

Mémoire technique

1. Récapitulation géologique de la région de demande de permis

La région de demande de permis "Alès" est située sur la succession de sédiments du Paléozoïque au Tertiaire, qui couvrent le bassin Hercynien situé au plus lointain sud-ouest du Massif Central en France, inclus les Cévennes. Cette région inclus les unités géologiques à l'ouest de la vallée du Rhône, allant de Valence au nord jusqu'à Montpellier au sud, et à l'ouest les bassins Mésozoïque des Causses de Larzac et les Grandes Causses.

1.1 Evolution paléogéographique

Le socle cristallin- le Permocarbonifère

Le socle cristallin du sud de la France est Hercynien et affleure dans le Massif Central et dans les Cévennes. Ce socle est recouvert par endroit par des couches du Carbonifère (charbons Stéfaniens), et par des successions clastiques du Permien, inclus les schistes lacustres de l'Autunien, avec une épaisseur atteignant jusqu'à plusieurs centaines de mètres (Châteauneuf & Farjanel 1989, Debrand-Passard et al. 1989). L'extension précise de ces bassins étroits, ayant une orientation NE-SW, n'est pas encore bien comprise.

Le Mésozoïque

La succession complète du Mésozoïque varie en épaisseur entre 2 et 3.5 km et représente en grande partie une section marine de carbonates et de schistes (Wannesson et al. 1999). Elle est le résultat de plusieurs évènements d'extension durant jusqu'au Crétacé, et est interprétée comme une séquence du bord continental passif du nord-ouest de l'océan Téthys (Stampfli et al. 1999, Dercourt et al. 1986, et Ravenne & Vialy 1988). Le centre principal de déposition reste pour longtemps dans la région Digne-Devoluy-Baronnies, avec des plateformes vers le NW (région alpine), SW /Cévennes-Causses) et vers le sud (Provence du sud). L'absence de grandes unités silico-clastiques indique l'absence d'un relief topographique prononcé aux bords des bassins.

L'épaisseur composite du Triasique augmente d'environ 100 m à l'Est à plus de 400 m vers le sud-ouest. Il est composé d'une séquence inférieure de clastiques (Bunter), d'une section moyenne de calcaires/dolomies/évaporites (Muschelkalk) et d'une section supérieure de calcaires/évaporites accompagnée de schistes (Keuper). Des couches de sel à l'intérieur des séquences d'évaporites forment les niveaux de détachement pour la déformation tectonique. Le Jurassique est caractérisé par une forte subsidence causée par un processus de rift avec l'évolution de dépôt marins épais dans le bassin des Dauphinés entouré de plateformes de carbonates. Des couches calcaires du Liasique inférieur sont succédées par des séquences plus argileuses du Liasique supérieur et du Dogger. Dans tout le Jurassique supérieur les dépôts marneux dans le bassin central sont accompagnés par des récifs qui forment des barrières et plateformes complexes, et qui avancent avec le temps et ainsi restreignent le bassin progressivement. La subsidence du bassin est contrôlée par des failles raides du socle avec une orientation NE-SW.

