

## IV

# Le Potentiel en Hydrocarbures de L'Algérie

Contribution de SONATRACH Division Exploration

## Algeria's Hydrocarbon Potential

Contribution from SONATRACH Exploration Division

M. Attar et M. Hammat

### إمكانات النفط في الجزائر

#### ملخص:

تحتل الجزائر المرتبة الثالثة من حيث إنتاج البترول في إفريقيا والمرتبة الثانية عتسرى في العالم بحجم أولي يتمثل في ١٦ مليار متر مكعب تمر إكتشافها منذ ١٩٤٨، وهو تاريخ أول إكتشاف تجاري في واد قتريني الواقع في وسط منطقة "الطبقات المائية".

وتمر إنتاج أكبر جزء من هذه الموارد (خاصة منها الزيت)، إل اعن آخر الموارد النفطية المنتجة، المهاجرة والمحبوسة في مختلف الأحواض الرسوبية خلال التاريخ الجيولوجي لم يتم البحث عنها كليا حتى ولوتم إكتشاف القليل منها.

يسمح التحليل لتوزيع النفط منذ ١٩٤٨ عبر مختلف الأقاليم النفطية والطبقات الجيولوجية للتر كمات المعروفة، بتقسيم الأقاليم والأهداف كما يخول وضع طريقة جديدة لمعرفة إمكانات النفط بالجزائر.

يوجد النفط الذي تم إكتشافه إلى يومنا هذا في ٢٠٧ حقل للزيت والغاز. يقع ٧٣ منها في حوض إليزي، و ٥٧ في أحواض وسط الصحراء و ٢٤ في أحواض قدامس و روردينوس و ٣١ في واد ميني و تحتوي هذه الأحواض على ٢٤ جرام مستو للطبقات الجيولوجية (المنتجة من هذه الحقول، تُعد ١٠٥ منها من السيلوري - الوقوفي، و ٦٣ من التوباسي و ٥٥ من الأردوفيسي (صورة رقم ١).

ومن بين الإحتياطي الأولي الموجود و الذي يقدر حجمه ١٠٢ مليار متر مكعب من الهيدروكربونات السائلة، ٢٥٪ منها فقط تعتبر قابلة للإسرداد بإستعمال أحدث التقنيات الإستغلال و قد تم إنتاج نصف إحتياط الزيت المسترد (صورة رقم ٢).

ويجري إحتمال وجود أكثر من ٤٠٠ مليون متر مكعب من الزيت والإحتياطي الكامن.

من بين الإحتياط الأول للغاز الذي يقدر ب ٦,٤ تريليون، ٥٠٪ الآن قابلة للإسرداد (صورة رقم ٣). إنه تمر إنتاج ١٥٪ من هذا الإحتياطي إلى حد الآن.

ويبقى إحتياطي الغاز يُقدَّر بتريليون متر مكعب راضا في قابل للإسرداد.

وإذا عدنا الآن إلى بعض الدراسات المتعلقة بأخر إحتياطي كامن للنفط الجوي في الجزائر فإننا قل حظ أن الأرقام التي تمر إعطائها لكل حالة (تقديرات جيوكيميائية وإحصائية) تتمثل في عدة عشرات الملايير أو مايقارب ذلك من المتر المكعب للزيت والغاز.

وعليه يتسن لنا طرح الأسئلة الآتية:

- أين ومتى يمكن لنا باكتشاف هذا البترول أو هذا الغاز
- وهل يتم إكتشافها بسهولة أم لا؟
- وهل يتم إكتشافها في التكمات الكبيرة أم العكس؟

لا يهدف هذا البحث إلى الإجابة على كل هذه الأسئلة بل إلى توجيه الجهود المبذولة في مجال البحث والتنقيب.

سوناطراك، قسم الاستكشاف  
٢، شارع النقيب عزوق، حسين داي  
الجزائر.

## RESUME

Avec un volume initial en place de 16 milliards de mètres cubes équivalent-pétrole découvert depuis 1948, date de la première découverte commerciale à Oued Guétérini, près de Sidi Aissa, en pleine zone des nappes, l'Algérie occupe le troisième rang parmi les pays producteurs de pétrole en Afrique, et le 12ème rang dans le monde.

Une grande partie de ces réserves a déjà été produite surtout pour le pétrole. Les ressources ultimes, générées migrées puis piégées dans les différents bassins sédimentaires, tout au long de leur histoire géologique, sont loin d'avoir été toutes explorées et encore moins découvertes.

L'analyse de l'historique des découvertes depuis 1948, de la répartition des hydrocarbures à travers les provinces pétrolières, et de la répartition stratigraphique des accumulations connues, permet d'établir une classification des provinces et des objectifs. Il permet également une approche assez originale du potentiel en hydrocarbures du futur.

- Les réserves en hydrocarbures découvertes en Algérie à ce jour sont renfermées dans un peu plus de 200 gisements d'huile et de gaz, dont 73 sont situés dans le bassin d'Illizi, 57 dans les bassins du Sahara Central, 34 dans les bassins de Ghadamès - Rhourde Nous, et 31 dans le bassin de Oued Mya. Il y a 249 niveaux stratigraphiques producteurs dans ces gisements, dont 105 pour le Siluro-Dévonien, 63 pour le Trias et 55 pour l'Ordovicien (Fig 1).
- Sur les réserves initiales en place prouvées d'environ dix milliards deux cents millions de mètres cubes d'hydrocarbures liquides, seuls 25% d'entre elles sont considérés récupérables avec les procédés d'exploitation actuels. La moitié de ces réserves d'huile récupérables a déjà été produite (Fig. 2). Environ 400 autres millions de mètres cubes d'huile sont aujourd'hui considérés comme réserves probables et possibles.
- Sur les réserves initiales en place prouvées d'environ quatre mille six cents milliards de mètres cubes de gaz, 80% d'entre elles sont considérées récupérables actuellement (Fig 3). Uniquement 15% de ces réserves ont été produites à ce jour. Environ mille autres milliards de mètres cubes de gaz sont considérés aujourd'hui comme réserves probables et possibles.

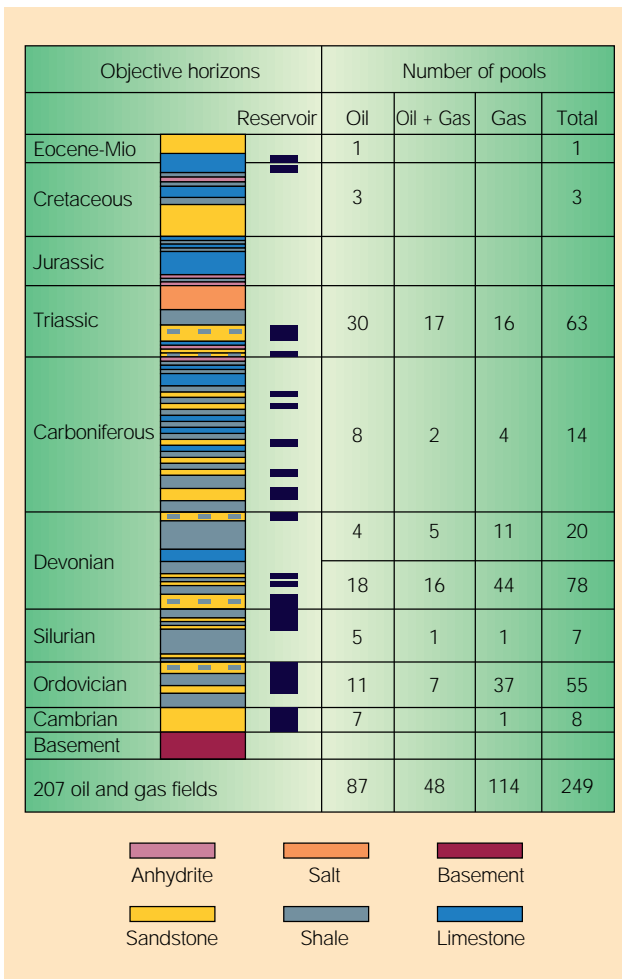
## INTRODUCTION

The first oil discovery in Algeria was made in 1948 at Oued Guétérini near Sidi Aissa. Now, with an initial volume in place of 16 billion cubic metres oil-equivalent, Algeria ranks 3rd among the oil producing countries of Africa and 12th in the world.

A major portion of Algeria's oil and gas reserves, especially the oil, has already been produced, but the ultimate petroleum resources generated, migrated and trapped in various sedimentary basins during geological time are not fully explored and much remains to be discovered.

By examining the history of the discoveries made since 1948, the hydrocarbon distribution across oil provinces and the stratigraphic distribution of known all accumulations, we can develop a classification of regions and objectives. This approach also provides us with an insight into future hydrocarbon potential.

