

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 64 (1971)
Heft: 3

Artikel: Géologie structurale du Sahara septentrional, appliquée à l'exploration pétrolière et à l'hydrogéologie
Autor: Chenevart, Charles
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-163994>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Eclogae geol. Helv.	Vol. 64/3	Pages 529–566	6 figures dans le texte et 1 planche (I)	Bâle, déc. 1971
---------------------	-----------	---------------	---	-----------------

Géologie structurale du Sahara septentrional, appliquée à l'exploration pétrolière et à l'hydrogéologie

Par CHARLES CHENEVART, Lausanne

ABSTRACT

The studied area, located in the northern Sahara desert, extends on Algerian and Tunisian territories and covers about 378 000 square miles.

The present study, essentially based on surface geology, deep drillings and seismics, is an attempt to synthesize the main structural discoveries of the recent years, involving, as they do, the paleozoic oil-reservoirs and the mesozoic water-bearing formations.

In chapter I, we consider facts related to structural geology as they are expressed in stratigraphic events (angular unconformities) occurred from Precambrian to Pliocene.

In chapter II, description is given of the specific, then of the cumulative effects of Suggarian, Pharusian, Caledonian, Hercynian, Cimmerian and Alpine orogenies.

Chapter III deals with the present configuration of Sahara subsurface structures, which essentially consist of horst-shaped highs, north-south trending, flat-topped structures, strongly faulted on their flanks. Broad grabens run parallel with them. Thus, this horst-and-graben tectonic, evidenced by factual observations, is in sharp contrast with what has been called the "Sahara shield".

The main north-south trending horsts are: the Arak–Hassi R'Mel Arch, the Amguid–Hassi Messaoud Arch and the Tihemboka–Edjeleh Arch.

In chapters IV and V, results obtained by structural geology are applied to petroleum exploration (delineation of prospective areas) and to hydrogeology.

While structural geology has been largely used by petroleum geologists, hydrogeologists seem to have minimized its importance in the studied area. Our conclusions outline the impact of subsurface structures, not only on oil migration and accumulation, but also on distribution and, hence, on exploitation of groundwater in Northern Sahara.

RÉSUMÉ

La présente étude est une synthèse des faits structuraux observés dans le Sahara septentrional, plus particulièrement dans cette partie du désert qui, d'une superficie de 980 000 km², s'étend sur les territoires algérien et tunisien.

Dans un *premier chapitre*, ces faits structuraux sont examinés dans le contexte de la stratigraphie, c'est-à-dire qu'ils sont déduits des données stratigraphiques fournies par la géologie de surface, les forages profonds et la géophysique.

Au *chapitre II* sont inventoriés les effets cumulatifs, les interactions des orogénèses successives (Suggarienne, Pharusienne, Calédonienne, Hercynienne, Cimérienne et Alpine) sur les volumes de roches du Socle, du Paléozoïque, du Mésozoïque et du Cénozoïque.

Le *chapitre III* traite de cet aboutissement des faits de stratigraphie et de cinématique qu'est la configuration actuelle de la subsurface saharienne. Cette réalité actuelle diffère de celle que présentait, avant l'épopée du pétrole saharien, l'hypothèse d'un « bouclier saharien » peu ou pas plissé. Les trois principales dorsales méridiennes, qui traversent le Sahara septentrional, sont affectées de fortes dislocations et présentent un style tectonique en « horst », flanquées qu'elles sont de larges et profonds « graben ».

Les *chapitres IV et V* présentent les effets de la tectonique cassante sur la migration des hydrocarbures et leur concentration en zones privilégiées, de même qu'ils font ressortir l'importance de la géologie structurale dans ses applications à l'hydrogéologie saharienne.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	531
Introduction	532
I. Stratigraphie saharienne et orogènes successives	533
A. Discordances dans l'ensemble de la série stratigraphique	535
B. Orologènes suggarienne et pharusienne	535
1. Effets observables dans le Hoggar	535
2. Effets observables dans la région de Reguibat-Eglab	536
3. Effets sur le Socle atlasique	536
Brève remarque à propos de la série pourprée de l'Ahnet	536
C. Orologène calédonienne	537
1. Effets observables en affleurements	537
2. Effets observables en subsurface	538
D. Orologène hercynienne	538
1. Effets observables en affleurements	538
2. Effets observables en subsurface	539
E. Orologène cimérienne	539
1. Effets observables en affleurements	539
2. Effets observables en subsurface	540
F. Orologène alpine	541
1. Effets observables en affleurements	541
2. Effets observables en subsurface	541
G. Variations latérales de faciès dans l'ensemble de la série stratigraphique	541
II. Cinématique des grands ensembles structuraux	542
A. Volume de roches du Socle	542
B. Volume paléozoïque	543
C. Volumes mésozoïque et cénozoïque	544
III. Configuration actuelle des structures sahariennes de subsurface	546
A. Les dorsales méridiennes actuelles. Permanence dans le temps	546
B. Continuité des dorsales méridiennes dans l'espace	546
1. Le rapide enfoncement des dorsales	546
2. La disposition des dorsales en gradins	547
C. Style tectonique	548
1. Zones anomaliques	548
Brèves remarques sur quelques disharmonies de plissement	550
D. Bassins structuraux de subsurface	551
IV. Structures sahariennes et exploration pétrolière	552
A. Mise en place des hydrocarbures sahariens	553
B. Cas aberrant d'Hassi Messaoud	554
C. Les «Tops» sismiques	555
D. Gisements potentiels du Sahara septentrional	555
1. Phénomènes stratigraphiques	555
2. Phénomènes structuraux	556
a) Inversion du relief	556
b) Les failles	556
3. Répartition géographique	557

V. Structures sahariennes et hydrogéologie	558
A. Définition du Continental Intercalaire	558
B. Géométrie des Aquifères du Continental Intercalaire	559
1. Extension horizontale	559
2. Epaisseurs	559
C. Eléments structuraux régissant la géométrie des Aquifères	560
D. Bassins structuraux et barrières hydrauliques	561
1. Barrières hydrauliques résultant de la structure	562
2. Barrières hydrauliques résultant de la stratigraphie	562
3. Barrières hydrauliques procédant des pressions	562
a) Les grandes drainances sahariennes	563
b) Effet global des hautes pressions	563
E. Compartimentage des Nappes aquifères du Continental Intercalaire	563
Conclusions générales	564
Ouvrages cités	566

Avant-propos

En exploration pétrolière, la géologie structurale est considérée comme le préalable nécessaire à toute implantation de forage, par cela même que son objet est l'étude des déformations des couches stratigraphiques ou, plus spécifiquement, parce qu'elle définit les structures géologiques de surface et de subsurface et établit la géométrie des réservoirs. Dans l'ensemble des phénomènes qui régissent le mouvement des fluides, les structures géologiques constituent, en effet, une des causes efficaces de la migration des hydrocarbures et de leur concentration en quelques points privilégiés. Aussi, au Sahara, tous les moyens d'investigation géologiques et géophysiques ont été mis en œuvre pour les déceler.

Qu'en est-il *en exploration hydrogéologique*? Les lois, qui impriment aux nappes aquifères une direction d'écoulement, sont, pour la plupart, différentes de celles qui président aux déplacements du pétrole au sein des réservoirs. Est-ce à dire que l'influence des structures géologiques ne s'exerce que subsidiairement sur les aquifères et que, conséquemment, la géologie structurale peut demeurer une discipline accessoire en hydrogéologie?

L'inventaire complet et l'étude systématique des travaux antérieurs à la présente note, met en relief l'abondance des documents traitant des ressources en eau du Sahara. Parmi ces documents, les plus récentes synthèses constituent de véritables sommes des connaissances accumulées par les hydrogéologues sahariens. Par l'effort de compilation stratigraphique qu'elles impliquent, par la valeur des données qu'apportent leurs conclusions, ces synthèses sont d'une incontestable utilité. Cependant, on peut s'étonner que les principaux faits de géologie structurale, solidement établis par les géologues et géophysiciens pétroliers, n'y soient pas mentionnés. On trouve encore dans leur texte, l'hypothèse du « Bouclier saharien » à couverture sédimentaire à peine affectée par les orogènes successives, hypothèse que semblent, pourtant, avoir rendue caduque les campagnes de sismique et de forages profonds qui, depuis bientôt un quart de siècle, ont précédé et suivi la découverte du pétrole au Sahara.

Cette constatation nous a incités à exposer, ici, les faits d'observation qui dissipent l'image d'un Sahara à tectonique tranquille, caractérisé par des anticlinaux et syncli-

naux à immense rayon de courbure. Ces faits substituent à cette image la réalité des grands ensembles structuraux à *tectonique cassante* conférant au Sahara un style en « horst et graben ». Si une telle tectonique ouvre à l'exploration pétrolière la perspective de nouvelles découvertes, le compartimentage des réservoirs, qui en résulte, impose possibilités et limitations à toute exploitation rationnelle des ressources sahariennes, possibilités et limitations que ne saurait ignorer l'hydrogéologie, comme nous le verrons dans les pages qui suivent.

Mes remerciements vont aux Sociétés du groupe de l'Iraq Petroleum Company, plus particulièrement à la Standard Oil de New Jersey, pour m'avoir autorisé à publier quelques données relatives aux dorsales transverses anciennes et à l'exploration pétrolière. Je remercie, également, l'Organisation des Nations Unies, représentée par l'UNESCO, qui m'a permis d'extraire de mon rapport saharien les détails concernant l'hydrogéologie.

Que mes collègues géologues pétroliers, hydrogéologues, géophysiciens, que mes camarades des grands espaces sahariens, Marc Simonot, S. Cavazza, H. R. Schoute et J. W. Koopmans trouvent ici l'expression de la gratitude que je leur dois pour leur constante et généreuse collaboration.

A Monsieur le Professeur Héli Badoux, Directeur de l'Institut géologique de l'Université de Lausanne, j'exprime mes remerciements de m'avoir, à chacun de mes passages au Pays, fait bénéficier de ses vastes connaissances pratiques des sujets traités dans le présent travail.

Introduction

La région, objet de la présente étude, s'étend, en territoires algérien et tunisien, dans les limites suivantes (fig. 1):

- au Nord, les chaînes de l'Atlas Saharien;
- au Sud, le 27^e parallèle;
- à l'Ouest, la ligne brisée Béchar–La Saoura–Réggane;
- à l'Est, le Golfe de Gabès, la ligne de crête des monts du Dahar tunisien puis la frontière libyenne.

Ainsi circonscrite, la région étudiée a une superficie d'environ 980000 km². Elle comprend les principaux champs pétrolifères actuellement exploités en Algérie et en Tunisie et s'insère dans le domaine endoréique du Sahara septentrional.

Dans les pages qui suivent, la Géologie structurale est décrite à partir de faits d'observation, bien établis par les études géologiques de surface, par les forages pétroliers et par les campagnes de géophysique. Ces faits sont groupés en trois chapitres:

- I. *Stratigraphie saharienne et orogénèses successives;*
- II. *Cinématique des grands ensembles structuraux du Sahara;*
- III. *Configuration actuelle des structures sahariennes de subsurface.*

Une fois définie la Géologie structurale, nous traiterons de ses applications à l'exploration et à l'exploitation des deux principales ressources naturelles du Sahara sep-

tentrional: le pétrole et l'eau. Ces applications, but principal d'un long travail de terrain, seront décrites sous les titres:

IV. *Structures sahariennes et exploration pétrolière;*

V. *Structures sahariennes et hydrogéologie.*

Une brève récapitulation des principales données structurales et quelques considérations relatives à l'utilisation de ces données, en exploration pétrolière et en exploitation des aquifères sahariens, serviront de conclusions générales à la présente étude.

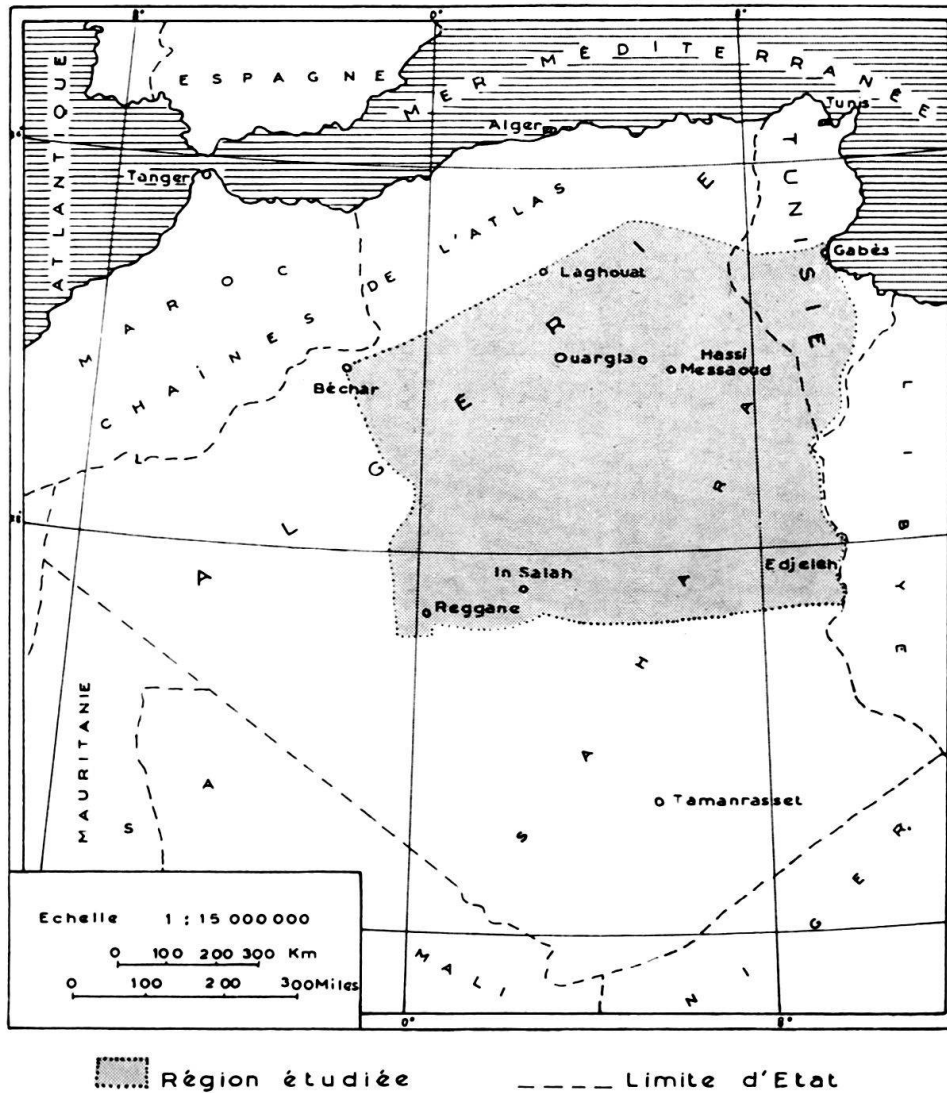


Fig. 1. Carte de position de la région étudiée.

