ANALYSE DES PROPOSITIONS DE MOUVOIL REPLACEE DANS LECONTEXTE GEOLOGIQUE LOCAL

Rapport de la commission scientifique Stop au Gaz de Schiste 07
Réunion sur l'Expertise du Permis de Recherche dit du Bassin d'Alès attribué à la Société Mouvoil

1 HYDROCARBURES NON CONVENTIONNELS EN ZONE TECTONISEE ACCROIT LE NOMBRE DE FORAGES ET LES RISQUES ENVIRONMENTAUX

1.1 CONTEXTE REGIONAL DE LA ZONE DU PERMIS « BASSIN D'ALES »

Mer ouverte il y a quelques millions d'années, le sillon rhodanien sous l'effet de la surrection des Pyrénées puis des Alpes s'est fermé et les terrains sédimentaires ont été remontés en surface et exondés. Ces mouvements orogéniques se sont accompagnés de fracturations intenses des formations géologiques avec des failles majeures de plusieurs dizaines de kilomètres de profondeur. Ces cassures en touches de piano font que des terrains vieux de 200 à 300 millions d'années apparaissent à l'affleurement sur les contreforts des Cévennes mais se situent entre 4 et 5 mille mètres de profondeur voire plus, au droit du. Rhône. L'ouverture du fossé d'Alès, morpho-structure d'affaissement en éventail, il y a environ 30 millions d'années finalise en grande partie l'image de cet horizon géologique. Ce bassin, séparé par deux grands faisceaux de failles (Cévennes et Barjac) dont la phase de subsidence a eu lieu à l'Oligocène, pourrait se rattacher à une formation de type « pull apart », d'après les géologues pétroliers. Ces formations géologiques chahutées au cours des centaines de millions d'années passées et naturellement intensément fracturés que se proposent de reconnaître et d'exploiter La Société Mouvoil dans le cadre du permis dit du Bassin d'Alès.

Géologie structurale :

-Tectonique compressive hercynienne anté Stéphanien marque le socle Cambrien inférieur puis une phase de serrage tardi-hercynienne d'orientation NO-SE au Stéphanien

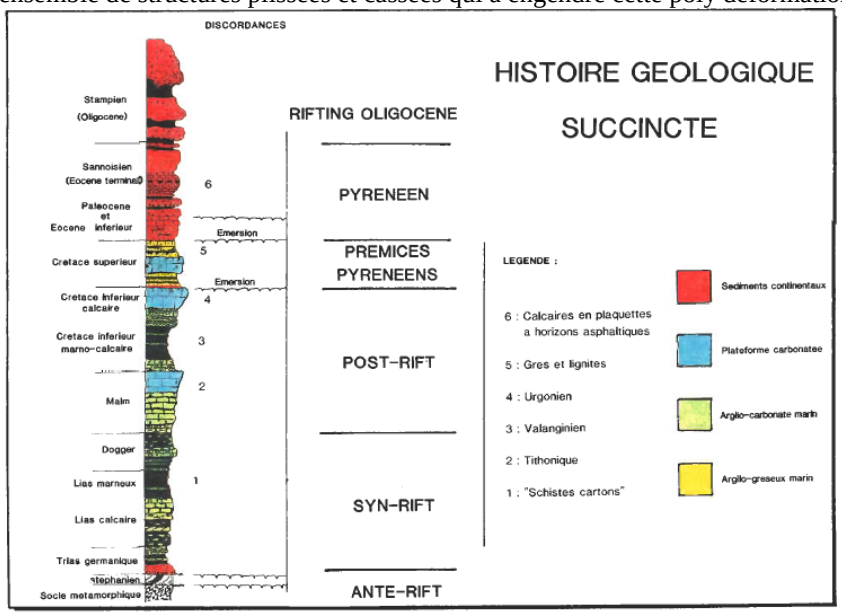
Tectonique alpine :
A la fin du crétacé inférieur : **phase de compression** : fractures N0- N120 : pli de l'axe N60 à N20

Crétacé terminal à l'Eocéne : **phase de compression pyrénéenne** S-N dont le paroxysme est atteint à l'Eocène : axe de fracture N135-N175 et N20-N60 failles sub-verticales, N90-N120 failles sub-horizontales : pli de l'axe N110

Oligocène : **phase de distension** : fracture N0-N30 : extension : N110.Création de grabens asymétriques comme celui du fossé d'Alès.

Miocène inférieur : **phase de compression** N110 : axe de fracture N0-N130, N60-N90, N70-N90 et N110-130 : failles sub-verticales, axe de fracture N130-N160 failles sub-horizontales,
Pli de l'axe : N20
Miocène moyen- supérieur (maximum au Tortonien) **: phase de compression** N60 : axe de fracture (rejeu) N70-N90 et N110-N130 : failles sub-verticales, axe de fracture N130-N160 : failles sub-horizontales.

L'histoire géologique de cette région présente une géométrie complexe née d'un ensemble de structures plissées et cassées qui a engendré cette poly déformation.



1.2 FAILLES NATURELLES, PERMEABILITE ARTIFICIELLE ET FRACTURATION HYDRAULIQUE

Les failles sont des zones de faiblesse de la croûte terrestre et présentent à la foration des risques d'éboulement des terrains qui peuvent entraîner le blocage du train de sonde et outre la perte d'un matériel très coûteux mais aussi celle du forage même. C'est pourquoi fréquemment, en zone faillée, les forages sont arrêtés dans les failles au cœur de la zone la plus faible des formations traversées. L'exploitation en zone tectonisée impose la réalisation d'un plus grand nombre de forages qu'en terrains sédimentaires horizontaux, cette multiplication des puits accroît l'impact visuel.

Comme le souligne fort justement le rapport de la DRIRE du Languedoc-Roussillon en date du 30 avril 2009 *« le permis du Bassin d'Alès dépose par la Société Mouvoil SA … a pour objet de confirmer l'existence, la qualité et la continuité de la thématique principale « gas shale » …* (de) *la zone »*. Cette thématique « hydrocarbure de roche mère » repose donc sur la mise en œuvre de la fracturation hydraulique car *« en l'absence de pièges conventionnels, la recherche se tournera vers le gaz non conventionnel*[1] *»*. Or l'exploitation non conventionnelle importe de **détruire de la façon la plus complète possible l'imperméabilité naturelle de la roche-mère** pour libérer les gaz ou les huiles de leur matrice. La seule technique connue étant la fracturation hydraulique, celle-ci donne à la roche une perméabilité artificielle en grand (ou perméabilité de fissures) qui permet aux hydrocarbures, sous la pression du poids des terrains, de cheminer vers les zones de plus faible pression soit, en priorité, vers le forage mais aussi à travers les failles naturelles ayant rejouées par la mise en œuvre de cette technique. En l'absence de couche imperméable au dessus de la roche-mère, dans la phase post-exploitation, gaz et huiles ne pouvant plus « s'échapper » par les forages désormais bouchés[2] et emprunterons donc les fractures et les failles mais aussi les défauts d'étanchéité dans les cimentations des anciens puits d'exploitation pour cheminer vers la surface du sol et atteindre l'air libre.

