



STAGE DE MAITRISE SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS 2003

Analyse structurale des paléocirculations régionales autour du site du laboratoire souterrain de l'A.N.D.R.A.

Laboratoire G2R (Géologie et Gestion des Ressources Minérales et Énergétiques)
UMR 7566 UHP NANCY 1
BP239 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex France



PERRIN Nicolas
SALM Alexandre

Juin 2003

Avant-propos

Cette analyse structurale est un stage de fin de Maîtrise de Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université Henri Poincaré, Nancy 1. Elle s'inscrit dans le projet de recherche FORPRO de l'A.N.D.R.A. et vise à améliorer les connaissances sur les paléocirculations autour du site du futur laboratoire souterrain de Bure, plus précisément dans la région de Commercy à Verdun, Meuse.

Cette étude est poursuivie par des étudiants de DEUG/Licence en Sciences de la Terre et de l'Univers afin de compléter les données sur un secteur plus vaste.

Tuteur : M.Christian Hibschi, Maître de Conférence Sismotectonique et Sédimentation

SOMMAIRE

Avant-propos

1. Introduction	p. 4
2. Géologie régionale	p. 4-5
3. Méthodologie de terrain	p. 6
4. Traitement des données	p. 6-7
5. Résultats	p. 8-13
6. Conclusion	p. 14

Références

1. Introduction

- Contexte

Le gouvernement français a autorisé l'ANDRA à construire un laboratoire de recherche scientifique à 500 mètres de profondeur, dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien, à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne, à Bure. Ce laboratoire, outil de recherche multidisciplinaire, est destiné à étudier la faisabilité d'un centre de stockage de déchets radioactifs en couches profondes. Il est donc important de comprendre comment les différentes séries se sont mises en place et comment elles ont évolué au cours des temps géologiques d'où cette étude structurale des paléocirculations régionales autour du site de Bure.

- Objectif

Le but de ce stage est de compléter la connaissance régionale sur la fracturation, par l'apport de données sur la quantification de la distribution des fentes de tension à remplissage calcitique syntectonique (fentes de tension et filons sédimentaires, les calcites karstiques ne seront pas considérées). L'objectif est de définir la distribution de ces fentes par familles directionnelles, en s'attachant donc à définir l'espacement interfractural et les ouvertures de ces paléostructures drainantes.

De plus, une campagne d'échantillonnage de roches saines, fentes de tension et filons sédimentaires a été effectuée pour de futures analyses géochimiques des remplissages.

2. Géologie régionale

L'emplacement du laboratoire souterrain se situe à la limite de la Haute-Marne et de la Meuse dans la bordure Est du bassin de Paris au niveau de la localité de Bure. Le laboratoire sera implanté dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien (en bleu foncé sur la carte géologique). Cette couche est surmontée par l'oxfordien calcaire (en bleu clair) puis par le kimméridgien marneux (en vert). (cf. fig1 et 2)

Les accidents majeurs de la région sont la faille de Metz au Nord, la faille de Vittel au sud, les failles de la Marne à l'Ouest ainsi que les fossés de Joinville et de Gondrecourt. Les failles de Metz et de Vittel ont joué en décrochement à l'oligocène avec pour relais les fossés de Joinville et de Gondrecourt.

La zone étudiée est située entre Verdun et Commercy principalement dans l'Oxfordien calcaire. Dix neuf sites ont été étudiés, ce sont le plus souvent des carrières abandonnées et des bords de route. Les sites ALF1, C2, DSM1, DSM2, DSM3, SM1, SM2, SM3 se trouvent dans l'Oxfordien inférieur (entroquite et calcaire à polypiers), les sites DSM5, DSM6, DSM7, DSM8 et SM4, SM5 se situent dans l'oxfordien moyen (calcaire oolithique, calcaire blanc crayeux bioclastique et calcaire bioclastique). (cf. Annexe A Carte de localisation des sites)

