الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

كلية هندسة البترول

Faculty of Petroleum Engineering

صفات الخزانات المتشققة

السنة الخامسة

المحاضرة الرابعة

الدكتور نضال شقير

2018 - 2017

Rock characteristics vs. fracturing خصائص الصخور مقابل الشقوق

Deformational properties

ضمن مفهوم خصائص الصخور مقابل الشقوق
هناك عدد من العوامل التي يجب دراستها كزمن التحميل ودرجة الحرارة والضغط المحصور ونوع الصخور.

زمن التحميل أو نسبة التحميل :

إن زيادة اللدونة تسبب انخفاض في نسبة الانفعال (التشوه) لكن نسبة الانفعال هي بحد ذاتها حالة ميكانيكية تشوه لصخور، نتيجة الحرارة والضغط المحصور. من المشاهدات المخبرية للحجر الرملي والحجر الكلسي تبين أن الانفعال مع الزمن الطويل ليس كثيراً.

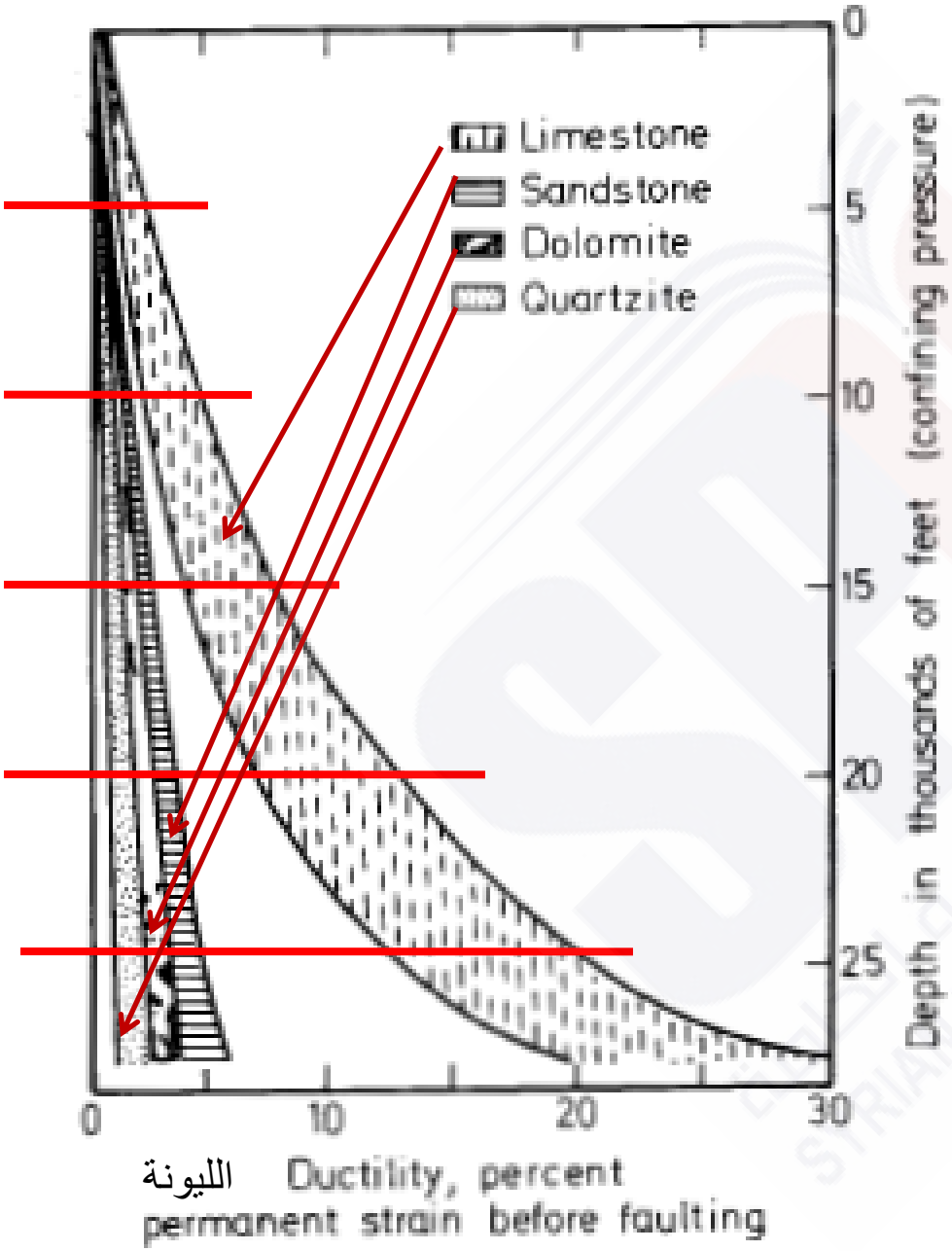
تأثير درجة الحرارة:

بشكل عام زيادة الحرارة يرافقه انخفاض في مقاومة الخضوع النهائية والصلابة النهائية

نوع الصخور:

بشكل عام يمكن القول انه بزيادة الضغط المحصور ودرجات الحرارة يؤدي إلى نقصان نسبة الانفعال او الإجهاد وزيادة الليونة.

الكوارتز والدلوميت لن يصبحا لينيين كما الحجر الكلسي في نفس الشروط البيئية.
الشكل ١.٢٠ يبين تغيرات الليونة مع عمق طمر الصخور عند الضغط الطبيعي (أي وزن الصخور الأعلى) التدرجي و تدرج زيادة الحرارة الطبيعي.
إذا:
الفرق بين الليونة ضمن الأعماق القليلة مهمل.
ولكن عند الأعماق الكبيرة الفرق كبير جدا (التفاضل أو التمايز).