I. STRATIGRAPHIE SAHARIENNE ET OROGENÈSES SUCCESSIVES

De nombreuses publications traitent des séries stratigraphiques du Sahara septentrional, si bien qu'il nous paraît oiseux de les décrire, en détail, une nouvelle fois. Nous avons extrait de quelques logs de forage pétrolier d'une part, de la synthèse BURGEAP

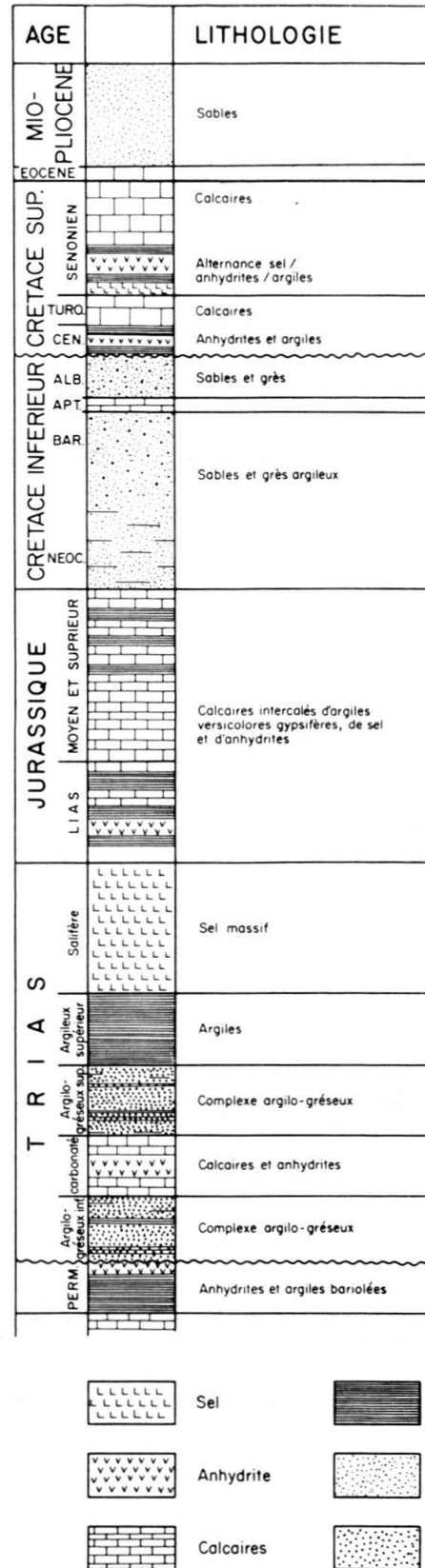
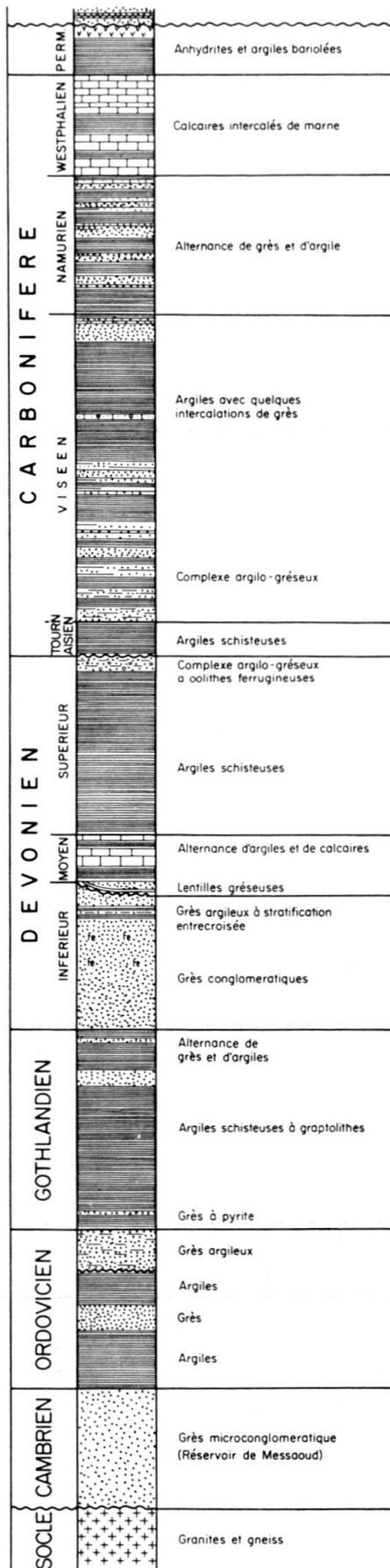


Fig. 2. Coupe stratigraphique simplifiée du Sahara septentrional (sans échelle).

(1963) et des remarquables études de G. BUSSON (1967) et de J. M. FREULON (1964), d'autre part, l'essentiel de la coupe donnée en figure 2.

Nous nous bornerons à distinguer, dans la série stratigraphique de l'ensemble saharien, les phénomènes qui présentent une relation avec la géologie structurale, notamment les discordances et les changements latéraux de faciès.

A. Discordances dans l'ensemble de la série stratigraphique

Il est conforme au bon sens et généralement admis que, dans une série stratigraphique, diastèmes, discontinuités, discordances angulaires sont les effets de mouvements tectoniques de nature variée et traduisant, respectivement, le degré d'intensité de ces mouvements.

Ceci étant et ne retenant de ces effets que les plus intenses, les discordances angulaires, il ressort de l'étude des affleurements et de 240 logs de forage, que le volume de roches qui constitue la subsurface saharienne, a subi les effets d'orogénèses successives qui l'ont marqué de *17 discordances principales*.

La figure 3 est un graphique dans lequel les orogénèses sont portées en ordonnée, tandis qu'en abscisse se trouvent les volumes de roches cristallines et sédimentaires qui constituent la surface et la subsurface sahariennes. Dans l'ordre indiqué, de bas en haut et de gauche à droite, nous étudierons les effets, sur les sédiments syntectoniques, des orogénèses suggarienne, pharusienne, calédonienne, hercynienne, cimérienne et alpine. Dans chacun des quatre volumes de roches nous avons figuré les discordances les plus caractéristiques, numérotées de 1 à 17.

B. Orogénèses suggarienne et pharusienne

Ces deux orogénèses précambriennes, dont la plus ancienne est l'orogénèse suggarienne, ont affecté le socle cristallin, dont environ 300 000 km² affleurent au Hoggar, environ 260 000 km² dans la région Reguibat-Eglab et dont plusieurs pointements jalonnent les culminations axiales des chaînes atlasiques.

1. Effets observables dans le Hoggar

L'orogénèse suggarienne a violemment disloqué, en plis méridiens, une série sédimentaire, actuellement catamétamorphique. Les pendages atteignent souvent la verticale. Les failles à fort rejet sont de direction générale N-S.

L'immense édifice orogénique suggarien a été pénéplané, ce qu'attestent, d'une part, l'importante discordance angulaire qui le sépare des niveaux surincombants et, d'autre part, les conglomérats provenant de sa destruction et qui forment la base du cycle sédimentaire pharusien (conglomérats du Sersouf, de C. KILLIAN et M. LELUBRE).

L'âge suggarien des grandes failles et des venues granitiques concomitantes se démontre dans les quelques affleurements où ces accidents s'interrompent sous le plan de la discordance 1 (fig. 3).

L'orogénèse pharusienne, moins violente que la précédente, a plissé et faillé une série épimétamorphique de conglomérats, de quartzites, de phyllades, de calcaires à *Collenia* (LELUBRE 1952), dont la puissance est de l'ordre de 15000 mètres. Elle s'accompagne de larges épanchements d'andésite et de mise en place de masses granitiques marquées par des zones de mylonitisation.

Les effets de l'orogénèse pharusienne expriment les grands traits structuraux du Suggarien. Plissements et failles sont donc de direction générale N-S avec quelques virgations de caractère local.

2. Effets observables dans la région de Reguibat-Eglab

Nous retrouvons ici les effets des deux orogénèses précambriennes observés dans le Hoggar : *l'orogénèse suggarienne* a plissé et redressé parfois à la verticale la série cristalline et cristallophyllienne de l'Amsaga (A. BLANCHOT); *l'orogénèse pharusienne* a affecté la série d'Akjouit (A. BLANCHOT) moins métamorphique et moins tectonisée que la série d'Amsaga dont elle est séparée par une importante discordance angulaire. La direction des plis et des failles majeures, commune aux deux séries, est SE-NW dans la partie centrale de la dorsale, s'infléchissant graduellement pour devenir SW-NE vers ses extrémités orientale et occidentale.

3. Effets sur le Socle atlasique

Il serait vain de tenter de distinguer, sur le Socle affleurant dans les chaînes atlasiques, les déformations procédant des orogénies suggarienne et pharusienne, celles-ci ayant été complètement oblitérées par les orogénèses plus récentes. Cependant, notons ici, que ce sont sur des trends définis dès le Précambrien que se sont modelés certains grands ensembles atlasiques, dont nous reparlerons dans le chapitre III.

Brève remarque à propos de la Série pourprée de l'Ahnet

En 1949, N. MENCHIKOFF suggère le terme d'Infra-Cambrien pour désigner un ensemble sédimentaire dont P. PRUVOST précise les limites, en 1951. Il s'agit d'une série, pouvant comprendre plus de 2000 mètres de conglomérats et de grès, qui se situe stratigraphiquement entre le Socle précambrien et le Cambrien inférieur ou biozone à *Olenellus*.

Que cette série détritique provienne de la destruction des chaînes pharusiennes est établi, d'une part, par l'existence, à sa base, d'une discordance angulaire (fig. 3, discordance 2) et, d'autre part, par la nature pétrographique et la répartition horizontale et verticale de ses conglomérats. Qu'elle ait été affectée par les mouvements tectoniques pré-tassiliens ressort de deux faits : 1. l'existence, dans sa masse, de failles et de structures pouvant atteindre 30° de pendage ; 2. l'apparition locale d'une discordance angulaire entre son sommet et la base des grès cambriens.

Il importe peu que l'on considère ces mouvements tectoniques non comme une orogénèse, mais comme des mouvements posthumes de l'orogénèse pharusienne ou

des mouvements prémonitoires de l'orogénèse calédonienne. Ce qui importe, dans le cadre de la présente étude, ce sont les preuves que fournit la série pourprée de l'Ahnet, preuve de l'existence d'importantes inégalités du fond du bassin dans lequel cette série se dépose (répartition des conglomérats infra-cambriens), preuve également des différences bathymétriques de l'aire sédimentaire du Cambrien (juxtaposition des séries discordantes et des séries à sédimentation continue), aire ridée de géanticlinaux légèrement émergés, autour desquels se déposent les grès conglomératiques cambriens de Moungar.

OROGENÈSES	AGES	VOLUMES DE ROCHES			
		SOCLE	PALÉOZOÏQUE	MÉSOZOÏQUE	CÉNOZOÏQUE
ALPINE	PLIOCÈNE (Plaisancien)				17
	EOCÈNE MOYEN (Lutétien)				16
CIMÉRIENNE	CRÉTACÉ MOYEN (Albien)				14
	JURASSIQUE INF. (Rhétien)				13
HERCYNIE	CARBONIFÈRE S. (Stéphanien)				12
	DÉVONIEN SUP. (Strunien)				11
CALÉDONIENNE	DÉVONIEN INF. (Coblencien)				10
	ORDOVICIEN SUP. (Ashgillien)				9
PHARUSIENNE ET SUGGARIENNE	INFRACAMBRIEN				8
	PRÉCAMBRIEN				7
					6
					5
					4
					3
					2
					1

Volumes des roches affectés par les orogénèses
 Discordances (Chiffres réf. texte)

Fig. 3. Représentation isométrique de quelques effets des orogénèses sur la sédimentation saharienne. Les chiffres qui indiquent la succession des discordances, sont expliqués dans le texte.

C. Orognèse calédonienne

Dans l'échelle chronostratigraphique, l'orogénèse calédonienne se situe entre la base de l'Ashgillien (Ordovicien supérieur) et le milieu du Coblencien (Dévonien inférieur).

1. Effets observables en affleurements

Ce serait sortir du cadre d'une esquisse tectonique que d'énumérer tous les effets de l'orogénèse calédonienne observables dans les affleurements périphériques de la région étudiée. Nous ne mentionnerons que :

- a) La grande régression de l'Ashgillien qui marque le début de cette orogénèse et entraîne une lacune stratigraphique s'amplifiant de l'Atlas et de l'Ougarta vers le synclinal de Tindouf où le Gothlandien moyen repose en discordance sur l'Ordovicien tronqué (fig. 3, discordance 3).

- b) La grande transgression du Dévonien inférieur qui, de l'Anti-Atlas, envahit une surface de plus en plus profondément érodée en direction de la dorsale de Reguibat-Eglab (discordance 4,5) et *marque la fin de l'orogénèse calédonienne*.

2. Effets observables en subsurface

Dans les forages sahariens, les difficultés de corrélation se font plus évidentes sous le repère radioactif du Llandovérien (Pic Gamma Ray), c'est-à-dire dans l'intervalle stratigraphique correspondant au début de l'orogénèse calédonienne. Ces difficultés proviennent d'intrication de faciès, de réduction d'épaisseur des unités lithologiques (Gothlandien de Tk 1, Ic 1, Mr 1, Mr 2), de discordances de ravinement, de lacunes dont, faute d'arguments paléontologiques, il est, pour l'instant, impossible de mesurer l'ampleur.

D'autre part, l'influence des mouvements calédoniens apparaît nettement lorsqu'on superpose les courbes isopaques du Gothlandien argilo-gréseux à celles du Gothlandien argileux. La migration des axes de subsidence est significative à cet égard.

Quant à la transgression du Dévonien inférieur, qui marque la fin de l'orogénèse calédonienne, elle est plus particulièrement observable dans la région El Adeb Larache-Tiguentourine-Zarzaïtine-Butte Noire, où l'Emsien transgresse des niveaux plus anciens d'Ouest en Est (Eal 1, Rcl, Zr 1) et repose directement sur le Gothlandien à Bn 1.

D'autres preuves sahariennes des mouvements calédoniens nous sont fournies par les différences bathymétriques qu'implique la coexistence de séries lacunaires comme à Bn 1 et de séries à sédimentation continue comme à Ge 1 ou Ha 1. L'extrême instabilité de la série syntectonique du Gothlandien argilo-gréseux (zone de passage) témoigne également de la réalité de ces mouvements.

D. Orogénèse hercynienne

L'orogénèse hercynienne s'est manifestée dans l'intervalle géologique compris entre la base du Strunien (Dévonien supérieur) et le sommet du Stéphanien (Carbonifère supérieur).

1. Effets observables en affleurements

Dans l'Anti-Atlas les premiers mouvements de l'orogénèse hercynienne se traduisent par une régression d'âge strunien (fig. 3, discordance 6) et l'émersion de géanticlinaux tels ceux situés à l'emplacement de l'actuel massif de Sahro-Ougnat où le Tournaisien repose directement sur l'Ordovicien. Les lacunes numérotées 7 et 8 dans la figure 3 se placent au Viséen et au Namurien inférieur respectivement.

La phase terminale de surrection des chaînes hercyniennes se manifeste dès la fin du Namurien et durant le Westphalien et le Stéphanien inférieur, périodes durant lesquelles se soulèvent les massifs de l'Anti-Atlas et de l'Ougarta.

2. Effets observables en subsurface

Les premiers effets de l'orogénèse hercynienne sont manifestes dans les forages Mr 1, Mr 2, Ic 1, Ut 1, de la SN.REPAL, où le Viséen transgresse le Dévonien moyen et inférieur.

Ces effets sont moins manifestes dans la région de Polignac où, par corrélation de logs électriques, on décèle une discordance infra-faménienne (exemple: entre TTy 1, Clr 1, Tx 1, Bt 1, Rcl 1, Gld 1 et Ta 1).

Par contre, ils sont incontestables dans les forages Lcp 1, Lcp 2 et Lcp 3, de la SSRP (SPV) où le Viséen repose sur le Gothlandien.

Quant à la phase terminale de surrection des chaînes hercyniennes, sans nous permettre de la préciser dans le temps, les études de subsurface nous en révèlent les effets dans l'espace saharien. Ce sont les massifs tronqués rencontrés par les forages et qui furent érodés durant la période comprise entre leur émergence et les transgressions du Trias ou du Lias. Les plus profondément érodés sont:

- Laghouat (Trias sur Socle à Li);
- Hassi R'Mel, Hassi Messaoud, El Agreb, Tourareg, Hassi Bedda (Trias sur Cambro-Ordovicien).