1.3 ROCHES-MERES ET MULTIPLICATION DES FORAGES

Dans un réservoir conventionnel, le forage est d'abord l'ouvrage de captage de la ressource. Le gaz ou le pétrole s'écoule naturellement vers lui grâce à la perméabilité naturelle de la roche réservoir coiffée par une couche ou une structure imperméable. La surface du réservoir est généralement modeste et le nombre de puits de captage réduit.
Dans le non-conventionnel, le forage est d'abord l'outil d'acquisition de la perméabilité artificielle de la roche-mère par la fracturation hydraulique. N'ayant pas profité d'une concentration naturelle préalable liée au piégeage dans un réservoir, toute l'étendue de la couche de roche-mère doit être exploitée, **le captage de ressources non-conventionnelles est extensif**, couvre de très grandes surfaces et oblige à la réalisation de très nombreux forages. Aujourd'hui aux USA, l'exploitation des hydrocarbures de roche-mère demande plus de 3 forages par km^2. Outre les pollutions liées au liquide de fracturation et aux cuttings (déblais) de forage, la destruction de l'imperméabilité de la roche-mère ouvre la voie aux hydrocarbures pour circuler dans les formations transformées par la fracturation hydraulique, en véritables « passoires» via des failles largement ré-ouvertes et cheminer vers les eaux souterraines voire vers la surface[3].

2. CONTEXTE GEOLOGIQUE LOCAL

2.1 HISTORIQUE

L'histoire commence en 1844 avec les extractions industrielles d'hydrocarbures : bitumes et lignite.
Le lignite et les schistes bitumineux du Santonien ont été extraits de la région de Vagnas en deux périodes, 1859 à 1869 puis de 1940 à 1967.
Pour les calcaires bitumineux, la Société Française des Asphaltes (SFA) et la Société Minière des Asphaltes du Centre (SMAC) les extraient depuis 1859 et continueront de les exploiter en mine jusqu'en 2008.
Le gisement est fortement faillé par des accidents perpendiculaires à la faille de Barjac qui gênent l'exploitation provocant des venues d'eau considérables ainsi que des émanations de méthane, d'hydrogène sulfuré et de gaz carbonique.
De 1947 à 1955, la Société Nationale des Pétroles Méditerranées fore 9 puits à proximité du village de Saint Jean de Maruéjols, Plusieurs indices d'huile lourdes avec des débits médiocres fournissent une huile asphaltique très lourdes avec 28% de paraffine et 5% d'asphalte, très riche en soufre (de 4 à 10%) peu propice au raffinage.

---

[1] Rapport DRIRE Languedoc-Roussillon du 19 février 2009

[2] Un forage pétrolier sur deux, cimentés en fin d'exploitation, n'est pas étanche et fuit. N'oublions pas que le méthane a un effet de serre 23 fois supérieur au gaz carbonique.

[3] A la vitesse de 1 mm/h (millimètre par heure), la distance parcourue en 100 ans est proche de 1000 mètres.

L'exploitation de ces puits est considérée comme très difficile. Un seul puits s'avère productif (1951-1952) et fournit seulement 80 000 litre d'huile lourde (environ 1.5 baril[4]/jour) car la viscosité de cet hydrocarbure est trop grande. L'exploitation s'arrête alors car le champ n'est pas rentable.
Les puits MAR 3, 5, 7, 8 et 9 ne fournissent aucune production car ils sont secs.

Un essai par injection de vapeur a été réalisé dans les années 1980 mais devant la médiocrité des résultats, toute perspective d'exploitation a été abandonnée.

2.1 ANALYSE DES DOCUMENTS DE MOUVOIL

La société Mouvoil se base principalement sur deux forages, Mar-4 et Lussan-2, (figure 1 et 2) pour montrer l'intérêt de l'exploitation dans le permis dit du Bassin d'Alès.
Elle suppute l'existence de « *pièges profonds dans lesquels les calcaires asphaltiques du Sannoisien auraient atteint la fenêtre à huile… »*.

Elle veut faire un premier puits d'exploration de 1400 mètres dans *« des niveaux fracturés de calcaire asphaltique d'âge sannoisien et des brèches d'âge éocène….ces deux réservoirs contiennent des huiles lourdes (15-12° API). »*.

Les sondages déjà réalisés rencontrent ces calcaires priaboniens à une profondeur entre 450 et 850 mètres sauf au forage de Lussan-2 où ils se situent à une profondeur légèrement plus grande (entre 750 et 1100mètres) (figure 3). Ces huiles lourdes imprègnent les calcaires du Priabonien mais y sont confinées et n'ont nullement pu migrer vers des réservoirs dits conventionnels. Elles ne pourront être extraites par pompage contrairement à ce qu'a affirmé la société Mouvoil lors de la réunion du 17 octobre à la préfecture du Gard. Or les échantillons des puits de Maruéjols montrent que la matière organique contenue dans les calcaires de l'Eocène terminal, même à plus grandes profondeurs, ne présente ni de baisse de viscosité liée à l'augmentation de température, ni d'hydrocarbures légers.
Cette formation est une roche mère de porosité et perméabilité faible et peut être classée dans la famille des proto-kérogènes.
Si les campagnes sismiques des années 1960 et 1985, qui atteignaient une profondeur d'environ 3000 mètres, avaient démontré l'existence de gisements dit conventionnels, il est difficilement compréhensible que

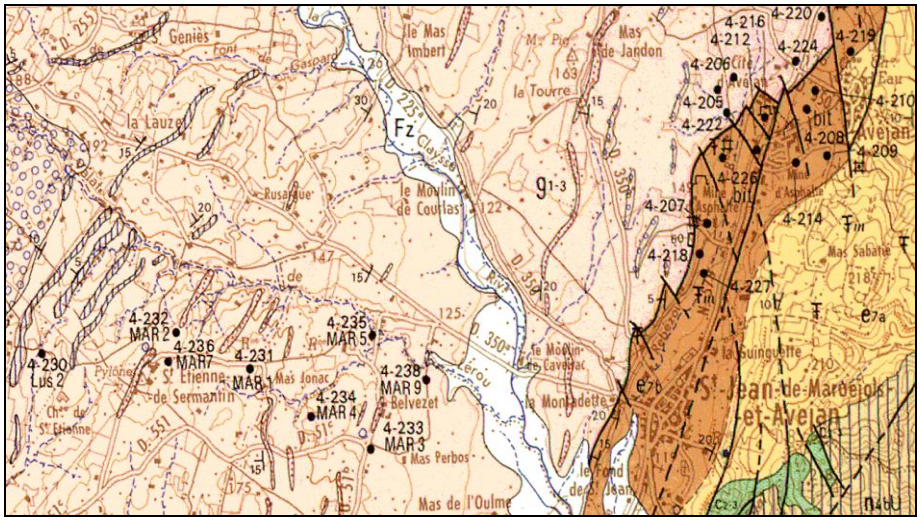


Figure 2 : Localisation des forages réalisés d'après la carte géologique ALES XXVII-40 1/50 000