- The hydrocarbon reserves discovered to date in Algeria are contained in approximately 200 oil and gas fields, with 73 situated in the Illizi Basin, 57 in the Central Saharan basins, 34 in the Ghadamés -Rhourde Nous, and 31 in the Oued Mya Basin. There are about 250 productive stratigraphic layers in these fields, of which 105 are Siluro-Devonian, 63 Triassic, and 55 Ordovician (Fig.1).
- Of the initial reserves in place there are 10.2 billion m<sup>3</sup> of liquid hydrocarbon, only 25% of which is considered recoverable using current production methods. Half of this has already been produced (Fig. 2). According to most recent estimates, probable and possible oil reserves amount to approximately 400 million m<sup>3</sup>.
- Initial proven gas reserves amount to approximately 4.6 trillion m<sup>3</sup> with 80% currently considered recoverable (Fig. 3). Only 15% of the total has actually been produced. Recent estimates suggest that there may be an additional 1 trillion m<sup>3</sup> of probable or possible reserves.



**Fig. 1**

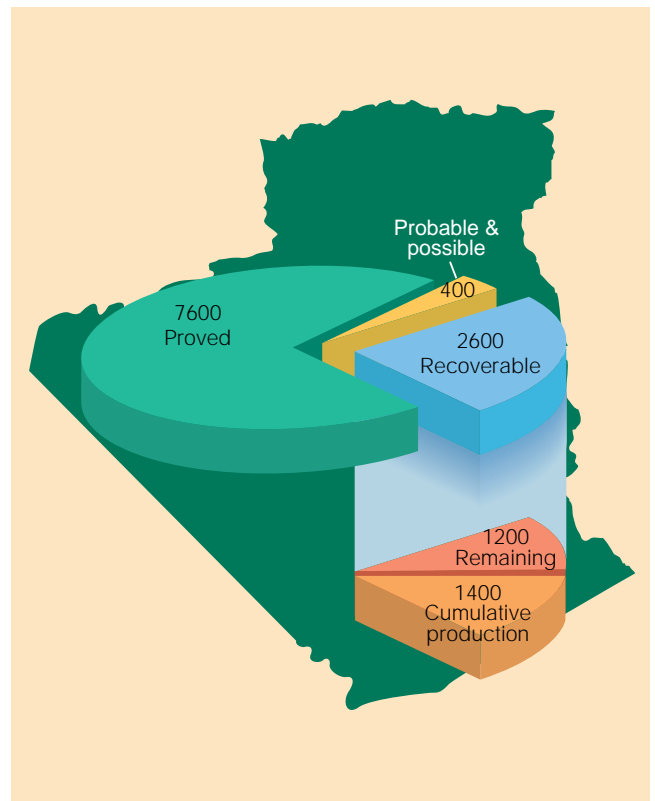
Colonne géologique généralisée de l'Algérie.

Generalized geological column for Algeria.

Si nous considérons maintenant certaines études relatives au potentiel ultime en hydrocarbures du sous-sol algérien, nous constatons que les chiffres avancés dans tous les cas (évaluations géochimiques ou statistiques) sont de plusieurs dizaines de milliards de mètres cubes aussi bien pour l'huile que pour le gaz. Les questions qui se posent bien sûr sont:

- Où et quand peut-on trouver ce pétrole et ce gaz?
- Facilement ou difficilement?
- En grandes ou petites accumulations?

La présente communication n'a pas pour objectif de répondre à toutes ces questions mais plutôt d'orienter les efforts de recherche.



**Fig. 2**

25% des réserves initiales en place sont considérées récupérables avec les procédés d'exploitation actuels. La moitié de ces réserves d'huile récupérables a déjà été produite.

25% of the initial reserves in place is considered recoverable using current production methods. Half of this has already been produced.

All of the geochemical and statistical studies aimed at evaluating the ultimate oil and gas potential of the Algerian subsurface, indicate that there are tens of billions of m<sup>3</sup> in place. The most important questions currently facing the oil industry are:

- where and when will this oil and gas be found?
- will exploration be simple or complicated?
- will the oil and gas occur in large or small accumulations?

This publication can not hope to provide answers for all of these questions, but it may help to direct future exploration efforts.

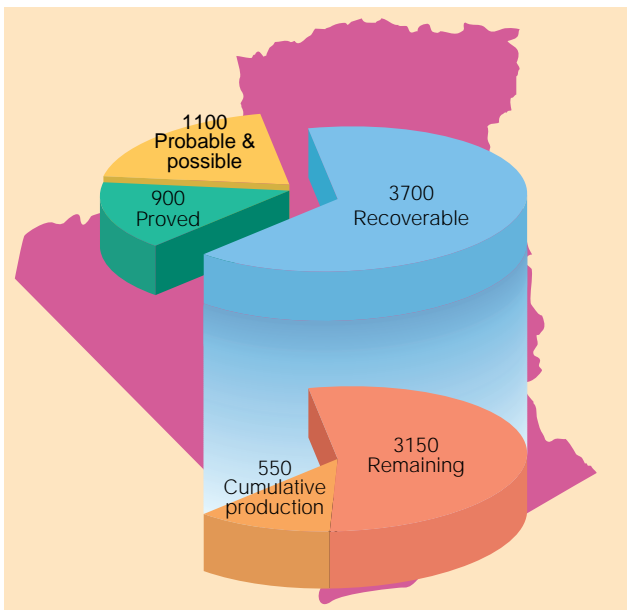


Fig. 3

Réserves initiales en place.

Initial reserves in place.

## REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES RESERVES EN HYDROCARBURES

La presque totalité des réserves découvertes à ce jour se situe dans la partie est du Sahara (Fig. 4). Si nous analysons cette répartition géographique sur la base d'un découpage du domaine minier en plusieurs provinces pétrolières plus ou moins homogènes, nous constatons ce qui suit: (Fig. 5)

- 67% des réserves initiales en place en huile et en gaz sont renfermées dans les provinces de Oued Mya et de Hassi Messaoud, où sont situés les deux gisements géants de Hassi Rmel (gaz) et Hassi Messaoud (huile)
- Le bassin d'Illizi occupe la 3ème position avec 14% des réserves initiales en place
- Puis viennent les bassins de Rhourde Nouss (9%), Ahnet Timimoun (4%), et enfin de Ghadamès qui ne contiennent pour le moment que 3% des réserves.

## THE GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF HYDROCARBON RESERVES

Nearly all of the reserves discovered to date have been found in the eastern part of the Sahara (Fig. 4). Analyzing this geographical distribution by splitting the country into a number of more or less homogeneous oil regions (Fig. 5) we find the distribution is as given below.

- 67% of the initial oil and gas in place are contained in the provinces of Oued Mya and Hassi Messaoud, where the two giant fields of Hassi Rmel (gas) and Hassi Messaoud (oil) are situated.
- The Illizi Basin occupies third place with 14% of the initial reserves.
- This is followed by the basins of Rhourde Nouss (9%), Ahnet-Timimoun (4%) and finally Ghadamés, which contains only 3% of current reserves.

If we examine the geographical location of reserves by hydrocarbon type (Fig. 6) the following facts are revealed.

- The province of Hassi-Messaoud-Dahar, associated with one of the most important tectonic events in the Sahara, has 71% of Algeria's oil reserves.
- The province of Oued Mya is basically a Mesozoic basin, which contains 50% of Algeria's total gas reserves, and some oil (6%).
- The geological sequence in the Illizi Basin is dominated by Palaeozoic rocks, and contains roughly the same proportion of oil (15%) and gas (14%) reserves.
- The Rhourde Nouss and Ghadamés basins are more geologically complex (comprising Palaeozoic and Mesozoic rocks) and contain 19% of Algeria's proven gas (mainly at Rhourde Nouss) and nearly half of the probable and possible gas total. In addition, these basins contain about 8% of the country's oil.
- The Palaeozoic Ahnet-Timimoun Basin only contains gas (13%), with half of the reserves still classed as probable and possible.
- The reserves discovered in the other provinces are currently negligible (less than 4% in total) but these accumulations, when compared to the exploration maturity of the regions in which they occur, indicate significant hydrocarbon potential throughout Algeria.

The concentration of hydrocarbon accumulations in the eastern Sahara reflects our current technical knowledge, the historical evolution of exploration efforts and variations in relative drilling density between different regions within Algeria.

