



الدكتور
محمد الفاضلي
كلية العلوم - جامعة دمشق

جسور لوجستية النفط

حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة لجامعة دمشق

جامعة دمشق

١٤٣٧ - ١٤٣٨ هـ
٢٠١٦ - ٢٠١٧ م

مُقَدِّمَة

Préface

ما زال النفط يحتل مركز الصدارة بين مصادر الطاقة الأساسية في العالم ، رغم تعدد هذه المصادر في عصرنا الحاضر . ويعود ذلك الى الاحتياطي النفطي الهائل المكتشف حتى اليوم ، او المتوقع اكتشافه في المستقبل مع تقدم التقنيات الحديثة . كما يعود الى رخص تكلفة استخراج وتصنيع هذه المادة الأولية بالمقارنة بمصادر الطاقة الأخرى . ومن هنا أتت أهمية التركيز على الدراسات النفطية في مجالاتها كافة ، وبخاصة ان النفط كان وما زال يوجه اقتصاد العالم ، وبالتالي سياسته .

وجيولوجية النفط هي احد علوم الأرض الأساسية التي تهتم بنشأة وتراكم الفحم الهيدروجينية في صخور القشرة الأرضية ، وتهدف الى اكتشاف المزيد من الحقول النفطية على القارات وفي البحار . فهي تشكل إذن قاعدة أساسية في توجيه أعمال التنقيب والحفر والاستثمار .

ونظراً لهذه الأهمية التطبيقية المتزايدة ، فقد ادرج هذا العلم بين المقررات الأساسية التي اعتنقها قسم الجيولوجيا في كلية العلوم بجامعة دمشق في خطته الدراسية منذ أكثر من عشرين عاماً . وسند ذلك التاريخ وضعت لهذا المقرر العديد من الأعمالي الجامعية ، تناولت بمجموعها بعض المفاهيم النظرية والأمثلة التطبيقية لهذا العلم . بالإضافة الى كتاب جامعي جمع المعطيات والمعلومات القاعدية لجيولوجية النفط باللغة العربية .

وتمشياً مع التطور السريع لهذا العلم ، ومع تطور الدراسات الجيولوجية تحت السطحية ، ومع المعطيات الحديثة التي قدمت اكتشافات النفطية الجديدة ، وبخاصة في البحار وخلال السنوات العشر الأخيرة ، فقد رايت من الواجب والضرورة نقل هذه المعلومات المستجدة الى طلابنا وذلك على شكل نتاج جديد يجمع بين الاسس والمفاهيم الحديثة لهذا العلم وبين آخر النتائج التطبيقية التي توصل اليها الكثير من العلماء والمختصين في هذه الدراسات . كما حرصت على أن يكون في هذا الكتاب فائدة أيضاً لزملائنا الجيولوجيين والمهندسين العاملين في المجالات النفطية في القطر .

ورغم محاولتي تقديم نص علمي واضح وغني بالأمثلة ومزود بالأشكال الإيضاحية الكافية ، إلا أنني اعتقد أن باكورة انتاجي هذه ما زالت بعيدة عن الكمال . ومع هذا فإنني أرجو أن أكون قد قدمت ، كما قدم زملائي الأساتذة في قسم الجيولوجيا ، جديداً من الخبرة والمعرفة لطلابنا ولجيولوجيي قطرنا ولكتبتنا العربية ، أملاً أن أكون قد وفقت في ذلك الى تحقيق الهدف الذي من أجله وصفت هذا الكتاب .

المؤلف



منهاج مقرر جيولوجية النفط

السنة الرابعة - الفصل الثاني - ثلاث ساعات نظرية اسبوعياً

- الفحوم الهيدروجينية الطبيعية

- تركيب الفحوم الهيدروجينية

- المجموعات الرئيسية للفحوم الهيدروجينية

- نشأة الفحوم الهيدروجينية

- الهجرة الأولية - مفهوم الصخر الأم

- الصخور الخازنة والصخور النفطية

- الصخور الخازنة : الخصائص البتروفيزيائية - المجموعات الرئيسية

وخصائصها البتروجيولوجية

- الصخور النفطية : خصائصها وأنواعها المختلفة

- هجرة الفحوم الهيدروجينية - المصائد النفطية

- سيالة الفحوم الهيدروجينية : الهجرات الثانوية - مفاهيم الاصطداد

- الأنواع الرئيسية للمصائد والمكامن : تعاريف عامة - تصنيف

المصائد النفطية ونماذجها المختلفة

- الأقاليم النفطية

- مفاهيم وتعريف عامة - خصائص الأقاليم النفطية

- الأنواع الرئيسية للأقاليم النفطية

- أقاليم الشرق الأوسط

- حقول النفط في القطر العربي السوري

- التنقيب النفطي - الإنتاج

- لمحة موجزة عن أعمال التنقيب وطرائق الحفر والإنتاج وتقدير الاحتياطي النفطي

مدخل

Introduction

عرف النفط منذ أقدم العصور ، حيث استخدمه الصينيون القدامى والمصريون والآشوريون منذ أكثر من ستة آلاف عام كدواء وفي مواد البناء وتحنيط الموتى .

ولو عدنا إلى كلمة -نפט (Naphta) لوجدنا أنها ترجع في الأصل إلى اللغة الميزوبوتامية ، وهي من أقدم اللغات المعروفة في حوض ما بين النهرين ، وتعني مواد سائلة قابلة للاشتعال (Naphte) . ويقابل هذه الكلمة في اللغة اللاتينية تعبير (Pétroleum) الذي يعني زيت الصخر . ومنه اشتق لفظ بترول المستخدم عالمياً .

ومن هنا نرى للعلاقة الوثيقة بين النفط والصخور المحتوية عليه . والتعرف على هذه المادة واكتشافها لا يمكن أن يتم بمعزل عن الدراسات الجيولوجية . و جيولوجية النفط هي العلم الذي يعني بدراسة هذه الصخور الهيدروجينية الطبيعية من حيث خصائصها وشروط تشكلها وعلاقتها مع الصخور الأم . كما يعنى بانتقالها من هذه الصخور إلى الصخور الخازنة وحركتها ضمن هذه الأخيرة . وأخيراً يهتم باصطياد هذه الصخور وتراكمها في مصائد ومكامن الأقاليم النفطية .

إن تعدد واختلاف هذه الموضوعات التي تتطرق إليها جيولوجية النفط يدل

أيضاً على العلاقة الوثيقة بين هذا العلم والعلوم الجيولوجية الأخرى • غلفهم
الحوادث المختلفة التي تتحكم في نشأة وتوزيع الفصوص الهيدروجينية ، وبالتالي
في توجيه أعمال الإستكشاف ، يجب القيام بدراسة أوساط الترسيب وحوادث
تحول الرسوبات وهجرة الموائع منها • كما يجب دراسة الحواجز البنيوية والطبقية
التي تؤدي إلى اصطياد هذه الموائع وتراكمها • وهذا يتطلب إلماماً كافياً بعلوم
الترسيب والجيوكيمياء والديناميك ومعرفة معمقة بعلوم التكتونيك
والجغرافيا القديمة •

كما أن التنقيب عن الزيت والغاز يستدعي استخدام طرائق وتقنيات
جيوفيزيائية وجيوكيميائية وهيدرودينامية واقتصادية مختلفة ومتطورة باستمرار •
وبشكل عام فإن جيولوجية النفط ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالحوادث الجيولوجية
والجيودينامية الرئيسية ، حيث تتعلق بتكتونيك الصفائح وبيجودينامية
الأحواض وبميكانيكية الترسيب • والأقاليم النفطية هي حصيلة الجيوديناميك
الذي يسود الأحواض الرسوبية ، وتنتج التوضعات التي تملأ هذه الأحواض •

من ناحية أخرى فإن جيولوجية النفط تسهم إلى حد كبير في تطوير العلوم
الجيولوجية الأخرى وإغنائها ، وذلك لما تقدمه من معلومات جيولوجية تحت
سطحية عن طريق الآبار •

إن هذه العلاقة المتبادلة بين جيولوجية النفط والعلوم الجيولوجية الأخرى
تجعل من هذا العلم قاعدة أساسية في فهم جيولوجية الأحواض الرسوبية ،
وبالتالي في معرفة تاريخ الأرض وتطورها •

ضمن هذه الأطر والمفاهيم العامة فإن هذا الكتاب يعرض مختلف موضوعات
جيولوجية النفط في خمسة أقسام رئيسية : يهتم القسم الأول منها بدراسة

الخصائص والتركيب الكيميائي للفحوم الهيدروجينية ، وبشكل هذه الفحوم في الصخور الأم وخصائص هذه الأخيرة ، ومن ثم هجرتها الأولية الى الصخور الخازنة المجاورة .

أما القسم الثاني فقد خصص لدراسة الصخور الخازنة والصخور المغطية بمختلف نماذجها ، وذلك من حيث خصائصها البتروفيزيائية والبتروغرافية والترسيبية .

ويعالج القسم الثالث حركة الفحوم الهيدروجينية وهجراتها الثانوية ضمن الصخور الخازنة وتجمعها في المصائد . كما يعالج بالتفصيل الأنواع المختلفة للمكامن والعلاقات المتبادلة فيما بينها من طرف وبين الزيوت والغازات من طرف آخر .

في حين أن القسم الرابع يعرض دراسة متكاملة للأقاليم النفطية الرئيسية من حيث خصائصها النفطية والجيولوجية ، ويقدم وصفاً مفصلاً لأنواعها المختلفة . وفي هذا المجال فقد تم التركيز على دراسة أقاليم منطقة الشرق الأوسط بشكل عام وحقول النفط في القطر العربي السوري بشكل خاص .

أخيراً فإن القسم الخامس يتطرق بشكل مختصر إلى التنقيب الجيولوجي وطرق الحفر ووسائله كما يعرض لمحة موجزة عن طرق الاستثمار وتقدير الإحتياطي النفطي .

هذا وقد روعي في هذا التقسيم التسلسل الطبيعي للمراحل التي تمر بها الفحوم الهيدروجينية منذ توضعها وتشكلها الى اصطيادها وتراكمها . كما سيتضح خلال فصول وأبحاث هذا الكتاب فقد عولجت مختلف هذه الموضوعات من وجهة نظر دينامية وذلك بسبب العلاقة المباشرة بين تجمعات الزيت والغاز والخصائص الرسوبية والبنوية والهيدروجيولوجية للأحواض ، ووجود النفط

كما هو معروف رهن بوجود الحوض الرسوبي أولاً وأخيراً •

وكما سنرى فإن الأهمية المعطاة لبعض موضوعات هذا الكتاب لا تتناسب دوماً مع حجم هذه الموضوعات في الطبيعة أو مع ما كتب عنها في المراجع العلمية ، وإنما وجهت الأنظار غالباً إلى المفاهيم والأمثلة الحديثة نسبياً وذات الاهتمام البالغة من قبل جيولوجيي النفط •

وأخيراً فلا بد من القول بأن الاقتراب من الحقيقة هو طريق معقد تعرض فيه المنطقية والقناعة العلمية إلى الكثير من الصعوبات والعثرات • وأن تقدم المعرفة يتطلب مراحل طويلة من التفكير والتحصيل تبدو أحياناً في نتائجها وكأنها عود على بدء • إلا أن هذه التناقضات الظاهرية ما هي في الواقع إلا حقائق عميقة ومعقدة للحقيقة التي نبحث عنها وللصورة التي نحاول اعتمادها وتثبيتها لنموذج تغنيه المعرفة باستمرار ودون انقطاع •

ولا يمكن للمدرس أن يتجاهل هذه الطريق في تقريب المعرفة والحقيقة • وقد يضطر أحياناً إلى أن يتناقض في أقواله • إلا أنه وفي كل الحالات يجب ألا يهمل المعطيات الحديثة ، وأن يعتمد في أقواله على المعطيات التقليدية الملموسة بقدر الإمكان •



القسم الأول

الفحوم الهيدروجينية

Les Hydrocarbures

الفصل الأول

تركيب الفحم الهيدروجينية

Composition des Hydrocarbures

مقدمة :

قبل البدء في دراسة الفحم الهيدروجينية ومعرفة تركيبها لا بد لنا من تعريف النفط . يقصد بالنفط مجموعة الزيوت الخام (brutes « Crude ») والغازات الطبيعية التي تشكل عائلة المواد البيتومية (bitumes) غير القابلة للانحلال في المذيبات العضوية وبخاصة في كبريت الفحم CS_2 وبالتعريف فإن الزيوت الخام والغازات الطبيعية هي موائع (fluides) تتواجد في الحالة السائلة أو الغازية ضمن الشروط العادية من الضغط والحرارة .

وتتألف هذه الموائع من فحوم هيدروجينية (hydrocarbures) ، أي من أجسام مركبة بشكل رئيسي من الكربون (C) والهيدروجين (H) ، بالإضافة الى كميات قليلة من الكبريت (S) والأوكسجين (O) والآزوت (N) . حيث تختلف نسب هذه العناصر القابلة للإتحاد بعضها مع بعض كما يلي :

$$C = 80 - 90, \quad H = 10 - 14, \quad S = 0 - 3, \quad O = 0 - 2, \quad N = 0 - 1$$

وتعتبر آخر فإن الزيوت والغازات الطبيعية هي خلاط بنسب متباينة لأنواع مختلفة من الفحم الهيدروجينية ، ولمواد كيميائية أخرى . وبالتالي يمكن

اعتبارها مجموعات معقدة تتطور بالعلقة مع خصائص الوسط الذي تتولد أو تتواجد فيه . فهي تشكل إذن طوراً من دورة الكربون في الطبيعة .

١ - التركيب الكيميائي : Composition chimique

تنقسم الفحم الهيدروجينية من الوجهة الكيميائية الى ثلاثة عائلات رئيسية :

- الفحم الهيدروجينية المشبعة .
- الفحم الهيدروجينية غير المشبعة .
- الصمغ والأسفلتين .

١ - الفحم الهيدروجينية المشبعة Les hydrocarbures saturés

وتعرف هذه العائلة بالأكانات (alcanes) أو البارافينات (paraffines) وهي الأكثر انتشاراً من الناحية الكمية وتشكل (٥٠ - ٦٠٪) من مجموعة المركبات . وتتوزع هذه الفحم في الزيوت الخام حسب ثلاثة أنواع رئيسية :

١ - الأكانات النظامية (n - alcanes) أو البارافينات النظامية (n - paraffines) وتضم الفحم الهيدروجينية المشبعة ذات السلاسل الخطية (chaînes linéaires) وذات الصيغة العامة $C_n H_{2n+2}$. وتتألف من سلاسل غير حلقية طويلة نسبياً ، حيث يتراوح عدد ذرات الكربون فيها بين C_1 و C_{40}

وتتواجد هذه الفحم الهيدروجينية في ثلاث حالات :

غازية : وتشمل المركبات ذات السلاسل التي يتراوح عدد ذرات كربون فيها بين C_1 و C_4 ($C_4 H_{10} - CH_4$) .

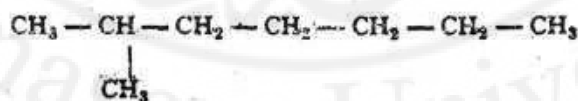
سائلة : وتشمل المركبات ذات السلاسل التي يتراوح عدد ذرات الكربون فيها بين C_5 و C_{18} .

صعبة : (البارافينات الطبيعية) : وتضم المركبات التي يزيد عدد ذرات الكربون فيها عن C_{18} .

هذا وتعد الألكانات النظامية ذات الأرقام المفردة لذرات الكربون ، والتي تولدها الكائنات الحية بالاصطفاء (Préférentiellement) دلائل بيولوجية حقيقية . وفي الأستينات المجهرية (algues) تغطي الألكانات النظامية ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة (C_{15}, C_{17}, C_{19}) ، في حين تحتوي النباتات الأكثر تطوراً على ألكانات نظامية ذات أوزان جزيئية أعلى ($C_{21}, C_{23}, C_{25} \dots$) وعلى العكس فإن الألكانات الخفيفة ($C_2 - C_8$) التي لا تتواجد في الكائنات الحية وتكثر في البترول ، هي نواتج تحول المادة العضوية بعد توضعها (Silverman, 1971) .

تشكل البارافينات النظامية ١٥ - ٢٠٪ من الزيوت الخام . وتزداد أهميتها في النفط المتشكل من تحول المادة العضوية (Matière Organique) للنباتات المتطورة . وتميل هذه النسبة للارتفاع خلال مراحل التحول (diagenèse) . أما التخريب البيولوجي (biodégradation) فيقلل من أهميتها ، حيث تعيش أنواع معينة من البكتريات على حساب هذه القحوم الهيدروجينية .

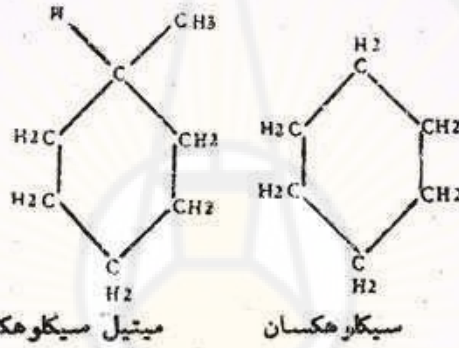
٢ - الألكانات المتفرعة (isoalkanes) : وتحتوي على تجمعات لجذور ميتيلية (C_2H_5, CH_3) متفرعة عن السلاسل الخطية في المجموعات ($C_8 - C_8$) وكمثال عليها نذكر الإيزوأوكتان :



كذلك تنحدر بعض أنواع هذه الألكانات من الجزيئات المتواجدة ضمن المادة العضوية الحية ، كما هو الحال في البريستان (C_{19}) والفيثان (C_{20}) ، حيث يمكن اعتبارها ، كعض الألكانات النظامية ، مستحاثات بيوكيميائية حقيقية .

٣- الألكانات الحلقية (cycloalcanes) أو النفثينات (naphènes) :
وتتألف من فحوم هيدروجينية حلقية صيغتها العامة $C_n H_{2n}$ ويمكن لها أن
تكون وحيدة الحلقة (سيكلوهكسان $C_6 H_{12}$) ، أو متعددة الحلقات
(الهيدريدان) •

كما يمكن أن تحتوي على جذر ميثيلي (ميثيل سيكلوهكسان) •



ب- الفحوم الهيدروجينية غير المشبعة Les hydrocarbures non saturés

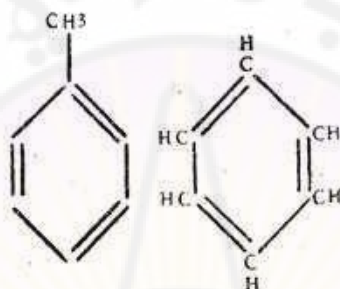
تضم هذه العائلة الفحوم الهيدروجينية العطرية (aromatiques) والنفثينية
العطرية (naphéno - aromatiques) التي تشكل ٢٠ - ٤٥٪ من وزن
المادة النفطية • وتتميز هذه المركبات برائحة جميلة ، إلا أن وجود المركبات
الكبريتية معها يفسد هذه الرائحة •

ويمكن فصل هذه العائلة إلى نوعين مختلفين تبعاً لروابطها الكيميائية :

١- الفحوم الهيدروجينية غير المشبعة الحلقية (cycliques) وتتميز ضمنها :

- الفحوم الهيدروجينية العطرية الحقيقية أو البنزينية ذات الصيغة
 $C_n H_{2n-6}$ والتي تتألف من جزيئات مركبة من نوى عطرية وحيدة أو متعددة

الحلقات ، ويشتمل أبسطها في الصيغة بالبنزين ($C_6 H_6$) والتولوين ($C_7 H_8$) والكزيلين ($C_8 H_{10}$) .



التولوين البنزن

— الفحوم الهيدروجينية النفثينية العطرية ، وتتألف من نواة واحدة أو عدة نوى عطرية ، مضافاً إليها فحوم هيدروجينية نفثينية ذات سلاسل ألكيلية (alkyles) ويكثر هذا النوع في الزيوت الخام حديثة التشكل أو ذات النضوج (maturation) الضعيف ، وتتواجد هذه الفحوم في الزيوت التي تعرضت لتحولات حرارية شديدة (catagénèse) ، وغالباً ما يرافقها مركبات كبريتية .

٢ — الفحوم الهيدروجينية غير المشبعة وغير الحلقية (acycliques)

أو الأوليفينات (Oléfines) : وهي فحوم قليلة الثبات ولا تتواجد في الزيوت الطبيعية إلا على شكل آثار . ويمكن أن تكون ذات رابطة واحدة مضاعفة إيتيلينية : $H-C=C-H$ (الكينات) أو رابطتين مضاعفتين ، أو رابطة



واحدة ثلاثية أستيلينية : $HC \equiv CH$ (الكينات) .

ج — الصمغ والأسفلتين Les résines et asphaltènes

وهي مركبات معقدة وذات أوزان جزيئية عالية ، وغنية نسبياً بالآزوت (N)

والكبريت (S)، والأوكسجين (O) والنيكل (Ni) والفاناديوم (Vn) ، وتشكل الجزء الأكثر ثقلًا من الزيوت الخام . وتبدو هذه الأجسام مؤلفة من نوى عطرية متعددة الحلقات (polycyliques) ، ومن سلاسل ذات ذرات غير متجانسة (hétéro - atomiques) ، وتحتوي على مركبات كبريتية وأزوتية وأوكسجينية .

والوزن الجزيئي للصمغ هو في حدود ٥٠٠ - ١٢٠٠ ، ويمكن أن يصل أو يزيد عن ٥٥٠٠٠ بالنسبة للأسفلتين . أما أبعاد أقطارها فهي في حدود ٤٠ - ٥٠ Å (أنغستروم) وسطياً . وتعتبر الصمغ أكثر قابلية للإنحلال في المذيبات العضوية من الأسفلتين . بالإضافة إلى أن الصمغ هي مواد غير ثابتة وتميل لأخذ بنية الأسفلتين عند تعرضها للضوء .

تشكل هذه الأجسام ٢٠٪ من الزيوت الخام . وتتواجد بكثرة في الخام غير الناضج والزيوت الثقيلة المتخربة بيولوجياً ، وبشكل خاص في الرمال الاسفلتية (sabies asphaltiques) . ويمكن أن تكون أكثر من ٥٠٪ من المواد البيتومية المتوزعة في الرسوبات .

وتجدر الإشارة إلى أنه ليس هناك ما يقابل الأسفلتين في المواد العضوية الحية ، وأن هذه المادة هي نتاج الدياجينيز والدياجينيز المتأخر .

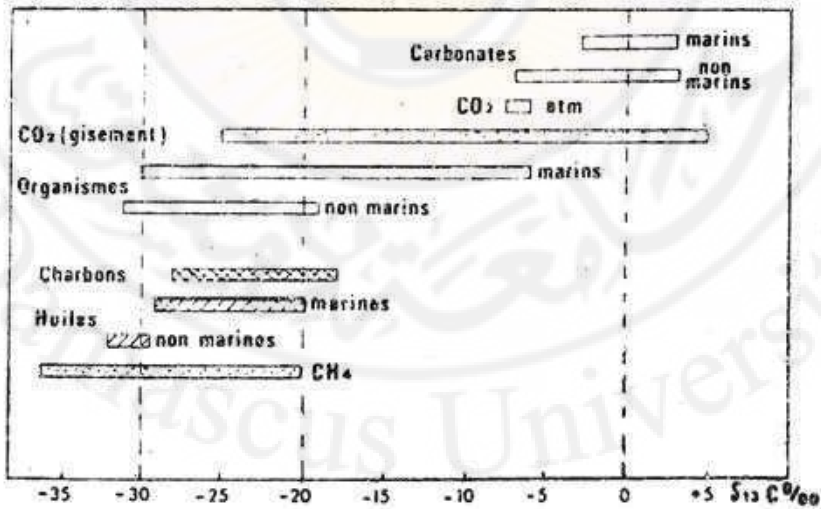
٢ - التركيب النظائري Composition isotopique

تمثل كربون الفحوم الهيدروجينية بالنظيرين ^{12}C و ^{13}C ، حيث تشكل العلاقة بينهما بالمقارنة مع عينة قياسية (standard) قيمة ^{13}C ٨ ، وذلك حسب المعادلة التالية :

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}) - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{standard}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{standard}}} \times 1000$$

فإذا كانت $\delta > 0$ ، فإن العينة تكون غنية بالنظير الثقيل ^{13}C وتكون فقيرة به عندما تكون $\delta < 0$. أما دقة القياس فهي في حدود ± 0.1 إلى 0.2 ‰ أي من ١ إلى ٢ ppm (جزء بالمليون) للنظير ^{13}C بالعلاقة مع C الكلية .

هذا وتكون قيمة δ في الكربونات البحرية قريبة من الصفر (0.03 ‰) ، في حين أنها تختلف بين -5 و ± 0.03 ‰ في الكربونات غير البحرية الأكثر خفة (شكل ١) . كذلك فإن قيمة δ في الكائنات البحرية هي أعلى من تلك العائدة للكائنات القارية (0.05 ‰ تقريباً) . ويعود هذا الاختلاف إلى حصول النباتات البحرية على شوارد (ions) الكربونات والبيكربونات بواسطة عملية التمثيل اليخضوري (Photosynthèse) من مياه البحر ، في حين تمتص النباتات القارية ثاني أكسيد الكربون CO_2 الجوي (-0.07 ‰ $\approx \delta$) . وفجد نفس الاختلاف في قيم δ (0.05 ‰) بين الزيوت ذات الأصل البحري وذات الأصل القاري .



(شكل ١) : اختلاف قيم $\delta^{13}\text{C}$ في صخور مختلفة

non marin = غير بحري	Charbon = فحم
Marin = بحري	Huile = زيت
Gisement = مكن	Carbonates = صخور كلسية

الفصل الثاني

المجموعات الرئيسية للفحوم الهيدروجينية

Principales familles d' Hydrocarbures

تنوزع الفحوم الهيدروجينية في ثلاث مجموعات رئيسية :

- الغازات الطبيعية .
 - الزيوت السائلة .
 - الرمال الإسفلتية ، الشيسست البيتومي ، الهيدرات أو النواتج الصلبة .
- وفي الواقع فإن وضع حدود فاصلة بين هذه المجموعات أمر غير دقيق .
فالفحوم الهيدروجينية تشكل في الطبيعة سلسلة متصلة . إلا أن الشروط السائدة
في أعماق من ضغط وحرارة تعمل على فصل الزيوت الخفيفة عن الغازات ، بالرغم
من إمكانية تواجد هذه الأخيرة في طور سائل أيضاً .

والدقة فقد جرت العادة على تمييز غازات جافة (secs) وغازات رطبة
(humides) ضمن مجموعة النواتج الغازية ، وزيوت خفيفة وزيوت ثقيلة ضمن
مجموعة الفحوم الهيدروجينية السائلة .

تركب الغازات الجافة بشكل رئيسي من الميثان (méthane) بنسبة
٩٧٪ ومن نسبة ضئيلة جداً من الفحوم C_2, C_3 . أما الغازات الرطبة
فهي على العكس تتألف من نسب عالية من الفحوم C_4, C_5, C_6 ، بالإضافة
لأجزاء قليلة من سوائل خفيفة .

أما الزيوت الخفيفة فهي تتألف من فحوم هيدروجينية سائلة وخفيفة ومن غازات ، في حين تسود الفحوم الهيدروجينية السائلة والمحتوية على معلقة صلبة في الزيوت الثقيلة . أي أن الزيوت الثقيلة هي تتاج فقدان النواتج الخفيفة في الفحوم وذلك :

- إما لعدم تمكنها من التشكل (زيوت عديمة أو قليلة النضج) .
- أو لزوالها بسبب فسادها .

أخيراً فإننا نسمي النواتج الصلبة تجاوزاً بيتوم (bitumes) أو أسفلت (asphaltes) . كما نطلق لفظ بارافين (paraffine) على الفحوم الهيدروجينية التي بشوق عدد ذرات الكربون فيها عن C_{17} .

١ - الغازات الطبيعية Les gas naturels

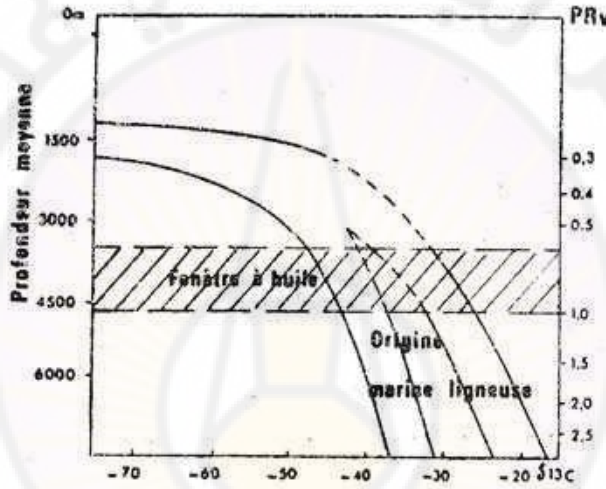
تتألف الغازات الطبيعية الموجودة في الأحواض الرسوبية (bassins sédimentaires) من فحوم هيدروجينية يشكل الميثان الجزء الأكبر منها . وتتواجد هذه الغازات في حالتين :

- وحيدة على شكل مصائد غازية معزولة .
- مجتمعة مع مصائد نفطية ، حيث تشكل قبة غازية (« gaz cap » cap rocks) عندما تكون المصيدة مشبعة بالغاز ، أو تكون منحلة ضمن الطور السائل عندما تكون المصيدة تحت مشبعة بالغاز .

٢ - التركيب الكيميائي للغازات الطبيعية :

يعتبر الميثان المركب الرئيسي للغاز الطبيعي . حيث يدخل بنسبة قد تصل إلى ٩٩٪ أو ١٠٠٪ في حالات معينة في بعض المصائد . أما الألكانات الأخرى : إيثان - بروبان - بوتان ، فهي تدخل في تركيب الغاز بنسب قليلة جداً ، وتتناقص بسرعة كبيرة .

أما تركيب الميثان النظائري ، فهو يختلف من - ٨٥ إلى - ٢٠.٠ ، وذلك تبعاً لدرجة نضوج المادة العضوية والفحوم الهيدروجينية ، بحيث يصبح الغاز أكثر ثقلًا كلما ازدادت شدة الدياجينيز (شكل ٢) .



(شكل ٢) : تطور قيم $\delta^{13}C$ للميثان بالعلاقة مع العمق والقدرة العاكسة للفيترينيت (معقد فحمي) (Stabl, 1977)

وبالإضافة إلى المركبات الفحمية الهيدروجينية ، فإنه يمكن للغازات الطبيعية أن تحتوي ونسب مختلفة على غازات أخرى ، وبشكل خاص : H_2S , CO_2 , N_2 :
- فكريت الهيدروجين H_2S هو نتيجة تحول المادة العضوية ، وبشكل خاص في الأعماق الكبيرة بسبب تأثير الميثان على الكبريتات . كما يمكن أن يتولد بسبب تأثير البكتريات على الكبريتات ، كما هو ملاحظ في بعض البحيرات والبحر الأسود . وتصل نسبة H_2S إلى ١٥٪ من حقل لأك بفرنسا وترتفع إلى ٨٨٪ في حقول الديفوني في ألبرتا بكندا .

- وثاني أكسيد الكربون CO_2 هو نتيجة تحول المادة العضوية تحت تأثير الأكسدة أو التخمر (fermentation) ، أو إزالة تفحم (decarboxylation)

مكوناتها. ويمكن أن يتواجد أيضا نتيجة تفكك الكربونات CaCO_3 . كما يمكن أن يأتي عن طريق أكسدة الفحم الهيدروجينية بالكبريتات . وهناك بعض المناطق الغنية جدا بهذا الغاز ، حيث تحتوي بعض الحقول في العالم على ١٠٠٪ من CO_2 كما هو الحال في ألمانيا الغربية والمكسيك .

أما التركيب النظائري لغاز CO_2 الناتج من أكسدة المادة العضوية فهو في حدود - ٢٥ إلى - ٠.١٥ ، ويكون في حدود - ٦ إلى - ٠.٠٤ في الغاز الناتج عن البراكين . وفي حالات كثيرة فإن هـ هي قريبة جداً في قيمتها من القيمة التي تأخذها في الكربونات البحرية أي من + ٣ إلى - ٠.٠٣ .

- اما الآزوت N_2 فهو أيضاً نتاج الدياجينيز ، ويتواجد في حقول تغطية مختلفة من العالم . وتصل نسبته في بعض حقول هولندا إلى ١٤٪ . وقد تصل هذه النسبة إلى ١٠٠٪ في مصائد أخرى . ويمكن أن يمش على N_2 بصورة أكثر في التشكيلات الكربوناته والمتبخرات عنه في المجموعات الغضارية (Welte , 1975).

هذا وغالباً ما تصادف غازات الهليوم Hi والأرغون Ar مجتمعة مع الآزوت . ولهذه الغازات قيمة اقتصادية كبيرة ولو كانت بنسب قليلة .

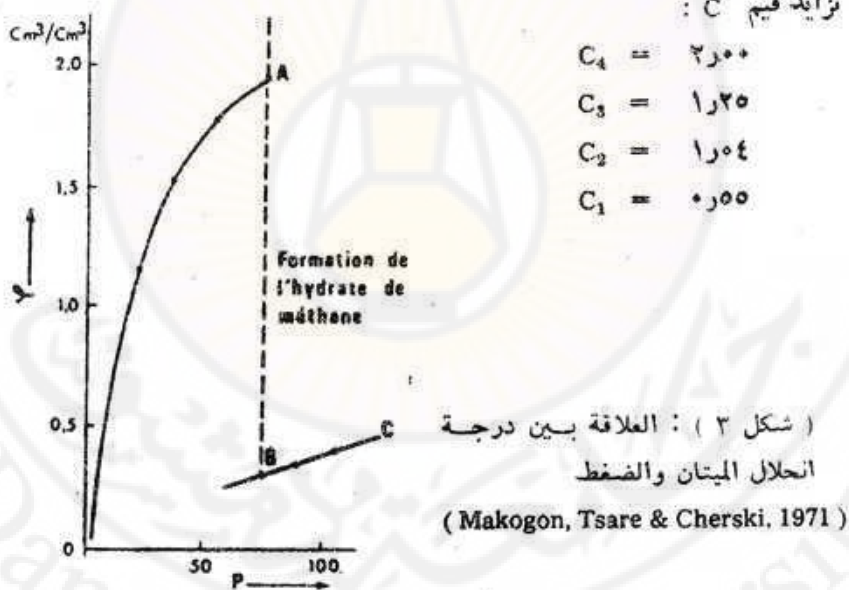
ب - الخصائص الفيزيائية والاقتصادية للغازات الطبيعية :

تعتبر الخصائص الفيزيائية للغازات الطبيعية انعكاسات حقيقية لتراكيبها الكيميائية . وتختلف القيمة الحرارية (*Pouvoir calorifique*) التي تشكل فوائدها الاقتصادية حسب أنواع الفحم الهيدروجينية التي تدخل في تراكيبها . وتتراوح هذه القدرة من ٩٥٠٠ إلى ١٠٠٠٠ حريرة (*calories*) بالقرام الواحد .

امادرجة انطال الميثان في الماء (*Solubilité*) فهي عالية نسبياً وتتراوح بين ٥ إلى ١٠ غ/دسم^٣ وذلك في الدرجة ٢٥ مئوية . وتتناقص قدرة الانحلال هذه بارتفاع درجة الحرارة وازدياد الملوحة ، وتزداد بارتفاع الضغط حتى قيمة ٧٠ بار

(Mc Auliffe, 1979) • أما قدره انحلال المخوم الهيدروجينية الغازية في المخوم الهيدروجينية السائلة فهي عالية جداً •

أما كثافة (densité) الغازات الطبيعية للهواء فهي تختلف من ٠.٥٥٪ في الغازات المكونة بشكل رئيسي من الميثان إلى ١ بالنسبة للغازات الرطبة والغنية بغازات H_2S و CO_2 وبشكل عام فإن كثافة الألكانات تزايد بسرعة مع تزايد قيم C :



وبالنسبة لكثافة الغازات بالعلاقة مع الماء (غ/سم³) فهي تتراوح بين ٠.٠٠٠٧٣. بالنسبة للميتان الموجود تحت تأثير الضغط الجوي و ٥٠٠ من أجل خليط غازي عادي تحت تأثير ٣٥٠ - ٧٠٠ ضغط جوي (Schowalter , 1971) .

اما درجة الانضغاط (compressibilité) فهي خاصة هامة للغازات الطبيعية . ويمكن حسابها (في الشروط العادية) بتقسيم حجم الغاز على معامل يختلف قيمته بين ٢٠٠ أو ٣٠٠ .

٢ - الزيوت الخام Les pétroles bruts

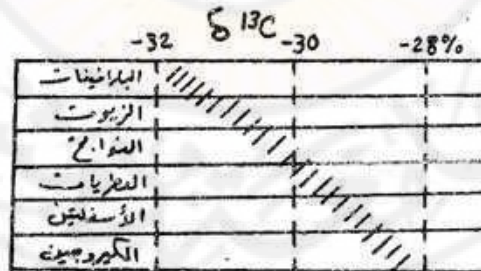
١ - التركيب الكيميائي :

تتألف الزيوت الخام بشكل عام من فحوم هيدروجينية ومن مركبات قطبية (polaires) (صمغ وأسفلتين) •

- الفحوم الهيدروجينية :

تتكون الزيوت الخام من فحوم هيدروجينية سائلة • ويمكن أن تحتوي هذه الفحوم على فحوم هيدروجينية أخرى ونسب مختلفة ، وتكون هذه الأخيرة إما غازية حيث تشكل الزيوت الخام الخفيفة ، أو صلبة حيث تشكل الزيوت الخام الثقيلة • ويمكن فصل هذه الأنواع بواسطة التقطير •

أما التركيب النظائري للزيوت فهو في حدود - ٣٠ إلى - ٢٠ ‰ والزيوت ذات المنشأ القاري أكثر خفة من معظم الزيوت ذات المنشأ البحري (شكل ٤) •



(شكل ٤) : تطور قيم $\delta^{13}C$ بالعلاقة مع نوعية الفحوم الهيدروجينية (Stahle , 1977)

- المركبات الأخرى :

ونميز فيها مركبات آزوتية وكبريتية وأوكسجينية •

- المركبات الكبريتية : وهي كثيرة الانتشار وبخاصة في الزيوت الثقيلة . حيث يشكل الكبريت (S) العنصر الثالث في الأهمية بعد الكربون (C) والهيدروجين (H) . ويشكل وسطياً من ٠.٠٠٦٥ إلى ١٪ من وزن الزيوت الخام . ويمكن أن تصل هذه النسبة إلى ٥ - ٦٪ كما هو بالنسبة للزيوت الثقيلة في حوض الأكتين في جنوب غرب فرنسا .

وغالباً ما تكون المركبات الكبريتية على علاقة بأوساط ترسيب الصخور الأم (roches mères) الكربوناتية . وتقل كمية هذه المركبات مع ازدياد العمق وتزداد بازدياد الفساد .

- المركبات الآزوتية : وهي أقل انتشاراً ولا تتجاوز نسبتها ٠.٠٠١ رء من وزن الزيوت الخام . ويعثر عليها في الهزئيات المعقدة ذات البنيات العطرية المتعددة الحلقات ، كالمركبات العضوية - المعدنية وبخاصة الغنية منها بالنيكل والفاناديوم .

- المركبات الأوكسجينية : وترتبط بشكل رئيسي بالجذر الحمضي COOH - في الحموض الدسمة والنفثينية . ويعثر عليها بتركيز قليلة في الزيوت الخام غير الناضجة .

ب - الخصائص الفيزيائية والاقتصادية للزيوت الخام :

يتحكم التركيب الكيميائي للزيوت الخام في خصائصها الفيزيائية والاقتصادية . وهناك علاقة وثيقة بين محتوى هذه الزيوت من الكبريت والمركبات العطرية والصوغ والأسفلتين . وحسب (Tissot & Welte, 1978) فإن الكبريت الذي يرافق المكونات والزيوت العطرية يتحد مع الفحم الهيدروجينية غير المشبعة ، ويساعد على تشكيل المركبات الحلقية وبخاصة العطرية منها . وعادة ما تكون المركبات الغنية نسبياً بالكبريت ثقيلة ولزجة .

إن الخاصية الرئيسية الاقتصادية للزيوت الخام هي قدرتها الحرارية التي تجعل منها مصدراً للطاقة . وتختلف هذه القدرة بالعلاقة مع الكثافة والتركيب الكيميائي للزيوت . وعلى سبيل المثال فإن الفحم البيتومي تتصف بطاقة حرارية تتراوح بين ٥٦٠٠ كيلو حريرة و ٨٠٠٠ كيلو حريرة بالكغ . حيث العلاقة :

$$١ \text{ رطلن فحم } \approx ١٠٠٠ \text{ م}^٣ \text{ غاز } \approx ١ \text{ طن بنترول}$$

وإضافة إلى ذلك فإن الزيوت تستخدم في المجالات التالية :

- في الصناعات البتروكيميائية
- في التنقية (lubnfication)
- في تعبيد الطرق وذلك باستخدام الأجزاء الصلبة منها .

أما الخصائص الفيزيائية الرئيسية للزيوت الخام فهي : الكثافة واللزوجة ودرجة الانحلال .

الكثافة أو الوزن النوعي (poids spécifique) : وتعكس هذه الخاصية التركيب الكيميائي للخام . وتزداد بازدياد نسبة الفحم الهيدروجينية والنواتج الثقيلة ، وخاصة الصمغ والأسفلتين . بينما تتناقص بارتفاع درجة الحرارة ، أي مع ازدياد عمق الانفمار (enfouissement) . ويعبر عن الكثافة عادة بالفيرام / مل أو غ / سم^٣ أو بدرجة « American Petroleum Institute » API (١٠) في الزيوت الثقيلة إلى ٧٧ . (API ٥٠) في الزيوت الخفيفة .

فالكثافة إذن هي خاصية تعكس جيداً الصفة الاقتصادية للزيوت الخام ، وتحدد بالتالي أسعار تسويقها .

- اللزوجة (Viscosité) : وتعكس هذه الخاصية درجة سيولة الزيت

الخام • وتعتمد على تركيبه الكيميائي • فهي تزداد بازدياد نسبة المكونات الثقيلة الموجودة فيه ، أي بازدياد كثافته • وتتناقض بارتفاع درجة الحرارة وازدياد كمية الغاز المنحل فيه « Gaz Oil Ratio » G.O.R . ويعبر عن اللزوجة بالنسبوز (CP) ، وتتراوح في الزيوت من واحد إلى عدة عشرات الآلاف •

• درجة الانحلال (solubilité) : وهي قدرة انحلال الفحوم الهيدروجينية الواحدة منها ضمن الأخرى • حيث تنحل الأجزاء الثقيلة والأطوار الصلبة في الفحوم الهيدروجينية الخفيفة • وتصل الغازات الأجزاء السائلة الخفيفة كما تنحل وبكميات كبيرة فيها • وإذ انحلال الأجزاء الثقيلة بواسطة الفحوم الهيدروجينية الخفيفة يساعد على عمليات هجرة هذه الفحوم (migration) •

إن الظاهرة الأكثر أهمية في هذه الخاصة هي انحلال الغاز في الطور السائل والذي يمكن أن يأخذ بعداً كبيراً • حيث يمكن أن تصل كمية الغاز المنحل في الزيت الخام إلى ما يزيد عن ١٠٠٠ م^٣/طن ، وذلك في حالة الزيوت الخفيفة • ودرجة الانحلال هذه هي على علاقة عكسية مع الكثافة ، وتزداد بارتفاع الضغط أي بازدياد العمق حتى يصل الضغط إلى ضغط الإشباع ، حيث يشكل الغاز فوق هذه القيسة طوراً متميزاً ممثلاً بالقبة الغازية • وعلى العكس تقل درجة انحلال الغاز مع نقصان الضغط أثناء عمليات الاستثمار •

من ناحية أخرى فإن انحلال الغاز يؤدي إلى زيادة حجم الطور السائل حسب معامل معين يسمى بمعامل الحجم (facteur de volume) • ومعرفة هذا المعامل بشكل دقيق هو أمر ضروري في حساب الاحتياطي •

أما قدرة انحلال الفحوم الهيدروجينية السائلة في الماء فهي ضئيلة جداً ، وتتناقص بسرعة كبيرة مع ارتفاع الوزن الجزيئي • إلا أنها تختلف حسب الخصائص الكيميائية للفحوم • فالمركبات العطرية أكثر قابلية للانحلال في الماء من الألكانات المسارية لها في عسدد ذرات الكربون • ويعتبر البنزن والتولوين أكثر الفحوم

الهيدروجينية السائلة القابلة للانحلال في الماء . كذلك فإن درجة الانحلال هذه تزداد مع ارتفاع الحرارة وثبات الضغط ، وخاصة بالنسبة للفحوم العطرية . وعلى العكس فإنها تتناقص بازدياد الملوحة (salinité) والضغط (Mc Auliffe, 1979) .

وبالإضافة إلى هذه الخصائص الثلاث الرئيسية فهناك خاصتان ثانويتان لهما أهميتهما في المجالات التطبيقية :

ـ الفلورة (fluorescence) : وتتصف بها معظم الزيوت الخام وبخاصة المواد البيتومية . حيث تصدر هذه الاجسام تحت تأثير الاشعة فوق البنفسجية (ultraviolettes) انعكاسات صفراء إلى زرقاء مخضرة . ولهذه الخاصية أهمية كبرى في التعرف على الفحوم الهيدروجينية أثناء الحفر أو على السطح ، وتسمح بتمييزها عن الفحوم (charbons) .

ـ الفعالية الضوئية أو القدرة الدورانية (pouvoir rotatoire) : تعت تأثير الضوء المستقطب . وتعتبر هذه الخاصية دليلاً على المنشأ العضوي للزيوت وعلاقتها بالليبيدات . وتتناقص هذه القدرة تدريجياً مع الزمن الجيولوجي ، وتندم بسبب الدياينيز والكاتاجينيز (التحول الحراري) .

ج - الأنواع الرئيسية للزيوت الخام :

انطلاقاً من الخصائص الكيميائية صنف العالمان Weite و Tissot عام ١٩٧٨ الزيوت الخام حسب توزيع فحومها الهيدروجينية إلى الأنواع التالية :

١ - الزيوت البارافينية : وتتألف من أكثر من ٥٠٪ من فحوم هيدروجينية مشبعة وأكثر من ٤٠٪ من بارافينات (نظامية أو متفرعة) . وهي زيوت خفيفة ذات كثافة تساوي ٨٥٠ ولزوجة عالية أحياناً . وتحتوي على أقل من ١٠٪ من الصمغ والأسفلتين وأقل من ١٪ من الكبريت . وكمثال عليها نورد زيوت العقب الاول في الولايات المتحدة الاميركية وزيوت العقب الثالث في ليبيا .

٢ - الزيوت البارافينية - النفثينية : وتحتوي أيضا على أكثر من ٥٠٪ من الفحوم الهيدروجينية المشبعة وأقل من ٤٠٪ من البارافينات النظامية أو المتفرعة. وهي أيضا فقيرة بالكبريت ، إلا أنها يمكن أن تحتوي على ٥ - ١٥٪ من الصمغ والأسفلتين وعلى ٢٥ - ٤٠٪ من العطريات . وإلى هذه الزمرة تنتمي زيوت الحوض الباريسي وزيوت بحر الشمال .

٣ - الزيوت النفثينية : وتتألف أيضا من أقل من ٥٠٪ من الفحوم الهيدروجينية المشبعة ، ومن أكثر من ٤٠٪ من الفحوم الهيدروجينية النفثينية . ويمكن أن تكون هذه النسبة أحيانا نتيجة فقدان الزيوت البارافينية أو النفثينو - بارافينية لألكاناتها بسبب تخریبها البيولوجي . وتتراجد مثل هذه الزيوت بشكل خاص في بحر الشمال وفي Gulf Coast في الولايات المتحدة الأمريكية .

٤ - الزيوت العطرية : وتحتوي على أقل من ٥٠٪ من الفحوم الهيدروجينية المشبعة ، وأكثر من ٥٠٪ من العطريات والصمغ والأسفلتين . كما تحتوي على أكثر من ١٪ من الكبريت . وبالتالي فإن هذه الزيوت هي عموما ثقيلة ولزجة .

هذا وحسب نسبة الألكانات يمكن تمييز :

- زيوت عطرية اسفلتية : تكون نسبة النفثين فيها أقل من ٢٥٪ وعادة تكون غنية بالكبريت .

- زيوت عطرية نفثينية : وتكون نسبة النفثين فيها أعلى من ٢٥٪ وعادة ما تكون فقيرة بالكبريت .

وبين الزيوت النفثينية والعطرية يمكن تمييز شعبة من الزيوت العطرية الانتقالية ، تتصف باحتوائها على ٤٠ - ٧٠٪ من المواد العطرية وعلى ١٠ - ٣٠٪ الصمغ والأسفلتين . وغالبا ما تكون هذه الزيوت غنية بالكبريت $S > 0.1$ وذات كثافة عالية $d > 0.85$.

ويمكن تصنيف معظم زيوت عصري الجوراسي والكرياسي في منطقة الشرق الاوسط ضمن هذه الفئة من الزيوت .

ومن جهة نظر رسوية ، فإن هذه الزيوت العطرية الانتقالية تقابل أوساطا بحرية مرجعة . بينما تكون الزيوت البارافينية والنيقتو - بارافينية على علاقة مع الاوساط الدلتاوية وغير البحرية .

٥ - الزيوت الثقيلة : وتشمل كل الزيوت التي تزيد كثافتها عن ٩٠٪ ، وتتصف بلزوجتها العالية التي تزيد عن ١٠٠ سنتبواز ، وتصل أحيانا إلى ١٠٠٠٠٠ سنتبواز . كما تتصف باحتوائها على نسبة عالية من الكبريت تصل إلى ١٠٪ ، وعلى كميات هامة من المعادن (فاناديوم - نيكل) تتجاوز أحيانا ٦٠٠ ppm .

أما تركيب فحومها الهيدروجينية ، فيتصف بوجود نسبة عالية من C_{16} وفقر شديد بالمركبات الخفيفة إذ لم تقل انعدامها .

ومن حيث منشؤها ، فإن هذه الزيوت زيوت عادية تعرضت للفساد للأسباب التالية :

- فقدانها للعناصر الخفيفة .
- غسلها بالمياه العذبة .
- أكسبتها .
- تفسخها بفعل الميكروبات .

وتبدو هذه الزيوت على علاقة وثيقة بالصخور الأم الكربوناتها . وتشكل مخزونا عالياً في حدود ٢٨٠ - ٣٥٠ Gt (مليار طن = Gt) متركزا على شكل تجمعات سطحية في الرمال الاسفلتية كما في كندا وفنزويلا .

٢ - الفحم الهيدروجينية الصلبة Les hydrocarbures solides

ونجمع تحت هذا الاسم الفحم الهيدروجينية ذات التركيب الكيميائي البسيط كهيدرات الميثان وعائلة البيتوم والأسفلت والتشكيلات الرسوبية التي تحتوي على الرمال الاسفلتية والشيسيت البيتومي .

٢ - هيدرات الميثان :

يمكن للميثان ضمن شروط منخفضة من الضغط والحرارة أن يتوضع ويتبلور على شكل هيدرات الميثان ، حيث تتحد جزيئة من الميثان مع ست جزيئات من الماء .

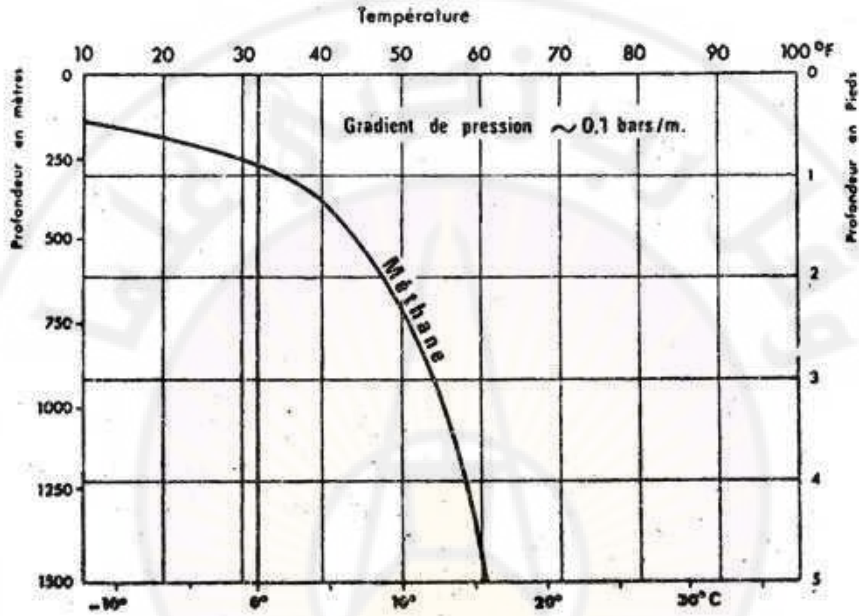
وهكذا فإن ١٧٠ م^٣ من CH_4 مقاسة في الشروط النظامية من الضغط والحرارة يمكن أن تتكثف وتعطي ١ م^٣ من الهيدرات ضمن الشروط التالية :

- في درجات حرارة أقل من الصفر ، وفي ضغوط أقل من ٢٥ بار .
- في درجات حرارة تنتقل من صفر إلى ٢٠ درجة مئوية ، مقابل ضغوط ترتفع من ٢٥ إلى ٢٥٠ بار .
- ويكفي عمق ١٥٠٠ م لتكون درجة الحرارة أقل من ١٥+ درجة مئوية (شكل ٥) .

وتوفر مثل هذه الشروط في قيعان المحيطات . وعلى ما يبدو فإن العصور الجليدية البليستوسينية كانت قد ساعدت في تشكيل الهيدرات .

ب - عائلة البيتوم (الرمال الاسفلتية والشيسيت البيتومي) :

يمكن تعريف المواد البيتومية بأنها خلاط طبيعية لزجة مؤلفة بشكل رئيسي من فحوم هيدروجينية ثقيلة ، ومن نواتج كبريتية على شكل مركبات ثانوية .



(شكل ٥) : منحني تشكل هيدرات الميثان بالمعلاقة مع العمق والحرارة

إن اللزوجة العالية لهذه المواد وكثافتها التي تقترب من الوحشة تجعل من الصعب استثمارها اقتصاديا واستغلالها بالطرق البترية المعروفة .

ومن الناحية الفيزيوية - كيميائية فإن البترينات هي أجسام مؤلفة من كميات كبيرة من C, H, O ومن نسب ضئيلة من N, S . فهي إذن خلاط معقدة لمحوم هيدروجينية بارافينية وقهتينية وعطرية ذات أوزان جزيئية عالية ، ولمواد غير متشعبة (صمغ وأسفلتين) . وتختلف درجة انحلاليها في الزيوت العضوية تبعاً لاختلاف تراكيبها الكيميائية . أما أوزانها الجزيئية فهي تختلف من ٣٠٠ إلى ١٥٠٠ بالنسبة للأجزاء القريبة من الزيوت والصمغ التي لا تنحل في البنتان النظامي وتغير بين ٦٠٠ و ١٠٠٠٠ بالنسبة للأسفلتين عديم الانحلال في البنزين .

ومن الناحية النيمية ، تبدو البيتومينات على شكل بوليميرات (polymères) معقدة ومؤلفة بمعظمها من حلقات عطرية تجمعها سلاسل لزيت دسمة (aliphatiques) (Wen et al. - 1978) . أما تصنيف المواد البيتومية فهو يركز على قدرة انحلالها الاصطفائية (sélective) في المذيبات العضوية ، وخاصة في كبريت الفحم CS_2 . فالمواد البيتومية السائلة التي تنحل في البنتان تكون محتوية بشكل رئيسي على البترول ، بينما تنقسم المواد البيتومية الصلبة تبعاً لدرجة انحلالها في المذيبات المختلفة إلى ثلاث مجموعات :

- الشموع المعدنية : التي تتألف من سلاسل بارافينية .
- الأسفلت : وهو معقد ذو وزن جزيئي مرتفع .
- الأسفلتيت : ويدخل بشكل رئيسي في تركيب الشيست البيتومي .

- الرمال الأسفلتية : Les sables asphaltiques

الرمال الأسفلتية « oil sands » هي صخور رسوبية متماسكة أو منسكة محتوية على منتجات نفطية ثقيلة ذات لزوجة عالية للغاية تمنع من استثمارها بالطرق المعروفة . وحسب درجة الانطمار فإنه يمكن ملاحظة كافة المراحل الانتقالية بين هذه الرمال والزيوت الثقيلة في بعض المصائد .

ومن الناحية الفلزية ، فإن هذه الرمال غالباً ما تكون خشنة وجيدة التجانس وذات نفوذية ومسامية جيدة يملأ الماء ١٠٪ من فراغاتها . ويشكل البيتوم ١٨ إلى ٢٠٪ من وزن الصخر المشبع .

ومن الناحية الجيوكيميائية يتصف البيتوم والزيوت الثقيلة باحتوائهم على نسب قليلة من الفحم الهيدروجينية المشبعة والنواتج الخفيفة ، و باحتوائهم على الأسفلتين والمركبات المعقدة الغنية بـ N, S, O .

إن مجموع هذه الخصائص يسمح بتصور ثلاثة طرق لتشكيل هذه المواد البيتومية :

– فضوح غير كامل للمواد القليلة الانطمار .
– فساد فيزيو – كيميائي وبيولوجي تحت تأثير البكتريات التي تحطم
جزئيات الفحم الهيدروجينية وبخاصة ضمن قطاعات مسارات المياه الجوية
(eaux météoriques) .

– تكسر (craquage) الفحم الهيدروجينية خلال مراحل الدياجينيز
وتشكل مواد متبقية صلبة نوعا ما ، وذلك في التشكيلات ذات الانفجار الكبير
(Silverman, 1978) *

– الشيست البتيومي Les schistes bitumineux

الشيست البتيومي أو السجيل الزيتي « oil shales » هو صخور رسوية
غضارية وأحيانا كربونائية ، غنية بالمادة العضوية وفقيرة بالبيتوم (٥٠ – ٥٠٥) ،
وقادرة على توليد فحوم هيدروجينية بحرقها (pyrolyse) في حرارات عالية
(٥٠٠ درجة مئوية) .

تتألف هذه المادة العضوية (kérogène) بشكل أساسي من بقايا الأشنيات
(algues) البحرية (lacustres) والبحرية (marines) . وتتصف بتركيب
كيميائي معقد ومختلف . وقد أظهر التحليل العنصري أن نسبة الهيدروجين فيها
غالبا ما تكون مرتفعة ، وأن النسبة H/C هي مرتفعة أيضا (١٢٥ – ١٧٥) .
أما العلاقة O/C فهي أكثر اختلافا ، وتتراوح بين ٠.٢ و ٠.٢٢ ، والوزن الجزيئي
هو في حدود ١٢٠٠ . أما كثافة هذه الصخور فهي ضعيفة ولا تتجاوز الواحد ،
وذلك بسبب شدة احتوائها على المادة العضوية (Tissot, 1978) .

خلاصة ونتيجة :

تشكل الزيوت والمغازات الطبيعية بشكل رئيسي من فحوم هيدروجينية
مشبعة خطية أو حلقة متوزعة في ٥٠ نوع كيميائي . وإن تعدد واختلاف

خصائص هذه الجزيئات تجعل من النفط مادة أولية لتحضير العديد من المركبات الكيميائية . كذلك فإن اختلاف أشكال تجمع هذه الفحوم الهيدروجينية ينعكس ضمن الشروط العادية بظهورها على السطح في حالاتها الثلاث : الغازية والسائلة وبشكل خاص الصلبة . أما في الأعماق فإن التأثير المزدوج والمعتد للضغط والحرارة يغير من الحدود الفاصلة بين هذه الحالات .

أخيراً فإن الخاصية الفيزيائية الرئيسية للفحوم الهيدروجينية وفائدتها الاقتصادية هي قدرتها الحرارية العالية التي ترتبط بالتركيب الكيميائي لهذه الفحوم والتي تزداد كلما اقتربت هذه الفحوم من الحالة السائلة .



الفصل الثالث

نشأة الفحم الهيدروجينية

Génèse des Hydrocarbures

مقدمة :

نشأت الفحم الهيدروجينية في الصخور الرسوبية الغنية بالمادة العضوية . ونطلق على هذه الصخور اسم الصخور الام (roches mères) وعندما تصل كمية هذه الفحم إلى حد معين فانها تغادر الصخور التي نشأت فيها ، وتنقل لصخور أخرى مسامية وتعود تدعى الصخور الخازنة (roches réservoirs) . ويعرف هذا الانتقال بالهجرة الاولى (migration primaire) .

ولفهم ميكانيكية نشأة الفحم الهيدروجينية وخصائص صخورها الام لابد لنا من دراسة الموضوعات التالية :

- المكونات الرئيسية للمادة العضوية الحية .
- أوساط الترسيب التي يتشكل فيها الكيروجين .
- التحولات اللاحقة للتشكل خلال مراحل الدياجينيز والكاتاجينيز والاوليغوجينيز .

وهناك مجموعة كافية من الدلائل أقرها الباحثون في أصل النفط وتسمح بتأكيد الأصل العضوي والرسوبي للفحم الهيدروجينية . أما الفرضيات التي تشير إلى الأصل غير العضوي للنفط فلم يبق لها سوى قيمة تاريخية .

١ - المكونات الرئيسية للمادة العضوية الحية

تتكون الكائنات الحية المعاصرة من عدد قليل من العناصر الكيميائية والبروتينية والليبيدية... وتختلف نسب هذه المكونات بشكل محسوس باختلاف المجموعات أو العائلات الحيوانية والنباتية التي تنتمي إليها .

- **فالبروتينات (protéines)** تشكل جزءا هاما من المادة العضوية . وهي بوليميرات ذات درجة انتظام عالية ومؤلفة من الحموض الامينية . وتدخل بشكل خاص في تركيب الخلايا الحيوانية والانزيمات .

- **وهيدرات الكربون (carbohydrates)** وتجمع الغلوسيدات (glucides) وبوليميراتهما . وهي تؤلف جزءا هاما من الاغذية السيلولوزية . ويعتبر السيلولوز نتاج النباتات المتطورة ، ويدخل بنسبة هامة في مركبات الخشب ، كما يتواجد بشكل رئيسي في بعض الحيوانات وغبار الطلع (pollens) .

- **اما الليبيدات** ، فهي تضم كافة المركبات العضوية التي لا تنحل في الماء بل تنحل في المذيبات العضوية (كلوروفورم) . كما تضم الحموض الدسمة غير المشبعة التي تتواجد بكثرة في الزيوت ذات الاصل النباتي . وتكثر الليبيدات في الاشنيات وخاصة في المشطورات (diatomées) ، حيث تشكل ٧٠٪ من وزنها .

وتضم الليبيدات بشكل خاص الشحوم التي تعتبر استيرات للحموض المشبعة ذات الصيغة المبسطة التالية :



حيث يمثل كل زاوية من هذه الصيغة جذر CH₂ كما تدخل الليبيدات في تركيب

بعض النواتج النباتية كالكلوروفيل •

وتلعب الليبيدات غير القابلة للانحلال في الماء دورا رئيسيا في نشأة الفحوم الهيدروجينية • فقد أظهرت الدراسات الكيميائية الدقيقة ، وخاصة العلاقة النظرية $13C/12C$ أن النفط يتكون مباشرة من ليبيدات المادة العضوية ، في حين تتشكل الفحوم من بقايا النباتات ، ولا سيما من المادة السيلولوزية التي تعتبر المركب الرئيسي غير الليبيدي • هذا وقد لاحظ (Silverman (1971) تقاربا كيميائيا كبيرا بين الفحوم الهيدروجينية والليبيدات نتيجة دراسة بعض المركبات المسماة : مستحاثات بيوكيميائية •

٢ - اوساط الترسيب - الكبريت

تصادف المادة العضوية بعد فناء الكائنات الحية ، إما منحلة في الماء أو ضمن هياكل هذه الكائنات المندثرة في الرسوبات وبخاصة الغضارية منها • ولكي تترسب هذه المادة فانه من الضروري ألا تتعرض للفساد قبل توضعها ، وان تحفظ خلال التوضع وبعده ، وهذا ما يتطلب وسطا مائيا (aquatique) •

إن حفظ المادة العضوية قبل توضعها يتطلب وسطا غير هوائي (anaérobie) ذا مياه فقيرة بالاكسجين ، أي وسطا هادئا ومعزولا (confiné) تسود فيه البنيات الرسوبية المتطبقة • هذا وإن عملية السقوط البطيء للمادة العضوية البلاكتونية، والتي تشكل الجزء الأكبر من الرسوبات العضوية البحرية ، تساعد في حفظ المادة العضوية هذه • إلا أن الجزء الأكبر من المادة العضوية يتحطم خلال هبوطه البطيء (١٠٠ في الاسبوع) • ويمتد أن ٠.٢ فقط من المادة العضوية تصل للقيعان قليلة العمق، وأن ٠.٢ منها يمكن أن تسد للقيعان المحيطات • كذلك فإن جزءا آخر من المادة العضوية يتحطم بفعل الكائنات القاعية (benthiques) • وهكذا فإن كمية المادة العضوية المترسبة ترتبط من ناحية بكمية الكائنات (biomasse) الموجودة في الوسط ، ومن ناحية أخرى بالشروط الفيزيوكيميائية التي تسود هذا الوسط •

١ - أوساط الترسيب Mieux de dépôt

إن الأوساط الغنية بالمادة العضوية هي أوساط تتحكم فيها طاقة خارجية (الشمس) ، وتكثر فيها العناصر الغذائية كالنفسفات والنترات . إن هذه الأوساط القابلة لنمو الكائنات الحية أوساط غير عادية وتتواجد في البحار وعلى القارات .

وينحصر تأثير الطاقة الشمسية على الأجزاء السطحية من المحيطات والقارات . وتعتبر هذه الطاقة المحرك الرئيسي في ميكانيكية التمثيل الضوئي التي تعتبر قاعدة لكل النشاطات البيولوجية منذ أكثر من ملياري سنة . أما العناصر الغذائية والتي تتألف أساسا من الآزوت والفوسفور والسيلييس والحديد فتصل إلى البحار إما من القارات بواسطة الأنهار ومسيلات المياه ، أو عن طريق التيارات المائية العميقة الصاعدة (ascendants) التي تحمل معها المياه الباردة والغنية بالفلزات المعدنية .

وهكذا فالأوساط الأكثر قابلية لتكاثر المادة العضوية هي أوساط مائية ، وتمثل بالحواف أو الهوامش القارية (marges continentales) والمنحدرات (talus) والشواطئ واللاغونات (lagunes) والبحار المغلقة والبحيرات . كذلك يمكن أن توجد مثل هذه الأوساط في المجموعات الرسوبية الدلتاوية المعقدة ذات الانخفاض الشديد (subsidence) ، كما هو الحال في الأحواض الرسوبية الدلتاوية في نيجيريا واندونيسيا (دلتا الماهاكام) . ويسود في هذه الأوساط مناخ حار ورطب ورسوبات غضارية غنية بالمادة العضوية الدبالية (humique) .

وفي مثل هذه الأوساط فإن نسبة المادة العضوية ، والتي تكون عادة بمتوسط قدره ٠.٠٠٥ وأقل من ٠.٠٠٩ في الغضاريات وأقل من ٠.٠٠٢ في الرمال والكربونات يمكن أن تصل في الرسوبات إلى ٢ - ١٠ ٪ . وبتعبير آخر فإن هذه الأوساط الخاصة هي التي تشكل مهدا للرسوبات معينة ، يمكن لها أن تتحول فيما بعد إلى صخور مولدة للنفط .

وكذلك فإن نمط توزيع الرسوبات يلعب دورا هاما في توزيع وحفظ المادة العضوية . فالترسيب السريع يؤدي إلى تبعثر هذه المادة بين العناصر الحطامية ، إلا أنه يوفر على العكس انخفاضا سريعا وحفظا جيدا لهذه المادة السهلة الزوال ، وذلك بإبطال تأثير البكتريات عليها . أما الترسيب البطيء فهو يساعد على تركيز المادة العضوية في بعض الاسرة . وفي هذه الحالة فإن حفظ هذه المادة يتطلب وسطا مغلقا .

تسهم الفلزات الغضارية إلى حد كبير في تثبيت وحفظ المادة العضوية ، حيث تقوم بامتصاص بعض المركبات العضوية القطبية مغيرة بذلك حالة المادة العضوية بشكل يقلل من خطر فسادها في الماء (Dow, 1978) .

وهكذا وحسب هذه المعطيات فإنه يمكن القول بوجود نوعين كبيرين هما:-
الاسواط يقابلان عائلتين بيولوجيتين هامتين :

- وسط بحري أو بحيري عذب ، تذب فيه المادة العضوية البلاكتونية والاشنيات أو مايسمى بالمواد السابروبيلية^(١) (sapropélique) .
- وسط شديد الملوحة (saumâtre) ، ذي ترسيب سريع لمواد غضارية غنية بالمادة العضوية الدبالية^(٢) (humique) .

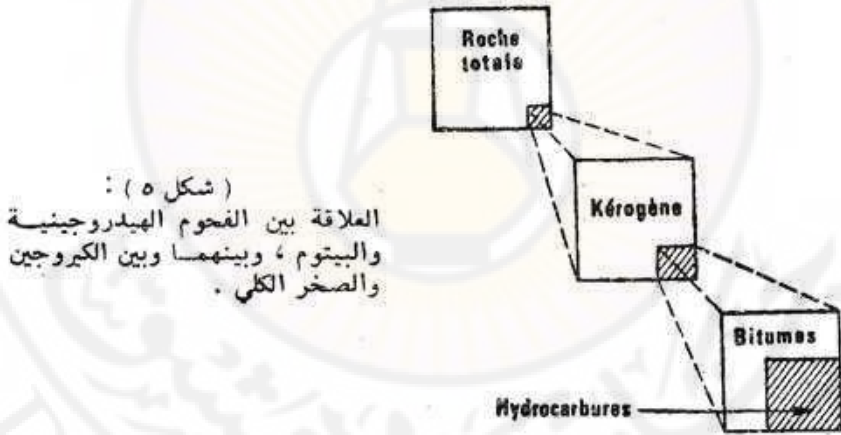
وكما سنرى فيما بعد فإن الاسواط الاولى تشكل الاقاليم النفضية ذات الزيوت النفطية ، في حين تشكل الثانية الاقاليم الغنية بالغاز والزيوت البارافينية .

(١) - المواد انسابروبيلية ، هي سحنات عضوية فقيرة بالمواد الحطامية ، وتتألف بشكل رئيسي من الاشنيات والبلاكتون ، وتقابل مناخا شبه قاري .
(subdésertique) .

(٢) - المواد الدبالية ، هي سحنات عضوية حطامية مؤلفة من بقايا نباتية متطورة (سبورات وغبار طلع) ، وترتبط برسوبات غضارية رملية ، وبمناخ رطب .
(Robert, 1978) .

ب - الكروجين (Le kérogène)

يقصد بالكروجين المركبات العضوية للصخور الرسوبية غير القابلة للانحلال في المذيبات العضوية . أي أن الكروجين هو عكس البتيوم الذي يتألف من مركبات عضوية قابلة للانحلال في تلك المذيبات . ويعتبر الكروجين الشكل الأكثر انتشارا للمادة العضوية على سطح الأرض . فهو أكثر انتشارا بألف مرة من الفحم والزيوت ، وبخمس مائة مرة من المواد البتيومية المتوزعة في الصخور غير الخازنة (Hunt, 1972 , Tissot & Welte, 1978) كما هو مبين في الشكل التالي :



— ومن الناحية الكيميائية ، فالكروجين هو معقد لجزيئات كبيرة مؤلفة من نوى حلقة تربطها سلاسل قصيرة متعددة الذرات ، ويمكن أن يحتوي على ليبيدات . أما بنيته فهي غير منتظمة ولا تأخذ ترتيباً معيناً إلا خلال مراحل التحول الحراري . ولقد أظهرت التحاليل الدقيقة أن مركبات الكروجين تتألف بشكل رئيسي من أجزاء نباتية بعضها متفسخ وفاسد ، ومن مواد ثانوية بيتومية . هذا بالإضافة إلى مواد أخرى على شكل آثار لحموض عضوية ، وفحوم هيدروجينية خطية .

— اما من الناحية النظرية ، فتعكس طبيعة المادة العضوية وبيئة الترسيب باختلافات في قيمة $13C$ هـ فالكبروجين الغني ببنيات الزيوت الدسة (aliphatiques) والذي يقابل غالبا أوساطا بحرية ، يبدو فقيرا إلى حد كبير بالنظر $13C$ وذلك بالمقارنة مع المادة العضوية ذات البنيات الحلقية المرتبطة بالنباتات المتطورة والمادة الدبالية (من — ٢٣ إلى — ٣٠ ر. بالنسبة للتشكيلات البحرية ومن ٢٨ إلى ٣٣ ر. بالنسبة للمادة العضوية والزيوت ذات الاصل غير البحري) •

هذا ويمكن أن نقسم المواد الكيروجينية حسب خصائصها الكيميائية وتطورها إلى ثلاثة أنواع :

— النوع الاول (ميروجين I) : ويتصف بكون النسبة H/C مرتفعة وتزيد عن ١٥ ، وبكون النسبة O/C أقل من الواحد . ويتشكل هذا النوع بمعظمه من الليبيدات الناتجة عن تجمع بقايا الاشنيات (Botryococcus) ، أو من التخرب البيولوجي للمركبات الاخرى . ويعتبر هذا النوع غنيا بالزيوت ، ويصادف بشكل خاص في الشيت البتومي في منطقة Green River (Combas, 1975) •

— النوع الثاني (ميروجين II) : ويكثر في الرسوبات البحرية المتشكلة في الاوساط المغلقة . ويتصف أيضا بكون النسبة H/C مرتفعة نسبيا ، وبكون النسبة O/C منخفضة إلى حد ما . وهو غني بالسلاسل النفثينية والعطرية والكبريت •

— النوع الثالث (ميروجين III) : ويتج بشكل رئيسي من مركبات النباتات القارية المتطورة ، ويحتوي على مجموعات حلقية عطرية مكثفة ومؤكسدة مع قليل من السلاسل المتفرعة . والعلاقة H/C ضعيفة فيه ، وعلى العكس فإن O/C عالية . ويتصف هذا النوع بقدرة نقطية ضعيفة وأقل بخمس مرات من قدرة النوع الثاني (Tissot, 1973) ولا يولد إلا صخورا أما سيئة •

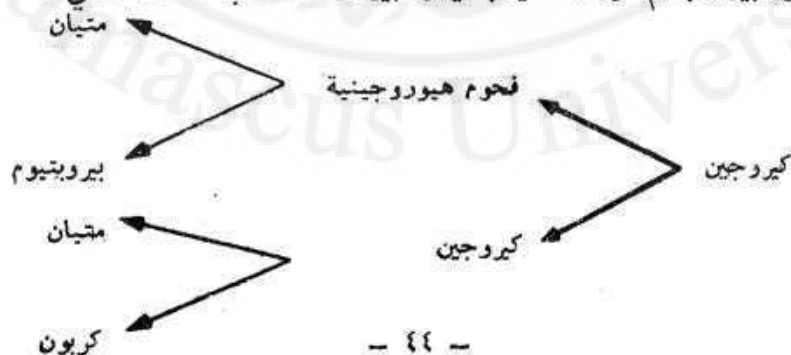
هذا وترتبط هذه الانواع المختلفة من الكيروجين مع خصائص الرسوبات •

حيث يكثر النوع الاول في السحنات الكربونائية ، أما النوع الثاني فيغلب في الاوساط الغضارية - الرملية . في حين يتواجد النوع الثالث بشكل خاص في المواد الفصمية العادية .

٣ - تحولات المادة العضوية

تعتبر المواد العضوية أكثر تحولا وأقل استقرارا من المركبات الفلزية . وتعاني هذه المواد تحولات هامة في مرحلة مبكرة من اندياجينيز ، يولد الكيروجين خلالها الزيت والغاز . وهنا لابد من الاشارة إلى وجود فحوم هيدروجينية ذات تركيب قريب جدا من الزيوت الخام في الرسوبات الحديثة كما هو الحال في حوض (Santa Barbara) في كاليفورنيا . إن مثل هذه الشواهد حملت بعض الباحثين على القول بأن نشوء الفحوم الهيدروجينية يبدأ مع بداية الدورة الرسوبية (Copelin, 1979) . ومع هذا فإنه يمكن القول بأن الزيت والغاز هما النتيجة المباشرة للتحولات الكيميائية التي تعانها المادة العضوية خلال الانطمار . كما أن سرعة وكثافة الانطمار هذا (أي الانخفاس) لهما دور رئيسي في درجة نضج المادة العضوية . وبالتالي فإن نشأة الفحوم الهيدروجينية يجب أن تعزى إلى حوادث الدياجينيز والكاتاجينيز التي تتعرض لها المادة العضوية .

وبتعبير آخر يمكن القول بأن عملية نشأة الفحوم الهيدروجينية هي عملية أكسلة وإرجاع للمادة العضوية تؤدي في وقت واحد إلى إعطاء جسم مرجع غني بالهيدروجين وجسم مؤكسد فقير بالهيدروجين وذلك حسب المخطط التالي :



أ - التحول La diagénèse

تتم تحولات المادة العضوية والفحوم الهيدروجينية في الرسوبات الناعمة بشكل خاص ، نتيجة للأفعال البيولوجية (تأثير البكتريات) • وتبدو هذه الأفعال محددة في المئات الأولى من الأمتار من التوضعات • ويتناقص تأثيرها مع ازدياد الضغط والحرارة ، وتشكل الغازات السامة (toxiques) مع نقص الاحتياطي في المادة العضوية • وهكذا تقل هذه الأفعال وبشكل غير منتظم مع تزايد العمق • إلا أنه وفي شروط منخفضة من الحرارة (أقل من ٣٠ درجة مئوية) فإن نشاط الكائنات الدقيقة يمكن أن يمتد إلى ١٠٠٠ - ٢٠٠٠ م عمقا (Claypool & Kaplan, 1974) حيث تعمل هذه الكائنات على إزالة المادة العضوية وذلك باتقاء أنواع منها أحيانا كالكيروجين السابروييلي • وهذا ما يؤدي إلى تشكيل الغازات المبكرة وتحطيم الصخور الأم في الوقت نفسه •

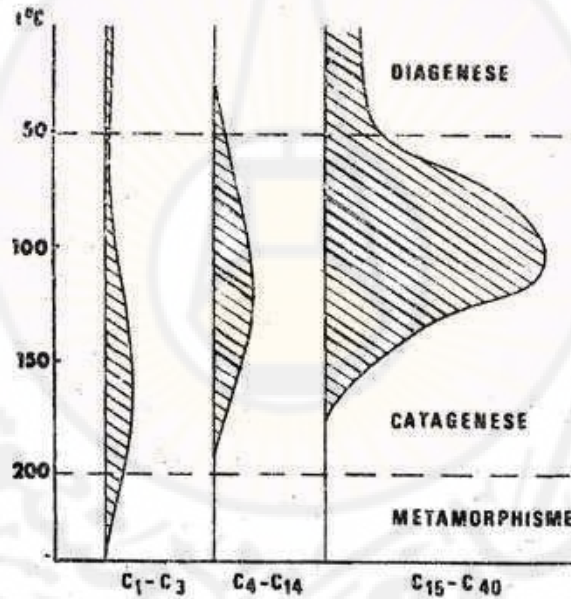
وهكذا ففي الطور الأول من التحول تؤدي التأثيرات الكيميائية الأولية ، والتي يساعد على حدوثها وجود بعض الفلزات المنشطة للتفاعل (catalyseurs) كالدولوميت والمونتوريلونيت ، إلى حدوث انقطاعات في السلاسل القصيرة الضعيفة الارتباط بالجذور العضوية • وينتج عن هذا الانقطاع تشكل الماء وغازات H_2S ، CH_4 ، CO_2 ومركبات ثقيلة كالصوغ والاسفلتين •

ب - التحول الحراري La catagénèse

اعتبارا من درجات حرارة ٥٠ - ٦٠ درجة مئوية وحسب خصائص الكيروجين يمكن للمادة العضوية الناضجة أن تولد الزيت والغاز • وحسب درجة الحرارة يمكن أن نميز طورين رئيسيين في هذه المرحلة من التحول : الأول يقابل نشأة الفحم الهيدروجينية السائلة ، والثاني يتوافق مع تشكيل الغازات الرطبة •

ج - التحول الحراري الاولى :

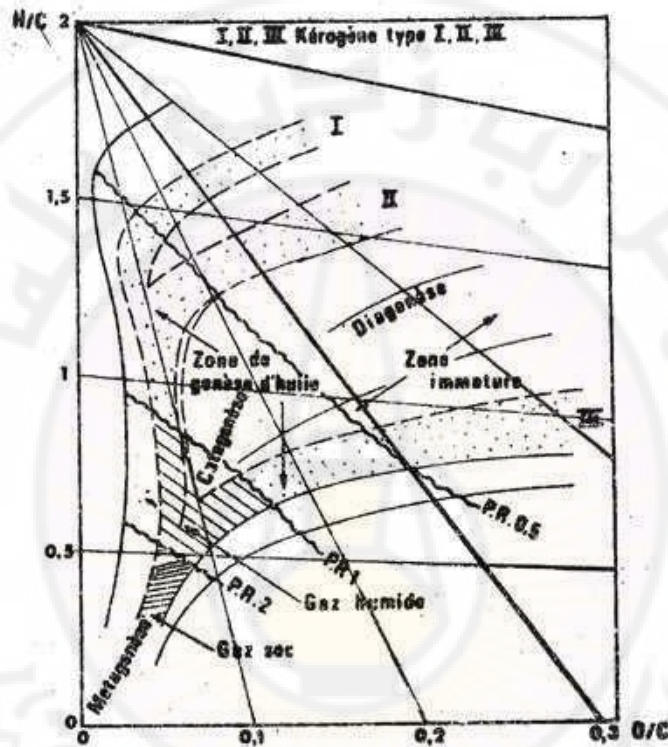
ويسمى بالنافذة الزيتية (fenêtre à huile) ويحدث في درجات حرارة تقع بين ٥٠ و ١٢٠ - ١٥٠ درجة مئوية ، وخاصة في الدرجة التي يبدأ فيها الكيروجين بتوليد كميات كبيرة من الفحم الهيدروجينية : $C_{15} - C_{40}$ (شكل ٦) (Hunt , 1977) .



(شكل ٦)

تحول الفحم الهيدروجينية في الرسوبات الناعمة بالعلاقة مع العمق
(Hunt , 1977)

هذا ولقد أوضح Van Krevelen الخطوط العريضة لهذه التحولات بالعلاقة مع طبيعة الكيروجين وذلك حسب المخطط التالي (شكل ٧) :



(شكل ٧)

Van Krevelen مخطط عام لتطور الكيروجين حسب مخطط
(Tissot & Welte, 1978)

دورة التحول الحراري اللاحق :

تحدث بين درجات الحرارة ١١٠ - ١٢٠ وحتى ٢٠٠ درجة مئوية تقريباً انقطاعات جديدة للروابط C - C في الكيروجين المتبقى وفي الفحم الهيدروجينية المتشكلة في المراحل السابقة ، حيث تصبح هذه الفحم أكثر رخسة وتتحول بمعظمها إلى غازات على شكل ميثان ، وذلك بتناقص العلاقة H/C فسي الكيروجين تصل إلى الصفر عندما لا يتبقى منه إلا المادة العضوية غير القابلة

للانحلال ، وتزداد هذه العلاقة في الفحم الهيدروجينية المتشكلة لتصل إلى أربعة عندما لا يتشكل إلا الميثان فقط .

أما من الناحية النظرية ، فإن قيم $\delta^{13}C$ لهذه الغازات ، والتي هي في حدود - ٦٠ و - ٣٠ ، ترتفع بشكل عام ، ويحدث الشيء نفسه بالنسبة للكبريتوجين حيث تصل قيمة $\delta^{13}C$ إلى - ١٠ في مجال استحالة الصخور (شكل ٨) :



(شكل ٨)

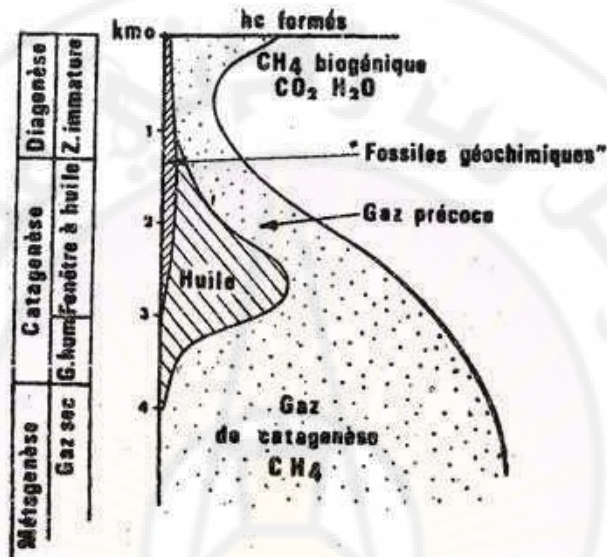
مخطط تطور $\delta^{13}C$ بالعلاقة مع العمق
(Chiligarian & Yen ' 1976)

وهكذا يمكن تلخيص مجموعة هذه التحولات المرتبطة بارتفاع الضغط والحرارة على المخطط التالي (شكل ٩) حيث يمثل محور السينات عمق الانغمار ومحور السينات كمية الفحم الهيدروجينية المتشكلة :

وعلى هذا المخطط يمكن تمييز :

ـ على أعماق قليلة : قطاع غير واضح يتميز بوجود H_2O و CO_2 ، بالإضافة إلى الفحم الهيدروجينية مبكرة التشكل ، وبخاصة CH_4 ، وتواجد الغازولين في بعض الحالات .

ـ يلي ذلك على أعماق أكثر : قطاع يتميز أولاً بوجود زيوت ثقيلة وغنية بالمركبات القطبية ، بعدها صمغ قتيبية ومن ثم بارافينية تقابل درجات حرارة تفوق ١٥٠ درجة مئوية . وأخيراً منطقة تتميز بوجود الغازات الرطبة .



(شكل ٩)

مخطط عام يوضح نشأة الفحم الهيدروجينية تبعاً للعمق ودرجة الحرارة.

— وعلى أعماق أكبر : قطاع يتميز بوجود غازات جافة (الميثان) ، بالإضافة إلى H_2S و N_2 نتيجة تحطم النوى المطرية في درجات حرارة تفوق ١٥٠ درجة مئوية .

إن هذه التحولات هي على علاقة بطبيعة المادة العضوية . وإن نتائج تحليل الفحم الهيدروجينية الحبيسة في الصخور الأم ذات البنيات الناعمة تؤكد هذا المخطط الاحصائي ، وتبين أن ٨٢٪ من الغازات و ٩١٪ من الزيوت السائلة و ٦٠٪ من المركبات الاسفلتية تنحصر في القطاع المميز للتحولات الحرارية (الكاتاجينيز) أي فيما بين ٥٠ — ٢٠٠ درجة مئوية .

ويجب الإشارة أيضاً إلى أن عامل الزمن له دور هام في تشكل الفحم

الهيدروجينية . حيث أن هذا التشكل يتطلب حرارة تزداد قيمتها مع حداثة التشكيلات الأم . كذلك فإن الصخور الهيدروجينية تتشكل على مراحل تختلف أزمانها ، حيث تحتاج إلى عدة ملايين من السنين في الأحواض الانخفضية وإلى أكثر من مئة مليون سنة في الأقاليم من نوع السطائح (plate - forme)

٤ - العلاقة بين الزيت الخام وأوساط الترسيب :

يمكن البحث في أوساط الترسيب المناسبة لتشكيل الصخور الأم أو الصخور الكيروجينية من زاويتين : ترسيب غضاري - رملي ، وترسيب غضاري - كربوناتي ملحي . بالإضافة إلى بعض الأوساط القارية (البحرية بشكل خاص) التي تبدي اغتناءً خاصاً بالمادة العضوية . وتحكم مجمل هذه الأوساط في خصائص الزيوت الخام ، وبشكل خاص عندما يكون الكاتاجينيز قليل التأثير .

٢ - الأوساط الغضارية - الرملية Milleux argilo - sableux

تتصف هذه الأوساط بسماكات كبيرة من الرسوبات الغضارية البيرية ذات اللون الأسود والمحتوية على أسرة من الفحم وعلى نسب مختلفة من الرمال ذات البنيات العدسية والتحاتن البحرية أو البحرية . وتوافق هذه الأوساط مناطق الانخفاض الشديد والانضمار السريع المجاورة لمناطق مصبات الأنهار الكبرى وتتألف المادة العضوية ذات الأصل القاري من بقايا نباتات متطورة غنية بالسلولوز واللغيت ، تنقلها الأنهار مباشرة مع مواد حطامية رملية وغضارية لتوضعها في البحيرات أو اللغونات أو البحار .

وفي المناطق ذات الترسيب الهاديء تأخذ الكائنات الدقيقة هذه البقايا من الوحول وتستخلص منها المادة السيلوزية بحيث لا يبقى إلا الشموع والسلاسل الطويلة للبارافينات النظامية . ويولد الكيروجين الناتج عن هذه التحولات زيوئاً بارافينية ، وفادراً هتينو - بارافينية . وتشكل الصخور الهيدروجينية المشبعة

٦٠ - ٩٠٪ من هذه الزيوت ، بينما تكون نسبة العطريات فيها بين ١٠ و ٣٠٪ .
أما الصمغ والأسفلتين فلا تتجاوز نسبتها ١٠٪ . ويفيب الكبريت أو يتواجد
بنسبة أقل من ٥٪ .

وتتميز بعض أنواع هذه الزيوت (ذات المنشأ غير البحري والغنية بالشعور)
بلزوجة عالية . وغالبا ما نجدها في الأحواض الانهدامية « rift » ، كما في
البرازيل وأندونيسيا .

ب - الأوساط الكربونائية والمتبخرات Milleux carbonatés et évaporitiques

تتصف المادة العضوية العائدة للأوساط البحرية الحقيقية بغناها بالليبيدات
وهيدرات الكربون القادمة من البلاكتون والاشنيات . وتعطي بتوضها كيروجينا
يتحول بشكل طبيعي الى زيوت نفثينو - بارافينية وعطرية انتقالية بنسب
٤٠ - ٧٠٪ و ٢٥ - ٦٠٪ بالتالي . ويمكن للصمغ والأسفلتين أن تتواجد
بكثرة في الزيوت الخام قليلة النضج . وكمثال على هذه الأوساط نذكر التشكيلات
الجوراسية والكريتاسية في منطقة الشرق الاوسط (Moyen - Orient) .

أما الأوساط الملثمة لتشكل المتبخرات فهي تتوافق مع الهوامش القارية
القديمة . وتمثل بالمارن والاحجار الكلسية السود الغنية بالبيتوم . وتكون عادة
فوسفاتية ومشعة وأحيانا سيليسية . وتتميز بمجملات حطامية قليلة ، وتطبق
على شكل أسرة ناعمة ، وبملوحة عالية جدا . أما الكائنات القاعية
(benthiques) فهي نادرة وتسود فيها الاشكال البلاكتونية .

ويتصف كيروجين الصخور الام الكربونائية بنوعية جيدة . ويتألف من مادة
عضوية عديمة التبلور (amorphe) سابرويلية فقيرة بالمجملات الكلاسيكية ما
يضمن نوعية جيدة على هذا الكيروجين ، بحيث تكون العلاقة H/C عالية
وتسمح له بالنضوج الجيد (Elf - Aquitaine, 1977) .

وإذا كانت الوحول الكربوناته سريعة التصلب (lithification) ، فهي من ناحية أخرى سهلة التشقق ، وذلك بسبب قلة لدوتها (plasticité) وتؤدي حادثة التشقق هذه الى طرد الصخوم الهيدروجينية المتشكلة في هذه الصخور بشكل يفوق تركها للصخور الغضارية .

كما أنه الزيوت المتشكلة في هذه الاوساط زيوت ثقيلة نظرا لاحتوائها على الصوغ والأسفلتين بنسب عالية ، وعلى الكبريت الذي تتراوح نسبته بين ١٠ و ٥٪ في الزيوت العطرية . كما تحتوي هذه الزيوت على العناصر النادرة التالية : Cu , Ni , Co , Mn , U (Weeks, 1968) . وتصادف هذه الزيوت بشكل خاص في منطقة الشرق الأوسط ولاسيما سورية والعراق .

أما الاوساط الرصفية فهي أوساط خصبة جدا لتشكيل الصخوم الهيدروجينية . إلا أن المادة العضوية تفسد فيها وتعملد ، ولا يمكن لها أن تحفظ وتتجمع إلا في المنخفضات المحمية التي تشكل خلف الحواجز (barrières) الرصفية .

ج - الاوساط البحرية Milleux lacustres

بالرغم من أن الغالبية العظمى من الصخور الام توافق تشكيلات بحرية ، فإنه يمكن للغازات والزيوت أن تتشكل في الاوساط البحرية . كما هو الحال في صخور الكاربوني في المملكة المتحدة ، وصخور السجيل الزيتي في التشكيلات الإيوسينية للنهر الأخضر Green River في الكولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية .

وفي الحقيقة تستطيع البحيرات وبعض اللاغونات أن تحقق شروطا خاصة تساعد على تكاثر أنواع معينة من الأثنيات (Botryococcacées, Cyanophytes) التي تستطيع استخدام الآزوت الجوي مباشرة . وفي مثل هذه الاوساط فإن كثافة البلاكتون والكائنات الأخرى تعيق اختراق الضوء ، مما يخلق مفارقة

كبيرة بين المياه السطحية الغنية بالمادة العضوية والسويات الدنيا الراكدة (stagnants) اللاهوائية . وهكذا تزدهر الحياة في السويات السطحية ، وتهبط المادة العضوية الى السويات الدنيا حيث تجد شروطا مناسبة للحفظ . أي أن هذه الاوساط هي في الواقع مصانع للكروجين على مقاييس مختلفة ، ابتداء من المستنقعات الصغيرة (mares) وانتهاء بالبحار المغلقة كالبحر الاسود .

خلاصة ونتيجة :

يشكل موضوع نشأة الفحوم الهيدروجينية جزءاً رئيسياً من جيوكيمياء المادة العضوية . وتبدأ هذه النشأة انطلاقاً من اللحظة التي تأخذ فيها المواد البلاكتونية والدبالية القارية بالانطمار ضمن الرسوبات ، حيث تعمل الضغوط والحرارة في شروط لاهوائية على تحويل هذه المادة العضوية (كبروجين) الى فحوم هيدروجينية وفحوم عادية .

وتتحقق ولادة هذه الفحوم خلال الانطمار في أعماق معينة تسمى بالنافذة الزيتية . هذا وإن خصائص المادة العضوية وعمر الرسوبات يغير أيضاً من خصائص الفحوم المتشكلة . كما أن الكاتاجينيز يعمل بشكل تدريجي على محو الخصائص المرتبطة بشروط الترسيب .



الفصل الرابع

الهجرات الأولية ومفهوم الصخر الأم

Les migrations primaires et la notion de roche mère

ملخص :

لا يمكن فصل دراسة نشأة الصخور الهيدروجينية عن دراسة هجرة هذه الصخور من الصخور الأم باتجاه الصخور الخازنة . ويمكن التساؤل عما إذا كانت نشأة الغازات والزيوت الطبيعية في الصخر الأم لا تتجدد بسبب ترك هذه المواد للصخور المولدة لها بعد تشكلها . كذلك يبدو أن لميكانيكية هجرة هذه الأجسام تأثيراً خاصاً على طبيعتها .

وقد جرت العادة على التمييز بين هجرات أولية (primaires) وهجرات ثانوية (secondaires) ليس فقط بسبب اختلاف ميكانيكية هذه الهجرات، إنما نظراً لاختلاف خصائص الصخور المسامية في الصخور . ويحدث النوع الأول فور تشكل الصخور الهيدروجينية ، وذلك من الصخور ذات البنية الناعمة التي تشكلت فيها نحو الصخور الخازنة ولمسافات قليلة تتراوح بين ١ - ١٥ م . أما النوع الثاني فيحدث ضمن الصخور النفوذة ، ولمسافات طويلة ، وخلال فترات زمنية كبيرة .

ويمكن أن تفرق في الهجرات الأولية بين طورين رئيسيين :

- طرد الفحوم الهيدروجينية من الصخر الأم .
- انتقال هذه الفحوم عبر الصخر الأم إلى حدود التقاء هذا الصخر مع تشكيلات قنودة ومسامية .

١ - الأنواع المختلفة للهجرة الأولية :

إن الأمر الأول الذي يجب تحديده في هذا المجال هو أحجام الأجسام القابلة للحركة أو مقارنة هذه الأحجام بأشكال فراغات الوسط الصلب الذي تنتقل عبره هذه الأجسام .

وتختلف الفحوم الهيدروجينية المهاجرة من الميثان وهو الغاز الذي تكون أقطار جزيئاته في حدود ٤ أنغستروم ، إلى المركبات الثقيلة والصلبة من نوع الأسفلتين ، والتي تصل أقطار جزيئاتها إلى ١٠٠ أنغستروم . أما بالنسبة للأوساط الصلبة فتختلف أقطار فراغاتها ، حيث تتراوح مثلا في الصخور الفضارية بين ٥٠ و ١٠٠ أنغستروم على أعماق ٣٠٠٠ م ، وأقل من ذلك في الأعماق الأكبر .

ونظريا ، يمكن أن تقترح ثلاثة أساليب لانتقال الفحوم الهيدروجينية:

- بواسطة المحاليل الجزيئية الحقيقية .
- بواسطة المحاليل الغروية (colloïdales) والذرية (micellaires) .
- على شكل أطوار زيتية أو غازية منفصلة .

ويتم الانتقال إما على شكل سيل متجانس ، أو على شكل تبعثرات انطلاقا من محلول مركز . هذا ويجب أيضا الأخذ بعين الاعتبار فيما إذا كانت الفحوم الهيدروجينية على شكل مزيج أحادي أو ثنائي الطور وفيما إذا كانت الأوساط الصلبة قابلة للتبلل (mouillables) بالماء أو الزيت . وفي هجرة

الفحوم الهيدروجينية لابد من دراسة العلاقات المتبادلة بين الماء والفحوم الهيدروجينية ، حيث أن هذه الأخيرة تنتقل ضمن أوساط مجتاحة بالمياه دائماً .

٢ - الهجرة بواسطة المحاليل الجزئية

تلب المياه البينية (interstitielles) ، أو المتحررة بفعل الدياجينيز دوراً هاماً في هذا النوع من الهجرات . وتكون كمية هذه المياه كبيرة في الأعماق (القليلة . ويفترض بعض المؤلفين (Rumeau, 1975 & Cordell, 1973) بأن الفحوم الهيدروجينية المنقولة بالمياه يمكن أن تستمر في تحولاتها ونضوجها ضمن الصخور الخازنة نفسها لتنتج ما يسمى بالبروتوبترول^(١) (protopétrole) .

وكنا قدر رأينا سابقاً أن قابلية الفحوم الهيدروجينية للانحلال في الماء ضعيفة جداً ، وتختلف حسب تراكيبها الكيميائية ، وأن أكثرها قابلية للذوبان هو البنزن والتولوين . ولقد أوضح العديد من العلماء ومنهم (Hobson 1975) وبعده (Tissot 1978) أنه لوجود مخزون زيتي جيد في حوض ما عن طريق انتقال الفحوم الهيدروجينية إليه بواسطة المحاليل الجزئية لابد من افتراض وجود حجوم كبيرة من المياه البينية تفوق كمية المياه الناتجة عن التراص (compaction) أو اعتبار درجة انحلال الفحوم الهيدروجينية في الماء عالية .

والملاحظة الهامة التي يجب الإشارة إليها في هذا النوع من الهجرة الأولية هي الانقطاع الكبير الذي يوجد بين توزيع مختلف أنواع الفحوم الهيدروجينية في زيت ما وبين انتشار هذه الأنواع بواسطة المحاليل حسب درجة انحلالها في الماء . فالبنزن مثلاً وهو أكثر الأنواع انحلالاً ينتشر بنسب

(١) - بروتوبترول : مادة نفطية ملفورة (fluorescente) يمكن الحصول عليها اعتباراً من تقطير الاسماك حيث تعطي المواد الدسمة بالتصبن حموضاً دسمة تتحول بالبتمنة الى بروتوبترول .

ضئيلة جداً • والزيوت الخام ذات الانتشار الواسع هي على العكس مؤلفة بنسب كبيرة من فحوم هيدروجينية مشبعة وضعيفة الانحلال في الماء ، ولا تجتوي إلا على آثار من الفحوم الهيدروجينية الشديدة الانحلال • ولقد أظهرت التحاليل الدقيقة لفحوم هيدروجينية مأخوذة من صخور أم وصخور خازنة مجاورة لها ومن صخور المنطقة الانتقالية التي تفصل بينهما فقر زيوت الصخر الأم بالنواتج المنحلة في المذيبات العضوية ، واغنائها النسبي بالمركبات القطبية • وعلى العكس فقد بدت زيوت الصخور الخازنة غنية بالفحوم الهيدروجينية المشبعة ، وفقيرة بالمركبات المحتوية على N, S, O كما بينت هذه النتائج أهمية ظواهر الامتصاص (absorption) خلال هذه الهجرات •

ب - الهجرة بواسطة المحاليل الغروية او اللرية

نظراً لضعف القدرة الانحلالية للفحوم الهيدروجينية في الماء فانتامضطرون لافتراض هجرة هذه الفحوم على شكل محاليل غروية أو ذرية •

إلا أن أبعاد هذه الاجسام ستكون في هذه الحالة مساوية أو على الأغلب أكبر من ابعاد الفراغات في الصخر (٦٠ أنغستروم بشكل متوسط) ، وهذا يقلل من صحة هذه الفرضية • كما أن التأثير الكهربائي العكسي بين الذرات وسطوح الفلزات المضاربة يقلل أيضا من وقوع هذا الاحتمال • وفي أفضل الشروط فإنه يمكن تصور الهجرة الأولية بهذه الطريقة في التشكيلات قليلة التراص والتي لا يزيد عمق انفجارها عن ٢٠٠٠ م •

وإن انتقال الفحوم الهيدروجينية على شكل فقاعات وككل صغيرة يحمل على الأخذ بعين الاعتبار أقطار هذه الاجسام المنقولة وأبعاد نقاط الاختناق بين الفراغات ، بالإضافة الى قوى الضغط الشعري (pression capillaire) • بحيث لا تتم الحركة إلا اذا كانت أقطار الأجسام المهاجرة أقل من أقطار الاختناقات بين الفراغات ، وإلا فمن الضروري التغلب على القوى الشعرية لمرو هذه الاجسام •

ويستقد بعض الباحثين أن ازدياد الطور السائل (ماء أو فحوم هيدروجينية) خلال التراض يسمح بالإضافة إلى أفعال التشقق (البنية أو الهيدروليكية) بحدوث مثل هذه الميكانيكية في الحركة .

كذلك لا يمكن نفي امكانية حدوث الهجرة الأولية على شكل محاليل ذرية أو ماءات . إلا أن مثل هذه الهجرات محدودة جداً ولا تحدث إلا في الأوساط الغضارية الرملية كما هو الحال بالنسبة للمصائد النيوجينية الصغيرة في اليابان.

وبما أن درجة انحلال الغازات عالية فإنه يمكن التساؤل (وخاصة بالنسبة للأعماق الكبيرة) عما إذا كانت الغازات المنحلة لا تحصل في سوائها فحوما هيدروجينية (Hedberg, 1979) .

ج - الهجرة على شكل أطوار زيتية أو غازية منفصلة

عندما تصل درجة تشبع الصخر الأم بالزيت إلى ٣٠ - ٥٠٪ تبدأ المياه البينية بالالتصاق على حواف الفراغات ، وذلك عندما لا تستطيع هذه الأخيرة التبلل بالزيت . وفي مثل هذه الشروط ، وتحت تأثير الضغط يمكن للزيت أن ينتقل على شكل طور أحادي (Dickey, 1975 & Mc Auliffe, 1979) . ودراسة حادثة الفلورة بطرق مجهرية باستخدام تكبير عال (X 500) يشير إلى احتواء الصخور الأم الناضجة على عروق زيتية ذات أبعاد في حدود الميكرون . إن هذه الملاحظة تؤكد الفرضية القائلة بتحرر الفحوم الهيدروجينية مباشرة من الكيروجين (شكل ١٠) .

ونلاحظ من الناحية الكيميائية في مثل هذه السويات من الصخور الأم هبوط العلاقة H/C ، وهذا يقابل طرح الكيروجين لنواتج غنية بالهيدروجين . وإن ارتفاع قيمة المقاومة على القياسات الكهربائية البترية مقابل هذه السويات يؤكد صحة هذه النتيجة . أما من الناحية النظرية فتزداد قيمة ^{13}C خلال الهجرة .



Objectif à immersion d'huile

100 μ

33



Objectif à sec

100 μ

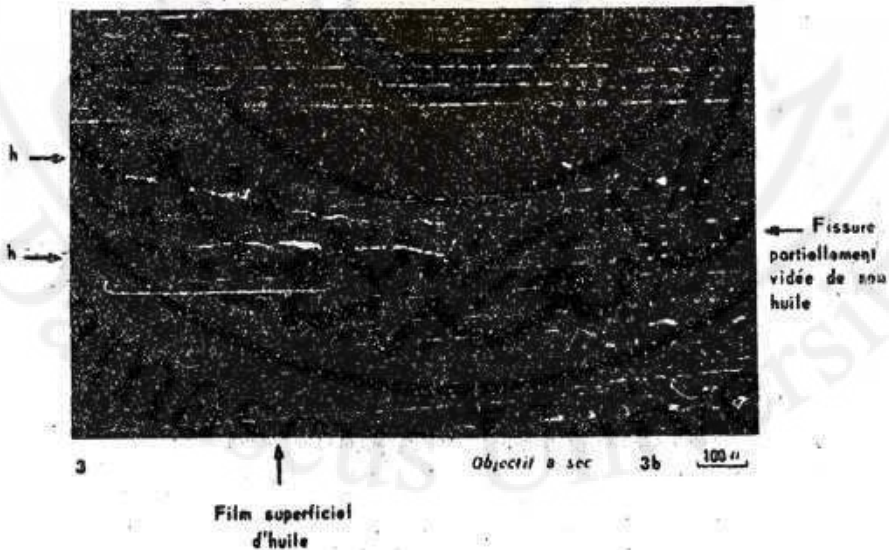
والكبروجين هو الى حتما مادة قادرة على احتجاز النواتج المتحركة في فراغات بنيتها المعقدة . إلا أنه وفي مرحلة لاحقة فان الفحم الهيدروجينية المتشكلة ستجد نفسها مضطرة لاختراق هذا الحاجز الذي تشكله رسوبات الصخر الأم ، وذلك بخلق شقوق وفواصل دقيقة . ويساعد على عملية التحرر هذه ارتفاع الضغط بسبب اتساع انتشار المياه الطبقة تحت تأثير الحرارة ، ويسبب

(شكل ١٠) : دراسة الفتوة مجهريا في انصخور الام

٢ - مقاطع مجهرية لصخور ام غضارية مؤلفة من :

1 - اسرة ناعمة ذات سماكة من ٢٠ - ٦٠ وذات بنية مفلورة (باللون الابيض) وهي الجزء الهام من الصخر الام .

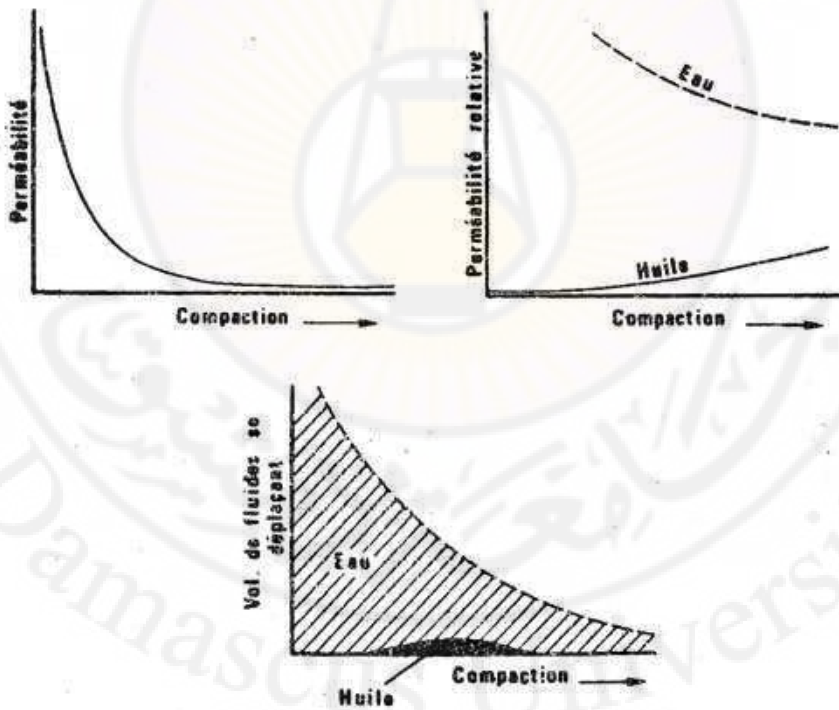
2 - غضاريات غير مفلورة (باللون الاسود) فقيرة بالمادة النفطية .



ب - مقطع مجهرى لصخور ام غضاري تظهر فيه عروق مليئة بالزيت

انفصال فقاعات صغيرة من غاز الميثان عندما يصل الضغط الى قيمة الاشباع .

هذا ولقد بين Magara (1978) أن النفوذية النسبية للزيت في المغصريات خلال مراحل التراص تتزايد في حين تتناقص النفوذية النسبية للماء خلال ذلك الى حد معين . وبالتالي يمكن القول بأن هناك مرحلة معينة من التراص تؤدي الى طرد معظم ماء الصخر مع إبقاء نفوذية نسبية عالية للزيت، مما يسمح بانتقال الزيت على شكل أطوار منفصلة (شكل ١١) .



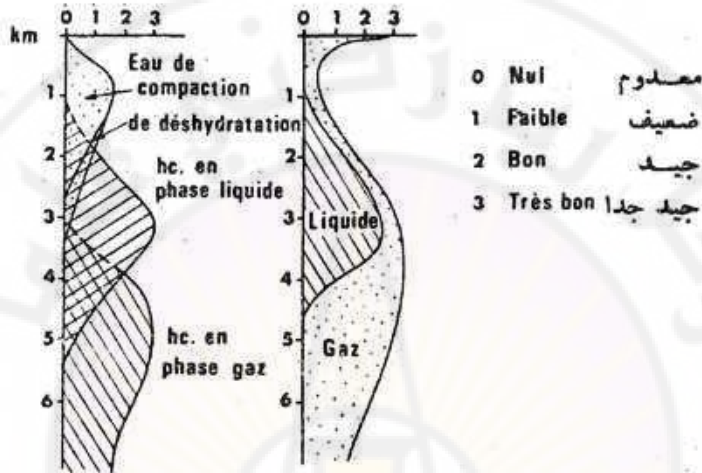
(شكل ١١) : مخطط يوضح العلاقات بين النفوذية المطلقة والنفوذية النسبية وبين حركة الزيت والماء بالعلاقة مع التراص (Magara , 1978)

٢ - الاطار الجيولوجي للهجرة الاولى :

تبدأ الفحوم الهيدروجينية بالتشكل في أعماق الأحواض الرسوبية ، وذلك عندما يتم طرد معظم المياه التي تحتويها صخور هذه الاعماق . وفي الحقيقة فان الفحوم الهيدروجينية السائلة تتشكل بين درجات حرارة تختلف من ٦٥ الى ١٥٠ درجة مئوية . وهذا يعني درجة ارتصاص عالية بالنسبة للرسوبات التي تفقد الجزء الأكبر من مياهها البينية في هذه الشروط (٨٨٪/ على عمق ١٠٠٠ م ، ٩٥٪/ على عمق ١٥٠٠ م و ٩٨٪/ على عمق ٢٥٠٠ م . ويمكن للهجرة الاولى أن تتم على أعماق تزيد على ٣٠٠٠ م . ويعتقد (Dickey (1975 أن الغضار الموجود على أعماق انحمار تتراوح بين ١٥٠٠ و ٤٥٠٠ م (النافذة الزيتية) يعاني فقداناً للمسامية بمقدار ١١٪ بسبب ترك الماء له . وحسب (Magara (1978 ، فان المياه البينية يمكن ان تستمر في الهجرة بشكل بطيء جدا ولفترات طويلة في الغضاريات المضغوطة وذات النفوذية الضعيفة . ويحدد هذا العالم الفترة الأكثر ملاءمة للهجرة الاولى بأنها المرحلة التي تبدأ فيها الفحوم الهيدروجينية السائلة بالتحول الى غاز . (شكل ١٢) .

ويعتقد بعض العلماء بأن التدفقات التي تنشأ تحت تأثير التراص وبسبب اختلافات الملوحة بين مياه الغضاريات والرمال تساعد على الهجرة الاولى . ويمكن لظاهرة الرشح الكهربائي هذه أن تزيد في تركيز الفحوم الهيدروجينية ، وذلك بترسيب مايتواجد في المحلول ، وخاصة عندما ترتفع درجة الملوحة في الصخر الخازن المغلق .

ولقد أوضح باحثون آخرون ومن بينهم (Neglia (1979 أهمية التشققات الصغيرة التي تصيب الغضاريات المرصوفة والكربونات تحت تأثير ارتفاع الضغط حيث تزداد شدة هذه التشققات على ما يبدو بازدياد ملوحة الوسط .



(شكل ١٢) : مخطط يظهر قطاعات تشكل الفحم الهيدروجينية والهجرات الرئيسية بالعلاقة مع العمق (Tissot , Wellte , 1978)

هذا وبالرغم من امكانية تحديد النافذة الزيتية ، فانه من غير الممكن تحديد كمية الفحم الهيدروجينية المطرودة من الصخر . وفي معظم الحالات فان كمية هذه الفحم التي تغادر الصخر الام بالهجرة الاولى لاتتجاوز ٥ - ١٠٪ من الحجم الكلي للفحم . وتزداد هذه النسبة بكمية ضئيلة في منطقة الشرق الاوسط (Momper , 1978)

وفي كل الحالات فان هذه الهجرة الاولى لاتحصل الا لمسافات قصيرة لاتتجاوز عشرة الامتار . وهي بالطبع على علاقة مباشرة بالخصائص البتروفيزيائية للصخور ، وتنشط حركتها بتواجد ممرات طبيعية كتواجد طبقات حطامية نفوذة تشجع الهجرة الافقية ، أو تواجد تشققات وتكسرات تساعد في الهجرة الشاقولية .

كذلك فان وجود مياه التحولات الحرارية (الكاتاجينيز) ، والطبقات شديدة التراص ، يساعد الى درجة كبيرة في حدوث الهجرة الاولى .

أ - دور مياه الكاتاجينيز

نظرا لجهل العلاقة بين نشأة الفحوم الهيدروجينية وفقدان الصخور لمياهها تحت تأثير الضغوط فلقد وجهت الاقطار لدراسة حركة المياه خلال الاموار المتأخرة من الدياجينيز وخلال الكاتاجينيز ، كجفاف مياه بعض الفلزات وبخاصة الموتسوريلونيت خلال مرحلة الكاتاجينيز .

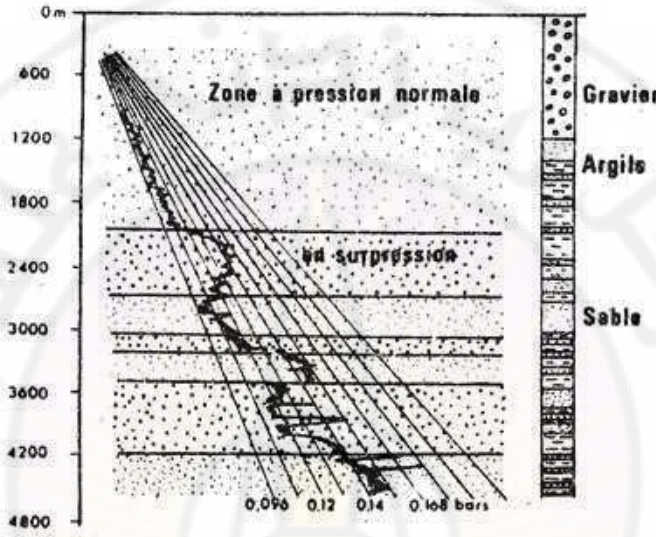
وقد وجد (Margara, 1975) أن انتقال مياه الكاتاجينيز ظاهرة مستمرة تضاف لحركة المياه تحت تأثير الضغوط . وحسب هذا العالم فإن كمية المياه المتحررة من الموتسوريلونيت بسبب تطبقها تساوي ٥٠٪ من حجم الماء الكلي وهذا ما حمل بعض الباحثين على ربط مصائد الزيت بالموتسوريلونيت .

ب - حالة التشكيلات الشديدة التراص :

تلعب التشكيلات الغضارية الشديدة التراص (sous - compactées) دوراً هاماً في نشأة الفحوم الهيدروجينية . حيث تتألف هذه التشكيلات من طبقات غضارية سابرويلية ذات سحنات مناسبة لتشكل الفحوم الهيدروجينية في بعض الأقاليم النفطية . ونظراً لمقاومة هذه التشكيلات للضغوط وبخاصة في المراحل الأولى، فإن المسامية عادة ماتكون مرتفعة بالرغم من أعماق الانغمار الكبيرة التي تتواجد عليها ، وهذا ما يسهم في حركة الفحوم الهيدروجينية ضمن هذه الصخور رغم تأخر الدياجينيز والكاتاجينيز .

وهكذا تتميز التشكيلات الشديدة التراص بقدرة حفاظها على كميات هامة من المياه على أعماق تسود فيها درجات عالية، تتوافق مع نشأة الفحوم الهيدروجينية.

أما الطبقات التي تحيط بهذه التشكيلات فتبدو ملائمة لهجرة الفحوم الهيدروجينية ، وذلك بسبب تدرج الضغوط فيها . وفي دلتا الماكازي مثلاً فإن ٩٠٪ من حقول الزيت والغاز تقع ضمن هذا الجزء من الرسوبات (شكل ١٣) .



(شكل ١٣)

تغيرات الضغط مع العمق في حقل Taglu في دلتا الماكازري بكندا
(Brule & Parker, 1975)

ج - هجرات الغازات :

تتضع هجرة الغازات لقوانين تختلف عن تلك التي تحدد حركة الزيوت . حيث أن انتقالها على شكل محاليل في الماء يلعب دوراً رئيسياً . فالميتان مثلاً تزداد قدرة انحلاله في الماء بشكل سريع مع إزدياد الضغط . إلا أن هذه القدرة تتضاءل مع إزدياد ملوحة الماء .

وفي الأعماق الكبيرة يمكن أن تصل كمية الفحوم الهيدروجينية الغازية المنحلة في الطبقات المائية إلى قيم عالية (٥٪ وزناً) وب نفس النسبة التي تنحل فيها في الزيوت (Jones, 1978) ، مما يؤدي إلى تجمعات غازية هامة جداً تصل إلى ٦٧٠٠ × ١٢١٠ م^٣ في مناطق اللوزان في تكساس .

