplacement relatif d'une couche déterminée. Le déplacement ayant le plus souvent une trajectoire oblique nous la décomposons en rejets vertical, transversal et latéral.

2 - L'aspect cinématique : l'extension

La formation de failles en un point de l'écorce traduit une déformation de celle-ci, donc des déplacements de matière. Nous allons examiner les objets qui vont nous informer sur ces déplacements.

Dans le cas de la carrière Lamourier, nous savons que les compartiments se sont déplacés puisque des successions stratigraphiques différentes se trouvent dans le prolongement les unes des autres (calcaire en bancs massifs et calcaires lités). Comment se sont fait ces déplacements? Pour reconstituer les trajectoires suivies par les compartiments, nous utilisons le plus souvent les stries. Elles vont en effet nous donner des indications quant au déplacement relatif des deux compartiments.

La direction des stries nous informe sur la direction du déplacement. Mais pour savoir qu'elle est le sens de ce déplacement, il nous faut observer attentivement ces stries car elles n'ont pas toutes la même valeur.

Les stries résultant de rainures sur le miroir.

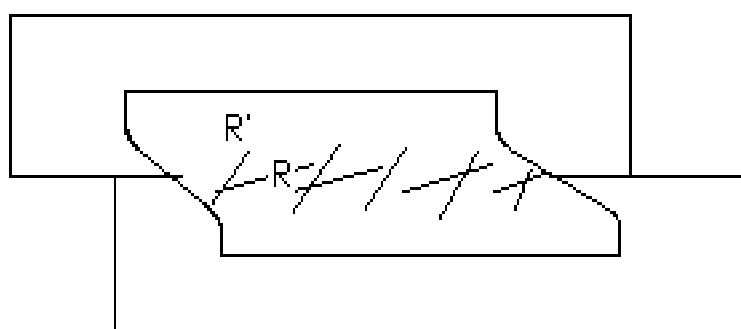
Elles représentent en général l'empreinte d'un objet dur transporté le long des lèvres. Ces stries se reconnaissent au fait qu'il s'agit **de rainures** dans la roche qui ont tendance à s'amortir. En effet, l'aspérité s'use durant le frottement et disparaît. Là, il nous faut distinguer les deux compartiments : l'un que nous observons et l'autre qui a disparu enlevé par l'érosion. Le sens du mouvement du compartiment strié (c'est-à-dire celui que l'on voit) va du plus usé vers le moins usé. Le sens est inversé pour celui qui manque :

Les objets linéaires observés peuvent être des **stylolites** (voir Agar n° 49)

Ils résultent de la dissolution de la calcite, là où les pressions sont les plus fortes. Les impuretés insolubles se concentrent pour donner ces lignes sinueuses qui sont des joints stylolitiques.

Ces objets peuvent être enfin des **fibres de remplissage**

Elles se reconnaissent aisément car elles donnent des surfaces aplanies constituées, dans les calcaires, de fibres de calcite. A l'inverse des stylolites, ces fibres se développent sur les faces abritées des aspérités .



Fractures de Riedel.

Sur les miroirs non striés nous pouvons utiliser des **fractures secondaires** qui apparaissent le long de la surface de cisaillement. Nous parlons alors de **Riedels**

Riedel en 1929, place une galette d'argile sur deux plateaux contigus pouvant se déplacer l'un par rapport à l'autre. La galette subit une torsion qui fait apparaître un système de fractures liées à un cisaillement de la galette.

Des fractures font un angle d'environ 15° avec le miroir : ce sont les **failles R** qui vont dans le même sens que celui du cisaillement.

Les **failles R'** sont les failles conjuguées. Elles font donc un angle de 75° avec le miroir. Elles vont en sens inverse du mouvement et ont donc du mal à se développer. La présence des Riedels R permet, en l'absence de tout autre critère, de connaître le sens du mouvement.

Un autre moyen est donné par les "crochons de faille". Les strates en se frottant contre la faille se rebroussent donnant une idée du mouvement.