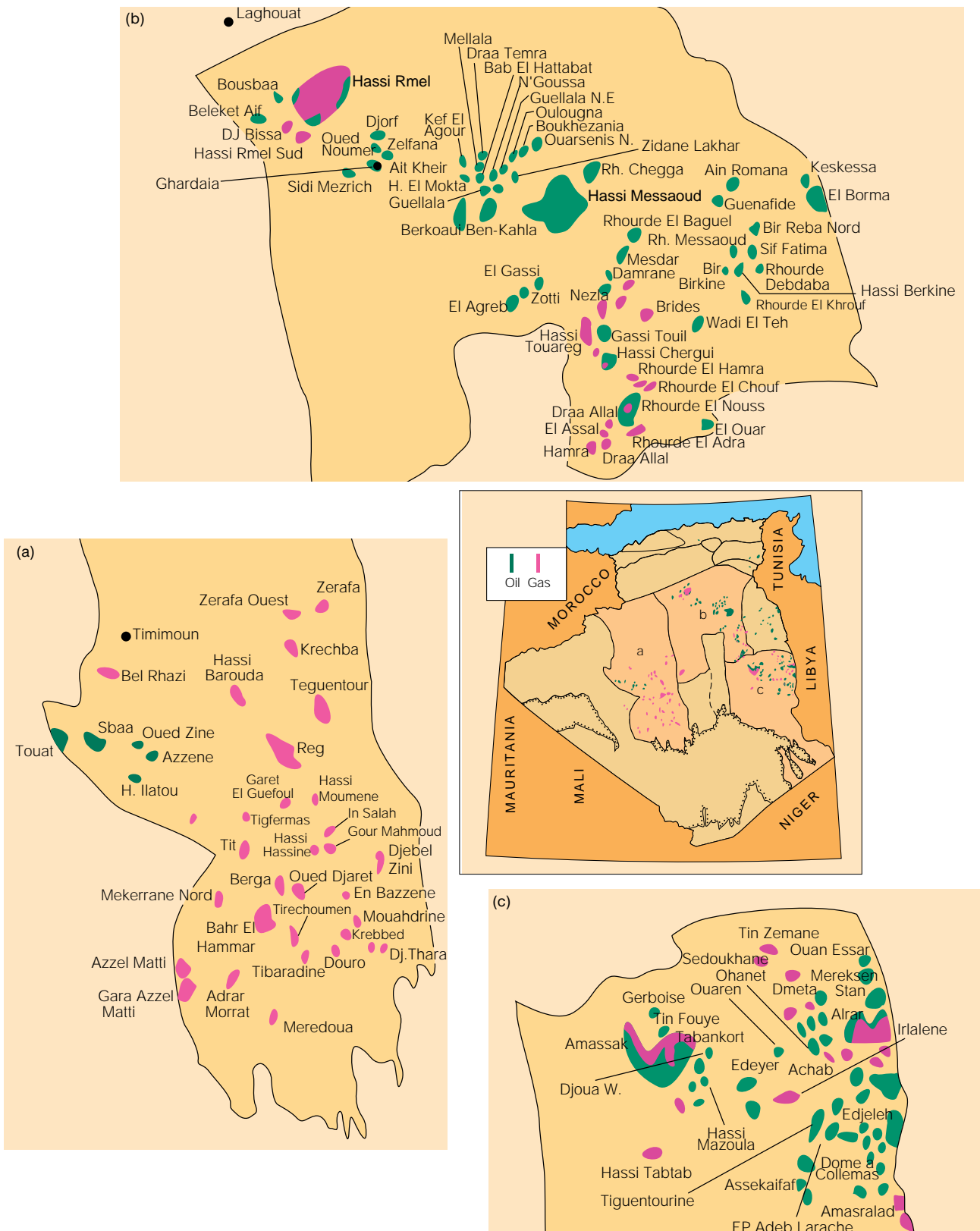


Fig. 4

Répartition des champs pétroliers.

Oilfield distribution.

Si nous associons maintenant à cette analyse la nature des hydrocarbures, nous constatons ce qui suit: (Fig. 6)

- la province de Hassi Messaoud-Dahar correspondant à l'un des plus importants événements tectoniques du Sahara, renferme 71% des réserves en huile;
- la province de Oued Mya correspondant à un bassin essentiellement Mésozoïque, renferme surtout du gaz (50% des réserves) et une partie de huile (6%);
- le bassin d'Illizi lui, essentiellement Paléozoïque, renferme, en pourcentage, autant d'huile (15%) que de gaz (14%);
- les provinces de Rhourde Nouss et de Ghadamès correspondant à des bassins dont l'histoire géologique est un peu complexe (Paléozoïque et Mésozoïque) renferment 19% du gaz (essentiellement à Rhourde Nouss) dont presque la moitié probable ou possible et 8% huile;
- le bassin de l'Ahnet-Timimoun, essentiellement Paléozoïque ne renferme que du gaz (13%) dont la moitié est encore classée probable et possible.

Les réserves découvertes renfermées dans les autres provinces sont actuellement négligeables (moins de 4%) mais souvent très significatives quand on les situe par rapport au degré de maturité de l'exploration et par conséquent indicatrices d'un certain potentiel pétrolier non négligeable

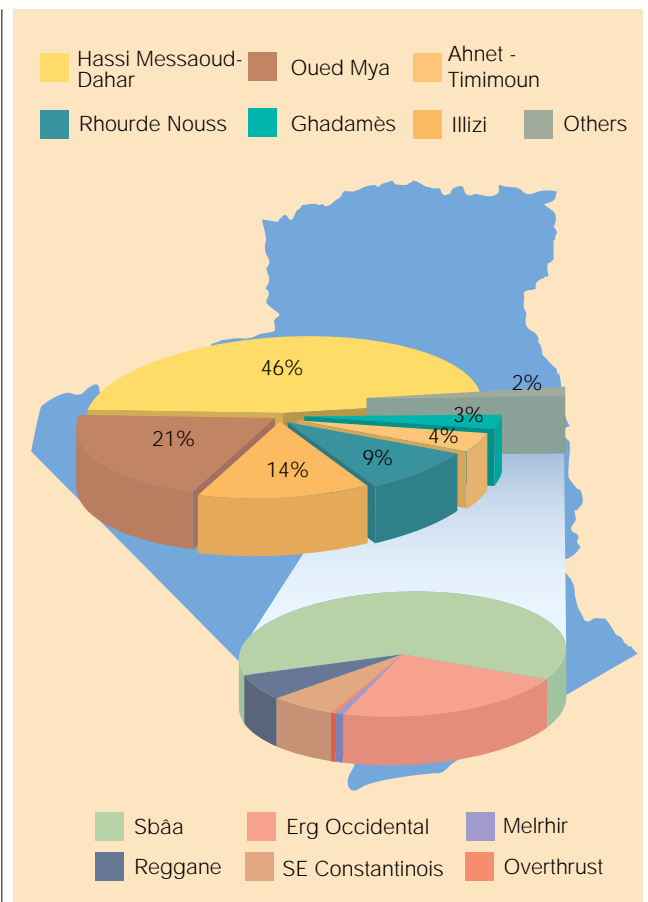
L'état des connaissances actuelles, ainsi que l'évolution historique des travaux d'exploration et leur densité relative justifient largement les volumes et la nature des hydrocarbures découverts à ce jour dans la partie Est du Sahara.

Ils justifient aussi la prépondérance du gaz dans la partie Ouest du Sahara, où la taille réduite des accumulations dans la partie Nord de l'Algérie est géologiquement très complexe. Les volumes découverts à ce jour dans ces deux dernières zones ne sont aucunement significatifs et demeurent certainement très loin du potentiel ultime.

**REPARTITION STRATIGRAPHIQUE DES RESERVES EN HYDROCARBURES**

Cette analyse de la répartition verticale va nous permettre de retrouver comme pour la répartition géographique les deux anomalies créées par les deux gisements géants de Hassi Messaoud et de Hassi Rmel.

- Le Cambrien, qui est le seul réservoir productif de Hassi Messaoud et dans quelques gisements voisins à lui seul, renferme 68% des réserves initiales en huile (Fig. 7).



