

Evaluation des Formations - Introduction des Thèmes Choisis

Contribution de SONATRACH Division Exploration

Formation Evaluation - Introduction to the Selected Topics

Contribution from SONATRACH Exploration Division

A. Attar et M. S. Beghoul

تقديم الطبقات — تقديم المواضيع المقترحة

يستعرض هذا الفصل تطور إستكشاف البترول والغاز في الجزائر. كما يبين تحديات الاستكشافات والوسائل الجديدة التي ساهمت في نجاح البحث عن المحروقات والصناعة التبرولية ككل في الجزائر.

INTRODUCTION

Le domaine minier algérien qui correspond à plus d'un million et demi de kilomètres carrés de surface sédimentaire, comporte deux ensembles géologiques très différents l'un de l'autre:

- un système alpin assez complexe au nord dont l'histoire géologique est essentiellement d'âge Mésozoïque et Cénozoïque;
- un domaine de plate-forme stable dont l'histoire géologique est essentiellement Paléozoïque, parfois même Mésozoïque dans sa partie NE.

C'est vers la fin du 19^{ème} siècle qu'ont commencé les premiers travaux d'exploration en Algérie dans le bassin du Chelif sur la base d'indices de surface. Les premiers puits sont peu profonds et certains indices ont même été exploités par simple creusement de galeries.

Ce n'est qu'en 1948 que la première découverte commerciale fut faite à Oued Guétérini, à 150 kilomètres au sud d'Alger, dans un contexte géologique et pétrolier très complexe et "énigmatique" jusqu'à nos jours, puisque ce tout petit gisement produit toujours sans avoir été épuisé.

INTRODUCTION

The Algerian petroleum province covers more than a million and a half square kilometres of sedimentary surface and can be divided into two very different geological regions:

- a relatively complex alpine system to the north, composed mainly of Mesozoic and Cenozoic rocks;
- a stable platform area, which is mostly Palaeozoic, with some Mesozoic rocks in the NE.

The end of the 19th century saw the first stage of exploration in Algeria. Early efforts were concentrated in the Chelif Basin. This first phase of oil exploration relied on surface indications and as a result of this the first wells were shallow, with some indicators being exploited by simply digging galleries.

The first commercial discovery was made in 1948 at Oued Guétérini, 150 kilometres south of Algiers. Oil production from this small field and the details of its geological characteristics remain enigmatic. The field continues to produce without showing signs of depletion.

La deuxième découverte significative fut enregistrée en 1953 à l'extrême sud du Sahara avec un débit de gaz sec à partir d'un forage implanté sur une structure de surface : Berga. Une autre structure de surface fut forée plus tard en 1956 à Edjeleh où l'on obtint un débit d'huile.

Au cours de la même année, fut réalisée la plus importante découverte d'huile en Algérie, à Hassi Messaoud, sur une structure décelée alors par la sismique réfraction.

Les efforts de recherche se sont alors accrus très rapidement. Les concepts, les méthodes et les moyens ont évolué au fur et à mesure pour permettre la découverte de plus de 16 milliards de mètres cubes équivalent pétrole en place. Mais le sous-sol algérien, peu exploré, est loin d'avoir révélé tous ses secrets ou toutes ses richesses. Les récentes découvertes d'huile dans le bassin de l'Erg oriental (Ghadamès) et de gaz dans le bassin de Timimoun le prouvent.

Le pétrole de demain ne sera certes pas aussi facile à découvrir et à exploiter. Le "flair" du géologue à la recherche d'indices de surface au début du siècle, l'appel à toute son imagination pour projeter une structure de la surface vers la subsurface, "l'alliance" entre le géologue et le géophysicien qui se sont unis pour rechercher les pièges en utilisant toutes les méthodes géophysiques, ne suffisent plus; les méthodes ont changé. La vision des choses dans le domaine des sciences de la terre a été complètement modifiée à tel point que les explications et interprétations géologiques d'il y a à peine 10 ans n'ont plus rien de commun avec celles qui prévalent de nos jours.