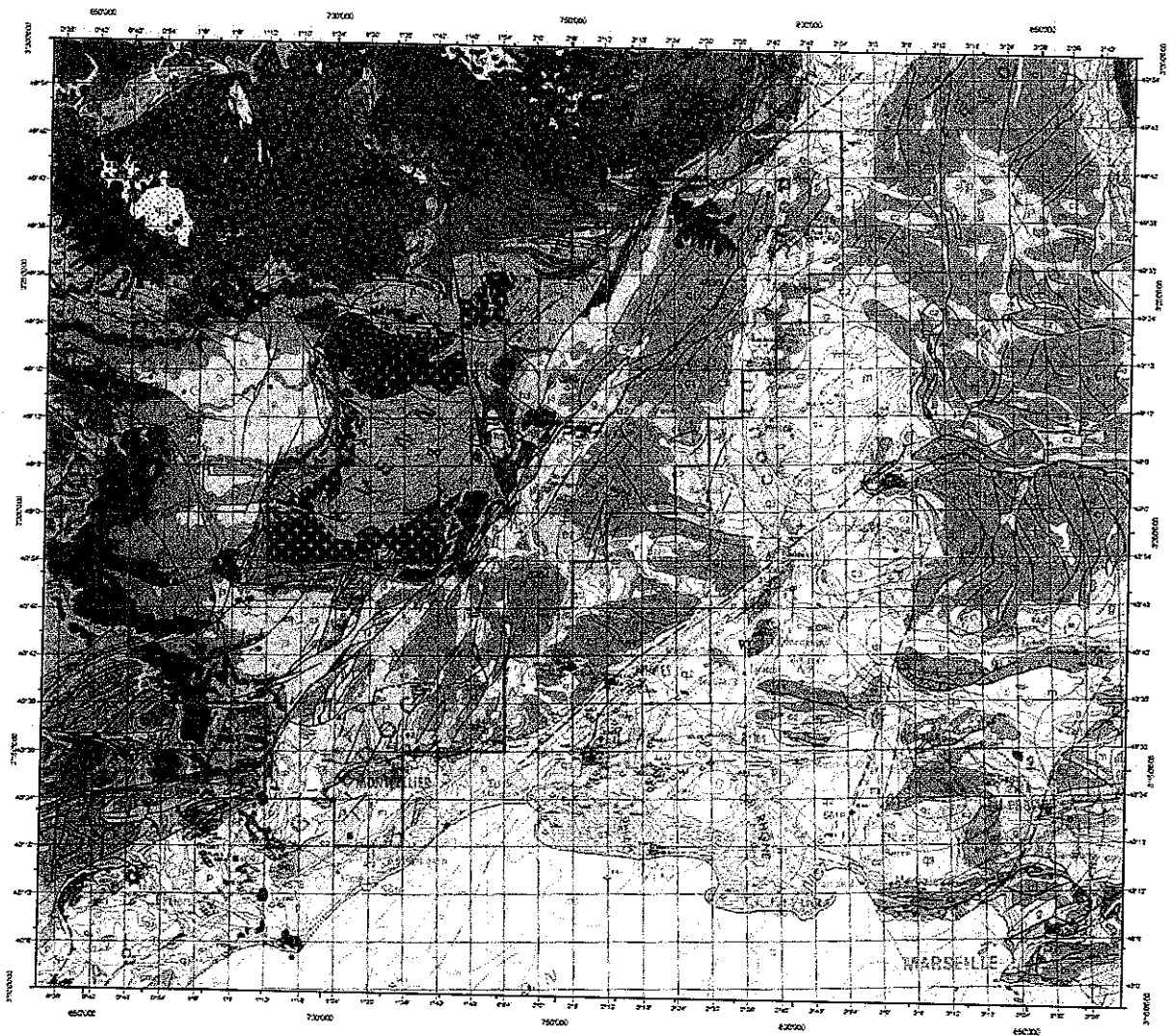
Les sédiments principaux du Crétacé sont caractérisés par plusieurs hauts et bas dans un bassin globalement profond et pélagique (bassin Vocontien). L'épaisseur NS et EW et les changements de faciès sont en relation avec la plate-forme carbonatée développée dans le nord (Montagnes du Vercors) et dans le sud (région Ventoux-Provence). Les unités de schistes pélagiques dans le centre du bassin (Liasique à Oxfordien et les schistes du Crétacé

inférieur) forment de nouveau des niveaux importants de détachement. Jusqu'au Crétacé moyen la surface des schistes du bassin central est progressivement réduite. Durant le Crétacé tardif et le jeune Tertiaire des relèvements et inversions reliés à la déformation des Pyrénées et des Alpes font éroder jusqu'à 2 Km de sédiments.

Le Tertiaire

Les sédiments du Tertiaire sont limités à des petits bassins restreints causés par le début de la structuration tectonique (voir ci-dessous). Durant l'Eocène (Lutétien-Priabonien) des calcaires nummulitiques sont submergés à l'est, et une avant-fosse avec des turbidites se développe. Ce dernier est par la suite rempli avec des sédiments clastiques marins dérivés du sud (Massifs Corso-Sarde-Estérel relevés durant la déformation des Pyrénées) et de l'est. Durant l'Oligocène les bassins du système de rifting Européen (Rhin-Bresse-Rhône) se forment et mènent à des demi-fossés clastiques dans la partie Est de la région de demande de permis (p.e. Bassin de Garrigues).