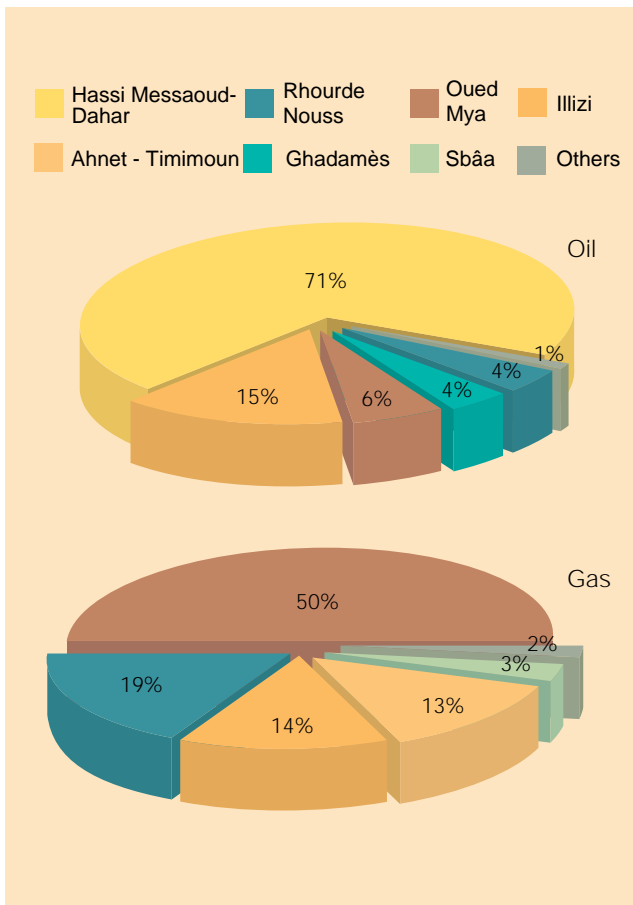
**Fig. 5**  
 Réserves initiales en place.  
 Initial reserves in place.

This also explains the preponderance of gas in the western Sahara and the smaller average size of accumulations in geologically complex parts of northern Algeria. However, the volumes discovered to date in these two regions remain far from the ultimate potential.

**STRATIGRAPHIC DISTRIBUTION OF HYDROCARBON RESERVES**

Analysis of the stratigraphical distribution of Algeria's oil and gas shows, as with the geographical distribution, two anomalies caused by the giant fields of Hassi Messaoud and Hassi Rmel.

- The Cambrian reservoir, which is the sole producer at Hassi Messaoud and in a few neighbouring fields, contains 68% of the initial oil in place (Fig. 7).

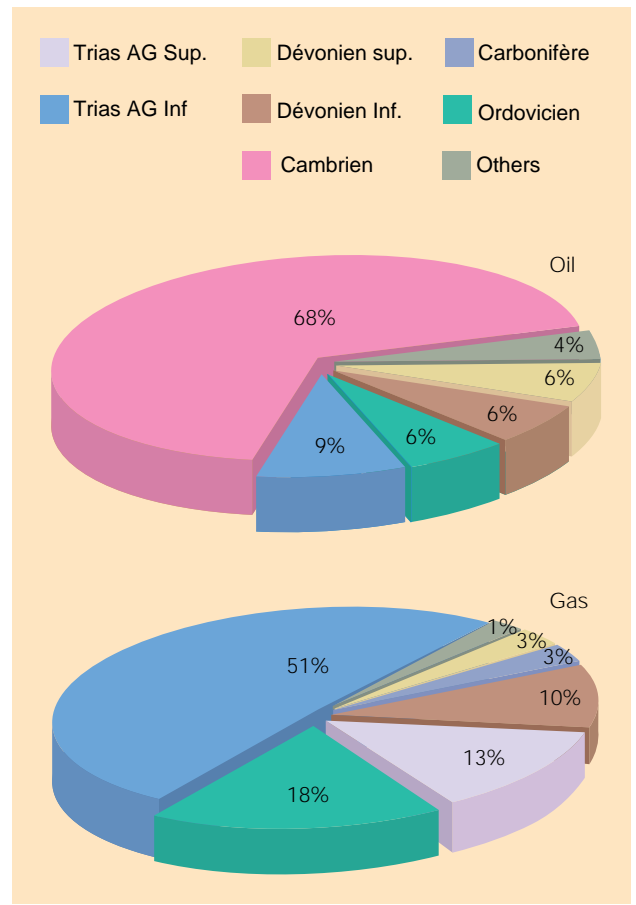


**Fig. 6**

Répartition géographique des réserves par province.

Geographical distribution of reserves by province.

- L'Ordovicien ne contient que 6% de l'huile (en majorité dans le bassin d'Illizi) et 18% du gaz (dont le tiers environ vient aussi du bassin d'Illizi).
- Les réservoirs Siluro-Dévonien renferment en pourcentage à peu près autant d'huile (12% en majorité dans le bassin d'Illizi) que de gaz (13% en majorité dans les bassins de l'Ahnet-Timimoun et d'Illizi).
- Le Trias, quant à lui, ne renferme que 10% de l'huile, essentiellement dans les bassins de Oued Mya et Rhourde Nouss, et 64% du gaz en majorité dans le gisement de Hassi Rmel (Oued Mya).
- Enfin les autres réservoirs du Carbonifère et du Méso-cénozoïque ne renferment pour le moment que des quantités négligeables d'hydrocarbures.



**Fig. 7**

Répartition stratigraphique des réserves initiales en place.

Stratigraphical distribution of initial reserves in place.

- Ordovician rocks contain only 6% of the oil (mostly in the Illizi Basin) and 18% of the gas (of which a third also comes from the Illizi Basin).
- The Silurian-Devonian reservoirs contain, in percentage terms, about the same amount of oil, (12%, mainly in the Illizi Basin, as gas, (13%), mostly in the Ahnet-Timimoun and Illizi basins.
- The Triassic contains only 10% of Algeria's oil, mostly in the Oued Mya and Rhourde Nouss basins, but 64% of the gas, mainly in the Hassi Rmel Field (Oued Mya).
- Hydrocarbon volumes in other stratigraphic intervals, such as the Carboniferous and Meso-Cenozoic are currently negligible.

## ANALYSE DE L'HISTORIQUE DES DECOUVERTES

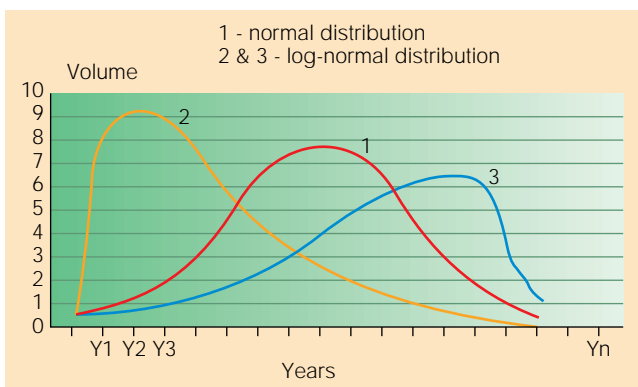
Dans ce chapitre nous allons tenter d'étudier l'évolution des résultats pétroliers et de les relier à tous les paramètres dont ils dépendent: volume des travaux de recherche, concepts et technologies utilisés, environnement géopolitique.

### Cas théoriques

Le cas de base (Fig.8) devrait être un bassin sédimentaire simple ayant fait l'objet d'une exploration continue avec introduction progressive de tout nouveau concept ou toute nouvelle technologie susceptible de permettre de déceler toute accumulation d'hydrocarbure existante. Dans ce cas, la distribution des découvertes en volume et dans le temps, devrait être normale, avec des découvertes importantes au milieu de la période de recherche surtout.

Selon la complexité du bassin rencontré, la distribution des découvertes va tendre vers une distribution statistique Log-Normale. Dans ces cas, les découvertes les plus importantes se feraient en début ou en fin de période de recherche.

Ces cas basés sur les différents types de distribution des probabilités, ne sont malheureusement pas toujours applicables surtout quand la province pétrolière n'est pas homogène, est trop complexe au point de vue géologie, ou n'a pas fait l'objet d'un effort de recherche continu avec des concepts et des techniques adaptés.



**Fig. 8**

Probabilité théorique de distribution des découvertes.

Theoretical distribution of discovery probability.

## HISTORICAL ANALYSIS OF THE DISCOVERIES

This section studies the evolution of the oilfield results and links them to all the parameters on which they depend; the amount of exploration, the methods and technologies used and the geo-political environment.

### Theoretical case

The basic case (Fig. 8) would be a simple sedimentary basin which had been explored continuously with the gradual introduction of new methods or technologies capable of improving the detection of all existing hydrocarbon accumulations. In such an ideal case the distribution of discovery volume through time should be statistically normal with the important finds concentrated in the middle of the exploration period.

In more complex basins the discoveries will tend towards a log-normal statistical distribution, with the major finds being made either at the beginning or the end of the exploration period.

These theoretical cases, based on different probability distributions, are unfortunately not always applicable. When the selected oil region is not homogeneous, or is geologically complex or has not been subjected to a continuous exploration effort using appropriate methods and techniques, the model breaks down.

### The Algerian case

Algerian oil discoveries since 1948 (Fig. 9) occurred in three distinct phases.

- The early phase ran through the 1950s and 1960s, the largest discoveries being made in 1956. After this peak, the latter part of this phase was marked by a continual decrease in the number of reservoirs discovered each year.
- The second phase covered the 1970s, and was characterized by a very low but constant discovery rate.
- The third and final phase covers the 1980s and 1990s and appears to herald a new increase in the volumes found.