Parmi les moins profondément érodés citons:

- Ohanet, Oudoumé, In Adaoui (Trias sur Carbonifère).

D'autres môles n'ont pas été couverts par les mers triasiques, ils ont émergé plus longtemps:

- El Arich el Megta (Lias sur Dévonien);
- Fort Mac Mahon (Lias sur Carbonifère);
- Fort Miribel (Lias sur Gothlandien);
- In Salah (Continental intercalaire sur Dévonien supérieur);
- Djebel Idjerane (Continental intercalaire sur Dévonien supérieur).

E. Orogénèse cimérienne

Dans la nomenclature internationale, cette orogénèse est parfois désignée sous le terme «orogénèse alpine ancienne». Elle est comprise entre la base du Rhétien et le sommet de l'Albien.

1. Effets observables en affleurements

A la fin de la transgression du Trias, les mers épicontinentales, à faciès lagunaire, recouvrent la plus grande partie de la pénélaine hercynienne du domaine atlasique et du Nord saharien.

Dans le domaine atlasique, l'orogénèse cimérienne se manifeste par l'individualisation d'unités paléogéographiques qui vont perdurer, et sur les axes desquelles se modèleront les grands ensembles structuraux actuels. De ces unités, nous ne citerons que les plus cimériennes:

- a) la grande fosse de subsidence de l'Atlas saharien ;
- b) la zone des Hauts Plateaux algériens–Meseta marocaine.

Ce sont deux éléments de mutuelle compensation isostatique dont les pulsations ont déclenché de brusques et brèves récurrences marines dans les lagunes sahariennes, dès le début du Lias.

Durant l'orogénèse cimérienne, la fosse géosynclinale de l'Atlas saharien s'approfondit à partir de la charnière N–S du Haut Atlas, « plus rapidement vers l'Ouest, plus lentement vers l'Est. Dans ce fossé s'accumulent de grandes épaisseurs de sédiments : les plus anciens, partout, les plus récents, aux extrémités seulement » (R. LAFFITTE). Le Crétacé inférieur trouvera cette fosse comblée.

Par contre, dès le début de l'orogénèse cimérienne, la zone Hauts Plateaux–Meseta constitue un haut fond, bordant le géosynclinal de l'Atlas saharien. Ses mouvements de surrection s'étalent sur tout le Jurassique et le Crétacé inférieur. Ils se traduisent par des discordances que l'on peut observer :

- entre le Toarcien et l'Aalénien (discordance 11 de la fig. 3);
- sous l'Argovien à faciès Ammonitico Rosso, qui repose directement sur le Bathonien et parfois sur le Bajocien (discordance 12);
- du Portlandien à l'Albien, formations qui manquent dans la région des Hauts Plateaux, à l'Ouest du méridien d'Oran (discordance 13);
- enfin, au sommet de l'Aptien, où apparaît une lacune de tout l'Albien (discordance 14).

Donc, dès le Portlandien, la partie occidentale de la zone des Hauts Plateaux algériens–Meseta marocaine est terre ferme et, à l'Albien supérieur, lorsque se clôt l'orogénèse cimérienne, toute cette zone émerge à peu près dans son extension actuelle. Elle le demeurera jusqu'à la transgression cénomaniennne.

2. Effets observables en subsurface

Les forages ont révélé l'existence d'une brusque et brève récurrence marine, exprimant les *premiers soubresauts de l'orogénèse cimérienne*. Les mouvements se poursuivent durant tout le Jurassique inférieur, déterminant une discordance entre celui-ci et le Jurassique moyen (Nl1, Hr4, Li1). De rapides ingressions, de faible amplitude, se décèlent ensuite sans qu'on n'ait pu encore les dater (Ab1). Une discordance très nette apparaît vers le sommet du Jurassique supérieur (Hr, Li3, Lg1, Pa1). A la base des grès dits « barrémiens » se place une autre discordance (Hm, Lg). Puis l'ingression marine qu'exprime la barre aptienne vient, une fois encore, troubler le régime lagunaire du Nord saharien. *L'épisode terminal de l'orogénèse cimérienne* se manifeste par une dernière discordance particulièrement bien établie dans le périmètre d'Hassi Touareg, où l'Albien repose directement sur le Dogger (Tg2, Nz1) et sur le Lias (Tg1, Tg3). Cette transgression albienne est le prélude de la grande transgression du Céno-manien.

F. Orogenèse alpine

Sans tenir compte de ses mouvements prémonitoires et posthumes, localement assez importants, on considère l'orogénèse alpine comme s'étendant de la base du Lutétien (Eocène moyen) au sommet du Plaisancien (Pliocène inférieur).

1. Effets observables en affleurements

La phase majeure de la genèse des chaînes atlasiques actuelles se situe à l'extrême sommet du Lutétien, puisque la plus grande partie des sédiments de cet âge en est affectée. Les violentes surrections et affaissements qui en résultent, entraînent d'importantes discordances dans les zones périphériques (fig. 3, discordance 15).

Après une phase aquitanienne de compensation isostatique et la transgression burdigalienne (discordance 16), il se produit un nouveau paroxysme orogénique et la régression concomitante de la mer, au Vindobonien-Pontien (discordance 17).

La phase terminale de l'orogénèse alpine se manifeste à la fin du Plaisancien, ne produisant plus que «des déformations à grand rayon de courbure qui amenèrent (entre autres accidents atlasiques) l'enfoncement de la Mitidja, la formation de l'anticlinal du Sahel» (L. GLANGEAUD) et conférèrent aux chaînes de l'Atlas leur physiologie actuelle.

2. Effets observables en subsurface

Parmi les sédiments postcrétacés traversés par les forages sahariens, seule la barre carbonatée de l'Eocène a pu être datée paléontologiquement. Les formations, rencontrées au-dessus d'elle, ne se prêtent pas, du moins actuellement, à la recherche d'accidents contemporains de l'orogénèse alpine. Par contre, deux phases prémonitoires de cette orogénèse ont affecté les sédiments du Crétacé supérieur. En effet, des discordances ont été décelées entre le Turonien et le Sénonien (corrélation des forages Qd 1–Dr 1–Hd 1–Hassi Messaoud) et entre le Campanien et le Maestrichtien (série à Laffitéines de Ph 1–Hassi Messaoud–El Gassi).

G. Variations latérales de faciès dans l'ensemble de la série stratigraphique

Les divers mouvements, répartis dans le temps, qu'impliquent les discordances que nous venons d'étudier, se traduisent, dans l'espace, par des variations latérales de faciès des sédiments d'un même âge géologique.

Les variations connues sont tantôt brusques, tantôt lentes suivant la topographie abrupte ou molle de la source sédimentaire. Nous ne pourrions décrire celles qui surviennent dans le Paléozoïque alors que celles qui caractérisent le Mésozoïque seront étudiées dans le chapitre traitant des réservoirs gréseux du Continental Intercalaire, les propriétés physiques de ces réservoirs, porosité et perméabilité, étant fonction de ces variations.

II. CINÉMATIQUE DES GRANDS ENSEMBLES STRUCTURAUX

Dans les pages qui précèdent, nous avons examiné les effets propres à chaque orogénèse sur un volume déterminé de roches. Considérons maintenant les effets cumulatifs, les interactions des orogénèses successives sur l'ensemble des volumes indiqués en figure 3, étudions ces volumes en mouvement.

- Que *le volume de roches du Socle*, mis une première fois en mouvement durant les orogénèses précambriennes, ait été repris par les orogénèses calédonienne, hercynienne, cimérienne et alpine;
- Que *le volume de roches du Paléozoïque*, mis une première fois en mouvement durant les orogénèses calédonienne et hercynienne, ait subi alors des déformations influencées par la direction préférentielle des structures précambriennes d'une part, et que, d'autre part, ce volume ait été affecté à nouveau par les orogénèses cimérienne et alpine;
- Que *le volume de roches du Mésozoïque et Cénozoïque*, mis une première fois en mouvement durant les orogénèses cimérienne et alpine, présente, actuellement, une tectonique qui s'est parfois modelée sur des axes définis dès le Précambrien,

tout ceci est mis en évidence par les faits suivants, faits que, dans le cadre de la présente étude, nous ne ferons qu'esquisser.

A. Volume de roches du Socle

La partie du Socle saharien qui affleure au Hoggar apparaît, actuellement, en blocs énormes séparés par des failles de direction méridienne ou subméridienne. Le principal de ces blocs est le Horst central dit Môle d'Amguid, allongé Nord–Sud, constitué de roches suggariennes et flanqué de deux fossés pharusiens. Deux autres horsts suggariens s'élèvent à l'Ouest (Môle d'Arak) et à l'Est (Môle d'Aïr), à peu près parallèlement au Môle d'Amguid.

Comme nous l'avons déjà vu en étudiant les effets des *orogénèses précambriennes*, les chaînes suggarienne et pharusienne ont été, tour à tour, réduites à l'état de pénélaines.

Les lambeaux actuels des premiers sédiments déposés sur cette pénéplaine, sont d'âge infra-cambrien et se trouvent coincés dans la faille majeure qui limite, à l'Ouest, le Môle d'Amguid. Pouvant être d'origine continentale, ils ne permettent pas une évaluation de l'altitude de la pénéplaine lors de leur dépôt. Le fait que ces sédiments sont affectés par une faille du Socle n'autorise qu'à attribuer, au rejeu de cette faille, un âge post-infracambrien, sans plus.

Les sédiments cambro-ordoviciens, de faciès marin, observables en lambeaux épars sur le Socle et recouvrant ses flancs Nord, Est et Sud, témoignent, par leur altitude actuelle (600 à 1000 m), du surélévation du Socle, sans toutefois permettre une datation. Par contre, ils portent la marque incontestable de *l'orogénèse calédonienne* car ils sont affectés par des failles du Socle qu'oblitérent les sédiments du Dévonien.

Les effets de *l'orogénèse hercynienne* sont difficiles à déceler sur le Socle du Hoggar. Par contre, ils sont manifestes dans les structures à noyau cristallin atteint par les forages, où existent, d'une part, un certain parallélisme entre isobathes du Socle et isobathes du toit ordovicien et, d'autre part, une disharmonie structurale locale entre ces derniers et les isobathes des formations mésozoïques (zone d'Ou 101).

Les effets sur le Socle des *orogénèses cimérienne et alpine* sont attestés par :

1. L'existence, à 1620 mètres d'altitude, du Continental intercalaire de Serouenout, reposant directement sur le Socle suggarien du Hoggar;
2. La présence de Cénomarien marin qui a transgressé ce même Socle du Hoggar et se trouve, au Sud d'Amguid, à 715 mètres d'altitude;
3. L'activité volcanique intense qui s'est manifestée au cours du Tertiaire et le bombement concomitant du Môle d'Amguid qui a porté le Socle suggarien, recouvert d'un faible plaquage de laves, à plus de 2900 mètres au-dessus du niveau de la mer (Pic Tahat);
4. La violente tectonisation des masses précambriennes de Serhrouchene, Korina, des Massifs d'Alger, de Grande et Petite Kabylie et d'Edough durant la surrection des chaînes de l'Atlas.

B. Volume paléozoïque

L'influence des directions précambriennes sur le volume paléozoïque s'exerce dès le début de *l'orogénèse calédonienne*. Les isopaques de l'Ordovicien font apparaître, en effet, des axes de subsidence, NNE–SSW à NNW–SSE, de part et d'autre d'une zone de diminution d'épaisseur qui se situe sur le prolongement Nord du Môle suggarien d'Amguid et du fossé pharusien qui le borde à l'Ouest.

Cette direction, que nous appellerons désormais hoggarienne, subsiste durant le Gothlandien inférieur alors que s'accroît le relief et durant le Gothlandien supérieur, alors que la masse paléozoïque est violemment disloquée par le paroxysme calédonien.

Après une période dévonienne de calme, *l'orogénèse hercynienne* portera ce volume à son altitude maximum. La répartition géographique des discordances de subsurface, inventoriées en p. 537 à 539, fait ressortir la direction hoggarienne des dorsales Arak–Hassi R'Mel et Amguid–Hassi Messaoud à la fin de cette orogénèse.

Au Carbonifère, le haut relief de la dorsale Amguid–Hassi Messaoud forme une barrière entre deux provinces marines aux conditions écologiques très différentes.

A en juger par la position stratigraphique des niveaux atteints par l'érosion qui suivit *l'orogénèse hercynienne*, la partie Nord des structures était plus élevée que leur partie Sud, autrement dit leur ligne de crête s'abaissait du Nord au Sud, tandis que sur leur bordure occidentale s'approfondissait, dans le même sens, le grand sillon paléozoïque de subsidence. Or, l'examen de la carte des isobathes de la surface d'érosion du Paléozoïque nous révèle que leur ligne de crête actuelle s'abaisse du Sud au Nord, ainsi que l'ancien axe de subsidence. Cette inversion de relief s'est opérée alors que s'accumulaient les sédiments mésozoïques et cénozoïques. Est-elle due aux forces statiques représentées par le poids de ces sédiments ou aux orogénèses post-hercyniennes? Nous tenterons de répondre à cette question dans le paragraphe C.

Quant aux déformations du volume paléozoïque nettement imputables aux *orogénèses cimérienne et alpine*, elles sont bien visibles dans la partie occidentale des chaînes de l'Atlas.

Un autre effet de ces orogénèses doit être recherché dans le fléchissement vers l'Ouest des axes structuraux hoggariens à l'Ouest du méridien d'Oran et vers l'Est sur la frontière tunisienne. Ces fléchissements s'accroissent, en effet, à mesure que l'on approche des grandes dislocations atlasiques. Nous croyons que la direction actuelle des chaînes hercyniennes de l'Ougarta n'est que la résultante des forces de direction atlasique SW-NE et hoggarienne N-S (massif obstacle).

Dans la région Hoggar-Tassili-Tihemboka, les effets des orogénèses cimérienne et alpine se traduisent par la faille d'Aïn-Beida affectant le Gothlandien et le Dévonien et par plusieurs autres failles traversant le Paléozoïque.

C. Volumes mésozoïque et cénozoïque

Il est d'usage, parmi quelques géologues, de qualifier d'épirogénique les mouvements qui ont ébranlé la masse des sédiments mésozoïques et cénozoïques du Sahara, en y provoquant les discordances mentionnées en p. 539 à 541. Voyons ce qu'il en est, en fait.

Quelques traits topographiques de la pénélaine hercynienne nous sont révélés par la répartition des épaisseurs des premiers sédiments qui s'y déposent : la série inférieure dite permo-triasique. Série de remplissage, déposée en période inter-orogénique, ses épaisseurs maximales correspondent à des sillons, des vallées dont l'une des principales se trouve dans le Nord (axe Lg 1-Pa 1), l'autre entre Hassi R'Mel et Hassi Mes-saoud (axe Af2-Ga 1) et une troisième à l'Est d'El Agreb (axe Tg 3-Nz 1-La 1). Cette série ne s'est déposée ni dans le périmètre Hr 1, 4, 6, 7, 9 d'Hassi R'Mel, ni à El Agreb, ni à Sd 1, ni au Sud d'une ligne passant par Ab2, Ae2, Af3, Ak 1, Hll 1.

Nous voyons donc qu'après la pénélaination des chaînes hercyniennes, la surface topographique ne présente plus que quelques «réminiscences» de leurs traits structuraux. Les isopaques du cycle salifère triasique nous indiquent que la transgression du Trias va oblitérer encore ces vestiges hercyniens avant les premières manifestations de *l'orogénèse cimérienne*.

Les brèves ingressions marines, contemporaines de cette orogénèse et dont nous avons déjà parlé (p. 540) s'avancent de plus en plus loin sur le paléorelief saharien. Leur extension vers le Sud et l'Ouest est limitée par de nouveaux traits structuraux, par des régions hautes, des seuils qui se trouvent précisément sur l'emplacement des régions basses hercyniennes : au Sud, sur l'emplacement de ce qui était l'ensellement des chaînes hercyniennes, aux alentours du 30^e parallèle ; à l'Ouest, sur l'emplacement de ce qui était le fossé de subsidence paléozoïque de la Saoura.