Du Miocène au Pliocène la sédimentation est limitée à des bassins isolés «piggy-back» (uniquement à l'est de la région de demande), la partie centrale de la vallée du Rhône et la partie le plus au sud du fossé de Bresse (Région de Valence).



Carte géologiques (BRGM 1995) du Sud-est de la France avec les forages et le périmètre de la demande «Alès».

1.2 Histoire tectonique

Du Liasique au Crétacé tardif principalement le rifting et plusieurs épisodes de subsidence prédominaient. L'extension était orientée E-W et NW-SE, directement relié à des épisode de rifting du Téthien (Masclé et al. 1996, Roure et al. 1994).

Du Barrémien à l'Eocène moyen un raccourcissement N-S était dû à la collision de l'Ibérie avec l'Europe qui se propageait progressivement vers le nord jusqu'aux régions les plus au sud du Vercors. Durant cette phase le système de plissement et chevauchement Pyreno-Provençal était formé avec des structures E-W, de prépondérance de compression.

La déformation alpine commence avec la formation précoce d'avant-fosses durant l'Eocène tardif à l'Oligocène précoce, relié à la déformation initiale des Alpes occidentales. Durant l'Oligocène l'extension E-W relié au rifting de l'Europe occidentale amène la formation des demi-fossés avec une orientation NE-SW (fossé de Bresse, vallée du Rhône).

Durant le Néogène la déformation et la structuration diminuent progressivement avec les mouvements de chevauchement tardifs alpins dans l'Est (nappes des Alpes occidentales) et un relèvement régional des unités Paléozoïques/Mésozoïques du sud du Massif Central. Dû au rifting du Miocène moyen le Golfe du Lyon d'aujourd'hui se forme tout au sud, avec la formation de croûte océanique et le déplacement du bloc Sarde-Corse dans une rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. La forte subsidence qui suit le rifting fait place pour plus de 3 Km de sédiments Plio-Quaternaires.

2. Histoire d'exploration et d'exploitation

Le premier pétrole fut exploité à partir de 1608 d'une source à la surface à proximité du champ de Gabien d'aujourd'hui, à l'ouest de Montpellier. Jusqu'en 1885 la production accroît de 4 à 23 tonnes de pétrole par an. En 1923, le champ de Gabien fut découvert, qui produit jusqu'à 23'400 tonnes par an d'un réservoir clastique du Triasique inférieur et qui est nourri de schistes Autunien. Ce champ a été abandonné en 1945 (Wannesson et al. 1999).

L'exploration systématique pour le pétrole et le gaz naturel dans le sud de la France et à l'ouest du Rhône (environs 150 puits) a commencé après la seconde guerre mondiale. Avec l'exception de deux petites découvertes (voir plus bas) et des apparitions fréquentes, aucune localisation avec des quantités commerciales de gaz ou de pétrole n'a été faite.

Par contre les petits champs de pétrole du Galicien (Camargue, un total de 5'000 tonnes de pétrole) et à Saint-Jean-de-Maruejols au nord-est d'Alès sont des indications prometteuses, qu'un système favorable de pétrole existe. Tout les deux produisent à partir de réservoirs Eocène-Oligocène, et où la roche source à Saint-Jean-de-Maruejols se trouve dans la même unité stratigraphique. Le pétrole produit est lourd et pendant 1980-81 quelques tests d'injection de vapeur ont été faits.

Les forages pénétrant les séquences Mésozoïques démontrent l'absence générale de roches de réservoir. Néanmoins, de nombreux et quelque fois très fortes indications de gaz sont un signe positif de la présence de schistes à gaz idéaux (e.g. Bouget-1, Vaquières, 1, St-Hyppolyte-du-Fort-1, Pic-St.-Loup-1, Quissac-1/-2 et Vaunage-2).

3. Systèmes à explorer dans la région d'Alès

3.1 Système à schistes gazeux

Technologie pour les schistes à gaz

La production économique de gaz naturel à partir de schistes noirs argileux est une des plus vieilles technologies: déjà au début du 19^{ème} siècle les puits peu profonds forés à New York (Fredonia, 1821) ont produit du gaz, qui a été utilisé pour l'éclairage de maisons.