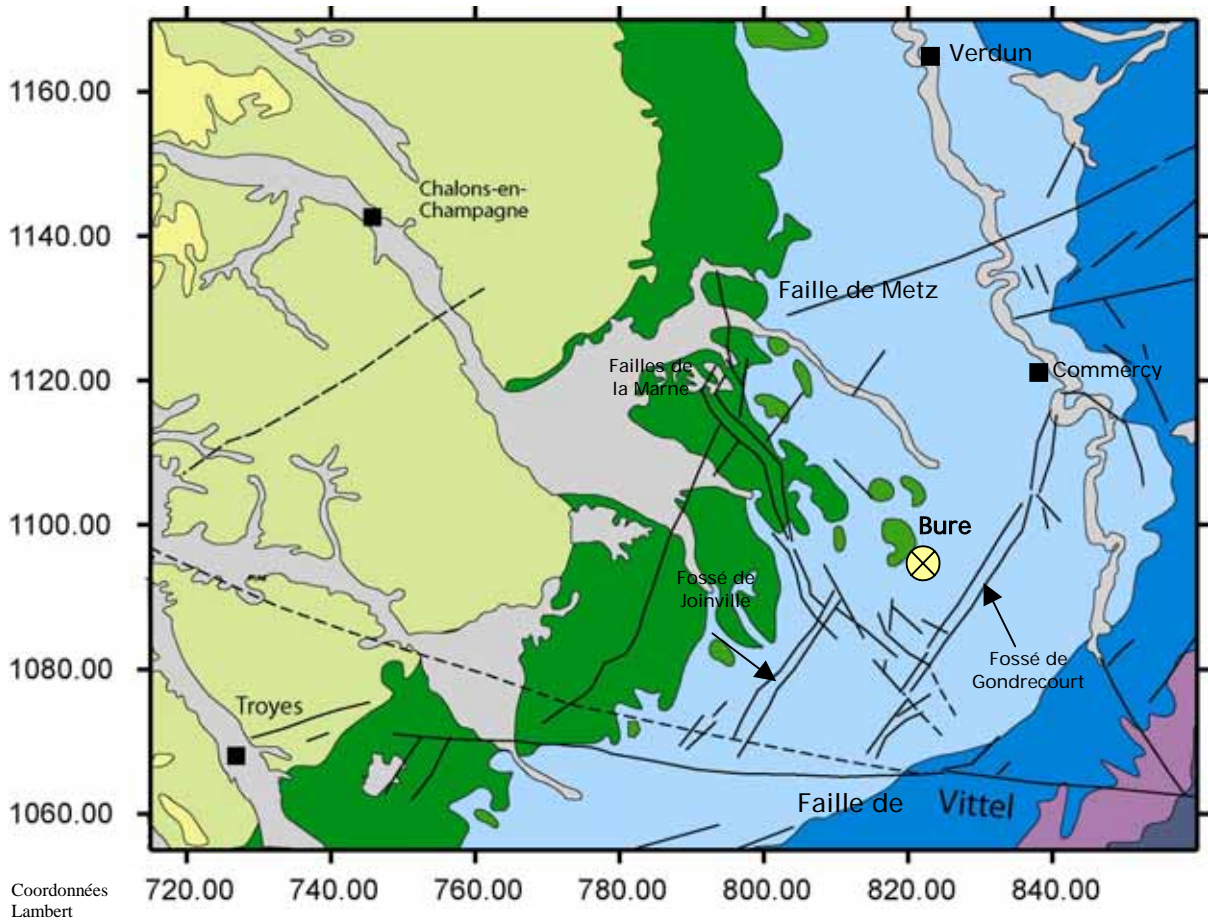


Figure 1: Localisation du site de Bure et géologie régionale (D'après G. ANDRE, 2003)

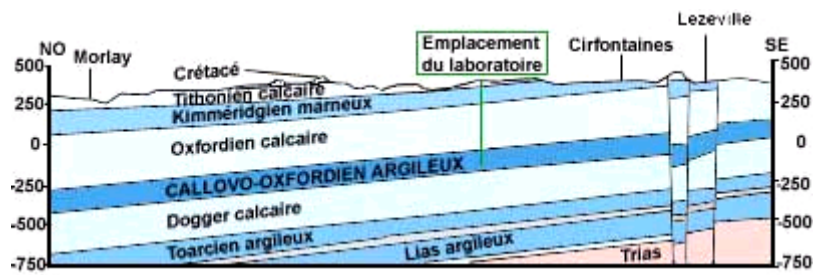


Figure 2: Coupe géologique Est du bassin parisien (A.N.D.R.A.)

3. Méthodologie de terrain

Sur le terrain la démarche a été systématique pour chacun des sites. Trois fiches de site sont nécessaires: fiches *profil*, *objets*, *échantillons* (cf. Annexe A)

La première étape est la localisation précise du site par GPS ainsi que la prise de vue d'ensemble du profil (photo numérique). Il faut ensuite enregistrer toutes les données nécessaires à la reconstitution du profil et au positionnement des objets orientés sur ce dernier.

