

ASSOCIATION GÉOLOGIQUE D'ALÈS ET DE SA RÉGION

BULLETIN N° 89

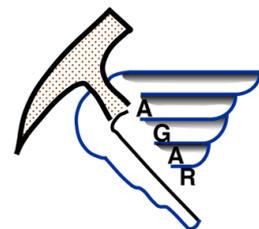
Avril 2015



Photo JP Rolley

Bulletin AGAR ISSN 2426-2382

Association Géologique
d'Alès et de sa Région
6, avenue de Clavières
30319 Ales cedex
<http://www.geolales.net>
contact@geolales.net



**ASSOCIATION GÉOLOGIQUE D'ALÈS
ET DE SA RÉGION**

BULLETIN N° 89

Avril 2015

Imprimé par l'École des Mines d'Alès – avril 2015

ISSN 2426-2382

SOMMAIRE

Editorial

Jean-Pierre ROLLEY

Vie de l'association

Compte rendu de nos activités

- **Samedi 20/9/2014** : repas de rentrée

- **Dimanche 5/10** : Schéma de la structure de la bordure cévenole

Jean-Pierre Cautru - Jean-Pierre Rolley

- **Samedi 8/11** : Vallée de Moissac

Jean-Claude Lahondère - Jean-Pierre Bouvier

- **Samedi 24/1/2015** : **Assemblée générale**

La mine de "El Boléo" en basse Californie mexicaine.

Compte-rendu sommaire de l'assemblée générale

Michel Raulet

Jean-Pierre Rolley

- **Samedi 14/2/2015** : Les gorges du Gardon vues du Castelas de Russan et essai de datation.

Michel Raulet

Rubrique scientifique

Tectonique et karstification dans le canyon du Gardon inférieur, les plateaux de Saint Nicolas et de Sainte Anastasie.

Michel Raulet

Étude géologique du ravin du Fougeras

Raymond Martin

ÉDITORIAL

Agariennes, agariens, bonjour,

Ces six dernier mois ont fortement affecté notre association car nous avons eu à déplorer quatre décès : Josette Massot, Ilya Handel, André Bonnet et Martine Comte. Toutes et tous étaient des membres de longue date de l'AGAR. Que leurs familles et leurs amis soient assurés de notre profonde tristesse. Vous trouverez dans la rubrique « Vie de l'association » une brève évocation de chacun d'eux.

Nous voici donc rentrés dans notre trente-troisième année d'existence, qui, je l'espère, nous apportera plein de bonnes surprises géologiques.

Vous avez entre les mains le quatre-vingt-neuvième numéro de notre bulletin qui, comme vous le savez s'est vu attribuer (sans qu'il en ait fait la demande) un numéro ISSN (International Standard Serial Number) ce qui signifie une référence internationale et un dépôt à la Bibliothèque Nationale de France (BNF). Il nous faudra donc nous monter à la hauteur de la tâche et attentif, entre autre, aux références bibliographiques.

Sont joints à ce bulletin, les comptes rendus de notre assemblée générale et du conseil d'administration qui a suivi (ces deux documents ont un caractère interne à l'association, ils n'ont pas à prendre place dans le bulletin).

Vous trouverez donc dans ce numéro, les comptes rendus de nos activités de septembre à février ainsi qu'une rapide synthèse de nos manifestations administratives (assemblée générale du 24 janvier et du conseil du 5 février).

Vous souhaitant bonne lecture.

Jean-Pierre Rolley

VIE DE L'ASSOCIATION

Josette MASSOT

Le 15 octobre 2014 nous apprenions avec une grande tristesse le décès de Josette Massot.

Sa profession d'assistante sociale ne l'avait guère préparée à aborder la géologie. Mais sa passion pour la nature, son désir de comprendre les paysages l'avaient amenée à adhérer, dès sa création en 1982, à l'AGAR.

Elle suivait avec assiduité les conférences, participait aux voyages et aux sorties mensuelles. Elle portait en outre un intérêt tout particulier aux études sur le Mont Bouquet, massif qui était un peu son fief.

Elle avait aussi rassemblé une collection de fossiles, en particulier d'ammonites, fossiles récoltés lors des travaux d'aménagement des chemins d'accès aux propriétés familiales.

Notre amie repose désormais auprès de son mari, dans le tombeau familial, au pied même de ce massif qu'elle aimait tant.

Hélène Lardet

Ilya HANDEL

Ilya Handel nous a quittés le dimanche 23 novembre 2014. Il avait 94 ans. Il a été inhumé au cimetière d'Aigues-Vives, le mercredi 26, en présence de sa famille et de ses amis du village.

Géologue minier, il a travaillé au Maroc pour la Société Minière et Métallurgique de Peñarroya. C'est là-bas qu'il a accueilli au début des années 70 un jeune géologue stagiaire, Jean-Pierre Rolley.

Homme discret et courtois, il avait un esprit cultivé et curieux, c'est pourquoi, outre la géologie, il s'intéressait aux sciences naturelles. Il faisait ainsi partie de nombreuses associations régionales et nationales.

C'est ainsi que nous avons fait connaissance, probablement vers la fin des années 80, à Luchon. Un colloque sur les eaux minérales et thermo-minérales s'y tenait, probablement à l'initiative de l'AGSO (Association des Géologues du Sud-Ouest). J'y avais été envoyé par la Source Perrier. Au cours d'un repas, je me trouvais à côté d'un monsieur moustachu et nous avons discuté. De fil en aiguille, nous nous sommes aperçus que nous étions voisins, lui habitait à Aigues-Vives et moi à Aubais, à environ 300 mètres l'un de l'autre.

Parmi les autres associations, il était membre de l'UFG (Union Française des Géologues) et de l'AGAR. Il avait adhéré à celles-ci quasiment dès leur création. Bien plus tard j'ai adhéré moi aussi à l'Agar et je l'amenais en voiture aux sorties sur le terrain.

Mais le temps passant, il venait moins souvent, et ces dernières années il ne pouvait plus participer à ces sorties.

En homme discret, il ne se racontait guère et ma mémoire défaillante a fait le reste. Je ne peux vous en dire plus. C'était quelqu'un de « bien », pour lequel j'avais beaucoup d'estime, je regrette de ne pas avoir essayé de le connaître davantage. Lors de ses obsèques, j'ai fait part à son épouse de nos regrets au nom de l'Agar.

Jean-Paul Jehl

André BONNET

André Bonnet nous a quittés le 6 Décembre 2014 dans sa 97^{ème} année.

Membre d'AGAR depuis plus de vingt-cinq ans il en a été longtemps vice-président puis président d'honneur.

Il fut un scientifique passionné par l'histoire de la Terre et l'évolution de la Vie.

Ingénieur géologue, il a exercé son métier dans la recherche pétrolière (SNPLM, Société Nationale des Pétroles Languedoc Méditerranée, puis le BRP, Bureau de Recherche du Pétrole.) puis il a intégré le BRGM ce qui l'a amené entre autre à lever la carte géologique au 1/50 000 de Nîmes et à contribuer à celles de Sommières, Uzès, etc.

Curieux de nature, il s'est intéressé, très jeune et durablement, à de nombreux autres domaines, notamment la préhistoire et la spéléologie ; toujours avec le regard du scientifique et la compétence du professionnel. Sa passion l'avait même amené à acquérir un terrain à Durfort pour retrouver des compagnons à *Elephas meridionalis*. Sa curiosité s'est aussi étendue à la botanique, à la faune, en particulier cavernicole.

Il a été membre de nombreuses associations et sociétés scientifiques (organisations et associations de géologie, de spéléologie, de préhistoire, de sciences naturelles, etc.), tant au niveau national que régional, dans lesquelles il exerça souvent des responsabilités importantes.

Il est également auteur de nombreux articles scientifiques dans des revues touchant à tous ses domaines d'intérêt et également, en collaboration avec J. Larmat, d'une « Introduction à la Géologie du Gard ».

AGAR

Martine CONTE 14 mars 2015

Martine Comte nous a quittés ce 14 mars après de longues années de souffrances au cours desquelles elle a témoigné d'un très grand courage. Le message qu'elle nous adressait le 24 janvier dernier, le jour de notre assemblée générale, alors qu'hospitalisée

à Valdegour elle ne pouvait plus ni parler, ni s'alimenter, nous avait beaucoup émus. Il témoignait de son attachement à l'AGAR.

Nous gardons le souvenir d'une amie souriante, qui maniait avec dextérité et très discrètement caméra et appareil photo. Elle acceptait toujours de nous présenter avec simplicité les films qu'elle avait pris durant nos voyages. Elle savait alterner avec soin, commentaires des paysages et morceaux de musique bien choisis. Nous avons eu le privilège de parcourir avec ses projections, quelques terres lointaines que, voyageuse infatigable et passionnée, elle avait visitées. Prévenante, elle avait offert pour la bibliothèque de l'AGAR les enregistrements de nos voyages. Elle avait notamment réalisé un film lors d'une sortie sur les granites du Mont Lozère destiné à animer le stand AGAR lors d'un forum des associations.

Très active, elle était membre d'autres associations, en particulier dans son petit village cévenol de Branoux.

Que sa famille trouve ici l'assurance de notre profonde sympathie.

Hélène Lardet, Françoise Martin

COMPTE RENDU DE NOS ACTIVITÉS

Samedi 20/9/2014

Repas de rentrée

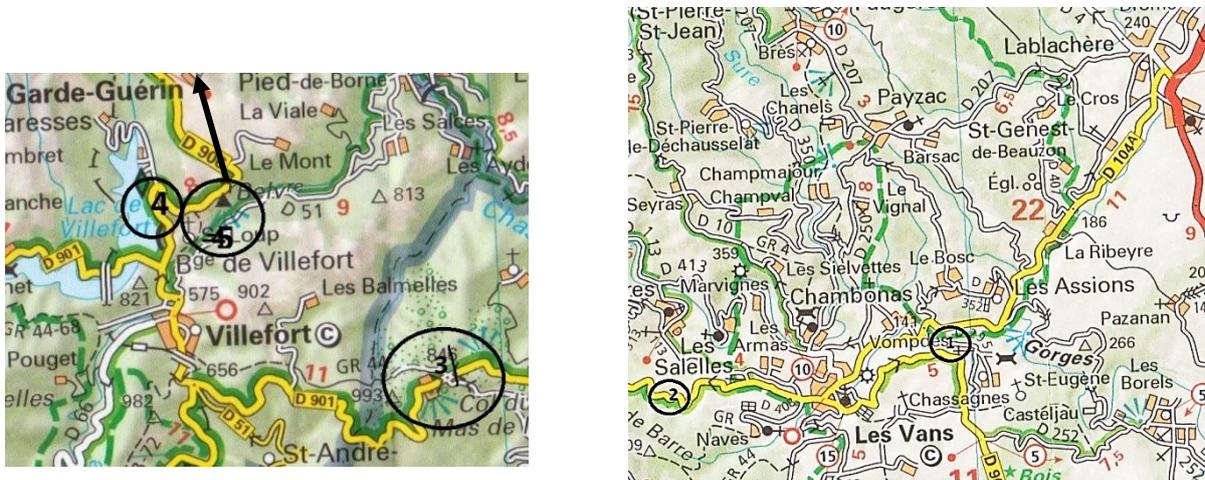
Une alerte météo ayant annulé le forum des associations, notre repas de rentrée prévu au restaurant « les terrasses du Gardon » à Anduze, très près de la rivière, s'engageait mal. Heureusement la météo s'est améliorée et il a pu se dérouler dans une ambiance détendue ; une vingtaine d'agariens étaient présents.



Photo R. Guin

Sortie du dimanche 5/10/2014

Schéma de la structure de la bordure cévenole



(Extraits de la carte Michelin N° 339)

Le rendez-vous est tôt pour les agariens, 8h à l'EMA. Malgré le temps incertain une dizaine d'entre-eux sont présents et nous partons pour Saint Paul-Le-Jeune où un regroupement est prévu et où nous retrouvons Jean-Pierre Cautru qui va animer cette sortie et quelques agariens venus directement.

Après une rapide présentation de l'itinéraire et de l'objet de la sortie, nous reprenons les voitures direction Les Vans.

Arrêt 1 : Chabiscol

Un arrêt envisagé avant la descente sur les Vans est supprimé car nous sommes dans le brouillard. Nous descendons donc par la D 985 presque jusqu'à la station de pompage. Nous pouvons ainsi observer, une très intéressante partie de la série du Trias supérieur.



Fig. 1 : niveaux dans le Trias supérieur de Chabiscol (photo. JP Rolley)

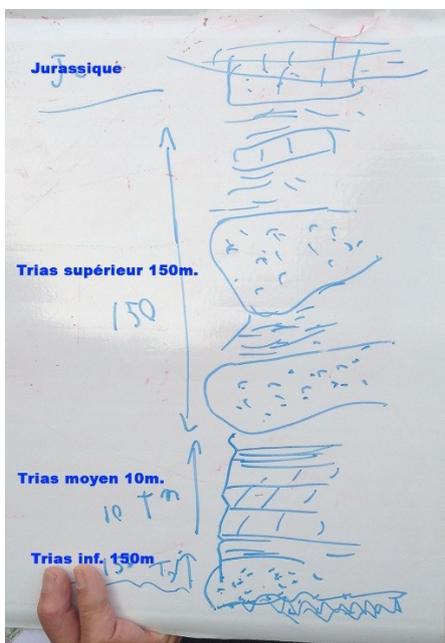


Fig.2 : coupe schématique du Trias (JP Cautru)

On trouve ici, dans la région des Vans, sur le socle métamorphique fortement tectonisé, d'abord du Trias inférieur constitué de niveaux gréseux, dont l'épaisseur est, ici, d'environ 150 m ; puis vient le Trias moyen, essentiellement carbonaté d'une dizaine de mètres de puissance. Ces deux niveaux ne sont pas visibles où nous sommes. Les horizons que nous avons devant nous font partie du Trias supérieur, et correspondent à des bancs de grès plus ou moins grossiers et irréguliers et à des niveaux argileux ou argilo-carbonatés (calcaire ou dolomie) montrant de belles marmorisations (cf. bulletin n° 70 – 2007). Le Trias supérieur fait, ici, 150 m d'épaisseur environ.

En fait la série triasique va montrer une forte évolution ouest-est, avec plus de 800 m dans la vallée du Rhône et quelques mètres à l'ouest sur le socle granitique du Mont Lozère. Pourtant elle est essentiellement constituée de dépôts peu profonds provenant de la destruction des restes de la chaîne

hercynienne (galets, sables, argiles, évaporites). Les horizons marmorisés correspondant pour leur part à des phénomènes pédogénétiques (formation de sols). On doit donc en conclure que des mouvements de subsidence (avec une tectonique synsédimentaire) sont en œuvre dans la région, entraînant un effondrement progressif du côté de la vallée du Rhône.

Nous repartons, traversons Les Vans pour reprendre la D901 en direction de Villefort.

Arrêt 2 : Palhières

La route est étroite et le stationnement difficile. Nous réussissons tout de même à faire un arrêt au hameau de Palhières.

Nous avons depuis ce bord de route un très beau paysage ; en contre-bas, sur la rive gauche de la Cèze, on devine le contact socle-Trias (cf. fig.3).

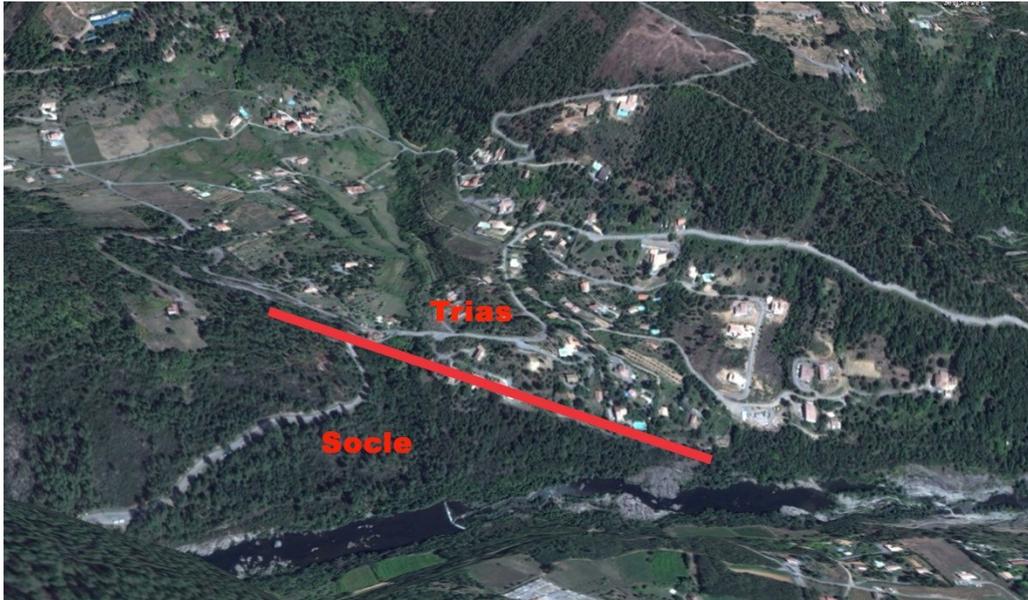


Fig.3 : contact socle-couverture (Trias) en rive gauche de la Cèze (Google Earth)

Ce contact est un trait important de la géologie locale car le socle est ici constitué de roches métamorphiques et de granites liés à l'orogénèse hercynienne (qui se termine vers -300 Ma). Si nous pouvons les voir aujourd'hui c'est que cette chaîne hercynienne a été complètement arasée avant le dépôt du Trias (-250 Ma). Ce contact correspond donc à un laps de temps important. Il y a discordance, c'est-à-dire dépôt du Trias sur une série plissée puis érodée, et lacune, c'est-à-dire que toute une période n'est pas représentée ici (il manque une quantité importante de terrains).

Derrière nous, à côté du mas, nous pouvons voir des niveaux carbonatés, correspondant probablement à la base du Jurassique supérieur. Nous sommes donc montés dans la série mais nous allons bientôt voir apparaître des formations du socle (gneiss de la Cézarenque ou de l'Apié). Cette mise en contact du socle et des formations sédimentaire se fait ici par le biais d'un autre phénomène puisqu'il s'agit d'une faille (la faille d'Orcière ou faille du mas de l'Ayre). Cette faille a un rejet normal, qui effondre le compartiment nord.

Nous allons la recouper plusieurs fois en montant vers le col du mas de l'Ayre.

Arrêt 3 : Col du mas de l'Ayre

Le col est situé à 846 m d'altitude et la fraîcheur se fait sentir. Nous nous arrêtons sur le parking qui domine un peu la route. Nous sommes dans des terrains métamorphiques très redressés. Nous empruntons le chemin qui monte à gauche du parking ; sur le bord du chemin nous pouvons faire quelques remarques intéressantes (cf. fig.4) :



Fig. 4 : surface d'érosion et fauchage des couches liés à un climat glaciaire (photo JP Rolley)

- La surface d'érosion des schistes semble bien régulière et indépendante de la dureté des bancs.
- Le sommet des bancs présente un fauchage marqué vers l'aval, alors que la surface est peu pentée (il n'y donc pas d'appel au vide).

Ces deux observations conduisent à penser que l'érosion et, pour le fauchage ont une cause particulière. On les attribue à un climat glaciaire, avec une érosion glaciaire et un glissement de la partie dégelée sur un sol gelé pour le fauchage.



Fig.5 : faille du mas de l'Ayre (ph JP Rolley)

En continuant sur le chemin, nous arrivons sur une zone où affleurent d'un côté les grès du Trias et de l'autre des micaschistes (fig.5). Nous sommes donc exactement sur la faille du mas de l'Ayre. Les déblais que l'on peut observer sur la gauche, correspondent à des déblais miniers. La faille est ici le vecteur d'une importante minéralisation à galène, blende et barytine, qui se présente en filon et en imprégnation aussi bien dans les grès du Trias que dans les schistes.

L'exploitation a porté sur un ensemble de filons minéralisés en plomb (galène) et un peu de zinc (blende) mis en exploitation à la fin du 19^e siècle par la Cie des mines de Sainte-Marguerite et Courbières qui devient en 1908 la Cie Métallurgique et Minière des Cévennes. Le minerai produit est envoyé à l'usine de Villefort (Lozère) puis à celle de Sainte-Marguerite (Malons-et-Elze) lorsqu'elle est mise en fonctionnement en 1902. Fin de l'exploitation jugée insuffisamment rentable en 1905. On

peut noter une tentative de reprise vers 1960 par les mines de Largentière (Ardèche) mais sans succès (inventaire du patrimoine). La mine a produit au moins 300 tonnes de plomb.

Si on observe les bancs du Trias, on constate qu'ils sont assez fortement redressés mais si on s'éloigne de la faille, ils deviennent proches de l'horizontale. On peut en conclure qu'il s'agit d'un phénomène lié au fonctionnement de la faille et donc des crochons de faille.

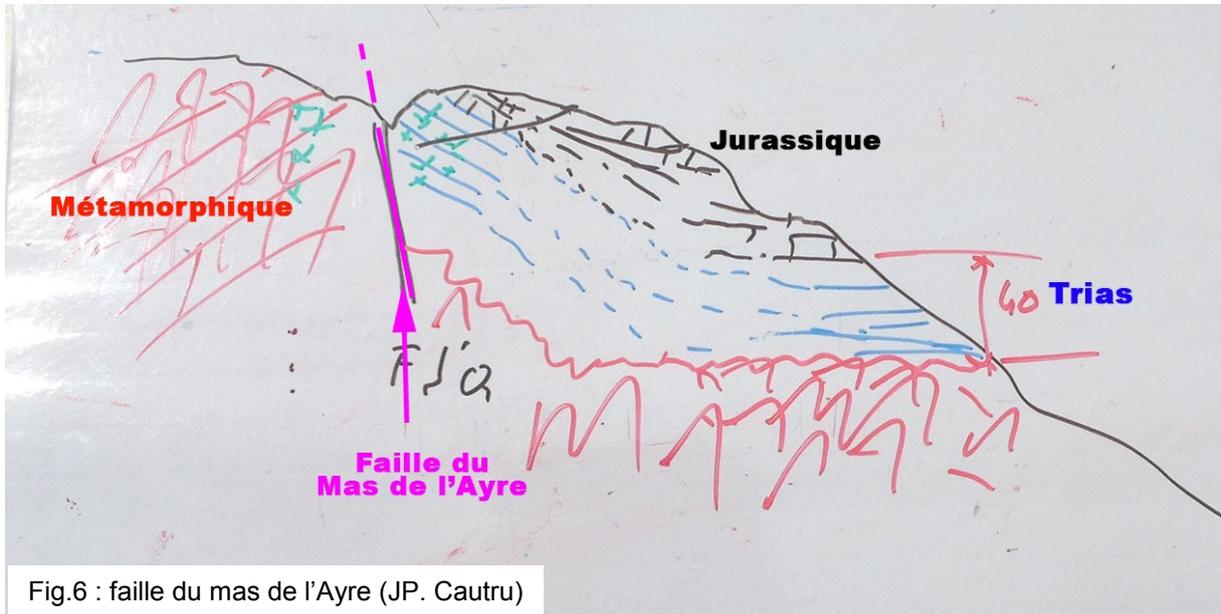


Fig.6 : faille du mas de l'Ayre (JP. Cautru)

Le Trias n'a plus, ici, que 40 mètres d'épaisseur, on voit donc que la réduction d'épaisseur est très rapide d'est en ouest.