ويفترض بعض العلماء أن هذه الطبقات المائية العالية الضغط تحرر جزءاً من

الغازات المنحلة فيها عندما ينخفض ضغطها •

مما سبق يمكن القول بأنه لا توجد ميكانيكية واحدة للهجرة الاولى وإنما هناك إمكانيات متعددة تختلف حسب طبيعة الفحوم الهيدروجينية وعمق الإندثار •

ففي الاعماق القليلة التي لا تتجاوز ١٥٠٠ م يمكن للميتان أن يهاجر بسهولة على شكل محلول ضمن الماء • كما يمكن لبعض الفحوم الهيدروجينية الأكثر ثقلاً أن تهاجر بنفس الطريقة •

وفي الاعماق المتوسطة التي تتجاوز ١٥٠٠ م تبدأ الفحوم الهيدروجينية السائلة بالهجرة ، وذلك على شكل طور مستمر •

وفي الاعماق الكبيرة حيث تسود الغازات والمواد القابلة للتكثف فإن ميكانيكية الهجرة تحدث بشكل يكون فيه الغاز حاملاً للفحوم الهيدروجينية السائلة • إلا أنه يشكك في مقدرة الغاز على تحريك الفحوم الهيدروجينية الثقيلة والمركبات الغنية بالعناصر S, O, N • ولكي يتحقق ذلك يجب افتراض هجرة كميات كبيرة من الغازات •

إلا أن النقطة الأكثر أهمية في موضوع الهجرة الاولى للفحوم الهيدروجينية تركز في تواجد الانخفاض الهام الذي يسمح بتحول المادة العضوية إلى فحوم هيدروجينية ، وبترك هذه الفحوم للصخر الأم الذي تشكلت فيه • إلا أن الفحوم الهيدروجينية المهاجرة لا تستقر بشكل نهائي في الصخور الخازنة التي تصل إليها ، وإنما تتابع حركتها ، وهذا ما اصطلح على تسميته بالهجرة الثانوية (migration secondair) • أما إذا تواجدت حواجز للنفوذية بجوار الصخر الأم فلن يكون هناك هجرة ثانوية ، وإن حصلت هذه الهجرة فستكون لمسافة قصيرة جداً وتعتبر المصيدة في هذه الحالة محلية وتسمى بالمصيدة الاولى ، كما هو الحال في أرصفة الحقول العائدة لعصر الجوراسي في بحر الشمال •

الصخور الأم

Les roches mères

تعتبر دراسة الصخور الأم من أعقد مواضيع جيولوجيا النفط . فهي ترتبط بمواضيع جيوكيميائية مختلفة نظرا لعلاقتها المباشرة بنشأة الفحوم الهيدروجينية . وإذا كان معظم الباحثين يقولون بضرورة تواجد السحنات الأم لتشكيل المصائد النفطية في حوض رسوبي ما، فإن هناك من يقول بتشكيل الزيوت والغازات في الوسط المسامي الذي تتواجد فيه ، دون المرور بمرحلة تشبع المادة العضوية في صخور أم أخرى ، معتمدين في ذلك على صعوبة تحديد الصخر الأم في مصيدة ماء .

هذا وسنجد فيما بعد أن الفحوم الهيدروجينية لها القدرة على الانتقال لمسافات هامة انطلاقاً من صخورها الأم إلى مصائد الزيت والغاز التي تتجمع فيها ، كما في حالة مصائد المملكة العربية السعودية التي جاءت موادها النفطية من أعماق الحوض المجهولة ، أو حالة مصيدة حاسي مسعود في الصحراء الجزائرية حيث يعتقد بأن المادة الزيتية المختزنة في صخور الكامبري قد أتت من صخور أم لم تحدد لها معطيات الآبار حتى الآن . وفي حالة مصيدة منتجة من صخور خازنة عدسية البنية ومحاطة بتشكيلات غضارية كثيفة ، كما هو بالنسبة لتشكيلات الأوليفو - ميوسين في فنزويلا ، فإنه من الممكن القول بأن الزيت قد تشكل ضمن (in situ) الرسوبات الغضارية المحتوية كميات هامة من المادة العضوية ، والمحاطة بمدسات رملية مسامية ، ومن ثم هاجر إلى الرمال الغازية .

وقد أظهرت التحاليل التي قام بها العديد من الدارسين أن المادة العضوية

هي جزء عادي من الرسوبات • إلا في بعض الحالات المعينة كالفضار الأحمر والصخور المتحولة أو البركانية التي وجدت خالية تماما من المادة العضوية • ويبدو أن الرسوبات المشبعة بالمواد العضوية هي وحدها التي لديها القدرة على إيجاد الصخر الأم • إن مثل هذه الرسوبات المسماة (organogénèse) تتوضع في أوساط ذات تكاثر حياتي هام ، وتتوفر فيها شروط حفظ المادة العضوية وعدم أكسدها • ويمكن أن نميز في هذه الرسوبات بين :

- رسوبات بحرية حقيقية غنية بالبلانكتون •
- رسوبات دلتاوية أو قارية محاذية للبحار غنية أيضا بالبلانكتون وبالأجزاء النباتية •
- رسوبات قارية غنية بالفحوم •
- رسوبات بحيرية وهي نادرة •

وفي كل الحالات فالصخر الأم هو صخر ذو بنية ناعمة ، ومتشكل في وسط مرجع ، أي في شروط محددة من الملوحة ودرجة الوسط • إلا أن هذا لا يعني بالضرورة كون كل الصخور التي تحتوي على نسب عالية من المواد العضوية صخوراً أما ، وذلك نظراً لتعذر إمكانية تحول المادة العضوية إلى فحوم هيدروجينية أحياناً كما في حالة صخور الشيست البيتومي الغنية بالكيرايتوم (kéraitomes) أو بسبب تطور الرسوبات الذي لم يسمح بطرد الفحوم الهيدروجينية منها إلى الصخور الخازنة •

وتدخل دراسة الشرط الأول من هذين الشرطين الضروريين لتشكل الصخر الأم ضمن إطار الجيوكيمياء • أما دراسة الشرط الثاني فهي ترتبط بالجيولوجيا الإقليمية التي تحدد بالعلاقة مع تاريخ الحوض الرسوبي فيما إذا كانت الصخور الأم قد تواجدت في شروط تسمح للموائع المحصورة فيها بمغادرتها إلى تشكيلات خازنة • ومن النواحي التطبيقية والاستكشافية فإن الدراسة الجيوكيميائية طويلة ومكلفة وذات نتائج محدودة • لذا يكتفى في تحديد الصخور الأم بمعرفة

خصائصها البتروغرافية ، حيث يعتبر صخرأ أما كل الصخور التي تتصف بمايلي .

١ - البنية الناعمة : وتسمح خلال الإنغمار بالطمر السريع للمادة العضوية ، وحفظها من الفساد .

٢ - التوضع في وسط مرجع بحري أو بحيري : ويتصف هذا الوسط باحتوائه غالباً على الفلزات الكبريتية كالكبريت وغياب أو انعدام المستحاثات غير اليبلاجية (المنخربات - الاشنيات - أسنان الاسماك) وغياب آثار الحيوانات الحفارة القاعية (fouisseurs) .

٣ - اللون القاتم : الرمادي او البني الداكن إلى الاسود والذي يعود سببه الى تواجد نسبة عالية من المادة العضوية المتبقية على شكل كيراييتوم غير قابل للانحلال .

وفي التشكيلات الحطامية ، فان الصخور الأم على الأغلب صخور غضارية ناعمة البنية وقاتمة اللون ومنطقة وذات مظهر شيسوي . أما في التشكيلات الكربونائية فان الصخور الأم تبدو مؤلفة من كلس ناعم تتخلله غضاريات، وناج عن تماسك الأوحال الكربونائية الغنية بالمادة العضوية كما في حالة كلس Luna والذي يعتبر الصخر الخازن الأكثر أهمية في حوض Maracaibo في فنزويلا .

وهكذا فان الخصائص البتروغرافية تسمح بتحديد الصخور الأم ضمن المجموعات الرسوبية . إلا أن هذه الصخور لايمكن أن تقوم بدورها كمولد للفحوم الهيدروجينية إلا اذا تواجدت في حوض رسوبي بشكل يسمح لها بتقديم زيوتها للصخور الخازنة .

وباختصار فان دراسة الرسوبات التي ولدت فحوما هيدروجينية هي أحد أكثر موضوعات جيولوجيا النفط تعقيداً . إذ أنها على علاقة بالنواحي التالية :

- الجيوكيميائية المتعلقة بطبيعة وتطور المادة العضوية .

- الترسيمية المرتبطة بالوسط ، وبشروط توضع المادة العضوية .
- الجيولوجية القديمة (تطور الأحواض) ، التي تحدد طريقة وعصر انتقال الفحم الهيدروجينية من الصخور الأم باتجاه المصائد .
- الفيزيائية المرتبطة باحتمالات انتقال الموائع ضمن الاوساط المختلفة ، والتبادلات التي تحدث بين هذه الموائع نفسها .
- إلا أنه وبالرغم من الفائدة المؤكدة من الدراسة المعمقة للصخور الأم في عمليات التنقيب ضمن الحوض الرسوبي فاننا مضطرون، على الأقل في المراحل الأولى من الاستكشاف ، إلى الاقتصار على التحديد الكيفي للسحنات الصالحة لتوليد الفحم الهيدروجينية .

١ - خصائص الصخور الأم :

الصخر الأم هو كما قلنا رسوبات حاوية كمية معينة من المادة العضوية استطاعت أن تعطي كميات لا بأس بها من الزيت والغاز . ويمكن تمييز هذا التعريف على كل السحنات المشابهة للصخر الأم ، والتي تتواجد ضمن شروط تحول مختلفة . أي على أي صخر ولد أو لديه القدرة على توليد الفحم الهيدروجينية .

تميز الصخور الأم بالخصائص التالية :

- بتواجد نسبة معينة من المادة العضوية تختلف حسب طبيعة المادة العضوية نفسها .
- بتواجد نسبة معينة من المادة العضوية القابلة للاستخلاص (m.o.e) كشاهد على إمكانية نشأة الفحم الهيدروجينية من المادة العضوية الأصلية (m.o)

– بتوزع أو انتشار المادة العضوية في طور غضاري لا تقل نسبته في الصخر عن ٣٠٪ .

– بتواجد تطبيقات على شكل أسرة غنية بالمادة العضوية ، وسطوح انتقال أفقية أو شاقولية .

هذا وتلعب طبيعة مركبات المادة العضوية دوراً رئيسياً في القدرة النفطية للصخر الأم وبالتالي للحوض الرسوبي . كذلك فإن تواجد الفلزات الغضارية وبكميات هامة يؤدي إلى نشوء ضغوط داخلية عالية تؤدي بدورها إلى خلق تشققات صغيرة تساعد على طرد الموائع المتشكلة وبخاصة الفحم الهيدروجينية منها .

ويمكن للصخور الأم أن تكون كربونائية أو فوسفاتية يتخلل طبقاتها رقائق ناعمة من الغضار . إلا أن هذه الصخور لا تحتوي من المادة العضوية إلا عشر ما يمكن أن تحتويه الصخور الأم الغضارية ، في الوقت الذي تحتوي فيه على نفس المقدار من الفحم الهيدروجينية القابلة للاستخلاص . والمادة العضوية هي عادة مابرويلية وغنية بالليبيدات .

أما الفحم والشيست البتيومي فهي صخور غنية بالمادة العضوية ، إلا أنها لا تشكل صخوراً أما إلا في حالات نادرة ، وذلك بسبب بقاء الفحم الهيدروجينية المتشكلة فيها محتجزة ضمنها ، عدى الميثان الذي يمكن أن يفادها .

هذا ويمكن تقييم الصخور الأم بمعرفة العلاقة التي تربط بين الفحم الهيدروجينية التي يعتقد أنها قادمة منها وبين الآثار المتبقية فيها . و نظراً لكون هذه العلاقة صعبة التحديد بسبب الهجرات التمايزية للأنواع المختلفة للفحم الهيدروجينية ، فقد جرت العادة على تحديد نوعية الصخور الأم بمعرفة العلاقة

بين كمية المادة العضوية القابلة للاستخلاص (m.o.e) وكمية الفحم العضوي (c.o) في الصخر ، وذلك على النحو التالي :

m.o.e			
الكلية c.o		m.o.e	
١٠ - ٥ ppm		١٥٠٠	صخور أم ذات نوعية جيدة :
٥ - ٢ ppm		١٥٠٠ - ١٥٠	صخور أم متوسطة الجودة :
٢ - صفر ppm		١٥٠ - ٥٠	صخور أم رديئة :

وتقابل القيم العالية للعلاقة $\frac{m.o.e}{Co}$ الصخور الكربونائية ، بينما توافق القيم المنخفضة صخوراً عضارية .

من ناحية ثانية تتميز الصخور الأم غير الناضجة بفلورة عالية جداً ، وتضعف شدة الفلورة تدريجياً مع ازدياد درجة نضوج المادة العضوية .

أما تحديد الروابط بين الزيوت في المصائد والصخر الأم فهو أمر دقيق ويتطلب تحاليل معمقة . حيث يجب التأكد أولاً من أن منتجات الصخر الأم تقدم من المادة العضوية لهذا الصخر وليس عن طريق الهجرة من صخور مغذية أخرى ، ولا سيما أن الصخور المجتاحة ليست كلها بالضرورة صخوراً خازنة .

وتجدر الإشارة أيضاً إلى أن تركيب الزيوت يعاني تغيرات خلال هجرتها ، حيث تفتني الزيوت بالفحوم الهيدروجينية العطرية والمشبعة ، وتفتقر بالمركبات الأوكسيجينية والأزوتية والكبريتية .

وفي كثير من الحالات ، وخاصة عندما يتواجد الصخر الخازن في منطقة عديمة النضوج ، فانه يمكن أن تتصور أصل الفحوم الهيدروجينية كما يلي :
- إما من تشكيلات أكثر قدماً وأكبر عمقاً ، حيث تصل للصخر الخازن عن طريق الهجرات الصاقولية .

١ - أو من تشكيلات معاصرة (contemporaines) أكثر عمقاً في المقعرات المجاورة ، حيث تصل للصخر الخازن عن طريق الهجرات الخطية .

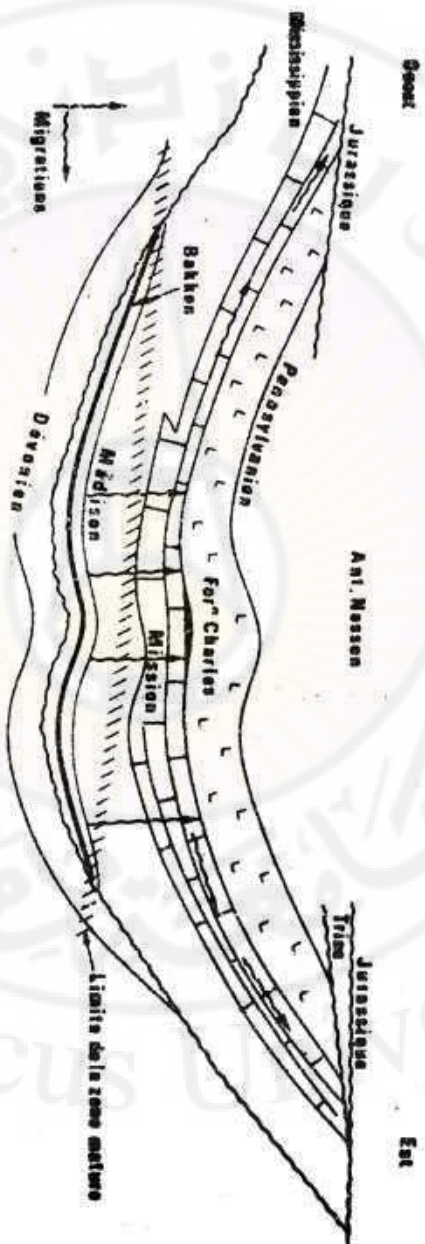
٢ - مثال على صخرام : تشكيلة Bakken في حوض Williston

وهي عبارة عن طبقة ضعيفة السماكة ، إلا انها تتصف بكونها كربوناتية وغنية بالمادة العضوية ، وتمثل تجاوزاً بحرياً ضعيفاً حصل خلال الفترة الانتقالية بين عصري الديفوني والميسيسيبي (شكل ١٤) .

ومن الناحية البتروغرافية ، تتألف هذه التشكيلة من حجر كلسي رملي دولوميتي ناعم جداً أو أسود اللون ، متطبق أحياناً ومحاط من الأسفل والأعلى بسويتين من الغضار المحتوي على المواد المشعة . ويحتوي الجزء المركزي من هذه التشكيلة على ٠.٦ - ١.٠ من الكربون العضوي (C.O) ، بمعدل متوسط قدره ٣.٨ . حيث يشكل هذا الجزء المغور على أعماق تتجاوز ٢١٠٠ م صخوراً أما حقيقة ولدت مايقارب ١٤ مليار طن من الزيت في الجزء العميق من الحوض .

وتتصف هذه التشكيلة باستجابة بطيئة على قياس الصوت (sonic) ويعود ضعف سرعة انتشار الأمواج الصوتية فيها إلى النسبة العالية من المادة العضوية التي تحتويها . كما تتصف هذه التشكيلة باختلافات كبيرة القساوة على قياس المقاومة (latérológ) ، وذلك حسب تواجد أو عدم تواجد الفحم الهيدروجينية .

وتعتبر تشكيلة باكن تشكيلة منتجة للزيت في خبسة حقول في حوض Williston ، وخاصة في حقل Antelope الذي ينتج ١٤ مليون طن من



(شكل ١٤)

شكل إيضاحي لحوض Williston في الولايات المتحدة يوضح امتداد تشكيله بأماكن ومناطق النضوج (Meissner, 1978)

الزيت و ٨٠٠ مليون ٣م من الغاز في ٤٤ بئراً ، ودون أي إنتاج للمياه . مما
يحمل على التفكير بأن الفحم الهيدروجينية هي السوائل الوحيدة القادرة
على الحركة في هذا الصخر . وتنشط هذه الحركة في هذه التشكيلة ذات الضغط
العالي بفضل وجود شقوق صغيرة عمودية مفتوحة وشقوق عريضة أخرى تعتبر
العامل الرئيسي في انتقال وهجرة الفحم الهيدروجينية إلى الصخور الخازنة
في الحوض .



القسم الثاني

الصخور الحازنة والصخور المغطية

L' ENSEMBLE RESERVOIR — COUVERTURE

الفصل الأول

الصخور الخازنة

Les réservoirs

مقدمة :

الصخور الخازنة هي بالتعريف صخور تحتوي في بنيتها على فراغات على شكل مسامات (pores) أو شقوق (fissures) متصل بعضها ببعض بواسطة ممرات أو أقنية تسمح بانتقال واختزان الموائع ضمنها .

وتعتبر دراسة الصخور الخازنة أقل تعقيداً من دراسة الصخور الأم حيث تقتصر على تحديد الخصائص البتروفيزيائية لهذه الصخور ، والتي هي محصلة تاريخها الجيولوجي ، وبخاصة الشروط الترسيبية والتحولات اللاحقة . وإن معرفة الميكانيكية التي تحدد هذه الخصائص الخازنية أمر أساسي يسمح بتخمين اختلافات ونوعية الصخر الخازن قبل البدء بأعمال الحفر .

ويعبر عن الخصائص البتروفيزيائية للصخور الخازنة بالمسامية (porosité) والنفوذية (permeabilit ) ، والعلاقة بينهما معقدة كما سنرى . وتحدد المسامية حجم الزيت أو الغاز الموجود في الصخر بينما تحدد النفوذية امكانية انتقال الموائع ضمن الصخر ، وبالتالي فانها توجه طرق استثمار المصيدة .

١ - الخصائص البتروفيزيائية للصخور الخازنة :

ترتبط الخصائص البتروفيزيائية للصخور الخازنة بالعلاقة المتبادلة بين الصخر والمائع الذي يحتويه ، وتتحدد بشكل خاص بسطوح تلامس المادة الصخرية والمائع ضمن فراغاتهما .

٢ - ظواهر الإدمصاص أو التوترات بين السطوح :

تؤثر سطوح الفلزات على الموائع بقوى شد (Van der Wals) تظهر على شكل قوى ادمصاص (adsorption) أو توتر بين السطوح (tension interfaciale) في نقاط التقاء الصخر مع المائع ، أو على شكل تبلل (mouillabilité) .

ويمكن تعريف التوتر السطحي بأنه القوة التي يجب تطبيقها على واحدة السطوح لازالة التوترات بين سطحي مائعين غير قابلين للامتزاج (non miscibles) كالزيت والماء .

إن قوى التوتر بين السطوح لمجموعة ماء - زيت تختلف تبعاً للتركيب الكيميائي للزيت ، وحسب تواجد الغازات المنحلة ، وبدرجة حموضة الماء (PH) والضغط والحرارة السائدين . وتراوح قيم هذه القوى بين ٥ - ٣٥ دين بالسـم^٢ في الشروط تحت السطحية (Schowalter, 1979) .

وإن قوى التوتر بين السطوح تعاكس في فعلها ضغط الانتقال الذي يؤثر به مائع خارجي ، والذي يمكن تعريفه بأنه الضغط الأصغري الذي يجب تطبيقه لأمرار شريحة من الزيت أو من الغاز في نمط ماء وفحوم هيدروجينية ، وذلك عبر المسامات والأقنية (canicules) الأكثر اتساعاً . وهكذا فإن صخوراً ذات قوى معينة لتوترات بين السطوح يمكن أن يشكل حاجزاً أمام ضغوط معينة للزيت أو للغاز . أي أن قوى التوتر بين السطوح تحدد إمكانية الهجرة

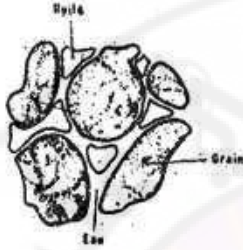
أو بتعبير آخر في خصائص الغطاءات والاعلاقات كما سنرى فيما بعد .

ومن ناحية أخرى فإن الادمصاص الفيزيائي يمكن أن يثبت عدة طبقات أحادية الجزيئات على سطح صلب ، في حين أن الادمصاص الكيميائي لا يثبت إلا طبقة واحدة . ويمكن للغضاريات أن تقوم بادمصاص عدة سويات أحادية الجزيئات فيزيائيا وكيميائيا حيث تحقق ذرات الهيدروجين الاتصال بين ذرات الاوكسجين في الفلز ، وبخاصة السيليس وجزيئات الماء . وتشكل هذه المياه العالقة بسطوح الفلزات الغضارية المياه غير القابلة للاستخلاص (irréductible) . وفي كثير من الصخور الخازنة ، وعلى الأخص الصخور السيليسية ، فإن الماء يبلل الصخر بفعل هذه الظاهرة .

وهكذا فإن قوى التوتر بين السطوح تلعب دوراً هاماً ضمن البنية الفراغية المعقدة للمسامات الصغيرة والأقنية الضيقة التي تصل بينها .

- خاصة التبلل La mouillabilité :

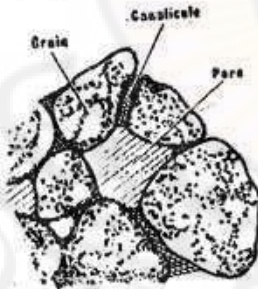
يقصد بالتبلل الجهد الذي يجب تطبيقه لفصل مائع عن جسم صلب يبلله . ويمبر عن هذه الخاصة بزاوية التقاء سطوح الماء - زيت مع الصخر أو جدران المسامات . وبشكل عام فإن الماء مائع مبلل للصخر ، أما الزيت فهو مائع غير مبلل للصخر . إلا أنه في بعض الحالات ، وبشكل خاص في الصخور الخازنة الكربوناتهية يمكن للزيت أن يبلل حواف المسامات حيث تشدد المركبات القطبية إلى سطوح الفلزات ، كما أن الطبقات الرقيقة للمادة العضوية تستطيع تبطن حواف المسامات مغيرة بذلك من خواص تبلل الصخر . وفي حالة الغضاريات الغنية بالمادة العضوية فيتم ادمصاص المركبات القطبية على سطوح الوريقات الفيللية وبين السطوح عندما تكون الغضاريات على شكل مومتور يلونيت . وهكذا يمكن للصخور ذات المسامية المرتبطة بفراغات تقل أبعادها عن ٥٠ أنفثروم أن تبلل بالزيت حيث تعمل المركبات القطبية على تقليل قوى التوتر بين سطوح الماء والزيت وحتى بين الماء والغاز .



مقطع بوضوح توزع الزيت (مائع غير مبلل)
داخل فراغات صخر مشبع بالزيت والماء (مائع
مبلل) .

ب - المسامية La porosité

المسامية ويعبر عنها بالحرف اليوناني ϕ هي خاصة احتواء الصخر على فراغات (مسامات وشقوق) . ويعبر عنها كـ نسبة حجم الفراغات الموجودة في الصخر إلى الحجم الكلي لهذا الصخر .



مقطع بوضوح المسامات والافنية
بين الحبيبة

وتعطي بالعلاقة :

$$\phi = \frac{V_t - V_s}{V_t} = \frac{V_p}{V_t}$$

حيث :

الحجم الكلي للصخر	V_t
حجم المادة الصلبة في الصخر	V_s
حجم الفراغات في الصخر	V_p

وتساوي النسبة التي يتم الحصول عليها المسامية المطلقة أو الكلية (totale) ϕ_t .

وإلى جانب هذه المسامية الكلية يمكن أن نعرف المسامية الفعالة (effective)

ϕ_{effect} وهي المسامية التي تمثل الفراغات المتصلة بعضها ببعض ، أي حجم الفراغات التي تتمتع بالقدرة على الامتلاء بالموائع ، ويعبر عنها بالعلاقة :

$$\phi \text{ effect.} = \phi_t = S_w$$

حيث S_w درجة تشبع الصخر بالماء

وتبلغ قيم هذه المسامية (المتصلة) ٢٠ - ٢٥٪ من قيمة المسامية الكلية، وقد تصل هذه النسبة إلى ٥٠٪. وترتفع هذه النسبة مع ازدياد نعومة الحبات التي تعمل على إدخال مفهوم القوى الشعرية . حيث أن صغر أبعاد الحبات يؤدي إلى إدمصاص هذه الحبات لجزء من المياه البينية تحت تأثير هذه القوى .

وفي المسامية الفعالة يمكن أن نميز ما يسمى بالمسامية الكونية (potentielle) ϕ_{potent} وتساوي الحجم الكلي للفراغات المتصلة بعضها ببعض بواسطة أقنية تسمح مقاطعها بامرار الموائع، بحيث تكون أبعاد هذه المقاطع في حدود ٥ ميكرومتر في حالة امرار الزيوت، وفي حدود ٢ ميكرومتر في حال امرار الغازات. إن هذه المسامية يمكن أن تكون أقل بكثير في قيمتها من قيمة المسامية المتصلة ، كما في حالة الفضاريات التي تبدي مسامية متصلة عالية ٤٠ - ٥٠٪ عندما تكون متراسة، وقد تصل إلى ٩٠٪ في حالة الفضاريات الحديثة التوضع ولكنها لا تسمح في الوقت نفسه بامرار الموائع عبرها نظرا لصغر أقطار فجوات وأقنية هذه المسامات .

ومقابل هذه المسامية الناتجة عن الفراغات بين الحبات (porosité intergranulaire) فإنه يمكن في الصخور الخازنة أن نتحدث عن المسامية التشققية . إلا أن هذه المسامية ضعيفة القيمة ، وعادة ما تكمل المسامية بين الحبية (شكل ١٥) .

وفي الصخور الحطامية (détritiques) ذات الحبات المتجانسة الأبعاد فإن المسامية تبدو غير مرتبطة بأقطار الحبات وإنما على علاقة بأشكال هذه الحبات . وتتناقص المسامية بشكل عام مع ازدياد عمق التوضع أي بارتفاع درجة الحرارة والضغط .



(شكل ١٥) : لبابات صخرية مشبعة بالزيت (Photos : ESSO)
 صخور رملية صخور كلسية مشققة

هذا وتختلف مسامية الصخور الخازنة بين ٥ - ٤٠٪ بمتوسط قدره ١٠ - ٢٠٪ ويمكن تقسيم الصخور حسب مساميتها إلى الأنواع التالية :

- رديئة : ذات مسامية أقل من ٥٪
- فقيرة : ذات مسامية بين ٥ - ١٠٪
- جيدة : ذات مسامية ١٠ - ٢٠٪
- جيدة جدا : ذات مسامية تفوق ٢٠٪

وفي الطبقات المائية (aquifères) فإن مقاومة التشكيلات R_o ترتبط بمقاومة المياه البنية R_w بالعلاقة التالية : $R_o = FR_w$

حيث F هو معامل الطبقة (facteur de formation) ويرتبط هذا

المعامل بالمسامية حسب القانون $F = \frac{A}{\phi m}$ حيث

A = معامل يتعلق بالطبيعة الليتولوجية ويتراوح بين ٠.٦ - ٢ ، m = معامل التماسك ويتعلق بنوعية الرسوبات والفراغات وتبلغ قيمته ١.٨٧ $\pm$ ٠.١٩٪ ويمكن تعميم هذه العلاقة على النحو التالي :

$$F = \frac{1}{\phi^2} \quad \text{بالنسبة للصخور الكلسية}$$

$$F = \frac{0.65}{\phi^{2.15}} \quad (\text{علاقة « Humble »}) \quad \text{بالنسبة للصخور الرملية}$$

ويمكن الحصول على قيم R_w , R_o من منحنيات القياسات الجيوفيزيائية البثرية ، حيث تسمح القياسات الكهربائية بمعرفة R_o ، ويسمح قياس الكمون الذاتي بحساب R_w .

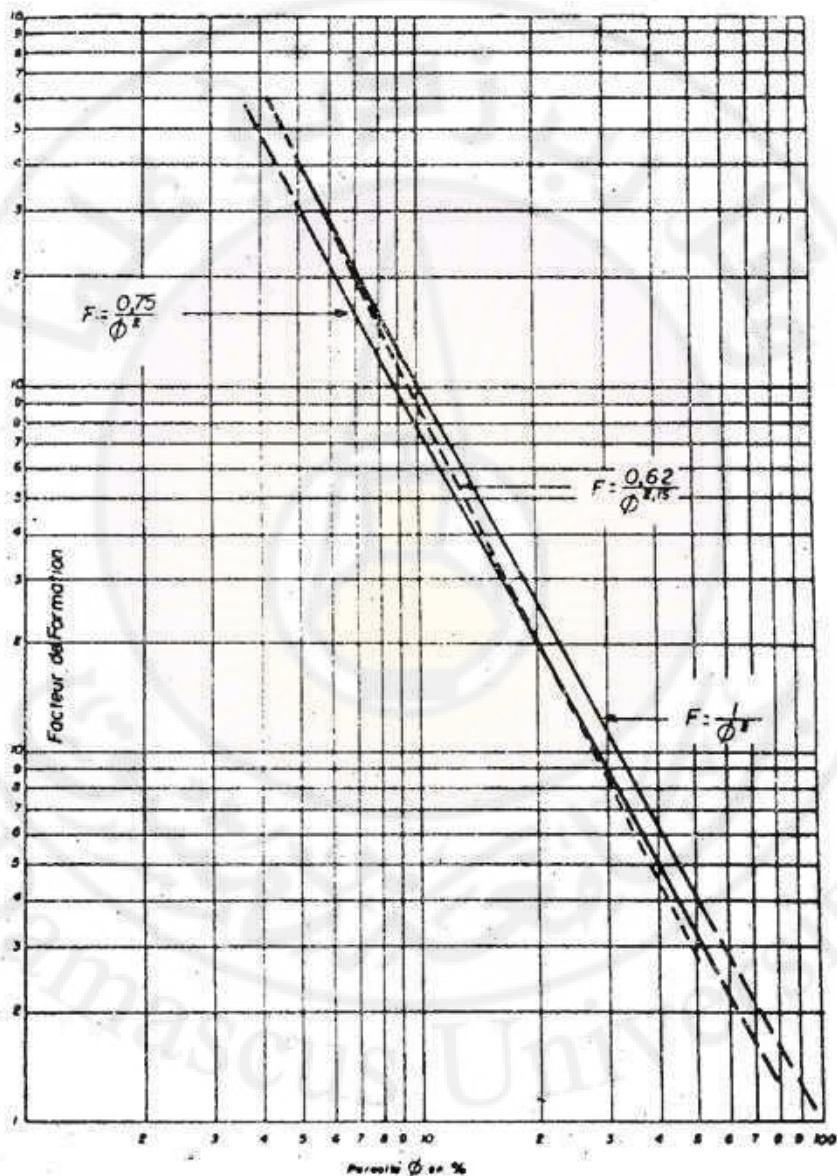
والشكل رقم ١٦ يوضح العلاقة بين المسامية ومعامل الطبقة .

ج - النفوذية La perméabilité :

لا يمكن لوسط مسامي أن يسمح بانتقال الموائع ضمنه إلا إذا كانت الفراغات التي يحتويها متصلة بعضها ببعض ، وهذا ما يعبر عنه بالنفوذية (K) . فالنفوذية هي قدرة الصخر على إمرار مائع ذي لزوجة معينة عبره . فإذا كان المائع متجانسا وليس له تأثير يذكر على الوسط الذي يحتويه فإن النفوذية مطلقة وتحسب من قانون دارسي (Darcy) :

$$Q = K \frac{1}{\mu} \cdot \frac{s}{h} (P_1 - P_2)$$

حيث :



(شكل ١٦) : العلاقة بين المسامية ϕ ومعامل الطبقة F

- Q = تدفق المائع في الصخر ، ويقدر بالسم^٣/ثا .
- S = المقطع الصخري بالسم^٢ .
- $P_1 - P_2$ = فرق الضغط بين مدخل العينة الصخرية ومخرجها .
- μ = لزوجة المائع بالسنتبواز .
- K = النفوذية وتقاس بالدارسي أو بالميللي دارسي (١ دارسي = ١٠٠٠ ميلي دارسي) .

أي أنه يمكن القول بأن النفوذية تساوي واحدا (دارسي) عندما يخترق ١ سم^٣ من مائع لزوجته واحد سنتبواز خلال ثانية واحدة عينة من الصخر مساحة مقطعا ١ سم^٢ تحت فرق ضغط قدره ١ ضغط جوي .

وترتبط النفوذية بأبعاد الحبات والتصنيف الحبي . وقد أوضح F. Pettijohn عام ١٩٥٧ العلاقة بين النفوذية وأبعاد الحبيبات على النحو التالي $K = B \cdot d^2 \cdot e^{-a}$ حيث تتناسب النفوذية طردا مع اقطار الحبات (d) ودرجة التصنيف الحبي (s) علماً أن (e, b, a) ثوابت .

هذا وتختلف قيم النفوذية في الصخور بين صفر وألف ميلي دارسي ، حيث تكون النفوذية ضعيفة إذا كانت قيمتها بين صفر و عشرة ميلي دارسي ، ومتوسطة عندما تأخذ قيما بين عشرة ومئة ميلي دارسي ، وجيدة إذا تجاوزت في القيمة مئة ميلي دارسي . إلا أنه توجد صخور خازنة تبلغ نفوذيتها بضعمة وحدات من الدارسي ، كما هو حال الصخور الخازنة في حقل عين زلح في العراق . كما أن هناك صخورا ذات نفوذية أقل من خمسة ميلي دارسي ، كصخور حقل لالك في حوض الاكيتين في فرنسا ، حيث لاتتجاوز النفوذية الاصلية ١ - ٣ ميللي دارسي . وفي كلتا الحالتين فإن كون هذه الصخور منتجة يعود إلى تواجد شقوق هامة تضفي على الصخر صفة النفوذية .

كذلك يمكن التمييز عادة بين نوعين من النفوذية :

- النفوذية الأفقية : وتعبر عن جريان الموائع بشكل مواز للتطبيق .
- النفوذية العمودية : وتعبر عن جريان الموائع بشكل عمودي على مستوى التطبيق .

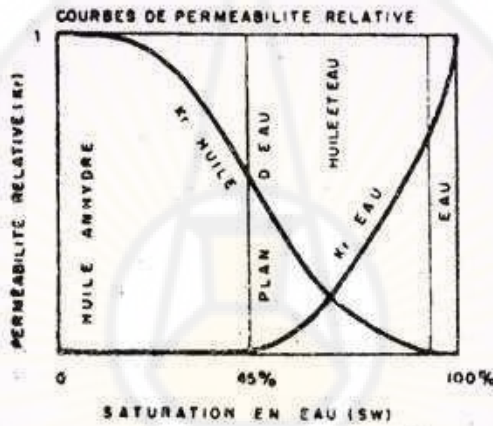
والنفوذية العمودية عموما أقل من النفوذية الأفقية ، ويعود سبب ذلك إلى تواجد فلزات فيللميتية (غضار — ميكال) تتوضع في معظم الصخور الخزائنة بشكل مواز للتطبيق مشكلة بذلك حواجز للنفوذية .

إضافة إلى ذلك فإن النفوذية لا تأخذ دائما قيما ثابتة في صخر معين . وقد ثبت في حالات كثيرة أن النفوذية تتناقص بشكل بطيء تحت تأثير جريان مائع ما في الصخر . ويعود السبب في هذا إلى تحطم بعض مركبات الصخر (الفلزات القضارية بشكل خاص) . حيث تعمل الجزيئات الناعمة جدا (واحد ميكرومتر) والناتجة عن تحطم الفلزات على إغلاق أجزاء من الفراغات الدقيقة معيقة بذلك حركة الموائع ضمنها .

من ناحية أخرى وبما أن الصخور الحاملة للنفط تحتوي بشكل عام على مائعين أو ثلاثة أحيانا (ماء — زيت — غاز) فإنه من الضروري عند دراسة نفوذية هذه الصخور أن ندخل مفاهيم الجريان ثنائية الطور أو النفوذية الفعالة K_{eff} . وفي الحقيقة فإنه عندما يخترق صخورا مائعان فإن تدفق أحدهما يختلف عن الآخر وبالتالي فإن النفوذية الفعالة لكل منهما ستكون أقل من النفوذية المطلقة . فالنفوذية الفعالة لمائع ما تعبر عن قدرة الصخر على إمرار هذا المائع وذلك بتواجد مائع واحد أو عدة موائع . وهكذا فإن هذه النفوذية لا ترتبط بالصخر فحسب وإنما تعتمد على نسب الموائع المختلفة التي يحتويها الصخر .

وهناك أيضا النفوذية النسبية K_r التي يعبر عنها بالعلاقة بين النفوذية الفعالة والنفوذية المطلقة $K_r = \frac{K_e}{K}$. والنفوذية النسبية لمائع ما تتعلق بدرجة تشبع الصخر بهذا المائع وبالتالي فهي تعبر عن نسبة انتقال مائع ما بالنسبة لمائع آخر . وفي حالة

تواجد ماء - زيت مثلاً في الصخر فإن النفوذية النسبية للزيت أعظمية وقرينة
جداً من الواحد عندما تكون درجة تشبع الصخر بالزيت مرتفعة (٧٠ - ٨٠٪)
وبالعكس فهي صغرى عندما تكون درجة تشبع الصخر بالزيت قليلة جداً ، وفي
هذه الحالة فإن النفوذية النسبية للماء ستكون أعظمية (شكل ١٧) .

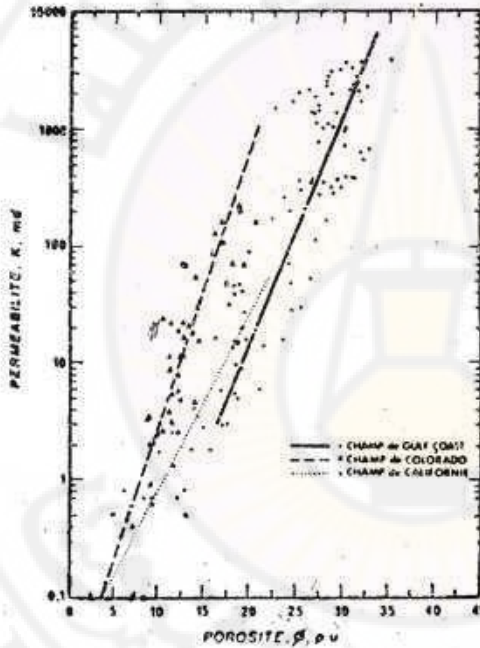


(شكل ١٧) ، مخطط يوضح العلاقة بين درجة التشبع بالماء/زيت والنفوذية النسبية
(Arps, 1964)

د - العلاقة بين المسامية والنفوذية :

بالرغم من إمكانية تواجد نوع من العلاقة الخطية (linéaire) بين المسامية
والنفوذية في الصخور الحطامية (المؤلف ، ١٩٨١) (شكل ١٨) إلا أنه لا توجد
علاقات كمية مباشرة بين هاتين الخاصتين بشكل عام . حيث يمكن أن تتواجد
مسامية عالية مع انعدام النفوذية (حجر الجاسب الذي يتمتع بمسامية عامة ٥٠٪) .
وتعتبر الفراغات مثلاً جيداً على انعدام هذه العلاقة . حيث تعمل الفراغات
والاقنية الدقيقة على تثبيت قوى التوترات بين السطوح ، مما يعد من

حركة المائع • فالموضوع إذن ليس كمية المسامات وإنما أبعاد هذه المسامات والاقنية التي تصلها والتي تحدد مجموعة من الحوادث الفيزيائية بين المواد الصلبة والموائع •



(شكل ١٨) : العلاقة بين

المسامية والنفوذية

حقل غولف كوستا

حقل كولورادو

حقل كاليفورنيا

٢ - قياس المسامية والنفوذية :

تختلف قيم المسامية والنفوذية بنسب هامة من نقطة إلى أخرى في سوية خازنة معينة • ولمعرفة هذه التغيرات بدقة كافية فانه من الضروري إجراء قياسات عديدة ومتقاربة في السوية المدروسة •

وتقسم هذه القياسات حسب الطرق المتبعة إلى مجموعتين تكمل إحداها الأخرى •

ـ الطرق المباشرة :

وتتم باستخدام أجهزة مخبرية دقيقة تسمح بحساب قيم المسامية والنفاذية الافقية والعمودية بدقة متناهية . وتجري القياسات على عينات اسطوانية (plugs) ذات أبعاد صغيرة (2×4 سم) تقطع من الصخر حسب مواقع مختارة .

ـ فبالنسبة للمسامية يقاس الحجم الكلي للصخر V_v وحجم المادة الصلبة V_s بغمر العينة في الزئبق أو في سوائل أخرى تحت الضغط الجوي العادي . ولمعرفة المسامية الفعالة فاننا نلجأ إلى حساب الحجم الفعال للفراغات بحقن الصخر بالغاز أو بسوائل معينة .

كذلك يمكن تقدير المسامية المجزية (microporosity) بدراسة الصفائح الرقيقة (lames - minces) بالمجهر وذلك بعد حقنها بملونات خاصة .
ـ وبالنسبة للنفاذية فانها تحسب من علاقة دراسي كما رأينا سابقا .

ـ الطرق غير المباشرة :

رأينا ان الطرق المباشرة في حساب المسامية والنفاذية تعتمد على إجراء القياس على عينات اسطوانية صغيرة مأخوذة من مواقع معينة من اللباب الصخري . وبالتالي فان القيم التي يتسم الحصول عليها لا يمكن أن تعبر بالرغم من دقتها الكبيرة عن الخصائص البترو فيزيائية الحقيقية للصخر ، مع أنه جرت العادة على اخذ متوسط قيم القياسات المنفذة على عدد كبير من العينات . كما أن العينة المدروسة توجد أثناء التجربة في وسط يختلف عن الوسط الطبيعي الذي اقتطعت منه (حرارة وضغط مختلفين) . كما أن العينة تكون قد تعرضت أثناء تحضيرها لعمليات مختلفة (غسيل - تحطيم - الخ ٠٠٠) ، بالإضافة إلى أن القياسات التي تجري على العينات الصخرية الضعيفة أو العديمة التماسك هي تقريبية

وبعبارة من الحقيقة ، في حين تحتوي الصخور المتماصة على مسامية عالية ونفوذية جيدة تعود الى الشقوق والكهوف والتجاويف الصغيرة ، ولا يمكن قياسها بالطرق المخبرية المعروفة ، وإنما يجب اجراء القياسات على لبابات صخرية كبيرة .

لهذه الاسباب ولتجنب الوقوع في أخطاء القياسات فان مهندسي الإنتاج يعتمدون إلى استخدام الطرق غير المباشرة في تحديد مسامية ونفوذية الصخور . وتعتمد هذه الطرائق على التفسيرات الكمية للقياسات الجيوفيزيائية البئر (« Diagraphies » « Well Logging ») التي تعطي بشكل مباشر أو غير مباشر مسامية الصخر ونفوذته . وهذه القياسات هي :

- منحنيات المقاومة (microlog - microlaterolog)
- قياس النيترون (neutron porosity)
- قياس الكثافة (gamma - gamma) وسرعة انتشار الأمواج الصوتية (sonic) (الشكل ١٩)

وتمتاز هذه الطرائق غير المباشرة عن الطرائق المباشرة في القياس بأنها تعطي قيما مستمرة لحجم كبير من الصخر حول فتحة البئر (puits) وضمن الشروط المكنية الطبيعية . كما أنها تمتاز بقلة تكاليفها .

هذا ومن المفيد أيضا تكوين فكرة أولية عن مسامية الصخر ونفوذته قبل البدء بالقياسات المخبرية أو القياسات الجيوفيزيائية البئر . حيث يمكن لجيولوجي الحقل تقدير هذه الخصائص بشكل تقريبي وذلك بفحص نواتج الحفر (déblais) واللباب الصخري بالمكبرة ، وتحديد النسيج الصخري وطبيعته وأبعاد وكثافة الفراغات . وبمقارنة المعطيات التي يتم الحصول عليها بجداول مقارنة (références) يمكن أخذ فكرة مبدئية عن الخصائص الخزينة للصخور المخترقة .

وفي الحقل وأثناء أعمال الحفر فان هناك عدداً من الملاحظات تساعد

الجيولوجي في تقدير احتمال وجود تشكيلات خازنة • وأهم هذه الملاحظات هي :

- سرعة تقدم الحفر بشكل مفاجئ : وتدل على اختراق تشكيلات ضميصة التماسك أو مسامية •
- فقدان سائل الحفر (الطفلة او طينة الحفر) : ويدل على اختراق أراضي عالية النفوذية وذات ضغوط أقل من الضغوط المطبقة على سائل الحفر •
- اختلاف درجة ملوحة سائل الحفر : يدل على تسرب مياه عذبة أو مالحة من تشكيلات ذات نفوذية عالية •
- عدم القدرة على الحصول على كامل اللبابات الصخرية : وهذا يعني أن التشكيلة المخترقة هي غير متجانسة أو مشققة مما يؤدي إلى ضياع جزء منها أثناء عملية استخراج اللباب الصخري (carottage) .

ان معرفة اختلاف سرعة تقدم الحفر أمر هام في تقدير وجود التشكيلات الخازنة وضروري لتجنب الاخطار التي يمكن أن تحدث من جراء تسرب المحلول الميدروجينية وبخاصة الغازية منها إلى السطح وإحداث انفجارات وحرائق تؤدي إلى اقتلاع البئر كلياً في بعض الحالات •

٢ - الخصائص الأولية والثانوية للصخور الخازنة :

يمكن أن نميز من الناحية المنشئية نوعين من الخصائص البترو فيزيائية :

- مسامية وهوذية أولية (primaire) تكتسب أثناء الترسيب وترتبط مباشرة ببنية الصخر وطبيعة حياته وأبعادها ودرجة تجانسها •
- مسامية وهوذية ثانوية (secondaire) وتنتج عن حوادث الدياجينيز اللاحق أو المبكر •

فخصائص رمل كراريزي ظليل لا تجمع حياته مادة لاحمة (liant) تعزى

للمجموعة الاولى . بينما تعزى خصائص صخر مشقق محتو على فجوات وكهوف إلى المجموعة الثانية . وهكذا نرى أهمية الدور الذي تلعبه الحوادث اللاحقة للترسيب في تحديد الخصائص الخزنية للصخور . فحادثة اللحام الصخري (cimentation) تقلل من حجم الفراغات الأولية الموجودة في الصخر وتغير من أشكالها ، وحادثة الانحلال (dissolution) التي تتعرض لها بعض الصخور كالكلس الرصيفي ذي المسامية الأولية الضعيفة ، يمكن أن تؤدي إلى خلق فراغات إضافية تضيف على الصخر خصائص ثانوية هامة . كما يمكن للحوادث البنيوية اللاحقة أن تؤدي إلى تشقق الصخور وبخاصة الكلسية مما يكسبها نفوذية ثانوية عالية .

هذا وان الدراسة البتروغرافية الدقيقة للصخور الخازنة يمكن ان تساعد على التمييز بين هذين النوعين من الخصائص . إلا انه من الصعب عمليا الفصل بين المسامية الأولية والثانوية ، ويبقى هذا الفصل اصطلاحيا إلى حد ما حيث أن المسامية الأولية غالبا ما تكون معدلة وبدرجات مختلفة بمسامية ثانوية (المؤلف) .

وفي مجال تصنيف الفراغات من حيث المنشأ فقد وضعت تصانيف مختلفة أهمها تصنيف العالمين (P. W. Choquette & L. G. Pray (1970) (شكل ٢٠) الذي يعتمد على مفهوم النشوء بالانتقاء « fabric selectivity » . وحسب هذا التصنيف تقسم الفراغات إلى خمسة عشر نوعاً كما هو واضح في الشكل .

٤ - تأثير العوامل الجيولوجية على الخصائص البتروفيزيائية للصخور :

إن الخصائص البتروفيزيائية الحالية لصخر ما بشكل عام أو لصخر خازن بشكل خاص هي نتاج التاريخ الجيولوجي الطويل للحوض أي أنها حصيلة التوضع والتحول المبكرة (précoce) واللاحقة (tardives) التي تطرأ على الصخر . وبمفهوم آخر فإن الوضع الحالي لصخر ما ، ماهو إلا مرحلة مؤقتة تجد تفسيراتها في التاريخ الجيولوجي الذي مر فيه هذا الصخر .

TYPES DE POROSITE

HABITUS SELECTIF

INTERGRANULAIRE

INTRAGRANULAIRE

INTERCRISTALLIN

DE MOULE (MOLDIC)

DE "FENESTRAE"

ABRITES (SHELTER)

DE TRAME OU CHARPENTE

HABITUS NON SELECTIF

FRACTURE

CANAL OU RESEAU*

VACUOLE*

GEODE* CAVERNE*

* Taille de plus en plus importante

HABITUS SELECTIF OU NON

DE BRECHE

PERFORANT

TERRIER

FISSURES DE RETRAIT

DIFFERENTS TYPES DE MOULES

GRAINS ET COQUILLES d'ARAGONITE

CRISTAUX DE SEL, DOLOMIE, SULFATE DE CALCIUM

GRAINS DE CALCITE

RACINES, TUBES ET FEUILLES M.O.

(شكل ٢٠) : الانواع المختلفة للمسامات الصخرية بالعلاقة مع المنشأ
(Choquette & pray , 1970)

٢- تأثير وسط الترسيب :

تحكم شروط الوسط الذي تتوضع فيه الرسوبات في شكل وامتداد

وبنية وطبيعة الصخر الخازن . وبشكل عام فإن الصخور التي تتصف بمسامية
وتفوذية جيدتين تقابل عادة رسوبات متوضعة في وسط ذي طاقة ترسيب
عالية . فإذا كانت هناك مواد عظامية منقولة فإننا نحصل غالبا على صخور
رملية وبشكل أقل على الكالكارينيت (calcarinite) . أما إذا كان الوسط
ذا طاقة عالية وفقير بالمجملوبات العظامية فإن هذه الشروط تؤدي الى تشكل
الصخور الكلسية ولاسيما التشكيلات الرصيفية (récifes) ذات المسامية العالية .
ويعتبر الحوار (craie) حالة شاذة حيث يتوضع في أوساط هادئة ويمكن له أن
يشكل صخورا خازنة على السوية الاقليمية .

ومن الناحية الجيوميتريية يمكن أن نميز بين مجموعتين رئيسيتين من
التوضعات :

- امتدادات عظامية كبيرة على شكل غطاءات « blanket » : تنتشر على
مساحات واسعة بساكنات وبخواص بتروفيزيائية شبه متجانسة .
 - وبشكل أكثر عددا : أجساما رملية أو كربونائية متقطعة يمكن تحديدها
بواسطة أشكالها وحجومها واتجاهاتها .
- ولقد بينت الدراسات أن استمرارية صخر خازن تختلف عكسا بالعلاقة
مع خواصه الخزنية .

أما من الناحية الجيولوجية فيمكن أن نبحت بشكل خاص في :

- الأجسام العظامية .

- الأجسام المشادة .

حيث يشكل هذان النوعان معظم الصخور الخازنة .

- الأجسام الحطامية Les corps détritiques -

يمكن للتوصفات الرملية أو للمواد الحطامية الكربونائية أن تشكل حسب الشروط الباليوجغرافية نوعين من الأجسام الرسوبية الخازنة :

- أجسام محددة تماماً على شكل كتبان ربحية أو تحت بحرية ، حواجز بحرية ، أقيّة نهريّة ، دلتات .

- أجسام على شكل غطاءات واسعة ذات سماكات وخصائص شبه ثابتة ، مؤلفة أحياناً من توصفات تيارات المكر (turbidites) .

إن الأوساط الرسوبية ذات الطاقة العالية أي الأوساط القليلة العمق هي عموماً أوساط مشجعة لتوضعات الرمال النقية . أما الأجزاء الناعمة والغضارية فانها تتوضع في المناطق الأكثر هدوءاً . إلا أن أشكال توضع هذه الأجسام الرملية أو الحطامية بشكل عام غالباً ما تتغير تدريجياً تحت تأثير الضغط وأفعال الدياجينيز . والشكل رقم ٢١ يظهر تغير شكل توضعات الأقيّة تحت تأثير الارتصاص (بازدياد عمق الانغمار) بحيث تتحول الأشكال الأولية قبل التراص إلى اشكال عدسية (lenticulaires) بعد التراص .



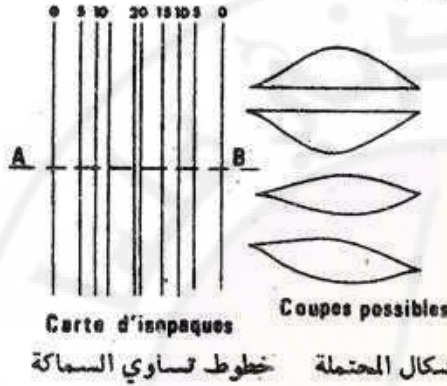
(شكل ٢١) : مخطط يظهر تأثير تراص الغضاريات على نوعين من الأجسام الرسوبية

قبل وبعد التراص .

أ - طبقة رملية ب - قناة رملية

حيث أنه يصعب بشكل عام تحديد المورفولوجيا الحقيقية والخصائص المختلفة لجسم رسوبي رملي اعتماداً على اختلافات السماكة فقط . ومن

الضروري دائماً ربط تغيرات السماكة مع معطيات وسط الترسيب (شكل ٢٢)



(شكل ٢٢) : تفسيرات مختلفة
للقطع عرضي في جسم رسوبي رملي
بالعلاقة مع منحنيات تساوي
السماكة (isopaques)

Les corps construits : الاجسام المشادة

وهي أجسام كربونائية مؤلفة بمعظمها من بقايا هياكل الكائنات المضيوية وتقسم إلى مجموعتين :

— الحواجز الرصيفية (barrières récifales) وتمتد أفقياً لمدة مئات من الكيلومترات .

— التشكيلات الرصيفية النقطية أو الدائرية ويمكن أن تصل في متداداتها إلى بضع عشرات من الكيلو مترات ، لكنها لا تمتد كثيراً في العرض . وتأخذ كما هو في المحيطات الحالية أشكالاً مختلفة فهي تتوضع على شكل جزر مرجانية (atolls) دائرية أو هلالية أو ذروات (pinnacle) يمكن أن تزيد في ارتفاعها عن مئة متر . وتنمو هذه التشكيلات غالباً في مقدمة الحواجز وتحاط بتشكيلات غير مؤودة غضارية أو تبخرية مغطية . ونذكر من هذه التشكيلات الرصيفية : تشكيلة البيفوني في البيرتا بكندا وتشكيلة الكريتناسي في ليبيا .

ب - تأثير الدياجينيز :

ـ اللعنام (cimentation) وفقدان السامية (poronécrose)

الصخور الخازنة ككل الأجزاء الأخرى من الحوض الرسوبي هي تشكيلات غير مستقرة ، وإن درجة ثباتها تمير عن حالة معينة من تاريخ الحوض الجيولوجي . فهذه الصخور وبشكل خاص المادة اللاصمة فيها (ciment) والتي تعتبر الجزء الحي من الصخر هي تتاج التحولات التي تعانها تحت تأثير درجة اختلاف الحرارة وحركة المياه الجوفية .

إن خصائص وسط الترسيب تؤثر مباشرة على التحولات الدياجينيزية التي يعانها الصخر . فالصخور الكلسية المتوضعة في مياه قليلة العمق تبدي سحنات (faciès) مختلفة ومعقدة . وتحتوي هذه الصخور على فلزات غير ثابتة (أراغونيت - كالسيت غني بالمنغنيزيوم Mg) مما يجعلها سهلة التأثير بحوادث الفساد اللاحقة للتوضع . وإن اختلافات بسيطة لفصوص (enfouissement) أو لنهوض (soulèvement) هذه الصخور تساعد في حفظ أو تخريب مساميتها .

وعلى العكس تتألف الصخور الكلسية المتوضعة في وسط عميق من فلزات أكثر ثباتاً (مثال : فلز الكالسيت الفقير بالمنغنيزيوم) ومن سحنات أكثر تجانساً . أما مساميتها فتتلاشى مع العمق ويتناسب هذا التلاشي طردياً مع ازدياد درجات الحرارة والضغط ومع ارتفاع قدرة المحاليل البيئية على تبادل الشوارد (ions) وتزداد هذه القدرة مع تواجد السيليكات المعقدة وخاصة الفلزيات الغضارية والفلدسبات .

وكما هو معروف فإن هناك أطواراً مختلفة من التراص والدياجينيز ـ كاتاجينيز خلال الانغمار ففي المراحل الأولى يعتبر التراص (compaction) العامل الرئيسي ويؤثر على الصخور تبعاً لخصائصها البتروغرافية .

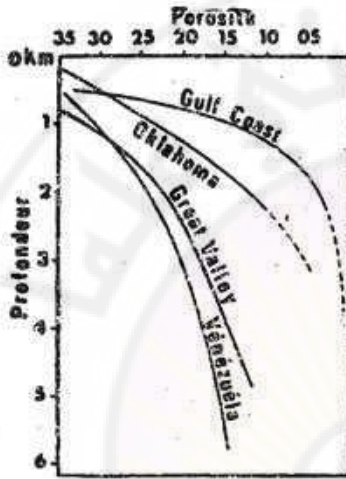
وفي المراحل اللاحقة تلعب التفاعلات الكيميائية الدور الرئيسي في تعديل
كيمياء بعض الفلزات • وتنشط هذه التفاعلات بارتفاع الحرارة •

وتحت تأثير الانطمار يضاف تأثيرات الضغوط المطبقة على نقاط التقاء
الجبات أو على السويات غير المنتظمة في النسيج الصخري (والتي تؤدي إلى
تشكل الدوز « stylolithes » في الصخور الكربونائية) إلى تأثيرات الحرارة •
وتساعد هذه الضغوط في انحلال المادة اللاصقة المتوضعة في الفراغات • وتنشط
هذه التفاعلات بزيادة الحرارة • وتصبح عملية الانحلال بفعل الضغط ذات
فاعلية اعتباراً من عمق ١٠٠م في الصخور الكربونائية و ١٠٠٠م في الرمال والصخور
الرملية • وتزداد بانتظام مع عمق الانطمار لتصل إلى قيم عظمى ٢٠ - ٢٥٪
تقف عندها • وفي إمارة أبو ظبي تتناقص مسامية الصخور الخزنة الكربونائية
العائدة للكريتاسي الأدنى (تشكيلة تمامه) من ٣٠ - ٣٥٪ على أعماق صفر
- ١٢٠٠م إلى الصفر تحت أعماق ٣٦٠٠م (Clarke , 1975) .

وفي الصخور الرملية فإن تخرب المسامية يبدأ بشكل عام ابتداء من عتبة
(seuil) حرارية معينة بالعلاقة مع خصائصها البتروغرافية • ويقل تناقص
المسامية في الصخور الرملية بازدياد درجة نقاوتها • وقد أظهر (Selly , 1977)
أن المسامية تعاني نقصاناً ٨ - ٩٪ بالنسبة لرمال الحقب الثالث ، ٦٥٪ بالنسبة
لرمال الجوراسي و ٥٪ بالنسبة لرمال الترياسي في بحر الشمال ذي التاريخ
الجيولوجي المعقد •

وباختصار يمكن القول بأنه تقل المسامية والنفاذية في صخر خازن كلما كان
موجوداً على أعماق ذات حرارات وضغوط مرتفعة •

والشكل التالي (٢٣) يوضح تطور المسامية بالعلاقة مع العمق في أحواض
رسوبية مختلفة •



(شكل ٢٣) :

تطور المسامية بالعلاقة مع العمق
في أحواض رسوبية مختلفة

استحالة المسامية : Fossilisation de la porosité

يمكن لفقدان المسامية أن يتوقف عندما يستعاض عن مياه التشكيلة بمائع حيادي غير قابل للتفاعل ، كالفحوم الهيدروجينية . وقد لوحظ أن الصخور الخازنة للفحوم الهيدروجينية تبدي خصائص بتروفيزيائية أفضل من تلك العائدة للصخور المجاورة المملوءة بالمياه . وفي الصخور الخازنة الحوارية العائدة إلى الدانيان في بحر الشمال تبلغ المسامية في السويات المشبعة بالزيت ٣٠ - ٤٠٪ ، بينما لا تتجاوز ٥٪ في الطبقات المائية التي تتوضع فوقها (Scholle , 1977) .

إلا أن هناك ظواهر كيميائية معقدة يمكن أن تغير من الفقدان الطبيعي للمسامية مع العمق . فاحلال الأجزاء الكربوفاشية أو الكوارتزيتية يمكن أن يتوقف إذا كان الوسط محصوراً أو لا يسمح بحركة المياه (حالة طبقات محصورة بين طبقات تبخرية) وفي مثل هذه الحالة فإن قيم المسامية لا تتعدى ٤ - ٦٪

وفي حالات معينة كما في الصخور الخازنة الكلسية العائدة لعصر الباليوسين في منطقة زلتن بليبيا فإن المسامية التي تصل إلى ٤٠٪ على أعماق ١٥٠٠ - ١٦٠٠ م قد حافظت على قيمها في صخور الغرينستون « grainstone » بفضل تواجد ملاط مبكر منع من تراصها وفي صخور الباكستون « packstone » والواكستون « wackestone » بفضل الوحول الكربوناتيّة المسامية . ومن ثم تحسنت الخصائص البتروفيزيائية للصخر الخازن بفضل حوادث الفصل خلال مراحل الحت (érosion) وهكذا فإن حوادث التحول المبكر التي تتعرض لها الصخور الكربوناتيّة تلعب دوراً رئيسياً في تحديد الخصائص الخزنية لهذه الصخور .

- المسامية الثانوية : Porosite secondaire -

أظهر Heling (1970) بواسطة دراسة رسوبات الحقب الثالث في منخفض Rhénan في ألمانيا أن الصخور الموجودة على أعماق تتجاوز ١٠٠٠ م تعاني من تحولات ميراوحيّة وكيميائيّة كالدلتة وأنحلال الفوسفات ، ويؤدي بعضها إلى ارتفاع في قيم المسامية . كذلك يمكن لحوادث التشقق الهيدروليكية أن تزيد أيضاً في الخصائص الخزنية .

وفي حالة الصخور الخازنة الرملية فإن هذه المسامية الثانوية هي من الناحية البتروغرافية نتاج انحلال الفلدسبات أو الكربونات . وتطلب هذه التحولات اللاحقة عمقاً هاماً يمكن أن يضاف على الصخر مسامية ثانوية في حدود ٧ - ٨ ٪ .

ج - تأثير التكنونيك

تؤدي التشوهات البنيوية وبشكل خاص حوادث الطي والفوالق إلى تشقق (fracturation) الصخور القاسية بحيث تصبح صخوراً جيدة المسامية

وعالية النفوذية • وتعمل التشققات ، بغض النظر عن أسباب حدوثها ، الى خلق مسارات جديدة للمياه ، وذلك على طول امتداد التوضعات التي تخضع لها •

كما أن حركة نهوض يمكن أن تؤدي في آن واحد إلى :

– انخفاض في الضغط والحرارة ويساعد في ذلك عمليات الحث التي يمكن أن تتعرض لها التشكيلات العليا والتي يمكن أن تكون على شكل تحولات كيميائية •

– دخول وجريان المياه السطحية (météoriques) واستمرار حركة المياه الجوفية (souterraines) على طول امتداد الطبقات النفوذة مما يساعد في عمليات الانحلال أو الترسيب وذلك تبعاً لخصائص هذه المياه •

وفي الحالة الأخيرة وعلى عكس ما يمكن توقعه فإن حوادث التشقق البنيوي في الصخور الكلسية المتجانسة وذات السحنات المتماثلة يمكن أن تؤدي إلى نقصان في المسامية والنفوذية • ونلاحظ في الواقع في بعض المحدثات انخفاضاً للخصائص البتروفيزيائية للصخور مع ازدياد التكسرات والميول • ويفسر هذا بأنه في الصخور الكتلية يحدث أولاً انحلال للمادة الصخرية بفعل الضغط قبل طي هذه الصخور • ويظهر هذا على شكل دروز تملأ فواصلها بلورات الكالسيت التي ترسب اعتباراً من المحاليل (Tremolieres , 1978) .

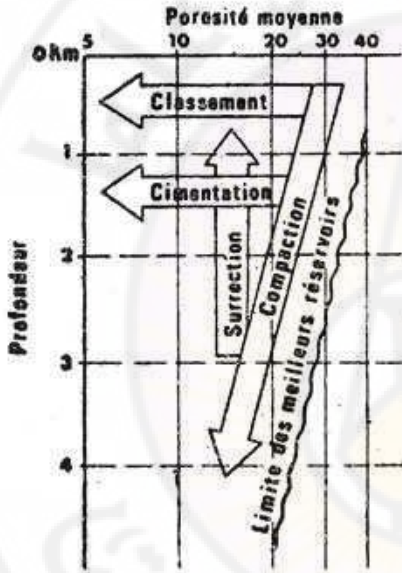
وبشكل عام يمكن القول بأن التشققات والانقسامات تخلق في مرحلة أولية نفوذية تشققية • ومن ثم ترسب المحاليل التي تملأ هذه الفواصل مادة لاحقة تطلق هذه الفراغات تدريجياً •

وهكذا نجد المسامية وكأنها نتيجة لمختلف الحوادث الجيولوجية التي عانى منها الصخر خلال تاريخه الجيولوجي (شكل ٢٤) •

– فمن الناحية الترسيبية تزداد هذه المسامية مع ارتفاع طاقة الوسط ومع

• قلة أو انعدام المادة اللاصقة •

– ومن ناحية التاريخ الجيولوجي تنقص المسامية مع ازدياد العمق والعمر ومع درجة الحرارة وقدم التشوهات البنيوية •



(شكل ٢٤)

العلاقة بين المسامية والعمق حسب
الظواهر الجيولوجية المختلفة
(Ziegler & spotte ' 1978)

Classement = درجة التجانس
Cimentation = عملية اللحام
Surrection = النهوض
Compaction = التراص

★ ★ ★

الفصل الثاني

المجموعات الرئيسية للصخور الخازنة

Principaux familles des roches réservoirs

مقدمة :

تقسم الصخور الخازنة إلى مجموعتين رئيسيتين :

- الصخور الخازنة الحطامية (رمال وصخور رملية) .
- الصخور الخازنة الكربونائية (الكلس والدولوميا) .

وإذا ما أخذنا بعين الاعتبار الحقول الهائلة في العالم أي تلك التي يزيد احتياطيها على ٧٠ مليون طن من الزيت أما ما يعادلها في الغاز لرأينا أن الصخور الخازنة الرملية تحتوي على ٦٠٪ من هذا الاحتياطي . أما الصخور الكربونائية والتي لا تمثل سوى ١٦٪ من صخور الأحواض الرسوبية فتحوي على ٤٠٪ فقط . وتحول هذه النسبة إلى ثلثين مقابل ثلث إذا أدخلنا في الحساب الحقول الضخمة في الولايات المتحدة الأمريكية والشرق الأوسط المحتوية على احتياطي كبير في صخورها الكربونائية الخازنة (Halbouty , 1970) أما الصخور الخازنة الأخرى والمائلة لمجموعات ليتولوجية مختلفة (شيرت - أرجليت - صخور غير رسوبية) فلا تشكل أكثر من ١٪ من مجموع الصخور الخازنة بشكل عام .

١ - الصخور الخازنة الحطامية gréseux Réservoirs :

تعتبر الصخور الرملية الصخور الأكثر أهمية في تجمعات الفحم الهيدروجينية .

ولا تقتصر هذه الأهمية على كون هذه الصخور محتوية على كميات هائلة من الزيت والغاز وإنما تصود أيضا إلى سهولة إكتشافها بالمقارنة مع التشكيلات الكربوناتية . فالرمال والصخور الرملية النفوذية تتشكل ضمن مجموعة واسعة من الأوساط الرسوبية بالمقارنة مع الصخور الكربوناتية التي تتطلب شروطاً خاصة . كما أن مركبات هذه الصخور تبقى ثابتة بعد توضعها إلى حد بعيد ولا تتأثر كما في الكربونات بالحوادث الفيزيائية والكيميائية التي تؤدي إلى فقدان المسامية . وكما أنه من الممكن أيضا (بمعرفة التاريخ البنيوي لمنطقة مدروسة جيولوجياً وجيوفيزيائياً) تحديد القطاعات المنتجة للعناصر الحطامية والقطاعات التي تتجمع وترسب فيها هذه العناصر ، وذلك بشكل أفضل من معرفة توزيع الصخور الكربوناتية الخازنة .

فالصخور الحطامية تنتج إذن من تجمع العناصر القادمة من الصخور القديمة عن طريق الحث . حيث يمكن لهذه العناصر أن توضع إما بالقرب من المصدر أو أن تحمل لمسافات مختلفة بواسطة المجاري المائية أو الجليديات أو الهواء . ويمكن أن تتعرض هذه العناصر إلى حادثة اللحام (cementation) بعد توضعها . ويختلف بعض هذه الصخور عن بعضها الآخر من حيث الطبيعة البتروغرافية لعناصرها ومن حيث أبعاد هذه العناصر وأشكالها وأنماط توزيعها وطرق تكديسها وكمية وطبيعة المادة اللاصقة فيها .

ومن الناحية المينرالوجية فإن العنصر الأكثر تواجداً في هذه الصخور هو الكوارتز SiO_2 حيث يشكل تقريباً ثلثي الصخر . إلا أنه يرافق الكوارتز عادة نسب مختلفة من عناصر أخرى إما حطامية (على شكل أجزاء صخرية بلورية أو بركانية ، فلدسبات ، ميك ، فلزات ثقيلة ، كالسيت) أو محيطية المنشأ (authigenes) (غضار - غلوكوني - بيريت ...) .

وفي مجال تصنيف الصخور الحطامية فقد وضعت عدة تصانيف للرمال

وللصخور الرملية تعتمد كلها على أبعاد الحبات المؤلفة للصخر * ومن هذه التصنيفات نذكر أحدثها وهو تصنيف Scolari & al. (1978) هذا التصنيف الذي يقسم الرمال والصخور الرملية إلى ثلاث عائلات رئيسية : روديت - أرينيت - لوتيت * كما هو مفصل في المخطط اللاحق (شكل ٢٥) *

٢ - الخصائص البتروفيزيائية للرمال والصخور الرملية :

تتصف الرمال والصخور الرملية عادة بسامية ونفوذية متجانسة بين حبيبه (intergranulaire) وأولية بشكل عام * وكما أوضحنا سابقاً فإن العلاقة بين السامية والنفوذية في هذه الصخور عموماً جيدة *

وتختلف هذه الخصائص بالعلاقة مع عوامل ليتولوجية عديدة نخص منها بالذكر الخواص الغرانولومترية (أبعاد الحبات - أشكال الحبات - درجة التجانس) والخواص المينرالوجية (تواجد الغضار - الملاطات) *

١ - الخواص الغرانولومترية :

- أبعاد الحبات : Taille des grains

يعتقد نظرياً أنه ليست هناك علاقة بين السامية وأبعاد الحبات ، وأن كمية السامية لرمال ذات أقطار متساوية ثابتة مهما كانت القيمة المطلقة لهذه الأقطار *

وفي الحقيقة فإن السامية تزداد بازدياد نعومة الحبات حيث تأخذ قيمة عالية جداً في الرمال الشديدة النعومة (silt) وفي الغضاريات غير المتماسكة. ويمكن تفسير هذه الظاهرة بازدياد قوى احتكاك والتصاق الحبات بعضها ببعض بازدياد نعومتها وهذا ما يؤدي إلى تشكل تقنيات وجسور تجد من تراص هذه الحبات منبكية بذلك على الفراغات بينها *

الخطوط المصنفة	الجموعات الفرعية	العناصر	صخور رخوة	صخور متوسطة
١٥٦	بازلت	أحجار - كتل صلبة	أحجار ضعيفة التماسك	كوتلوميرا
١٦		حصي		ميكروكوتلوميرا
١٠				
٢				
١				
٥٠	أزيت	رسال	رسال	أزيت
١٢٥				«أجر رملي»
١٢٥				
١٢٦				
٥٠	لوزيت	أجزاء سليكية	سليت	سليكاتيت
٢٤٠				«سليكاتيت»
٢٤٠				
٢٤٦			غبار	أرجليت

(شكل ٢٥) : تصنيف الخطامية (Scolri et al. , 1973)

ومن النواحي الانتاجية فان لأبعاد الحبات تأثير كبير على خصائص الصخر
الشمعية . حيث يزداد السطح النوعي للفراغات بسرعة كبيرة عندما تزداد نعومة
الحبات . وفي السويات الخازنة فان الفراغات الدقيقة تؤدي إلى زيادة قوى
الالتصاق للسوائل المبللة (الماء) وهذا ما يؤدي بدوره إلى زيادة كمية المياه
البيئية بالمقارنة مع حجم الزيت في الصخر . أي أن كمية الزيت المحتجزة في الصخر
وغير القابلة للاستثمار تزداد بازدياد نعومة الفراغات ، ويتوقف الانتاج عندما
تصبح أبعاد الحبات في حدود السيلت .

أما النفوذية فهي على علاقة وثيقة بأبعاد الحبات حيث ترتبط مباشرة بأبعاد
الفراغات والأقنية التي تتحرك ضمنها الموائع . وتزداد النفوذية بازدياد هذه
الأبعاد أي مع زيادة قطر الحبات . وكنا قد رأينا أن النفوذية ترتبط مع مربع
قطر الحبات بالعلاقة :

$$K = b \cdot d^2 \cdot e^{-a} \cdot \delta$$

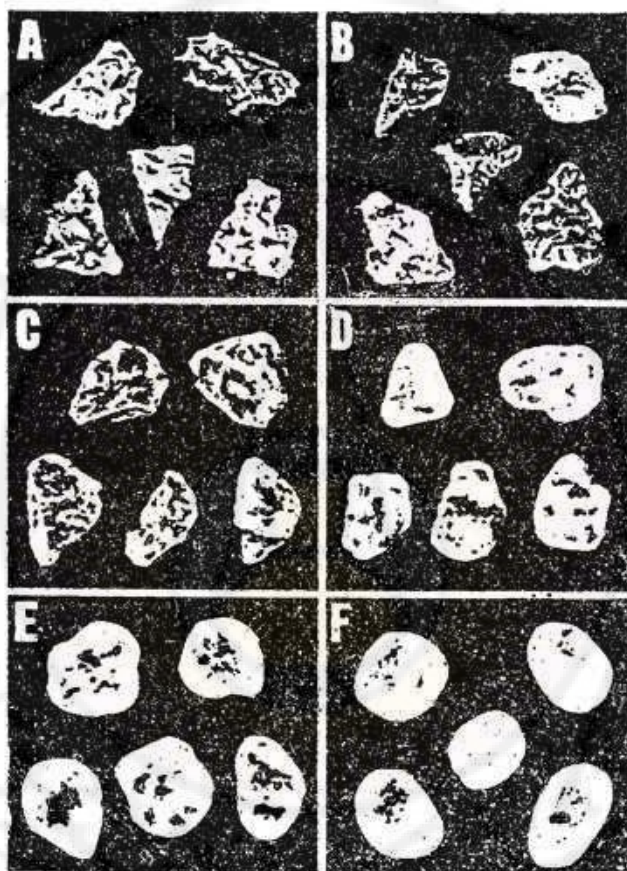
حيث d = قطر الحبات

e, b, a = ثوابت

δ = فرق أقطار الحبات بالمقارنة مع القطر المتوسط

- اشكال الحبات Forme des grains

تلعب درجة الزاوية في الحبات (angularité) أو درجة استدارتها (arrondi)
(شكل ٢٦) دوراً لا يمكن إهماله في تحديد الخصائص البتروفيزيائية للرمال .
إلا أن اتجاه تأثير هذه الخاصية يبدو معقداً إلى حد ما . وتزداد المسامية والنفوذية
أو تنقصان حسب درجة تراض الرمال بحيث تتداخل الحبات أو تتراكب
وبشكل عام يمكن القول بأن المسامية تزداد بازدياد درجة زلوية الحبات . أما
النفوذية فيعتقد بأنها تزداد مع اتجاه توجيه الحبات (orientation) . حيث
أن الرمال تأخذ عادة أشكالاً متطاولة وتتوضع باتجاهات متعامدة مع خط

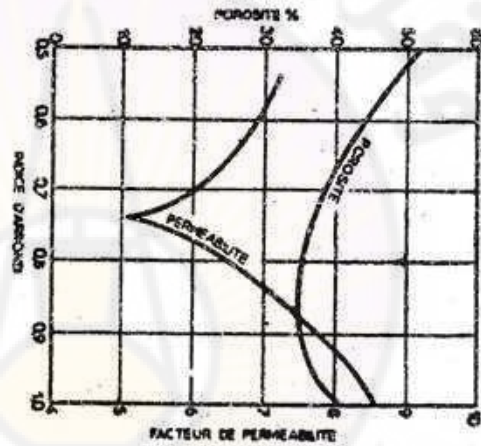


(شكل ٢٦) : اشكال الحبات

- A = حبات شديدة الزاوية
- B = حبات زاوية
- C = حبات نصف زاوية
- D = حبات تحت مستديرة
- E = حبات مستديرة
- F = حبات جيدة الاستدارة

الشاطئ، بحيث تكون النفوذية أكثر ارتفاعاً في اتجاه تطاول الجيات .

والشكل رقم (٢٧) يوضح تجريبياً تغيرات المسامية والنفوذية بالعلاقة مع درجة الاستدارة .



(شكل ٢٧)

تغيرات المسامية والنفوذية
بالعلاقة مع شكل الجيات

ـ درجة التجانس (Classement « Sorting ») :

لا يقل دور درجة تجانس الجيات أو التصنيف الجي أهمية عن دور أقطار الجيات في تحديد الخصائص البتروفيزيائية للصخور الخازنة . وتبلغ المسامية قيمها العظمى في الرمال المتجانسة الجيات (شكل ٢٨) . ولقد بينت الدراسات المخبرية أن إدخال عناصر ناعمة أو خشنة في وسط متجانس الجيات يؤدي إلى انقاص مساميته .

هذا ولقد حاول (Beard & Weyl, 1973) معرفة تأثير درجة تجانس الجيات على مسامية الرمال النهرية ، فوجدوا أن المسامية تنخفض عندما تختلف درجة التجانس من ٤٠٪ في حالة رمال متجانسة الأبعاد إلى ٢٨٪ في حالة رمال سيئة التجانس .

أما تأثير درجة التجانس على خاصة النفوذية فهو تأثير معتد أيضاً * ففي حالة تواجد خليط مؤلف من نوعين من المركبات فان النفوذية تصل إلى قيمتها الدنيا عندما يدخل المركبان ذوا الأقطار المختلفة بنسب متساوية في الخليط * وعندما يتألف الخليط من مركبات متعددة فان النفوذية سترتبط بالقطر المتوسط للحبات فحسب (المؤلف ، ١٩٨١) *

CLASSEMENT



A - Bon classement

جيدة التجانس



B - Classement médiocre

متوسطة التجانس



C - Mauvais classement

سيئة التجانس

(شكل ٢٨) : درجة تجانس الحبات

- الخواص المينرالوجية :

يشكل الكوارتز المادة الصلبة الرئيسية في الصخور الخزانة الحطامية * إلا أن هذه الصخور تحتوي أيضاً وبنسب مختلفة على عناصر ثانوية ذات طبيعة

كيميائية مختلفة . وإن العلاقات والتبادلات الفيزيو - كيميائية بين هذه العناصر الثانوية والموائع التي تملأ فراغات الصخر ليست بسيطة بالضرورة، وعلى العكس فقد تؤدي التفاعلات بين هذه الفلزات والموائع إلى التأثير على نوعية الصخر الخازن وتغير من خصائصه الخزنية . حيث أن خصائص التبلل بالنسبة للمائع ما تختلف باختلاف الفلزات . كذلك فإن قوى التوتر بين السطوح للموائع غير القابلة للمزج والخصائص الشعرية ستكون بالضرورة مختلفة حين تتواجد الفلزات الثانوية في الصخور الحطامية .

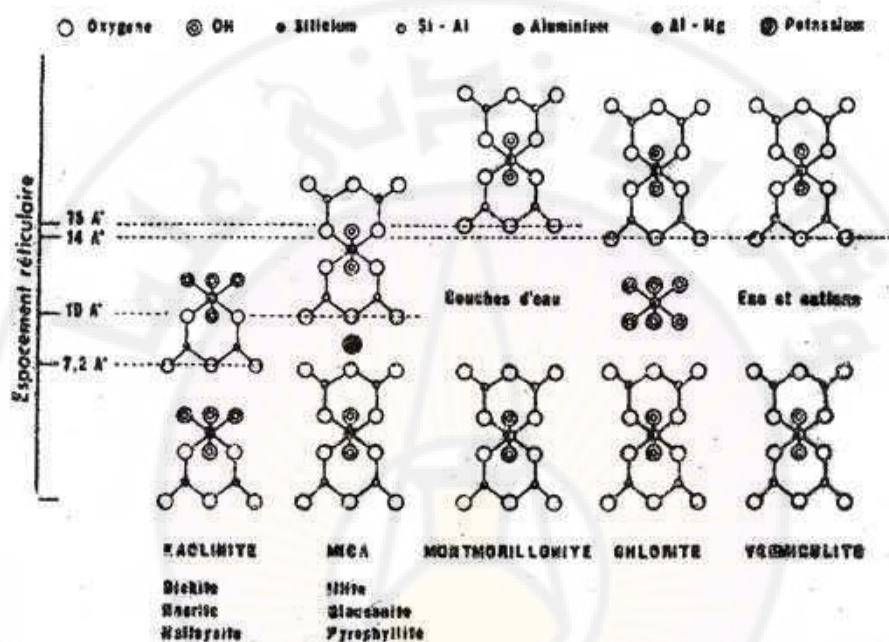
٢- تأثير الفلزيات :

الفلزيات هي صخور مؤلفة من جزيئات صغيرة مبلورة تنتمي إلى مجموعة أو عدة مجموعات فلزية تعرف باسم الفلزات الفلزية (كاؤولينيت - إليت - مونتوريليت) . ويمكن لهذه الفلزات أن تتواجد بنسب مختلفة في كافة الصخور الرسوبية .

إن البنية البلورية لهذه الفلزات الفلزية (شكل ٢٩) والقرية من البنية الورقية للميكاتضي عليها خصائص معينة حيث تتصف هذه الفلزات بقدرتها على مايلي :

- ادمصاص أو تبادل الشوارد مع المحاليل الملاصقة لها مما يغير في خصائصها الفيزيو - كيميائية .
- ادمصاص جزيئات الماء في بنيتها الشبكية مما يؤدي إلى انتفاخها وزيادة حجمها .
- ادمصاص بعض الجزيئات العضوية والاحتفاظ بها .

هذا وتتواجد الفلزات الفلزية في معظم الصخور الخازنة مهما كان نوعها، حطامية كانت أو كربوفاشية . وذلك على شكل أسرة بين الطبقات أو عدسات قليلة السماكة ، أو على شكل عناصر مبعثرة بين الفلزات الأخرى . ويمكن لها أن



(شكل ٢٦) البنية البلورية للفترات الفضارية

تملأ كامل الفراغات في أنواع معينة من الصخور الخازنة •

وتبعاً لخصائصها فإن تأثيرات الفترات الفضارية على الخصائص الفيزيائية
يمكن أن يتجلى بما يلي :

... إن الأبعاد الصغيرة للجزيئات الفضارية (أقل من ٠.٠٠٥ مم) تؤدي إلى
إزدياد كبير في السطوح النوعية للفراغات وتتحكم هذه الجزيئات بالتأثير في
الخصائص الشعرية للصخور مؤدية إلى حجز الموائع في السويات الخازنة منها •

... إن قدرة ادمصاص (ادمزاز) الفضاريات للماء تحد من التصريف والانتاج
المائي • حيث أن كميات قليلة من الفضاير يمكن أن تزيد من حجم الماء المحبوز في

الفراغات • وحسب Pirson (1973) فإن رمالاً غضارية تستطيع أن تنتج زيتاً خالياً من الماء حتى ولو كانت درجة تشبع هذه الرمال بالماء تنوف عن ٦٥٪.

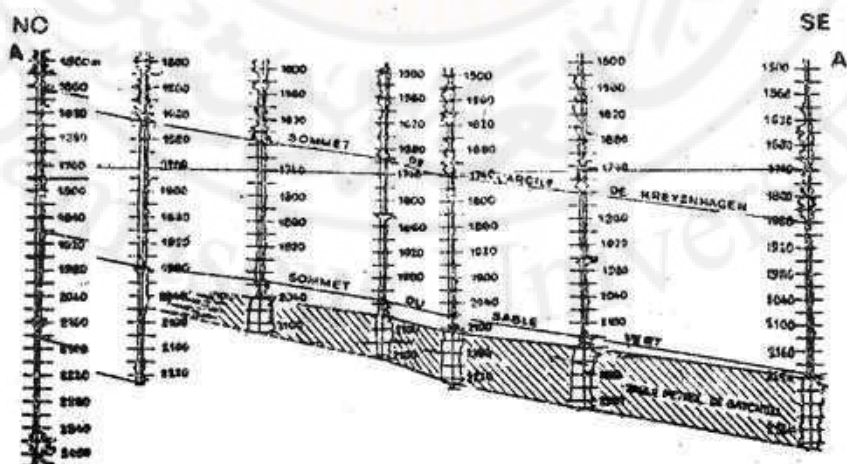
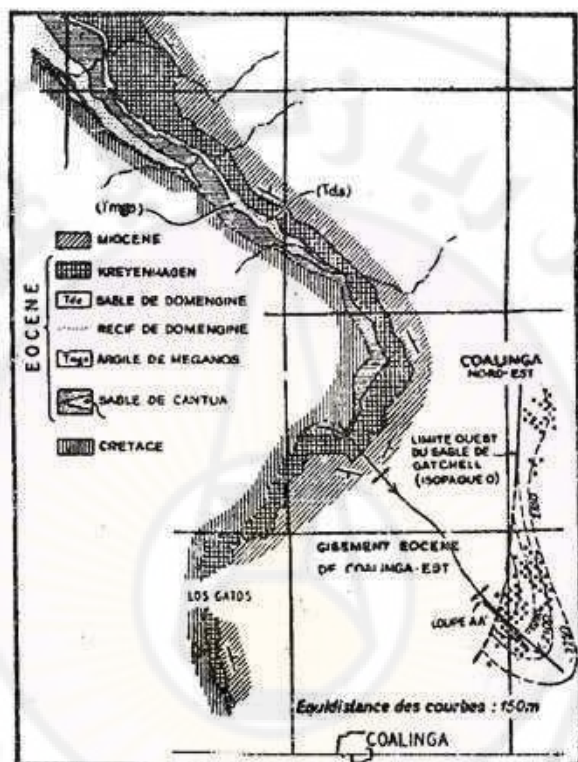
— إن حوادث تبادل الشوارد بين الفلزات الغضارية والموائع الموجودة في الصخور الخازنة سواء حدث ذلك أثناء مراحل الإنتاج الطبيعي (ارتفاع مستوى الماء) أو أثناء مراحل الانتاج الثانوي بواسطة حقن الموائع يمكن أن تقود إلى تغييرات هامة في خصائص الصخر الخازن ، كظهور حواجز للنفوذية بسبب انتفاخ الغضاريات •

هذا وبالإضافة إلى تأثير الغضاريات على الانتاج ، فقد لوحظ بشكل عام أن ارتفاع نسبة الغضاريات في سوية خازنة ينعكس أثره بانخفاض هام في قيم المسامية والنفوذية • وهناك العديد من الحقول التي تعزى أسباب اصطياد الفحم الهيدروجينية فيها إلى تواجد حواجز للنفوذية تنجم عن ارتفاع محتوى الغضار فيها كما هو الحال في الطرف الشمالي من حقل حاسي رميل في الصحراء الجزائرية ويمكن East Caolinga في كاليفورنيا (شكل ٣٠) •

— تأثير الملاحظات :

تتألف معظم الصخور الخازنة الصخرية من رمال متماسكة بواسطة ملاط تختلف نسبته من صخر لآخر • ويمكن أن يكون هذا الملاط سيليسيا (كوارتز — أوبال — كالسيدونيت) أو كربونائياً (كالكسيت — دولوميت) أو غضارياً (ذا أصل قاري أو محيطي المنشأ «neof ormation») • إلا أن الملاحظات الأكثر انتشاراً هي السيليس والكربونات • كما أن السيليس هو الأكثر ثباتاً وهذا مايفسر كون السيليس يشكل ثلاثة أرباع المادة اللاصقة في صخور حقب الباليوزوي الحديث وأربعة أخماس المادة اللاصقة في صخور حقب الباليوزوي القديم •

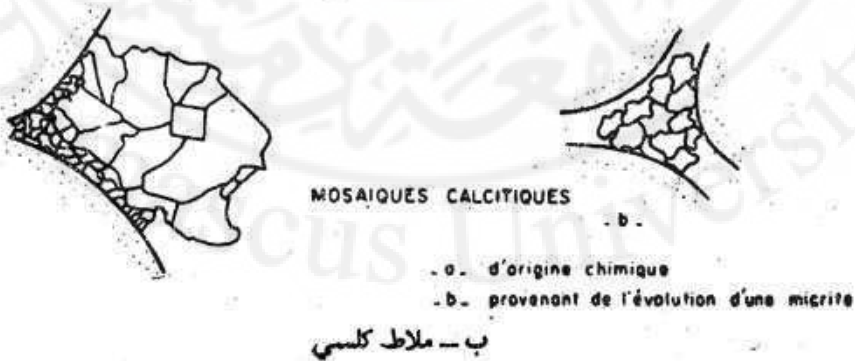
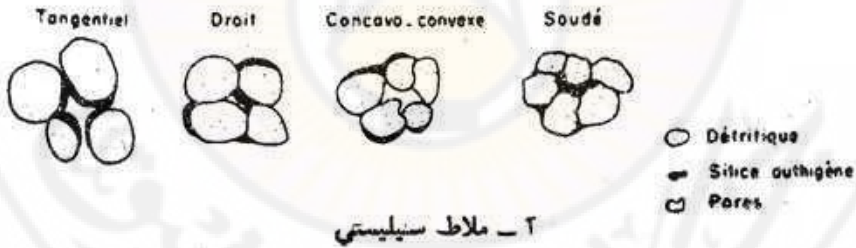
(شكل ٢٠) : يمكن East Caolinga في كاليفورنيا (in Guillemont, 1969)



وبعض النظر عن منشأ الملامات وطريقة وأشكال توزيعها بين الرسوبات ان لهذه المواد دورا لا يستهان به في تحديد الخصائص البتروفيزيائية للصخور الرملية . حيث تتوضع هذه الفلزات بين الحبات مغلقة بذلك جزئياً أو كلياً الفراغات بينها . وهذا ما يؤدي إلى نقصان في المسامية والنفذية ، ويكون هذا التأثير كبيراً حين تكون أبعاد الحبات صغيرة حيث تنعدم النفذية .

وعلى العكس فعندما تكون درجة اللحام عالية جداً كما هو في الكوارتزيت فان هذا يساعد على تشقق هذه الصخور . مما يزيد في مساميتها ونفوذيتها الثانوية .

وكذلك فان حادثة اللحام غير المتجانسة تخلق في الصخور الرملية حواجز محلية للنفذية تساعد في تشكيل المصائد . ويعتقد بأن مثل هذه الحوادث يمكن



(شكل ٣١) : : أشكال الملامات (in Bertrand J. P, 1968)

أن تلعب دوراً هاماً في هجرة الفحوم الهيدروجينية نظراً لكونها سبباً في تواجد الضغوط العالية غير العادية في بعض المصائد . والشكل رقم ٣١ يظهر تطور المادة اللاصقة بين الحبات .

ب - الأوساط والتشكيلات الرئيسية للصخور الخازنة الرملية :

التشكيلات الرملية الخازنة هي عبارة عن امتدادات خطية لأجسام طولانية تبلغ نسبة طولها إلى عرضها ٣ إلى ١ . ولا يزيد طولها في معظم الحالات عن ٥ كم أما سماكتها فهي وسطياً في حدود ٤٠ م ولا تبلغ مئة المتر إلا في حالات نادرة . لكن هذا لا ينفي وجود تشكيلات رملية تبلغ في سماكتها عدة مئات من الأمتار، إلا أن كون هذه التشكيلات ذات أصل قاري يجعلها غير صالحة لتجميع الفحوم الهيدروجينية .

ويمكن تصنيف هذه الأجسام حسب (Pettijohn, Potter & Siever (1973) إلى سبعة أوساط أو تجمعات رسوبية لكل منها خصائصها الجيوميتريكية والرسوبية والنظمية . وهذه الأوساط هي :

الرمال الريحية الصحراوية - الرمال النهرية - التوضعات اللحقية - رمال الشواطئ والحواجز - رمال السطاح البحرية - الرمال البحرية العميقة - الرمال الدلتاوية .

١ - الرمال الريحية : Sables éoliens :

تشكل الرمال الصحراوية أفضل أنواع الصخور الحطامية الخازنة . حيث تتمتع بجيوميتريكية المصيدة وبغطاءات كافية . ويمكن أن تشكل أحياناً صخوراً مولدة للنفط بالإضافة لى قدرتها العالية على الانتاج . وتصل سماكة هذه التجمعات إلى ٢٠٠ م كما هو في حقل ليان في بحر الشمال حيث تمتد على شكل نطاقات بين الجزر البريطانية وبحر الشمال . وإلى جنوب بحر الشمال في

ألمانيا وهولندا وبلجيكا فإن هذه الصخور الخازنة القارية تبدي مسامية عالية ٢٥٪ وتؤدي تصل إلى ١ دارسي وتحتوي على أكثر من ٢٦٠٠ مليار م٣ من الغاز (Taylor, 1973).

وتتمثل معظم هذه التشكيلات لأن تنوضع على سطوح شبه أفقية (إلا في حالات عدم التوافق) • وتخلو عموماً من الغضاربات المتورقة بحيث لا تؤثر أشكال توضعها على خصائصها الخزنية • وبالتالي فإن معظم مصائد هذه التوضعات مصائد بنيوية •

٢ - الرمال النهرية : Sables fluviaux

ويقابل هذا النوع من التوضعات رسوبات المنطفات النهرية ورسوبات الأنهار المتقاطعة في السهول اللحقية • وهي عبارة عن أجسام رملية تتراوح في أطوالها بين ٢٥٠ م و ٢٠ كم (بمتوسط قدره ٤ كم) وبسماكات من ٦ إلى ٧٥ م (بمتوسط قدرة ٣٠ م) • وفي كلتا الحالتين فإن هذين النمطين من التوضع يولدان متدرجة رسوبية إيجابية تتناقص أبعاد حبيباتها باتجاه الأعلى وتساوي سماكتها عمق النهر أثناء الجفاف • حيث يبدأ التوضع انطلاقاً من سطح حتى (surface d'érosion) برسوبات رملية خشنة تتخللها وحول طينية • يلي ذلك رمال أقية (chenaux) ذات طبق أفقي أو مائل تليها رمال أكثر نعومة • وتنتهي المتدرجة بسيلت وأوحال غضارية ذات طبق أفقي أو مائل أو موجي (شكل ٣٢)



(شكل ٣٢) : تطور المتدرجة الرسوبية النهرية

إن مختلف هذه الرمال وبخاصة رمال الأقينية والأجزاء الداخلية من المنعطفات النهرية رمال نقية وجيدة التجانس وتتمتع بمسامية ونفوذية عالية • إلا أن هذه التوضعات يمكن أن تأخذ أشكالاً عدسية أيضاً •

هذا وتختلف قيم المسامية في هذه الصخور من ١٠ إلى ٢٥٪ وتتراوح نفوذيتها بين ٦٠ - ٢٠٠٠ ميلي دارسي • (شكل ٣٣) • وكمثال على هذه التوضعات يمكن أن نذكر الأجسام الرسوبية في حوض Denver في بحر الشمال حيث توافق هذه الأجسام رمالاً قنوية تتصف بما يلي :

- أشكال متطاولة ومتعرجة •
- انتقال جانبي مفاجئ من رمال إلى غصاريات •
- عدم انتظام في المسامية والنفوذية •

وتمتاز هذه الرمال بأعمدة زيتية ضعيفة الإرتفاع (١٥م تقريباً) إلا أنها تتصف بتصفيف هيدروليكي فعال • وتتكون المصائد في هذه الرمال من أنصاف معاديات « noses » مقطوعة بقوالب عرضية • إلا أن هذه المصائد ضعيفة الإغلاق ولا تحتوي إلا على احتياطي ضعيف (١٥ مليون طن) (Exums & Harms , 1968)

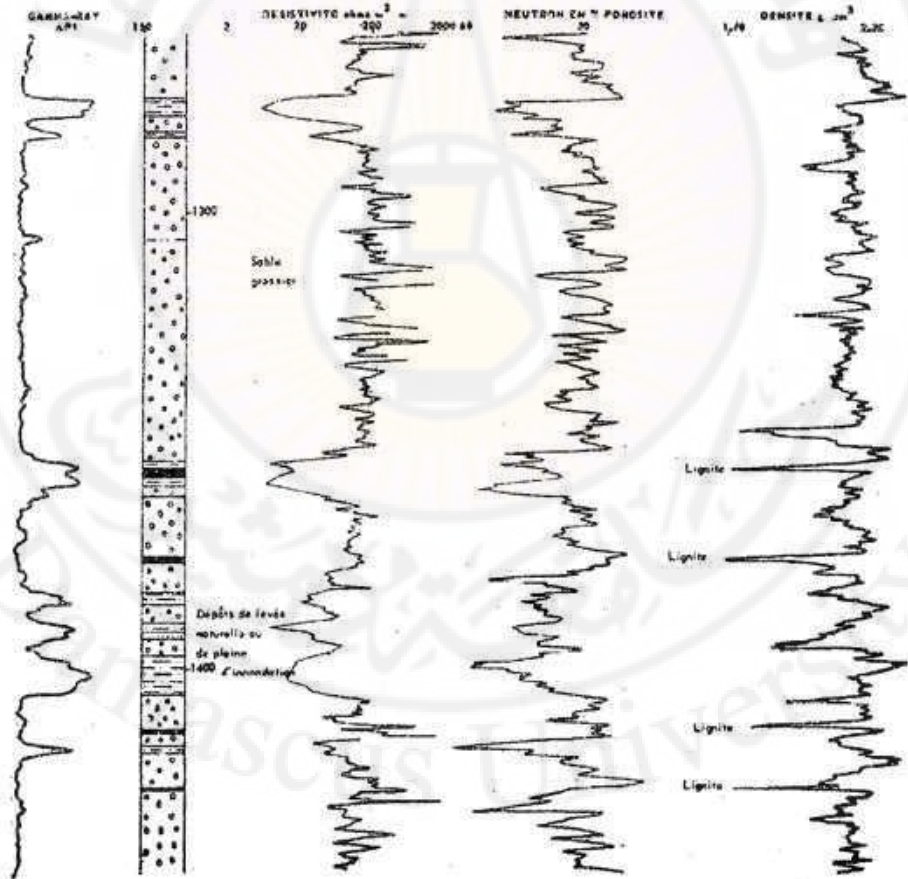
ويمكن أن نبدي على الشكل ٣٣ الملاحظات التالية :

- كمية الاشعاع الضعيفة في قياس Gamma-Ray تدل على توضعات رملية في وسط ذي طاقة عالية •
- إن قياس Gamma-Ray يأخذ في هذه التشكيلات أشكالاً

اسطوانية (cylindre) دون تغير ملحوظ .

- تغيرات مسامية قياس النيوترون وقياس الكثافة تدل على اختلاف في درجة تجانس الحبات .

- السويات الفضائية ضعيفة التطور تقابل سهولا مغمورة (تواجد طبقات من الليغنين) .



(شكل ٢٣) : استجابة الرمال النهرية في القياسات الجيوفيزيائية البئر

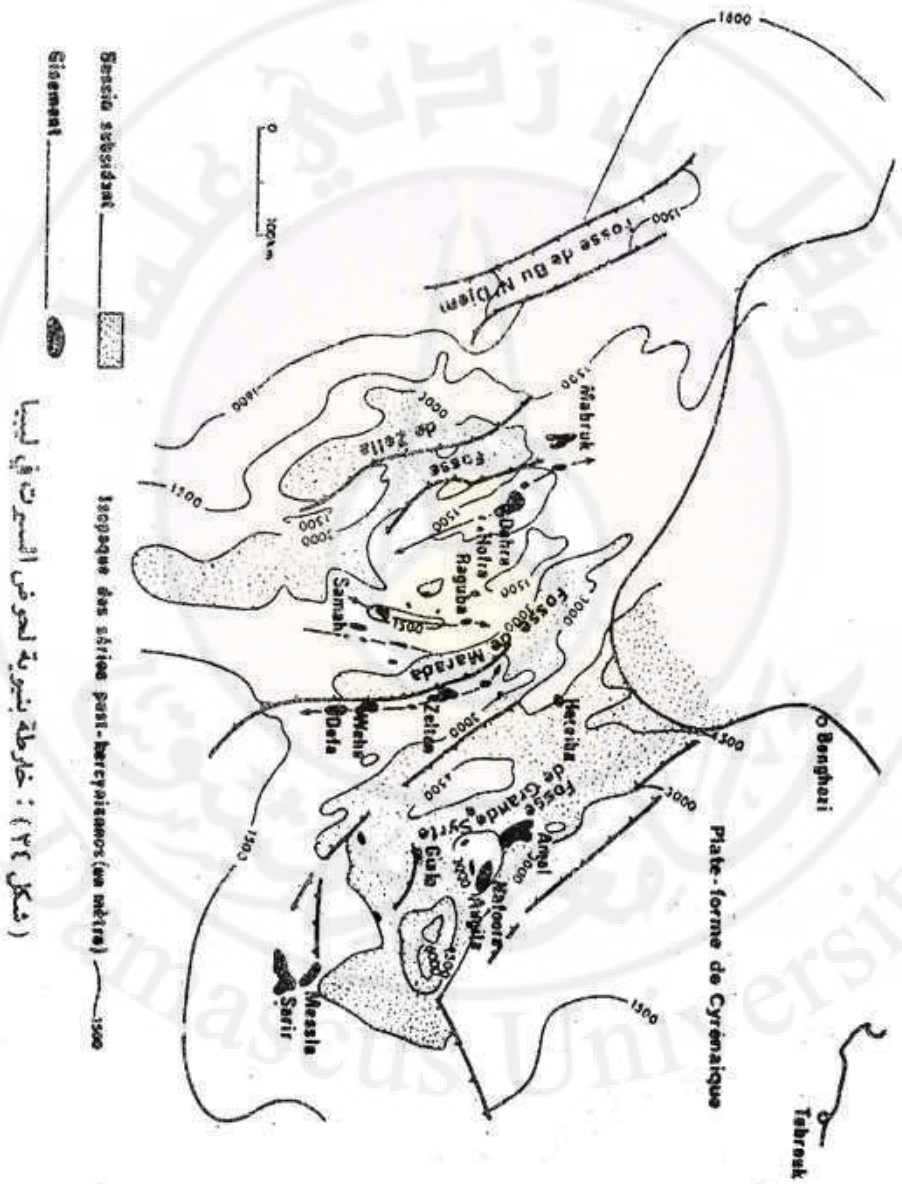
٢ - توضعات المخاريط اللحية : Dépôts de cônes alluviaux

تشكل هذه المخاريط في نقاط التقاء الجبال بالسهول . وعادة ماتكون على شكل أحزمة خطية ذات أشكال زاوية . وعندما تكون منطقة التقاء الجبل بالسهول فالقية كما هو الحال عادة فان سماكة هذه الاحزمة قد تصل إلى ٣٠٠م وتكون ميول الطبقات في حدود ٣٠ درجة . إلا أن هذه الميول تقل بسرعة لتصل إلى ٢ - ٣ درجة في المناطق الأكثر استقراراً حيث تشكل هذه المخاريط السنة رملية واسعة الانتشار ومؤلفة من بقايا صخرية .

وتتصف هذه التوضعات بكونها مختلفة جداً . فهي تنتقل من قطع كبيرة مدرجة إلى غضاريات تختلط بالعناصر الأخرى مما يؤدي إلى اختلاف كبير في بنائها وامتداداتها . وفي هذه التوضعات تتناقص أقطار الجبات بشكل عام باتجاه الأراضي المنخفضة حيث تصبح درجة التجانس جيدة . وتبلغ المسامية الأولية والنفوذية قيماً عالية في العدسات الرملية والحصوية الخالية من المواد الناعمة . وهذه المسامية لاتتأثر بالتراص أو التحول أثناء الاضطراب . ومن أمثلة هذه التوضعات نذكر الرمال اللحية العائدة للكريتاسي الأسفل في حوض السيرت بليبيا المغداة من قاعدة (substratum) غرائيية والمغطاة بغضاريات السينوني (شكل ٣٤) .

٤ - رمال الشواطئ والحواجز البحرية : Sables de plage et de barrière

وتعتبر من أهم المجموعات الخازنة والمنتجة للنفط . وتمتاز بأشكالها المتطاولة الخطية المتوضعة بشكل مواز لخط الشاطئ وعلى مسافات يمكن أن تصل إلى ٤٠ كم طولاً و ٤ كم عرضاً ، بينما لاتتجاوز سماكتها ٢٠م ، وتتصف هذه الرمال بمنشئها الحثي وتوضعها في منطقة تأثير الأمواج حيث ترسب على شكل متدرجات سلبية (شكل ٣٥) تتزايد فيها أقطار الجبات ودرجة نقاوتها



(شكل ٢٤) : خارطة بنيرية لحوض السحرة في ليبيا

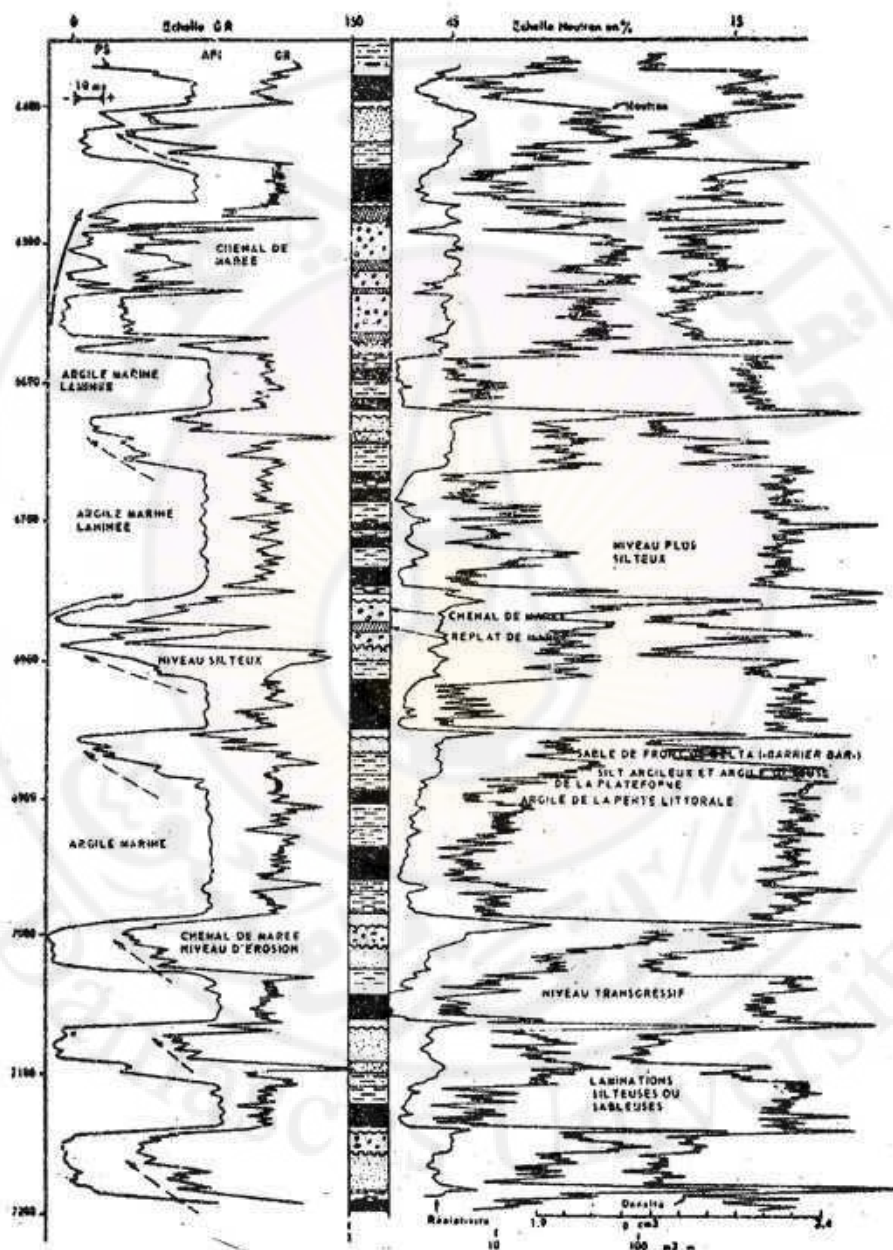
واستدارتها وتجانسها باتجاه الأعلى حيث يكون التطبق أفقياً أو مائلاً بزوايا صغيرة باتجاه البحر . وفي هذا الاتجاه تصبح الرسوبات ذات تطبيقات عدسية مشوية بالفضار وذات صفات خزنية تزداد سوءاً باتجاه الأعماق حيث تنتهي الرسوبات بسحنات بحرية . أما في اتجاه القارة فتمر هذه السحنات الشاطئية إلى سحنات بحيرية أو قارية لحقية .

تختلف مسامية هذه الصخور بين ١٥ - ٢٠٪ ويمكن ان تصل إلى ٣٠٪ في سوياتها العليا . أما النفوذية فتتقل من ٥٠ إلى ٢٠٠٠ ميللي دراسي في نفس الإتجاه .

وتعتبر الصخور الغازنة الجوراسية المائدة لحقل Piper في بحر الشمال المحتوية على احتياطي قدره ٨٥ مليون طن مثلاً لهذه الأجسام الرملية المتوضعة على شكل حواجز بحرية تختلف سماكتها بين ٣٥ - ١١٠ م ومساميتها بين ٢٢ - ٢٧٪ ونفوذيتها من ١٥ إلى ١٠ دارسي (Williams et al., 1975) والأشكال ٣٦ ، ٣٧ توضح استجابة القياسات الجيوفيزيائية البرية في هذه التشكيلات الشاطئية .

قياس	وسط	البنات	القطار
الاشعاع	الترسيب	الليتولوجيا	الاجزاء
* SEQUENCE D'ILE BARRERE d'après H.A. BERNARD et autres 1962			
	3	dune	str. de dunes
	3	cardon littoral	laminas
	1"	plage	
	1"	pre littoral	alternances de sables plus ou moins argileux
	1"	marin franc	laminas de sables turbes
	1"	H de condensation	congl. de base

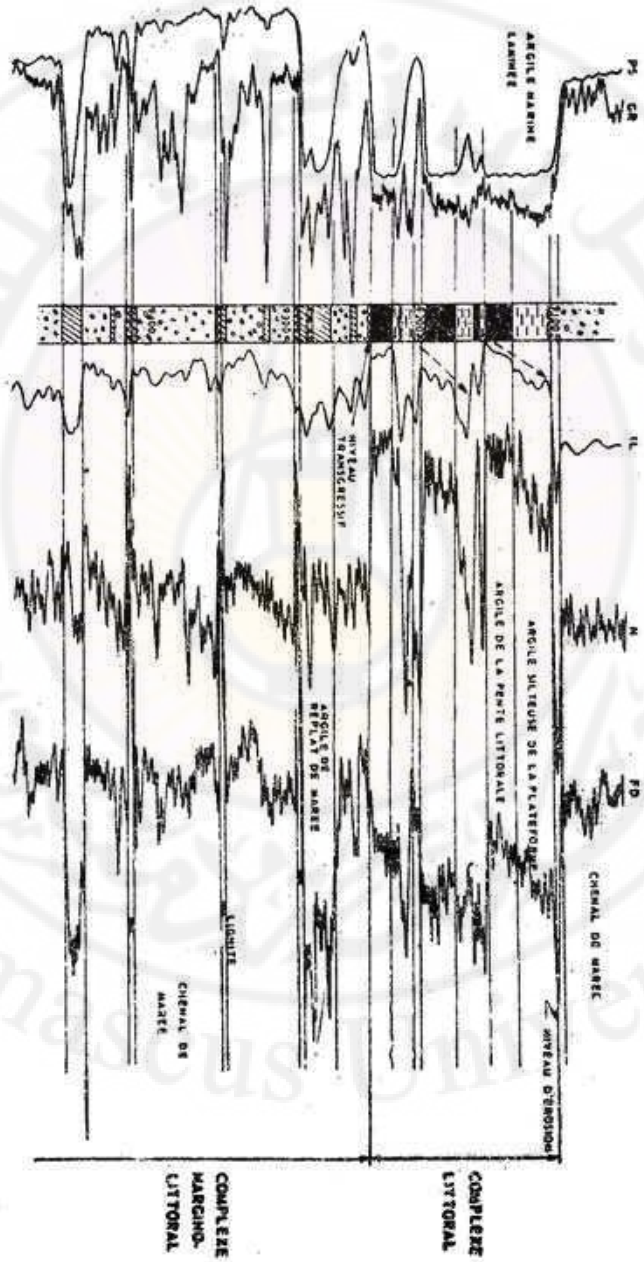
(شكل ٣٥) : تطور المتتالية الرسوبية الساحلية



(شكل ٣٦) : استجابة التشكيلات الرملية النشطة والدلتاوية في القياسات

الجيو فيزيائية البئر

(شكل ١٢٧) : استجابة القياسات الجيوفيزيائية البحرية (مع قناة حثية)



٥ - رمال السطحية البحرية : Sable de plate - forme marine

تقابل هذه الرمال أجساماً على شكل حواجز مغمورة (barres) في عرض البحر أو كيبان (dunes) تحت بحرية « offshore bars » ذات سحنات تتصف بما يلي:

- أشكال إهليلجية بشكل عام (elliptiques) .
- تناقص منتظم لنسبة النضار باتجاه الأعلى .
- خصائص خزنية جيدة .

وتوافق هذه الأنواع من الرسوبات توضعات المد (transgression) أو الجزر (régession) حيث تكون الأولى واسعة الانتشار ومحدودة السماكة وذات مواد ناعمة غضارية في الجزء العلوي منها . وإن أفضل أنواع هذه الرمال تبدي مسامية بين ١٥ - ٢٨٪ ونفوذية بين ٨٠ - ٣٠٠٠ ميللي دراسي ضمن سماكات تتراوح بين ٦ و ٩٠ م . هذا وإن فقدان الخصائص البتروفيزيائية الجيدة باتجاه الرسوبات الناعمة يلعب دوراً سلبياً في اصطياح الفحوم الهيدروجينية ، على عكس تشكيلات الجزر التي تبدي تزايداً في أقطار حباتها باتجاه الأعلى وبالتالي تساعد على زيادة احتمال كون هذه الصخور خازنة ، إلا أن عدم تواجد الغطاء في بعض الحالات يشكل عوائق هامة في تشكل المصائد ضمن هذه التوضعات (Mackenzie , 1972) .

وحسب Conybeare (1976) فإنه ليس هناك حالياً أمثلة لحقول نفطية عن هذه التشكيلات رغم أنها تشكل نظرياً صخوراً خازنة جيدة .

٦ - التوضعات الحطامية العميقة : Dépôts détritiques profonds

تشكل تيارات العكر (turbidites) والرمال البحرية العميقة « deep sea fans » توضعات كبيرة وشبه متجانسة تغطي العشرات أو المئات من الكيلو مترات المربعة وترسب هذه التوضعات في المنخفضات العميقة حيث تتحكم مورفولوجية الحوض بجيوميتريه الرسوبات .

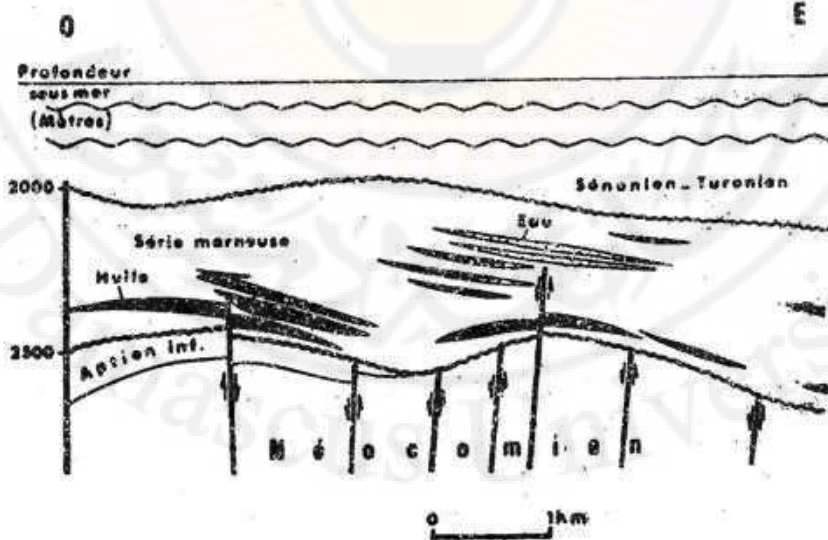
وتبدي هذه الرسوبات العميقة ، التي تتوضع عادة خلال فترات الجزر ،

تتابعاً سطحياً ذا خصائص غرانولومترية متدرجة على شكل طبقات تفصلها أسرة غضارية تلعب دور الغطاء وتحتوي على مستحاثات مجهرية تدل على ترسيب عميق في حين توافق الطبقات الحطامية التي أعيد ترسيبها توضعاً أوساط قليلة العمق .

إن هذا النوع من الترسب هو ترسيب متقطع خلال الزمن . ويشكل تجمعات كبيرة في أزمان قصيرة على شكل متدرجات تظهر قاعدتها انقطاعاً مفاجئاً مع الرسوبات الواقعة تحتها المحتوية أحياناً ، بينما تمر رسوباتها العلوية إلى توضعات بيلاجية (pélagiques) دون انقطاع واضح .

تمثل رسوبات الأجزاء المرتفعة من هذه التوضعات بمحتويات الأقيسة المخفورة في المنحدر (talus) بينما تنوضع سحنات الأجزاء المنخفضة بواسطة الثقالة وتبدو على شكل انتشارات واسعة منتظمة وذات مظهر تهاووزي .

وتعتبر الرمال المائدة للعصر الألبى في حقل كازو الكائن في حوض Parentis في جنوب غرب فرنسا مثلاً جيداً على الصخور المخازنة المائدة لتيارات الممر



(شكل ٢٨) : مقطع بنيوي يمر بمحور محدب Cazaux - فرنسا -

(Bessagnet & Martin, 1977)

(الشكل ٣٨) • وتبدو هذه الصخور على شكل أجسام متطاولة ومتوضعة بعضها فوق بعض بسماكة تقدر بخمسين متر تقريباً وعرض لا يتجاوز ٢ كم • ويمثل كل جنم من هذه الأجسام بمتدرجة رسوية ايجابية (تجاوزية) تبدأ بالكونفلوميرا وتنتهي برسوبات غضارية ، فست من قبل (Bessaguet & martin, 1977) على أنها أقية تحت بحرية •

٧- الرمال الدلتاوية : Sables deltaïques

تجمع الأوساط الدلتاوية ، التي تعتبر مصائد واسعة للرمال ، مختلف الأوساط السابقة التي اتينا على دراستها ، ويعود ذلك إلى التجاوزات البحرية التي تسمح بتجمع وتنضد التشكيلات ابتداء من الرمال النهرية وحتى رمال الحواجز البحرية العميقة (المغمورة) ، في وسط مشجع لنشأة الفحوم الهيدروجينية وقابل لتجمعها • وفي حوض Gulf Coast مثلاً فإن رمال Wilcox الايوسينية المعروفة بسحناتها الدلتاوية تشكل صخوراً خازنة منتجة للغاز وبكميات هائلة (Berg, 1979)

والشكل رقم ٣٩ يوضح التسلسل السحي والرسوبي في المتدرجة الدلتاوية •



(شكل ٣٩) : متدرجة دلتاوية

٢ - الصخور الكربوناتية Les roches carbonatées :

تأتي الصخور الكربوناتية ، إذا ما استثنينا الحقول الهائلة المنتجة للنفط في الولايات المتحدة الأمريكية ومنطقة الشرق الأوسط، في المرتبة الثانية بعد الصخور الرملية في انتشارها وقدرتها على تخزين الفحم الهيدروجينية . ويمود ذلك إلى الاختلافات السريعة التي تعانيها هذه الصخور في سحناتها وخصائصها البتروفيزيائية .