Comparing these results with the development of exploration techniques, the introduction of new methods and the general economic and political climate of the era, we can trace the progression given below.

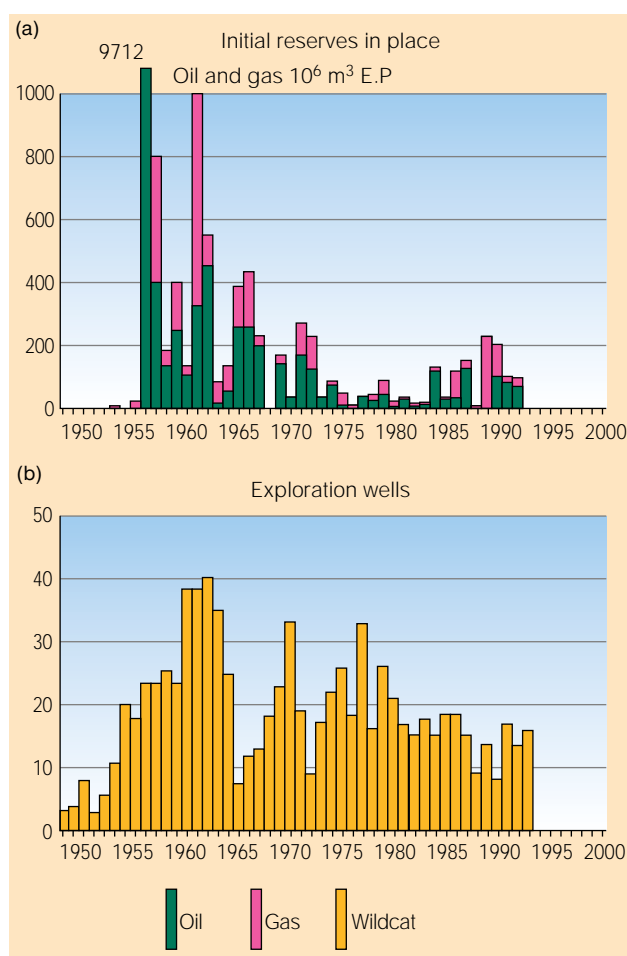
### Cas "Algérie"

L'analyse de l'historique des découvertes réalisées depuis 1948 (Fig. 9), fait apparaître trois périodes distinctes:

- Une première période, au cours des années 50 et 60, pendant laquelle sont enregistrées les plus grosses découvertes dès 1956, suivies d'une réduction continue des volumes découverts chaque année.
- Une deuxième période au cours des années 1970 caractérisée par un niveau constant et très bas des volumes découverts.
- Enfin une troisième période au cours des années 80 et 90 qui semble annoncer une nouvelle augmentation des volumes découverts.

Si nous comparons les résultats pétroliers par rapport à l'évolution de l'effort physique d'exploration, l'introduction de nouvelles techniques et pourquoi pas aussi à l'environnement général de l'époque, nous constatons alors:

- Une première période qui a duré de 1910 à 1950 environ, et qui n'a consisté en fait qu'à rechercher du pétrole sur la base d'indices de surface sans grand résultat d'ailleurs.
- Une deuxième période entre 1950 et 1970 qui a connu un véritable démarrage de travaux à grande échelle (Sahara surtout) avec introduction de la sismique et du forage à des profondeurs plus importantes. C'est ce qui a permis d'enregistrer la découverte des gisements les plus importants dès 1956. Mais très rapidement non seulement le nombre de forages a diminué mais aussi les découvertes. Il faut rappeler l'environnement politique de l'époque et le retrait de nombreuses compagnies pétrolières, au lendemain de l'indépendance (1962).
- La troisième période, entre 1970 et 1985, est caractérisée par une réduction très importante du nombre de forages d'exploration d'ailleurs concentrés autour des gisements déjà existants, d'où des volumes d'hydrocarbures découverts assez modestes, les pièges les plus faciles (structuraux) ayant déjà été découverts.



**Fig. 9**

Historique de l'exploration en Algérie.

Exploration history of Algeria.

- From 1910 to 1950, exploration involved looking for oil strictly on the basis of surface indications - an approach which yielded very few positive results.
- Between 1950 and 1970 the Algerian oil industry underwent a major change, with exploration work being carried out on a large scale, (especially in the Sahara) and seismic techniques and deeper drilling introduced. These technical advances led to the discovery of Algeria's most important fields as early as 1956. However, the number of wells drilled and the number of discoveries decreased rapidly through the second half of this period. The uncertain political climate in Algeria and consequent withdrawal of oil companies after independence in 1962, were major causes of a reduced exploration effort.

Durant cette période, l'environnement politique n'était pas non plus favorable à l'accroissement des efforts du fait d'un nouveau retrait des compagnies pétrolières à la suite de la nationalisation de l'industrie pétrolière algérienne.

Ainsi donc durant cette période, ni l'environnement, ni l'orientation de l'effort de recherche vers de nouveaux enjeux, ni le volume de puits d'exploration, ni les concepts ou les moyens technologiques (en dehors de l'enregistrement analogique introduit en sismique et d'un début de reconnaissance en zones peu explorées) pour rechercher de nouveaux types de pièges, ne sont favorables à un maintien ou un accroissement du volume d'hydrocarbures découvert.

La quatrième période à partir de 1980, va par contre être caractérisée par:

- un nette orientation de l'effort de recherche vers des zones encore peu explorées, complexes ou d'accès difficile, qui avaient déjà été préparées par des travaux de reconnaissance sismique au cours des années 1970;
- L'introduction de nouveaux concepts et de nouvelles technologies dans tous les domaines (géologie, géochimie, réservoir, sismique, forage, ...etc.);
- La modification complète de la réglementation en matière d'exploration et de production, qui a rendu le domaine minier algérien très attractif et attiré de nombreuses compagnies pétrolières internationales;
- Un accroissement sensible des volumes d'hydrocarbures découverts chaque année.

On peut conclure, pour le "Cas Algérie", qu'il ne correspond pas bien sûr à un bassin ou une province homogène, et que son historique de recherche a été très influencé par des événements conjoncturels ou technologiques qui ont donné le résultat suivant:

- une période du "pétrole facile" entre 1956 et 1972;
- une période de "rupture" correspondant à des travaux de production et d'extension surtout;
- une nouvelle période du pétrole "moins facile" dont on ne connaît pas encore la fin mais dont nous pouvons prévoir les résultats entre un minimum de 100 millions et un maximum de 400 millions de mètres cubes d'hydrocarbures en place à découvrir par année.

- From 1970 to 1985 there was a significant reduction in exploration drilling, with most new wells being drilled around existing fields. The volumes discovered in this period were modest, because the large, obvious (structural) traps had already been located. During this phase, the prevailing economic climate resulted in a very limited search for new plays. In 1971 the Algerian oil industry was nationalised. The restricted search, and the small number of exploration wells being drilled, proved major obstacles to maintaining hydrocarbon reserves. The analogue recording technique which was introduced in seismic studies and the start of exploration in new areas were the only developments during this period which made significant contributions to the search for new oil and gas accumulations.

The fourth period of exploration started in 1980 and has been characterized by:

- a change in exploration policy, with more effort directed towards exploration in unexplored, complex or remote regions that had been assessed by seismic investigations during the 1970s;
- the introduction of new methods and technology in all of the relevant disciplines, (geology, geochemistry, reservoir engineering, seismic, drilling etc.);
- a complete overhaul of the regulations governing exploration and development which has made Algeria very attractive to many international oil companies;
- a significant increase year-on-year in the volume of hydrocarbons discovered.