L'exploration d'aujourd'hui et de demain passe donc obligatoirement par la capacité d'intégrer le maximum de données, le plus vite possible. Elle est donc devenue "l'affaire du Geoscientist," elle se base sur:

- l'introduction continue de nouveaux concepts;
- la quantification de tous les paramètres sans exception;
- la modélisation analogique et mathématique.

Les diagraphies concrétisent les méthodes qui se sont largement développées et permettent une quantification plus précise des paramètres géologiques de façon générale.

Algeria's second significant discovery was recorded in 1953 in the extreme south of the Sahara when Berga, a well drilled on a surface structure, began producing dry gas. In 1956 another surface structure was drilled at Edjeleh, where oil was discovered.

In the course of the same year the most important oil discovery in Algeria was made at Hassi Messaoud. The oil was found on a structure which had been detected using refraction seismic techniques.

Exploration efforts have increased rapidly since the mid-1950s. Exploration concepts, methods and means have evolved over the years and more than 16 billion m³ of oil equivalent have been discovered in place. However, the under-explored Algerian subsurface is far from having revealed all its secrets or wealth; a fact emphasised by recent discoveries of oil in the Eastern Erg Basin (Ghadames) and gas in the Timimoun Basin.

Tomorrow's oil will be harder to locate and develop, but techniques have improved a great deal since early exploration geologists first looked for surface indications and relied on their imagination to project surface structures to reservoir depth in the quest for oil and gas. The modern alliance between geologist and geophysicist searches for traps using all possible geophysical methods. The earth sciences have been completely modified to the point where explanations and geological interpretations which were made only 10 years ago have been totally superseded by those prevailing today.

Current and future exploration depends on the capacity to integrate a huge volume of exploration data as quickly as possible. The geoscientist has become involved in:

- the continuous introduction of new ideas;
- quantification of all relevant parameters;
- mathematical and analogue modelling.

New methods have been developed to quantify general geological parameters precisely, notably in the area of logging.

Sur le plan réservoir et bien que la WEC Algérie 1979 ait traité essentiellement des problèmes pétrophysiques spécifiques aux différents réservoirs algériens, des questions d'évaluation se posent encore quinze ans après. Ceci est vrai, aussi bien pour les séries Mésozoïque du Nord de l'Algérie que pour celles Paléozoïque de la Plate-forme saharienne.

A cet effet, l'occasion nous est donnée de présenter ici les principales difficultés d'évaluation que connaît actuellement l'exploration pétrolière en Algérie. Ceci tout en sachant que les techniques de puits d'aujourd'hui, le développement de logiciels récents et l'introduction de nouveaux concepts de géologie pétrolière permettent d'espérer une approche encourageante des sujets recensés.

La difficulté majeure dans l'évaluation géologique et pétrophysique des réservoirs est liée au comportement spatio-temporel de la géométrie du sédiment dans les milieux discontinus et des caractéristiques primaires et secondaires dans les milieux continus. Dans les deux cas se pose le dilemme du positionnement du forage de délimitation. L'exemple des réservoirs triasiques, à caractère fluviatile, de la dépression d'Oued Mya (puits MED-1) et des réservoirs tournaisiens dans le bassin de Timimoun (puits TEG-11) nécessite la contribution de la pendagemétrie pour une meilleure délimitation des réservoirs. Les diagraphies disponibles ont été traitées avec des logiciels nouveaux tels que StructuralView* (structural interpretation module for IRD) et DipTrend et réinterprétées. Quelques résultats sont présentés par K. Derguini dans le chapitre II - 2, "*Applications Sédimentologiques des Diagraphies.*"