والصخور الكربوناتية هي بالتعريف الصخور التي يدخل عنصر الكربونات فيها بنسبة لا تقل عن ٥٠٪ منها كان الشكل الذي يدخل فيه هذا العنصر في الصخر سواء كان على صيغة كربونات الكالسيوم CaCO_3 (الصخور الكلسية) أو كربونات مضاعفة للكالسيوم والمغنيزيوم $(\text{CO}_3)_2\text{Ca,Mg}$ (الصخور الدولوميتية) .

وخلالاً للصخور الحطامية ، تتصف الصخور الكربوناتية بأنها تتألف من أنواع مختلفة من الحبات (معظمها مستحاثات) ذات أقطار وأشكال متنوعة يربط فيما بينها ملاط كربوناتي ناعم . وإن الاختلاف الكبير في خصائص هذه الصخور وبشكل خاص اختلاف أبعاد الحبات وطبيعتها وكثافتها وخصائصها الدينامية منع من تصنيف هذه الصخور بالاعتماد على أبعاد الحبات فقط . وقد وضعت في هذا المجال تصانيف عديدة (تفوق العشرين) منها ما اعتمد على تصنيف هذه الرسوبات حسب أوساط تشكيلها ، ومنها ما اعتمد على تصنيفها حسب خصائصها البتروغرافية ، وهذا النوع الأخير هو الأكثر تجاوباً مع احتياجات الدراسة النفطية . ومن التصنيفات العديدة يمكن أن نورد أحدثها وهو تصنيف مجموعة Eif - aquitaine لعام ١٩٧٥ (شكل ٤٠) الذي يعتمد على طبيعة وكثافة العناصر المينرالوجية الرئيسية المكونة للصخر ، وعلى طريقة توزيع هذه العناصر في الصخر (أي على بنيتها النسيجية texture) . إلا أن

تسمية الصفوف الكروماتية فيما يخص المادة الاصلية				
الكليات				
التسمية فيما للمادة الاصلية	التسمية فيما للمعاصر الخارجية التي تزيد نسبتها عن ٧١٠	التسمية فيما للمعاصر الكارية أعلى من ٧١٠	التسمية فيما للبنية الاسفورية	
ميكريت	ميكريت	ميكريت	ميكريت	ميكريت
ميكرو سبلريت	ميكرو سبلريت	ميكرو سبلريت	ميكرو سبلريت	ميكرو سبلريت
سبلريت	سبلريت	سبلريت	سبلريت	سبلريت

هذا التصنيف يرتكز في قاعدته على تصانيف عالمية معروفة كتصنيف العالم Folk عام ١٩٥٩ و ١٩٦٢ (شكل ٤١) والذي يعتمد على البنية الرسوبية (ميكريت - سباريت) ، وعلى نوعية الحبات (اتراكلاست - بيليت - بيوض - مستحاثات) وتصنيف العالم Dunham عام ١٩٦٢ (شكل ٤٢) والذي يعتمد بدوره على نسبة الحبات ودرجة تشابكها من ناحية وعلى كمية وطبيعة المادة اللاصقة من ناحية أخرى .

ومن الناحية البتروفيزيائية فإن هذه الصخور تتصف بعدم التجانس الكبير في مساميتها ونفوذيتها . حيث تبدو أحياناً على شكل كتل ذات فجوات وشقوق كبيرة عندما تكون رصيفية ، أو ناعمة التضد عندما تكون متوضعة خلف الأرصفة وفي الأوساط الضحلة .

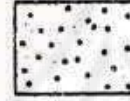
والمسامية الأولية في هذه الصخور هي والأ^٤ بين حبيبة (intergranulaire) وهي مختلفة جداً بسبب اختلاف أقطار وأشكال الحبات . وتختلف هذه المسامية بزيادة قدرة وسط الترسيب ، وبخاصة في التشكيلات الرصيفية ، حيث تبلغ المسامية قيمتها العظمى على أطراف الأرصفة أي في المناطق التي تتراكم فيها كميات كبيرة من المتعضيات .

وبالإضافة إلى عدم التجانس الناتج عن اختلاف أوساط الترسيب يمكن إضافة عدم التجانس الناتج عن حوادث الدياجينيز المسبب لخلق المسامية الثانوية . فاللدنة (dolomitisation) خاصة يمكن أن تؤدي إلى زيادة في حجم الفراغات في حالة الصخور الكلسية المرصوفة (compactes) ، أو أن تؤدي إلى تغيير بسيط في هندسة حجم الفراغات في حالة الصخور الرصيفية . ولقد أظهرت الدراسات الإحصائية في غرب كندا أن الصخور الخازنة الكلسية تتصف بمسامية $\frac{8}{100}$ وبنفوذية ٦٨ ميلي دارسي ، في حين أن المسامية تبقى في حدود $\frac{9}{100}$ بينما

(شكل ٤٠) : تصنيف الصخور الكربوناتية حسب مجموعة

Eef - Aquitaine (١٩٧٥)

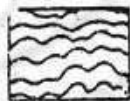
ROCHES "ALLOCHIMIQUES"

	CIMENT DE CALOTE "SPATHIQUE"	MATRICE DE CALOTE MICROCRISTALLINE
Intraclastes		
Oolites		
Fossiles		
Pellets		
	sparite	micrite

ROCHES "ORTHOCHIMIQUES"

Micrite	
Damicrite	

ROCHES AUTOCHTONES DE RECIF

Biolithite	
------------	---

(شكل ٤١) : تصنيف الصخور الكربونية حسب Folk (1956)

مثال : صخر مؤلف من جبات من الكلس البيوضي تجمعها مادة لاحمة

سباريتية : oo - sparite

صخر مؤلف من بيوكلاست متوضع ضمن أرضية ميكريتية : bio - micrite

نمط دونهام		الحبيبات		الطور الآخر		
الاسم المختصر		درجة الترابط	النسبة المئوية	سباريت وميكروسباريت	وحل كربوناتي (ميكرت)	
G	غرينستون	متشابهة	أعلى من 10% أقل من 10%	موجود أو غير موجود	معدوم أو موجود نسبة أقل من 5%	
P	باكستون			موجود أو معدوم	موجود بنسبة أعلى من 5%	
W	واكستون	غير متشابهة		معدوم أو موجود		
M	مستون					

(شكل ٤٢) : تصنيف الصخور الكربونائية حسب دونهام (Dunham 1962)

ملاحظة : تنطبق تسميات هذا التصنيف على الصخور الحطامية كما تنطبق

الصخور الكربونائية .

ترتفع النفوذية إلى ٨٠٠ ميللي دارسي في الصخور الدولوميتية وهذا ما يشير إلى أن النفوذية هي التي تتأثر في الصخور الدولوميتية . إلا أن حادثة الدلتة يمكن أن تقلل من النفوذية بسبب خلقها لشبكة بلورية كثيفة نتيجة إحلال فلز الكالسيت محل فلز الدولوميت بعملية إزالة الدلتة (dédolomitisation)

كذلك فإن نقاط الاختناق (étranglements) بين الحبات تتأثر إلى حد بعيد بأفعال الدياجينيز ، مما يؤدي إلى اختلافات كبيرة في أقطارها وتوضع بلورات الكالسيت بينها ، وهذا ما يحمل بدوره إلى نقصان ملحوظ في النفوذية (المؤلف ، ١٩٧٩) *

أيضا فإن أشكال الفراغات والعلاقات المتبادلة بينها له دور عام في عمليات الإنتاج . وقد بين (Wardlaw 1976) أن الأقية التي تصل بين الفراغات في الدولوميا لها مقاطع مسطحة وليست اسطوانية ويعود سبب ذلك إلى تغير أشكال الفراغات نتيجة نقصان المسامية تحت تأثير نمو بلورات الدولوميت . وهذا ما يحمل بدوره إلى نقصان النفوذية .

أما بالنسبة للشقوق والتكسرات فيمكن أن تخلق نفوذية جيدة في صخور كانت في الأصل كثيفة . وتساعد هذه الشقوق في حركة المياه في الصخور حيث تتم عمليات الغسل أو اللحام ، كما انها تعمل أحيانا على دفع كميات من المياه إلى الصخور المنتجة للفحوم الهيدروجينية أثناء الاستثمار .

أخيرا فإن انتظام الأجسام الرسوبية يشوه عادة بسبب الحوادث التي تعرض لها الصخور الكربوناته : كالجفاف وتشكل الكارست والتراص والدلتة والتشقق .

وهكذا فإذا كانت الخصائص البتروفيزيائية للصخور الكربوناته تعتمد في بداية تاريخ الصخر على شروط التوضع فإنها تتحدد في النهاية بحدوث الدياجينيز التي يتعرض اليها الصخر خلال تاريخه الجيولوجي الطويل .

انواع الصخور الخازنة الكربوناتية

٢ - الصخور الخازنة الرصيفية Les réservoirs recifaux

يمكن للصخور الرصيفية المشادة (construites) وللتوضعات الحطامية المحيطة بها أن تشكل صخوراً خازنة متميزة في ارتفاعها ومساميتها ونفوذيتها. وهناك عدد من الأرصفة في ألبيрта (غرب تكساس) تصل سماكتها إلى ١٧٠ - ١٨٠ م ويصل إنتاجها إلى ١٠٠٠٠ برميل يومياً وذلك بفضل حوادث الانحلال والتشقق التي تتعرض لها هذه الصخور .

وتأخذ هذه التوضعات الكربوناتية أشكالاً عدسية (lenticulaires) تختلف في سحناتها الرسوبية عن السحنات الغضارية والتبخيرية التي تحيط بها (Purser, 1973) . ويمكن أن تشمل هذه الأجسام على الأجزاء التالية :

- حزام خارجي مؤلف من صخور كلسية مشادة تشكل الصخور الخازنة وبخاصة في أطراف الكتلة الرصيفية .
- نطاق كربوناتي حطامي مؤلف من رمال كربوناتية يتخللها بقايا العضويات البناءة ويمتد على شكل حزام محيط بالبنية المركزية للرصيف .
- عدسة مركزية مؤلفة من كربونات حطامية ومن بقايا العضويات .

هذا وترتبط هذه الأجسام بالمصائد الطبقيّة كما سنرى في دراستنا للمصائد . والشكل ٣ يوضح السحنات المختلفة في رصيف RedWater superieru في كندا .

ب - الصخور الخازنة الحواريّة La craie

العوار هو صخر ذو بنية حطامية ناعمة مؤلفة بشكل رئيسي من الهياكل

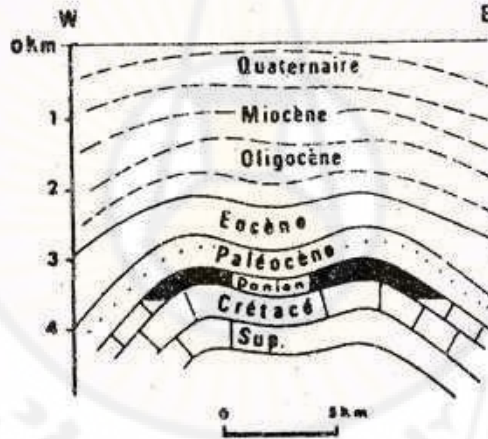
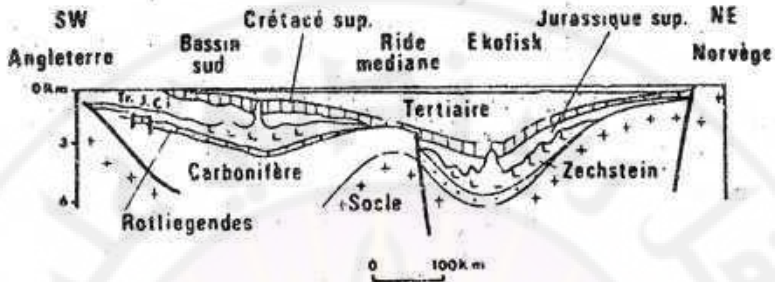
المجهرية للكوكوليت (coccolithes) المكونة من الكالست النقي • وتشكل هذه الصخور رسوبات بحرية متطبقة ومتوضعة في وسط قليل العمق أو في أعماق تنوف عن ١٠٠٠ م بمعدل ترسيب يختلف من بضعة أمتار إلى ٥٠ م في كل مليون سنة •

ومن الوجهة البتروفيزيائية فإن الحوار هو صخر مسامي جيد إلا أنه ضعيف النفوذية • وتصل مسامية الحوار أثناء التوضع إلى ٧٠ - ٨٠٪ ، وتتناقص تدريجياً مع العمق بحيث تصبح ٣٠٪ على أعماق ١٠٠٠ - ٢٠٠٠ م ، وأقل من ٢٠٪ تحت أعماق التوضع هذه • أما النفوذية فهي لا تتجاوز عادة بضعة ميللي دارسي • ومع هذا فإن الحوار يشكل صخوراً خازنة للفحوم الهيدروجينية من نوعية متوسطة غالباً ، كما في بعض حقول تكساس حيث لا تتجاوز المسامية ١٠٪ على عمق ٢٠٠٠ م ، وتبقى النفوذية في حدود ٥٠ ميللي دارسي • إلا أن الحوار يشكل صخوراً خازنة ممتازة في منطقة الشرق الأوسط وفي بحر الشمال • ففي حقل Ekofisk (شكل ٤٤) في الجزء المركزي من بحر الشمال تتصف صخور الدانيان البالغة سماكتها ٤٠٠ - ١٤٠٠ م على أعماق ٢٠٠٠ - ٣٠٠٠ م بمسامية أولية متوسطة ٣٠٪ وبنفوذية من ١ إلى ٢ ميللي دارسي وابتاج تقطي في حدود ١٤٠٠ طن باليوم • وتعود أهمية خصائص هذا الحقل المنتج إلى :

- كون المسامية في الطبقات الخازنة للزيت أعلى من مسامية الطبقات الحاملة للماء وذلك بسبب الضغوط المرتفعة التي تؤثر بها الغضاربات المتوضعة فوق الصخر الخازن ، وبسبب نمو المادة اللاصقة في الطبقات المائية •

- تواجد شقوق نتيجة علي المحدث تحت تأثير الانبثاقات الملحية •

- درجة تشبع بالزيت عالية (٧٠ - ٩٠٪) ، ولزوجة منخفضة للزيت (١٠ر٢٤ سنتيبواز) •



(شكل ١١) ٢٠ - مقطع عرضي لآحواض بحر الشمال مرورا بحقل Ekofisk
ب - بنية حقل Ekofisk

ج - الصخور الخزائنة الدولوميتية La dolomie

تشكل الصخور الدولوميتية ما يقارب ٣٠٪ من الصخور الكربوناتية .
ولهذه الصخور أهمية نفطية خاصة ، نظراً لاحتوائها على مسامية جيدة ونظراً
لكون مساماتها تتمتع بجيوميتري خاصة تساعد في اصطياذ المحوم الهيدروجينية،

حتى في الصخور الدولوميتية الناعمة التي تتصف بخصائص شعرية فعالة
وباتصال متجانس بين فراغاتها •

وحسب منشأ الصخور الدولوميتية يمكن أن نميز تبعاً لتصنيف المعهد
الفرنسي للبترول (I.F.P.) أربعة أنواع رئيسية فيها :

١- دولوميا أولية (primaire) معاصرة للترسيب (syngénétique) :
وتتصف ببنية ناعمة جداً وتطبق منتظم وتوزع جغرافي واسع الإشتار • ويمتد
المؤلفين (Friedman & sanders, 1967) أن هذا النوع من الدولوميا يتشكل
بفضل التحول المينرالوجي السريع للوحول الكربوقاتية

٢- دولوميا إيبيجينية (épigénétique) : وتنشأ عن دلتة الصخور
الكلسية التي تعرضت لحوادث الدياجينيز المبكر ، وتحتوي على بقايا مستحاثية
أو غير مستحاثية • وعادة ما يحتوي هذا النوع من الدولوميا على بلورات كبيرة
من الكالسييت ويشكل صخوراً خازنة جيدة •

٣- دولوميا بنيوية (structurale) وتتصف أيضاً ببنية بلورية واضحة •
ويرتبط هذا النوع بالمواقع والتشققات • إلا أن هذه الدولوميا أقل انتشاراً بكثير
من الدولوميا الأولية أو الإيبيجينية •

٤- دولوميا حطمية (détritique) وهي ذات منشأ قاري ويمكن أن تختلط
مع صخور مختلفة •

هذا ولقد وضعت تصانيف حديثة للصخور الدولوميتية أهمها تصنيف
(Friedman, 1965) الذي يصنف هذه الصخور حسب مورفولوجية البلورات
وبنية أرضية الصخر (matrice) •

وتتم حادثة الدلتة في أوساط مختلفة وبميكانيكيات مختلفة ، إما بتأثير
المياه الشديدة الملوحة (hyper saline) أو بتأثير المياه الجوفية العميقة •

أما بالنسبة للفراغات في الصخور الدولوميتية ، فيمكن أن تتشكل نتيجة
حادثة الدلتة ، كما يمكن أن تتشكل قبل أو بعد حادثة الدلتة . ويمكن أن
نميز أربعة أنواع من المسامات :

- مسامات بين بلورية تتشكل بفعل الدلتة (dolomitisation) .
- مسامات ضمن حبة (moulage) تتشكل بفعل الانحلال (ضمن إطار
الدلتة) .
- مسامات أولية كالفراغات الكبيرة في التشكيلات الرصفية .
- تشققات سابقة أو لاحقة للدلتة .

ويمكن تمييز تشكل المسامات نتيجة الدلتة ، بأن استعاضة فلز الكالسيت بفلز
الدولوميت يؤدي إلى تناقص حجم المادة بنسبة ١٣٪ (Bub & perry, 1968)
لذا فقد اصطلح على أن مسامية الدولوميت هي ١٣٪ . إلا أن وجود هذه
النسبة لا يتحقق إلا في شروط معينة (تبادل جزئي ضمن وسط مغلق) ، وفي
الطبيعة فإن هذه الشروط لا تتحقق إلا نادراً . حيث أن :

- الدولوميت يحل محل الأ راغونيت أولاً وهذا الفلز هو أكثف من
الكالسيت بنسبة ٨٪ .
- تتم الدلتة بإحلال حجم محل حجم آخر .
- يمكن للتراص أن يقلل من المسامية .
- يمكن للشوارد Mg^{++} , Co_3^{--} أن تأتي من وسط آخر وبنسب
مختلفة .

هذا ولقد بين Murray - و Weyl أن حادثة الدلتة :



تستخدم أولاً الكربونات الموجودة في الوسط (autochtone) • إلا أن انحلال الكالسيت وتمويضه بمعينات من الدولوميت أكثر كثافة من الكالسيت يؤدي إلى تراص هذه المعينات المتشكلة بحيث تصبح هذه الأخيرة متصلة • فإذا ما استمرت الدلتة واستعاض عن الجزء الأكبر من الكالسيت بالدولوميت ، فإن المسامية تبدأ بالتزايد اعتباراً من المرحلة التي تتلاقق فيها المعينات الدولوميتية • أما إذا كانت شوارد الكربونات والمنغنيزيوم الضرورية للتحويل قادمة من مصدر خارجي (allochtone) فإذا الدلتة تستمر بعد استنفاد الشوارد المحلية مما يؤدي إلى زيادة كبر المعينات ، وهذا ما يؤدي إلى تشكل بنية كثيفة غير مسامية •

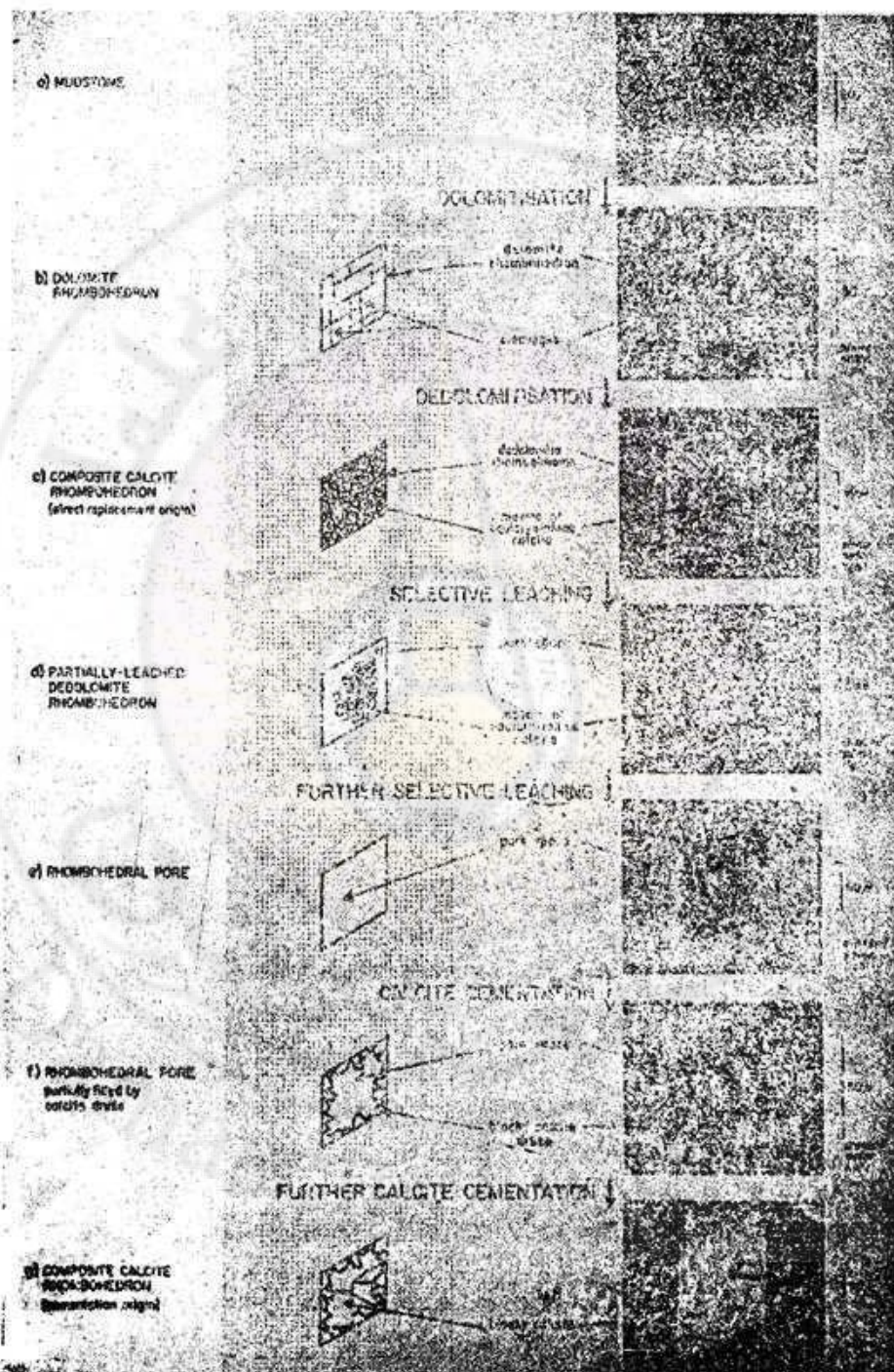
هذا وتتناسب نوعية المسامات في الصخور المدلتة مع :

- ١ - درجة الدلتة : حيث وجد أن الفراغات بين البلورية تشكل طالما أن الدولوميت المتشكلة لم تصل إلى درجة عالية من النقاوة والتراص •
- ٢ - أبعاد بلورات الدولوميت : حيث وجد أن هناك علاقات بين أبعاد البلورات ونوعية الرسوبات المدلتة :

- الوحول المدلتة ذات بنية بلورية كثيفة غير مسامية •
- الرمال الوحلية (packstones) المدلتة تتميز بمسامية ٤٨٪ •
- الصخور الرصفية والكالكارينيت لها مسامية تبلغ ١٢٪ ونفوذية في حدود ٣٠ ميللي دارسي • ولاسيما وأن أبعاد بلورات الدولوميت لها تأثير كبير على تجانس الاتصال بين الفراغات •

أخيراً فإن حادثة إزالة الدلتة (dedolomitisation) تؤدي إلى خلق صخور خازنة • إلا أن مسامية هذه الصخور لن تكون تاجاً لهذه الحادثة وإنما تتشكل بفعل انحلال الصخور (التي أزيلت دلتتها) بفعل المياه الجوفية •

والشكل ٤٥ يوضح مختلف مراحل الدلتة التي تليها حوادث الانحلال وإعادة تبلور الكالسيت وذلك حسب (Evamy, 1967) .



د - الصخور الخازنة المشققة Réservoirs fissurés :

تلعب التشققات دوراً هاماً في تحديد الخصائص البتروفيزيائية الثانوية في الصخور الخازنة . حيث تعمل الشقوق على إيجاد نفوذية عالية ، في حين تبقى المسامية ضعيفة . وبتعبير آخر فإن الشقوق تزيد من قدرة الصخر على إنتاج الفحوم الهيدروجينية . وتصل النفوذية التي تضيفها الشقوق على الصخر إلى قيم عالية ، فنفوذية شق عرضه ٢٥ ر.م تنوف عن ٥٠٠٠ دارسي ، وشق واحد عرضه ١ م يكفي لإنتاج ١٥٠٠ طن يومياً من الزيت الخام (Russel, 1960) .

وتظهر الشقوق في الصخور الخازنة الشديدة التراص ، كالصخور الرملية والدولوميتية والحوار والشيرت والغضاريات المتصلبة ، وأحياناً في الصخور البركانية أو الاندفاعية . وتحدث التشققات بشكل خاص بجوار الفوالق وبخاصة في الأجزاء الخارجية من الطيات . ويزداد عرض هذه الشقوق ونفوذيتها بزيادة حداتها حيث أن حركة المياه المحملة بالأملاح عبرها يؤدي إلى إغلاقها تدريجياً بسبب ترسب هذه الأملاح من محاليلها . ويمكن للشقوق أن تتشكل أيضاً نتيجة حوادث التراص والدياجينيز وخاصة في مرحلة تشكل الدروز (stylolites) أو تحت تأثير ضغط الموائع الموجودة في الصخر . وأفضل مثال يمكن أن تقدمه على الصخور الخازنة المشققة هو الصخور الكلسية المثنية في حقل الأسري في إيران والصخور الكلسية المدلثة والمشققة في حقول النفط في سورية .



→ (شكل ٤٥) : المراحل المختلفة للدلتة وإزالة الدلتة بالتحلل وإعادة تبلور

الكالسييت (Evamy, 1967)

الفصل الثالث

الصخور المغطية

Les couvertures

الصخور المغطية هي طبقات كتمة تمنع من حركة وانتقال الفحوم الهيدروجينية في الاتجاه العمودي على التطبيق . أي أنها تعاكس في تأثيرها الصخور الغازية .
إلا أن كل الصخور غير الغازية ليست بالضرورة ضخوراً مغطية ، فبعضها يمكن أن يتصرف كصخر أم . كما أن هذه الصخور ليست بالضرورة غير نفوذة للماء .

١ - الخصائص البتروفيزيائية والجيولوجية للصخور المغطية

تنحصر هذه الخصائص في خاصيتين رئيسيتين : عدم النفوذية واللدونة .
- عدم النفوذية (impérméabilité) : وهي خاصية هامة جداً وتؤدي إلى ضغط دخول عال جداً ، وأعلى من ضغط الطبقات المجاورة عموماً ، ويعود سبب ارتفاع هذا الضغط إلى :

- المسامات الصغيرة الأبعاد التي تؤدي إلى تشكل القوى الشعرية .
- الضغوط العالية للسوائع الحبيسة بين الجبات .
- اللدونة (plasticité) : وهي خاصية تسمح للصخر بالمحافظة على خصائصه المغطائية وذلك عندما تتعرض هذه الصخور إلى التشوهات البنيوية .

وترتبط هاتان الخاصتان الرئيسيتان بالخصائص المينرولوجية والهيدروجيولوجية والبنوية لهذه الصخور .

٢ - الخصائص الميزالوجية : وهي التي تحدد طبيعة وتوزع الفلزات أو البلورات المكونة للصخر المغطي . فالموتموريلونيت مثلاً يظهر بفضل بنيته الورقية خصائص غطائية تفوق خصائص الكاؤولينيت (شكل ٢٩) . كذلك فإن الدياجينيز يلعب دوراً هاماً في تحديد خصائص الصخر الغضاري المغطي . حيث تقل مسامية الغضاريات بازدياد عمق توضعها . وتنعدم هذه المسامية ابتداء من عتبة (seuil) ١٢٠٠ م ، حيث لا يبقى إلا مسامية ناعمة جداً . واعتباراً من العمق ٢٠٠٠ م تبدأ ظواهر التشقق التي تؤدي إلى تغير في عدم قوذية الغضار .

ب - الخصائص الهيدروجيولوجية : وهي التي تتحكم في ارتفاع الضغوط الداخلية وخاصة عند تواجد المياه الجيصة في الصخر . وهذه هي حالة التشكيلات الغضارية الشديدة التراص (sous - compactées) ، ذات الضغوط القريبة من الضغوط الجيوساتاتيكية . كما يمكن أن تكون الضغوط العالية نتيجة لفعل المياه التي تدخل في تركيب الفلزات وبخاصة المومتوريلونيت والبصص أثناء تحولها إلى أنهدريت .

ج - الوضع البنيوي : وهو يؤثر أيضاً على الخصائص البتروفيزيائية للصخور المغطية . ويزداد هذا التأثير كلما كانت هذه الصخور أقل لدونة . وهكذا فإن أطوار الشد تفقد الصخر خصائصه الغطائية ، في حين أن مراحل الانضغاط تحمل على المحافظة على هذه الخصائص .

كذلك فإن للموقع الجغرافي القديم للصخر المغطي أهميته . فالصخور المغطية الناتجة عن تجاوزات بحرية على الحواف القارية توفر حماية جيدة للصخور الواقعة تحتها . وهذا هو الحال في التشكيلات التبخرية المائدة للترابسي الصحراوي وللجوراسي في منطقة السطيجة العربية .

٢ - الأنواع الرئيسية للصخور المغطية

يمكن تصنيف الصخور المغطية في مجموعتين رئيسيتين :

- الغضاريات : وهي الأكثر انتشاراً .
- الصخور الملحية : وهي الأكثر فعالية ، وتعرف بعدم نفوذيتها للماء والغاز .

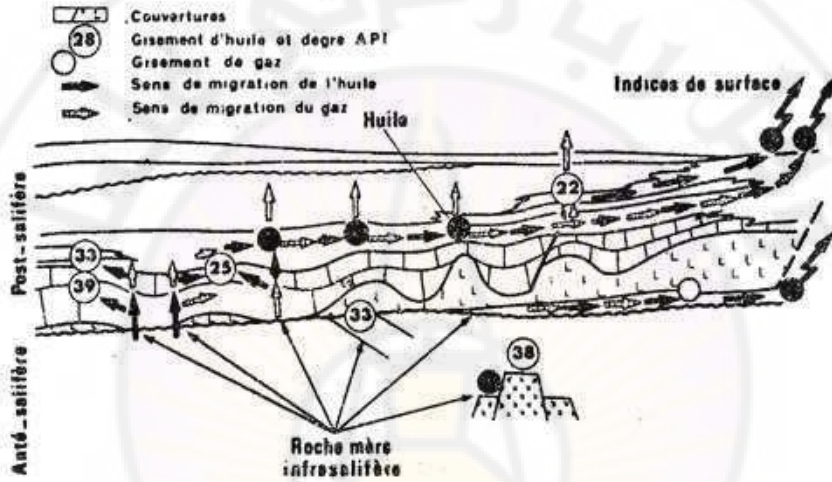
- الغضاريات : Les argiles

وتتمتع بالخاصتين الرئيسيتين اللتين يجب توفرهما في الصخور المغطية : عدم النفوذية واللدونة . وتعود عدم نفوذية هذه الصخور إلى نعومة الفلزات الغضارية ، وبالتالي إلى نعومة الفراغات المحددة بهذه الفلزات . أي أن هناك علاقة بين ضغط الدخول المرتفع وأبعاد هذه الفراغات . ويزداد ضغط الدخول بتزايد الضغوط الداخلية أيضاً . وبشكل عام تتناقص نفوذية الغضاريات مع عمق الترسيب ، حتى ظهور التشققات الصغيرة التي تزيد في نفوذية الصخر . ويكون هذا الازدياد كبيراً كلما كانت القوى البنيوية أكثر تأثيراً . أما خاصة اللدونة فهي نتيجة التوزيع الورقي للفلزات .

- الصخور الملحية : Les roches salines

وتتميز هذه الصخور ببنيتها البلورية ذات الضغط الداخلي المرتفع ، بحيث تكون بلوراتها في حالة توازن كيميائي مع المياه المالحة التي تتشكل فيها . وفي حالات كثيرة فإن الدياتم ينزج يؤدي إلى طرد المياه منها . وبسبب بنيتها ، فإن هذه الصخور لا تحتوي على مسامية فعالة أو نفوذية جيدة . وتتصف هذه الصخور بلدونة عالية تسمح بإعادة تماسكها في المناطق المعرضة للفوالق والتشققات . وتعتبر خاصة اللدونة مسؤولة عن الانبثاقات الملحية وعن هجرة الملح كما هو

الحال في الملح العائد لعصر الأبسيان في الكونغو (شكل ٤٦) وبالإضافة للملح يعتبر الأنهدريت وهو الأكثر انتشاراً صخوراً مغطياً مثالياً .



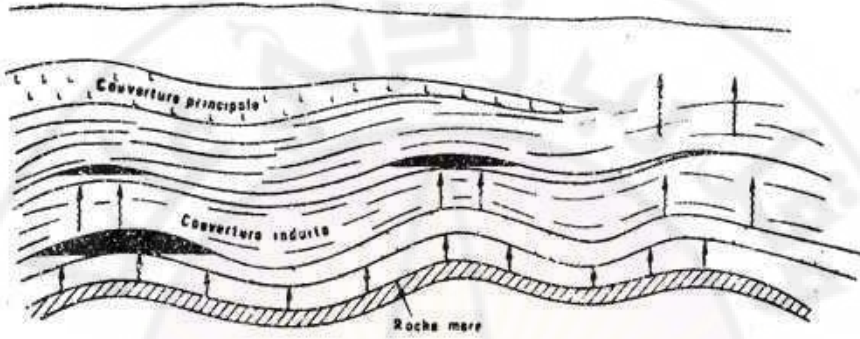
(شكل ٤٦) : مقطع في حوض كونغو الملحي يظهر الاحتمالات الممكنة للهجرات
(Augier, in Chiarelli & Du Rouchet, 1977)

غطاءات مختلفة : couvertures diverses

يمكن لبعض الصخور الكربونائية أو الأحجار السيليتية أن تقسوم بدور الغطاء ، وبخاصة في الأحواض ذات التكتونيك الضعيف أو المعدوم . وفي حالة الصخور الكربونائية فإن هذا الدور يضعف بتواجد الدروز . وكمثال على الصخور الكربونائية المغطية نذكر مكن Sunoco - Felda في فلوريدا حيث يتكون الغطاء من بضعة أمتار من حجر كلسي بني اللون وغير شوذ .

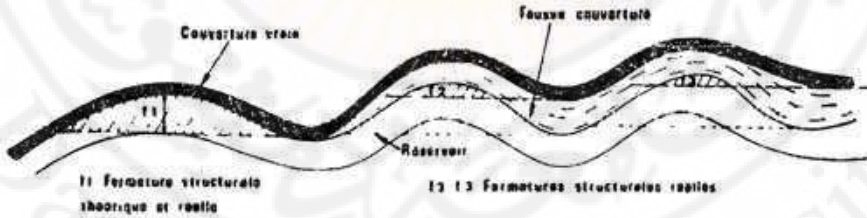
كذلك يمكن للسويات الحاملة للماء التي يزيد ضغطها عن ضغط الطبقات الأكثر عمقا أن تشكل غطاءات فعالة ، بالرغم من مسابقتها الضعيفة . إلا أن هذه السويات لا تؤدي دورها كغطاء إلا إذا كانت مغطاة بطبقات ذات ضغط عال

مشكلة الغطاء الرئيسي (شكل ٤٧) •



(شكل ٤٧) : غطاءات ثانوية وغطاءات رئيسية (in Perrodon, 1980)

كما أن بعض التشكيلات غير الخازنة لا تشكل بالضرورة ضخوراً مغطية، وذلك لكونها تسمح بحركة الموائع ضمنها • وتسمى مثل هذه الصخور بالغطاءات الكاذبة (fausses couvertures) (شكل ٤٨) • ولهذا المفهوم أهمية خاصة في تحديد الإغلاقات البنيوية (fermetures) .



(شكل ٤٨) : أمثلة عن الإغلاقات البنيوية الحقيقية في حالة الغطاءات الحقيقية والكاذبة

هذا وتختلف خصائص الصخور المغطية باختلاف :

- طبيعة الفحوم الهيدروجينية ، فالغاز أكثر قابلية للحركة من الزيت •
- الضغوط المطبقة على حاجز النفوذية ، حيث تسمح الصخور المغطية بحركة

- الفحوم الهيدروجينية فيها إذا تجاوز ضغط الماء ضغط الدخول .
- الحالة البنيوية للحوض الرسوبي (شد أو انضغاط) .

وهكذا يمكن اعتبار الصخور المغطية صمامات (soupapes) تمنع من حركة الفحوم الهيدروجينية في كثير من الحالات وتسمح بمرور كميات معينة من هذه الفحوم عندما يكون الضغط مرتفعاً جداً .

هذا وقد لوحظ أن هناك علاقات وطيدة بين خصائص الصخور الخازنة والمغطية والطبقات الحاملة للماء والفحوم الهيدروجينية . ويلاحظ بشكل عام أن الصخور الخازنة المتجانسة وذات النفوذية العالية تحتوي عادة على مياه ضعيفة الملوحة وتتصف بتدرجات منتظمة في الضغوط . وعلى العكس فإن الصخور الخازنة المتقطعة والعديسة تحتوي على مياه مالحة وتتميز بضغطات تختلف من نقطة لأخرى ، ولها قدرة في تخزين الفحوم الهيدروجينية تفوق قدرة الصخور ذات الانتشار المستمر .

والغطاءات الفعالة والمستمرة تعمل على حفظ المياه الكلورية ذات الملوحة العالية نسبياً والفحوم الهيدروجينية جيدة الخصائص . وعلى العكس فإن الغطاءات الضعيفة المعالية تحفظ غالباً الطبقات المائية الضعيفة الملوحة والفحوم الهيدروجينية الثقيلة والفقيرة بالغازات .

خلاصة ونتائج :

تشكل المجموعات الصخرية الخازنة والمغطية أحد العناصر الضرورية لتواجد المصيدة . فالصخر الخازن يتميز بمسامية ونفوذية ، وتسمح هاتان الخاصتان بمرور الفحوم الهيدروجينية عبره والتجمع فيه . والصخر المغطي يقوم بدور الحاجز ولا يسمح للفحوم الهيدروجينية بمغادرة الصخر الخازن .

إن الاختلاف بين هذين الصخرين يكمن في قيم الضغوط الداخلية في الفراغات

فعندما تكون هذه الضغوط ضعيفة تسمح هذه الصخور بمرور الموائع ، وعندما تكون هذه الضغوط شديدة فإن الصخور تعاكس ضغوط الموائع وتمنعها من الحركة . وهناك كثير من الصخور تشكل حالات انتقالية بين الصخور الخازنة والمغطية بحيث لا يمكن تصنيفها ضمن الأولى أو الثانية .

وتحدد هاتان المجموعتان في الوقت نفسه بشروط التوضع والترسيب . وباستثناء الحوار فإن الصخور الخازنة هي تتاج الترسيب في وسط ذي طاقة عالية بينما تتشكل الصخور المغطية ، كما هو بالنسبة للصخور الأم ، في أوساط هادئة . ومن الناحية البتروفيزيائية فإن خصائص الصخور الخازنة تسوء مع إزدياد العمق بينما تتحسن خصائص الصخور المغطية مع عمق التوضع .

وإن تواجد هاتين المجموعتين من الصخور في آن واحد يتطلب بالضرورة اختلافات سريعة في خواص وسط الترسيب ويؤكد هذا فيما بعد التاريخ الجيولوجي للحوض .



القِسْمُ الثَّالِثُ

--- هجرة الفخوم الهيدروجينية ---
Migration d'hydrocarbures

--- المصائد النفطية ---
Les Piéges

الفصل الأول

سيالة الفخوم الهيدروجينية

Les flux d'hydrocarbures

الهجرة الثانوية - الإصطياد - التبثر

Migration secondaire - Piègeage - Dismigration

تشكل هجرات الزيت والغاز حلقة هامة في تشكل المكامن النفطية .
وخلافاً للهجرة الأولية التي تحدث كما رأينا في الصخور الأم الكتيمة فإن
الهجرة الثانوية تتم بشكل خاص في الصخور النفوذة وفي التشكيلات المشتقة .
وفي الواقع فإن هذين النوعين من حركة النحوم الهيدروجينية يتوافقان في معظم
الحالات ويؤديان إلى تشكل التجمعات النفطية . إلا أن هذه التجمعات غالباً
ماتعاني هجرات جديدة وذلك تحت تأثير القوى البنيوية .

١ - ميكانيكية الهجرات الثانوية

٢ - الديناميك الفيزيائي

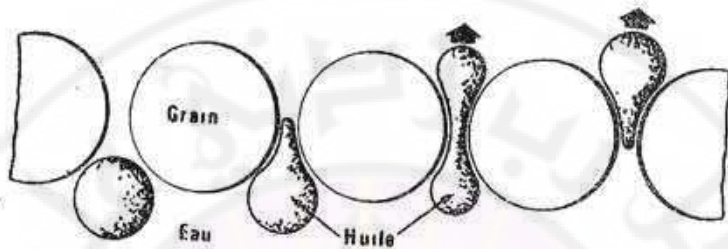
بالرغم من كون المعلومات المتوفرة عن الأراضي التي تحدث فيها الهجرة
الثانوية تفوق المعلومات المتوفرة عن الأراضي التي تحدث فيها الهجرة الأولية ،
وبالرغم من أن استثمار الحقول يقدم معطيات تجريبية جيدة في هذا المجال ،
فإن ميكانيكية انتقال الموائع في الصخور تبقى افتراضات تنقصها الأدلة الكافية .

إلا أنه يمكن القول بشكل عام أن انتقال الفحوم الهيدروجينية يتم انطلاقاً من المناطق ذات الضغط المرتفع باتجاه المناطق ذات الضغط المنخفض حيث :

ـ يهاجر النفط أولاً بشكل منفصل عن المياه الطبقية ، وذلك تحت تأثير دافعة أرخميدس ، حيث تختلف كثافة هذين المائعين ، فهي أقل من ١ بالنسبة للزيت وأعلى من ١ بالنسبة للماء . ويمكن الاعتقاد بأن الزيت ينتقل على شكل طور أحادي ضمن الصخور النفوذة والمبللة بالماء غالباً . وانفصال هذين المائعين يكون أكثر سرعة ووضوحاً كلما كانت فروق الكثافة بينهما أكبر .

ـ تتحرك المياه الطبقية من ناحية ثانية ، وتحدد هذه الحركة هجرة الفحوم الهيدروجينية . حيث تساعد التدرجات الهيدرودينامية أو تعاكس عمليات الاصطياد أو تبعثر هذه الفحوم وذلك حسب كون هذه التدرجات تتطابق أو تتعاكس مع دافعة أرخميدس . وهذا ولا يمكن نفي قدرة المياه على نقل بعض الفحوم الهيدروجينية السائلة على شكل محاليل غروية ونقل فحوم هيدروجينية غازية على شكل محاليل محتوية على فحوم هيدروجينية سائلة . وتزداد شدة انتقال الفحوم الهيدروجينية على شكل أطوار منفصلة كلما ازداد التدرج الهيدرودينامي وكلما كانت كثافة النفط مرتفعة (قانون King Hubbert) .

ـ تتعلق الهجرات الثانوية من ناحية ثالثة بالخصائص البتروفيزيائية للصخور الخازنة وخاصة بنفوذيتها . ولكي تمر قطرة من فحم هيدروجيني عبر فراغ أبعاده أقل من قطر هذه القطرة فإن هذه القطرة ستعاني أثناء مرورها تشوهاً تزداد حدته بازدياد الفرق بين القطرين . إلا أن قوى التوترات بين السطوح ستعاكس في تأثيرها هذا التشوه وبالتالي في انتقال الفحوم الهيدروجينية ، وتزداد هذه الممانعة كلما قلت أبعاد الاختناقات بين الفراغات . وتشكل هذه القوى المعاكسة العامل الرئيسي في عدم نفوذية الصخور ناعمة البنية . أي أنه القوى الشعرية تعاكس في تأثيرها دافعة أرخميدس والتدرجات الهيدرودينامية (شكل ٤٩) .



(شكل ٤٩) : انتقال قطرة زيتية ضمن صخر حطامي مبلل بالماء
(Berg , 1975)

— ترتبط الهجرات الثانوية للفحوم الهيدروجينية بهندسة الحوض الرسوبي وخاصة ببول واستمرارية السويات وبالقوق والتشققات • وتنحى الهجرات في طريقها التشوهات الناتجة عن التاريخ الجيولوجي حيث تأخذ إتجاه الميول أو إتجاه انخفاض أو ارتفاع الضغوط المرافقة للانخفاضات (subsidences) أو للنهوضات (surrections) وتخضع لكل التطورات البنيوية التي يتعرض لها الحوض خلال تاريخه الرسوبي •

— وأخيراً فإن سيالة الفحوم الهيدروجينية هي على علاقة وثيقة بنشأة وطرد الفحوم الحديثة التشكل وبخاصة في حالة الانخفاض حيث تبدو حركة الفحوم الهيدروجينية أسهل كلما كان الطور الزيتي المتشكل أهم • وتنبيل الهجرات في هذه الحالة لأن تكون متلاقية (Chiarelli , 1973) .

ب - الديناميك الكيميائي

تؤدي الهجرات الثانوية للفحوم الهيدروجينية عبر الصخور المسامية والنفاذة إلى اختلافات فيزيو — كيميائية لا يمكن إهمالها • وبشكل عام فإنه يلاحظ على طول طريق الهجرة ازدياد في نسبة الفحوم الهيدروجينية غير القطبية وذلك بسبب ادمصاص المركبات القطبية بين سطوح الزيوت والفلزات أو الزيوت والماء وهذا يؤدي إلى تناقص نسب المركبات العطرية والأسفلتين والصمغ • وتفسر هذه

الظاهرة بقدرة الانحلال الكبيرة لهذه المركبات في الماء ، وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة بنسبة ٠٠٤ر. للنظير ^{19}C ولقد بينت الدراسة الجيوكيميائية التي قام بها (Durand & Oudin, 1976) اغتناء الزيت الخام بالنواتج الخفيفة خلال الهجرة حيث وجد أن هذه النواتج تتركز في السويات العليا .

أما تأثير الهجرات الثانوية على كيمياء الفحوم الهيدروجينية الغازية فهو أقل معرفة من تأثيرها على الزيوت .

٢ - الاشكال الرئيسية للهجرات الثانوية

١ - الهجرات في اطار الحوض الرسوبي

ترتبط هجرات الفحوم الهيدروجينية بالخصائص الرسوبية والباليوغرافية والبنوية والهيدروجيولوجية للحوض . حيث تسمى بهجرات خطية أو هجرات عمودية ، وذلك حسب المسار الذي تسلكه إما باتجاه التطبيق أو باتجاه الشقوق غير الموازية لمستوى التطبيق .

٢ - الخصائص الرسوبية والباليوغرافية :

تعمق التشكيلات التجاوزية (transgressives) والتي تبدأ بسويات غير نموذجية حركة الفحوم الهيدروجينية باتجاه الاعلى . أما سطوح التجاوزات البحرية وخاصة تلك التي تغطي التشكيلات الحطامية فتشكل مسارات جيدة لهجرة وتبخر الفحوم الهيدروجينية .

كذلك تشكل المتدرجات الرسوبية الموجبة (transgressives) وخاصة التي تنتهي منها بمتبخرات حواجز فعالة للهجرات العمودية . وهكذا تحقق المتدرجات الايجابية إذا تواجدت ضمن إطار تجاوزي في المناطق الهامشية من الحوض اغلاقات جيدة على السوية الإقليمية وعلى عكس ذلك فإن التشكيلات والمتدرجات السالبة (régressives) لا تحقق اغلاقاً فعالاً وإنما تشجع على الهجرة .

ـ الخصائص البنيوية :

يمكن للفوالق الهامشية الكبيرة أن تشكل حواجز للنفوذية تمنع من حركة الفحوم الهيدروجينية وذلك بالرغم من أن إغلاق الفالق هو أمر معقد ويختلف في الفراغ ومع الزمن بالعلاقة مع الضغوط والسحنات . وعلى العكس فإن مناطق الشد المتميزة بالتكسرات والتشققات تشكل مسارات جيدة للهجرة العمودية .

ـ الخصائص الهيدروجيولوجية :

تتميز أحواض الترسيب الحديثة أو التي مازالت قيد الإنخفاض بتدرجات هيدروليكية تعود فيها القيم العظمى إلى الأجزاء المركزية العميقة .

أما الأحواض الرسوبية المعرضة لتشوهات الطي أو النهوض وبخاصة في أجزائها الهامشية فإنها تتميز بتدرجات هيدروليكية مختلفة حيث يسود في الأجزاء المركزية طاقة هيدروليكية ضميقة نسبياً .

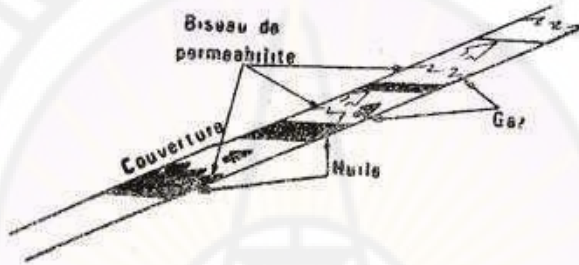
بـ الهجرات الخطية Les migrations latérales

تحدث الهجرات الأفقية في الجزء العلوي من السويات المستمرة في مناطق التقائها مع النطاءات الكتبية . وتزداد السيالة كلما كان سطح الالتقاء هذا أكثر إنساعاً . ويلعب هذا النوع من الهجرات دوراً هاماً في تشكل التجمعات النفطية في قمة أو على جوانب المناطق الإقليمية المرتفعة وذلك اعتباراً من صخور أم أكثر عمقاً ومطمورة في قلب المقترات (synclinaux) المجاورة . وتبدو هذه الهجرات مستمرة على مسافات كبيرة تصل إلى عشرة كيلومترات في الحالات الأكثر قابلية ، وخاصة في أحواض السطائح والهوامش المستقرة .

فإذا كانت الصخور الخازنة متقطعة ومحددة في أجزائها العلوية بحواجز للنفوذية فإن الهجرة ستأخذ نمطاً معيناً بحيث تتراكم الفحوم الهيدروجينية الخفيفة

في السويات العليا ، كما في حالة الهجرات السعودية (شكل ٥٠)

أما إذا كانت الصخور الخازنة مستمرة فإن الهجرة الخطية تتمثل على انتشار الفحم الهيدروجينية بشكل واسع على شكل دلائل سطحية تظهر مع



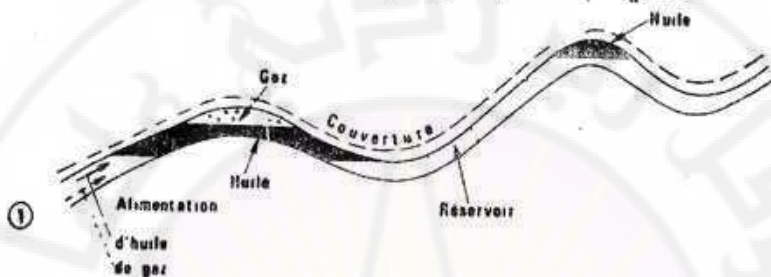
(شكل ٥٠) : مخطط للاصطياد التمايزي الطبقي على طول محدب وحيد الميل متطوع بترفق طبقي

سويات لطبقات مائية تكون أحيانا مشبعة بالرمال الأسفلتية كما في الرمال الاسفلتية في Melekess في الاتحاد السوفيتي (Demaison, 1977) . هذا وقد لوحظ في كثير من الحالات بأن السويات الرملية المتقطعة لها حظ أوفر في الانتاج من السويات المتصلة من نوع الرمال المستمرة « blanket sands » ، وذلك بسبب خضوع هذه الأخيرة إلى قوى هيدرودينامية فعالة لاتجعلها قادرة على انتاج الفحم الهيدروجينية إلا إذا كانت تتسع باغلاق جيد نتيجة لحوادث الطي أو القوالب الكتيمة .

كذلك فإن وجود سطوح تجاوزية فوق سويات حطامية يشكل أيضاً ممرات مفضلة لانتقال الفحم الهيدروجينية يمكن أن تؤدي دوراً رئيسياً في التجمعات النفطية الهامة كما في حقول المملكة العربية السعودية حيث تستمر الهجرات الخطية لمسافات طويلة تفوق مئة كيلو متر .

وفي حالة تنابع الطيات المحدبة أو الأرصفة فإن الهجرات الخطية يسكن أن تؤدي إلى اصطياد الفحم الهيدروجينية بالتباين (piégeage différentiel)

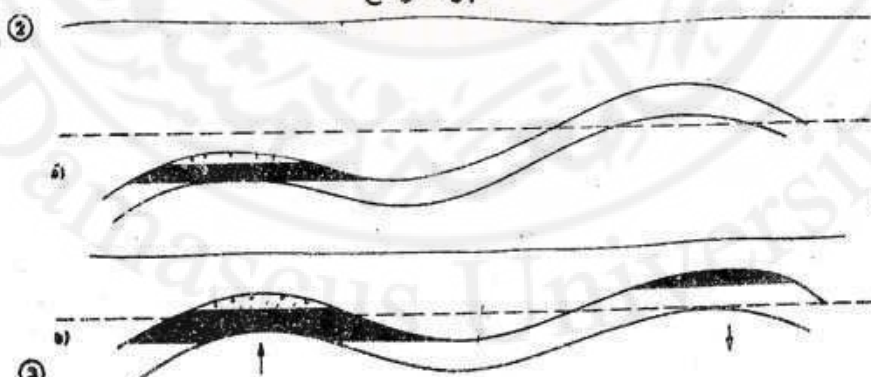
الذي وصفه في آن واحد Gussow في الولايات المتحدة الامريكية و Maximov في الاتحاد السوفيتي عام ١٩٥٤ (شكل ٥١) +



اصطياد تبايني بفعل الميل الاقليمي - نقصان في الاغلاق وتشكل مصيدة ثانية في



اصطياد تبايني بفعل الحت - نقصان الضغط - اتساع حجم الغاز وتشكل مصيدة ثمانية الجزء المرتفع



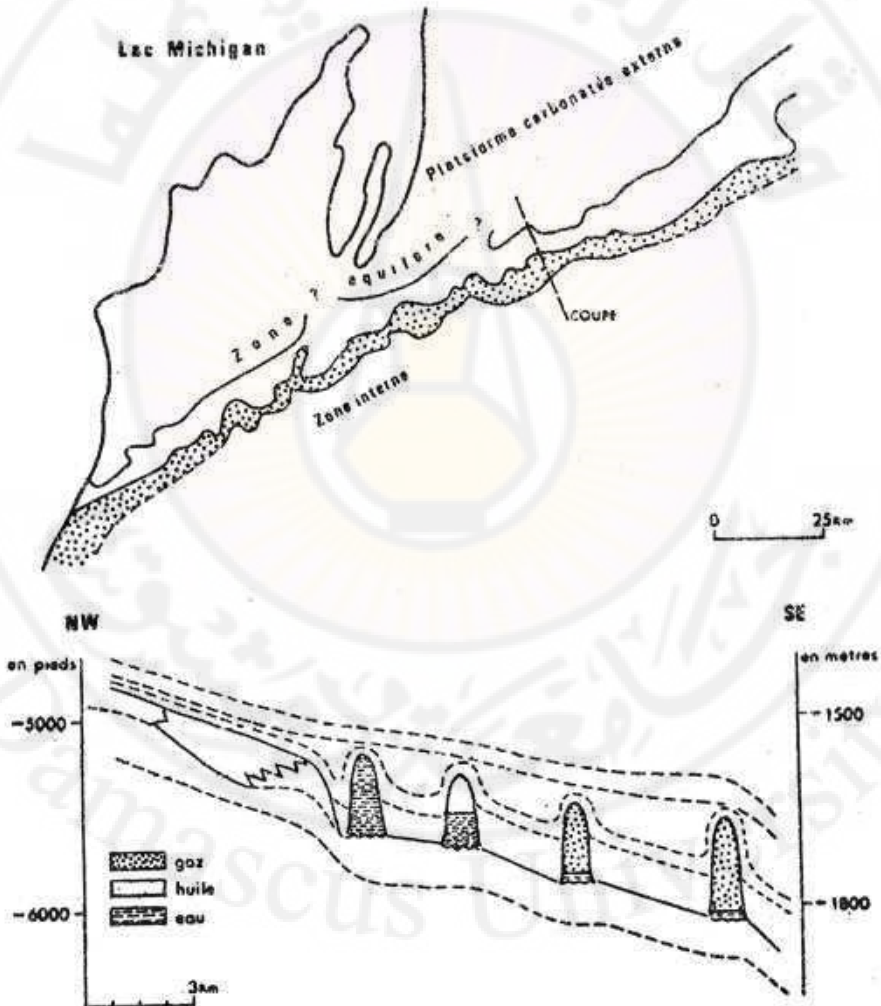
اصطياد تبايني بفعل الحت - نقصان الضغط اتساع حجم الغاز وتشكل مصيدة ثمانية

(شكل ٥١) : الحالات المختلفة للاصطياد التبايني

(Gussow , 1954 & Hobson , Tirtsoo , 1975)

وتعتبر تجمعات الغاز والماء في ارضة حوض Michigan مثالا على الاصطيد التبايني (شكل ٥٣) .

وحسب نظرية الاصطيد التبايني هذه فان تغذية السويات الخازنة تأتي من



(شكل ٥٣) : خارطة ومقطع ايضاحي لارضة السيللوري في شمال غرب Michigan (Gill , 1979)

الصخور الأم العميقة • حيث تمتلئ أولاً المحدثات المغلقة القريبة من الصخر الأم أي الأكثر انخفاضاً ، بحيث يشغل الغاز الجزء العلوي من الحجم المغلق دافعاً بذلك الزيت إلى النقاط الأخرى من السوية • وعندما تصل هذه الزيوت إلى حدود الإغلاق أي نقطة الهروب فانها تنتقل حسب نفس السوية إلى البنية المجاورة الأكثر ارتفاعاً (حسب الشكل ٥١) • وبالتالي يتجمع الغاز في الطيات الأعنى في الجزء المركزي من الحوض ، بينما تتجمع الزيوت في التراكيب العليا في هوامش الحوض • ولتحقيق هذا المخطط يجب أن تتوفر الأمور التالية :

- استمرارية جيدة للصخور الخازنة والمغطية •
- تتابع الطيات •
- انعدام القوالب أو أي عامل يؤدي لهروب الفحوم الهيدروجينية عبر الغطاء •
- سيالة كافية من الفحوم الهيدروجينية •

ان تدفق الفحوم الهيدروجينية يمكن أن يغذى بواسطة نشوء جديد للزيوت والغازات ، وهذا ما يحدث في مناطق الانخفاض • إلا أن نشوء الطبقات يمكن أن يؤدي إلى حركات جديدة للفحوم الهيدروجينية • فأي تغيير في استقرار الحوض يمكن أن يؤدي إلى انقاص الإغلاق البنيوي ويحصل على حركة الفحوم من جديد • كما أن أي نهوض يمكن أن يضعف من ضغط الطبقة مما يزيد في حجم القبة الغازية (gaz cap) ويؤدي إلى تحرر جزء من الزيت دون أن يرافق هذا تغذية جديدة للفحوم الهيدروجينية (Hobson & Tiratsoo , 1975)

ج - الهجرات الشاقولية Les migrations verticales

تلخص ميكانيكية الهجرات الشاقولية في انتقال الفحوم الهيدروجينية بشكل مباشر أو غير مباشر إلى الصخور الخازنة الواقعة فوق أو تحت الصخور الأم ، أو انتقال هذه الفحوم عبر الصخور المغطية أو الصخور الكتيمية التي تعلو

هذه الصخور الأم • وبالتالي فإن ميكانيكية هذه الهجرات تشبه ميكانيكية الهجرة الأولية • أي أن حدوث الهجرات العمودية لا يتحقق إلا عندما يكون ضغط الفحوم الهيدروجينية المحصورة في فراغات الصخر كافياً للتغلب على الإغلاق الجيوميكانيكي للوسط ، ويتحقق هذا إما بزيادة ضغط الموائع أو بانخفاض شدة الإغلاق ، وخاصة تحت تأثير القوى البنيوية في تقنيات المحدبات •

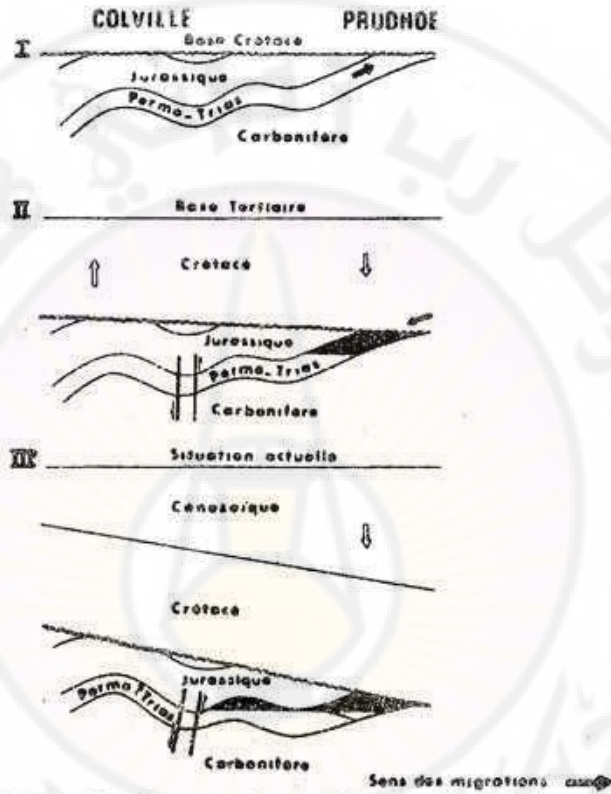
الهجرات بالهبوط : Migration per descensum

يعتقد (1972) Chapman أن الفحوم الهيدروجينية المتشكلة في التوضعات التجاوزية تميل غالباً إلى الهجرة باتجاه الأسفل ضمن حدود انتقال ضعيفة، مغذية بذلك المصائد الطبقيّة ، وبخاصة الارصفة ذات الانتشار الكبير في هذا النوع من الأقاليم المستقرة •

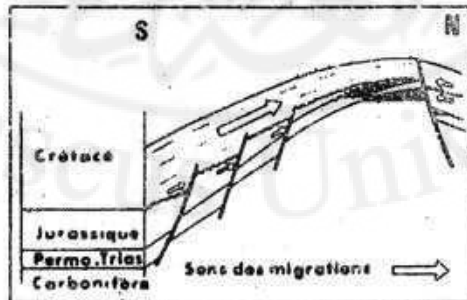
مثال : الهجرة بالهبوط في حقل Prudhoe Bay في ألاسكا •

دلت نتائج المضاهاة الجيوكيميائية في حقل Prudhoe على أن زيوت الصخور الخازنة العائدة للكربوني والبيرمو - ترياس قد أتت من الغضاربات العائدة للكريتاسي الأسفل ، والمتوضعة بتجاوز فوق الرسوبات المحتوتة اعتباراً من الكربوني وحتى الكريتاسي الأسفل (شكل ٥٣ ، ٥٤) وتكون الصخور المشبعة بالزيت في هذا الحقل على اتصال مباشر مع الصخور الأم ، أو تتغذى منها عن طريق الفوالق • أما التغذية الرئيسية فهي تأتي من صخور أخرى تقع على أعماق ٥٠٠٠ م ، ضمن مقمرات مجاورة لهذا الحقل • وتكرر هذه الأنواع من الهجرة أيضاً في الكريتاسي العلوي في حوض السيرت بليبيا ، وفي غرب تكساس •

هذا ويرجع هذا النوع من الهجرات عندما تلعب الصخور الأم التجاوزية دور الغطاء ، بالإضافة لكونها صخوراً أمّاً ، أي عندما يكون ضغط الدخول فيها



(شكل ٥٣) : اتجاه الهجرات المفدية لحقل Prudhoe Bay في السكا اعتبارا من الكريتاسي



(شكل ٥٤) : مقطع لحقل Prudhoe bay في السكا يظهر اتجاه الهجرات (Jones & Speess , 1976)

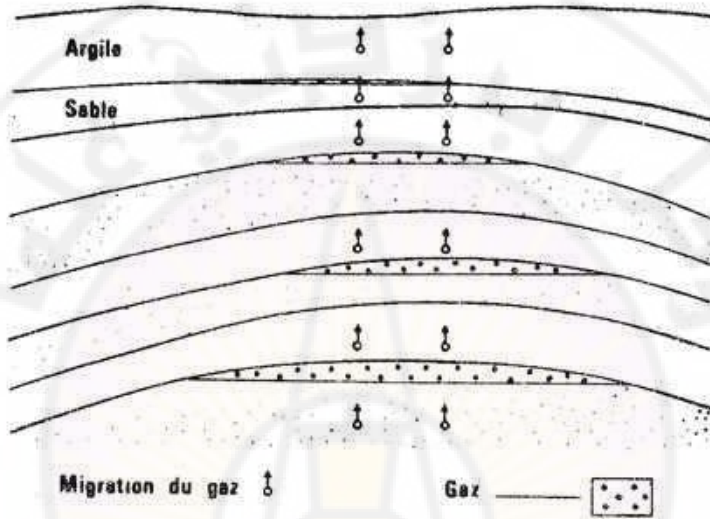
مرتفعاً . كما أن الهجرة باتجاه الأسفل تزداد عندما تتواجد سطوح تعرية ذات منامية عالية .

الهجرات بالارتقاء Migration per ascensum

تحدث هذه الهجرات عبر الغطاءات المتطبقة على طول امتداد التكررات والتشققات . وفي هذا النوع من الهجرات فإن الفوالق والمناطق المصدعة المرافقة لها هي التي تقوم بتصريف الفحوم الهيدروجينية . إلا أنه وكما هو معروف فإن للفوالق دوراً مزدوجاً في الهجرة ، فهي تشكل أحياناً مسارات لا تتقال الزيوت والغازات ، وبخاصة عندما تكون حديثة التشكل ، وتقف أحياناً مانعاً في حركة الفحوم الهيدروجينية عندما تكون مغلقة . وغالباً ما تكون الفوالق سبباً في تبثر الفحوم الهيدروجينية وظهور الدلائل السطحية . والمثال المعروف عن الهجرات العمودية هو إقليم أقدام الجبال « foot hills » في العراق وإيران حيث تبين أن زيوت هذه الحقول الهائلة كانت قد أتت من الصخور الكريتاسية (Young et al, 1977) بالارتقاء .

وفي حال غياب الفوالق فإن مناطق الضعف في الغطاءات هي التي تشكل نقاط هروب الفحوم الهيدروجينية ، وذلك عندما يكون ضغط الدخول فيها أدنى من الضغط الذي يؤثر به المائع ، وهذا ما يحدث في سقوف التجمعات النفطية .

هذا وتزداد قدرة الفحوم الهيدروجينية على الهجرة بالارتقاء كلما كانت هذه الفحوم أخف ، وبالتالي فإن هذا النوع من الهجرات ينطبق بشكل خاص على الغازات . وتزداد هذه القدرة أيضاً كلما كان ضغط الدخول في الطبقات الكثيمة (المغطية) أضعف . كذلك فإن للخصائص البتروفيزيائية للغطاءات دوراً رئيسياً في حركة الفحوم الهيدروجينية . وبما أن قدرة هذه الغطاءات على حجز الفحوم الهيدروجينية تعتمد على درجة تراصها ، فإن هذه القدرة ستزداد مع زيادة العمق . فالسويات ذات الأعماق القليلة لا تحجز سوى أعمدة صغيرة من الزيت والغاز (شكل ٥٥) .



(شكل ٥٥) : الهجرات العمودية عبر الفطئات الفضارية
(Neglia , 1979)

وحسب هذا النوع من الهجرات ، فإنه يمكن أن نجد فقوفاً هيدروجينية خفيفة أو غازات في الطبقات العليا وزيوفاً في الأجزاء العميقة . أي أننا سنجد توزيعاً عمودياً للفحوم الهيدروجينية مخالفاً لتوزيع هذه الفحوم حسب نشأتها ، باستثناء الغازات المبكرة في التشكل . وغالباً ما تصادف السويات المشبعة في الصخور الخازنة الأقرب إلى الصخور الأم ، وذلك في حالة كونها مغطاة بشكل جيد . أما الصخور الخازنة الواقعة في الأعلى وغير المغذاة فتشكل طبقات مائية ذات محتوى قليل بالفحوم الهيدروجينية الغازية .

أخيراً ومهما كانت اتجاهات الهجرات ، خطية أو عمودية ، فإن هذه الهجرات غالباً ما تتجمع لتقدم نمطاً متداخلاً . فالتجميعات الأولية للفحوم الهيدروجينية تحدث نتيجة الهجرات الخطية ، ومن ثم فإن الخلل الذي يحصل في بعض غطاءات المكامن المحدبة يؤدي إلى هجرات عمودية واصطياد بالتمايز ضمن

هذا الاطار . وهذا هو الحال في حوض الليزي الجزائري ، حيث هاجر الزيت أولاً بشكل أفقي ضمن التشكيلات الديفونية ومن ثم باتجاه شاقولي بواسطة القوالب من الديفوني العلوي إلى الفحمي . كذلك في حوض الكونغو الملحي (شكل ٤٦) حيث تمت الهجرات حسب المخطط التالي :

- هجرات شاقولية عبر الكريتاسي الأسفل عن طريق الفجوات الموجودة في الغطاء الملحي العائد للأبسيان .
- هجرات خطية تحت الفضاريات العائدة للكريتاسي الأعلى باتجاه طرف الحوض حيث تتكشف تشكيلات هامة من الرمال البيتومية .

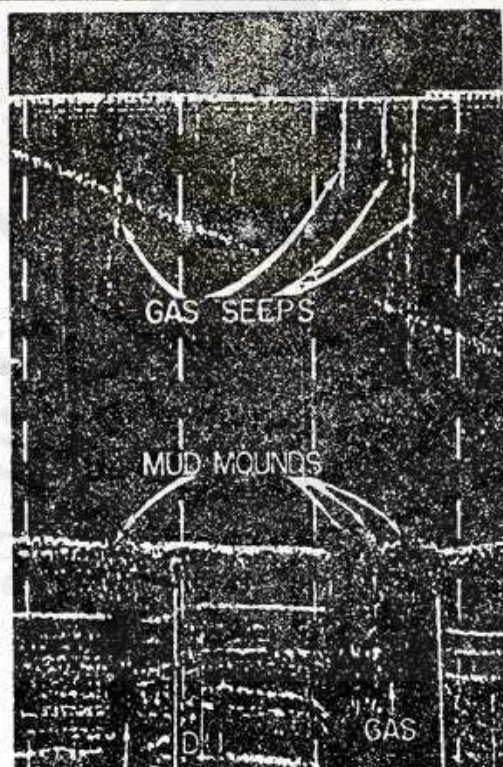
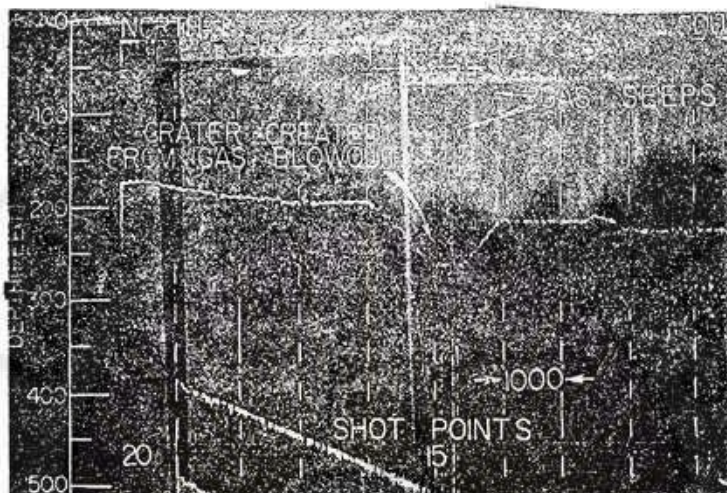
د - الهجرات التبعثرية والدلائل السطحية : Dismigrations - Indices de surface

تشكل الهجرات التبعثرية للفحوم الهيدروجينية عندما تصل إلى السطح تكشفات للزيت والغاز ، أو ما يسمى بالدلائل السطحية . ويمكن دراسة هذه الدلائل من وجهتي نظر مختلفتين :

- كيميائية : وترتبط بفساد وتخرب هذه الفحوم .
- جيولوجية : وتتعلق بتفسير هذه الظواهر في مجال الاستكشاف .

١ - الفساد والتخرب

تتعرض الفحوم الهيدروجينية في الأوساط المؤكسدة إلى حوادث الفساد والتخرب . وتؤدي هذه الحوادث إلى فقدان الأجزاء الخفيفة منها . (ولا سيما الغازات) في الغلاف الجوي . وهناك مناطق كثيرة معروفة بتسرباتها الغازية . وفي بعض هذه المناطق تحترق هذه الغازات بشكل طبيعي مشكلة ألسنة من اللهب دائمة الاشتعال كما في بعض مناطق الحوض الميزوبوتامي . ويمكن ملاحظة حوادث الهروب هذه بشكل أسهل في الأوساط المائية ، كما يمكن تحديد بعضها على المقاطع الإهتزازية (شكل ٥٦) .



(شكل ٥٦) : مقاطع اهتزازية تظهر الهجرات التبهرية للغاز من قيمان البحار

أما النواتج السائلة فهي تتخرب لتعطي بالأكسدة والبلعمة نواتج ثقيلة ولزجة أو صلبة وذات لون أسود ولها القدرة على مقاومة العوامل الجوية لفترات زمنية معينة . وتعتبر الكائنات الدقيقة والبكتريات العامل الرئيسي في تخرب واهتراء الفحوم الهيدروجينية السائلة . حيث تقوم البكتريات بشكل خاص بنزع الألكانات النظامية والفحوم الهيدروجينية غير الحلقية (بريستان ، نبتان ، ..) وتحطيم بنات أخرى من المركبات النفطية المشبعة .

٢ - المفهوم الجيولوجي للدلائل السطحية

يلعب الإطار الجيولوجي الذي تتواجد فيه الدلائل السطحية دوراً هاماً في تفسير هذه الدلائل . وبشكل عام فإن الفائدة المنشودة من الدلائل السطحية والمغذاة عن طريق الهجرات الخطية ضعيفة مقابل الدلائل السطحية الناتجة عن تغذية شاقولية بواسطة الفوالق أو التشققات ، وبخاصة في مناطق المجدبات حيث تدل هذه الشواهد غالباً على تجمعات نفطية في الأجزاء العميقة (perrodon, 1966) .

كما أن العثور على دلائل حية (أي المغذاة بشكل دائم) في الآبار يمكن أن يفسر إما باختراق البئر لتجمع نفطي ، أو لوقوعه ضمن مسار هجرة الفحوم الهيدروجينية .

وعدا عن هذه الاحتمالات فإن تفسيرات الدلائل السطحية وحتى الحية منها تبقى في حدود الفرضيات . حيث أن تواجد الدلائل هو بدون شك المؤشر على نشأة الفحوم الهيدروجينية أو تواجدها ضمن الحوض الرسوبي . إلا أن هذه الدلائل لا تقدم أية معلومات عن كميات الفحوم الهيدروجينية الموجودة في هذا الحوض .

٢ - مفاهيم الاصطياد والمصاد

تعمل الهجرات الثانوية على نقل الفحوم الهيدروجينية إلى المناطق ذات الضغط المنخفض والحرارة الأدنى . وهذا ما يؤدي إلى تحولات فيزيائية هامة يحصل بعضها إلى تجمع واصطياد الفحوم الهيدروجينية . وهذا ما يحدث بالنسبة للغاز الموجود على شكل محاليل في الطبقات المائية عندما يصادف هيدرات الميثان في درجات حرارة منخفضة ، حيث تزداد درجة انحلال الغاز ضمن ضغوط معينة ، مما يؤدي إلى نقصان في درجة التوازن بين هيدرات الميثان والغازات المنحلة . وهذا الانخفاض يؤدي بدوره إلى تحرر كميات من الغاز المنحل في الطبقات المائية مشكلا بذلك تجمعات هامة من الغاز الجاف كما هو في مناطق سيبريا في الاتحاد السوفيتي .

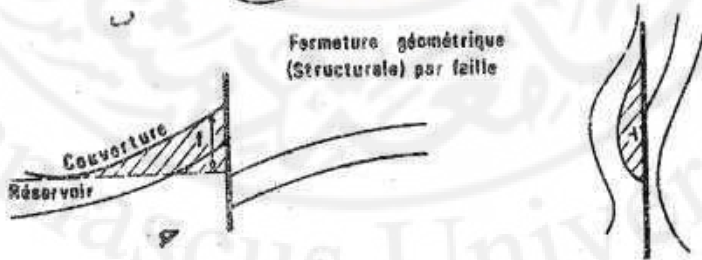
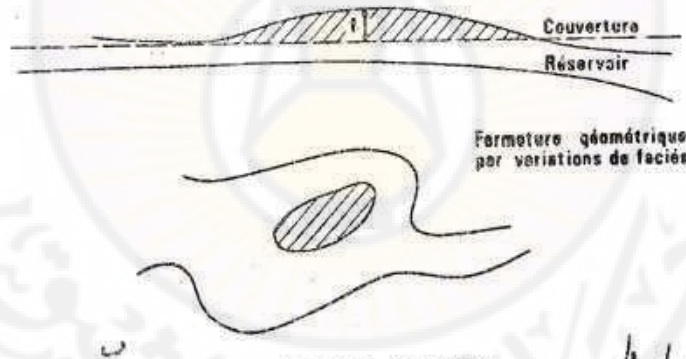
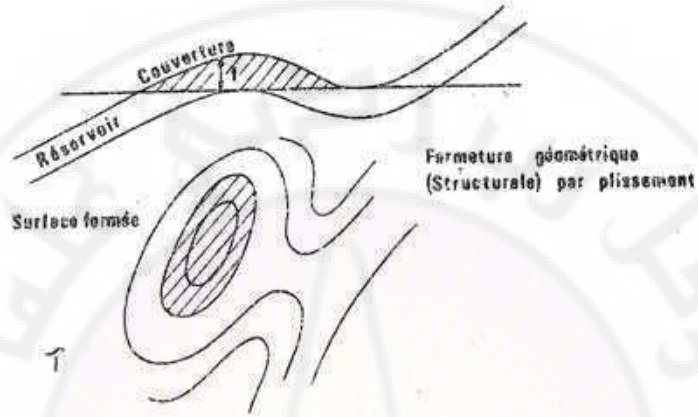
إلا أن العوامل الرئيسية في الاصطياد تعود لأسباب جيوميتريّة ودينامية .

٢ - مفهوم الاغلاق والاصطياد Notion de fermeture et de piégeage

يقال عن بنية بأنها مغلقة وتشكل مصيدة عندما يحد هذه البنية حاجز يجبر الفحوم الهيدروجينية على التجمع في أجزاء العليا منها . ويتحقق هذا الحاجز بوجود سطح ذي تعقير نحو الأسفل لنطاء أو لتشكيلات ذات ضغط دخول مرتفع . فالمصيدة (piège) تسمح إذن بتجمع الزيت والغاز في الجزء العلوي منها وتشكل في هذه الحالة مكثفاً (gisement) ويكون السطح السفلي لتجمع الفحوم الهيدروجينية على شكل مستوى أفقي يفصل بين هذه الفحوم والطبقة المائية ، ويسمى بالمستوى المائي (Plan deau) .

هذا ويجب أن يؤخذ مفهوم الاغلاق من وجهتي النظر الجيوميتريّة (البنوية) والدينامية .

— فمن الوجهة البنوية : يتشكل الاغلاق من السطح المقعر باتجاه الأسفل



(شكل ٧٥) : الإغلاقات البنيوية .

أ - إغلاق بنيوي بواسطة الطي .

ب - إغلاق جيوميترى بسبب تغيرات السمكيات .

ج - إغلاق جيوميترى (بنيوي) بسبب الفوالق .

للطبقة المشكلة للغطاء • ومن الناحية الجيولوجية فإن هذا يتوافق :

ـ إما مع السطح المطوي على شكل قبة أو محدب لتشكيلة طبقيّة عادية (حالة مصيدة بنيوية) (شكل ٥٧) •

ـ أو مع السطح الغير مستمر لسحنات مختلفة ويقابل توضعات خاصة تشكل شواذاً في الترسيب كالأرصنة المشادة (حالة مصيدة ليتولوجية طبقية) •

ـ أو نتيجة التقاء الظاهرتين السابقتين معاً ، وفي هذه الحالة فإن الإغلاق الحقيقي لمكمن مايمكن أن يكون أكبر من الإغلاق الذي تحدده الطرق الاهتزازية التي تميل لمتابعة سطح لتوضعات مستمرة •

وفي المحدثات المصدعة بالفوالق فإن الفوالق يمكن أن تشارك أو ألا تشارك في الإغلاق وذلك تبعاً لدرجة عزلها (شكل ٥٨) •



(شكل ٥٨) : الإغلاق في المحدثات المصدعة بالفوالق

أ - حالة محدب مقطوع بفائق غير كتيم •

ب - حالة محدب مقطوع بفائق كتيم •

— ومن المواجهة الدينامية •

يجب اعتبار الإغلاق حاجزاً يمنع هجرة الفحوم الهيدروجينية • أي مرور الزيوت والغازات من أوساط مسامية ونفوذ إلى سحنات ذات بنية فاعمة وضغط دخول أعلى من الضغط الخارجي الذي تؤثر به الموائع المهاجرة • كما أن خصائص هذا الحاجز ترتبط بخصائص الموائع وبشكل خاص بأبعاد جزيئاتها •

وهكذا يمكن تمييز نوعين من الإغلاقات :

— اغلاقات على علاقة بهجرة الفحوم الهيدروجينية بشكل عمودي على الطبقات المطوية في المحلب •

— اغلاقات على علاقة بهجرة الفحوم الهيدروجينية بشكل مواز للطبقات • وإلى هذا النوع يمكن أن نضيف الاغلاقات بواسطة الفوالق التي توافق حركات غير موازية للتطبيق •

ويقابل النوع الأول الإغلاقات المحلبة في مصائد الطي • وهي الأكثر انتشاراً والأكثر فعالية ، حيث أنه لا بد وأن يتواجد في هذا النوع من المصائد سويات غطائية ذات ضغط داخلي كاف لوقف حركة الفحوم الهيدروجينية • أما النوع الثاني فهو يميز المصائد غير المحلبة الطبقيّة أو الفالقية ، وهي أقل فعالية وترتبط بالإطار الهيدرودينامي أو الجيوميكانيكي للمصيدة ، حيث يتكون الحاجز في هذه الحالة من الضغط الداخلي للسويات الطبقيّة ، أو للتشققات التي تقطع الصخر الخازن • ويكفي أن يتواجد سيرير حطامي واحد أو شق ذو ضغط داخلي منخفض ليزيل الإغلاق ويسمح للزيت والغاز بالمرور عبر الصخر • أي أنه يمكن لكافة العوامل الخارجية من تدرجات هيدرودينامية أو انضغاط أن يكون لها دور هام في تحقيق الإغلاق أو إزالته •

وهكذا نرى أن الاغلاقات ، كما في الغطاءات ، تبدو فعالة تجاه بعض الموائع وعديمة الفعالية تجاه موائع أخرى ، وذلك تحت ضغوط وحرارات معينة ، وبالتالي فهناك علاقة بين ما يدخل وما يخرج من المصيدة من فحوم هيدروجينية . وتمتلئ المصيدة بالفحوم الهيدروجينية عندما تكون كمية التغذية مساوية لما تفقده هذه المصيدة من هذه الفحوم بسبب الهجرات . وبالتالي فإن موقع المصيدة ضمن الحوض وخصائص هذا الحوض ستحدد امتلاء أو جفاف هذه المصيدة . وضمن هذه المعطيات فإنه يمكن الإعتقاد بأن المناطق التي هي طور الانخفاض لها حظ أوفر في احتوائها على المصائد وبالتالي على الفحوم الهيدروجينية ، أكثر من المناطق ذات النهوض الحديث .

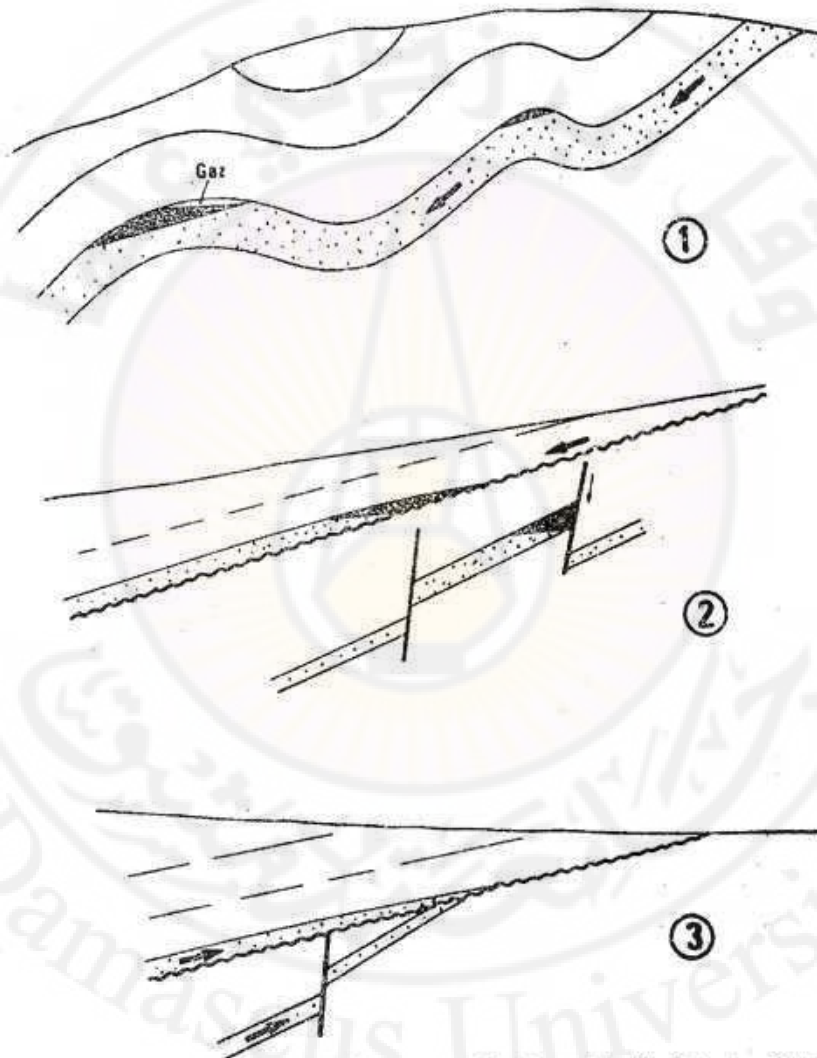
وفي هذا الإطار من ديناميك السوائل فإن للطبقات المحتوية على الماء وللهدروديناميزم دوراً ذا أهمية خاصة .

— الاغلاقات والهيدروديناميزم —

عندما لا يتم اصطياد الفحوم الهيدروجينية بفعل الطي فإن التدرج الهيدرودينامي الموازي للطبقات أو للمستويات الفالقية سيكون أيضاً موازياً لإتجاهات هجرة الفحوم الهيدروجينية المفضلة وسيكون له تأثير هام على فعالية الغطاءات . فإذا كان هذا التدرج يماكس في اتجاهه سيؤثر الفحوم الهيدروجينية فإنه سيعيق هجرتها ويدعم الإغلاق . أما في الحالة العاكسة فإنه سيقبل من فعل الاغلاق أو يزيل تأثيره (شكل ٥٩) .

أما في حالة حصول الاصطياد بفعل الطي (شكل ٦٠) فإن التدرج الهيدرودينامي الموازي للطبقات سيعمل على دفع التجمعات النفطية خطياً ، بحيث يكون المستوى الأمثل لها (أو المستوى المائي) مائلاً ، وذلك حسب علاقة

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{dh}{dx} \cdot \frac{dw}{dw - dh} \quad : \text{Hubert (1953)}$$



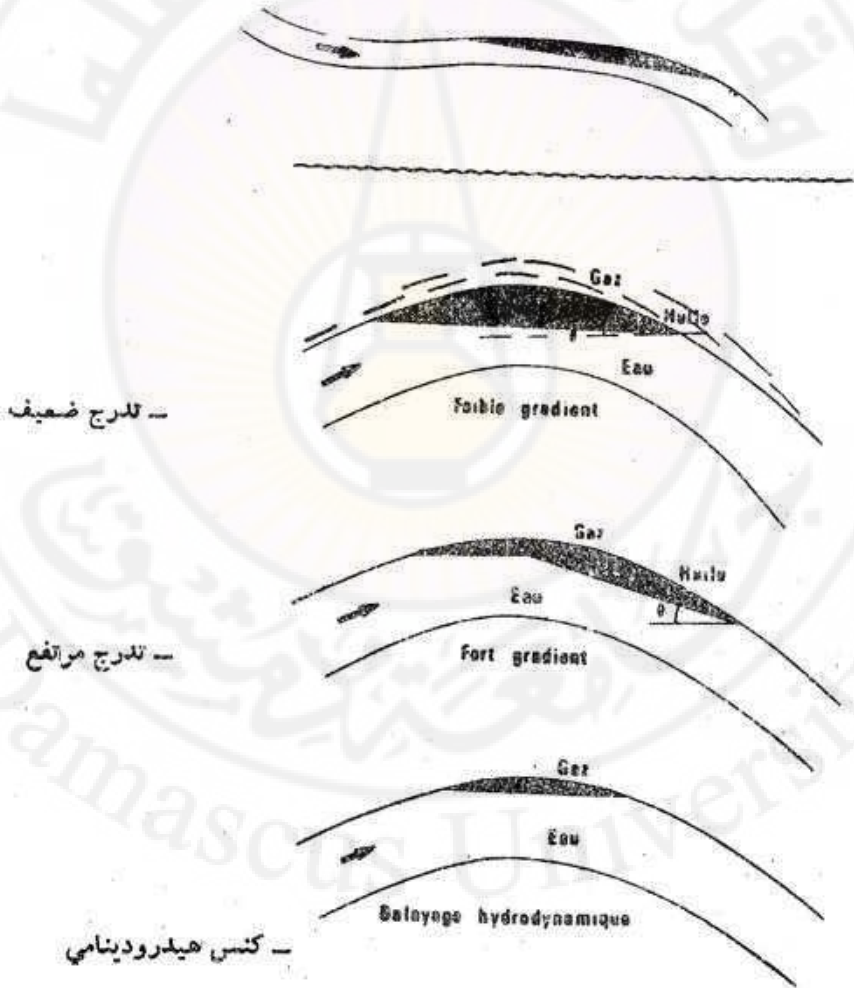
(شكل ٥٩) : تأثير التدرجات الهيدرو ديناميكية في مناطق مطوية على التفرقات الطبقيّة والأجنحة الفالقية الصالحة أو غير الصالحة لتجمع الفخوم الهيدروجينية

حيث : $0 =$ الزاوية بين مستوى الماء - زيت والمستوى الأفقي .

dh/dx : الميل الهيدروليكي

dw : كثافة الماء

dh : كثافة الفحوم الهيدروجينية .



(شكل ٦٠) : اصطياذ الفحوم الهيدروجينية في محاذب وفي تقبب بسيط

ومن هذه العلاقة يتبين أن ميل المستوى المائي « tilt » يزداد بازدياد التدرج الهيدرودينامي ، وعندما يصل هذا التدرج إلى حدود معينة فإنه يطرد الزيت خارج المصيدة ، ونقول في هذه الحالة بأنه تمت عملية غسل للمصيدة . وفي الواقع فإن التجمع المائل أو المتنقل على سحافة المصذب حالة انتقالية تحقق استقراراً أو توازناً بين الضغط الهيدروستاتيكي الذي يسود المصيدة وبين خروج الزيت منها .

ومن ناحية أخرى فإن علاقة Hubert توضح أن ميل المستوى المائي يزداد شدة كلما كانت كثافة الماء والزيت أكثر تقارباً وقرية من الواحد . وهذا يعني نظرياً أنه لا يمكن حدوث فصل بين مائعين إذا تقاربت كثافتهما نظراً لتوقف تأثير دافعة أرخميدس . وكذلك فإن تطبيق هذه العلاقة يفترض أن الوسط متجانس النغذية ، وأن الزيت يبقى في الحالة السائلة .

ب - مفاهيم الإغلاق العملي (الفعال) fermeture pratique

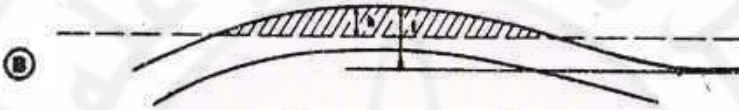
نميز في مفهوم الإغلاق بين الإغلاق النظري والإغلاق العملي أو ما يعرف بالارتفاع المشبع بالفلوم الهيدروجينية (شكل ٦١) .

١ - الإغلاق النظري أو البنيوي (٤) ويساوي فرق الارتفاع بين قمة المصيدة ومنحنى التسوية المغلق الذي يمثل المستوى الأكثر انخفاضاً في المصيدة . ويقاس من المعطيات الجيولوجية (البنيوية) التي يتم الحصول عليها من الطرق الاهتزازية أو من الآبار . وتسمح معرفة قيمة هذا الإغلاق بتقدير الإحتياطي الذي يؤمل وجوده في المصيدة .

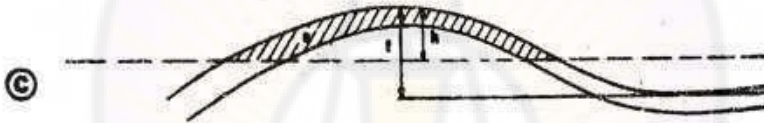
٢ - الإغلاق العملي أو الفعال (h) ويساوي فرق الارتفاع بين قمة المستوى الخازن والمستوى الفاصل بين الزيت والماء أو الغاز والماء . فهو يعبر عن الارتفاع الحقيقي المشبع بالفلوم الهيدروجينية في حجم مغلق من المصيدة . ويمكن لهذا الارتفاع أن يختلف عن الإغلاق البنيوي ، حيث أن ارتفاع مجموعة من الطبقات الغازية



الارتفاع المشبع يساوي الإغلاق البنيوي - معامل الامتلاء يساوي الواحد



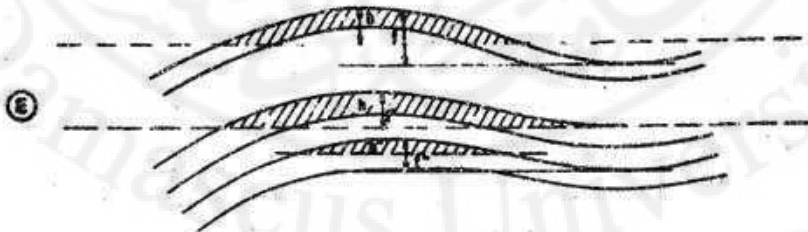
الارتفاع المشبع اقل من الإغلاق البنيوي - معامل الامتلاء اصغر من الواحد



الارتفاع المشبع اقل من الإغلاق البنيوي وسماكة الطبقة الخازنة ادنى من الارتفاع المشبع



يمكن متعدد المويجات مع سوية مائية واحدة - الارتفاع المشبع يساوي الإغلاق البنيوي



يمكن متعدد السويات مع وجود عدة سويات مائية - الارتفاع المشبع الكلي اكبر من الإغلاق البنيوي الاكثر قيمة

(شكل ٦١) : أمثلة عن الاطلاقات المختلفة

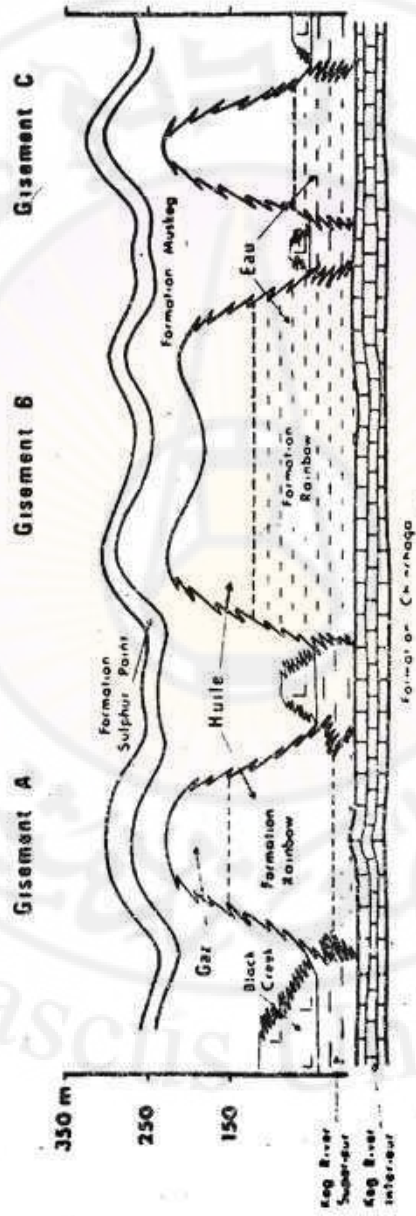
المشعبة والمنفصلة عن بعضها بغطاءات متعددة وذات مستويات مائية مختلفة يمكن أن يفوق الاغلاق البنيوي . أما إذا كان مستوى الماء واحداً بالنسبة لمجموعة الطبقات المشعبة ، فإن الاغلاق العملي سيقى أدنى من الاغلاق البنيوي أو مساوياً له في أفضل الحالات (شكل ٦١ D, E) .

ويبقى مفهوم الاغلاق غير واضح في حالة الاصطياد بواسطة الفالق، وذلك بسبب عدم القدرة على تحديد الفالق بشكل دقيق من ناحية ، وبسبب كون عدم نفوذية الفالق مرتبطة بشروط الممكن وخاصة بضغط الطبقة من ناحية أخرى . وغالباً ما يقتصر الإغلاق الحقيقي في المحدثات المصدعة بالفوالق على سوية الفالق فقط ، وخاصة عندما تكون هذه الفوالق عكسية (transverses) ، أو حديثة التشكل (شكل ٥٨) .

معامل الإمتلاء Le coefficient de remplissage

تحدد العلاقة بين الارتفاع المشبع والاعلاق البنيوي معامل امتلاء الصيدة . ويساوي هذا المعامل الواحد عندما يتساوى الإغلاقات . إلا أنه يكون عادة أقل من الواحد في الحالات الأخرى . ويمكن أن يتجاوز في قيمته الواحد في حالات خاصة تضاف فيها ظواهر طبقية إلى المعطيات البنيوية .

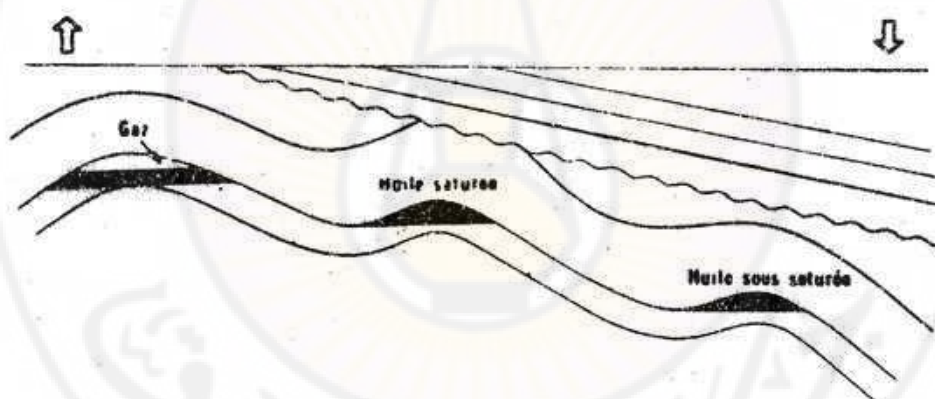
وبشكل عام يكون معامل الامتلاء عالياً في المناطق الغنية وضعيفاً في المناطق الفقيرة . فهو إذن على علاقة مباشرة بتدفق الفحوم الهيدروجينية التي تغذي المصيدة وتركها في آن واحد عبر الغطاء . وتتحدد التغذية بحجم واغتناء الصخور الأم المجاورة وبحجم المصيدة ذاتها . وتشكل أرصفة منطقة Rainbow - zama مثلاً جيداً على معامل الامتلاء المحدد بالعلاقة بين حجم المصيدة وتدفق التغذية (شكل ٦٢) حيث يختلف حجم المصائد في هذه الأرصفة حسب طريقة إشادة الرصيف ، في حين تبقى كمية الفحوم الهيدروجينية المتوفرة لتغذية المصائد ثابتة، مما يؤدي إلى إرتفاعات مختلفة للزيت وبالتالي إلى معاملات امتلاء متباينة .



(شكل ٦٢) : مقطع لكاس ارسفة Rainbow - zama في البيرتا يظهر اختلافات توزيع سطوح الزيت - غاز والزيت - ماء . (Langton & Chin, 1968)

أما حوادث الهروب عبر الغطاءات فهي تساعد على فقدان القموم الهيدروجينية الخفيفة والغازات ، وبالتالي فإن ما يتبقى في المصيدة سيكون مؤلفاً على الأغلب من مركبات ثقيلة .

كذلك فإن معامل الامتلاء سيتأثر باختلاف الحرارة والضغط ، وهو على علاقة بحدوث التمهوض أو الانخفاض التي تتعرض لها الموائع . فحدوث الانخفاض يؤدي إلى زيادة حجم الغاز المنحل ، بينما تؤدي حوادث التمهوض إلى تشكيل القبعات الغازية ورفع معامل امتلاء المكمن (شكل ٦٣) .



(شكل ٦٣) : توزيع الزيت والغاز بالعلاقة مع الضغط والاعماق المختلفة

(Levorsen , 1954)

ج - مفاهيم المكمن والإحتياطي والحقل :

يعود مفهوم المصيدة (piège) والحجم المفلق إلى مفهوم المكمن (gisement) والمكمن هو مصيدة يكون فيها الحجم المفلق مملوءاً بشكل جزئي أو كلي بالقموم الهيدروجينية . ويشكل الزيت المحبوز في هذا الحجم المفلق إحتياطي المكمن (réserve) . ويمكن حساب هذا الحجم بشكل تقريبي إذا ما عرفنا حجم الفراغات المملوءة بالقموم الهيدروجينية . فإذا اعتبرنا V هو

الحجم المشبع من الصخر ، ϕ مسامية الصخر الخازن ، sw درجة تشبع الصخر بالماء غير القابل للاستخلاص، فإن الاحتياطي أو مخزون المكن يعطى بالعلاقة التالية :

$$R = V \times \phi (1 - sw)$$

وقبل معرفة الحجم المشبع بالصخور الهيدروجينية يمكن تقدير إمكانية المصيدة أو الاحتياطي المكن أن تحتويه، وذلك باستخدام العلاقة السابقة وحسب الإطار النفطي للمصيدة يمكن وضع فرضيات لمعامل الامتلاء . إن هذه المرحلة ضرورية لتقدير الفائدة الاقتصادية للمصيدة المكتشفة .

أما الاحتياطي الذي يعرف عن طريق الآبار فيشكل الاحتياطي المؤكد ويسمى بالمخزون (réserve prouvée) ، وعند استثمار المكن فإنه لا يمكن استثمار الاحتياطي بشكل كلي وإنما يستثمر بشكل جزئي . وتختلف نسبة الاحتياطي القابل للاستثمار بالنسبة للزيت من ٢٥٪ بشكل متوسط إلى ٥٠٪ في أفضل الحالات ، وذلك تبعاً لخصائص الصخر الخازن (مسامية - نفذية - ضغط) ، وخصائص الموائع (لزوجة الصخور الهيدروجينية - نظام الطبقة المائية) . أما معامل استخلاص الغاز فهو في حدود ٨٠٪ .

وتحسب الكميات القابلة للاستثمار بالعلاقة :

$$Rr = R \times FR \times FV$$

حيث : FR : معامل الاستثمار

FV : معامل الحجم الذي يرتبط بـ (Gaz Oil Ratio) G.O.R

Rr : الاحتياطي القابل للاستثمار (Reservoir récupérable)

وأخيراً فالحقل (Champ « field ») هو عبارة عن مكن أو مجموعة من

المكانن عائدة إلى نفس الوحدة الجيولوجية (سويات مختلفة لمحدب ، ترقمات جانبية) •

خلاصة ونتيجة

تنتقل الفحوم الهيدروجينية ، التي تكون عموماً في حالة مائعة ضمن الصخور الحاملة للماء تحت تأثير دافعة أرخميدس وتسير هذه الهجرة الثانوية التي تحدث على شكل عروق زيتية السويات الخازنة أو الشقوق وذلك بشكل مواز أو غير مواز للطبقات • وإذا لم تعترض هجرة الزيت أو الغاز حواجز تعيق من حركتها ، فإن هذه الفحوم الهيدروجينية ستصل إلى السطح لتضيع بعد أن تعطي دلائل سطحية • وفي الحالة العكسية فإن هذه الفحوم تتجمع في الأعماق مشكلة المكانن والحقول النفطية •



الفصل الثاني

الانواع الرئيسية للمصائد والمكامن

Principaux types de pièges et de gisements

مقدمة

يتضح من المفاهيم السابقة أن هناك نوعين من المصائد والمكامن النفطية : مصائد أولية وترتبط بالهجرات الأولية للفحوم الهيدروجينية ، ومصائد ثانوية تغذى عن طريق الهجرات الثانوية . وحسب نوعية هذه المصائد يمكن توجيه أعمال التنقيب والاستثمار . وضمن هذا الإطار يمكن أن نميز بين الأنواع التالية من المصائد :

- المصائد الليتولوجية : وتشكل من الصخر الخازن حيث يمكن تسميتها مصيدة - صخر خازن كما هو بالنسبة للأرصقة أو التجمعات الرملية .
- المصائد الطبقيّة : وتشكل نتيجة حوادث الترسيب أو لأسباب باليوجرافية، كما هو بالنسبة للترققات الطبقيّة (biseaux) أو لعدم التوافقات الرئيسية (discordances) .
- المصائد البنيوية : وترتبط بتشوهات الطبقات المعاصرة للترسيب (synsédimentaires) أو اللاحقة له (postérieures) وتكون على شكل طيات (plis) أو كتل فالقية .

وسنأتى في هذا الفصل على دراسة النوعين الرئيسيين المتعارف عليهما في تصنيف المصائد وهما :

— المصائد البنيوية

— المصائد الطبقة

هذا بالإضافة إلى نوع ثالث يمكن أن يعرف بالمصائد الأخرى التي لا تصنف بالضرورة ضمن إحدى المجموعتين السابقتين ، والتي تحتوي أحيانا على كميات هامة من الفجوم الهيدروجينية • وسنأتي أيضاً على ذكر أمثلة معروفة لهذه الأنواع المختلفة من المصائد •

وفي الواقع فإن العوامل البنيوية والطبقية والعوامل الأخرى غالباً ما تؤثر في وقت واحد أو تتراكب لتعطي مصائد معقدة أو مختلفة (mixtes) يصعب إسنادها من حيث المنشأ لعامل أو لآخر •

أما بالنسبة لتوزيع هذه المصائد فقد بينت الدراسات الإحصائية أن المصائد البنيوية وبخاصة المحدثات هي الأكثر انتشاراً في العالم • ولقد دلت الدراسة الإحصائية التي أجريت على ٤٥ حقلاً هائلاً (ذات الاحتياطي الذي يزيد على ٧٠ مليون طن من الزيت أو ما يعادلها من الغاز) في أمريكا الشمالية ، والدراسة الإحصائية التي أجريت على ٣٠٦ حقل رئيسي (١٤ مليون طن من الزيت أو ما يعادلها من الغاز) في الولايات المتحدة الأمريكية على أن توزيع نسب هذه المصائد كالتالي :

الولايات المتحدة	أمريكا الشمالية	
(الحقول الرئيسية)	(الحقول الهائلة)	
٧٨٪	٤٩٪	مصائد بنيوية
١١٪	٣١٪	مصائد طبقية
١١٪	٢٠٪	مصائد مختلطة

ويسود الاختلاف بين هاتين المجموعتين إلى الحجم الكبير الذي تشغله مكامن الأرضة الكندية • وإذا ما أخذنا بعين الإعتبار الدراسة الإحصائية التي اعتمدت

على ٢٦٦ حقل هائل في العالم فاننا نجد أن المصائد البنيوية تشكل ٨٩٪ من المجموع و ١٠٪ فقط هي مصائد طبقية • ويتركّز هذا التوزيع حقول الشرق الأوسط التي تعود بمعظمها للمصائد البنيوية •

١ - المكامن البنيوية

Pièges structuraux

يتحقق الإغلاق في هذه المجموعة من المكامن بفعل عوامل بنيوية (طيات أو فوالق) • وتنقسم إلى نوعين رئيسيين من المصائد ، هما :

— مصائد الطي : حيث يتحقق الإغلاق بالسطح المقعر للحد الناصل بين الصخر الخازن والغطاء •

— مصائد الفوالق : حيث تشكل الفوالق بشكل مباشر أو غير مباشر حواجز للنفوذية •

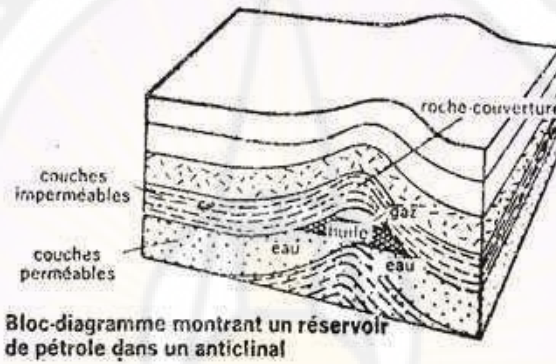
وجرت العادة على إضافة نوع ثالث إلى هذه المصائد يرتبط بانشقاقات (intumescences) الملح والفضار • ويتضمن هذا النوع طيات وإغلاقات تحققها الفوالق أو القباب الناقبة •

— مصائد الطي أو المكامن المدببة *Pièges par plissement ou gisements anticlinaux*

وهي المصائد الأكثر أهمية انتشاراً ، وتشكل الجزء الأعظم من الحقول الهائلة • وتعتبر الأسهل في أعمال الاستكشاف ، سواء بالطرق الجيولوجية السطحية أو بالطرق الإهتزازية •

وتختلف أشكال مصائد الطي من البنيات المبسطة المؤلفة عادة من تقبب

أولي إلى البنيات المعقدة المصدعة بالفوالق أو المخترقة بالملح أو الفضار . هذا وإن أسباب تشكل هذه القباب والمجذبات مختلفة جداً ، وتختلف انطلاقاً من الحركات البسيطة التي تؤدي إلى تشكل النجود (horsts) وحتى التشوهات البنيوية المعقدة . بالإضافة إلى ظواهر رسوبية وطبقية وبخاصة عدم التوافقات التي تزيد من تعقيد البنيات . والشكل ٦٤ يظهر مقطعاً مجسماً لمصيدة محدبة .



(شكل ٦٤) : مقطع مجسم لصخر خازن ضمن مصيدة محدبة

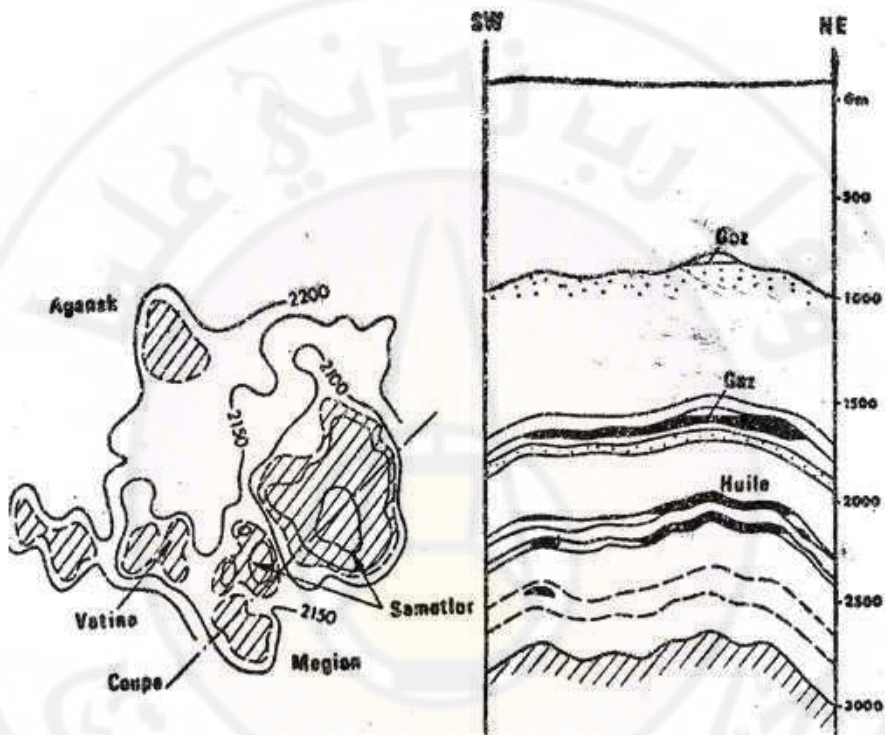
هذا ويمكن دراسة هذا النوع من المصائد بالعلاقة مع تعقيدات البنى حسب مايلي :

- القباب الواسعة
- المجذبات الصندوقية
- المجذبات غير المتجانسة
- المجذبات المترافقة بعدم توافق
- المجذبات الفالقية
- المجذبات الانبثاقية
- طيات الجرف

١ - القباب الواسعة Dômes larges

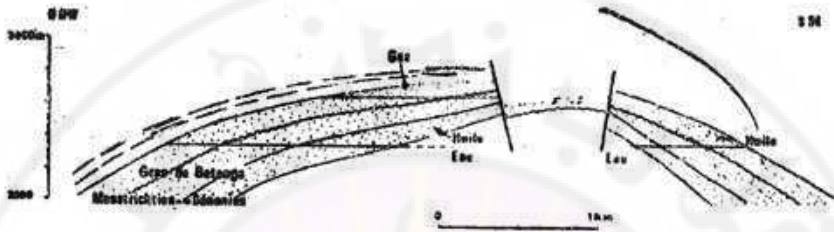
وهي محدبات بسيطة وكثيرة الإلتشار ، وتتألف من تقببات ذات أقطار انحناء كبيرة . وفي بعض حالات هذه المصائد فإن اختلاف سماكة طبقات التشكيلة الرسوبية يمكن أن يؤدي إلى انتقالات تؤدي بدورها إلى إنحراف في موقع المناطق المغلقة مع العمق . وهكذا فإن اكتشاف هذه المصائد يتطلب معرفة جيدة بالسويات الخزانة وإلى استخدام الطرق الاهتزازية الدقيقة . وتعتبر حقول غرار وبرغان الهائلة في المنطقة العربية أمثلة جيدة عن هذه القباب الواسعة ، كذلك حقل Samotlor في شرق سيبيريا في الإتحاد السوفيتي (شكل ٦٥) . ويعتبر هذا الحقل من أهم حقول الإتحاد السوفيتي ، ويتواجد في الجزء المركزي من الحوض الواسع الإلتشار والمائد للحقب الثاني في سيبيريا . ويقوم هذا الحقل على قبة واسعة حيث تتواجد الركيزة على عمق ٣٠٠٠ م . وتشكل المصيدة من محدب ذي قطر انحناء كبير . وتتألف الصخور الخزانة فيه من صخور رملية كريتاسية متوزعة في سبعة مستويات تبلغ سماكتها الإجمالية ٦٠٠ م ، وتقع بين أعماق ١٥٠٠ - ٢١٠٠ م . وتقابل هذه السويات توضعات بلاتفورمية بحرية قليلة العمق تصل نفوذيتها إلى ٥٠٠ ميللي دارسي ، ويبلغ ارتفاع عمود الزيت فيها ٥٠ م . ويتحقق الغطاء بوجود ٤٠ م من الغضاريات . والمعدل الوسطي للإنتاج البئر الواحدة في هذا الحقل هو ١١٤ طن يومياً . هذا وقد بلغ إنتاج هذا الحقل عام (١٩٧٨) ١٣٠ مليون طن . أما احتياطي الحقل المؤكد فهو يتراوح بين ١٥ - ٢٢ مليار طن .

هذا ويمكن أن تقابل بعض هذه المحدبات مناطق اقليمية متأثرة بحدوث النقص (cisaillement) ، مما يجعلها تغطي معقدات طبقية وبنوية ، مع بقاء ميولها ضعيفة وفي حدود الدرجات . وتصنف حقول حاسي مسعود وحاسي رميل الواقعة في الصحراء الجزائرية ضمن هذا النوع من البنيات . كذلك حقل Grodin في الغابون المكتشف عام ١٩٧١ (شكل ٦٦) . حيث تتألف المصيدة فيه



(شكل ٦٥) : خارطة ومقطع حقل Samotlor في سيبيريا (Rovnin, 1975)

من محلب مصدع بالقوات ومقطوع في جزئه المركزي بغور (graben) . أما المستويات الخازنة فتألف من صخور رملية عائدة للكامبانيان والماستريخت وتراوح سماكتها الفعالة بين ٢٥ - ٨٠ م ، وتبدي مسامية متوسطة تقدر بحدود ٢٥٪ ، وقموضية تفوق عدة مئات من الميلي دارسي . وتقابل هذه السويات توضعات بحرية لكثبان (cônes) رملية . ويتحقق الغطاء عن طريق الغضاريات العائدة للماستريخت والباليجين . أما الصخور الأم فتعود إلى غضاريات التوروني الغنية بالمادة العضوية . هذا ويبلغ انتاج البئر الواحدة في هذا الحقل ٧٠٠ طن باليوم الواحد . أما الاحتياطي الرئيسي فهو في حدود ٢٨ مليون طن من الزيت الذي تبلغ كثافته ٢٨ API (٠.٨٨) .



(شكل ٦٦) : مقطع في حقل Grodin في الغابون (Vidal, 1979)

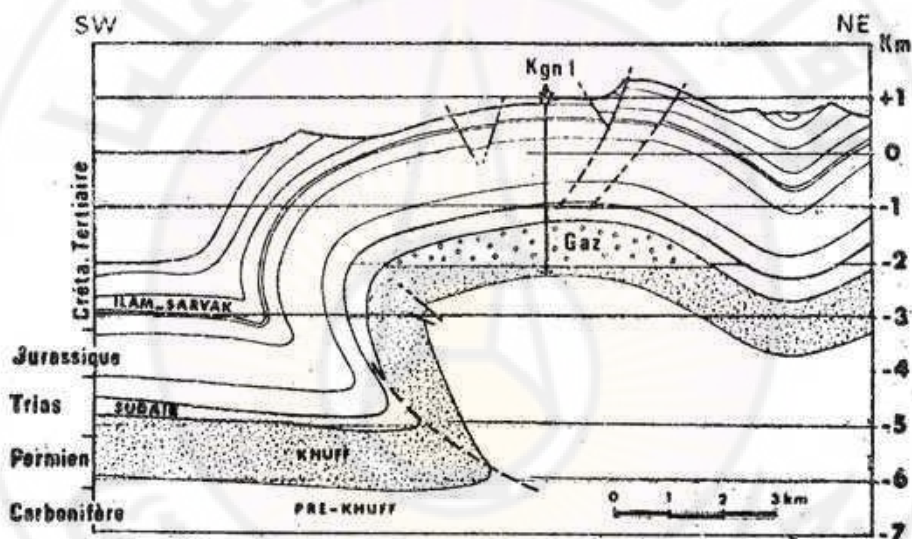
٢ - المصبات الصندوقية Anticlinaux coffrés

تشكل المكدبات ذات الميول الشديدة مصائد ذات أهمية خاصة . وهناك على هذا النوع من المصائد أمثلة هامة وخاصة في مناطق اقدام الجبال « foot - hills » في العراق وإيران وفي كاليفورنيا .