Arrêt 4 : La-Garde-Guérin

Nous quittons le mas de l'Ayre pour La-Garde-Guérin. Depuis le belvédère nous avons une très belle vue sur les gorges du Chassezac creusées dans le granite et le fin placage de grès triasique qui repose sur le granite sous La Garde-Guérin (fig.7).



Fig.7 : Trias sur granite à La Garde-Guérin (photo. JP Rolley)

On peut donc reconstituer une coupe générale de ce que nous avons vu ce matin, avec réduction de l'épaisseur de la série sédimentaire en se déplaçant d'est en ouest.

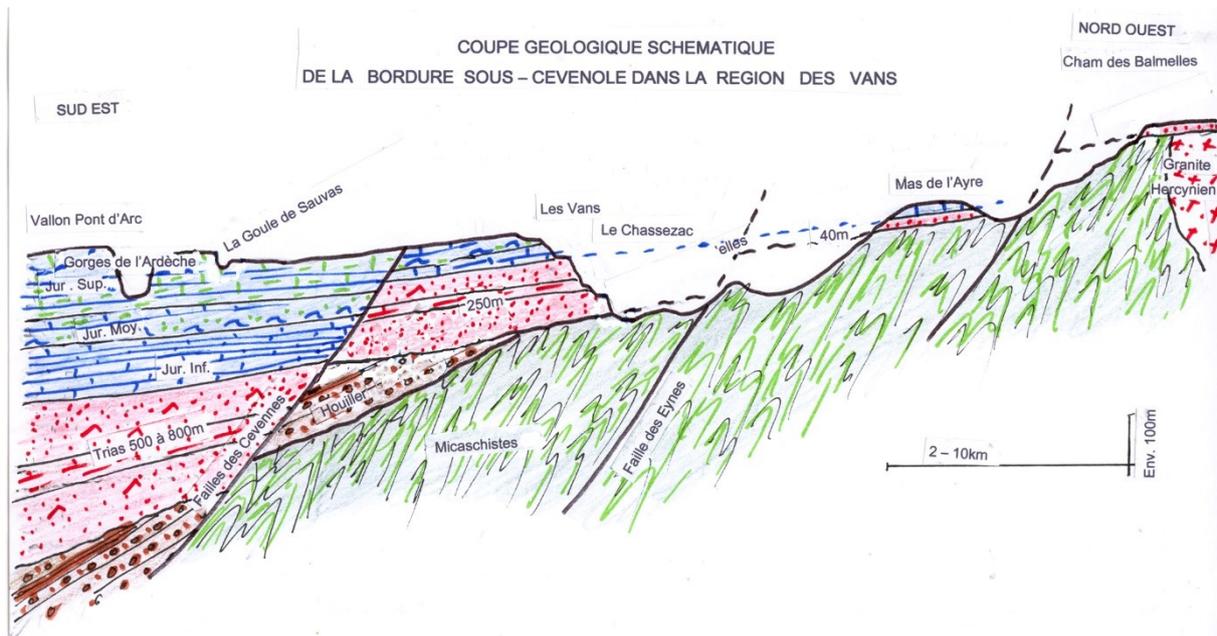


Fig. 8 : coupe géologique schématique (JP. Cautru)

Mais le temps tourne et les estomacs commencent à crier famine.

Arrêt 5 : Villefort plage

Pour essayer de trouver un coin abrité, nous redescendons en direction du lac de Villefort pour pique-niquer au sur l'aire de « Villefort plage » bord du lac.

Après le repas, nous reprenons la route direction le col de Portes.

Arrêt 6 : Houiller de Portes



Fig.9 : tronc fossilisé (photo JP Rolley)

Le houiller est le premier dépôt qui n'est pas affecté par les déformations majeures de l'orogénèse hercynienne (ou varisque). Il repose en discordance sur le socle métamorphique et n'est conservé que dans des bassins d'effondrement, relativement étroits, le long de décrochements tardifs. La sédimentation est constituée de dépôts fluviaux torrentiels ou fluvio-lacustres, avec conglomérats, grès, pélites et couches de charbon. Ces dépôts sont souvent affectés par des déformations syn-sédimentaires plus ou moins importantes.

Ici, sur le bord de la route, nous pouvons voir tout un ensemble de structures (chenaux, ravinements, volcans de boue, etc.) qui indique

une sédimentation plus ou moins agitée (cf. bulletin AGAR n° 86). Mais on y trouve aussi des troncs fossiles encore en position de vie (fig.9)

Nous continuons notre parcours en passant par Bessèges puis nous montons sur le plateau jurassique de la Cocalière et passons sans nous arrêter devant la Goule de Sauvas (arrêt 7) car beaucoup de participants l'ont visitée récemment (cf. bulletin AGAR n° 87).

Arrêt 8 : St Sauveur de Cruzières

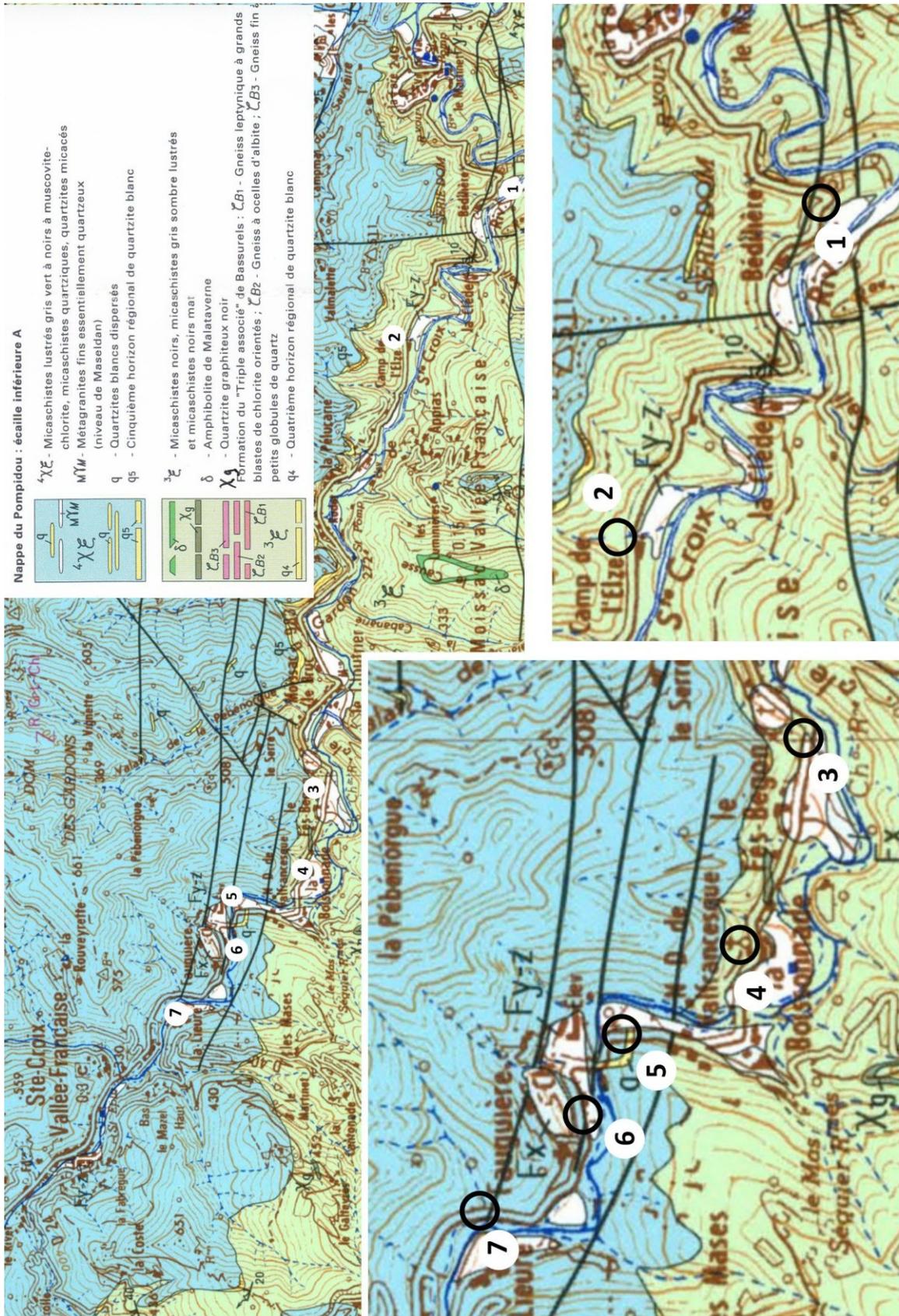
Notre survol des principales formations de la bordure cévenole ne pouvait pas ne pas faire un arrêt pour jeter un coup d'œil aux dernières formations sédimentaires rencontrées, à savoir les conglomérats oligocènes de la bordure du fossé d'Alès. Nous les observons dans le village de St Sauveur



Fig. 10 : conglomérat oligocène (photo JP Rolley)

Sortie animée par Jean-Pierre CAUTRU
Compte rendu Jean-Pierre ROLLEY

Samedi 8/11/2014 – Vallée de Moissac – Sainte-Croix-Vallée-Française



extrait carte géologique 1/50 000 BRGM – feuille-St-André-de-Valborgne n° 911

Vallée de Moissac – Sainte-Croix-Vallée-Française

Les 4 étapes de la formation des Cévennes durant le Paléozoïque.

Menée par J.C. Lahondère, cette dernière sortie de l'année, par temps ensoleillé, a attiré 27 participants avec donc un nombre proportionnel de voitures ; ce qui n'a pas été sans quelques difficultés de stationnement sur cette route étroite, heureusement peu fréquentée. La nuit arrivant tôt en cette période, le circuit a dû être quelque peu amputé (omission de l'arrêt 6, il est vrai d'intérêt mineur). Elle s'est déroulée en totalité le long de la route D983 qui suit le cours du Gardon de Ste-Croix, entre St-Etienne et Ste-Croix-Vallée-Française.

INTRODUCTION

La datation des schistes des Cévennes.

Pour dater les schistes des Cévennes le BRGM (cf. notice de la carte géologique Saint-André-de-Vaborgne - 2009) a utilisé un minéral, le Zircon $ZrSiO_4$, C'est un minéral très résistant qui peut donc se retrouver dans des roches très anciennes, ce qui, en Cévennes, est le cas de certaines roches magmatiques et des arénites résultant de leur décomposition. L'Uranium peut se substituer partiellement au Zirconium dans la maille du minéral zircon ; c'est un élément radioactif qui se transforme en plomb sur une période de désintégration très longue. Le dosage U et Pb permet donc de dater avec précision des événements très anciens ; c'est ainsi que différents événements magmatiques cévenols, notamment du Néo-protérozoïque terminal-Cambrien inférieur, ont pu être datés entre 540 et 550 Ma.

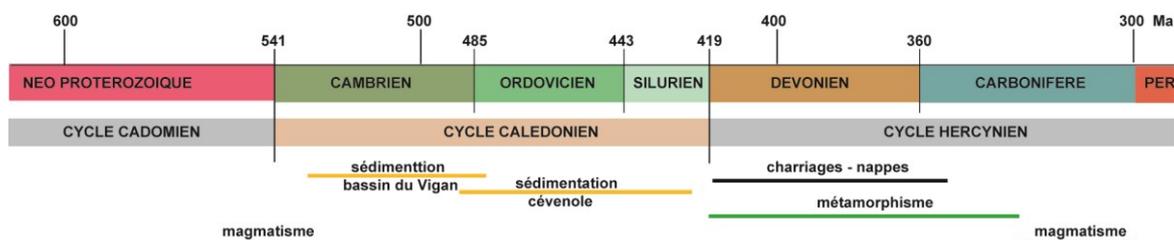


Figure 1. Chronologie des événements.

Les formations sédimentaires les plus anciennes connues régionalement se sont déposées dans le bassin cambro-ordovicien du Vigan. Elles n'ont pas été métamorphosées et datent de l'intervalle 540 - 480 Ma. Cependant, dans la Montagne Noire, ces dépôts se poursuivent jusqu'au Viséen (Carbonifère inférieur).

Dans le bassin des Cévennes, situé plus au Nord, nous distinguerons les diverses étapes qui ont conduit à la formation de la chaîne cévenole (orogénèse appelée varisque ou hercynienne).

L'orogénèse varisque ou hercynienne. Les grandes étapes de la formation des schistes cévenols.

Nous retiendrons quatre étapes dans cette formation :

1- La sédimentation. Les roches sédimentaires résultent de phénomènes externes (cycle érosion-transport, sédimentation et diagénèse). Dès l'Ordovicien le bassin cévenol commence à se creuser à la marge sud d'un continent, la " Laurussia ".

Dans ce bassin, des sédiments, provenant de la destruction de la chaîne calédonienne, se déposent il y a 480 à 430 Ma ; ils sont à l'origine des schistes des Cévennes.

2- Le métamorphisme. L'enfouissement progressif de ces sédiments qui sont recouverts par d'autres plus récents les conduit à des profondeurs où les températures et les pressions sont de plus en plus élevées. Nous examinerons les processus qui vont conduire à leur transformation.

3- La tectonique. Des poussées venant du Nord vont empiler ces sédiments sur de grandes épaisseurs accélérant la phase de métamorphisme 2 ci-dessus. On dit que ces déplacements sont synmétamorphes (contemporains du métamorphisme). C'est la phase orogénique hercynienne (ou varisque). Elle va structurer les schistes des Cévennes et conduire à leur empilement à l'état de nappes. Cela se produit entre - 416 et - 340 Ma, donc du Dévonien au Carbonifère inférieur.

4- Le magmatisme. Les roches magmatiques résultent :

- De phénomènes internes liés aux mouvements au sein du manteau, se traduisant par la mise en place notamment de basaltes.
- ou de phénomènes externes liés à la formation et à la destruction des montagnes se traduisant par des variations d'épaisseur de la croûte continentale. Quand celle-ci augmente nous pouvons assister à la fusion de sa base, l' "anatexie", aboutissant à la formation des granites.

Dans la région il y a eu deux périodes de mise en place de granites. La première, peu importante, au Viséen supérieur, datée de 330 Ma (Mt Lozère pp.), la seconde durant le Namuro-Westphalien avec la mise en place de la plus grande partie des granites cévenols. Elle s'étale entre 325 et 300 Ma. Les fraïdronites (plus exactement lamprophyres) sont des roches intrusives liées à la présence des granites.

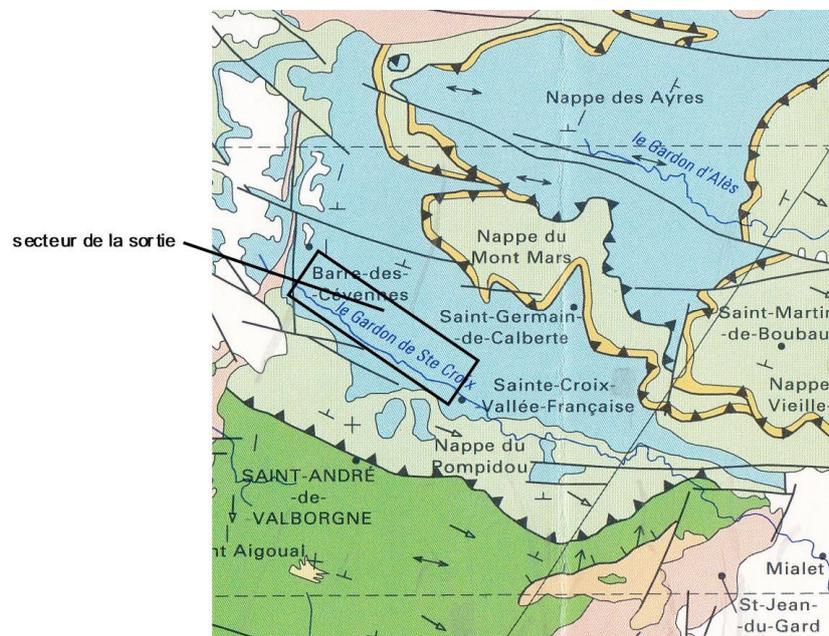


Figure 2.Extrait carte structurale
carte géologique St-André-de-Valborgne - BRGM

Les schistes de la Vallée de Sainte-Croix-Vallée-Française appartiennent à la nappe du Pompidou qui chevauche l'Unité basale des schistes des Cévennes, laquelle débute par les ortho gneiss de Peyroles.

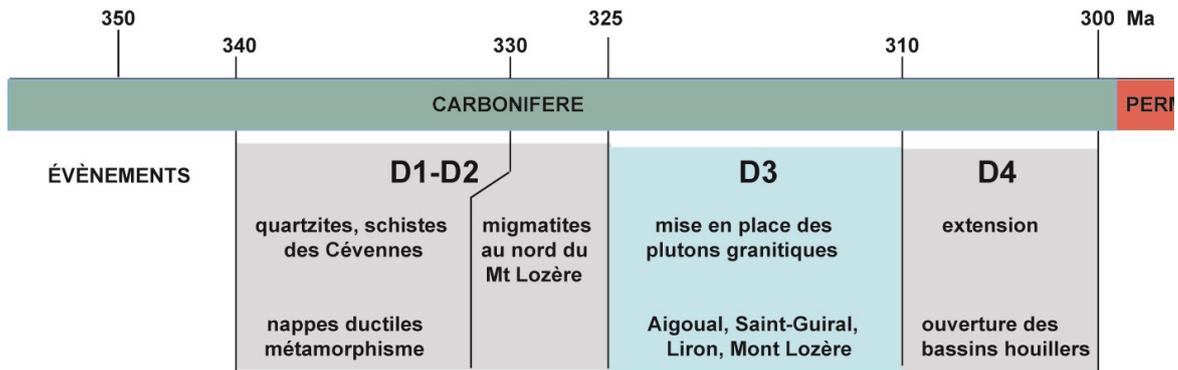


Figure 3. Tableau des principaux évènements de la formation des Cévennes (notice carte géologique St-André-de-Valborgne)

PREMIER ARRÊT. Entre le Martinet (camping) et Bédilière.

D'une petite plateforme naturelle, en bordure de la route (aujourd'hui poste d'observation pour les chasseurs), nous avons une vue panoramique sur la vallée du Gardon de Ste-Croix qui coule une cinquantaine de mètres en contrebas. Celui-ci s'est ici fortement encaissé dans les schistes, façonnant des méandres serrés, creusant des marmites de diverses importances, etc., structures bien connues dans les roches carbonatées.

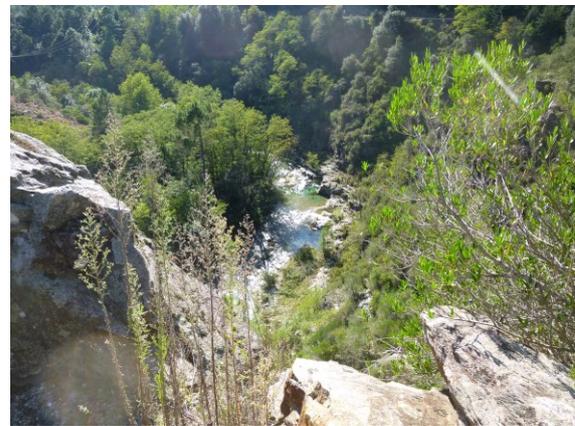


Figure 4. Vue sur la vallée encaissée du Gardon de Ste Croix (photo JPB)

DEUXIÈME ARRÊT. Camp de l'Elze. La foliation

Les observations

- **Sédimentation** : Les schistes affleurent dans une entaille du talus récemment rafraîchi qui montre des alternances de lits clairs et de lits foncés jusqu'à noir. Les lits foncés, décimétriques, sont constitués de paillettes de micas et quelques rares cristaux de quartz. Le sédiment original était une argile pélitique dont la dimension des grains devait être microscopique.

Cette argile s'est déposée dans un milieu peu agité et probablement profond, loin des rivages. Au milieu de l'affleurement un gros banc, plus grisâtre, est plus complexe avec des lits centimétriques de quartzite clair au milieu de lits plus épais de grès argileux. Notons l'absence de carbonates (indice de profondeur). En définitive nous reconnaissons l'origine sédimentaire de cette succession. Il s'agit d'une formation détritique où alternent grès et argiles résultant de la destruction des reliefs d'un continent voisin.

- **Métamorphisme** : cette formation, s'accumulant sur plusieurs milliers de mètres dans un bassin subsident, va progressivement, sous les effets conjugués de la pression et de la température, se réorganiser en subissant deux types de transformations :



Figure 5. Camp de l'Elze. (photo JPB)

- **la première est chimique** : les molécules vont recristalliser pour en donner d'autres qui occuperont moins de place à cause de la pression. La température augmentant, la circulation atomique est favorisée et les atomes de silice vont se déplacer pour remplir les vides inter-cristaux (dissolution et recristallisation). On obtiendra alors des quartzites. Les argiles, elles, vont se transformer en micas blancs ou noirs avec notamment une expulsion d'eau.

- **la seconde est structurale** : en profondeur les contraintes ne sont pas les mêmes dans toutes les directions. La contrainte verticale Z est directement liée à la pression lithostatique, c'est-à-dire celle due au poids des roches au-dessus. Les cristaux qui se reconstruisent se développent donc dans un plan perpendiculaire horizontal (plan XY de l'ellipsoïde des contraintes) à la pression maximum. Il y aura donc tendance à fabriquer des minéraux allongés et souvent feuilletés comme les micas, dans des plans horizontaux. C'est la **foliation S_1** que l'on appelle aussi S_{0-1} pour indiquer que cette foliation correspond dans les Cévennes à l'ancienne stratification.

- **Boudinage** : nous observons également des lentilles alignées, d'une roche blanche constituée surtout de quartz. Cela est la conséquence d'un comportement différent des lits de quartz et de micas. Les lits micacés vont s'allonger en s'amincissant. Les bancs quartzeux ne pouvant pas autant s'allonger vont se fragmenter d'où ce boudinage (voir figure 5).

- **Tectonique** : les roches qui se forment ainsi sous les effets de la pression lithostatique présentent initialement des lits subhorizontaux.