Examen de la carrière

Un premier critère de mouvement est donné par les **niveaux repères**. Nous avons observé que les joints de stratification étaient de plus en plus serrés quand nous montions dans la série. Le fond de la carrière peut être divisé en quatre parties (voir photo).

- 1 / A droite nous observons, en premier plan, les bancs massifs de calcaire.
- 2 / Puis dans le creux, au centre de la photo, il s'agit de bancs bien lités qui plongent vers la gauche du cliché.
- 3 / Dans une avancée de la carrière nous retrouvons les bancs massifs,
- 4 / toute la partie gauche de la carrière montre les calcaires bien lités.

Si, comme nous le supposons après l'examen de la stratification, les niveaux bien lités sont situés stratigraphiquement plus haut que les niveaux massifs de calcaire nous pouvons en déduire que les parties 2 et 4 se sont affaissées. L'utilisation de ce **critère stratigraphique** suppose que nous connaissons bien la succession stratigraphique, ce qui n'est pas toujours le cas. Nous allons chercher à vérifier le sens de ces mouvements en cherchant des critères sur les miroirs de faille.

Les miroirs montrent de très nombreuses stries. Ces stries visibles sont soit des rainures dus à des aspérités, soit des zones abritées derrière lesquelles croissent les fibres de calcite. L'examen de ces objets vont dans le même sens que nos premières conclusions.

Pour pouvoir traiter sur des canevas les observations faites, nous avons pris des mesures sur les miroirs. Pour chaque strie observée nous avons fait deux mesures: la première concernant le plan strié et l'autre la strie.

Comment caractériser les plans

Nous les caractérisons par trois paramètres.

L'orientation : l'intersection du plan S0 et d'un plan horizontal détermine une ligne : cette ligne fait avec la direction du Nord un certain angle. Cet angle caractérise l'orientation du plan. Nous comptons de 0 à 180° dans le sens horaire. Ici les directions oscillent entre N.30 à N.40° .

La direction : le plan S0 peut plonger dans deux directions différentes autour de la ligne N.30°. Soit vers le NW, soit vers le SE. Nous retrouvons ici les deux directions. Nous comprendrons pourquoi par la suite.

Le pendage : le plan peut plonger d'un angle allant de 0° (plan horizontal) à 90° (plan vertical). Les valeurs ici tournent autour de 60°.

Comment caractériser une ligne.

Une strie, une fibre ou un pic stylolitique sont assimilés à des éléments linéaires. Nous les caractérisons également par les trois mêmes paramètres :

- **L'orientation** : est définie par l'orientation du plan vertical dans lequel se situe la strie ou la fibre. Pour cela on place un coin de la boussole sur la strie et l'on soulève l'autre bord pour que la boussole soit horizontale de telle façon que ce bord soit dans le plan vertical contenant la strie. L'orientation est l'angle de ce plan avec le plan vertical contenant la direction du pôle N.

- **La direction** : la ligne considérée plonge dans une direction que l'on note .

- **Le pendage** est l'angle de cette ligne avec l'horizontal.

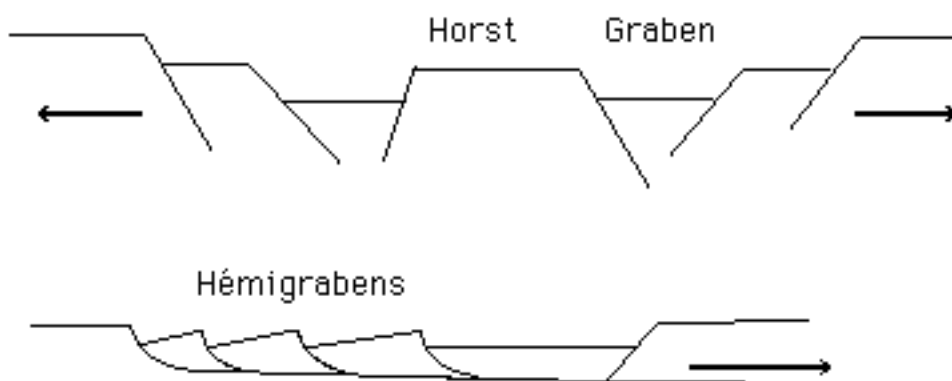
Ici nous n'avons retenu que 5 groupes de mesures pour apprendre à manipuler les canevas. Il s'agit de 1 à 5:

Plan	035°NW65°	040°SE 60°	034°SE 62°	030°NW56°	160°NE65
Strie	090° W60°	160°S 55°	120°E 60°	090°W52°	010°N42°

Retenons que lorsque le plan est vertical ou subvertical, il est difficile de caractériser ce plan. On utilise alors le pitch. Les canevas permettent alors de reconstituer les différents paramètres du plan.

Enfin à la carrière de Lamourier, il existe également sur tous les miroirs, des crochons de faille qui confirment le sens des mouvements.

Conclusions : La carrière est découpée par des failles normales. Elles apparaissent quand il y a un étirement des terrains. Il se produit la même chose si l'on tire sur un morceau de tissu, il s'allonge et peut se déchirer. Nous parlons de failles d'extension. Ces failles vont donner une succession de horst et de graben dont la carrière est un bon exemple à l'échelle décamétrique.



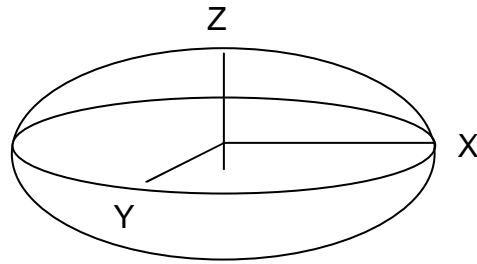
Ce basculement des blocs conduit à un amincissement crustal. Il est donc souvent suivi d'un réajustement isostatique.

L'ellipsoïde de la déformation finie.

Pour comprendre ce qui va se passer à l'échelle de la carrière, puis de la région, il nous faut réaliser ce qui se passe à l'échelle microscopique. Nous assimilons l'objet initial à une petite sphère ou à la juxtaposition d'une infinité de petites sphères. Nous soumettons cette sphère à une contrainte vertical. Elle va se déformer et devenir un ellipsoïde. Si les contraintes dans les trois directions principales sont différentes, nous obtenons après une déformation l'ellipsoïde de la déformation finie.

On caractérisera ainsi :

- Une direction d'allongement ou X
- Une direction intermédiaire Y
- Une direction de raccourcissement Z



Les formations de la carrière ont été soumises à une extension ayant entraîné l'effondrement des parties 2 et 4 de la carrière. Elles constituent des grabens, les parties 1 et 3 constituant des horst.

Cette extension correspond à la direction d'allongement (X) de l'ellipsoïde de la déformation finie sensiblement orientée E-W. si l'on tient compte de l'orientation de la carrière allongée N-S. La direction de raccourcissement est (Z): elle est verticale et correspond à la pesanteur.

Cette direction est bien connue à Alès où elle correspond à la direction de la faille des Cévennes. Cette faille borde un fossé d'effondrement: le fossé d'Alès long de 50km et dont la largeur peut atteindre 5 à 6 km. Ce fossé est un graben rempli par plus de 1500m. de dépôts d'âge oligocène