[4] 1 baril = 158,98 litres

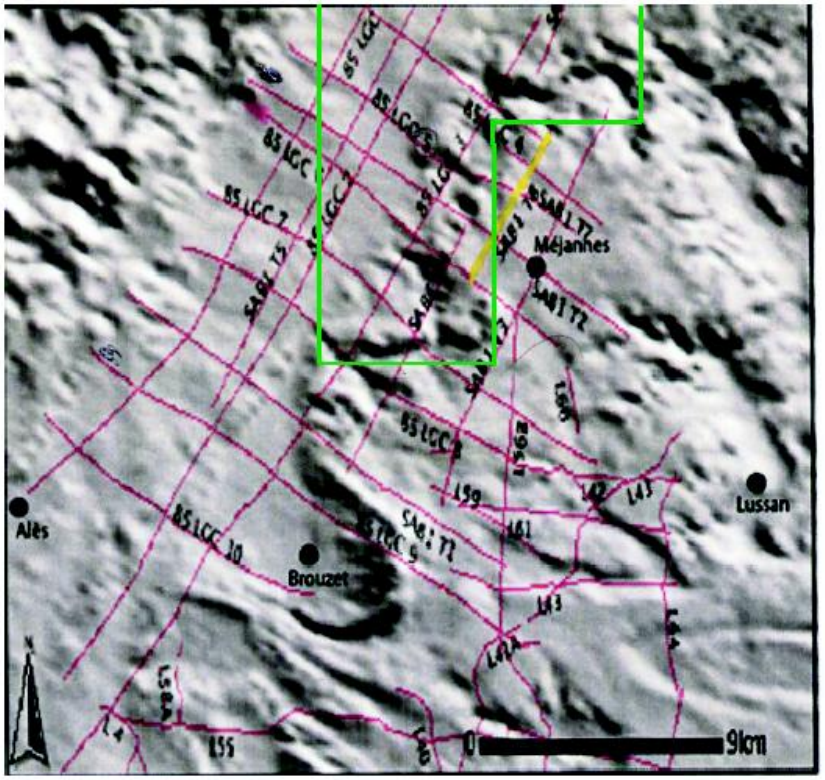


Figure 1 : profils sismiques réalisés par ESSO et la Société Nationale Elf-Aquitaine entre 1960 et 1985 (13 profils O-E et 8 profils N-S

Limites du permis du Bassin d'Alès

les sociétés pétrolières n'aient pas entrepris des prospections pour évaluer les potentialités de ce ou ces réservoirs.
Au-delà de l'assertion de Mouvoil sur l'existence de réservoirs, celle-ci ne semble pas être étayée par la réinterprétation des données sismiques existantes.

La corrélation des puits (figure 3) (1495 mètres de profondeur en moyenne) a été réalisée d'après les 7 forages du champ de Maruèjols. Elle montre que les hydrocarbures présents se situent dans une tranche de profondeur moyenne de 835 mètres.

Dans le chapitre « discussion sur les objectifs et développement » de sa demande de permis, la société Mouvoil écrit : *« Le problème de l'exploration du bassin semble être avant tout un problème de réservoir… »*. C'est bien là la question, car en l'état actuel des connaissances, rien ne permet de supposer l'existence d'un réservoir conventionnel. La structuration importante liée aux nombreuses phases plicatives et cassantes du fossé d'Alès ne peuvent qu'engendrer de petites accumulations d'huile lourde et paraffinée ne représentant que peu d'intérêt pour une exploitation. Ici le réservoir de roche mère est probant.
C'est sans doute pour cela que Mouvoil ne dit pas quel procédé il compte mettre en œuvre pour extraire ces huiles en année 4.

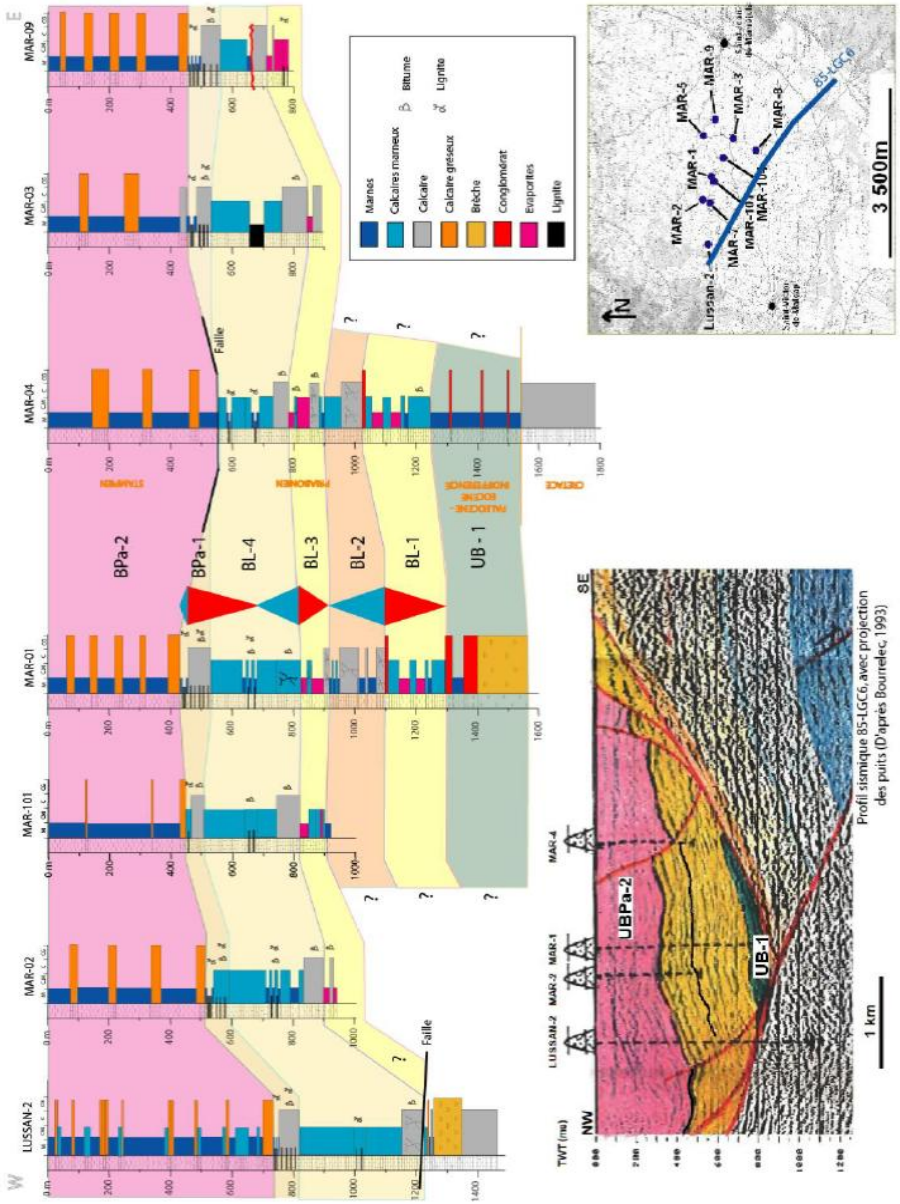


Figure 9 – Corrélation des puits de Saint-Jean-de-Maruéjols

Légende de la figure 3

UB-1 (280 m moyenne) Paléocéne-Eocéne indifférenciés : brèche calcaire fixée par amalgame marno-gréseux au contact du substratum crétacé. Cette brèche comprend des marnes bariolées. La base du Paléogène reposant sur du Crétacé supérieur.

BL-1 (200 m moyenne) : à sa base, elle est constituée de calcaires marneux (Eocène moyen ?), de marnes sableuses, puis de marnes et d'évaporite (Bartonien inférieur ?).