The Algerian case does not correspond to a homogeneous basin or province and the history of oil exploration in this country has been heavily influenced by associated events and technological developments which can be summarized as follows:

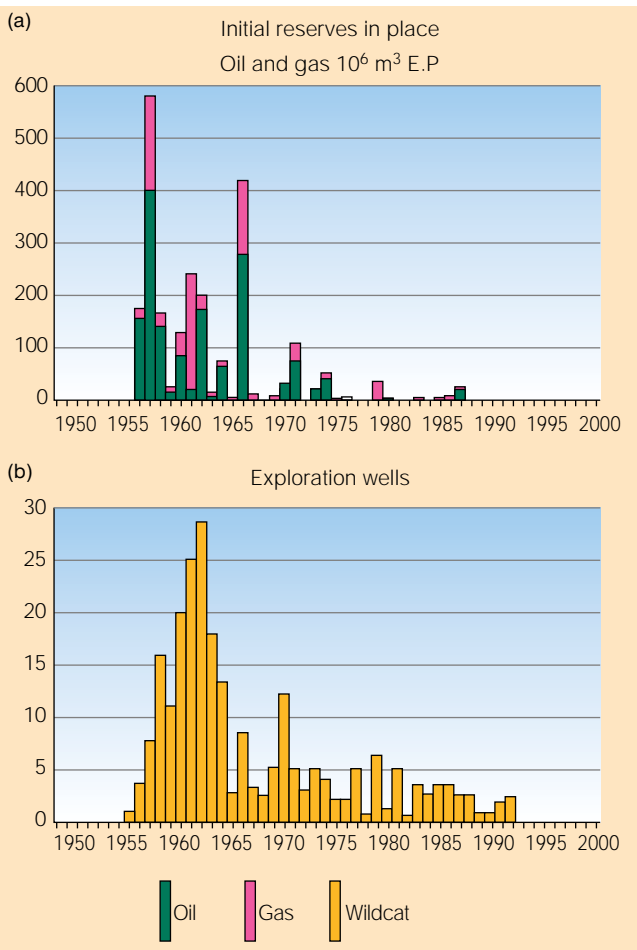
- a period of 'easy oil' from 1956 - 1972;
- a period of 'disruption' above all dedicated to the extension of production;
- a new period of 'not so easy oil', for which the outcome is not yet known but may be predicted as an annual discovery of between 100 million and 400 million m<sup>3</sup> of hydrocarbon in place.

**ANALYSE PAR PROVINCE PETROLIERE**

Nous utilisons ici le terme de province et non de bassin sédimentaire, parce qu'il est évident que l'évolution des travaux d'exploration et leur concentration relative ne s'est pas faite en tenant compte seulement des critères géologiques mais aussi des critères géographiques (topographies, infrastructures, etc.). C'est pour cette raison que nous avons découpé le domaine minier total, correspondant à toutes les surfaces sédimentaires "utiles" en plusieurs provinces dont nous n'étudierons ici que quelques cas représentatifs.

**La province d'Illizi**

La distribution des découvertes (Fig.10) semble indiquer que nous avons à faire à un bassin facile et mature du point de vue exploration. Il faut, cependant, signaler que l'essentiel de ces



**Fig. 10**

Bassin Illizi. Réserves initiales en place (a) et puits d'exploration (b).

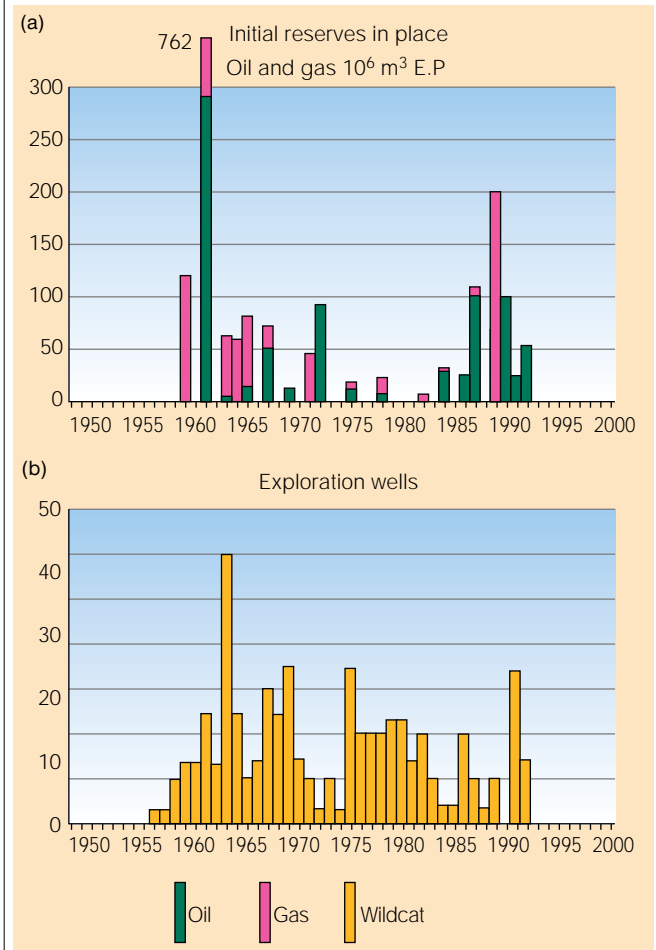
Illizi Basin. Initial reserves in place (a) and Exploration wells (b).

**ANALYSIS BY PETROLEUM REGION**

The term 'petroleum region' is used here, in preference to 'sedimentary basins', because it is apparent that the evolution of exploration efforts and their relative concentration is based not only on geological criteria, but also on geographical factors (topography, infrastructure, etc.). For this reason, the total mineral assets, associated with all those 'useful' sedimentary surfaces, will be considered region-by-region. The nature of the regions will be illustrated by a few representative examples from each.

**The Illizi region**

The distribution of discoveries (Fig. 10) seems to indicate that this is a simple basin at a mature stage of exploration. Most of the finds are associated with structural traps or sometimes



**Fig. 11**

Bassins Rhourde Nouss et Ghadames. Réserves initiales en place (a) et puits d'exploration (b).

Rhourde Nouss and Ghadames basins. Initial reserves in place (a) and Exploration wells (b).

découvertes correspondent à des pièges de type structural ou parfois mixte, alors qu'il est reconnu que dans ce bassin, il existe de nombreuses possibilités de pièges subtils à peine explorés puisqu'aucune méthode d'exploration adaptée (sismique surtout) n'a été introduite à ce jour dans cette province. Le bassin d'Illizi n'a pas fait l'objet non plus de travaux de forage importants depuis 1970 puisque le nombre de puits d'exploration a rarement dépassé 3 ou 4, tous implantés sur des pièges structuraux.

Enfin les récentes découvertes de l'Association SONATRACH-REPSOL en 1993 semblent plutôt indiquer et peut-être annoncer une nouvelle période au cours de laquelle des découvertes dépassant les 50 millions de mètres cubes en place sont encore possibles grâce surtout à l'introduction de nouvelles techniques (sismique et études intégrées).

### La province Ghadamès - Rhourde Nous

La distribution des découvertes est, dans ce cas, déjà nettement différente par rapport à Illizi. Nous sommes en présence de deux périodes distinctes séparées par une dizaine d'années d'arrêt avec très peu de découverte. Nous constatons par contre que le nombre de puits d'exploration est assez élevé au milieu de la première période (entre 1956 et 1973) et qu'il est resté relativement élevé au cours de la période d'interruption de découvertes (1973-1983). En fait, il faut nuancer cette analyse par des détails très importants qui ont beaucoup influencé aussi bien le volume des travaux que celui des découvertes.

- La majorité des puits d'exploration réalisés entre 1956 et 1983 sont situés en bordure de cette province (Rhourde Nous, Gassi Touil), à accès plus facile, ayant surtout bénéficié très rapidement des infrastructures devant servir le bassin d'Illizi situé plus au Sud.
- Malgré cela seuls les pièges structuraux décelés dans cette bordure ont été explorés.
- Le maintien d'un nombre élevé de puits d'exploration entre 1975 et 1983 sur cette bordure, n'a pas non plus donné lieu à des découvertes importantes, puisque ces travaux ne se sont poursuivis que sur des objectifs structuraux de petites failles. La sismique de l'époque ne permettait même plus de les cartographier avec précision.
- Il a fallu attendre l'introduction de nouveaux moyens de recherche (sismique et forage) à partir de 1983 pour permettre un accroissement des découvertes notamment dans les zones ou sur les enjeux peu explorés jusque là (objectifs profonds, nouveaux prospectus situés au centre du bassin de Ghadamès).

mixed traps. It is known that in this basin there are numerous possibilities for subtle traps, which have hardly been explored as no appropriate methods (particularly seismic) have been widely introduced here as yet. The Illizi Basin has not been drilled extensively since 1970, with the number of wildcat wells rarely exceeding three or four per year. All of these wildcats have been located on structural traps.

Recent discoveries by the SONATRACH-REPSOL Association in 1993 appear to indicate the start of a new period in which discoveries exceeding 50 million m<sup>3</sup> of hydrocarbon in place will be possible. This change reflects the introduction of new techniques, particularly in seismics, and the development of integrated studies.

### The Ghadamès -Rhourde Nous region

The distribution of discoveries in this region (Fig. 11) is quite different to that in the Illizi Basin. There were two distinct periods of exploration activity in the Ghadamès -Rhourde Nous Region separated by a decade of relative inactivity with barely a discovery. However, the number of wildcats, which was high during the middle of the first period (between 1956 and 1973), has remained fairly high during the interrupted discovery period (1973-1983). This analysis must take into account important details which influenced both the amount of exploration activity and the number of discoveries.