وفي هذا النوع من المصائد يلعب عمر التكتونيك دوراً هاماً . حيث أن طوراً وحيداً من الطي المؤثر في التشكيلات الصالحة لأن تكون مصيدة يولد طيات بسيطة وذات أشكال طبوغرافية مناسبة . وهذا هو الأمر بالنسبة لمكدبات الجزء الجنوبي - الشرقي من أقدام (piedmont) جبال زاغروس في إيران ، حيث تسمح الخصائص الليتولوجية والميكانيكية للتشكيلة الرسوبية البالغة في سماكتها ٧٠٠م والمتدنة من البرمي إلى البليوسين بتواجد طيات ذات أقطار تختلف بين ١٢ - ٢٠ كم بارتفاع يختلف بين ٢ - ٣ كم (Kent, 1972) .

هذا وإن حداثة هذه الطيات (المتشكلة منذ الميوسين وحتى العصر الحالي) تنعكس بالتجانس الكبير بين البنيات والطبوغرافيا ، وبانعدام ظواهر الحث . وبالتالي فإن هندسة هذه البنيات ستكون على شكل مكدبات بسيطة من حيث الارتفاع والامتداد ، ومفصولة عن بعضها بمقررات ضيقة وأكثر تعقيداً . ويعتبر حقل كنجان والحقول المجاورة له (نار ، آغار) في إيران من الأمثلة الجيدة على هذه البنيات . وتتألف هذه الحقول من مكدبات واسعة تمتد بين ٨ - ١٢ كم

بارتفاعات ١٥ - ٣ كم ، وينصل معظمها مجموعة من الاغوار ، وتقطعها فوالق عكسية تقلل من اغلاقاتها . وتحتوي هذه المكدبات على الغاز في تشكيلة الخف الكربوناتيّة العائدة للبرمي والمغطاة بتشكيلات انهدريتيّة (تشكيلة الصدير) (شكل ٦٧) .



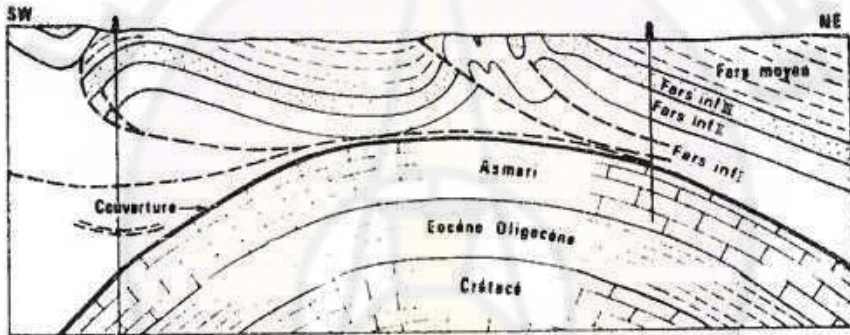
(شكل ٦٧) : مقطع عرضي في حقل خانجان بايران (Reyre , 1975)

٣ - المكدبات غير المتجانسة Anticlinaux disharmoniques

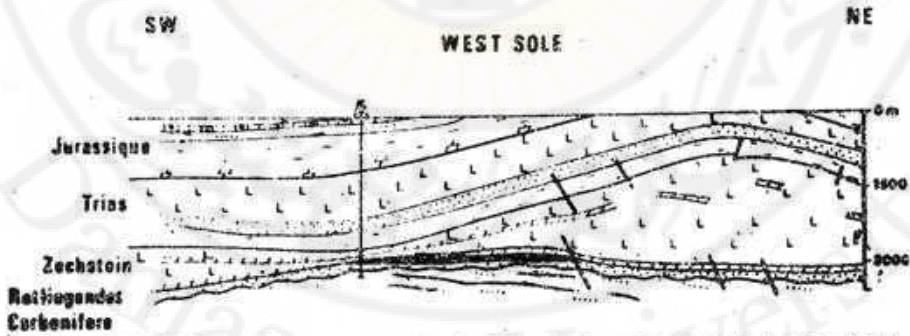
غالبا ما يؤدي الطي الملحي الشديد إلى عدم تجانس بنيوي بين التشكيلات المغطية وبين التشكيلات الواقعة تحتها والتي تشكل الصخور الخازنة والمنتجة . وكمثال على هذا التباين نورد تشكيلة الفارس الملحية الواقعة في أقدام جبال العراق وإيران والتي يؤدي اثنائها إلى انقطاع ميكانيكي ينعكس على شكل عدم تجانس كبير بين التشكيلات العميقة المنتجة والطبقات القريبة من السطح ، مؤدية بذلك إلى الهندسة غير المنتظمة التي تعرف بها هذه المنطقة . إن هذه التعقيدات البنيوية لا تؤدي إلى افتقار هذه الحقول بل على العكس ، حيث أن قوى

الشد (distension) تساعد على هجرة الفحوم الهيدروجينية باتجاه الصخور
المغطية الملحية والغضارية حيث تتراكم وتتجمع .

ومن حقول منطقة الشرق الأوسط هذه نذكر حقل كركوك ذا الاحتياطي
البالغ ٢١٠٠ مليون طن وحقل غاش ساران ذا الاحتياطي البالغ ١٦٠٠ مليون
طن (شكل ٦٨) وحقل West Sole في بحر الشمال (شكل ٦٩) .



(شكل ٦٨) : مقطع عرضي في مكن غاش ساران بايران (British Petroleum, 1956)

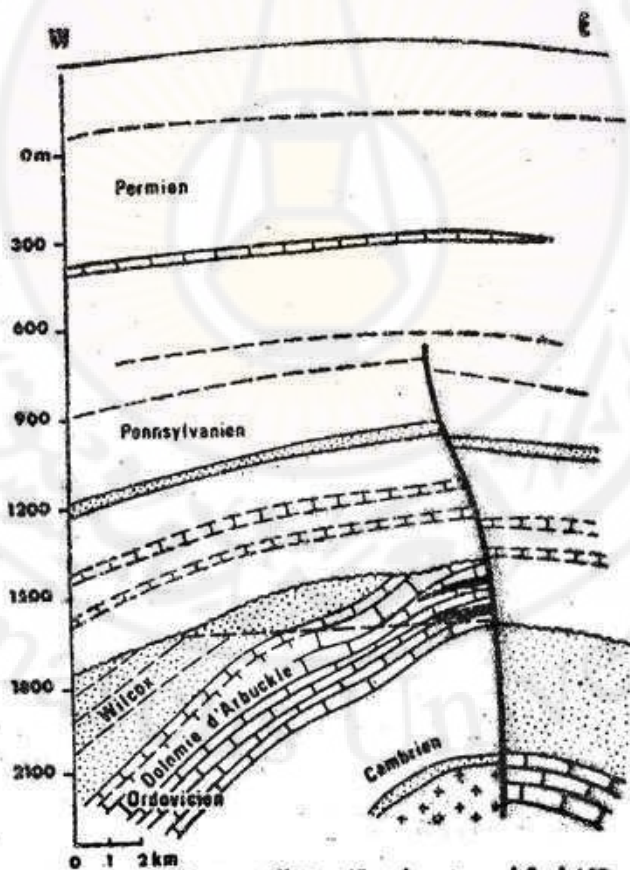


(شكل ٦٩) : مقطع في حقل West Sole في بحر الشمال (Kent & Walsley, 1970)

٤ - الكسبات المترافقة بعدم توافق Anticlinaux avec discordance

تعبّر سطوح عدم التوافق عن التغيرات التي تحدث في المناطق غير الشابة

بنوياً وإنه لمن الطبيعي أن تتميز بعض المناطق المرتفعة وبخاصة القباب ذات أقطار الانحناء الكبيرة ، والتي نهضت بشكل مبكر (Précocement) خلال الترسيب بعدم توافقات محلية . وإذا ما كان الترسيب ملائماً لتوضع تشكيلات مختلفة خازنة وتشكيلات سميكة مغطية ، فإن المواقع المرتفعة والمحاطة بعدم توافقات أو على الأقل بترققات رسوبية ، ستكون ملائمة لتشكل المصائد ، ويستبرحقل Oklahoma City في إقليم Mid - Continent نموذجاً لهذا النوع من المصائد (شكل ٧٠) . ويتألف هذا الحقل من بنية هادئة على السطح وبمرصنة

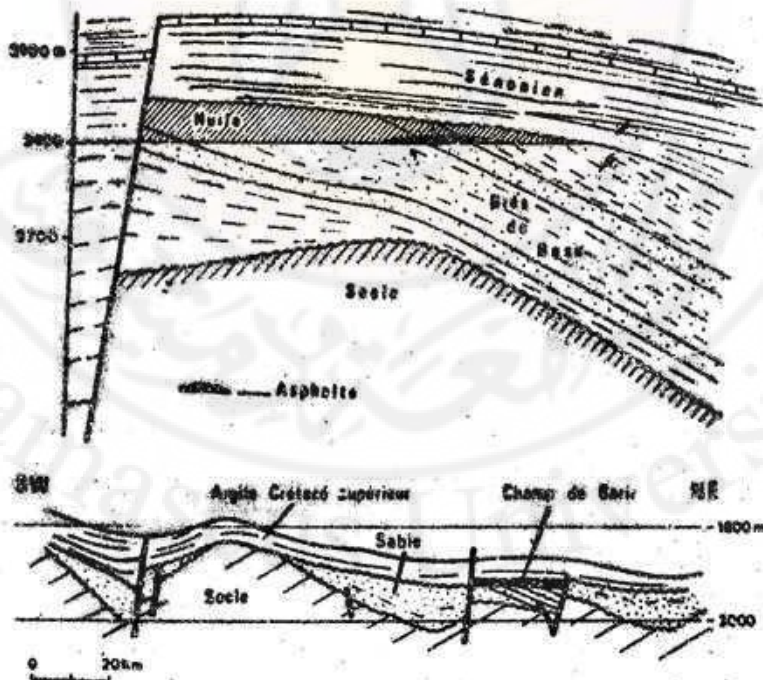


(شكل ٧٠) : مقطع مرضي في حقل Oklahoma City (Gatewood, 1970)

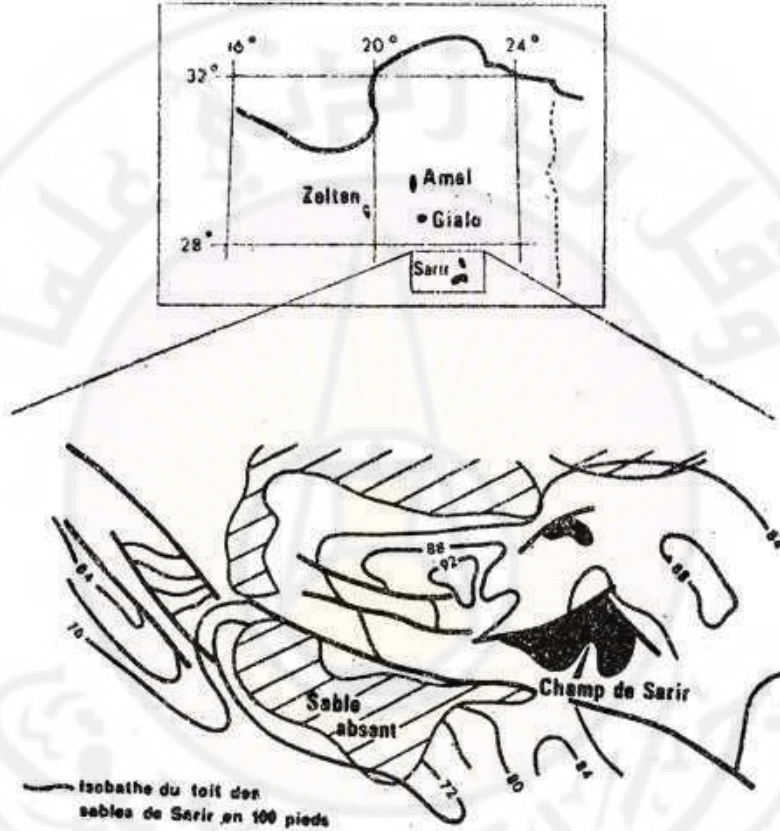
للفوالق في الأعماق ، وتتميز بعدم توافق البنسلفاني مع اليرمي . وتدل التحاليل البنيوية على أن هذا المجلد بدأ في التشكيل اعتباراً من الكامبري ، ثم تعرض لاثثناء شديد بعد الأوردوفيسي ، واكمل تشكله بعد اليرمي . وتتألف الصخور الخزانة فيه من دولوميا الأوردوفيسي المنتجة من مركز البنية ، ومن الضخود الرملية لمجموعة wilcox المنتجة .

كذلك فإن حقل سرير في ليبا يشل المحدثات المتأثرة بالفوالق تحت سطح عدم التوافق (شكل ٧١ و ٧٢) ويبلغ احتياطي هذا الحقل ١١٠٠ مليون طن .

أما حقل حاسي مسمود في الجزائر المنتج من الكامبري المحتوت والمغطى بالترياسي المتجاوز فهو يوضح نوعاً آخر من المحدثات الواقعة تحت سطح

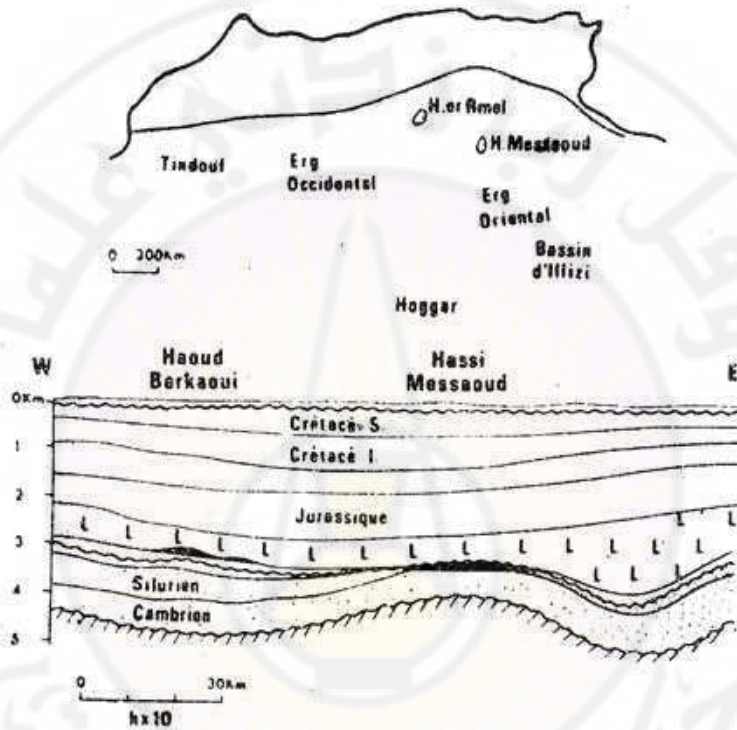


(شكل ٧١) : مناطق لحقل سرير في ليبا



(شكل ٧٢) : خارطة لحقل سرير في ليبيا (Gillespie , 1967)

عدم التوافق (شكل ٧٣) • وفي هذا الحقل فإن النفط الخفيف ($d = 0.80$) كان قد تشكل في التوضعات الغضارية الغنية بالمادة العضوية في المقعرات السيلوزية المجاورة • وهاجر هذا النفط من الصخر الأم تحت تأثير حمل رسوبات الحقب الثاني (mésozoïque) التي بلغت سماكتها ٣٠٠٠ م (Balducchi , 1970) •

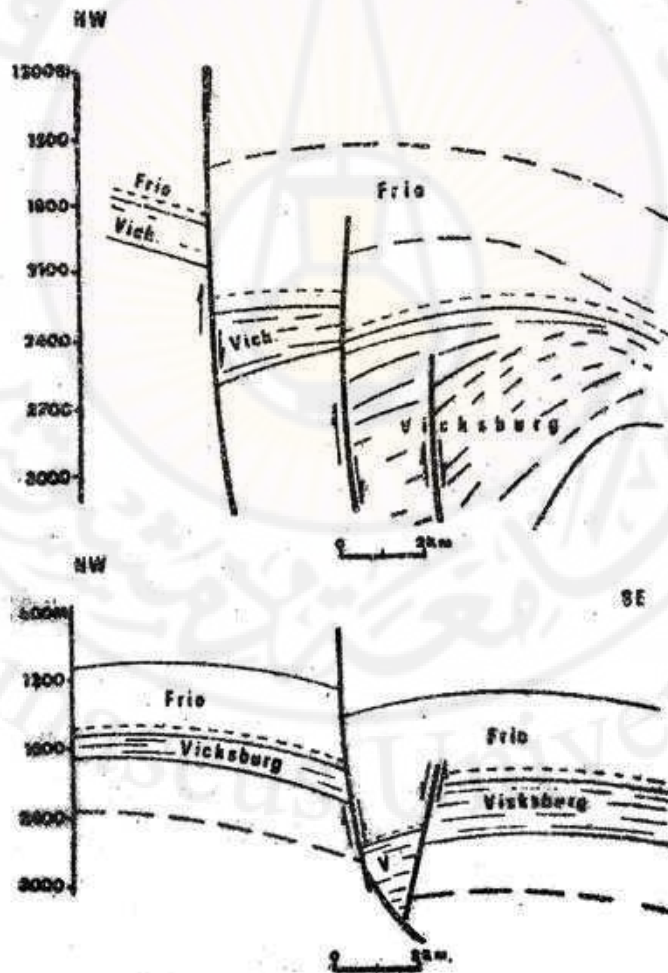


(شكل ٧٣) : مقطع يمر من حقلي : بركاوي وحاسي مسعود في الجزائر
(Bladucchi & Pommier, 1970)

٩ - الحجابات الفالقية Amiclinaux faillées

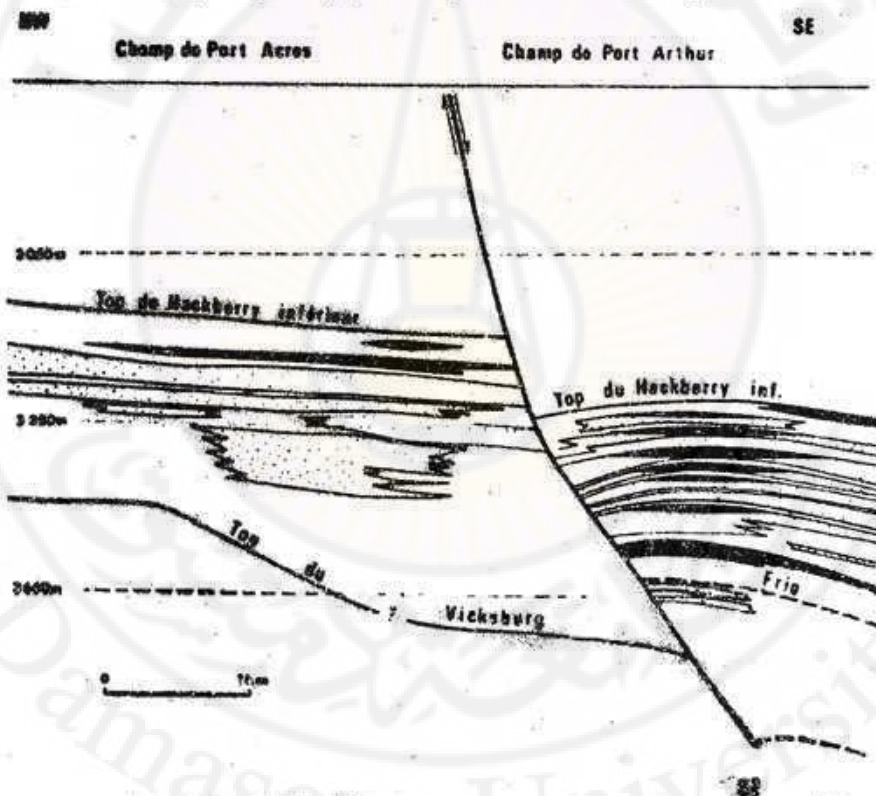
من النادر أن يكون المحذب واضحاً دون أن تكون قشرته الخارجية مصدعة بالفوالق . وهذا ما يؤدي إلى تشكل مصائد تلعب فيها الفوالق دوراً ثانوياً بالمقارنة مع الدور الرئيسي الذي يلعبه التحذب نفسه في تحديد الإغلاق . ويمكن أن ندخل ضمن هذا المفهوم محذبات التعويض « Roll over » المحاطة بالفوالق المعاصرة للترسيب والتي تميز الأقاليم النفطية الدلتاوية .

ويعتبر حقل Vicksburg في تكساس مثالا نموذجيا لهذه المصائد المرتبطة بالفوالق المعاصرة للترسيب في أطراف الحوض ، وبالتوزيع الإقليمي للسحوبات وتتألف مصائد مجموعة مكامن هذا الحقل ، الموجودة في الأجنحة الهابطة من الفوالق ، من محددات التعويض بشكل رئيسي ، ومن فوالق تعويض ثانوية تراافق الفالق الرئيسي الكبير محددة بذلك أغواراً صغيرة . وفي هذه الحالة الأخيرة تتواجد المناطق المنخفضة في الأجنحة المرتفعة (شكل ٧٤) . أما الفوالق



الرئيسية المعاصرة للترسيب فقد نشطت خلال عصري الأوليغوسين والميوسين العلوي، وامتدت إلى سويات أكثر حداثة . والخلل الأكثر أهمية ضمن هذه المجموعة هو مكن Tom o'Connor الحاوي على ٧٠ مليون طن من الزيت و ٣٠ مليار م^٣ من الغاز موزعة ضمن خمس عشرة سوية رملية (Stanley, 1970) .

كذلك مكن غاز Port Arthur في تكساس (شكل ٧٥) المؤلف من طية



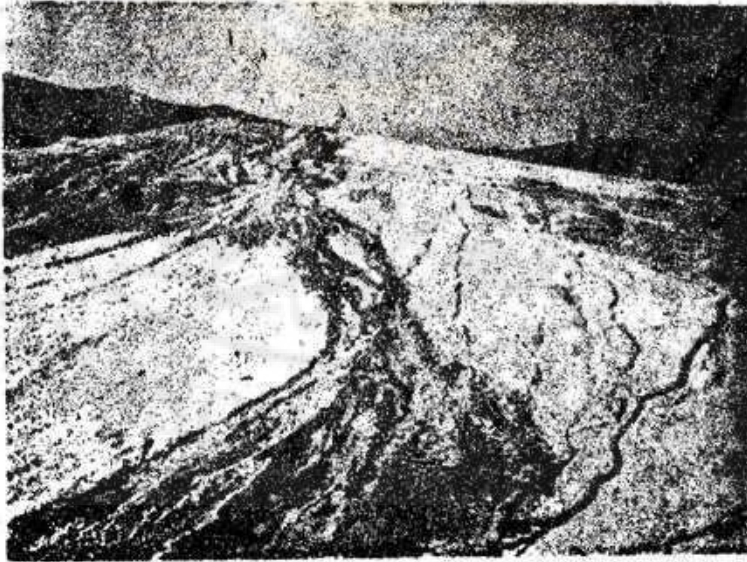
(شكل ٧٥) : مقطع بحر في حقول Port Acres و Port Arthur في تكساس (Halbouty , Barber , 1972)

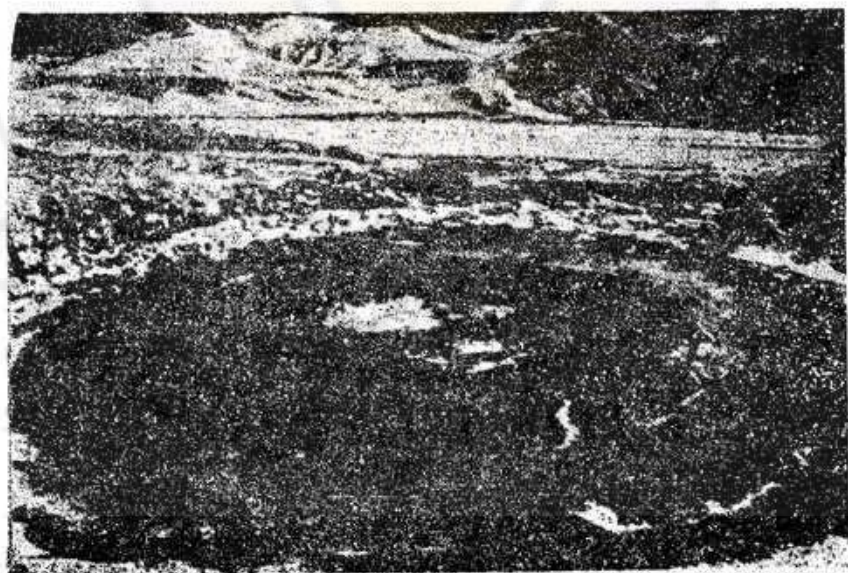
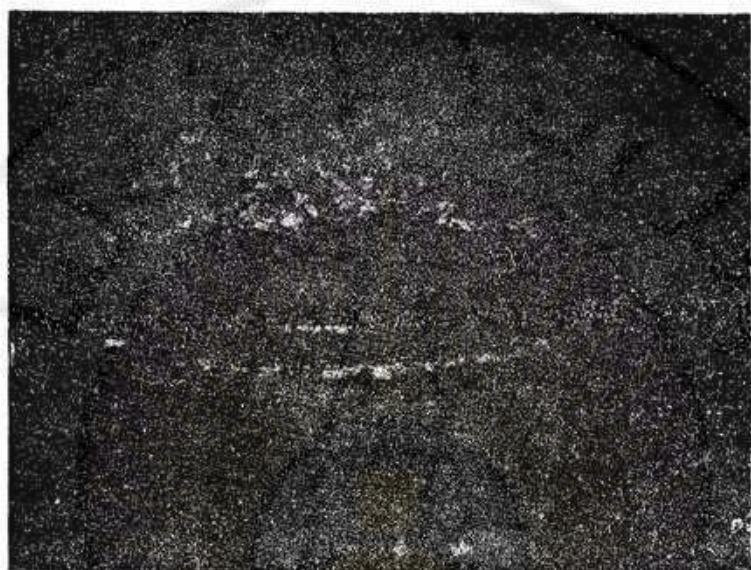
(شكل ٧٦) : مقطع لبحر Vicksburg في تكساس توضع لزيادة سماكة الأجنحة والمطببات الجشكة في الجزء الأسفل من الفالق والاعلاقات في الفوالق المتعكسة (Stanley, 1970)

محدبة في الجناح الهابط لفاالق هلاللي (faille de croissance) وفي هذا الممكن تتألف الصخور الخازنة من مجموعة من الأجسام الرملية المائدة لمصر الأوليفوسين (تمسيلة Frio) والواقعة في جسم دلتا قديمة .

٦ - المحدبات الانبثاقية Anticlinaux diapiriques

يؤدي إقتران تأثير الفوالق (غير المغلقة) وتأثير الملح أو الغضاريات الشديدة التراص (Sous - compactées) في الأعماق إلى نشوء محدبات ذات نوى انبثاقية تأخذ أشكال البراكين الوحلية في الحالة الأخيرة (شكل ٧٦) . وفي حوض Ploesti في رومانيا يوجد العديد من المكامن ذات البنيات الانبثاقية ، حيث يلاحظ في هذا الحوض المعرض للطبي الشديد كافة الأشكال الانتقالية لهذه البنيات ، والتي ترتبط بشكل رئيسي بقباب الملح . وسنأتي على دراسة هذا النوع من المصائد عند دراستنا لمصائد القباب الملحية .





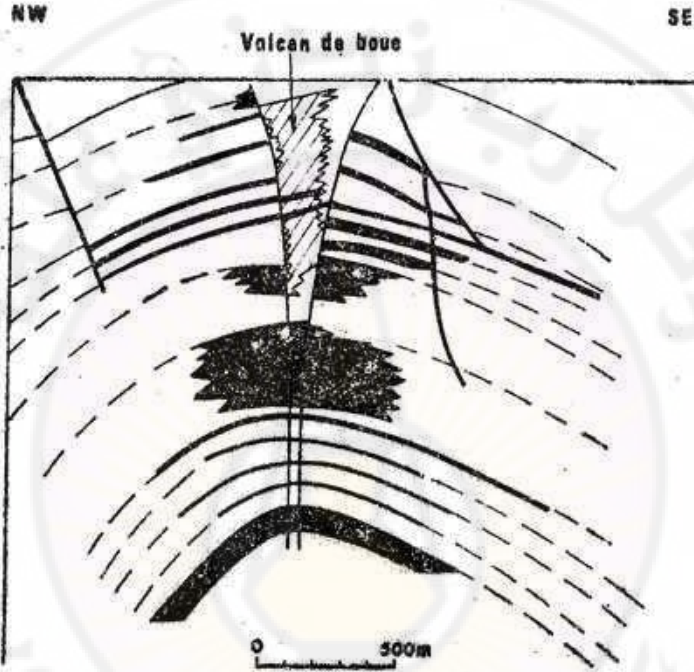


(شكل ٧٦) : البراكين الوحلية المشكلة بسبب الهجرات التبعرية للفحوم الهيدروجينية الغازية

أما مكان من منطقة باكو في الإتحاد السوفيتي فهي تتصف بهذا النوع من المكدبات الصندوقية ذات النوى الغضارية المنبثقة • ويعتبر حقل Bibi - Eibat مثالا نموذجياً لهذه البنيات (شكل ٧٧) حيث يتألف هذا الحقل من محدب يحتوي على سبع عشرة سوية رملية منتجة •

٧ - طيات الجرف Anticlinaux chevauchants

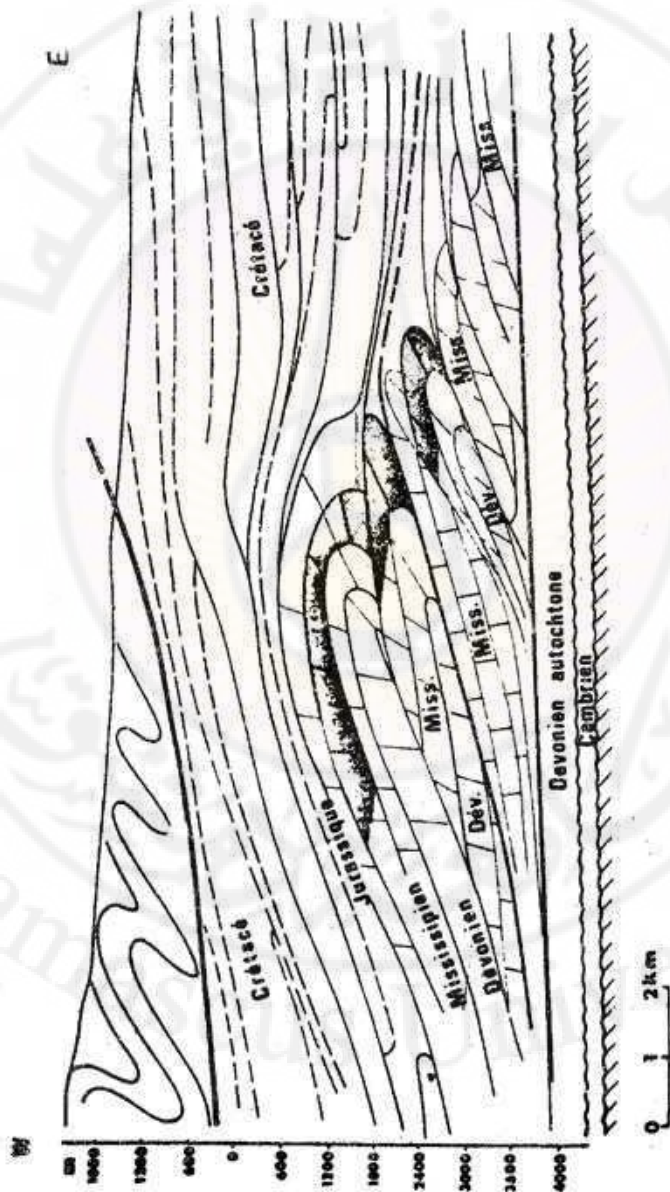
يعتبر حقل الغاز Waterton في ألبريا مثالا يوضح هذا النوع من المكدبات الواقعة في مناطق التكتونيك التماسي (tangentielle) • ويقع هذا الحقل في أطراف الجرف الذي يصيب الصخور الكندية قرب حدود الولايات المتحدة الأمريكية • وتتألف المصيدة فيه من تكدس لقشرات تتجه نحو الشمال الشرقي،



(شكل ٧٧) : مقطع في حقل Bibi - Eibat , URSS

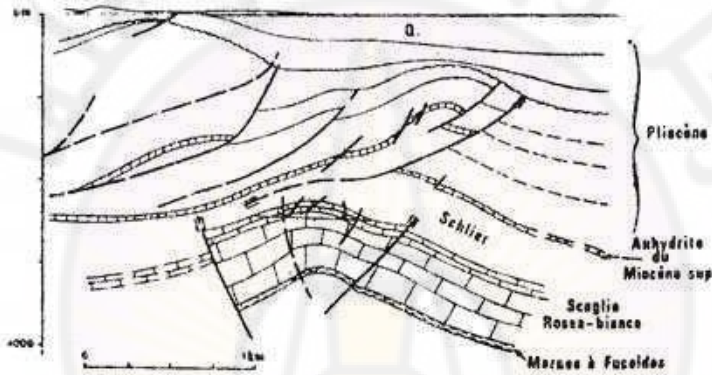
وتفوح نحو الجنوب الغربي بسيل ٣٠ مشكلة في المستوى مقطعا اهليلجيا لمحدب
 ذا ابعاد ٨×٤٠ كم (شكل ٧٨) . وتتألف الصخور الغازنة في هذه المصينة
 من صخور كربونانية كتلية مدلتة جزئيا من عمر الديفوني . وتبلغ مسامية هذه
 الصخور ٦٪ . أما هوديتها فهي ضعيفة (١ ميللي دارسي) ، إلا أن هذا الصخور
 مشققة وتسمح بتدفق للغازات في حدود ٣ مليون م^٣ في اليوم .

كذلك فان حقل ساقنا ماريا الواقع على شواطئ البحر الادرياتيكي
 في جنوب انكوة في ايطاليا ، يتألف من محدب فالقي يعلوه حراشف تبيل نحو



(شكل ٧٨) : مقطع في حقل Waterton (البرتا) في جهة الغرب (المؤتمر الجيولوجي الدولي الرابع والعشرون)

الشرق (شكل ٧٩) • أما الصخر الخازن فهو يتمثل بكالكارينيت وبريش كلسي
عائد للكريتاسي العلوي - إوسين ، وهو ذو مسامية في حدود ١٥٪ وتوذية ١٠
ميللي دارسي •



(شكل ٧٩) : مقطع في حقل Santa - Maria

في ايطاليا (P) SNEA

أخيراً فإن الشكل (٨٠) يوضح صوراً لهندسة وحركات بعض المحدثات
والشواهد على تشوهاتها البنيوية •

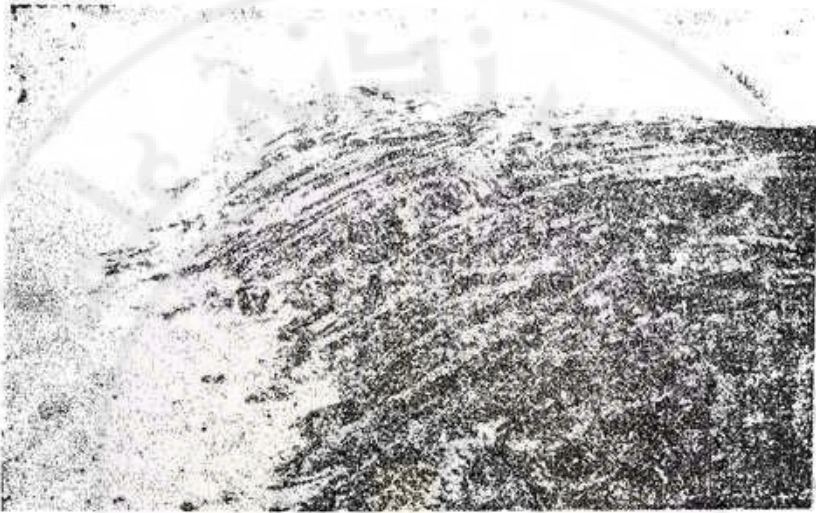
(شكل ٨٠) : هندسة وحركة المجدبات - شواهد التشوه البنيوي



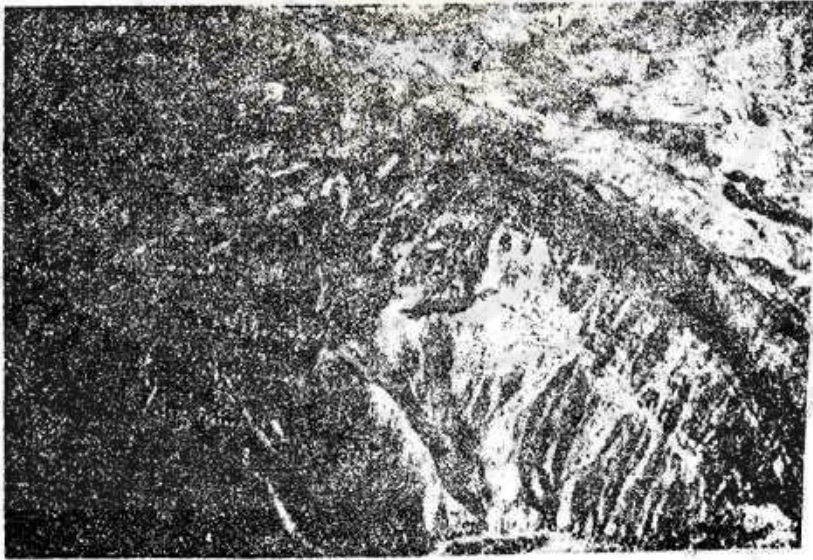
أ - مجذب صندوقي Althar في زاغروس (كلس الأسمرى)



ب - تجزئات شبه عمودية في كلس داريان في زاغروس



ح - محذب سريمة في زاغروس (كلس الاسمري)



د - شقوق طولانية في تشكيلات الفليش في منطقة الباسك (فرنسا)

ب - المصائد الفالقية Pièges par failles

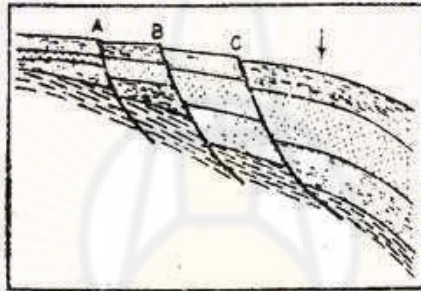
تشكل الفوالق الناتجة عن الحركات العمودية أو الانزياحات الأفقية (décrochements) حواجز تمنع من هجرة الفحوم الهيدروجينية وتعمل على اصطيادها وذلك ضمن شروط معينة . إلا أن الفوالق تساعد في شروط أخرى على هجرة وتبعثر هذه الفحوم . وتختلف درجة حجز الفالق للفحوم الهيدروجينية تبعاً للإطار الجيولوجي والهيدروديناميكي والنفطي للمنطقة المصدعة .

وبشكل عام فإن الفوالق الحديثة التشكل ، أو تلك التي أعيد نشاطها هي فوالق نفوذة . إلا أنه مع الزمن ، وبالثبت النسبي للمنطقة ، فإن السوائل الجارية والمحملة بالاملاح تعمل على ترسيب أملاحها على شكل فلزات تلحم وتغلق مستوى الفالق . لكن العامل الأكثر أهمية في تحديد دور الفالق في الانغلاق هي الطبيعة الليتولوجية للطبقات المتقابلة بفعل الفالق . فعندما تتوضع تشكيلة غضارية كثيفة مقابل تشكيلة خازنة رملية مثلاً فإن هذه الصخور الخازنة ستكون مغلقة . كذلك فإن نسبة الرمال والفضار يمكن أن تكون مؤشراً على وضع احتمالات لدرجة غلق الفالق . فالفضار اللدن يميل دوماً إلى الاحتقان في مستوى الفالق وغلقه ، كما هو الوضع في الأحواض العائدة للحقب الثالث ذات التشكيلات الغضارية اللدنة السميكة . وفي هذه المعطيات فإن الضغوط السائدة تلعب دوراً أساسياً في غلق الفالق . ففي الأعماق التي تكون فيها الضغوط مرتفعة فإن الموائع ستمر عبر مستوى الفالق . أما في جوار الصخور الخازنة ذات الضغط المنخفض فإن ضغط الموائع سيقبل ، ويصبح بالتالي غير كاف للتغلب على ضغط الدخول في مستوى الفالق مما يجعل من الفالق حاجزاً للنفاذية .

أما التدرجات الهيدرودينامية فيمكن لها أن تعميق أو تساعد في الهجرات ، وذلك حسب كونها متوافقة أو متعاكسة في الاتجاه مع حركة الفحوم الهيدروجينية .

أخيرا فان درجة غلق الفالق تعتمد على طبيعة وسيولة الفحوم الهيدروجينية .
ففي نيجيريا مثلا نجد أن نفس الفوالق تكون نفوذة بالنسبة للغازات وغير نفوذة
بالنسبة للزيوت .

كذلك فان تدرج الفوالق له تأثير هام . وهذا ما نلاحظه في الاقاليم الدلتاوية .
ففي حوض Gulf coast تشكل الفوالق الهلالية المعاصرة للترسيب (شكل
٨١) .



(شكل ٨١) : فوالق التعويض أو الفوالق المعاصرة للترسيب (Gulf coast)
(in Perrodon 1966)

ممرات للهجرة ، بينما تشكل فوالق التعويض اللاحقة للترسيب حواجز
للهجرة . وفي هذه الحالة الأخيرة فان المناطق المنتجة مستمع في الاجزاء المرتفعة كما
رأينا في حقل Vicksburg (شكل ٧٤) .

هذا وتواجد المصائد الفالقية بشكل خاص :

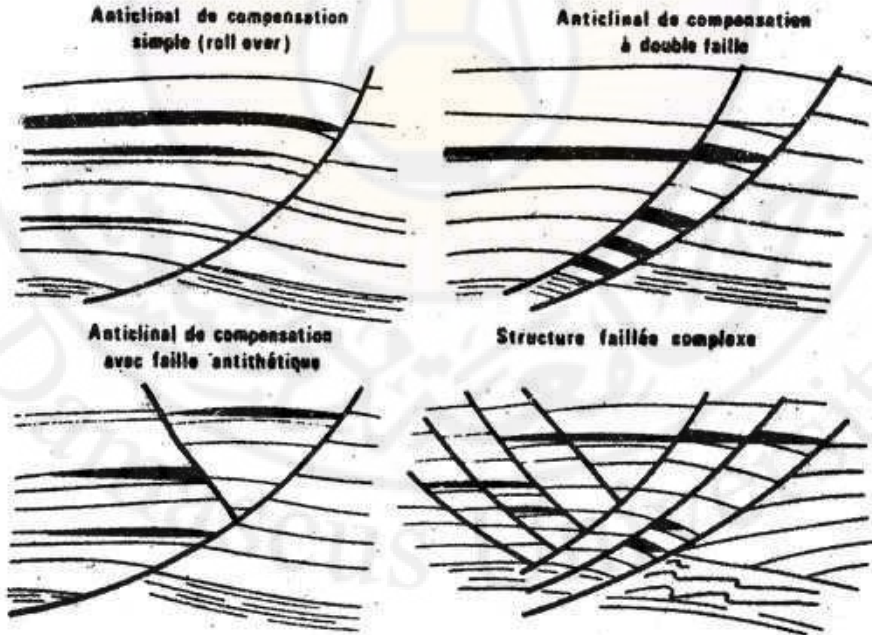
ـ في الاحواض الرسوبية الشاطئية (paraliqes) ذات التشكيلات اللدنة
الغضارية الرملية والمتميزة بالفوالق المعاصرة للترسيب .

ـ في الاقاليم المستقرة المطوية أو غير المطوية حيث يسود تكوين التكنر
اللاحق للترسيب .

١ - المصائد المرتبطة بالفوالق المعاصرة للترسيب :

Piège par faille synsédimentaires

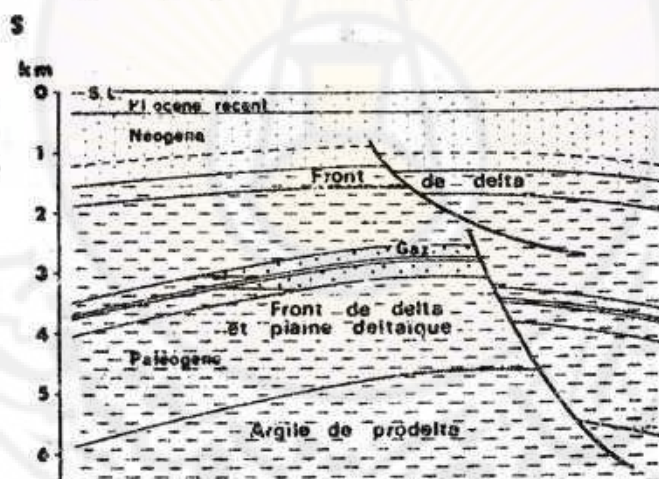
تشكل الفوالق المعاصرة للترسيب عادة حواجز للهجرة أكثر مما تشكل مسارات لحركة القحوم الهيدروجينية . والنقطة الأهم في هذا الموضوع هي قدرة الاجنحة المفلقة الهابطة أو الصاعدة على حجز القحوم الهيدروجينية . وعلى ما يبدو فإن الاجنحة الهابطة هي التي تشكل المصائد في هذا النوع من الفوالق ، سواء كانت عادية أو عكسية . ويدعم هذا القول المصائد المرتبطة بالفوالق الهلالية في نيجيريا وحوض Gulf Coast (شكل ٨٢) . إلا أنه يبدو أن هذا التجميع



(شكل ٨٢) : نماذج مختلفة لمحددات تعويض ومصائد فائقية في وسط دلتاوي في نيجيريا (Wber & Daukoru, 1975)

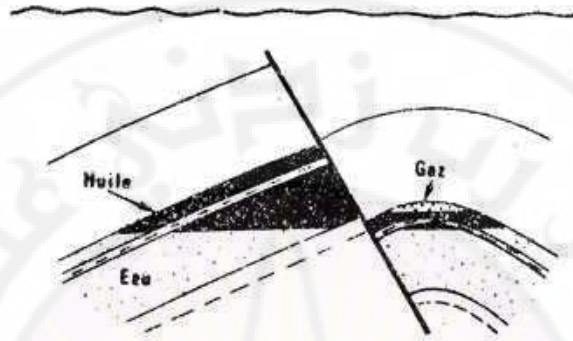
لا يتحقق في الاجنحة الهابطة من فوالق المتألين السابقين إلا عندما تكون الزيوت على علاقة مباشرة يحققها الفالق مع الصخر الام المغذي (Weber & Daukoru, 1975).

ويعتبر حقل Taglu المكتشف عام ١٩٧١ في حوض Beaufort في دلتا Mackenzie (في شمال كندا) مثالا على هذا النوع من المصائد • وفي هذا الحقل (شكل ٨٣) تتألف المصيدة من جناح مرتفع لفاالق عادي يضع الرمال المنتجة مقابل المضاريات الملحية العائدة لنفس العمر ويتبع هذا الحقل الغاز من الرمال الباليوجينية الواقعة على أعماق ٣٠٠٠ ، والعائد لجهة الدلتا أو لتوضعات شاطئية أو حاجزية ذات مسامية ١٢ - ٢٢٪ وقودية ٢ - ٢٦٠ ميللي دارسي •



(شكل ٨٣) : مقطع في حقل Taglu (دلتا ماكينزي) - كندا -
(Hawkins, 1976)

وهناك حالة خاصة من المصائد المرافقة للفوالق المعاصرة للترسيب والناجمة عن الانهيارات التي تحدث فوق القباب الملحية • وحقل Hastings الواقع في ضواحي هيوستن في تكساس يشكّل هذه الحالة (شكل ٨٤) •

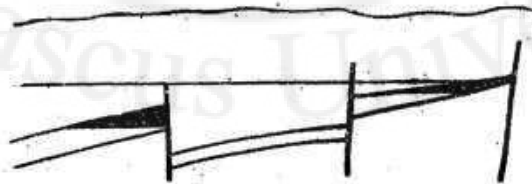


(شكل ٨٤) : مقطع في حقل Hastings في تكساس يظهر مصيدة في الجناح الصاعد من الفالق ومصيدة أخرى في الجناح الهابط منه
(Bleakley , 1968)

٢ - المصائد المرتبطة بالفوالق اللاحقة للترسيب

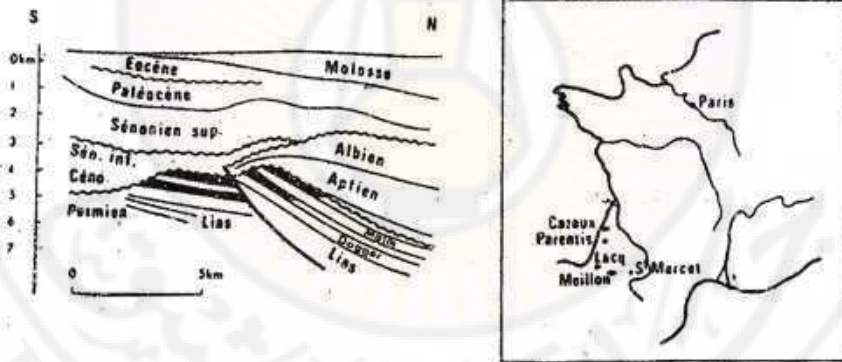
Pièges par failles post - sédimentaires

تتواجد السويات المنتجة في هذا النوع من المصائد في الاجنحة المرتفعة من الفوالق . أما الاجنحة الهابطة فهي تتمتع بحظ أقل في احتوائها على المحوم الهيدروجينية . ويؤكد هذا الواقع مكان مختلف في العالم ، نذكر منها مقاطعة Oficina في حوض Orénoque في فنزويلا ، حيث تقع المكامن غالباً في الاجنحة المرتفعة باتجاه مركز الحوض (شكل ٨٥) .



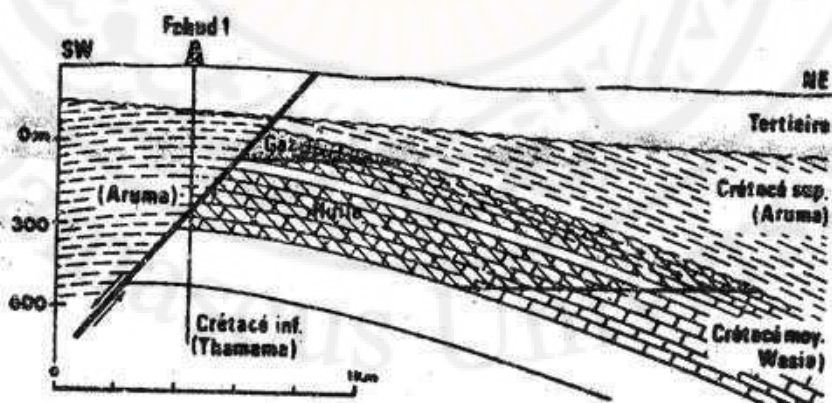
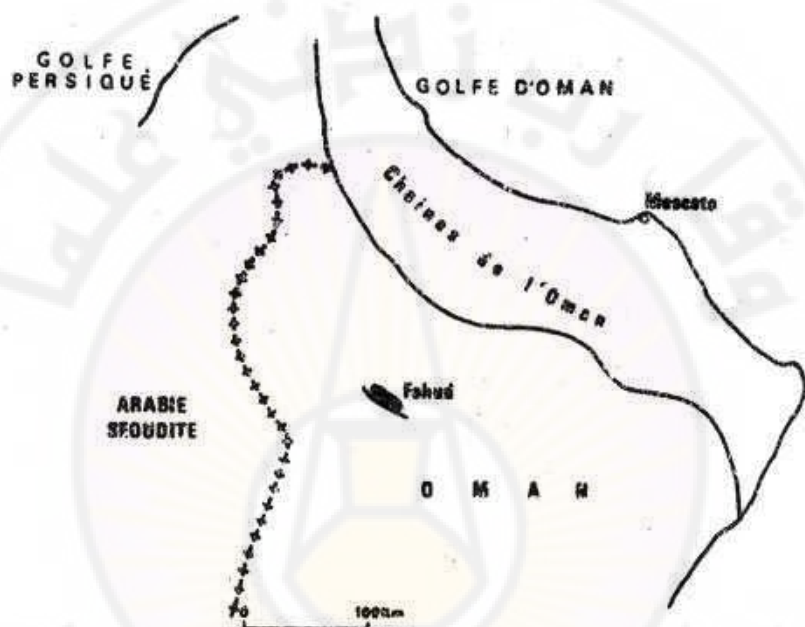
(شكل ٨٥) : مكان مقاطعة Oficina في فنزويلا (Young , 1971)

وفي حوض الاكيتين في فرنسا يشكل حقل Meillon - St. - Faust الغازي والواقع في منطقة Arzacq المعقدة بنيويا وطبقيا مثالا آخر عن المصائد المرتبطة بالفوالق اللاحقة للترسيب. (شكل ٨٦) • وتتألف المصيدة في هذا الحقل من محذب فالقي مغلق في الجزء الواقع تحت عدم التوافق السينوي • وتكون الصخور الخازنة من دولوميا لا تزيد مساهمتها عن ٤٪ ، ويتحقق الغطاء بواسطة مارن الأبيسان • أما الصخور الام المولدة للغاز فيعتقد بأنها تعود للجوراسي الغائص إلى ٥٠٠٠ م تحت فليش السينوي العلوي • هذا وقد بلغ انتاج هذا الحقل من الغاز في نهاية عام ١٩٧٧ ، ٢٣ بليون م^٣ ، بانتاج وصل إلى مليون م^٣ للابار في اليوم الواحد •



(شكل ٨٦) : مقطع في حقل Meillon في حوض الاكيتين - فرنسا
(Chevilly , 1969)

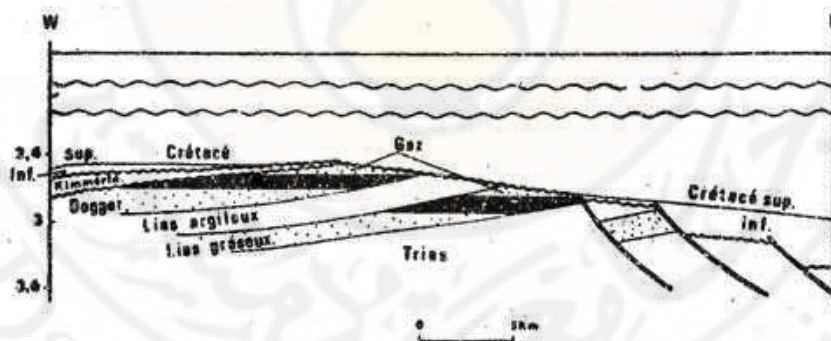
أما حقل فهود في عمان فهو يشكل مثالا جيدا للمصائد الفالقية تحت عدم توافق مضاعف (شكل ٨٧) • ويبلغ ميل الفالق في هذا الحقل ٥٠ درجة • أما رميته فهي تساوي ١٥٠٠ م • وتنتشر المنطقة المغلقة على مساحة شاسعة بميول ١٥ - ٢٠ درجة ، وباغلاق يصل إلى ٩٦٠ م • ويصل ارتفاع العمود الزيتي في هذا الجزء المغلق إلى ٥٠٠ م ، ويملأ هذا الزيت قبة غازية • أما الصخر الخازن



(شكل ٨٧) : مقطع في حقل فهود في عمان
(Tschopp , 1967)

فهو مؤلف من كلس مدملت ، ذي مسامية تصل إلى ٣٠٪ وتؤدي تصل إلى عدة وحدات من الدرسي . بينما يشكل مارن أروما الصخر المغطي ويمكن أن يشكل هذا المارن أيضا صخورا أما بالاضافة إلى الكلس البيتومي المتداخل مع الصخر الخازن . ومن الجدير بالذكر أن هذا الحقل لم يكتشف إلا بعد حفر البئر الاستكشافية الثانية فيه ، حيث أن البئر الاولى قطعت الجناح المرتفع في الجزء الاسفل من الصخر الخازن . وبنتيجة المقارنة والملاحظات مع التشكيلات المماثلة للتركيب المجاورة وضعت فرضية وجود فالق يخفي الجزء الاكبر من الصخر الخازن ، مما حصل على حفر بئر أخرى تقع على ١٥ كم من البئر الاولى .

أخيرا فإن حقل Brent الواقع في بحر الشمال يمثل أيضا هذا النوع من المصائد المرتبطة بالكتل المصدعة في الهوامش السالبة ، للاحواض الانخفاضية (شكل ٨٨) .



(شكل ٨٨) : مقطع في حقل Brent في بحر الشمال
(Bowen, 1975)

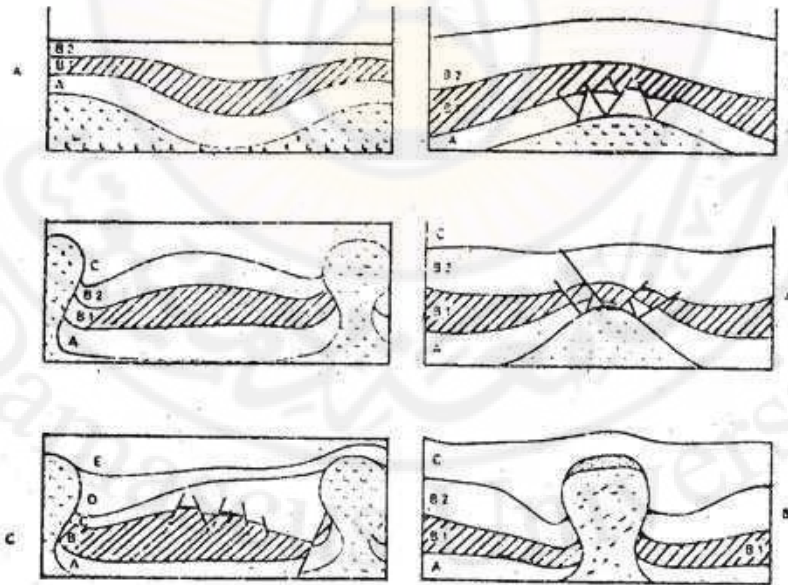
ج - المصائد المرتبطة بقباب الملح والمصار :

Plèges liés aux dômes de sel et d'argile

تعود أسباب تشكل هذه الانواع من المصائد إلى خاصة اللدونة العالية

التي يتصف بها الملح والفضار شديد التراص • وتقود هذه الخاصة إلى نشوء تكتونيك خاص نسميه بالتكتونيك الملحي (halocinèse) أو التكتونيك الفضاري (argilocinèse) • ويؤدي هذا التكتونيك إما إلى إنتفاخ وتضخم (intumescence) طبقة الملح أو الفضار ، أو إلى صعود هذه الطبقات في مناطق الشد على شكل انبثاقات (diapires) ، ويبدأ التكتونيك الملحي بتحدب أو بتجمد لطبقات الملح، مما يؤدي إلى رفع الطبقات التي تقع فوقها • ومن ثم يثقب الملح هذه الطبقات ، ويصعد ليصل في حالات كثيرة إلى السطح (شكل ٨٩) •

وهناك أعداد كبيرة من المصادد التي ترتبط بهذه التشوهات اللدنة ، بدءاً من المحذبات البسيطة وانتهاءً بالتراكيب المعقدة ، بالإضافة إلى تراكيب وسطية تنشأ بسبب انبثاق الملح أو الفضار •

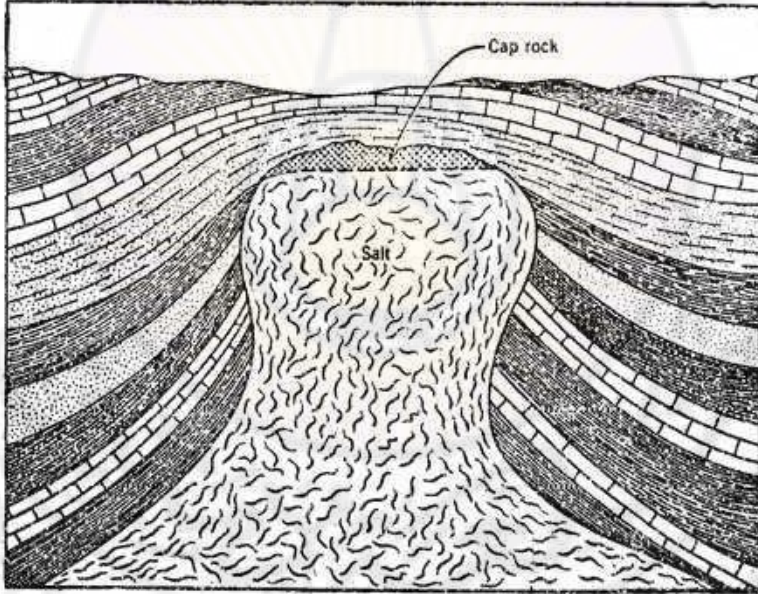


(شكل ٨٩) : المراحل المختلفة لتشكل الديابيرات والبنى الانتقالية والمصادد المرافقه لها (Wenger , 1963)

والمصائد المرتبطة بالقباب الملحية هي مصائد محدودة بشكل عام ، إلا في حالات القباب العميقة التي تؤدي إلى رفع مناطق واسعة ، مشكلة بذلك مصائد هامة كما هو الحال في عدد من الحقول الهائلة في السطحة العربية .

١ - المحدثات البسيطة ذات النوى الملحية :

يوضح الشكل ٩٠ محدثا بسيطا ذا نواة ملحية ثابتة .



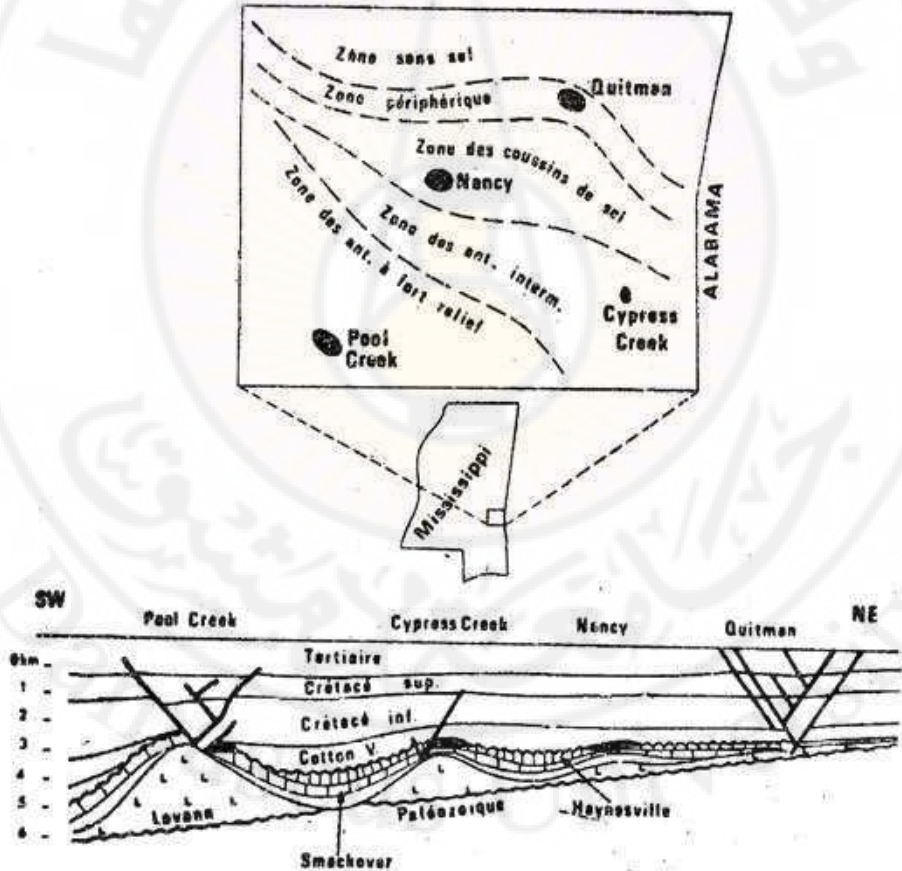
(شكل ٩٠) : قبة ملحية ثابتة (Hobson, 1938)

تقدم منطقة Smakover في الجزء الشرقي في Gulf Coast أمثلة جيدة على هذا النوع من المصائد ، حيث يكون الصخر الخازن مطويا على شكل قباب بسيطة ، مصدعة بالفوالق أحيانا . وفي هذه المنطقة من الميسيسيبي والألباما تتألف ثلاثة أرباع المصائد من محدبات هادئة ذات نوى ملحية . ويبدو أن الملح قد بدأ

بالحركة اعتباراً من توضعات Smackover الجوراسية الكربوناتي وبشكل تتناقص
في حدة التشوهات باتجاه أطراف الحوض (شكل ٩١) .

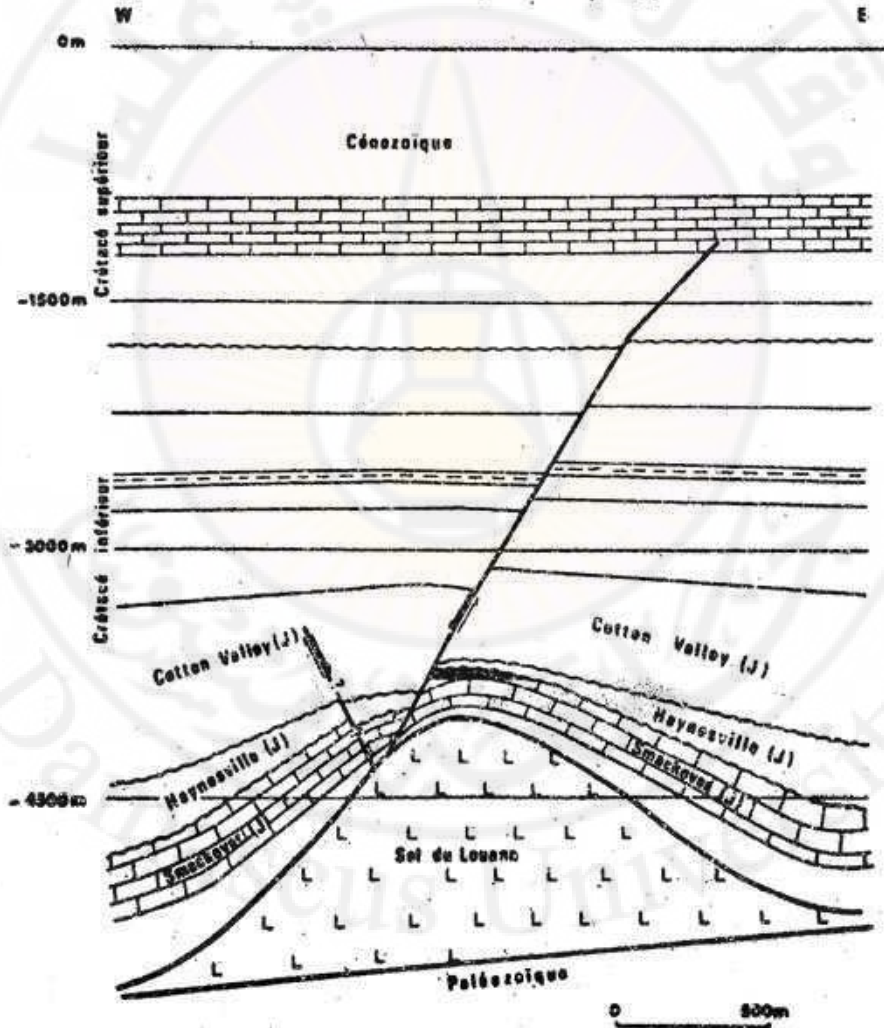
وبالانتقال من طرف الحوض إلى مركزه يمكن ملاحظة البنيات التالية :

— تجمعات محيطية مصدعة بفوالق في أجزائها العلوية ، وتمثل حقل Quitman



(شكل ٩١) : خارطة ومقطع في مجموعة من المحدثات الملحبة في الميسيسيبي
(Hughes, 1968)

— وسائل ملحية مسطحة ، متطاولة وموازية لحافة الحوض وغير مصححة
 بالفوالق ، وتمثل حقل Nancy
 — محدبات انتقالية ذات ارتفاع يتراوح بين ١٠٠٠ — ١٢٠٠ م ، كحقل
 Cypress Creek (شكل ٩٢) .



(شكل ٩٢) : مقطع في حقل Cypress Creek في حوض الميسيسبي
 (Hughes , 1968)

— محددات حادة تصل في ارتفاعها إلى ٢٠٠٠ — ٤٥٠٠ م يعلوها أغوار

ثانوية كحقل Pool Creek

كما تتواجد هذه الانواع من المصائد في الخليج العربي (القباب العميقة) ،
وفي بحر الشمال (حقل Ekofisk) •

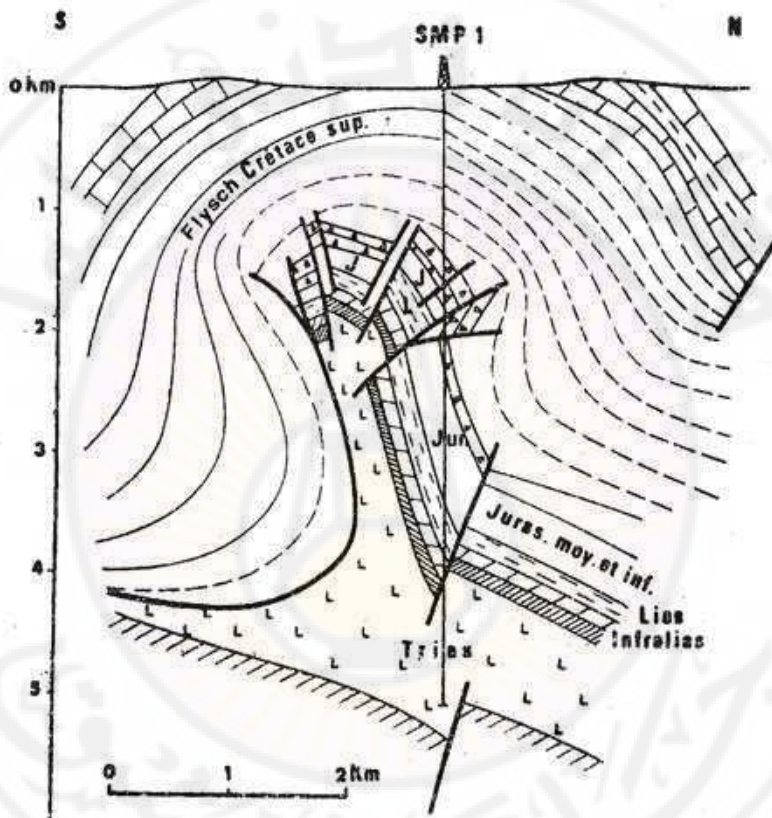
٢ — المصائد المرتبطة بالقباب الثاقبة أو (الديابير) : Diapirs

توجد القباب الثاقبة في مناطق مختلفة من العالم (الولايات المتحدة — الاتحاد السوفيتي — ألمانيا ٥٥٠٠) • ويؤدي الارتفاع المذهل للملح في هذه المناطق إلى ترقق الطبقات الواقعة على أطراف الديابير الملحي • وتشكل هذه الترققات بفضل الاغلاق الذي يحققه الملح مكانا قليلة الاهمية كما هو ملاحظ في تكساس • هذا وإن شدة إغناء المصائد المرافقة لانبثاق الملح ترتبط إلى حد كبير بسرعة صعود الملح وبالسطح المتأثر بهذا الانبثاق • ويؤكد حقل Barbers hill في تكساس هذه العلاقة (شكل ٩٣) ، حيث أن قمة Barbers أنتجت عام (١٩٥٤) ١٥ مليون طن بينما لم يتجاوز انتاج القبتين المجاورتين Lost lake و Moss Bluff ٨٠٠٠٠٠ طن وذلك تبعا لسطوح تصريف هذه القباب ولشدة انبثاقها •

وبالإضافة إلى مصائد الطبقات المترقة المجاورة • فإن صعود القباب الملحية يمكن أن يؤدي أيضا إلى تشكل مصائد أخرى في الطبقات التي تعلو الملح • ويحتوي حقل Saint - Marcet في جبال الالب الفرنسية على مكان من هذا النوع (شكل ٩٤) • ويمثل هذا الحقل بنية محدبة انبثاقية ذات نواة ملحية عائدة لعصر الترياسي حيث يتألف الصخر الخازن الرئيسي من البريش المارني — الكلسي المشقق الذي يعلو الملح ، والذي أنتج ٧ مليار م^٣ من الغاز الرطب الغني بالغازولين •

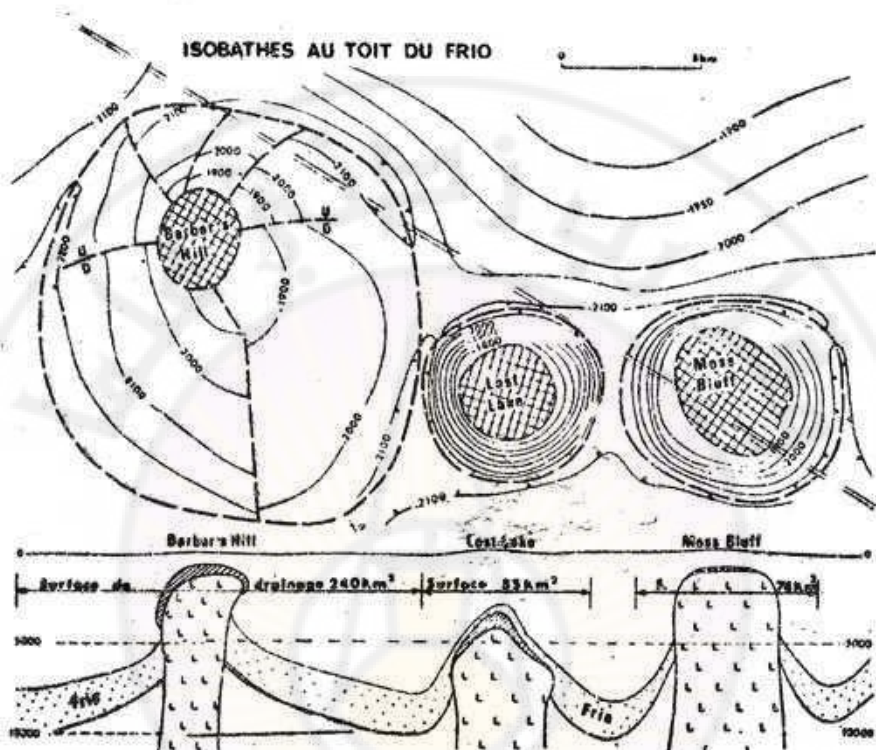
أما المصائد المرتبطة بالقباب الغضارية فهي نادرة ويعرف البعض منها في جزيرة

Trinité (شكل ٩٥) حيث يوجد حقل Guayaguayare .

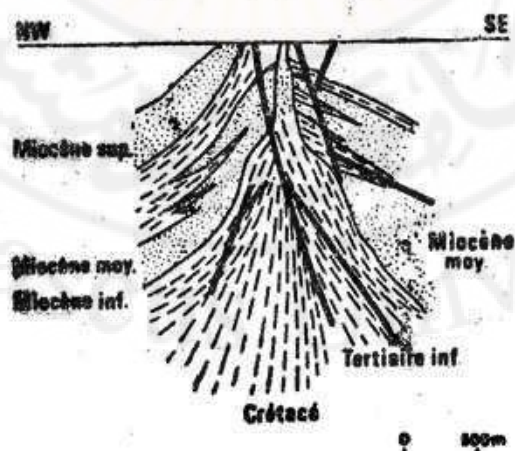


(شكل ٩٣) : خارطة بنيوية ومقطع في قباب الملح : Moss Buff , Lost Lake ,
Berbers hill يظهران أهمية سطوح التصريف (Halbouty & Hardin , 1959)

أخيرا فإن القباب وبخاصة الثاقبة منها يمكن أن تشكل صخورا خازنة ومصائد في أجزائها العلوية التي تكتسب مسامية وتفوذية ثانوية بفعل الانحلال تحت تأثير المياه التي تخترقها . ويعرف هذا النوع من المكامن بالقبة الصخرية « cap rock » . ومن ميزات هذه المكامن احتوائها على الكبريت .



(شكل ٩٤) مقطع في محاذ Saint - Marcet في حوض الاكينين
(SNEA (P), 1979)

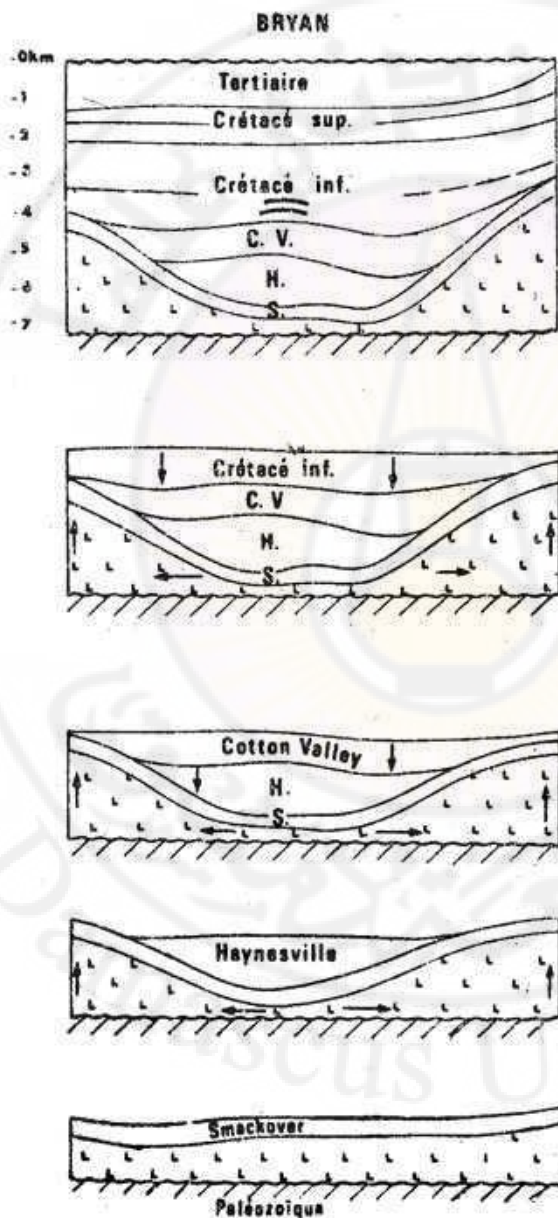


(شكل ٩٥) : مقطع في حقل Guayaguagare في جزيرة Trinité ذي نواة غضارية.
(Michelson, 1976)

٣ - البنيات الوسطية او الانتقالية (درع السلحفاة Carapace de tortue)

نادراً ماتواجد قبة ملحية واحدة في إقليم ما . حيث أن أسباب تشكل القباب يؤدي بشكل عام إلى نشوء مجموعة من القباب يربط بينها تراكيب وسطية والشكل (٩٦) يوضح تشكل هذه التراكيب الانتقالية التي تشكل مصائد ملحية هامة . إن تشكل هذه المصائد يعود في أسبابه إلى هجرة الملح وصعوده على شكل قباب وهذا ما يؤدي إلى خلق منخفضات بين هذه القباب تملأ لاحقاً برسوبات تأخذ أيضاً أشكالاً قبيبة بسيطة في أجزائها العلوية .

إن هذا النوع من البنيات يغطي غالباً مساحات واسعة تسمح بتجمع احتياطي كبير ، يفوق الاحتياطي الموجود في المصائد الأخرى المرتبطة بالقباب الملحية نفسها . وهكذا يحتوي حقل بريان وحده على ٣٥٥ مليون طن من الزيت في رمال الكريتاسي الأسفل .



(شكل ٩٦) مقطع طبقي
يوضح التاريخ الجيولوجي
للبنيات الوسطية في حقل
Bryan في الميسيسيبي
(Oxley & Herlinly, 1972)

٢ - المكامن الطبقيّة (الستراتغرافية) والمختلطة

Gisements stratigraphiques et mixtes

بالإضافة إلى التشوهات البنيوية ، تلعب الاختلافات في سماكة وسحنات التوضعات الرسوبية دورا هاما في تشكيل المصائد . فإذا تساوى تأثير هذه الاختلافات مع تأثير التشوهات البنيوية فإنه يتشكل لدينا ما يسمى بالمصائد المختلطة (mixtes) . وإذا لم تلعب التشوهات البنيوية إلا دورا ثانويا فأننا نتحدث عن المصائد الطبقيّة (أو الليتولوجية) .

وأول من استخدم تعبير المصائد الطبقيّة هو العالم Levorsen حيث أطلقه عام ١٩٣٦ على حقل شرق تكساس الذي اكتشف صدفة سنة ١٩٣٠ .

وتتميز هذه المصائد بكون الإغلاق (fermeture) فيها يتحقق بفعل عوامل طبقيّة أو رسوبية أو ليتولوجية ، كاختلاف السحنات أو ترقق الطبقات .

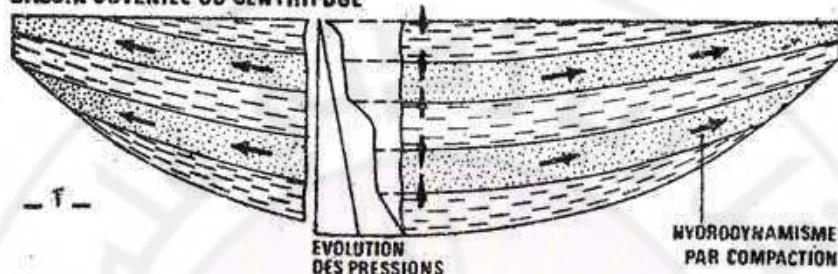
إن اختلاف السحنات وخاصة بالنسبة لمخزن خازن يتحول تدريجيا إلى تشكيلة غير نفوذة ، يمكن أن يكون نتيجة لحوادث الترسيب والدياجينيز . ويلاحظ هذا الاختلاف في التشكيلات الرملية ، كما يلاحظ في التشكيلات الكربوناتيّة وبخاصة الرصيفية منها . وعادة ما تكون هذه الاختلافات في السحنات ، ولاسيما ترققات الطبقات ، على علاقة بحركة مياه البحر ، أي بالحركات العمودية للقارات أو للبحار . وبالتالي فإن ميكانيكية الاصطدام في المكامن الطبقيّة ترتبط إلى حد بعيد بالتشوهات البنيوية التي تصيب الأحواض .

إلا أن الاغلاقات الخطية التي تنشأ عن اختلاف السحن غالباً ما تكون أقل فعالية من الاغلاقات التي تحققها تنضدات لتوضعات تمؤدة وكمية في المحدبات . حيث يمكن لسوية رملية خازنة موجودة ضمن غضاريات تسايها خطأ أن تسمح بسرور الموائع الموجودة ضمنها . وفي هذا النوع من المصائد ترتبط جودة الاغلاق بوجود ثغرات أو انقطاعات في الترسيب ، وبوجود أسرة تجاوزية غير تمؤدة ، كما ترتبط بالتدرجات الهيدرودينامية ذات التسارع باتجاه مركز الحوض (centripète) والتي تعاكس في حركتها هجرة الفحوم الهيدروجينية التبخرية (شكل ٩٧) .

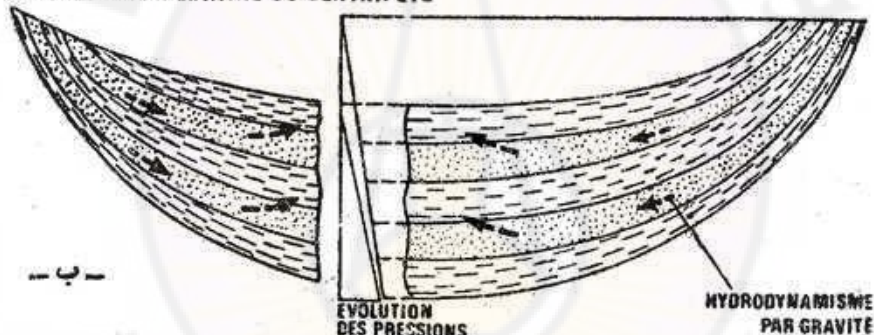
ومن الوجهة الفيزيائية فإن هذا النمط من الاغلاق يتحقق بفعل القوى أو التوترات بين السطوح أو الضغوط الشعرية . ويمكن تقريبه من مفهوم الصخر المغطي والهجرة حيث يبدأ الاصطياد الطبقي حيث تقف الهجرة . وإن الاختلاف الاقفي في سحنات الطبقات الخازنة في جزئها العلوي حيث يتشكل الحاجز يوافق ازدياداً في ضغط المسام . ويتم الاصطياد عندما يفوق هذا الضغط في قيمته الضغط الذي يؤثر به عمود الزيت أو الغاز في الجزء السفلي من الطبقة الخازنة . وهكذا نرى أن الاغلاق من هذا النوع أمر نسبي ، ويرتبط بضغط الفراغات الموجودة في الرسوبات . أي أن ارتفاع الزيت سيزداد في السوية الخازنة بازدياد ضغط فراغاتها . وفي حالة صخر حطامي غير مشقق يزداد هذا الارتفاع بازدياد نعومة الحبات .

أما تأثير الترقق الجانبي للطبقات الخازنة ، فيتجلى بانخفاض سماكة السويات المنتجة ، أو بضعف خصائصها الخزنية . هذا بالنسبة للمصائد الطبقة ذات التشكيلات الخازنة الحطامية الواسعة الانتشار . أما فيما يتعلق بالارصفة فهو يؤدي على العكس إلى تركيز سماكات مشبعة هامة وذات خصائص بتروفيزيائية جيدة في مساحات محدودة .

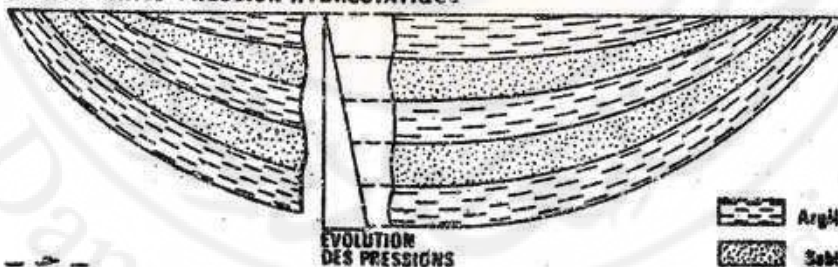
BASSIN JUVENILE OU CENTRIFUGE



BASSIN INTERMEDIAIRE OU CENTRIPETE



BASSIN SENILE: PRESSION HYDROSTATIQUE



Argile
Sable

(شكل ٩٧) : مخطط يوضح مختلف الأنماط الهيدرودينامية في الأحواض

الترسوية (Coustau et al., 1975)

أ - هيدروديناميزم باتجاه أطراف الحوض ب - هيدروديناميزم باتجاه مركز الحوض
ج - حوض ذو ضغط هيدروستاتيكي

وهكذا تُولف المصائد الطبقيّة علماً خاصاً يجب دراسته بدقة وتمصيل.

ويشكل احتياطها ١٠٪ من احتياطي الحقول الهائلة في العالم (أكثر من ٧٠ مليون طن من الزيت) • ومن المصائد غير الرصيفية نذكر :

— حقل Côte Balivar (فنزويلا) المحتوي على ٤٢٠٠ مليون طن من الزيت •

— حقل Hugoton (تكساس) المحتوي على ٢٠٠٠ مليار م^٣ من الغاز •

ومن المصائد الرصيفية نذكر :

— حقل Poza Rica (المكسيك) المحتوي على ٢٨٠ مليون طن من الزيت •

أما من الناحية المنشئية فإن تشكل المصائد الطبقة هو على علاقة وثيقة بخصائص الحوض الرسوبي • وهناك عدد من العوامل تبدو مشجعة على تشكل هذه الحقول :

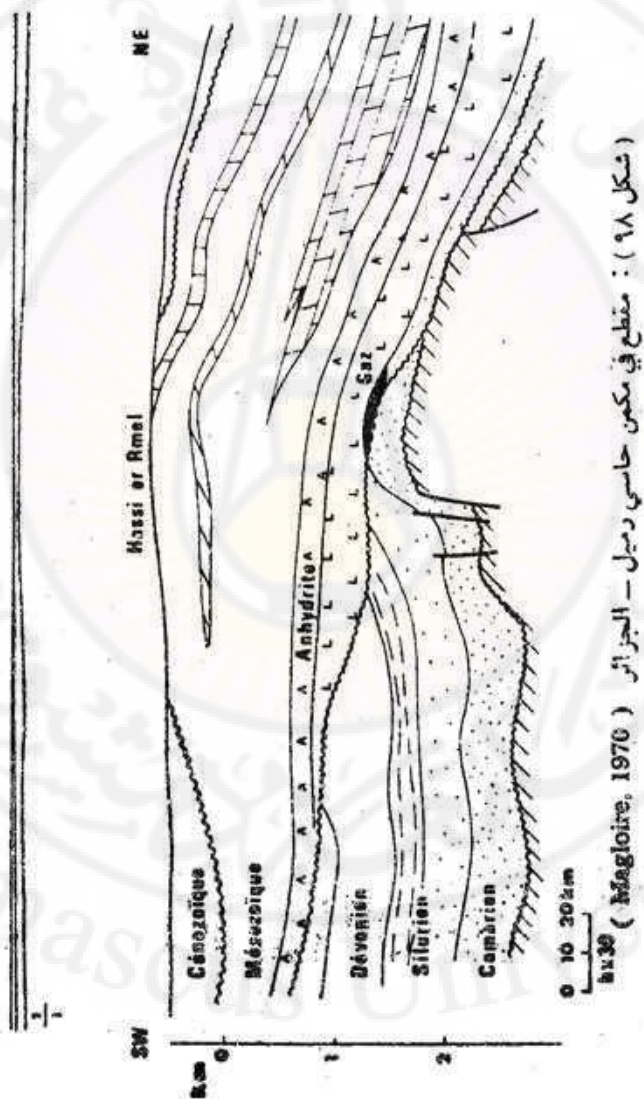
— عدم استقرار ضعيف للحوض يؤدي إلى وجود عدم توافقات وتجاوزات وتناوبات لسحنات بحرية ، شاطئية ، نهريّة •
— غياب المصائد البنيوية •

٢ - الكامن المرتبطة بعدم التوافق : Gisements par discordance

تلمب عدم التوافقات دورا رئيسيا في هجرة واصطياد الفحم الهيدروجينية • ويعود إليها الفضل في تشكل عدد من الحقول الكبيرة في العالم • ولكي تشكل مصيدة طبقية من هذا النوع يجب توفر مايلي :

— غطاء كيم متجاوز بسطح حتي على منطقة قديمة مرتفعة •
— تشكيلة رسوية لاحقة للتجاوز post - transgression ذات سماكة كافية •

وتبعا لانتشار مجموعة الصخور الخازنة والمغطية الذي سيؤدي إلى حدوث الترققات الطبقة على المنطقة المرتفعة ، ومن وجهة نظر جيوميتريّة ، فإنه سيتشكل



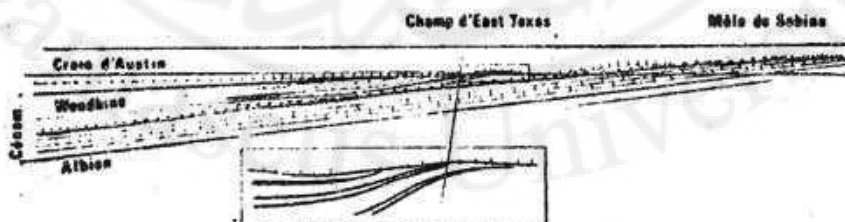
(شكل ٩٨) : مقطع في مكن حاسي رميل - الجزائر (Magloire, 1970)

مصادد طبقية أو مختلطة ، دون التمكن من وضع حدود فاصلة بين هذين النوعين .
ويمكن حاسي مسعود في الصحراء الجزائرية (شكل ٧٣) والمغطى جيدا
بالتشكيلات الملحية العائدة لأسفل الميزوزوي هو أيضا محدب أصلع (chauve)
في جزئه العلوي .

أما حقل حاسي رميل الواقع في الصحراء الجزائرية أيضا ، والمنتج مسر
رمال الترياسي المتجاوز فهو يوافق قبة مغلقة في جزئها الجنوبي الغربي وذلك
بسبب الترقق الجانبي لهذه الرمال (شكل ٩٨) . ويعتبر هذا الحقل مصيدة
مختلطة على شكل أنف « nose » .

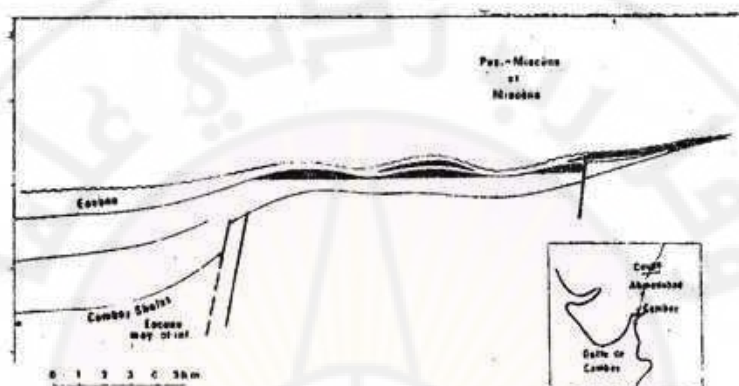
وفي حقل شرق تكساس التاسع ، فإن المصيدة تتألف من ترقق طبقي إقليمي
باتجاه الطرف الشمالي - الجنوبي . أما الصخر الخازن فهو يمثل برمالي Woodbine
العائدة للترياسي الأعلى والمتوضعة بتجاوز على الكريتاسي الأسفل المحتسوت .
وتبلغ مسامية هذا الصخر $\frac{25}{100}$ ، وتصل تهوديته إلى ١٥٠٠ ميلي دارسي . ويبلغ
احتياطي هذا الحقل مليار طن من الزيت قابلة للاستثمار بمعدل $\frac{75}{100}$ ، (شكل ٩٩)

كذلك فإن أطراف الاحواض غالبا ماتكون مكانا للترققات الطبقة التجاوزية
والمعقدة بالعوالق المعاصرة للترسيب . وهذا ما يلاحظ مثلا في الهوامش الشرقية
لحوض كامبي الهندي حيث يتركز الزيت في الرمال الأوليفوسينية



(شكل ٩٩) : مقطع في الكريتاسي الأوسط يمر من حقل شرق تكساس
(Gussow , 1972)

المطوية والمعلقة بالفالق وبالترقق الطبقي الموسيني التجاوزي (شكل ١٠٠) .



(شكل ١٠٠) : حقل Santhal Balol و de Kadi في حوض Cambay (الهند)
(Gambhir , 1976)

ب - المكامن المرتبطة بترققات واختلافات السحن

Gisements par biseau et variation de faciès

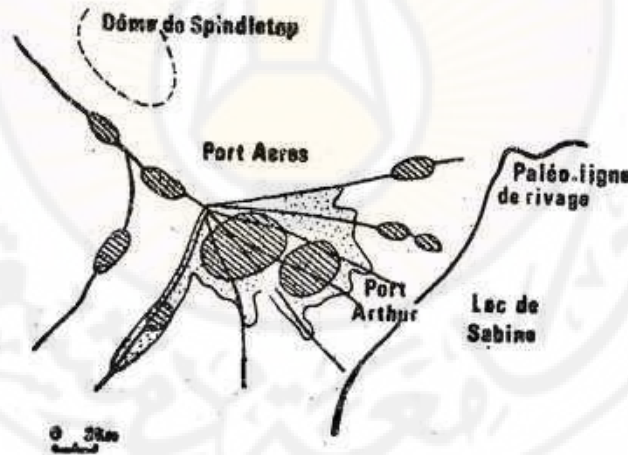
ان الانتقال الجانبي من سحنة مسامية ونفوذ إلى تشكيلة غير نفوذة ، أو وجود ترقق طبقي لسوية خازنة ضمن صخر متراس يمكن أن يطلق شروطاً مناسبة للاصطياد . وكما جرت العادة فإنه يمكن التمييز بين التشكيلات الحطامية والكربوناتيّة .

١ - مصائد ومكامن على علاقة بالأجسام الرملية (Corps sableux)

يقصد بالأجسام الرملية التشكيلات الحطامية المسامية والنفوذ . ويعود اختلاف سحنات هذه الرسوبات والذي يضافي عليها الخصائص الخزنية إلى اختلاف شروط التوضع ، أو إلى التغيرات اللاحقة للتوضع ، وغالباً ما تتطافر هذه العوامل . وتقابل الرسوبات الحطامية غالباً شواذات رسوية تتوضع على

شكل ركام (amas)، أو تكدسات لأجسام رسوية ذات أبعاد محدودة ومتوزعة في شروط محلية معينة وخاصة. ولقد بينت الدراسات الإحصائية المجراة على ٧٢٤١ تشكيلة رملية خازنة في مصائد طبقيّة في الولايات المتحدة أن الصخور الخازنة الأكثر إنتشاراً تعود إلى توضعات الحواجز الرملية أو إلى الرسوبات الشاطئيّة.

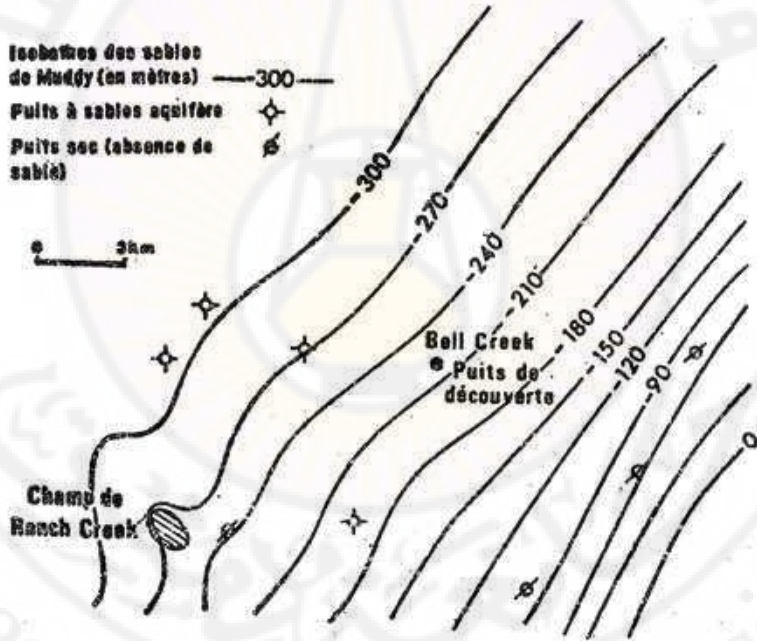
وهناك أمثلة عديدة على المكامن المائدة للدلتات القديمة، وبشكل خاص التشكيلات الحطامية البلاتفورمية الكريتاسية في أمريكا الشماليّة. ونخص بالذكر حقول Port Acres و Port Arthur في تكساس التي تعرضت لحوادث اصطياح لاحق بفعل القواقي (شكل ١٠١).



(شكل ١٠١): مخطط باليو جغرافي يظهر مواقع حقول Port Arthur و Port Acres في دنشاك Hackberry (Halbouty, Barber, 1972)

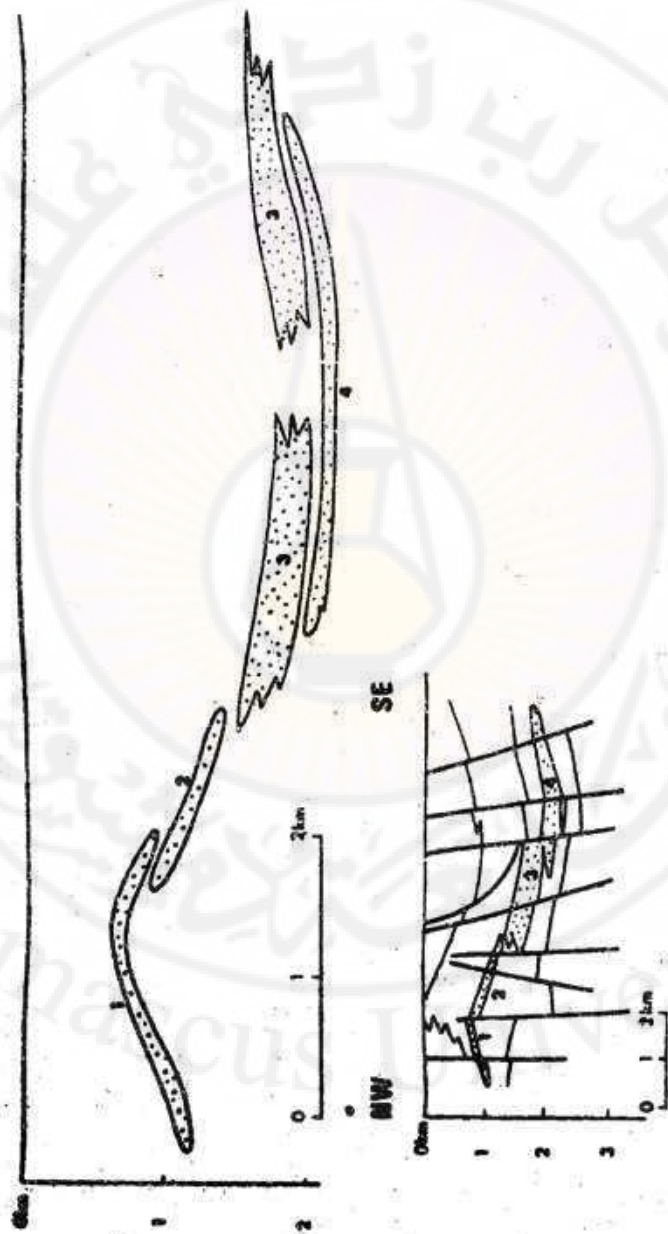
وكذلك حقل Bell Creek الواقع في الطرف الشمالي الشرقي من حوض Powder River (شكل ١٠٢). وفي هذا الحقل يتألف الصخر الخازن والمصيدة من مجموعة مؤلفة من أربعة أجسام رملية تقابل انحساراً بحرياً واقعا بين طورين

تجاوزين مثلين بغضاريات غنية بالمادة العضوية تلعب دور الصخر الأم • وتتصف الرمال المتواضعة على شكل أقنية في جبهة الدلتا ، أو على شكل حواجز بحرية بخصائص خزنية ممتازة ، حيث تصل مساميتها إلى ٣٠٪ ونفوذيتها إلى ١٠ دارسي واحتياطها إلى ٣٠ مليون طن من الزيت • وتغيب في هذا الحقل كل الشواذات البنيوية ، ولم يكتشف إلا بفضل المعطيات الجيولوجية للآبار التي سمحت بإعادة بناء الإطار الباليوجرافي وتقدير توزيع الرمال فيه •



(شكل ١٠٢) : خارطة بنيوية تظهر مواقع الآبار في حقل
(Georges, Biggs, 1968) Bell Creek

أما حقل Candeias في حوض Reconcavo في البرازيل فهو مثال جيد على مصيدة طبقية ، حيث يتألف الصخر الخازن فيه من عدسات رملية ومن صخور كلسية مشبعة عائمة للكريتاسي الأسفل • وتقابل هذه الرمال توضعات نهيرية في منخفضات الفوالق المعاصرة للترسيب (شكل ١٠٣) •



(شكل ١٠٣) : مقاطع جيولوجية وطبقية في حقل Candélas (البرازيل) (Ghignone , 1970)

٢ - مصائد ومكامن على علاقة بالأجسام الكربوناتية Corps carbonatés

لا يقل اختلاف السحن المؤدي إلى تشكل المصائد والاعلاقات في الأوساط الكربوناتية أهمية عن اختلافه في الأوساط الحطامية . وسنبحث هنا في المصائد التالية :

— المصائد المغلقة بسبب الاختلافات الجانبية للسحنات
— الأرضفة المشادة .

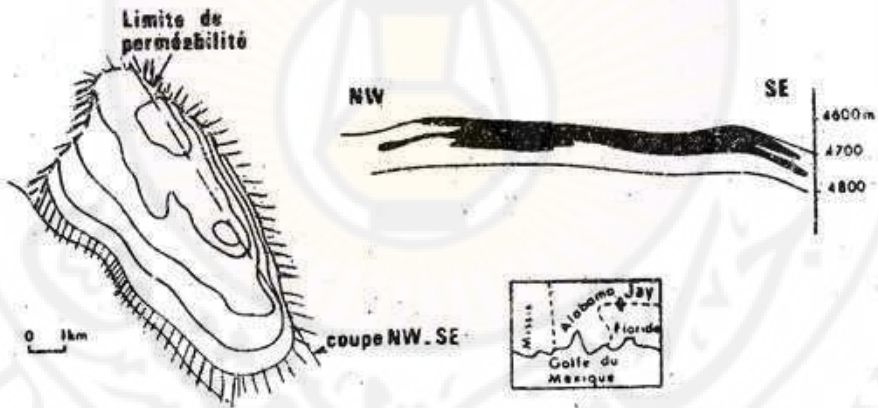
١ - المكامن المرتبطة بالاختلافات السحنية Gisements par variations de faciès

يتحقق الاغلاق في هذا النوع من المصائد بالانتقال الجانبي من تشكيلات نفوذة إلى تشكيلات شديدة التراص وغير نفوذة . ويمكن أن تعود هذه الاختلافات السحنية إلى اختلاف في أوساط الترسيب، كما يمكن أن تعود إلى التحولات اللاحقة، إما باكتساب الرسوبات الدنيا مسامية ونفوذة أو بفقدان الرسوبات العليا لهذه الخواص بسبب تماسكها . وفي الحقيقة فإن هذه الأفعال المعاصرة للترسيب واللاحقة له تتضافر حيث أن الخصائص الأولية للصخر توجه حركة المياه فيه وتتحكم بالتالي في التحولات الناتجة عن حركة هذه المياه المحملة بالأملاح . وفي هذا المجال يمكن أن نميز بين :

— الصخور الخازنة المتشكلة بفعل انحلال الصخور القليلة المسامية أو المتراسة . ومثل هذه المسامية التي تظهر أحياناً على شكل كهوف يمكن أن تنتج من غسيل (Lessivage) المياه الجوفية للسطوح الكربوناتية الطافية (émergées) وتلاحظ مثل هذه المسامية تحت سطوح عدم التوافق القديمة . وهذا هو الحال في حقول Lima Indiano في الصخور الكلسية الأوردوفيسية . وغالباً ما تكون مثل هذه الطبقات المسامية والنفوذة على علاقة بحوادث الدلتة التي تستطيع تحويل الصخور الكلسية المتراسة إلى صخور خازنة ، كما هو في حقول

Poza Rica في المكسيك ذي الصخور الخازنة المدلثة العائدة للمكريتاسي
الأعلى (Perrodon , 1966) .

وتوجد المصائد المتشكلة بفعل حادثة اللحام في مقدمة الطبقة الخازنة . ويعتبر الحقل Jay المكتشف بالطرق الاهتزازية عام ١٩٧٠ في فلوريدا مثالا نموذجيا على هذه المصائد . ويعود تشكل المصيدة في هذا الحقل إلى اختلاف سخنات تشكيلية Smakover ، حيث يتحول الصخر الخازن من كلس دولوميتي ذي بيليت « peilets » وأشنيت إلى مكرت (micrite) . وتصل مسامية هذا الصخر إلى ١٤ - ١٨٪ ، وتبلغ تقوديته المتوسطة ٥٠ ميللي دارسي ، ويعود هذا إلى حوادث الفصل التي تعرض إليها الصخر (شكل ١٠٤) .



(شكل ١٠٤) : خارطة بنيوية لحقل Jay - فلوريدا - (Ottmann, 1976)

ب - الكامن الرصيفية : Gisements récifaux

- خصائص الكامن الرصيفية :

تشكل المصائد الرصيفية عائلة هامة من المصائد الطبقيّة ، حيث يشكل الصخر الخازن فيها المصيدة . وتتألف هذه المصائد من أجسام مثشادة من

الكائنات الحيوانية والنباتية ، البحرية أو البحرية ، من نوع البيوهيرم^(١)
(bioherm) أو البيوستروم^(٢) (biostrome) . والكائنات البناة الأكثر
انتشاراً هي :

الإسفنجيات - الأشنيات - الروديست - الطحالب - معائيات الجوف ...
وغالباً ما تكون هذه الكائنات على شكل بقايا مدلتة تغيب فيها بنيتها الأصلية .
وتنظم هذه البقايا في أجسام ذات أهمية متباينة ، بدءاً من التكس المحسود
واتهاء بالحواجز المستمرة في الانتشار على مئات الكيلومترات ، مروراً
بالجزر المرجانية (atolls) وبالأرصفة .

وتؤثر خصائص الحوض ووسط الترسيب بعمق كبير على مورفولوجية
وحجم هذه المصائد . فالأرصفة المشادة في البحار المفتوحة (الأرصفة السيللورية)
تنمو بشكل سريع محيطة بالانحدارات (talus) الحطامية المقاومة لفعل
الأمواج . أما في اللاغونات ذات الرسوبات الناعمة ، فإن هذه الأرصفة تنمو في
الأجزاء المركزية منها . كما تتمتع الأجسام الرصيفية المشادة في فترات التجاوز
البحري بغطاءات جيدة .

هذا ولقد أظهرت دراسة الأرصفة المشادة الديفونية في أليرتا مخطط التطور
التالي (Klovan, 1974) :

— يبدأ تشكل الرصيف بتجاوز بحري على منطقة مسطحة محتوة غالباً .
— يلي ذلك انخفاض ضعيف يشجع التوضعات البلاكتورية الكربونائية

-
- (١) البيوهيرم : تشكيلات رصيفية نموذجية ، تنتشر في الاتجاه العمودي
بارتفاعات تفوق انتشاراتها الجانبية المحدودة والغير مستمرة .
(٢) البيوستروم : تشكيلات رصيفية تنتشر في الاتجاه الأفقي بامتدادات
وأسمة تفوق انتشاراتها العمودية . ويمكن أن تنتج هذه الأرصفة من تكسر وانهار
البيوهيرمات عندما تكون هذه الأخيرة شديدة الميول .

الغنية بالكائنات •

- يعقب ذلك ازدياد في سرعة الانخفاض مما يحصل على إشادة البيوميومات في الاجزاء البحرية الضعيفة التضاريس •
- يلي ذلك تناقص تدريجي للانخفاض يسمح بإشادة حافة رصيفية تحمي بذلك الرصيف المتشكل •
- يتوقف أخيراً نمو الرصيف وتعود الرسوبات للتوضع في الاجزاء الاخرى من الحوض •

أما الخصائص البتروفيزيائية للصخور الخازنة الرصيفية فهي متنازة عموماً. ويعود ذلك إلى هندسة الوسط المسامي في هذه الصخور الذي يتميز بوجود نسبة عالية من الفراغات الكبيرة وبدرجة تشبع ضعيفة بالماء ، مما يؤدي إلى ارتفاع نسبة الانتاج الاولي إلى ٥٠٪ بالرغم من كونه قيم المسامية لا تتجاوز ١٠ - ١٥٪.

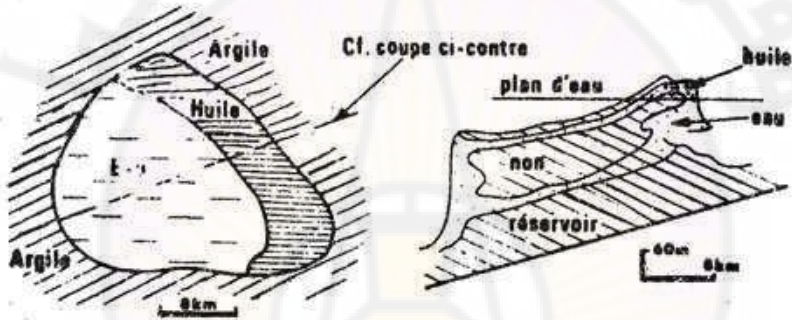
ويبلغ ارتفاع هذه الارصفة عادة مئة متر ، ويمكن أن تصل من ١٠٠٠ - ٢٠٠٠ م كالارصفة المشادة في المكسيك وشرق تكساس • أما الارتفاعات المشبعة بالزيت فهي تختلف من مصيدة لاخرى ، وتنبيل لأن تزداد مع تناقص حجم المصيدة، كما لو كانت كل الارصفة مغذاة بنفس المقادير من الفحم الهيدروجينية (شكل ٦٢) • وفي حقل انتصار في ليبيا يبلغ ارتفاع العمود الزيتي ٣٠٠ م •

أما بالنسبة لامتدادات هذه المصائد فهي مختلفة أيضاً • حيث تنتشر هذه الارصفة على مساحات تقدر بخمسة كيلو مترات مربعة بالنسبة للارصفة الديفونية مثلاً • وقد تصل إلى ١٥٠ كم^٢ في حقل Red Water (شكل ٤٣) •

- أمثلة على الكامن الرصيفية :

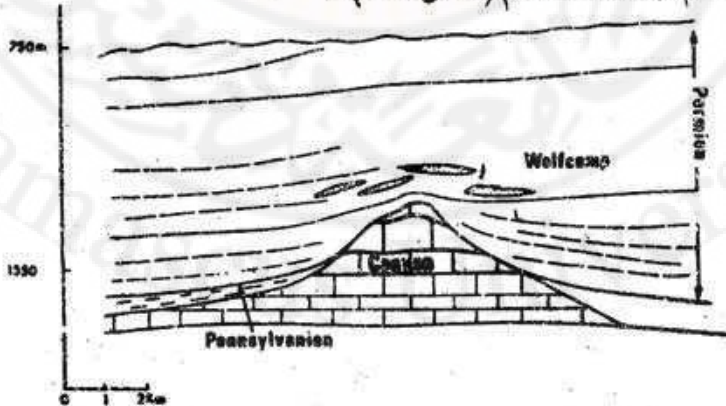
تقدم المصائد الديفونية في غرب كندا ، والمدروسة بشكل مفصل ، أمثلة جيدة على هذا النوع من المصائد وعن توزيع المسامية فيها •

— فصل Red Water المكتشف عام ١٩٤٩ يتوافق مع بيوهيرم كلسي متوضع على منطقة بلافورمية كربونانية مغطاة بالغضاريات . ويمتد هذا الحقل (المشابه للجزر المرجانية) على مساحة تقدر بما لا يزيد عن ٥٢٠ كم^٢ بارتفاع ٢٤٥ م . وتقابل أجزائه السفلية سحنات لاغونية ناعمة ومتصلبة ومتراصة (شكل ١٠٥، ٤٣) .



(شكل ١٠٥) : توزع السحنات الغازية وتوزع الموائع في حقل Red Water في كندا ، (Jardine, 1977)

— وكذلك حقل Horseshoe Atoll في غرب تكساس الذي يغطي مساحة ١٥٠٠٠ كم^٢ بامتداد ٢٨٠ كم (شكل ١٠٦) .



(شكل ١٠٦) : مقطع في حقل Horseshoe (Vest, 1970)

أخيراً يمكن أن نذكر حقل انتصار (د) في ليبيا المؤلف من رصيف مرجاني محتو على أشنيات والعائدة لعصر الباليوسين • وهو رصيف دائري الشكل يبلغ قطره ٥ كم وارتفاعه ٣٨٥ م • وتصل نفوذية الصخر الخازن فيه إلى ٨٥ ميلي دارسي ، ومساميته إلى ٢٢٪ • أما ارتفاع العمود الزيتي فهو في حدود ٢٩٠ م ، حيث يبلغ احتياطي هذا الحقل ٢٥٠ مليون طن ، استثمر منها حتى نهاية عام (١٩٧٨) ١٠٠ مليون طن بنسبة انتاج ٧٥٪ (Brady, 1979) .

٣ - المكامن المتنوعة والتجمعات « غير التقليدية »

Gisements divers et ressources non conventionnelles

ينضوي تحت هذا النوع من المكامن التجمعات النفطية غير المرتبطة بالمصادر البنيوية أو الطبقة • ويمكن أن نميز فيها بين المكامن المتنوعة والتجمعات غير التقليدية •

١ - المكامن المتنوعة : Gisements divers

وتضم :

- المصائد الدياجينية •
- المصائد التشقية •
- المصائد الغازية في قيعان الاحواض •

٢ - المصائد الدياجينية : Plèges diagénétiques

يمكن للاختلافات المفاجئة لعملية اللحام (cimentation) في السويات المائية المشغولة بالفحوم الهيدروجينية من الصخر الخازن أن تؤدي إلى إغلاقات قادرة على حبس هذه الفحوم في أوضاع بنيوية مختلفة بعد تشوه الطبقات • ولقد أطلق Wilson عام ١٩٧٧ اسم المصائد الدياجينية على هذه المصائد والتي

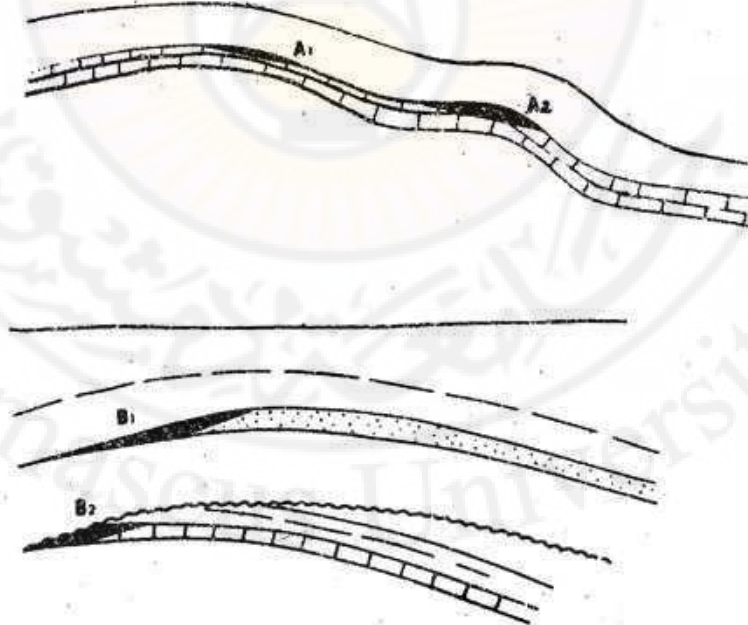
هي في الحقيقة مصائد طبقية أو مختلطة •

وتتشكل هذه المصائد على ثلاث مراحل :

- اصطاد أولي بنيوي أو طبقي •
- لحام لاحق للطبقة الحاملة للماء في الصخر الخازن •
- تشوه بنيوي لاحق يؤدي إلى نقل المكس ووضع موضع شواذ •

ويمكن أن يتحقق هذا المخطط بطرق مختلفة وذلك :

- إما بميل مصيدة محدبة بشكل يؤدي إلى تجمع مائل (titlée) للفحوم الهيدروجينية أو على الاطراف دون أن يكون لحركة المياه علاقة بهذا التجمع (شكل ١٠٧ A_1, A_2) •
- أو بالعلاقة بترققات طبقية ، أو عدم توافقات لاحقة (شكل ١٠٧ B_1, B_2) •

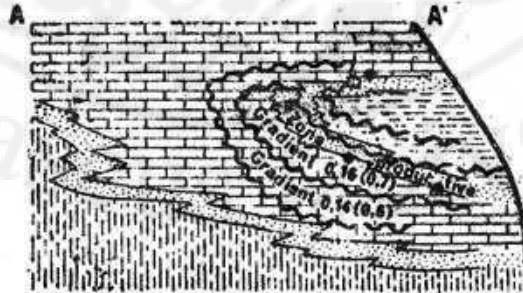
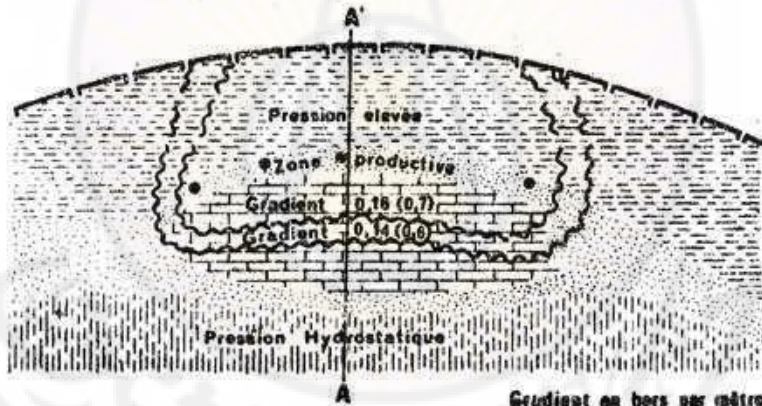


(شكل ١٠٧) : مخطط المصائد الديقينية

وكحالة خاصة على المصائد الدياجينية نذكر المكان المطلق 'اسدادات الاسفلتية' . وتكثر هذه التجمعات في الاقاليم الفنية بالدلائل السطحية^١ في كاليفورنيا وفنزويلا ، حيث توجد محدبات وحيدة الميل مغلقة بالسدادات الاسفالتية الناتجة عن تأكسد الفحم الهيدروجينية الزيتية القادمة إلى السطح .