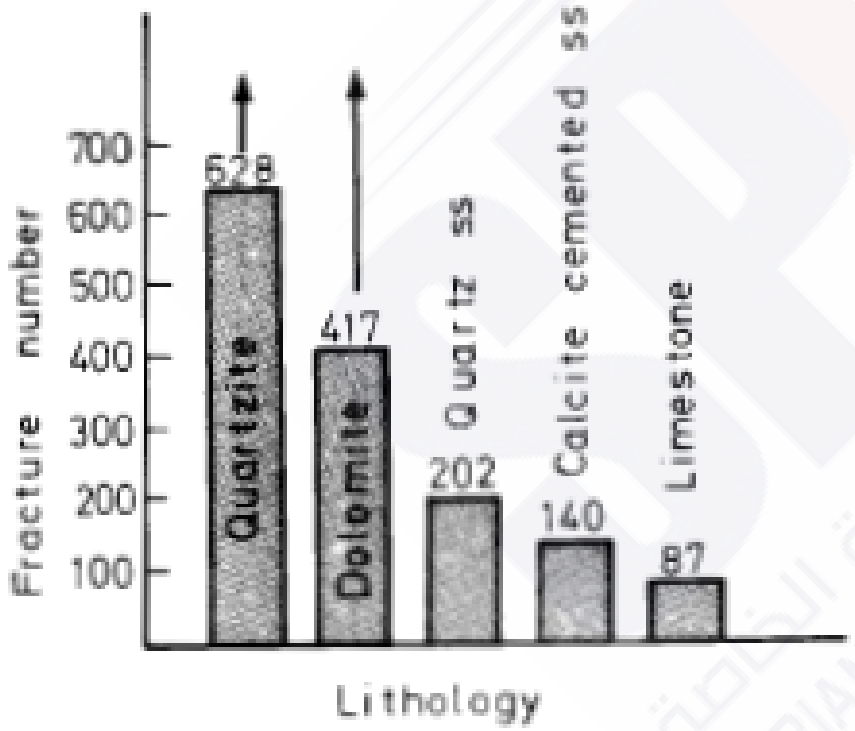
الليونة

٣

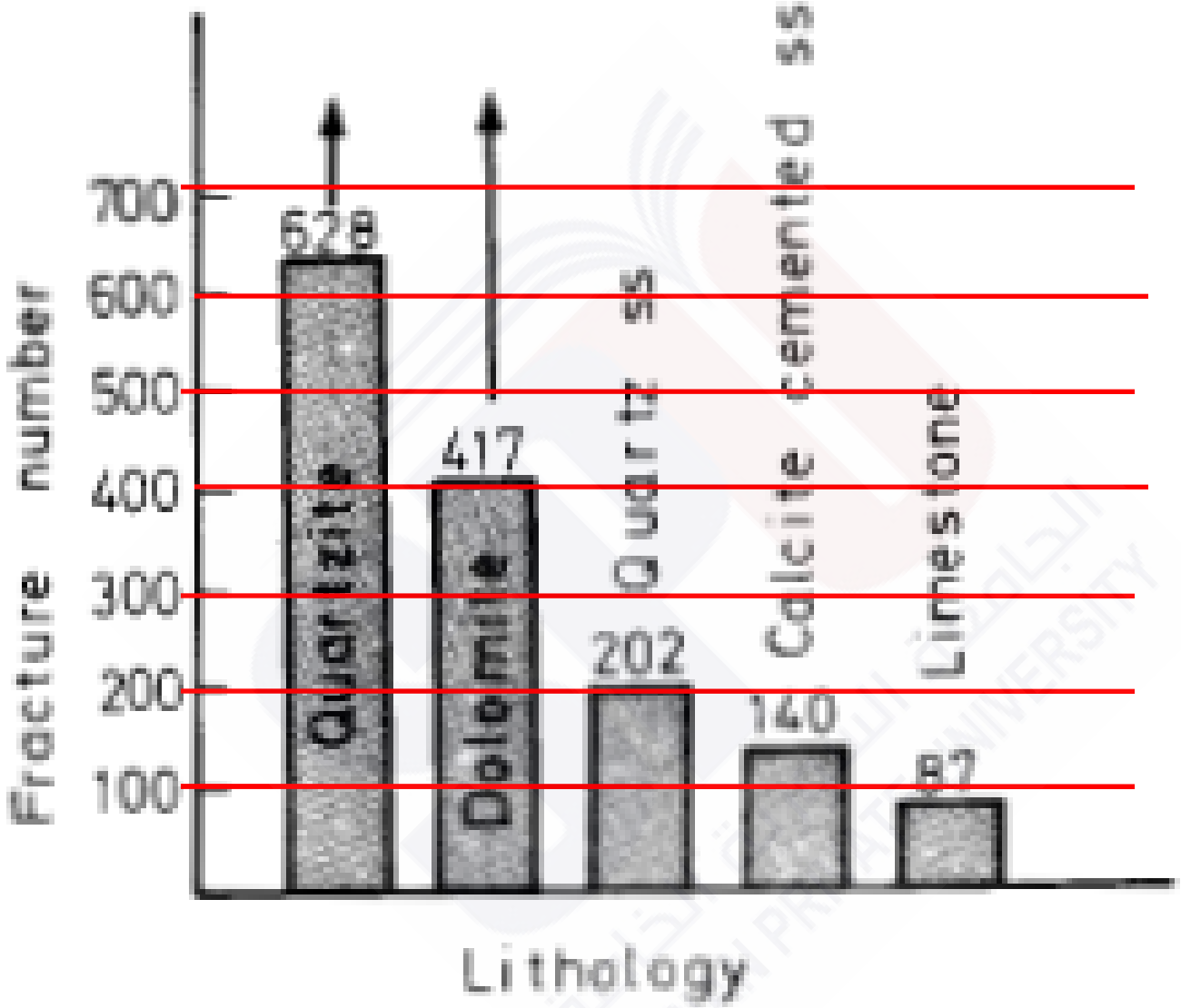
1.20 – Ductility vs. depth (water saturated rock)[10] (Courtesy AAPG).

لتغيرات الليونة تأثير كبير على عدد الكسور أو الشقوق في الصخور الموجودة في أعماق كبيرة من الأرض .