La loi générale de compensation isostatique permet d'attribuer la lente surrection des régions Sud, avec épisodes d'affaissement, à l'approfondissement convulsif du géosynclinal de l'Atlas saharien né de l'orogénèse cimérienne (p. 540). Nous avons vu ce géosynclinal s'approfondir, vers l'Ouest et l'Est, à partir de la charnière N-S du Haut

Atlas. Or cette charnière se trouve sur le prolongement Nord de l'axe de plus grande épaisseur des sédiments paléozoïques de la Saoura. Zone de subsidence, donc zone préférentielle des soulèvements orogéniques, il est logique d'attribuer à l'orogénèse cimérienne sa conversion en un seuil de direction subméridienne, limite occidentale des ingressions marines mésozoïques.

Cette manifestation d'un renouveau d'influence des directions structurales hercyniennes, dès le début de l'orogénèse cimérienne, se retrouve dans le jeu de compartiments qui va s'exercer sur l'emplacement des anciennes dorsales: durant le Jurassique inférieur, la zone d'Hassi R'Mel est, d'abord, plus subsidente que celle d'Hassi Messaoud, puis l'inverse se produit; durant le Jurassique moyen et supérieur, la zone d'Hassi R'Mel est plus subsidente que celle d'Hassi Messaoud, tandis que l'inverse se produit, de plus en plus accentué, durant le Crétacé inférieur et moyen. A la fin de l'orogénèse cimérienne, le relief saharien, sur lequel se développeront les transgressions et régressions du Crétacé supérieur est fortement marqué par les trends hercyniens, parmi lesquels citons celui de l'axe de subsidence du bassin de l'Oued Mya-Oued Rhir entre les deux dorsales susnommées.

En résumé, des mouvements de direction cimérienne SW-NE, seul l'enfoncement de la fosse géosynclinale de l'Atlas saharien a joué un rôle important dans l'évolution du relief de la région étudiée, entraînant toute la partie nord du Sahara dans son mouvement descendant. Ce mouvement descendant ayant déclenché chacune des brèves ingressions marines mésozoïques, il nous paraît bien évident que la cause de l'inversion du relief, mentionnée en B (p. 543), n'est pas la force statique représentée par le poids des sédiments. Celle-ci ne saurait être cause avant d'être constituée.

Quant à l'*orogénèse alpine*, elle entraîne la multiplication des phénomènes d'inversion de relief; des subsidences différentielles s'établissent, dans lesquelles concourent forces statiques et forces orogéniques, amorties cependant par le jeu disharmonique des assises d'extrême plasticité intercalées dans la série sédimentaire.

Nous avons observé, en deux endroits, les effets particulièrement manifestes des orogénèses cimérienne et alpine sur le volume mésozoïque. D'abord dans la région Hoggar-Tassili-Tihemboka, où la faille d'Aïn-Beida, déjà mentionnée en p. 544, affecte simultanément le Dévonien, le Gothlandien et le Crétacé supérieur. Ensuite, à l'Ouest d'In Salah, le long d'une faille où les grès rouges du Crétacé inférieur sont redressés à la verticale avec le Paléozoïque qu'ils recouvrent directement. Le passage des bancs redressés aux bancs horizontaux s'opère abruptement. Cette faille atteint le Crétacé supérieur du Plateau du Tademaït et provoque un alignement de petits diapirs observables jusqu'à un point situé à 60 kilomètres au Sud de Fort Miribel.

De cet ensemble de faits nous pouvons conclure que les mouvements, qui ont affecté les volumes mésozoïque et cénozoïque du Sahara septentrional, *ne sont pas des mouvements épirogéniques*, car leurs effets sont trop localisés, trop inégalement répartis. Il s'agit bien d'orogénèses génératrices, dans le voisinage immédiat du Sahara, d'une fosse géosynclinale profonde mais d'extension horizontale limitée, d'une structure tabulaire, les Hauts-Plateaux, émergée à la fin de l'orogénèse cimérienne et de cet immense édifice structural que sont les chaînes de l'Atlas, nées du paroxysme alpin.

III. CONFIGURATION ACTUELLE DES STRUCTURES SAHARIENNES DE SUBSURFACE

Les faits stratigraphiques, contemporains de la sédimentation, et ceux que la cinématique révèle étalés dans le temps, mettent en évidence la violence des dislocations qui ont affecté les structures sahariennes jusqu'à la fin de l'orogénèse cimérienne (fin de l'Albien).

Aboutissement de cette succession de mouvements orogéniques, que nous venons d'esquisser à grands traits, quelle est la configuration actuelle de la subsurface du Sahara ?

Forages profonds, données sismiques, affleurements sahariens, hoggariens et atlasiques nous fourniront les éléments d'une réponse à cette question.

A. Les dorsales méridiennes actuelles. Permanence dans le temps

Nous avons défini (p. 543 à 545) l'influence prédominante de la direction hoggarienne dans l'évolution des structures sahariennes jusqu'à la fin de l'orogénèse cimérienne. Rappelons que cette direction hoggarienne est la direction Nord-Sud ou méridienne.

Or, la sismique et les forages pétroliers nous révèlent l'existence de trois dorsales de subsurface dans lesquelles subsiste cette direction méridienne et qu'elle prévaut, actuellement, des contreforts du Hoggar jusqu'aux environs du parallèle de Touggourt. Ces dorsales méridiennes sont, d'Ouest en Est (fig. 4):

- la dorsale d'Arak-Hassi R'Mel,
- la dorsale d'Amguid-Hassi Messaoud,
- la dorsale de Tihemboka-Edjeleh.

De plus, les affleurements mésozoïques du M'zab confirment cette direction Nord-Sud pour la première de ces dorsales et ceux qui limitent à l'Est la région étudiée, mettent en évidence cette même direction dans les chaînes du Dahar (sédiments mésozoïques).

B. Continuité des dorsales méridiennes dans l'espace

C'est aux environs du parallèle de Touggourt, que les sommets paléozoïques des dorsales d'Arak-Hassi R'Mel et d'Amguid-Hassi Messaoud présentent leurs plus profondes isobathes connues. C'est également là que ces sommets ont été le plus profondément érodés.

Si nous figurons le premier de ces faits sur une carte des isobathes de la surface d'érosion du Paléozoïque et le second sur l'écorché de cette même surface, la superposition de ces cartes fera ressortir l'inversion du relief, décrit à la p. 556, et mettra particulièrement en évidence le rapide enfoncement des dorsales vers le Nord et leur disposition en gradins s'élevant d'Est en Ouest.

1. *Le rapide enfoncement des dorsales* pourrait suggérer leur disparition définitive vers le Nord. Au-delà de la zone basse où, apparemment elles se perdent, surgissent les chaînes de l'Atlas. Examinons brièvement les structures de ces dernières.

Elles courent en direction WSW-ENE, leurs axes s'élevant et s'abaissant alternativement. Entre le méridien de Tanger et celui d'Annaba (Bône), leurs plis, plus ou moins parallèles, forment plusieurs *culminations axiales*, dont les plus importantes sont, d'Ouest en Est, celles de :

- a) Sidi Yahï–Ibïane, le long de laquelle affleure le socle cristallin ;
- b) Djebel Tioudadene–La Peneita, avec socle affleurant à son extrémité méridionale ;
- c) Tessala–Ferrat, formant seuil entre les plaines d’Oran et d’Arzew ;
- d) Lerhfad–El Gada, avec fenêtre paléozoïque dans le Jurassique ;
- e) Guerbousse–Hangouf, qui comprend le seuil de Ponteba (épïcentre du séisme de 1954, qui détruisit Orléansville) ;
- f) Ourlech–Chenoua, fermant à l’Ouest la plaine de la Mitidja ;
- g) El Azreg–Alger ;
- h) Cap Matifou ;
- i) Bou Kahil–Djurjura sur laquelle se situe l’important massif cristallin de Tizi-Ouzou ;
- j) Azreg–Bougaroun, dont la partie nord est constituée par le cristallin de Skidda (Philippeville) ;
- k) Bou Kammech–Tifech.

Presque perpendiculaire aux trends atlasiques, la direction hoggarienne de ces zones culminantes et l’alignement de certaines d’entre elles sur les dorsales sahariennes connues frappent d’emblée.

2. *La disposition des dorsales en gradins* peut s’exprimer en cotes actuelles des segments de dorsales les plus érodés (donc originellement les plus hauts), soit, d’Est en Ouest, compte tenu des compensations structurales :

- Hassi Messaoud, de –3400 à –3100 mètres.
- Gradin intermédiaire Hba 1, de –2700 à –2500 mètres.
- Hassi R’Mel, de –2300 à –1500 mètres.

Or une relation analogue existe entre les culminations axiales i, j, k, celle de Bou Kammech-Tifech étant, structurellement, la plus basse et celle de Bou Kahi!-Djurjura la plus élevée.

S’il s’agissait là d’un fait isolé, il serait permis de parler d’une coïncidence, d’une « aimable fantaisie de la nature ». Mais, il s’avère que la remontée structurale d’Est en Ouest, que nous avons vu s’amorcer au Sahara dès le début de l’orogénèse cimérienne (p. 545) revêt un caractère de généralité aussi bien dans les chaînes atlasiques que dans les régions sahariennes actuelles. Un rapide examen de la carte géologique suffit pour s’en convaincre qui, tout en soulignant ce fait, met, de plus, en évidence l’alignement des culminations orientales i, j, k sur les dorsales sahariennes les plus basses, et l’alignement des culminations occidentales a, b, sur la bordure la plus élevée des régions sahariennes étudiées ici.

Ce parallélisme actuel et cette permanence dans le temps des caractères de la tectonique transversale atlasique et des structures sahariennes ne sauraient exprimer autre chose que ce dont témoignent péremptoirement des faits analogues observés en Amérique du Sud et dans le Proche-Orient, à savoir : une relation de cause à effet. Les dorsales sahariennes étant plus anciennes que les culminations axiales atlasiques, le sens de cette relation nous paraît clair. Au-delà de l’apparente solution de continuité que constitue leur rapide enfouissement vers le Nord, les dorsales sahariennes subsistent comme cause actuelle des culminations axiales atlasiques, ayant, en tant que cause ancienne, formé obstacle au déferlement des plis issus de l’orogénèse alpine en obli-

geant ceux-ci à culminer axialement pour les surmonter. Leur rapide enfoncement vers le Nord et le fléchissement local de leurs axes structuraux, précédant, comme nous l'avons vu déjà, des mouvements cimériens et alpins (p. 543 et 544) n'est qu'un accident récent, l'accentuation d'un ensellement des chaînes hercyniennes, de cet énorme édifice orogénique qui, avant son démantèlement, alignait ses sommets du sud du Hoggar au nord de l'emplacement actuel des Atlas.

C. Style tectonique

Du style tectonique de cet énorme édifice orogénique, que savons-nous? La cinématique nous a montré à quelles contraintes, tensions et compressions, il a été soumis au cours des orogénèses précambriennes, calédonienne, hercynienne, cimérienne et alpine; elle nous a montré de quels effets cumulatifs et interactions résulte la configuration actuelle de ses extrémités méridionales. Ces extrémités, les seules accessibles à l'observation directe, présentent un noyau cristallin violemment disloqué et une couverture sédimentaire plus intensément tectonisée sur les flancs des structures que sur leurs sommets (môles actuels du Hoggar et culminations axiales de l'Atlas), le tout délimité par des failles à grands rejets verticaux et par des décrochements horizontaux.

En intégrant les données relatives à la répartition verticale des discordances de subsurface, la cinématique nous a révélé également le synchronisme des vicissitudes stratigraphiques et taphrogéniques, qu'expriment ces discordances, et des orogénèses successives dont procède le style tectonique des parties affleurantes de l'édifice hercynien.

Dès lors, il nous paraît inconcevable qu'un même ensemble orogénique, portant les marques de phénomènes synchrones, présente en sa partie médiane une configuration structurale totalement différente de celle de ses extrémités Sud et Nord.

La subhorizontalité des sommets de la subsurface saharienne est un fait positif bien établi par la sismique et les forages profonds. Mais déduire de ce fait la notion d'anticlinaux à flancs marqués de faibles pendages serait simplement une pétition de principe. Que le flanc des structures de subsurface ait échappé au processus de déformation observée en surface (Hoggar et Atlas) nous paraît d'autant plus invraisemblable que ce processus ne consistait qu'en un rejeu diatrophique sur un ensemble hercynien déjà fort tectonisé et compartimenté avant sa pénétration.

Si les flancs des structures sahariennes n'avaient pas été fortement disloqués et qu'à l'image des sommets, ils ne présentaient actuellement que de très faibles pendages, la sismique ne devrait pas rencontrer plus de difficultés à restituer leur configuration structurale qu'à restituer celle desdits sommets. L'examen des films sismiques nous apprend qu'il est loin d'en être ainsi.

1. Zones anormales

Nous avons étudié le tracé d'une soixantaine de profils réfraction, traversant les dorsales d'Arak-Hassi R'Mel et d'Amguid-Hassi Messaoud. Sur chacun des profils, nous avons délimité les segments qui, sur les films, apparaissent « brouillés », c'est-à-dire dans lesquels se perdent les marqueurs. En reliant ces segments d'un profil à

l'autre, nous avons obtenu une surface qui représente les zones anomaliques des structures actuelles.

Ces zones anomaliques flanquent les sommets subhorizontaux des deux dorsales, sommets donnant des films sismiques parfaitement nets.

Partant du principe que toute anomalie, quelle que soit son origine et son importance, se traduit en sismique par la variation de ce seul paramètre qu'est le « temps » d'un trajet d'une onde entre deux points donnés, nous devons convenir que plusieurs phénomènes peuvent se traduire par une même anomalie sur le temps mesuré. Dans ce sens, nos zones anomaliques étaient, pour la plupart, impossibles à définir qualitativement. Nous avons alors procédé par éliminations successives des diverses causes possibles de perte de marqueurs, en nous basant sur les faits stratigraphiques connus et sur les données de la cinématique.

La réalité des seules causes retenues ressort de la position même des zones anomaliques qui ne sont pas définissables qualitativement, par rapport à celles qui le sont. Parmi ces dernières, celle qui s'étend entre les gisements d'El Gassi et ceux d'Hassi Touareg a été nettement définie comme zone de failles à grands rejets verticaux, de direction subméridienne. Elle se prolonge vers le Sud, où l'on a pu établir des rejets de plus de 2000 mètres, ce que confirment les descriptions que donne P. HEYBROEK (1963) du flanc oriental de ce qu'il appelle la dorsale d'Amguid–El Biod (notre dorsale Amguid–Hassi Messaoud). Les zones anomaliques qui flanquent la dorsale d'Arak–Hassi R'Mel, présentent, au Nord-Ouest d'Ouargla, des failles à plus faibles rejets mais qui forment un réseau très dense où se combinent directions hoggarienne et atlasique, tandis qu'au Nord-Est d'Hassi R'Mel, prévaut la direction atlasique.

Replacé dans le contexte de la cinématique, l'alignement des zones anomaliques sur les axes hoggariens et atlasiques met en évidence la concordance actuelle de ces zones avec les principaux « hinge-belts » hercyno-cimériens et avec les charnières subsidiaires cimériennes et alpines, le long desquelles se sont ordonnés les mouvements de bascule Ouest–Est et Nord–Sud qu'expriment :

- a) la migration d'Ouest en Est des axes de plus grande subsidence des bassins paléozoïque et mésozoïque ;
- b) le jeu de compartiments, s'exerçant alternativement d'Ouest en Est et d'Est en Ouest, dont il a été question en page 545 ;
- c) les inversions de relief, Nord–Sud, qui affectèrent les principales dorsales sahariennes connues et que nous avons vu s'amorcer au début de l'orogénèse cimérienne (p. 543 et 545) ;
- d) la surrection, au Nord du fossé cimérien (p. 540), d'un nouvel édifice orogénique, qui atteindra son plein développement au paroxysme alpin.