Nous constaterons que, le plus souvent, ce n'est pas le cas. Les lits sont très déformés parce qu'après avoir recristallisé ils vont être soumis à de nouvelles contraintes. Cette **déformation symmétamorphe** est notée **D1**. Elle correspond à la mise en place des nappes.

Magmatisme : quand la croûte continentale devient très épaisse, nous venons de dire que sa base va être portée à des températures et des pressions de plus en plus élevées. Les constituants de la roche dont la température de fusion est la plus basse vont commencer à fondre en premier. L'anatexie indique les conditions dans lesquelles les roches commencent à fondre en produisant un magma de composition granitique ; les roches subissent donc une fusion partielle.

TROISIÈME ARRÊT. Fez Begon. La déformation D1.



Figure 6. Château de Moissac (photo JPB)

Peu avant cet arrêt qui se situe dans un coude à angle droit de la route, nous pouvons apercevoir sur la gauche, au sommet du piton, les ruines du château médiéval de Moissac.

Nous sommes face à une falaise essentiellement schisteuse, séparée de la route par un terre-plein où nous pouvons nous déplacer sans risques.

Nous y observons de nombreux plis et failles :

- Les plis permettent à la matière de trouver vers le haut la place qu'elle perd à l'horizontale lors d'une compression.
- Les failles se produisent quand les contraintes tectoniques deviennent supérieures à la résistance des matériaux. Il se forme des failles inverses s'il s'agit d'une compression, normales en cas de distension.

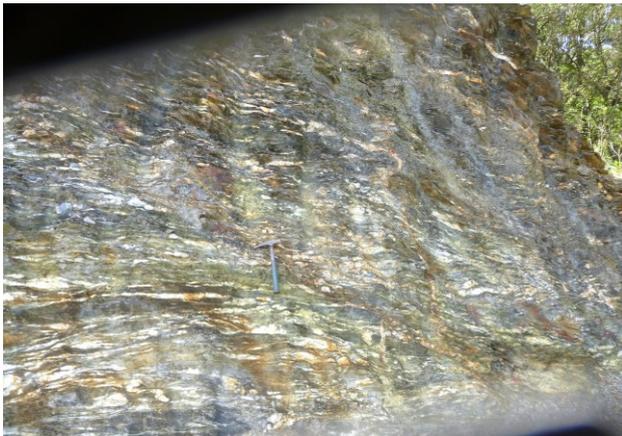


Figure 7. Amandes de quartz (photo JPB)

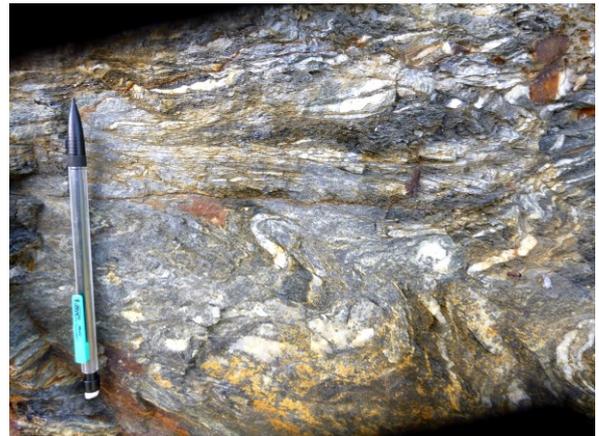


Figure 8. Plis synschisteux (photo JPB)

Nous constatons (figure 7) la fréquence des amandes allongées de teinte claire constituées soit par des recristallisations de quartz soit par des horizons gréseux. Les amandes sont étirées dans le plan de foliation. Il s'agit du boudinage. Au niveau du marteau un plan de cisaillement, souligné par du quartz souvent fragmenté, témoigne des glissements qui ont affecté cette série.

Des plis synschisteux (figure 8) déforment les lits grésomiacés et tordent les amandes de quartz. Ils accompagnent souvent les cisaillements liés à D1.

QUATRIÈME ARRÊT. La Boissonade, Valfrancesque. Le Migmatisme.

Notre-Dame-de-Valfrancesque (Vallée française) serait la plus ancienne église du diocèse. Elle daterait d'avant l'an 935, année où le pape Jean VI la donne au diocèse de Nîmes. Le bâtiment actuel daterait du XII^{ème} siècle. Il est acheté par une association culturelle protestante en 1832 et devient alors un temple.



Figure 9. Temple de la Boissonnade (photo A. Touzillier)

Pour nous géologues, sa particularité la plus "voyante" est que ses murs sont constitués de fraidronite. Il s'agit d'un lamprophyre se rapprochant des kersantites bretonnes ou de la minette des Vosges. Cette roche est très dure, noire, riche en micas. Sa dureté est attestée par le parfait état des murs de l'édifice vieux de près de 1000 années.

La fraidronite est très abondante, notamment dans les gneiss de Peyrolles situés au-dessous des schistes de Moissac. Elle donne des filons pouvant dépasser quelques dizaines de mètres d'épaisseur qui peuvent être associés aux granites des Cévennes. Leur âge est daté de 286 +/- 2 Ma dans les gneiss de Peyrolles.

Nous serions à la base du Permien. Cet âge est sensiblement le même que celui donné aux granites de l'Aigoual ou du Liron. Le lien génétique avec ces granites est donc probable. Elle se formerait à partir des jus granitiques résultant de la fusion des zones profondes du massif des Cévennes à la fin du Carbonifère.

C'est une pierre qui malgré sa dureté est facile à travailler et est donc très utilisée dans les constructions cévenoles, notamment pour la réalisation des encadrements et linteaux des portes et fenêtres. Néanmoins la nouvelle carte géologique au 1/50 000 couvrant la zone (St-André-de-Valborgne) n'a retenu que quelques-uns des nombreux filons de fraidronite pourtant largement cartographiés sur toutes les éditions au 1/80 000 de cette carte.

Origine des granites

Lors de l'anatexie (pression et température élevées) les constituants de la roche dont la température de fusion est la plus basse vont commencer à fondre en premier. L'anatexie indique les conditions dans lesquelles les roches commencent à fondre en produisant un magma de composition granitique ; les roches subissent donc une fusion partielle. Appelées migmatites ou anatexites, elles sont formées de l'alternance de lits de teinte claire et de lits sombres. Les niveaux clairs, composés de quartz et de feldspath montrent une texture grenue de roches magmatiques. Au contraire, dans les niveaux sombres, la texture planaire des roches métamorphiques est bien préservée. Finalement le liquide, de composition granitique, résultant de la fusion, plus léger, va remonter et donner des granites d'anatexie. C'est le cas de ceux du Mont Lozère.

CINQUIÈME ARRÊT. Fez Rolland. La déformation D2.

La route longe sur sa gauche une falaise rocheuse dans un virage à 90°. Le parking est facilité par un élargissement de la route. Cet affleurement se montre donc sous deux orientations ; une face tournée vers le nord avec les couches vues de face, la seconde regardant vers l'est et les montrant par la tranche.



Figure 10. L'auditoire, très attentif (photo JPB)

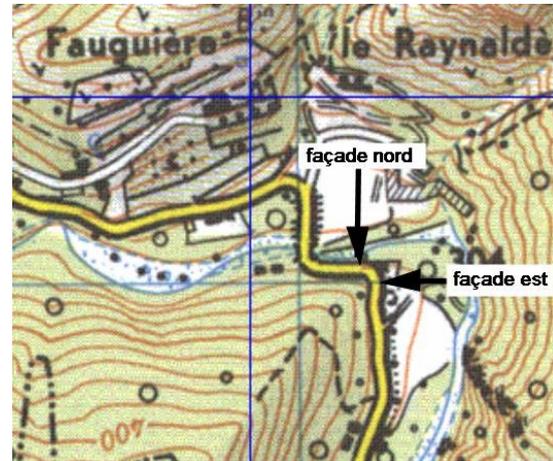


Figure 11. Plan d'affleurement arrêt 5



Figure 12. Façade orientale. (photo JPB)

La façade orientale présente à la base et au sommet d'épais bancs grés quartzitiques durs, de couleur claire rosée, avec quelques minces intercalations de lits schisto-micacés sombres. Au milieu une épaisse couche de schistes gris noir finement lités, avec de minces amandes de quartz, plus ou moins flexueux. L'ensemble a un pendage N90 N25.



Figure 13. Façade nord, à gauche zone plissée, à droite zone faillée. (photo JPB)

La façade nord se remarque au premier abord par plusieurs failles dont une sub verticale plus importante délimitant des zones broyées et légèrement minéralisées (pyrite, arsénopyrite) ; elles sont probablement à rattacher à la période post-magmatique.

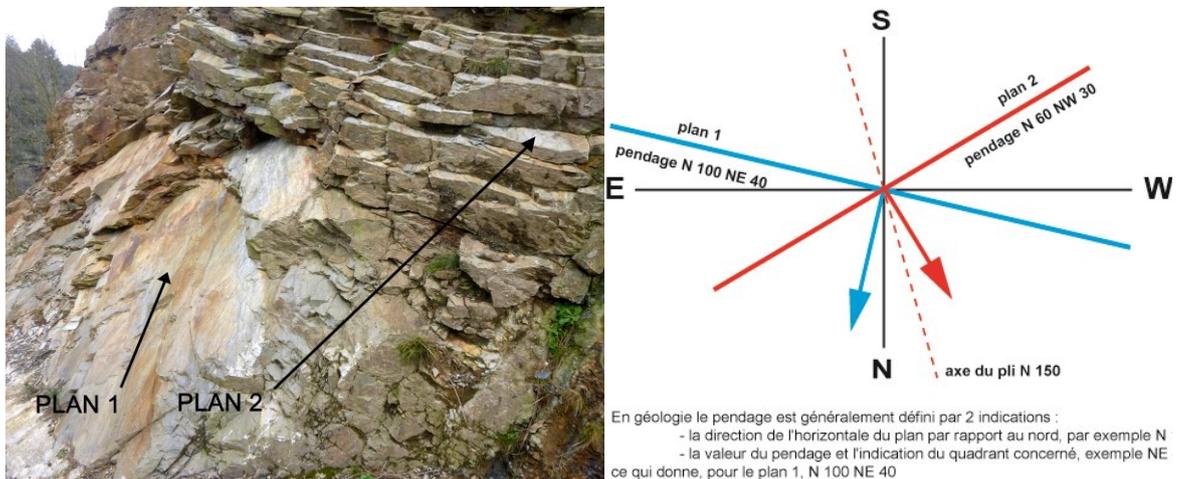


Figure 14. Détail du plissement (photo JPB)

Mais la partie gauche recèle un pli peu visible car tous les plans de schistosité semblent plonger de façon générale vers la route. En fait sur la gauche ils s'orientent plutôt sur la gauche et inversement sur la droite, l'axe de ce pli étant NNW-SSE. Les surfaces du plan gauche portent des lignes parallèles à l'axe du pli, simulant des micro-plissements ; il s'agit d'une linéation de crénulation. Ce pli traduit les déformations D2 ou D3 contemporaines de la mise en place des plutons granitiques.

A droite du pli se développent des successions peu déformées de schistes et de grès.

SIXIÈME ARRÊT. Le Raynaldès. Faute de temps cet arrêt a été omis. Son seul intérêt est une grosse masse de quartz recoupant en diagonale la schistosité et les minces amandes de quartz qui suivent le plan de foliation.

SEPTIÈME ARRÊT. Fauquière Conclusions

C'est un arrêt un peu difficile, à la sortie d'un pont, dans un virage. Le talus a été récemment "rajeuni", les observations en sont donc grandement facilitées.

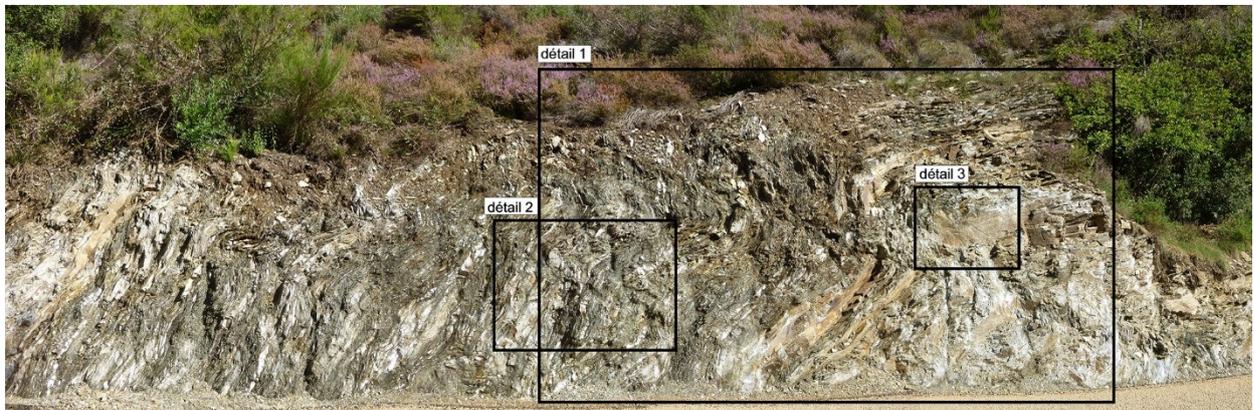


Figure 15. Panorama et localisation des détails d'observation (photo JPB).

La roche devient ici nettement plus micacée et donc plus facilement déformable. L'affleurement est situé dans le terme supérieur de l'unité du Pompidou (micaschistes quartzeux de Molezon). Les alternances horizons micacés et horizons de quartzite sont assez régulières mais très redressées et plissées.

Détail 1



Figure 16. détail 2. (photo J.C. Lahondère)

Les lits sont très plissés, recoupés par un cisaillement légèrement oblique qui déplace la partie supérieure vers la gauche, souligné par une longue amande de quartz faisant crochon.

Détail 2



Figure 17. Détail 1. (photo J.C. Lahondère)

Détail 3



Figure 18. Détail 3.(photo JPB)

Dans cette partie centrale la richesse en quartz augmente ; certaines zones quartzieuses dépassent 20 cm d'épaisseur, les boudins de quartz qui se terminent en fuseau sont affectés de plissements et ondulations soulignés par les lits argilo-micacés.

Cette partie de l'affleurement fait penser à des knicks (ou kink bands). Les knicks sont des plis en chevron, assimilables à des surfaces de failles dont le rejet serait remplacé par un basculement des feuillets.

Mais c'est ici une illusion due au découpage de la roche selon deux plans perpendiculaires, l'un vertical, le second oblique, illusion accentuée par la foliation de la roche.

Jean-Claude Lahondère et Jean-Pierre Bouvier

Samedi 24/1/2015 :

La mine de cuivre du Boléo à Santa Rosalia en Basse Californie Mexicaine.



Santa Rosalia sur le golfe de Californie, dominée par la formation du Boléo et le volcan des Tres Virgines en fond

Introduction

Le cuivre est présent à la teneur de 50 ppm dans l'écorce terrestre, et seul un processus naturel de concentration permet l'existence de gisements miniers exploitables par l'homme. L'extraction dès le néolithique de filons de cuivre pur, aujourd'hui épuisés, a cédé la place au traitement de minerais enrichis à 1,5 à 4%. Ces gisements se trouvent en abondance un peu partout à travers le monde mais dans tous les cas, ils sont associés au mécanisme de la tectonique des plaques dont les frontières physiques, grabens, rides océaniques, zones de subduction, massifs magmatiques, sont les lieux d'échanges thermiques et de circulations de fluides. Ces gisements se sont donc formés à tous les âges et selon leur diagénèse, le cuivre sera accompagné d'autres métaux en quantité exploitable comme l'or, le cobalt, le cadmium, le Zinc, le manganèse, etc.

Le continent américain est riche en gisements et la plus grande mine de cuivre au monde se trouve au Chili. La mine du Boléo a longtemps été la première mine exploitée du Mexique et son histoire mérite un intérêt particulier car elle fut exploitée pendant 60 ans par une compagnie française sous l'impulsion d'un géologue languedocien.

Géologie de la mine du Boléo

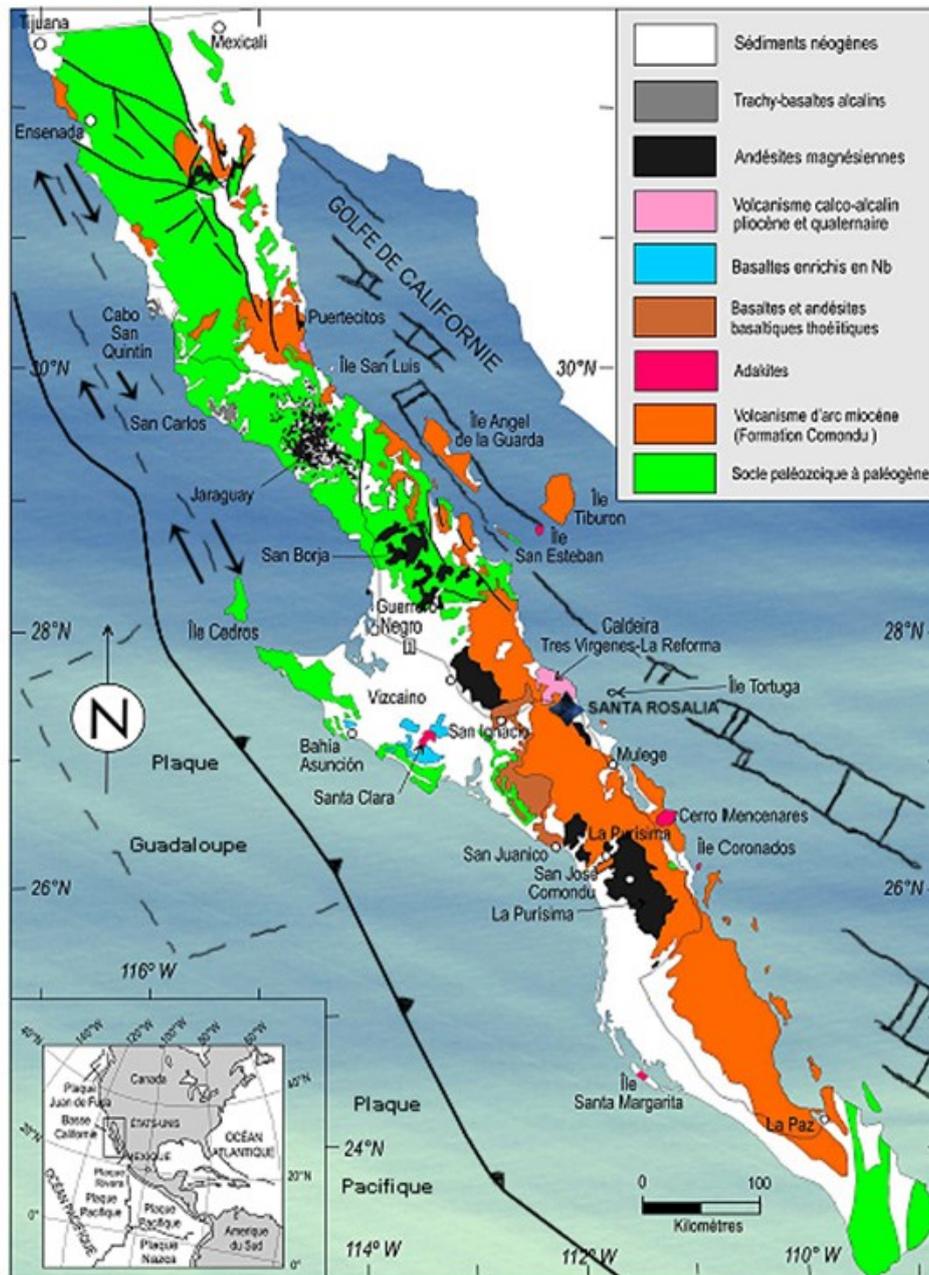
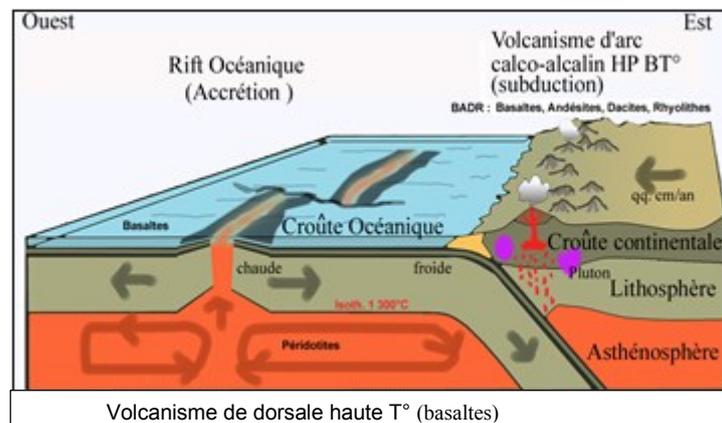
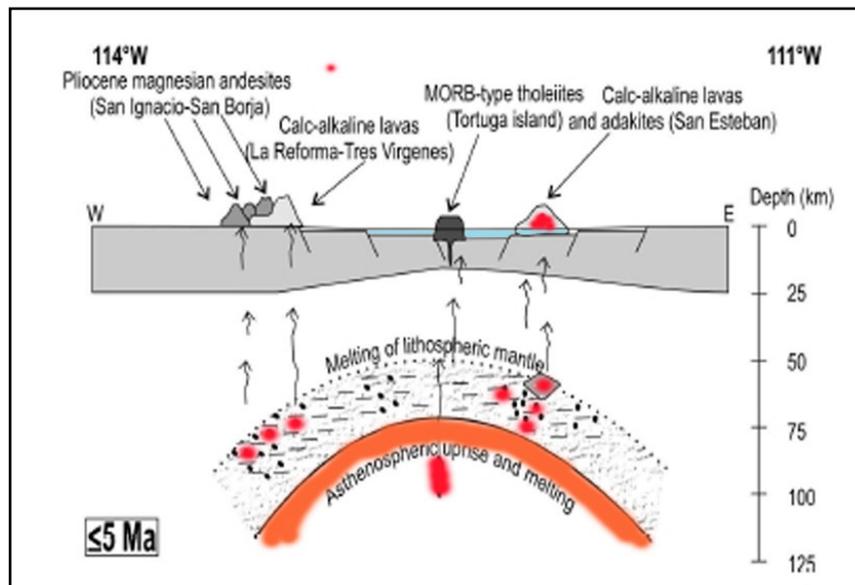


Figure 1.2. Carte schématique de la Basse Californie montrant les principaux éléments géologiques. Modifiée d'après Ortega-Gutierrez et al. (1992), Aguilón-Robles (2002), Calmus et al. (2003) et Pallares et al. (2007).