- Deux données servent à reconstituer le profil sur Surfer[®] : la direction du profil le long du cheminement (entre 0° et 360°) et la distance inter-objets (en m).
- Le positionnement des objets (fentes de tension et filons sédimentaires) passe par la mesure de leur orientation (entre 0° et 180°), de leur ouverture moyenne (en mm) et d'une estimation de leur extension verticale ou horizontale (en m).
- Les chronologies éventuelle des différents objets sont notées (mouvements de faille associés, karstification,...)

Ces acquisitions de données sont complétées par l'échantillonnage de roche saine et d'objets. Chaque échantillon est photographié lorsqu'il est encore en place puis répertorié (cf. Annexe B : Tableau des échantillons). Ces échantillons permettront de caractériser ultérieurement, par analyses géochimiques, les fluides responsables des différents remplissages.

4. Traitement des données

Après avoir compilé les données par site sur Excel[®], nous avons pu localiser les différents points/objets en coordonnées Lambert puis réaliser divers traitements :

- Localisation géographique et habillage géologique

A l'aide du logiciel Illustrator[®], réalisation d'une carte géologique du secteur étudié avec positionnement des sites ainsi que les accidents majeurs (cf.fig.1 et annexe B).

- Reconstitution du profil des sites

A l'aide du logiciel Surfer[®], on trace le cheminement effectué avec les positions des objets. Ils sont représentés par des segments de droite orientés. De plus, la longueur d'un segment de droite est proportionnelle à l'ouverture de l'objet.

La vision du profil complet permet de repérer les redondances d'objets, c'est à dire la prise en compte du même objet plusieurs fois dans le cheminement (il est rarement « droit », surtout dans une carrière). Seul un objet est conservé, les autres sont éliminés de la base de données.

- Représentativité des objets

Le relevé unidimensionnel induit des erreurs sur les données car il a une influence sur l'observation des objets orientés. En effet, les objets perpendiculaires au profil ont une probabilité maximum d'être rencontrés, tandis que les objets parallèles au profil ont une probabilité minimale d'être rencontrés (cf.fig.3)

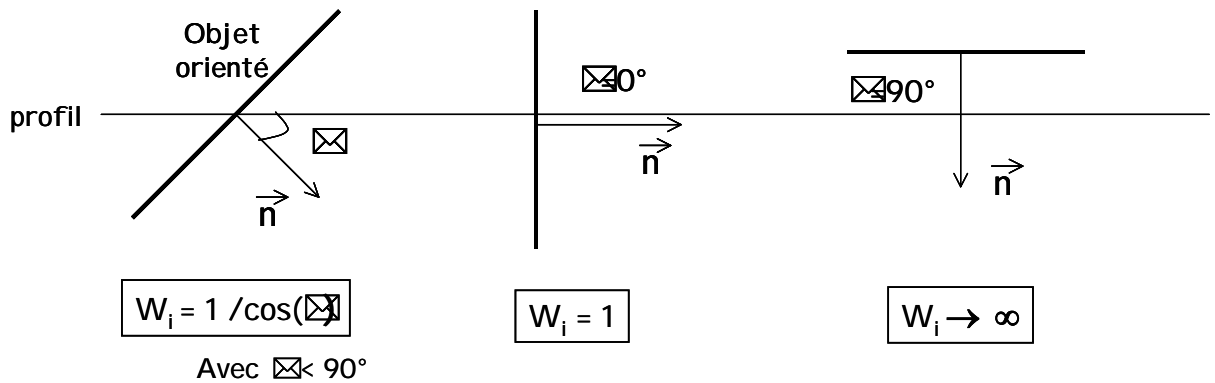


Figure 3: Incidence de l'orientation des objets sur leur observation

On introduit un coefficient W_i calculé à partir de l'angle δ (angle entre la normale d'un objet et la direction du profil). On calcule alors un facteur de pondération W_n (Yow, 1987) :

$$W_n = W_i \times \frac{N}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Celui-ci est multiplié aux données pour affecter plus ou moins de poids aux objets en fonction de leur orientation par rapport au profil.