La difficulté d'évaluer les qualités secondaires des roches est spécifique aux réservoirs fracturés où la connaissance de l'agencement du réseau de fracturation est capitale pour une meilleure délimitation du gisement. L'étude qualitative et quantitative des outils d'imagerie Formation MicroScanner*, FMI* Fullbore Formation MicroImager permet de fonder beaucoup d'espoir dans ce domaine. L'exemple du réservoir cambro-ordovicien du gisement de gaz de Guaret El-Guefoul dans le bassin de l'Ahnet ainsi que celui du Turonien carbonaté d'un forage du Nord de l'Algérie (et aussi OTRA-2 dans la Cuvette de Sbaa) est présenté dans le chapitre II - 6 par T. Djebbar, "*Estimation des Fractures dans les Réservoirs Algériens.*"

La fracturation, les limites et une approche de la continuité, des réservoirs peuvent être étudiées par l'analyse fine des tests de formations. Des résultats de tests inexplicables étaient laissés en suspens par le passé pour cause de limitation des mé-

Although the Algeria WEC of 1979 dealt primarily with specific petrophysical issues from different Algerian reservoirs, there are still some fundamental evaluation questions awaiting answers 15 years later. This is true for the Mesozoic sequences in the north of Algeria and for the Palaeozoic rocks of the Saharan Platform.

In this volume, we have an opportunity to present the main evaluation issues facing hydrocarbon exploration in Algeria. A combination of new drilling techniques, recent software developments, the introduction of new imaging tools and different approaches in petroleum geology have created an encouraging climate for progress.

The major difficulty in the geological and petrophysical evaluation of reservoirs is linked to the geometry of sediments in discontinuous environments and the assessment of primary and secondary characteristics in continuous environments. In both cases there are problems in positioning delineation wells. Examples are provided by the fluviatile Triassic reservoirs in the Oued Mya Depression - well MED-1 - and Tournaisian (Cretaceous) reservoirs in the Teguentour Basin - well TEG-11 - which require dipmeter analysis for a better delineation. Existing logs have been processed and reinterpreted using powerful new software such as StructuralView* (structural interpretation module for IRD), and DipTrend. Some of the results are presented by K. Derguini in Chapter II - 2, *Sedimentology and Logs.*

Evaluation of secondary qualities is specific to fractured reservoirs where a detailed knowledge of the fracture system is essential for good field delineation. Quantitative and qualitative imaging techniques, using the Formation MicroScanner* tool and the FMI* Fullbore Formation MicroImager tool, show considerable potential for use in the field of fracture analysis. Examples from the Cambrian-Ordovician reservoir of the Guaret El-Guefoul gas field in Ahnet basin and from a Turonian carbonate sequence in a northern Algerian well are presented by T. Djebbar in Chapter II - 6, *Fracture Estimation in Algerian Reservoirs.*

The continuity, limits and fracturing of reservoirs can now be evaluated by detailed reservoir test analysis. In the past, unexplained test results were often discarded because of the limitations of the interpretation methods. Today, the

thodes d'interprétation. Aujourd'hui, grâce à l'avènement d'outils d'acquisition de haute technologie et de logiciels type STAR* Schlumberger Transient Analysis and Support et récemment ZODIAC* Zoned Dynamic Interpretation Analysis and Computation, le comportement dynamique des réservoirs est de mieux en mieux cerné. Les limites du réservoir, les systèmes à double porosité, les phénomènes de déplétion, la détection des failles à proximité du forage, etc., sont mis en évidence de manière très précise. Ces informations ne sont pas sans intérêt pour l'implantation des forages de délinéation. L'exemple du Trias argilo-gréseux supérieur d'un forage de Hassi Chergui est traité par F. Elarouci dans le chapitre III - 5, "*Contribution des Essais de Puits à l'Exploration Pétrolière.*"

Un autre problème posé par les réservoirs carbonatés du Nord de l'Algérie est celui de leur évaluation pétrophysique. La difficulté majeure réside dans le fait que ces réservoirs à nature complexe (micrites, biomicrites, constructions récifales, dolomies primaires et secondaires, calcaire oolithique, etc.) se caractérisent par une porosité faible à très faible et par des équations de saturation à paramètres variables (facteur de cimentation 'm' en particulier). L'association des analyses pétrographiques de laboratoire avec des méthodes modernes d'interprétation rend leur évaluation beaucoup moins incertaine. Ce thème est exploré par R. Nacer Bey et R. Chibah dans le chapitre. II - 3, "*Réservoirs Carbonatés en Algérie.*"