La formation du gisement du Boléo est extrêmement jeune, liée à l'ouverture du golfe de Californie à partir du début du Pliocène, il y a 7 à 8 Ma. Cette ouverture est le résultat de la rotation anti horaire de la plaque Pacifique autour d'un point situé à l'Est de l'Australie. Antérieurement la côte Est de l'Amérique du Nord était une zone de subduction entre la plaque Pacifique et le continent américain dérivant à l'Est suite à l'ouverture de l'Océan Atlantique. Au cours de ce mouvement, la ride océanique du Pacifique Est s'est bloquée sous le continent arrêtant la subduction et provoquant un transfert du déplacement Ouest Est en un coulisage dextre Nord Sud le long de la faille de San Andréa, prolongée au Sud par le golfe de Californie.

Comme le Mexique central, la Basse Californie est formée par un ensemble volcanique ayant fonctionné depuis le Miocène jusqu'à l'actuel et reposant sur un socle magmatique d'âge Crétacé. Le démantèlement très actif des reliefs alimente des deltas alluvionnaires progradants à l'occasion des crues des vallados temporaires. Comme en même temps de violentes crises sismiques accompagnent l'ouverture du rift océanique du golfe, ces deltas sont soumis à des successions de mouvements de subsidence suivis de phases de comblement.

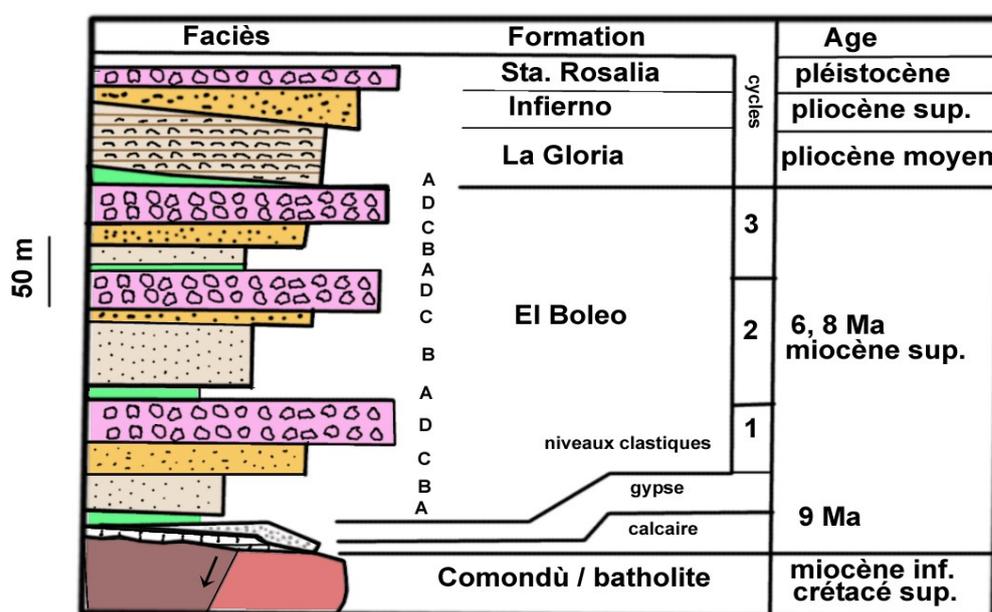


En profondeur, les lèvres de la croûte océanique subductée en contact avec la fenêtre asthénosphérique issue de la déchirure du rift fondent sous l'effet des hautes températures (1 400°C). Les fluides hydrothermaux remontant de ces points chauds s'enrichissent en métaux lourds Cu, Fe, Zn, Co, Mn... et en sulfures. Ils accompagnent un volcanisme de type Adakite, un basalte appauvri en Potassium. En gagnant la surface, ils s'oxydent et se recyclent sous forme ionique dans les eaux courantes ou en mer à moins d'être piégés dans des failles ou des bassins sédimentaires.

Au Boléo, le piège est formé par des lagunes littorales dont l'eutrophisation par excès de matière organique entraîne un milieu réducteur sulfuré, comme dans les lagunes languedociennes soumises à la malaïgue. Les fluides sulfurés piégés dans ces lagunes sont conservés sous la forme de minéraux primaires : Pyrite, Chalcocite, Bornite, Covellite, Carrolite, Sphalérite. Ils constituent 30% du gisement, principalement sous la forme Chalcocite.

La subsidence entraînant un passage progressif à un milieu marin aéré, elle provoque, avec l'avancée du biseau salé, l'oxydation des sulfures en minéraux secondaires et conduit à terme à la disparition du gisement si de nouvelles couches alluvionnaires ne viennent pas recouvrir le dépôt minéralisé. Ces minéraux secondaires, représentent 70% du gisement, Chrysocolle, Malachite, Azurite, Smithsonite, Cryptomelane, Pyrolusite, Boleite, Cumengite. Seuls Chrysocolle et Azurite sont en quantités exploitables. La Boleïte et la Cumengite étant des formes cubiques rarissimes inédites.

La répétition de ce cycle transgressif a conduit dans le bassin de Santa Rosalia à la formation de 7 couches minéralisées et la hauteur totale des séries sédimentaires composées d'argiles, marnes et conglomérats est de 250 à 300 m pour une étendue de 12 km de long sur le littoral sur 3 km de profondeur dans les terres.



d'après Ochoa- Landin Univ. Hermosillo

Premières exploitations du Boléo

A partir de 1845, la fièvre de l'or s'empare de l'Amérique et une ruée sans précédent de migrants arrive d'Europe dans l'espoir de faire fortune dans les placers de Californie et d'Arizona. Ce qui amène aussi à la découverte de gisements de cuivre souvent associé à l'or. En 1868 José Rosas un rancher local, intrigué par la présence de galets bleus les fait analyser à Guaymas révélant une forte teneur en cuivre (Azurite). 2 Allemands Blumhardt et Julio Muller ayant eu vent de la découverte monnaient ce fermier pour leur révéler l'emplacement du site. En 1870, ils obtiennent une concession qui va extraire 40 000 t de cuivre et 6 000 onces d'or jusqu'en 1884. En 1883 la compagnie du Boléo (Boléo = galet) est dirigée par Eisenmann et Valle et elle exploite 11 mines situées dans les ravins de Santa Rosalia, Providencia, Purgatorio, Soledad avec une main d'oeuvre de prisonniers indiens Yakis.

En 1884, un Français, Edouard Cumenge entreprend une mission géologique à travers les États-Unis au cours de laquelle il visite de nombreuses mines avant de venir étudier la formation du Boléo dont il estime les réserves de cuivre à 700 000 t selon un rapport remis le 15 décembre 1884.

En 1885, il est à nouveau au Boléo accompagné par Edmond Fuchs Ingénieur des Mines et professeur à l'École des Mines. A l'issue de cette visite une offre de rachat de la Compagnie du Boléo est faite au nom de la maison Rotchild et le gouvernement de Porfirio Diaz donne son accord pour une concession de 99 ans pour éviter une main mise des États-Unis qui s'étaient déjà emparés de la Californie et du Texas à l'issue d'une humiliante guerre de conquête.



Le port de Santa Rosalia en 1909

C'est ainsi que le 16 mai 1885 la Compagnie du Boléo est créée à Paris avec un capital de 12 millions de francs apportés par la banque Mirabeau. Elle ouvre des bureaux à Paris, San Francisco, Tacoma, Santa Rosalia et Cumenge en sera le directeur général de 1885 à 1895.

Cette opération n'a pas d'équivalent dans l'histoire industrielle de la France par les sommes mises en jeu et le risque représenté par l'éloignement et l'instabilité politique du Mexique, mais le Boléo est placé sous une bonne étoile et

sera la grande réussite de Cumenge. La nécessité de construire sur place une usine de traitement justifie l'ampleur de l'investissement.

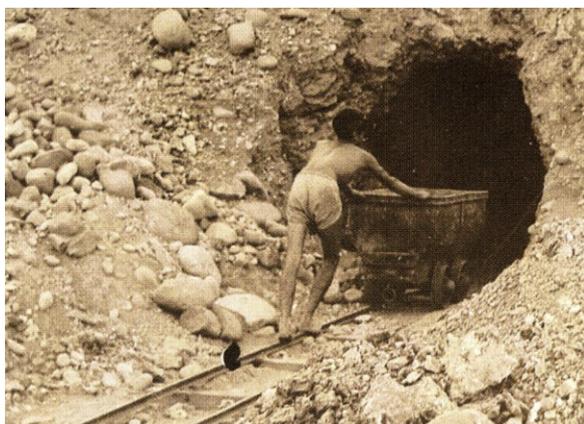
Pour faire face à la logistique de l'opération pendant les deux premières années, Cumenge recrute à Anvers un élève de Fuchs, Edouard Saladin.

Santa Rosalia est située au milieu d'une péninsule aride et inhabitée et il faut y créer de toutes pièces les infrastructures en amenant le matériel de France ou, pour le bois servant étayer les galeries de mine, de l'Oregon et du Canada :

- Habitations nécessaires aux logements des ouvriers et des cadres expatriés, bureaux et ateliers de la compagnie.
- Une usine de traitement à 10 fours de 150 t de capacité avec 4 souffleries Connersville mues par 2 machines à vapeur de 175 chevaux. Les produits finis sont des lingots bruts de métal de 20 x 2 x 6 inches expédiés à Falmouth, England puis à Portland USA pour être purifiés.

Le charbon importé fournit aussi l'énergie aux machines à vapeur alimentant les génératrices d'électricité et aux locomotives du réseau ferré desservant les carreaux de mines.

- L'eau manquant, c'est un aqueduc de 25 km qui est construit à grands frais. De même, le port nécessaire à l'accueil des navires ne sera achevé qu'en 1909.



L'autre problème crucial est celui de la main d'oeuvre car les conditions de travail sont très dures en ce début de XX^{ème} siècle et le manque d'hygiène provoque de graves épidémies.

Les annonces d'emploi avantageuses parues dans la presse mexicaine ont attiré une main d'oeuvre du continent qui va rapidement se révolter et demander son rapatriement à l'issue de grèves violemment réprimées. La presse d'alors se faisant l'écho de cette lutte.

Pour améliorer son image, la Compagnie augmente la ration d'eau quotidienne gratuite, jusqu'alors limitée à un seau payant par jour et par famille. Elle prend aussi en charge les soins de santé en créant un dispensaire et une maternité.

En 1899, la Compagnie fait venir 2 000 Japonais dont seulement 500 resteront au bout d'un an.



En 1900, ce sont 3 000 Chinois qui sont amenés.

De 1901 à 1903, des épidémies de choléra, fièvre jaune, tuberculose, typhoïde, font tomber la population de 8 269 à 6 568 habitants.

En 1910 il y a 10 172 habitants dont 4 100 ouvriers au Boléo.

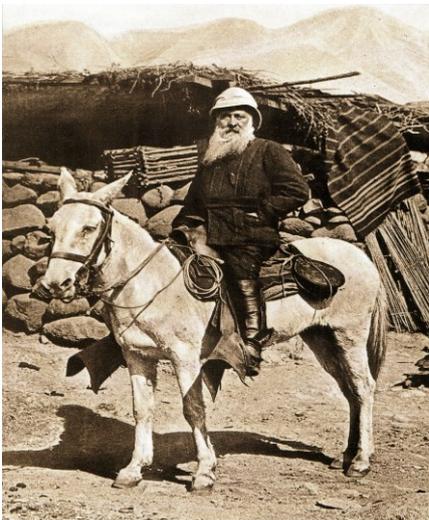
En parallèle, le contexte économique évolue et la rentabilité de l'entreprise, jusqu'à 250 % l'an, diminue car l'exemption fiscale dont elle a joui jusqu'alors a été dénoncée par

les gouvernements suivants avec la réclamation d'arriérés. Cela alors que le cours du cuivre baisse régulièrement avec l'augmentation de l'offre mondiale.

La guerre de 1914 en Europe va relancer la demande, comme la seconde guerre mondiale mais en 1954 la Compagnie du Boléo est dissoute et les Mexicains continuent seuls l'exploitation jusqu'en 1986 avec une production réduite à 2 147 t/an.

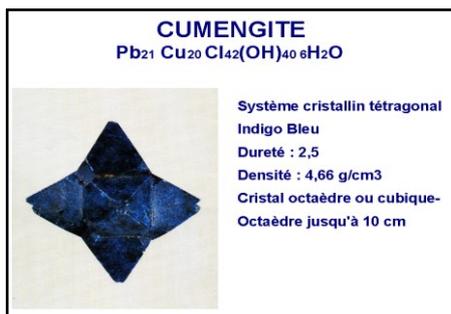
Au mieux de la production, 360 000 t de minerai étaient extraits annuellement donnant 13 000 t de cuivre pur.

Edouard Cumenge 1828-1902



Né à Castres en 1828 dans une famille de commerçants huguenots, Cumenge fait de brillantes études qui le conduisent à Polytechnique où il intègre le corps des Mines dont il se met en disponibilité un an après en 1852. Il se marie à Paris et entre dans l'entreprise de caoutchouc de son beau-père, M. Guibal où il reste jusqu'en 1873.

A 45 ans, il renoue avec la géologie et les études minières pour devenir ingénieur conseil, et parcourir l'Europe, l'Amérique du Sud et du Nord, le Mexique, souvent en compagnie d'Edmond Fuchs avec lequel il travaille à une encyclopédie sur l'or qui ne sera jamais achevée. Cet ouvrage très documenté sur la géogénie de l'or et l'histoire des mines dans l'Antiquité est disponible sur le site de la BNF (<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k96142g/f1.image>).



Cumenge étudie aussi les amas cuivrés du Rio Tinto, les bitumes de la Trinidad, mais c'est le Boléo qui lui donnera le plus de satisfaction et auquel il consacra le plus de temps. Parmi les échantillons de minéraux inédits qu'il trouve, l'un d'eux porte son nom, la Cumengite.

Décrit comme un bon vivant, au parler coloré et plein d'anecdotes, il aimait aussi traduire en poèmes les détails de sa vie nomade. Ainsi, il préférait jouer du banjo en compagnie des indiens que fréquenter les gens de son milieu.

La deuxième vie du Boléo

30 ans après sa fermeture, la mine du Boléo renaît à nouveau et réveille la petite ville endormie de Santa Rosalia. Cette fois-ci, c'est un projet considérable qui est mis en œuvre avec le savoir-faire de l'ingénierie et du management moderne.

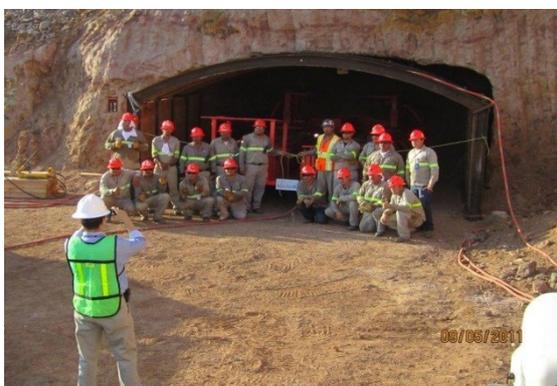
En 2001 : la Compagnie Canadienne Baja Mining reprend les droits d'exploitation sur les 20 490 ha des diverses concessions du Boléo. Elle fait réaliser les études géologiques et géotechniques qui confirment l'importance des réserves.

En 2005 l'évaluation des réserves de minerai est de 265 Mt à teneur de 1 à 3 % de Cu Co Zn Mn, permettant d'envisager une concession de 22 ans avec un objectif d'extraction de 70 Mt soit 3 Mt / an. Pour ce faire, elle s'associe à un consortium d'entreprises coréennes pour créer une Joint Venture : Mineras y Metalúrgica del Boleo / MMB avec un plan d'investissement de 823 millions dollars.

De 2005 à 2007 :

- Réalisation d'une cartographie numérique des couches en 2D et 3D à partir de 900 forages avec implantation géolocalisée des chambres et piliers de l'exploitation souterraine.
- Réalisation de 2 pilotes à Lakefield Canada, pour tester en laboratoire un projet industriel de traitement du minerai tenant compte des contraintes du gisement et des critères de rentabilité des métaux économiquement exploitables : Cu, Co, Zn, Mn.

En 2010 démarrage du chantier minier : formation des mineurs, acquisition du matériel, percement des premières galeries avec des excavateurs.





Réservoirs d'acide sulfurique



Bassins de lixiviation

Début de construction de l'usine de traitement du minerai par de nombreuses entreprises sous-traitantes.

En 2012 le dépassement des coûts est de 20% et le capital est porté à 1 143 millions dollars par les Coréens qui deviennent actionnaires majoritaires à 90% contre 30% auparavant.

La complexité du chantier et le renchérissement des équipements porte l'investissement à 1 800 millions de dollars en 2014. MMB échappe de peu au dépôt de bilan.

L'achèvement du chantier est prévu pour la fin 2014. La production du Cu démarre en janvier 2015 et la pleine capacité est prévue pour la fin de l'année.

Les filières d'extraction pour les autres métaux sont encore en cours d'installation jusqu'en 2016.



Vue d'ensemble en septembre 2014

Au total l'objectif est de traiter et de raffiner sur place 3 Mt/an de minerai pour extraire :

62 000 t/an de Cuivre cathode, valeur 3\$/kg, 91,2% de récupération

2 400 t/an de Cobalt cathode, valeur 30\$/kg, 78,5% de récupération

37 000 t/an de Zinc sulfate mono hydraté (pour agriculture), valeur 2,5\$/kg, 65% de récupération

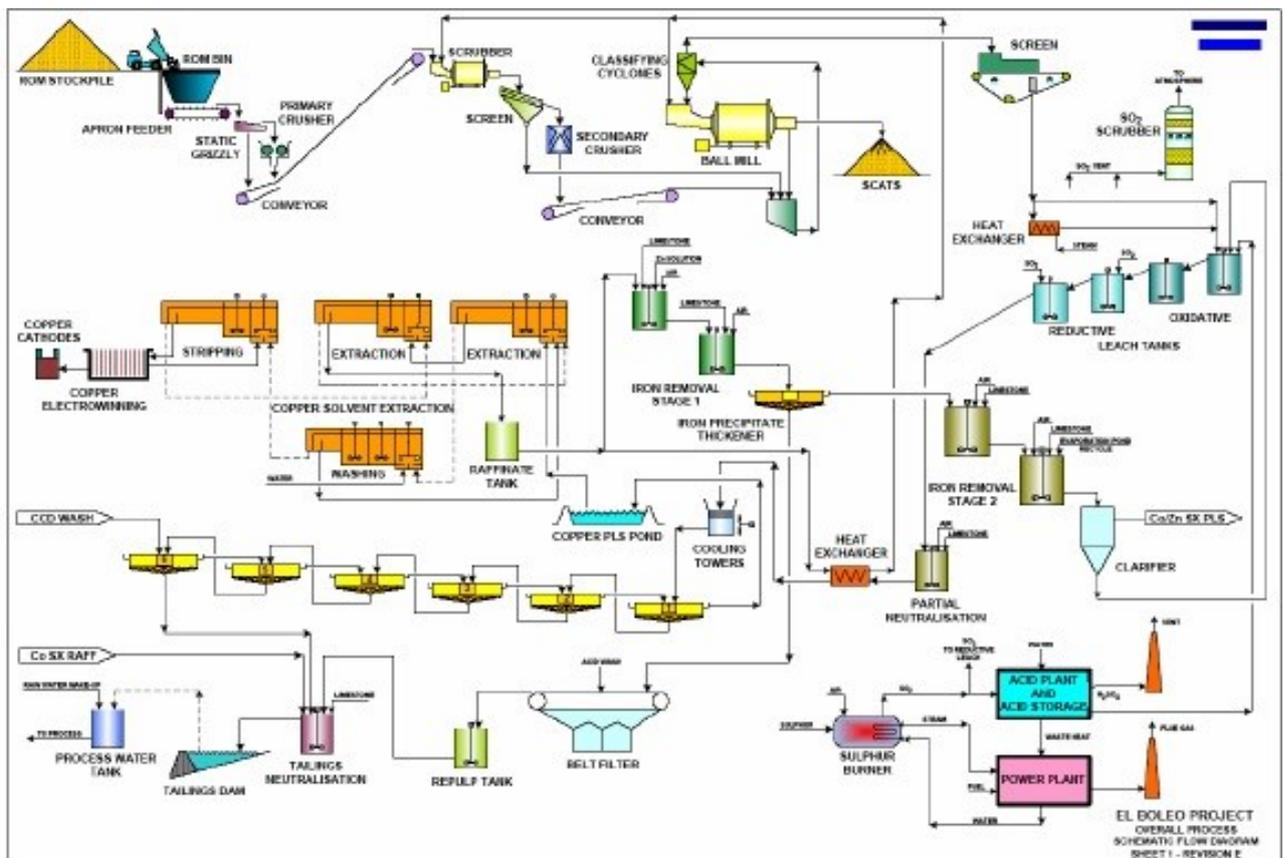
220 000 t/an de carbonate de Manganèse, valeur 2,5\$/kg, 65% de récupération.

Le traitement est réalisé en flux continu par la circulation de fluide à travers les installations assurant le transfert de la phase solide à la phase soluble selon les réactions chimiques, par attaque à l'acide sulfurique, permettant ensuite la séparation des différents métaux :

- $\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{MnO}_2 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CuSO}_4 + 2\text{MnSO}_4 + \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$
- $\text{ZnS} + \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$



Une vue des formations sédimentaires du Boléo



La compréhension du schéma synoptique est dans les grandes lignes la suivante, sachant que :

- le fluide utilisé est l'eau de mer, seule ressource disponible, l'eau douce n'est utilisée qu'en fin de traitement pour l'électrolyse et le lavage à partir d'une usine de dessalinisation produisant 2 000m³jour.
- L'acide sulfurique et le gaz sulfuré sont produits sur place (Acid plant and storage) à partir de la combustion très exothermique de granules de soufre importé par bateau (Sulfur burner). L'énergie thermique alimente une centrale électrique (Power plant) et chauffe les cuves de réaction (Leach tanks). Les thermies sont aussi récupérées pendant le refroidissement.
- La base de la formation géologique est constituée d'un calcaire pur à 60%, aussi extrait sur place pour des opérations de neutralisation chimique des boues acides avant stockage en lagune et pour fabriquer le carbonate de manganèse.

Le minerai déposé en tas par les carterpilars est lavé à l'eau de mer pour éliminer l'argile stérile (Crusher, ball mill, cyclone, screen), concassé jusqu'à un calibre de 120 microns, transféré par bande porteuse dans des cuves pour une réaction oxydante d'attaque à chaud par l'acide sulfurique, puis soumis à une réaction réductrice par un jet de gaz sulfuré chaud.

Après refroidissement et neutralisation partielle du Ph, le liquide traverse par gravité 6 grandes cuves de lixiviation en cascade (CCD wash) ; Un épaississant sépare la saumure enrichie à 30% de métaux sous forme ionique de la phase solide.

Le mélange d'eau de mer abaisse le Ph et permet la séparation et l'élimination du fer.