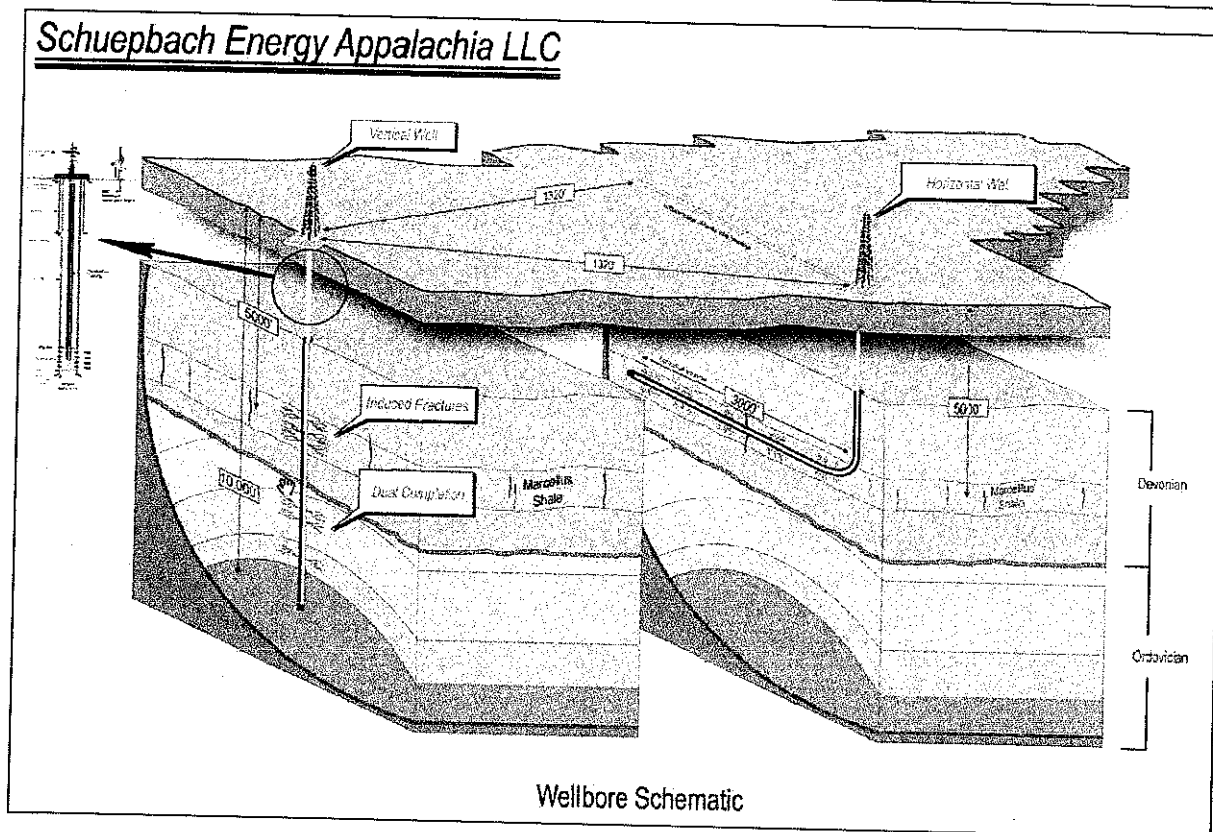
Les schistes, qui sont composés en plus grande partie de particules argileux de composition minéralogique variée et de matériaux organiques, sont très étanches avec une porosité et une perméabilité extrêmement basse. Dans les réservoirs conventionnels de pétrole et de gaz, ces couches sont parfaitement imperméables ou alors représentent la roche-mère pour le pétrole ou le gaz. Sous certaines circonstances ces schistes peuvent être roche de source et de réservoir en même temps. A cause de leur perméabilité très basse, ces schistes peuvent garder le gaz généré sur place à partir de la matière organique pour des millions d'années (e.g. Frantz 2005).

Le méthane produit à partir de la matière organique sera absorbé par celle-ci autant plus, de plus la pression et la température augmentent, ou alors il est emmagasiné dans les pores microscopiques. Les bons schistes à gaz sont caractérisés par des valeurs hautes de TOC et de maturité organique dans la fenêtre de gaz (réflectivité vitrinite 1.2 - 2.0 % Ro). Sur les enregistrements dans les puits, les schistes montrent une haute résistivité, des hautes valeurs de GR et des basses vitesses soniques.