BL-2 (180m moyenne) : unité composé de calcaires fissurés dépourvues d'imprégnation bitumineuses, de calcaires marneux et de marnes : il peut s'agir ici d'une sédimentation carbonatée d'origine lacustre correspondant au Ludien inférieur (Priabonien)

BL-3 (75 m moyenne) : unité évaporitique comprenant des marnes et des calcaires marneux à anhydrite. Les calcaires sont fissurés et contiennent des bitumes. Elle correspondrait à la base du Ludien supérieur. (Priabonien)

BL-4 (300m moyenne) : Calcaires marneux précédés de calcaires fissurés imprégnés de bitume (puissance de 60 mètres environ). Au niveau des marnes, présence d'un niveau ligniteux.
Ludien supérieur (Priabonien)

BPa-1 (60 m moyenne) : niveau de lignite avec alternance de calcaires marneux. (Toit du Ludien supérieur ?) (Priabonien)

BPa-2 (400 m moyenne) : sédimentation détritique continentale déposée au cours de la subsidence du graben que constitue le fossé d'Alès Elle est composée de calcaires gréseux et de marnes. Cette unité correspond au Stampien et finalise en partie le système périodique du Paléogène.

Alexandre BOUCHE (2011): Contrôles paléoenvironnementaux, architecture sédimentaire et évolution diagénétique d'un système lacustre à salinité variable. Le cas du bassin d'Alès (Priabonien, sud de la France) : Université Paul Cézanne – Université de Provence

La société Mouvoil veut forer un autre puits d'une profondeur comprise entre 1800 et 2400 mètres, comme décrit dans sa demande du permis exclusif du Bassin d'Alès de janvier 2009 ou bien dans sa lettre au Bureau Exploration Production des Hydrocarbures du 30 août 2011 : *« le puits pourrait être foré jusqu'à 2400 mètres pour atteindre des blocs basculés des calcaires urgoniens »*. Or les résultats des sondages précisent la présence de Crétacé Supérieur et non un faciès du Barrémien comme l'écrit Mouvoil. Le Crétacé supérieur se situe entre 1355 et 1425 mètres de profondeur dans le forage de Lussan-2 (voir Annexes, fig.A3) et entre 1540 et 1788 mètres dans le forage de MAR-4 : il pourrait s'agir ici de schistes bitumineux du Santonien répartis dans la roche mère à huile, tels ceux de la région de Vagnas.

Pourquoi alors vouloir forer entre 1800 et 2400 mètres ?

Le forage de Lussan-2 (cf Annexe) montre sous le Crétacé supérieur, une bande de 200 mètres d'épaisseur correspondante au Lias, renfermant du gaz provenant vraisemblablement des grés du Trias. Si l'on se réfère au sondage de Mons 1 (sondage des Garrigues – Ms 1, 7-1, carte géologique ALES XXVII-40), la dolomie du Jurassique moyen montre une présence d'eau salée et d'un mélange gazeux composé de 4/5 de CO2 et 1/5 de CH4. Pour le sondage de Lussan 1 (sondage des Garrigues – Lus 1 1, 8-4, carte géologique ALES XXVII-40), quelques traces de gaz sont présentes dans les marnes et n'ont pas fournie un débit commercial.
Vers 1750 mètres on entre dans les terrains du Stéphanien inférieur, série zone 3 dont la puissance moyenne est de l'ordre de plus de 1000 mètres, qui renferment des gaz de houille (Coal Bed Methane). Ces gaz sont prisonniers soit dans des gisements d'hydrocarbures de roche-mère ou dans des réservoirs compacts (Tight Gas) à très faible perméabilité. Le méthane du Carbonifère est piégé dans les couches de charbon.

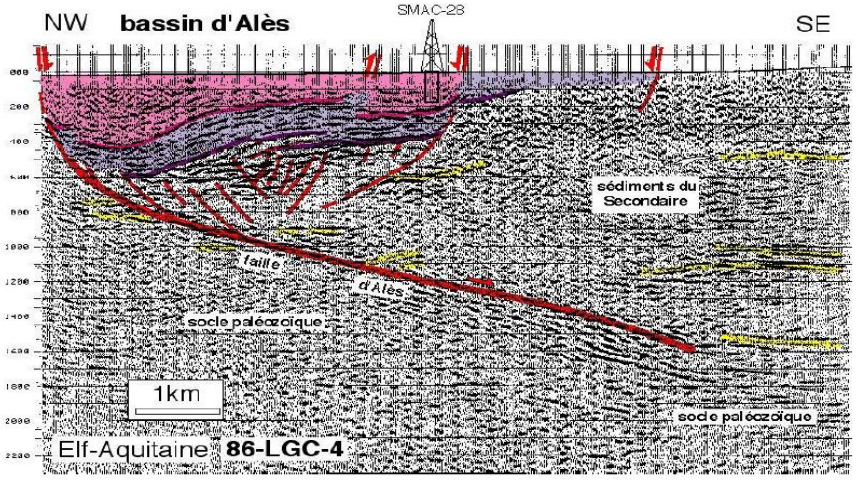
En conclusion, les différentes prospections pétrolières menés sur le bassin d'Alès recherchaient un potentiel pétrolier (roche mères), des réservoirs de qualité assez bonne (calcaires fracturés), et des pièges au niveau des réservoirs (couverture marneuse). Par contre, ces travaux ont démontrés que la migration des hydrocarbures est très critique et que la formation de cette zone structuralement complexe limite fortement la rétention des hydrocarbures.
Le piégeage de ces hydrocarbures et le potentiel pétrolier étant très mauvais, l'extraction économique d'huile de qualité est nul.

Ces gisements sont non conventionnels et **leur exploitation passe par la fracturation hydraulique** (Rapport sur Hydrocarbure de roche-mère en France par le CGIET et le CGEDD en avril 2011).

D'ailleurs, Bruno Courme du groupe TOTAL affirmait clairement lors d'une conférence au CNAM le 20 septembre dernier : « Il n'existe pas d'alternative à la fracturation hydraulique, seulement des travaux en laboratoire ».
De son coté, le PDG de TOTAL, Christophe de MARGERIE, dans un entretien au journal « Le Monde » daté 11 janvier 2013, confirme « qu'il faut compter entre 10 et 20 ans pour développer une technologie de rupture (avec la fracturation hydraulique) ».

La DRIRE du Languedoc-Roussillon pressentait bien cette évidence dés le 30 avril 2009, dans son rapport sur les permis du sillon rhodanien en précisant que « l'évaluation du permis du Bassin d'Alès déposé par la Société Mouvoil SA a pour objet de confirmer l'existence, la qualité et la continuité de la thématique principale « gas shale » considérée dans la zone ».