4 unités d'extraction par solvants font ensuite le tri des métaux en vue de l'affinage final. Des réactifs chimiques séparent le Cu des autres métaux, qui peut alors subir une électrolyse et se déposer sur des plaques cathodiques dont la pureté atteint 99,9%.

Des circuits d'addition de réactifs en cascades séparent les autres métaux en solution.

A l'heure actuelle, la situation mondiale du Cu est paradoxale, car les cours sont bas alors que les perspectives d'exploitation sont revues à la baisse dans de nombreux pays. Le Chili accuse une baisse de 30% de la production par manque d'eau due à la sécheresse. La Mongolie qui exploite avec la joint-venture Ivanhoe Mining et Rio Tinto une des plus grande ressource minière connue l'Oyu Tolgo, réduit une part de son personnel à 8 000 ouvriers contre 10 000. D'autres mines sont arrêtées pour cause d'insécurité liées à des insurrections, en Afrique centrale ou à l'île de Bougainvillier, soit à des éboulements car on atteint des profondeurs d'exploitation limites de 800 à 1 000m comme à la mine de Bingham Canyon en Utah.

Avec un effectif de 400 personnes, la mine du Boléo est une entreprise modeste comparée aux géants évoqués mais elle a été un laboratoire qui a suscité de nombreuses recherches et offert en un même lieu plus d'un siècle et demi d'aventure minière dont témoignent les traces soigneusement conservées de la présence française.



Eglise type Eiffel amenée en 1896



Les anciens bureaux abritent un petit musée de la mine

Michel RAULET

Documentation :

- Exposition « La mine du Boléo » et Collection de minéraux de l'Université Pierre et Marie Curie.
- Isabelle Dumielle-Chancelier (dir. François-Xavier Guerra), *La Compagnie du Boléo 1885-1954*, Paris, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne (Thèse de doctorat), 1993
- Louis de Launay, *Notice sur Edouard Cumenge*, t. 4, Annales des mines, 1903, p. 577-583 « Bernard Louis Philippe Édouard CUMENGE (1828-1902) »
- Thèse de Carlos Pallardes : Diversité du volcanisme miocène à quaternaire post-subduction de la péninsule de BC (2007)
- Sedimentology and stratigraphy of the upper miocène El Boleo formation. Lucas Ochoa Landin, Joaquin Ruiz, Thierry Calmus, Efrén Pérez Segura, Francisco Escandon
- Sites internet de Baja Mining et de MMB
- Autres photographies : droits réservés

Assemblée générale

Les agariens trouveront avec ce bulletin une copie du compte rendu détaillé de notre assemblée générale, qui s'est tenue le samedi 24 janvier 2015 à l'École des Mines d'Alès et de la réunion du conseil d'administration du 5 février.

Vingt-huit agariens sont présents dans l'amphithéâtre Pasteur pour cette réunion annuelle qui a commencé à 14 h45.

Comme c'est de tradition, nous avons commencé par écouter une présentation qui, cette année, était assurée par Michel Raulet, sur la géologie et l'histoire de la mine de « El Boléo » en basse Californie mexicaine. Vous trouverez ci-dessus les principaux éléments de cet exposé.

L'assemblée générale proprement dite s'est ouverte à 15 h45.

Nous avons d'abord écouté Robert Guin nous faire le rappel des activités de l'année écoulée puis de celles prévues pour ce premier semestre.

Le président est ensuite intervenu rapidement pour compléter le rapport moral.

Le rapport moral a été adopté à l'unanimité des présents et représentés.

Notre trésorier a ensuite procédé à l'exposé du rapport financier qui a fait apparaître des finances saines, légèrement positives (286,84 €) et qui n'a fait l'objet d'aucune remarque particulière.

Quitus a donc été donné à notre trésorier à l'unanimité des présents et représentés.

Il a par ailleurs été décidé de ne pas modifier le montant des cotisations

Avant de passer à l'élection pour le conseil d'administration, le président a rappelé que : Le Conseil était aujourd'hui de 9 personnes (JP. Bouvier – R. Guin – H. Lardet – F. Martin – JP. Rolley – M. Wienin – JC. Lahondère – G. Pollet – A. Touzillier), et qu'il y avait donc de la place pour les bonnes volontés.

Jean-Luc Lesage se propose

Arrivent en fin de mandat (élu en 2013) :

JP. Bouvier – R. Guin – H. Lardet – F. Martin – JP. Rolley – M. Wienin, tous sont candidats à une réélection.

Tous sont élus ou réélus à l'unanimité.

Le conseil sera donc constitué de 10 membres :

JP. Bouvier, R. Guin, H. Lardet, JL Lesage, F. Martin, JP. Rolley, M. Wienin, JC. Lahondère, G. Pollet, A. Touzillier.

La séance s'est terminée à 17 h15 après l'évocation des quelques questions diverses et que le président ait rappelé que les membres qui auraient des questions et ne les ont pas exprimées en AG, peuvent toujours soit en saisir un membre du conseil

qui transmettra, soit demander à participer à un conseil pour pouvoir s'exprimer, soit s'adresser au président.

Et tout le monde s'est retrouvé au cyber espace pour partager agréablement la galette des Rois.

Réunion du conseil d'administration du 5 février 2015

Cette réunion a été essentiellement consacrée à l'élection du bureau :

Président : Jean Pierre Rolley

Vice-Président : Jean Claude Lahondère

Secrétaire : Jean Pierre Bouvier

Trésorier : Guy Pollet

Les fonctions de secrétaire-adjoint et trésorier-adjoint, non indispensables pour une petite structure comme l'AGAR, ne sont pas pourvues

Parmi les différents points abordés (voir le détail dans le PV joint), notons que, suite à la proposition de plusieurs adhérents de participer aux frais de déplacement lors des convoiturages, il est convenu, pour éviter les disparités, de fixer à 5 euros la participation de chaque passager lors des déplacements d'une journée ayant un parcours d'une longueur significative. Aucune participation ne sera demandée pour les sorties courtes (demi journée).

Jean-Pierre Rolley

Samedi 14/2/2015 :

Les gorges du Gardon vues du Castelas de Russan et essai de datation



Le méandre des Pendils et le Moulinas vus du Castelas.

CADRE GEOGRAPHIQUE

Les éléments de géographie générale visibles du sommet du Castelas sont les lignes d'horizon horizontales des garrigues, témoignant de l'existence d'anciennes surfaces d'aplanissement.

Au Nord la ligne des garrigues du Mont Bouquet est à 280/320 m d'altitude.

Au niveau du Gardon, comme sur la garrigue de St-Siffret, la surface d'aplanissement est vers 200 m.

Est-ce la même surface d'aplanissement soumise à un gradient de pente NS ou bien est-ce lié à un facteur tectonique ?

Au cœur de ce paysage de garrigue, s'insèrent les bassins sédimentaires de St Chaptès - Boucoiran et d'Uzès - Pont du Gard, recouverts d'alluvions récentes.

En traversant ces deux milieux, le Gardon présente un visage contrasté : une divagation en tresse dans une large plaine alluviale entièrement noyée lors des crues, comme en 2002.

Du côté des garrigues la rivière est confinée dans une gorge incisée dans un calcaire compact donnant un relief vigoureux. Le plateau calcaire est à 200 m d'altitude

et le lit de la rivière sous le Castelas à 42 m, soit 160 m de dénivelé avec des falaises abruptes qui sont une caractéristique de ce paysage.

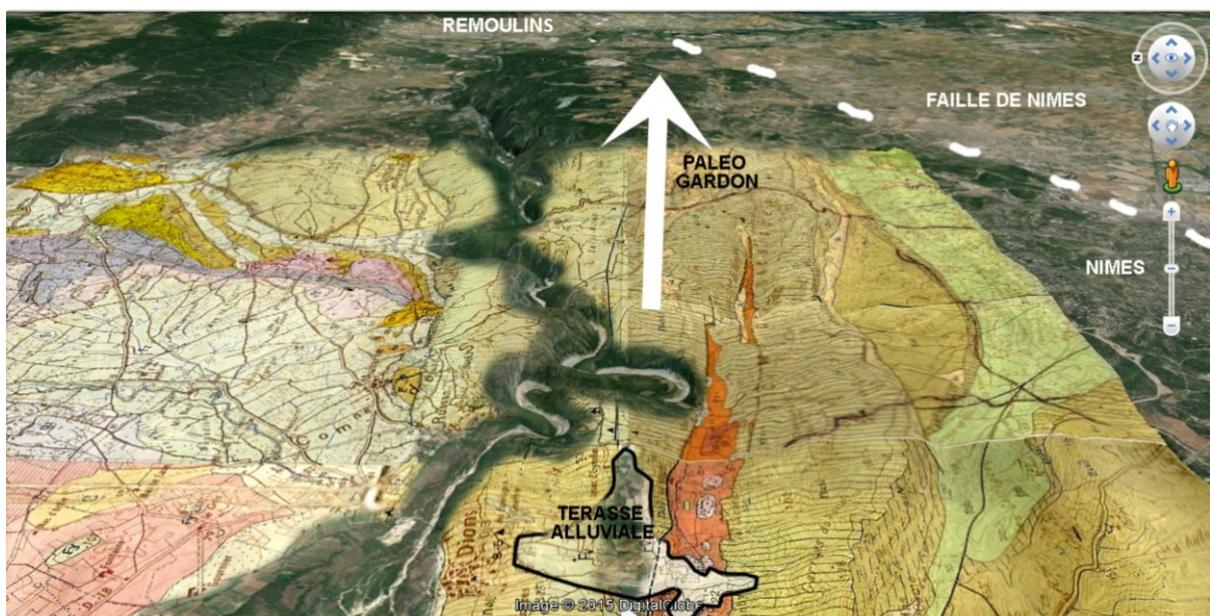
On observe aussi la formation de très beaux méandres. D'autres rivières de canyon en Languedoc ont aussi des méandres : l'Ardèche, la Vis et le Tarn sur les Causses, y a-t'il une explication commune ?

Des méandres de ce type se forment dans les vallées alluviales matures à faible pente, en amont d'une embouchure ; par exemple, la Seine, le Rhône avant son endiguement.

Il est donc logique de penser que ces méandres se sont formés à une époque où l'altitude du cours du Gardon était proche d'un niveau marin, ce que l'on appelle le niveau eustatique et dont les amplitudes de battement au cours des transgressions et des régressions successives seront un des mécanismes de son enfouissement...

Les gorges font environ 15 km de long et le parcours est ensuite davantage rectiligne, en direction de l'est, avec quelques incursions hors du calcaire compact : à St Nicolas, Collias, puis définitivement à Remoulins ; le tout avec une faible pente en passant de 50 m à 20 m, soit 30 m de dénivelé en 15 km, ce qui donne une pente de 2 pour 1000.

CADRE GÉOLOGIQUE



Les gorges suivent la même direction Ouest Est que l'anticlinal urgonien. Des alluvions perchées témoignent d'un paléo courant de courte durée décalé au Sud

Sur le plan géologique, le calcaire en bancs compacts dans lequel s'inscrit le canyon du Gardon appartient au Crétacé. Il est daté du Barrémien supérieur à faciès Urganien de 120 à 130 MA d'âge. Sur la bordure de la plaine vers Blauzac, il est surmonté par l'Aptien puis les termes du Crétacé supérieur ne sont visibles qu'au nord d'Uzès et près d'ici dans le Fougeras qui prolonge la combe de Mangeloup que nous voyons au sud.

Le Crétacé supérieur n'a pourtant guère dépassé les limites sud du Gardon car il a été bloqué par le soulèvement de l'isthme durancien.

Le Tertiaire est présent dans les bassins de l'Uzège avec des dépôts argileux de l'Éocène.

Cet Eocène est recouvert par des conglomérats d'âge Oligocène dans le bassin de Blauzac, Bourdic.

Autour du Castelas, le Miocène est réduit à quelques lambeaux près du Fougeras et sous le village de Vic, mais il couvre tout le bassin d'Uzès-Remoulins où il est exploité à Vers et Castillon - Pont du Gard.

A Vic une ligne de rivage est visible à 100 m d'altitude avec un dépôt de Miocène mais autour d'Uzès la molasse miocène remonte jusqu'à 180 m, ce qui signifie soit une altitude relative du niveau marin de l'époque, soit une surrection du massif de Lussan à la fin du Burdigalien, ou l'influence des deux facteurs.

Enfin des placages épars localisés sur les replats des garrigues sont attribués à des alluvions fluviales à éléments siliceux cévenols.

Du point d'observation du Castelas, on ne peut qu'être frappé par le contraste entre un paysage apparemment plat et les ondulations des couches calcaires, qui nous le voyons, dessinent une série de plis synclinaux et anticlinaux assez larges, de direction Est-Ouest. Cette déformation est due à la phase de compression NS d'âge fini Crétacé à Eocène correspondant à la mise en place de la chaîne pyrénéenne. L'amplitude de ces plis est ici assez faible mais, au delà de la crête sud de la combe de Mangeloup, l'Urgonien cède la place aux séries du Barrémien inférieur et de l'Hauterivien ce qui dessine un très vaste dôme anticlinal jusqu'à la plaine du Vistre qui n'existait pas et au delà.

Torcapel¹ avait estimé à 1 400 m la hauteur du relief potentiel lié à ce plissement et donc il y avait là une barrière importante, ce qui fait que le drainage hydraulique se faisait depuis la fin du Crétacé vers le golfe téthysien réduit peu à peu à la fosse vocontienne d'où sont venues les transgressions marines du Tertiaire avant l'ouverture du golfe liguro provençal préfigurant la Méditerranée.



Surface d'aplanissement de niveau 200 m et chevauchement.

Cette tectonique a laissé des traces dans la fracturation des roches. Nous retrouvons ainsi une série de failles qui hachent le flanc nord de l'anticlinal du Gardon. Devant nous, une faille inverse masque un pli en genoux ; on la voit depuis le fond au gour de l'Evêque, traverse le lit du Gardon, réapparaît à la fontaine de Fiérole et sous le plateau de Castel Viel. Les couches verticales ne sont pas visibles en surface car elles sont masquées par le chevauchement et on ne les verrait pas si le Gardon n'avait pas entaillé l'accident.

Le front nord du synclinal de Mangeloup et du Fougeras est également parcouru par une faille qui redresse à la verticale des couches de l'Urgonien au Crétacé supérieur et à l'Eocène. Par comparaison on peut penser qu'il s'agit aussi d'un pli en genou dont le chevauchement aurait protégé ces formations de l'érosion avant leur mise à jour.

DATATION DU CREUSEMENT DES GORGES DU GARDON

La question est maintenant, où situer le creusement des gorges dans les tranches d'âges géologiques ?

Les auteurs se sont penchés depuis longtemps sur la question. Citons parmi les premiers Torcapel¹, puis Mazauc² et surtout Marcelin³ qui a laissé une intéressante étude sur la géographie des garrigues nîmoises.

Pour André Bonnet⁴ comme pour Guilhem Fabre⁵, le creusement est surtout d'origine quaternaire, et démarre tout au plus au Messinien. La principale surface alluviale attribuable à un paléo Gardon étant le dépôt de cailloutis cévenols de Dions situé à 120 m d'altitude et lui même daté du Villafranchien.

L'attribution d'un âge simplement quaternaire au creusement des canyons languedocien est depuis remise en cause par un certain nombre d'auteurs.

Paul Ambert⁹, parmi les premiers, a démontré que les gorges du Tarn accusaient déjà un creux de 300 m au Miocène.

Jolivet⁶ et Claude Martin⁷ dans une étude sur les gorges de la Cèze ont établi un fonctionnement complexe à partir d'une succession d'érosions comblements des gorges depuis le début du Miocène, poursuivi au Pliocène, et faiblement actif pour tout le quaternaire.

A. Bonnet lui-même, dans son ouvrage relève des informations dont il ne tire pas toutes les conséquences, car l'étude de la grotte Sartanette à Remoulins au niveau 80 m montre un remplissage de cailloutis cévenol, qu'il attribue à la transgression pliocène (100 m) et donc un âge de creusement de la grotte qu'il attribue au Messinien.

Enfin, l'étude la plus récente sur le sujet est celle de Michel Serrane¹⁰ et alii qui montre bien le polyphasage de la surrection cévenole agissant au Burdigalien sur la région des garrigues, enfonçant un réseau hydrographique constitué dès l'Oligo-Miocène.

Autant de points de vue qui nous amènent à nous interroger sur ce qui se passe au niveau du Gardon.

A première vue le Gardon s'est incisé dans une gorge à partir d'une surface d'aplanissement visible, située à l'altitude de 200 m environ, donc bien après le plissement pyrénéen.

Cette surface, datée de l'Oligocène par Coulet⁸, est rajeunie au Miocène par les auteurs actuels, période au cours de laquelle les 4 régressions successives qui ont suivi les remontées du niveau marin ont largement permis l'implantation d'un réseau hydrographique et notamment pour la période du Burdigalien-Serravalien.

On a vu quelle incertitude existait sur la hauteur maximum atteinte par la plus haute transgression du Miocène, mais il fallait bien un remplissage intégral de l'actuelle plaine du Gardon pour que celui-ci vienne couler sur la surface du plateau.

Le Gardon aurait donc commencé à affouiller une sédimentation marine miocène reposant sur l'Urgonien en décrivant des méandres évolutifs et peut-être en glissant vers le nord sous des facteurs tectoniques. Les traces de ce paléo Gardon miocène divagant sur cette surface de 200 m sont les dépôts alluvionnaires d'argiles rouges à petits galets de quartz qui sont repérés par des zones de cultures, entre Poulx et Saint Bonnet.

A l'entrée des gorges, la trace d'un méandre abandonné est visible au dessus de Dions à côté des Espélugues. Sur le plateau de Dions une surface horizontale de cailloutis est notée Villafranchien Fv, à l'altitude de 120 m, comme les autres dépôts de même nature plaqués sur les bords de la vallée du Gardon depuis Boucoiran. La datation qui n'est confirmée par aucun indice est vraisemblablement du début du Pliocène.

Une fois atteint le substratum urgonien, la dureté de la roche a contraint le chenal d'écoulement et arrêté toute divagation. Le lit du Gardon s'enfonçant sur place par érosion régressive suivant les variations du niveau eustatique, en même temps que se mettait en place un karst avec un écoulement souterrain de la rivière en partie dérivée.



Vue des falaises du Castelas côté est avec un champ de fractures visibles et la sédimentation en chenaux de la barre supérieure

Des mouvements tectoniques de faible amplitude verticale à la fin du Miocène (Burdigalien) et durant le Pliocène ont dû aussi jouer un rôle dans la surimposition rapide du canyon.

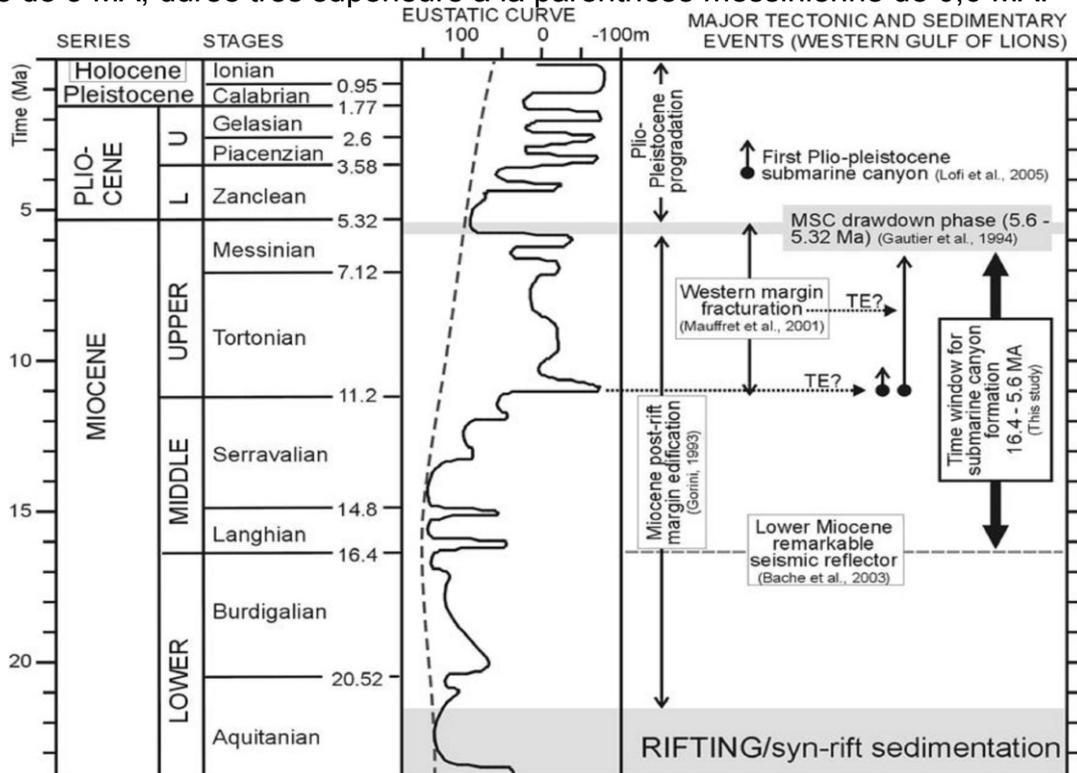
Si l'on admet ce schéma d'ensemble, le creusement des gorges que nous voyons devant nous entre les altitudes de 120 m et de 40 m aurait pris 6 MA.

Le creusement du lit entre les cotes de 200 m et de 120 m avait déjà pris 6 MA en supposant le même rythme d'érosion, ce qui nous ramène au Serravalien il y a 12 MA. L'épisode messinien n'aurait été qu'un épisode de trop courte durée pour jouer un rôle majeur dans la création du canyon. Une meilleure connaissance du sous-sol à l'aval des

gorges, pourrait nous renseigner sur l'existence d'une ria messinienne comme elle existe sur la Cèze.

Dans ce schéma, la transgression pliocène (100 m) aurait remonté les gorges du Gardon déjà existantes et provoqué un comblement partiel par des argiles et marnes, ce qui expliquerait par la suite la présence d'une terrasse mindélienne à la côte de 70 m (Bonnet) ?

Le schéma ci-dessous, montre l'amplitude des variations eustatiques au cours du temps et on observe que la période du Serravalien – Tortonien est favorable à une importante érosion régressive. Le niveau eustatique baisse de 200 m sur une période de temps de 5 MA, durée très supérieure à la parenthèse messinienne de 0,6 MA.



Noter les régressions marines entre le Langhien et le Tortonien (courbe au centre) déclencheurs de l'érosion régressive des gorges

En résumé, les rares témoins attribuables aux périodes glaciaires du quaternaire ne paraissent pas suffisants pour établir une chronologie de l'enfouissement des gorges du Gardon, et cela d'autant qu'ils sont absents des gorges elles-mêmes. Les rares traces de quaternaire récent sont pour les dernières glaciations à peine au-dessus du niveau du lit actuel et les grottes de premier niveau à 4 ou 5 m au-dessus du lit actuel sont déjà occupées au paléolithique il y a 40 000 ans. Les hommes qui ont tracé les gravures de la Baume Latrone il y a 30 000 ans devaient voir le même Gardon qu'aujourd'hui, il est vrai avec une faune et une flore très différentes.