- Réalisation de rosaces de directions

A l'aide d'Excel[®], on effectue des rosaces de distribution de différents types :

- Distribution de tous les objets par site et générale
- Distribution par type d'objet (fentes de tension et filons sédimentaires)
- Distribution en fonction de l'ouverture cumulée
- Distribution par lithologie (éventuellement)

- Réalisation de fiche de site

Ces fiches présentent la localisation précise du site étudié (coordonnées, cartes), ainsi que la (les) lithologie(s) rencontrée(s).

Ensuite sont représentés le profil, une (des) rosace(s) de distribution caractéristique(s), accompagné d'un commentaire.

5. Résultats

A partir de ces traitements (et corrections), nous avons obtenu divers résultats :

- Trois familles directionnelles

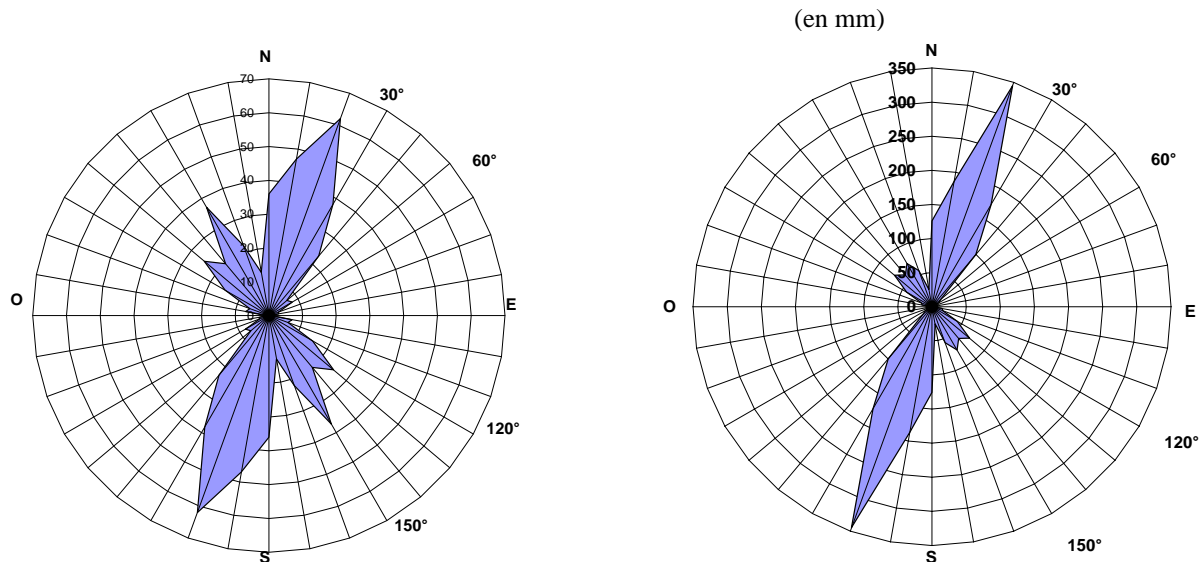


Figure 4 et 5: Rosaces de distribution de l'ensemble des objets brute et en fonction de l'ouverture (N=373)

La rosace de distribution brute (fig.4) ou de distribution en fonction de l'ouverture cumulée (fig.5) font ressortir trois familles directionnelles :

- La première famille est orientée entre N0° et N40°. Le nombre d'objets dans cette famille est de 208 dont 125 fentes de tension et 83 filons sédimentaires. C'est la famille la plus représentée.
- La seconde famille est orientée entre N125° et N165°. Le nombre d'objets dans cette famille est de 130 dont 115 fentes de tension et 15 filons sédimentaires.
- La dernière famille est orientée entre N60° et N100°. C'est la famille la moins représentée avec 35 fentes de tension et aucun filon sédimentaire.

- Paléocirculations

L'ensemble des objets nous donne un cumul d'ouvertures dues aux paléocirculations de 128,8cm. Deux directions de paléocirculations ressortent clairement (cf. fig.5).

La direction de circulation la plus importante correspond à la famille directionnelle 1: l'ouverture totale cumulée est de 92,9 cm. Cette circulation est due pour 60% aux fentes de tensions soit 55,7 cm, le restant étant dû aux filons sédimentaires (40% : 37,2 cm).

La famille 2 représente, à un degré moindre, une seconde direction de circulation : l'ouverture totale cumulée est de 36,2 cm. Cette circulation est due pour 80% aux fentes de tensions soit 28.9 cm, le restant étant dû aux filons sédimentaires (20% : 7,3 cm).

La famille 3 ne représente qu'un très faible proportion des circulations totales (3,3 cm, soit 2,5%).