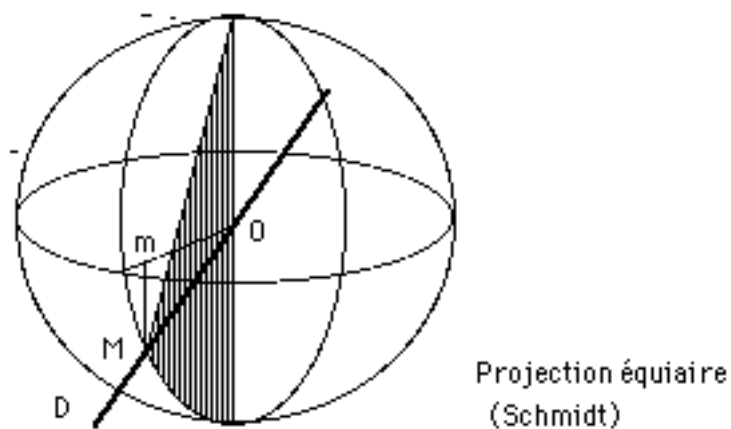
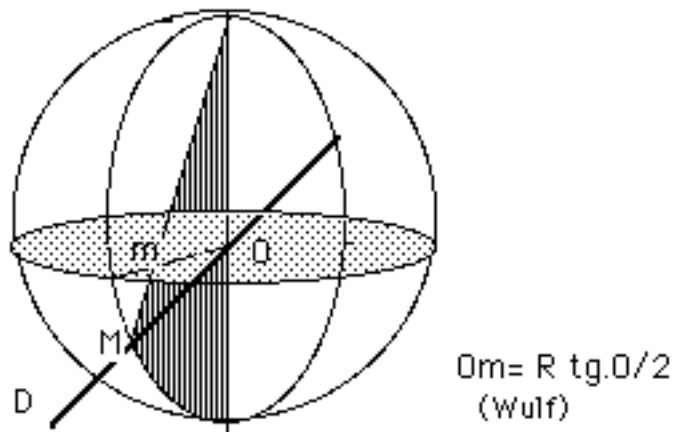
Les mesures prises et reportées sur un canevas vont nous permettre de préciser ces directions.

Les canevas.

Une projection cyclosphérique établit une correspondance entre les points d'une demi-sphère et son plan équatorial. La localisation, n'important pas, nous considérons parmi les directions de l'espace relevées, l'unique représentant passant par le centre de la sphère de projection. On fait donc passer arbitrairement toutes les lignes et plans par le centre de la sphère.

On utilise le canevas de Wulf pour les projections équiangulaires et le canevas de Schmidt pour les projections équiangles.

Ces canevas sont donc une projection sur le plan équatorial des lignes parallèles et méridiennes. Dans le Canevas de Wulf comme dans celui de Schmidt si l'on représente les parallèles nous avons des cercles concentriques ou petits cercles ou encore couronnes et si l'on projette les méridiens nous avons de grands cercles ou guirlandes.



On peut ainsi représenter spatialement:

les plans et les droites, les intersections de plans, les intersections de droites et de plans, les intersections de droites (angles).

Outre ces représentations on peut faire des évaluations statistiques, réaliser des opérations de rotation (suppression de l'effet de plissement dans les mesures de linéations, de direction de joints etc...).

Opérations sur un plan.

La trace cyclographique

Ce plan sera caractérisé par son azimut et son inclinaison. Prenons la première mesure (035°NW65°).

On utilise une planchette sur laquelle est fixé le canevas. On dispose au-dessus un calque sur lequel on indique le contour du canevas et les directions cardinales. Ce calque est fixé par le centre du cercle sur le centre du canevas grâce à une épingle qui permettra de le faire tourner.