La prise en compte d'un temps géologique semble donc nécessaire pour contraindre l'histoire de l'évolution du réseau hydrographique du Gardon. En tout cas le débat n'est pas clos dans l'attente de nouveaux résultats scientifiques et si cet article est éminemment critiquable faute de preuves matérielles irréfutables, quelques références de travaux récents montrent l'actualité du sujet.

PHÉNOMÈNES KARSTIQUES

Parmi les phénomènes karstiques visibles depuis le Castelas, le plus remarquable est la formation des falaises qui témoignent d'un relief jeune et peu altéré. On note aussi des ressauts séparant deux ou plusieurs niveaux de falaises. Les nombreuses baumes qui soulignent les joints de stratification ne sont en général pas dues à des érosions de la rivière mais aux phénomènes de gélifraction depuis le quaternaire. Le sapement de la base des falaises contribue à un rajeunissement permanent des parois par écroulements successifs et peut expliquer que le canyon soit plus large entre les falaises de haut niveau qu'entre les falaises inférieures d'âge plus récent.

Par contre, il existe des couloirs souterrains qui forment une ligne discontinue tout le long des gorges, à la base du niveau des falaises supérieures et il est probable qu'ils correspondent aux galeries d'un Gardon souterrain qui aurait eu le temps de se mettre en place pendant une phase d'arrêt de l'enfouissement, lors d'une transgression marine.

Il est probable que les écoulements souterrains répondent plus rapidement aux changements du niveau de base que la rivière aérienne en raison de l'effet du gradient piézométrique dans un milieu déjà fracturé et soumis à une intense fantômisation.

Ces galeries à peu près horizontales ont ensuite été recoupées par l'incision et on voit par exemple les porches d'entrée et de sortie d'un fragment de galerie de plusieurs mètres de diamètre en face du Castelas sous l'éperon de CastelViel.

Ce replat, à l'altitude de 100 m à la base du niveau des falaises supérieures, se raccorde correctement à une ligne de pente d'un cours d'eau à pente modérée aboutissant au niveau de 80 m de la grotte de la Sartanette déjà évoquée et donc d'âge Pliocène.

A côté de ces galeries attribuables à un Gardon, il existe tout un réseau de cavités, parfois très développées, créées par le drainage des eaux infiltrées dans les dolines, les avens, les lapiaz qui parsèment les plateaux. Drainage d'autant plus important et efficace, que malgré l'existence de ravins et de combes, il n'y a pas de cours d'eau actifs nés sur le massif sur la longueur des gorges et donc peu de ruissellement de surface dans l'Urgonien. Ces réseaux ont suivi l'enfouissement de la rivière et leurs galeries inférieures sont souvent connectées au Gardon souterrain qui s'est constitué dans la phase actuelle de la rivière et qui absorbe plus de 1 m³/s par des pertes situées dans le lit, d'aussi loin que de Ners et Brignon.

Certains de ces réseaux ont probablement eu aussi une activité érosive « perascendum » à la faveur des variations eustatiques. C'est ainsi que l'on explique la formation du gouffre des Espéluques à Dions.

La moitié amont des gorges est formée d'exurgences plus ou moins temporaires, alors que, dans la moitié aval, un ensemble de résurgences restituent les eaux du Gardon souterrain et du large impluvium des garrigues de St Siffret présent sous le bassin molassique d'Uzès Remoulins. Le débit aval double largement le débit amont du Gardon.



Source pérenne de Fiérole sous le Castelas. Le Gardon est asséché.

On a ainsi un fonctionnement hydrologique original avec, en dessous d'un débit du Gardon de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ à Ners, une moitié amont des gorges complètement asséchée une partie de l'année, jusqu'au pont St Nicolas. L'autre moitié des gorges retrouve un débit de plus en plus important vers l'aval par l'apport de résurgences amenant une eau à 16°C en plein été.

Au terme de cette visite, le site du Castelas apparaît bien comme un lieu idéal pour retracer une partie de l'évolution géologique du département du Gard et observer un des plus beaux canyons du Languedoc qui fait aujourd'hui l'objet d'une protection renforcée au titre des sites naturels.

Michel Raulet

Bibliographie

- A. Torcapel : *Les garrigues de Nîmes, leur constitution géologique et le bassin d'alimentation de la « Fontaine »* Ed Chastanier.
- Mazauric : *Le Gardon et son canyon inférieur*, Mémoires de la Société de Spéléologie 1896
- Marcelin : *Contribution à l'étude géographique de la garrigue nîmoise*. Bulletin SESN de Nîmes 1921/1923
- André Bonnet et Jacques Larmat : *Introduction à la géologie du Gard*. Ed. Lacour
- Guilhem Fabre : *Les karsts du Languedoc Oriental. Recherches hydrogéomorphologiques*. Thèse 1980.
- Jolivet et Claude Martin : *La morphologie karstique dans le canyon de la Cèze et sur le plateau de Méjannes-le-Clap. Rapport avec l'évolution paléogéographique Mio-Pliocène*. Géographie physique et environnement, 2008, vol II.

- E Coulet : *Morphologie des plaines et garrigues du Languedoc*. Thèse de Doctorat 1975.
- Paul Ambert : *L'évolution géomorphologique du Languedoc central depuis le Néogène*. 1994
- Michel Seranne, H Camus, F Lucazeau, J Barbarand, Y Quinif : *Surrection et érosion polyphasées de la bordure cévenole. Un exemple de morphogénèse lente*. Bulletin SGF 2012.
- Johanna Lofi, Serge Bern : *Evidence for pre-Messinian submarine canyons on the Gulf of Lions slope (Western Mediterranean)*, Marine and Petroleum Geology. 2008
- Carole Romey : *Histoire des paysages et de l'occupation humaine du massif des Calanques depuis 300 000 ans*. Thèse Univ. Aix Marseille Université. 2013

La Rubrique Scientifique

Tectonique et karstification dans le canyon du Gardon inférieur, les plateaux de Saint Nicolas et de Sainte Anastasie.

Par Michel RAULET

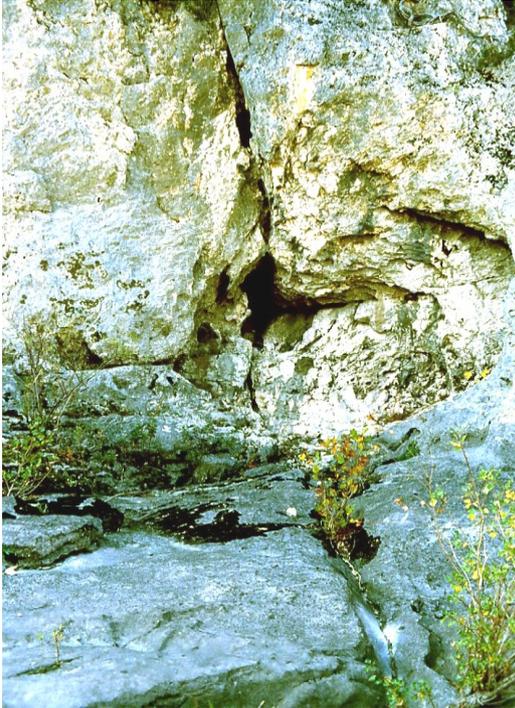
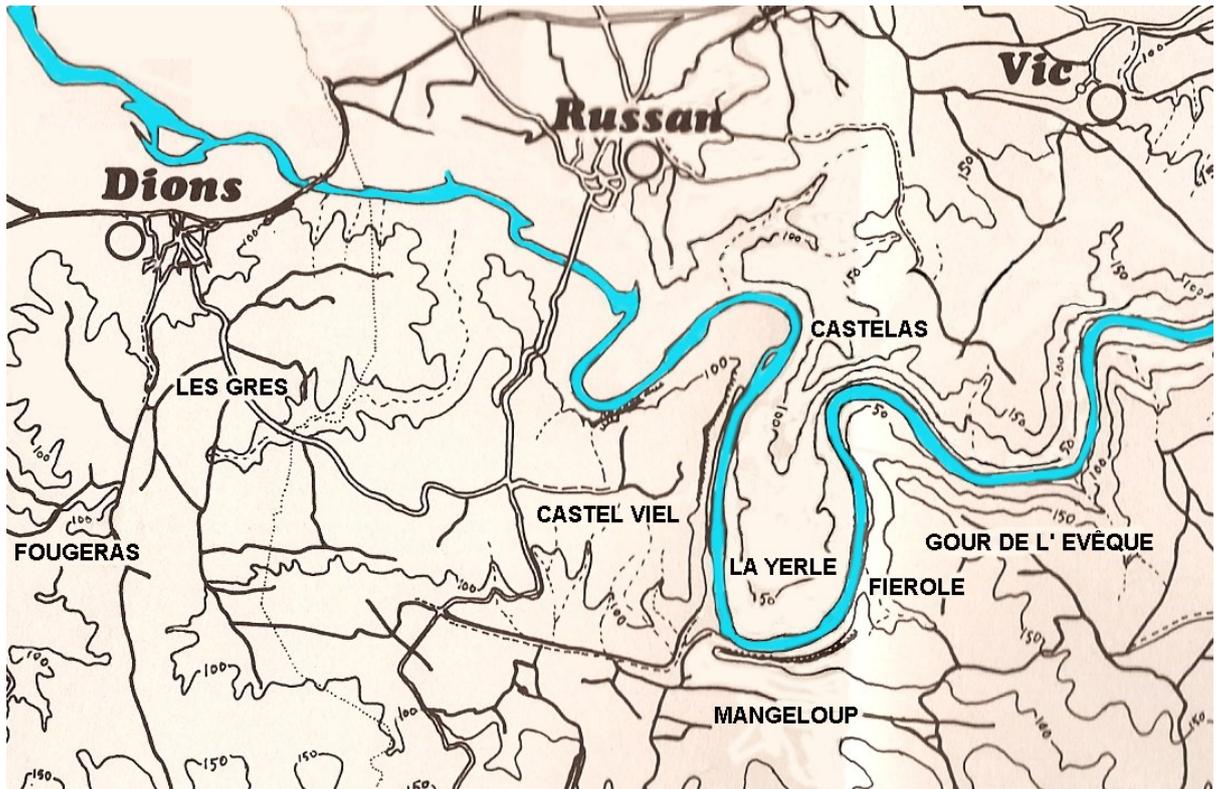


Photo 1.

Un conduit karstique s'est formé à l'intersection d'une faille verticale décrochante et d'un joint de stratification légèrement décalé par le mouvement de la faille.



Photo 2. Vue des gorges au-dessus du Gour de l'Evêque. On devine la structure anticlinale du pli coudé en premier plan.



carte simplifiée de localisation des sites

I – Introduction

La formation des cavités karstiques est liée à l'existence préalable d'une fracturation, le calcaire étant par lui-même une roche imperméable.

La première discontinuité naturelle est due aux inter-bancs, résultats des cycles de la sédimentation carbonatée. Les galeries creusées suivant un inter-banc ont une allure elliptique caractéristique.

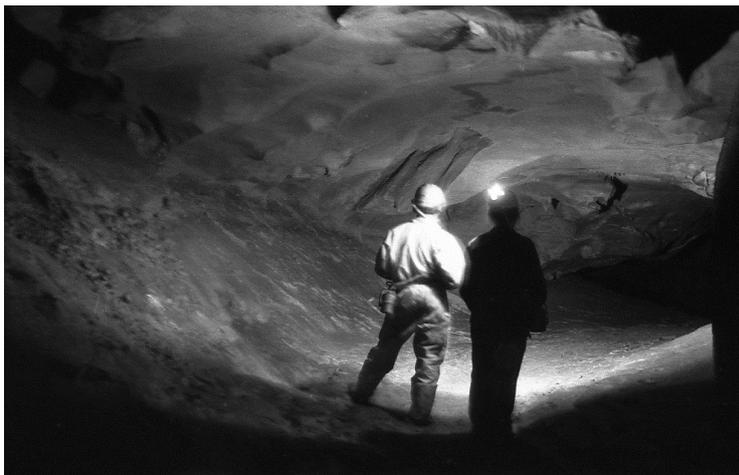


Photo 3. Galerie en conduite forcée du barrage

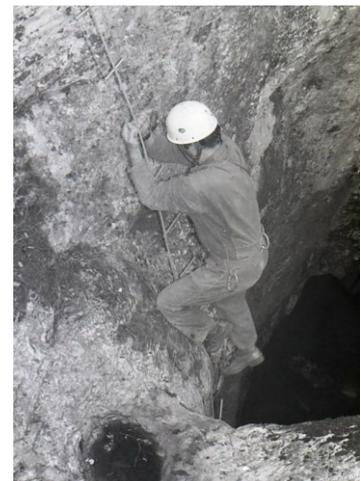


Photo 4. Aven des 3 Pigeons appuyé sur une faille verticale (photo Daudet)

Mais souvent, en plus du joint de stratification et surtout lorsque la hauteur de la galerie recoupe plusieurs strates, une coupure longitudinale apparaît au plafond de la galerie et au sol, si celui-ci est libéré de son colmatage argileux. C'est le cas fréquent

des diaclases que recoupent souvent les réseaux souterrains.

Cette ligne de fracture verticale est engendrée par l'action de mouvements tectoniques mettant la roche sous contrainte et sa direction est parfaitement définie par rapport aux directions des contraintes en général horizontales. On parle de tectonique tangentielle, comme c'est le cas dans les gorges du Gardon.

C'est pourquoi le karst qui va se développer par la suite sera orienté suivant des directions privilégiées.

Pour vérifier ce principe nous allons comparer l'étude géologique du terrain avec les données topographiques de cavités importantes.

II - Résumé géologique.

Au piémont de l'ancien massif hercynien des Cévennes, de puissants dépôts calcaires, du Lias, du Jurassique, du Crétacé, se déposent durant l'ère secondaire. Ces dépôts émergent dans la phase fini-crétacé et des plis se forment déjà dans la région (pli de Montpellier).

Dès le Tertiaire, à l'Eocène supérieur, la tectogénèse pyrénéenne se met en place. Elle est marquée par une poussée des terrains vers le nord, obligeant ceux-ci à un raccourcissement absorbé par la déformation des garrigues. Il en résulte une série de plis parallèles successifs orientés est-ouest. En même temps le coulissage le long de la faille des Cévennes déplace le bâti des garrigues de 17 Km vers le Nord.

Le modelé structural actuel est acquis par cette phase tectonique majeure. À cette phase succède une période de calme suivie d'une phase de distension d'âge Oligo-Miocène de longue durée (20 millions d'années) de direction nord-ouest sud-est (N 120 degrés E), responsable de l'effondrement en marches d'escalier vers le sud des garrigues. C'est aussi le moment de la formation du bassin d'Alès.

Au Pliocène la montée des Alpes va créer une direction de raccourcissement est-ouest de faible intensité. Il n'y a pas de plissement mais un rejeu de fractures existantes.

La phase plio-quadernaire se manifeste par l'effondrement du couloir rhodanien avec une accentuation de la subsidence camarguaise.

III - Étude tectonique.

1 - La zone étudiée.

Le canyon du Gardon inférieur entaille le massif de terrain crétacé du Barrémien supérieur à faciès urgonien des garrigues nîmoises en isolant à son amont deux unités géographiques. En rive droite le plateau de Saint Nicolas, en rive gauche le plateau de Russan-Sainte Anastasie. Le secteur étudié est limité au nord par le contact avec le bassin sédimentaire de Vic-Aubarne, au sud par la combe de Mange loup, à l'est par le ravin encaissé emprunté par la route d'Uzés, à l'ouest par le plateau de Dions et la plaine alluviale du Gardon.

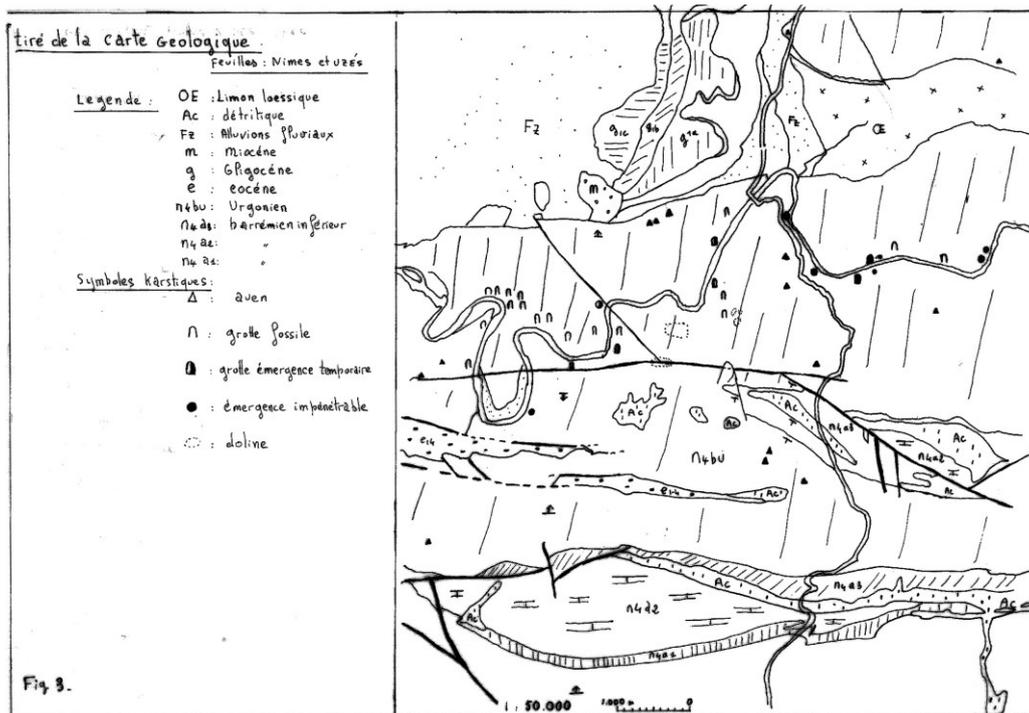


Figure 3 - La répartition des phénomènes karstiques est figurée (A. Coste - Rapport CDES)

La surface couverte est un carré de 20 kilomètres carrés, entaillé suivant la diagonale Nord-Est Sud-Ouest par le canyon du Gardon encaissé de 100 à 150 mètres par rapport à la surface d'érosion du plateau.

Dans ce carré, les manifestations karstiques sont importantes, sources pérennes et temporaires, avens, pertes et trois grottes émergences dont le développement pluri kilométrique fait l'objet de cette étude.

La carte géologique est reproduite en Figure 3 ainsi que la coupe simplifiée Figure 4.

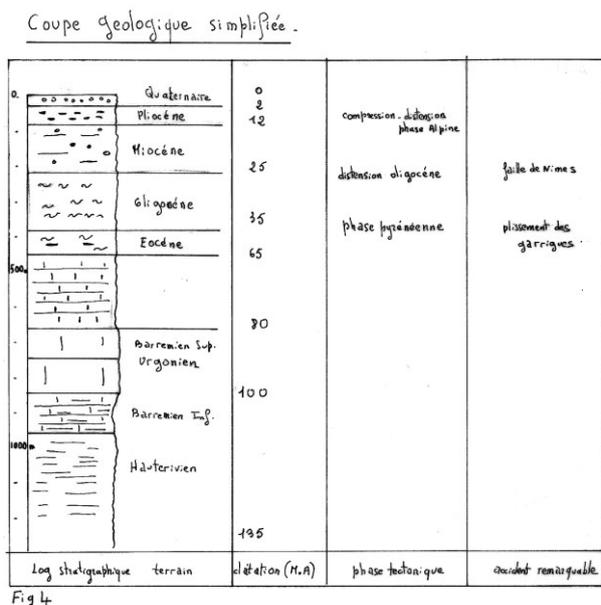
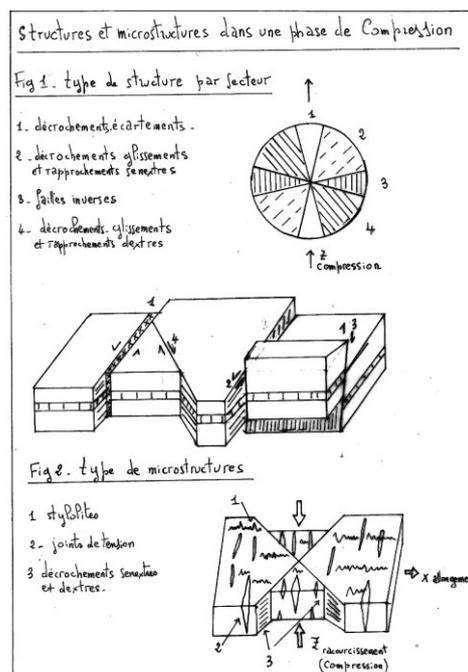


Figure 4. Coupe géologique simplifiée



Figures 1 et 2. Structures et microstructures dans une phase de compression.

2 - Étude microtectonique.

La figure 2 montre le résultat d'une compression appliquée à un échantillon solide. À côté des fractures apparaissent des microstructures nommées stylolites et joints de tension.

Ces microstructures sont orientées suivant la direction du raccourcissement.

Les stylolites sont engendrés par la dissolution de la roche comprimée d'où une interpénétration suivant une surface déchiquetée. La direction des pics formés montre la direction du raccourcissement.

La direction perpendiculaire au raccourcissement est une direction d'allongement d'où une tendance à l'ouverture de fissures orientées perpendiculairement à cet allongement. Ces fissures créent un vide potentiel comblé par la cristallisation de calcite.

Sur l'ensemble du plateau, on observe ces microformes tectoniques, parfois séparément, parfois associées.

Le système uniformément répandu est celui des joints de tension à axe Nord Sud. Les stylolites associés ont une direction de pics identique. Ce système est lié au raccourcissement pyrénéen.

Fig 5. Exemple de stylolites relevés
sur le secteur du Colombier

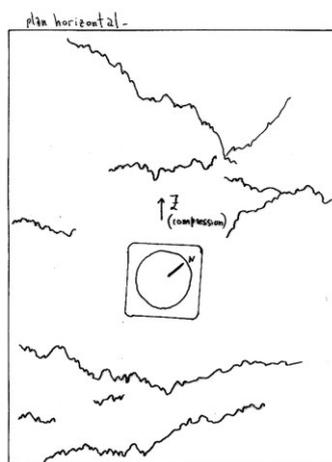


Figure 5. relevé de stylolites

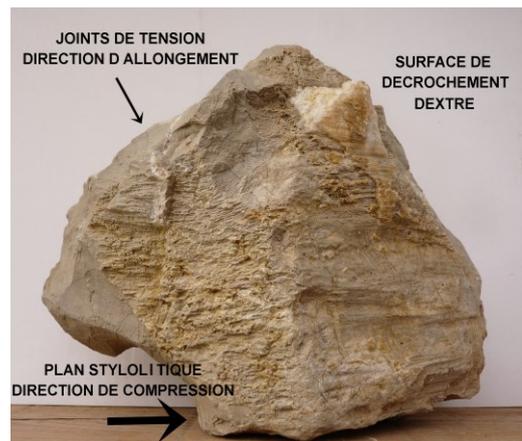


Photo 5. Stylolites et surfaces de décrochement.