Sismique réflexion : interprétation en profondeur



(modifié d'après Sanchis & Séranne, 2000)

SMAC : Société des Mines d'Asphaltes du Centre
85-LGC-4 et non 86

Sondage : SMAC S 28 (4-206) P : 443 m = Stampien – toit du Priabonien

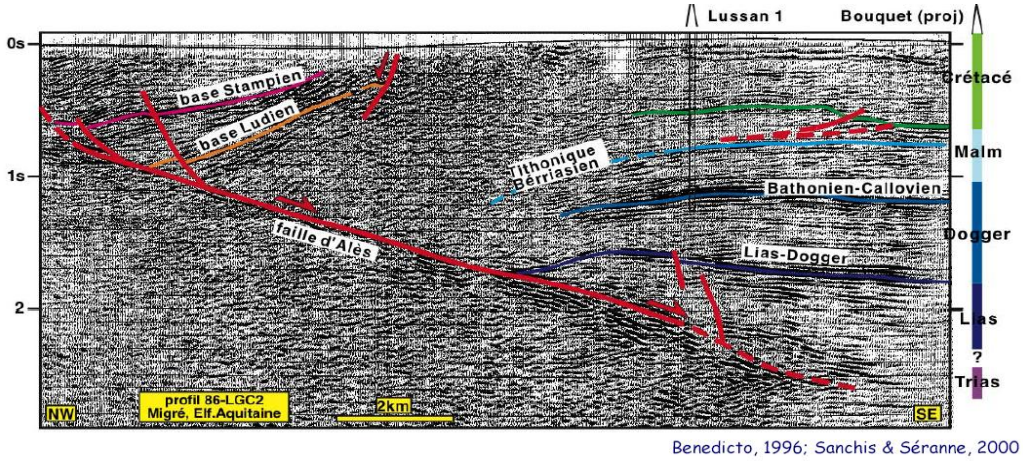


Figure 4 : Interprétation de la sismique et corrélation avec les sondages de reconnaissance

Bibliographie succincte:

Carte géologique 1/50 000 ALES XXVIII-40

M. SERRANE (2007) : l'ouverture du golf du Lion et la géodynamique de la Méditerranée Occidentale – Université Montpellier 2

M.F. BRUNET (1984) : Subsidence de la bordure ardéchoise du bassin du Sud-est – Subsidence et diagenèse (Ardèche, programme de géologie profonde) BRGM n°81

R .CURNELLE et P.DUBOIS (1986) : Evolution mésozoïque des grands bassins sédimentaires français de Paris, d'Aquitaine et du Sud-est – bull.Soc. Géol.Fra.-4

J.P. ROY et P.TREMOLIERES (1993): l'inversion d'un demi graben oligocène d'Alès (France) – données de terrains et modélisation C.R. Académie des Sciences de Paris, vol.13.

-Communications orales avec des géologues pétroliers-

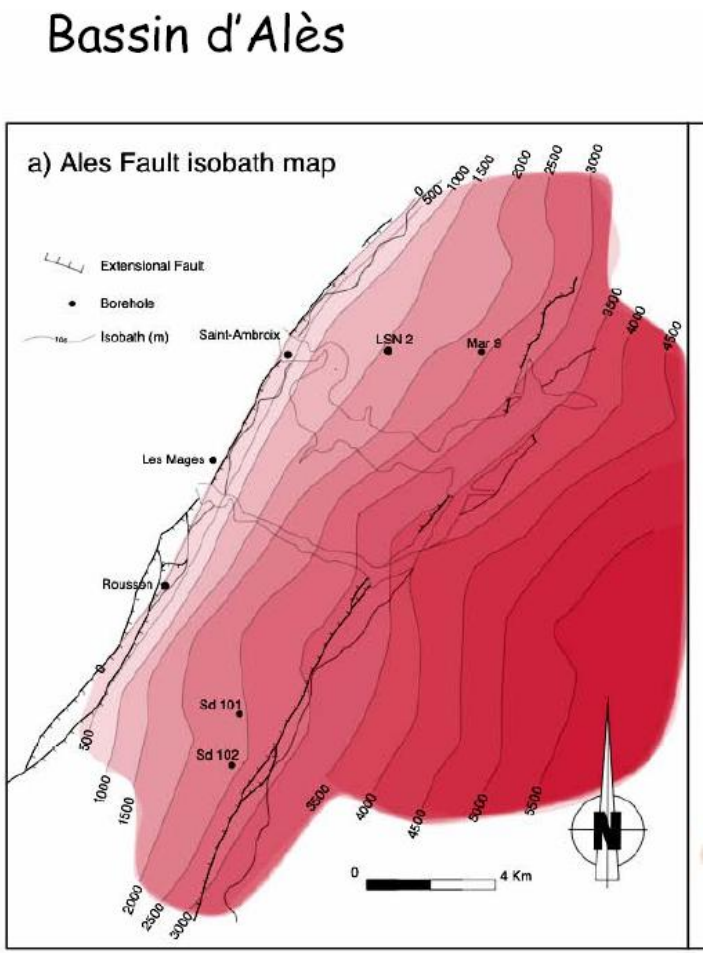


Figure 5 : Carte isobathe de la faille d'Alès

2.3 DE LA MISE EN ŒUVRE ANNONCEE DE LA FRACTURATION HYDRAULIQUE EN CONTRADICTION AVEC LA CIRCULAIRE MINISTERIELLE DU 21 SEPTEMBRE 2012

Dans la lettre de réponse « aux questions posées par la Mairie de Bessas », en date du mardi 7 juin 2011, à la question 9, la société Mouvoil répond *« Nous aurons… à faire des acidifications (injection d'acide chlorhydrique) dans les calcaires… nous pourrons aussi, si vraiment nécessaire,* ***faire une fracturation*** *conventionnelle limitée… pour faciliter l'action de l'acide… » :* cette phrase vise par une subtile confusion entre 2 techniques, acidification et fracturation, à pratiquer des fracturations hydrauliques.

En effet, l'acidification repose sur la propriété des acides à attaquer les calcaires. Cette technique est mise en œuvre en terrain carbonaté pour dégager et nettoyer[5] les fractures existantes des roches calcaires (diaclases, fissures, failles), mais en aucun cas, elle ne demande la mise en œuvre de **fracturation visant à créer artificiellement des failles et des fractures nouvelles**. Mouvoil pour conforter la confusion associe le qualificatif de « conventionnelle » non à l'acidification mais à la fracturation pour mieux tromper le lecteur. Or comme le disait M. B. Courme, cité quelques lignes plus avant, il n'y a de fracturation possible à ce jour qu'hydraulique ; elle seule permet des pressions supérieures à celles qu'engendre le poids de 1000 voire plus de 2000 mètres de roches.

Toutes les techniques indispensables à la mise en œuvre de la fracturation hydraulique sont énoncées dans les 2 documents de Mouvoil : forage horizontaux et fracturation. La fracturation est qualifiée de *« conventionnelle », « de routine dans tous les pays du monde »* mais plutôt que de décrire la technique que Mouvoil propose de mettre en œuvre ; cette société affirme sans démonstration que leur fracturation *« n'a rien à voir avec le fracking[6] des gaz de schiste »*. Les techniques envisagées par Mouvoil ne répondent pas à la circulaire ministérielle du 21 septembre 2012 qui rappelle *« l'interdiction de l'exploitation des hydrocarbures par la technique de la fracturation hydraulique »* et stipule que *« si les travaux prévus ou réalisés laissent apparaître que l'objectif géologique réellement visé concerne des roches-mères, les permis seront abrogés en application de la loi du 13 juillet 2011 ».*

[5] L'injection se fait avec une légère mise en charge et s'accompagne de pistonnage dans le forage pour brasser acide et dépôts.

[6] Un bon anglicisme semble introduire un distinguo pour une même technique, bien connue en France sous le nom de « fracturation hydraulique » in document Mouvoil « Réponses aux questions posées par la mairie de Bessas ».