Une telle concordance des zones anomaliques et des « hinge-belts » et charnières nous semble prouver la prééminence de la nature tectonique des causes retenues, ce que met en évidence, en outre, le fait que ces zones anomaliques se situent, presque toujours, à la limite des plus forts dénivelés structuraux.

L'analyse des données de production pétrolière vient encore confirmer le compartimentage tectonique que soulignent les zones anomaliques. La répartition géographique des régimes de pression sur l'ensemble du Sahara peut paraître, à priori, corrélée

lative de l'extension horizontale des séries à évaporites. Mais cette extension, d'ailleurs elle-même déterminée par les « hinged belts » de la Saoura et du 30^e parallèle (p. 544), ne saurait expliquer, à elle seule, des variations de régimes de pression comme celles existant entre Sd I et Hassi Messaoud ou entre les gisements d'El Agreb et d'Hassi Touareg.

D'autre part, la discontinuité du réservoir d'Hassi Messaoud qu'expriment les variations de pression et la possibilité de grouper ces variations en entités indépendantes les unes des autres, peut être imputée à des phénomènes qui ne sont divers que dans leur modalité. Qu'il s'agisse de zones silicifiées rencontrées dans les forages ou d'un hypothétique relief en falaises, ces phénomènes, constituant les barrières de perméabilité, procèdent essentiellement des causes tectoniques que révèlent les brèches observées dans les carottes d'Hassi Messaoud. Ces brèches, du moins toutes celles que nous avons pu examiner, sont manifestement d'origine tectonique. Les mouvements qu'elles impliquent ont provoqué le déplacement des particules siliceuses de la roche, les métasomatoses et épigenèses connexes aboutissant à la silicification de la périphérie des surfaces de friction.

Bien que la cartographie des brèches n'ait pas encore été entreprise, il est d'ores et déjà permis de mentionner que leur réseau semble devenir plus dense d'Ouest en Est. Ceci est, du reste, conforme à la configuration du champ ou plutôt des champs d'Hassi Messaoud, telle qu'elle ressort de la carte des isobathes de la surface d'érosion du Paléozoïque, où l'asymétrie, vers l'Est, s'accompagne d'une prolifération des éléments structuraux.

En résumé, le style tectonique des structures actuelles de la subsurface saharienne ne diffère pas du style tectonique de l'édifice orogénique affleurant au Hoggar et sur les culminations atlasiques, édifice orogénique dont ces structures de subsurface sont parties intégrantes.

Cette similitude ressort, d'une part des données de la stratigraphie et de la cinématique (modélage des volumes paléozoïque et mésozoïque sur le volume précambrien, synchronisme des mouvements affectant structures de surface et de subsurface, interactions et effets cumulatifs des orogénèses successives, etc., p. 542) et, d'autre part, elle se manifeste dans l'aboutissement actuel de l'évolution des structures sahariennes, aboutissement que caractérisent les inversions de relief des chaînes hercyniennes avec toutes les dislocations qu'elles comportent, les failles méridiennes enregistrées et les zones anomaliques qui les prolongent (p. 548), enfin le compartimentage des zones productives (p. 549).

Ainsi, profondément marquées par les orogénèses successives, les structures de la subsurface saharienne présentent, actuellement, une configuration générale de style cassant du type hoggarien, en « horst et graben » que l'influence cimérienne fait s'élever en gradins d'Est en Ouest et du Nord au Sud, et que le contre-coup alpin affecte de fléchissements locaux (p. 544) et de failles obliques par rapport aux grandes failles méridiennes.

Brèves remarques sur quelques disharmonies de plissement

Les coupes structurales (pl. I) illustrent le style tectonique en « horst et graben » de la subsurface saharienne actuelle. Le bloc y est l'entité structurale mais, dans un même

bloc, on peut parfois constater une disharmonie de plissement entre les volumes pléozoïque et mésozoïque. Ceci est particulièrement visible dans la coupe B (pl. I), où l'énorme lacune stratigraphique de tout le Jurassique fait que le Crétacé inférieur repose directement sur les structures tronquées du Paléozoïque. La longue émergence de ces dernières a accentué leur relief et c'est sur ce relief, sur cette surface topographique et non sur les surfaces structurales que se sont moulées les grès barrémiens. Les forages Bj 1 et Jo 1A, par exemple, mettent en évidence la disharmonie structurale entre l'anticlinal de surface et le synclinal de subsurface.

D'autre part, on constate que nombre de failles n'affectent pas les formations post-albiennes. La cinématique nous a enseigné, dans les pages précédentes, que ces sédiments post-albiens ont été déposés après l'orogénèse cimérienne et qu'ils sont, par conséquent, moins marqués par la tectonique cassante de type hoggarien. Il peut en résulter, localement, une disharmonie de plissement entre le volume crétacé supérieur et les volumes sous-jacents.

Signalons encore les disharmonies de plissement inhérentes à toute série stratigraphique faite d'alternance de niveaux compétents et incompétents, disharmonie résultant d'altérations et de mises en mouvements parmi lesquelles citons :

- le gonflement des argiles,
- le foisonnement par hydratation des anhydrites,
- la dissolution du sel et du gypse,
- le fluage des évaporites.

Le fluage des évaporites est générateur d'assez importantes disharmonies de plissement à l'Est de la dorsale d'Amguid–Hassi Messaoud. L'épaississement qui en résulte (530 mètres à Hassi Messaoud, 1720 mètres à Sd 1) se traduit par des anticlinaux de surface à large rayon de courbure sur le flanc abrupt des structures profondes.

D. Bassins structuraux de subsurface

Les faits établis dans les chapitres précédents complètent l'identification des dorsales méridiennes du Sahara à ces éléments structuraux que nous avons appelés « Dorsales transverses anciennes » (CHENEVART 1963).

S'enracinant dans le vieux massif du Hoggar, ces dorsales méridiennes sont obliques par rapport à la direction Sud-Ouest–Nord-Est des chaînes de l'Atlas et délimitent ainsi trois bassins structuraux de subsurface, soit :

1. *Le bassin occidental*, limité au Nord par l'Atlas, au Sud et à l'Ouest par les affleurements paléozoïques, à l'Est par la dorsale transverse d'Arak–Hassi R'Mel.

2. *Le bassin central* ou bassin du Mya-Rhir, limité au Nord par l'Atlas, au Sud par les affleurements paléozoïques, à l'Ouest par la dorsale transverse d'Arak–Hassi R'Mel, à l'Est par la dorsale transverse d'Amguid–Hassi Messaoud.

3. *Le bassin oriental*, limité au Nord par l'Atlas, au Sud par les affleurements paléozoïques, à l'Ouest par la dorsale transverse d'Amguid–Hassi Messaoud, à l'Est par la dorsale transverse de Tihemboka–Edjeleh et les affleurements des chaînes méridiennes du Dahar tunisien, ces deux structures étant reliées par l'incurvation d'El Borma.

La position de ces trois bassins structuraux de subsurface est indiquée, schématiquement, dans la figure 4. Nous n'y avons pas représenté la dorsale intermédiaire,

mal connue, comprise entre la dorsale d'Arak-Hassi R'Mel et celle d'Amguid-Hassi Messaoud, dorsale intermédiaire dont il a été question en p. 547 (gradin Hba 1).

Et maintenant, répondant à la question posée en tête de ce chapitre, nous dirons que la configuration actuelle de la subsurface saharienne procède d'une tectonique cassante qu'expriment les dorsales transverses anciennes qui la constituent, dorsales caractérisées par des sommets horizontaux ou faiblement plissés mais dont les flancs sont violemment disloqués, faillés. Ces caractères confèrent aux dorsales la qualité de « horst » et donnent aux dépressions méridiennes, qui les juxtaposent, l'allure typique de « graben ». Ces « graben » forment les trois principaux bassins structuraux de la subsurface saharienne.

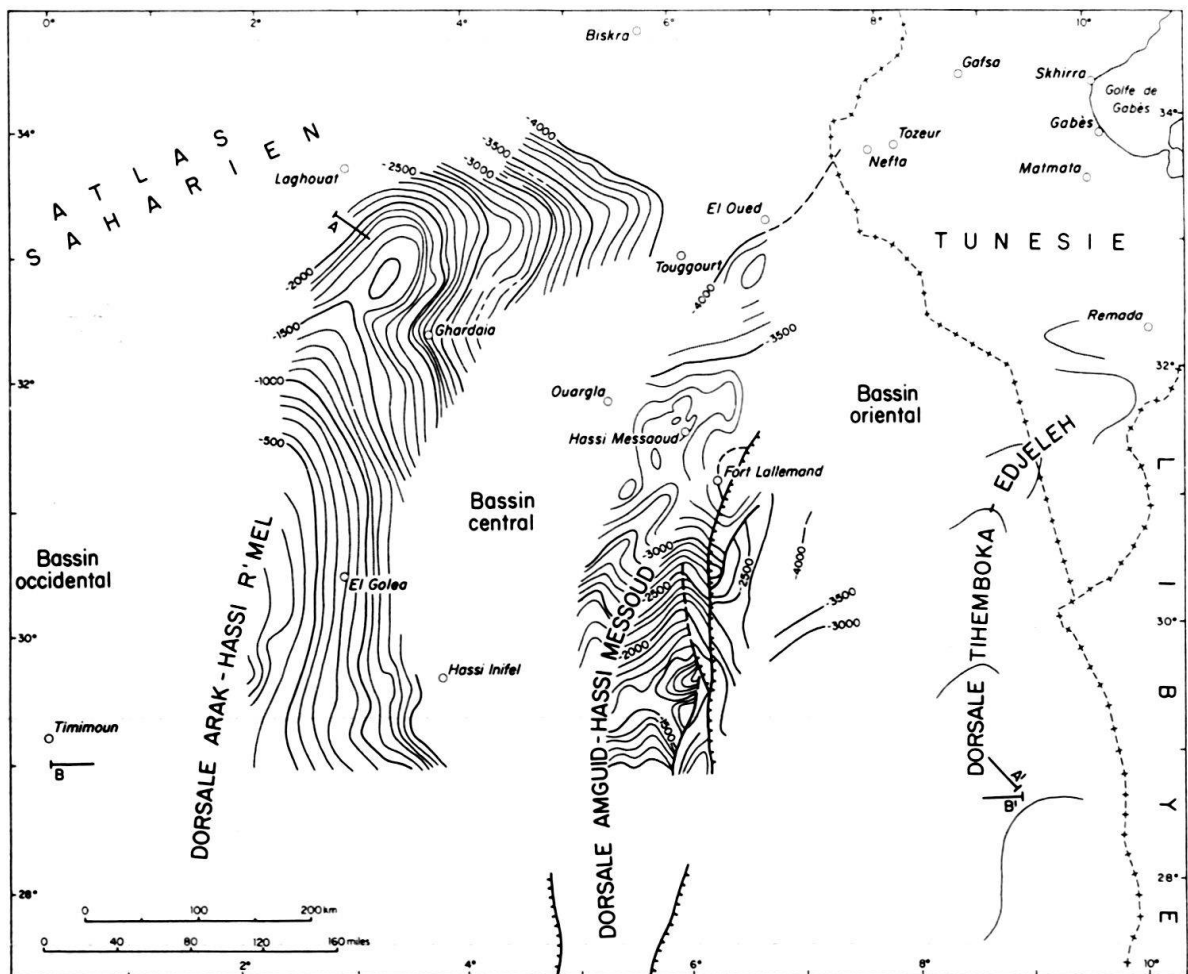


Fig. 4. Esquisse structurale montrant la position des trois principales dorsales transverses et des bassins qu'elles délimitent. Niveau de référence: surface d'érosion du Paléozoïque. A-A' et B-B': traces des la planche I.

IV. STRUCTURES SAHARIENNES ET EXPLORATION PÉTROLIÈRE

Les principaux gisements de pétrole et de gaz, exploités actuellement dans le Sahara septentrional, sont situés sur les trois dorsales transverses anciennes, issues des mouvements orogéniques que nous venons de décrire.

Deux de ces gisements, celui d'Hassi Messaoud et celui d'Hassi R'Mel ont fait l'objet d'études minutieuses entreprises par A. BALDUCCHI et G. POMMIER (1970) et P. R. MAGLOIRE (1970) respectivement.

Ces géants de l'exploitation pétrolière sont donc connus et nous ne reviendrons pas sur leur description. Notre propos est de tenter d'établir, en partant des faits de Géologie structurale, quelles perspectives de découvertes s'ouvrent à l'exploration pétrolière.

A. Mise en place des hydrocarbures sahariens

Le bon sens appliqué à la recherche et le principe de «least work»¹⁾ appliqué aux problèmes de la migration des hydrocarbures, nous ferons admettre que l'origine du pétrole, actuellement exploité dans le Paléozoïque saharien, ne saurait être recherchée ailleurs que dans les séries marines de ce Paléozoïque même et que, par conséquent, à la multiplicité des mouvements ayant affecté ce Paléozoïque correspond une multiplicité de déplacements des hydrocarbures. A ce titre, et, compte tenu des contraintes de compression et de tension, alternatives ou simultanées, qu'impliquent et la subsidence et les orogénèses successives, il est logique de parler de migration calédonienne, hercynienne et même, conformément aux données de la cinématique, de migrations cimérienne et alpine.

Considérons les deux dorsales transverses d'Arak-Hassi R'Mel et d'Amguid-Hassi Messaoud à partir du début de *l'orogénèse calédonienne* (p. 537 et 543). Tandis que, lentement, se soulèvent ces dorsales, les sédiments syntectoniques de l'Ashgillien, du Gothlandien et du Coblencien se déposent dans les fosses subsidentes qui les flanquent à l'Ouest et à l'Est. Un premier mouvement de fluide se déclenche, puis s'amplifie. Il en résulte une première accumulation fractionnée «from the compressional area toward the dynamic rim of the basin» (WEEKS, op. cit.).

Les mêmes phénomènes se répètent durant *l'orogénèse hercynienne*. Mais la connaissance que nous avons des chaînes qu'a engendrées cette orogénèse, nous oblige à envisager deux cas possibles: ou bien les sédiments syntectoniques du Dévonien supérieur et du Carbonifère recouvrent les sommets les plus élevés de ces chaînes (notamment les régions actuelles d'Hassi R'Mel et d'Hassi Messaoud), ou bien ces sommets émergent dès le début du Strunien.

Dans le premier cas, les plus hauts sommets hercyniens ont été profondément érodés, leurs réservoirs éventrés, leurs accumulations d'hydrocarbures à jamais dissipées. Dans le deuxième cas, les plus hauts sommets hercyniens n'ont pu être le siège d'accumulation. Donc, dans les deux cas envisagés, les régions structurellement hautes, d'Hassi R'Mel et d'Hassi Messaoud étaient, à la fin de la pénéplanation hercynienne, absolument vierges d'hydrocarbures accumulés.

La migration des hydrocarbures se poursuivait cependant, convergeant vers les sommets structuraux, aboutissant à l'air libre là où ces sommets étaient érodés, se sta-

¹⁾ WEEKS (1952) écrit à ce propos: It is certain that the migration will be accomplished according to the principle of least work under any specific pressure. The enormous volume of fluid, which have to move out of a basin during compaction, are so great that a difference of solubility of a few parts per millions between the high pressure and temperature conditions at the center of the basin and the low pressure and temperature on the rim are entirely adequate to account for the volume of oil found. The fluid flow is always outward from the compressional area toward the dynamic rim of the basin.

bilisant, par piègeage, dans les réservoirs du Paléozoïque supérieur qu'ailleurs l'érosion avait laissés intact sous leur couverture (*Premier type classique d'accumulation*).