La figure 5 montre le relevé de stylolites sur une station.

Localement on trouve un système moins visible de joints à direction 55 degrés Ouest- 125 degrés Est associés à de rares stylolites. On trouve également des joints de direction est-ouest à proximité de fractures de même direction.

L'observation du lapiaz de surface montre que celui-ci se forme à la faveur de ces joints donnant son aspect orienté aux fissures superficielles qui favorisent par ailleurs la végétation. Il s'agit d'un phénomène dû à l'attaque chimique de la calcite à l'air libre. A l'inverse dans les cavités on observe que les galeries n'utilisent pas nécessairement la direction des joints.

En général on observe la calcite de ces joints formant saillie sur les parois. Comme conséquence, on constate que le lapiaz de surface débouche rarement sur le karst profond.

3 - Étude de la fracturation.

Au cours d'une phase de compression horizontale la fracturation se répartit spatialement suivant le modèle de la figure 1.

La carte de la photo-fracturation obtenue à partir des photographies aériennes de l'IGN, (fig. 6) révèle la densité de la fracturation visible à l'œil nu dans le paysage.

Sur le terrain, on en observe bien davantage. Il s'agit soit de failles ayant eu un jeu en décrochement horizontal ou vertical soit de simples fractures des bancs réagissant à la tectonique cassante.



Photo 6. Faille mylonisée due à un coulisage horizontal

Sur la Figure 6, la topographie des 3 réseaux souterrains est aussi reportée en surface pour montrer sa dépendance aux directions de fracturations.

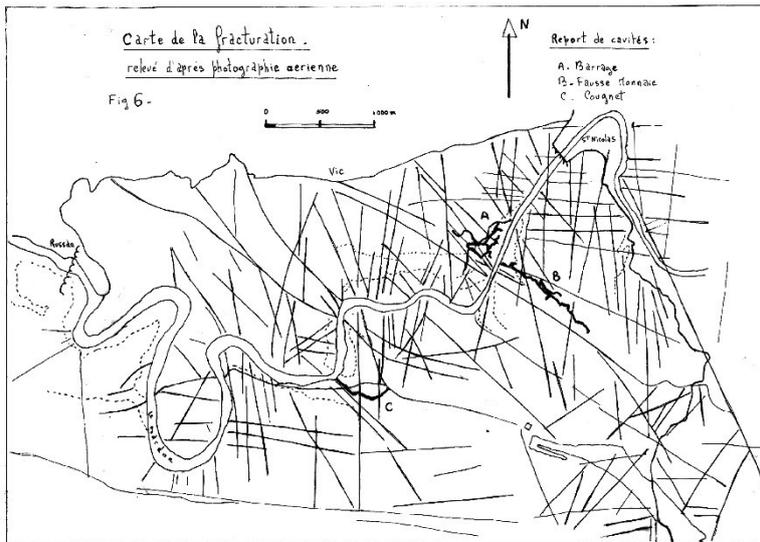


Figure 6. Carte de fracturation

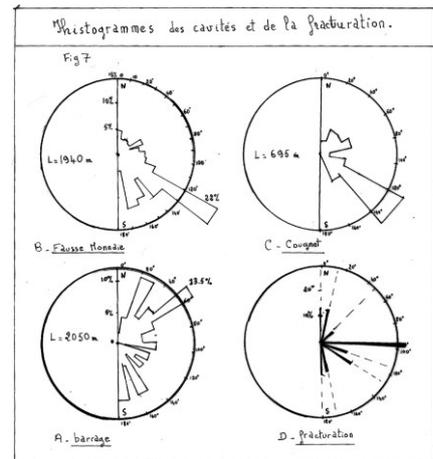


Figure 7. Un essai de classification spatiale est figuré par le graphique circulaire D

On retrouve sur ce graphique la répartition théorique de la figure.1 avec les fractures conjuguées des secteurs 2 et 4 et les failles inverses du secteur 3.

Cette fracturation est donc pyrénéenne. Le rejeu alpin, s'il s'est manifesté, a réutilisé ce système de fractures.

Les failles du secteur 3 ont joué en décrochements écartements par exemple la faille du Mas de Cabanne, route de Poulx, montre un miroir mylonisé avec des stries horizontales.

Les failles du secteur 2 et surtout 4 (direction 120 degrés Est) ont joué ultérieurement de façon inverse à leur premier jeu en se gauchissant, d'où une courbure des plans de faille.

La carte structurale (fig. 8) reproduit les principales failles coulissantes ou chevauchantes et les pendages mesurés.

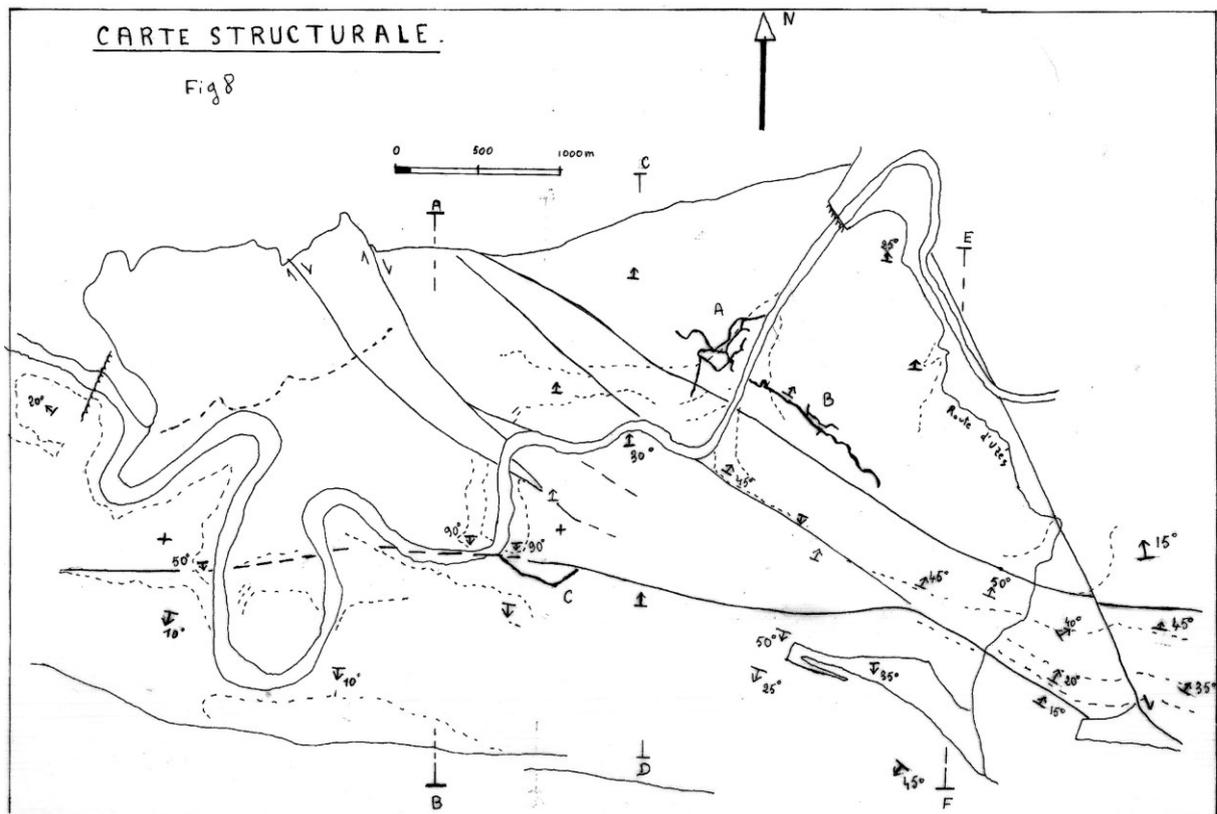


Figure 8. Carte structurale.

Au premier abord le plateau Saint Nicolas est un pli anticlinal d'axe Est-Ouest s'insérant dans les ondulations structurales de la garrigue.

Ce pli affecte l'Urgonien affleurant sur toute la zone. Son observation est permise par le creusement des gorges du Gardon, mettant à jour son flanc anticlinal Nord (voir les croquis de la Fig.9)

Le 1^{er} croquis correspond à l'axe du Castelas en regardant à l'Est la paroi qui domine la source du Cougnet. On voit bien le coffrage du pli en genou.

Le 2^{ème} croquis montre les hachures du plateau de Sainte Anastasie vu depuis le plateau Saint Nicolas, soulignées par la présence d'éperons.

Le 3^{ème} croquis montre une vue depuis la falaise dominant le Cougnet vers Le Castelas à l'Ouest.

Dans le détail, on s'aperçoit que l'anticlinal est cisailé par des failles inverses chevauchantes, témoignant d'un raccourcissement important. L'axe du pli en genou, bien visible à travers les gorges, doit se relever d'Est en Ouest car l'érosion a mis à jour les couches du Barrémien inférieur à l'Est dans le sillon qui va de la route d'Uzès à Poulx.

Ce pli est cisailé par le jeu de failles de direction N 120 -140 degrés E fonctionnant en décrochements dextres et hachant le plateau en diagonales NW-SE, formant autant d'éperons dans le paysage des gorges.

Ces décrochements ont des jeux métriques ou supérieurs et sont marqués par des plans de stries horizontales. Ces failles semblent à l'origine des changements de directions du canyon : gour du Colombier, gour du Corbeau, gour de l'Évêque.

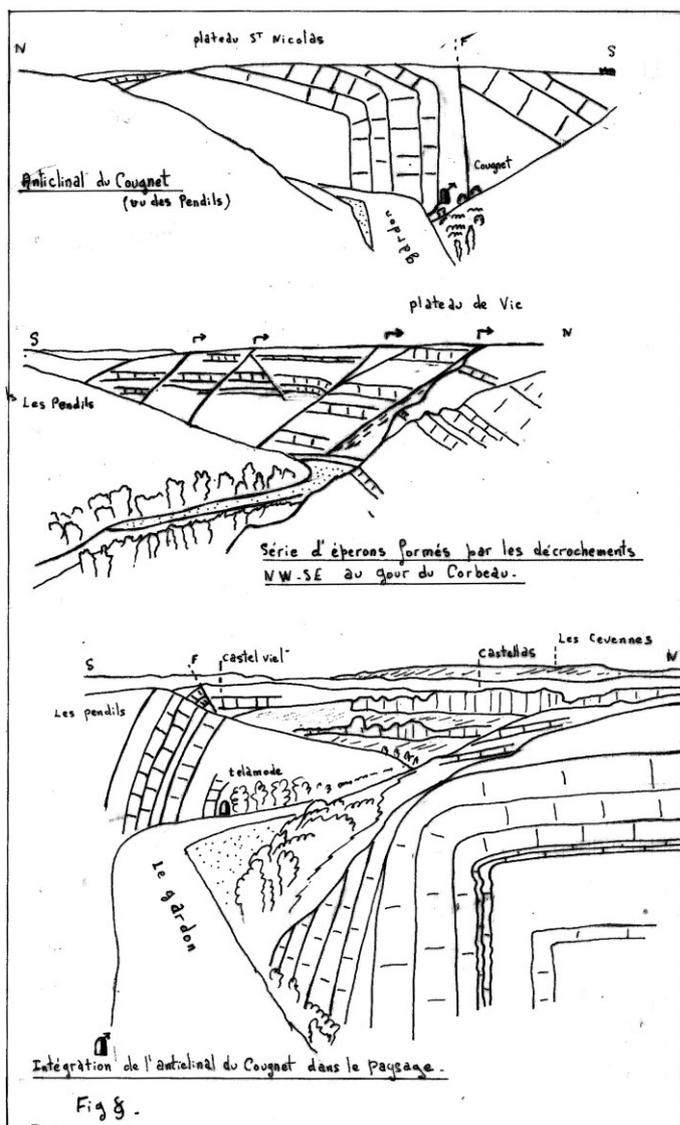


Figure 9. Coupes dans l'anticlinal

D'autres fractures jouent un rôle différent.

Sur le secteur de la route de Poulx les failles 65 degrés Ouest -115 degrés Est ont un miroir dont les stries plongent de 45 degrés vers le Sud (pitch). Il y a donc eu une composante verticale du mouvement de la structure. Ce type de faille est associé à la phase de distension oligocène.

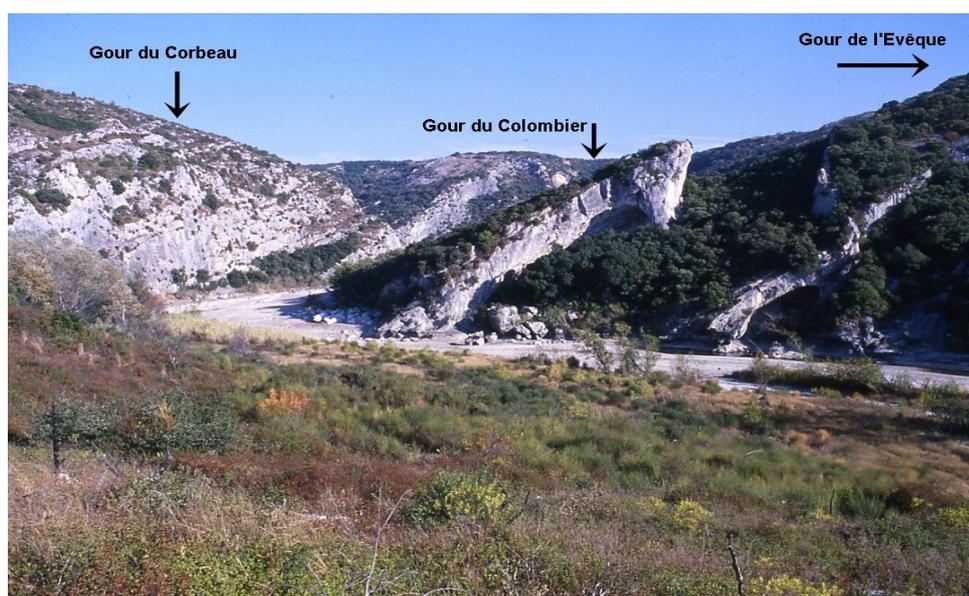


Photo 7. Les changements de direction du Gardon entre les gours de Colombier et de l'Evêque sont liés à l'existence de failles.

D'autres plans de glissement existent. Les bancs de calcaire compact urgonien ne peuvent se plisser qu'à la faveur de ripages banc sur banc et de cassures suivant le rayon de courbure. D'où la création de fractures discontinues de banc à banc (Fig.12).

Fracturation discontinue de banc à banc liée au plissement. Fig 12

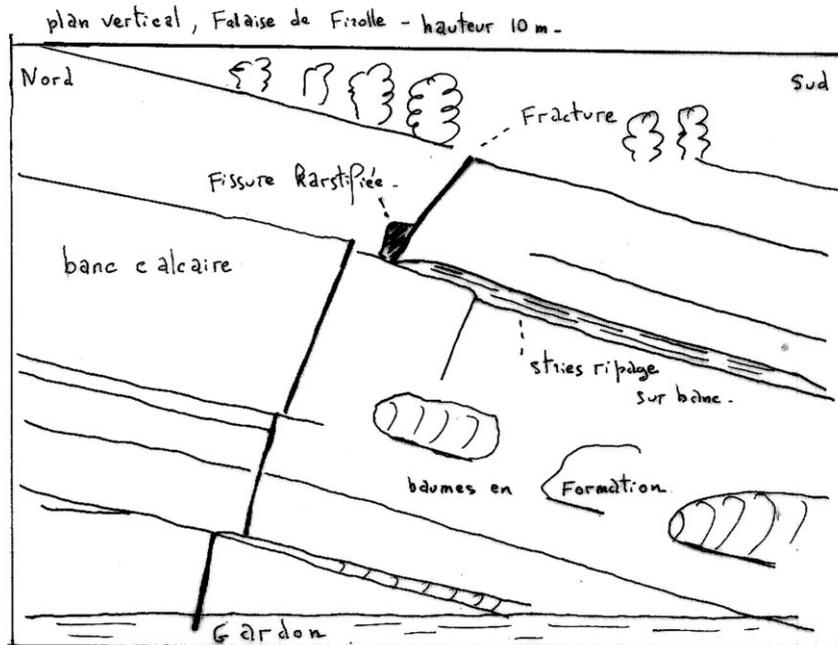


Figure 12. Fracturation discontinue de banc en banc.

Le schéma structural est développé par les coupes interprétatives de la Fig.10 ; La position des coupes, AB, CD, EF, figure sur le plan Fig.8.

Les pendages tiennent compte de la différence d'échelle sur les axes et on a situé sur ces coupes la position des réseaux karstiques.

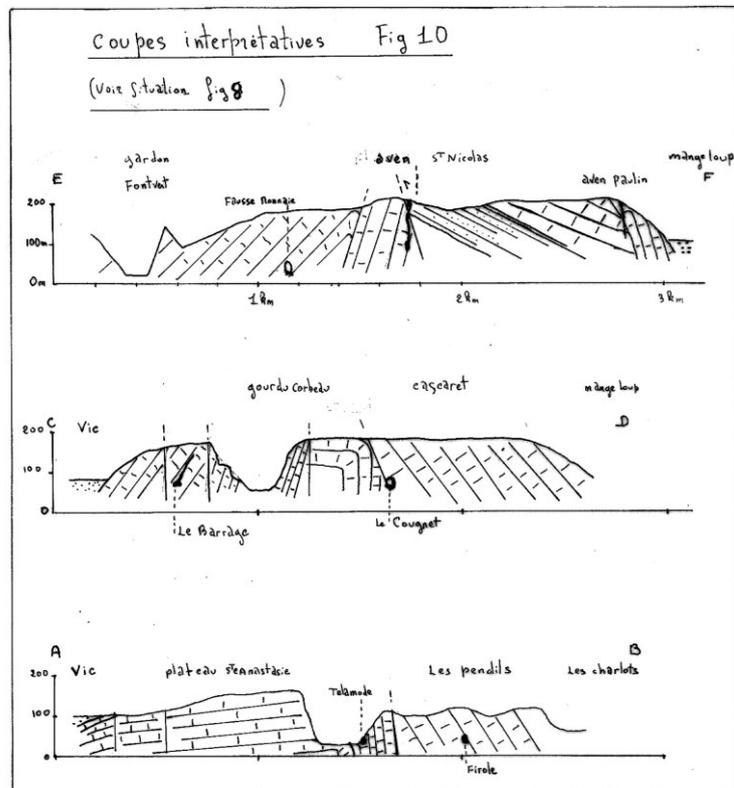


Figure 10.coupes interprétatives.

IV - Étude de la karstification.

1- Genèse du canyon.

La position du canyon sur un relief anticlinal peut être le résultat d'une antécédence sur laquelle s'incruste la rivière. Cette incrustation s'est faite par paliers liés aux balancements du niveau de base marin.

Selon les observations de Mazauric, ces paliers ont entraîné la formation de niveaux de terrasses. En fait, ce qui peut ressembler à des terrasses sont en général des replats soulignant des différences de stratification et comme tels suivent les déformations structurales.

Le Gardon a la particularité de partager son cours entre un canyon amont subissant une perte totale des eaux drainées par des pertes vers un Gardon hypogé et un canyon aval où des résurgences restituent les eaux souterraines.

Le point de transition se fait en aval du Pont Saint Nicolas à la faveur d'une rupture de pente du profil de la rivière qui semble lié à l'existence d'une faille, mas de Cabanne – Fontvert.



Photo 8. Route d'Uzès : le site de Fontvert après la résurgence des Frégeires qui réalimente en partie le Gardon

2 - Histogrammes des cavités.

A partir de cette approche des conditions structurales, on peut aborder l'étude des mécanismes de la karstification en construisant l'histogramme des directions des galeries souterraines pour les comparer aux directions des fracturations visibles en surface.

Les histogrammes sont obtenus en reportant sur un diagramme circulaire les directions des galeries dont les longueurs sont cumulées par secteurs de 20 en 20 degrés.

Les histogrammes des trois cavités étudiées. A : Barrage, B : Fausse monnaie, C : Cougnet, montrent que les réseaux se développent suivant des directions préférentielles (voir Fig.7).

Une direction préférentielle domine pour les cavités B et C avec une direction Nord 120-140 degrés Ouest. Cette direction est empruntée par les accidents décrochements dextres du secteur 4 (Fig.8.), mais c'est aussi la direction des plans de stratification.

Les galeries sont du type en inter-banc avec des sections plutôt circulaires. Les

développements sont horizontaux, témoignant d'une origine plus lointaine des réseaux.

Certaines sections sont du type diaclase lorsque la galerie suit un décrochement et alors on retrouve en surface un alignement de dolines, témoin de transferts verticaux (exemple des dolines de la Bergerie au dessus du réseau B de la Fausse Monnaie sur le plateau St Nicolas).

Le réseau A du Barrage présente un éventail de directions plus étendu avec une direction dominante Nord 50-60 degrés Est. Cette direction est d'une part celle du canyon dans ce secteur, d'autre part celle de la ligne de plus grande pente des bancs. Les galeries suivant cette direction ont une forte pente, pendage de 20 à 30 degrés Nord.



Photo 9. Vue du massif de la grotte du Barrage

On peut se poser à leur propos une question concernant le mode d'écoulement lors de leur formation. Soit il s'agit d'un écoulement torrentiel dans le cas d'un transfert sub-vertical de drainage des eaux du plateau de Vic, soit il s'agit d'un écoulement en régime noyé lié à un écoulement souterrain du Gardon si le transfert est sub-horizontale.