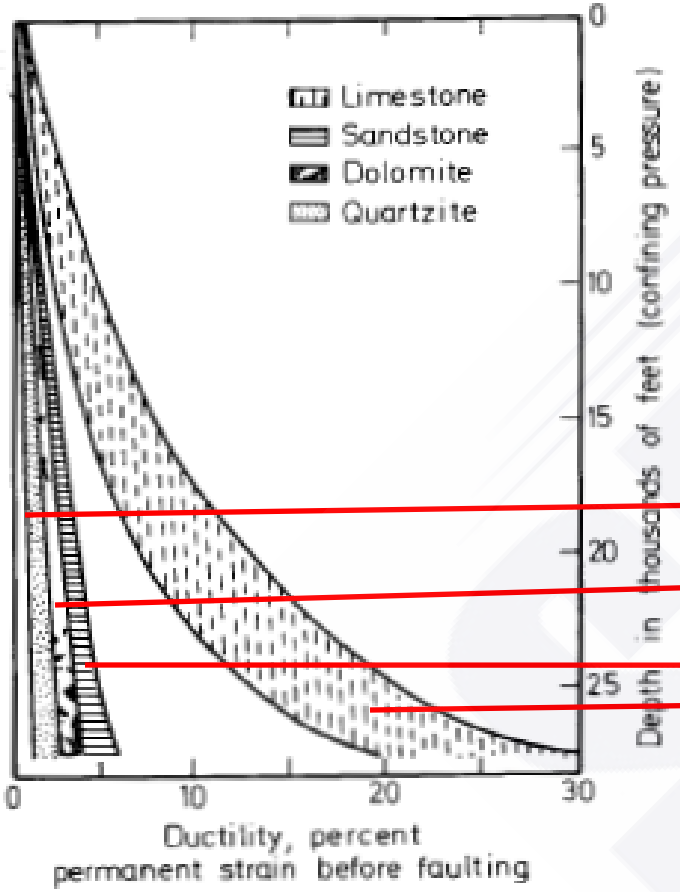
نتائج المختبرات تبين الفرق الجوهري في عدد الكسور والشقوق لصخور مختلفة كما في الشكل ١.٢١



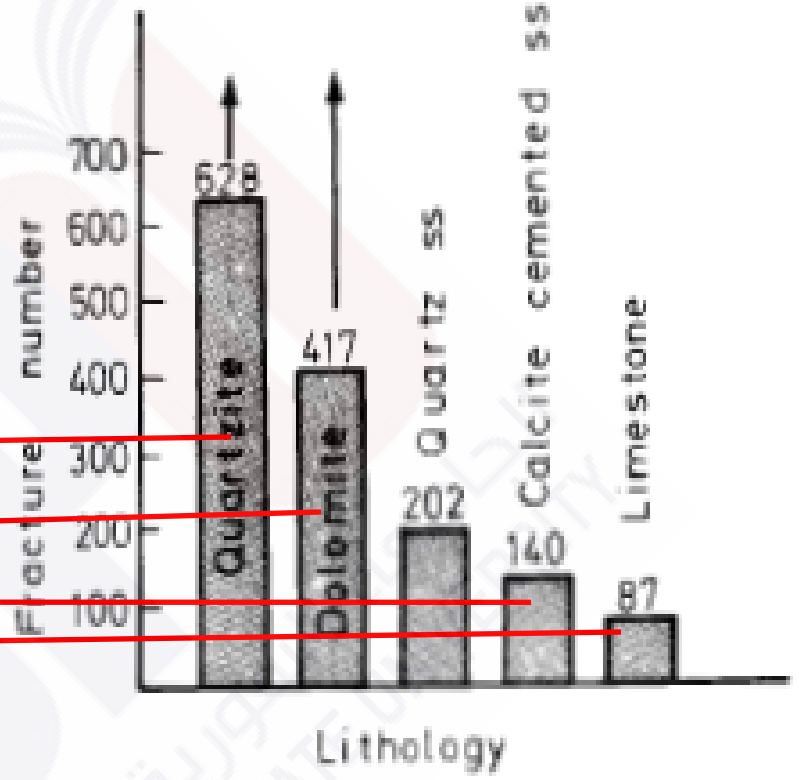
1.21 – Average number of fractures vs. lithology[28] (Courtesy AAPG).



1.21 – Average number of fractures vs. lithology[18] (Courtesy AAPG).



1.20 – Ductility vs. depth (water saturated rock)[10] (Courtesy AAI



1.21 – Average number of fractures vs. lithology[10] (Courtesy AAPG).

INFLUENCE OF STYLOLITIZATION AND JOINTING

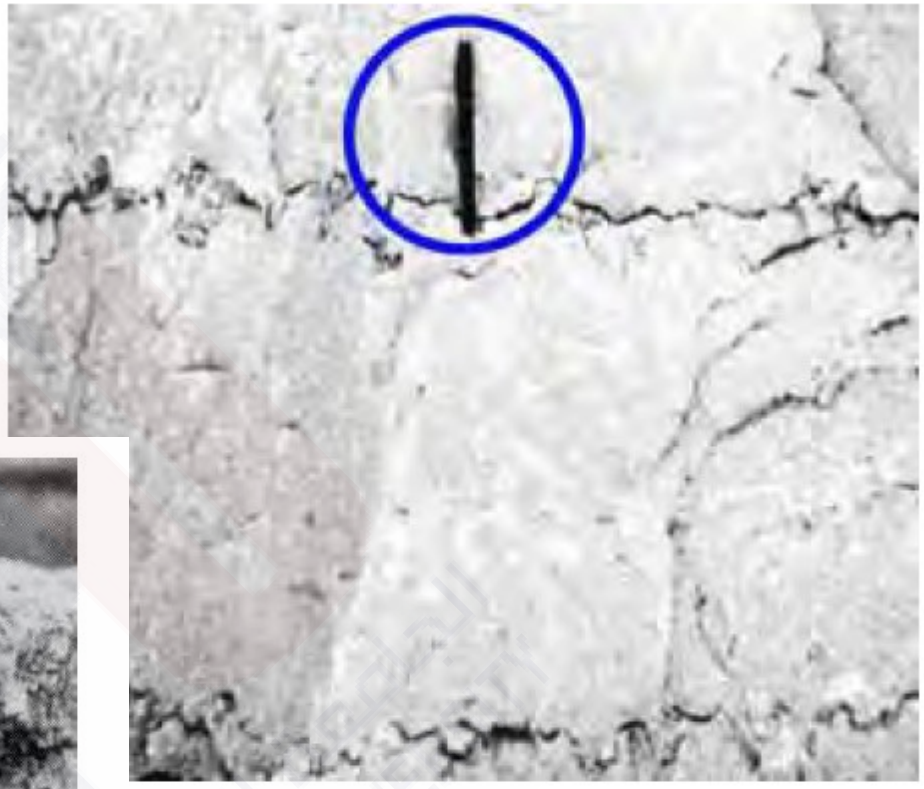
تأثير الستيلوليت والفواصل

الغالبية العظمى من الخزانات المتشققة تقع ضمن الحجر الكلسي حيث الفواصل و الستيلوليت لها تأثير كبير على تقييم الخزانات.