Survient la transgression du Trias. Elle n'est pas synchrone sur l'ensemble des bassins sahariens, particulièrement sur les régions structurellement hautes, régions dont les mouvements embryonnaires cimériens vont amener l'affaissement progressif, comme nous l'avons vu dans les chapitres antérieurs.

A Hassi R'Mel, cette invasion marine va, par son apport gréseux, créer un réservoir que scelleront les séries imperméables plus jeunes. Les fluides en mouvement dans les formations paléozoïques sont, désormais, piégés dans un grès triasique qui transgresse les structures tronquées de l'édifice hercynien (*deuxième type classique d'accumulation*).

A Hassi Messaoud, la transgression du Trias, plus tardive qu'à Hassi R'Mel, amène une sédimentation dont les caractéristiques de réservoir sont pratiquement nulles. Les formations transgressives y constituent, par contre, une excellente couverture se déployant sur des structures paléozoïques tronquées, lesquelles sont demeurées stériles depuis, en tout cas, la pénéplanation hercynienne jusqu'à ce début de l'orogénèse cimérienne. La mise en place du pétrole dans les grès cambriens d'Hassi Messaoud n'obéit pas aux lois qui régissent les migrations de type classique que nous venons de mentionner. Voyons ce qui en fait un cas aberrant.

B. Cas aberrant d'Hassi Messaoud

A moins de renoncer au principe du «least work» et de rechercher l'origine du pétrole dans les formations triasiques (W. BRUDERER 1956), ou encore de supposer l'existence d'une roche-mère plus ancienne que le Cambrien, on ne peut concevoir l'accumulation d'hydrocarbures dans les grès cambriens d'Hassi Messaoud que comme le résultat d'un tel concours de circonstances, que pareille accumulation échappe à toute prévision.

Grès formant les niveaux les plus bas de la série sédimentaire paléozoïque, donc sous-jacente aux roches-mères, grès situés, en outre, à l'intrados de puissantes assises affectées par les orogénèses successives et que cette position seule vouait aux effets du dynamométamorphisme, à la quartzitisation, mais auxquels l'émersion aurait conféré porosité et perméabilité, les grès cambriens d'Hassi Messaoud, stériles après la pénéplanation hercynienne (p. 539), ont été alimentés par des migrations cimérienne et alpine, qui ne relèvent pas plus des cas classiques mentionnés en C que les migrations qui aboutirent à l'accumulation d'hydrocarbures dans les massifs granitiques des champs colombo-vénézuéliens du Rio de Oro, par exemple. Le granite se trouve là en un bloc faillé, que recouvrent des argiles du Tertiaire continental et que flanquent, 500 à 1800 m structurellement plus bas, les roches-mères du Crétacé supérieur. Cas aberrant s'il en fut, ce chauve granitique ne diffère du horst cambrien d'Hassi Messaoud que par la nature épigénétique plus évidente de ses qualités de réservoir.

A côté des gisements sahariens de types classiques de Tin Fouyé, Hassi Mazoula, Ohanet, Zarzaitine, La Reculée, Tiguentourine, Edjeleh, El Adeb Larache, Tan Emellel (1° type) d'une part et d'Hassi R'Mel, Nezla, Touareg, Gassi Touil (2° type)

d'autre part, les structures d'Hassi Messaoud, celles aussi d'El Gassi et d'El Agreb, nous apparaissent comme des cas exceptionnels, des cas aberrants, que leur nature même rend évidemment difficiles à définir en tant que zones préférentielles d'accumulation pétrolière.

C. Les «Tops» sismiques

Un des aspects les plus caractéristiques de l'exploration saharienne est que l'un de ses premiers succès pétroliers fut la découverte de gisements du type le plus difficile à définir en tant que zones préférentielles d'accumulation. La poursuite subséquente d'objectifs analogues fut, presque coup sur coup, voué à l'échec. Dès lors que la découverte d'Hassi Messaoud révélait l'existence d'un «Top» sismique exprimé dans les grès cambriens, la chasse aux «Tops» paraissait justifiée. Or elle ne l'est, en fait, que dans la mesure où l'on se garde d'attribuer à la réalité actuelle du «Top» une valeur intrinsèque, sans rapport avec son hétérogénéité structurale dans le temps. Ceci, nous l'avions énoncé, déjà, dans une précédente note (CHENEVART 1963) en ajoutant que l'importance d'un «Top», en exploration pétrolière, ne saurait ressortir que de l'intégration, aux données mesurables de la géophysique, des faits géologiques parfois réfractaires à toute mesure. Ce sont ces faits, décrits dans les chapitres I, II et III, qui, en nous révélant l'hétérogénéité des «Tops» dans le temps, nous permettra de délimiter, dans les périmètres contigus aux structures aberrantes connues, les zones les plus propres à la mise en place des hydrocarbures.

D. Gisements potentiels du Sahara septentrional

Peut être considérée comme gisement potentiel toute zone où s'opère la jonction des phénomènes stratigraphiques et des phénomènes structuraux propres à la mise en place des hydrocarbures.

Dans le compte-rendu cité ci-devant (p. 551), les dorsales transverses anciennes sont définies comme ayant été, successivement, sources d'apport sédimentaire et massifs-obstacles. Comme telles, elles déterminent, d'une part, la direction des axes autour desquels s'ordonnent courbes d'isofaciès, biseaux, diastèmes, lacunes stratigraphiques et discordances angulaires et conditionnent, d'autre part, la répartition de certains accidents structuraux (op. cit. p. 926).

1. Phénomènes stratigraphiques

Nous avons vu, en p. 546 de quelle permanence dans le temps et de quelle continuité dans l'espace se révèle la direction méridienne des dorsales d'Arak-Hassi R'Mel, d'Amguid-Hassi Messaoud et de Tihemboka-Edjeleh. Ces trois dorsales étant des sources d'apport sédimentaire dès les orogènes précambriennes, c'est autour d'axes de direction Nord-Sud que s'ordonneront les phénomènes stratigraphiques dont procèdent roches-mères, roches-réservoirs, migrations, piègeages des hydrocarbures.

2. Phénomènes structuraux

La Géologie structurale nous a enseigné que les phénomènes, essentiellement cimériens, d'inversion du relief, de fléchissement vers l'Est de l'extrémité septentrionale des trois dorsales, de leur disposition en gradins, prouvent suffisamment que la réalité actuelle de la subsurface saharienne ne correspond que rarement aux réalités successives qui, variant au gré des orogénèses, ont conditionné les migrations et les accumulations d'hydrocarbures dans l'espace saharien.

a) Inversion du relief

S'il est vrai que le terme «Top sismique» ne signifie souvent rien d'autre que sommet topographique, sans aucune spécification structurale, le fait positif de l'inversion du relief conduit à la découverte de la valeur structurale réelle des «Tops sismiques» actuels et à la localisation des sommets structuraux anciens qui sont actuellement des zones topographiquement basses (p. 543 et 545).

Dans un ensemble tectonique en «horst et graben» ces derniers sommets structuraux, lorsqu'ils ont été originellement pétrolifères, le demeurent souvent après leur affaissement, ce dont témoignent, entre autres, les gisements de Fouke, en Arkansas, ou ceux du Magdalena moyen, en Colombie. Là, l'inversion du relief, survenue durant le Miocène, a amené les blocs-réservoirs exploités du Crétacé supérieur en position basse par rapport aux «Tops» actuels, «Tops» pourvus des mêmes réservoirs, mais dans lesquels les forages de l'Intercol (Standard Oil Co.) n'ont rencontré que de l'eau salée. (Dénivelés entre zones basses productives et «Tops» actuels: 600 à 800 mètres; distance horizontale 9 à 11 kilomètres.)

b) Les failles

Comme nous l'avons vu, les phénomènes structuraux ont abouti à un style tectonique en «horst et graben». L'élément déterminant d'un tel style est la faille, dont la nature et le rôle diffèrent grandement suivant qu'elle est issue des mouvements orogéniques ou des subsidences différentielles.

Dans le premier cas, les failles affectant les volumes paléozoïque et mésozoïque, procèdent de la tectonique du Socle cristallin, c'est-à-dire que ces volumes ont été déplacés à partir de leur support inférieur. Si le volume paléozoïque déplacé était, originellement, pétrolifère, les failles, ces plans de déformations discontinues entre lesquels ce volume est compris, vont constituer, soit des pièges structuraux, soit des voies de migration, ou les deux simultanément. Une faille, en effet, ne saurait être assimilée à un plan sans épaisseur, dont la projection est une ligne. C'est, en fait, un volume dont la projection sur une carte s'exprime par une surface. Ainsi définie, une faille peut comprendre, disposées dans le sens du mouvement qui l'a produite, plusieurs zones que, schématiquement, on peut grouper en

- zone médiane de broyage maximum, que les propriétés physiques des particules qui l'occupent rendent étanche, même avant que ne s'amorcent les processus d'épigénie et de métasomatose. Ces derniers accentueront encore son caractère de barrière de perméabilité;

- zones latérales de broyage décroissant, occupées par des particules de moins en moins fines à mesure que l'on approche des deux lèvres de la faille. Elles constituent les voies de migration par excellence.

C'est un fait d'expérience, qui se conçoit aisément, que, dans les failles à grand rejet, le rôle de la zone de broyage maximum prévaut souvent et que la majorité de ces failles constituent des pièges à hydrocarbures, aptes à préserver des gisements, tandis que les failles dont le faible rejet n'aura engendré que des zones grossièrement broyées, se prêteront à toute migration des fluides. Qu'une solution de continuité survienne dans des failles à grand rejet, celles-ci pourront alors assumer les deux fonctions simultanément.

Ceci concerne donc les failles issues de mouvements orogéniques, premier cas envisagé.

Dans le deuxième cas, celui des failles que déterminent les subsidences différentielles, le bloc paléozoïque, par suite de la passivité relative de son support inférieur, est écrasé entre le volume mésozoïque et le socle cristallin. Il est ainsi soumis à un processus taphrogénique qui n'aboutit aux déformations discontinues que dans les secteurs de libération des contraintes, c'est-à-dire en bordure du bloc cristallin résistant. Ces failles pourraient relayer celles des blocs affaissés adjacents dans leur rôle de voies de migration si, par suite de phénomènes d'écoulement plastique, il ne se produisait un colmatage mécanique de ces dernières. Du fait que les contraintes verticales se résolvent latéralement, il y aura superposition de deux gisements si le bloc paléozoïque écrasé était originellement pétrolifère, ses hydrocarbures se diffusant, à partir de l'axe de plus grande subsidence, vers ces failles.

3. Répartition géographique

Les faits d'observation consignés dans les chapitres I, II et III ont fait ressortir l'existence d'éléments paléogéographiques qui, avec les trois dorsales transverses principales, règlent l'ordonnance des courbes de faciès et des effets taphrogéniques. Ce sont les « *Hinge-belts* » *hercyno-cimériens* de la Saoura et du 30^e parallèle (p. 544).

Ces éléments et les charnières qui délimitent les dorsales peuvent être considérés, empiriquement, comme présentant la même importance que leurs homologues d'Amérique et du Moyen-Orient, homologues qui, par leur nombreuses implications stratigraphiques et tectoniques constituent des zones pétrolifères qui fournissent plus de 50% de la production mondiale actuelle, ce qu'avaient constaté G.M. KNEBEL et G. RODRIGUEZ en 1956 déjà.

Le « Hinge-belt » de la Saoura et les dorsales de direction méridienne ont conditionné le développement des réservoirs aussi bien paléozoïques que mésozoïques, n'étant, comme nous l'a enseigné la cinématique, que les effets de rejeux cimériens de blocs d'apport sédimentaire plus anciens. Par contre, le « Hinge-belt » du 30^e parallèle, n'a présidé à la genèse que des réservoirs mésozoïques.

Les failles procédant des mouvements orogéniques sont confinées sur les flancs de ces éléments paléogéographiques et celles procédant des subsidences différentielles se trouvent en bordure des fosses de subsidence, notamment en bordure du bassin central ou bassin de Mya-Rhir.

Ceci étant, c'est-à-dire connaissant les zones où s'opère la jonction des phénomènes stratigraphiques et tectoniques, nous pouvons considérer ces zones comme potentiellement pétrolifères et le choix des points d'implantation de nouveaux forages d'exploration se portera :

3.1 A l'intérieur (et non sur la bordure comme cela s'est fait pour Sd 1 et On 1) de la zone anomalique qui flanque, à l'Est et au Nord-Est, la dorsale d'Amguid-Hassi Messaoud.

3.2 Dans le quadrilatère anomalique compris de part et d'autre du 30^e parallèle, entre Hassi Touareg, Hassi Inifel et St 1, en donnant aux zones actuellement basses une priorité d'ordre décroissant d'Est en Ouest.

3.3 A l'intérieur de la zone anomalique située sur la dorsale d'Arak-Hassi R'Mel, au NE de Ghardaia.

3.4 Sur la bordure orientale du gradin intermédiaire compris entre la dorsale d'Amguid-Hassi Messaoud et celle d'Arak-Hassi R'Mel, soit à l'intérieur de la zone anomalique d'Ouargla.

3.5 Sur les compartiments méridionaux des structures actuelles limitées par des zones anomaliques et situées au Sud du « Hinge-belt » du 30^e parallèle.

3.6 Sur les compartiments orientaux des structures actuelles limitées par des zones anomaliques et situées à l'Ouest du « Hinge-belt » de la Saoura.

3.7 En Tunisie, sur le segment infléchi de la dorsale de Tihemboka-Edjeleh, entre les gisements d'El Borma et la culmination axiale des montagnes du Dahar au Nord-Ouest de Remada.

En dehors de ces 7 régions potentiellement pétrolifères, il est vraisemblable qu'il en existe d'autres sur des structures telles que les dorsales intermédiaires analogues à la seule que nous avons mentionnée, dorsales non encore définies dans le prolongement de môles hoggariens et de culminations axiales atlasiques.

V. STRUCTURES SAHARIENNES ET HYDROGÉOLOGIE

Les forages implantés dans les régions désertiques du Sahara septentrional, ont mit à jour l'un des plus grands systèmes aquifères du continent africain. Un des principaux réservoirs de ce système est constitué par les grès compris dans la série stratigraphique que les géologues pétroliers ont appelée « Continental Intercalaire ».

A. Définition du Continental Intercalaire

Originellement, le terme « Continental Intercalaire » désigne, dans l'histoire stratigraphique du Sahara septentrional, un épisode continental intercalé entre deux cycles sédimentaires marins : à la base, le cycle marin paléozoïque, que clôt l'orogénèse hercynienne et, au sommet, le cycle marin que déclenche la transgression du Crétacé supérieur.

Le Continental Intercalaire occupe, ainsi, l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien.

C'est dans ce sens que nous utiliserons, ici, le terme de Continental Intercalaire, en faisant remarquer, cependant, que le long épisode continental est, en fait, coupé de brèves mais nombreuses incursions marines.

B. Géométrie des Aquifères du Continental Intercalaire

Par aquifères du Continental Intercalaire, les hydrogéologues sahariens entendent, plus particulièrement les grès du Crétacé inférieur (Néocomien, Barrémien et Albien) (fig. 2).

La géométrie des aquifères définit leur extension horizontale, leur épaisseur et, par cela même, les solutions de continuité qu'expriment variations latérales de faciès et d'épaisseur, biseaux et failles.

1. Extension horizontale

Les cartes de lithofaciès montrent que les grès aquifères du Crétacé inférieur sont bien individualisés dans une grande partie de la région étudiée, mais que, par contre, ils ne le sont plus, en certains points, où ils forment une seule unité avec les grès sous-jacents d'âge jurassique à triassique, et qu'en outre ils passent latéralement à des calcaires dolomitiques et des marnes argileuses vers le Nord-Est (Tunisie). Ces faits sont représentés schématiquement dans la figure 5.