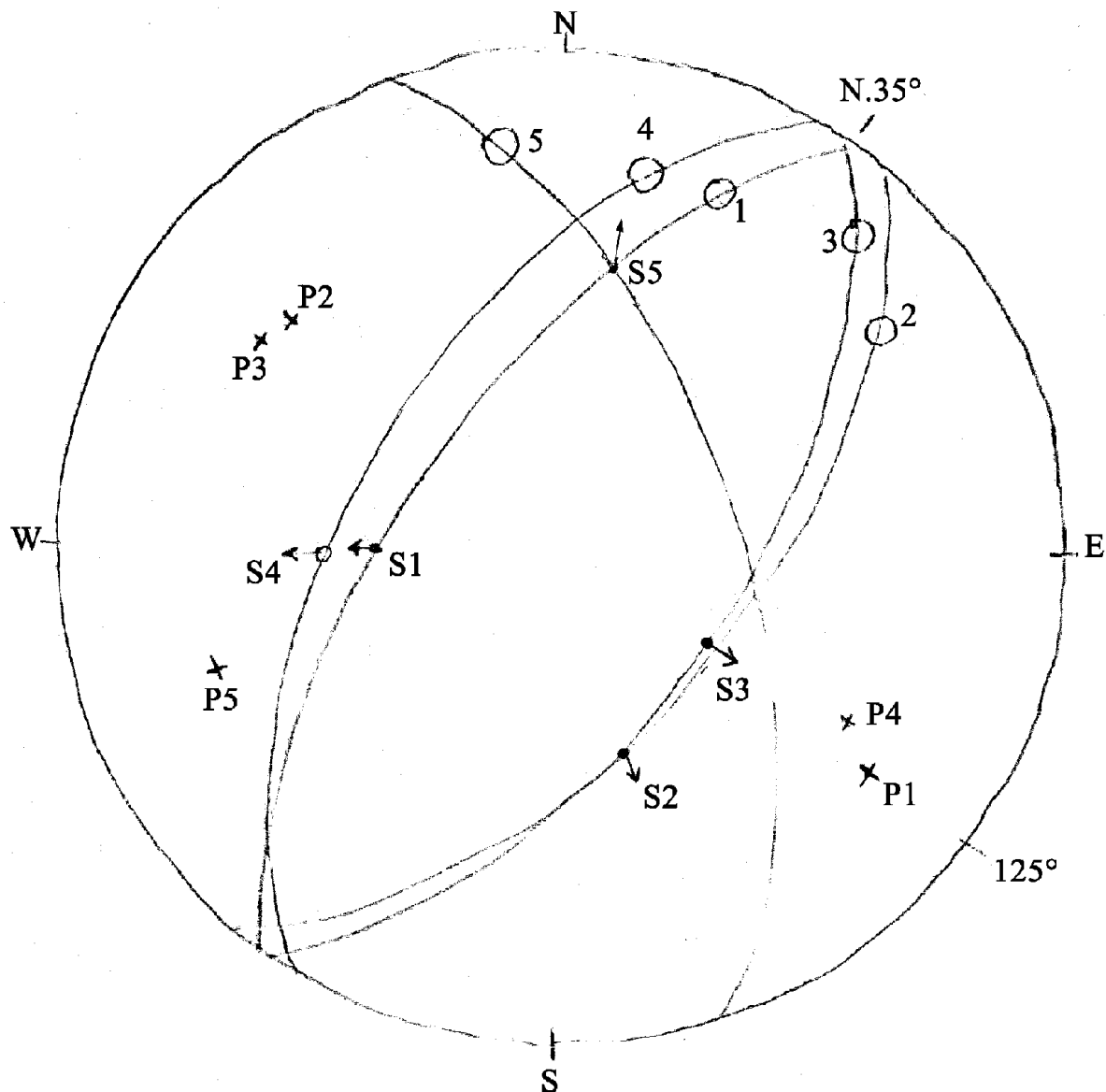
On fait tourner le calque d'une valeur de 035° dans le sens anti-horaire, puis sur le diamètre Est-Ouest on porte de la périphérie vers le centre la valeur de 65°.

On trace alors le grand cercle passant par le point ainsi obtenu, c'est la projection de l'intersection du plan considéré et de la demi-sphère sur le plan équatorial.

On parle de **trace cyclographique du plan**. Il s'agit d'un grand cercle (méridien).

Le pôle du plan

Il s'agit de l'intersection de la droite normale au plan, passant par le centre du canevas et de



l'hémisphère inférieure. Ce point se situe également sur le diamètre E-W, mais sur le rayon opposé. Pour l'obtenir nous portons la valeur du pendage en partant du centre de la sphère.

Pour obtenir la position vraie du plan dans l'espace il suffit de faire tourner le canevas en sens contraire (sens horaire) et ramener le N du calque sur le N. du canevas.

Opérations sur une ligne.