2.4 INCIDENCES SUR LES EAUX SOUTERRAINES;

Précipitations

Les Cévennes sont une des régions de France la plus arrosée. Elles se caractérisent par un climat donnant lieu à des précipitations importantes d'une extrême intensité. Tombant sur des bassins versants de faible extension, au relief très prononcé et aux sols peu épais voire absents ces pluies occasionnent des crues brusques avec des débits exceptionnels. La crue de la Cèze en 2002 a vu par endroit le niveau de celle-ci s'élever de plus de 10 mètres en quelques heures et entraîner des dégâts considérables. Ces débordements fréquents des cours d'eau ne peuvent permettre d'assurer la sécurité de bassins de stockage de produits toxiques comme ceux de récupération des liquides de fracturation.

Le bassin de la Cèze est classé en zone de répartition des eaux (ZRE) permettant d'avoir des outils de gestion de crise qui permettent de passer de l'aléa climatique exceptionnel à celui de déficit chronique de la ressource. (arrêté inter-préfectoral Gard-Lozère-Ardèche du 28/07/2010).

Principales nappes aquifères

Les aquifères alluviaux sont d'extension réduite et ne dépassent pas 10 mètres d'épaisseur.
Ils reposent sur des terrains du Stampien ou du Ludien très fracturés vu leur proximité avec la faille de Barjac. Peu influencés par le cours d'eau, certains d'entre eux sis sur la bordure orientale du fossé, sont en contact avec l'aquifère du Barrémien à faciès urgonien comme le montre la signature chimique des eaux.
Les principaux points de captage des AEP exploitent ce type d'aquifère or ces nappes sont particulièrement vulnérables à la contamination et la pollution peut provenir des nappes adjacentes drainées par la nappe alluviale.

En aval du pont de Rivières jusqu'à la sortie des gorges de la Cèze, des pertes importantes se produisent et absorbent ainsi plus de 800 l/s qui résurgent en partie sur les sources de rive gauche du canyon de la rivière. Les risques de contamination par l'eau superficielle sont importants.

Les aquifères de socle : les grands accidents cassants et les zones broyées du contact socle –sédimentaire du fossé d'Alès favorisent la circulation des eaux et le mélange des divers aquifères.
On observe en surface des sources de contact entre les micaschistes cévenols et le Stéphanien, ce type de mélange doit se rencontrer tout pareillement à grande profondeur.

Pour le Trias, les conglomérats de base calcaire donnent lieu à des circulations conséquentes surtout au niveau des structures cassantes : les exploitations de charbon ont été confrontées à de fortes venues d'eau. Au niveau des marnes salifères des poches moldiques ont provoquées des vidanges brutales. Les eaux sulfatées et carbonatées sodiques sont impropres à la consommation et à l'agriculture, aussi tout mélange involontaire lié à des circulations engendrées par des réouvertures de failles ou de nouvelles fractures peut rendre non consommables des ressources exploitées aujourd'hui pour la consommation humaine.

Les aquifères karstiques sont nombreux ; ils jouxtent et certains empiètent sur le PER du Bassin d'Alès. On peut distinguer :

1) l'aquifère des calcaires du Jurassique du plateau de Gras, zone située entre Gagnières et St Sauveur de Cruzières.
2) Une partie des aquifères Crétacé du plateau d'Orgnac entre Barjac et Vagnas, entre Orgnac et le sud du cours de l'Ardèche, entre Tharaux et St André de Roquepertuis.
3) L'aquifère des calcaires et dolomies Lias et Jurassique de la bordure occidentale des Cévennes entre Alès et St Ambroix.

Ces réservoirs sont très fractionnés mais les accidents tectoniques majeurs peuvent les mettre en communication.
Ces terrains perméables en grand sont le lieu de circulations rapides surtout dans les calcaires du Jurassique et du Barrémien.
Ces aquifères possèdent un faible pouvoir de filtration et présentent une vulnérabilité hautement élevée.

Les karsts sont mis à contribution pour assurer l'AEP comme le captage de la Sissé à Rochegude qui pompe l'eau dans une circulation karstique à 50 mètres de profondeur.

Les aquifères sédimentaires non karstiques : les calcaires peuvent ponctuellement présenter des dissolutions chimiques ne conduisant pas à des karsts organisés mais permettant des circulations d'eau.
Les calcaires du Crétacé supérieur et du Paléogène, les grés et les marnes peuvent laisser des circulations d'eau évoluées dans leur masse surtout dans les zones tectonisées.

Ainsi une diffusion due aux rétentions d'eau peut engendrer à travers le canevas structural un relargage rémanent des pollutions.

ANNEXES

LUSSAN	2	SNPLM	8/11/51	17/4/52	1993,0	STEPHANIEN	Gaz 927 à 928m Sannoisien Gaz 932 à 950m Sannoisien Gaz 999 à 1015m Sannoisien Gaz 1033 à 1120m Sannoisien Gaz 1200 à 1260m Sannoisien Huile 1330 à 1336 Eocène Gaz 1341m Eocène Huile 1346m Eocène Huile 1399m Eocène Huile 1455 à 1460m Lias Huile 1475 à 1480 Lias Bitume 1636m Rhétien Bitume 1653m Rhétien Huile 1755m Stéphanien Huile 1788 à 1788m Stéphanien Gaz 1799m Stéphanien Gaz 1812 Stéphanien Huile 1840 à 1842m Stéphanien Gaz 1880 Stéphanien Gaz 1930 à 1936m Stéphanien Gaz 1940m Stéphanien

Figure A1 : Extrait de la coupe géologique du forage de Lussan 2

Nous pouvons considérer, par contre, l'hypothèse de **l'exploration d'un piège sannoisien profond**, un module élémentaire 4 km^2 comprenant 9 puits (le puits d'exploration et 8 puits supplémentaires à 1000 m équidistance des puits 1 km, soit un investissement de 15 M €, plus 5 M € de dépense d'exploration.

Pour l'étude économique, nous avons considéré :

- une hypothèse basse à 8 puits produisant 40 b/d (320 b/d pour le champ)
- une hypothèse haute à 9 puits à 50b/d (450 b/d pour le champ)

S'il y avait lieu, on envisagerait plusieurs modules élémentaires de développement. On étudierait par ailleurs l'utilisation de **puits horizontaux** qui devraient permettre d'obtenir un meilleur drainage de ce type de réservoir, et d'augmenter d'une façon significative le débit des puits, tout en minimisant leur nombre. Toutefois la présence de nombreuses failles de faible rejet peut rendre difficile l'application généralisée de forages horizontaux.

4-3 : Développement simultané du Sannoisien et des réservoirs plus profonds

Nous avons combiné les deux hypothèses précédentes (basse et haute), en supposant que la structure fermée au Crétacé supérieur correspond aussi à un piège plus profond dans les calcaires sannoisiens. Les investissements comprennent alors en plus des dépenses d'exploration, 4 puits à 2000 m (dual completion) et 4 puits à 1000 m, soit 15 M €, plus 5 M € de dépenses diverses (unité de production, génie civil, management et divers) et 5 M € de dépenses d'exploration.