- Directions de σ_3 et régimes associés

Les filons sédimentaires ont une orientation moyenne de N20°, des filons de directions plus obliques (autour de N130°) ont été observés dans une carrière de Lérerville (SM1) et dans une carrière de Génicourt (DSM1).

Ils se rencontrent dans l'Oxfordien inférieur (entroquite et calcaires à polypiers), des indices avec les échantillons (27-6-3-1 DSM6, calcaire oolithique et bioclastique ; 10-6-3-1 DSM7, calcaire oolithique) montrent leur continuité éventuelle dans l'Oxfordien moyen, mais avec des ouvertures moins importantes.

Ces filons matérialisent une extension globalement orientée E-O à l'Oxfordien. Les filons N130° pourraient matérialiser une modification de l'état de contrainte durant l'Oxfordien.

L'analyse des pôles des fentes de tension de chaque famille permet de déterminer différentes directions de σ_3 enregistrées dans le bassin de Paris.

- Famille 1: N0° - N40° (cf. fig.6)

Les pôles des fentes de tension de cette famille indiquent une direction moyenne de σ_3 d'environ N110°. Nous relierons cette direction de σ_3 au régime pyrénéen.

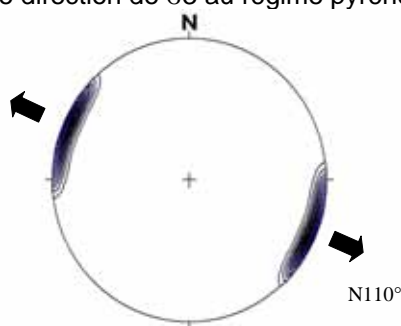


Figure 6 : Stéréogramme des pôles des fentes de tension de la famille 1 (N=125)

- Famille 3: N60° - N100° (cf.fig.7)

Les pôles des fentes de tension indiquent une direction de σ_3 d'environ N170°. Cette direction de σ_3 est peu représentée dans la zone étudiée, une hypothèse serait de relier cette orientation de σ_3 au régime pyrénéen avec une contrainte plus oblique par rapport à la famille 1, mais pour l'instant aucune chronologie entre fentes de tension sur le terrain n'est venue confirmer cette hypothèse.

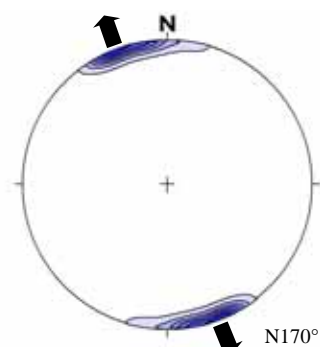


Figure 7 : Stéréogramme des pôles des fentes de tension de la famille 3 (N=35)

- Famille 2 : N125° - N165° (cf.fig.8)

Les pôles des fentes de tension indiquent une direction moyenne de σ_3 d'environ N55°. Nous relierons cette direction de σ_3 au régime alpin.

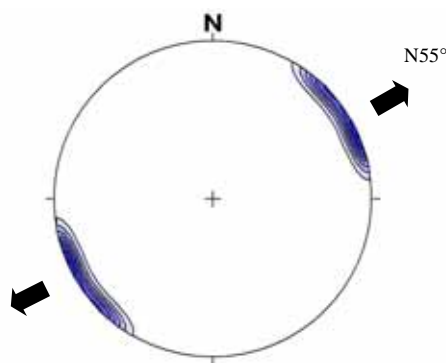


Figure 8 : Stéréogramme des pôles des fentes de tension de la famille 2 (N=115)

- Chronologies de déformations et de paléocirculations observées

Des observations de terrain sur les sites SM1, SM2 et DSM1 ont permis de déterminer plusieurs chronologies de déformations et de paléocirculations.

- Sur le site SM1 (cf.fig.9 et fiche de site en annexe B)

- 1) Formation de filons sédimentaires N22° (cf.fig.10)
- 2) Réactivation en faille normale (cf.fig.11)
- 3) Réactivation en décrochement senestre fonctionnant avec $\sigma_1=160^\circ$, suggérant un âge Crétacé à Eocène. Ce décrochement correspond à une déformation pyrénéo-provençale (cf.fig.12)
- 4) Recouvrement sparitique du plan de faille lié à l'extension Oligocène (cf.fig.13)
- 5) Karstification récente (cf.fig.14)

Cette chronologie a été observée également dans une carrière de Génicourt (site DSM1) avec un filon sédimentaire N35°, réactivation en jeu normal, puis en décrochement senestre N35°, l'ensemble est recouvert par de la sparite oligocène.