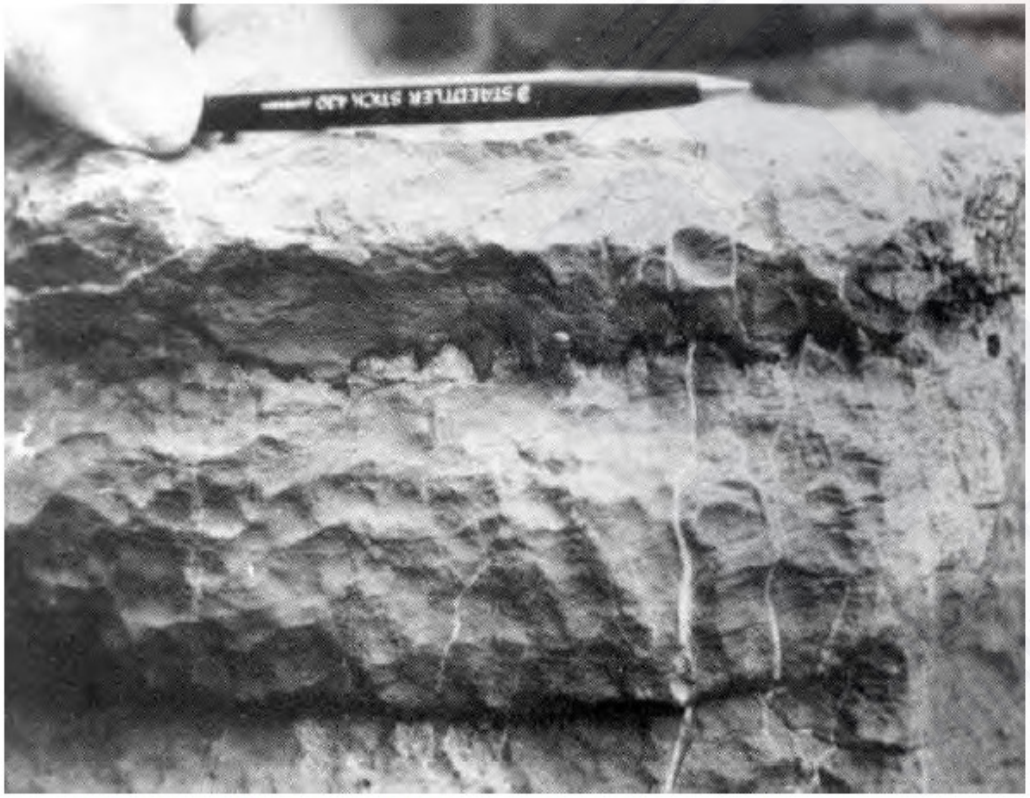
الستيلوليت : هو عبارة عن السطح المسنن للصخور أو الكتل الصخرية ، حيث تحرك المواد المعدنية نتيجة الضغط الانحلالي، حيث هذه العملية تقلل من حجم الصخور بنسبة ٣٠-٤٠ %.

يحدث هذا بالتوازي مع السطح القاعدي ويقلل من الاتصال بين نظام شقوق الخزان.

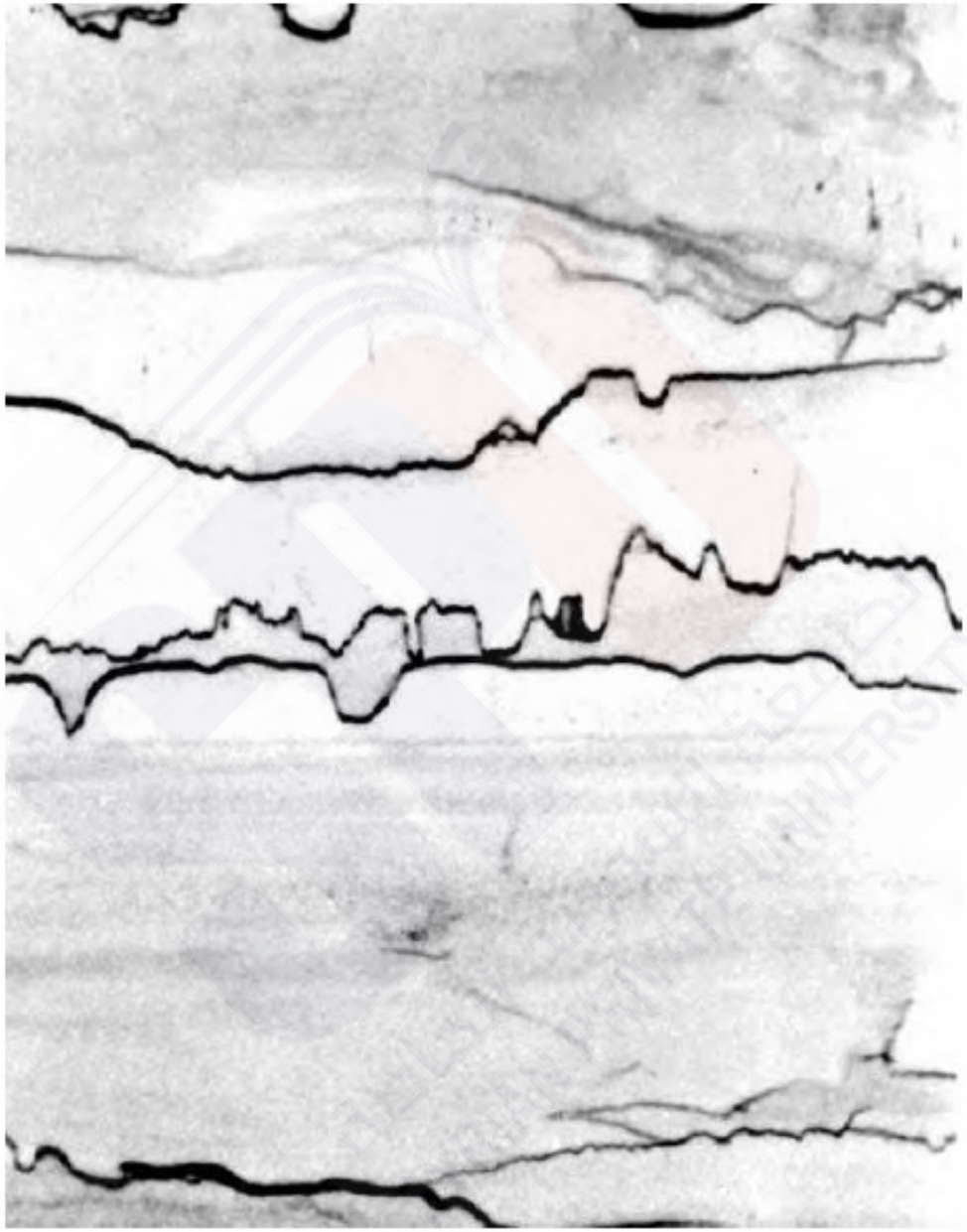
الأشكال التالية تمثل فواصل الستيلوليت المختلفة والمتنوعة.