Des nouveaux développements dans les technologies de forage et de production dans les derniers 10 ans ont grandement accélérés une intense activité mondiale en matières d'exploration et de production. Particulièrement dans les Etats-Unis les techniques modernes de fracturation hydraulique et la possibilité de forages horizontaux à bas prix ont initiées de nouvelles opérations par de nombreuses sociétés, avec le résultat d'une production croissante en gaz à partir d'unités variées de schistes (p.e. bassin des Appalaches, Schistes de Barnett au Texas, Bassin Green River). Pour l'Amérique du Nord seule, le potentiel de ressources à partir de schistes à gaz a été estimé entre 500 à 1'000 TFC.

Paramètres des schistes à gaz de la région d'Alès

Une première investigation et évaluation des données des puits (diagraphies, rapports fin de sondage etc.) et des informations géologiques de base dans toute la région de concession d'Alès a donnée des indications sur des zones avec des unités de schistes favorables (Dogger-Lias). Ces indications encourageantes justifient en plus des recherches détaillées pour estimer le potentiel de schistes à gaz. Quelques puits dans la région en question ont indiqués des schistes du Toarcien avec des épaisseurs de plus de 150m et des valeurs de TOC > 4% à des profondeurs de moins de 2'500m.



Exemple de la technologie de forage, de stimulation et d'accomplissement utilisée par Schuepbach Energy LC en Amérique du Nord.

3.2 Champs de pétrole lourd de Saint-Jean-de-Maruejols (réactivation)

Un deuxième objectif dans la région de demande d'Alès est l'évaluation des champs abandonnés de Saint-Jean-de-Maruejols (au NE d'Alès). L'application de la sismique moderne à 3D, en combinaison avec des nouvelles techniques d'injection de vapeur, pourrait être utilisée pour réactiver la production de pétrole dans le champ même, ou pour localiser des champs similaires avec du pétrole lourd dans le fossé Tertiaire d'Alès.

4. Références

- DERCOURT, J., ZONENSHAIN, L.P., RICOU, L.E., KAZMIN, V.G., PICHON LE, X., KNIPPER, A.L., GRANDJACQUET, C., SBORTSHIKOW, I.M., GEYSSANT, J., LEPVRIER, C., PRCHERSKY, D.H., BOULIN, J., SIBUET, J.C., SAVOSTIN, L.A., SOROKHTIN, O., WESTPHAL, M., BAZHENOV, M.L., LAUER, J.P. & BIJU-DUVAL, B. (1986): Geological evolution of the Tethys Belt from The Atlantic to the Pamirs since the Lias. - *Tectonophysics*, 123, p. 241-315.
- FRANTZ, J.H. (2005): Shale Gas – White paper (Schlumberger), 9p.
- MASCLE, A., VIALLY, R., DEVILLE, E., BIJU-DUVAL, B. & ROY, J.P. (1996): The petroleum evaluation of a tectonically complex area: The western margin of the Southeast Basin (France). - *Marine Petrol. Geol.*, 13/8, p. 941-961.
- RAVENNE, C. & VIALLY, R. (1988): Observations of outcrops at a seismic scale in view of seismic stratigraphic interpretation (Hand-out for field trip No. 2). - AAPG Mediterranean Basins conference, 1988, Nice, p. 55.

-
- ROURE, F., BRUN, J.P., COLLETTA, B. & VIALLY, R. (1994): Multiphase extensional structures, fault reactivation and petroleum plays in the Alpine Foreland Basin of Southeastern France. - In: Mascle, A. (ed.): Hydrocarbon and petroleum geology of France. Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists, 4, p. 246-266.
- STAMPFLI, G.M., MOSAR, J., MARQUER, D., MARCHANT, R., BAUDIN, T. & BOREL, G. (1998): Subduction and obduction processes in the Swiss Alps. - *Tectonophysics*, 296, p. 159-204.
- WANNESON, J., BESSEREAU, G., MASCLE, A. & VIALLY, R. (1999): Bassin du Sud-Est de la France. - IFP Institut Français du Pétrole; proprietary regional report.