ب- المصائد التشقية : pièges par fracturation

تتج الكثير من الحقول النفطية اعتبارا من الصخور الخازنة المشققة ، وذلك في أنواع مختلفة من المصائد . وفي بعض الحالات يؤدي التشقق (الذي هو



(شكل ١٠٨) مسقط ومقطع في مكمن Almont Blue Bell في حوض

اونيتا في الولايات المتحدة (Lucas , 1976)

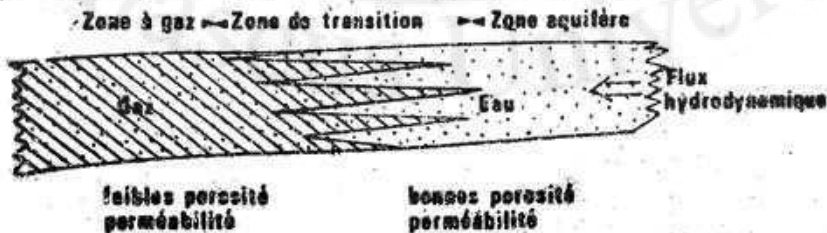
سبب تواجد الصخر الغازي (إلى تشكل المصيدة ، وذلك عندما تغيب كافة التشوهات البنيوية . وهناك أمثلة مختلفة عن هذه المصائد :

— ممكن Florence الصغير في الكولورادو : حيث يتواجد الزيت في الصخور الفضارية المشققة العائدة للكرياسي في منطقة تكون فيها الطبقات أفقية وغير متأثرة بالتشوهات البنيوية ، أو بالاختلافات السحنية الطبقة .
— ممكن Champan في تكساس : حيث يتألف الصخر الغازي من صخور السربنتين البركانية الفاسدة والمشققة .

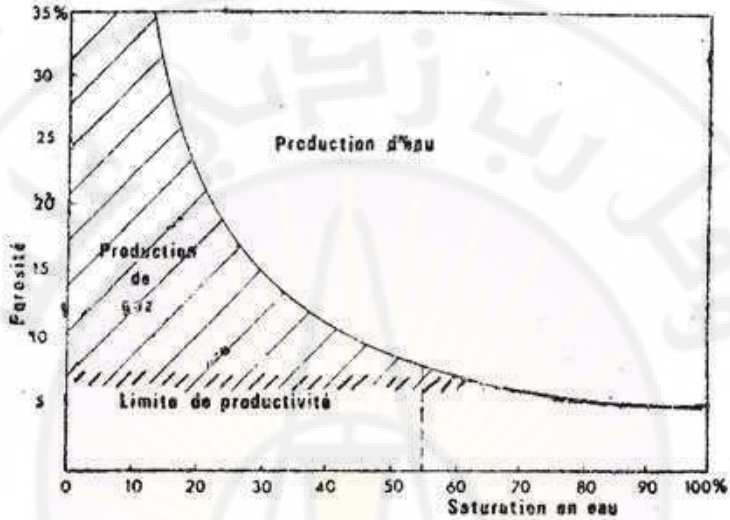
— ممكن Altamont - Bluebell في حوض أونيتا في الولايات المتحدة (شكل ١٠٨) . حيث تتألف المصيدة من ترقق لطبقة كلسية رملية مشققة ضمن مجموعة صخرية متراصة تشكل الصخر الام . وتكون الشقوق في الصخر الغازي عمودية وغير مغلقة ، محتوية على ٣٥ مليون طن من الزيوت الثقيلة في الاجزاء العليا ، والخفيفة في السويات العميقة .

ج - المصائد الغازية في قيعان الاحواض : Gisements de gas en fond des bassins :

يمكن العثور على تجمعات غازية هامة في الاجزاء العميقة المقعرة في بعض الاحواض الرسوبية . حيث يتركز الغاز في تشكيلات رملية ضعيفة المسامية والنفوذية وذات درجة تشبع عالية بالماء وضغوط أقل من الضغط الهيدروستاتيكي . وتحول الصخور المحتوية على الغاز باتجاه الاعلى ودون وجود أي تشوه بنيوي أو حاجز للنفوذية إلى توضعات مسامية ونفوذية محتوية على الماء فقط . ويفصل هاتين السحنتين منطقة انتقالية يصل عرضها إلى عدة كيلو مترات (شكل ١٠٩) .



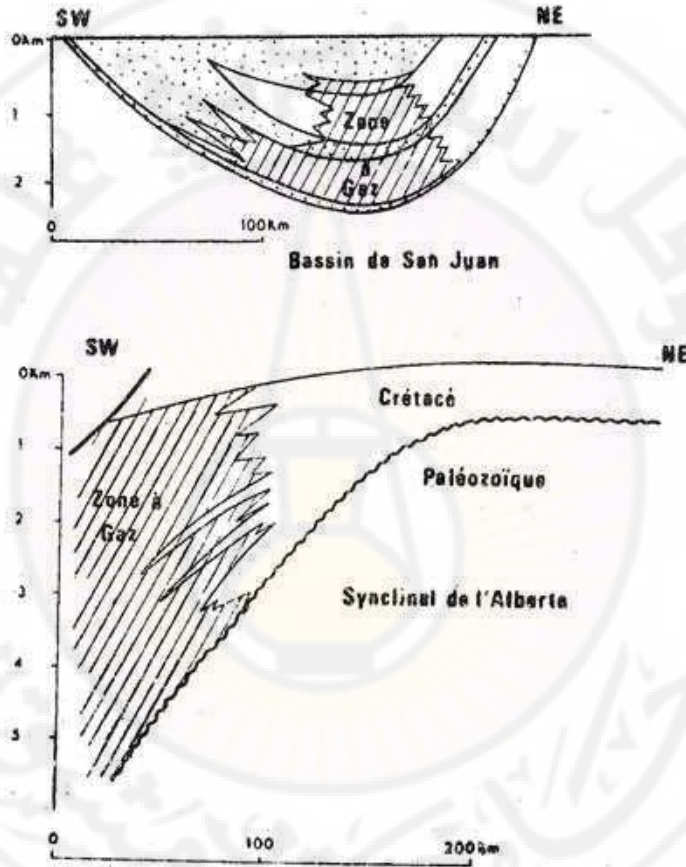
(شكل ١٠٩) : منطوق الاصطلياد الغازي بالترقق الطبقي المفتوح (Masters, 1979)



(شكل ١١٠) : حدود انتاج الغاز في مقعر البيرتا بالعلاقة مع المسامية ودرجة التشبع بالماء (Masters, 1979)

ويحدث هذا التجمع كما لو كان الغاز مصادراً في الفراغات الأكثر نعومة والأقل ضغطاً والمحاطة بطبقات مائية عالية القدرة الخزينة (شكل ١١٠) . إلا أن شروط وميكانيكية هذا التجمع مازالت غامضة للآن .

ومن الامثلة المعروفة على هذا النوع من المكامن في الاحواض الكريتاسية في أمريكا الشمالية مكمن حوض سان خوان (شكل ١١١) . حيث يحوي الجزء المركزي المقعر من هذا الحوض وضمن مساحة ١٠٠٠٠ كم^٢ ما يقارب ٧٠٠ مليار م^٣ من الغاز ، وذلك داخل مجموعة رملية عائدة للكريتاسي تصل في سماكتها إلى ١٥٠٠ م . وتتصف الرمال الخازنة بمسامية قدرها ١٠٪ ، وتقوذية لا تفوق ١ - ٢ ميلي دارسي في الاجزاء المنتجة منها . وتنتقل هذه الرمال تدريجياً باتجاه الأعلى إلى منطقة انتقالية (٨ - ١٦ كم) ، ذات مسامية ٢٠٪ وتقوذية ١٥ ميلي دارسي في أجزائها الهامشية المائية .



(شكل ١١١) : مقاطع توضح مواقع الطبقات الغازية في حوض
سان خوان ومقر البيرتا (Masters , 1979)

٢ - تجمعات الفحم الهيدروجينية (غير التقليدية) :

Les concentrations d'hydrocarbures non conventionnels

جرت العادة على تسمية الفحم الهيدروجينية المتراكمة في المصائد بالتجمعات النفطية التقليدية (conventionnels) وهي التجمعات الوحيدة القابلة للاستثمار

في عصرنا الحاضر . إلا أن الزيت والغاز يمكن أن يصادفا أيضاً على شكل تجمعات مبعثرة وبحجوم هامة . ويصطلح على تسمية هذه التجمعات الأخيرة بالتجمعات غير التقليدية أو غير المتعارف عليها (non conventionnels) .

أ - الرمال الأسفلتية : Les sables asphaltiques

إن التجمعات الأهم والأسهل من حيث الوصول إليها هي الزيوت الخام الثقيلة ، وبخاصة تلك التي تعود إلى الرمال الأسفلتية « tar sands » . إن هذه الزيوت ذات الكثافة المرتفعة (٩٣٠) هي غالباً نواتج قليلة النضوج ، وتعتبر في الوقت نفسه فحوماً هيدروجينية متخربة بسبب قربها من السطح ، وبالمقارنة بالنحوم الهيدروجينية التقليدية ، فإن هذه التجمعات المبعثرة تبدو على علاقة بتضافر العوامل الطبقيّة والبنويّة في التشكيلات الدلتاوية الواسعة بشكل خاص .

وتقابل الصخور الغازية في معظم الحالات رمالاً نهريّة ذات خصائص خزنية جيدة ، تغطيها (كما في حالة التجمعات في ألبرتا وفنزويلا) غضاريات بحرية تتجاوزية . وتحتوي هذه الصخور على تجمعات هامة من الفحم الهيدروجينية ، تصل إليها عن طريق الهجرات الثانوية التي تمتد على مساحة عشرات الكيلومترات .

وحسب المعطيات الحالية فهناك حوالي ستة عشر تجمعاً تحتوي على ما يقارب ٣٢٠ مليار طن من الزيت ، أي ما يقارب الاحتياطي المؤكد من الزيت الخام المكتشف في المصائد . وإن ما يقارب تسعة أعشار هذه الكمية تتواجد في كندا (ألبرتا) وفنزويلا في حزام أولينوك الإسفلتي . ويأتي الاتحاد السوفييتي في المرتبة الثالثة بالنسبة لهذه التجمعات ويليه في ذلك الولايات المتحدة الأمريكية .

ب - السجيل الزيتي : Les schistes bitumineux

يقصد بالسجيل الزيتي الصخور الغضارية ، أو الكربوناتيّة الغنية بالمادة العضوية ذات النضوج المتوسط . إن هذا (الكيروجين) يمكن أن

يتحول إلى نواتج فعلية بالحرق الحراري (pyrolyse) . وتتطلب هذه العملية ما يقارب ٣٥٠ حرارة لكل غرام من الصخر . وتحدد هذه القيمة النهاية الدنيا المحتوى هذه الصخور من المادة العضوية (٢٥٪) ، حيث أن القدرة الحرارية للكيروجين تساوي تقريباً ١٠٠٠٠ حرارة/غرام .

وبفضل حجمها الكبيرة وغناها بالمادة العضوية فإن هذه الصخور تشكل مصادر هامة للفحوم الهيدروجينية حيث يقدر احتياطي هذه الصخور بحدود ٥٣٠ مليار م^٣ من الفحوم الهيدروجينية (Burger , 1973) .

وتوافق المكان الرئيسية للسجيل الزيتي التوضعات البحرية الشاطئية (épicontinentales) العائدة للحقب الأول والثاني ، والتوضعات البحرية خلال الحقب الثالث . وأكثر هذه التوضعات أهمية هي التوضعات البحرية الأيوسينية في منطقة النهر الأخضر (Green River) في كولورادو وأونيتا في الولايات المتحدة والتي تغطي مساحة قدرها ٦٥٠٠٠ كم^٢ . بارتفاعات تصل إلى ٦٠٠ م ، وتتألف هذه التوضعات من مارن دولوميتي يحتوي على ٨-٥٠٪ من المادة العضوية المكونة من الاثنيات بشكل رئيسي . ويقدر احتياطي هذه التوضعات بحدود ٣٥٠ مليار طن من النفط .

كذلك فإن الغضاربات السود العائدة لعصر الديفوني ، والتي تغطي ٦٥٠٠٠٠ كم^٢ في شرق وأواسط الولايات المتحدة ، تحتوي على ٥ - ٢٥٪ من المادة العضوية بمساكنات تصل إلى ٢٥٠ م . وتحتوي هذه الصخور البيتومية على ما يعادل ٣٠ مليار طن من الزيت في المناطق الغنية و ١٠٠ مليار طن في التشكيلات الفقيرة بالمادة العضوية .

أما التجمع الثاني في المسالم فهو يتشمل بالتشكيلات البرمية في حقل Irati بالبرازيل المحتوي على ما يعادل ١٢٠ مليار طن من الزيت .

وهناك تجمعات أخرى أقل أهمية في مناطق مختلفة من العالم (الاتحاد السوفيتي - المغرب - الاردن - سورية) .

ج - الغاز المصغوط (المنحل) : Le gaz de géopression :

ويتواجد هذا النوع من الغاز في الطبقات المائية العميقة ذات الضغط المرتفع . حيث تحتوي مياه هذه الطبقات على كميات هامة من غاز الميثان CH_4 . وعندما تصعد هذه المياه إلى السطح فإن الغازات المنحلة فيها تتحرر بسبب انخفاض الضغط ويمكن أن يصل حجم الغاز المنحل في الماء إلى ١٧ م^٣ في ١ م^٣ على أعماق ٦٠٠٠ م وإلى ١٧٠ م^٣ في ١ م^٣ على عمق ١٠٠٠٠ م . وعكذا فإن حقلا كحقول Gulf Coast يمكن أن يحتوي على ١٤٠٠ بليون م^٣ أو أكثر من الغاز المسيل .

د - هيدرات الميثان : Les hydrates de méthane :

وهي عبارة عن غازات تختزن في الاجزاء الباردة على شكل هيدرات صلبة . وتتصادف هيدرات الميثان هذه في الطبقات الرسوبية في بعض المحيطات ، وخاصة في المناطق القطبية (arctiques) ، حيث تشكل الطبقات الجليدية غطاءات فعالة ومستمرة . ويقدر احتياطي هذه المصادر بحوالي ١٠٠×٥٠ م^٣ (Hobson, 1978)

خلاصة ونتيجة :

مما سبق يمكن القول بأن المصيدة جسم مغلق ذو إمكانية فطرية تحدد بالعلاقة مع المناطق المجاورة لها . ووجود أي ممكن يعني بالضرورة وجود مصيدة أما وجود المصيدة فلا يعني بالضرورة وجود الممكن .

ونميز عادة بين المصائد البنيوية والمصائد الاخرى التي تشكل فيها المصائد الطبقة النسبة الكبرى . وفي الوقت نفسه تشكل المصائد البنيوية ، ومن بينها القباب والمحدبات ، المصائد الاكثر عددا والأهم والأسهل اكتشافا . ويبدو واضحا

أن حادثة الاصطيد على علاقة بالديناميك السائد ، أكثر من علاقتها بالشكل الجيولوجي للمصيدة . ويرتبط هذا الديناميك بالعوامل الرسوبية والهيدرودينامية والجيودينامية بالإضافة إلى عامل الزمن .

ـ فالمصائد البنيوية تتشكل عادة في الأحواض المعرضة لحوادث الطي أو القوالب أو لكليهما معاً ، مهما كان سبب هذه التشوهات . وفي الأحواض المستقرة نسبياً خلال الترسيب ، والتي تبدي بالتالي صخوراً خازنة وطبقات مائية متجانسة ، تتجمع الفخوم الهيدروجينية غالباً في المصائد المحدبة . أما في الأحواض غير المستقرة أثناء الترسيب ، فإن الفخوم الهيدروجينية غالباً ما تكون مبعثرة بالرغم من التواجد الكبير للمصائد المحدبة .

ـ أما المصائد الطبقيّة فتسود في الأحواض ذات الاستقرار النسبي ، وذات التضاريس البنيوية الضعيفة ، والتي تبدي اختلافات في السحنات سواء في الأوساط الفضارية - الرملية أو في الأوساط الكربوناتية ، وذلك ضمن إطار جيوميكانيكي يساعد على إيجاد الانغلاق ضمن ضغط منخفض . وفي كلتا الحالتين فإن أبعاد المصائد تحدد نوعية التجمع .

ـ في حين أن المصائد المتنوعة هي أكثر صعوبة في التحديد من وجهة نظر جيودينامية . ويذكرنا تواجدها بأن الفخوم الهيدروجينية قادرة على التجمع خارج المصائد التقليدية المعروفة التي تشكل حالياً الهدف الرئيسي في أعمال التنقيب .

ويتم اصطيد الفخوم الهيدروجينية في المناطق المغلقة الأولى التي تصادفها أثناء حركتها ، وهذا ما يساعد على تشكل المصائد الطبقيّة . وفي حال كون الحوض شديد الانخفاض ، فإن المصائد البنيوية المعاصرة للترسيب ستكون كثيرة العدد وسيكون الزيت والغاز على مقربة من الصخر الأم . أما إذا كان الحوض ذا ثبات نسبي ، ويبدى ترققات طبقيّة يرافقها عدم توافقات ، فإن هذه الترققات ستكون

مكانا لتجمعات اولية هامة ، وستكون قادرة على الاحتفاظ بفحومها الهيدروجينية في حال حركة هذه الموائع . أما إذا تعرض الحوض لطبي لاحق فان الزيت والغاز سيفادران الصخر الخازن ليتوضعا من جديد في بنيات أخرى . وفي هذه الحالة تكون العوامل الطبقة قد ساعدت على توجيه الفحوم الهيدروجينية إلى البنيات المتواجدة في الاماكن الافضل من الناحية الباليوجرافية .

ولما كان تشكل المكامن يتطلب تقاطع المصائد مع حركة الفحوم الهيدروجينية، فانه من الضروري أن تتواجد المصيدة على مسار الهجرات ، وان تتواجد بنية مغلقة في هذه المصيدة خلال انتقال الموائع ضمنها . وإذا كانت المصائد المغلقة بشكل مبكر لها حظ كبير في الامتلاء أثناء الهجرات الاولى ، فان للمصائد الحديثة الاغلاق حظاً أوفر في الاحتفاظ بالفحوم الهيدروجينية المنقولة بالهجرات الثانوية . إلا أن عمليات الفصل وهروب وتبعثر الفحوم الهيدروجينية عبر الزمن تعتبر من الأسباب الرئيسية في عقم العديد من المصائد .

وهكذا يجب تطبيق المفاهيم العامة على الحالة الخاصة لكل منطقة . فلا يمكن تقييم فائدة مصيدة معينة إلا إذا تم تصورها خلال الفراغ بالعلاقة مع الصخر الام، وخلال الزمن بالعلاقة مع مراحل نشوء الزيت والغاز ، وتم تحليل دقيق للتسلسل التاريخي للمراحل المختلفة لتشكيل المكامن .



القِسْمُ الرَّابِعُ
الأقاليم النفطية

Les Provinces Pétrolières

الفصل الأول

مفهوم الاقاليم النفطية

Notion de provinces pétrolières

مقدمة :

إن أي تجمع فلزي هو شذوذ جيولوجي . وينتج هذا الشذوذ عن مجموعة من العوامل تختلف في تعقيداتها . كذلك فإن توزيع التجمعات النفطية ليس بمحض الصدفة ، وإنما يخضع لمجموعة من العوامل الطبقيّة والرسوبية والهيدروجيولوجية والبنوية .

إن العوامل الجيولوجية التي تحكم في توزيع المكامن ، وبخاصة في التواجد المترامن للصخر الام والصخر الخازن والصخر المغطي ، تمتد في تأثيرها على مساحات جغرافية واسعة ، مما يؤدي إلى تشكل مجموعة من المكامن أو نمط نفطي معين أي : مجموعة بنوية مؤلفة من عناصر طبيعية متشابهة في النوع والتأثير . وتشكل مثل هذه المجموعات على السوية الجغرافية مناطق أو أقاليم نفطية .

وتتحدد هذه الأقاليم بالمعطيات التالية :

- الخصائص الجغرافية : وبخاصة حجمها أو سطح انتشارها ، أي بفائدتها النفطية .
- الخصائص الجيولوجية : وبخاصة المتعلقة بنوعية الحوض والترسيب ، والتي تسمح بتصنيف هذه الأقاليم .

- الخصائص النفطية : وبخاصة عدد ونوع المكامن واحتياطي الزيت والغاز المكتشف ، ومن بين هذه الخصائص خاصتان هامتان هما :
- الاغثناء .
- نوعية الوسط .

وسنأتي فيما يلي على دراسة هذه الخصائص بدءاً من المفاهيم الأخيرة :

١ - الخصائص النفطية : Critères pétroliers

يقيم أي إقليم تبعاً لاغنتائه بالفحوم الهيدروجينية ، ويحدد هذا الاغثناء الوسط الذي تتواجد فيه هذه الفحوم . ويعكس هذان المفهومان حقيقتين منهصلتين ومختلفتين :

٢ - مفهوم الاغثناء : Notion de richesse

يحدد اغثناء إقليم بالفحوم الهيدروجينية بالعلاقة بين الاحتياطي المكتشف ومساحة هذا الاقليم ، أي بمفهوم الكثافة . ويمكن تقدير الاحتياطي بمعرفة الحجم الفعال للرسوبات ، إلا أنه يصعب حساب هذا الحجم . والاحتياطي الرئيسي للمكمن هو مجموع الكميات المنتجة ، مضافاً إليها الاحتياطي المؤكد المتبقي والتقابل للاستثمار . أما مساحة الاقليم النفطي فهو أمر يصعب تحديده بدقة وتختلف قيمته تبعاً للمعطيات الآبار . وفي كل الحالات فإنه من الضروري الأخذ بعين الاعتبار مساحة القطاعات الرسوبية التي تتركز فيها الناطق المنتجة والا يقتصر فقط على مساحة التجمعات .

وهكذا يمكن تمييز :

- أقاليم غنية جداً : وتحوي بشكل متوسط على أكثر من ١٠٠٠٠ طن من الزيت/كم^٢ .
- أقاليم غنية : وتحتوي على ١٠٠٠ - ١٠٠٠٠ طن من الزيت/كم^٢ .
- أقاليم فقيرة : لا تزيد كمية الزيت فيها عن ١٠٠٠ طن/كم^٢ .

ب - مفهوم التوزع : Notion d' habitat

يقصد بالتوزع الانتشار الفراغي للمكانن في حوض أو في إقليم نفطي .
ويحدد هذا التوزع :

- عدد المكانن المنتشرة في مساحة معينة .
 - نسبة الاحتياطي في الحقل أو الحقول الأكثر أهمية .
- ويخضع التوزع الجغرافي للمكانن ، للعلاقة التالية :

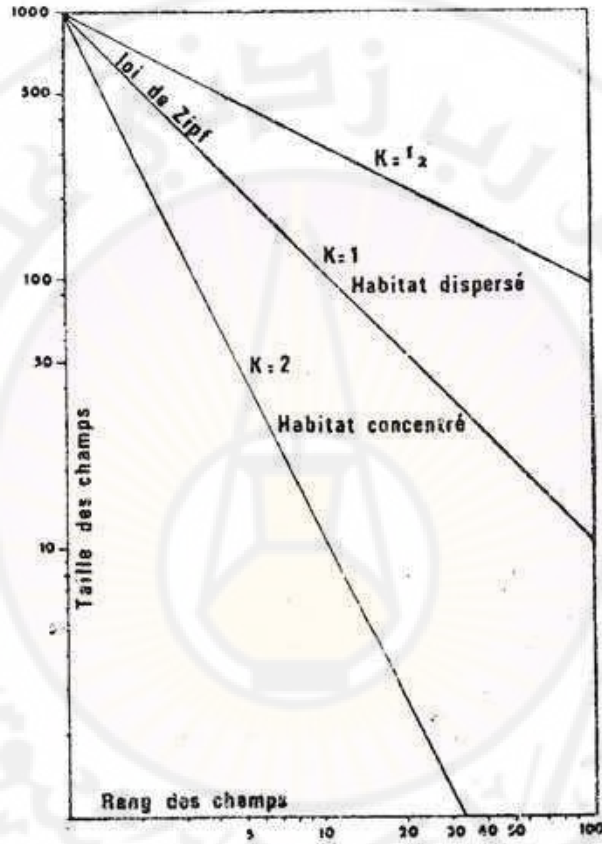
$$(\text{علاقة zipf}) \quad G_n / G_{n-1} = (n/n-1) \times K$$

حيث : G حجم المكانن ذي المرتبة n ، K ثابت يختلف في قيمته عن واحد ، ويرتبط بالعوامل الجيولوجية المؤثرة على التوزع . ولقد تبين تجريبياً أن عدد المكانن في إقليم نفطي يزداد حجمها ، والشكل (١١٢) يبين نظرياً وبشكل لوغاريتمي نمط توزع المكانن بالعلاقة مع حجمها ومراتبها .

وهناك نوعين من التوزع : التوزع التشتتي والتوزع التجمعي .

ويقصد بالتوزع التشتتي (habitat dispersé) أن الاحتياطي موزع في أعداد كبيرة من المكانن ، تتكرر فيها نفس الشواذات الرسوبية والبنوية المشكلة للمصائد ، كما هو الحال في بعض الاحواض الدلتاوية وبعض الاقاليم المستقرة الرصيفية أو غيرها . ولا يحتوي أكبر حقل في هذه الاقاليم على أكثر من ١٠-١٥٪ من الاحتياطي العام . وفي الحوض الباريسي حيث $K = ٠.٧٦$ يتوزع الاحتياطي البالغ مليون طن في ١٨ حقلاً .

أما التوزع التجمعي (habitat concentré) فهو يعني أن الجزء الرئيسي من الاحتياطي يكون مجتمعاً في عدد محدود من المكانن ، ويقابل شروطاً بنوية أو



(شكل ١١٢): التوزيع النظري للحقول تبعاً لحجمها ونوعية التجمعات فيها

طبيعة متباينة جداً ، كما في المناطق الإقليمية الواسعة التي يتلحق فيها شروط اصطياذ قليلة وإنما على أبعاد كبيرة . وفي مثل هذه الاحواض تحتوي الحقول الكبرى على أكثر من نصف الاحتياطي العام . ومن هذه الأوساط نذكر الصحراء الجزائرية ، حيث يحوي الحقل الأول فيها (حاسي مسعود) حوالي ٨٠٪ من احتياطي الزيت ، ويحوي حقل (حاسي رميلة) الذي يليه في الأهمية ثلث احتياطي الغاز . وكذلك حقل Prudhoe Bay في ألاسكا المحتوي على ٩٩٪ من الزيت والغاز المكتشف في هذا الاقليم .

٢ - الخصائص الجيولوجية : Critères géologiques

ترتبط خصائص الاقليم النفطي بشكل وثيق بـجيولوجية الحوض الرسوبي .
والشرط الرئيسي الذي يجب توفره لتواجد الاقليم هو وجود حوض رسوبي ذي
حجم هام أي ذي مساحة تبلغ عدة آلاف الكيلو مترات المربعة وسماكة لا تقل
عن ٢٠٠٠ م ، وتاريخ يصل إلى عدة عشرات من ملايين السنين بشكل عام .

وتسهم الخصائص الجيولوجية للحوض الرسوبي بشكل مختلف في تحديد
الخصائص النفطية للاقليم ، وبخاصة اغتنائه بالمخوم الهيدروجينية وطبيعة توزع
هذه المخوم فيه .

فاغتناء أو فقر الاقليم النفطي هو نتاج التاريخ الجيولوجي للحوض
الرسوبي ، أي نتاج توزع وتتابع أوساط الترسيب التي سادت فيه ، والتشوهات
التي تعرض لها والطبقات المائية التي يحتويها ، والعلاقة المتبادلة بين هذه العوامل
خلال الزمن . وتحكم هذه المعطيات بطبيعة المخوم الهيدروجينية وتقرر فيها إذا
كانت هذه الاقاليم اقاليم غازية أو زيتية .

أما طبيعة الوسط فهي على علاقة وثيقة بخصائص وسط الترسيب وبهندسة
الحوض .

- ويمكن تقسيم الخصائص الجيولوجية إلى مجموعتين رئيسيتين :
- خصائص ترتبط بالأوساط القديمة (paléoenvironnements) أي
بالترسيب والهيدروجيولوجيا والحرارة الجوفية .
- خصائص تاريخية على علاقة بالإطار البنيوي للحوض .

أ - خصائص الوسط الرسوبي القديم : Critères de paléoenvironnement

١ - شروط التوضع (الترسيب) : Condition de dépôt

يتشكل اقليم تقعي نتيجة التقاء أوساط ترسيب مختلفة ذات رسوبات فاعمة ضرورية لتشكل الصخر الام ، وصخور حطامية أو كربوناتية صالحة لان تكون صخوراً خازناً .

وكما رأينا سابقاً ، فان شروط الترسيب تتحكم إلى حد بعيد بطبيعة الفحوم الهيدروجينية المتشكلة . فالأوساط اللاغونية (saumâtres) أو الشاطئية (littoraux) المحتوية على مواد عضوية دبالية وذات المناخ الرطب (humide) هي أوساط غنية بشكل خاص بالغاز والزيوت البارافينية . أما الأوساط التبخرية (évaporitiques) المرتبطة بالمناخ الصحراوي فهي على العكس غنية بالمادة العضوية السابروبيلية ، وتحترق على زيوت نشتينية - عطرية غنية بالكبريت .

هذا وإن أحد الشروط الضرورية لتشكل المكامن هو اتصال هذه الأوساط المتعاكسة في التأثير ، الشيء الذي يتطلب تشكل الصخر الام والصخر الخازن . ويتحقق هذا الاتصال بأسلوبين :

- اختلافات جانبية للسحنات .
- تنضد لسحنات مختلفة .

- الاختلاف الجانبي للسحنات : Variations latérales de faciès

يحدث الانتقال من سحنات الصخور الام إلى السويات الخازنة في الاجزاء الهامشية من الحوض ، أي في الأوساط الدلتاوية أو اللاغونية . كما يحدث هذا الانتقال في الأجزاء الأكثر عمقاً ، وبخاصة المناطق المطوية المجاورة . وفي الأوساط الفضارية الرملية فائتا نلاحظ غالباً تواجد المكامن في مثل هذه المناطق ذات السحنات المختلفة

والمتكررة كما في التشكيلات العائدة للحقب الثالث في نيجيريا ، أو في التشكيلات العائدة لعصر الكريتاسي في غرب كندا .

وفي الاوساط الكربوناتية وبخاصة في الاقاليم الرصيفية ، فاننا نجد أيضاً مضططاً مماثلاً ، وبخاصة في إيوسين وباليوسين حوض الميرت في ليبيا أو في كريتاسي الخليج العربي (Golfe arabique) .

— تنضد (تماقب) السحنات وعدم التوافقات :

Superposition de faciès et discordances

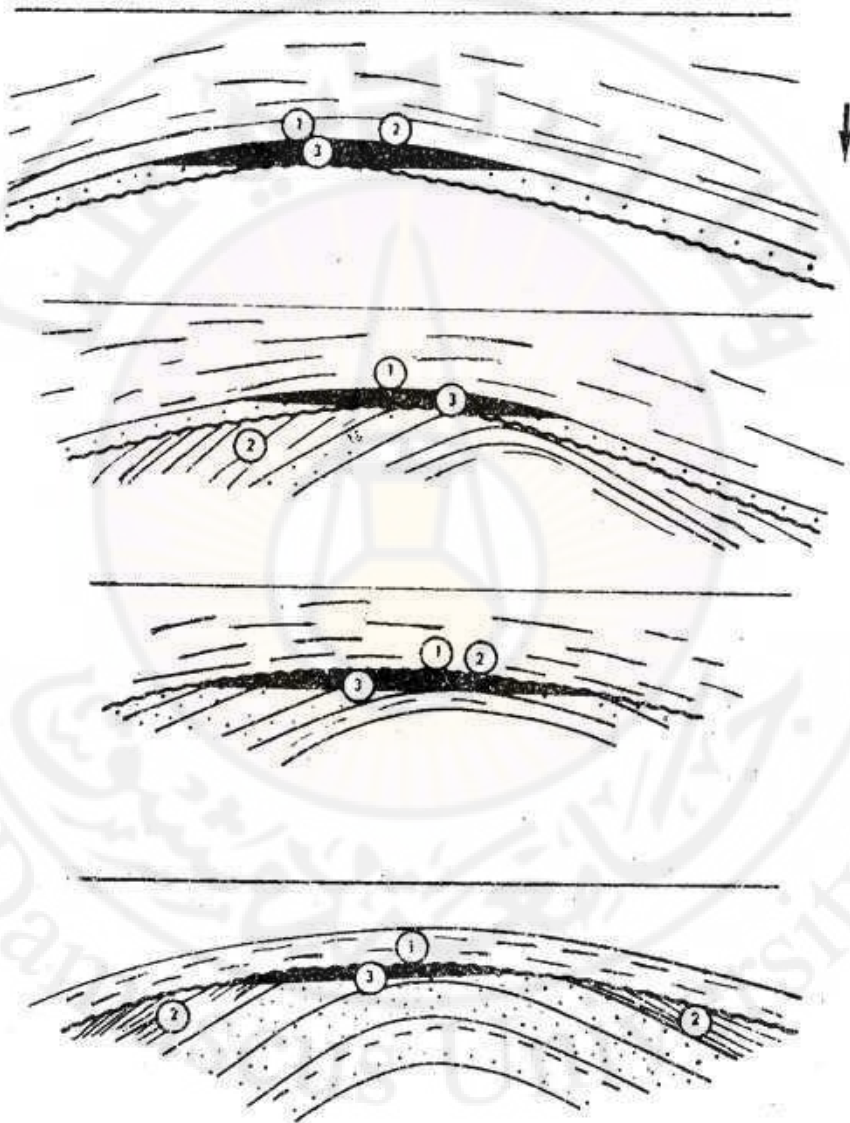
يسهل الاتصال بين سحنات مختلفة بوجود ثغرات (hiatus) رسوية أو بوجود أطوار عدم توضع أو أطوار تجاوزية .

إن تغطية الصخور الخازنة بتشكيلات غير نفوذة تلعب دور الغطاء أحياناً ودور الصخور الأم أحياناً أخرى يمكن أن يحدث بشكل خاص في مناطق عدم التوافق أو التجاوزات البحرية (شكل ١١٣) . وهناك أمثلة مختلفة على الصخور الأم التجاوزية التي تقوم بدور الغطاء نذكر منها المجموعات الغضارية — الرملية في الاحواض النيوجينية في أندونيسيا والتشكيلات الغضارية السينوية في حوض السيرت .

وهكذا نرى أن عدم التوافقات والتجاوزات تلعب دوراً رئيسياً في إغثناء الأقاليم النفطية وفي توزيع مكامنها . وذلك بتشجيع الاتصال بين الصخور الأم والخازنة . ويتم هذا الإتصال بطرق مختلفة .

— إما بوضع صخر أم مقابل صخر خازن كما في إقليم Mid - Continent وغرب تكساس وبحر الشمال .

— أو بإيجاد سطوح مسامية ونفوذة تشكل منارات مفضلة لهجرة الفحم الهيدروجينية ، كسطح عدم التوافق الهيريسيني في الصحراء الجزائرية .



(1) صخر مغطي (2) صخر ام (3) صخر خازن
(شكل ١١٣) : مقاطع لمكامن مختلفة بالعلاقة مع عدم التوافقات

— أو بخلق مصائد على شكل ترققات طبقية كما في حوض ماراكيبو في فنزويلا.

إلا أن عدم التوافقات يمكن أن تشكل أيضا عنصرا سلبيا في اغتناء الأقاليم النفطية وذلك عندما تتوافق مع ثغرات رسوبية طويلة ، أو عندما تكون التشكيلات المتوضعة فوقها ذات سماكة قليلة ، بحيث لا تستطيع أن تشكل بشكل مباشر أو غير مباشر امكانية جديدة لنشأة الصخور الهيدروجينية .

وهكذا يمكن الاعتقاد من الناحية الرسوبية أن التوضعات الأكثر ملاءمة لتشكيل الأقاليم النفطية يمكن أن تكون :

— إما مندرجات ضخمة (mégaséquences) موجبة (تجاوزية) تنتهي بتوضعات ناعمة كالمبخرات .

— أو توضعات المد والجزر المنتهية بتجاوز إقليمي لتشكيلة غير نفوذة .

وهذه هي أفضل الشروط لتشكيل الاغلاقات الاقليمية في حوض رسوبي معين .
وتعتبر الدورات الرسوبية الكريتاسية والمغطاة بالمارن المتجاوز في Gulf Coast والدورات الرسوبية الجوراسية المنتهية بأهدريت الهيث في البلاتفورم العربي والتراسي الملحي في الصحراء الجزائرية أمثلة على هذه الاغلاقات .

ومن الواضح أن هذه الشروط الرسوبية هي انعكاس لتاريخ ولتطور بعض أنواع الاحواض الرسوبية ، وإن هذه الخصائص الطبيعية تفرض وجودها في توزيع المكامن وانتشار الصخور الخازنة والصخور الأم أو الصخور المغطية . وهذا ما ينعكس في حقول الغاز العائدة للبرمي والواقعة في الجزء الجنوبي من بحر الشمال ، حيث تتواجد هذه الحقول ضمن مغلف يضم صخوراً فحمية ورمالاً وصخوراً ملحية (شكل ١١٤) .



(شكل ١١٤) : مواقع حقول الغاز في جنوب بحر الشمال ضمن
 ملفف الصخور المعمية - الرملية - التبخرية

٢ - الشروط الهيدروجيولوجية : Conditions hydrogéologiques

تؤثر الشروط الهيدروجيولوجية السائدة وبخاصة الهيدرودينامية منها بشدة في خصائص الاقليم النفطي . ويظهر هذا التأثير ، بالإضافة إلى إضفاء خصائص فيزيائية وكيميائية على شكل تدرجات في الضغوط .

وتسلك الفحم الهيدروجينية في هجرتها اتجاه تدرجات الضغط المنخفض .

ومن الطبيعي إذن أن نعر على تجمعات هذه الفحوم في المناطق ذات الكمون (potentiel) الضعيف . وفي الأحواض المجنية ذات الانخفاض الضعيف كالحوض الباريسي مثلاً فإن الأجزاء الصالحة من الوجهة الهيدروجيولوجية لتجمع الفحوم الهيدروجينية هي الأجزاء المركزية من الحوض، والمحمية من اجتياحات المياه الجوفية . وعلى العكس ففي الأحواض الحديثة التشكل ، وذات الانخفاض الشديد تحتل مناطق الكمون المرتفع الأجزاء المركزية والعميقة من الحوض وبالتالي ينحصر تواجد المناطق الصالحة للتجمع على المناطق المتوسطة أو القليلة العمق في الأجزاء الهامشية من الحوض ، حيث يسود ضغط أدنى من الضغط الهيدروستاتيكي . وفي الأحواض الحديثة التشكل والمحتوية في أعماقها على طبقات شديدة التراص تتواجد معظم التجمعات النفطية في المنطقة الانتقالية التي تعلو التشكيلات ذات الضغط المرتفع كما في دلتا ماكينزي في شمال كندا حيث توجد التجمعات الغازية في قمة التشكيلات الشديدة التراص (شكل ١٣) .

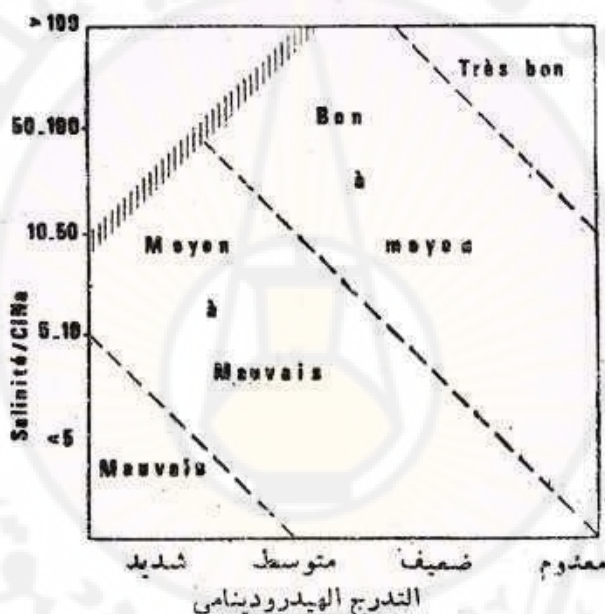
هذا وقد لوحظت عدة علاقات بين خصائص الزيت الخام والمياه الطبقة، حيث:

— تزداد كثافة الزيوت الخام بشكل عام بانخفاض درجة ملوحة المياه . وهذا ما يحدث في أطراف الأحواض الرسوبية . وغالباً ما تكون المياه الضعيفة الملوحة على علاقة مع الصخور الخازنة المتجانسة والمستمرة حيث تسود المكامن مضغوط هيدروستاتيكية أو هيدرودينامية وتغلب المصائد البنيوية . أما المياه المالحة أو التي تتغير درجة ملوحتها بسرعة كبيرة فهي على علاقة مع الصخور الخازنة الأقل تجانساً واستمرارية حيث تكون الضغوط أكثر ارتفاعاً واختلافاً وتغلب المصائد الطبقة .

— تتوافق المياه المحتوية على كلور الصوديوم NaCl مع زيوت خام خفيفة بارافينية . أما المياه المحتوية على كلور الكالسيوم CaCl_2 فهي تتوافق مع زيوت ثقيلة نفتينية أو أروماتيكية (عطرية) تشجع على نمو البكتريات المزيطة للبارافينات .

— تعتبر الطبقات المائية ذات الملوحة الضعيفة والضغط الشديد شاهداً

على حوادث التراص الشديد (sous - compaction) • وفي هذه الحالة تصادف
المكان في المستويات العليا من السوية الخازنة ذات الضغط المرتفع • أما الضغوط
الشديدة والملوحة العالية فهي تدل على الاقتراب من الطبقات الملحية • كذلك فان
الضغوط العالية تدل غالبا على تواجد غطاءات جيدة (شكل ١١٥) •



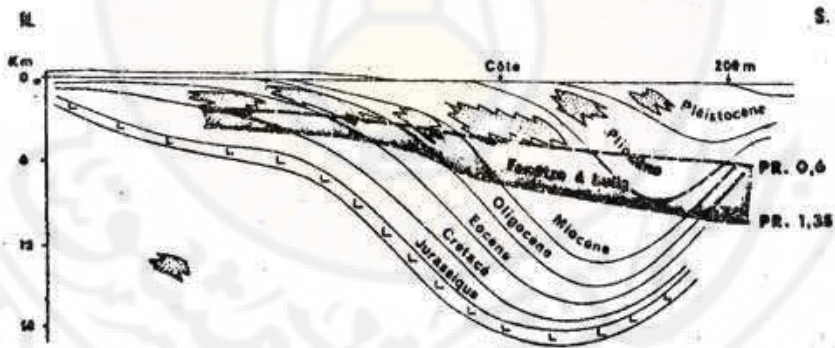
(شكل ١١٥) : مخطط يوضح الاهمية النفطية لصخر خازن بالعلاقة مع
الخصائص الهيدرودينامية والهيدروكيميائية (Charelli, 1979)

وهكذا يمكن القول أن هناك علاقة منطقية (Logique) بين توزيع
التجمعات النفطية وبين العوامل الهيدروجيولوجية والهيدرودينامية
والهيدروكيميائية • وفي الحقيقة فان هذه العلاقة تحمل على إعادة النظر في الافكار
التقليدية المعروفة في أعمال التنقيب • وفي الواقع فاذا كانت الاعتبارات البنيوية
والطباقية توجه التنقيب باتجاه الاجزاء الأكثر ارتفاعاً في الحوض (الهوامش) ،
فان الجيوكيمياء و جيولوجيا الموائع تقود على العكس إلى توجيه الأقطار نحو
الاجزاء الأكثر عمقا أي الاجزاء المحيطة من الافعال الخارجية المخربة (كالمياه

الجوية مثلاً) ، وتعيد إلى الذاكرة أن الفحم الهيدروجينية هي « كائنات » غير ثابتة وتتطلب أوساطاً مغلقة لتتشكل وتحفظ (Coustau , 1975) . وهناك مجموعة من الكامن تتواجد ضمن هذه الشروط وبخاصة في الحوض الباريسي إلا أن هذه الاقاليم فقيرة بالمادة النفطية عموماً .

٣ - الخصائص الجيولوجية : Conditions géothermiques

كما قد رأينا في دراستنا للفحوم الهيدروجينية أن الشروط الجيولوجية تحكم في نشأة وحفظ هذه الفحم . إلا أن الهجرات يمكن أن تغير أحياناً من هذه القاعدة . حيث يمكن في بعض الحالات لزيت مهاجرة أن تتواجد فوق حدود النافذة الزيتية (شكل ١١٦) .



(شكل ١١٦) : مخطط توزيع المناطق المنتجة للزيت والغاز في اقليم لويزيان

(Dow, 1978)

هذا وتتواجد معظم الزيوت المكتشفة في الاقاليم النفطية في تشكيلات رسوبية لا تتجاوز حرارتها القديمة (paléotemperature) ١٤٠ درجة مئوية

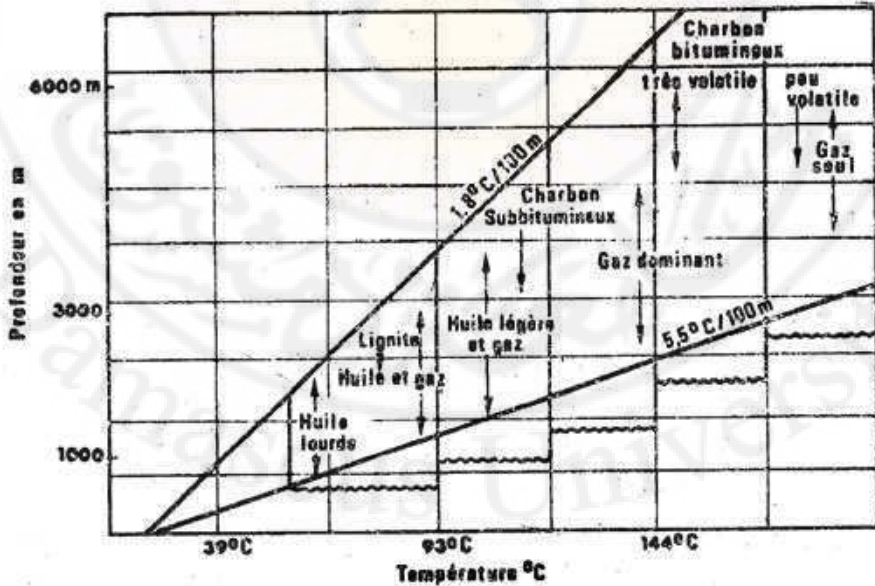
(Haquebard, 1977)

التمنطق الشاقولي : Zonation verticale

ذكرنا أثناء دراستنا لنشأة الفحم الهيدروجينية أن هناك تمنطقاً شاقولياً للمجموعات المختلفة للفحوم الهيدروجينية بالنسبة لدرجات الحرارة . وفي الحوض الانخفاضي لدلتا نيجيريا مثلاً نجد :

- منطقة زيتية تمتد حتى المنحنى الحراري ١٠٠ درجة مئوية .
- منطقة زيتية وغازية واقعة بين المنحنيات الحرارية ١٠٠ — ١٣٠ درجة مئوية .
- منطقة غازية تقع فوق المنحنى ١٣٠ درجة مئوية .

إن فعل الحرارة يعمل تدريجياً على محو آثار العوامل الجيولوجية الأخرى وبخاصة العوامل الرسوبية . والشكل التالي (١١٧) يبين العلاقة بين درجة التحول الحراري ونوعية الزيوت والغازات تبعاً للعمق .



(شكل ١١٧) : مخطط يوضح توزع الفحم الهيدروجينية والفحوم العادية

بالعلاقة مع العمق ودرجة الحرارة (Klemme, 1972)

ـ التدرجات الإقليمية : Gradients régionaux

تأخذ التدرجات الحرارية في الأقاليم النفطية الغنية بالفحوم الهيدروجينية قيمياً تفوق قيمها المتوسطة . أما في الأقاليم الفقيرة فتكون هذه القيم ضعيفة عموماً باستثناء الأحواض الشاطئية الكبرى . وتتبع هذه التدرجات الحرارية طبيعة الحوض حيث يمكن أن تكون :

ـ عالية جداً (٥ - ٧ درجات لكل ١٠٠ م) في بعض الأحواض كأحواض آسيا الوسطى والسيرت والمنطقة العربية .

ـ عالية (٣ - ٥ درجات لكل ١٠٠ م) كما في حوض غوار وأوكلاهوما وبعض الأجزاء السiberية .

كما تعاني هذه التدرجات الحرارية اختلافات ضمن الحوض الرسوبي نفسه . ففي إقليم الأورال - فولغا - في الاتحاد السوفيتي تبدي المناطق المرتفعة تدرجات حرارية عالية تؤدي إلى تواجد كميات هامة من الزيوت والغازات في حين لا تحتوي إلا على كميات قليلة من الزيوت الثقيلة .

وتجدر الإشارة إلى أن الناقلية (conductivité) الحرارية العالية في القباب الملحية تشجع على نشأة ونضوج الفحوم الهيدروجينية في المناطق المجاورة لها مباشرة .

ب ـ الخصائص التاريخية : Critères historiques

بالرغم من صلة المفاهيم التاريخية بالمفاهيم الطبقيّة والبالوجغرافية ، إلا أنه من الضروري الإشارة إلى أهمية عامل الزمن في الشروط الجيولوجية المؤدية

إلى تشكل الأقاليم النفطية . حيث يلعب عامل الزمن دوراً أساسياً في توزيع حركة
الفحوم الهيدروجينية وفي تشكل تجمعاتها . وإن تقدير تأثير العوامل الزمنية
(Chronologiques) يمكن أن يتم عن طريق دراسة المقاطع الجيولوجية ، وبخاصة
تلك التي تقدمها الدراسات الاهتزازية ، أو ما يسمى حالياً بالسحنات الاهتزازية
(sismique stratigraphie) التي تقدم تصوراً عن بنية وهندسة الحوض
الرسوبي . ويكتمل هذا التصور بوضع مخطط يربط بين العمق والزمن ،
وهذا ما يسمح بمعرفة اختلافات الانخفاض والترسيب والحت بالعلاقة مع
العمق ، وبالتالي تحديد نوعية الحوض وطبيعة المصائد أو النمط النفطي فيه .

١ - الشروط البنوية : Conditions structurales

إن هندسة الحوض الرسوبي هي نتاج لتاريخه الجيولوجي الطويل . وترتبط
هذه الهندسة بترصف (Juxtaposition) وتتابع الأجزاء الموجبة (المرتفعة)
والسالبة (المنخفضة) خلال الزمن ، سواء كان ذلك على السوية المحلية أو ضمن
الاطار الإقليمي .

- **فعلي النطاق الإقليمي :** حيث تتواجد الأقاليم النفطية ، يجب اعتبار الأجزاء
المنخفضة أمكنة لتشكيل الفحوم الهيدروجينية :

- إما بفضل أوساط الترسيب المشجعة لتواجد الصخور الأم والمغطية .
- أو انخفاض الرسوبات الذي يؤدي إلى تراصها ونضوجها وطردها للموائع
منها .

- أو بتوضع سحنات خازنة في حالات خاصة (تيارات العكر - الحوار)

وعلى العكس فإن الأجزاء المرتفعة تبدي خصائص مفيدة لكونها تتمتع :

- إما بطبقات ذات صفات خزنية جيدة .

أو بطبقات ذات ضغوط منخفضة تسمح بتجمع الفحوم الهيدروجينية أحياناً ،

وبمغادرة هذه الأخيرة منها أحيانا أخرى وذلك تحت تأثير تراس هذه التشكيلات ، أو حتها ، أو اجتياحها بسوائل أخرى .

وهكذا وتحت تأثير هذه الظروف فإن المحدثات المرتفعة يمكن أن تتحول إلى محدبات صلعاء (chauves) أو غير مغطاة .

ورغم أن الأجزاء الأكثر أهمية من الناحية النفطية هي الأجزاء الموجودة في المناطق الداخلية من الحوض أو تلك التي يحدث فيها تقدم أو تراجع للبحر ، مما يسمح بتعاقب السحنات وبخاصة الغطاءات ، فإن المناطق ذات الأهمية القصوى هي المناطق الانتقالية الواقعة بين الأجزاء المرتفعة والمنخفضة ، حيث أن تغيرات المسامية والنفوذية في جوانب الأجزاء المرتفعة تشكل دوماً وسطاً ملائماً لتجمعات الفحوم الهيدروجينية .

وتعتبر المناطق الاقليمية المرتفعة المناطق الأكثر ملاءمة للتجمعات الاولية الهامة للفحوم الهيدروجينية . ويمكن للمصائد الأولية لهذه الاقاليم (في حالة استقرارها) أن تحتفظ بفحومها الهيدروجينية ليومنا هذا ، وهذا هو واقع تجمعات حقول حاسي رميل وحاسي مسعود في الصحراء الجزائرية وحقل غوار في السطحة العريبة . وإذا ما تعرضت هذه الاقاليم الموجبة إلى التهشم بفعل الطي أو التقطع بفعل القوالت فإنه يمكن لها أن تغذي الحقول الأخرى ، وهذا هو الحال في بعض الاقاليم الانهدامية حيث تعزى الأغوار إلى مناطق قديمة هابطة .

- وفي السوية العلية : أي على نطاق المصيدة فتؤثر العوامل البنيوية بطرق متعددة . ويمكن أن نميز هنا بين الطيات والقوالت :

- ففي الطيات (plissements) هناك أولا الناحية الهندسية ، حيث أنه ومهما كان سبب تشكل الطي فإن للأشكال كافة فوائدها طالما أن هناك سطحاً مقلماً وعازلاً يتجه نحو الأسفل . إلا أن البنيات الأهم في تحقيق الاغلاق ليست بالضرورة الأفيد ، لاسيما وأن شدة الطي تخلق غالباً شبكات من الشقوق تؤثر سلباً في

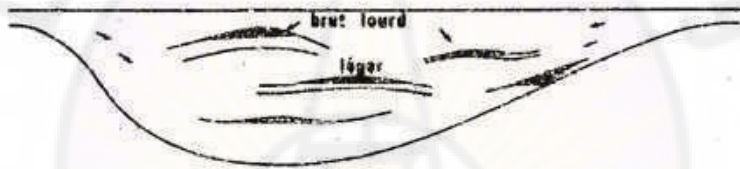
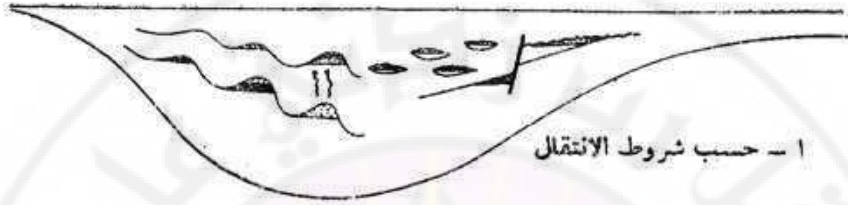
خصائص الغطاء • ويؤكد هذا وجود تجمعات هائلة للفحوم الهيدروجينية ضمن قباب أو محدبات ذات أقطار انحناء كبيرة وذات اغلاقات صغيرة •

— أما بالنسبة للفوالق (failles) فيبدو الأمر أكثر تعقيداً ، وذلك نظراً للدور المضاعف الذي تقوم به في حجز وهجرة الفحوم الهيدروجينية • وبسبب الأمر فقد جرت العادة على تقييم الفوالق القديمة بالفوالق الأكثر اعاقاً لحركة الموائع ، وذلك على اعتبار الفوالق مستويات انقطاع وحركة للياه المحملة بالأملاح ، حيث تتوضع هذه الأملاح وتنمو مع قِدَم الفالق على شكل فلزات تغلق مستواه • وهذا ما يحدث غالباً في الفوالق المعاصرة للترسب في أطراف الاحواض الرسوبية • وعلى العكس فإن الفوالق الحديثة تشكل دون أي شك مسارات للهجرة • والتراكيب الغازية لمنطقة كانجان في إيران (زاغروس) ، المقطوعة بالفوالق العكسية والتي تعيد حركتها بسبب الهزات الأرضية المعاصرة ، تفقد الكثير من إغلاقاتها بسبب هذه الانزياحات •

وهكذا نرى أن شروط الاصطياد تؤثر إلى حد كبير على التوزيع النهائي لتجمعات الزيت والغاز فالاصطياد التبايني في المناطق المثنية يؤدي مع وجود غطاءات عازلة إلى ارتفاع نسبة مكانم الغاز في الأجزاء الداخلية من الحوض في حين تتمركز المكانم الزيتية في الأجزاء الهامشية الأقل عمقاً • أما الاصطياد التبايني الحاصل بواسطة الهجرة الشاقولية عبر الفوالق فإنه يؤدي على العكس إلى تجمع المصائد الغازية في الطبقات قليلة العمق ، بينما يبقى الزيت في التشكيلات الأعماق والأقرب إلى المركز (شكل ١١٨) •

٢ - الشروط الجيوديناميكية : Conditions géodynamiques

تسمح دراسة التطور الجيودينامي بالعلاقة مع الزمن في إقليم تغطي بمعرفة التسلسل الزمني للميكانيكيات المختلفة التي أدت إلى تشكل وحفظ التجمعات النفطية في هذا الإقليم • وتشمل نتائج الدراسة بمخططات (دياغرامات) توضح حسب



(شكل ١١٨) : مخطط توزيع الفحم الهيدروجينية في الحوض الرسوبي بالعلاقة مع نوع الاصطيد

الزمن تطور العوامل الجيودينامية كعمق الوسط • وتساعد هذه المخططات أيضاً في معرفة التغيرات الكمية للانخفاض أو للترسيب ، وفي تحديد نوعية الحوض • كما تفيد من الناحية النفطية في معرفة ميكانيكية الاصطيد •

ومهما كانت الطريقة المتبعة في عرض النتائج فإن عامل الزمن يجب أن يفهم من الزوايا الثلاث التالية :

- النسبية الزمنية للحوادث الجيوتفطية المختلفة •
- استمرارية أو انقطاع الحوادث الجيولوجية •
- الموقع الزمني بالعلاقة مع الحاضر •

النسبية : Relativité

لوحظ أن حوادث نضج المادة العضوية وطردها الفحم الهيدروجينية من

الصخور في أحواض مختلفة هي حوادث حديثة بالنسبة لتاريخ الحوض الجيولوجي ، وهي على علاقة بفترات ومناطق الانخفاض في الحوض (Tissot, 1975) وفي هذه الشروط فإنه ليس للعمر المطلق (absolu) للبنى تأثير على سير هذه الحوادث ، وإنما يعود هذا التأثير بالدرجة الأولى إلى عمرها النسبي (relatif) أي إلى موقع هذه البنى في الزمن والفراغ بالعلاقة مع سيانة الفحم الهيدروجينية . وهذا يعني أن المصائد الأقدم ليست بالضرورة الأهم . ويؤكد هذا حوض كول في ألسكا الغني بالفحم الهيدروجينية ، والمؤلف من حقول حديثة التشكل وخاضعة لانخفاض شديد وصل إلى ٧٥٠٠ م خلال الحقب الثالث .

الاستمرارية : Dureé et continuité

ترتبط نشأة الفحم الهيدروجينية ونضجها بدرجة الحرارة . ومنه يجب أن تكون درجة الحرارة أكثر ارتفاعاً كلما صغرت فترة نضوج المادة العضوية . وتعبير آخر فإن الأحواض الحديثة (ولنقل النيوجينية) يجب أن تكون معرضة لسيالة حرارية أعلى بكثير من تلك التي تسود في الأحواض القديمة . أي أن إنتاجية أي حوض في شروط ثابتة من الحرارة هي على علاقة طردية مع عمر هذا الحوض .

كما أن لاستمرارية الحوادث الجيولوجية أهمية خاصة . ومنه يجب معرفة هذه الاستمرارية خلال الزمن وتقسيمها إلى أطوار . ومن الواضح أن عدد الأطوار بالنسبة لفترة معينة يتناسب عكساً مع فترات هذه الأطوار . فكلما نقصت فترات الأطوار ازداد عددها ، وبالتالي تزداد الانقطاعات وتقل درجة تجانس الأحواض . والأقاليم النفطية التي تتمتع بدرجة تجانس عالية ، أي ذات التاريخ البسيط ، هي أقاليم غنية جداً بالفحم الهيدروجينية . وكشاهد على هذه الأقاليم نذكر إقليم سفوح (Piedmont) جبال زاغروس المؤلف من تشكيلة رسوبية تبلغ سماكتها ١٢٠٠٠ م ، ويصل عمرها إلى ٢٥٠ مليون سنة ، موزعة في سلسلة من الطيات البسيطة تعود في أعمارها إلى عصر الميوسين . كذلك يتصف الإقليم العربي ذو

الطيات البسيطة بتاريخ جيولوجي طويل وطفيف الاختلاف • ومن المعروف أن هذين الاقليمين هما، بالإضافة إلى إقليم سيبيريا المشابه، أغنى الأقاليم النفطية في العالم • وعلى العكس فإن تعدد الأطوار يؤدي غالباً إلى توزيع تبشري • أي أن التاريخ الطويل ذا الأطوار المتكررة سيفقد عندما تسود الحوادث المحلية إلى تجمعات تبشيرية ، كما هو قائم في الأقاليم الدلتاوية في نيجيريا وفي الأقاليم الرصيفية •

الحالة بالعلاقة مع الحاضر : Situation par raport à l'actuel

يمكن للفحوم الهيدروجينية أن تتشكل خلال مرحلة قصيرة من الزمن (بالعلاقة مع التاريخ الجيولوجي للحوض) ، في حدود عشرة ملايين سنة وذلك عندما يكون الانخفاض شديداً ، وخلال مرحلة طويلة في حدود مئة مليون سنة في حالة الاحواض البلاتفورمية • ولقد بين العالمان (1978) Tissot و Welte أن ٩٠% من حقول الزيت والغاز الحالية قد تشكلت خلال عصر الكرياسي والحقب الثالث ، أي خلال مئة المليون سنة الأخيرة وذلك مهما كان عمر الصخر الأم • وإن ما يهم القارئ على أمور التنقيب هو العلاقة بين التاريخ الجيولوجي والتواجد الحالي للنفط والغاز •

ويجب القبول بأن المناطق الأكثر اغتناء بالفحوم الهيدروجينية هي المناطق التي استطاعت خلال تاريخها الجيولوجي أن تحافظ على فحومها الهيدروجينية ، أي تلك التي استطاعت تعويض ما فقدته في مرحلة ما بما اكتسبته في مرحلة أخرى •

ويؤدي الانخفاض إلى ارتفاع الضغط والحرارة ، وهما السببان الرئيسيان في نشوء كميات جديدة من الفحوم الهيدروجينية • وبتعبير آخر فإن ترسيباً في حدود ٤٠ - ٥٠ م كل مليون سنة هو عامل إيجابي في تعويض كميات جيدة من الزيوت والغازات • وهذا هو حال أكثر الأقاليم النفطية الغنية : الخليج العربي - السيرت - سيبيريا - بحر لشمال - نيجيريا •

٢ - الخصائص الجغرافية (توزيع الفحم الهيدروجينية) :

أ - توزيع الفحم الهيدروجينية في اطار الحوض :

إن توزيع الفحم الهيدروجينية في حوض ما يخضع لمجموعة من الميكانيكيات الجيو كيميائية والهيدروجيولوجية والرسوبية والبنوية .

١ - الخصائص الجيو كيميائية والهيدروجيميائية :

- النشأة : La g n se

رأينا أن إمكانية تشكل الفحم الهيدروجينية تزداد مع عمق الانفجار (الاندثار) والحرارة أي تحت تأثير الانخفاض . وتصادف الزيوت الثقيلة أو العديدة النضوج على بضعة مئات من الأمتار ، حيث يكون التحول الحراري ضعيفا . وتحت هذه الأعماق تصادف زيوت تزداد خفتها بازدياد العمق ، إلى أن تصل إلى الطبقات الغازية الرطبة (القابلة للتكثف - condensants) وأخيراً إلى الطبقات المحتوية على الغازات الجافة .

هذا ويمكن أن تصادف غازات مبكرة التشكل (pr coce) وبخاصة غاز الميثان على أعماق قليلة في مناطق النضج الضعيف . وفي هذه الحالة يبدو غاز الميثان وكأنه نتاج الطبقات المعرضة للتحول الحراري الشديد ، وفي الوقت نفسه نتاج الطبقات الضعيفة النضوج المحتوية أو التي احتوت خلال المراحل الجليدية الأخيرة على الهيدرات . وهكذا فإن غاز الميثان يمكن أن يكون الناتج الأكثر انتشاراً في المناطق القطبية أو القريبة منها ، كما في كندا وسيبيريا أو حتى في بعض الأحواض العميقة « offshore » .

كذلك فإن المواد النفطية المتجمعة في الصخر الخازن تبقى دوماً عرضة لاختلافات الحرارة والضغط الناتجة عن الانخفاض ، حيث يؤدي ارتفاع درجة الحرارة

إلى تكسير الجزيئات ، مولداً بذلك نسبة متزايدة من النواتج الخفيفة والغازية (وتسمى هذه الظاهرة بالفساد الحراري) . أما ارتفاع الضغط فيؤدي إلى تحرير الكبريت .

– الفساد : L'altération –

الفحوم الهيدروجينية هي نواتج غير ثابتة ، ولا تحتفظ بحالتها إلا في الأوساط غير الهوائية (anaérobies) وفي درجات متواضعة من الحرارة . وبالتالي تكون عرضة للأفعال الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تؤثر فيها طيلة التاريخ البيولوجي للحوض ، مؤدية إلى محو تدريجي لآثار شروط الترسيب . وبالإضافة إلى هذه الأفعال الناتجة عن الانفاس وارتفاع درجة الحرارة فهناك مجموعة أخرى من الأفعال المرتبطة بحدوث النهوض تؤدي إلى فساد وتخرب الفحوم الهيدروجينية . حيث أن الحركات الموجبة تؤدي إلى نشاط الحث (érosion) وتخرب الغطاءات ، وظهور التشققات ، وانخفاض في الضغوط ، واجتياح للمياه الجوية الذي يقود إلى جرف المركبات الخفيفة وإبقاء المركبات الثقيلة .

إن تخرب الغطاءات يقلل في حماية المكمن ويؤدي إلى فساد وأكسدة الزيوت الخام .

كما أن اجتياح المياه الجوية يؤدي إلى تشكل البوليميرات التي تقدم نواتج عجنية أو صلبة ، ذات ألوان قاتمة ولزوجة عالية وهذه هي سمات الدلائل السطحية .

وتتغير المياه الجوية يسيره أيضاً تخرب بيولوجي (biodégradation) ناتج عن فعل البكتريات الموجودة في الماء . ويؤدي هذا التخرب إلى فقدان الأجزاء الخفيفة وإلى تحرير الميثان ، وإزدياد ثقل المواد الباقية ، بالإضافة إلى زيادة نسبة النظير ¹³C .

وهكذا تؤثر التحولات المختلفة على توزيع الفحوم الهيدروجينية في الحوض وتعمل على زيادة النواتج الثقيلة في الطبقات القليلة العمق وبخاصة في أطراف الحوض .

٢ - عمر الزيت : L'age d'huile

يمكن أن يحدد عمر الزيت الخام بالعلاقة مع :

١ - عمر الصخر الخازن الذي يحتويه ، وهذا ما يعتمد في الدراسات الاحصائية لسهولة تحديده .

٢ - عمر الصخر الام الذي جاء منه الزيت ، وهو تحديد غير دقيق ، وذلك لعدم معاصرة تشكل الزيت لتشكل الصخر الام .

٣ - عمر المرحلة التي نشأ فيها الزيت وغادر فيها الصخر الام ، وهذه هي الاجابة الأكثر دقة . حيث بين (Tissot 1975) أن المرحلة التي تفصل بين توضع الصخر الام والطور الرئيسي لتشكل الفحم الهيدروجينية يكمن أن تختلف بين عدة ملايين من السنين و ٣٠٠ مليون سنة . هذا وإن الفحم الهيدروجينية الموجودة في معظم المكامن النفطية الحالية كانت قد تشكلت خلال الكرتياسي والحقب الثالث ، مهما كان عمر الصخر الام . وهذا يعكس أهمية الانخفاض الذي تعرضت له الأحواض الرسوبية خلال هذه الأزمان .

٢ - الخصائص الرسوبية والمناخية

تتحكم السحنات الرسوبية في خصائص الفحم الهيدروجينية التي تتولد وتحفظ فيها . وكما رأينا فإن السحنات الغنية بالمادة العضوية الدبالية (humique) توافق غالباً أوساطاً غضارية رملية ، كما في الأوساط الدلتاوية الغنية بالغازات والزيوت البارافينية المحتوية على الشموع . أما السحنات التبخرية والكربوناتية فهي أكثر اغتناء بالزيوت النفطية الغنية بالكبريت . هذا وإن تأثير الحرارة على الفحم الهيدروجينية يبدو أكثر أهمية في الأوساط الغضارية منه في السحنات الكربوناتية .

ومن ناحية أخرى فقد لوحظ أن الغاز يتواجد بنسبة عالية في المناطق ذات المناخ البارد ، وذلك بسبب تأثير الهيدرات في خفض درجة انحلال الميثان في الماء .

٣ - الخصائص البنيوية والهيدرودينامية :

تتحكم الخصائص البنيوية في شروط الاصطياد ، ويساعد في ذلك حدوث الهجرة . وكما رأينا فإن الزيت والغاز يهاجران بشكل منفصل من مناطق الضغط المرتفع باتجاه المناطق ذات الضغط المنخفض ، أي ذات العمق الأقل . وتوضع هذه الهجرات إلى علاقات يحددها وجود الغطاءات والاعلاقات (شكل ١١٦) .

فإذا ما حدثت الهجرة بشكل أفقي تحت الغطاء ودون أن يتعرض مسارها وجود الفوالق فإنه سيحدث إصطياد تبايني يقود إلى تجمع الغاز في الأجزاء الداخلية والزيت في البنيات الهامشية الأقل عمقا في الحوض . وهذا المخطط المعروف في حالة المحدثات المتراصة يمكن أن يكون ماثلا لمخطط الهجرة في المصائد الرصفية (شكل ٥٢) .

وإذا ما حدث الانتقال عبر مصائد طبقية متتالية ، أو حسب اتجاهات شاقولية عبر الطبقات وبخاصة الغطاءات (بفضل الشقوق والتكسرات) فإن النواتج الخفيفة ستحتل الطوابق العليا ، وستضع فيما بعد في الطبقات السطحية إن لم تبقى محفوظة بفعل الغطاءات الكثيرة . وفي هذه الحالة يبقى الزيت قابعا في الأعماق .

وفي الحقيقة ، غالبا ما تتم هذه الهجرة أو التبشر الشاقولي انطلاقا من تجمعات أو مكامن محدبة ، وبذلك تتكامل مع الاصطياد التبايني الأفقي الذي نعدنا عنه في نظرية Gussow .

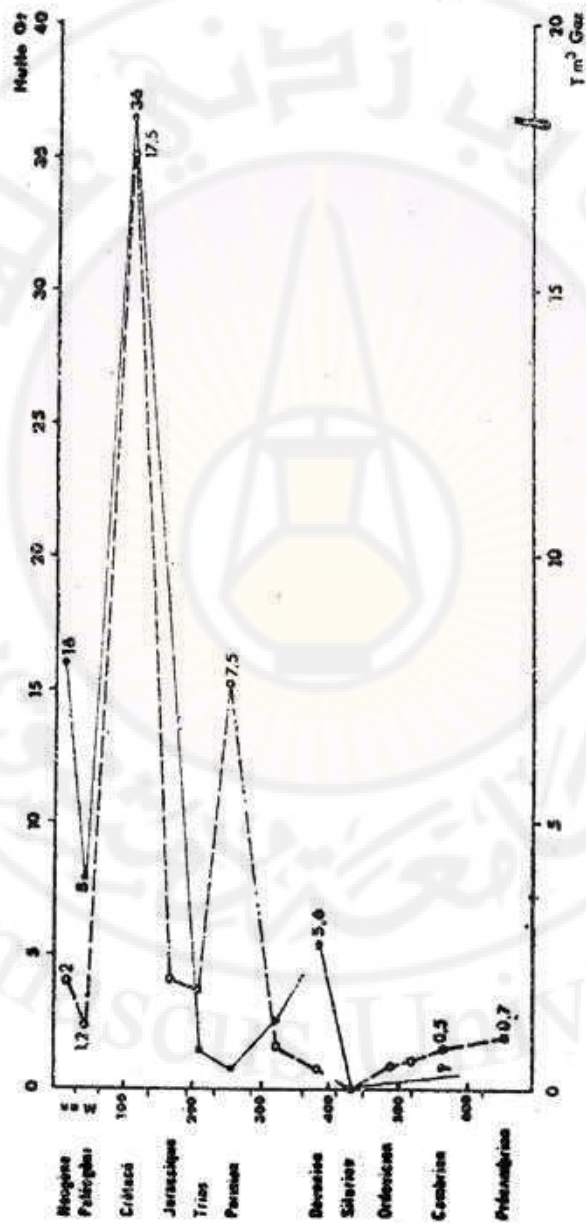
ب - توزيع الفحم الهيدروجينية في الإطار الطبقي (التوزيع الستراتغرافي)

تؤثر الخصائص الجيولوجية للمراحل الرئيسية في تاريخ القشرة الأرضية في خصائص الأقاليم النفطية الكبرى وفي التوزيع الستراتغرافي للفحوم الهيدروجينية التي تحتويها .

فالغضاريات السود العائدة للسيلوري ، الواسعة الانتشار والغنية بالمادة العضوية ، تشكل أقدم الصخور الأم المولدة لكميات هامة من الفحم الهيدروجينية . وتتجمع هذه الموائع في الطبقات الحطامية العائدة للديفوني الأسفل . وغالباً ما تعود هذه التوضعات الغضارية السود والبيتومية لتظهر من جديد بدءاً من الترياسي الأعلى وحتى الجوراسي الأسفل في الأجزاء الأوروبية من البحر الأبيض المتوسط ، مشكلة بذلك ثاني تجمع هام للمادة العضوية .

وتوجد أقدم التجمعات الغازية الكبيرة في التشكيلات الحطامية العائدة للبرمي ذي السحنات الصحراوية ، حيث غذيت بالغاز من التوضعات العائدة للكربوني الأعلى المحتوي على عدة عشرات من مليارات الأطنان من الفحم العضوي (carbon organique) .

ويشكل الكريتاسي الأسفل ، المقابل لمرحلة انسحابية تشكلت فيها أحواض ذات سحنات حطامية مرجعة وغنية بالتوضعات الفحمية ، حقبة رئيسية أخرى في نشأة الفحم الهيدروجينية . أما الكريتاسي الأعلى المتشل بالتجاوزات الواسعة التي سادت فيها سحنات كربونانية قليلة العمق والمحتوية على الروديست (rudistes) فهو يشكل مرحلة هامة في تشكل الصخور الجازنة والمصائد المحتوية على الإحتياطي الأكثر أهمية على امتداد المقياس الستراتغرافي . إلا أن الكميات الأهم من الفحم الهيدروجينية كانت قد تشكلت في نهاية الحقب الثاني وبداية



(شكل ١١٩) : توزيع الاحتياطي العالمي المؤكد من الزيت الناز حسب الأزمان الجيولوجية (Meyerhoff, 1979)

الحقب الثالث ، ويعتقد أن معظم هذا الاحتياطي كان قد أتى من الكريتاسي الأوسط .

ويتميز الحقب الثالث بوجود الأحواض الرسوبية العديدة . مما حمل على تواجد شروط مفضلة لنشأة الفحم الهيدروجينية واصطيادها . ويعتبر الإيوسين والميوسين العصرين الأكثر أهمية في هذا الحقب .

إن توزع ما اكتشف من الزيوت في الحقول الهائلة ، والذي وصل إلى مئة مليار طن ، يظهر أهمية عصر الكريتاسي الذي تخرق صخوره أكثر من ثلث احتياطي هذه الحقول . يلي ذلك في الأهمية النيوجين الذي بلغت استطاعته ١٦ مليار طن ، ومن ثم الباليوجين (٨ مليار) وأخيراً الديفوني (٠٥ مليار طن) (شكل ١١٩) .

هذا بالنسبة للزيوت ، أما بالنسبة للغاز فإن الأمر يختلف إلى حد ما . ومع هذا يبقى الكريتاسي يحتل المركز الأول حيث تحتوي صخوره على أكثر من ٥٠٪ من الكميات المكتشفة في العالم . ويعود ذلك إلى اغتناء سيبيريا الغربية . ويلي الكريتاسي البيرمي المحتوي على ٧٥ بليون م^٣ من الغاز في بحر الشمال والولايات المتحدة والشرق الأوسط والاتحاد السوفيتي . هذا وإن ثلاثة أرباع الاحتياطي من الغاز يوجد بجوار السويات الفحمية (houillers) الهامة . وتقابل هذه السويات عصور : الكربوني - البيرمي - الكريتاسي . كما تقابل هذه المصور فترات استقرار جيودينامي نسبي .

خلاصة ونتيجة

لا ترتبط الأقاليم النفطية بعلاقات مباشرة بنوعية الحوض أو بطبيعة الترسيب . حيث أن الأقاليم الأكثر اغتناء هي الأقاليم التي تبدي اختلافات حقيقية وكبيرة في الترسيب وفي الشروط الباليوجرافية والجيودينامية . وإن الناحية الأهم في درجة اغتناء الاقليم وجود الانخفاض . ودون انخفاض لن يتشكل الحوض ولن يكون هناك بالتالي اقليم نفطي . كذلك فانه من الضروري أن تسبق التشوهات البنيوية ضعيفة ، وإلا فإن الفحوم الهيدروجينية ستضيع تحت تأثير الحت والهجرات التبعثرية .

إلا أن هذه الشروط لا تعني بالضرورة وجود النفط في الأحواض الرسوبية كافة . وليحتوي الحوض على النفط فإنه من الضرورة بمكان أن تتوزع رسوباته ضمن الزمن والحجم ، بشكل يسمح بتجمعات خاصة وضرورية لنشأة الفحوم الهيدروجينية وتراكمها وحفظها . ومن الضروري أيضاً وجود مراحل بالباليوجرافية مختلفة تجمع أوساطاً مغلقة وسحنات مسامية مغطاة بتشكيلات غير نفوذة ، وذلك في إطار يسمح بنضوج المادة العضوية بشكل كاف .

وأخيراً فإن الأمر الأهم هو أن تتم مجموعة هذه الميكانيكيات حسب توقيت زمني معين .

الفصل الثاني

الأنواع الرئيسية للأقاليم النفطية

Les principaux types de provinces pétrolières

مقدمة

إن وجود حوض رسوبي لا يعني بالضرورة وجود إقليم نفطي • إلا أن وجود إقليم نفطي يعني بالضرورة وجود حوض أو عدة أحواض رسوبية • ولكي يحتوي الإقليم على حقول نفطية فإنه من الضرورة أن يكون هناك انخفاض يؤدي إلى تجمع وتحول الرسوبات الضرورية لتشكيل وحفظ مكامن الزيت والغاز •

ومن بين العوامل الجيولوجية الضرورية لتشكيل هذه التجمعات هناك ثلاثة عوامل تبدي اتجاهات جغرافية واسعة • هذه العوامل هي الشروط الضرورية لتشكيل الصخور الأم والغطاءات ، وفي معظم الحالات الصخور الخازنة • إن مشاركة هذه العوامل الثلاثة ووجود علاقات زمنية بين وقت حدوثها يشكل إحدى النقاط الرئيسية في تشكيل الأقاليم النفطية •

إن توزع هذه السحنات وماتوول إليه يرتبط إلى حد بعيد بنوعية حوض الترسيب • وبالتالي فإن أي تصنيف للأقاليم النفطية هو بالضرورة انعكاس لتصنيف الأحواض الرسوبية ، مضافاً إليه اعتبارات ترسيبية كشروط التوضع وحوادث

التحول . وبما أنه يمكن لحوض رسوبي أن يغير من نمطه خلال تاريخه الجيولوجي فإنه من الضروري أن تبقى تصانيف الأقاليم النفطية قابلة للتعديل . وهناك الكثير من الأقاليم التي تقع بين نوعين مختلفين من الأحواض . وقد أشار Meyerhoff عام ١٩٧٤ على سبيل المثال إلى أن أقاليم الخليج العربي والأورال - فولغا وغرب سيبيريا المحتوية على أكثر من ١٠٠ مليار طن من الزيت و ٧٠٠٠٠ مليار م^٣ من الغاز لا تدخل في تصنيف أو في آخر .

إن أوجه الشبه بين الأقاليم النفطية تسمح بتصنيفها ضمن مجموعات مختلفة . إلا أن عملية الجمع هذه يجب ألا تؤدي إلى تجريد إقليم نفطي من خصائصه واستقلاليته التي تميزه عن الأقاليم المماثلة له .

ضمن هذه المفاهيم يمكن أن نميز بين الأنواع التالية من الأقاليم بدءاً من الأبسط وانتهاءً بالأكثر تعقيداً :

- أقاليم السطحية القارية .
- الأقاليم الإنهدامية .
- الأقاليم المرافقة لتشكيل الجبال .

وسنأتي في دراستنا لهذه الأقاليم على دراسة الأنواع المختلفة لكل منها مع ذكر أمثلة عالمية عليها .

١ - الأقاليم السطحية القارية

Les provinces de plate - forme

بالرغم من توافق هذه الأقاليم غالباً مع الحفر الانهدامية الضيقة ، إلا أنها تتصف بدرجة ثبات واستقرار عالية .

— فمن الناحية البنيوية : تتصف هذه الأقاليم بانخفاض ضعيف وتشوهات نادرة ، وتتميز بطيات ذات قطر انحناء كبير وبأجنحة مصدعة بالفوالق ، أو متأثرة بحوادث الشد الهامة •

— ومن الناحية الرسوبية : تتصف هذه الأقاليم بتشكيلات قليلة السماكة ومتجانسة السحنات ، وترتبط بتقدم وتراجع البحر ، وبخاصة التجاوزات المؤدية إلى ترققات طبقية إقليمية •

— ومن الناحية النفطية : تتصف هذه الأقاليم باستمرارية سحنات الصخور الخازنة ، مما يساعد على تشكل اغلاقات بنيوية فعالة • وهذا ما يؤدي إلى نشوء حقول هائلة ذات توزيع قطبي تجمعي (concentré) . وأن وجود شروط خاصة في الترسيب وبخاصة التجاوزات البحرية والانخفاض الشديد يمكن أن تؤدي إلى تشكل طبقات رملية أو أرصفة مشادة غنية بالنفط ، إنما بتوزيع تبعثري (dispersé) • كما أن فترات التجاوز تشجع على توضع الصخور الأم •

وحسب (Klemme 1977) فإن هذه الأقاليم تحتوي على :

- تسعة أعشار الفحم الهيدروجينية العائدة للحقب الأول •
- ثلاثة أرباع احتياطي الغاز العالمي •
- ربع احتياطي الزيوت الخفيفة •

وتبعاً لأبعاد ودرجة تعقيد هذه الاحواض فإنه يمكن التمييز بين :

- أقاليم بلا نفورمية ثابتة (مستقرة) •
- أقاليم بلا نفورمية غير مستقرة أو معقدة •
- الأقاليم الكربوناتية والرصيفية •

أ - الأقاليم البلاتفورمية المستقرة Les provinces de plate - forme stable :

تتصف أحواض هذه الأقاليم (شكل ١٢٠ - أ -) بتشكيلات رسوبية قليلة السماكة . وتكون عادة ضعيفة أو معدومة الطي ، وتوافق غالباً دورة رسوبية ضخمة



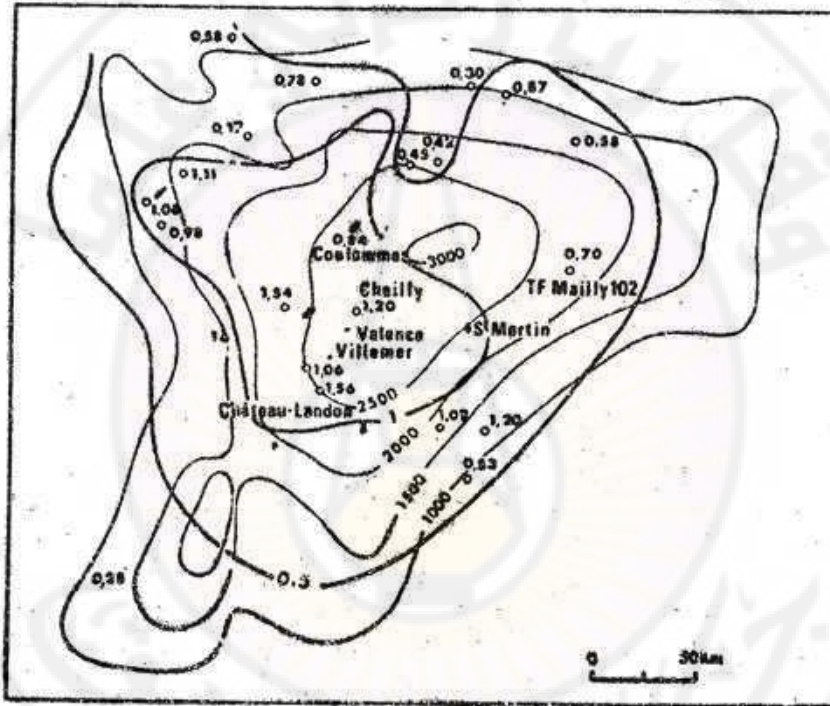
(شكل ١٢٠ - أ -) : مقاطع انعطيفية في الأحواض المستقرة (cratoniques) البسيطة والمعقدة

واحدة (mégacycie) وغنية نسبياً بالصخور الخازنة . وفي هذه الأقاليم فإن العمق القليل لا يساعد على نشأة الفحوم الهيدروجينية ، أو على حماية الصخور الخازنة . كذلك فإن الضغوط السائدة هي ضغوط هيدروستاتيكية على الأغلب كما أن هذه الأقاليم هي أقاليم فقيرة بالنفط وتتصف بتوزعات تبعثرية في الأجزاء المركزية من الحوض ، حيث تتوفر الحماية الكافية لها ، كما في الحوض الباريسي (شكل ١٢٠ - ب -) . وتعود معظم هذه الأقاليم إلى الحقب الأول والثاني .

أما مكان هذه الأقاليم فهي عموماً صغيرة الحجم وتحدد :

— إما بقباب ومحدبات ذات اغلاقات محدودة ، كما في الحوض الباريسي وغرب ليبيا .

— أو بالاجنحة المصدعة بالقواقي ، كما في الطرف الجنوبي لحوض أورينوك
في فنزويلا .



مواقع الحصول النقطية في الاجزاء العميقة من الحوض الباريسي

— منحنيات تساوي العمق لقاعدة الترياسي (بالامتار)

— منحنيات تساوي نسب الكبريت العضوي للبايوسيان



(شكل ١٢٠ - ب -) : مقطع عام في الحوض الباريسي (Haritler & Vilemin, 1971)

— أو بترفقات طبقية ، كما في حوض أو كلاهما في الولايات المتحدة .

وتعتبر هذه المكامن فقيرة بالاحتياطي النفطي ، ففي حوض ميشيغان المحتوي على ٤١٣ مكن لايزيد احتياطي المكن الواحد على مليون برميل من الزيت (١٤٠٠٠٠ طن) . إلا أن زيوت هذه المكامن خفيفة عموما .

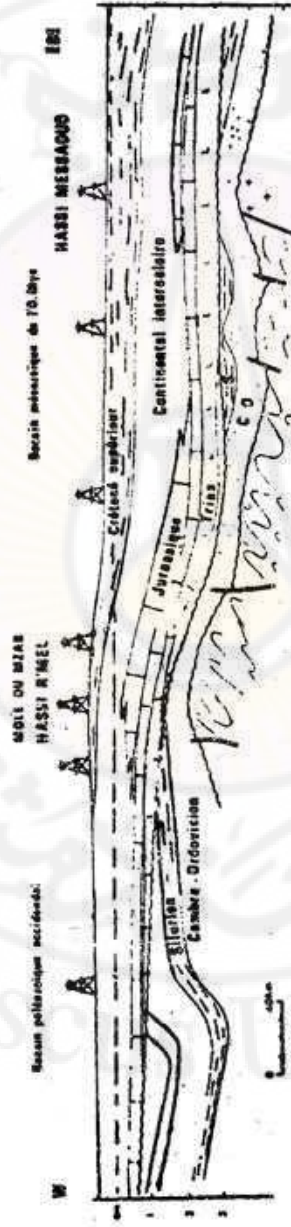
ويمكن أن يؤدي وجود التشكيلات الرصيفية في هذه الاحواض إلى تشكل أقاليم غنية بالفحم الهيدروجينية كما في حوض ميشيغان الذي سنأتي على دراسته أثناء دراستنا للأقاليم الرصيفية .

ب - الأقاليم البلاتفورمية غير المستقرة أو المعقدة

Les provinces de plate - forme instable ou complexe

تتصف هذه الأقاليم كما في الأقاليم المستقرة بوجود تشكيلات رسوية ذات انتشارات واسعة وسحنات مستمرة ، مقطوعة غالباً بثغرات رسوية وعدم توافقات إقليمية . كما تتصف بتجمعات (ondulations) واسعة وذات أقطار انحناء كبيرة ، وبنجود وأغوار ، وبسلاسل ضمن مجنية (intracratonique) أيضاً . وتسمح هذه الخصائص بحدوث هجرات لمسافات متوسطة أو كبيرة تساعد على تشكل الحقول الهائلة ، كما هو بالنسبة لحقول غوار وبرقان في السطحة العربية ، وفي حقول حاسي رميل وحاسي مسعود في الصحراء الجزائرية ، وحقول سرير في حوض السيرت . وتتراوح مساحة هذه الحقول الهائلة بين ١٠٠٠ - ٣٠٠٠ كم^٢ ، وتكون الصخور الخازنة فيها رملية (على أعماق ١٥٠٠ - ٣٠٠٠ م) ، ويبلغ احتياطها القابل للاستثمار ١ - ٢ مليار طن من الزيت أو مايعادلها من الغاز .

وكما في الأحواض البلاتفورمية المستقرة ، تتواجد المناطق الأكثر اغتناءً من الوجهة الإقليمية في الأجزاء المركزية المحمية من المياه الغنية بالاملاح وبالمواد العضوية .



(شكل ١٢١) : مقطع عبر احواض الصحراء الجزائرية يظهر تداخل الاحواض
خلال الحقبين الاول والثاني مع محور التمعقل

وقد تبدي هذه الاقاليم إختلافات خاصة وهامة تميز مايسى بالاحواض المتراكبة (emboîtés) • حيث تتحول منطقة ثابتة هامشية في مرحلة أولى من مراحل الحوض إلى منطقة منخفضة في المرحلة اللاحقة، وهذا ما يؤدي إلى تأرجح الحوض حول محور تمفصلي (axe - charnière) تجتمع حوله الحقول الرئيسية • وتبدي حقول الصحراء الجزائرية مثل هذا التأرجح خلال الحقب الأول والثاني (شكل ١٢١) •

وفي هذه الاحواض البلاتفورمية تكون ثلاثة أرباع الصخور الخازنة صفورا رملية • ولا تشكل الصخور الكربونائية بما فيها التبخرية إلا الربع المتبقي ، والزيوت الخام فيها من نوع خفيف • ويجمع هذا النوع من الأقاليم ثلاثة أرباع الاحتياطي العالمي ، بكثافة اغتناء قدرها ٢٠٠٠ طن / كم^٢ • وهي ذات مردود اقتصادي هائل نظراً لقلة كلفة الاستثمار بالمقارنة مع حجم الكميات المنتجة •

ج - الأقاليم الكربونائية والرصيفية : Les provinces carbonatées et récifales

بالرغم من أن الصخور الكربونائية لا تشكل إلا ٢٠٪ من المجموعات الرسوبية ، إلا أنها تحتوي على ٤٠٪ من الاحتياطي النفطي العالمي • ويتواجد هذا الاحتياطي في ٥٪ فقط من هذه الصخور ، وبخاصة في السحنات الدولوميتية • وقد أظهرت الدراسات الاحصائية في أمريكا الشمالية أن ٨٠٪ من احتياطي الأقاليم الكربونائية يوجد في الصخور الخازنة الدولوميتية • وتتصف هذه الأقاليم بفقرها بالغاز بالمقارنة مع التشكيلات الغضارية - الرملية • وفي الولايات المتحدة فإن هذه الأقاليم لا تحتوي إلا على ٢٨٪ من احتياطي الغاز المكتشف ، مقابل ٧٢٪ في الرمال • وتعتبر غازات الاقاليم الكربونائية أكثر اغتناء بغاز H_2S وغاز CO_2 بالمقارنة مع غازات التشكيلات الحطامية •

ولعل من أهم ميزات الأقاليم الكربونائية كون هذه السطائح القارية

محاطة بنخفضات (dipressions) وجزر صغيرة (Mots) أو أجزاء رصيفية مرتفعة . وبالطبع فإن تنوع هذه الأوساط يساعد على تجاوز الصخور الأم والخازنة . كما أن وجود المتبخرات يساعد ، بالإضافة إلى إيجاد الغطاء ، على هجرة الاملاح وبخاصة المغنيزية (Mg) التي تؤدي إلى اندلثة وتشكل السحنات الخازنة . وتنمو الارصفة ذات المكامن الغنية على حواف السطائح القارية الكربوناتيّة لبعض الأحواض المجنية (cratonique) وذلك على شكل ارتصافات خطية أو تجمعات متناثرة في مقدمة حاجز رصيفي أو سطحية رصيفية أكثر استمرارية ومبتاحة بالماء غالباً .

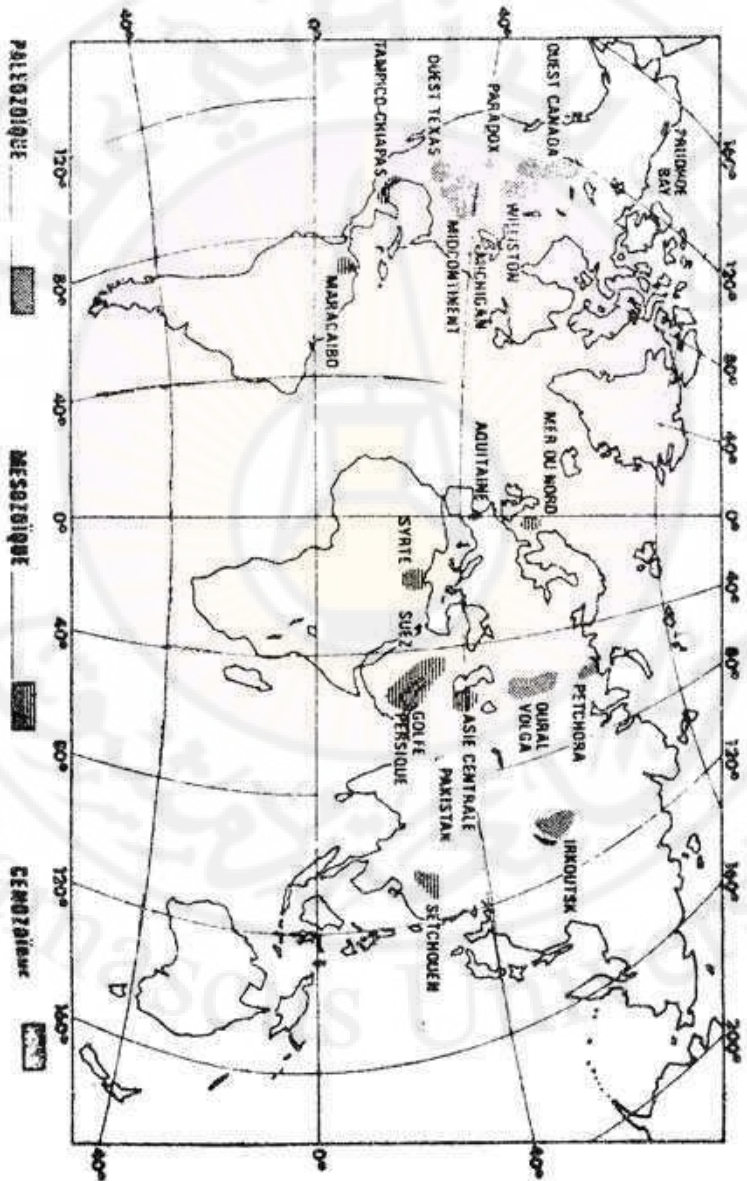
وإن التقاء الصخور الكربوناتيّة والمتبخرات يؤدي إلى وجود غطاءات وإغلاقات متناثرة ، لاسيما إذا كانت هذه المتبخرات في وضع تجاوزي على أطراف الحوض . وهذا هو سر اغتناء بعض الاقاليم الضخمة في مناطق متعددة في العالم ، كالأقاليم الجوراسي الأعلى للسطيحة العربية وأقاليم الميوسين (الفارس) في جبال زاغروس .

أما الاغلاقات الخطية ، فيمكن أن تتحقق أيضا على السوية الاقليمية بواسطة الانتقال الجانبي من سحنات كربوناتيّة إلى أنهدرتيّة كما هو ملاحظ في الديفوني الأعلى في ألبيرتا . هذا وتتصف الاقاليم الرصيفية عموماً بتوزعات نقطية تبعثرية ولا تكون هذه التوزعات تجميعية إلا في الحالات النادرة التي تكون فيها الارصفة مغداة بشكل جيد ومستمر .

والشكل (١٢٢) يبين مواقع أغني الاقاليم النفطية الرصيفية والكربوناتيّة في العالم . حيث تمثل بعض هذه الاقاليم أحواضاً مجنية ثابتة كحوض ميشيفان (الولايات المتحدة) ، بينما تمثل الأخرى الهوامش الثابتة الأكثر تعقيداً كحوض سالواتي (اندونيسيا) .

حوض ميشيفان :

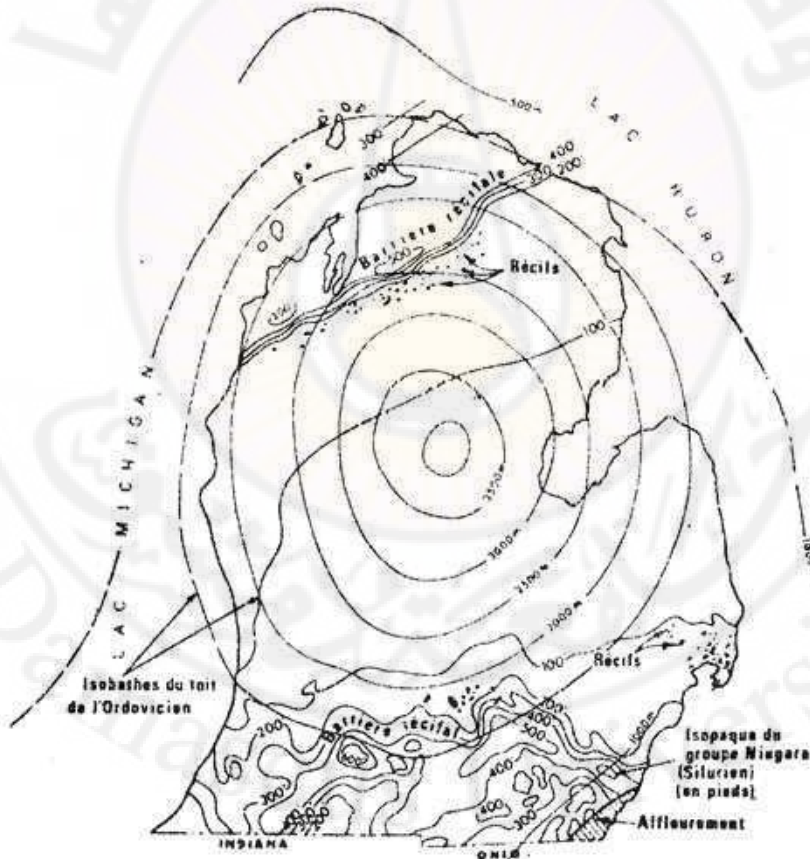
يعتبر هذا الحوض المجني (المستقر) والمتشكل خلال عصر الاوردوفيسي (الحقب الاول) من الاقاليم النفطية الكربوناتيّة ذات الحقول الرصيفية المتوسطة القدرة . وتقع السويات المنتجة الرئيسية في هذا الحوض في :



شکل ۱۲: خارطة جغرافية تبين مواقع الاقاليم الكربوناطية الرئيسية في العالم

- المناطق المصدعة بالفوالق والمدلتة ، التابعة للأوردوفيسي .
- المصائد المحدبة الديفونية .
- الارصفة السيللورية .

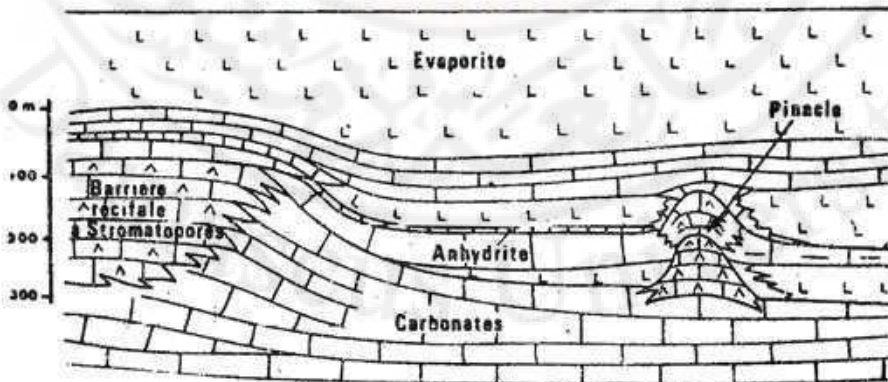
وتتألف الارصفة في هذا الحوض من شريطين متشين بطول (٢٨٠ و ١٦٠ كم) وبعرض (١٥ — ٣٠ كم) ، على الهوامش الشمالية الغربية والجنوبية



(شكل ١٢٣) : توزع الارصفة السيللورية والحواجز الرصيفية في حوض ميشوغان
(Mesolella, 1974)

الشرقية للحوض (شكل ١٢٣) • وتشكل هذه الارصفة ، التي تفصّل بمعدل ٦ - ٢٦ م/كم ، الحافة الخارجية (externe) لسطيحة قارية قديمة ، حيث تنمو على شكل قباب في مقدمة حاجز رصيفي قديم (الشكل ١٢٤) • وتتألف هذه الارصفة من الاشنيات والاسفنجيات والمرجانيات وشوكيات الجلد ، وذلك ضمن تشكيلة من الصخور الكربوناتيّة والتبخيرية المتراسة • ويعزى سبب تشكل هذه الارصفة إلى اختلافات سوية البحر وإلى سرعة الانخفاض • وتتمدد هذه الارصفة على مساحات تتراوح بين ١٢ كم - ٣٤ كم في الجزء الشمالي الغربي ، بارتفاع يصل إلى ١٨٠ م ، وبميل تقدر بين ٣٠ - ٤٥ درجة ، وذلك على أعماق تتراوح بين ٩٠٠ - ٢٠٠٠ م • وتختلف مسامية صخور هذه الارصفة من ٣ - ٣٧٪ •

ويكون توزع هذه الارصفة منتظما على الطرف الشمالي الغربي من الحوض بحيث تكون الاكثر هامشية منها محتوية على الماء فقط • وتندرج باتجاه الحوض لتؤلف مكانا محتوية على الزيت ، وتنتهي في الأجزاء العميقة بكومات غازية وفقا لمخطط الاصطياد التبايني الذي تحدث عنه Gussow • وتتناقص كثافة الزيوت من الاطراف باتجاه الأجزاء الداخلية من ٨١ ر. إلى ٧٢ ر. (شكل ٥٢) •



(شكل ١٢٤) مقطع في الجافة الشمالية من حوض ميشيفان يظهر
اماكن الارصفة في مقدمة الحاجز الرصيفي . (Mesoleila, 1974)

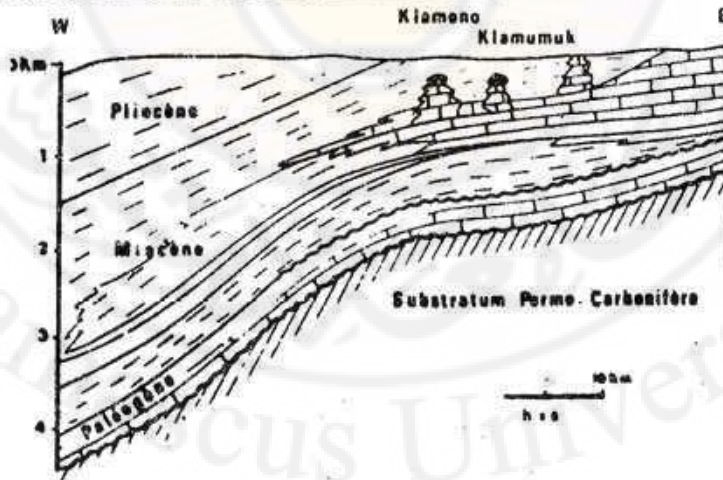
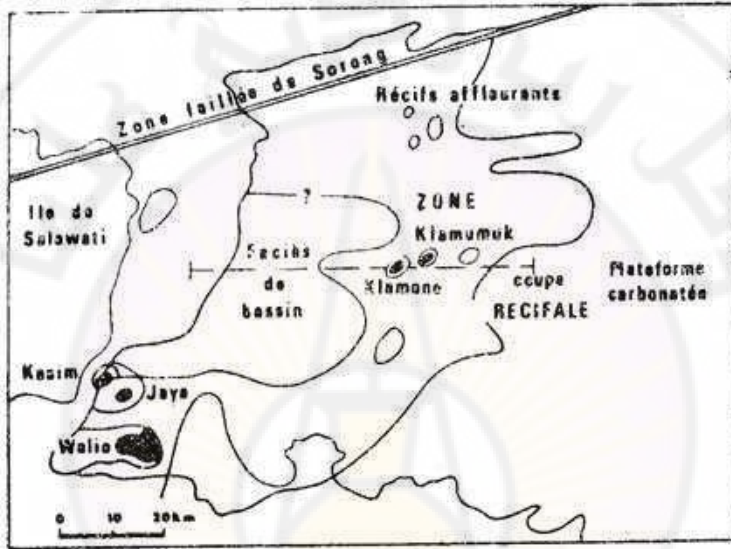
حوض سالواتي :

يمتد هذا الحوض في الجزء الغربي من جزيرة Irian - Jaya في أندونيسيا، ويحتوي على أكثر من ٤٥٠٠ م من الرسوبات النيوجينية (شكل ١٢٥) • وتتألف هذه الرسوبات بشكل رئيسي من تشكيلات كربوناته ميوسينية قاتمة اللون وحاوية على منخربات بلانكتونية ومتداخلة مع سويات مارنية سوداء غنية بالمادة العضوية •

وتنتقل هذه الرسوبات في الجزء الجنوبي الشرقي في الحوض إلى كربونات من النوع البلاتفورمي ، تنمو في مقدمتها أرضفة عائدة للسيوسين الاعلى • وتغطي هذه الارصفة غضاريات تجاوزية في الاجزاء الهامشية من الحوض ، يليها غضاريات سيلتية انسحابية تصل في سماكتها إلى ١٥٠٠ م وتملأ كامل الحوض •

وتتألف مصائد هذا الاقليم من أرضفة ميوسينية مؤلفة من أحجار كلسية محتوية على منخربات وبقايا من الاشنيات والاسفنجيات وشوكيات الجلد والقواقع • وتصل مسامية هذه الصخور إلى ٣٠ - ٤٠٪ • أما تفوذيتها فهي ممتازة وتسمح بتدفق يتراوح بين ٢٨٠٠ و ٤٥٠٠ طن يوميا (٢٠٠٠٠ - ٣٢٠٠٠ برميل) •

وتتراوح أبعاد هذه الأرضفة الحلقية بين ٢٤ - ١٩ كم ، وتصل ارتفاعاتها إلى ٢٠٠ - ٥٠٠ م • وتتغذى بالزيت من المارن الاسود العميق السحنة • وزيوت هذا الاقليم بارافينية عموما • ويقدر احتياطيها بحدود ٧٥ مليون طن •



(شكل ١٢٥): خارطة ومقطع لحوض سالاواتي في اندونيسيا يظهر توزيع الارصفة والمكانم المائدة إليها (Vincelette & Soepardaji, 1976)

٢ - الأقاليم الانهدامية

Les provinces d'effondrement

تتميز الأقاليم الانهدامية بسيطرة الحركات الشاقولية التي تؤثر على طول امتداد الانثناءات والفوالق الكبيرة . وتكون هذه الأقاليم ضيقة ومتطاولة أحيانا ، ومثلثة أو مستديرية الشكل أحيانا أخرى . وتبلغ سماكة رسوباتها أكثر من ٥ - ٦ كم ، وتتواجد هذه الأقاليم عموماً في الأحواض المجنية (cratoniques) أو القريبة منها (pericratoniques) .

ويمكن أن نميز فيها ثلاثة أنواع رئيسية :

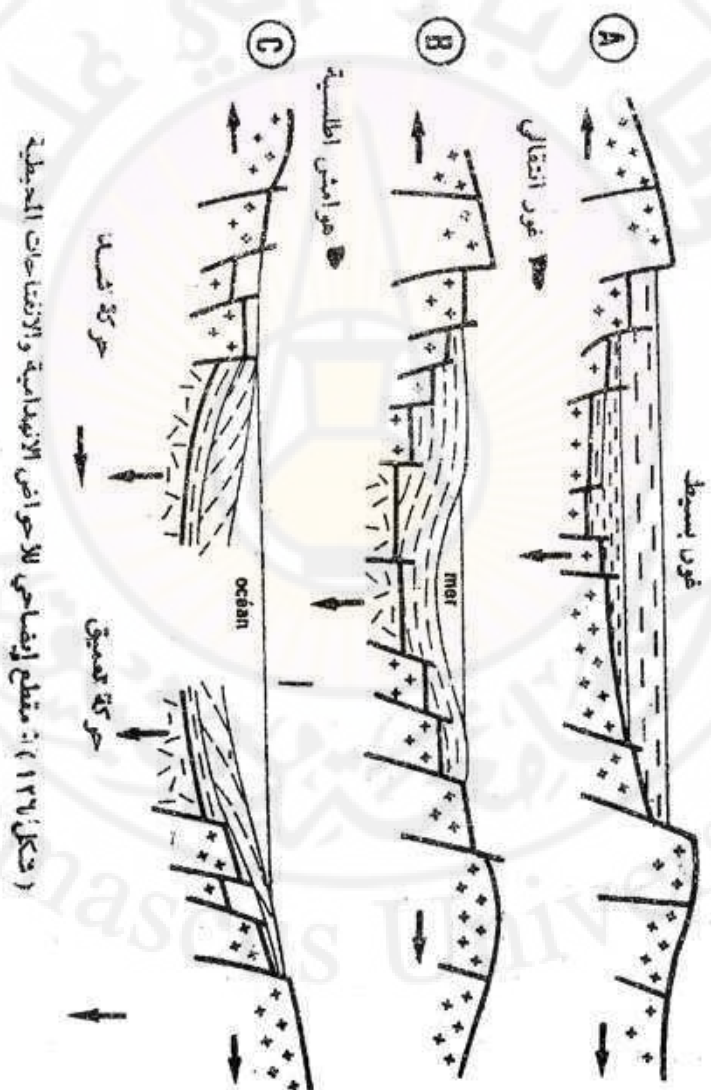
— أقاليم الأغوار « rift » ، المرافقة للحفر الانهدامية في القطاعات المستقرة ، وتميز غالباً المرحلة الرئيسية لتقعر الحوض .

— أقاليم الهوامش القارية السالبة ، التي تنتضد فوق الأغوار القديمة المشروخة بانتماحات محيطية (شكل ١٢٦) . وتكون هذه الأقاليم مملوءة بنوعين من المجموعات الرسوبية السابقة واللاحقة للانفتاح المحيطي . وتتميز هذه الأقاليم بمقاطع عرضية غير متناظرة .

— الأقاليم الدلتاوية ، التي تمثل حالة خاصة من أحواض الهوامش القارية السالبة المليئة بتشكيلات دلتاوية سيكة .

٢ - أقاليم الحفر الإنهدامية : Les provinces de type « rift »

تبدي هذه الأقاليم هندسة على شكل فجود وأغوار معقدة البنية نسبياً وتتألف مصائد منها من أجسام مصدعة بالفوالق ، بالإضافة إلى سحجات خازنة متوضعة في الأجزاء المرتفعة ، ومن عدم توافقات . ويمكن أن تكون الصخور



(شكل ١٢٧): مقطع إرضاعي للأحواض الانهدامية والإنفصالات المحيطية

الخازنة حطامية أو كربونائية ، إلا أنها تكون محدودة الانتشار في كلتا الحالتين .
أما الصخور الأم فهي أكثر اختلافا وغالبا ماتكون على علاقة بسحنات مغلقة (confinés) وبخاصة المتبخرات . وتتصف هذه الاقاليم بحرارة جوفية عالية ،
وبزبوت خفيفة .

وينضوي تحت هذا النوع عشرة أقاليم تضم مايقارب ٤٠ حقلا هائلًا تحتوي
على ٨٠٠٠ طن/كم^٢ . ومن بين هذه الاقاليم نخض بالذكر غور السويس ، وخررة
Viking في بحر الشمال ، وحوض Reconcavo في البرازيل ، وأحواض
أوكرانيا في الاتحاد السوفيتي .

خليج السويس : Le golfe de Suez

وهو عبارة عن خزانة انهدامية نيوجينية محاطة بفوالق عادية كبيرة . وتبلغ
مساحتها ١٢٠٠٠ كم^٢ . وقد تشكل هذا الخليج في منطقة مستقرة نسبيا ، ومملوءة
بتشكيلات عائدة للفحمي وللحقب الثاني (شكل ١٢٧) .

وتحتوي التشكيلة الميوسينية المنتجة في جزئها العلوي على سويات سميكة
من المارن المحتوي على الطلويجيرين ، تقطعه مستويات من الرمال والكلس
الرصيني . ويغطي هذه التشكيلة بتشكيلة سميكة من الصخور المتبخرية
الميوسينية أيضا . وتبلغ سماكة الميوسين الكلية في هذا الحوض ٣٣٠٠ م

ويعتبر خليج السويس إقليما نفطيا غنياً ، حيث يحوي ٨٠٠ مليون طن
موزعة في عشرين حقلا . وبلغ انتاج هذا الاقليم عام ١٩٧٨ مايقارب ١٨ مليون
طن . والمصائد في هذا الاقليم فالقية بشكل رئيسي ، بالإضافة إلى محددات
وعدسات رملية وصخور رصيفية .

وتتمثل الصخور الخازنة في معظم الحالات بأجسام رملية ذات سماكة تصل
إلى مئة متر في التشكيلات المارنية الميوسينية . وتصل مسامية هذه الصخور في



(شكل ١٢٧) : خارطة ومقطع لحوض خليج السويس - مصر (Said, 1962)

تشكيلة Kareen و Belayim إلى ٢٠ - ٢٥٪ . ويسكن أن تكون الصخور
الخازنة أيضا كلسية مشققة تصل مساميتها إلى ١٠ - ١٥٪ .

ويشكل المارن المقطوع غالبا بسويات من الانهدريت الصخور المغطية
للصخور الخازنة الرملية والكلسية .

أما الصخور الأم ، فهي تعود إلى المارن المحتوي على الغلوبيجيرين ، حيث
تصل نسبة البيتوم في بعض سوياته إلى ٣٪ . هذا وقد تعرضت هذه الصخور
فيما بعد إلى انخفاض شديد بلغ عدة آلاف من الامتار .

وزيوت هذا الاقليم بارافينية تحت مشبعة ، وذات كثافة ٠.٨٥ - ٠.٩٣ ،
وغنية بالكبريت (١ - ٢٪) . والحقل الأهم في هذا الإقليم هو حقل مرجان
ذو البنية المحدبة والمنتج من الرمال الموسينية (تشكيلة قرين) البالغة سماكتها
٦٠ م . ويقدر الاحتياطي القابل للاستثمار في هذا الحقل بين ٢١٠ - ٢٣٠ مليون
طن . والحقل الثاني هو حقل رمضان المكتشف عام ١٩٧٤ باحتياطي قدره ١٤٥
مليون طن ، والمنتج من الكبريتاسي الاعلى .

إن اغتناء حقول إقليم خليج السويس يعود إلى الاسباب التالية :

- التنوع الكبير في المصائد البنيوية والطبقية .
- شروط الترسيب الملائمة لتشكيل الصخور الام .
- التنوع الكبير في الصخور الخازنة السميكة وذات الخصائص الخزنية
الجيدة .
- وجود الغطاء الاقليمي الكافي .
- وجود القواقع الهامشية التي تحقق الاغلاقات الضخمة .
- الانخفاض النيوجيني الشديد .

ب - أقاليم الهوامش القارية السالبة : Provinces de marges passives

يقصد بالهوامش القارية السالبة المناطق التي تصل بين الأجزاء القارية الطافية والأحواض المحيطية العميقة . وعلى عكس الهوامش القارية النشطة (actives) التي تقع في حواف الصفائح ، فإن هذه الهوامش مناطق مستقرة وتقع إلى داخل الصفائح ، ولا تدخل في إطار تكتونيك الصفائح (Montadert, 1982).

تتصف هذه الأقاليم بقيمة نفطية كبيرة وذلك نظرا لتواجد قطاعات هامة من الصخور الأم تحتها . وقد اكتشف إلى هذا التاريخ ماينوف على ٣٦ مليون طن من الزيت في هذه الأقاليم (Huff, 1978) . وتعود السويات المنتجة إلى التشكيلات الموجودة قبل افتتاح البحر (anté - ouverture) ، أو إلى التشكيلات التي توضع بعد الافتتاح (postérieurs) . أما الصخور الأم فيمكن أن تتواجد في معظم هذه التشكيلات ، كما هو بالنسبة للصخور الخازنة أيضا . ويأتي معظم الانتاج النفطي في هذه الأقاليم من الصخور الخازنة الموجودة في سحنات الحواف المرتبطة بأطوار بدء افتتاح المحيطات أو بتوضعات التوريديت . ومعظم مصائد هذه الأقاليم بنيوية ، وترتبط بنجود الركيزة ، بتكتونيك الملح أو الفشار . أما حوادث الطي فهي نادرة أو ضعيفة الشدة .

ومن بين الأقاليم النفطية المرتبطة بهذا النوع من الأحواض يمكن أن نذكر :

— الأحواض البرازيلية (Sergipe - Alagoas - Campos) على الشواطئ الأطلسية في أمريكا الجنوبية .

— أحواض Gabon , Congo , Angola على الشواطئ الأفريقية .

— حوض Marin du Labrador على الشواطئ الأطلسية الكندية

— حوض Gippsland , Dampier على الشواطئ الأسترالية .

وفيما يلي عدد من المعطيات عن بعض هذه الأحواض :

١ - حوض : Campos

يشكل هذا الحوض الواقع على السطحية القارية البرازيلية في عرض ولاية Rio de Janeiro إقليماً هامشياً نموذجياً . ويبدأ تاريخه بتشكل انهدام ضمن مجني في بداية الكريتاسي ، مليء برسوبات حطامية ذات خصائص خزنية سيئة ، وبغضار ذي سحنات لصخور أم أو بالافسا . وخلال الألبسيان توضع رسوبات كربونائية ومتبخرات ، تلاها توضعات لتشكيلات كربونائية ذات سحنات بحرية قليلة العمق عائدة إلى الألبسي . أما الكريتاسي الأعلى فيقابل توضعات لسحنات بحرية أعماق . وطفى التوريديت في الباليوسين .

أما مصائد هذا الإقليم فقد تشكلت بفعل التكتونيك الملحي اعتباراً من الكريتاسي الأعلى . وأهم حقول هذا الإقليم هو حقل Garoupa وحقل Namorado المنتج من رمال الألبسي التوريديتية الواقعة على عمق ٣٠٠٠ م بتدفق ٦٠٠٠ برميل يومياً .

٢ - إقليم : Gabon - Congo - Cabinda

يشمل هذا الإقليم الجزء الأكبر من الأحواض الرسوبية المجاورة لسواحل هذه البلدان . وتقابل هذه الأحواض افتحاحات محيطية عادية من نوع الهوامش القارية السالبة ، حيث ينقسم تاريخها إلى مرحلتين كبيرتين :

— مرحلة ما قبل افتتاح المحيط ، حيث تشكلت الأحواض الانهدامية (rift) ذات الترسيب البحري العذب أو المالح .

— مرحلة ما بعد افتتاح المحيط ، حيث تشكلت الأحواض الهامشية السالبة . التشكيلات البحرية المتأثرة بالتكتونيك الملحي .