Pour l'étude économique, nous considèrerons toujours **un module de 4km^2**, avec :

- une hypothèse basse : 400 b/d pour le (ou les) réservoirs profonds et 320 b/d pour le Sannoisien, total 720 b/d)
- une hypothèse haute 1000 b/d pour le (ou les) réservoirs profonds et 450 b/d pour le Sannoisien, total 1450 b/d)

Extrait du dossier de demande de permis de recherche sur le bassin d'Alès de Mouvoil

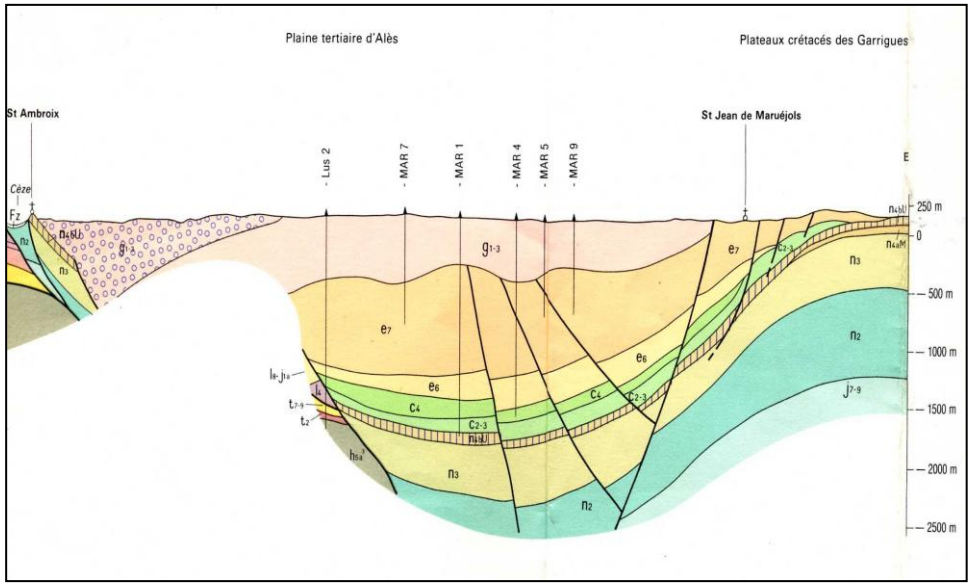


Figure A2 : Coupe des forages de Maruéjols d'après la carte géologique 1/50 000 ALES XXVIII-40

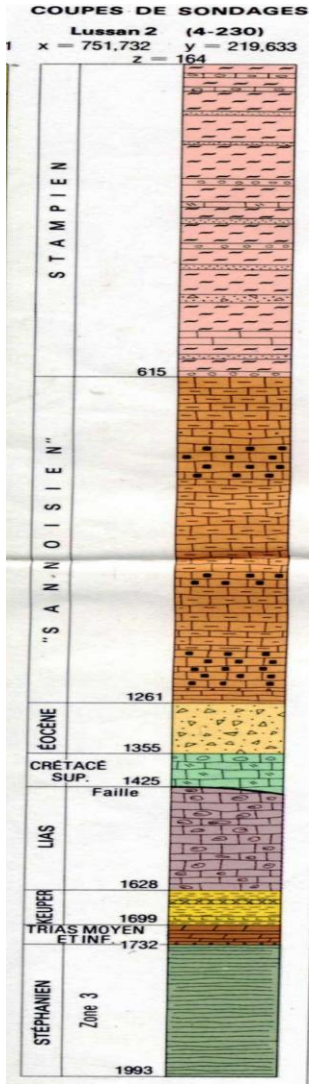
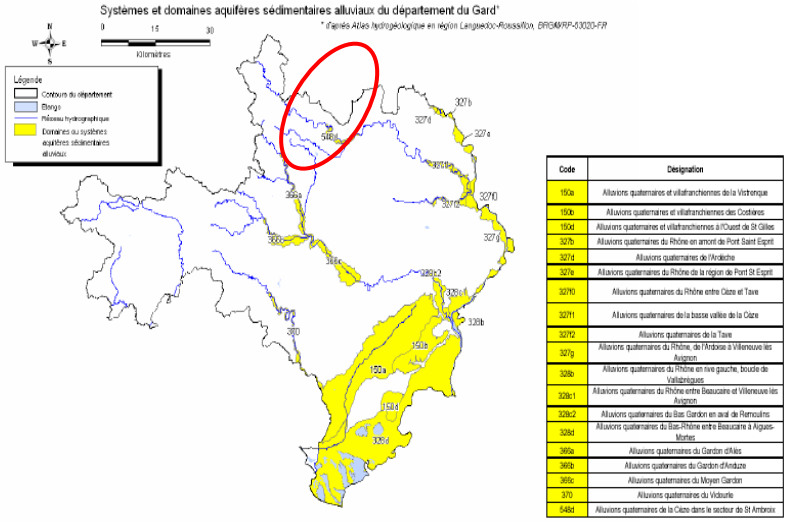
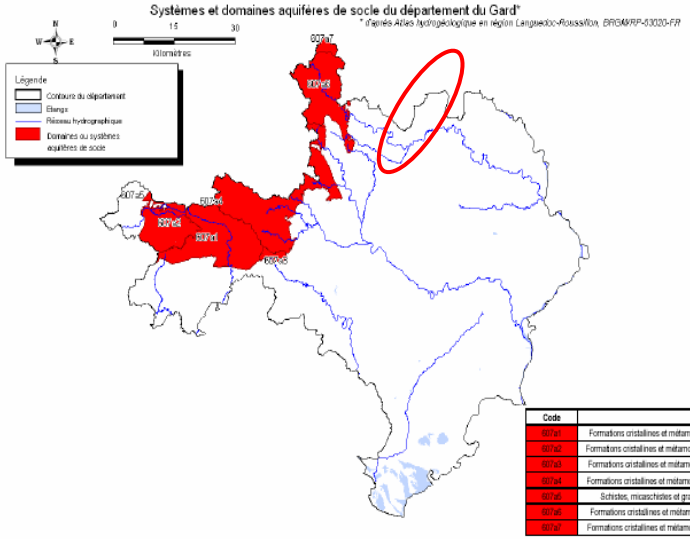


Figure A3 : sondage de Lussan 2

Figure A4 : les systèmes et domaines aquifères zone du PER de bassin d'Alès



Code	Désignation
150a	Alluvions quaternaires et villafranchiennes de la Vistrenque
150b	Alluvions quaternaires et villafranchiennes des Costières
150d	Alluvions quaternaires et villafranchiennes à l'Ouest de St Gilles
327b	Alluvions quaternaires du Rhône en amont de Pont Saint Esprit
327d	Alluvions quaternaires de l'Ardèche
327e	Alluvions quaternaires du Rhône de la région de Pont St Esprit
327f0	Alluvions quaternaires du Rhône entre Cèze et Tave
327f1	Alluvions quaternaires de la basse vallée de la Cèze
327f2	Alluvions quaternaires de la Tave
327g	Alluvions quaternaires du Rhône, de l'Ardèche à Villeneuve lès Avignon
328b	Alluvions quaternaires du Rhône en rive gauche, boucle de Valliguières
328c1	Alluvions quaternaires du Rhône entre Beaucaire et Villeneuve lès Avignon
328c2	Alluvions quaternaires du Bas Gardon en aval de Remoulins
328d	Alluvions quaternaires du Bas-Rhône entre Beaucaire à Aigues-Mortes
369a	Alluvions quaternaires du Gardon d'Alès
369b	Alluvions quaternaires du Gardon d'Anduze
369c	Alluvions quaternaires du Moyen Gardon
370	Alluvions quaternaires du Vidourle
548d	Alluvions quaternaires de la Cèze dans le secteur de St Ambroix