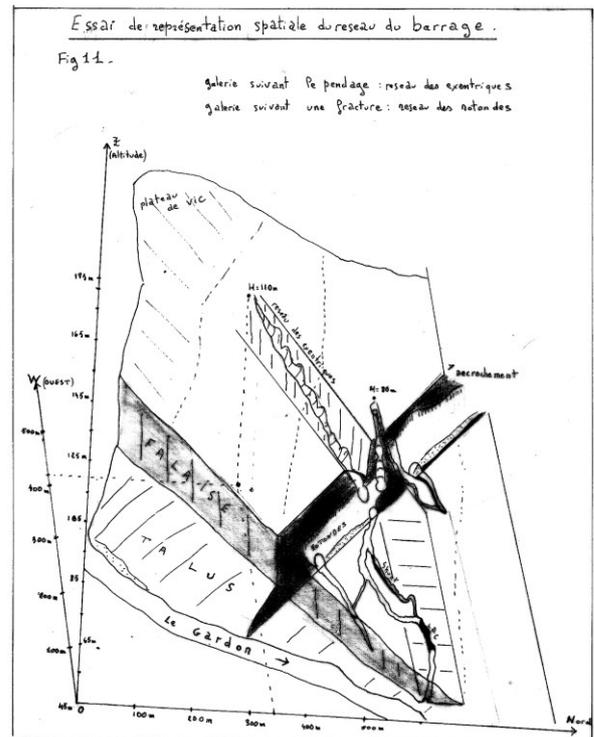


Figure 11. Réseau du Barrage – essai d'interprétation spatiale

Actuellement les parties basses des 3 réseaux drainent les eaux d'infiltration des plateaux mais sont aussi noyées par les crues du Gardon.

Deux directions, 140-160 et 170-180 degrés Est, sont liées à des failles de décrochement et la morphologie des galeries est modifiée en conséquence. Ce sont des galeries diaclases à développement horizontal et de hauteur élevée, 10 à 20 mètres. Voir un essai de représentation spatiale de ces deux types de galeries.

V - Conclusion.

Nous avons montré l'importance de la fracturation sur le plateau de Sainte Anastasie. Cette fracturation est créée par la phase tectonique majeure pyrénéenne caractérisée par des joints de tension de direction Nord-Su.

Certaines fractures jouent au cours d'une phase ultérieure car des joints de tension de direction 125 degrés Est témoignent d'un coulissage le long des fractures de même direction.

La direction conjuguée 55 degrés Est a un rôle moins important et intervient dans les histogrammes surtout pour le réseau A du Barrage. La karstification est

incontestablement favorisée par cette fracturation et se développe de préférence à l'intersection des inter-bancs avec les fractures. Les failles jouant en décrochements-écartements dans la direction 125 degrés Est semblent avoir joué un rôle déterminant dans l'orientation du karst.

Les réseaux B et C se développent de part et d'autre du pli faillé, suivant deux directions sensiblement parallèles et à contre sens de l'actuelle pente des eaux. Ceci peut favoriser des phénomènes de capture.

Au stade de ce travail nous ne tirons pas de conclusions sur les relations chronologiques éventuelles entre karstification et phases tectoniques.

On reconnaît après Mazauric que le karst est hiérarchisé verticalement avec un karst ancien dans le niveau supérieur et un karst jeune dans le niveau de base actuel. Les cavités étudiées ici appartiennent à ce karst jeune dont l'âge maximum est fin Miocène si on le considère postérieur aux diverses phases tectoniques (Pontien). Le karst ancien s'est formé dès l'émersion des couches carbonatées entre l'Eocène et l'Oligocène supérieur (exemple des phosphates de St Maximin).

Nous manquons encore de critères pour discerner sur le terrain la contribution exacte des phases tectoniques ultérieures à la phase pyrénéenne et a fortiori pour situer l'âge du karst par rapport à ces phases.

BIBLIOGRAPHIE.

1-Cartographie.

- Carte des garrigues au 20/1000 -IGN- Carte géologique feuilles de Nîmes et Uzès au 1/50000.
- Topographies, bulletins Nemausa -ASN
- Photographies aériennes – IGN mission 1952/54
- Photographie spatiale Landstat.

2-Ouvrages.

- Guilhem Fabre - *Observations sur les circulations souterraines karstiques du Languedoc oriental, principalement d'après les résultats des expériences de traçage et celles d'explorations "in situ"*- Mémoire DES 1973
- Guérin - *Un exemple du rôle de la tectonique et de la microtectonique dans la géométrie des écoulements karstiques actuels et fossiles : le bas Vivarais calcaire.*
– thèse de 3ème cycle USTL
- Mazauric - *Le Gardon et son canyon inférieur*
- Torcapel - *Les garrigues de Nîmes. Leur constitution géologique et le bassin d'alimentation de la Fontaine.* 1894.
- Marcelin – *Contribution à l'étude géographique de la garrigue de Nîmes*
- Rapport CDES- "*Les gorges du Gardon*" - Nemausa spécial n 95

Étude géologique du ravin du Fougéras

Par Raymond Martin

"Au sortir de la garrigue nîmoise si monotone, le Fougéras attire les regards par les couleurs vives, puis la bizarrerie de ses formes. L'érosion a découpé les sables en une série de petits ravins secondaires à parois raides, perpendiculairement au ravin principal, séparés les uns des autres par des crêtes très minces."

Paul MARCELLIN (1905)

I- SITUATION

Géographiquement, le vallon de Fougéras est situé au nord-ouest de la Garrigue Nîmoise, à 1 500m du Sud de Dions près du lieu-dit Bruguier. Il se trouve également dans le prolongement Ouest du vallon de Mangeloup.

Cette région est à cheval sur quatre feuilles topographiques: Échelle au 1/25 000^{ème}
- ANDUZE (XXVIII-41) n°7 et 8 - SOMMIERES (XXVIII-42) n°3 et 4 – UZES (XXIX-41) n°5 et 6 - NIMES (XXIX-42) n° 1 et 2.

Deux routes permettent d'accéder difficilement à ce vallon: -Route D225:Route départementale de la N106 au village de Dions -Route D148:Route départementale de Nîmes à Russan.

II- LE CADRE GEOLOGIQUE REGIONAL

1- Stratigraphie générale

Aux alentours du vallon de Fougéras il existe des dépôts allant de l' Hauterivien supérieur jusqu'aux terrains quaternaires.

1.1. Le Crétacé

1.1.1. Hauterivien supérieur (n3b).

Les terrains Hauterivien supérieur qui affleurent surtout au Sud de la région sont représentés par des calcaires peu argileux durs et cristallins, beige ou gris clair d'épaisseur de 150 à 200m avec des intercalations de marno-calcaires glauconieux.

Au sommet de cette formation s'observe une paléo surface d'altération perforée de trous de pholades remplis de glauconie qui indique la proximité du rivage (30-40m).

1.1.2. Barrémien (n4) Barrémien inférieur (n4a)

Dans les Garrigues nîmoises le Barrémien inférieur se divise en trois parties.

- A la base, la formation est composée de marnes gris clair avec quelques bancs de calcaires argileux devenant plus développés dans la partie supérieure. (160-150m)

- La formation moyenne se compose de calcaires argileux gris blanchâtres, massifs ou à stratifications irrégulières. Ce calcaire a été exploité depuis l'époque romaine dans les carrières de Barutel, situées en bordure de la route d'Alès, d'où le nom de "Barutélien" donné par TORCAPEL à cette formation. L'épaisseur est très variable (300m à 50m d'Ouest à l'Est). Le sommet de cet étage est caractérisé par de nombreuses chailles.

- Cette série se termine par une formation marneuse à petits bancs calcaires intercalés composant localement quelques barres urgonoides du Barrémien supérieur à faciès urgonien. Il s'agit d'un calcaire récifal à rudistes, compact, massif ou en bancs très épais, blancs ou grisâtres d'une épaisseur totale de 150-200m. Ce calcaire urgonien

affleure surtout au Nord et au Sud du vallon de Fougéras et notamment dans une grande partie du Canyon inférieur du Gardon. Cette formation caractérisée par la présence des Réquenia Ammonia, Toucasia Carinata, Menopleura et Foraminifères (Milioles, Orbitilines) est le siège des phénomènes karstiques en raison de la très forte teneur en CaCO₃ (Avens, Grottes, Baumes, Pertes, Résurgences, etc.)

1.2. Le Tertiaire.

1.2.1. Eocène

Les vallons de Mangeloup, du Mas de Charlots et de Fougéras contiennent des terrains fluvio-lacustres (argiles et sables bariolés) datés par analogie des formations similaires du Bassin d'Uzès.

L'âge de cette formation est toujours contesté en raison de l'absence de fossiles. Ce problème sera abordé plus loin.

1.2.2. Oligocène

Il s'agit d'une formation détritique très nettement discordante sur l'ensemble des terrains plus anciens reposant soit sur l'Éocène, soit sur le Crétacé inférieur. Elle n'est représentée que par quelques placages conglomératiques qui, dans ce vallon du Fougéras, sont composés de marnes bariolées mélangées avec des brèches et des poudingues appartenant à l'Oligocène supérieur.

1.2.3. Miocène.

Un affleurement découvert pour la première fois par Félix MAZURIC (1905) existe dans la partie Ouest du vallon du Fougéras. Il s'agit du Burdigalien inférieur représenté par une molasse zoogène calcaréo-argileuse, parfois gréseuse, assez tendre jaunâtre, pétries de bryozoaires, d'oursins et des huîtres.

1.3 Le Quaternaire

Les terrains quaternaires ne sont représentés dans cette région que par trois formations différentes par leur nature.

1.3.1. Le Villafranchien. (Fv)

Il s'agit des alluvions fluviales les plus anciennes du Gardon qui sont représentées par des lambeaux peu épais. Ces dépôts sont composés d'abondants galets siliceux très arrondis (Quartz 80%, Quartzites 15%, Schistes quartzeux 5%...) d'origine cévenole. Cette formation a donné naissance à une végétation acidophile riche et variée.

1.3.2. Alluvions récentes.

Ces formations occupent le fond des vallées du Gardon et du ruisseau de la Braune. Leur composition est variable et diffère selon le territoire drainé. Elles sont constituées de sables, de graviers et de galets surmontés dans le lit majeur d'une couverture limoneuse. Ces alluvions récentes présentent des accumulations importantes dans la partie concave des méandres du Gardon et sont l'objet d'une exploitation intensive (Sablières de Dions)

1.3.3. Colluvions indifférenciés

Ce sont des formations récentes peu épaisses (0,50 à 1,50m) constituées par des dépôts limoneux plus ou moins graveleux provenant de l'altération et du remaniement par ruissellement des affleurements marno-calcaires.

2- Évolution structurale régionale.

Les structures de la région du vallon du Fougéras sont dues, malgré son aspect sub-tabulaire, à la superposition de plusieurs phases.

2.1. Phase Pyrénéo-Provençale.

La phase Pyrénéo-Provençale déjà commencée avant la fin du Crétacé atteint son paroxysme vers le Lutétien. Le résultat de ces mouvements de compression est à l'origine des poussées tangentielles Sud-Nord.

Les principales structures héritées de cette phase sont:

- L'accident majeur affectant les calcaires urgoniens, depuis la Calmette jusqu'à Remoulins, est la faille de direction Est Ouest visible dans le vallon du Fougéras.
- Un autre accident aussi important que le précédent et de même direction longe en partie la route N 106 (Route d'Alès) visible au Mas de l'Oume.
- Le synclinal de Fougéras en prolongement du synclinal de Mangeloup.
- Le synclinal du Clos Gaillard au Sud.
- L'anticlinal de Dions-Les Buissières au Nord
- L'anticlinal du Mas de l'Oume.

Dans les garrigues, les formations d'âge crétacé sont ondulées selon les plis d'axe est-ouest. Il faut remarquer que les failles Est Ouest apparaissent en général localisées essentiellement sur les flancs nord des plis.

2.2. Phase Alpine.

La phase alpine de distension a entraîné la mise en place de nombreux fossés d'effondrements limités par des failles normales de direction Sud-Ouest Nord-Est dans lesquels se sont déposés, le plus souvent les sédiments oligocènes (faille de Nîmes). Aux alentours du Vallon de Fougéras, cette phase a modifié les plis déjà existants lors de la première phase mais d'intensité faible. Il est probable que la distension a fait réutiliser les failles préexistantes qui ont rejoué en failles normales.

III – RESUME DU CONTEXTE GEOLOGIQUE

C'est avec la période crétacée qu'apparaissent les premiers dépôts ayant un rôle primordial dans l'ossature actuelle des Garrigues Nîmoises. Les calcaires d'âge Hauterivien et Barrémien qui affleurent dans une grande partie de la région sont des dépôts marins de plate-forme littorale en bordure sud de la Fosse vocontienne.

Au Barrémien Supérieur la mer n'atteint pas les garrigues formant un golfe très peu profond où s'édifient les calcaires récifaux. Dès la fin du Barrémien, la mer se retire progressivement et la région reste émergée. Pendant cette émergence, se déposent les premiers dépôts argilo-sableux datés de l'Éocène inférieur à défaut d'arguments paléontologiques. La phase pyrénéo-provençale bouleverse les garrigues par des plissements et des fractures.

Ensuite, à l'Oligocène apparaît une puissante formation détritique très nettement discordante sur les dépôts antérieurs. Au cours de l'Oligocène s'est produite une tectonique cassante de distension, responsable de la formation des fossés et des grabens. Enfin, au Miocène, une transgression marine venant du sud-est profite des chenaux et des dépressions pour déposer une molasse calcaréo-marneuse discordante sur l'oligocène. Tout le quaternaire est caractérisé par les dépôts récents d'origine fluviale et des limons loessiques dans les dépressions et les fonds des vallées et par le creusement et l'érosion intensive modelant les reliefs actuels.

IV – ETUDE DU RAVIN DU FOUGERAS

Le vallon du Fougéras possédant l'une des plus belles forêts et l'un des plus beaux sites géologiques des garrigues nîmoises, constitue un véritable laboratoire naturel d'un intérêt exceptionnel pour le géologue, le botaniste, le zoologue, le géographe, le pédologue, etc.

1 – Historique

Le vallon de Fougéras a attiré de nombreux géologues célèbres de la région:

- DUMAS E. Le Conservateur du Musée d'Histoire Naturelle en 1876, qui a effectué la première carte géologique du Gard en 1876 n'a pas mentionné cette région. Cependant il s'y était pourtant arrêté puisque sa collection en renferme divers échantillons.

- TORCAPEL a fait en 1894 une remarquable étude géologique et botanique des Garrigues Nîmoises. En particulier sur le Crétacé. Il a noté également sur ses œuvres que "les marnes rouges et poudingues appartiennent à l'Éocène lacustre recouvrant le plateau vers Dions et La Calmette".

- MAZAURIC F., qui a été en 1898 instituteur, puis conservateur des musées archéologiques de la ville de Nîmes, a étudié plus longuement, donnant la composition générale des assises lacustres aux environs de Dions.

- MARCELLIN P. a repris en 1905 les travaux de l'auteur précédent et a consacré une étude géologique au ravin de Fougéras dans laquelle il a laissé quelques notes importantes. Cet auteur admet l'âge Aquitanien pour l'ensemble des formations continentales soit du Fougéras soit du Mangeloup.

- BONNET B, ingénieur du B.R.G.M., en 1967, à l'occasion des levés effectués pour la révision et l'établissement des nouvelles cartes géologiques au 1/50000 de Nîmes et de Sommières s'est penché sur le problème de l'âge des formations tertiaires du synclinal de Fougéras et en particulier sur la disposition structurale de l'accident majeur.

2- Caractères géologiques

Le vallon du Fougéras est un synclinal limité au Nord par la faille de direction est-ouest affectant les calcaires urgoniens. Il existe à proximité du contact de la faille, dans le lit du petit ruisseau, des marnes blanchâtres argileuses d'épaisseur de 20 mètres, veinées de jaune, surmontées par une autre formation marneuse plus sableuse colorée en violet, lie de vin, ocre rouge, ocre jaune, sans pendage apparent. Au-dessus de cette formation se trouvent les argiles sableuses rouges veinées de jaune sur 5 à 10 mètres, devenant ensuite plus jaune orangé sur 10 à 15 mètres. Un banc de 1 à 2 m. d'épaisseur

de grès très ferrugineux apparaît presque verticalement au sein de cette formation. Cette formation représente un intérêt exceptionnel pour le géologue de plusieurs façons.

2.1. Phénomène lithologique paléo pédogénétique



Ogres du Fougeras (photo. JP Rolley)

BONNET (1967) a fait remarquer que la coloration au sein de la formation marneuse sableuse met en évidence des polyèdres proches de tétraèdres, de sorte que la section en coupe présente des intrications de triangles, de dimensions décimétriques, blancs et rouges qui ne permettent pas d'avoir une idée très nette du litage: Cette disposition ne paraît pas due à un broyage tectonique bien que l'on soit à proximité de deux accidents orthogonaux, mais elle semble bien due à un phénomène lithologique sans

doute paléo pédologique (rubéfaction suivie d'une réduction suivant larges bandes). Il s'agit en fait d'un phénomène d'ocrisation bien décrit sur les gisements d'ocres du Lubéron, voir le numéro de l'AGAR. Cet affleurement est très rare dans les garrigues nîmoises.

2.2 Le "Filon" ferrugineux

MAZAURIC F. (1898) a attiré l'attention sur le curieux "filon ferrugineux" qui est intéressant pour le géologue et le minéralogiste. Il s'agit d'un grès à éléments siliceux (roses et blancs) et à ciment ferrugineux avec des niveaux conglomératiques dont les galets les plus grands ne dépassent pas un demi-centimètre. Il présente un pendage de 80° vers le sud et son épaisseur varie de 1 à 3 m. Plusieurs auteurs admettent une origine sédimentaire détritique. Ce grès ferrugineux fut un temps exploité. Un gros tas de grès ferrugineux a été préparé pour servir de minerai, mais il a été abandonné en raison de l'insuffisance de la teneur en fer.

D'autres dépôts de même nature se retrouvent d'ailleurs très fréquemment dans la région et à différentes époques géologiques, mais leurs formations seraient intéressantes à étudier. De même, le minerai de fer a été extrait au début du siècle dernier à Connaux (Gard) ; ce minerai déposé sur l'Urgonien dont il ne subsiste que quelques lambeaux de grès ferrugineux, remplissait également les fissures des calcaires sous-jacents. Il existe également des grès rouges et durs du Cénomaniens exploités en quelques points des bassins de la Tave et de la Capelle (Région d'Uzès).

2.3. Concrétions ferrugineuses

Ces mêmes formations contiennent en assez grande quantité des concrétions sphériques ferrugineuses ou des pisolithes de la grosseur d'une lentille à celle d'une noix. Elles sont formées de deux parties concentriques:

- une écorce mince noire luisante
- une partie intérieure rouge, contenant des petits grains de Quartz visibles à la loupe.

2.4 Aspect morphologique et données hydrogéologiques

Ce ravin, situé surtout dans cette formation de marnes sableuses, présente des parois abruptes et des crêtes aiguës contrôlées par l'action érosive des eaux météorites et de ruissellement. Il existe des petites cheminées de fées avec des fragments de grès ayant préservé de l'érosion une colonne de 1 à 2 cm de hauteur, surmontée par une sorte de chapiteau.

Un petit ruisseau qui occupe le fond de ce vallon rejoint presque aussitôt le ruisseau des Mourgues, affluent de la Braune. Ce ravin possède une richesse particulière en sources. Des sédiments du Crétacé supérieur ou du Tertiaire comblent des dépressions synclinales. Ce sont dans ces dernières, sur plus de 7 km entre la route d'Uzès (D 148) et la route de Dions (D 225), que les grès, marnes de divers âges, constituent un ou plusieurs niveaux d'eaux et les sources sont nombreuses. Sur le plan hydrologique, c'est un véritable réservoir aquifère qui restera à la merci de la pollution. Il est donc nécessaire d'appliquer des mesures de protection tout autour de ces sources.

2.5. Problème de l'âge de la formation tertiaire.

La détermination exacte de l'âge de cette formation marneuse sableuse pose un problème assez délicat en raison de l'absence de tout fossile et de la difficulté de l'intégrer dans l'ensemble de la série à cause de l'absence des couches sous-adjacentes et sub-adjacentes. MARCELLIN et MAZAURIC ont attribué l'âge Aquitainien à ces formations. Cependant BONNET (1967) a indiqué qu'il n'existe pas de formations de Fougéras et de Mangeloup dans la série tertiaire languedocienne au sein de l'Éocène inférieur. Ce même auteur note que cet ensemble pourrait être rattaché au Crétacé supérieur puisque le grès ferrugineux fortement cimenté rappelle le faciès "Tavien". Donc, ces formations ne peuvent être datées avec précision d'où l'intérêt d'une recherche géologique dans cette région.

2.6.-Aspect tectonique.

Les principales structures tectoniques sont déjà indiquées dans la première partie mais le doute subsiste encore sur la disposition structurale de la région.

Les recherches de Bonnet (1967) ont mis en évidence l'existence de failles inverses dans l'Urgonien héritées d'une phase de compression d'un âge ante Oligocène ; les assises d'âge Éocène sont affectées d'un fort pendage à proximité de la faille.

Cet auteur a montré également que le synclinal de Fougéras-Mangeloup n'a pas la nature du fossé d'effondrement oligocène.

Malheureusement, les coupes géologiques de ce synclinal sont incomplètes et insuffisantes pour permettre de comprendre la disposition structurale de la région. Une grande partie des terrains récents (cailloutis villafranchiens, éboulis, alluvions) qui recouvrent les formations marno-sableuses interdisent toutes observations directes et toutes interprétations finales.

L'Association Géologique d'Alès et de sa Région (A.G.A.R.)

L'AGAR est une association scientifique, qui s'est fixé comme objectifs, l'étude géologique de la région, la diffusion de la culture géologique, la participation à la sauvegarde et la protection du patrimoine géologique régional.

L'AGAR organise diverses activités :

- Sorties géologiques
- Réunions sur des thèmes géologiques
- Un voyage annuel
- Organisation de manifestations de vulgarisation scientifique
- Aide à l'enseignement et à la diffusion de la géologie
- Réalisation de documents géologiques
- Création d'un fichier géologique régional (inventaire micro-minéralogique, Inventaire des sites à caractères pédagogiques)

Important :

L'A.G.A.R. n'est pas une association de chercheurs de minéraux et fossiles.

Nous rappelons que les membres de notre association limitent les récoltes d'échantillons à la constitution ou l'enrichissement de collections publiques ou privées en procédant à des échanges normaux et sans trucages.

Ils ne sauraient participer à l'organisation d'aucune forme de commercialisation d'échantillons.

Sur le terrain, ils pratiquent des prélèvements raisonnables qui n'épuisent pas le gîte et ne gênent pas les observations ultérieures.

Le non-respect de ces dispositions constitue un motif d'exclusion de l'association.

Cotisation annuelle

individuel 15 €

couple 21 €

étudiants 6 €

BULLETIN d'adhésion à l'AGAR

à retourner à :

AGAR,
6 avenue de Clavières
30319 ALES cedex

Tél : 04 66 78 51 85
e-mail : contact@geolales.net
<http://www.geolales.net>

Nom :

Prénom :

Adresse :

.....

.....

.....

Code postal :

Ville :

Tél :

e-mail :

Parrains (2)

Nom

Prénom

signature

.....

.....

Les personnes qui n'auraient pas de parrains peuvent prendre contact avec
l'association