وفصل هاتين المجموعتين توضعات ملحية هامة عائدة للألبسيان ، وتتوافق مع حوض رسوبي واسع ومطلق (شكل ١٢٨) . وتشكل هذه المرحلة الملحية دوراً رئيسياً في جيولوجية نطق هذه الأحواض ، وذلك لكونها تمثل غطاء الرسوبات



(شكل ١٢٨) : خارطة تبين مواقع
الاحواض الرسوبية الاطلسية في
افريقيا الإستوائية

The map illustrates the geographical features of the Gabon region. Key locations and features include:

- Libreville**: Located at the top of the map, near the coast.
- Bassin Intérieur**: A large inland basin area.
- Forêt de Lambéze**: A hatched area representing a forest region.
- Bassin Atlantique**: A basin area near the coast.
- Ile Mendji**, **Anguilla**, **Birdie**, and **Grandin**: Islands or coastal settlements along the western coast.
- Port Gentil**: A major port city on the coast.
- Zone** and **océan**: Labels indicating coastal or oceanic zones.
- Scale bar**: Located at the bottom left, indicating a distance of 100 km.



تميز الاحواض التي تواجدت قبل الاشتحاح (الانهدامية إذن) بمجموعة من النجود والاغوار المملوءة برسوبات بحيرية عذبة إلى مالحة والمناثرة محلياً بعدم توافقات واتقطاعات في الترسيب ، وتتألف من :

— غضار أسود غني بالمادة العضوية ، يشكل صخوراً أما ممتازاً .

— رمال على شكل عدسات أو سويات مستمرة تصل مسامتتها إلى ٣٠٪
وتقوديتها إلى ٥٠٠ - ١٥٠٠ ميللي دارسي •

— حجر كلسي قوسي ، يشكل محليا مع الصخور الرملية صخورا خازنة
جيدة •

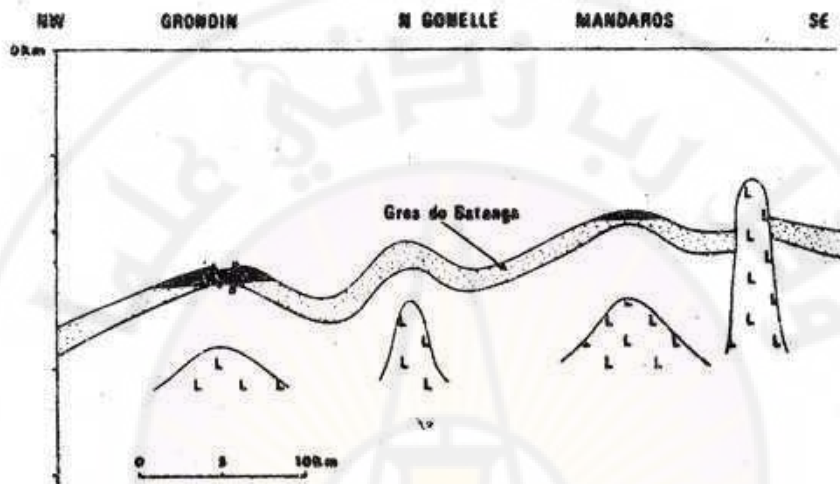
ويتحقق الغطاء الإقليمي في هذا النمط بواسطة الملح العائد للإبسيان والذي
يشكل حاجزا فعالا يميّز الهجرات • أما المصائد فهي بنيوية وتتألف من كتل غالية
ومحدبات ، كما يمكن أن تكون على شكل طبقات مترققة بفضل التجاوز
البحري على أطراف بعض الأجزاء المرتفعة •

أما طبيعة زيوت هذا النمط فهي بارافينية ، وذات كثافة ولزوجة عالية •

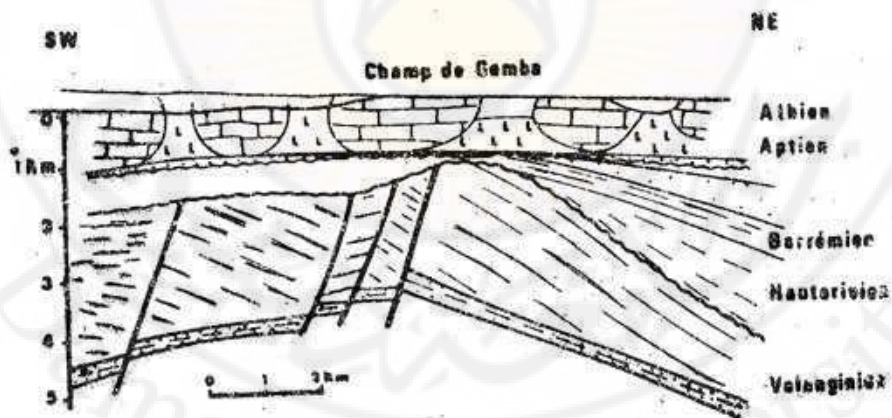
— النمط النفطي المتشكل بعد التكتونيك الملحي : (post - salifère)

تمثل مكان هذا النمط مجموعات رملية أو سيلتية لسحنات دلتاوية شاطئية،
أو لتوضعات أكثر عمقا ممتدة من السينوماني والتوروني إلى السينوني والايوسين
والميوسين • وفي الغالبون تتألف الصخور الام من غضار أسود غني بالمادة
العضوية الساروبيلية • أما في الكونزو فتبدو المادة العضوية قادمة من المارن
الأسود الواقع تحت الملح المغطى • وتحقق الغطاءات بالفضاريات
المختلفة العائدة لسويات طبقية متعددة • أما المصائد فهي بنيوية
ومرتبطة بالتكتونيك الملحي ، وتكون على شكل بنيات انتقالية ، أو على شكل
أجزاء من جوانب القباب الملحية ، أو أخيرا على شكل ترققات طبقية للرمال
الميوسينية • والزيوت الخام في هذا النمط بارافينية انتقالية ، فقيرة بالكبريت
وثقيلة بشكل عام •

هذا وقد اكتشفت كميات لا بأس بها من الغاز والزيوت في التشكيلات العائدة
لما قبل التكتونيك الملحي وما بعده في كل من الغالبون والكونزو وأنغولا وزاير
(شكل ١٣٠ ، ١٣١) •



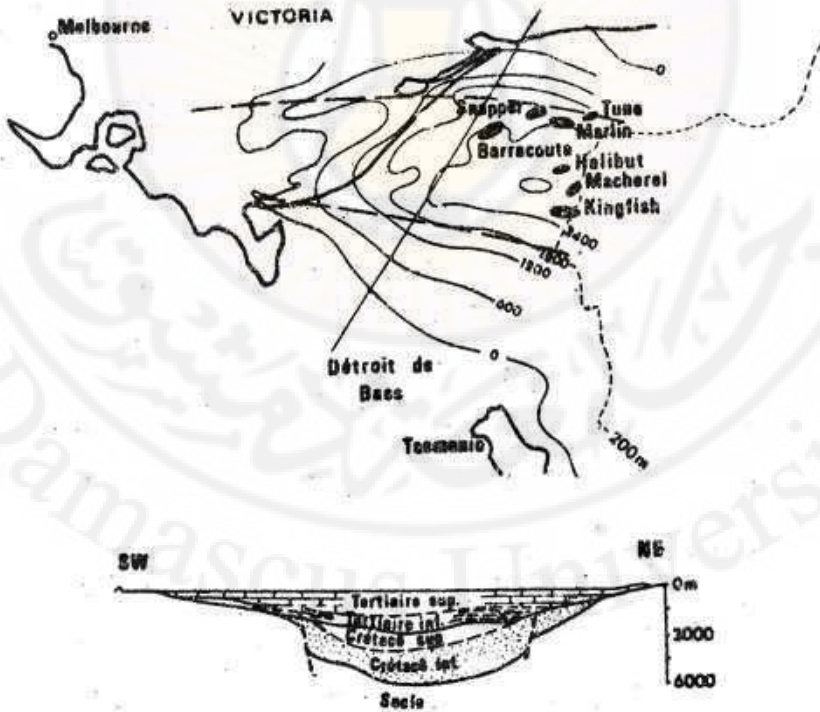
(شكل ١٣٠) : مقطع في حقول مختلفة في الغابون (Vidal, 1979)



(شكل ١٣١) : مقطع في حقل غامبا في الغابون (SNEA (P), 1979)

٢ - إقليم جيبسلاند (جنوب شرق استراليا) :

يغطي هذا الحوض الرسوبي البحري ٤٠٠٠٠ كم^٢ من الجزء الجنوبي الشرقي للسطحية القارية الاسترالية (شكل ١٣٢) . ويتألف من تشكيلة رسوبية غير متوافقة مع الباليوزوي ، تتألف أولاً من مجموعة قارية عائدة للكريتاسي الأسفل ، وتوافق توضعات الأغوار المتشكلة بسبب تمزق قارة غواندوانا (Gond - Wana) . يلي ذلك متدرجة كبيرة تمتد من الكريتاسي الأعلى وحتى العصر العاليي . وتبدأ هذه المتدرجة بتشكيلة سميكة من الغضار والرمال الحاضنة لسويات فحمية على شكل توضعات مروحية دلتاوية . ويعقب هذه التشكيلة انقطاع في الترسيب يقدر



(شكل ١٣٢) : خارطة ومقطع لحوض Gippsland في أستراليا

بخمسة وعشرين مليون سنة . وتتوضع فوقه بعدم توافق تشكيلة من المارن تبلغ ساكنها ٢٠٠٠ م ، وتمتد من الاوليفوسين وحتى الرباعي . وتنتهي هذه المتدرجة بتشكيلات قارية . وتزداد سماكة هذه المجموعة باتجاه الأعماق لتبلغ ٧٠٠٠ م في مركز الحوض .

ومصائد هذا الإقليم بنوية بشكل رئيسي ، وتشغل الأجزاء العليا من الطيات المتشكلة في نهاية الايوسين وبداية الميوسين . ويبلغ سطح الاغلاق في هذه المصائد ١٠٠ كم^٢ ، بارتفاع ٣٠٠ م .

أما الصخور الخازنة فهي رملية ومن النمط الدلتاوي، وتقابل أقنية ضيقة وحواجز بحرية تبلغ سماكتها ١٠٠ - ٢٠٠ م ، وتتراوح مساميتها بين ٢٠ - ٣٠٪ وتؤديها بين ٤٥٠ ميللي دارسي و٥٠ دارسي .

ونوعية زيوت الإقليم بارافينية خفيفة . وقد اكتشف في هذا الإقليم منذ عام ١٩٧٥ ما يقارب ٢٨٠ مليون طن من الزيت في التراكيب العميقة الأربعة و ٢٠٧ مليار م^٣ من الغاز في التراكيب السطحية الخمسة .

ج - الأقاليم الدلتاوية : Les provinces deltaïques

تمتد معظم هذه الأقاليم إلى الحقب الثالث ، وتوافق مناطق انخفاسية واسعة مليئة بالمجلوبات الهائلة للأنهار الكبرى . وهي على الأغلب أحواض ذات توضعات حديثة ، وذات انخفاس مستمر . ومن أهم هذه الأقاليم الإقليمان الكبيران المتوضعان بشكل متناظر في طرفي المحيط الاطلسي :

— إقليم Gulf Coast على الهوامش الشمالية لخليج المكسيك .

— إقليم الدلتا النيجيرية (delta de Niger) .

بالإضافة إلى دلتا ماكينزي في كندا ، ودلتا ماهاكام في ألدونسيا ودلتا النيل في مصر ، والتشكيلات الجوراسية في بحر الشمال ، وتشكيلات أخرى .

وتتصف هذه الاقاليم بأهمية خاصة بفضل مجموعة من خصائصها الجيولوجية . حيث تشكل مناطق مفضلة لتوضع المجلوبات الحطامية في وسط بحري يجمع كل الخصائص الجيولوجية التي تساعد على تشكل تجمعات الزيت والغاز . وتقابل هذه الاقاليم أوساطا غير مستقرة تسمح بتراكم تشكيلات رسوية تصل في سماكتها إلى عشرة كيلو مترات نتيجة التقدم والتراجع المستمر لمياه البحر . ويطغى على هذه الرسوبات الصفة الانسحابية .

وللمقعدات الدلتاوية تكتونية خاصة تتميز :

— بالفوالق الافقية (listriques) المعاصرة للترسيب ، أو الفوالق الهلالية (croissances) ، أو فوالق التعويض (compensation) .
— بانبثاق القباب الملحية أو الفضارية .

والفوالق الهلالية فوالق عادية ، قوسية الشكل ، ومقعرة باتجاه مركز الحوض ، وتميل بحدود ٥° درجة ، وتعمد تدريجيا مع العمق ، وتصل رميتها إلى قيمها العظمى في الجزء المركزي من الحوض . ويحاط الفالق في الجناح الداخلي الهابط بتحدب بسيط يسمى بمحدب التعويض (anticlinal de compensation) « Roll Over » .

وتبدي هذه الفوالق خصائص مختلفة وذلك حسب موقعها في الحوض :

— ففي الاجزاء المرتفعة من المعقد الدلتاوي حيث تكون التوضعات الفضارية قليلة السماكة ومتداخلة مع سويات دلمية تبدي محدبات التعويض قمما منزاحة ، وهذا مايقود إلى تجمعات قطيعة محدودة .

— وفي الاجزاء الانتقالية حيث تكون الرسوبات أكثر سماكة وتسود فيها الفضازيات ، وحيث تكون محدبات التعويض أكثر اتساعا ، فإن المكامن النفطية ستكون أكثر أهمية .

- وفي الاجزاء المركزية من الحوض حيث تكون الرسوبات الغضارية سميكة جدا وشديدة التراص (sous - compactées) ، وحيث يكون التكتونيك معقدا للغاية ويغلب فيه التكتونيك الملحي فإن المصائد ستكون مجزأة تحت تأثير الفوالق.

أما أسباب حدوث هذه الفوالق فتعود إلى اختلاف التحميل بين الأجزاء الخارجية من الحوض القليلة العمق والغنية بالرمال وبين الأجزاء الداخلية الأكثر عمقا وانخفاضا والتي تسود فيها التوضعات الغضارية . أما اتجاهات هذه الفوالق فهي متعامدة مع تدرجات اختلاف السماكة ، وموازية لاتجاه اختلاف السحن (شكل ٨١) .

- المصائد :-

ترتبط معظم مصائد هذا النوع من الأقاليم بشكل مباشر أو غير مباشر بالفوالق الهلالية . وفي أغلب الحالات تتألف المصيدة من محدب تعويض يحيط بالفالق الهلالي ، دون أن يسهم هذا الفالق في الإغلاق . وفي هذه المصائد المتعددة المستويات ، تقع المستويات المائية (plans d'eaux) فوق الفالق الرئيسي ، أو تكون ملامسة له (شكل ٨٢ ، ٨٣) . وفي حالة وجود فوالق تعويض ثانوية مرافقة لفالق التعويض الرئيسي فإن هذه الفوالق الثانوية هي التي تكمل أو تحقق الإغلاق . وعندما يكون الوضع الفالقي معقداً ، كما هو الحال في مؤخرة الحوض النيجيري مثلا ، فإن تجمعات الزيت والغاز تتوزع بشكل فوضوي وذلك تبعا لتأثير الفوالق التي تشكل أحياءً حواجز للهجرة وأحياءً أخرى مسارات لها . وتواجد مكامن الزيت والغاز في الأجنحة الصاعدة أو الهابطة من هذه الفوالق حيث تكون التشكيلات الحطامية كثيرة الانتشار .

وبسبب عدم استمرارية الصخور الخازنة والدور الذي تلعبه الفوالق في العجز أو في التصريف فإن الهجرات السائدة في هذه الأقاليم هي الهجرات الشاقولية . وهذا ما يؤدي إلى عدم تجانس في خصائص الصخور الهيدروجينية المرتبطة أساسا باختلاف أوساط الترسيب .

وفي الاقاليم الشاطئية يكثر ارتقاء الغضاريات الشديدة التراص ، وانشقاق الملح . وتعمل القباب والديابيرات المتشكلة على إيجاد أعداد كبيرة من المصائد ذات الامكانيات المختلفة حسب درجة تعقيدها .

ـ الصخور الخازنة :

تعتبر الاحواض الدلتاوية مناطق مفضلة للتوضعات الرملية ذات السحنات المختلفة (نهريّة - شاطئية - كئبان تحت بحرية - حواجز في عرض البحر - مخاريط رملية عميقة في مقدمة الدلتا) . والجزاء الأفضل لتشكل المكامن النفطية هي تلك التي تتناوب فيها الرمال مع الغضار . وفي الاجزاء المرتفعة من الدلتا حيث تتجاوز نسبة الرمال ٥٠٪ من حجم الرسوبات فإن هذه الرمال تقتقد إلى الفطاء وتكون مثبحة بالمياه العذبة . أما في الاجزاء المنخفضة من الدلتا فان نسب الغضاريات تكون مرتفعة وتقل بذلك من إمكانية وجود الصخور الخازنة وبالتالي فان المناطق المفضلة لتواجد الصخور الخازنة هي الاجزاء التي تتراوح فيها نسبة الرمال إلى الغضار من ٣٠ إلى ٥٠٪ ، أي الاجزاء السهلية من الدلتا (plain deltaïque) وجبهة الدلتا (front de delta) .

ـ الصخور النفطية :

تشكل الاحواض الدلتاوية الانخفاضية المكامن الملائم لتقدم وتراجع البحر ، وهذا ما يؤدي إلى توضع سماكات كبيرة من الصخور الغضارية . وتشكل الطبقات الغضارية البحرية التجاوزية التي تلعب دورا هاما في نشأة الزيت غطاءات ممتازة أيضا .

ـ الصخور الام :

تتصف الاقاليم الدلتاوية بغناها بالمادة العضوية الدبالية (humique) وبالتالي بغناها بالفحوم الهيدروجينية الغازية . كما تلعب الطبقات البحرية المارنية المحتوية على الكيروجين دورا هاما في تشكل الفحوم الهيدروجينية السائلة . وكمثال على

الصخور الام ذات القدرة العالية نذكر الغضاربات البحرية التجاوزية الكريتاسية في دلتا ماكينزي في كندا (bituminous Zone) ، المولدة لما يقارب ٢٥ طن من الزيت و ١٤ مليار م^٣ من الغاز في الكم^٢ الواحد .

ـ الفحوم الهيدروجينية :

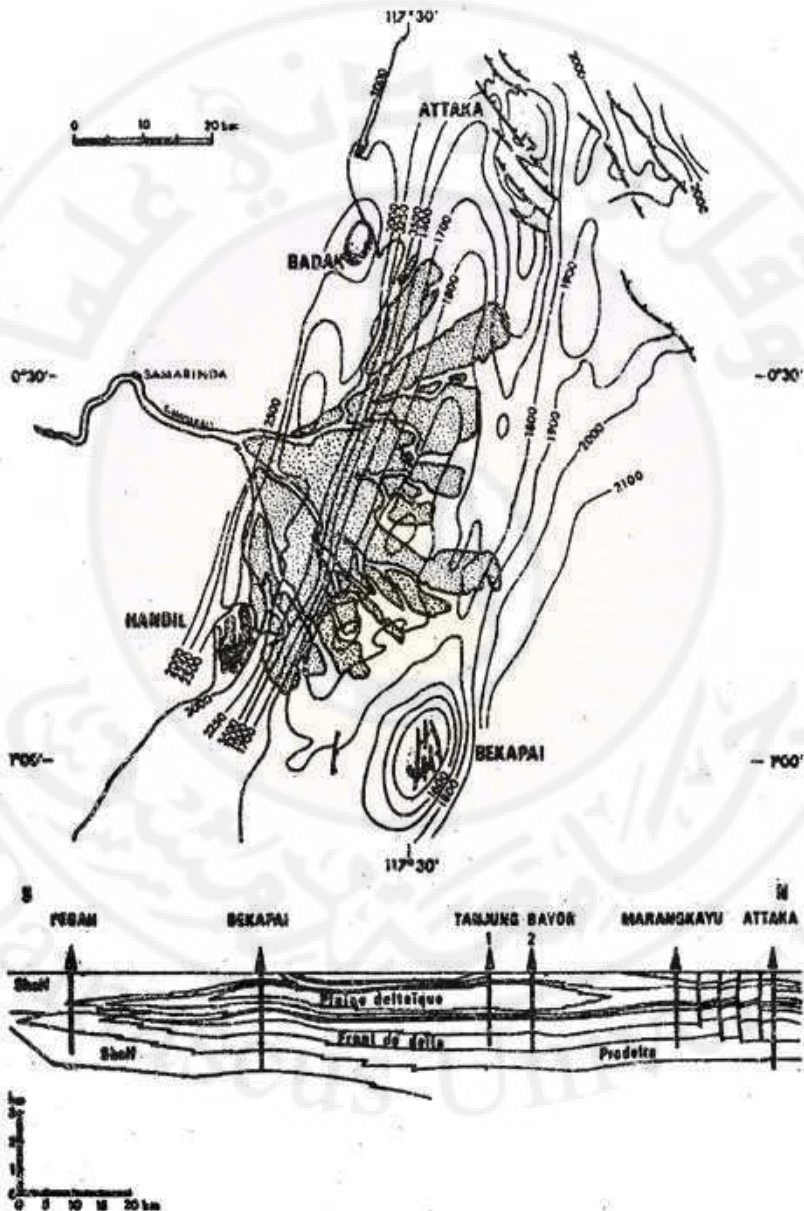
تسود الغازات في الاقاليم الدلتاوية . أما زيوتها الخام فتتصف بخفتها ونوعيتها البارافينية وفقرها بالكبريت .

مثال : دلتا الماهاكام (انونيسيا) Le delta de la Mahakam

يتألف حوض دلتا الماهاكام الواقع على أطراف جزيرة كاليمنتانا من تشكيلة رسوية نيوجينية تصل في سماكتها إلى ٦ - ٨ كم (شكل ١٣٢) . ويحتوي هذا الحوض على عشرة حقول أهمها : Badak , Handil , Attaka ، وتوزع هذه الحقول ضمن مجموعتين موازيتين في انتشارها لخط الشاطئ ، ومتشابهة في أوساط ترسيبها (جبهة الدلتا ، سهول لحيية ذات توضعات نهريّة) . وتنتج المجموعة الداخلية (Badak , Handil) من رمال الميوسين الأوسط . أما المجموعة الخارجية (الشاطئية) (Bekapai , Attaka) فتنتج من رمال الميوسين الأعلى والبليوسين الأسفل . ويظهر التوزع الشاقولي للزيت خاصة هامة ، وهي ارتفاع الكثافة مع العمق . وتفسر هذه الظاهرة بهجرة النواتج الخفيفة بالارتقاء .

وتبدو الفحوم الهيدروجينية قادمة من صخور أم كيروجينية واقعة على أعماق تزيد عن ٢٦٠٠ م ، ومصائد هذا الاقليم هامة ، وتبلغ سطوح بعضها ٣٥ كم^٢ . وهي مشبعة كلياً في المجموعة الداخلية ، وجزئياً في المجموعة الخارجية .

(Durand et al. , 1979) .



(شكل ١٣٣) : خارطة بنيوية ومقطع في حوض الماهاكام (Matharel, 1976)

٣ - أقاليم المقاطعات الجبلية

Les provinces en domaine d'orogène

تتصف الأقاليم الواقعة في مناطق تشكل الجبال (orogénèse) ، والمتمركزة غالباً في حواف السطائح القارية في مناطق الضعف من القشرة الأرضية ، بعدم ثبات بنيوي كبير وبانخفاض وهندسة معقدة . وتبدي بالإضافة إلى تنوعها مجموعة من الخصائص العامة :

— فمن الناحية البنيوية : تتميز هذه الأقاليم بوجود الفوالق والطيات التي توفر شروط الاصطاد وتسهم في الهجرات التبعثرية .

— ومن الناحية الرسوبية : تتميز هذه الأقاليم بتشكيلات رسوبية سمكية غنية باختلاف السجانات . وتعمل الطبقات الشديدة التراص تبعاً لنمط الترسيب على إيجاد تكتونيك فعال ومعاصر للترسيب .

— ومن الناحية النفطية : يشكل حجم الرسوبات واختلاف السحن وظواهر التراص والتحوللات الحرارية ، بالإضافة إلى التشوهات البنيوية ، عوامل جيدة في اغتناء هذه الأقاليم بتوزع قطبي تبعثري .

ويمرّد عمر هذه الأقاليم إلى الحقبين الثاني والثالث ، ويعتقد أن هذه الأقاليم تحتوي على نصف الاحتياطي العالمي من الفحم الهيدروجينية (Klemme, 1977) .

وتنمّا للإطار الجيودينامي العام ، وحسب درجة تعقيدها ، يمكن أن نميز في هذه الأقاليم المجموعات الرئيسية التالية :

— الأقاليم بين الجبلية أو أقاليم الأحواض الانهدامية اللاحقة لتشكل الجبال .

— الأقاليم الانزياحية المرافقة لحوادث القص (cisaillement) •

— أقاليم مناطق تصادم الصفائح •

وفي الواقع فإن هذا التصنيف قابل للجدل حيث أن هناك مناطق انتقالية تقع بين الأقاليم السابقة •

٢ — الأقاليم بين الجبلية : Les provinces de type intramontagneux

وتبدي هذه الأقاليم تشابها كبيرا مع الأقاليم الانهدامية (rift) حيث تتميز :

— بحفر انخفضتية متطاولة أو مثلثية أو مستديرة الشكل ، يحدها فوالق

كبيرة أو انثناءات (flexures) .

— بتشكيلة رسوية سميكة تقابل بمعظمها أو باجزاء منها أوساطا مغلقة

(confinés) .

— بهندسة على شكل فجود وأغوار •

— بحرارة عالية •

إلا أن الاختلاف الرئيسي بين هذه الأقاليم وأقاليم الحفر الانهدامية ، هو موقع هذه الأقاليم من الناحية الجيوتكتونية ، وعائديتها أو عدم عائديتها إلى مناطق تشكل الجبال • وفي الواقع فإن هذه الأقاليم تتوضع غالبا على قاعدة (substratum) رسوية متأثرة بالحوادث البنيوية ، ولا تغلو من الامكانيات النفطية •

إن الخصائص الجيولوجية لهذه الأقاليم تشكل بالنتيجة معايير هضمية ممتازة •

— حوض فيينا : Le Bassin de Vinne

يعتبر إقليم فيينا الواقع في النمسا وتشيكوسلوفاكيا (شكل ١٣٤) مثالا

نموذجياً على الاحواض بين الجبلية • وهو عبارة عن نصف غور متطاوول وغير متناظر تبلغ مساحته ٧٠٠٠ كم^٢ وسلوء بتشكيلات نيوجينية تبلغ سماكتها ٥٠٠٠م، مؤلفة في الاسفل من رسوبات رملية غضارية تنتقل إلى كربوناتية في الاجزاء العليا من التشكيلة • يعلو ذلك وبعد توافق سحنات بحرية تنتقل تدريجياً إلى سحنات بحرية عذبة • وتنتهي الرسوبات بتوضعات مارنية ورملية على شكل سحنات مالحة وأخيراً بفشار رملية بحيري عذب • وتتوضع هذه التشكيلات النيوجينية على قاعدة عائدة للميزوزوي مؤلفة من الفليس (flychs) والكربونات (شكل ١٣٤) •

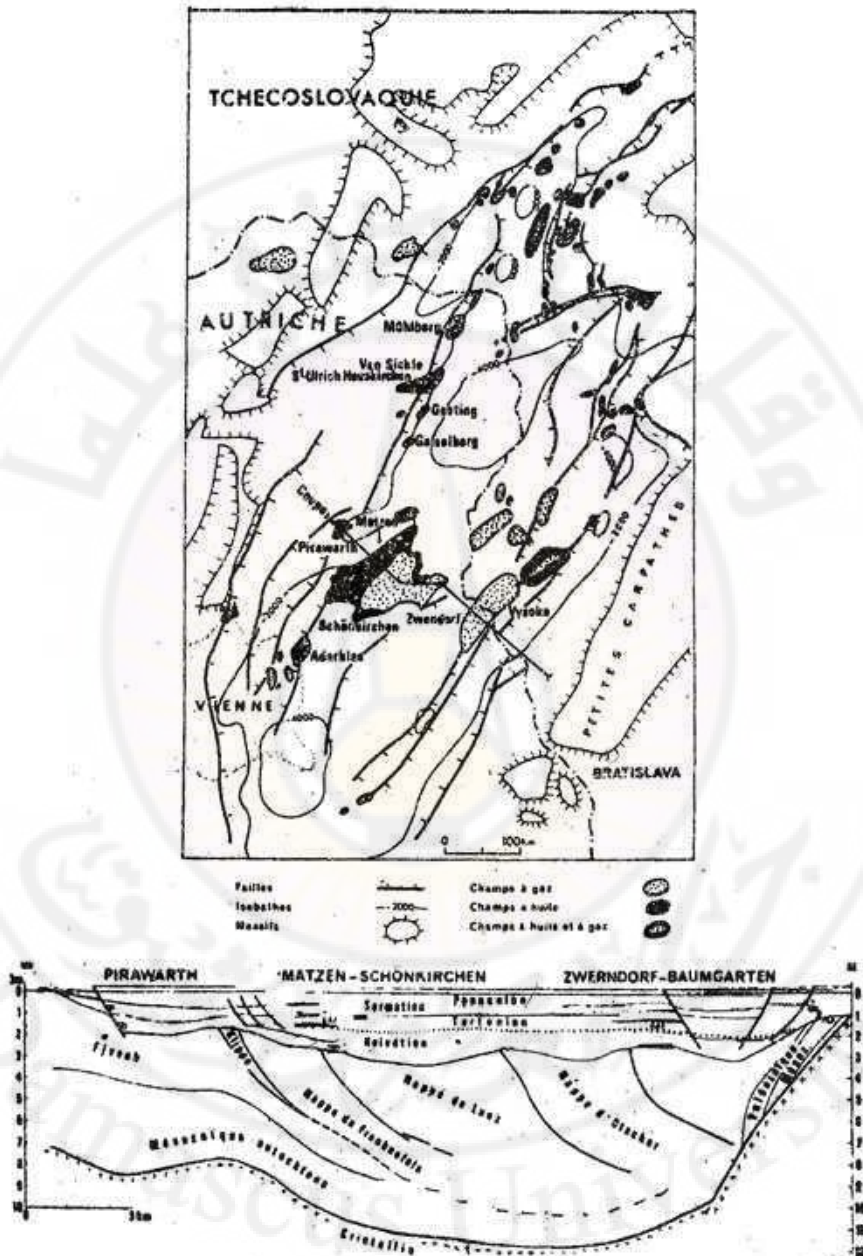
يقابل هذا الإقليم من الناحية البنيوية حوضاً انهدامياً تكوّن بعد تشكل الجبال ، ويتصف بفوالق معاصرة للترسيب ذات رميات هامة وتنحدر باتجاه مركز الحوض بميل ٥٠ - ٧٥ درجة •

ويعتبر هذا الإقليم من الأقاليم الغنية ، حيث يحتوي على ١٠٠ مليون طن من الزيت و ١٠٠ مليار م^٣ من الغاز • ويأتي الزيت من رسوبات الهلفيتي والتوروني أما الغاز فتقدمه الاجزاء العلوية من التوروني • وتتألف الصخور الخازنة التورونية من رمال تصل مساميتها إلى ٢٠ - ٢٥٪ ، وثقوبتها إلى ١٠٠٠ ميلي دارسي • أما الصخور الخازنة العائدة للميزوزوي فتتألف من سويات كربوناتية مشققة • أما الغطاءات فهي غضارية بشكل عام •

والمصائد بنيوية عموماً • ويمكن أن يرافقها مصائد طبقية • أما طبيعة الزيوت فهي بارافينية في التشكيلات الاقدم، ونفتينية في التشكيلات الاحداث حيث تحتوي على نسب أقل من الكبريت •

ب - الاقاليم الانزاحية : Les provinces sur décrochement

تشكل هذه الاقاليم النفطية في الاحواض الناشئة بفعل الانزاحات « Strike slip bassins » المرافقة لحوادث القص (cisaillement) المؤثرة على



القشرة الأرضية ، والتي تمتد على مسافات قد تصل لعدة مئات من الكيلومترات .
وإن الخاصة الرئيسية لقوالب القص أو لقوالب الانزلاق (coulissements) هي
إيجاد طيات يكون محورها مائلاً بالنسبة لاتجاه القوالب * وتشكل هذه الطيات
ذات البنيات المعقدة مصائد جيدة للاغلاق * . إلا أن هذه المصائد غالباً ما تكون
مقطوعة بقوالب التوتر (tension) التي تؤثر على الاغلاقات * والصخور الخازنة
المائد لهذه الأحواض حطامية على الأغلب * بالإضافة إلى صخور تيارات المكر
(Welcox, 1973) .

أما الصخور الأم فيساعد على تشكيلها الاوساط المغلقة الناتجة عن تشكل
الانخفاضات * وتساعد التدرجات الحرارية المرتفعة في نضوج المادة العضوية
الموجودة في هذه الصخور *

وباختصار تتصف الأحواض من هذا النوع بما يلي :

— تدرجات حرارية مرتفعة خلال مراحل الانخفاض *

— أشكال متطاولة وضيقة وعميقة *

— ترسيب سريع *

— بنيات مبكرة التشكل ومقطوعة بالقوالب *

— زمن تشكل قصير (٢٠ مليون سنة) *

وضمن هذه المعطيات فإن شروط تشكل واصطياد الفحم الهيدروجينية هي
عموما جيدة بالرغم من الهجرات التبخرية التي تسببها القوالب *

— هوضي لوس أنجلوس : Le Bassin de Los Angeles

يعتبر هذا الحوض النيوجيني بين الجبلي ، المثلي الشكل والممتد على
مساحة ٣٥٠٠ كم^٢ ، أحد الاقاليم الأكثر اغتناء بالفحم الهيدروجينية في العالم
(شكل ١٣٥) . ويقدم مثالا نموذجيا للأحواض القديمة العميقة . وتتألف رسوبات

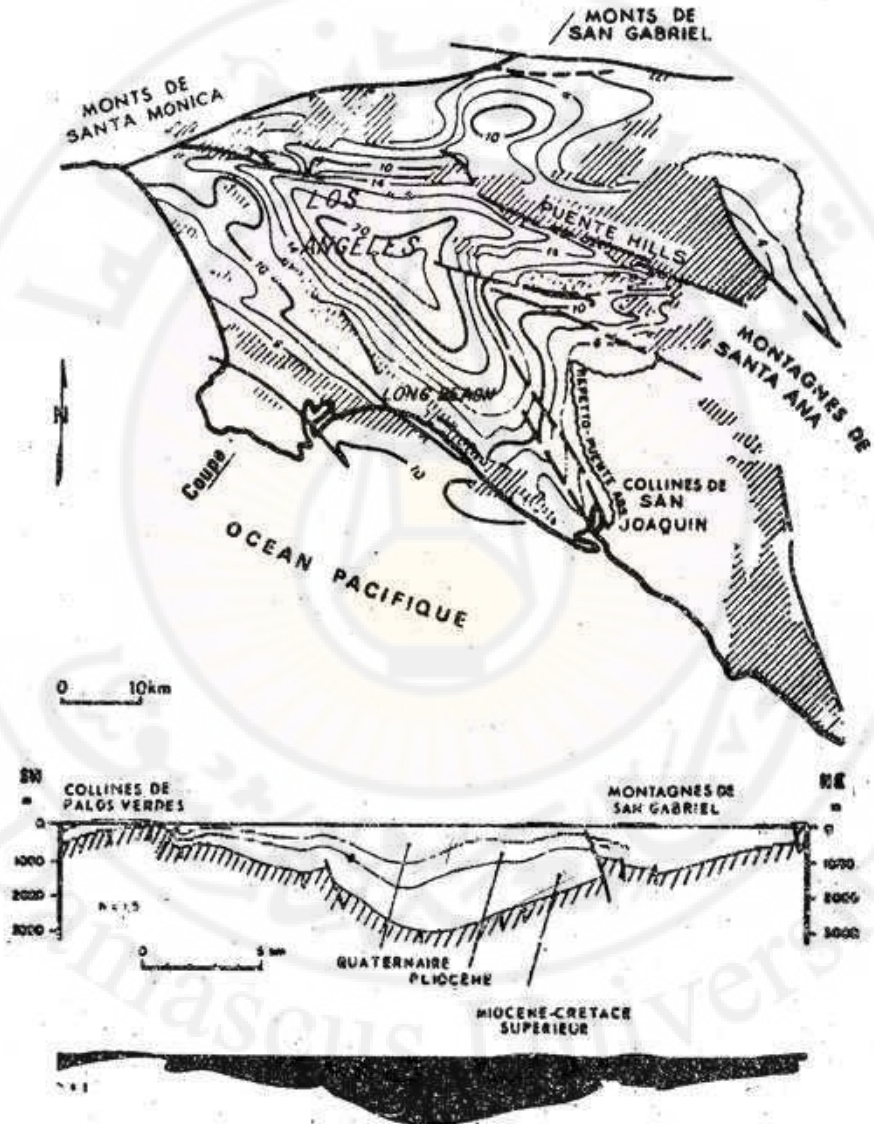
هذا الحوض التي تصل في سماكتها إلى ٥٠٠٠ م ، من تعاقيات رملية وغضارية
ميوسينية وبلويسينية متوضعة على عمق ١٠٠٠ م تحت سطح الماء ، وعلى مسافة
تتوف على ٥٠ كم من خط الشاطئ .

وتتألف الصخور الخزانة الرئيسية فيه من تشكيلة ريتو الرملية العائدة
للبلويسين الأسفل ، والمؤلفة من توضعات تتجاوزية لتيارات العكر ، ومن كسبان
تحت بحرية عميقة . وتبدي هذه الرمال المتطبقة خصائص بتروفيزيائية جيدة،
وتصل كمية الزيوت فيها إلى ٤٣ مليون طن/كم^٢ . وتساعد خصائص الوسط
على انتشار هذه الرمال في الأجزاء العميقة والمحمية من الحوض تغذي بالتالي
بكميات جيدة من الفحم الهيدروجينية تأتي من الغضاريات السوية بالمادة
العضوية النوسفورية العائدة للميوسين الأعلى .

أما الصخور المغطية فتحققها الغضاريات المتوضعة على أطراف الحوض والعائدة
للبلويسين الأعلى . هذا ويتواجد حوض لوس انجلس بجوار حوادث القص
الكبيرة في هوامش المحيط الهادي التي ولدت مجموعة من المحدثات المتتالية
(en échelon) وذات الاتجاهات المتعامدة مع الفوالق . وهكذا فإن ٩٠٪ من
مصائد هذا الحوض تشكلت نتيجة اصطاف المصائد المصدعة بالفوالق
المغلقة .

وهكذا يمكن أن يعزى الاغتناء المنقطع النظير بالفحوم الهيدروجينية لهذا
الحوض إلى العوامل التالية :

- الترسيب الكثيف والسريع .
- التنوع الرسوبي المؤدي إلى تواجد صخور أم غنية في الاسفل ، ورمال
مسامية ونفوذية في الأعلى ، ويغطي المجموعتين صخور غضارية سميكة .
- التدرجات الحرارية المرتفعة .
- الفوالق المؤدية للهجرات .
- المصائد البنيوية (طيات) جيدة الاغلاق .



(شكل ١٣٥) : خارطة تساوي الاعماق للميوسين الاعلى والبليوسين
ومقطع في حوض لوس انجلس في كاليفورنيا (Gardett , 1971)

ج - أقاليم مناطق تلاقي الصفائح :

Les provinces en domaine de convergence

ترتبط هذه الأقاليم بالأجزاء المتحركة والمتأثرة في آن واحد بانخفاض شديد ، وبحركات زاوية مرافقة لحركات تصادم الصفائح (plaques) • وحسب نسبة القطاعات القارية أو المحيطية التي تدخل في هذه الأقاليم فإنه يمكن التمييز بين المجموعتين التاليتين :

- الأقاليم الميوجيوسينكلينالية أو أقاليم مقدمات الحفر ، وهي الأكثر أهمية من الوجوة النفطية •
- الأقاليم المرافقة للسلاسل الجبلية •

١ - أقاليم مقدمات الحفر : Provinces de type avant - fosse

تتألف هذه الأقاليم من جزء من السطيحة القارية ومن أخدود (sillon) انخفاضي متأثر بالحركات الانضغاطية • وبالتالي يمكن أن تتضمن هذه الأقاليم على قسم يحتوي على محدبات وحيدة الميل (monoclinale) وذات تشكيلات متجانسة وقليلة السماكة ومشابهة لأقاليم السطيحة القارية ، وعلى قسم سطوي حرشفي (écaillé) أو جرفي ذي تشكيلات سيكة وغير متجانسة • وتبدو المناطق الانتقالية الواقعة بين هذين القطاعين ، وبخاصة مناطق أقدام الجبال (piedmont) ذات الطي الضعيف والتشكيلات السيكة والسحنات المختلفة ، المناطق الأكثر ملائمة لتجمع الفحم الهيدروجينية • إلا أنه وبحسب خصائص كل إقليم فإن تجمعات الحقول يمكن أن تكثر في المناطق المطوية (رومانيا) ، أو في الجزء القاري الثابت (ألبيرتا) ، أو في كلا الجزئين (الأورال - فولغا - شمال القوقاز - الخليج العربي) •

إقليم بلوستي (رومانيا) :

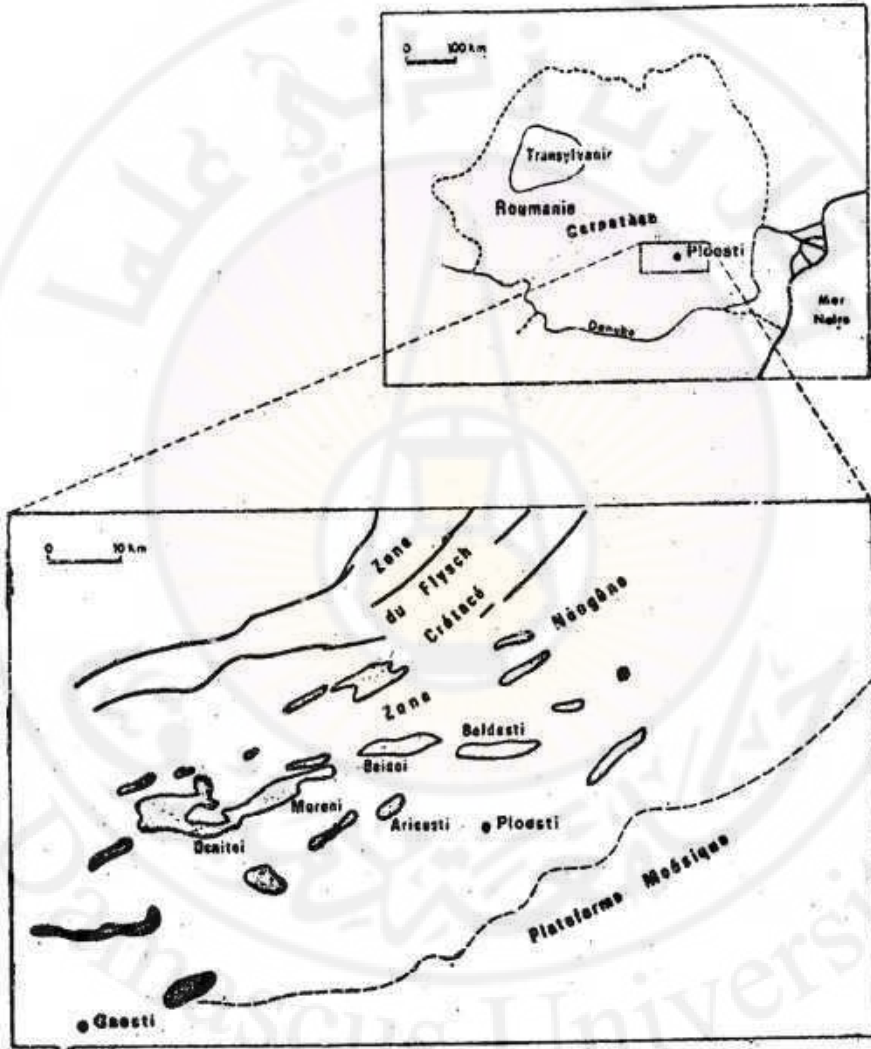
يوافق هذا الاقليم النفطي الغني بالفحم الهيدروجينية الجزء المركزي من مقدمة الحفرة الكارباتية . وهو عبارة عن حوض قديم غير متناظر وشديد الانخفاض ، تبلغ مساحته ٢٠٠٠٠ كم^٢ ، وتصل سماكة الرسوبات في جزئه الأكثر انخفاً إلى ١٠٠٠٠ م (شكل ١٣٦) .

وتبدو رسوبات العقب الثالث مستمرة من الباليوجين وحتى البليوسين ، وغير مستمرة ، ومقطوعة بعدم توافقات خلال الميوسين الذي يتميز بالتكتونيك الملحي خلال التوروني . أما الترسيب فهو بحري في الباليوجين ، ويقرب من البحري خلال البليوسين ، كما هو بالنسبة لنيجين كافة أوروبا الشرقية . هذا وقد عثر في هذا الاقليم على تشكيلات أكثر قدماً وذات أهمية نفطية لا يمكن إغفالها .

والمصائد في هذا الاقليم بنوية بشكل رئيسي ، وتتألف من محدبات مصدعة بالزوال وذات نوى ملحية . ومن الملاحظ أن البنيات الأكثر ارتفاعاً هي بنيات حاملة للماء ، ومنتجة للزيت الثقيل فقط .

والصخور الغازية الرئيسية صخور رملية متوزعة ضمن مجسوعتين :
- رمال الميوسين الأعلى ذات المحنات المالحة (saumatre) ، وتبلغ في سماكتها القمالة ٨٥ م ، وتتمتع بمسامية قدرها ٢٥ ٪ ، وبنفوذية في حدود ٢٠٠ ميلي دارسي . إلا أن هذه الخصائص الجذرية الجيدة تتردى تحت أعماق ٢٠٠٠ م . وتحتوي هذه الصخور المغطاة بالمارن ما يقارب مليون طن من الزيت في الكم^٢ .

- رمال البليوسين الأسفل وهي أخضر وأفضل في خصائصها ، إلا أنها تصنف بتوزع غير منتظم . وتنشج هذه الرمال ٣٠ ٪ من مجموع إنتاج الاقليم باستطاعة ٤ مليون طن/كم^٢ .



(شكل ١٣٦) : خارطة نفطية لاقليم بلوستي في رومانيا

أما الصخور الأم فهي متعددة ، وتمثل بالفصاريات اليتومية العائدة للباليزوي والجوراسي والكريتاسي والاوليغوسين ، والمرافقة غالباً بستجرات

وتشكيلات بركانية • وتبدو الغضاريات العائدة للميوسين الاعلى الصخور الام
الاكثر أهمية • ويعتقد أنها غدت الصخور الرملية العائدة لنفس العصر بزيوت
بارافينية وغازات • أما الغضاريات العائدة للبليوسين الاسفل والتي غدت الرمال
بزيوت نفتينية — عطرية فهي أقل أهمية نظرا لترافقها مع الكربونات •

والضغوط في هذا الاقليم هي هيدروستاتيكية ، بالإضافة إلى وجود شواذات
جيودينامية محلية • • ولعل أهم الأسباب التي أسهمت في اغتناء هذا الاقليم هي :

— تعاقب الرمال الخازنة والغضاريات المشكلة للصخور الام •
— وجود الغطاءات السميكة وذات الانتشارات الاقليمية على شكل طيات
جرفية •

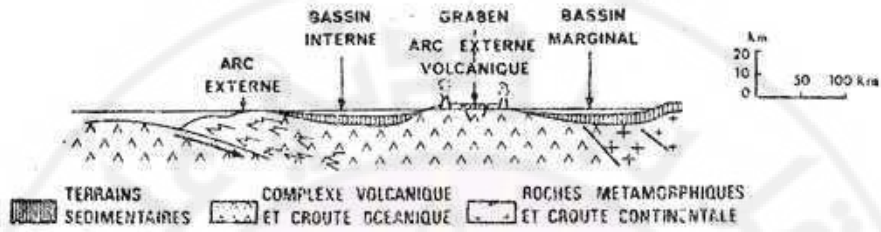
— ترسيب سريع وحديث •
— وجود مناطق مرتفعة وأخرى منخفضة ، إضافة إلى أعداد كبيرة من المصائد
المحدبة •

هذا ولقد أنتجت رومانيا من منطقة بلوستي فقط ما يقارب ٥٠٠ مليون طن
من الزيت ، ومليار م^٣ من الغاز من ٣٠٠ حقل في هذا الاقليم (Paraschiv, 1975) .

٢ — الاقاليم المرافقة للسلاسل الجبلية : Provinces de type cordillère

تتواجد هذه الاقاليم في الاجزاء العديدة الاستقرار ، وتحتوي على تشكيلات
رسوبية ضميعة التطور • وتقابل أحراضاً ضيقة ومملوءة جزئياً بتوضعات لأوساط
عميقة وغنية بالتشكيلات البركانية (شكل ١٣٧) •

ونظراً لهذه الخصائص الجيولوجية الغير ملائمة من الوجهة النفطية ، فإن
هذه الاقاليم تكون عادة محدودة وفقيرة بالفحوم الهيدروجينية • ومن الامثلة
القليلة عليها نذكر إقليم سانتا ايلينا الصغير على شواطئ المحيط الهادي
المجاورة للاكواتور ، وإقليم البيرو المحاذي له •



شكل ١٢٧ : مقطع للأحواض المرافقة لمناطق تشكل الجبال (Poulet , 1975)

خلاصة ونتيجة :

تتلاءم الأقاليم النفطية عملياً مع كافة أنواع الأحواض الرسوبية . وتتحكم هندسة هذه الأحواض في خصائص هذه الأقاليم ، حيث يرتبط اغتنائها بالفحوم الهيدروجينية بحوادث الانخفاض الشديد ، وبالتكتونيك الضعيف . فأحواض السطحية القارية الثابتة لا تحتوي إلا على أقاليم فقيرة وذات تجمعات تبعية (في حال غياب الأرضفة المشادة) ، أما الأحواض الأكثر حركة فهي تتصف بخط أوفر . وتمنح القباب الواسعة والطيات الكبيرة توزيعات تجميعية ضخمة وحقولاً هائلة . أما الأحواض الشديدة التأثير بفعل التكتونيك والمصدعة بالفوالق فهي تبدي فقراً شديداً بالفحوم الهيدروجينية .

وتعود أقاليم الحقب الأول إلى الأحواض الرسوبية الثابتة نسبياً (البلاصفورية) والتي استطاعت الحفاظ على مكانتها . أما أقاليم الحقب الثالث فهي تعود إلى مناطق تشكل الجبال .

★ ★ ★

الفصل الثالث

الأقاليم النفطية الرئيسية

Les principales provinces pétrolières

مقدمة عامة :

تم التعرف حتى الآن على ما يقارب من ٦٠٠ حوض رسوبي موزعة على القارات وفي البحار في مناطق مختلفة من العالم (شكل ١٣٨) . وقد تم التنقيب في ٤٠٠ حوض منها . وبينت الدراسات الاحصائية أن ١٦٠ حوضاً من هذه الأحواض تحتوي على كميات نفطية إقتصادية ، وأن ٢٥ حوضاً تحتوي على احتياطي يبلغ ١٤ مليار طن وتمثل ٨٥٪ من الاحتياطي العالمي . بينما توجد ستة أقاليم في هذه الأحواض تحتوي وحدها على ما ينوف على ٧ مليار طن وتشكل أكثر من ثلثي الاحتياطي العالمي (Halbouty , 1978) .

وإن درجة الاغتناء بالنفط تختلف من حقل لآخر . فهناك ٢٧٢ حقلاً ضخماً في العالم تحتوي وحدها على ثلاثة أرباع الاحتياطي المكتشف ، بالرغم من أن هذه الحقول لا تشكل سوى ١٪ من العدد الكلي للحقول في العالم . وحسب (Nehring (1978 فإن نصف كمية الاحتياطي العالمي تتواجد في ٣٣ حقلاً هائلة من هذه الحقول الضخمة .

هذا بالنسبة للزيوت ، أما بالنسبة للغازات فإن توزيعها يبدو أقل تركيزاً .

حيث يتواجد ثلاثة أرباع الاحتياطي المكتشف في خمسة عشر إقليماً هائلاً محتوية على ١٠٠٠ مليار م^٣ من الغاز ، يتوزع ثلثاها في أربعة أقاليم فقط .

ومن الناحية الطبقة فإن التشكيلات الجيولوجية اللاحقة للترياسي (post - triasiques) تضم حوالي ٨٠٪ من احتياطي الفحم الهيدروجينية الموزعة على النحو التالي :

— الحقب الأول ١٣٪ .

— الحقب الثاني ٦٣٪ .

— الحقب الثالث ٢٤٪ (٤٠٪ منها في الشرق الاوسط) .

ومن الوجهة البنيوية ، تشكل المكدبات ثلاثة أرباع المصائد ، وتجمع ٨٥٪ من الحقول الهائلة و ٩٥٪ من احتياطي الزيت والغاز (Klemme , 1975) .

لمحة جيودينامية وباليوجرافية عامة

تنظم الأحواض الرسوبية الكبرى في الكرة الأرضية حول الوحدات البنيوية الرئيسية ، وبخاصة حول البنيات الثابتة العائدة لما قبل الكامبري حيث تقع الأحواض التابعة للحقب الأول إما في مناطق الضعف في البنية نفسها مشكلة بذلك الأحواض المجنية ، أو على أطراف هذه البنيات ، وبخاصة على حواف الاخاديد الانخفاضية التي تشكل فيما بعد السلاسل الجبلية المطوية . وتبدي هذه الأحواض المجنية أو ضمن المجنية ، بالإضافة إلى بعض الأحواض الانهدامية غير الثابتة ، تشكيلات رسوبية قليلة السماكة وهذا ما يقلل من أهميتها النفطية .

أما الأحواض الرسوبية التابعة للحقب الثاني والثالث فتتواجد ضمن أطر بنيوية أكثر تعقيداً . وبعضها يتوزع كالأحواض السابقة فوق أو حول المجنات المتشكلة اعتباراً من تشكيلات الحقب الأول المطوية ، والبعض الآخر يتشكل على الهوامش القارية السالبة أو النشطة في المحيطات الحالية بعد إنفتاحها . أما



(شكل ١٣٨) : الاحواض الرسوبية



الرئيسية في العالم

الأحواض الأخرى من نوع الحفر أو الأغوار فهي تنشأ في مناطق الضعف من القشرة الأرضية المرافقة للانفصالات المحيطية . وبشكل عام تتميز الأحواض العائدة للحقب الثالث عن الأحواض الأقدم منها بسطوحها الصغيرة وانخفاضاتها السريعة .

قارة غوندوانا (١) Le continent du Gondwana

تتميز قارة غوندوانا ببعض المظاهر الجيولوجية الخاصة . فهي تتصف أولاً بثبات كبير لا يسمح بتشكيل الأحواض الرسوبية البحرية . والأحواض الموجودة فيها أحواض مجنبة ضعيفة الانخفاض ، وتعود بمعظمها للحقب الأول ، وتوزع في أفريقيا وأستراليا وأمريكا الجنوبية . ولم تبتدأ أحواض هذه القارة أهمية نفطية كبيرة ، باستثناء أحواض الصحراء الجزائرية العائدة للحقب الأول وحوض السيرت الانهدامي في ليبيا والعائد للكرياسي ، والتوضعات الشيستية العائدة للبرمي في البرازيل ، حيث توجد كافة هذه الأحواض في الجهة الشمالية الأقل استقراراً في القارة .

— أحواض الحقب الأول في النصف الشمالي من الكرة الأرضية :

Les bassins Paléozoïques de l'Hémisphère Nord

تتميز قارات النصف الشمالي من الكرة الأرضية من أغنى مناطق العالم بالمحوم الهيدروجينية . ويعود هذا إلى تنوع الأحواض الرسوبية الموجودة فيها . حيث تحتوي هذه الأجزاء أحواضاً كبيرة مجنبة أو ضمن مجنبة عائدة للحقب الأول ، ومتوزعة حول الدروع (boucliers) الكندية والاسكندنافية والسيبيرية .

— فعلى الأجزاء الثابتة توجد أحواض مجنبة غنية نسبياً بالمحوم

(١) قارة غوندوانا هي كتلة قارية قديمة امتدت من الكربوني وحتى الترياسي . وتتألف حالياً من : البرازيل — أفريقيا — مدغشقر — الهند — أستراليا .

الهيدروجينية ، كهوض ميشيفان وأحواض غرب كندا .

– وفي الأطراف وبالعلاقة مع الأخاديد المتحركة والمولدة للسلاسل المطوية ، ترسم حول الدرع الكندي مجموعة من الأحواض العائدة للحقب الاول ، فذكر منها حوض Mid - Continent الهام ، وأحواض Appalaches . وخلال مراحل متكررة وبخاصة في بداية عصر الميسيني توضع على مساحات واسعة غضاريات سود بيتومية مشكلة سوية متميزة من الصخور الأم . وعلى هذه القاعدة (plate - forme) أشيدت في أماكن مختلفة ، وفي عصور مختلفة أرضفة ذات قدرة تغطية كبيرة .

– وفي منحدر القطب الشمالي تشكلت الأحواض القطبية الكندية وشمال ألسكا بهندسة معقدة .

– وفي الأوراس وخلال تشكل الجبال الكاليدونية ظهرت على الأطراف الجنوبية للدرع الكندي وفي أطراف السلسلة الهيريسينية أحواض الكربوني واليرمي في أوروبا الوسطى (بريطانيا العظمى – ألمانيا – بولونيا) وأحواض الديفوني واليرمي في الأورال – فولغا .

– وفي سيبيريا تشكلت أحواض أخرى هامة ، وبخاصة حول درع Aldan ودرع Anabar خلال الكامبري والبالوزوي الأسفل .

– وعلى الهامش الصحراوي الشمالي توضع خلال البالوزوي حوض واسع ضمن مجني يحده من الشمال الغربي جبال الأطلس .

– أحواض الحقب الثاني في النصف الشمالي من الكرة الأرضية :

Les bassins mésozoïques de l'Hémisphère Nord

ظهرت هذه الأحواض بشكل عام خلال الترياسي واستمرت حتى العصر

الحالي • ويعتبر حوض سيبيريا الغربية أكبر هذه الأحواض • وقد تشكل هذا الحوض على الباليوزوي المستقر ، واكمل تشكله خلال الجوراسي الأعلى • أما بقية الأحواض الكبرى العائدة لهذا الحقب فهي متوزعة على الأجزاء الهامشية للمناطق المستقرة ، وفي حواف الأحزمة الانخفاضية • ومن أهم هذه الأحواض حوض Gulf Coast ، وحوض Orénoque •

وبالإضافة إلى أحواض الأوراس والشرق الأوسط الخصبة نذكر حوض الأكتين ومقدمة حفرة الكاربات • أما الأحواض الصينية التي تعود بمعظمها للحقبتين الثاني والثالث فتبدي نمطاً خاصاً يقرّبها من الأحواض الانهدامية ومقدمة الحفر شديدة الانخفاض وذات الأشكال البيضوية أو المستديرة •

ـ أحواض الهوامش الأطلسية : Les bassins de marges atlantiques

تشكلت على الهوامش القارية للمحيط الأطلسي ، اعتباراً من الترياسي وحتى الجوراسي ، أحواض انهدامية واسعة ، افتتحت فيما بعد على المحيط بسبب حركة صفائح القشرة الأرضية • وتعتبر التشكيلات الفضارية السود السميكة التي توضع بين الألبى الأوسط والتوروني على الهوامش وفي المحيطات مصدراً لكميات هامة جداً من الفحم الهيدروجينية • كما أن تواجد التشكيلات الكربوناته الشاسعة الامتداد وبخاصة الأرصفة خلال هذه الأزمان شجع على تشكل تجمعات عديدة وهامة من الفحم الهيدروجينية •

ومن الأقاليم النفطية الهامة العائدة لهذه الأحواض نذكر الأحواض الواقعة في عرض اللابرادور والبرازيل والشواطئ الغربية لأفريقيا الاستوائية • وفي القارة الإفريقية الفقيرة بالأحواض يوجد على العكس انهدامات هامة من الوجهة النفطية ، نذكر منها حفرة تشاد ، حوض السيرت الانهدامي ، البحر الأحمر وخليج السويس • وفي أستراليا ظهرت في نفس المرحلة أحواض مشابهة لحوض Carnavon وحوض Gippsland •

أحواض الهوامش النشطة والأحواض بين الجبلية :

Les bassins de marges actives et les bassins intramontagneux

ظهرت على حواف المحيط الهادي خلال الحقبة الثالث مجموعة من الأحواض بسبب اصطدام الصفائح في هذه المناطق . كما ظهرت في مناطق الانضغاط والقصى مجموعة أخرى من الأحواض بين الجبلية الخصبة في أندونيسيا وماليزيا وكاليفورنيا وفنزويلا .

وخلال الحقبة الثالث ظهرت أيضا على الأجزاء المجنية مجموعة من الحفر الانهدامية كحوض فيينا وأحواض بحيرية كحوض النهر الأخضر المحتوي على كميات هائلة من السجيل الزيتي .

وباختصار يمكن القول بأن أقاليم النفط والغاز الكبرى تتجمع حول مجموعة من البنات الجيودينامية والباليوجغرافية المختلفة الأنواع .

— وإن إقليم الشرق الأوسط الناتج عن اصطدام الصفائح الأفريقية — العربية والآسيوية يحوي على أكثر من ثلث الاحتياطي المكتشف من الزيت (٦٥ مليار طن) وعلى ٢٠٠٠٠ مليار م^٣ من الغاز .

— ومنطقة الكارائب المثلثة بأقطابها : Gulf Coast — المكسيك — فنزويلا تحتوي على ١٥ مليار طن من الزيت وعلى ١٢ بليون م^٣ من الغاز .

— وفي الاتحاد السوفيتي تحتوي أحواض الحقبة الأول والثاني والثالث ما يقارب ١٥ مليار طن من الزيت و ٣٥٠٠٠ مليار م^٣ من الزيت .

— وفي الأجزاء الأفريقية المجاورة للبحر الأبيض المتوسط تحتوي حقول الحقبة الأول الجزائرية وحقول الحقبة الثاني الليبية ، وحقول الحقبة الثالث المصرية، احتياطياً يساوي ١٢ مليار طن الزيت وأكثر من ٥٠٠٠ مليار م^٣ من الغاز .

— أما الأقاليم الأخرى ذات الاحتياطي الذي يزيد عن مليار طن فهي موزعة بين

كاليفورنيا والهند الشرقية مروراً بنيجيريا وبحر الشمال .

وهكذا تتوزع الأحواض الرسوبية المنتجة ضمن تسعة أقاليم نفطية رئيسية عالمية :

- ١ - أقاليم الشرق الأوسط .
- ٢ - الأقاليم السوفيتية .
- ٣ - أقاليم بحر الشمال .
- ٤ - أقاليم أمريكا الشمالية .
- ٥ - أقاليم خليج المكسيك .
- ٦ - الأقاليم القنزولية .
- ٧ - الأقاليم الصحراوية .
- ٨ - إقليم الدلتا النيجيرية .
- ٩ - أقاليم جنوب شرق آسيا .

هذا ونظراً للأهمية النفطية الهائلة التي تتمتع بها أقاليم الشرق الأوسط ونظراً لوقوع معظم هذه الأقاليم ضمن المنطقة العربية فإننا سنقتصر في دراستنا المفصلة على هذه الأقاليم فقط .

أقاليم الشرق الأوسط

Les Provinces du Moyen - Orient

١ - الخصائص الجيولوجية :

توافق منطقة الشرق الأوسط حوضاً رسوبياً عديماً التناظر ، تبلغ مساحته ٣٣ مليون كم^٢ ، منها ٦٠٠ ألف كم^٢ منتجة للنفط والماز . ويقع هذا الحوض المقدم من الناحية الجيودينامية في منطقة تصادم الصفائح الإفريقية

المتقدمة باتجاه شمال - شرق والصفحة الآسوية • وتتصف منطقة التصادم هذه الواقعة على المحيط الميزوجي (mésogéen) القديم بتشكيلات حالية ذات سكاكات كبيرة ، ومتأثرة بحوادث الطي والفوالق •

وهكذا يتحدد إقليم منطقة الشرق الأوسط بالدرع العربي - النوبي في الجنوب الغربي ، وبطيّات الجرف لـجبال طوروس وزاغروس في الشمال الشرقي • ومن الناحية البنيوية يمكن أن نميز بشكل رئيسي بين :

ـ منطقة بلاتفورمية ثابتة نسبياً في الجزء الجنوبي الغربي من الحوض ، وتقابل هذه المنطقة البلدان الواقعة على هذا الجزء الهامشي من الخليج والمتميز بمجسورة من المحاور البنيوية ذات الميول الضعيفة •

ـ منطقة إنضغاط (compression) واقعة في الشمال الشرقي ، وتتصف بطيات حديثة التشكل ومصطفة باتجاه شمال غرب - جنوب شرق •

هذا ولقد نشأت هذه البنيات المختلفة ، أو تعقدت ، بسبب التشوهات الملحمية القديمة (العميقة) التي أدت إلى ظهور القباب البسيطة في الجزء البلاتفورمي ، أو الحديثة التي نمت بشكل غير متجانس مع إقليمية المنطقة كما في أقدام الجبال في إيران والمراق •

ويمتد الدرع العربي بين الشواطئ الحالية للبحر الأبيض المتوسط في الغرب والمحيط الهندي في الشرق ، بحيث تتمركز قمم (dorsales) الهيل في الشمال ، وقطر في المركز ، وحضرموت في الجنوب الشرقي ، محددة بذلك المحاور الانخفاضية الرئيسية للحوض الميزوبوتامي ما بين النهرين ، والربع الخالي (شكل ١٣٩) • وبالطبع فإن هذه المراكز الثلاثة تشكل الأجزاء الأكثر اغتناءً بالفحوم الهيدروجينية في كامل المنطقة •



(شكل ١٣٩) : خارطة للأنابيب والحقول النفطية الرئيسية في الشرق الأوسط (معدلة عن خارطة 1975 Dunnington & Beydoun)



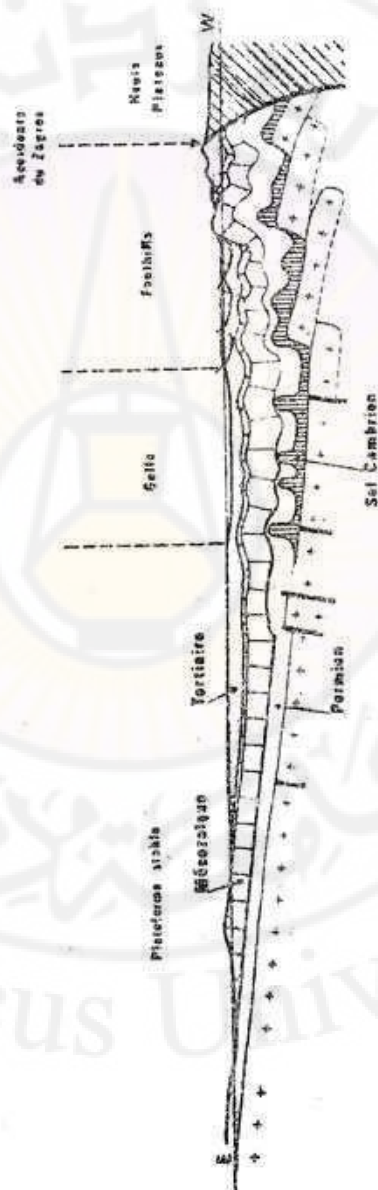
(شكل - ١٤) : خارطة تساوي الأعماق للتشكيلة الرسوبية في الخليج العربي

(Kamen Kaye , 1970)

ويتحكم هذا المخطط البنيوي في الإطمار الهيدرودينامي ويتميز بتصرف
بفعل الثقالة انطلاقاً من تضاريس جبال زاغروس والسطيحة القارية العربية
وبتدرجات هيدرودينامية شاقولية تساعد على تبثر الفحوم الهيدروجينية في هذا
الجزء من المنطقة . ويكتمل هذا المخطط في الشرق بمقدمة حفرة عمان المؤلفة
من غضاربات كريتاسية شديدة التراص .

وتعتبر التدرجات الجيوحرارية ضعيفة في الأجزاء الانخفاضية ، وعالية في
الأنطراف وعلى امتداد المحاور البنيوية .

— ومن الناحية الطبعية ، تصل التشكيلة الرسوبية في سماكتها إلى ١٠٠٠٠م ،



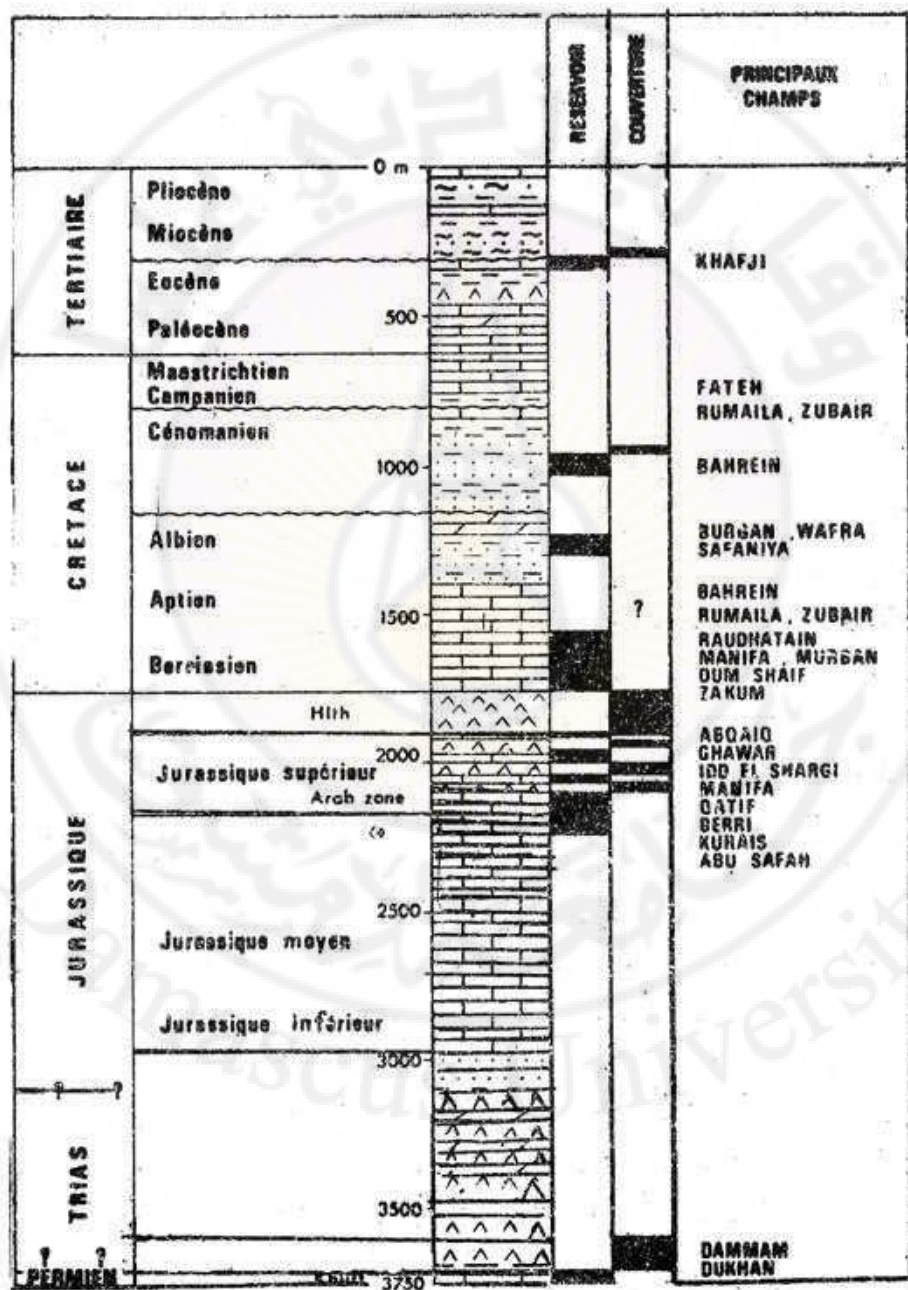
(شكل ١٤١) : مقطع جيولوجي عبر حوض منطقة الشرق الأوسط (in Perrodon, 1980)

يمود منها ٣٠٠٠ م إلى الحقب الثالث في الجزء الشمالي الشرقي المطوي من منطقة الخليج . وتترقق سماكة الطبقات بشكل سريع ومنظم في اتجاه الدرع العربي وقطر (شكل ١٤١) .

هذا وتمتد التشكيلة الطبقيّة بشكل مستمر من البرمي وحتى الحديث بسماكة ٧٠٠٠ م ، وذلك بشكل يتوافق مع الخصائص الألبية لهذا الإقليم (شكل ١٤٢) .

ويدي باليوزوي تشكيلة رسوبية غير مستمرة ، تتميز بالرسوبات الملحية العائدة لما قبل الكامبري في منطقة هرمز ، وبالعضاريات العضوية العائدة للعصر الفحمي (Carbonifère) البحري المتطور . ويتألف البرمي من تعاقب طبقي لصخور كربوناتيّة وتبخرات مع تداخلات رملية وعضارية في القاعدة . أما الميزوزوي فيتألف من مجموعة من التشكيلات الحطامية والعضارية والكربوناتيّة والتبخرية . وتتصف هذه التشكيلات بسماكتها المحدودة ، وبكونها مقطوعة بفرات رسوبية ، وبسحبات نيريتية (néritiques) ، وبتوضعات واسعة وسميكة من الصخور الحطامية في منطقة البلاتفورم . إلا أن هذه التشكيلات تبدو أكثر استمرارية وسماكة وذات سحبات أعمق في المنطقة الانخفاضية الموافقة للأخدود الميزوجي (mésogéen) .

هذا وإن الدراسة المفصلة للتاريخ الجيولوجي للأقليم المنتج في جنوب إيران يوضح أن هناك اختلافات هامة . حيث يظهر في هذه التشكيلة التي تبلغ سماكتها ١٠ - ١٢ كم ، والتي تبدو لأول وهلة مستمرة نظراً لبساطة الظواهر الطبقيّة والبنويّة ، اختلافات في السحن وعدم توافقات تشكل عدداً من الدورات الرسوبية ، بحيث تحدد هذه التذبذبات الحدود الفاصلة بين مجموعة الطوابق والمصور: يرمي - ترياسي - جوراسي ، جوراسي أوسط وأعلى ، جوراسي - كريتاسي ، الألبسيان - الألبسي - التوروني - السينوني ، الكريتاسي - الأيوسين .



ولقد أظهرت دراسة خرائط منحنيات تساوي السماكة (isopaques)
للتشكيلات المختلفة وجود أجزاء متحركة وأخرى ثابتة تعود لأوساط رسوبية
تتدرج من السطحية القارية إلى الأخاديد العميقة ، وخاصة خلال الكريتاسي
الأسفل ، (Setuehnia , 1978) * هذا وتنتهي الرسوبات العائدة للحقب الثالث
بتشكيلات سمكية تبلغ عدة آلاف من الأمتار في المناطق الجيوسينكلينالية .

الخصائص النفطية :

اكتشف في منطقة الشرق الأوسط ما يقارب ٦٥ مليار طن من الزيت القابل
للاستثمار . وقد تم استثمار عشرة مليارات طن منها من الزيت ، كما تم استثمار
عشرين بليون م^٣ من الغاز . ولقد قدر احتياطي منطقة الأسمرى فقط في الصخور
الكربوناتيّة بستة وخمسين مليار م^٣ من الزيت (Kent, Warman , 1972) *
إن هذا الاحتياطي يساوي تقريباً نصف الاحتياطي المكتشف في العالم ، ويعني
اغتناء متوسطاً بحدود ٢٨٠٠٠ طن/كم^٢ ، أو ما يعادل عموداً من الزيت يساوي
ارتفاعه ٣ سم على طول امتداد المنطقة .

ويتوزع هذا الإحتياطي في ٣٦ حقلاً هائلاً للزيت (أي ثلث حقول العالم)
وفي عشرة حقول ضخمة للغاز . ونظراً لهذا الإغتناء الكبير ، فإن كميات كبيرة
من الفحم الهيدروجينية كانت قد فقدت ومازالت تفتقد بسبب الهجرات
التبعثرية المؤدية إلى ظهور الدلائل السطحية الأسفلتية والاندفاعات الغازية
المعروفة في حوض الميزوبوتامي في العراق .

هذا وقد جرت العادة على تمييز نوعين من الأقاليم النفطية تبعاً للمواقع
البنوية المشار إليها في الفقرة السابقة .
— إقليم بلافورمي أو إقليم عربي : ويتميز بمصائد واسعة ومتطاولة

(شكل ١٤٢) : التشكيلات الجيولوجية الرئيسية للسطحية القارية
العربية ومواقع الحقول الرئيسية فيها

باتجاه شمال - جنوب ، ومنتجة من صخور الجوراسي والكريتاسي الأسفل .
- إقليم طي أو إقليم أقدام الجبال في العراق وإيران : وينتج من الصخور
الخازنة العائدة للكريتاسي والميوسين - أوليغوسين ، المشققة والموجودة على
طول امتداد المحدثات الصدوقية المندثرة تحت الغطاء الملحي والحطامي .

وتبعاً للمعطيات المتوفرة حالياً، وبسبب الدور الرئيسي الذي تقوم به الغطاءات
في هذا الحوض ، فإنه يمكن تحديد مجموعة من الأنماط النفطية بالعلاقة مع
السويات المنتجة فيها :

- نموذج البيرمي (الخف) : المنتج للغاز من إيران إلى قطر وحتى العربية
السعودية ، وفي أم شيف بأبو ظبي .
- نموذج الجوراسي (المنطقة العربية) : المنتج للزيت من المنطقة البلاتينية .
- نموذج الكريتاسي المعقد : الرملي أو الكربوناتي .
- نموذج الأوليغوسين - ميوسين (الأسري) : المنتج في الأجزاء الممرضة
للطي .

١ - نموذج الخف : Le système Khuff

يتميز هذا النموذج بالتواجد المشترك للصخور الخازنة الكلسية
والدولوميتية المحتوية على الحيوانات الحفارة (polypiers = Khuff) ، والمغطاة
بالتشكيلات الدولوميتية والانهدريزية ذات الضغط الداخلي المرتفع (تشكيلة
الصدير) . وتتصف هذه الصخور الخازنة بما يلي :

- سماكة تصل إلى ١٠٠٠ م في أقدام جبال منطقة كنجان .
- مسامية متغيرة تصل إلى ٢٠ - ٢٥٪ في السويات النفوذة والمشققة .

أما المصائد ، فتتألف في الجزء الإيراني المطوي من محدبات نموذجية متطاولة،
تصل في عرضها إلى ٨ - ١٢ كم ، وفي ارتفاعها إلى ١٥ - ٣ كم ، وإلى عدة

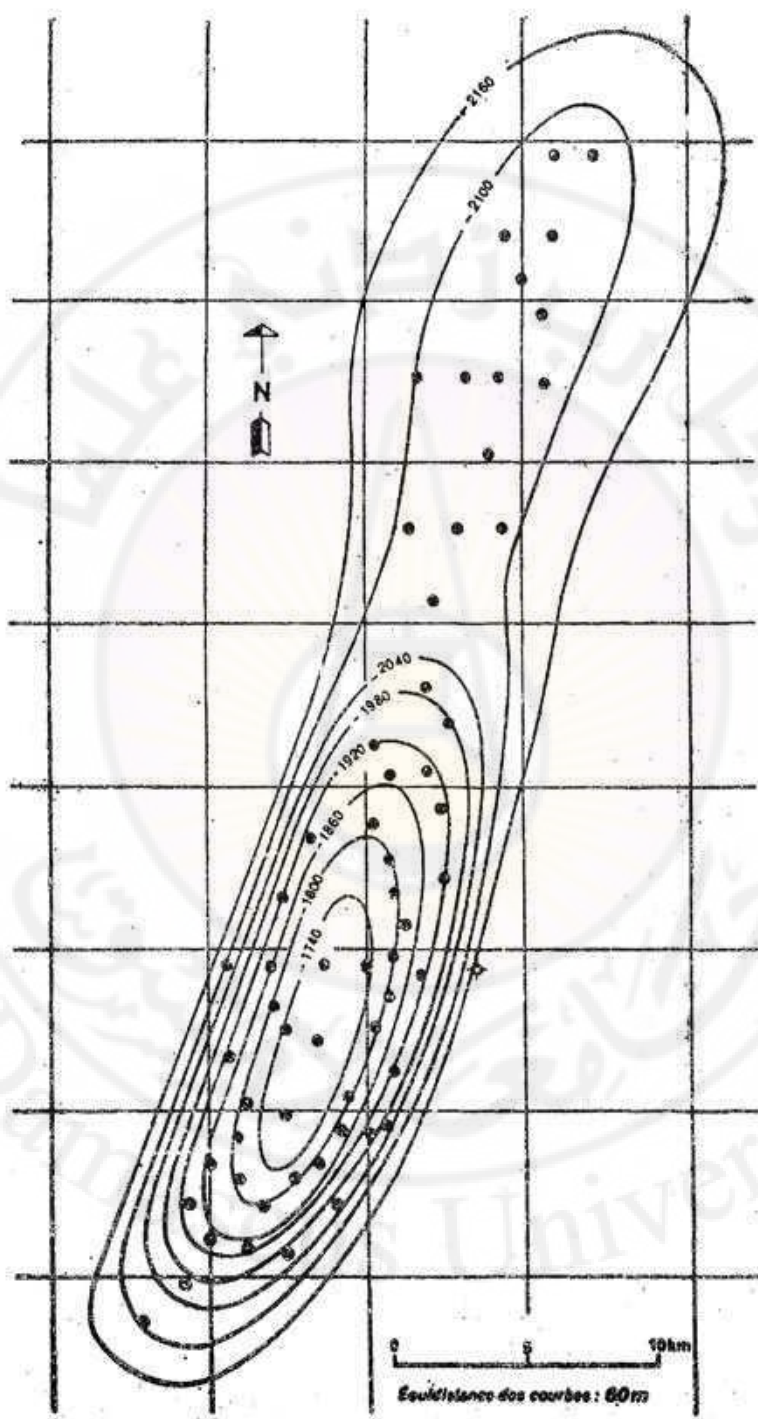
مئات من الكيلو مترات المربعة في مساحتها (شكل ٨٠) • إلا أن اغلاقات هذه المصائد تبدو متأثرة بالحوادث الانزياحية الحديثة التي تعرضت لها الصخور المغطية • أما في المناطق البلاتفورمية فتتألف هذه المصائد من قباب ذات أقطار انحاء كبيرة •

والفحوم الهيدروجينية في هذا النموذج غازية رطبة ، وتحتوي في منطقة كنجان على كميات قليلة من غاز كبريت الهيدروجين (H_2S) • وتزداد كمية هذا الغاز في قطر حيث تظهر كميات أخرى من النتروجين (N_2) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) • أما الزيت فقد عثر عليه في الصخور الخازنة الرملية العائدة لقاعدة اليرمي في مكان عمان • وأهم الحقول المكتشفة وغير المستشرة إلى يومنا هذا هي : بارس (1800×110 م²) ، كنجان (330×110 م²) ، نار ، آغار ، فارافي في إيران ، والحقل العميق في المياه الاقليمية لقطر (3000×110 م²) ، وحقل أم شايف في المياه البحرية في أبو ظبي (Regre, 1975) •

٢ - نموذج المنطقة العربية : Le système « Arabe Zone »

يتألف هذا النموذج العائد بمعظمه إلى الجوراسي الاعلى من تكرار لدورات رسوبية (cycles sédimentaires) تبدأ بسحبات كربوناتها ذات طاقة ترسيب عالية (كالكارينيت) تشكل ثلاثة أرباع الصخور الخازنة في المنطقة العربية ، وتنتهي بتوضعات تجاوزية غطت معظم أجزاء السطح العربية في نهاية الجوراسي • وتنتج هذه المجموعة من القباب ذات الميول الضعيفة والانتشار الواسع ، والتي تزداد الاغلاقات فيها مع الاعماق لتصل إلى ٣٠٠ - ٤٠٠ م • وقد تشكل الكثير من هذه التراكيب بسبب انبثاق الملح العميق العائد للكامبري •

وتتألف الصخور الخازنة غالباً من دولوميا فجوية (vacuolaire) ، ومن كلس فوقمي وكالكارينيت • وتعود هذه الصخور ذات الخصائص البتروفيزيائية الممتازة إلى توضعات العواجز البحرية • هذا ويصل تدفق الآبار فيها إلى ٢٠٠٠ طن يومياً في حقل غوار • أما كثافة الزيوت الخام فهي متوسطة وتبلغ (٣١ - ٣٨ API) وهي ذات نوعية كبريتية •



(شكل ١٤٣) : مكنون آيتيق في المملكة العربية السعودية (١٩٥٦ , Mc Connel & Levorsen)

ويحتوي هذا النموذج على عشرة حقول من أصل خمسين حقلاً هائلًا في العالم .
والحقل الأول في هذه الحقول هي حقل غوار المحتوي على ٢٥ مليار طن من
الاحتياطي القابل للاستثمار . ويتميز هذا الحقل بما يلي :

— بنية محدبة يبلغ طولها ٢٦٠ كم ، وسطحها المغلق ٢٣٠٠ كم^٢ ، ويصل ارتفاع
عمود الزيت فيها إلى ٤٠٠ م .

— صخر خازن تبلغ سماكته ٨٠ م ويقع على عمق ١٢٠٠ م .
— إنتاج بحدود ٣ مليار طن ، واحتياطي أولي قدره ١٠ مليار طن .

ولبي حقل غوار في الأهمية حقل آبيق المكتشف عام ١٩٤٠ والمؤلف من محدب
منتظم ذي سطح منتج تبلغ مساحته ٣٥٠ كم^٢ وإغلاق بنيوي لا يقل عن ٣٠٠ م .
ويصوي هذا الحقل على ١٢٦ مليار م^٣ من الزيت (شكل ١٤٣) .

وبالإضافة إلى هذه الحقول الواقعة في المملكة العربية السعودية نذكر حقول :
بري — أبو صفا — خرسانية — مرجان — وأم شيف في أبو ظبي ، وإيد الشرقي
في قطر ، وحقل دخان الموافق لاحدى المحدثات المكتشفة على السطح في هذه
المنطقة والممتد بأبعاد ٤٠×٥٠ كم بسيول خفيفة ، والمنتج من سويتين من الصخور
الخازنة فصلهما سوية انهدرتية تبلغ سماكتها ٢٠ م .

٢ — نموذج الكرياسي : Le système Crétacé

تتوزع المصائد العائدة إلى هذا النموذج بين المنطقة البلاتفورية والمنطقة
المطوية . وتوجد هذه المصائد عادة ضمن تشكيلات عائدة للكرياسي الأوسط ، ذي
السحبات الرملية أو الكربوناته .

ويأتي الزيت من تشكيلات مختلفة كلسية أو مارنية غنية بالمادة العضوية
السابروبيلية . والصخور الخازنة صخور حطامية مؤلفة من تشكيلة برقان
الرملية العائدة للابلي ، أو من تشكيلة الزبير العائدة للبارميان في الكويت وفي المناطق

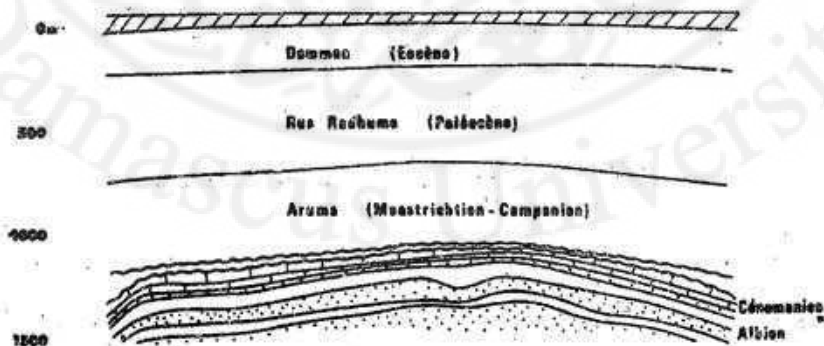
العراقية وفي العربية السعودية . ويمكن أن تتألف هذه الصخور من توضعات كربونانية على علاقة مع اوساط رصيفية محتوية على الروديست كبا في تشكيلات أم شريف . أما الصخور المغطية فتحققها الغضاريات السينومانية التجاوزية والسينونية .

وتتألف المصائد في هذا النموذج من قباب بسيطة في الاجزاء البلاتفورمية ، ومن محدبات وأكثر تباينا في الاجزاء المطوية في إيران .

٢ - الصخور الخزنة الرملية :

تتألف هذه الصخور من انتشارات واسعة من الرمال والصخور الرملية ذات السحنات القارية المتقدمة من الغرب باتجاه السطحية القارية . وتبلغ سماكة هذه الرمال ذات الخصائص الخزنية الممتازة ٢٠٠ - ٣٠٠ م . وتحتوي على ١٥ مليار طن من النفط ، موزعة في ستة حقول هائلة .

والحقل الاعم هو حقل برقان في الكويت، وهو الحقل الثاني في العالم بالنسبة للحقول المنتجة من الصخور الرملية ، ويحتوي على احتياطي قدره ٩,٢ مليار طن من الزيت . وهذا الحقل عبارة عن محدب كبير مصدع بالقواقع . وهو ذو شكل اهليلجي تبلغ مساحته ٩٠ كم^٢ ويصل اغلاقه النبوي إلى ١٠٠٠ م . وينتج من رمال



(شكل ١٤٤) : مقطع في حقل برقان

رقان العائدة للإلبي والسينوماني الأسفل والمغطاة بغضاريات ومارن أخضر وبني وأحمر بسماكة قدرها ٣٠ م (شكل ١٤٤) •

وتتصف هذه الرمال الكتلية والمؤلفة من حبات ناعمة إلى متوسطة النعومة بنفوذية تصل إلى ٤ - ٥ دارسي ، وبسماكة فعالة تصل إلى ٤٠٠ م ، وتصرف يومي قدره ٧٠٠ - ١٢٠٠ طن •

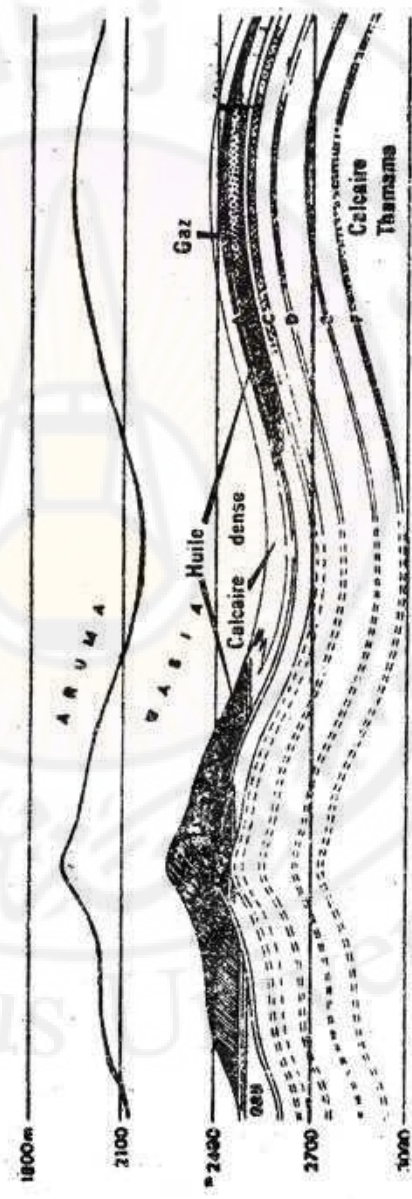
ونذكر أيضا بالإضافة إلى هذا الحقل حقل الرملة في العراق المكتشف عام ١٩٥٣ والمنتج من كلس الكريتاسي الأوسط باحتياطي قدره ١٩ مليار طن، وحقل روض التين وجبرية في الكويت •

ب - الصخور الخازنة الكربوناتية :

تعود هذه الصخور الخازنة إلى تشكيلات كربوناتية مختلفة ، وتكون غالبا على علاقة مع سحنات رصفية كالكلس البيوكلاستي المحتوي على الروديست ، والممتد من النيوكوميان وحتى الايوسين • وتحتوي هذه السحنات الكربوناتية الكريتاسية على مايقرب من ١٥ مليار طن من الزيت ، وتتصف الحقول المنتجة منها في الدرجة الثانية من حيث الاهمية • والحقل الاهم هو حقل مربان - أبو حصا في أبوظبي المحتوي على ٥٣٠ مليون طن من الزيت، والمنتج من كلس تساما وكلس الشويبا العائد للنيوكوميان والابسيان (شكل ١٤٥) •

ومصيدة مربان هي قبة واسعة الانتشار ، ويبلغ اغلاقها البنيوي ٢٤٠ م • والصخر الخازن فيها كلس تبلغ مساحته ٢٧ / ، وتراوح نفوذيته بين ٥ - ٢٥ ميللي دارسي • وتحتوي هذه المصيدة على قبة غازية يكثر فيها غاز (H₂S) • أما المصيدة المجاورة (أبو حصا) ، والاكثر ارتفاعا بالنسبة لمربان فتبدي سحنات رصفية ذات نفوذية أفضل وزيت أثقل •

يلي هذه المصائد في الاهمية حقل زكام في أبو ظبي ، وحقل فاهور في إيران ، وحقل الاولي في البحرين •



(شكل ١٤٥) : مقطع في حقل أبو حصا ، ومربان (Hajash, 1967)

٤ - نموذج الاسمري : Le système Asmari

يتميز هذا النموذج المقابل لاقليم أقدام الجبال (Piedmont) في إيران وشمال العراق بما يلي :

— من الناحية البنيوية: بمحدرات صندوقية ذات أبعاد كبيرة، وتصل ارتفاعاتها إلى ٥٠٠٠ م فوق سطح البحر .

— من الناحية الخزنية : بصخور خازنة كلسية متشققة تعود للاوليغرين والميوسين (أسمري) ، منطقة بصخور متبخرة عائدة للفارس . وتصل سماكة هذه الصخور الخازنة إلى ٢٠٠٠ م (شكل ١٤٦) .

وتبدي هذه الصخور الكلسية النيوليتية المدلثة محلياً وذات السحنات النيريتية مسامية ضعيفة (٥ - ١٠٪) ، بينما تتمتع بنفوذية عالية بفضل الشقوق ، مما يؤدي إلى ارتفاعات مشبعة بالزيت تصل إلى عدة مئات من الأمتار .

وتعود الفحوم الهيدروجينية في هذا النموذج بشكل رئيسي الى الصخور الام العائدة للكريتاسي أو لايوسين . وتصل إليها بفضل الهجرات الشاقولية التي حدثت خلال نشوء البنيات . أما طبيعة الزيت فهي عموماً اسفلتية وكبريتية . وتركيب الزيت متجانس ضمن الممكن الواحد ، ويحتوي على نسبة عالية من الغاز المنحل .

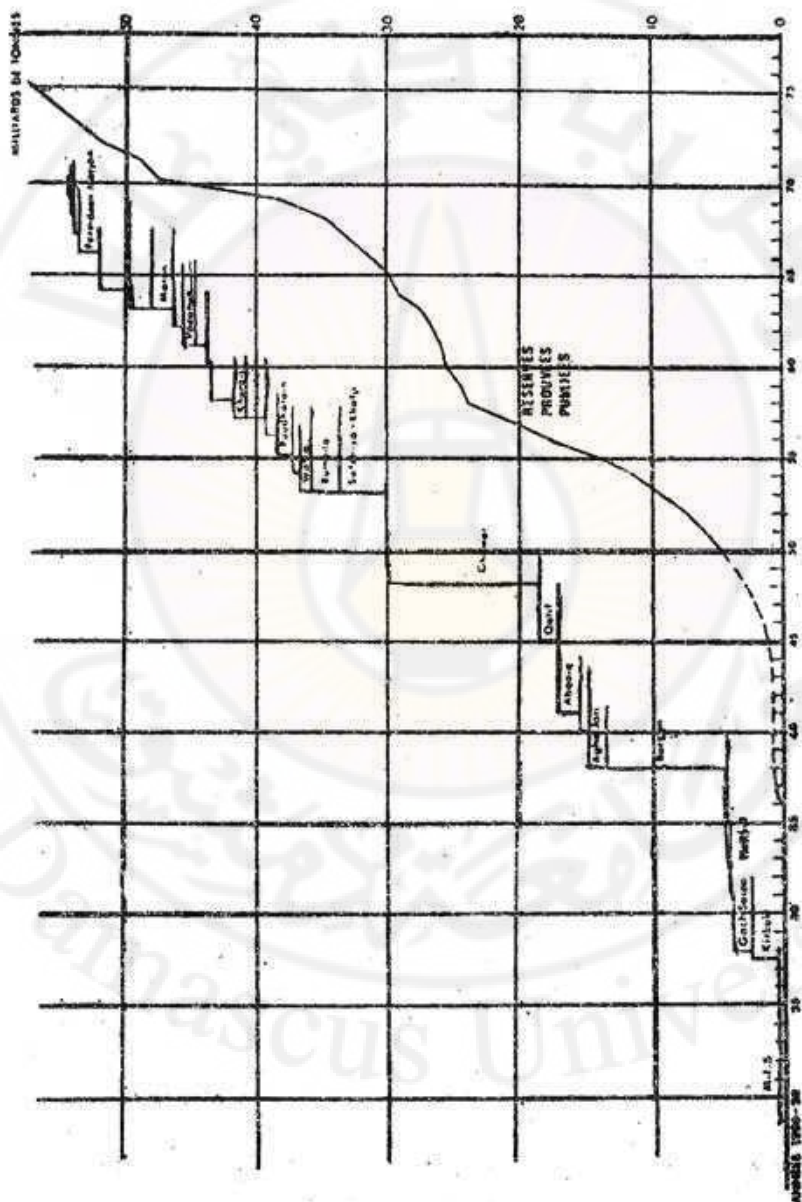
وتظهر المصائد مخططاً تباينياً (différentiel) في الاصطياد ، حيث يتواجد الغاز في البنيات الأكثر عمقا والزيت الخام الاثقل في السويات الاقل عمقا . ويحتوي هذا الاقليم على ما يقارب ١٥ مليار طن من الزيت موزعة في سبعة حقول مصنفة بين الخمسين الاوائل في العالم ، ثمانية منها في إيران (شكل ١٤٧) . والحقول الأهم في هذا النموذج هو حقل كركوك المكتشف عام ١٩٢٧ في العراق (شكل ١٤٨) والمحتوي على احتياطي قدره ٢١٠٠ مليون طن . وينتج هذا المحدث ذو السطح المنطق البالغ ٤٢٠ كم^٢ من الكلس المعرض للفساد ، والذي تصل سماكته إلى ٣٠٠ م .

			RESERVOIR	COUVERTURE	PRINCIPAUX CHAMPS
TERTIAIRE	Miocène inférieur	0 m			KIRKOUK GACH SARAN AGHA JARI MARUN
	Oligocène	Asmari			
	Eocène	Dammam			WAFR
	Paléocène	500			
CRÉTACE	Maastrichtien				
	Campanien	1000			
	Sénonien	Gudair			RUMAILA, ZUBAIR
	Turonien				
	Campanien	Ahmedi			BURGAN, WAFRA
		Wara Maaddud			
	Albien	Burgan			MINAGISH SABRIYAH
	Antia	Shuiba			RUMAILA, ZUBAIR
	Barrémien	2000			RAUDHATAIN SABRIYA
		Zubair			
JURASSIQUE		Ratawi			
	Crétacé inférieur	2500			MINAGISH
		Thamama			WAFRA
		Minagish oolites			
JURASSIQUE	Jurassique supérieur	3000			
		Hirh			
JURASSIQUE	Jurassique moyen inférieur	3500			
		4000			
TRIAS					

وبالإضافة لهذا الحقل توجد حقول أخرى يزيد احتياطي النفط فيها عن مليار طن،
وهي الحقول الإيرانية التالية :
غاش ساران (١٦٠٠ مليون طن) — مارون (١٥٠٠ مليون طن) — آغاغاري
(١٤٠٠ مليون طن) — الاهواز (١٢٧٥ مليون طن) *

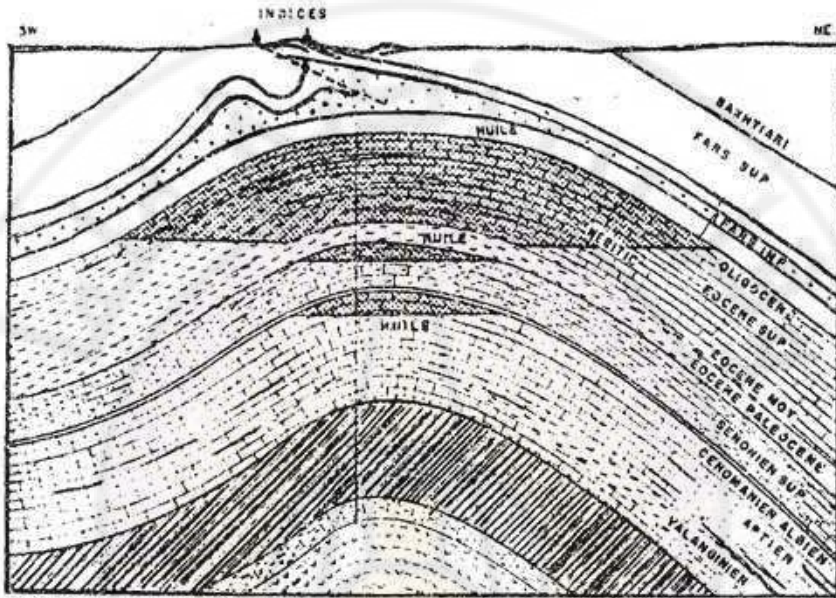


→ (شكل ١٤٦) : التشكيلات الجيولوجية الرئيسية لمنطقة الشرق الأوسط
ومواقع حقول النفط الرئيسية فيها



(شكل ١٤٧): منحنى الكشف النفطي في منطقة الشرق الأوسط منذ عام ١٩٥٤ وحتى عام ١٩٧٥

(Beidoua, Dunnington, 1975)



(شكل ١٤٨) : مقطع عرضي في حفل كركوك في العراق
(Dunnington, 1958)

• • •

خلاصة ونتيجة :

هناك الكثير من الجيولوجين الذين تساءلوا عن أسباب الاغتناء الهائل بالنفط لمنطقة الشرق الاوسط .

وتجيب على هذا التساؤل المعطيات التالية :

- وجود أعداد كبيرة من المصائد البنيوية المؤلفة من قباب واسعة أو من محدبات صندوقية ذات أبعاد كبيرة ومعاملات امتلاء عالية .
- التنوع الكبير في الصخور الخازنة المستدة من اليرمي إلى الميوسين، والمتصفة بخصائص بتروفيزيائية جيدة في المناطق البلاتفورمية والمتشققة في مناطق الطي .
- وجود صخور غطائية مستمرة وكنيمة .
- وجود الصخور الأم على مقربة من الصخور الخازنة .
- تكرار مجموعات الصخور الام - الخازنة والمغطية ضمن التشكيلة الطبقيّة ، وامتدادها على مساحات كبيرة .

وهكذا يلاحظ أن هناك خصائص متميزة للشروط الرئيسية الضرورية لتشكيل المكامن . ومن المفيد أيضا الإشارة إلى أهمية الانخفاض والترسيب خلال الحقب الثالث اللذين حدا للصخور الام إلى أعماق نضوج كافية وأدى إلى التشوهات البنيوية الحديثة التي ولدت بنايات محدبة قريبة من السطح ، ومتأثرة بالحت إلى حد ما . كما يجب الإشارة إلى التاريخ الجيولوجي البسيط للمنطقة ، والفقير بالاطوار الرئيسية لتشكيل الجبال وانعدام الحت العميق . بالإضافة إلى قلة عدم التوافقات الاقليمية الهامة ، حيث لا يلاحظ سوى عدم توافقات محلية سطوح انقطاع في الترسيب ، سواء كان ذلك في الجزء المسطح أو في الاجزاء المعرضة للطّي أيضا .

الفصل الرابع

حقوق النفط في القطر العربي السوري

Les champs pétroliers en Syrie

١ - لمحة تاريخية عن تطور أعمال الاستكشاف النفطي في سورية

يمود أول عمل جيولوجي معروف عن سورية إلى القرن التاسع عشر حيث كتب L. Damoiseau عام ١٨٣٣ عن جيولوجية سورية وجغرافيتها. وإن أول تاريخ للتنقيب عن النفط والغاز فيها يرجع إلى عام ١٨٩٢ حيث منحت الدولة العثمانية رخصة لشركة ألمانية قامت بمحاولات للتنقيب في منطقة لواء اسكندرون ومنطقة الجنوب المتاخمة للحدود الأردنية . لكن هذه المحاولات لم تحقق أية نتائج ايجابية في هذا المجال . وخلال عهد الانتداب الفرنسي تمت دراسات جيولوجية حقلية أولية ، ووضعت أول خارطة جيولوجية لسورية ولبنان بإشراف L. Dubertret عام ١٩٣٣ . كما تم حفر مجموعة من الآبار في منطقة دير الزور ، مازالت آثارها قائمة حتى الآن .

إلا أن أعمال التنقيب الفعلي عن النفط في سورية لم تبدأ إلا بعد أن حصلت شركة نفط سورية (Syrian Petroleum Company) الفرع من شركة نفط العراق (Iraq Petroleum Company) على امتياز التنقيب عام ١٩٣٤ ضمن مساحة ٣٧٠٠ كم^٢ ، تضاغت عام ١٩٣٦ . ولقد باشرت هذه الشركة أعمالها في التنقيب والحفر في مطلع عام ١٩٣٩ ، ثم أوقفتها في عام ١٩٤١ بسبب الحرب العالمية الثانية . وبعد انتهاء هذه الحرب عادت هذه الشركة عام ١٩٤٧ لتتابع نشاطها

الذي استمر حتى عام ١٩٥١ حيث قامت ببعض أعمال المسح الجيوفيزيائي بالطريقة المغناطيسية والطريقة الثقيلة لبعض المناطق السورية، إضافة إلى مسوحات انعكاسية بلغت ٣٧٥ كم طولاً نفذتها شركة روبرت راي . وانتهى نشاط هذه الشركة (S.P.C) بحفر إحدى عشرة بئراً عميقة في تسعة تراكيب مكتشفة : ديرو، ضبيات ، جبيسة ، الشريفة ، بافليون ، الضلعا ، العبا ، غونا ، كبيسة (شكل ١٤٩) . واخترقت هذه الآبار التي تراوحت أعماقها بين ١٥١٣ر٦م (ديرو) و ٣١٢٤ر٣م (العبا) صخور الحقب الثاني ، كما بلغ بعضها صخور الحقب الأول . وأسفرت عن اكتشاف الغاز في تركيب الغونا واكتشاف النفط في تركيب كبيسة . إلا أن هذه الشركة أوقفت بعد ذلك أعمالها كاملة مدعية عدم العثور على مواد هيدروكربونية بكميات اقتصادية .

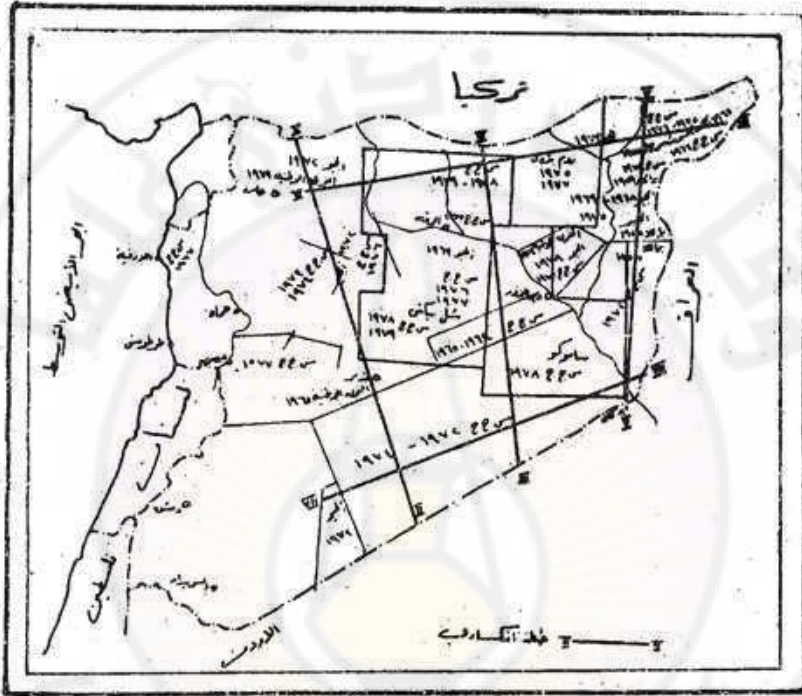
تلا هذه المرحلة من مراحل التنقيب عن النفط في سورية حصول شركة منهل (Manhall) على امتياز للتنقيب في منطقة كراتشوك ، حيث تم اكتشاف النفط في بئر كراتشوك (١) ولأول مرة في رسوبات الكريتاسي الملوي (الماسيف) عام ١٩٥٦ .

كما حصلت شركة كونكورديا (Concordia) الألمانية على امتياز آخر للتنقيب عن النفط في منطقة الجزيرة وفي حوض الثرات . حيث قامت هذه الشركة خلال الفترة الواقعة بين عامي ١٩٥٦ - ١٩٦٠ بدراسة جيولوجية سطحية ومسوحات اهتزازية نفذتها شركة (بلاكلا) وبلغت ٤٠٩١ كم طولاً في منطقة الجزيرة (شكل ١٥٠) تم على أثرها اكتشاف عدة تراكيب أهمها : السويدية ، تشرين ، جبيسة ، غونا ، البواب (شكل ١٤٩) وعلى إثرها حفر اثنتا عشرة بئراً ، اثنتان منها في منطقة البواب وخمس في منطقة السويدية حيث عثر على النفط في تشكيلة الكريتاسي الأعلى أيضاً في البئر الأولى التي بلغت في العمق ٢٠٣٣ م .

إلا أن هاتين الشركتين الأجنبيةتين توقفتا فيما بعد عن العمل بسبب تأميمها بالتالي عام ١٩٥٨ وعام ١٩٦٤ . ومنذ مطلع عام ١٩٥٨ تشكلت هيئة وطنية للنفط عرفت بالهيئة العامة للنفط أو الشركة السورية للنفط كما سميت فيما بعد ،

(شكل ١٢٩) خارطة تبين مواقع الحقول والامكن النفطية المكتشفة في سورية (التسمية السورية للنقطة)





شكل ١٥٠ : توزيع التنقيب الاهتزازي في سورية حتى عام ١٩٨٠
(م . عطري ١٩٨٠)

أخذت على عاتقها تنفيذ أعمال الاستكشاف والاستثمار النفطي منذ ذلك التاريخ .
وباتهاء عمل هذه الشركات بدأت مرحلة جديدة وهامة، حيث أبرمت الحكومة السورية في ٢٨/١٠/١٩٥٧ مع الاتحاد السوفيتي اتفاقية للتعاون الفني والإقتصادي شكلت بداية عمل ضخيم ومنظم للتنقيب عن النفط والثروات المعدنية في القطر .
وبموجب هذه الاتفاقية قامت مجموعة من الجيولوجيين السوفيت بإشراف العالم بونيكاروف بمسح جيولوجي للأراضي القطر كافة ، ووضعت خارطة جيولوجية لسورية بمقياس ١/٢٠٠٠٠٠ . وتعتبر هذه الخارطة مرجعاً رئيسياً في البحث عن النفط في سورية . كما قامت شركة تكنواكسبورت السوفيتية في الفترة

الواقعة بين عامي ١٩٥٨-١٩٦٤ بمسح اهتزازي يقدر بحوالي ٢٤٤٥ كم طويلاً في مناطق مختلفة من الجزيرة السورية (شكل ١٥٠) تم على أثرها اكتشاف كل من التراكيب التالية : زميلان ، عليان ، خربة ، ديريك ، حمزة (شكل ١٤٩) واستمر عمل هذه الشركة بعد أن حل الكادر الوطني محل الخبراء السوفييت، ثم توقف عملها عام ١٩٦٦ .

أما اهتمام الشركة السورية للنفط فقد اقتصر في تلك الفترة على استثمار النفط في حقول السويدية وكراتشوك وحفر الآبار الاستكشافية والانتاجية في منطقة الحقول ، حيث استمر هذا الحفر حتى مطلع عام ١٩٦٧ .

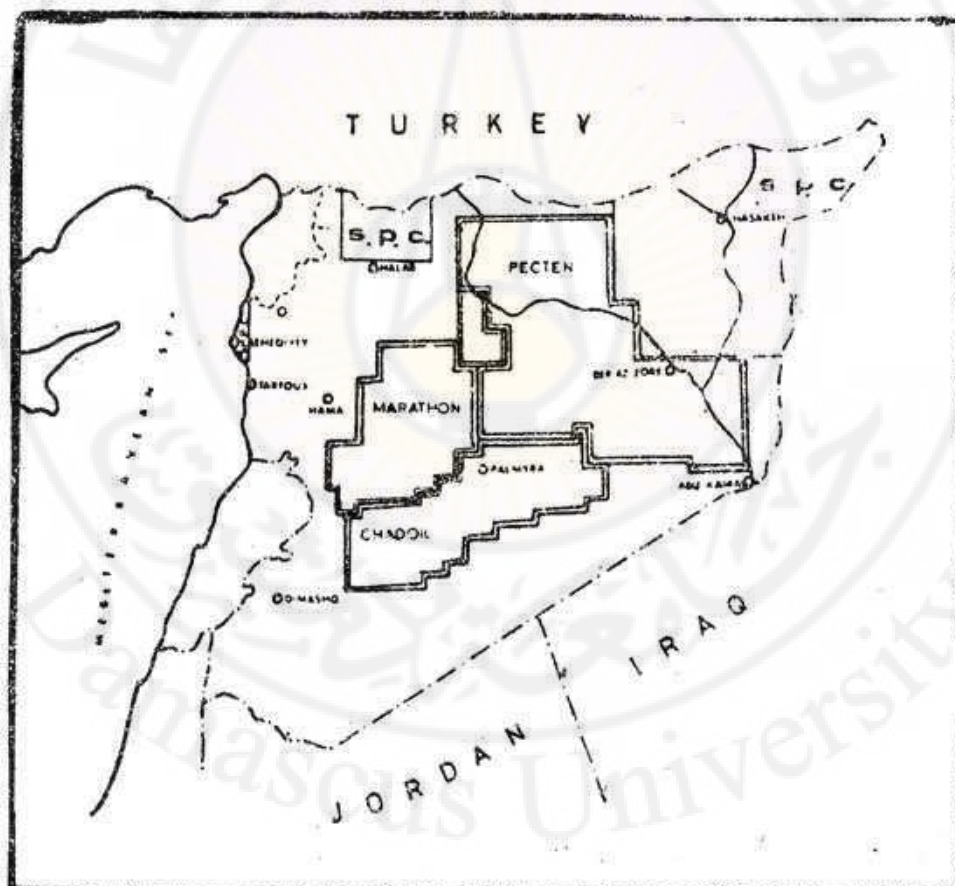
أما المرحلة الواقعة بين عامي ١٩٦٨-١٩٧٠ فقد تميزت بحدثين هامين في مجال التنقيب عن النفط في أراضي القطر . ففي عام ١٩٦٨ قدم المعهد الفرنسي للبترول Institut Français du Pétrole تقريراً كاملاً عن نتائج الدراسات التي نفذتها شركة Piecip التابعة له . وشمل هذا التقرير المعطيات الليتولوجية والطبقية والبنوية والنفطية المتوفرة حتى عام ١٩٦٨ ، كما شمل خطة معينة للاستكشاف والاستثمار مع تقديرات للاحتياطي ولمناطق الأمل .

وفي عام ١٩٧٠ قدم معهد التخطيط الشرقي السوفييتي G.V.N تقريراً مفصلاً عن الأعمال الاستكشافية وعن خطط لإستثمار الحقول المكتشفة . وقد اعتمد هذا التقرير على الخارطة النفطية التي وضعها بونيكاروف والتي تعتبر أن مناطق الأمل النفطي في سورية تتوزع في ثلاثة أجزاء رئيسية ، هي حسب تناقص أهميتها : منخفض ما بين النهرين (١) ، منخفض الفرات (٢) ، هضبة حلب والسلسلة التدمرية (٣) ، إضافة إلى حزام طول العبا - جبل سنجار والبادية السورية كمناطق أمل رابعة (شكل ١٤٩) .

أما الفترة الواقعة بين عامي ١٩٧٠ - ١٩٧٦ فتعتبر مرحلة نشاط مكثف في التنقيب عن النفط في سورية ، حيث تعاقدت الشركة السورية للنفط مع فرق أخرى

بهدف اكتشاف المزيد من التراكمات ، كما منحت شركات أجنبية أخرى امتيازات للتنقيب عن النفط ضمن مساحات محدودة خارج مناطق الحقول المعروفة في شمال شرق سورية (شكل ١٥١) .

فقد تم التعاقد مع فرقة الجيو (ALGEO) التابعة لشركة سوناتراك الجزائرية . وعملت هذه الفرقة أولا في مناطق جييسية ، شديدة ، خربة ، الرصافة ، عليان ،



(شكل ١٥١) : خارطة تظهر توزيع مناطق الاستكشاف النفطي حسب الشركات المنفلة (م . لباييدي ١٩٨١)

الكوم . كما عملت فيما بعد في مناطق الباب ، المرة ، مسكنة ، الافندي ، مرقدة ،
وديرو . و انتهى عقد هذه الشركة عام ١٩٧٥ .

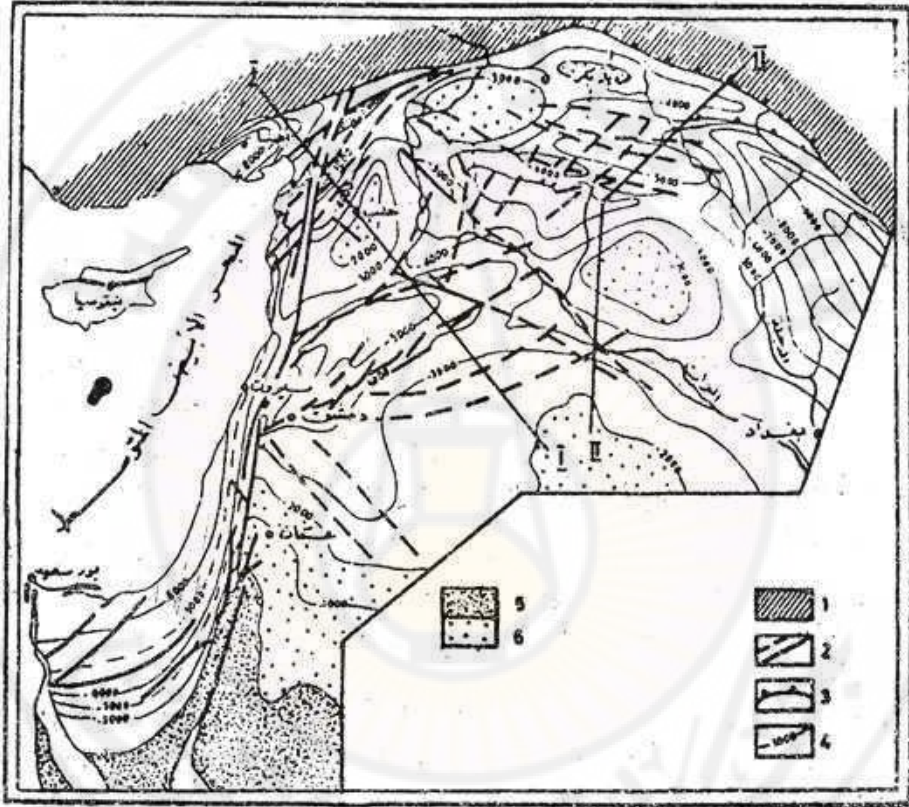
كما تم التعاقد مع فريقي تابستين لشركة C.G.G الفرنسية ، حيث قامت
هذه الفرق خلال عامي ١٩٧٣ - ١٩٧٤ بمسوحات اهتزازية أدت إلى اكتشاف
تراكيب : خناصر ، جباري ، أثريا ، الحمام ، جرية ، جعار . ونتيجة تجديد هذا
المقد عام ١٩٧٦ فقد تمت مسوحات اهتزازية جديدة سمحت باكتشاف تراكيب
أخرى كان أهمها : جب أبيض ، جب غائم ، الرصافة ، الصاوي الصغير ، الكوم
وبعض التراكيب الأخرى الأقل أهمية . و انتهى عمل هذه الفرق في أوائل عام
١٩٧٨ .