2. Epaisseurs

Les cartes d'isopaques des grès du Crétacé inférieur montrent des variations d'épaisseur importantes et survenant sur de courtes distances. Citons, entre autres, celle observée entre les forages Mo 1 et Df 1A (pl. I.).

Dans les régions où les grès crétacés ne peuvent être différenciés des grès jurassiques et triassiques sous-jacents, de nombreux biseaux affectent la partie médiane de la série compréhensive (pl. I et fig. 5).

La figure 6 donne l'épaisseur globale des grès dans l'ensemble du Continental Intercalaire de même que leur rapport quantitatif avec les calcaires et les aquicludes que nous ne traitons pas dans le présent travail.

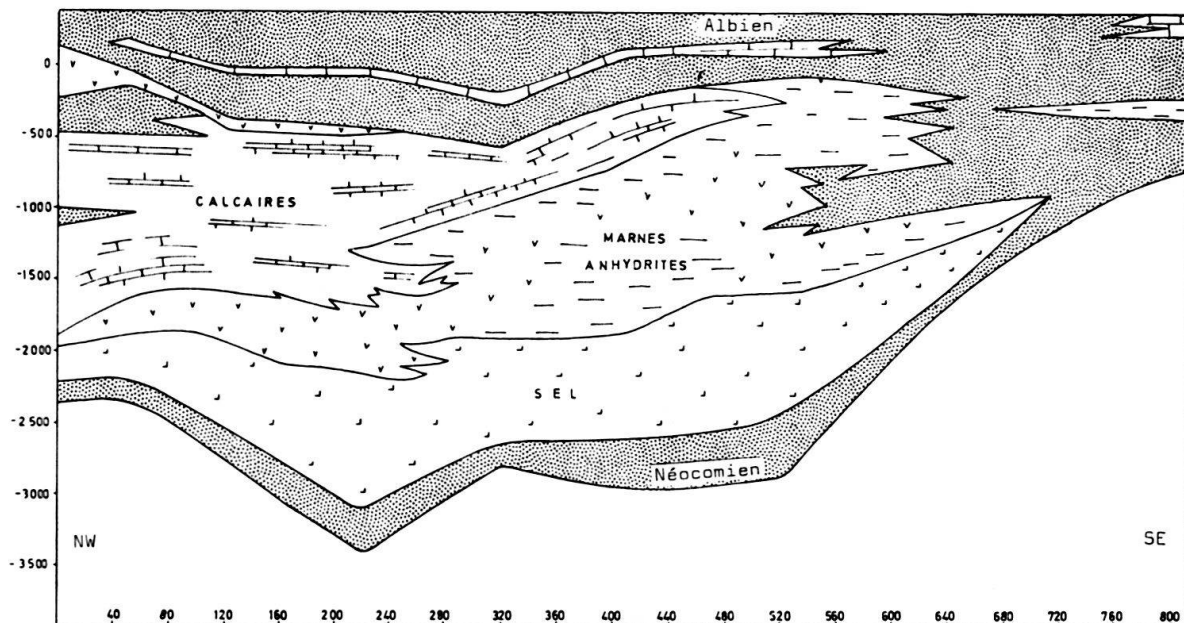


Fig. 5. Schéma de répartition des grès dans la série stratigraphique du Continental intercalaire.

«Correction: au lieu de Néocomien il faut lire Trias.»

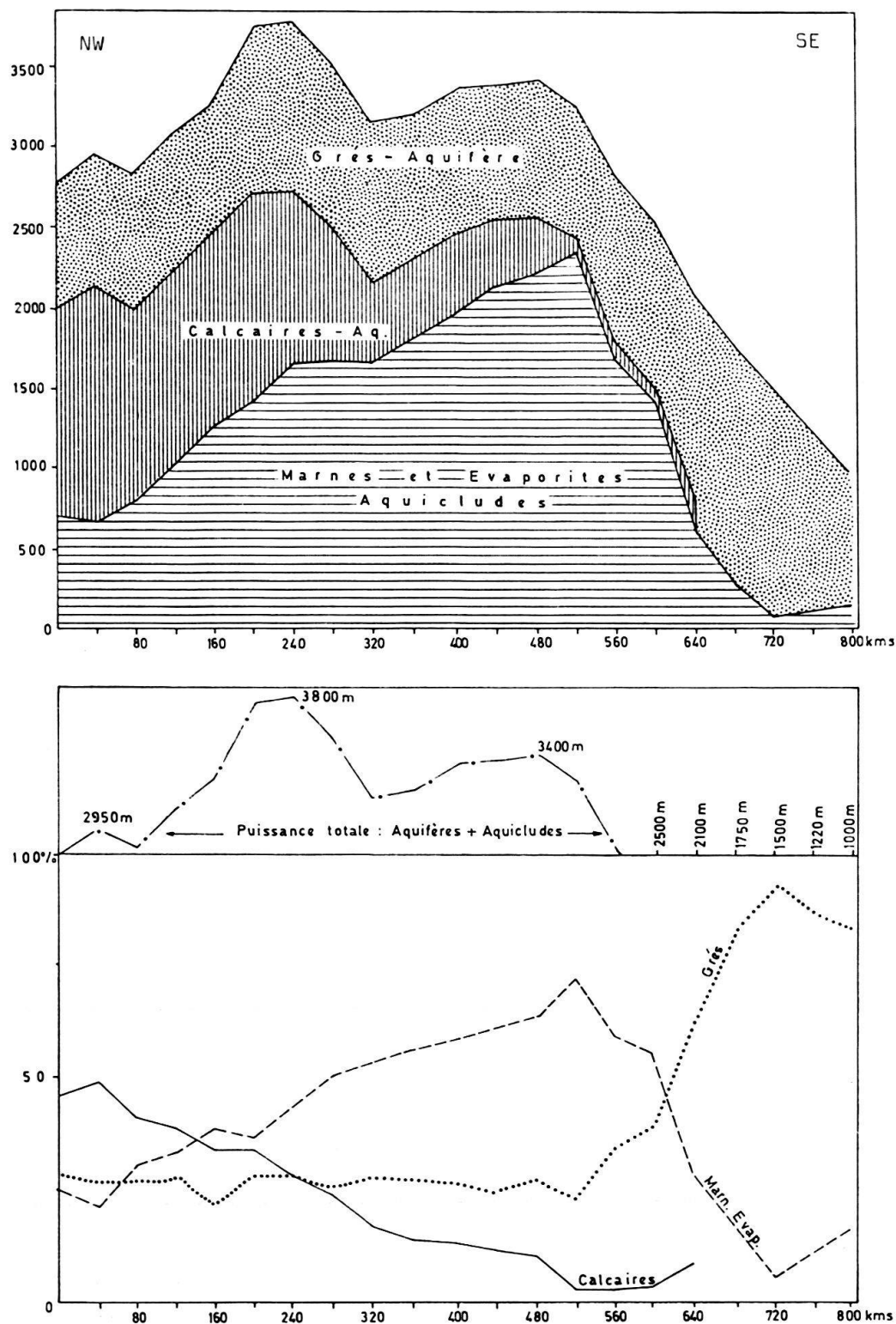


Fig. 6. Diagrammes montrant la relation quantitative entre grès aquifères, calcaires et aquicludes du Continental intercalaire.

C. Éléments structuraux régissant la géométrie des aquifères

Les faits de géologie structurale, consignés dans les chapitres I, II et III, nous révèlent que les sédiments du Continental Intercalaire se sont déposés entre la fin de

l'orogénèse hercynienne et la fin de l'orogénèse cimérienne soit, durant une période géologique qui vit la pénéplanation des chaînes hercyniennes, la rejuvenation des dorsales méridiennes d'Arak–Hassi R'Mel, d'Amguid–Hassi Messaoud et de Tihemboka–Edjeleh et, enfin, l'individualisation d'unités paléogéographiques nouvelles, dont les pulsations déclenchent de brusques et brèves récurrences marines dans l'aire de sédimentation continentale du Sahara septentrional.

Les principaux éléments structuraux connus de la subsurface saharienne sont donc contemporains de la sédimentation des grès aquifères du Continental Intercalaire et, plus spécifiquement, des grès aquifères du Crétacé inférieur.

Sans vouloir récapituler, les faits décrits jusqu'ici, nous dirons que l'influence de ces principaux éléments structuraux, sur la sédimentation gréseuse, est manifeste et qu'il suffit de jeter un regard sur les coupes structurales (pl.I), que nous avons levées à partir des logs de forages et des données de la sismique, pour constater que :

1. La prolifération des grès, leur biseutage, mentionnés au sous-chapitre B, se produisent sur l'ancien flanc oriental de la dorsale de Tihemboka–Edjeleh, marquée actuellement par l'inversion du relief.
2. La réduction d'épaisseur, également citée en B, se produit sur le sommet de la dorsale d'Amguid–Hassi Messaoud.
3. La transgression des grès du Crétacé supérieur, reposant directement sur le Paléozoïque, se développe sur les régions hautes du Sud et de l'Ouest, émergées durant tout le Trias et le Jurassique.

Nous pouvons en conclure que les éléments structuraux régissant la géométrie des aquifères, c'est-à-dire les éléments structuraux ayant présidé à la sédimentation des grès du Continental intercalaire, sont les dorsales méridiennes et les régions hautes qui délimitent les trois bassins structuraux sahariens que nous avons appelés (p. 551) Bassin occidental, Bassin central et Bassin oriental fig. 4.

D. Bassins structuraux et barrières hydrauliques

Les trois bassins structuraux et les dorsales et régions hautes qui les limitent sont une réalité actuelle, une réalité que la géologie, les forages et la sismique rendent incontestables.

Cette réalité structurale ne saurait être une réalité hydrogéologique que pour autant qu'elle réponde aux conditions de limite entre bassins hydrogéologiques, c'est-à-dire dans la mesure où les dorsales et régions hautes, délimitant les bassins, constituent entre eux des barrières hydrauliques.

C'est le cas pour les régions hautes du Sud et de l'Ouest, de même que pour la dorsale du Dahar affleurant à l'Est (Tunisie). Ces trois éléments structuraux affleurants sont des barrières hydrauliques dans ce sens que c'est dans les grès crétacés qui les surmontent que se situe la surface libre des nappes du Continental intercalaire.

Qu'en est-il des dorsales transverses d'Arak–Hassi R'Mel, d'Amguid–Hassi Messaoud et de Tihemboka–Edjeleh ?

Une dorsale transverse ancienne en « horst », telle qu'elle est décrite ici, peut constituer une barrière hydraulique soit par sa structure, soit par sa stratigraphie ou par les deux simultanément. De la géologie structurale nous pouvons déduire, également,

qu'une barrière hydraulique peut procéder de la profondeur atteinte par le réservoir aquifère dans les « graben » qui flanquent cette dorsale. Quelques exemples tirés des pages précédentes et des figures qui les accompagnent, préciseront ces constatations.

1. Barrières hydrauliques résultant de la structure

Ce que nous avons dit du rôle que jouent les failles en exploration pétrolière (p. 556 et 557), s'applique également à l'hydrogéologie. Les failles à grand rejet, telles que celles qui flanquent la dorsale d'Arak–Hassi R'Mel entre les forages Be 1 et Ga 1 (pl. I, fig. A) et la dorsale d'Amguid–Hassi Messaoud entre les forages Df1A et Bs1 (pl. I, fig. B) peuvent constituer des barrières de perméabilité.

Le caractère de barrière de perméabilité des failles est accentué encore par les remplissages diapiriques ou les écoulements gravitaires partout où elles affectent une série évaporitique au voisinage des grès du Continental intercalaire, comme cela est le cas sur le plateau de Tademaït (p. 545).

Dès lors que les failles à grand rejet forment une zone continue sur le flanc oriental des dorsales d'Arak–Hassi R'Mel et d'Amguid–Hassi Messaoud, il est justifié de considérer ces deux dorsales comme de possibles barrières hydrauliques résultant de la structure.

2. Barrières hydrauliques résultant de la stratigraphie

La planche I illustre les faits déjà cités, auxquels leur fréquence confère un caractère de généralité, à savoir que c'est le long des dorsales de Tihemboka–Edjeleh et d'Amguid–Hassi Messaoud que prolifèrent les grès du Continental intercalaire, leur biseutage et les changements latéraux de faciès et qu'aux sommets des dorsales d'Arak–Hassi R'Mel et d'Amguid–Hassi Messaoud correspondent les plus fortes réductions de puissance de ces mêmes grès.

Si le biseutage des grès du Trias contre la dorsale de Tihemboka–Edjeleh n'a point de signification hydrogéologique, puisque le réservoir se prolonge dans le Lias transgressif et jusqu'au sommet de l'Albien, le passage latéral de l'Albien clastique à l'Albien dolomitique, au-delà de la frontière algéro-tunisienne, et le biseutage des grès néocomiens, entre N12 et Tr 1 (pl. I, fig. A), constituent, par contre, des barrières hydrauliques sur de longs segments des dorsales limitant les bassins structuraux.

Nous ne possédons pas de preuves péremptoires du biseutage de tout le Continental intercalaire, dans le prolongement de la zone Df1A–Mo1 (pl. I, fig. B) où s'opère une très forte réduction de son épaisseur. Nous aurions alors, sur cette partie de la dorsale d'Amguid–Hassi Messaoud, une barrière hydraulique procédant, à la fois, de la structure et de la stratigraphie.

3. Barrières hydrauliques procédant des pressions

La géologie structurale nous enseigne que le mur du Continental intercalaire atteint, dans les « Graben » sahariens, des profondeurs comprises entre 4000 et 5000 mètres tandis que son toit peut atteindre plus de 3000 mètres.

La pression statique, qu'à ces profondeurs exerce le poids des sédiments surmontant les aquifères, a été mise en évidence dans de nombreux forages d'Hassi Messaoud. Ainsi, par exemple, dans un réservoir discontinu (une lentille de grès aquifère, isolée dans un complexe argileux de OMN 13), la pression statique de fond était de 270 kg/cm^2 à 2030 mètres de profondeur. Ces chiffres expriment un ordre de grandeur commun à plusieurs autres mesures effectuées entre 2000 et 3000 mètres, mais le cas du forage Md I mérite une mention spéciale: A Md I, une dolomie vacuolaire, isolée dans une épaisse série d'anhydrites du Continental Intercalaire, accuse une pression statique de fond de 575 kg/cm^2 à 2450 mètres de profondeur.

Ce cas en évoque d'autres où pourraient intervenir ces facteurs d'augmentation de pression que sont les phénomènes de drainance.

a) Les grandes drainances sahariennes

Des grès crétacés du Continental Intercalaire, reposant directement sur les structures tronquées du Paléozoïque (pl. I.), se rencontrent sur toute la bordure occidentale et méridionale de la région étudiée, de même que sur le sommet des dorsales d'Amguid-Hassi Messaoud et d'Arak-Hassi R'Mel, formant, notamment sur cette dernière, une large bande méridienne qui s'étend des affleurements jusqu'à la latitude d'El Golea.

L'écorché de la surface d'érosion paléozoïque nous indique les différents niveaux paléozoïques mis ainsi en contact direct avec les grès crétacés. Quelques-uns de ces niveaux sont des grès aquifères, dont les nappes en charge accusent de très fortes pressions dans les forages. (A l'affleurement, dans les Tassilis par exemple, l'eau jaillissante est caractérisée par de très faible teneur en sel.)

L'alimentation du Continental Intercalaire, par drainance à partir de ces nappes, nous paraît plus que vraisemblable.

b) Effet global des hautes pressions

Quels que soient les facteurs déterminant les hautes pressions, dès lors qu'elles existent et qu'elles sont mesurables, force nous est de constater qu'elles sont supérieures à toute pression gravitaire concevable dans les limites du Sahara septentrional, et que, par cela même, elles constituent des barrières hydrauliques.