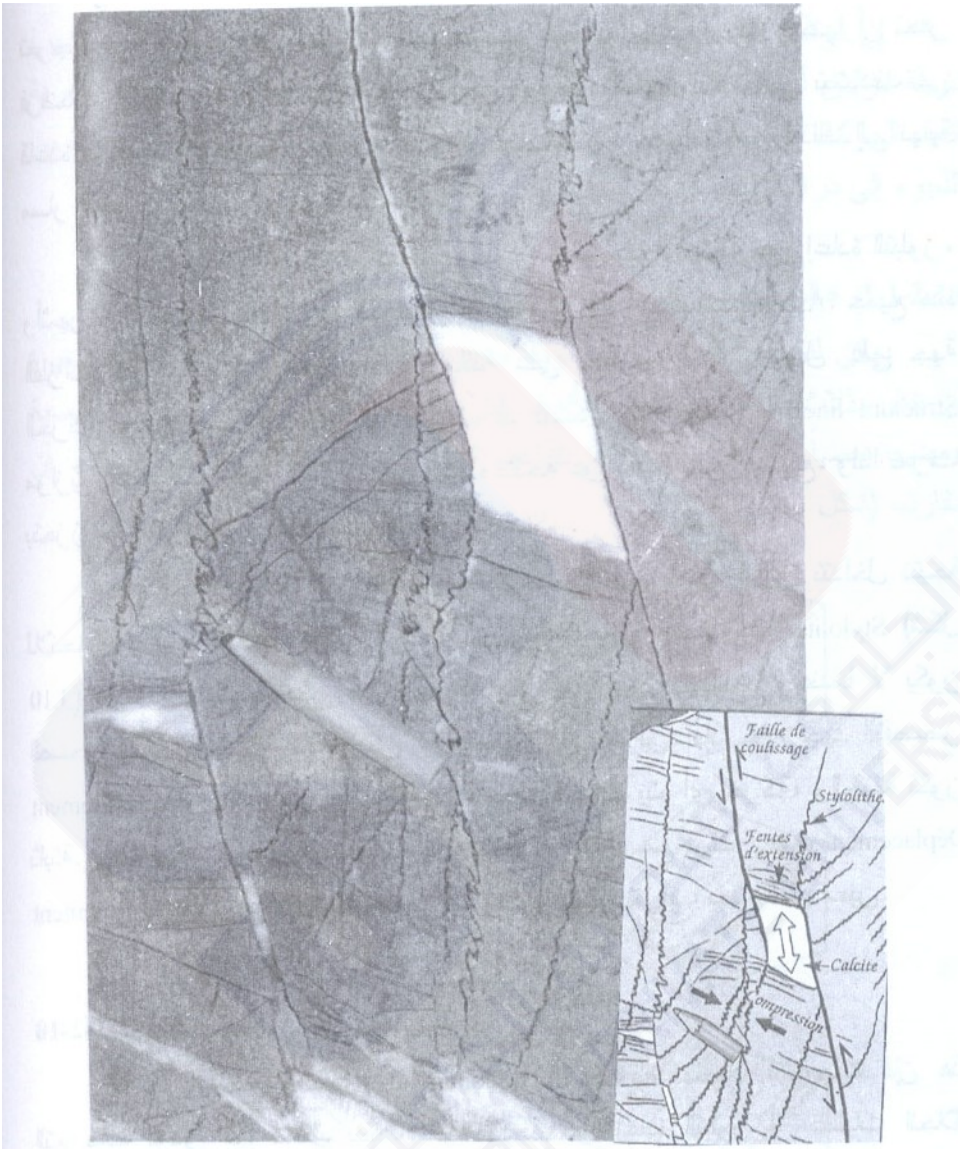
شكل S.268b زواند صخرية أوْ درز الذوبان
Conybeare & Crook, 1982