كما قامت شركتنا عقود الخدمة سامكو - تكساس وشل بيكتن خلال هذه
الفترة بالتعاقد مع فرق C.G.G لتنفيذ مسح تفضيلي للتراكيب الهامة مما أدى
إلى تدقيق النتائج السابقة وتهيئة عدد من التراكيب للحفر الاستكشافي كتراكيب
الرصافة ، دير الزور ، نجيب ، البشري .

وفي عام ١٩٧٥ قامت شركة تريكو الأمريكية بدراسات جيوفيزيائية اهتزازية
في المياه الإقليمية على طول الساحل السوري . كما نفذت شركة شاد أويل وماراثون
(شكل ١٥١) مقاطع اهتزازية وأعمال حفر مختلفة . إلا أن أي من هذه الشركات
لم تحظ بأي نتائج إيجابية .

هذا بالإضافة إلى أعمال المسح الإنكساري التي قامت بها شركة تكنو
اكسبورت السوفيتية خلال عامي ١٩٧٢ ، ١٩٧٣ بهدف التعرف على عمق القاعدة
البلورية في كافة أراضي القطر . ولقد أنجزت خارطة تركيبية لأرجاء البلاد كافة
تحدد الأعماق المختلفة للركيزة (شكل ١٥٢) ، كما تم وضع خارطة أخرى لقمة
الباليوزوي (الحقب الأول) .

وهكذا فإن مختلف الدراسات الجيوفيزيائية وأعمال الحفر التي تمت في



(شكل ١٥٢) : خارطة منحنيات تساوي العمق بالنسبة لقمة الركيزة

(بونيكاروف ١٩٦٣)

- ١ - منطقة المقعر الجيولوجي الألبى
- ٢ - الفوالق الرئيسية والانشاءات
- ٣ - طبقات التحميل
- ٤ - منحنيات تساوي عمق قمة الركيزة
- ٥ - الدرع العربي
- ٦ - الاجزاء الناهضة من سطح الركيزة

أراضي القطر إلى ذلك الحين سمحت بما يلي :

- ١ - إجراء دراسة بنوية كاملة •
- ٢ - تحديد المناطق الصالحة للبحث عن الخامات المفيدة •
- ٣ - انتقاء وتحديد القطاعات الصالحة لتجميعات الفحم الهيدروجينية السائلة والغازية •

وفي عام ١٩٧٦ وبناء على هذه المعطيات وضعت الشركة السورية للنفط دراسة مفصلة تلامكانيات النفطية في سورية ، بينت من خلالها أن أراضي الحقبين الثاني والثالث تحتوي على مجموعة من المستويات الحاملة للزيت أو للغاز أو للآبار وبناء على خارطة الامل النفطية التي وضعتها الشركة فقد تم حفر العديد من الآبار في مناطق الحقول المعروفة أو في هضبة حلب • وقد تراوحت أعماق الآبار التي اجتاز بعضها صخور الحقب الأول بين ١١٣٠ م (جريبة ١ - هضبة حلب) و ٥٠٠٧ م (جريبة ١) •

أخيرا فقد شهد القطر عام ١٩٧٨ تطورا هاما في أعمال التنقيب وذلك بعد أن قامت فرقتان وطنيتان بالتعاون مع شركة ويستر الامريكية بدراسات تفصيلية لبعض التراكيب المكتشفة وتقدت مسوحات جديدة في مناطق : السويدية ، شالي الباردة ، الروضة ، الصفيا ، منبج ، اللالا ، مارع ، الوهاب • وقد أثبتت هذه الفرق الوطنية جداتها وكفاءتها ، مما أدى إلى الوثوق بالأيدي العربية الفنية • وصارت هذه الفرق تقوم اليوم ، بعد أن تم الاستغناء تدريجيا عن الخبرة الاجنبية ، بدورها الوطني ودون حاجة للمساعدة الخارجية •

وتجدر الاشارة في النهاية إلى أن الشركة السورية للنفط قامت عام ١٩٨٠ بحفر استكشافي في المنطقة الساحلية حيث تم حفر بئر فيديو على بعد ٧ كم جنوب اللاذقية ، والتي وصلت في العمق إلى ٤١١٢ م مخترقة بذلك صخور الجوارسي وربما الترياسي ، دون ظهور أدلة قفطية تذكر •

وهكذا يمكن أن نوجز نتائج أعمال الاستكشاف النفطي التي تمت في القطر منذ بدء التنقيب وحتى الآن بما يلي :

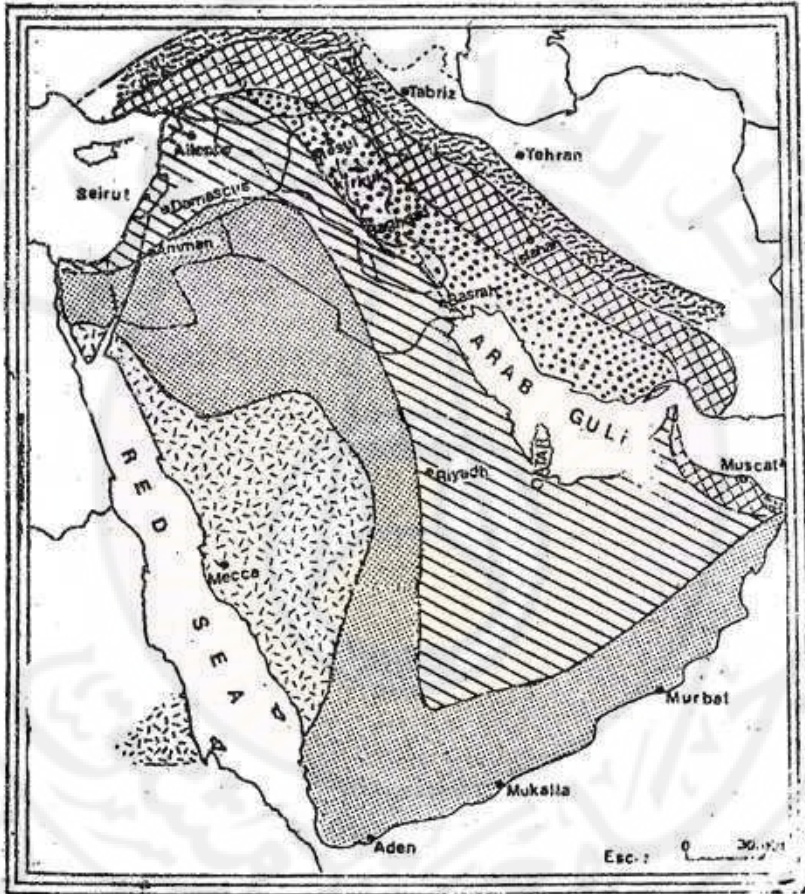
- ١ - مسح جيوفيزيائي بالطرق المغناطيسية والثقلية لمناطق مختلفة من القطر .
- ٢ - مسح جيوفيزيائي بالطرق الاهتزازية (السيزمية) الانعكاسية والانكسارية ، وذلك لما يقارب ٣٥ ألف كم طولي .
- ٣ - حفر ما يقارب ١٣٠٠٠٠ م لاهداف استكشافية وإنتاجية .
- ٤ - العثور على النفط وبكسبات تجارية في ١١ سوية حاملة للزيت والغاز .
- ٥ - اكتشاف النفط في ١٦ تركيا رئيسيا موزعة في المناطق الثلاث الرئيسية ذات الحقول المعروفة في سورية .

٢ - الوضع البنيوي والجيولوجي :

تقع سورية في الجزء الشمالي الغربي من منطقة الشرق الاوسط . وتعتبر أراضيها منطقة شبه مسطحة فقيرة بالتنوءات الهامة ، باستثناء السلسلة التدمرية التي تقع في أوسط البلاد . وفي الشمال الغربي تظهر كتلة الجبال الساحلية التي تصنف ضمن نمط النجود الشرقية للبحر الابيض المتوسط . وإلى جنوب السلسلة التدمرية تمتد الصحراء المقطاة جزئيا بالبازلت الحديث . أما الجزء الواقع إلى شمال الجبال التدمرية فيعرف بهضبة أو تنوء حلب ، وإلى شرق مجرى الفرات توجد منطقة الجزيرة التي تؤلف جزءا من حوض ما بين النهرين .

٢ - الوضع البنيوي والوحدات البنيوية الرئيسية في سورية :

تقع منظم الاراضي السورية ضمن الجزء الأكبر من المنحدر الشمالي للسطيحة المرية . بينما يتفصل جزء صغير منها مع نطاق الطي الالبي (شكل ١٥٣) . ولقد ساعدت الدراسات الجيوفيزيائية المختلفة ، بالإضافة إلى أعمال الحفر العميق التي تمت في مناطق مختلفة من القطر في فهم البنية العميقة للاراضي السورية .

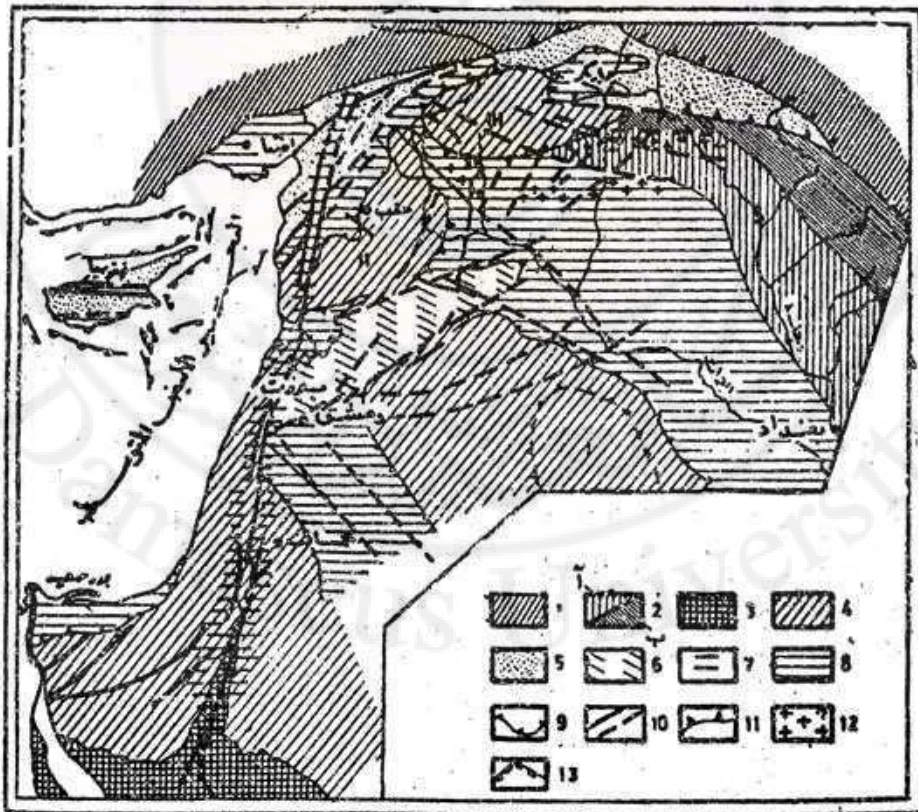


- | | |
|---|--|
|  السطحة العربية المتحركة |  منطقة الطيات الالبية |
|  السطحة العربية المستقرة |  منطقة الجرف الابرائي |
|  الركيزة البريكامبرية |  السطحة الابرائية |

(شكل ١٣٥) : مخطط بنيوي لمنطقة الشرق الاوسط (Henson, 1951)

حيث مكنت هذه المعطيات من معرفة وضع الركيزة (socle) ، إضافة إلى معرفة
 ثخانة الرسوبات المتوضعة فوقها ، حيث بينت أن هذه الركيزة تغوص بالاتجاه
 الشمالي الشرقي للبلاد ويصل عمقها إلى ١٠ كم في شمال العراق . كما بينت أن
 سطح هذه الركيزة هو سطح متعرج وذو تضاريس تختلف بين أجزاء ناهضة وأخرى
 هابطة ، وتكثر فيها الفوالق التي تمتد في بعض الحالات إلى الغطاء الرسوبي .

ولما كان المنحدر الشمالي للسطحية العربية يتألف من قسمين مختلفين في
 نشاطهما التكتوني ، فانه من الممكن أن نميز في سورية جزءين بنيويين مختلفين ،
 تمت دراستهما بشكل مفصل من قبل الخبراء السوفييت (شكل ١٥٤) .



- جزء داخلي مستقر .
- جزء خارجي غير مستقر .

١ - الجزء المستقر : (plate - forme Arabique Tabulaire) :

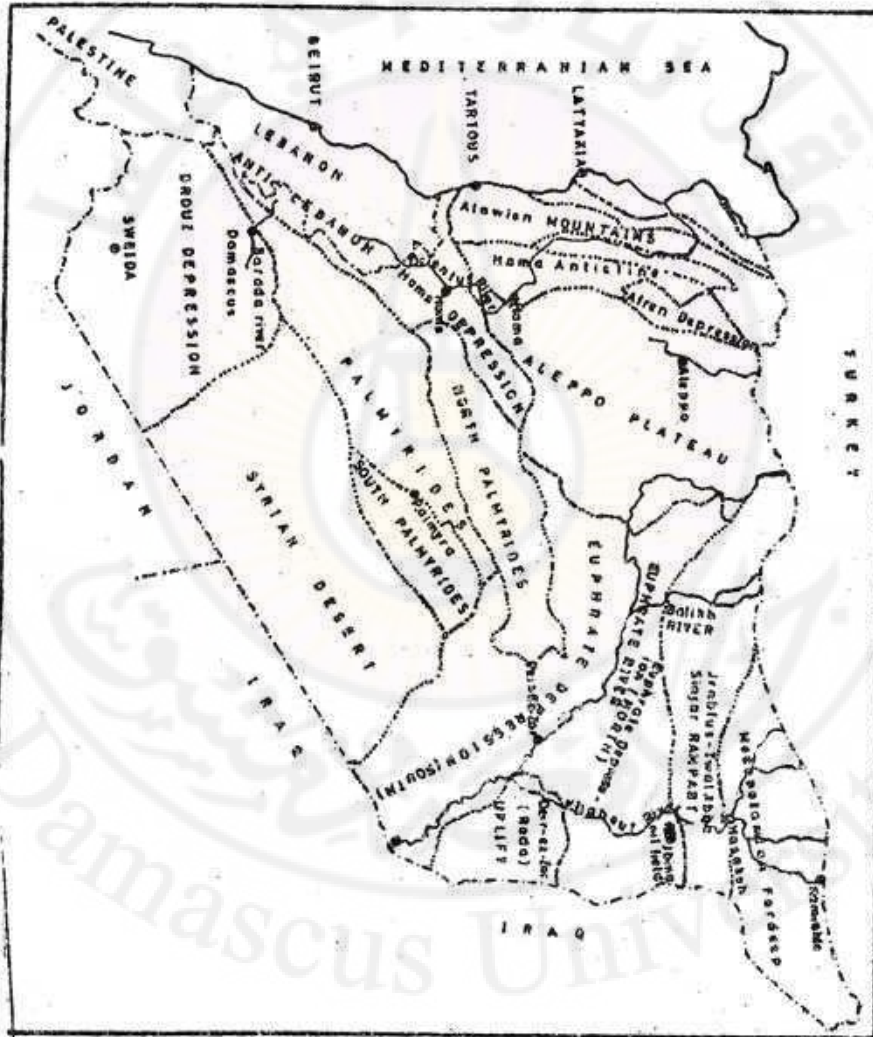
وهو نطاق ذو بنية معقدة نسبياً ، ويستند من منطقة الفوالق العميقة في جنوب السلسلة التدمرية ، شاملاً بذلك المناطق الجنوبية من سورية ، وحتى الدرع العربي النوبي حيث تتكشف صخور الركيزة البريكاميرية . ويتميز هذا النطاق بقلة عنق الركيزة وبانعدام الاختلاف في الغطاء الرسوبي . كما يتميز بالسماك الضعيفة والالتواءات

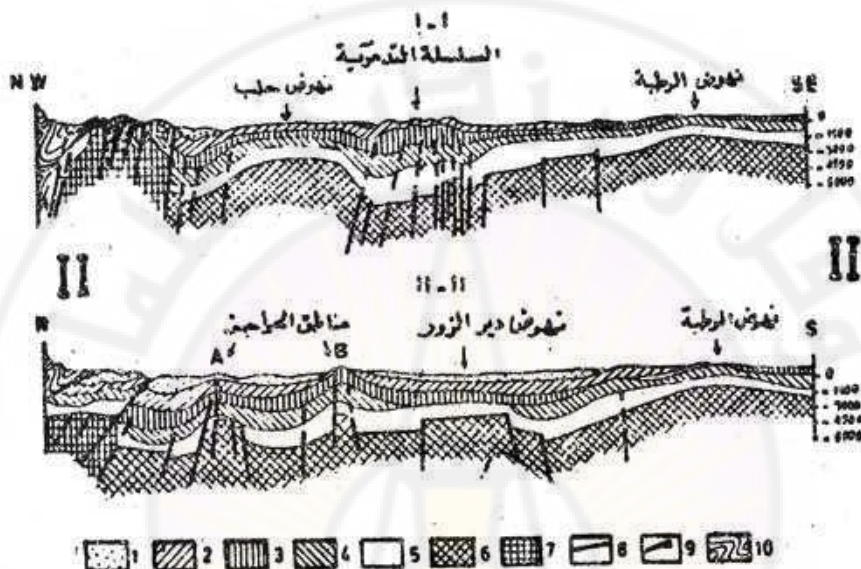
→

(شكل ١٥٤) : خارطة بنيوية بسيطة تبين الوحدات البنيوية وموقع سورية بالنسبة للظواهر البنيوية الرئيسية للقسم الشمالي من السطحية العربية (يونيكاروف ١٩٦٣)

- ١ - المنطقة الهامشية الجنوبية للطلي الألبى .
- ٢ - المنطقة الخارجية من مقدمة حفرة مابين النهرين .
- ب - المنطقة الداخلية من مقدمة حفرة مابين النهرين
- ٣ - منطقة تكشف الدرع العربي .
- ٤ - السطحية العربية .
- ٥ - مناطق توزع الصخور الخضراء .
- ٦ - منطقة السلسلة التدمرية .
- ٧ - مناطق الاغوار .
- ٨ - المنخفضات النيوجينية الرباعية .
- ٩ - حدود الاجزاء الناهضة من سطح الركيزة I نهوض الرطبة ، II نهوض حلب ، III نهوض ديار بكر
- ١٠ - فوالق وفوالق غير مؤكدة .
- ١١ - فوالق التحميل
- ١٢ - مناطق الحواجز
- ١٣ - فوالق تحت بحرية غير مؤكدة

الخفيفة • ويمكن أن نميز ضمن هذا النطاق ذي الاستقرار النسبي الوحدات
البنوية الرئيسية التالية (شكل ١٥٥ و ١٥٦) •





(شكل ١٥٦) : مقطعان يظهران الوحدات البنيوية الرئيسية في سورية
(بونيكاوف ، ١٩٦٧)

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| ١ - نيوجين | ٦ - بريكامبري |
| ٢ - بالوجين | ٧ - بريكامبري علوي |
| ٣ - كريتاسي | ٨ - فوالق أو صدوع |
| ٤ - ترياسي - جوراسي | ٩ - الصخور الأوفيو ليتية |
| ٥ - باليوزوي | ١٠ - منطقة المقعر الألبى |

٢- نهوض الأردن: الذي ينتشر بمعظمه ضمن الاراضي الاردنية ولا يوجد منه في سورية إلا طرفه الشمالي . ويتألف هذا النهوض من تقبب ضخيم وغير متناظر لصخور عائدة إلى الترياسي والجوراسي والكريتاسي . ويحد هذا النهوض من الغرب غور الأردن الانهدامي المليء بسماكة كبيرة من رسوبات النيوجين والرباعي ذات الاصل البحري . كما يحده من الشمال الغربي حوض بحيرة طبريا المليء برسوبات بحيرية بليوسينية ، وبازلتية بليوسينية ورباعية .

ب - منخفض جبل العرب : وهو عبارة عن بنية غورية محاطة بمجموعة من الفوالق تتجه باتجاه شمال - غرب . ويملا هذا الغور سماكات كبيرة من الصبات البازلتية النيوجينية والرباعية التي توضحت بشكل أفقي فوق الرسوبات الباليوجينية وما قبلها .

ج - نهوض الرطبة : المؤلف من تقب بسيط للصخور الترياسية والجوراسية في قمته ، ومن صخور كريتاسية وباليوجينية ، في طرفه الشمالي ذي التحدب الخفيف . ويحد هذا النهوض من الشمال مجموعة الفوالق العرضية التي تظهر آثارها في التضاريس على شكل تنوءات طولية تجاورها صخور مثنية ومخاريط بركانية .

٢ - الجزء غير المستقر (أو المجدد) : (Plate - forme Arabique ondulée) :

ويبتد هذا النطاق المتحرك إلى شمال وشرق البنيات الموصوفة سابقا . ويتميز ببنية أشد تعقيداً من بنية الجزء المستقر . ويتصف هذا التعقيد بعنف الحركات الشاقولية العميقة المؤدية إلى تسزق السطحية . ويحتوي هذا النطاق على الوحدات البنيوية الهامة التالية (شكل ١٥٥ و ١٥٦) .

٢ - نهوض حلب : يوافق هذا التنوء نهوضاً نسبياً لكتلة ضخمة من الركيزة . ويحده من الشمال الشرقي حاجز جرابلس ، ومن الشرق تنوء الرصافة . كما يحده من الجنوب السلسلة التدمرية . وتتألف بنية هذا النهوض من مجموعة من المحدثات تحت سطحية الهادئة الميل . وتشغل الأجزاء الهامشية منه مجموعة من المنخفضات المملوءة برسوبات نيوجينية العمر . أما القسم المركزي فيشغله منخفض الجبول ، حيث تملأ هذه (السبخة) رسوبات بحيرية تعود إلى البليوسين ومتوضعة بمدم توافق حتي فوق رسوبات الإيوسين .

وينتشر بازلت النيوجين في مختلف مناطق نهوض حلب ، وبخاصة في منخفض الجبول منعطفاً بذلك رسوبات الباليوجين والميوسين الأوسط . ويرتبط هذا التوزيع

بالموافق ذات الاتجاه شمال - غرب • كما أن هناك تشكيلات اندفاعية كبيرة متوضعة في الأجزاء المحيطة بهذا النهوض •

ب - الطي التدمري : ويعتبر من أهم الوحدات البنيوية في هذا الجزء المتحرك من السطحية • وتعود هذه الأهمية إلى كون السلسلة التدمرية تقع على الحدود الفاصلة بين الجزئي المستقر والمتحرك من السطحية العربية • وهذا الطي هو في الأصل حوض ضمن مجني (intracratonique) أو أخدود تعرضت صخور الغطاء الرسوبي فيه إلى عمليات طي معقدة • ويمتد هذا الطي باتجاه شمال - شرق • ويحده من جانبيه مجموعة من التوالق العميقة والكبيرة • ويصل عمق الركيزة تحته إلى ٩ - ٨ كم •

وحسب نمط الالتواء يمكن أن نميز في الطي التدمري نطاقين رئيسيين :
- النطاق التدمري الشمالي ، ويتميز بنهوضات شديدة من نوع المحدثات الصندوقية : سلسلة جبال لبنان الشرقية - البعلاس - البشري •
- النطاق التدمري الجنوبي ، ويتميز بارتفاعات وسلاسل جبلية غير متناظرة يفصل بينها منخفضات ضيقة (منخفض الدومثلاً) •

ج - المنخفضات : وتتوزع في مناطق مختلفة من سورية • وتأتي نتيجة للحركات البنيوية الضعيفة التي حدثت خلال الباليوجين والتوجين • وتتلأ هذه المنخفضات سماكات كبيرة من رسوبات الباليوجين والرابعي • وبالإضافة إلى منخفضات محدودة (إدلب - عفرين - حمص - دمشق - الدو - الجبول) يمكن أن نميز من الناحية النفطية منخفض الترات ومقدمة حفرة ماين النهرين •

١ - منخفض الترات : الذي يقع قسمه الغربي فقط في الأراضي السورية • وهو يتربع فوق بنيات منحدر السطحية العربية بقسميها الثابت والمتحرك • ويملأ هذا المنخفض سماكات هامة من رسوبات النيوجين البحرية والقارية • وتدل نتائج الحفر العميق على توضع رسوبات الكريتاسي فوق رسوبات الكربوني • وهذا

ماشير إلى وجود نهوض في المنطقة (نهوض دير الزور شكل ١٥٦) يترأب فوقه منخفض الفرات . ويحد هذا المنخفض نهوض الرطبة من الجنوب ونهوض حلب من الغرب . أما في الشمال فتتوزع فيه محدبات سنجار وعبد العزيز وطوال العبا .

٢ - مقدمة حفرة ما بين النهرين : التي تشكلت خلال الطور النهائي للحركات الألبية المولدة للجبال . وتقع هذه الحفرة في مناطق مقمرات زاغروس وطوروس ، وتتميز ببنيتها المعقدة . وتسلو هاسمات كبيرة من المولاس الذي يستدولانيا بمحاذاة جبال زاغروس وينتشر في الاراضي السورية مشكلا القسم الشمالي الغربي من مقدمة حفرة ما بين النهرين (avant fosse Mésopotamienne) . ويميز في مقدمة هذه الحفرة قسمان داخلي وخارجي ، يفصلهما نهوض يعرفه بحاجز القامشلي - كراتشوك . ويفصل حاجز طوال العبا - سنجار بين مقدمة هذه الحفرة ومنخفض الفرات (شكل ١٤٩) . هذا وتتكشف رسوبات الميوسين في نوى المحدبات والنهوضات الواقعة ضمن المنخفض ، وذلك ضمن إطار الصخور البليوسينية والرباعية المسيطرة على السطح الطبوغرافي للمنخفض .

أخيرا ، لابد من الاشارة إلى أن أهم المكامن النفطية الواقعة في شمال شرق سورية والمتثلة بحقول السويدية وكراتشوك ورميلان تقع ضمن هذا الجزء غير المنتر من السطحية العربية .

ب - الوضع الجيولوجي :

تقع الاراضي السورية في الجزء الشمالي من الحوض العربي . ويتألف هذا الحوض بمعظمه من منطقة انخفضية شبه شاطئية (épicontinentale) محتوية على رسوبات كربونائية بسماكات كبيرة ، حيث توضع هذه الرسوبات بدءاً من نهاية الحقبة الأول (الباليوزوي) وحتى الميوسين الأسفل ، باستثناء مناطق الأردن وشمال العراق حيث بدأ الترسيب البحري اعتباراً من الكريتاسي الأسفل .

ويتميز هذا الترسيب بتناوبات هامة لتوضعات كلسية وكلسية مارنية
وغضاريات كلسية • كما يتصف بتوضعات محلية على شكل أوحال كربوناتية
متداخلة مع توضعات أنهدريتية محتوية على مواد كبريتية •

المقطع الطبقي لمنطقة شمال شرق سورية (شكل ١٥٧)

قدمت الآبار معلومات كافية عن الجيولوجيا تحت السطحية للمناطق الشمالية
الشرقية من سورية • وسمحت بإجراء دراسات جيولوجية مفصلة لكافة التشكيلات
المختزنة والعائدة للأزمان الجيولوجية المختلفة • كما مكنت من وضع عمود طبقي
كامل للمنطقة وذلك على النحو التالي :

١ - البريكامبري :

لم يصل أي من الآبار المحفورة في شمال شرق سورية إلى صخور ما قبل
الكامبري • ولا يوجد هناك إلا تكشف واحد في منطقة البسيط في شمال غرب
سورية تعود صخورها المتحولة إلى هذا العصر • كما أن بئر بافليون (١) اخترق
صخور الميكاشيست العائدة إليه في منطقة عفرين •

٢ - الحقب الأول (الباليوزوي) :

تتكشف صخور هذا الحقب في قلب طية جبل عبد العزيز المؤلفة من صخور
شيسيتية ومن رمال يعتقد أنها تعود للعصر الكربوني • كما اخترقت عدة آبار
سويات مختلفة من صخور الحقب الأول • وتتألف هذه الصخور بشكل عام من
رمال وكونغلواميرا ومن مستويات كربوناتية محلية ، بالإضافة إلى بعض الطبقات
الملحية والرماد البركاني في هضبة حلب • هذا وقد سمحت معطيات الآبار بالتعرف
على التوضعات العائدة للكامبري والسيللوري والكربوني (الفحمي) • كما
سمحت بتحديد الثغرات الرسوبية التي يعود أهمها إلى ما قبل الفحمي • وتقدر
سماكة رسوبات هذا الحقب بين ٢ - ٥ كم بشكل تزايد فيه من الشمال باتجاه
الجنوب •

الموقع بالامتار	القطع النيولوجي	النشكيلات	الغطاء	الحقب
	+	بختاري	البليستوسين + البليوسين	الرباعي + الثالث
500		الفارس الأعلى	الميوسين الأعلى	
		الفارس الأوسط	الميوسين الأوسط	
1000		جربية	الميوسين الأسفل	
		ميديات	الايوسين الأعلى	
1500		جدالة سبحار	الايوسين - الأوسط + الأسفل	
		كيرماق	البليوسين	
2000		شيرانيش ماسيف	الكريتياسي الأعلى	الرباعي
		كامشوكا	الكريتياسي الأسفل	
2500		سيرجيلو	الجوراسي	
		علوت	الترياسي	
		موسر		
		عدايا		
		بطما		
3000		كورايشينا، الهديت كورايشينا، دهلوميت		

٢ - الطبقة الثانية (الميزوزوي) :

٢- الترياسي : ظل الاعتقاد السائد حتى عام ١٩٧٧ بأن رسوبات الترياسي تتوزع ضمن تشكيلتين محليتين : الكوراشيني الدولوميتي والكوراشيني الأنهدرتي . إلا أن الدراسات الحديثة التي قام بها J. Sigal والمختصون في الشركة السورية للنفط بينت أن تشكيلات : بطمة ، عليا ، الموس ، علان والجزء الأسفل من تشكيلة السيرجيلو هي تشكيلات ترياسية أيضا حيث تمثل هذه التشكيلات صفات بحرية مغلقة شبيهة بالصفحات المعروفة للغريامي من النواحي الليتولوجية والباينتولوجية .

ـ الكوراشيني الدولوميتي : وصف لأول مرة من قبل Wetzel عام ١٩٥٠ في منطقة الحمادية في العراق ويتألف من دولوميا رمادية ـ بنية قاسية وذات مسامية ضعيفة ، مشققة أحيانا ، ومتداخلة مع الأنهدريت والغضار . وتتوضع هذه التشكيلة بعدم توافق فوق البرمي ـ الفحمي (إيرمو ـ كاربونييفر) وتصل مساحته إلى ٤٠٠ - ٥٥٠ م .

ـ الكوراشيني الأنهدرتي : وصف أيضاً لأول مرة من قبل Wetzel عام ١٩٥٠ في منطقة الحمادية في العراق . ويتألف من طبقات سمكية من الأنهدريت ذي اللون الرمادي المحمر والمتداخل مع الدولوميا . وتصل مساحته إلى ١٠٠ - ١٥٠ م .

ـ البوطمة : وصفت من قبل Dunnington عام ١٩٥٣ في بشر البوطمة غربي الموصل في العراق . وتتألف هذه التشكيلة من دولوميا رمادية أو حمراء

(شكل ١٥٧) : مقطع طبقي لشمال شرق سورية



بيريث



أنهدريت



رمل غضاري



دولوميت



كلس عضوي

أحياناً، ذات مسامية متغيرة ، ومتداخلة مع غضار رمادي وأنهدريت أبيض • وتصل سماكتها إلى ١٥٠ - ٢٠٠ م •

— عدايا : وصفت هذه التشكيلة أيضاً من قبل Dunnington عام ١٩٥٣ في غرب الموصل في العراق • وتتألف من توضعات أنهدريّة متداخلة مع رسوبات دولوميتية رمادية وبنية قاتمة أو مع دولوميا وأنهدريت وغضاريات رمادية خضراء •

— الموس : أشار إلى هذه التشكيلة أيضاً Dunnington عام ١٩٥٣ في بئر البطمة (٢) في العراق، حيث تتألف من طبقة دولوميتية بيضاء ذات مسامية متغيرة • وتكون هذه الطبقة غضارية إلى حد ما في أجزائها السفلية وأنهدريّة في أجزائها العلوية •

— علان : وصفت هذه التشكيلة أيضاً من قبل Dunnington عام ١٩٥٣ في بئر علان (١) في شمال غرب الموصل في العراق • وتتألف من طبقات أنهدريّة رمادية أو بنية متداخلة مع رقائق من الغضار الأسود •

— أسفل السرجيلو : تحدث عن هذه التشكيلة Wetzel عام ١٩٤٨ • ويتألف هذا الجزء من طبقات دولوميتية ومن غضار • ويمكن أن نميز فيها من الأسفل إلى الأعلى السحنات التالية :

- دولوميا قاسية متداخلة مع غضار أسود •
- دولوميا غضارية متداخلة مع أنهدريت •
- دولوميا رمادية وبنية قاتمة •
- دولوميا بنية متداخلة مع غضار رمادي قاتم •

ب - الجوراسي : ويتمثل بالجزء العلوي من تشكيلة السرجيلو • ولا يتواجد هذا الجزء في شمال شرق سورية ، وإنما عرفت تشكيلة السرجيلو في العراق •

ج - الكريتاسي : تتوضع صخور الكريتاسي بعدم توافق هام فوق صخور الترياسي . وقد أكد هذا معظم الآبار التي اخترقت الحد الفاصل بين هذين العصرين . وقد تم تقسيم توضع الكريتاسي إلى التشكيلات التالية :

ـ الكاموشكا : وصفت هذه التشكيلة للمرة الأولى من قبل Wetzel عام ١٩٥٠ في منطقة السليمانية في العراق . وتتألف توضعاتها في شمال شرق سورية من دولوميا بنية أو رمادية اللون تقطعها أسرة من الغضار الأخضر المحتوي على كميات كبيرة من البيريت . وقد حدد عمر هذه التشكيلة بالأبسيان والألبني .

ـ الماسيف (الصخور الخازنة) : سميت هذه التشكيلة من قبل الجيولوجيين النفطيين الأتراك ، ويعود اسمها إلى بنيتها الكتلية (massive) . وقد سحت المعطيات الليتولوجية والقياسات الجيوفيزيائية البرية بتقسيم هذه التشكيلة إلى ثلاثة نطاقات هي التالية من الأسفل إلى الأعلى :

نطاق سفلي : ويتألف من دولوميا مع قليل من الكلس . وتتصف هذه الدولوميا بكونها رمادية اللون ومبلورة وقاسية ومشققة أحياناً .

نطاق أوسط : ويتألف من كلس رمادي أبيض اللون ، مبلور أو معاد تبلوره ، قاس ومتداخل مع أسرة رقيقة من الغضار . ويتصف هذا الكلس بكونه مشققاً وذا نفوذية تتناقص باتجاه الأعلى .

نطاق علوي : ويتألف من كلس بني يغتني بالغضار والمارن باتجاه شرق الحقول النفطية السورية . ويتصف كلس هذا النطاق بتشققات محلية هامة تضفي عليه مسامية ونفوذية عالية . كما يتصف بكون الجزء العلوي منه محتوتا في بعض المناطق .

ـ الشيرانيش : وصفت هذه التشكيلة من قبل Henson عام ١٩٤٠ بالقرب

من قرية صغيرة تدعى شيرائش إسلام القريبة من زاخو في شمال العراق • حيث تم تقسيمها إلى نطاقين رئيسيين :

نطاق سفلي : ويتألف من كلس ناعم أبيض مخضر ، قاس وغير تفوذ وغني بالكائنات البيلاجية والبيريت والفلوكوني • ويفيب الجزء العلوي من هذا النطاق في حقل عليان بالقرب من الحدود التركية •

نطاق علوي : ويتشكل من كلس عضوي رمادي اللون وغني بالفلوكوني في أجزائه العلوية • ويقسم هذا النطاق إلى ثلاث سويات تغيب منها السفلية والوسطى في حقل عليان •

٤ - الحقب الثالث (السينوزوي) :

١ - الباليوجين : ويتألف من عدة تشكيلات :

ـ الكيرماف : حددت هذه التشكيلة في تركيا من قبل Henson عام ١٩٣٦ ، وهي تمثل الباليوجين • وتتألف في شمال شرق سورية من غضار ورمال ناعمة متداخلة مع توضعات كلسية • وتقسم إلى ثلاثة نطاقات :

نطاق سفلي : كلسي غضاري محتو على رمال ناعمة في بعض الاحيان •

نطاق أوسط : غضاري ذي لون رمادي قاتم •

نطاق علوي : مارني وكلسي ، نيموليثي •

ـ جدالة - سنجار : تمثل هاتان التشكيلتان الإيوسين الأسفل والأوسط • وقد وصفت تشكيلة سنجار من قبل Keller عام ١٩٤١ في جبل سنجار في العراق • أما تشكيلة الجدالة فقد وصفت من قبل Henson عام ١٩٤٠ في شمال العراق • وتتألف كلتا التشكيلتان من صخور دولوميتية وكلسية بيضاء أو مصفرة غنية بالمستحاثات وبخاصة النيموليت ، كما يكثر فيها الفلوكوني والبيريت • وتظهر الرمال في الجزء القاعدي من تشكيلة سنجار •

ـ ميدات : وصفت هذه التشكيلة من قبل الجيولوجيين الاتراك ، وهي تمثل الإيوسين الأعلى • وتتألف من دولوميا بيضاء أو رمادية ، قاسية أحياناً وذات مسامية تشقية أو فجوية • ويتداخل معها ، وبخاصة في أجزائها الدنيا والمتوسطة ، رسوبات من الأنهدريت •

بـ الميوسين : تتوضع رسوبات الميوسين في شمال شرق سورية فوق رسوبات الإيوسين مباشرة وذلك بسبب غياب الأوليغوسين • ويتألف هذا العصر من التشكيلات التالية :

ـ الجريبة : وصفت هذه التشكيلة من قبل Damesin عام ١٩٣٦ في جبل سينار الواقع شمال شرق العراق • وتتألف رسوباتها من دولوميا متداخلة مع الأنهدريت ومع بعض السويات الضارية •

ـ الفارس الأسفل : حددت هذه التشكيلة في إيران من قبل Maya عام ١٩١٨ وهي تمثل الميوسين الأوسط ، وتتألف من أنهدريت أبيض أو أحمر متداخل مع غضار أخضر أو أحمر فاتح ، أو مع كلس وغضار في بعض الأحيان •

ـ الفارس الأعلى : حددت هذه التشكيلة أيضاً في إيران ، وهي تمثل الميوسين الأعلى ، وتتألف من رمال ناعمة ومن غضار رمادي محمر •

جـ ـ البليوسين ـ البليستوسين : ويمثل هذين العصرين تشكيلة البختياري المعروفة في إيران والتي تتألف من رسوبات قارية غضارية ورملية ناعمة أو خشنة ، تخرقها اندساسات بازلتية أحياناً •

أخيراً فإن (الشكل ١٥٧ ـ آ ـ) يظهر مقارنة جيولوجية للتشكيلات تحت سطحية العائدة للحقبتين الثاني والثالث بين المناطق الشمالية والشمالية الشرقية والمناطق الشمالية الغربية والوسطى من القطر •

٣ - الخصائص النفطية :

من استعراضنا للخصائص البنيوية والجيولوجية تحت السطحية يتضح لنا أن الأراضي السورية تتمتع بخصائص نفطية هامة :

- **فمن الوجهة البنيوية :** تقع معظم الأراضي السورية كما رأينا ضمن الجزء غير المستقر من السطحية العربية . سواء كان ذلك في مقدمة حفرة ما بين النهرين حيث تكون الطيات ضيقة ومتطاولة ومتجهة نحو الغرب، أو في الجزء المتسوج (ondulé) من السطحية حيث تكون الطيات واسعة الانتشار وضعيفة الميول . وفي كلتا الحالتين تعد هذه المناطق الناهضة بنيات صالحة لاصطياد الفحوم الهيدروجينية وتراكمها . بالإضافة إلى أن هذه البنيات تتضمن تشكيلات رسوبية ذات سحنات وسماكات مختلفة تجعلها ملائمة لتشكيل مصائد طبقية أو مختلطة . وضمن هذا الجزء غير المستقر تقع حقول كراتشوك والسويدية والرميلان وعليان الهامة .

كما أن الجزء الآخر من الأراضي السورية والواقع ضمن القسم المستقر من السطحية العربية يتميز أيضا بنهوضات يمكن أن تكون صالحة من الناحية النفطية (نهوض الرطبة مثلاً) .

- **ومن الوجهة الجيولوجية :** فقد بينت نتائج الحفر العميق أن الغطاء الرسوبي في سورية يتضمن أراضي تعود إلى أحقاب مختلفة . حيث تتميز هذه الأراضي بظواهر رسوبية (ثغرات ، حت ، انقطاع في الترسيب ، عدم توافق) وسحنات مختلفة وسماكات كافية تسمح لها بالقيام بدور الصخور الأم أو الصخور الخازنة أو المغذية .

→

(شكل ١٥٧ - ٢) مقارنة تحت سطحية للتشكيلات الجيولوجية العائدة للحقبين الثاني والثالث بين المناطق الشمالية والشمالية الشرقية والشمالية الغربية والوسطى من سورية

فالصخور الام : يمكن أن تشمل التشكيلات الكربوناته ذات البنيات الناعمة بالاضافة إلى السحنات الكلسية الغضارية أو المارنية المحتوية على البيرت بكميات هامة . وهذا ما يؤكد وجود الوسط المرجع . وكمثال على الصخور الام نذكر كلس الشيرانيش ذا البنيات الناعمة والغني بالكائنات البيلاجية والبيرت في نطاقه السفلي وبالعضويات والبيرت في نطاقه العلوي . كذلك التشكيلات الغضارية كتشكيلة الباليوجين (الكيرماف) وبعض غضاريات الميوسين الغنية بالمادة العضوية الأولية . كما يمكن لصخور الحقب الأول الغضارية أن تكون صخوراً أما أخرى .

والصخور الخازنة : متعددة وتوجد في سويات مختلفة الأعمار . فهناك صخور الحقب الأول الرملية ذات الخصائص الخزنية الجيدة . وهناك صخور الحقب الثاني والثالث المؤلفة عموماً من صخور كلسية أو دولوميتية مشققة ذات نفوذية عالية . حيث تشكل الصخور الجوراسية (الجوراسي الأسفل) المستويات الخازنة في حقول كراتشوك والسويدية . وتشكل الصخور الترياسية المستويات الخازنة في حقول السويدية ورميلان (تشكيلة الكوراشيني) كما تشكل الصخور الكريتاسية أيضاً بعض المستويات الخازنة في حقول كراتشوك والسويدية والرميلان وعليان (تشكيلة الماسيف والشيرانيش) .

أما الصخور المفطية : فهي تشمل بالمتبخرات بشكل رئيسي . وتشكل مستويات عديدة في المقطع الطبقي ، وتعود لأعمار مختلفة منها ترياسية (تشكيلات الكوراشيني وهدايا والمولوسا) ومنها ما هو عائد إلى الحقب الثالث .

الخصائص الرئيسية لحقول النفط في القطر العربي السوري

يتضح مما سبق أن الأراضي السورية تتمتع بأهمية نفطية خاصة • ومنذ بدء التنقيب وحسب هذه الأهمية فقد تم التركيز في البحث عن النفط على ثلاث مناطق رئيسية : منطقة أقصى شمال شرق سورية — منطقة الجبسية — منطقة هضبة حلب (شكل ١٤٩) •

٢ - منطقة أقصى شمال شرق سورية (أو منطقة حقول الحسكة) :

وهي المنطقة الواقعة في مقدمة حفرة ماين النهرين • وفيها تقع الحقول النفطية الهامة : السويدية ، كراتشوك ، رملان ، عليان ، بالإضافة إلى حقول خربة ، عودة ، ديريك ، وحقول أخرى أقل أهمية في إنتاجها النفطي (شكل ١٥٨) • ويوجد في هذه المنطقة أربعة مستويات خازنة : الشيرانيش ، الماسيف ، البوطمة ، الكوراشيني (شكل ١٥٩) • وتعد تشكيلة الماسيف المستوى الخازن الرئيسي في حقول هذه المنطقة •

١ - حقل السويدية : Champ de Souedié :

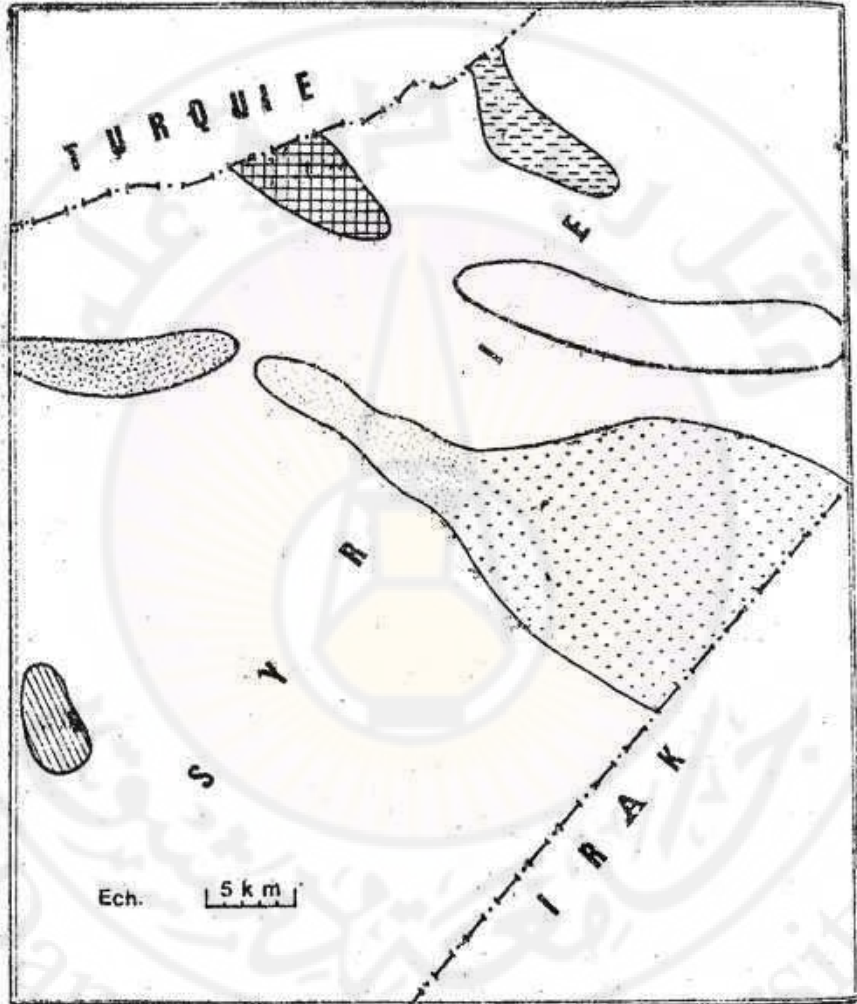
يعتبر هذا الحقل أهم الحقول النفطية وأكبرها في سورية • ويقع على بعد ٧٠ كم من مدينة القامشلي شرقاً • ويمثل بقعة ذات تپاول شمال غرب — جنوب شرق وذات ميول ضعيفة ومتساوية بالنسبة لطرفي التركيب • وتتألف المصيدة في هذا الحقل من بنية محدبة أبعادها ١٨×١٤ كم ، وتصل مساحتها إلى ٢٠٠ كم^٢ في الأراضي السورية حيث يستمر امتداد هذا التركيب في الأراضي المراقعة شرق الحدود لسورية •

ويمود تاريخ كشف هذا الحقل إلى عام ١٩٥٩ حيث قامت شركة براكلا بمسح اهتزازي في هذه البنية لصالح شركة كونيورديا التي قامت بحفر خمس

الغقب	المعر	اسم الطبقة	نوع الصخور	الارتفاع المتر	عمود الحزام	زوية الحزام	محتويات الطبقة
الثلاث	بدرسين	جنتاري					
	نورس	الطاس		١٠٠... م			
		الطاس		٨٠ - ٥٠ م			
		الطاس		٨٠ - ٧٥ م			
	نورس	جربية		١٠٠ - ٢٥٠ م			
	نورس	ميدان		١٠٠ - ٢٥٠ م			
		ميدان		١٠٠ - ٢٥٠ م			
الثاني	نورس	كربان		١٠٠ - ٢٥٠ م			
	كربان	شمالين		١٠٠ - ٢٥٠ م	سجق	نظية - فانية	
		شمالين		١٠٠ - ٢٥٠ م	سجق	نظية - فانية	
		كاسترنا		٨٠ - ٢٥٠ م			
	جربية	سورس		١٢٠ - ٥٢٠ م			
		آدون - مرس		١٠٠ - ٢٥٠ م			
		برلر		١٥٠ - ٢٥٠ م	سجق	نظية	
		كرواسين		٨٠ - ١٠٠ م			
	نورس	كرواسين		١٠٠ - ٢٥٠ م	سجق	نظية - فانية	
		كرواسين		١٠٠ - ٢٥٠ م	سجق	نظية - فانية	

(شكل ١٥٩) : مقطع جيولوجي عام في أقصى شمال شرق سورية والطبقات

المنتجة (الشركة السورية للنفط) .



	سويدية		ديريك
	رميلان		ليلاك
	عليان		خربة
	كراشوك		

(شكل ١٥٨) : الحقول النفطية الرئيسية في شمال شرق سورية
(م. محفوظ، ١٩٧٨)

آبار أنتحت جميعها من البكريتاسي الأعلى . ثم تابعت الشركة العامة السورية للنقطة أعمال الحفر وتطوير الحقل . وقد بدأ الإنتاج الفعلي عام ١٩٦٨ م وتم حفر ٣٥٠ بئراً منذ بدء الاستثمار وحتى عام ١٩٨٠ . ويقدر متوسط إنتاج البئر الواحدة بحدود ١٢٠ م^٣ يومياً .

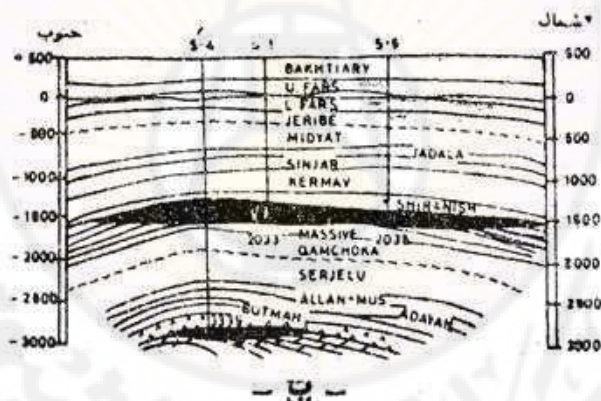
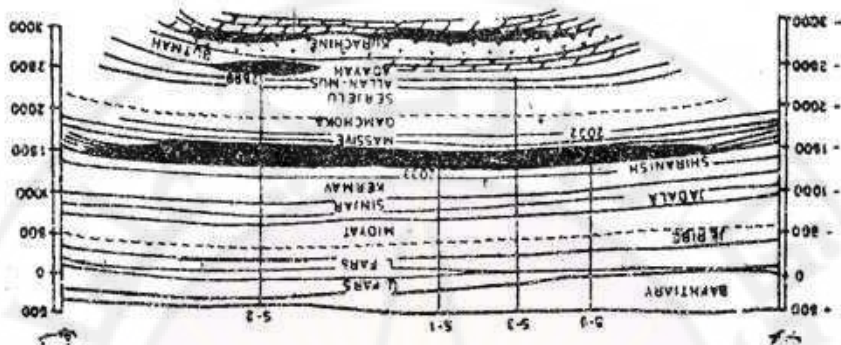
والتشكيلة المنتجة في هذا الحقل هي تشكيلة الماسيف التي تقع على عمق ١٨٠٠ م والتي تبلغ سماكتها ٣٥٠ م . وتقسم هذه التشكيلة في هذا التركيب إلى ثلاث سويات خازنة هي من الأعلى إلى الأسفل (شكل ١٦٠) :

- السوية A : وتتألف من كلس رمادي إلى بني اللون ، ذي بنية بلورية ناعمة يتخللها بعض الاسرة الدولوميتية . وتتميز هذه السوية بكونها مسامية ومشققة في الجزء الغربي من الحقل . وتنخفض مساميتها باتجاه الشرق وذلك بسبب ارتفاع نسبة الغضار . وتزداد سماكة هذه السوية من ٨٠ م في الغرب إلى ٢٣٠ م باتجاه شرق التركيب .

- السوية B : وتتألف من كلس رمادي إلى بني اللون ، ذي بنية بلورية ناعمة وغير نفوذة أو مشققة أحياناً . كما تزداد سماكة هذه السوية تدريجياً من ٣٠ م في الجزء الجنوبي الغربي من التركيب إلى ٨٠ م في الجزء الشرقي منه .

- السوية C : وتتألف من دولوميا رمادية إلى بنية اللون ، ذات بنية بلورية ناعمة وغير نفوذة ، إلا أنها مشققة أحياناً . وتختلف في سماكتها بين ١٢٥ م في الجنوب الشرقي و ٣٠٠ م في شمال التركيب .

وفي هذا الحقل يكون سطح التماس بين الزيت والماء مائلاً ويؤدي عدم انتظام يصبب تحديده على مستوى الحقل ، ويمود ذلك إلى اختلاف السجى . ومن الناحية الاقتصادية فقد توقف الإنتاج في عدد كبير من الآبار وذلك



(شكل ١٦) : مقطع طولي (T) وعرضي (ب) في حقل السويدية
يظهران المستويات الحاملة للنفط (الشركة السورية للنفط)

بسبب ازدياد كمية المياه التي وصلت أحيانا إلى ٩٠٪ وبالرغم من المعالجة بالحموض فإن كمية المياه المنتجة تبقى عالية. مما حمل أحيانا إلى التوجه إلى معرفة فيما إذا كانت تشكيلة الشيرائش حاملة للنفط أيضاً . وفي هذه التشكيلة تم تمييز سحنتين : الأولى في شرق التركيب وتتألف من كلس مارني غير نفوذ وفقير بالشواهد النفطية . أما الثانية فتقع في غرب التركيب وتتألف من حجر كلسي مسامي (٧ - ١٠٪) ومشقق ، ثبت أنه يحتوي على آثار من البيتوم وبعض الشواهد

الزيتية في الجزء الجنوبي الغربي من الحقل • ويبلغ متوسط سماكة هذه الطبقة
الخازنة ٣٠ - ٥٠ م • ومن الجدير بالذكر أن تشكيلة الشيرانيش منتجة للنفط
بشكل جيد في العراق •

٢ - حقل الرميلان : (hamp de Roumelan)

يقع هذا الحقل إلى شمال غرب حقل السويدية ويبعد مسافة ٧٠ كم عن مدينة
القامشلي • ويتميز هذا التركيب الذي تبلغ أبعاده ١٣ × ٣٥ كم بوجود قبتين
تنخفض فيه القبة الشمالية الغربية عن الجنوبية الشرقية حوالي خمسين متراً •

اكتشف هذا الحقل من قبل السوفيت عام ١٩٦٠ بفضل المسوحات
الاهتزازية • وتم العثور على الغاز في تشكيلة الشيرانيش ، كما تم العثور على
الزيت لأول مرة في تشكيلة الماسيف عام ١٩٦٢ • وفي ١٩٦٦ قامت شركة
C. G. G. بإعادة المسح الاهتزازي لمنطقة الرميلان آخذة بعين الاعتبار معطيات
الآبار التي حفرت خلال الفترة ١٩٦٠ - ١٩٦٦ • إلا أن معرفة هذا الحقل على
وضعه الحالي لم تتم إلا في أواخر عام ١٩٧٢ حيث تم حفر ٢٨ بئراً سبع منها عميقة
وصلت إلى صخور الترياسي بينما توقفت الأخرى في صخور الكريتاسي الأعلى
كما تم حفر إحدى عشرة بئراً منتجة خلال الفترة ١٩٧٦ - ١٩٧٧ •

إن الحدود الفاصلة بين حقلي الرميلان والسويدية صعبة التحديد وبخاصة
من الوجهة المورفولوجية • حيث لا يوجد بين التركيبين أي فاصل طبوغرافي أو
تغير مورفولوجي واضح ، فمنطقة الرميلان مغطاة برسوبات قارية (البختياري)
عائدة للبليوسين المؤلف بشكل رئيسي من رمال حصوية حمراء اللون ومتداخلة
مع غضاربات غنية بالمادة الكلسية • وإلى غرب الرميلان توجد صبة بازلتية تصل
في سماكتها إلى ٧٠ م • هذا وقد أظهرت المقاطع الاهتزازية وجود فائق يقع إلى جنوب
حقل الرميلان ويفصله عن حقل السويدية • إلا أنه لم تصادف فوالق أخرى في
تشكيلات الشيرانيش والماسيف أثناء حفر الآبار •

٢- حقل كراتشوك : Champ de Karatchok

يقع هذا الحقل إلى شمال حقل السويدية وعلى مسافة ٨٥ كم شرق مدينة القامشلي . وتتألف بنيته من محذب ضيق ومتناول باتجاه غرب شمال غرب شرق جنوب شرق وتبلغ أبعاده ٦×٢٠ كم . ويشكل هذا التركيب تضريساً واضحاً في منطقة ذات مورفولوجية منبسطة تقريباً ، حيث يتكشف الفارس في النصف الشرقي من البنية والبختياري في النصف الغربي ، وهناك غطاء بازلتسي واضح . ويؤدي هذا التركيب عدم تناظر حيث يكون الطرف الجنوبي الشرقي منه محدداً بفالق عكسي طولي ، وفي الطرف الشمالي تختلف الميول بين ٢٠ - ٣٠ ° وتحت هذه البنية ينصوي تركيب حمزة الذي يبدو مشكلاً عنصراً بنيوياً منفصلاً عن محذب كراتشوك نفسه .

هذا وقد حفرت البئر الأولى في هذا الحقل عام ١٩٥٦ من قبل شركة منهل حيث عثر على النفط فيه لأول مرة في سورية . ومن ثم حفرت خمسة آبار أخرى أكدت وجود الزيت بكميات اقتصادية في هذا الحقل . وتابعت الشركة السورية تطوير الحقل بعد توقف أعمال شركة منهل حيث قامت بحفر ٢٤ بئراً ، ثمان عشرة منها منتجة . ووضع الحقل قيد الاستثمار في حزيران ١٩٦٦ ، كما حفرت آبار إضافية أخرى في الفترة ١٩٧١ - ١٩٧٥ .

والتشكيلة الخازنة في هذا الحقل الماسيف ، والتي تقع بين دولوميا الكاموشكا والكلس الغضاري العائد للشيرانيش (شكل ١٥٩) . ويعود عمر هذه التشكيلة إلى السينوماني ، وتقع على أعماق تتراوح بين ١٧٠٠ - ٢٠٠٠ م . وتبعاً لخصائصها فقد قسمت هذه التشكيلة إلى ثلاث سويات مختلفة هي من الأعلى إلى الأسفل (شكل ١٦١) .

- السوية A : وتتألف من كلس أبيض إلى رمادي فاتح اللون ، ذي بنية بلورية ناعمة مشققة أحياناً . وتبلغ سماكة هذه السوية ٦٥ م وتختفي في شرق وشمال شرق التركيب .

- السوية B : وتتألف من كلس بني أو رمادي اللون ، ذي بنية بلورية ناعمة ، متناوب مع أسرة غضارية رقيقة • وتتراوح سماكة هذه السوية بين ٤٠ - ٧٥ م •

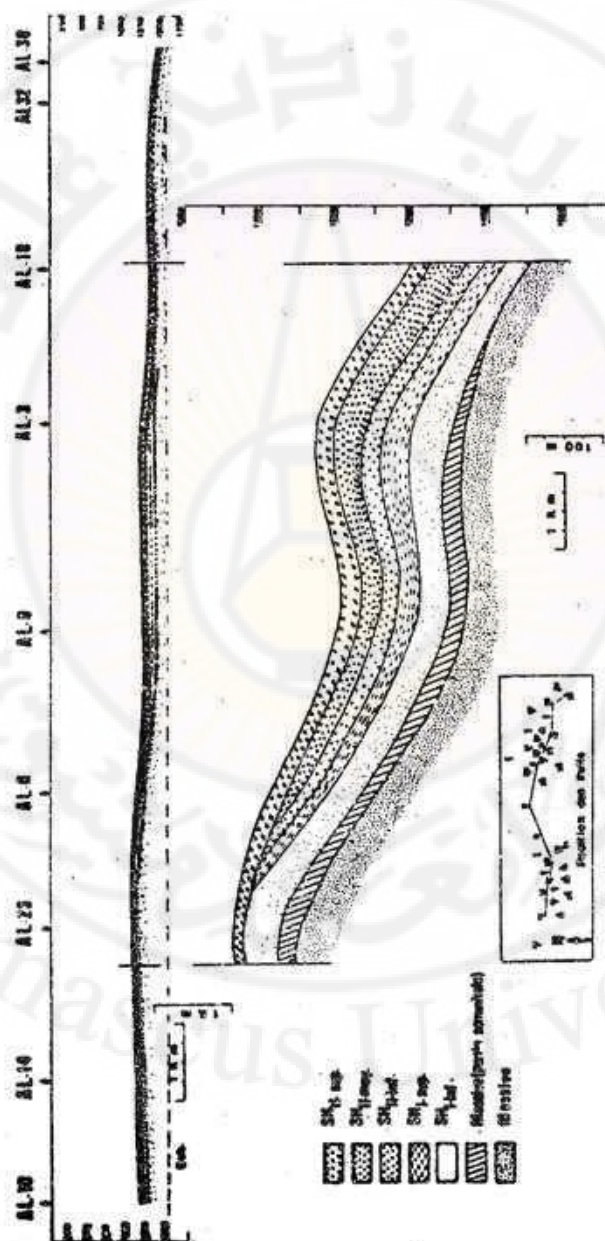
- السوية C : وتتألف من تداخلات لصخور كلسية بيضاء اللون وناعمة التبلور مع صخور دولوميتية وغضارية • وتتراوح سماكة هذه السوية بين ١٢٥ - ٢٢٥ م •

هذا وتتوقف اتاجية تشكيلة الماسيف على أهمية الشقوق التي تقطع سوياتها المختلفة • وقد قدر احتياطي هذا الحقل بما يقارب ١٥٠ مليون م^٣ من الزيت ، ١٥٪ منها فقط قابلة للاستخلاص • وقد بلغ متوسط انتاج البئر الواحدة في هذا الحقل ١٥٠ م^٣ في اليوم الواحد •

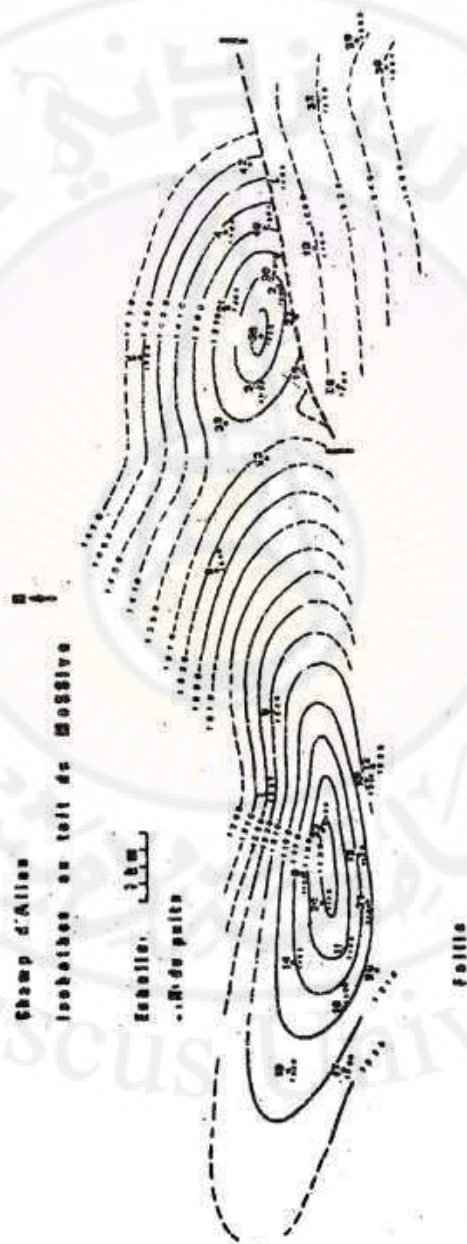
وبالإضافة إلى تشكيلة الماسيف المنتجة الزيت فقد عثر على الزيت والغاز أيضاً في هذا التركيب في تشكيلة البوطة (شكل ١٦١) •

٣ - حقل عليان : champ d'Alian

يقع هذا الحقل بالقرب من الحدود السورية التركية على بعد ٢٢ كم من حقل الرميلان و ٥٥ كم شرق مدينة القامشلي • وتتألف من بنية تحت سطحية ضيقة ومتطاولة تبلغ أبعادها ١٧ × ٢ كم • وتتألف هذه البنية من طية مضغوطة (Pli de compression) مركبة من محدين تفصلهما عن بعضهما منطقة منخفضة (ensellement) (شكل ١٦٢) • وتأخذ هذه البنية اتجاه شرق - غرب خلافاً للبنى الأخرى المتجهة شمال غرب - جنوب شرق (حقول السويدية والرميلان) وتبدي عدم تناظر (dissymétrie) موضح بالفالق عكسي على الطرف الجنوبي للعبة الشرقية (شكل ١٦٣) • هذا وتميل طبقات تشكيلة الماسيف بحدود ٧ درجات في الطرف الشمالي من القبة الغربية بينما تكون الميول في الاطراف الشمالية والشمالية الشرقية من القبة الشرقية أكثر هدوءاً ولا تتجاوز ٢-٣ درجات ، في حين تصل الميول في الطبقات غير المضدعة بالفالق إلى ١٥ درجة ومن ثم تضعف إلى ٣ درجات في التشكيلات الأعلى (شيرائش - كيرماف) •



(شكل ١٦٢) : مقطع عام في بنية عليان (Ishak, 1981)



(شكل ١٦٣ : حقل طيان - منحنيات تساوي المق بالنسبة لقبة وشكيلة الماسيف (Ishak , 1981))

هذا وقد بينت الدراسة البنيوية لهذا الحقل (Ishak, 1981) أن بنية عليان كانت قد تعرضت لأطوار مختلفة من التشوهات ، وذلك على النحو التالي :

- أ - انقطاع في الترسيب في قمة السينوماني الاوسط .
 - ب - حث جزء من الشيرانيش في الجزء الغربي من التركيب .
 - ج - تناقص في سماكة الشيرانيش في مركز البنية .
 - د - حدوث تشوه رئيسي خلال الميوسين - بليوسين أدى إلى حدوث تصدعات في التشكيلات العلوية (جرية ، فارس أسفل ، فارس أعلى ، بختياري) وفوالق في التشكيلات السفلية (كيرماف - ماسيف شيرانيش) .
- ١
وسمحت أعمال المضاهاة بواسطة القياسات الجيوفيزيائية البئرية بتقسيم تشكيلة الماسيف كما في معظم الحقول الأخرى إلى ثلاث سويات (شكل ١٦٤) هي من الأعلى إلى الأسفل :

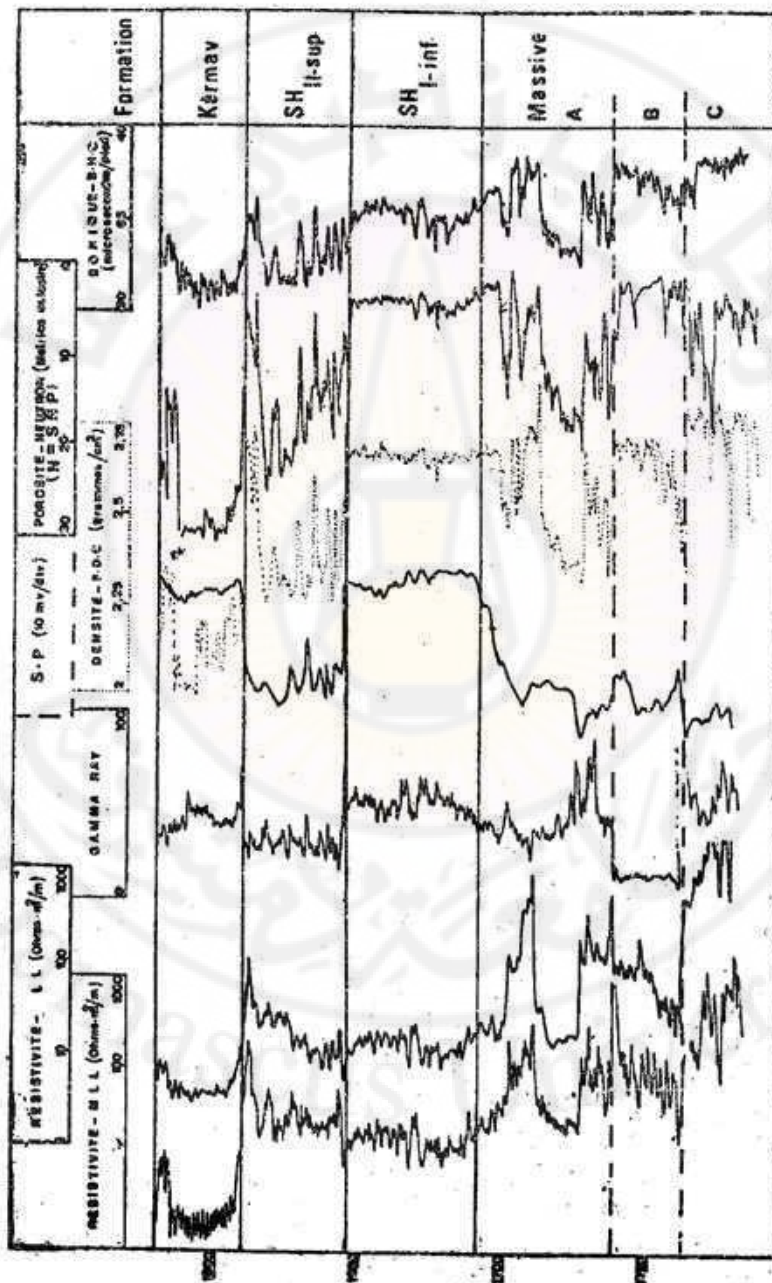
ـ السوية A : وتتألف من ثلاثة نطاقات :

هفوي : ويتألف من كلس ميكريتي غني ببقايا المنخريات البلانكتونية ومدلت في أجزائه العلوية حيث تكثر الدروز (السيتلولية) والتشققات المليئة بالمادة العضوية .

اوسط : ويتألف من دولوميا ذات مسامية بين بلورية (١٠ - ١٥ ٪) غنية بالمادة العضوية .

اسفل : ويتألف من كلس شبه مبلور وذو مسامية بين حبية (١٥ - ٢٠ ٪) ، ويحتوي على بقايا من العضويات وعلى الفلوكوني والفوسفات .

ـ السوية B : وتتألف من حجر كلسي غير متجانس الجبات ومدلت في أجزائه السفلية ، ضعيف المسامية .



(شكل ١٦٤) : التسجيل الجي الفيزيائي للركب لثمن طيان A في القبة القريبة من التركيب (Ishak, 1981)

ـ السوية C : وتتألف من دولوميا ذات درجة تبلور عالية وتزداد أبعاد البلورات فيها من الأسفل باتجاه الأعلى حيث تفتي بالغلوكوني . ومسامية هذه السوية ضعيفة بشكل عام .
كما سمحت المظاهرات البرية بتقسيم تشكيلة الشيرانيش أيضاً إلى وحدتين متتاليتين (شكل ١٦٢) :

الوحدة SH_1 : وتتألف من تعاقب لسحنات كربونائية خشنة وناعمة متراسة أحياناً ، مدلتة ومشققة في بعض أجزائها .

الوحدة SH_{11} : وهي التي تشكل غطاء تشكيلة الماسيف الخازنة في كافة حقول شمال شرق سورية . وتتألف هذه الوحدة من سحنات تغلب فيها التوضعات الناعمة البيلاجية . تحتوي في أجزائها السفلية على بقايا من المنخربات البلاكتونية وعلى بعض القواقع والبريت ، كما تحتوي في أجزائها العلوية على كميات هامة من المادة العضوية .

ومن الناحية الانتاجية فقد تم حفر أول بئر في هذا التركيب عام ١٩٦٣ ، إلا انه لم يعثر على النفط فيه إلا في عام ١٩٧٣ إثر الدراسات الإهترازية التي نفذتها شركة AIGEO بين عامي ١٩٧٠ - ١٩٧٣ ، حيث تم حفر البئر الثالثة التي أنتجت النفط من طبقات الشيرانيش في الجزء الشرقي من الحقل ، بينما أنتجت البئر رقم ٨ من تشكيلة الماسيف في الجزء الغربي من الحقل . وقد وصل عدد الآبار التي حفرت في هذا الحقل حتى نهاية عام ١٩٧٧ إلى ست وثلاثين بئراً .

وبالإضافة إلى هذه الحقول الرئيسية الأربعة ، فهناك أيضاً مجموعة من الحقول تم اكتشافها في المنطقة الشمالية الشرقية من سورية ، يمكن إيجاز خصائصها النفطية على النحو التالي :

حقل ديريك : ويقع على مسافة ٨ كم شمال حقل كراتشوك . وهو

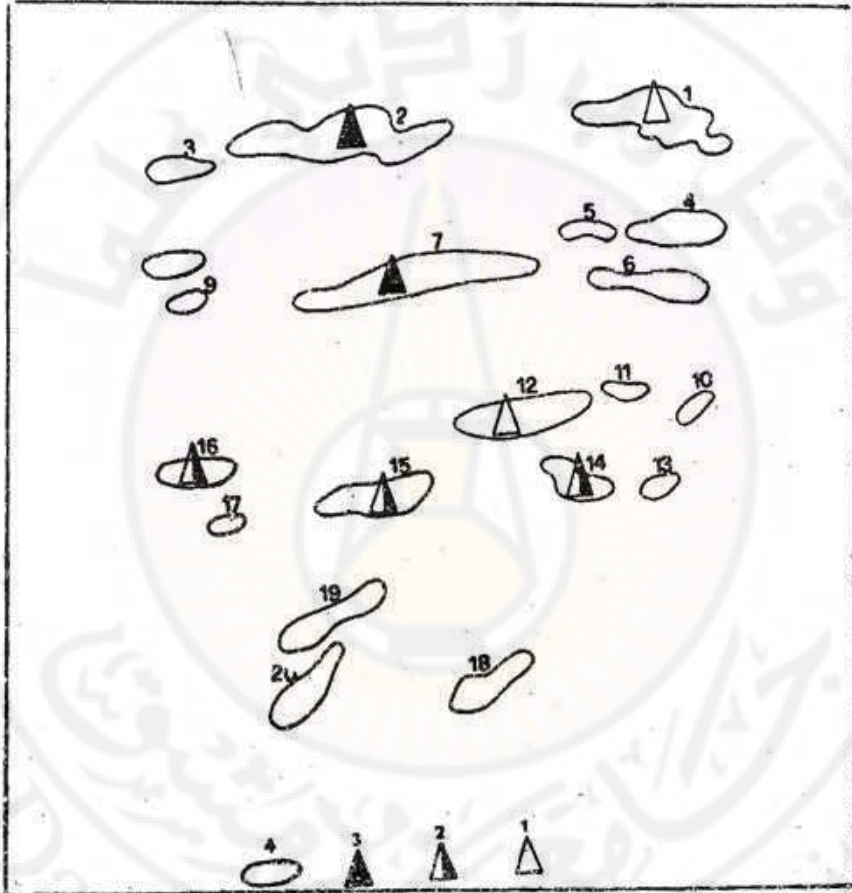
بنية تحت سطحية تبلغ مساحتها ١٤ كم^٢ (٢×٧ كم) ومغطاة بصبه بازلتية • إلا أن حدود هذه البنية غير مؤكدة وذلك بسبب قلة المعلومات المتوفرة عنها • وقد عثر على النفط في هذا الحقل عام ١٩٦٥ في تشكيلة الماسيف • إلا أن نتائج التحاليل بينت أن زيت هذه التشكيلة ثقيل ولزج ما حمل على التخلي عن متابعة استثمار هذا الحقل •

حقول باباسي - سعيد - زردية : وتقع جزئيا في الاراضي السورية ويقع امتدادها الشمالي في تركيا • وتعتبر هذه الحقول استمرارا لمحور السويدية ، رميلان ، عليان • وهي منتجة للنفط من تشكيلة الشيرانيش ، إلا أن نمطها من النوع الثقيل •

حقل بدران : وهو تركيب صغير يقع إلى الجنوب من تركيب سعيد • وهو حامل للنفط الثقيل أيضا في تشكيلة الشيرانيش •
حقل عودة : ويقع إلى الجنوب الغربي من حقل بدران • وهو حامل للزيت والغاز في تشكيلة الشيرانيش ، وللزيت الخفيف والغاز في تشكيلتي البوطة والكوراشيني دولوميت •

ب - منطقة حقول الجبسية

تقع منطقة الجبسية الانتاجية في الجزء الشمالي الشرقي من سورية في منخفض الفرات • وتعتبر الثانية في الأهمية بعد منطقة حقول الحسكة ، وتبلغ مساحتها ٥٠٠٠ كم^٢ تقريبا • وفي هذه المنطقة تم اكتشاف سبعة تراكيب رئيسية محتوية على النفط والغاز، وهي: الجبسية ، تشرين ، الفونا ، كيبية ، الصالحية ، الهول، شيخ منصور (شكل ١٦٥) • والتشكيلات الخازنة في هذه المنطقة أكثر عسيدا ويبلغ مجموعها سبعة في حقل الجبسية (شكل ١٦٦) • هذا وقد بلغ مجموع الآبار التي حفرت في هذه المنطقة أكثر من ٩٠ بئرا • وقد بدأ الانتاج العملي فيها عام ١٩٧٥ من حقل الجبسية •



(شكل ١٦٥) : مخطط يوضح مواقع التراكيب والمكامن في منطقة الجبسية

(٢٠٠٢ : امام ، ي . سولالانكو ، ف . سكرية ١٩٧٩)

- ١ - فازية ، ٢ - غازية نفطية ، ٣ - نفطية ، ٤ - حدود المرتفعات المحلية ،
- اسماء التراكيب والمكامن ١ - الهول ، ٢٠ - شيخ منصور ، ٣ - الناشفة ،
- ٤ - جريبة ، ٥ - غرب الجريبي ، ٦ - شرق تشرين ، ٧ - تشرين ٨ - وادي الفقير ،
- ٩ - جنوب وادي الفقير ، ١٠ - شرق الحصو ، ١١ - الحصو ، ١٢ - غونا ،
- ١٣ - شرق غببية ، ١٤ - غببية ، ١٥ - جبسية ، ١٦ - صالحية ، ١٧ - غرب
- الجبسية ، ١٨ - وادي الضبعة ، ١٩ - ريم ، ٢٠ - جنوب ريم .

حقل الزيت والفان									
الطبيعة الليتولوجية	الطبقة	الارتفاع	العصر	اللون	العمق	الارتفاع	العمق	الارتفاع	العمق
غضار - كوفلوبيرا - جرملي	٣١٠	غنياري	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
أنديريت - غضار - ملح - دولوميت - كلس	٦٥٠	مارسا	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
أنديريت - حركسي - غضار	١٥٠-١٨٠	طينة	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
دولوميت - حركسي - أنديريت	٨٢-٤٠	جربسة	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
أنديريت - ملح - مار - دولوميت - حركسي	٢٠٠-٤٠	ديانة	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
حركسي - مار - غضار - أنديريت - دولوميت	٤٦٠-٤٢٠	شيلو	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
حركسي - غضار	٤٥٠-٤٦٥	حداثة	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
حركسي	٦٤٠	شرايتش	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
حركسي - غضار - دولوميت	٧٥٠	سحنة	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
غضار - جرملي - حركسي	٧٠-٢٠	عوبا	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
حركسي - دولوميت - غضار	٤٥٠-٨٠	كاموشكا	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
حركسي - دولوميت - أنديريت - غضار	١٢٠-٥٢٠	سبريلو	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
أنديريت - دولوميت - غضار	٧٥-٢٥	علاق	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
دولوميت - حركسي	١٠٠-٤٥	موس	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
أنديريت - دولوميت - غضار	١١٥-٧٠	هدابا	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
دولوميت - حركسي - أنديريت - غضار	٢١٠-١٤٥	بونا	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
أنديريت - غضار - دولوميت - حركسي	٩١٠-٩٠	كوزاشي	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود
دولوميت - أنديريت - غضار	٥٥٠-٢٠٥	كوزاشي	بيوسين	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود	الأسود



شكل ١٦٦، الخصائص الطبقة للنفث الثاني والثالث
وتوزيع تجمعات الزيت والفان في منطقة حقل البجينة

(١. إمام - ي. سوكاتكو - ف. سكريبية ١٩٧٩)

١ - حقل الجبسية

وهو الحقل الرئيسي في هذه المنطقة ، ويقع على بعد ٥٠ كم جنوب شرق مدينة الحسكة . وتتألف المصيدة فيه من بنية محدبة تبلغ أبعادها ٢٠×٥ كم . وقد حفر في هذا التركيب أكثر من خمسين بئراً . والسويات المنتجة الرئيسية فيه خمسة حاملة للزيت أو الغاز (شكل ١٦٦) :

— تشكيلة الجريبة : وتعود بمعظمها إلى الميوسين الاسفل . وتقع على عمق ٦٠٠ م تحت سطح الارض حيث تختلف سماكتها بين ٤٠ — ٨٠ م على طول امتداد التركيب . وتتألف هذه التشكيلة من دولوميت وصخور كلسية فاتحة اللون مشققة أو ذات مسامية فجوية . وتعتبر هذه التشكيلة حاملة للزيت والغاز ، وقد قدر احتياطها بحوالي ٧٠ مليون م^٣ . وقد بلغ معدل إنتاج البئر الواحدة منها ١٠٠ م^٣ في اليوم الواحد .

— تشكيلة الشيلو : وتعود إلى الأوليغوسين ، وتقع على عمق ٣٧٥ م تحت سطح الارض وتبلغ سماكتها الوسطية ١٥٠ م . وتتألف هذه التشكيلة من سورتين : علوية : مؤلفة من صخور كلسية مارنية ذات مسامية عالية في الاعلى ومن دولوميا وكلس دولوميتي مشقق في الأسفل .

سفلية : مؤلفة من كلس دولوميتي مسامي في أجزائه العلوية ، ومن كلس غضاري أو مارني في أجزائه الدنيا .

— تشكيلة الجدالة : وتعود إلى الايوسين . وتتألف من صخور كلسية غضارية فاتحة اللون ومشققة ، حاملة للنفط الثقيل .

— تشكيلة البوطمة : وتعود إلى الترياسي . وتقع على عمق ٣٥٠٠ م تحت سطح الارض . وتبلغ سماكتها الوسطية ١٨٠ م . وتتألف من تناوب لطبقات كلسية

دولوميتية وأخرى غضارية أو غضارية دولوميتية ، وهي منتجة للزيت ذي النوع الخفيف ،

— تشكيلة الكوراشيني دولوميت : وتمود إلى الترياسي الاسفل ، وتقع على عمق ٣٩٠٠ م من سطح الأرض ، وتراوح سماكتها بين ٣٠٠ - ٥٥٠ م. وتتألف من تعاقدات لصخور دولوميتية مشققة ولصخور أنهدريتية أو غضارية ، وهي منتجة للغاز فقط .

بالإضافة إلى كون هذه التشكيلات الرئيسية الخمس حاملة للنفط ، فقد ثبت وجود الغاز أيضا في التشكيلة الانتقالية الواقعة فوق تشكيلة الجيزية في هذا الحقل . كذلك تم العثور على النفط الثقيل في تشكيلة الشيرانيش في الأجزاء المشققة منها .

أما بالنسبة للتركيب الأخرى المجاورة لحقل الجبسة فهي :

— تركيب تشرين : وتتألف المصيدة فيه من طية محدبة تبلغ أبعادها ١٢×٣٥ كم (بالنسبة لتشكيلة الشيلو) . وقد حفر في هذا التركيب مجزوعة من الآبار وصل بعضها في العمق إلى ٥٥٠٠ م حيث قدمت تشكيلة الجدالة فقط بتدفق ذاتي بمعدل ٣٠٠ - ٣٣٠ م^٣/يوميا من البئر رقم ٢ . كما اكتشف الغاز في البئر رقم ٥ في تشكيلة الكوراشيني ، وفي بئر الجريبي ١ في تشكيلة السخنة .

— تركيب مجيبة : وهو أيضا عبارة عن طية محدبة تبلغ أبعادها ٦×١٢ كم بإغلاق بنيوي قدره ٥٥٠ م (بالنسبة لتشكيلة الشيلو) . وقد ثبت وجود النفط في هذه التشكيلة مع قبة غازية . كما تم العثور على الغاز في تشكيلة الشيرانيش على عمق ١٢٥٠ - ٣٠٠٠ م .

— تركيب الصالحية : وهو محدب تبلغ أبعاده ٤×٨ كم وإغلاقه ٢٠٠ م .

وبدأت دراسة هذا التركيب عام ١٩٧٦ وخفرت فيه مجموعة من الآبار بلغ عمق إحداها ٤٣٠٠ م • وقد عثر على النفط فيه ضمن تشكيلة الشيلا •

• **تركيب الهول :** ويتألف من محذب تبلغ أبعاده ٨×١٥ كم وإغلاقه البيوي ٢٥٠ م • خفرت فيه مجموعة من الآبار إحداها عميقة وصلت إلى تشكيلة الكوراشيني وأخرى توقفت في طبقة الشيلا الغازية •

• **تركيب الشيخ منصور :** ويتمثل بطية متطاولة تبلغ أبعادها ٨×٢٠ كم • وقد تم اكتشاف هذا المكمن عام ١٩٧٨ أثناء اختيار البئر رقم ١ التي اتجهت نطقاً تجارياً من تشكيلة الشيلا •

ج - منطقة هضبة حلب

وتشغل هذه المنطقة جزءاً من المنحدر الشمالي غير المستقر من السطحية العربية (شكل ١٥٦) حيث يحدها من الشمال الغربي منخفض عفرين ومن الغرب منخفض الغاب ، ويفصلها من الجنوب عن السلسلة التدمرية مجموعة الفوالق ذات الاتجاه شرق - جنوب غرب ، أما من الشرق فيفصلها عن منخفض القرات فوالق عميقة تتجه شمال - جنوب وتمتد حتى جبال طوروس •

وتعتبر صخور الكريستالي العلوي من أقدم الصخور المكتشفة في هضبة حلب ، حيث تظهر على السطح في مناطق محدودة من مرتفع خناصر ، وتتألف من تشكيلات كلسية ومارنية عائدة في عمرها إلى الماستريختيان • كما تتكشف في غرب الهضبة صخور من عمر الكامبانيان - كونياسيان • وتغطي صخور الباليوجين القسم الأعظم من الهضبة كما يلاحظ وجود تكشفات من صخور الباليوسين ذات المنشأ القاري وصخور بازلتية تعود إلى الميوسين العلوي •

ومن الناحية النفطية ، فقد اتجهت الاقطار إلى هضبة حلب منذ بدء الاعمال الجيولوجية في القطر • حيث تتوفر سماكة لابأس بها من الصخور الرسوبية ،

وتلاحظ بعض الشواهد النفطية على السطح . ويعود حفر أول بئر في المنطقة إلى الفترة ١٩٤٧ - ١٩٤٨ حيث قامت شركة نفط سورية بحفر بئر الضلعة التي وصلت إلى أعلى الباليوزوي . وقد أولى المعهد الفرنسي للبترول عام ١٩٦٨ ومن ثم الخبراء السوفييت (١٩٧١ - ١٩٧٥) أهمية نفطية خاصة لهذه المنطقة . وبناء على ذلك فقد تم مسح المنطقة اهتزازيا على مراحل متقطعة استمرت حتى عام ١٩٨١ . ونتيجة للمسح الاهتزازي وبعد حفر بئر خناصر رقم ١ الذي وصل في العمق إلى ٣٨٣٨ م ، اتجه الحفر إلى المنطقة الواقعة شرق خناصر حيث تم الحفر في تراكيب : حباري ، آذار ، حربية ، جب أبيض ، مسكنة ، جب غانم ، الوهاب ، الصفيح ، تل زيدان . ومن ثم قامت شركة بيكتن (Pecten) بحفر بئر في تركيب العمالة إلى الشرق من تركيب الصفيح .

وقد أدت أعمال الحفر إلى اكتشاف النفط في الطبقات التالية (شكل ١٦٧) :

١ - أعلى المولوسا السفلى : التي تشكل مصيدة بنيوية ذات دفع مائي جانبي ، على امتداد تركيب الصفيح والوهاب . وتبلغ سماكة هذه الطبقة ١٢ م ، وتتألف من دولوميت مسامي ومشقق أحياء . وتعتبر هذه الطبقة المصيدة النفطية الرئيسية في التركيبين السابقين بالإضافة إلى تركيب العمالة .

٢ - أعلى المولوسا : التي تشكل مصيدة طبقية نتيجة لوقوعها في أعلى المولوسا تحت تشكيلة الرطبة مباشرة ، حيث توجد ثغرة طبقية بين الجوراسي والكريتاسي . وتتألف هذه الطبقة من صخور كلسية محدودة السماكة والامتداد وذات مسامية تشقية . وقد عثر على النفط في هذه التشكيلة في تركيب الصفيح والوهاب .

٣ - أسفل الجحيلان : حيث تتألف السوية المنتجة من صخور كلسية ذات مسامية فجوية . وقد عثر على النفط فيها في تراكيب حباري والصفيح والعمالة . إلا أن

الحقب	بصر	اسم الطبقة	نوع البصر	السمكة المرسطة	مساحة المزارع	نوعية المزارع	مستويات الطبقة
المشايخ	الباليينيين	الدياسي	الدياسي	١٨٠			
				١٦٠			
				١٦٧			
				١٧٥			
				١٦٥			
	الدياسي	الدياسي	الدياسي	١٦٠	منقوشة	منقوشة	نظف
				١٦٠			
				١٦٠			
				١٦٠			
				١٦٠			
الدياسي	الدياسي	الدياسي	الدياسي	١٦٠	مبارسة	مبارسة	نظف
				١٦٠			
				١٦٠			
				١٦٠			
				١٦٠			
الدياسي	الدياسي	الدياسي	الدياسي	٢٠٠			

دياسي جرسوني دياسي جرسوني دياسي جرسوني دياسي جرسوني دياسي جرسوني دياسي جرسوني دياسي جرسوني دياسي جرسوني

الماء يرافق النفط بنسبة عالية ، ولا تزيد نسبة الزيت في السائل الناتج عن ٢٥ - ٤٠٪ .

ويعتقد أن النفط الموجود في هضبة حلب قد نشأ في نفس المنطقة وغالبا في صخور الترياسي وبشكل خاص في الغضار المتداخل مع الصخور الكلسية في أسفل المولوسا . كذلك تدل نتائج الدراسات وتحليل المعطيات على أن نفط المولوسا الوسطى والعليا والحيان قد يعود إلى منشأ واحد .

أخيراً لا بد من الإشارة إلى أعمال التنقيب والحفر العميق التي تقوم بها شركة بيكتن سورية في الاجزاء الشرقية من القطر . وإن الاكتشافات الحديثة لتراكيب جديدة حاملة للنفط في منطقة دير الزور يدعو للامل والتأمل بزيادة الاحتياطي للقطر ومضاعفة انتاجه خلال السنين القليلة القادمة .

كما أنه لا بد من متابعة أعمال التنقيب عن النفط في مناطق الامل الاخرى من القطر وذلك بالاعتماد على دراسات جيولوجية وجيوفيزيائية وجيودينامية مفصلة يمكن أن تقود إلى اكتشاف المزيد من النفط في أراضي القطر ، وتحديد إمكاناتها النفطية على السوية الإقليمية .



(شكل ١٦٧) : مقطع طبقي عام في منطقة هضبة حلب
(الشركة السورية للنفط)

القِسْمُ الْخَامِسُ
التنقيب النفطي - الانتاج

Exploration Exploitation

الفصل الأول

التنقيب

L'Exploration

مقدمة :

تهدف جيولوجية النفط إلى اكتشاف المزيد من احتياطي الفحم الهيدروجينية . وعلى هذا العلم تركز مسؤولية تحديد الأقاليم النفطية ، واختيار طرائق البحث وتحديد مواقع الآبار الاستكشافية ، وحصر السويات الحاملة للنفط والقادرة على تشكيل المكامن .

ودور جيولوجي النفط في هذه المراحل المختلفة من الصناعة النفطية رئيسي . إلا أن المادة الأولية التي يقوم باكتشافها بمساعدة الجيوفيزيائي ومهندس الحفر والإنتاج تتطلب فيما بعد معالجة وتنقية قبل وضعها بين أيدي المستهلك .

وبالرغم من أن جيولوجية النفط تشكل القاعدة الرئيسية في البحث عن النفط ، إلا أن التنقيب عن الفحم الهيدروجينية الطبيعية يتم دون شك بمساعدة واستخدام تقنيات عديدة ، تشكل الجيوفيزياء الركيزة الأساسية فيها . كما أن اكتشاف النفط يستدعي أيضاً تقنيات أخرى جيوكيميائية ، هيدرودينامية واقتصادية ، يزداد عددها وتعقيدها مع مرور الزمن .

وفي كل الحالات فإنه يجب ألا يغيب مطلقاً عن الأذهان أن هذه المعطيات المديدة لا تشكل إلا عناصر أولية ولا تأخذ قيمتها من الناحية التطبيقية إلا إذا استخدمت مجتمعة وبطريقة تسمح بتوجهها في اختيار أفضل مناطق البحث .

١ - الاستكشاف - دور الجيولوجيا :

أشرنا في مقدمة هذا الكتاب إلى أن معرفة النفط تعود إلى أكثر من ستة قرون . لكن الدلائل التاريخية تشير إلى أن النفط لم يستخدم كمصدر للطاقة إلا بعد أن تم حفر أول « بئر نفطية » عام ١٦٤٠ منطقة مودينا بإيطاليا ، وتطوير حقل نفطي في رومانيا عام ١٩٥٠ .

ومنذ قرن فقط كان يقتصر في التنقيب عن النفط على البحث على الشواهد السطحية (indices superficiels) ، وحفر الآبار على مقربة من هذه الدلائل . إلا أنه ومع مرور الزمن وضح دور جيولوجية النفط في توجيه التنقيب إلى المناطق الفقيرة بالدلائل السطحية ، وذلك باستخدام التقنيات المتطورة في دراسة التشكيلات تحت سطحية .

ويعتبر عام ١٨٦٠ نقطة الانطلاق الفعلي في الاستكشاف النفطي ، حيث استطاع الجيولوجي الأمريكي Colonel Drake في ٢٧ آب ١٨٥٩ استخراج الزيت من بئر حفرت بهذا الهدف في ولاية بنسلفانيا . ومنذ ذلك التاريخ والتنقيب عن النفط في تطور مستمر . إلا أنه وبالرغم من تقدم الطرائق والأساليب المستخدمة في البحث عن الزيت والغاز ، فإنه لا توجد إلى الآن طريقة معينة تسمح بالتنبؤ عن وجود النفط بشكل مباشر . ويبقى الأمر مقتصرأ بالضرورة على البحث عن النفط في الأماكن الأكثر قابلية لتراكم الفحم الهيدروجينية وذلك بالعلاقة مع الجيولوجيا الإقليمية والشروط العامة لتشكيل المكامن .

فالتنقيب عن النفط هو إذن أمر على علاقة بالجيولوجيا . و جيولوجية النفط تهدف قبل كل شيء إلى :

— تحديد المواقع الصالحة لتراكم الفحم الهيدروجينية الطبيعية وتحديد مواقع الآبار الاستكشافية .

— العثور على الفحم الهيدروجينية في السويات المخترقة أثناء حفر الآبار .

ومن الواضح أن الهدف الأول على علاقة بالجيولوجيا السطحية ، في حين يرتبط الهدف الثاني بالجيولوجيا تحت سطحية .

٢ - التنقيب الجيولوجي السطحي :

ويسمى إلى :

- التعرف على طبيعة السحنات القابلة لنشأة وتراكم الفيضانات الهيدروجينية (صخور أم - صخور خازنة) وتحديد مواقعها ضمن التشكيلة الرسوبية . وتنضوي هذه المفاهيم تحت موضوع الدراسات الطبقة .
- التعرف على مواقع المصادد وتحديد أشكالها بشكل دقيق . وتنضوي هذه المفاهيم تحت موضوع الدراسات البنيوية .

٢ - الدراسات الطبقة : Etudes stratigraphiques

يشكل وضع المقاطع الطبقة المفصلة للتشكيلات المتكشفة في أطراف الحوض الرسوبي الخطوة الأولى في هذه الدراسات . ومن الضروري أن توضح هذه المقاطع الطبيعية الليتولوجية والسماكة الحقيقية لمختلف الأراضي الرسوبية المتكشفة على السطح ، وكذلك مواقع بعضها بالنسبة لبعضها الآخر . ومن ثم تجري المقارنة بين المقاطع المنفذة (مقارنة التابع الطبقي والباليو تولوجي) . ومن هذه التشكيلات تؤخذ عينات نموذجية تجري عليها دراسات مخبرية بغية تحديد خصائصها البتروغرافية والبتروفيزيائية (صخور خازنة - غطاءات) والجيوكيميائية (صخور أم) وتحديد محتواها من الكائنات الدقيقة .

وهكذا تسمح الدراسات الأولية بتكوين فكرة عن الزمر الرسوبية المدروسة وتمكن من تحديد مواقع وأعماق الوديان الخازنة التي يجب تفحصها أثناء التنقيب . كما تقدم معلومات قيمة ولا غنى عنها في تفسير المعطيات البترية أثناء الحفر .

ب - الدراسات البنيوية : Etudes tectoniques

تهدف هذه الدراسات إلى تفصي وجود المصائد البنيوية • والطريقة المتبعة هي وضع الخرائط الجيولوجية التقليدية بمقاييس تختلف بين ١/١٠٠٠٠٠ و ١/١٠٠٠٠٠٠٠ ، وذلك حسب أبعاد الوحدات الجيولوجية المسقطة على هذه الخرائط • ولا يحتاج وضع هذه الخرائط إلى مواد ووسائل أولية كثيرة ، إلا أن إنجازها يتطلب وقتاً طويلاً •

من ناحية أخرى فإن استخدام الصور الجوية ولاسيما المنفذة منها بواسطة الأقمار الصناعية (photo satellite) قد ساهم إلى حد كبير في تطوير الدراسات البنيوية ، حيث تساعد هذه الصور على رسم خارطة جيولوجية تصويرية (photo géologique) تسمح بعد مطابقتها مع المشاهدات الحقلية في نقاط مختارة بوضع خارطة جيولوجية بنيوية مفصلة وذات قيمة نقطية كبيرة •

كذلك فإنه من الضروري أثناء تنفيذ الدراسات الجيولوجية الحقلية عدم إهمال البحث عن الدلائل السطحية • حيث يمكن لهذه الشواهد أن تشكل مؤشراً مفيداً على وجود المادة النفطية ، رغم أن هناك أمثلة كثيرة لمناطق عميقة منتجة دون أن يكون لها شواهد سطحية •

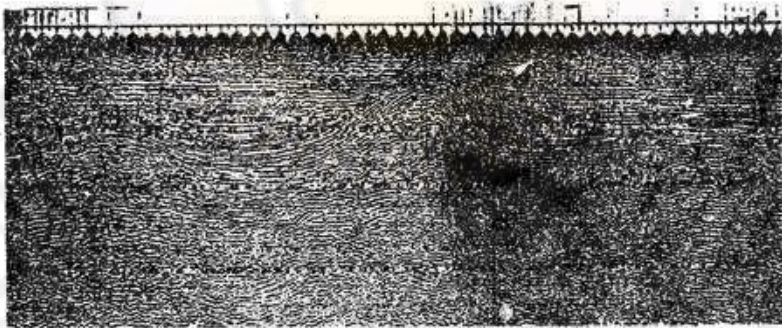
ولاستكمال الدراسات البنيوية فقد نضطر أحياناً ، وذلك عندما تكون الشروط مناسبة ، إلى القيام بتنقيب جيوكيميائي ، خاصة أن معرفة كثافة وتوزيع الدلائل السطحية الدقيقة (micro - indices) يمكن أن يوجه في اختيار البنيات الصالحة للحفر •

ج - التنقيب الجيوفيزيائي : prospection géophysique

إن دراسة بنية الحوض الرسوبي بالطرق الجيولوجية المباشرة تبقى محدودة وقاصرة • ويعود سبب ذلك غالباً إلى تواجد تشكيلات سطحية ذات سماكات كبيرة

أحياناً أو إلى وجود سطح أو مجموعة من سطوح عدم التوافق (discordances)
تقف عائقاً في التفسير العميق بالاعتماد على المعطيات والملاحظات السطحية .

لذا فإنه من الضروري اللجوء إلى الطرائق الجيوفيزيائية التي تسمح ، انطلاقاً
من قياسات ، تجري على السطح ، لشواذات (anomalies) فيزيائية تعود في أسبابها
إلى اختلافات في خصائص التشكيلات ، بتكوين فكرة أولية عن البنيات العميقة .
ومن الطرائق الجيوفيزيائية المختلفة ، ثلاثة تستخدم في التنقيب النفطي : الطريقة
الجاذبية (gravimétrie) والطريقة المغناطيسية (magnétométrie) والطريقة
الاهتزازية (sismique) . وكما هو معروف فإن الطريقتين الأولىين واللتين
تقيسان شواذات لطواهر طبيعية تستخدم في المسح الجيولوجي العام . أما الطريقة
الثالثة وهي تستخدم تحريضا اصطناعيا فتقدم نتائج تفصيلية . وتهدف كافة
هذه الطرق إلى تحديد أشكال الأحواض الرسوبية (شكل ١٦٨) ، إضافة إلى أن



(شكل ١٦٨) : مقطع اهتزازي يظهر بنية محدبة تحت سطحية (Esso)

الطريقة الاهتزازية تقدم معلومات طبقية دقيقة (sismique - stratigraphie)
كاختلاف السحن وعدم التوافقات ، كما تقدم معلومات من الخصائص البتروفيزيائية
للصخور وعن قدرتها الخزنية .

٣ - الجيولوجيا التحت سطحية :

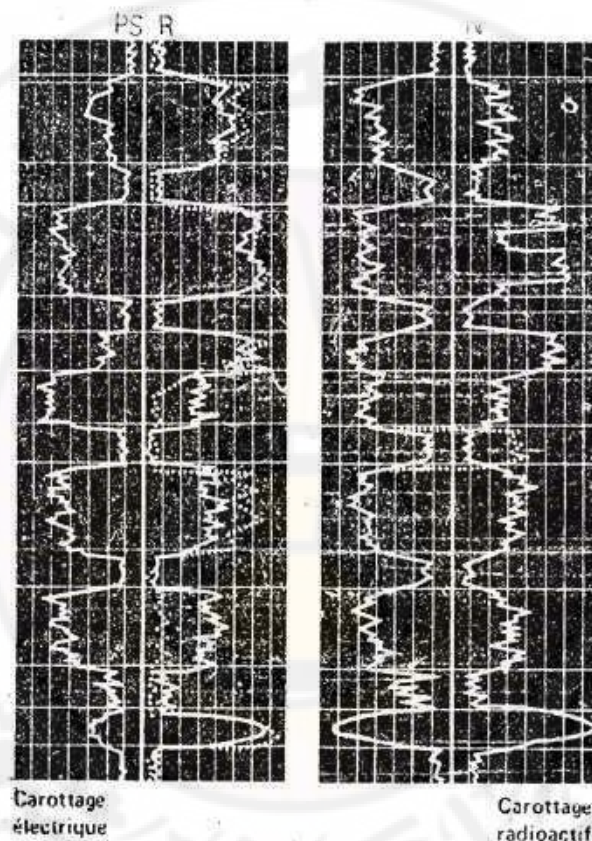
تلي الدراسات الجيولوجية التحت سطحية مرحلة التنقيب الجيولوجي السطحي . وتعتمد هذه الدراسات بشكل رئيسي على تحليل معطيات الآبار . ولما كانت تكلفة الحفر باهظة للغاية فإنه من الضروري الحصول على أكبر كمية ممكنة من المعلومات الجيولوجية من نقاط الحفر . حيث تعتبر هذه المعلومات وبخاصة اكتشاف الشواهد النفطية منها أمراً ضرورياً في تطوير الدراسات اللاحقة .

١ - المعطيات الجيولوجية البئرية :

وتعتبر القاعدة الأساسية في كافة الدراسات الجيولوجية التحت سطحية . وعلى دقة الملاحظات البئرية ووضوحها تعتمد إلى درجة كبيرة نوعية التفسيرات التي تبني عليها . كما أن للجيولوجي الحقلي دوراً هاماً في الوصول إلى الهدف الذي تحفر من أجله البئر ، وذلك باستخدامه كافة المعلومات الجيولوجية المتوفرة عن المنطقة .

وبالإضافة إلى الملاحظات المباشرة على العينات المستخرجة من الآبار (لباب أو فتات صخري) فهناك الدراسات الحقلية المخبرية ، حيث تسجل كافة المعطيات المفيدة : سرعة تقدم الحفر ، فلورة سائل الحفر ، الغازات القابلة للاحتراق في سائل الحفر ، نسبة الأملاح ، كمية كربونات الكالسيوم ، الخ . . ويتم تسجيل هذه المعطيات بشكل مستمر بالعلاقة مع العمق وتوقع على مخططات تعرف بالتسجيل البئري (log de forage) .

كما أن هناك قياسات جيوفيزيائية بئرية (Diagraphies) تنفذ أثناء الحفر



(شكل ١٦٩) القياسات الجيوفيزيائية البئرية

أ - قياسات إسقاطية

ب - قياسات كهربائية

وتعرف بالقياسات البئرية الفورية (instantanées) ، وذلك مقابل القياسات الجيوفيزيائية البئرية اللاحقة التي تسجل في البئر بعد توقف الحفر بمساعدة سوابر خاصة . وتسجل هذه السوابر وبشكل مستمر متغيرات على علاقة بالخصائص الفيزيائية للتشكيلات المخترقة . ومن هذه المتغيرات نذكر : المقاومة

الكهربائية ، الكمون الذاتي ، الإشعاع الطبيعي أو المحرض ، الكثافة ، سرعة انتشار الأمواج الصوتية (شكل ١٦٩) . وهنا أيضا فإنه من الضروري أن يكون جيولوجي الحقل ملم بهذه القياسات وعلى معرفة كافية بقراءتها وتفسيرها واختيار ما يراه مناسباً منها من بين مجموعة القياسات المقترحة عليه تسجيل بعضها .

ب - تفسير المعطيات :

انطلاقاً من المعطيات البثرية المتوفرة ، سواء كانت قياسات جيوفيزيائية بثرية أو لباب أو نواتج حفر فتاتية ، فإنه يمكن التوصل إلى معرفة وافية عن التشكيلات الجيولوجية المخترقة بالآبار (عمر الطبقات ، الطبيعة الليتولوجية ، الخصائص البتروفيزيائية ، المحتوى من الموائع ، الخ ...) .

كما أن المضاهاة الجيولوجية بين الآبار والجيولوجيا السطحية ، بمساعدة كافة التقنيات الجيولوجية المخبرية ، تسمح بتعميق المعرفة الجيولوجية الإقليمية للحوض الرسوبي والضرورية لتطوير الاستكشاف . حيث أن ربط هذه المعلومات يساعد على وضع مقاطع وخرائط متنوعة (جيولوجية ، تساوي السماكة ، تساوي العمق ، الخ ...) تقدم صورة متكاملة عن الحوض الرسوبي وتساعد المنقب على توجيه البحث في الاتجاه الملائم الذي يسمح بالوصول إلى الهدف المقصود ، ألا وهو اكتشاف المزيد من النفط وبأقل تكلفة ممكنة .



الفصل الثاني

الحفر

Le forage

مقدمة :

يشكل حفر الآبار الوسيلة المباشرة الوحيدة في التعرف على التشكيلات الجيولوجية تحت سطحية ، وفي تحديد خصائصها السخنية والبتروفيزيائية وتقييم إمكانياتها النفطية .

وتدل الوثائق التاريخية أن الصينيين القدامى قاموا بحفر الآبار منذ ١١٢٢ سنة قبل الميلاد . كما تشير بعض هذه الوثائق إلى أن طرائق الحفر وتقنياتها لم تتغير كثيراً منذ ٦٠٠ عام قبل الميلاد وحتى مرحلة قريبة من الوقت الحاضر .

والطريقة الأكثر قدماً في الحفر تعتمد مبدأ الصدم أو الدق (percussion) حيث يتم تحطيم الصخر بواسطة آلة قاطعة معلقة بسلك (cable) أو بمواسير معدنية تطبق عليها حركة متناوبة . إلا أن هذه الطريقة البدائية تقتصر في استخدامها على حفر الآبار القليلة العمق واختراق التشكيلات الرخوة ذات الضغوط الضعيفة .

أما الطريقة الأكثر شيوعاً فهي الطريقة الدورانية « rotary » . وقد ظهرت هذه الطريقة عام ١٨٩٠ واستخدمت لأول مرة من قبل الأمريكي A.F. Lucas

في التنقيب عن النفط عام ١٩٠١ في مقاطعة تكساس وفي تشكيلات رخوة • ومن ثم
عممت عام ١٩٢٥ وطبقت في حفر التشكيلات عالية القساوة •

١ - الطريقة الدورانية - مبدأ الطريقة :

يعتبر رأس الحفر الأداة الرئيسية في قطع الصخر بهذه الطريقة • ويتم الحفر
بتطبيق قوتين رئيسيتين على هذه الأداة :

— حركة دورانية حول محور رأس الحفر •

— ثقل معين يبقي رأس الحفر على اتصال دائم مع قاع البئر •

وتصل هذه القوى إلى رأس الحفر اعتباراً من سطح الأرض بواسطة مواسير
معدنية متصل بعضها ببعض من طرف ومرتبطة بأداة الحفر من طرف آخر •

وفي هذه الطريقة يتم الحفر بمساعدة سائل يدعى سائل الحفر (bowe de forage)
ويتألف هذا السائل عادة من الماء مضافاً إليه الغضار أو أملاح أخرى بنسب تختلف
تبعاً لطبيعة الأراضي المختثرة • ويقوم هذا السائل أثناء الحفر بما يلي :

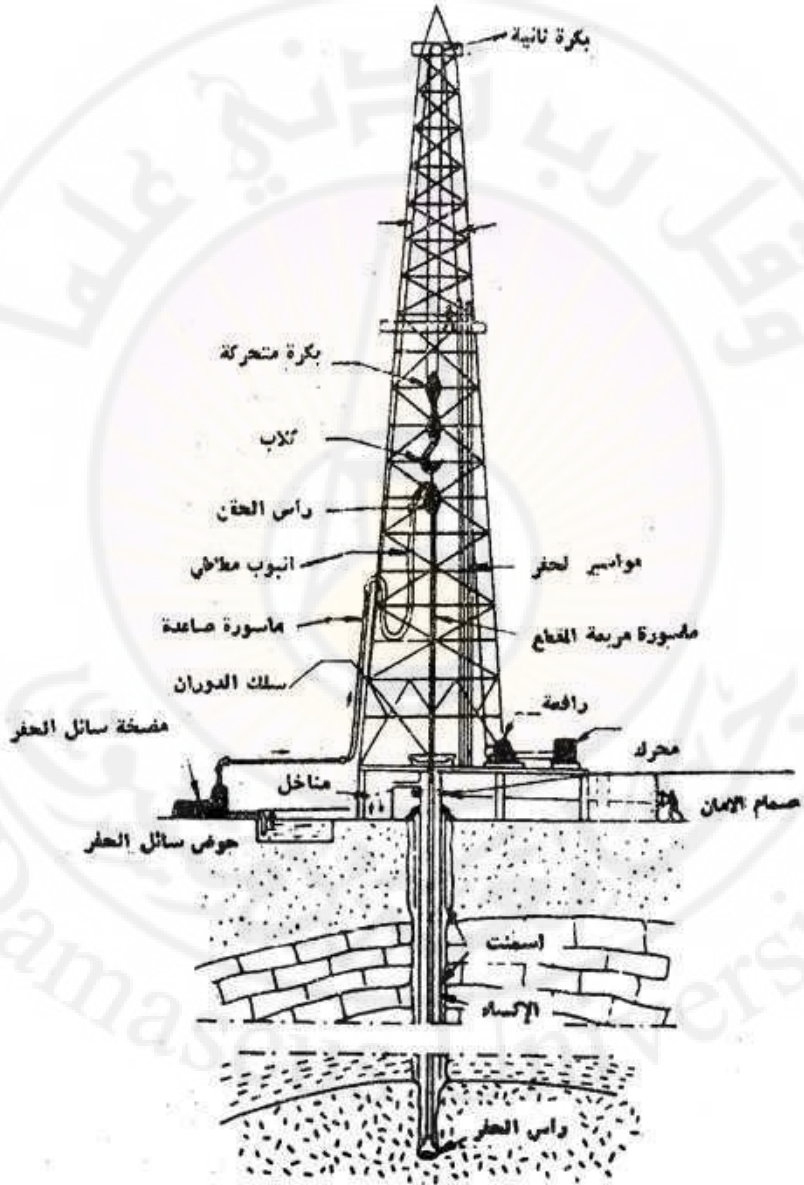
— تبريد رأس الحفر •

— رفع الفتات الناتج عن الحفر إلى السطح •

— منع تسرب الموائع من الطبقات النفوذة إلى فوهة البئر •

٢ - وصف مختصر لمجموعة الحفر بالطريقة الدورانية :

يبين الشكل (١٧٠) مجموعة الحفر بالطريقة الدورانية • وكما يتضح فإن حركة
رأس الحفر تتحقق بواسطة قطار من المواسير المعدنية المفرغة ذات مقاطع دائرية
وتتمدد هذه المواسير اعتباراً من رأس الحفر وحتى قاعدة الحفر حيث



(شكل ١٧٠) : مخطط يبين الأجزاء المختلفة لمجموعة الحفر بالطريقة الدورانية

تصل عند هذه السوية بجذع للحركة ذي مقطع مربع أو سدس • وتدور مائدة الحفر المستديرة بفعل مجموعة من المحركات وبمساعدة وسائل انتقالية من السلاسل والإطارات المسننة •

ويتفصل قطار الحفر (المواسير وجذع الحركة) مع كلاب رافع بواسطة رأس الحقن الذي يتألف من جزء متحرك متصل مع قطار الحفر ومن جزء ثابت معلق بالكلاب •

ويتم حقن سائل الحفر بشكل مستمر بواسطة مضخات تقوم بامتصاص هذا السائل من أحواض خاصة وتضخها عبر أنابيب قابلة للني (flexibles) في رأس الحقن ، ومن ثم تدفع تحت ضغط معين إلى داخل قطار الحفر • ويصل سائل الحفر إلى قاع البئر حيث يخرج عبر ثقب رأس الحفر ومن ثم يصعد إلى الفراغ الحلقي المحصور بين المواسير وجدران البئر حاملاً معه نواتج الحفر • وعند وصول السائل إلى السطح يمر على مناخل تتحرك حركة اهتزازية مما يؤدي إلى فصله عن الفتات الصخري حيث يعود بعدها إلى الأحواض • وهكذا يخضع سائل الحفر إلى دورة مغلقة ومستمرة أثناء الحفر •

وتباً للأعماق المخترقة تصنف مجموعات الحفر بالطريقة الدورانية في أربع مجموعات :

- مجموعات خفيفة : لاتتعدى قدرتها اختراق أكثر من ١٢٠٠ م
- مجموعات متوسطة : لاتتعدى قدرتها اختراق أكثر من ١٢٠٠ — ١٥٠٠ م
- مجموعات ثقيلة : لاتتعدى قدرتها اختراق أكثر من ١٥٠٠ — ٤٠٠٠ م
- مجموعات ثقيلة جداً وتتعدى قدرتها اختراق أكثر من ٤٠٠٠ م

وفيما يلي وصف موجز الأجزاء الرئيسية في مجموعة الحفر بالطريقة الدورانية .

٢- راس الحفر : Trépan

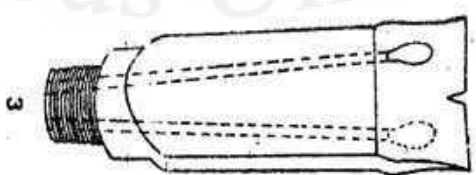
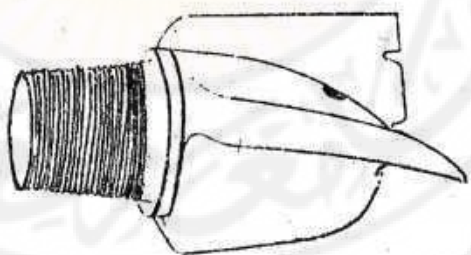
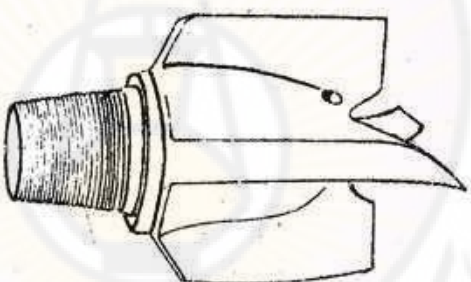
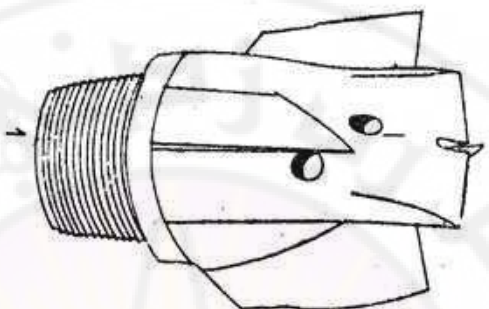
وهي الأداة التي تقوم باختراق الطبقات الجيولوجية . لهذا يجب أن يتلاءم نوع وشكل ومقاومة هذه الأداة وطبيعة الطبقات المخترقة . وهناك نوعين رئيسيين من رؤوس الحفر :

— رؤوس الحفر ذات الشفرات : وتحتوي على شفتين أو أربعة أو ست شفرات موزعة في طابقين ، ثلاثة منها في الطابق السفلي ، وهي ذات أبعاد صغيرة وتسمح بمباشرة الحفر . والأخرى في الطابق العلوي وهي ذات أبعاد أكبر وتقوم بتوسيع فوهة البئر إلى القطر المطلوب (شكل ١٧١) . ويستخدم هذا النوع من الرؤوس في حفر الأراضي الرخوة .

— رؤوس الحفر ذات الأقراص الدوارة : وتلامس قعر البئر بواسطة ثلاثة أو أربعة أقراص مسنة ، بحيث تصطدم أسنانها المصنعة من مادة عالية القساوة بقاع البئر فتخترق الصخر قاطعة أجزاء منه . والأنواع الأكثر استخداماً في يومنا هذا هي الرؤوس ثلاثية المخاريط (tricones) التي تكون الأقراص فيها متوضعة حول ثلاثة محاور تصنع مستوياتها زوايا ١٢٠° (شكل ١٧٢) . وتستخدم هذه الرؤوس في حفر الأراضي القاسية والرخوة أيضاً بحيث تحل محل النوع الأول من الرؤوس ذات الشفرات .

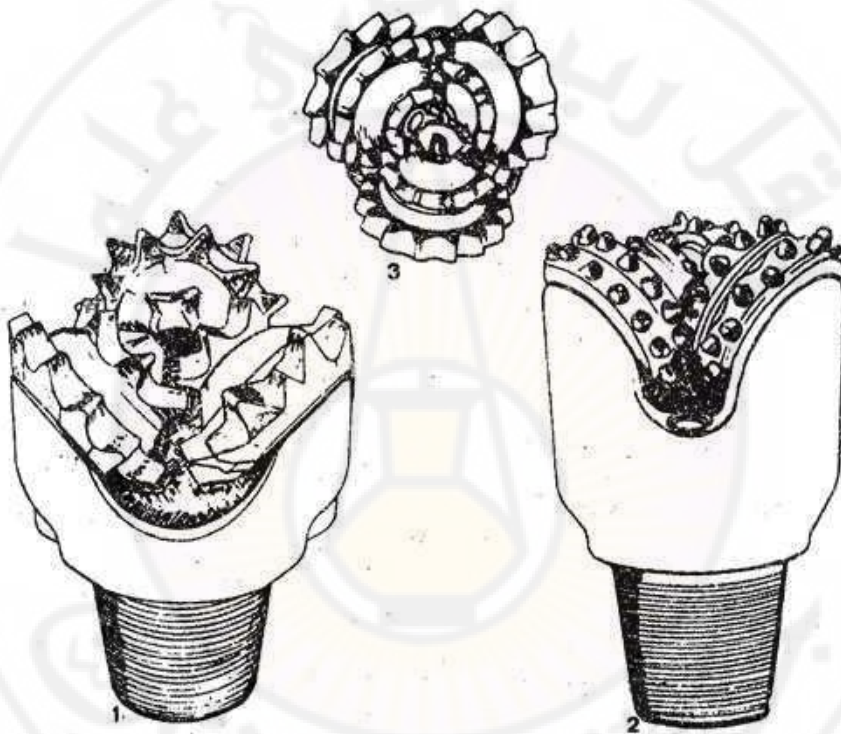
ب - مواسير الحفر Tiges de forage

وتضم مجموعتين من المواسير :



(شكل ١٧١) : مقاديس الحفر ذات الشفورات

- ١ - رأس سداسي الشفورات .
- ٢ - رأس ثلاثي الشفورات
- ٣ - رأس على شكل ذيل السمكة (شفرة واحدة) .