- The majority of wildcats drilled between 1950 and 1983 were located on the edge of this region (Rhourde Nous, Gassi Touil) where access was relatively straightforward, and exploration companies benefited from the infrastructure set up for the Illizi Basin to the south.
- In spite of this favourable location only structural traps, detected on the margins were explored.
- A large number of exploration wells were drilled along the margins, between 1975 and 1983. However, these did not produce any important discoveries. The drilling programme was limited to small scale structural prospects which could not be imaged precisely using existing seismic methods.
- The introduction of improved exploration seismic and drilling methods, starting in 1983, increased the number of discoveries. These were concentrated in areas and plays which had, until then, seen little exploration activity (deep objectives and new prospects located in the centre of the Ghadamès Basin).

Nous pouvons donc conclure que cette province, assez complexe, n'est pas à maturité au point de vue exploration et est caractérisée par deux périodes de découvertes distinctes, dont la deuxième qui a démarré vers 1984 est loin d'être terminée. Nous pouvons espérer des découvertes d'au moins 50 à 150 millions de mètres cubes en place.

### La province Ahnet - Timimoun

On retrouve approximativement le même type d'évolution des découvertes (Fig. 12) que dans la province Ghadamès - Rhourde Nous. Une première période au cours des années 50 qui correspond aux premières découvertes de gaz dans la partie Ouest du Sahara où les premiers forages sont beaucoup plus implantés à partir de la géologie de surface.

Une deuxième période au cours des années 60 et en partie 70, au cours de laquelle les travaux et les découvertes sont pratiquement insignifiants. Une seule découverte de gaz a été faite en 1972 à Téguentour. Cette situation est due essentiellement à l'abandon de cette province au profit de la partie Est du Sahara devenue très perspective en hydrocarbures liquides, et du peu d'intérêt du gaz à l'époque.

La troisième période qui démarre au milieu des années 70 correspond à un nouvel accroissement des travaux d'exploration et des découvertes encore modestes, mais qui montrent que le potentiel ultime de cette province n'est pas encore atteint.

### La province Sbâa

Nous avons tenu à analyser à part cette zone parcequ'elle correspond à tous les points de vue à une province très homogène:

- surface réduite;
- géologie et conditions de surface peu complexes;
- programme de travaux d'exploration récents et non-interrompus.

Nous avons ainsi à faire, presque, à un cas théorique avec une distribution normale des découvertes dont la taille pourrait rarement dépasser à l'avenir les 20 millions de mètres cubes en place, à moins d'une extension des travaux de recherche sur ses bordures (voûte d'Azzene surtout) moins explorées.

To summarize - this basin is fairly complex and exploration has not reached a 'mature' stage. The Ghadamès Basin is characterized by two distinct periods of discovery - the first running from 1956 to 1973 and the second which began around 1984 and is far from over. Finds of at least 50 to 150 million m<sup>3</sup> in place are expected.

### Ahnet Timimoun region

The evolution of discoveries in the Ahnet Timimoun Region (Fig. 12) is similar to that in the Ghadamès - Rhourde Nous. During the 1950s the first gas discoveries were made in the western Sahara, where wells were positioned from analysis of surface geology.

A second period, during the 1960s and the early 1970s was marked by reduced exploration effort and very small or insignificant discoveries. A single gas discovery was made in 1972 at Téguentour. This limited success is due primarily to the abandonment of the region in favour of the eastern Sahara, which became a good prospect for liquid hydrocarbons at a time when there was very little interest in natural gas.

The third phase of oil and gas discovery in this region started in the mid 1970s. This phase is marked by a renewed emphasis on exploration and modest discoveries. It has shown that the ultimate potential of this region has yet to be reached.

### The Sbaa region

The Sbaa Region is evaluated separately (Fig. 13) because it is a homogeneous area characterized by:

- a small surface area;
- straightforward geology and surface features;
- a recent and uninterrupted history of exploration activity.

The Sbaa Region is an almost perfect theoretical case, with a normal distribution of discoveries where, according to the model, future finds would rarely exceed 20 million m<sup>3</sup>. However, this probable upper limit could be raised if exploration effort was increased along the less explored margins of the region, especially the Azene Ridge.

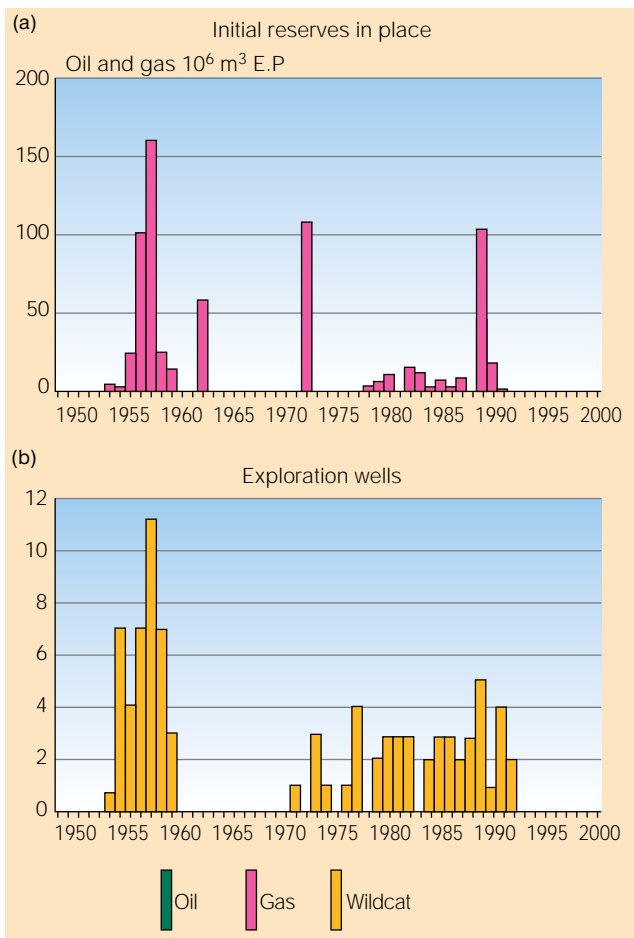


Fig. 12

Bassin Ahnet - Timimoun. Réserves initiales en place (a) et puits d'exploration (b).

Ahnet - Timimoun Basin. Initial reserves in place (a) and exploration wells (b).

**La province Oued Mya - Hassi Messaoud**

L'analyse des historiques des travaux et des découvertes de cette province met en évidence autant de complexité que de contradictions. Les plus grosses découvertes sont bien sûr faites dès 1956 au cours d'une première période de forages dont le déclin, entre 1962 et 1965, est identique à celui de toutes les autres provinces.

La reprise des ouvrages au cours des années 1970, à niveau pourtant plutôt important que dans le passé, n'a malheureusement donné naissance à aucun résultat significatif. Cela est dû à la concentration des forages autour des gisements déjà explorés et sur des enjeux ou des objectifs structuraux souvent de taille très réduite.

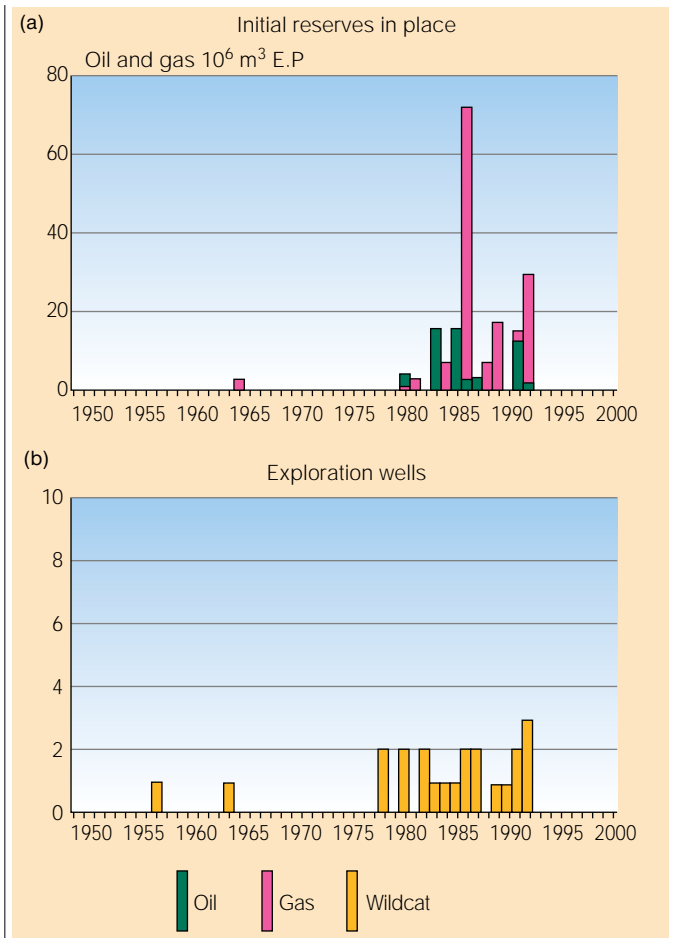


Fig. 13

Bassin Sbaa. Réserves initiales en place (a) et puits d'exploration (b).