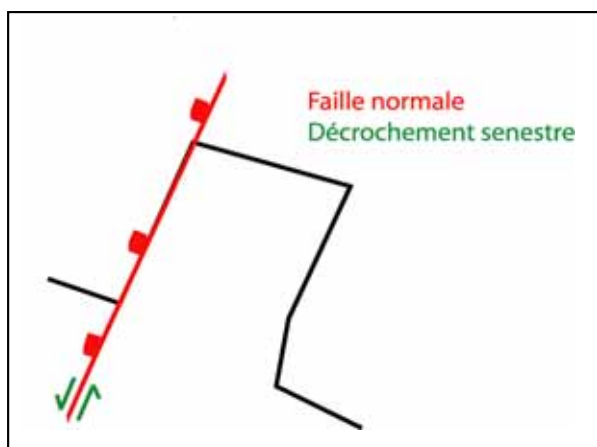


Figure 9 : Schéma de la zone de profil concernée avec positionnement des structures



Figure 10 : Filon sédimentaire N22°

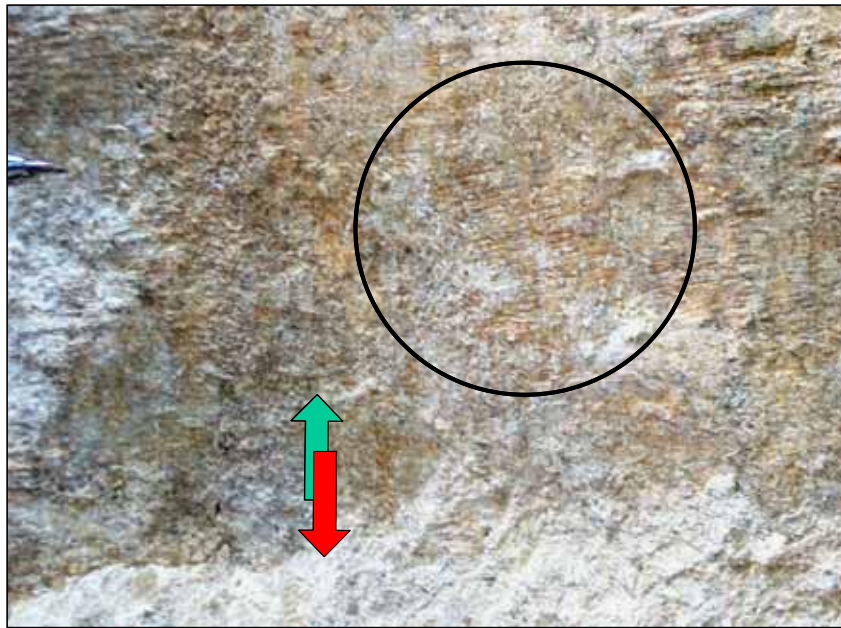


Figure 11 : Photographie du plan de faille normale (la zone cerclée visualise des stries normales)

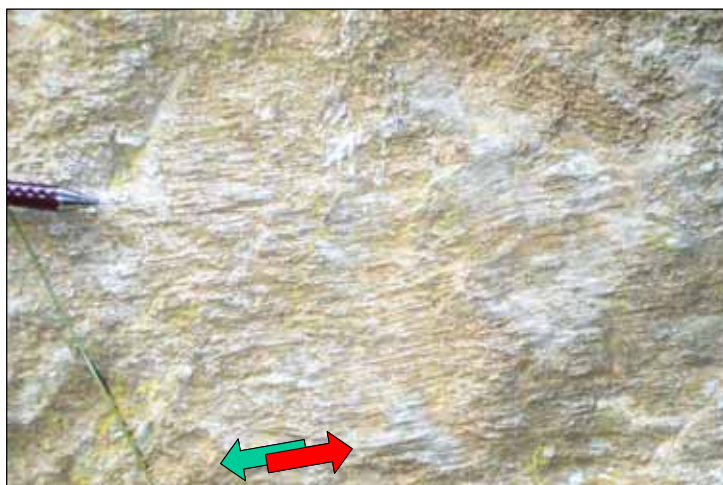


Figure 12 : Décrochement senestre (déformation pyrénéo-provençale)