شكل S.267a زواند صخرية أوْ التضرس الصخري Collinson & Thompson, 1982



شكل S.268a مثال آخر للزواند الصخرية أوْ لدرز الذوبان Davis, 1983

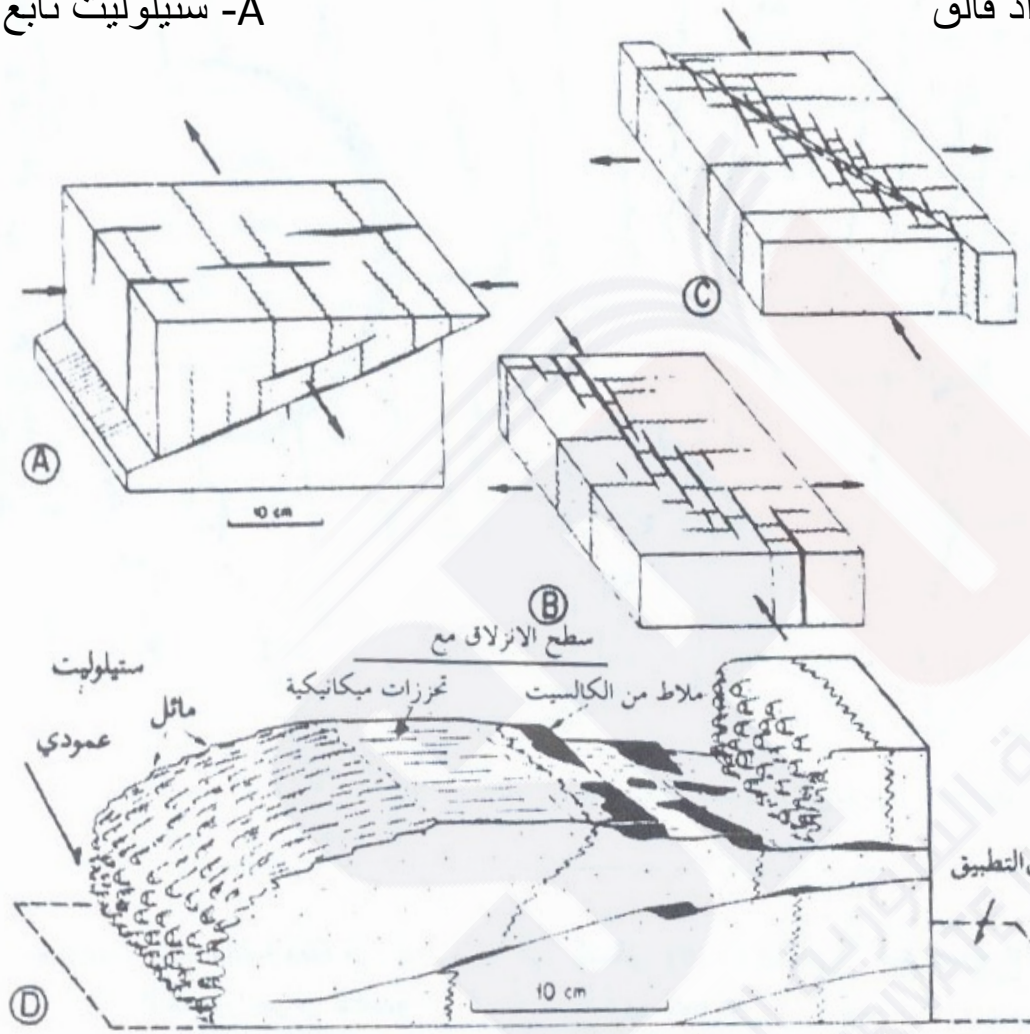


شكل 3.10

صورة حقلية لستيلوليت (a) ومخطط توضيحي للبنية (b)، حيث ينشط فالق انزلاقي (Laille coulissoge) وانضغاط (Compression) ينجم عنهما فتحات تباعد (Fente d'extension) وبنيات ستيلوليتية (Stylolite) وفي الوسط نمو لكالسيت (بالأبيض).