En effet, si, comme le veut l'hydrogéologie conventionnelle, le Sahara septentrional pouvait être assimilé à un système de distribution d'eau, dont tous les points communiquent entre eux, les pressions statiques des grandes profondeurs et celles résultant des phénomènes de drainance se diffuseraient dans l'ensemble du système. Elles y détermineraient des directions d'écoulement, directions divergentes à partir des axes de plus hautes pressions. Sur ces axes s'érigeraient, effet global des hautes pressions, des barrières hydrauliques infranchissables.

E. Compartimentage des Nappes aquifères du Continental Intercalaire

S'il est certain, comme nous l'avons vu précédemment, que, sur de longues distances, les dorsales sahariennes de subsurface et celles de surface (p. 561) constituent des barrières hydrauliques (barrières résultant de leur stratigraphie, de leur structure), on pourrait alléguer qu'il n'est pas possible, pour autant, d'assimiler nos trois bassins

structuraux sahariens à des bassins hydrogéologiques. Peut-être, mais cependant, là où les dorsales ne constitueraient pas des barrières hydrauliques, elles seraient, pour le moins, des éléments perturbateurs du système aquifère puisque, aussi bien au Nord d'Hassi R'Mel, qu'au Nord d'Hassi Messaoud, elles s'infléchissent par failles transversales et s'enfoncent, par inversion de relief, précisément dans leurs parties le plus profondément érodées. Enfouissement et érosion profonde ne sauraient qu'amener accroissement des pressions statiques et multiplication des drainances, si bien qu'aux caractères perturbateurs des dorsales elles-mêmes, s'ajoutent ceux des barrières hydrauliques procédant des hautes pressions.

Concluons donc que le compartimentage partiel des nappes aquifères du Continental Intercalaire, que ce compartimentage partiel, résultant des dorsales, est complété par l'existence des barrières hydrauliques de pression dans toute la zone de subsidence du piedmont atlasique. Ce cloisonnement des nappes survient, en outre, dans les régions profondes des « Graben » adjacents aux dorsales.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

En révélant l'existence, dans une des régions les plus arides du monde, de deux des ressources naturelles indispensables à la société de cette seconde moitié du vingtième siècle, l'épopée du pétrole saharien aura, également, été dispensatrice de connaissances qui, sans elle, seraient demeurées inaccessibles.

Les méthodes de la Géologie structurale ont permis la synthèse de ces connaissances et ont, ainsi, défini une réalité de la subsurface saharienne, fondamentalement différente de l'image qu'en avait dressée l'hypothèse d'un bouclier imperturbable à travers toutes les orogénèses successives.

Cette réalité de la subsurface du Sahara septentrional consiste en un édifice orogénique, de style tectonique cassant, fait, d'une part, de « Horst » à sommets plats et à flancs abrupts, faillés et, d'autre part, de « Graben » larges et très profonds.

Les « Horst » sont principalement représentés par les trois dorsales méridiennes d'Arak–Hassi R'Mel, d'Amguid–Hassi Messaoud et de Tihemboka–Edjeleh.

Contemporaines de la sédimentation des réservoirs pétrolifères du Paléozoïque et, également, des réservoirs aquifères du Mésozoïque, ces trois dorsales, par leur qualité même de dorsales transverses anciennes (p. 551), ont été, tour à tour, source d'apport sédimentaire (lorsqu'émergées) ou hauts-fonds immergés. Comme telles, elles déterminent la direction des axes autour desquels s'ordonnent courbes d'isofaciès et d'isopiques, diastèmes, biseaux, lacunes stratigraphiques et discordances angulaires.

L'industrie pétrolière a largement tenu compte de ces faits dans l'implantation des plus récents forages d'exploration et de développement. En tentant de compléter l'analyse des faits structuraux et d'élargir l'enseignement pratique qui s'en dégage, la présente étude aboutit à la conclusion que l'un des principaux gisements exploités, celui d'Hassi Messaoud, constitue un cas presque aussi aberrant que celui de certains réservoirs granitiques (p. 554) et que les efforts déployés dans la poursuite d'objectifs analogues ont, du moins, présenté l'avantage de révéler la réalité saharienne de ce que tout fait aberrant, toute exception, implique et constate: la règle générale, le cas courant, les structures conformes aux types classiques (p. 553 et 554).

Ce sont ces gisements de types classiques que nous avons essayé de localiser en délimitant, le long des principales dorsales transverses sahariennes, sept zones potentiellement pétrolifères.

Sans doute, les perspectives de nouvelles découvertes ne se limitent pas à ces sept zones. Les campagnes géophysiques en cours et les futurs forages profonds mettront vraisemblablement en évidence d'autres structures propres à la migration et à l'accumulation des hydrocarbures. *Ainsi, la géologie structurale, appliquée à la localisation de cette ressource naturelle, devrait affermir notre espoir que l'épopée du pétrole saharien n'est pas close.*

Quant à cette autre ressource naturelle, les eaux souterraines du Sahara septentrional, nous répondrons aux questions posées dans notre avant-propos (p. 531), en énonçant ce qui pourrait être un truisme et qui n'est souvent qu'une vérité ignorée, à savoir que les *études de Géologie structurale constituent le préalable indispensable à toute recherche hydrogéologique.*

Qu'il s'agisse, comme dans la région étudiée, d'exploiter des nappes captives ou des nappes libres, la géométrie des réservoirs, que définit la géologie structurale, est un des principaux éléments d'évaluation des ressources en eau. Aux expressions spatiales de cette géométrie (extension horizontale, épaisseur) s'ajoutent ces valeurs numériques que sont les coefficients de porosité et d'imperméabilité des réservoirs aquifères, puisqu'aussi bien, ces coefficients sont fonction du degré de clasticité des grès et que le degré de clasticité dépend de la distance aux sources d'apport sédimentaire. La géologie structurale nous a fait connaître ces sources d'apport sédimentaire et les solutions de continuité qu'elles impliquent (barrières hydrauliques résultant de la stratigraphie, de la structure p. 562). Elle nous a fait connaître, d'autre part, l'existence de barrières hydrauliques procédant des hautes pressions (p. 561, 562 et 563). Ces hautes pressions rendent illusoire toute tentative de levée de carte piézométrique qui, ne tenant pas compte de ces pressions (supérieures à toute pression gravitaire concevable au Sahara), établirait des directions d'écoulement sans aucun rapport avec la réalité.

Considérant les faits de géologie structurale, consignés dans les chapitres I, II et III, il nous semble que l'exploitation rationnelle des Aquifères du Continental Intercalaire ne peut se réaliser qu'à partir de chacun des trois bassins structuraux, auxquels il sera attribué, provisoirement, une individualité hydrogéologique, avec zones d'alimentation (drainance prévalant sur l'infiltration) et exutoires pour chacun. Nous aurons ainsi :

- Le bassin occidental avec exutoires situés dans les chotts de la Saoura.
- Le bassin central avec exutoires dans les chotts Merouane, Melrhir et Rharsa.
- Le bassin oriental avec exutoires dans les chotts Djerid et Fedjadj.

C'est dans ce contexte structural que l'hydrogéologue pourra effectuer ses mesures de débit et de pression, en procédant, de préférence, à la manière des géologues pétroliers, c'est-à-dire :

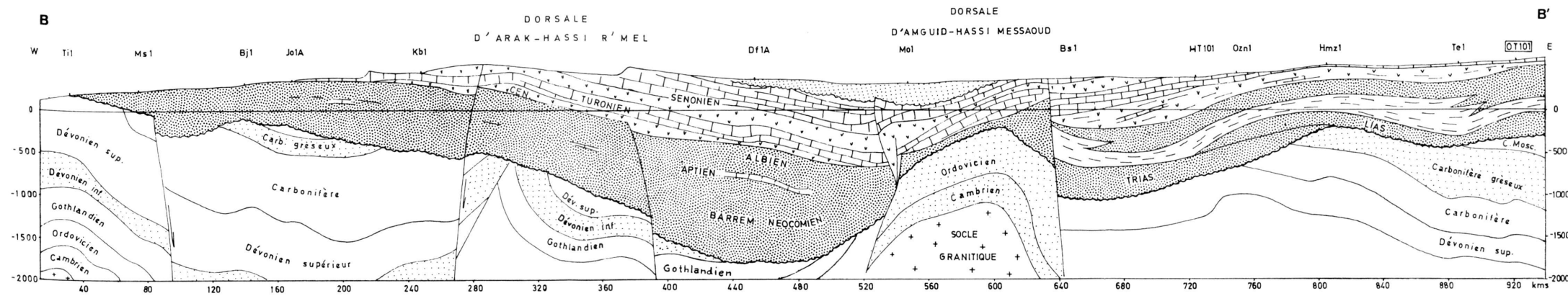
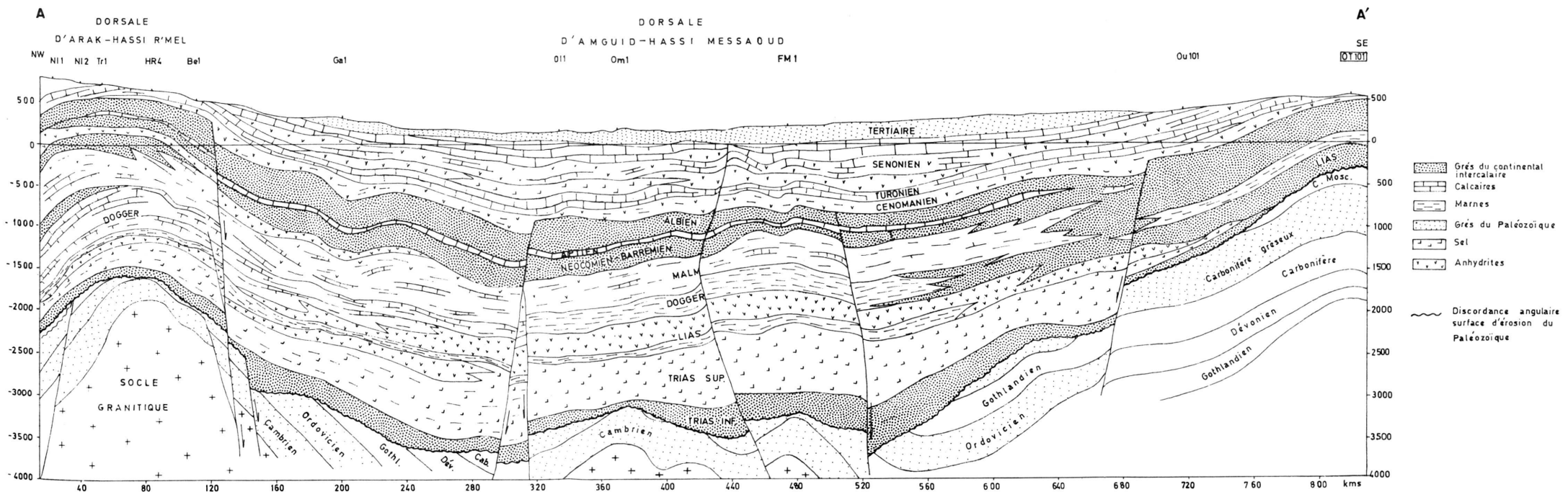
1. en mesurant les pressions statiques de fond plutôt que celles de tête (à Md, par exemple, nous avons constaté une perte de charge de 17 kg/cm² malgré la pression de tête stabilisée);

2. en étudiant chaque forage indépendamment de toute notion préalable sur l'éventuelle communication entre les divers points d'observation, excluant ainsi toute pétition de principe relative au cloisonnement ou au non-cloisonnement des nappes du Continental Intercalaire.

Si la construction de modèles analogiques et/ou mathématiques était jugée utile à l'établissement d'un programme d'exploitation, il nous paraît nécessaire qu'un modèle soit construit *pour chacun des trois bassins* et non pour l'ensemble indifférencié de la région étudiée ici. Une telle construction unique qui couvrirait l'ensemble du Sahara septentrional et ne tiendrait pas compte de la géométrie des réservoirs, n'aurait d'autre sens que celui que revêt la poursuite d'une chimère.

OUVRAGES CITÉS

- BALDUCCHI, A. et POMMIER, G. (1970): *Cambrian Oil Field of Hassi Messaoud*. In: *Geology of Giant Petroleum Fields*, edited by M.T. Halbouty (voir ci-après).
- BLANCHOT, A. (1953): *Le Précambrien de Mauritanie Occidentale*. Thèse. Bull. Dir. Min. AOF Dakar.
- BRUDERER, W. (1956): *Les océans souterrains fossiles et le pétrole*. Bull. de l'Assoc. Française T.P. 120.
- BURGEAP (1963): *Etude du Continental Intercalaire Saharien*. Rapport du Bureau d'étude de géologie appliquée et d'hydrologie souterraine. Paris.
- BUSSON, G. (1967): *Le Mésozoïque Saharien*. Editions du Centre national de la recherche scientifique. Paris.
- CHENEVART, C. (1963 a): *Les dorsales transverses anciennes de Colombie et leurs homologues d'Amérique latine*. *Eclogae geol. Helv.* 56/2.
- (1963 b): *Pièges structuraux et synclinaux perchés de la subsurface paléozoïque du Sahara*. *Eclogae geol. Helv.* 56/2.
- CORNET, A. (1948): *Sur la réalité de mouvements post-crétacés au Sahara*. Trav. Inst. Rech. Sah. Alger.
- FREULON, J.M. (1964): *Etude géologique des séries primaires du Sahara central*. Publ. du Centre national de la recherche scientifique.
- FURON, F. (1957): *Le Sahara. Géologie, ressources minérales, mise en valeur*. Payot. Paris.
- GLANGEAUD, L. (1932): *Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger*. Thèse. Faculté des Sciences. Paris.
- HALBOUTY, M.T. (1970): *Geology of Giant Petroleum Fields*. A symposium on giant fields of the world. Published by the American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, Oklahoma. USA.
- HEYBROEK, P. (1963): *Note on the structural development of the El Biod High and Amguid Spur (Central Algerian Sahara)*. *Revue Inst. Française du Pétr.* XVIII.
- KILIAN, C. et LELUBRE, M. (1948): *Géologie de l'Orient des Ajjer*. C.R. Acad. Sc. 222. Paris.
- KNEBEL, G.M. and RODRIGUEZ, G. (1956): *Habitat of some Oil*. Bull. American Association of Petroleum Geologists. 40, 4.
- LAFFITTE, R. (1939): *Etude géologique de l'Aurès, Algérie*. Thèse. Faculté des Sc. Paris.
- LELUBRE, M. (1952): *L'Antécambrien de l'Ahaggar*. Congr. Géol. Intern. Alger. Monographie régionale, 1^{ère} Sér. 6.
- (1952): *Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental*. Congr. Géol. Intern. Alger.
- (1957): *La série pourprée de l'Ahnet*. Coll. Intern. Paris.
- MAGLOIRE, P.R. (1970): *Triassic Gas Field of Hassi er R'Mel, Algeria*. In: *Geology of Giant Petroleum Fields* (Voir sous Halbouty).
- MENCHIKOFF, N. (1949): *Quelques traits de l'histoire géologique du Sahara*. Livre jub. Ch. Jacob in Ann. Hébert et Haug. VII.
- PRUVOST, P. (1951): *L'Infracambrien*.
- REYRE, D. (1966): *Sedimentary Basins of the African Coasts*. Association of African Geological Surveys. New Delhi Symposium.
- WEEKS, L.G. (1952): *Factors of sedimentary basin development that control oil occurrence*. Bull. American Association of Petroleum Geologists. 36, 11.



Coupes structurales à travers le Sahara
(Position des coupes voir fig. 4)