Une autre catégorie de difficultés rencontrées lors des forages d'exploration dépassent le cadre de l'étude du réservoir. Il s'agit du cavage naturel des puits qui, dans le Sahara ouest où la section ovalisée des forages est un phénomène caractéristique, donne de sérieux soucis aux foreurs. Quoique ces phénomènes entravent la bonne exécution des forages, ils sont en revanche porteurs d'informations très précieuses sur la géologie du milieu. L'intérêt d'un tel phénomène réside dans la signification géologique associée qui est vraisemblablement en relation avec la contrainte tectonique latérale majeure actuelle. Dans le bassin de Timimoun cette contrainte serait d'orientation N135, soit perpendiculaire au grand diamètre du forage. Le développement récent de l'imagerie des parois des forages (outil UBI* - Ultrasonic Borehole Imager) permet de mettre en évidence des mécanismes d'importance tectonique: "Break out", cisaillement, microfailles syn et post forage, etc.. Le chapitre III - 3, "*Géométrie des Trous de Forages - Interprétation de l'Ovalisation*", par M.S. Beghoul traite un exemple pris dans le bassin de Timimoun où les séries argileuses épaisses à caractère sous-compactées constituent le siège du phénomène.

dynamic behaviour of reservoirs is much better understood, thanks to acquisition tools which make use of the latest technology and software such as STAR* Schlumberger Transient Analysis and Support and, more recently, ZODIAC* Zoned Dynamic Interpretation Analysis and Computation. Information on reservoir limits, double porosity systems, depletion phenomena, the presence of faults near the well and much more can be determined precisely. This data is particularly useful in drilling delineation wells. The Upper Triassic shaly sands of Hassi Chergui Field are discussed by F. Elarouci in Chapter III - 5, *Contribution of Testing to Exploration.*

The petrophysical evaluation of carbonate reservoirs in northern Algeria presents a number of challenges. The major difficulty is that these reservoirs are complex sequences containing micrites, biomicrites, reef structures, primary and secondary dolomites, oolitic limestone, etc. These reservoirs are characterized by low to very low porosity and by saturation equations with variable parameters (particularly the cementation factor 'm'). The addition of laboratory-based petrographical analyses and modern interpretation methods make reservoir evaluations much more accurate. This theme is explored by R. Nacer Bey and R. Chibah in Chapter II - 3, *Carbonate Reservoirs in Algeria.*

Another difficulty encountered in exploration wells is outside the framework of the reservoir studies. Natural caving of wells has a detrimental effect on drilling in the Western Sahara where the boreholes typically develop a characteristic ovalized cross-section. Although these phenomena cause difficulties for drilling, they provide precious information on the geology of the region. The significance of ovalization lies in the geological forces which produce it. The most important of these forces is believed to be current tectonic stress in the region. In the Timimoun Basin, this stress is oriented N135°, perpendicular to the maximum diameter of the ovalized wells. Recent developments in borehole wall imaging, notably the UBI* Ultrasonic Borehole Imager tool have revealed important tectonic mechanisms such as break-out, shear, and pre- and post-drilling microfractures. Chapter III - 3, *Wellbore Geometry - Interpreting Ovalization* by M.S. Beghoul focuses on the Timimoun basin where the thick, shaly sedimentary sequence displays the characteristic under-compaction associated with this phenomenon.

Dans le même temps la cimentation des forages dans cette région présente des difficultés et pose de gros problèmes. Des manifestations de gaz sont constamment enregistrées dans les différents annulaires et jusqu'en surface. L'utilisation des produits susceptibles d'améliorer la cimentation n'a pas apporté les changements espérés. La connaissance de la répartition spatiale du ciment grâce aux nouveaux outils diagraphiques et l'étude des données lithologiques sont pour le moment les seuls moyens pour cerner les causes du phénomène. Ce sujet est étudié en détail par S. Smail et C. Youbi dans le chapitre III - 9, "*La Cimentation des Puits à Gaz*".