A- ستيلوليت تابع لفالق مقلوب

c-- ستيلوليت نتيجة صدوع شد على امتداد فالق



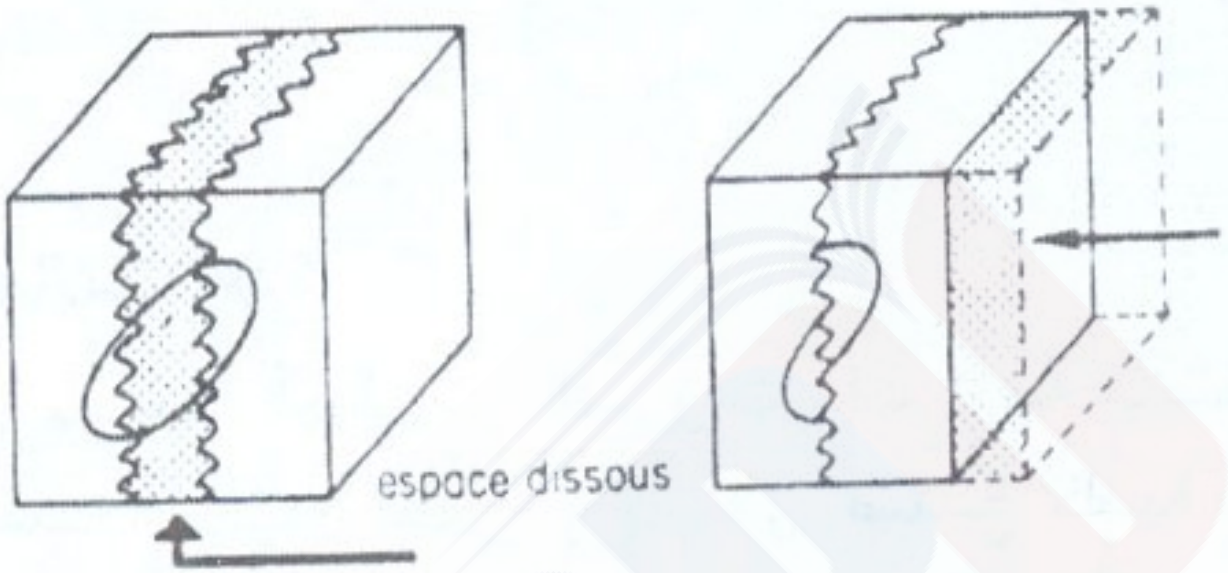
B- ستيلوليت معاصر لصدوع سلمية

D- نماذج مختلفة من الستيلوليت وعلاقتها بالبنية

شكل 7.10

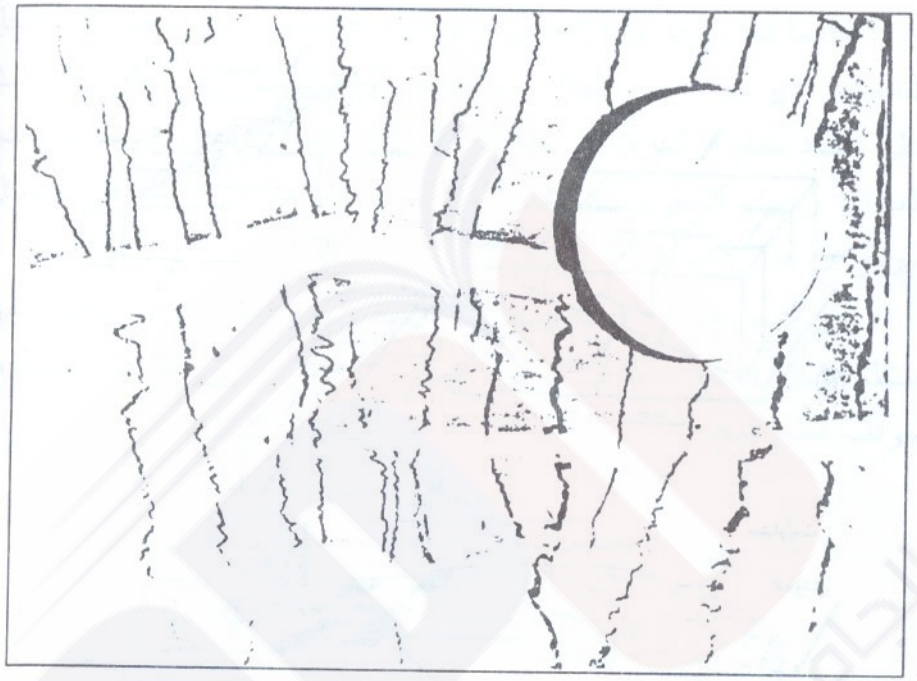
أشكال مختلفة للفواصل الستيلوليتية تبين العلاقة بينها وبين الفوالق وصدوع الشد.

A- ستيلوليت تابع لفالق مقلوب، B- ستيلوليت معاصر لصدوع شد سلمية، C- العلاقة بين صدوع شد وستيلوليت على امتداد انزلاق، D- شكل يوضح مظهر مختلف نماذج الستيلوليت وعلاقتها مع البنيات الدقيقة.



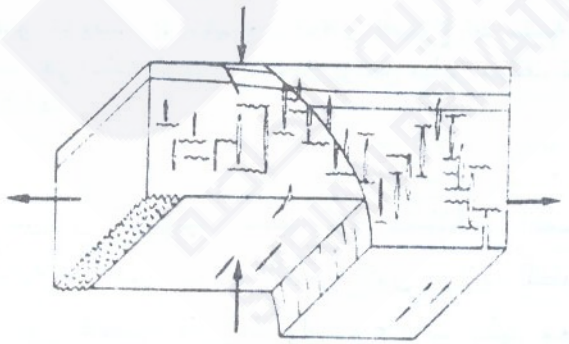
شكل 6.10

شكل يوضح تكون الفواصل الستيلوليتية وكيفية إمكان تحديد حجم المادة.



شكل 8.10

صورة ستيلوليت ذات منشأ تكتوني (حالة B في الشكل (7.10) مشتركة مع صدوع مملوءة بالكالسيت. اتجاه التقصير موازٍ للصدوع. اتجاه التطاول عمودي.



شكل 9.10

مثال عن ستيلوليت موازٍ للتطبق وناتجة عن التباعد، الستيلوليت مشتركة مع صدوع وهذه الأخيرة تتشارك مع فوالق عادية.

أصل الستيلوليت Origin of stylolite

يتشكل الستيلوليت من احد أمرين : **عمليات ضغط – انكماش** أو **عمليات ضغط – انحلال**
من الملاحظات العديدة للأعمال تميل إلى دعم الفكرة الثانية الأخيرة وهي عمليات ضغط – انحلال.

عمليات الضغط – الانحلال هي عمليات دياجينيز (النشأة المتأخرة) التي تخفض بشكل هام وملحوظ من حجم الصخور حتى ٤٠% أي من حجم الصخور الأولي وتجعلها رقيقة.

وتظهر هذه قبل عملية السمنتة وبعدها و ذلك حتى يترسب كل المُذاب ضمن الموائع (في السوائل البينية).

وجود الستيلوليت والمواد المترسبة وخاصة في حالة الاستمرارية هو سبب حالة الانخفاض الكبير لنوعية الخزان حيث تعمل على شكل حواجز أو عوائق لنظام هيدروديناميك مسام الحبيبات وبالتالي التأثير على شبكة الشقوق.

وصف تخطيطي لعمليات تشكل الستيلوليت

Schematic description of stylolitization

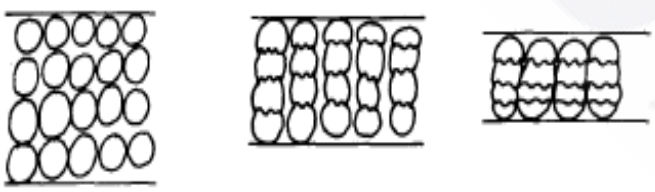
عمليات تشكل الستيلوليت يمكن وصفها بشكل بسيط كما في الشكل(١-٢٦)

الطورa : يمثل الحبيبات الأصلية في **الطور a** حيث زيادة ضغط السائل تؤدي إلى اتساع حالة الذوبان الكبيرة .

وتصبح أعظم عند الحبيبات التي على الأطراف وتنتقل من نقطة إلى أخرى وتصل بين كل الحبيبات.

الطور b : يمثل مواد كربوناتية منقولة ، وإذا استمر الانحلال فانه يتحول إلى **الطور c** .