Sbaa Basin. Initial reserves in place (a) and exploration wells (b).

**The Oued Mya - Hassi Messaoud region**

A review of hydrocarbon exploration and discovery in this region (Fig. 14) reveals a history full of complexity and contradiction. The largest discoveries were made by 1956 during the first period of exploration. The declining discovery rate between 1962 and 1985 is observed in all the other regions.

Despite renewed exploration activity during the 1970s, at a much higher level than in the past, no significant discoveries date from this decade. This was due to exploration efforts being concentrated in areas around previously explored deposits and on plays where the prospects were small-scale structures.

Il aura fallu attendre les années 1980 pour introduire dans cette province des concepts liés à de nouveaux enjeux, et bien sûr des techniques adaptées, puisque, finalement, avec moins de puits d'exploration les résultats sont meilleurs. Enfin il est admis, à l'heure actuelle, que la majeure partie des réserves restantes à découvrir dans cette province, est renfermée dans les pièges stratigraphiques ou encore des objectifs profonds et complexes comme l'Ordovicien. Ces pièges pourront renfermer chacun un minimum de 50 à 100 millions de mètres cubes équivalent pétrole en place.

### Les autres provinces

Elles ont toutes fait l'objet à un moment ou à un autre de travaux d'exploration. Mais cet effort n'a été ni adapté, ni continu, ni suffisant, de telle sorte que les rares résultats enregistrés ou leur absence, ne permettent en réalité aucune analyse sensée.

The 1980s saw the introduction of new ideas for plays and advanced technology. These changes produced better results with fewer wildcat wells. At present, the majority of probable and possible reserves in this region are believed to be located either in stratigraphic traps or in deeper, more complex targets such as those found in the Ordovician. These traps are expected to contain a minimum of 50 - 100 million m<sup>3</sup> of oil equivalent in place.

### Other regions

These have all at one time or another been the subject of exploration. However the effort has not been properly developed, or sufficiently sustained, and the rarity (or complete lack) of results recorded do not permit a realistic assessment.

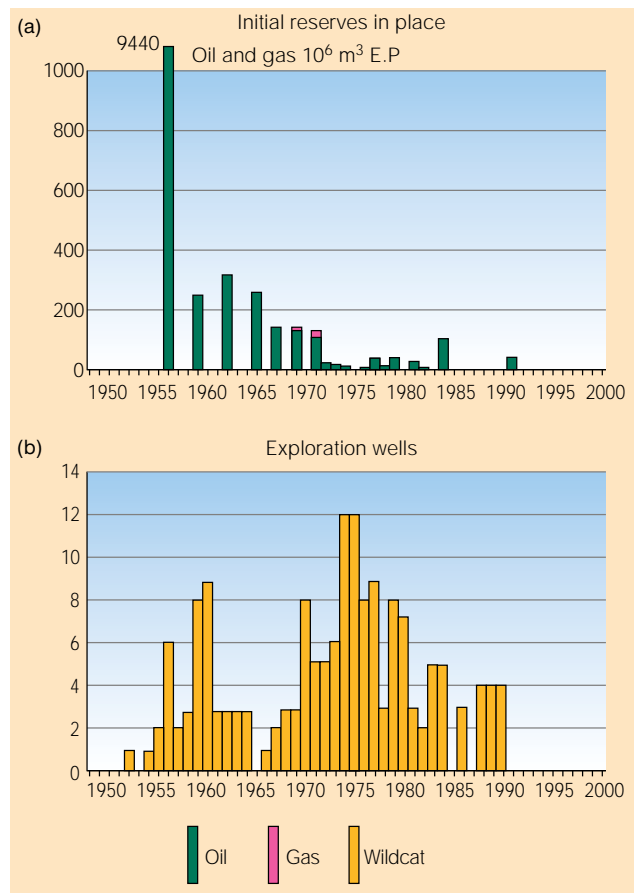


Fig. 14

Bassins Oued Mya et Hassi Messaoud-Dahar. Réserves initiales en place (a) et puits d'exploration (b)

Oued Mya and Hassi Messaoud-Dahar basins. Initial reserves in place (a) and exploration wells (b).

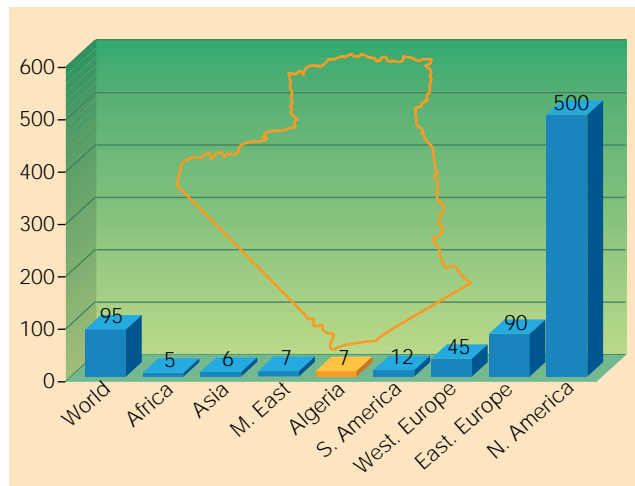


Fig. 15

Puits d'exploration. La densité moyenne d'exploration pour l'Algérie est de 7 puits /10,000 km².

Exploration wells. The average value for Algeria is 7 wells/10,000 km².

On peut tout juste établir le constat de "provinces sous explorées" dont le potentiel ultime est inconnu ou loin d'être atteint.

## CONCLUSION

Les bassins sédimentaires algériens couvrent plus de 1.5 million de kilomètres carrés avec une épaisseur dépassant 3000 mètres dans le plupart des cas. La présence des roches mères épaisses, riches en matière organique, les conditions de génération des hydrocarbures et les multiples réservoirs et couvertures répartis à travers la section stratigraphique font que le potentiel en hydrocarbures de l'Algérie est très important et ce aussi bien en gaz qu'en huile, sur la plate-forme saharienne et le Nord de l'Algérie.

Avec une densité moyenne d'exploration de 7 puits par 10 000 km² (allant de moins de un puits à Tindouf à 29 à Illizi), l'Algérie reste inégalement et sous explorée (Fig. 10).

Alors que dans le monde la densité est de 95 en moyenne, (5 en Afrique, 6 en Asie, 7 au Moyen Orient, 12 en Amérique du Sud, 45 en Europe d l'Ouest, 90 en Europe de l'Est et 500 en Amérique du Nord). La plupart des puits ont été forés avant le milieu des années soixante dix, avec donc des concepts et des technologies dépassées.

These areas can be just about labelled 'under-explored regions' whose ultimate potential is unknown and, it is believed, is still far from being reached.

## CONCLUSION

The sedimentary basins of Algeria cover more than 1.5 million km² with an average thickness exceeding 3000 m in most cases. The presence of thick source rocks rich in organic material, the right conditions for hydrocarbon generation, and multiple reservoir layers and seals spread throughout the stratigraphic section, offer excellent oil and gas potential on the Sahara platform and throughout the northern part of the country.

With an average exploration drilling density of approximately 7 wells/10,000 km², (values range from less than one at Tindouf to 29 at Illizi), Algeria remains both unequally explored and under-explored.

The world average is 95 wells / 10,000 km² (5 in Africa, 6 in Asia, 7 in the Middle East, 12 in South America, 45 in Western Europe, 90 in Eastern Europe and 500 in North America). The majority of exploration wells in Algeria were drilled before the mid 1970s, using methods and technology which are now considered obsolete.

L'analyse de l'historique des travaux d'exploration et des découvertes met en évidence une influence primordiale des interruptions des travaux liées à des situations conjoncturelles, et par conséquent des résultats qui ne correspondent absolument pas au potentiel ultime.

Un nouvel effort adapté, basé surtout sur l'introduction de nouveaux concepts, de nouvelles technologies, et le principe de forer mieux et non pas plus, est en mesure d'accroître de façon très sensible les réserves en hydrocarbures aussi bien dans les provinces déjà explorées ou développées que dans celles encore sous explorées.

The history of exploration activities and discoveries highlights the adverse effects of interruptions and uncertainties caused by events outside the control of the petroleum industry. This has led to some disappointing results which do not reflect Algeria's ultimate oil and gas potential.

The implementation of new exploration efforts, based on modern methods and advanced technologies is the way ahead for the oil industry. These changes, coupled with the principle of drilling high quality wells, (rather than a high quantity of poor ones), are likely to increase hydrocarbon reserves substantially, not only in Algeria's older provinces but in the regions which remain under-explored.