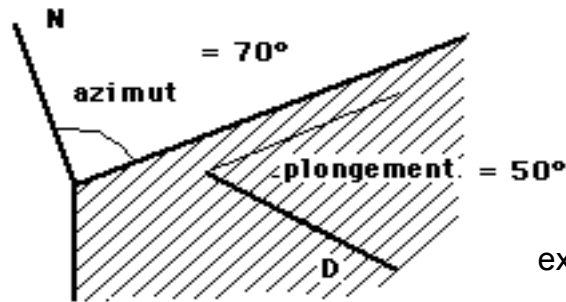
Repérage d'une ligne.

Soit une droite D dans l'espace. Nous construisons le plan vertical (P)(hachuré) passant par cette droite. L'angle entre l'horizontal sur le plan et la droite nous donne l'angle de plongement. L'azimut du plan par rapport au pôle nord nous donne un deuxième angle.

Une droite est donc repérée comme un plan.

La direction est celle du plan vertical qui contient cette ligne. Le plongement est l'angle fait dans ce plan avec l'horizontal.

L'orientation est celle du plongement. Revenons à notre canevas, prenons la strie correspondant au plan utilisé soit 090° W60°



Nous faisons tourner le calque d'une valeur égale à celle de la direction. Soit 90° dans le sens antihoraire. Puis nous comptons le plongement sur le diamètre N-S, en partant de la circonférence soit 60° . Nous caractérisons ce point (pôle) par une petite flèche. Si nous avons pu caractériser le sens du mouvement, la flèche indique le mouvement du compartiment supérieur. Sinon nous la dirigeons vers l'extérieur du cercle.

Le calque obtenu avec les quatre points (ce qui est notoirement insuffisant) montre que la direction d'allongement est orientée $N125^\circ$ et qu'elle correspond à un graben orienté $N35^\circ$.

Le cinquième points P5 indique qu'un autre phénomène à affecter les calcaires du Mas Lamourier. Une mesure ne permet pas de le caractériser

L'aspect dynamique.

Le graben d'Alès n'est pas un élément isolé en France. D'autres grabens sont connus comme en Limagne, le long du Rhin. La Bresse n'est que le prolongement vers le S. du fossé du Rhin. Plus au N., hors de France (Allemagne et Belgique) la direction change et devient NW-SE dans la dépression de Rhénanie.

Une grande fissure a donc écartelé l'Europe au début du Tertiaire. Ces fractures d'extension s'appellent des rifts (de l'anglais déchirure) .

Ces rifts peuvent s'expliquer de deux façons différentes :

- Il peut s'agir de la montée d'un dôme ou diapir d'asthénosphère chaude. Par expansion thermique (dilatation) il s'en suit la formation d'un dôme lithosphérique avec un glissement de la croûte sur ses flancs et une extension de sa crête à la façon de ce qui se passe à l'extrados d'un pli.

Le refroidissement du système entraîne sa contraction et donc une subsidence thermique d'où la formation d'un graben.

- La deuxième hypothèse part d'un étirement de la lithosphère dont l'épaisseur se réduit, ce qui entraîne sa fracturation et la formation d'un graben. L'augmentation du gradient géothermique favorise la dilatation et donc l'allongement. Là encore le refroidissement du système entraîne sa contraction et sa subsidence thermique.

Quel est le moteur de cette extension de la croûte européenne? plusieurs hypothèses ont été avancées.

La plus intéressante nous paraît être celle de l'entraînement continental (Tapponier 1977).

Avant l'Eo-oligocène nous avons un continent sud regroupant l'Afrique, les promontoires italiens et "nord-arabie" et d'une part un continent nord eurasiatique. A la suite de l'ouverture de la partie septentrionale de l'Atlantique durant l'Eocène, l'Afrique qui se déplace vers l'Est rentre en collision avec l'Europe orientale et centrale qu'elle entraîne avec elle vers l'Est. La résistance de l'Europe Atlantique provoque l'apparition d'une déchirure (rift) qui va du golfe du lion à la mer baltique

J.C. Lahondère et C. Perrier