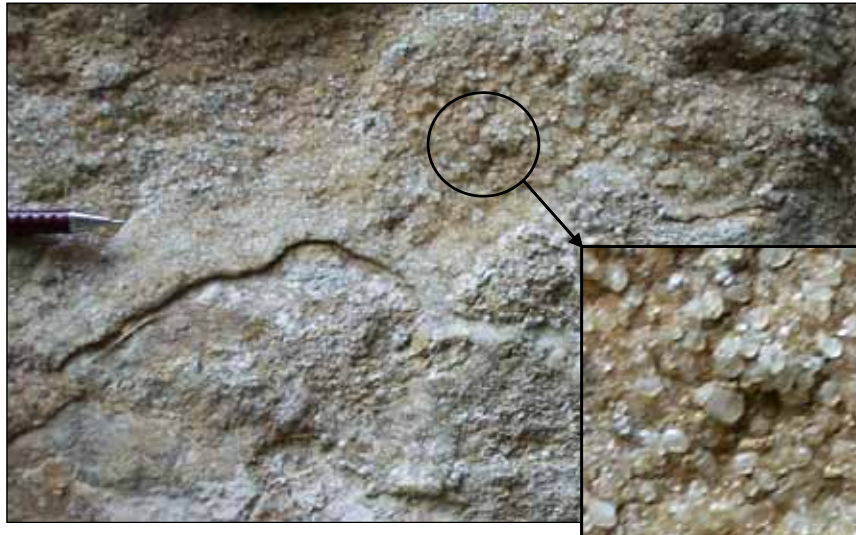


Figure 13 : Photographie du recouvrement sparitique avec zoom sur des cristaux de sparite octaédrique



Figure 14 : Photographie de la karstification récente du plan filon/faille

- Sur le site SM2 (cf.fig.15 et fiche de site en annexe)

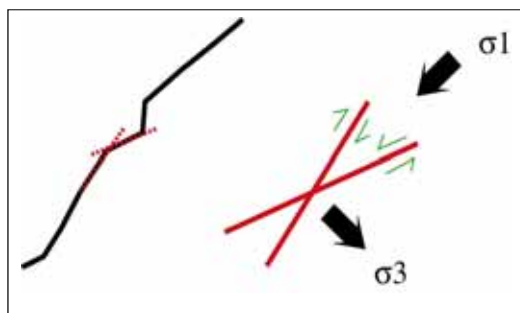


Figure 15 : Schéma de la zone de profil concernée et du système conjugué décrochant

Sur ce site, nous avons observé plusieurs plans décrochants :

- plans N13° à N32° dextre
- plans N44° à N55° senestre

Ils font partie d'un système conjugué décrochant fonctionnant avec un σ_1 globalement NE-SW qui vient strier des sparites compatibles avec le $\sigma_1=160^\circ$ du site SM1 (elles sont donc post-décrochantes au décrochement pyrénéo-provençal site SM1). Aux vues de la direction des plans décrochants compris entre N13° et N55° (qui rappelle la direction des fossés oligocènes de Joinville et de Gondrecourt), ce système peut avoir fonctionné à l'Oligocène.

- Sur les sites SM2 et DSM1''

Les échantillons des sites SM2 et DSM1'' montrent la formation d'une microsparite (cf.fig.16 et 17) (différente de celle des filons sédimentaires) qui se mettrait en place plus tardivement (Crétacé ?). Les analyses géochimiques sur les différents échantillons permettront de confirmer ou d'infirmer si la composition des fluides est différente de celle des filons sédimentaires oxfordiens. Les conditions de mise en place de cette éventuelle seconde microsparite sont toujours discutées.