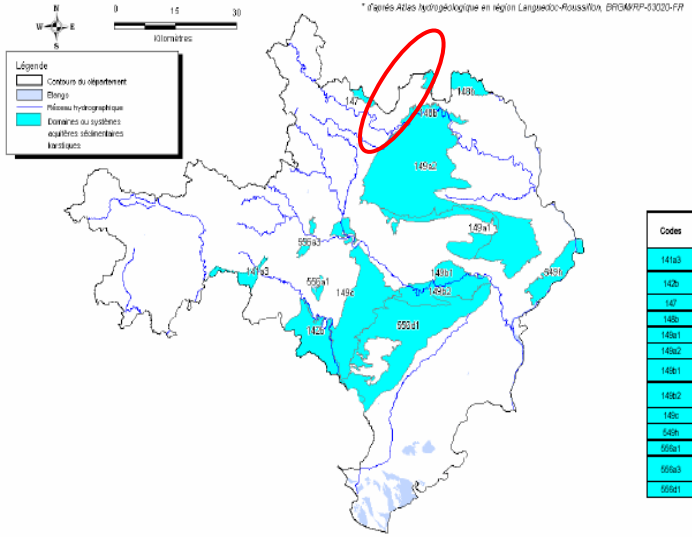


Code	Désignation
607a1	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de l'Hérault
607a2	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de la Dourbie
607a3	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. du Vidourle
607a4	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. des Gardons
607a5	Schistes, micaschistes et granites de l'Aigoual, Cévennes et Mont Lozère dans le B.V. du Tarn
607a6	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de la Cèze
607a7	Formations cristallines et métamorphiques (schistes, granites) des Cévennes dans le B.V. de l'Ardèche

Illustration 3 - Carte des systèmes et domaines aquifères de socle dans le Gard.

Systèmes et domaines aquifères sédimentaires karstiques du département du Gard*

* d'après Atlas hydrogéologique en région Languedoc-Roussillon, BRGM/RP-53020-FR



Codes	Désignations
141a3	Calcaires et marnes jurassiques et crétacés du Gangeois et Thaurac
142b	Calcaires et marnes jurassiques du compartiment oriental du système karstique de la source du Lez
147	Calcaires jurassiques des Gras et Bois de Paloulve
148b	Calcaires urgoniens du Bas Vivarais, Plateau d'Orgnac
149a1	Calcaires urgoniens du plateau de Lussan
149a2	Calcaires urgoniens entre le Mont Bouquet et Tavel
149b1	Calcaires urgoniens des Gorges du moyen Gardon (rive gauche)
149b2	Calcaires urgoniens des Gorges du moyen Gardon (rive droite)
149c	Calcaires urgoniens du Bois de Lens
549b	Calcaires urgoniens du secteur de Villeneuve les Avignon
559a1	Calcaires jurassiques du dôme de Ledignan
559a3	Calcaires jurassiques du dôme de Ledignan Nord
559d1	Calcaires du Crétacé supérieur des Garrigues nîmoises

Illustration 4 - Carte des systèmes et domaines aquifères sédimentaires karstiques dans le Gard.

Systèmes et domaines aquifères sédimentaires karstiques plissés du département du Gard*

* d'après Atlas hydrogéologique en région Languedoc-Roussillon, BRGM/RP-53020-FR

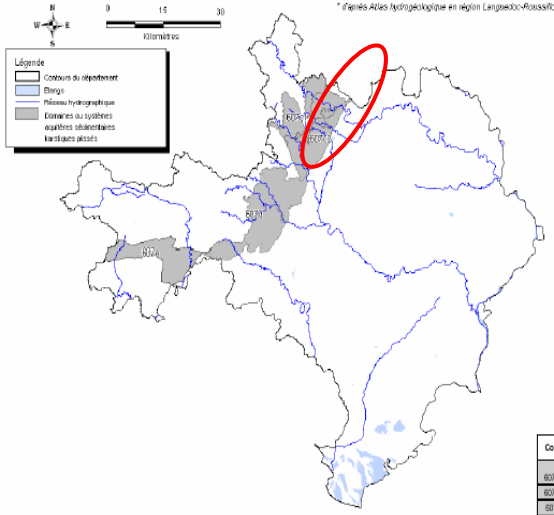
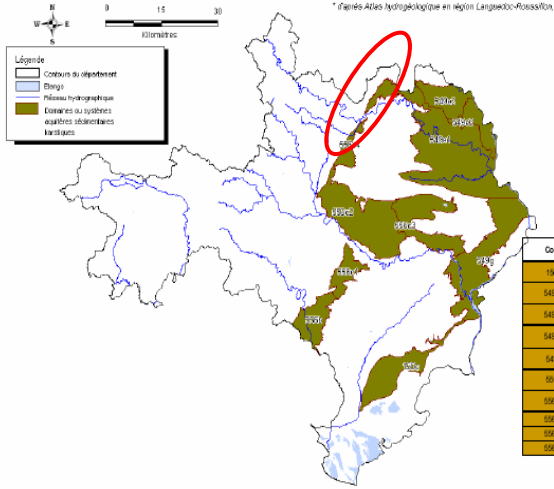


Illustration 5 - Carte des systèmes et domaines aquifères sédimentaires karstiques intensément plissés dans le Gard.

Code	Designation
607c1	Argiles, grès du Houiller et du Trias du bassin d'Alès-Bessèges et calcaires et dolomies du Lias de la rive droite du Gardon entre Alès et Sumène
607c2	Calcaires du Lias et Jurassique de la bordure cévenole entre Alès et Saint Ambroix
607d	Calcaires du Lias et Jurassique de la bordure cévenole entre Alès et Sumène
607e	Calcaires cambriens de la région viganaise

Systèmes et domaines aquifères sédimentaires non karstiques du département du Gard*

* d'après Atlas hydrogéologique en région Languedoc-Roussillon, BRGM/RP-53020-FR



Code	Designation
150c	Formations villafranchiennes et pliocènes des Costières entre Vauvert et St Gilles
549e1	Grès, calcaires et marnes du Crétacé moyen et supérieur dans le bassin versant de la basse Cèze
549e2	Grès, calcaires et marnes du Crétacé moyen et supérieur dans le bassin versant de la basse Ardèche
549e3	Grès, calcaires et marnes du Crétacé moyen et supérieur dans le bassin versant du Rhône dans le secteur de Pont St Esprit
549g	Formations urgoniennes ou tertiaires du bassin de Pujaut à Fournès (calcaires et marnes)
556b	Calcaires, marnes et molasses oligo-miocènes du bassin de Castries-Sommières
556c1	Calcaires et marnes tertiaires du bassin de St Chaptes et d'Uzès en rive droite du Gardon
556c2	Calcaires et marnes oligocènes du bassin de St Chaptes et d'Uzès
556c3	Molasses du bassin de St Chaptes et d'Uzès
556c4	Argiles, grès et calcaires éocènes à l'Ouest du Mont Bouquet