Vu l'immensité et la complexité du domaine minier algérien, il reste encore beaucoup à faire sur le plan géochimique en zones immatures. L'évaluation des roches mères par diagraphies reste très peu usitée en Algérie. La technique, décrite par M. Malla et S. Baci dans le chapitre II - 4, "*Géochimie Organique et Diagraphies*," a été testée efficacement dans divers bassins du monde. Elle offre l'avantage d'être continue et peu coûteuse. L'estimation des paramètres COT (Carbone Oxygène Total), S_1 et S_2 par diagraphies dans le Silurien du bassin de Ghadamès concorde parfaitement avec les résultats de laboratoire.

Ce succès n'est pas pour autant une réponse à toutes les questions géochimiques. Les questions sur l'anomalie thermique observée dans les puits de la région de In Salah restent toujours sans réponse. Le niveau du flux thermique y est fort par rapport à celui mesuré sur les plates-formes Paléozoïques et comparable à celui estimé dans les zones de rift actuel. Seules des hypothèses sur l'origine de cette anomalie tenant compte des résultats d'autres études ont été proposées. La question qui reste en suspens est d'ordre géochimique: le gaz découvert dans la région de In Salah est-il lié à l'épuisement d'un certain potentiel organique résiduel sous cette chauffe en relation avec des modifications profondes très récentes? Ce cas est discuté par D. Takherist et A. Hamdi dans le chapitre II - 8, "*Anomalie Thermique de In-Salah: Conséquences Possibles sur le Potentiel Pétrolier*".

La Division Exploration a bien évidemment beaucoup d'autres sujets à traiter que ceux présentés dans cet ouvrage. Nous espérons que cette publication, les futurs développements des diagraphies et les progrès réalisés dans le domaine de l'interprétation nous aideront à surmonter les obstacles et améliorer le succès de l'exploration pétrolière en Algérie.

In the western part of the Sahara, well cementation provides a different set of challenges. Gas indication is frequently recorded in the different annuli of many wells and, in some extreme cases, may even reach the surface. The use of special products to enhance the cementation process has not produced the significant improvement which had been expected. Understanding the spatial distribution of the cement combining data from new logging tools with lithological data is at present the only way to evaluate the causes of this phenomenon. This topic is examined in detail by S. Smail and C. Youbi in Chapter III - 9, *Cementing Gas Wells*.

Given the size and complexity of the Algerian oil sector a great deal remains to be done on the geochemistry of immature zones. It remains the case that source rock evaluation using logging techniques is uncommon in Algeria. A technique, described by M. Malla and S. Baci in Chapter II - 4 *Organic Geochemistry and Logs*, has been tested successfully in various oil and gas basins around the world. This method offers results which are both continuous and inexpensive to collect. Log-derived estimates of Total Organic Carbon (TOC), S_1 and S_2 in the Silurian of the Ghadames Basin agree perfectly with laboratory results.

However, not all of Algeria's geochemical questions can be tackled in this way. One of the most intriguing observations is the thermal anomaly in wells around In Salah. The level of thermal flux encountered there is higher than that recorded on Palaeozoic platforms and comparable to estimates for current rift zones. A number of hypotheses have been proposed for the origin of this anomaly, taking into account results from other studies. The question that remains unanswered is geochemical; has the gas discovered in the In Salah region been generated by very recent deep-seated events which have increased heat-flow and caused depletion of some residual organic potential? This question is addressed by D. Takherist and A. Hamdi in Chapter II - 8, *Thermal Anomalies at In Salah: Possible Consequences for Petroleum Potential*.

Exploration divisions face many other challenges in addition to those addressed here. However, it is hoped that this book and future developments in logging and interpretation will help to overcome obstacles and improve exploration success rates in Algeria.