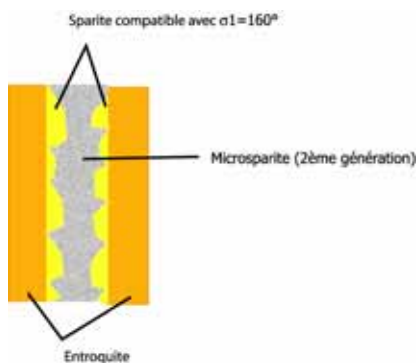


Figure 16 : Schéma explicatif et photographie de l'échantillon 21/5/3-1

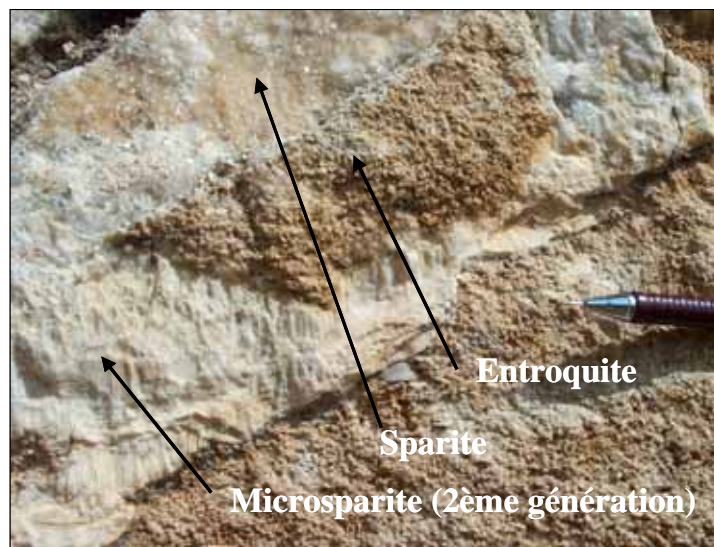


Figure 17 : Photographie de l'échantillon 5/6/3-3

7. Conclusion

Cette étude nous a permis de mettre en évidence deux directions de circulations principales dans la zone étudiée.

La direction de circulation principale est orientée N0° - N40°. Son ouverture cumulée totale est 92.9 cm avec une contribution pour 40% des filons sédimentaires oxfordiens et pour 60% les fentes de tension du régime pyrénéen et les sparites oligocènes.

La seconde direction de circulation est orientée N125° - N165°. Son ouverture cumulée totale est de 36.2 cm avec une contribution pour 20% des filons sédimentaires oxfordiens et pour 80% les fentes de tension du régime alpin.

L'ensemble des données nous amène à proposer la chronologie de circulation suivante :

- À l'Oxfordien : la formation des filons sédimentaires à remplissage microsparitique.
- Les déformations pyrénéo-provençales ont formé des ouvertures permettant la circulation de fluides et donc la cristallisation de sparite dans un régime de contrainte N160°.
- Microsparite de 2^{ème} génération
- L'extension oligocène permet des circulations et la formation de sparite.
- La circulation récente de fluides a conduit au dépôt de karst.

Remerciements : C. Hibschi, A-S. André-Mayer, G. André, J. Sausse

Références

Scaling relationship of joint and vein arrays from The Burren, Co. Clare, Ireland, P.A. Gillespie, J.J. Walsh, J. Watterson, C.G. Bonson, T. Manzocchi, *Journal of Structural Geology* 23, pp.183-201, 2001.

Closely fractures in layered rocks: initiation mechanism and propagation kinematics, Taixu Bai, David D. Pollard, *Journal of Structural Geology* 22, pp.1109-1425, 2000.

Fracture spacing in layered rocks: a new explanation based on the stress transition, Taixu Bai, David D. Pollard, *Journal of Structural Geology* 22, pp.43-57, 2000.

Fractal geometries of vein systems and the variation of scaling relationships with mechanism, J.D. Johnston, K. J. W. Mc Caffrey, *Journal of Structural Geology* 18, Nos 2/3, pp.349-358, 1996.

Power-law vein thickness distributions and positive feedback in vein growth, M. Brooks Clarck, Susan L. Brantley, Donald M. Fisher, *Geology* 23, No 11, pp.975-978, 1995.

Sampling power-law distributions, G. Pickering, J. M. Bull, D.J. Sanderson, *Tectonophysics* 248, pp. 1-20, 1995.

Evolution géodynamique du bassin de Paris: apport d'une base de données stratigraphiques 3D, F. Guillocheau, C. Robin, P. Allemand, S. Bourquin, N. Brault et al., 36, No4, pp.3-35, 1999.

Fluides et fracturations dans les gisements de type porphyre et épithermal, A-S. André-Mayer, Thèse, pp. 205-218, 2000.

Analyse de la fracturation sur le terrain et ses relations avec le karst - Annexe B (fiches de sites), C. Hibschi, G. André, P. Le Guillou, S. Rouyer, Projet de laboratoire souterrain de l'ANDRA – Site Est, 1999.

Chronologie des épisodes tectoniques depuis le Dogger de l'environnement régional du laboratoire Meuse/Haute-Marne (Est du bassin de Paris), *Géosciences et ressources naturelles* p.13, Paris, Grégoire André, 2003.