(شكل ١٧٢) : رؤوس الحفر ذات الأقراص الدوارة

- ١ - رأس ثلاثي الأقراص ذو أسنان زاوية (ضمنية) .
- ٢ - رأس ثلاثي الأقراص ذو أسنان هرمية .
- ٣ - مقطع في رأس ثلاثي الأقراص .

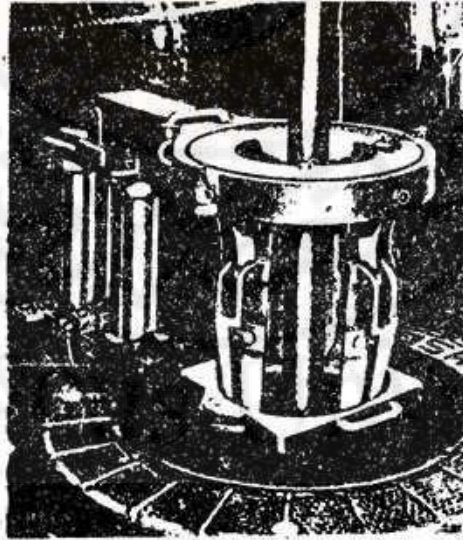
١ - المواسير التي تغلو مباشرة رأس الحفر : وهي أنابيب ذات قطر كبير ووزن ثقيل وقساوة عالية . وتصنع هذه المواسير بدقة كافية من خلائط خاصة من الفولاذ والكروم والنيكل أو من الفولاذ

والكروم والموليدن • ومن ثم تعالج حرارياً لرفع درجة قساوتها إلى ٩٠ - ١٠٠ كغ/مم^٢ • وعادة ماتكون جدران هذه المواسير مصقولة من الخارج • وجرت العادة على وضع مايقارب المئة متر أو أكثر منها فوق رأس الحفر • إلا أنه يجب أيضاً المحافظة على وزن معين لكثرة هذه المواسير •

٢- المواسير الأخرى : وهي أنابيب مصنعة من الفولاذ المحمي بأطوال وأقطار خارجية وداخلية محددة من قبل المعهد الأمريكي للبترول • وتقوم هذه المواسير بنقل الحركة الدورانية من مائدة الحفر إلى رأس الحفر •

ج - مائدة الحفر Table de forage

وتتألف من قاعدة ضخمة (plate - forme) مثبتة على ارتفاع ثلاثة أو أربعة أمتار تقريباً من سطح الأرض مما يسمح بوضع صمامات أمان في فوهة البئر



(شكل ١٧٢) : مائدة الحفر الدورانية

عند سطح الأرض . وتحتوي هذه القاعدة في جزئها المركزي على مائدة مستديرة قابلة للحركة بشكل دوراني (شكل ١٧٣) ، وتبلغ سرعة دوران هذه الطويلة ٤٠ - ٥٠ دورة في الدقيقة ، ويمكن أن تصل هذه السرعة إلى ٣٠٠٠ - ٤٠٠٠ دورة في الدقيقة .

هذا على القارة ، أما في البحار فإن قاعدة الحفر لا تكون مثبتة وإنما تحصل بواسطة سفن راسية أو بواخر متحركة مصنعة لهذا الغرض ، أو تثبت أحياناً على قاع البحر أو تبقى عائمة في الأجزاء السطحية من الماء وذلك تبعاً لسماكة الطبقة المائية والتيارات المائية السائدة في موقع الحفر (شكل ١٧٤) .

د - رأس الحقن Tête d' injection

يمكن أن يصنف هذا الجزء ضمن مجموعة الأقسام التي تعمل على تحريك سائل الحفر ، كما يمكن إلحاقه بالأجزاء ذات الحركة الدورانية . وفي الواقع فإن رأس الحقن يقوم ببلور مزدوج حيث يساعد على :

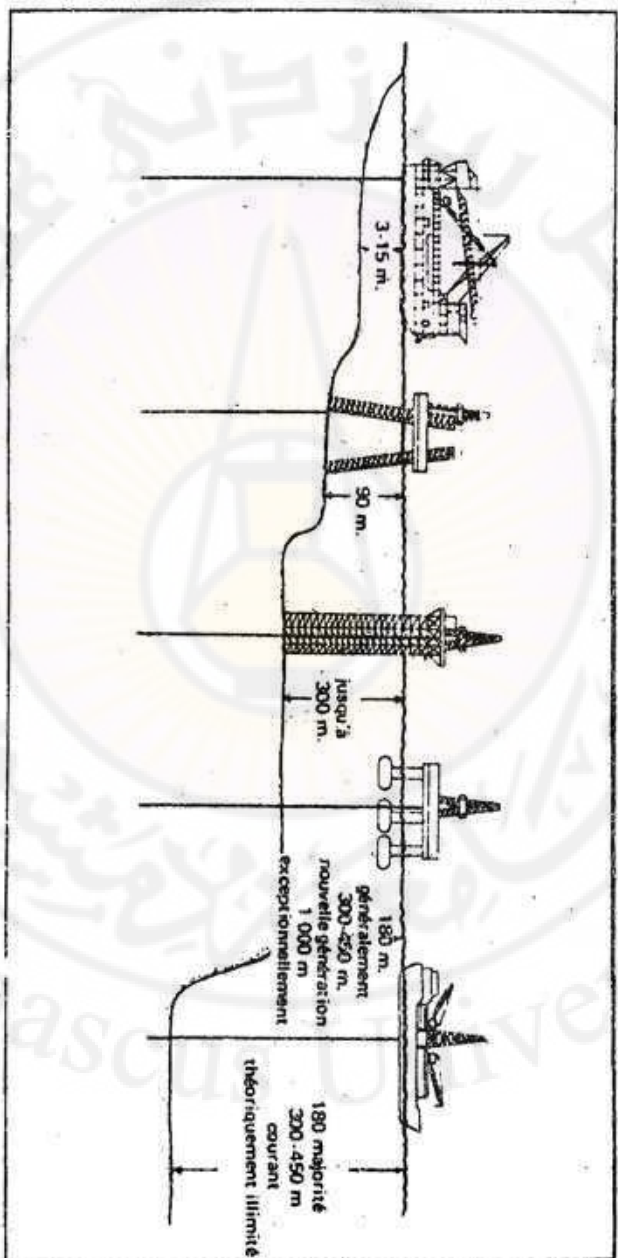
— دوران مجموعة قطار الحفر .

— إمرار سائل الحفر وادخاله ضمن مجموعة مواشير الحفر .

وكما ذكرنا فإن هذا الرأس يتألف من جزء خارجي ثابت وجزء داخلي متحرك متصل مع الجذع مربع أو سدس المقطع .

٢ - الأعمال المرافقة للحفر البئر

يرافق عملية حفر البئر مجموعة من الأعمال تساعد في الحصول على معطيات جيولوجية مباشرة ، كما تسمح بتجهيز واستكمال حفر البئر تبعاً لهذه المعطيات .



(شكل ١٧٤) : تقنيات الحفر في البحار

وأهم هذه الأعمال : استخلاص اللباب الصخري ، إجراء تجارب الاتساج ، اكساء البئر ، المسنتة . وفيما يلي شرح موجز لكل منها :

٢ - استخلاص اللباب الصخري Le carottage

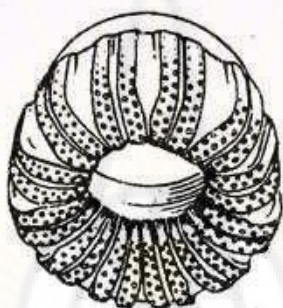
يؤخذ من السويات الخازنة والمغطاة أثناء اختراقها بالآبار الاستكشافية لباب صخري (carottes) . وتسمح هذه العينات بالتأكد من الأعماق المخترقة ، والتعرف عن كسب على بنية التشكيلات وسحبها الرسوبية وخصائصها البتروفيزيائية وقدراتها النفطية . كما تمكن من القيام بأعمال المقارنة والربط الجيولوجي بين الآبار المحفورة في بنية معينة . ويتم الحصول على اللباب الصخري بقطع عينات اسطوانية الشكل تختلف في أقطارها وأطوالها تبعاً لقطر البئر وعمقه . ويتراوح قطر هذه العينات بين $2\frac{1}{2}$ و 5 بوصة (١ بوصة = ٢٥.٤ مم) . أما طول الواحدة منها فيساوي تسعة أمتار تقريباً (وهو طول المواسير الواقعة فوق رأس الحفر مباشرة) .

وتسخر لهذا الغرض أجهزة (carottiers) مختلفة المواصفات وذات تقنيات متعددة ، أكثرها بدائية الأنابيب البسيطة ذات النهايات المسنتة أو المصقولة التي تقوم بقطع الصخر بطريقة الدق أو الدوران . إلا أن استخدام هذه الطريقة القديمة ينحصر على الآبار القليلة العمق .

وفي الآبار العميقة تستخدم تقنيات أكثر حداثة ، حيث يتألف جهاز أخذ اللباب فيها من أنبوبين : خارجي يتصل في جزئه العلوي مع مجموعة مواسير ويحمل في جزئه السفلي شفرات قاطعة أو أقراص دوارة ، وداخلي يعمل على حماية العينة المقطعة من تأثير سائل الحفر الذي يصعد في هذه الحالة بين الأنبوبين .

كما أن هناك تقنيات أخرى تستخدم أجهزة تتحرك داخل مواسير الحفر

دون تحريك هذه الأخيرة • وتتألف هذه الأجهزة من أنبوب قسمه السفلي مجهزة بتاج مسنن مثبت عليه شفرات أو أقراص دوارة تقوم بقطع الصخر • ومهما كانت طريقة الحصول على اللباب الصخري فإن قطع الصخر يتم باستخدام قاطعة الماسية (شكل ١٧٥) ، حيث يساعد الألماس على اختراق و قطع الأراضي القاسية



(شكل ١٧٥) : قاطعة لباب الماسية

جداً (كوارتزيت - كونغوميرا - غرانيت) ، ويمكن هذا النوع من القواطع من الحصول على كامل مردود العينات الصخرية المقتطعة ونسبة تقترب من ١٠٠٪ في الأراضي الرخوة وبخاصة الخازنة منها • أما في التشكيلات عديمة التماسك (الرمال) فإن استخلاص العينات يتم بمساعدة أنابيب مطاطية تقوم بالضغط على العينة وتمنعها من الهبوط أثناء صعودها •

وبالإضافة إلى التقنيات المستخدمة في الحصول على اللباب الصخري بشكل شاقولي ، فإن هناك أجهزة وتقنيات أخرى تسمح بأخذ عينات أفقية من جدران البئر بعد حفره سواء كان ذلك بالصدم أو بالدوران • وتبلغ أقطار هذه الاسطوانات الصخرية المقتطعة $\frac{2}{3}$ البوصة وتتراوح أطوالها بين $1\frac{1}{2}$ - $2\frac{1}{4}$ بوصة • ومن ميزات هذه العينات الأفقية كونها غير متأثرة بتيار سوائل الحفر • إلا أن

المعلومات الدقيقة التي تقدمها القياسات الجيوفيزيائية البئر الكهربية والنوعية في هذا المجال تقلل من اللجوء إلى أخذ مثل هذه العينات •

ب - تجارب الإنتاج Essais de production

عندما تبدي تشكيلة مختربة قرائن نفطية (آثار من الزيت أو الغاز في الفتات أو اللباب الصخري أو في سائل الحفر) فإنه يتحتم إجراء تجربة إنتاجية ولو لمدة قصيرة وذلك لتحديد الإمكانية النفطية لهذه التشكيلة ، وتوجيه المرحلة اللاحقة من مراحل حفر البئر • وتجري هذه التجربة أثناء الحفر بواسطة جهاز خاص يدعى الفاحص (testeur) • ويألف هذا الجهاز من مجموعة من الأجهزة الأسطوانية متصل بعضها ببعض ومثبتة في الطرف الأسفل من قطار مواسير الحفر • كما يحتوي الفاحص في داخله على مجموعة من الصمامات تمنع من دخول الموائع إليه من الأسفل وانتقالها إلى الأعلى • أما في قسمة الخارجي فيحتوي في الجزء الأسفل منه على أداة تسمى بالباكسر « packer » ذات خصائص عزل جيدة ويمكن تثبيتها بقوة على جدران البئر •

فإذا أنزل الفاحص في البئر وأرسي الباكسر على جدران التشكيلة المراد اختبارها فإن هذه التشكيلة لن تكون عرضة للضغط الهيدروستاتيكي لسائل الحفر وإنما ستكون تحت تأثير الضغط الجوي فقط وذلك عند فتح الصمام الرئيسي الذي يصل المواسير بسطح الأرض •

- استخدامات الفاحص :

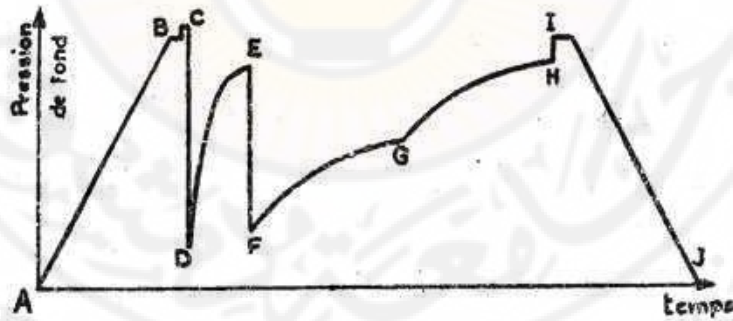
يستخدم الفاحص في الأغراض التالية :

- ١ - التأكد من إنتاج طبقة حين اختراقها أثناء حفر البئر •

- ٢ - التأكد من إنتاج طبقة كانت قد اخترقت سابقاً واخذ منها لباب صخري .
- ٣ - اختبار إنتاج طبقة مضى على اختراقها زمن طويل وأشارت القياسات الكهربائية إلى أهميتها النفطية .
- ٤ - اختبار إنتاج طبقة عبر ثقب ببطانة البئر (مواسير الإكساء) قبل تجهيزه نهائياً للإنتاج .
- ٥ - التأكد من درجة العزل بعد عملية السمنتة .
- ٦ - تحديد كمية الغاز المنحل (GOR) في أجزاء مختلفة من تشكيلة منتجة .

- مراحل تجربة الإنتاج :

- تتوقف تجربة الإنتاج على معرفة تغيرات قيم الضغط مع الزمن .



(شكل ١٧٦) : تغيرات الضغوط أثناء تجربة الإنتاج

وبوضح المخطط التالي (شكل ١٧٦) هذه التغيرات تبعاً للمراحل المختلفة من التجربة حيث :

- A,B : تغير الضغط عند ازالة القاحص في البئر المملوءة بسائل الخفر .

C : ارتفاع مفاجيء في الضغط نتيجة إرساء الباكر ، ويعود سببه هذه القفزة في الضغط إلى انضغاط سائل الحفر الواقع خلف الباكر .

C,D : إنخفاض الضغط بسبب فتح الصمام الرئيسي ، الأمر الذي يؤدي إلى إنتاج الطبقة لحجم معين في غرفة مملوءة بالهواء حيث يسود الضغط الجوي .

D,E : عودة الضغط للارتفاع بعد تدفق قليل . ويمثل الضغط في النقطة E ضغط المكمن (PG) .

E,F : تغير الضغط نتيجة فتح الفاحص ، الأمر الذي يؤدي إلى اتصال قاع البئر مع السطح .

F,G : ارتفاع الضغط نتيجة تدفق الطبقة في البئر ، وهذا ما يؤدي إلى ارتفاع سوية الزيت فيه .

C,H : ارتفاع الضغط إلى القيمة H (ضغط الطبقة = PG) عند إغلاق الفاحص .

H,I : عودة تأثير ضغط سائل الحفر على الطبقة بعد إزالة الباكر .

I,J : الضغط عند إخراج الفاحص .

هذا وتسمح تجارب الضخ بالحصول على المعلومات التالية :

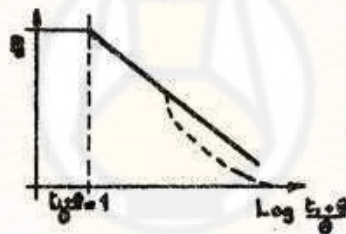
١ - ضغط المكمن (PG) . وهو الضغط في النقطة E وذلك بعد تدفق قصير . ويعبر عن ارتفاع الضغط بالملاقة التالية :

$$PG - P = \frac{\gamma Q F}{4 \pi h k} \text{Log} \cdot \frac{t_1 + \theta}{\theta}$$

حيث :

النفوذية = k	فرق الضغط = $P_G - P$
الارتفاع المنتج = h	لزوجة السائل = η
زمن الإغلاق = θ	التدفق = Q_F
	زمن التدفق = t_1

فيإذا رسم على ورق نصف لوغاريتمي المنحنى $p, \log \frac{t_1 + \theta}{\theta}$ ، فإن
استكمال الجزء المستقيم منه إلى القيمة $1 = \frac{t_1 + \theta}{\theta}$ يعطي قيمة ضغط المكمن P_G
(شكل ١٧٧) .



(شكل ١٧٧) : ضغط المكمن

٢- قدرة المكمن الانتاجية (I) : وتحدد بالعلاقة التالية :

$$I = \frac{2 \pi h K}{\eta \log \frac{R}{a}} = \frac{Q}{P_G - P_F}$$

- ريف
- ط في قاع البئر
- قطر البئر = a

تقوم أثناء حفر البئر باختراق تشكيلات صخرية مختلفة ، إما ضعيفة التماسك (لحقيات - رمال) أو قابلة للانتفاخ (غضار) أو للانحلال في الماء (أملاح) أو للتشقق (كلس) . كما أن بعض هذه التشكيلات تحتوي على موائع (غاز - زيت - مياه محملة بالأملاح) تستطيع اجتياح البئر . لذا فإنه من الضروري تدعيم جدران البئر لتجنب أخطار الإنهيارات ولعزل الطبقات الحاملة للموائع لمنع تسرب هذه الأخيرة إلى فوهة البئر والتي قد يؤدي اندفاعها إلى أخطار جسيمة . ويتحقق هذا بإكساء الآبار الاستكشافية أو الانتاجية .

وتتم عملية الإكساء بتبطين جدران البئر بمواسير مصنعة من الفولاذ المحمي والمقاوم للتوتر والانحراخ والتكسر . وتختلف أقطار هذه المواسير بين ٤ و ٣٠ بوصة ، بحيث تتناقص مع عمق الإكساء .

وتبعاً للعمق فهناك مراحل متتالية من الإكساء :

- ١ - الإكساء السطحي : ويقتصر على عدة أمتار (١٠ أمتار تقريباً) اعتباراً من سطح الأرض . ويسمح هذا الإكساء بزل الأراضي السطحية وبدء الحفر الفعلي .
- ٢ - الإكساء التحت سطحي : ويستمر إلى أعماق ٢٥٠ - ٣٥٠ م تبعاً للطبقات المخترقة . ويهدف هذا الإكساء إلى حجز المياه السطحية بشكل رئيسي .
- ٣ - الإكساء الانتقالي : ويستمر إلى حدود الطبقات المنتجة . ويهدف إلى حماية البئر من تدفق المياه الجوفية والزيوت والغازات القادمة من الطبقات الواقعة تحت منطقة الإكساء التحت سطحي . إلا أنه يجب الإقلال ما أمكن من هذا الإكساء واقتصراره على الحالات الجيولوجية الضرورية كحالة تواجد طبقات ملحية أو سويات مشققة يؤدي وجودها إلى فقدان سائل الحفر .

٤ - الإكساء الاتاجي : يقتصر على الآبار الاتاجية ، إلا إذا خضعت الآبار الاستكشافية لخطط الاستثمار فتبطن الطبقات المنتجة فيها ومن ثم تثقب بعد تثبيتها في البئر . وعند كون التشكيلات الخازنة ذات قساوة عالية (الكلس المبلور - الأحجار الرملية) فإن الإكساء يتوقف عند السطح العلوي من الطبقة دون إكساء الجزء المنتج منها ، وهذا يقلل من فقدان الموائع لطاقتها عند وصولها للبئر .

د - السمطة La cimentation

تجري السمطة بعد إكساء البئر ، حيث يملأ الفراغ الحلقي بين جدران البئر ومواسير الإكساء بمادة اسمنتية تحقق بواسطة مضخات خاصة . ويمكن أن تكون السمطة مستمرة وتملأ كامل الفراغ الحلقي بدءاً من قاع البئر وحتى سطح الأرض ، كما يمكن أن تكون جزئية حيث تقتصر على سويات معينة (شكل ١٧٨) .

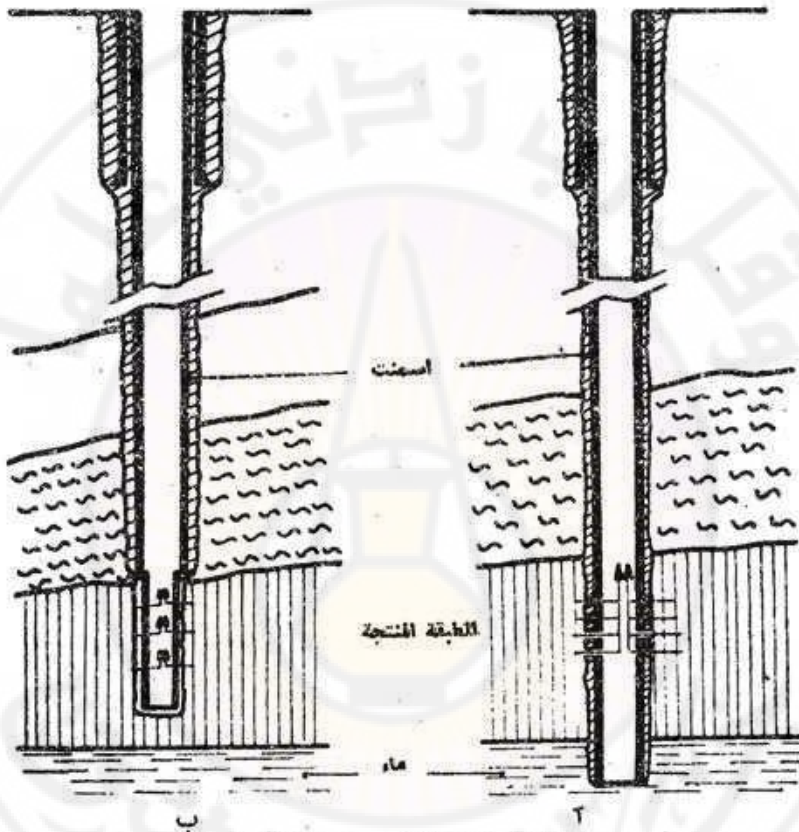
ومهما كانت طريقة السمطة فإن هذه العملية تهدف إلى مايلي :

- ١ - عزل الطبقات الجيولوجية بعضها عن بعض وإغلاق السويات النفوذة منها :
- ٢ - تثبيت مواسير الإكساء على جدران البئر والمساعدة على تثبيتها .
- ٣ - حماية مواسير الإكساء من الضغوط الخارجية والداخلية ومن الاهتراء تحت تأثير الأفعال الكيميائية .

لذا فإنه من الضروري أن يحقق الإسمنت المستخدم الشروط العظمى من المقاومة الميكانيكية والكيميائية والعزل . وهناك أنواع مختلفة من الإسمنت تختلف في سرعة جفافها . كما يجب التأكد من نجاح هذه العملية وإعادتها عند الحاجة أو تدعيمها بسمطة أفقية حتى يتحقق العزل التام .

٢ - أساليب الحفر Techniques de forage

جرت العادة على حفر الآبار حسب محور شاقولي . إلا أنه يمكن أيضاً

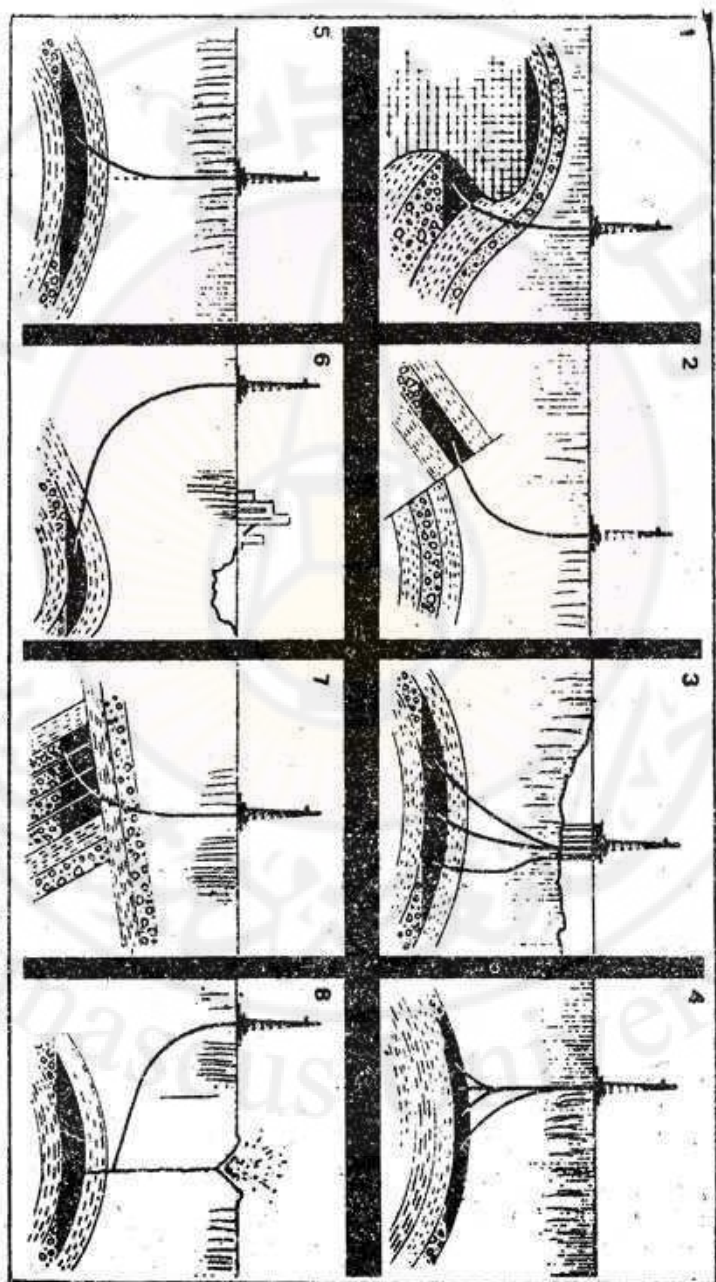


(شكل ١٧٨ : الإسمنت في الآبار)

- أ - أسمنت متصل على طول امتداد البئر .
 ب - أسمنت مقتصر على السويات الواقعة فوق الطبقة المنتجة .

توجيه الحفر بشكل مائل بالنسبة للمحور الشاقولي وذلك اعتباراً من نقطة تقع على عمق معين من سطح الأرض . ويعمد إلى هذا الأسلوب في الحفر عندما يصعب الوصول إلى الهدف بمتابعة الحفر بشكل شاقولي ، كما في حالة البحث عن أهداف تقع تحت أراض جبلية وذات تضاريس شديدة الإلتواء أو تحت المناطق المأهولة أو في حالة الحفر في شواطئ أو أعماق البحار (شكل ١٧٩) .

ومن ميزات هذه الطريقة أنها تسمح بحفر عدة آبار انطلاقاً من موقع واحد على سطح الأرض ، وهذا أمر مفيد في حالة الحفر في نقاط معينة في البحار . كما تسمح



بالوصول وفي أفضل الشروط إلى الطبقات المنتجة عند التنقيب في أطراف القباب الملحية وفي المكامن الفالقية أو في المصائد الطبقيّة .

وهناك حالة خاصة من حالات الآبار المائلة وهي الآبار ذات الانحراف الموجه (*déviati on dirigée*) التي يحرف محور البئر فيها عن مساره الطبيعي للأسباب التالية :

١ - إما لإعادة محور الحفر إلى الإتجاه الشاقولي بسبب انحراف هذا الإتجاه .

٢ - أو للتمكن من متابعة حفر بئر سدت قاعه نتيجة سقوط أداة من أدوات الحفر وتعذر اصطياها بالطرق المعتادة .

ولتحقيق هذا النمط من الحفر تنزل في البئر أداة موجهة تقوم اعتباراً من عمق معين بحرف مسار الحفر حسب الإتجاه (*azimute*) المطلوب . ويستمر حرف محور البئر عن مستواه الشاقولي تدريجياً أثناء متابعة الحفر إلى أن يتم الوصول إلى الانحراف المطلوب .

→ (شكل ١٧٩) : الحفر المائل - حالات وأهداف مختلفة -

- ١ - الصخر الخازن يقع تحت قبة ملحية لها شكل الفطر .
- ٢ - الصخر الخازن يقع في مقدمة الجزء المائل بالنسبة للغالق .
- ٣ - استثمار ممكن بحري انطلاقاً من موقع حفر واحد .
- ٤ - التنقيب عن النفط انطلاقاً من بئر استكشافية واحدة .
- ٥ - حرف محور البئر إثر حادث وقع أثناء الحفر .
- ٦ - الحفر في منطقة لا يمكن الوصول إليها بطريقة الحفر الشاقولي .
- ٧ - استثمار مجموعة من السويات الخازنة ببئر واحدة .
- ٨ - بئر لمنع التسرب الفازي (شريطة معرفة اتجاه التسرب بدقة) .

الفصل الثالث

الانتاج

La production

مقدمة :

يهدف الانتاج الى استخلاص الموائع النفطية من السويات الخازنة ونقلها بعد معالجتها الى مراكز التكرير (المصافي) • وتستخدم في هذه المرحلة كافة التقنيات التي تؤدي الى الحصول على أكبر نسبة ممكنة من الفحم الهيدروجينية الموجودة في المصائد ، والتي تسمح بتزويد المصافي بأكبر كمية من النفط الصالح للتسويق •

ولتحقيق هذه الأمور يجب توفر مايلي :

- نبط استثمار وأجهزة استخلاص تحقق إنتاجاً جيداً •
- إمكانية إرسال النواتج الى مركز المعالجة •
- مصنع للإنتاج تتم فيه معالجة وخزن النواتج لتصدر فيما بعد إلى مراكز التصفية والتسويق •
- صيانة للآبار ورفع طاقتها الانتاجية بشكل يسمح بالمحافظة على معدل الإنتاج أو زيادته •

وقبل الحديث عن الطرائق المتبعة في الإنتاج فإنه من المفيد معرفة كيفية حدوث الاتصال بين البئر والطبقة المنتجة •

١ - أنماط الإتصال بين البئر والطبقة المنتجة .

يتحقق الإتصال بين فوهة البئر والطبقة المنتجة بأسلوبين رئيسيين :

٢ - الإتصال بإيقاف الإكساء عند قمة التشكيلة الخازنة :

وتستخدم هذه الطريقة عندما لا تكون هناك صعوبات خاصة ، كخطر تسرب الغاز من القبة الغازية أو خطر اجتياح المياه من طبقة واقعة تحت الطبقة الحاملة للنفط . ولا تتخذ في هذه الطريقة أية إجراءات في حال كون جدران الطبقة النفطية متماسكة أما في حالة كون هذه الجدران قابلة للانحيار (حالة رمال غير متماسكة) فتتخذ إحدى الإجراءات التالية :

— تدعيم جدار التشكيلة بالمواسير المثقبة .

— استخدام المنقيات التي تكون إما على شكل تجمعات من الحصى أو قطع من الزجاج أو على شكل اسطوانات من مواد بلاستيكية مسامية ونفوذ أو أسرة من المناخل المعدنية .

— تدعيم الرمال بصمغ ذات درجات تماسك حرارية معينة .

ب - الإتصال بإكساء التشكيلة بالمواسير والاسمنت (شكل ١٧٨ - ٢ -) :

حيث تثقب المواسير والمادة الإسمنتية بشكل يسمح بجريان الموائع عبرها . ومن ميزات هذه الطريقة أنها تسمح باختيار السوية التي نرغب الإنتاج منها . وفي حالة تسرب الرمال فيمكن استخدام أحد الإجراءات المشار إليها في الطريقة الأولى .

٢ - طرائق الإنتاج : Méthodes de production

يتم الإنتاج الأولي بثلاث آليات : الإنتاج التلقائي - الإنتاج بالضغط - الإنتاج بدفع الغاز .

٢ - الآبار ذات التدفق الذاتي (التلقائي) : Les puits eruptifs

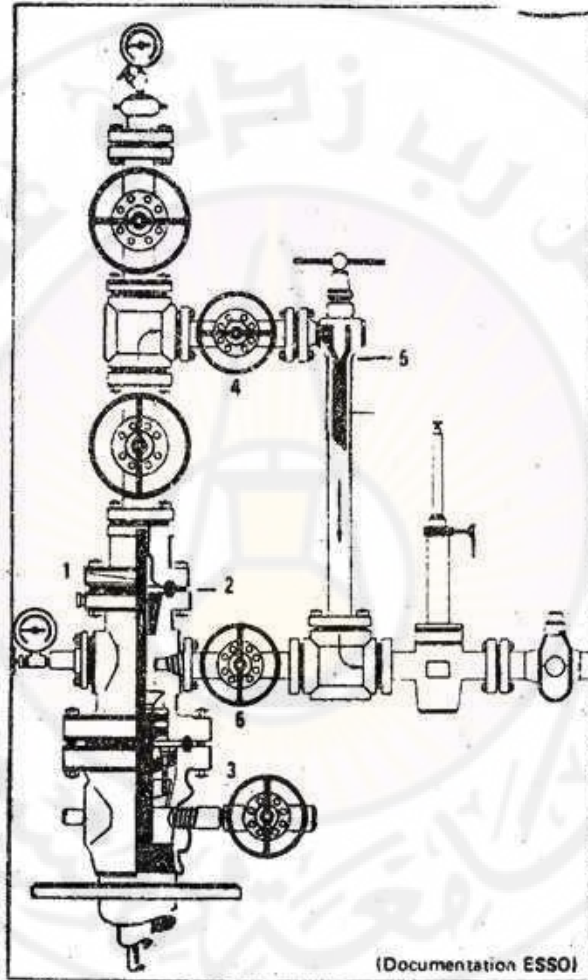
وهي الآبار التي يكون فيها ضغط الطبقة المنتجة (الممكن) أعلى من الضغط المطبق على هذه الطبقة من قبل الموائع الموجودة في البئر ، أي $PG > PS$ ويختلف التدفق الذاتي تبعاً للفرق بين هذين الضغطين ، كما يتأثر بفقدان الموائع لجزء من طاقتها أثناء إنتقالها الى السطح عبر أنابيب الإنتاج .

- أنابيب الإنتاج : Le tubing

تقوم هذه الأنابيب بنقل الموائع من البئر الى السطح ، كما تسمح بمراقبة وصيانة البئر دون أن يؤدي ذلك الى ضياع كبير للطاقة . وفي حالة الجريان ثنائي الطور فإن اختيار الأنابيب ذات القطر المناسب يقود الى فقدان أصغري لطاقة الموائع المتدفقة . وعادة ماتستخدم الأنابيب ذات الاقطار الخارجية التي تتراوح بين $\frac{3}{4}$ - ٢ - ٤ بوصة . أما أطوال هذه الأنابيب فتتراوح بين ٦١٠ - ٩٧٥ م .

- رأس البئر : La tête de puits

تجهز كافة الآبار التي تنتج تحت تأثير الضغط الطبيعي أو بالمحافظة على ضغط الممكن برأس يعرف باسم شجرة الميلاد (شكل ١٨٠) . ويصل هذا الرأس بين الطبقات المنتجة عن طريق أنابيب الإنتاج (tubing) وبين مركز الاستثمار بواسطة أنابيب التصريف (flow - Line) ، حيث تثبت أنابيب الإنتاج في الجزء السفلي من رأس البئر . أما جزئه العلوي فهو يحتوي عادة على ذراعين مجهزتين بصنابير أفقية تسمح بتنظيم التدفق تبعاً لبرنامج الإنتاج . وفي منطقة اتصال رأس البئر بأنابيب التصريف توجد أيضاً صنابير محورية تقوم الرئيسية منها بإغلاق البئر . كما أن هناك صنابير أفقية تتصل بالتالي مع الفراغات الحلقية بين مختلف مواسير الإكساء وأنابيب الإنتاج .



(شكل ١٨٠ : رأس البئر (شجرة الميلاد))

- ١ - مواسير الإنتاج .
- ٢ - نقطة ارتكاز مواسير الإنتاج .
- ٣ - الفراغ الحلقى .
- ٤ - صنبور الإنتاج عن طريق المواسير (مفتوح) .
- ٥ - منظم الإنتاج .
- ٦ - صنبور الإنتاج عن طريق الفراغ الحلقى (مغلق) .

ب - آبار الضخ : Les puits en pompage

عندما يكون ضغط الطبقة أو الطبقات المنتجة أدنى من ضغوط الموائع المطبقة عليها في البئر ($PG < PS$) فإننا نلجأ إلى الإنتاج بواسطة الضخ . ويعتمد مبدأ الضخ على خلق طاقة كافية تحرر الطبقة المنتجة من القوى الخارجية المؤثرة عليها مما يسمح بتدفق موائعها إلى ارتفاع معين في البئر . ويتم الضخ بأساليب مختلفة:

— ضخ بواسطة مضخات ذات مكابس وجذوع تعمل على السطح بواسطة وحدة الضخ .

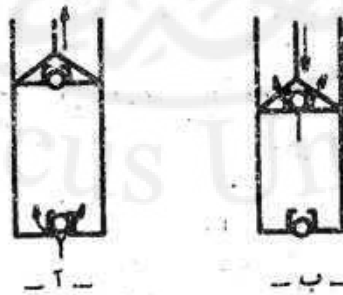
— ضخ هيدروليكي ، تعمل فيه المضخة ذات المكابس الموجودة في البئر بواسطة مضخة أخرى تعمل اعتباراً من السطح بفعل حركة الزيت .

— ضخ بواسطة مضخات كهربائية غاطسة .

— ضخ اهتزازي يخلق هزات شاقولية في أنابيب الإنتاج .

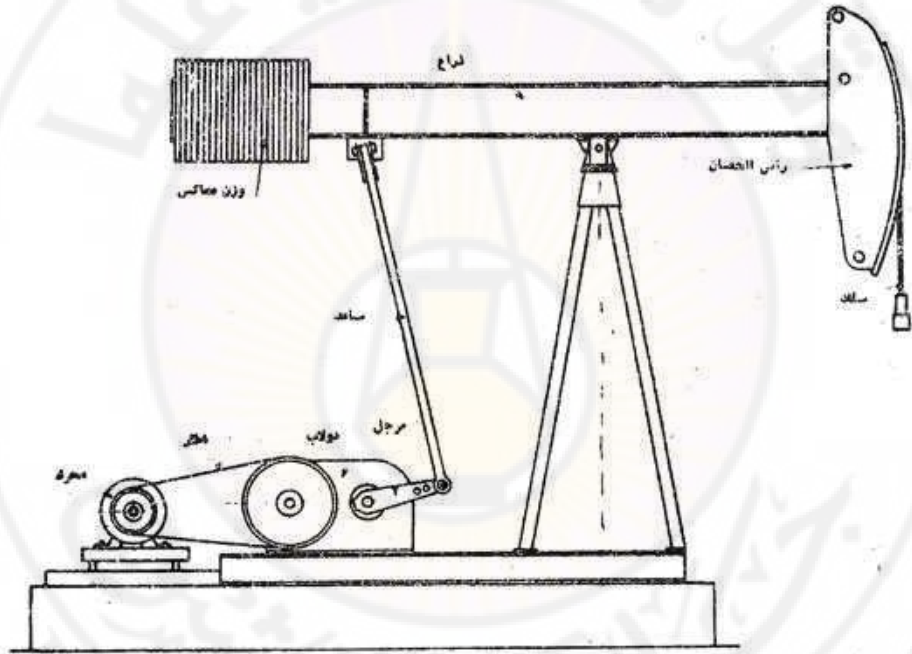
والطريقة الأولى هي الأقدم والأكثر استخداماً في عصرنا الحالي ، وتستخدم حتى أعماق ٣٠٠٠ م .

وحسب هذه الطريقة يرتفع الزيت إلى السطح بواسطة مكبس يتحرك ضمن اسطوانة مزودة بسدادات . فعندما يرتفع المكبس تصبح السدادة المتحركة مغلقة وتحمل السوائل وزن المائع الواقع فوق المكبس مما يسمح لضغط الطبقة بدفع السدادة الثابتة فتمتلئ الاسطوانة (شكل ١٨١ - أ -) . وعندما ينخفض



(شكل ١٨١) : آلية الضخ بواسطة مكبس اسطوانتي مزودة بسدادات

المكبس تصبح السدادة الثابتة مغلقة والسدادة المتحركة مفتوحة وتحمل عندئذ أنابيب الإنتاج وزن المائع (شكل ١٨١ - ب -) • ويعمل الجزء المتحرك بمساعدة بسواعد متصلة إما بجزء متأرجح (وهو الأكثر شيوعاً) أو برافعة هيدروليكية • والشكل (١٨٢) يبين الأجزاء الرئيسية لوحدة الضخ المستخدمة في هذه الطريقة •

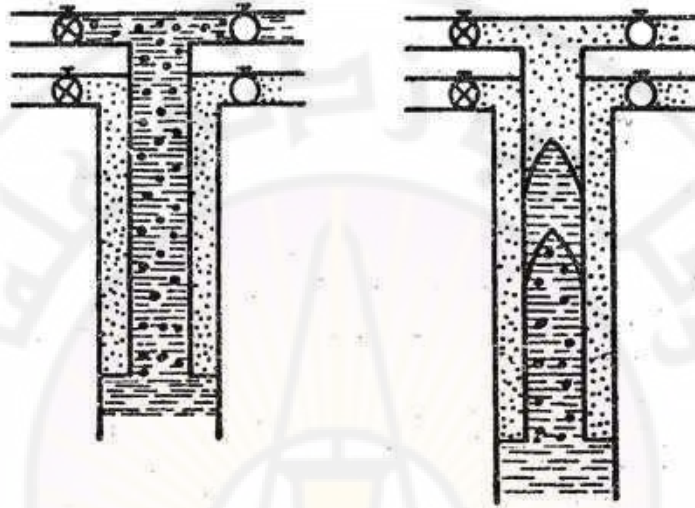


(شكل ١٨٢) : وحدة الضخ

ج - الإنتاج بدفع الغاز : Le gaz - lift

تهدف هذه الطريقة كما هو بالنسبة للإنتاج بالضغط إلى تخفيض الضغط المطبق على الطبقة المنتجة والسماح لها بتدفق أعظمي • وتحقق هذه الطريقة بأسلوبين (شكل ١٨٣) •

- ١ - الحقن المستمر : ويتم بإرسال غاز مضغوط عبر الفراغ الحلقي بين مواسير الإكساء ومواسير الإنتاج • حيث يمتزج هذا الغاز مع الزيت في



- أ -

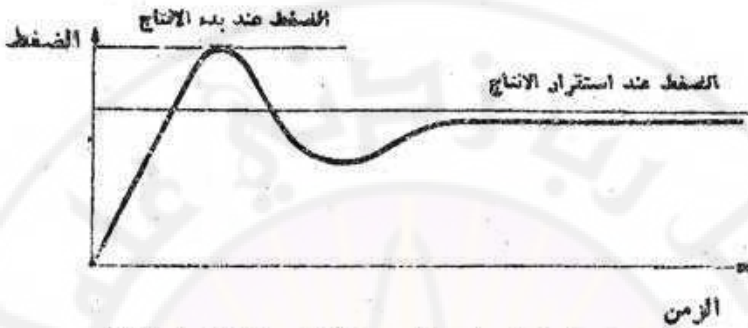
- ب -

(شكل ١٨٣) : الإنتاج بدفع الغاز (gaz - lift)

أنابيب الإنتاج مما يساعد على رفع الزيت • وهذا ما يؤدي إلى نقصان الضغط المطبق على الطبقة مما يسمح لها بالتدفق (شكل ١٨٣ - أ -)
ويطبق هذا الأسلوب خصوصاً على الآبار التي تتميز بمعامل إنتاج مرتفع •

٢ - الحقن المتقطع : ويتم بإرسال غاز مضغوط على دفقات متقطعة ومنتظمة ضمن مواسير الإنتاج • حيث يرفع هذا الغاز كمية من الزيت إلى السطح • وهذا ما يساعد على تدفق الطبقة المنتجة (شكل ١٨٣ - ب -)
ويطبق هذا الأسلوب عموماً على الآبار التي تتصف بمعامل إنتاج ضعيف •

والشكل (١٨٤) يبين تغيرات ضغط الغاز المحقون خلال الإنتاج • ففي بدء عملية الحقن يرتفع الضغط بسبب دفع الغاز للزيت في مواسير الإنتاج • ويزداد ارتفاع الضغط طالما أن الزيت لا يصل إلى السطح • وعند بدء الإنتاج فإن حجماً



(شكل ١٨٤) : تغيرات الضغط عند الإنتاج بطريقة دفع الغاز

من الغاز يحل محل حجم مساو له من الزيت المنتج وهذا ما يؤدي إلى نقصان الضغط . وتأتي مرحلة يتساوى فيها ضغط موائع البئر وضغط الغاز المحقون ومن ثم يصبح الفارق سلبياً وهذا ما يحمل الطبقة على الإنتاج . ويكون الانتاج في البدء ضعيفاً ولا يعادل المستثمر على السطح . ويتابع انخفاض الضغط بالتدريج ويزداد في مقابل هذا الارتفاع تدفق الطبقة . ويرافق هذا ارتفاع في الضغط إلى أن يثبت هذا الأخير عندما تتساوى كمية الزيت الموجودة في آبار الإنتاج والكمية التي تصل إلى السطح . ويسمى هذا الضغط بضغط الانتاج .

٣ - الاستثمار الثانوي : La récupération secondaire

يؤدي اتساع انتشار الموائع في الطبقات إلى عدم التمكن من استثمار إلا الجزء القليل من الزيت المتواجد في المكمن في أغلب الحالات . وهذا ما يحل إلى البحث عن طرائق تمكن من استثمار معظم احتياطي المكمن أو ما يسمى بعملية غسل أمثل للمكمن . وتسمى هذه الطرائق بطرق الاستثمار الثانوي وذلك لكونها لا تستخدم إلا بعد مرحلة الاستثمار الأولى بالطرق الطبيعية التي أتينا على ذكرها . إلا أن هذه الطرائق غالباً ما توضع حيز التنفيذ مع بدء استثمار المكمن وقبل أن يتوقف الانتاج نتيجة انخفاض الضغط .

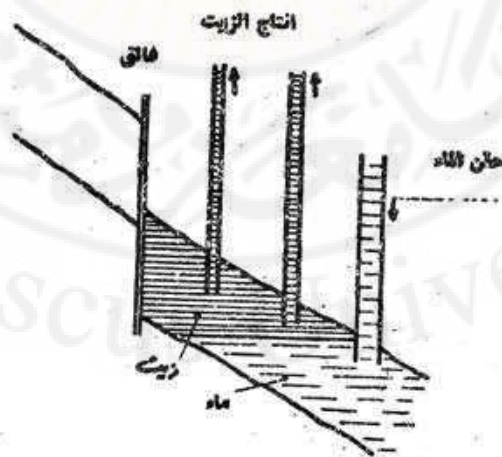
وتعتمد أقدم هذه الطرائق على حقن الممكن بمائع طبيعي (ماء - غاز) • إلا أنه وبعد توقف الانتاج لاعتبارات اقتصادية ، فإنه من الممكن بقاء كميات هامة من المحوم الهيدروجينية في الطبقات المنتجة • وهناك جهود تبذل حالياً بهدف زيادة نقطة التصرف باستخدام الحرق الداخلي أو الانتقال على شكل أطوار مزيجية •

هذا وإن الموازنة الاقتصادية بين زيادة الانتاج من ناحية والنفقات المترتبة على ذلك من ناحية أخرى • ترجح استخدام طريقة دون أخرى •

٢ - حقن الماء : Infection d'eau

يمكن تمييز نوعين من الانتقال حسب هذه الطريقة :

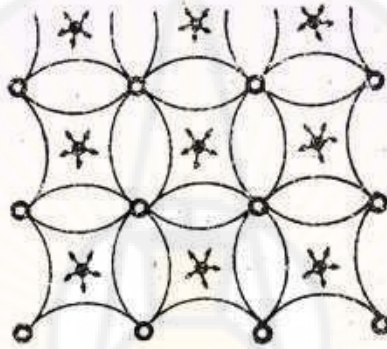
— انتقال حسب جبهة مستترة : وهذه هي حالة الصخور الخزازة ذات الحجم الصغير والميول الشديدة والتي تحتوي في قاعدتها على طبقة مائية محدودة وغير معزولة عن المنطقة الزيتية بحاجز غير نفوذ • وفي هذه الحالة تغذي هذه الطبقة المائية عن طريق آبار حقن الماء • حيث يؤدي إرتفاع الماء فيها إلى تصريف شاقولي للطبقة الخزازة (شكل ١٨٥) • وهذا ما يساعد أيضاً على تقليل إمكانية



(شكل ١٨٥) : الانتاج الشاقولي بطريقة حقن الماء

تسرب الماء إلى مقدمة الجبهة المتحركة .

— انتقال شعاعي : وهذه هي حالة المكانن المسطحة والواسعة الانتشار .
والسبيل الأكثر شيوعاً لتحقيق ذلك هو وجود بئر حقن في مركز مساحة
مربعة يحتل رؤوسها أربعة آبار إنتاجية (شكل ١٨٦) .



(شكل ١٨٦) : الانتقال الشعاعي

ويحقن الماء ضمن كامل ارتفاع الصخر الخازن . ويرتبط الانتاج الثانوي عند
استخدام هذه الطريقة بخواص الصخر الخازن وخواص الزيت وبالمسافة الفاصلة
بين الآبار .

أما عن طبيعة مياه الحقن فيمكن أن تكون سطحية أو جوفية . إلا أنه
من الضروري معالجة هذه المياه لازالة الاجسام الصلبة منها والبكتريات التي قد
يؤدي بقاؤها الى إغلاق الصخر الخازن وإهتراء التجهيزات .

من ناحية أخرى فإنه عند استخدام هذه الطريقة في الصخور المشققة فإن
الاستثمار الثانوي سيتوقف على مدى سرعة تقدم الجبهة المائية ، حيث يسمح التقدم
البطيء لحادثة التسرب بالحدوث .

ب - حقن الغاز : Injection de gaz

وتستخدم هذه الطريقة عندما يوجد مصدر للغاز على مقربة من المكمن. إلا أن حقن الغاز أقل فعالية في التصريف من حقن الماء . وفي الواقع فإن الغاز لا يبلل الصخر وينتقل في آن واحد مع الزيت عندما تصل نسبة تشبعه في الصخر الى ١٠٪ إلا أن تفقات هذه الطريقة أقل من تفقات طريقة الحقن بالماء وذلك لكونها تتطلب آباراً أقل عدداً ويمود ذلك إلى سهولة حركة الغاز .

وهناك نوعين ممكنين من حقن الغاز :

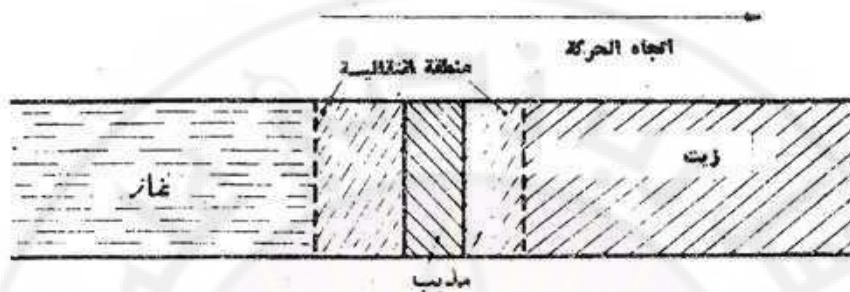
- حقن الغاز في القبة الغازية ، وفي هذا النوع فإن عامل الثقالة يعمل ، كما في حالة حقن الماء ، الى تقليل ميل الغاز للحركة حسب مسارات مفضلة .
- حقن الغاز مباشرة في الزيت ، وفي هذا النوع ينتقل الغاز حسب حركة شعاعية .

وبالعلاج الغاز قبل حقنه لتخليصه من غاز كبريت الهيدروجين (H_2S) بهدف تجنب الإهتراءات وتشكل الرواسب التي تغلق الطبقة .

ج - الانتقال على شكل طور مزيج : Déplacement miscible

لا يؤدي حقن الماء أو الغاز الى حركة كاملة للزيت وذلك بسبب وجود قوى توتر بين السطوح. ولإزالة تأثير هذه القوى فإنه يمكن حقن المكمن الزيتي بالمذيبات (solvants) . وتستخدم عادة الفحوم الهيدروجينية الخفيفة (بروبان - بوتان) كمذيبات ، وذلك نظراً لرخص أسعارها . وغالباً ما توجد هذه المذيبات في الحالة لسائلة في شروط المكمن . ولا يستخدم عادة إلا سدادة ما المذيب تدفع بواسطة غاز جاف قابل للامتزاج مع المذيب . ويجب أن تكون كمية المذيب بالقدر الذي يسمح بالامتزاج حتى وصوله الى البئر الاتاجية .

وبين الشكل (١٨٧) طبيعة الفحوم الهيدروجينية على طول امتداد الحركة .



(شكل ١٨٧) : الانتاج الثانوي على شكل طور مزيج باستخدام المذيبات

وفي بعض الصخور الخازنة تحت مشبعة بالزيت والغنية بالمركبات الانتقالية يمكن الإقتصار على حقن الغاز الجاف تحت ضغط مرتفع ، حيث يؤدي التقاء الغاز مع الزيت إلى إغناء الغاز بالمحلول ذات أعداد ذرات الكربون $C_2 - C_8$. وبالتالي يحصل المزج ويحدث الانتقال .

وكحالة أخيرة هناك حالة الزيت الفقير بالمركبات الانتقالية ويحقن بالتالي بغازات غنية بهذه المركبات .

إلا أن هذه الطريقة لا تسمح باستخلاص كلي للزيت الموجود في الممكن وذلك بسبب سرعة حركة الموائع المنتقلة .

ويمكن أن يكون الحقن كما في الطرق السابقة شاقولياً أو شعاعياً . وتكون نسبة الاستثمار الثانوي في الحالة الأولى أكبر وذلك لنفس الأسباب المذكورة آنفاً .

أخيراً يجب الإشارة إلى أن قدرة ذوبان الزيت في البروبان هي انتقائية، ويمكن للمركبات الاسفلتية إن وجدت أن ترسب خلف سداة المذيب وتطلق الصخر الخازن .

د - الحرق الداخلي : Compustion in situ

وتستخدم هذه الطريقة في المكامن ذات الزيوت اللزجة . وتعتمد في مبدئها

على حرق جزء من القوم الهيدروجينية الموجودة في المكمن ، حيث يحقن هذا المكمن بالهواء الساخن مما يحصل الى رفع درجة حرارة الصخر على امتداد عدة أمتار . وهذا ما يؤدي الى تكسر وتقطير الموائع (زيت - ماء) وتشكل فحم الكوك الذي يحترق أثناء تقدم جبهة السنة اللهب .

أما الغازات الناتجة عن هذا التكسر فتندفع بفعل غاز الحترق ، وتكثف عند وصولها الى المناطق الباردة . وهكذا يتجه سيل الماء - زيت المتشكل نحو البئر الانتاجية .



الفصل الرابع

الاحتياطي

Le réserve

مقدمة :

يشكل تقييم احتياطي النفط المرحلة الختامية لأعمال البحث والتنقيب عن الزيت والغاز . ومعرفة قيمة الاحتياطي أمر هام وضروري للتنبؤ بالاحتياطي النفطي في المستقبل وتوجيه الاستكشاف نحو مناطق الأمل المفضلة . إلا أن هذا الموضوع هو من أعقد المواضيع التي تواجه جيولوجي النفط ، ويصعب تحقيقه بدقة كافية نظراً لارتباطه بمعطيات مختلفة :

- جيولوجية : تتعلق بخصائص الأحواض الرسوبية ومناطق التنقيب .
- تقنية : على صلة بكفاءة الطرائق والأجهزة المستخدمة في التنقيب .
- إقتصادية : وترتبط بشكل خاص بأسعار الخام والظروف السياسية العالمية .

١ - تعاريف واصطلاحات :

تحكم الإعتبارات الجيولوجية والمعايير التقنية والإقتصادية في تعريف الأنواع المختلفة في الاحتياطي :

وتبعا للاعتبارات الجيولوجية يمكن ان نميز بين ثلاثة أنواع من الإحتياطي :

- الاحتياطي المؤكد (réserve prouvée) أو التجاري : وهو الاحتياطي

الذي ثبتت انتاجيته الاقتصادية في آبار الاستغلال التجريبية ويتحدد بتعميم واستكمال معطيات الآبار وتفسير المقاطع الاهتزازية بشكل دقيق . ويقابل الأصناف A و B المعتمدة من قبل النفطين السوفيت * ويمكن أن تصل إمكانية تقدير هذا النوع من الاحتياطي إلى ٨٠٪ (شكل ١٨٨) *

— الاحتياطي المحتمل (réserve probale) أو المتبأ به : ويقوم باستكمال المعطيات اعتباراً من بئر واحدة في المساحة قيد الدرس، وباستخدام المعطيات الجيوفيزيائية لبنية واحدة أو لعدة بنات جيولوجية . ويقابل الأصناف C_1 و C_2 المعمول بها في الإتحاد السوفيتي . وكلية محتمل تعني هنا أن إمكانية تقدير هذا النوع من الاحتياطي تتراوح بين ٤٠ — ٨٠٪ (شكل ١٨٨) *

— الاحتياطي النظري (réserve speculatif) أو الإقتراضي : ويعني الحجم الغير مكتشف والمقدر اعتماداً على معايير جيولوجية إقليمية بالمقارنة مع الاحتياطي المؤكد لأقاليم قطية معروفة . ويقابل الأصناف D_1 و D_2 المعتمدة في الإتحاد السوفيتي . وتبقى إمكانية تقدير هذا النوع من الاحتياطي أقل من ٤٠٪ ويمكن أن تتضاءل أيضاً ، تبعاً للتصورات ، إلى ١٠ — ٥٪ *

وحسب المعايير التقنية والاقتصادية يمكن أن نميز بين نوعين مختلفين من الإحتياطي :

— الاحتياطي العام (réserve en place) : ويقصد به الحجم الكلي للفحوم الهيدروجينية المتراكمة في المنطقة والتي يمكن استثمارها جزئياً . ويرتبط تحديد هذا النوع بالمعرفة الجيولوجية للمنطقة وخاصة بهندسة المصيدة وبالحجم المشبع فيها ، وبالخصائص البتروفيزيائية للصخور الخزنة ، أي بتوزيع الفحوم الهيدروجينية في الصخر وبالخصائص الفيزيائية والكيميائية للموائع .

— الاحتياطي القابل للاستثمار (réservoir récupérable) : وهو كمية الفحم الهيدروجينية القابلة للاستخراج خلال مرحلة زمنية معينة • أو بتعبير آخر مجموع الكميات المتوقعة انتاجها خلال فترة تتراوح بين ١٠ - ٢٠ سنة • ويرتبط هذا النوع من الاحتياطي بالمتغيرات التالية :

— الخصائص التروفيزية للصخور الخازنة (وبخاصة النفوذية)
وخصائص الموائع •

— طرائق الاستثمار •

— النواحي الاقتصادية (التسويق) •

— وجرت العادة على تمييز نوع ثالث من الاحتياطي يدعى بالاحتياطي الرئيسي أو الاصلي وهو الاحتياطي الذي يقيم عند بدء التنقيب أو الذي يحسب خلال الانتاج إضافة إلى الإحتياطي المتبقي •

هذا وتتوقف كمية الاحتياطي النفطي القابل للاستثمار من الوجهة الاقتصادية على العوامل التالية :

٢ - كمية الفحم الهيدروجينية :

وتحسب انطلاقاً من المعطيات الجيولوجية بالمقارنة مع القياسات الجيوفيزيائية البرية وبالاتماد على قيم المسامية ودرجة التشبع وحركة الموائع •

ب - ميكانيكية الانتاج :

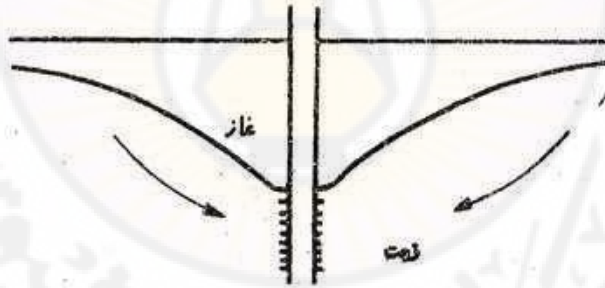
ويقصد بها العوامل التي تؤدي إلى انتقال الموائع نحو البئر أثناء الاستثمار ، ونميز فيها بين :

— التمدد أحادي الطور : ويرتبط بدرجة انضغاط الموائع • وهو ذو تأثير ضئيل بالنسبة للفحم الهيدروجينية السائلة •

— انكماش (تقلص) الفراغات : حيث أن نسبة تراض الصخر تعادل نسبة انضغاط السوائل •

— تمدد الغازات المنحلة : ويحدث عندما يصبح الضغط أدنى من ضغط الاشباع • ولهذا التمدد أهمية خاصة في الانتاج • إلا أن نسبة الانتاج بفعل هذا التمدد لا تتجاوز ٢٥٪ في أفضل الحالات ، إلا إذا تواجدت نفوذية شاقولية تسمح للغاز بالتراكم في الجزء العلوي من المكمن ، حيث يصل الانتاج إلى ٦٠٪ في هذه الحالة •

— تمدد القبعة الغازية : حيث يصل الانتاج تحت هذا التأثير إلى ٦٠٪ • وإن تنفقاً عالياً كهذا يمكن أن يؤدي إلى تشكل مخروط غازي (شكل ١٨٩) و انتاج جزء من غاز هذا المخروط •



(شكل ١٨٩) : المخروط الغازي وانتاج الزيت

— تمدد الطبقة المائية : وهو العامل الأكثر فعالية • ويمكن أن تصل نسبة الإنتاج بفعل هذا التمدد إلى ٨٠٪ • كما يمكن أن تهبط هذه النسبة في حال كون الصخر مشققاً • حيث يؤدي الارتفاع السريع للماء ضمن الشقوق إلى عزل الزيت أو الغاز • كما أن التدفق الشديد يمكن أن يؤدي أيضاً إلى تشكل مخروط مائي وإنتاج متزايد للماء مع الزمن •

— التبلل : يمكن لزيت الصخر أن ينتقل نتيجة قدرة الصخر العالية على التبلل بالماء • إلا أن هذا التأثير ضعيف وطويل الأمد •

وهكذا نرى أن عدداً من هذه الأفعال تؤثر على إنتاجية المكن أثناء استثماره .
وتبعاً للكمية المستخلصة يمكن لمعامل أو الآخر أن يسيطر أو أن يتوقف تأثيره .

ج - معدل الإنتاج (وتيرة الإنتاج) :

لتحديد وتيرة إنتاج مكن ما يجب الأخذ بعين الاعتبار كمية الفحم الهيدروجينية المتوفرة ، وكمية الاحتياطي التجاري القابل للاستثمار بتدفق مختلف ، وخصائص الصخور والموائع التي تحتويها .

كذلك فإن معدل الإنتاج يتحكم في ميكانيكية الإنتاج المستخدمة . ولناخذ مثلاً حالة مكن زيتي مرتبط بطبقة مائية هامة وذات قموذية عالية . فعندما يكون معدل الإنتاج ضعيفاً فإن الطبقة المائية ستؤثر إلى حد بعيد ، وعندما يكون هذا المعدل عالياً فإن تأثير هذه الطبقة لن يكون محسوساً ، حيث يغلب تمدد الزيت والغاز على قدرة انتشار الماء .

وعلى العكس فإن الإنتاج بمعدل مرتفع من مكن زيتي مشقق ومرتبطة بطبقة مائية هامة ستؤدي إلى اجتياح المياه لشقوق المكن وعزل الزيت الذي يضعف تصريفه في هذه الحالة .

٢ - تقديرات الاحتياطي العالمي :

بالرغم من الصعوبات المتعددة في تقييم الاحتياطي العالمي ، إلا أننا نلاحظ تقارباً في التقديرات المقترحة خلال السنوات الأخيرة من قبل اقتصاديي النفط في العالم :
(Mody , 1975 - Desprairies , 1978 - Meyerhoff , 1979 - Halbouty , 1979)

٢ - الزيوت :

تم حتى الآن اكتشاف ما يقارب ١٥٠ مليار طن من الزيت ، استخرج منها ٥٠ مليار طن . وتبلغ كمية الاحتياطي المؤكد من المكتشف ٩٠ - ١٠٠ مليار طن . وتوجد هذه المكتشفات ضمن مساحة تقدر بحدود ٧٥ مليون كم^٢ ، ٥٠ - ٥٥

منها على القارة و ٢٠ - ٢٥ في البحار • وكما رأينا عند دراستنا للأقاليم النفطية الرئيسية فإن ٨٥٪ من النفط المكتشف يوجد في ٢٥ حوضاً من أصل ١٦٠ حوضاً منتجاً • ويتفق معظم المختصون أنه بالإمكان مستقبلًا اكتشاف بقدر ما اكتشف حتى الآن من النفط ، أي بحدود 150 ± 50 مليار طن (المؤتمر الدولي للطاقة أستانبول ١٩٧٧) • وحسب معظم الخبراء فإن الاحتياطي الخاضع للاكتشاف يتراوح بين ١٠٠ - ٤٠٠ مليار طن ، إلا أن ثلثي هؤلاء الخبراء يعتقدون أن هذا الاحتياطي لن يتجاوز ٢٠٠ مليار طن • والجداول اللاحق يوضح التوزيع الجغرافي للاحتياطي النفطي العالمي :

ب - الملاحظات :

لم يحط الغاز بنفس الدراسات والاحصائيات التي حظيت بها تقييمات احتياطي الزيت • إلا أن التقديرات تشير إلى أن :

- الاتاج الكلي للغاز وصل إلى ٢٠٠٠٠٠ مليار م^٣
- الاحتياطي المؤكد هو في حدود ٧٠٠٠٠٠ مليار م^٣
- الاحتياطي العالمي هو في حدود ٣٠٠٠٠٠٠ مليار م^٣

ومن الواضح أن مصادر الغاز على علاقة بمصادر الزيت • إلا أن نسبة الاستثمار لا تتجاوز ٧٠ - ٨٠٪ من الكمية المتوفرة • وتعتبر أقاليم بحر الشمال الشرق الأوسط - الصحراء الجزائرية - سيبيريا الشرقية - كندا - استراليا الأقاليم الأكثر اغتناء بالغاز من الزيت •

٢ - طرق حساب الاحتياطي :

كنا قد تعرضنا أثناء دراستنا لمفاهيم المكمن والحقل (ص ١٨٢ - ١٨٣) إلى مفهوم احتياطي وذكرنا أن احتياطي المكمن يعطى بالعلاقة :

$$R = V \times \phi (1 - sw)$$

متوسط الإنتاج (طن/بئر)	عدد الآبار في كل ١.٠٠٠ كم ^٢	كثافة التوزيع طن/كم ^٢	الاحتياطي المتوقع (مليار طن)	الاكتشاف المتوسط (مليار طن)	الاحتياطي المكتشف (مليار طن)	الإقليم النفطي
٥.٠٠٠	٥٠٠	٢.٠٠٠	(٢٠) ٣٦-٤	١٧	٢٥	الولايات المتحدة الأمريكية - كندا
.....	٩٥	١٩.٠٠	(٥٠) ١٠٠-١٥	٨	٢٢	الاتحاد السوفيتي أوروبا الشرقية - الصين
٣٥ (مليون طن)	٥	-	(٣٠) ٧٠-٧	١٢	٧٢	الشرق الأوسط
٣.٠٠٠.٠٠٠	٢٠	-	(٥) ١٢-٢	-	٤	أوروبا الغربية
٨٨ (مليون طن)	٥	-	١٢	-	١٢	أفريقيا
مليون طن	١٢	-	٤٠	-	٢٠	أمريكا اللاتينية
٨٠.٠٠٠	١٢	-	(١٢) ٢٠-٢	-	٥	جنوب شرق آسيا - أستراليا

جدو يوضح توزيع كميات الاحتياطي المكتشف والمتوقع اكتشافه والمستثمر في الأقاليم النفطية العالمية الرئيسية .

وأن الاحتياطي القابل للاستثمار يتحدد بالمعادلة :

$$Rr = R \times FR \times FV$$

إلا أن هذه المعادلات تبقى عامة ولا تنفي بالهدف ، خاصة وأن ما يهم معرفته هو احتياطي النفط والغاز ذي القيمة الاقتصادية من ناحية والاحتياطي المحتمل من ناحية أخرى . لذلك تستخدم طرائق مختلفة لتقدير هذين النوعين من الاحتياطي .

٢ - طرائق تقدير احتياطي الزيت والغاز ذي القيمة الاقتصادية (الاحتياطي المؤكد) .

١ - الطريقة الحجمية لتقدير احتياطي الزيت :

يقدر احتياطي المكمن من الزيت بالطريقة الحجمية عادة . وتعتمد هذه الطريقة على تحديد المقاييس الهندسية للمكمن وسعة الحجم المسامي ومدى تشبعه بالنفط ، ويتم الوصول إلى هذه المتغيرات (البارامترات) بتفسير المعطيات البترية الجيولوجية والجيوفيزيائية وبالأستعانة كذلك بالمعطيات المخبرية لتحديد الخصائص الفيزيائية للسوائل الموجودة في الطبقات . وبسبب هذه الطريقة فإن احتياطي المكمن من الزيت يعطى بالمعادلة التالية :

$$R = s. h. \phi. \beta. \rho. \theta. \gamma$$

حيث :

- R = احتياطي المكمن ، بالأطنان .
- S = المساحة المحتوية على الزيت ، بالأمتار المربعة .
- h = متوسط الارتفاع الفعلي المشبع بالزيت ، بالأمتار .
- ϕ = متوسط المسامية الفعالة للصخر الخازن .
- β_f = معامل التشبع بالزيت .
- θ = معامل إحصائي يعبر عن تغير حجم الزيت عند ارتفاعه من الطبقة المنتجة إلى السطح .
- γ = الوزن النوعي للزيت على السطح (في درجة حرارة + ٢٠ م وضغط ٧٦ سم ، بالنسبة إلى وزن الماء في درجة حرارة + ٤ م وضغط ٧٦ سم) .

أما الإحتياطي القابل للإستثمار (recuperable) فيعطي بالعلاقة التالية :

$$Rr = R \cdot \eta$$

حيث :

η = معامل الإنتاج

R = الإحتياطي العام

هذا ويمكن حصر المساحة المحتوية على النفط (S) تبعاً لخصائص الممكن الجيولوجية بمنحنيات احتواء النفط وذلك بتحديد خطوط تلاشي التجمعات . أما السبكة الفعلية المشبعة بالنفط (h) فتحسب بشكل رئيسي من القياسات الجيوفيزيائية البئرية (SP-R-N-GR) . أما المسامية الفعلية (ϕ) فتقاس مباشرة على العينات المأخوذة من الآبار أو تحدد بواسطة القياسات البئرية (المقاومية) .

٢ - الطريقة الحجمية لتقدير احتياطي الغاز :

عند تقدير احتياطي الغاز تكتب معادلة الطريقة الحجمية على الشكل التالي :

$$V = s.h.\phi (p_1\alpha_1 - p_2\alpha_2) t \cdot \beta g (0.97)$$

حيث :

V = الإحتياطي العام للغاز ، بالأمطار المكعبة .

S = المساحة المحتوية على الغاز ، بالأمطار المربعة .

h = الإرتفاع الفعلي المشبع بالغاز ، بالأمطار .

ϕ = متوسط المسامية الفعلية .

p_1 = الضغط الطبقي الأولي ، نيوتن / م^٢ .

p_2 = الضغط الطبقي النهائي .

α_1, α_2 = تعديل على الضغط بسبب شذوذ القجوم الهيدروجينية الغازية عن قانون

بويل - ماريوط وفقاً للضغطين $p_2 - p_1$

t = تعديل على الحرارة من أجل تحويل حجم الغاز إلى الحرارة القياسية .

βg = معامل التشبع الغازي .

0.97 = معامل تحويل الضغوط الجوية إلى فيزيائية .

٢ - تقدير احتياطي الغاز بطريقة انخفاض الضغط :

تتبع هذه الطريقة في تقدير احتياطي الغاز عند استغلال المكمن لفترات قصيرة .
وتعتمد هذه الطريقة على افتراض ثبات كمية الغاز المستخرج في وحدة انخفاض
الضغط ، ويحصى الاحتياطي بالمعادلة :

$$V = \frac{Q p_1 \alpha_1}{p_1 \alpha_1 - p_2 \alpha_2}$$

حيث :

V = احتياطي الغاز ، بالأمتار المكعبة .

Q = كمية الغاز المستخرج لفترة انخفاض الضغط من p_1 إلى p_2 بالأمتار
المكعبة .

p_1 = الضغط الطبقي الأولي ، نيوتن/م^٢ .

p_2 = متوسط الضغط الطبقي في نهاية مرحلة الاستغلال التجريبي ،
نيوتن/م^٢ .

$\alpha_1 - \alpha_2$ = تعديل في شذوذ الفحوم الهيدروجينية الغازية عن قانون بويل -
ماريوط وفقاً للضغطين $p_1 - p_2$.

وتقدم هذه الطريقة نتائج موثوقة عندما توجد الطبقات الغازية في وضع
جيولوجي معقد يصعب فيه تحديد سماكتها المنتجة ، أو عندما تكون على شكل
طبقات رقيقة ومتعددة . كما أنها تتصف بدقة كبيرة في المكامن ذات الطبقات
الضعيفة النفوذية والمتميزة بالعدماء حركة المياه الجوفية فيها . ويمكن لهذه الطريقة
أن تكون بمثابة رقابة تدقيق في بداية مرحلة التحضير لتقدير احتياطي المكامن
الضخمة بالطريقة الحجمية .

ب - طرائق تقدير احتياطي الزيت والغاز المحتمل (المتنبأ به) :

إن تقدير هذا الاحتياطي هو التعبير عن تقسيم الآفاق النفطية المفترض التوصل إليها

بصورة دقيقة وثابتة • وتتبع في الوقت الحاضر مجموعة من الطرائق تعتمد بعضها على المقارنة الجيولوجية للمساحة قيد الدرس مع أقاليم نفطية مدروسة بصورة جيدة ، وفيما يلي شرح مختصر لأهم هذه الطرائق :

١ - الطريقة الحجمية :

وتستخدم عادة في التراكيب الهامة ، بموجب المعادلة التالية :

$$R = s.h.\phi.\beta.p.\gamma$$

حيث :

- R = الإحتياطي المحتمل ، بالأطنان •
- S = المساحة المحتوية على النفط ، بالأمطار المربعة •
- h = الارتفاع المشبع بالنفط ، بالأمطار •
- ϕ = متوسط المسامية الفعالة •
- βp = معامل التشبع النفطي •
- γ = الوزن النوعي للنفط في الظروف الطبقة •

وتعمم كافة هذه البارامترات قياساً على الحقول النفطية المجاورة • وحسب المعادلة المذكورة يقدر الإحتياطي المحتمل ، الذي ينتمي إليه إحتياطي البنيات الواقعة في نطاق المقاطعات النفطية المعروفة ، في المستويات التي ثبتت إنتاجيتها في حقول أخرى • أما في المساحة قيد التقييم ، فيتم تقدير الإحتياطي على أساس المعطيات الجيولوجية والجيوفيزيائية الملائمة •

٢ - طريقة تقييم الإحتياطي بمتوسط تركيب واحد :

وتتلخص هذه الطريقة في تحديد عدد التراكيب المكتشفة أو المفترض وجودها ، ومتوسط الإحتياطي لتركيب واحد • ويحدد عدد المكامن المحتملة بتقسيم كامل

المساحة قيد الدرس على مساحة تركيب واحد في المنطقة المجاورة المدروسة جيداً،
والمتشابهة في بنيتها الجيولوجية •
وللتقييم تستخدم المعادلة :

$$Q = n . q . k$$

حيث :

- Q = الاحتياطي المحتمل بالأطنان •
- n = عدد التراكيب الممكنة في المساحة قيد الدرس •
- q = معامل الاكتشاف الإقتصادي •
- k = متوسط احتياطي الزيت أو الغاز لتركيب واحد ، بالأطنان •

٣ - طريقة تقييم الاحتياطي وفقاً للكثافة النوعية لاحتياطي الزيت والغاز
(الاحتياطي بالكيلومتر المربع) :

تنحصر هذه الطريقة في تحديد الكثافة النوعية لاحتياطي الزيت والغاز ضمن
كيلومتر مربع واحد أو هكتار واحد (الطريقة الهكتارية) من مساحة المنطقة
قيد الدرس • وقطرياً فإن كمية الاحتياطي لصخر خازن مساميته ١٠٪ وسماكته ١٠م
وارتفاع العمود الزيتي فيه واحد متر تساوي ١ مليون م^٣ بالكم •

ويجري تحديد الكثافة النوعية للاحتياطي بصورة مستقلة لكل سوية منتجة ،
ومن ثم تعمم على المساحة التي ثبت احتواؤها على الزيت والغاز • ويمطي هذا
الاحتياطي بالمعادلة :

$$Q = s . q . h$$

حيث :

- Q = الاحتياطي المحتمل ، بالأطنان •

- s = المساحة قيد الدرس
- q = الاحتياطي النوعي ، طن/م^٣ .
- h = الارتفاع الفعلي المشبع ، بالمتر .

٤ - الطريقة الإحصائية :

تعتمد هذه الطريقة على مقارنة المنطقة قيد الدرس مع أقاليم نفطية قياسية (عيارية) مشابهة لها من حيث البنية الجيولوجية . ومن الضروري عند اللجوء إلى هذه الطريقة أن تكون لدينا فكرة عن الترسيب في هذه المنطقة وعن وجود تشكيلات يمكن أن تكون مولدة للفحوم الهيدروجينية . كما يجب أن تتوفر لدينا معلومات عن الأجزاء البنيوية لهذه المنطقة وعن البنية التكوينية ولو لبعض الأجزاء فيها ، وفق أحد المستويات الدالة على الأقل .

والعلاقة المقترحة لتقدير الاحتياطي بهذه الطريقة هي :

$$QP = s . nr . d . hm . kqw$$

حيث :

- Qp = الاحتياطي المحتمل ، بالأطنان .
- s = المساحة التي يقدر فيها الاحتياطي المحتمل ، بالمتر المربعة .
- n = معامل كثافة التراكيب في المنطقة .
- r = معامل مطابقة تراكيب المستويات العلوية والسفلية .
- d = معامل الأجزاء المقيدة من التراكيب .
- hm = السمك المتوسط للطبقات المنتجة ، بالمتر .
- k = معامل تركيب القطاع المدروس .
- q = الاحتياطي النوعي للنفط في وحدة حجمية .
- w = معامل التشابه الجيولوجي للمنطقة قيد الدرس والمنطقة القياسية .

تحدد المعاملات q, k, d, r, n بتميم قيم المناطق القياسية على المناطق قيد الدرس . ويمكن معامل التراكيب (n) ومعامل مطابقة تراكيب المستويات (r) من تحديد المساحة الإجمالية للبنيات المحلية . ويمكن معامل الأجزاء المفيدة في التراكيب (d) ومعامل تركيب القطاع المدروس (k) من مراعاة الطبيعة الليتولوجية واختلاف السحن . أما معامل التشابه الجيولوجي (w) فيحدد بالطرق التجريبية في الأقاليم المعروفة ، وفي حالة التشابه الكامل مع المنطقة قيد الدرس فيمكن اعتباره مساوياً للواحد .



المصطلحات العلمية

— A —

— Absolu	مطلق	— Anticlinal	محدب
— Absorption	إمتصاص	— Aquatique	مائي
— Accumulation	تراكم ، تجمع	— Aquifère	حامل للماء (طبقة)
— Action	فعل	— Arctique	قطبي
— Actuel	حالي	— Argile	غضار
— Adsorption	امتزاز ، ادمصاص	— Aérobie	هوائية (حياة)
— Affleurment	تكشف	— Aromatique	عطري
— Age	عمر	— Arrondi	كروي (درجة)
— Alcanes	الكثانات	— Ascendant	صاعد
— Algues	أشنيات	— Ascensum	إرتقاء ، صعود
— Aliphatinque	دهني ، دسم	— Asphalte	أسفلت
— Allochtone	غير محلي (منقول)	— Asphaltène	أسفلتين
— Alluvial	لحقي	— Asphaltique	أسفلتي
— Altération	فساد	— Atmosphère	غلاف جوي
— Amas	ركام	— Atoll	جزيرة مرجانية
— Amorphe	عديم البلور	— Authigène	محلي المنشأ (موضعي)
— Anaérobie	لاهوائية (حياة)	— Autochtone	محلي الترسيب
— Angularité	زاوية (درجة)	— Axe	محور

— B —

— Biomasse	كتلة من المضويات	— Bactéries	بكتريات
— Biostrome	بيوستروم (رصيف خطي)	— Barrière, Barre	حاجز بحري
— Biseau	ترقق (طبقة)	— Bassin	حوض
— Bitume	بتوم	— Benthos	قاعيات
— Boue	وحل ، طين	— Bentique	قلمي
— Brèche	بريش	— Bioclasse	فتات عضوي
— Brute	خام (زيت)	— Biodégradation	تخريب بيولوجي
— Bouclier	درع	— Bioherme	بيوهيرم (رصيف شاقولي)

— C —

— Calcaire	كلس	— Charbon	فحم خشب
— Calcarénite	كالكارينيت	— Charié	جرفي
— Calcite	كالميت	— Chauve	أجرد، أصلع
— Canicule	قناة شمعية	— Chenal	قناة ، مجري
— Capillarité	شمعية (خاصة)	— Cheneaux	أقنية
— Carbohydrates	هيدرات الكربون	— Chevauchement	إنجراف
— Carbonates	كاربونات	— Chronologique	زمني (تاريخ)
— Carottage	أخذ اللباب الصخري	— Ciment	ملاط
— Carotte	لباب صخري	— Cimentation	عملية اللحام
— Catagénèse	التحول الحراري	— Cisaillement	قص
— Catalyseur	وسيط	— Classement	فرز (درجة)
— Chaîne	سلسلة	— Classification	تصنيف
— Chiène	مقصلة	— Clastique	فتالي
— Champ	حقول	— Coefficient	معامل

- Cofré	مندوقي	— Contemporain	معاصر
- Colloïdale	غروي	— Continent	قارة
- Combustibles	مخروقات	— Continental	قاري
- Compact	متراص	— Convergence	تلاقى ، تقارب
- Compaction	تراص	— Convexe	مقرب ، محدب
- Compensation	تعويض	— Coquille	قوقعة
- Complexe	معقد	— Cordille	سلسلة جبالية
- Composition	تركيب	— Corrélation	مضاهاة ، ربط
- Compressibilité	انضغاط	— Couche	طبقة
- Conventionnel	تقليدي	— Coulissement	انزياح
- Concave	مقعر	— Couverture	غطاء
- Concentration	مركز	— Cracage	تكسير ، تحطيم
- Concentré	مركز ، متجمع	— Craie	حوار
- Concrétions	تخثرات	— Cratonique	مخني (حوض)
- Conductivité	ناقلية	— Critère	مقياس
- Cône	مخروط	— Croûte	قشرة ارضية
- Confiné	محصور (وسط)	— Culmination	قمة الطي
- Construit	مبنى ، مشاد	— Cycle	دورة (رسوبية)

— D —

- Déblais	فتات (صخري)	— Delta	دلتا
- Decarboxylation	إزالة التفحم	— Deltaque	دلتاوي
- Décrochement	انزياح جانبي	— Densité	كثافة
- Dédolomitisation	إزالة الدلتة	— Dépôt	توضع ، ترسب
- Déformation	تشوه	— Descensum	هبوط ، نزول

-- Desért	صحراء	-- Dismigration	هجرة تبعية
-- Détritique	حطامي	-- Dispersé	تشتيت ، تبثر
-- Diagenèse	دياجينيز	-- Dissolution	انحلال
-- Diagraphies	قياسات بشرية	-- Distillation	نقطير
-- Diapires	طبقات ثاقبة	-- Dolomie	دولوميا
-- Diatomées	مشطورات	-- Dolomite	دولوميت
-- Dipression	منخفض	-- Dolomitisation	دلتمة
-- Durée	فترة	-- Domaine	قطاع ، مجال
-- Divergence	تباعد	-- Dôme	قبة
-- Discontinuité	انقطاع	-- Dorsale	تمة
-- Discordance	عدم توافق	-- Dune	كسبان
-- Disharmonie	غير متناسق	-- Dureté	قساوة

-- E --

-- Eaux météoriques	مياه جوية	-- Eolien	ريحي
-- Ecaille	حراشفة ، قشرة	-- Epicontinental	شبه قاري (شاطئي)
-- Effondrement	انهيار ، تهدم	-- Epiogénèse	ابجينة
-- Effusif	إنشائي	-- Epigénétique	ابجني
-- Elliptique	اهليلجي	-- Epirogenèse	نشوء القارات
-- Emboité	معلب ، متراكب	-- Epoue	مرحلة ، فترة
-- Emegrée	طاقي	-- Equatorial	استوائي
-- Energie	طاقة ، قدرة	-- Erosion	حت
-- Enfouissement	انغمار	-- Estuaire	مصب النهر
-- Environnement	بيئة	-- Etranglement	إختناق

- Evaporites	متبخرات	- Exploration	استكشاف
- Evolution	تطور	- Extérieur	خارجي
- Exploitation	استثمار	- Externe	خارجي (جزء)

— F —

- Faciès	سحنة	- Fluvatile	نهرى
- Facteur	عامل	- Flux	سيالة ، تدفق
- Faille	فالق	- Flychs	فليش
- Famille	عائلة	- Formation	تشكيلة
- Faune	فونة (مملكة حيوانية)	- Forage	بئر ، حفر
- Fermentation	تخمير	- Fosse	حفرة
- Fermeture	إغلاق	- Fossile	مستحالة
- Fissure	شق	- Fossilisation	استحالة
- Flexure	انثناء ، طي	- Fouisseurs	حيوانات حفارة
- Flore	فلورة (مملكة نباتية)	- Fracturation	تكسر ، تصدع
- Fluide	مائع	- Fracture	كسر ، صدع
- Fluorescence	فلورة	- Front	جبهة

— G —

- Gaz - cap	قبعة غازية	- Géosynceinal	مقعر جيولوجي
- Génèse	نشأة	- Géothermie	حرارة جوفية
- Géomorphologie	جيومورفولوجيا	- Gisement	مكامن
- Géochimie	جيو كيمياء	- Glissement	انزلاق
- Géodynamique	جيو دينامي	- Glucides	غلوسيدات

— Golfe	خليج	— Granulométrie	قياس الحبات
— Graben	غور	— Gravimétrie	جاذبية
— Graduel	تدرجي	— Grés	حجر رملي
— Gradient	تدرج	— Gréseux	رملي
— Grain	حبة	— Groupe	مجموعة
— Granoclassment	فرز حبي	— Gypse	جبص

— H —

— Habitat	موطن ، بيئة	— Humique	دبالي
— Hémisphère	نصف الكرة الأرضية	— Hydrates	هيدرات
— Hiatus	ثغرة (زمنية)	— Hydrocarbures	فحم هيدروجينية
— Histoire	تاريخ ، قصة	— Hydrodynamique	هيدرودينامي
— Horst	نجد	— Hydrogéologie	هيدروجيولوجيا
— Houillers	أحواض فحمية	— Hydrostatique	هيدروستاتيكي
— Huile	زيت	— Hydrothermales	مياه حرارية
— Humide	رطب	— Hyperaline	شديد الملوحة

— I —

— Ilot	جزيرة صغيرة	— Intermontagneux	بين جبلي
— Imperméable	غير نفوذ (كثيم)	— Interne	داخلي (جزء)
— Indice	شاهد ، قرينة	— Intercristallin	بين بللوري
— Induit	مقحم	— Interstitielle	خلالي ، بيني
— Inorganique	غير عضوي	— Intracratonique (حوض)	ضمن مجني (حوض)
— Instable	غير مستقر	— Intraganulaire	ضمن حبي
— Intergranulaire	بين حبي	— Intrusif	انداسي

Intumescences	انتفاخات	— Isochrones (منحنيات)	تساوي الزمن
Ions	شوارد	— Isopaques (منحنيات)	تساوي السماكة
Isobathes	تساوي العمق (منحنيات)	— Isotope	نظير

— J —

Jaspe	جاسب (صخر)	— Jonction	اتصال
Joint	فاصل ، وصلة	— Juxtaposition	تراصف

— K —

Kaolinite	كاؤولينيت (غضار)	— Kérabitude	كيرابيتوم
Karst	كارست	— Kerogèn	كروجين

— L —

Lac	بحيرة	— Lignite	ليفنيت (فحم)
Lacustre	بحري	— Limonite	ليمونيت
Lagune	لاغون	— Linéaire	خطي
Lamination	تطبّق	— Listrique	أفقي (فالق)
Lalmellibranches	سفيحات الفلاصم	— Lit	سريّر (طبقة)
Lateral	جانبي	— Lithification	تحمجر ، قسح
Lave	لابة ، لافا	— Lithofacies	سحنة صخرية
Lenticulaire	عدسي	— Lithologie	ليثولوجيا ، علم الصخور
Lentille	عدسة	— Lithostratigraphic	ليثوستراتفيا
Lessivage	غسل	— Littoral	شاطئي
Liant	مادة لائحة	— Lubrification	تصفية ، تنقية

— M —

Magnétisme	مغناطيسية	— Micellaire	دقيق الجزيئات
Mare	مستنقع ، بركة	— Micrite	ميكريت (وحل كربوناتي)
Marge	هامش ، حافة	— Microporosité	مسامية مجهرية
Marine	بحري	— Migration	هجرة
Massif	كتلي	— Milieu	وسط
Matière organique	مادة عضوية	— Mine	منجم
Matrice	أرضية	— Minéral	فلز
Maturation	نضج	Misopotamienne (حوض)	ما بين النهرين
Mature	ناضج	— Mixte	مختلط
Mégacycle	دورة رسوبية رئيسة	— Mobile	حركي
égaséquence	متدرجة رسوبية رئيسة	— Molécule	جزيئية
Mésure	قياس	— Moléculaire	جزيئي
Mésogéen	ميزوجي	— Monoclinale	وحيد الميل (محذب)
Mésozoïque	الحقب الثاني ، ميزوزوي	— Montmorillonite	مونتموريلونيت
Métabolisme	استقلاب	— Mouillabilité	بلل (خاصة)
Métal	معدن	— Mouillable	قابل للتبلل ، تبالى
Métamorphisme	استحالة ، تحول	— Moulage	هيكلي
Météorique	جوي	— Mouvement	حركة ، انتقال
Méthane	ميثان		

— N —

Nanofossiles	مستحاثات دقيقة	— Néogénèse	نشوء مجدد
Naphte	نפט	— Néof ormation	تشكل مجدد
Naphtènes	نفتينات	— Néotectonique	تشوه مجدد

- Nérétique	نيريتي	- Nodulaire	عقدي
- Niveau	سوية	- Noyau	نواة
- Niveau repère	سوية مرشدة	- Nucléus	نواة

— O —

- Oblique	مائل	- Organogenèse	منشأ عضوي
- Obstacle	حاجز ، مانع	- Orientation	توجيه
- Océanique	محيطي	- Orogenèse	نشوء الجبال
- Oléfines	أوليفينات	- Ostracodes	أوستراكود
- Ondulations	تجمعات ، تموجات	- Ouverture	فتحة ، انفتاح
- Organique	عضوي	- Oxydation	أكسدة

— P —

- Paléo environnement	بيئة قديمة	- Piége	مصيدة
- Paléo temperature	حرارة قديمة	- Piedmonts	أقدام الجبال (سفوح)
- Paleozoïque	الحقب الأول (اليوزوي)	- Pinnacle	لذروة
- Paraffines	باراغينات	- Plage	شاطئ
- Pélagique	بيلاجي	- Plaine	سهل
- Péricratonique	شبه مجني (حوض)	- Plan	مستوى
- Perméabilité	نفوذية	- Plasticité	لدونة
- Pétrole	بتترول ، نفل	- Plate - forme	سطحية قارية
- Pétrolifère	بتروني ، نفطي	- Plis	طية
- Phénomène	ظاهرة	- Plissement	طي
- Photosynthèse	التمثيل الضوئي	- Poids spécifique	وزن نوعي
- Piégage	اصطياد	- Polaire	قطبي

-- Pollens	غبار الطلع	-- Préférentiel	مفاضلة
-- Polypiers	هيكل بوليبي	-- Pression capillaire	ضغط شعري
-- Pores	مسام	-- Production	انتاج
-- Poronécrose	استحالة المسامية	-- Prospection	استكشاف
-- Porosité	مسامية	-- Protéine	بروتين
-- Position	موقع	-- Protopétrole (نفت أولي)	بروتوبترول (نفت أولي)
-- Postérieur	لاحق	-- Province	إقليم
-- Potentiel	كمون	-- Puits	بئر
-- Pouvoir calorifique	قدرة حرارية	-- Pyrite	بيريت
-- Pouvoir rotatoire	قدرة دورانية	-- Pyrolyse	حرق

— Q —

-- Quartz	كوارتز ، مرو	-- Quartzite	كوارتزيت
-- Quartzeux	كوارتزي	-- Quaternair	رباعي (حقب)

— R —

-- Racine	جذر	-- Régression	جزر ، انسحاب
-- Réaction	تفاعل	-- Relativité	نسبية
-- Radioactivité	نشاط إشعاعي	-- Remplissage	امتلاء
-- Récif	رصيف	-- Réservoir	خازن (صخر)
-- Récupérable	قابل للاستثمار	-- Réserve	احتياطي ، مخزون
-- Réducteur	مرجع	-- Residuel	متبقي
-- Régionale	إقليمي	-- Réseau	شبكة
-- Régressif	انسحابي	-- Résines	صمغ

— Resistivité	مقاومية	— Roches réservoirs	صخور خازنة
— Rhomboèdre	معين	— Richesse	اقتناء
— Roche	صخر	— Rift	انهدام ، غور
— Roches mères	صخور أمهات	— Rotation	دوران

— S —

— Sable	رمل	— Sismique	اهتزازي ، سيزمي
— Sables asphaltiques	رمال اسفلتية	— Solide	صلب
— Salifère	منحي	— Solubilité	انحلالية (خاصة)
— Salinité	ملوحة	— Soulèvement	نهوض
— Sapropéle	سايروبيل	— Sous - compacté	شديد التراص
— Saturé	مشبع	— Souterraine	تحت تربي
— Saumâtre	شديد الملوحة	— Stable	ثابت ، مستقر
— Schiste	شيسيت (غضار صفحي)	— Stagnant	راكد - هاديء
— Secteur	قطاع	— Structure	بنية
— Sédimentaire	رسوبي	— Sylolithes	دروز ، ستيوليت
— Sédimentation	ترسيب	— Subsidence	انخفاض
— Sédiments	رسوبات	— Substratum	قاعدة ، ركيزة
— Sel	ملح	— Subsurface	تحت سطحي
— Sélective	اصطفائي - انتقائي	— Système	نمط ، نظام
— Séquence	متتالية ، متدرجة رسوبية	— Synclinal	مقعر (طي)
— Seuil	عتبة	— Syngénétique	نشأة مواقتة
— Superposition	تعاقب ، تضاد	— Syngénétique	مواقت للترسيب
— Silt	سيلت (رمال ناعمة جدا)	— Système	نمط ، نوع

— T —

— Taille	قياس	— Texture	نسيج صخري
— Talus	منحدر	— Toxique	سام
— Tectonique	تكتوني	— Tremblement	هزة
— Tengenciale	تماسي	— Transgressif	تجاوزي
— Tension	توتر	— Transgression	تجاوز
— Terrain	أرض	— Transversale	عرضي
— Terrigène	قاري	— Transverse	مكسي
— Test	تجربة	— Turbidites	تيارات العكر

— U —

— Ultra - violette	فوق بنفسجية	— Usure	اهتراء
— Uniformité	تجانس الشكل	— Uranium	يورانيوم
— Unité	وحدة	— Utile	مفيد

— V —

— Vacuolaire	فجوي	— Vase	وحل
— Vacuole	فجوة	— Viscosité	لزوجة
— Vadosa	منطقة تحت مشبعة بالماء	— Volcan	بركان
— Vallée	وادي	— Volume	حجم
— Vanadium	فاناديوم	— Voûte	تقبة

— Z —

— Zonation	منطق	— Zone	منطقة ، نطاق
------------	------	--------	--------------

المصادر العلمية

Références

١ - المصادر الأجنبية

- AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS (1971) —
Origine of petroleum, A.A.P.G Bull. , Ser. No. 1.
- AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS (1972) —
Carbonate rocks II ; porosity and classification of Reservoir-
rocks, A.A.P.G Bull. , Ser No. 4 .
- ALPERN B. (1976) — Introduction aux roches combustibles et aux
roches combustibles solides.
Les sciences alpha, fasc. 108.
- BARBIER V. (1980) — Dictionnaire de pétrole édit. SCM Paris,
la Défence 2.
- BERTRAND J.P. (1969) — Cours de pétrographie à l'étude des
problèmes pétroliers
Tom 1, édit. Technip.
- BEYDOUN Z. , DUNNINGTON H. (1975) — The petroleum geology and
resources of Middle- East
Scien. press. Ltd.
- CHAPMAN R. (1973) — Petroleum geology : a concise study
elsevier scientific publishing company, Amsterdam — Oxford
New York

CHOQUETTE P. W. , PARY L. C. (1970) — Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonate
Amer. Assoc. Petrol. Geol. , Vol. 54.

CONGRES GEOLOGIQUE INTERNATIONAL « 26e » (1980) —
Energies fossiles, les hydrocarbures, éd. Technip.

CONYBEARE C. (1976) — Geomorphology of oil and gaz fields in sandstone bodies; elsevier scientific pub. com - , Amesterdam-Oxford - New York

DESBRANDES R. (1982) — Diagraphies dans les sondages; edit. Technip

DICKEY P. A. (1979) — Petroleum development geology
Pet. Pub. Co. Tulsa, Oklahoma

DURAND B. (1980) — Kerogèn : Insoluble organic matter from sedimentary rocks; edit. Techip

ELF - AQUITAINE (1975) — Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés; Fasc. 1 : éléments d' analyse

ELF - AQUITAINE (1977) — Essai de caractérisation sédimentologique des dépôts carbonatés, Fasc. 2 : éléments d'interprétation
Boussens et Pau.

EL - KADI M. (1981) — Etude sédimentologique et diagénétique d'un réservoir gréseux en milieu carbonaté.; Thèse de doctorat d' Etat sciences, Univ. de Paris 6. édit. Technip.

FLANDRIN J. , CHAPELLE J. (1961) — Le pétrole; édit. Technip.

GUILLEMOT J. (1964) — Cours de géologie du pétrole; édit. Technip.

- HOBSON G. (1980) — Nouveaux aspects de la géologie du pétrole; 2a,2b
édit. SCM, la Défense 2.
- HOBSON G., POHL W. (1973) — Modern petroleum technology
John Wiley & Sons, New York - Toronto.
- FUING L. V. , HOBSON G. D. (1981) — Petroleum geology of the
continental shelf of North - West Europ
Pub. Heyden & Son Ltd. , London.
- ISHAK I. (1981) — Le champ d' Allian (N.E de la Syrie)
pétrographie et pétrophysique des réservoirs crétacés
Thèse de doct. Ing. , Univ. de paris 6. édit. Technip
- KING R. (1972) — Exploration for stratigraphies traps
Amer. Assoc. Pet. Geol. Mem. No. 16
- LANDS K. (1951) — petroleum geology; edit, Wiley
- LABABIDI M. (1980) — Exploration for hydrocarbons in Syrian Arab
Republic, int. meet. on petrol. geol. China.
- LE BLANC R. J. (1972) — Geometry of sandstone reservoir bodies
Amer. Assoc. Petrol. geol. , Mem. No. 18
- LEBLOND A. (1963) — Cours de forage, Equipement de forage
édit Technip
- LEVORSEN I. (1967) — Geology of petroleum
second edit. , Freeman and Company
- MONDRAIN P. (1966) — Cours abrégé de production à l' E. N. S. P. M
édit. Technip

MONICARD R. (1975) — Cours de production à l' E. N. S. P. M. :
Caractéristiques des roches réservoirs, Tom 1. , édit. Technip.

PERRON A. (1966) — Géologie du pétrole
Presses Univ. de France, Paris

PERRON A. (1980) — Géodynamique pétrolière : genèse et repartition
des gisements d' hydrocarbures ; Masson, Elf - Aquitaine

PETTJOHN F. J. , POTTIER P. E. , SIEVER R. (1972) — Sand and
sandstone; Springer - Verlag, New York. Heidelberg. Berlin

PURSER B. H. (1973) — Relation entre caractéristiques lithologiques
et pétrophysiques des roches carbonatées; Réf. I.F.P. 21558

PURSER B. H. (1983) — Sédimentation et diagénèse des carbonates
néritiques récents Tom 2, édit. Technip.

RENECK H. E. , SINGH I. B. (1973) — Depositional Sedimentary
environments; Springer - Verlag Berlin - Heideberg -
New York.

SERRA O. (1974) — Interprétation géologique des séries deltaïques
à partir des diagraphies différées ; Rév. Assoc. Fr. Technic.
Pétrole. No. 227

SERRA O. (1979) — Diagraphies différées : base d' interprétation
Tom 1, Bull. Cent. Rech. Explor. Produc. , Elf - Aquitaine

SERRA O. , (1985) Diagraphies Différées - Base de interprétation
Tom - 2, Elf - Aquitaine, Méme 7, pau 1985

SALLE C. , DEBYSER J. (1978) — Formation des gisements de pétrole:
étude des phénomènes géologiques Fondamentaux,
édit. Technip

TISSOT B. , WELETE D. (1978) — Petroleum formation and occurrence :
a new approach to oil and gaz exploration; Spring - Verlag.

WILSON J. I. (1975) — Carbonate Facies in geologic history ; Spring -
Verlag.

YEN T. F. , CHILINGARIAN G.V. (1976) — Oil shale ; Elsevier, Scien.
Pub. Comp.



٢ - المصادر العربية :

- الإمام . ١٠ ، اتنكوي ، سكرية . ف (١٩٧٩) : آفاق الاستكشاف النفطي في حقول الجبسية
- الشركة السورية للنفط (١٩٧١) : البنية الجيولوجية النفطية في سورية
- أعداد المهندس موسى جرجور .
- (١٩٧٨) : الجهود الاستكشافية منذ بدء عمليات الكشف
- عن النفط - إعداد الدكتور المهندس أنور الإمام .
- (١٩٨٠) : الجيولوجيا تحت سطحية والآمال النفطية
- في الجمهورية العربية السورية - أعدت -
- بإشراف الدكتور المهندس أنور الإمام .
- (١٩٨١) : أعمال الاستكشاف خلال الفترة ١٩٧١ - ١٩٨٠
- في القطر العربي السوري - أعدت بإشراف
- الدكتور المهندس مختار لبائدي .
- باكروف . ١٢٠ (١٩٧٠) : الأسس النظرية للبحث والتنقيب عن البترول والغاز -
- مترجم من الروسية ، دار مير للطباعة والنشر - موسكو .
- باش إمام . ١٠ (١٩٨٥) : الترياسي وعنديده في آبار النفط السورية - المجلد
- الجيولوجية السورية ، العدد الثالث .
- بيضون . ز (١٩٨٥) : حول الامكانيات النفطية في لبنان - المجلد الجيولوجية
- السورية ، العدد التاسع .
- تكنو اكسبورت (١٩٧٢) : البنية الجيولوجية النفطية في سورية - مرية لبائدي . م
- وموصلي . م (١٩٧٣) .
- جامعة الدول العربية - المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (١٩٨١) (مجمع
- الجيولوجيا - مركز النشر ، الرباط .

- حسين . ك (١٩٧٨) : الجيولوجيا الاقليمية - جامعة دمشق ، المطبعة الجديدة .
- دوبرتريه . ل (١٩٦٦) : جيولوجية سورية ولبنان - ترجمة الدكتور ميخائيل معطي .
- عجل . ف ، عبد الرحيم . ع (١٩٧٤) : جيولوجية سورية - مطبعة الفكر .
- عطري . م (١٩٨٠) : تطور التنقيب الاهتزازي في القطر العربي السوري - المطبعة الجيولوجية السورية - العدد الخامس .
- لبيلدي . م (١٩٨٠) : التنقيب عن النفط في هضبة حلب ونتائجه - المجلة الجيولوجية السورية - العدد السابع .
- محفوظ . م (١٩٧٨) : تكوين الشرائش في شمال شرق سورية - المجلة الجيولوجية السورية - العدد الاول .
- موراغيوف . فد (١٩٨٠) : استغلال آبار البترول والغاز - مترجم عن الروسية - دار مير للطباعة والنشر - موسكو .



محتويات الكتاب

Table des Matières

الصفحة	الموضوع
٣	— مقدمة
٥	— منهاج مقرر جيولوجية النفط
٧	— مدخل
١١	— القسم الأول : الفحم الهيدروجينية
	— الفصل الأول : تركيب الفحم الهيدروجينية
١٣	— مقدمة
١٤	— التركيب الكيميائي
١٨	— التركيب النظائري
	— الفصل الثاني : المجموعات الرئيسية للفحم الهيدروجينية
٢١	— الغازات الطبيعية :
٢١	— التركيب الكيميائي
٢٣	— الخصائص الفيزيائية والاقتصادية للغازات الطبيعية
٢٥	— الزيوت الخام
٢٥	— التركيب الكيميائي
٢٦	— الخصائص الفيزيائية والاقتصادية للزيوت الخام

- الفصل الرابع : الهجرات الأولى - مفهوم الصخر الأم

- ٣٧ - مقدمة
- ٣٨ - المكونات الرئيسية للمادة العضوية الحية
- ٣٩ - أوساط الترسيب - الكيروجين
- ٤٠ - أوساط الترسيب
- ٤٢ - الكيروجين
- ٤٤ - تحولات المادة العضوية
- التحول
- التحول الحراري
- ٥٠ - العلاقة بين الزيوت الخام وأوساط الترسيب
- ٥٠ - الأوساط الفضارية الرملية
- ٥١ - الأوساط الكربونائية والمتبخرات
- ٥٢ - الأوساط البحرية
- ٥٣ - خلاصة ونتيجة

- الفصل الثالث : نشأة الفحم المينروجينية

- ٥٤ - مقدمة
- ٥٥ - الأنواع المختلفة للهجرة الأولى
- ٥٦ - الهجرة بواسطة المحاليل الجزيئية
- ٥٧ - الهجرة بواسطة المحاليل الفروية أو الذرية
- ٥٨ - الهجرة على شكل أطوار زيتية أو غازية منفصلة
- ٦٢ - الإطار الجيولوجي للهجرة الأولى
- ٦٤ - دور مياه التحول الحراري
- ٦٤ - حالة التشكيلات شديدة التراص

- ٦٥ - هجرة الفازات
- ٦٧ - الصخور الأم
- ٧٠ - خصائص الصخور الأم
- ٧٣ - مثال على تسخر أم

- القسم الثاني : الصخور الخازنة والصخور المفتية

- الفصل الأول : الصخور الخازنة

- ٧٩ - مقدمة
- ٨٠ - الخصائص البتروفيزيائية للصخور الخازنة
- ٨٠ - ظواهر الإدمصاص أو التوترات بين السطوح
- ٨١ - خاصة التبلل
- ٨٢ - المسامية
- ٨٥ - النفوذية
- ٨٩ - العلاقة بين المسامية والنفوذية
- ٩٠ - قياس المسامية والنفوذية
- ٩١ - الطرق المباشرة
- ٩١ - الطرق غير المباشرة
- ٩٤ - الخصائص الأولية والثانوية للصخور الخازنة
- تأثير العوامل الجيولوجية على الخصائص البتروفيزيائية للصخور
- ٩٥ - تأثير وسط الترسيب
- ٩٦ - تأثير الدياجينيز
- ١٠٠ - تأثير التكتونيك
- ١٠٣

- الفصل الثاني : المجموعات الرئيسية للصخور الخازنة

- ١٠٦ - مقدمة
- ١٠٦ - الصخور الخازنة الحطامية
- ١٠٨ الخصائص البتروفيزيائية للرمال والصخور الرملية
- ١٠٨ - الخصائص الغرانولومترية
- ١١٣ - الخصائص المينرالوجية
- ١١٩ - الأوساط والتشكيلات الرئيسية للصخور الخازنة الرملية
- ١٣١ - الصخور الخازنة الكربوناتية
- ١٣٧ - أنواع الصخور الخازنة الكربوناتية
- ١٣٧ - الصخور الخازنة الرصفية
- ١٣٧ - الصخور الخازنة الحوارية
- ١٤٠ - الصخور الخازنة الدولوميتية
- ١٤٥ - الصخور الخازنة المشققة

- الفصل الثالث : الصخور المغطية

- مقدمة
- ١٤٦ - الخصائص البتروفيزيائية والجيولوجية للصخور المغطية
- ١٤٧ - الخصائص المينرالوجية
- ١٤٧ - الخصائص الهيدروجيولوجية
- ١٤٧ - الخصائص البنيوية
- ١٤٨ - الأنواع الرئيسية للصخور المغطية
- ١٤٨ - الغضاريات
- ١٤٨ - الصخور الملحية
- ١٤٩ - غطاءات مختلفة
- ١٥١ - خلاصة وتسايج

القسم الثالث : هجرة الفحوم الهيدروجينية - المصائد النفطية

- الفصل الأول : سبيل الفحوم الهيدروجينية

- مقدمة
- ١٥٥ - ميكانيكية الهجرات الثانوية
- ١٥٥ - الديناميك الفيزيائي
- ١٥٧ - الديناميك الكيميائي
- ١٥٨ - الأشكال الرئيسية للهجرات الثانوية
- ١٥٨ - الهجرات في إطار الحوض الرسوبي
- ١٥٩ - الهجرات الخطية
- ١٦٣ - الهجرات الشاقولية
- ١٦٨ - الهجرات التبخرية والدلائل لسطحية
- ١٧١ - مفاهيم الإصطيد والمصائد
- ١٧١ - مفهوم الإغلاق والإصطيد
- ١٨٢ - مفاهيم المكن والاحتياطي والحقل
- ١٨٤ - خلاصة ونتيجة

- الفصل الثاني : الأنواع الرئيسية للمصائد والمكان

- مقدمة
- ١٨٥ - المصائد البنيوية
- ١٨٧ - مصائد الطلي أو المتكامن الطبقة
- ١٨٧ - المصائد القاذبية
- ٢٠٨ - المصائد المرتبطة بقباب الملح والنفط
- ٢١٥ - المصائد الطبقة
- ٢٢٥ - المتكامن المرتبطة بعدم التوافق
- ٢٢٨

- المكامن المرتبطة بترقق واختلاف السحن
- ٢٣١ - مصائد ومكامن على علاقة بالأجسام الرملية
- ٢٣٥ - مصائد ومكامن على علاقة بالأجسام الكربوناتها
- ٢٤٠ - المكامن المتنوعة والتجمعات غير التقليدية
- ٢٤٠ - المكامن المتنوعة
- ٢٤٠ - المصائد الدياجينية
- ٢٤٢ - المصائد الشفقية
- ٢٤٣ - المصائد الغازية في قيعان الأحواض
- ٣٤٥ - تجمعات الفحم الهيدروجينية غير التقليدية
- ٢٤٨ - خلاصة ونتيجة

القسم الرابع: الأقاليم النفطية

الفصل الأول: مفهوم الأقاليم النفطية

- ٢٥٣ - مقدمة
- ٢٥٤ - الخصائص النفطية
- ٢٥٧ - الخصائص الجيولوجية
- ٢٥٨ - خصائص الوسط الرسوبي القديم
- ٢٥٨ - شروط الترسيب
- ٢٦٢ - الشروط الهيدروجيولوجية
- ٢٦٧ - الخصائص التاريخية
- ٢٦٨ - الشروط البنيوية
- ٢٧٠ - الشروط الجيودينامية
- ٢٧٤ - الخصائص الجغرافية
- ٢٧٤ - توزيع الفحم الهيدروجينية في إطار الحوض

٢٧٨	- توزيع الفصوم الهيدروجينية في الإطار الطبقي
٢٨١	- خلاصة ونتيجة
٢٨٢	- الفصل الثاني : الأنواع الرئيسية للأقاليم النشطة
٢٨٣	- مقدمة
٢٨٣	- أقاليم السطوح القارية
٢٨٧	- الأقاليم البلازمية غير المستقرة
٢٨٩	- الأقاليم الكربونية والرصفية
٢٩٦	- الأقاليم الإنهدامية
٢٩٦	- أقاليم الحفر الإنهدامية
	- أقاليم الهوامش القارية السالبة
٣٠٨	- الأقاليم الدلتاوية
٣١٤	- أقاليم المقاطعات الجبلية
٣١٥	- الأقاليم بين الجبلية
٣١٦	- الأقاليم الإنزاحية
٣٢٥	- أقاليم مناطق تصادم الصفائح
٣٢٦	- خلاصة ونتيجة
	- الفصل الثالث : الأقاليم النشطة الرئيسية
٣٢٦	- مقدمة
٣٢٧	- لمحة جيودينامية وبالوجرافية عامة
٣٣٤	- أقاليم الشرق الأوسط

٢٣٤	- الخصائص الجيولوجية
٣٤١	- الخصائص النفطية
٣٤٢	- نموذج الخف
٣٤٣	- نموذج المنطقة العربية
٣٤٥	- نموذج الكريتاسي
٣٤٩	- نموذج الأسري
٣٥٤	- خلاصة ونتيجة

- الفصل الرابع : حقول النفط في القطر العربي السوري

٣٥٥	- لمحة تاريخية عن تطور أعمال الاستكشاف النفطي في سورية
٣٦٤	- الوضع البنيوي والجيولوجي
٣٦٤	- الوضع البنيوي والوحدات البنيوية الرئيسية
٣٧٢	- الوضع الجيولوجي
٣٧٣	- المقطع الطبقي لمنطقة شمال شرق سورية
٣٨١	- الخصائص النفطية
٣٨٣	- الخصائص الرئيسية لحقول النفط في القطر العربي السوري
٣٨٣	- منطقة أقصى شمال سورية
٣٩٧	- منطقة حقول الجبسية
٤٠٢	- منطقة هضبة حلب

- القسم الخامس : التنقيب النفطي - الإنتاج

٤٠٧	- الفصل الأول : التنقيب
٤٠٩	- مقدمة
٤١٠	- الاستكشاف - دور الجيولوجيا

٤١١	— التنقيب الجيولوجي السطحي
٤١١	— الدراسات الطبقيّة
٤١٢	— الدراسات البنيويّة
٤١٢	— التنقيب البيو فيزيائي
٤١٤	— الجيولوجيا تحت السطحية
٤١٤	— المعطيات البئرية
٤١٦	— تفسير المعطيات
٤١٧	— الفصل الثالث : الانتاج
٤١٧	— مقدمة
٤١٨	— الطريقة الدورانية
٤٢٥	— الأعمال المرافقة للحفر البئري
٤٢٧	— استخلاص اللباب الصخري
٤٢٩	— تجارب الضخ
٤٣٣	— الإكساء
٤٣٤	— السمّنة
٤٣٤	— أساليب الحفر
٤٣٨	— الفصل الثاني : الحفر
٤٣٨	— مقدمة
٤٤٠	— الآبار ذات التدفق التلقائي
٤٤٢	— الآبار ذات التدفق بالضغط
٤٤٣	— الإنتاج بدفع الغاز
٤٤٥	— الاستثمار الثانوي

٤٤٦	- حقن الماء
٤٤٨	- حقن الغاز
٤٤٨	- الانتقال على شكل طور مزيج
٤٤٩	- الحرق الداخلي
٤٥١	- الفصل الرابع : الاحتياطي
٤٥١	- مقدمة
٤٥١	- تعاريف واصطلاحات
٤٥٦	- تقديرات الاحتياطي العالمي
٤٥٧	- طرائق حساب الاحتياطي
٤٥٩	- طرائق تقدير الإحتياطي للزيت والغاز ذي القيمة التجارية
٤٦١	- طرائق تقدير الإحتياطي المحتمل أو المتنبأ به
٤٦٦	- المصطلحات العلمية
٤٧٨	- المصادر العلمية
٤٧٨	- المصادر الأجنبية
٤٨٣	- المصادر العربية
٤٨٥	- مقتربات الكتاب

تصويب

رقم الصفحة	رقم السطر	الخطا	الصواب
تنويه :			
بالرغم من الجهد الكبير الذي بذل في تنقيح هذا الكتاب من الاخطاء ، إلا ان الجهة الطابعة وقعت من غير قصد في بعض الاخطاء التي تعذر تصحيحها بعد طباعة النسخة النهائية .			
٢٤	٥	الطبيعية	الطبيعية بالنسبة
٢٧	٨	lubnification	lubrification
٢٨	٢	وتتناقض	وتتناقض
٤٠	٥	المحيات	المحيطات
٤٠	١٨	بان	فإن
٤٥	٤	ويتناقض	ويتناقض
٦٥	الأول	هجرات	هجرة
٦٧	٢	جيو كيميائية	جيو كيميائية
٧٤	شكل ١٤	بأماكن	بأكن
٨١	٢٢	انفتروم	انفتروم
٩٤	الآخر	كرار تزي	كوارتزي
٩٨	٧٤٢	توصفات	توضعات
١٠٠	١٥	بالمغنيزيوم	بالمغنيزيوم
١٠٩	شكل ٢٥	تصنيف الحطامية	تصنيف الصخور الحطامية
١٢٥	٣	مشوية	مشوبة
١٣٣	١١	والا	اولاً
١٦٠	٤	الاسفلتية	الاسفلتية
١٧٠	٥	نيتان	فيتان
١٧٤	الأول	المواجهة	الوجهة
١٨٣	٦	المكن	الممكن
١٩١	١٥	بمقررات	بممرات

رقم الصفحة	رقم السطر	العنوان	المصواب
٢٠٨	١٠	الانفلاق	الإغلاق
٢١٢	الأول	المصاعد	المصائد
٢١٢	٥	الأجنة	الأجحة
٢٤٨	٦٤٥	٢م	٢م
٢٥٥	١٠	يزداد حجمها	يزداد بتناقص حجمها
٢٨٧	الأول	بترقات	بترقات
٢٩٣	٨	٣٠ - ٤٥٠	٣٠ - ٤٥
٢٩٨	١٥	بتشكيلة	تشكيلة
٣١٤	٧	سمكة	سمكة
٣٢٥	٧	تجمعية	تجمعية
٣٣٢	الآخر	لحوض	كحوض
٣٣٥	١٩	(شكل ١٣٩)	(شكل ١٣٩، ١٤٠)
٣٥٤	١٩	سطوح	توافق سطوح
٣٥٦	١٨	بلاكلا	براكلا
٣٦٣	١١	جـ يـ ١	حرية ١
٣٦٥	شكل	١٣٥	١٥٣
٣٦٧	٧	بالسمات	بالسمات
٣٧٠	الآخر	منمطيا	منمطيا
٣٨١	٧٤٥	السطحية	السطحية
٣٩٤	١٤	الستلولية	الستلوليت
٤١٥	شكل ١٦٩ - ٢	اسقاعية	اشماعية
٤٤٦	٤	نقطة النصرف	النصرف
٤٥٠	٥	الحتراق	الاحتراق
٤٧٠	١٦	Géosyncinal	Géosynclinal