الطور c : عمليات الترقق تسبب نقصان في الحجم نتيجة الانحلال تصل حتى ٣٠% كما في الشكل(١- ٢٧)

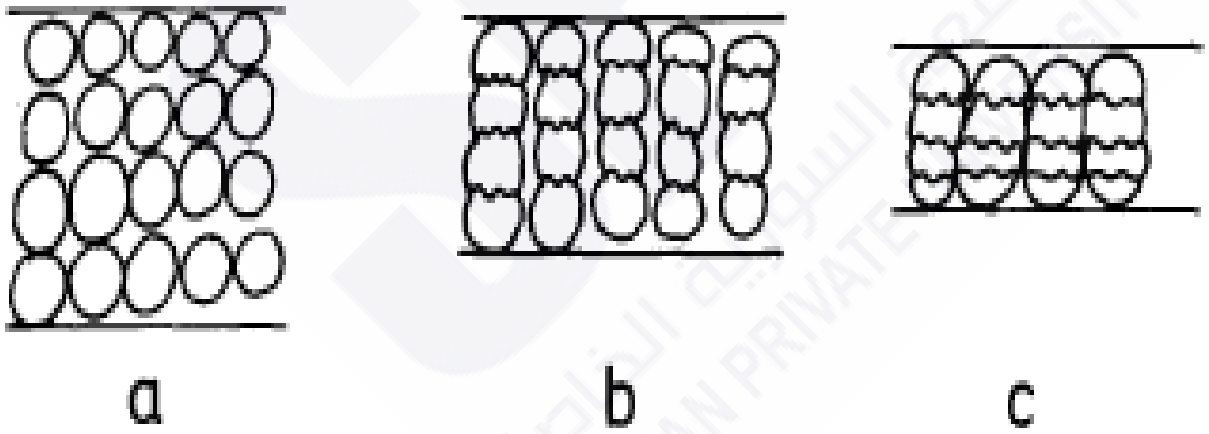


1.26 – Schematization of stylolitization with thinning.

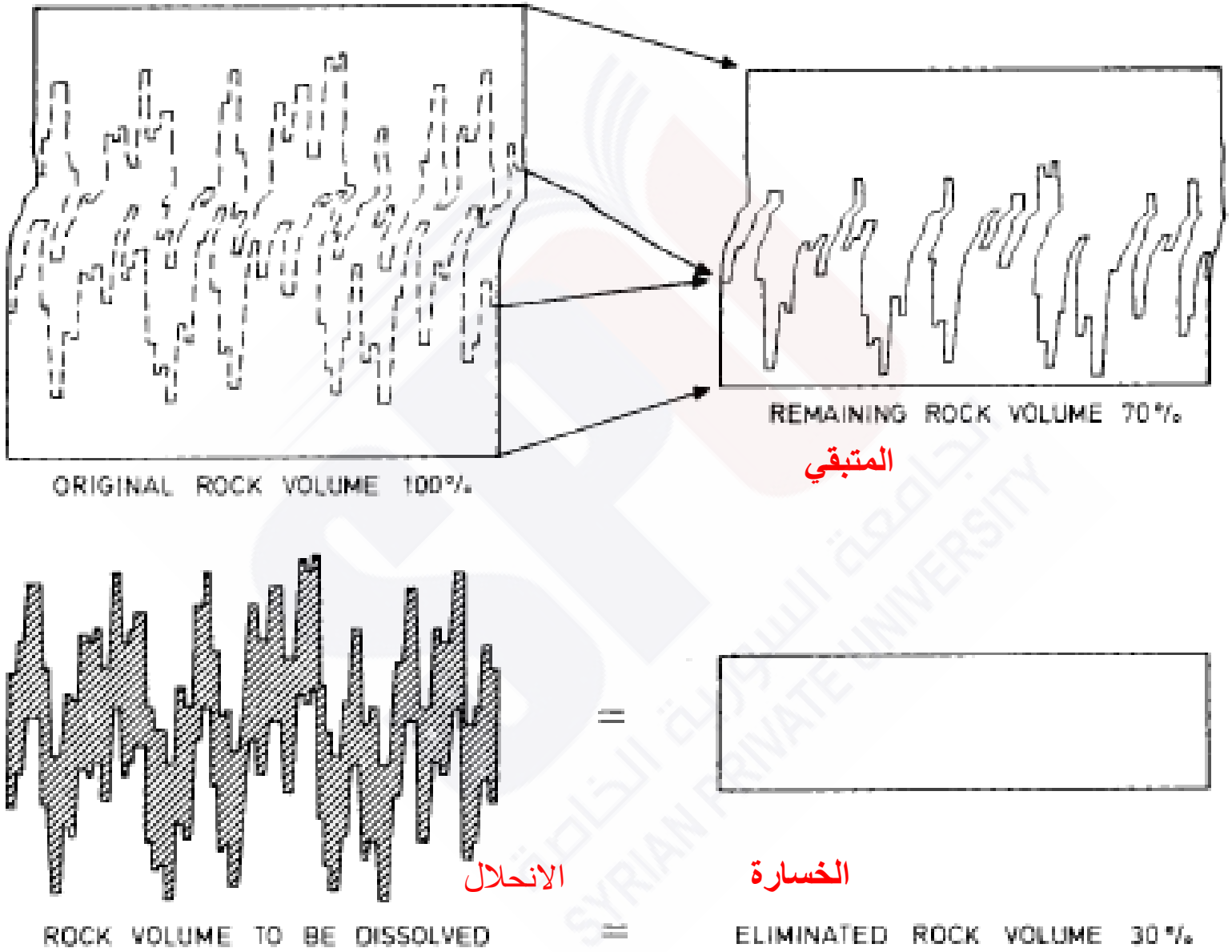
This can be expressed in the following equations: $$TH = \frac{\Phi_i - \Phi}{1 - \Phi}$$

where TH is the percentage of thinning,
Φi is the initial porosity and
Φ *the resulting* porosity after thinning.

TH - نسبة الانضغاط أو نقصا الحجم
Φi- المسامية الأصلية او الأولية
Φ- المسامية بعد الانضغاط او نقصان الحجم.



1.26 – Schematization of stylolitization with thinning.



1.27 – Schematization of rock volume changes due to stylolitization (Courtesy Dunnington[12]).

Classification of stylolites تصنيف الستيلوليت

يمكن تصنيف الستيلوليت إلى نوعين رئيسيين بناءاً على نسيج الصخر المُضيف:

١- **ستيلوليت بين الخلايا الحبيبية *Intergranular stylolites*** :

يعبر عن حالة مدى التماس بين الحبيبات اقل من حجم الحبيبات في الصخر المُضيف.

٢- **إجمالي الستيلوليت *Aggregate stylolites*:**

حيث التماس انطلق من خط مستوي القاعدة أو الأساس ، ومتوفر أكثر من عرض الأعمدة الفردية التي تشكل التماس.

مخططان يعتمدان لتصنيف الستيلوليت :

هندسيا و منشائياً *geometrically and genetically*:

التصنيف الهندسي *Geometric classification* .: يقسم إلى قسمين:

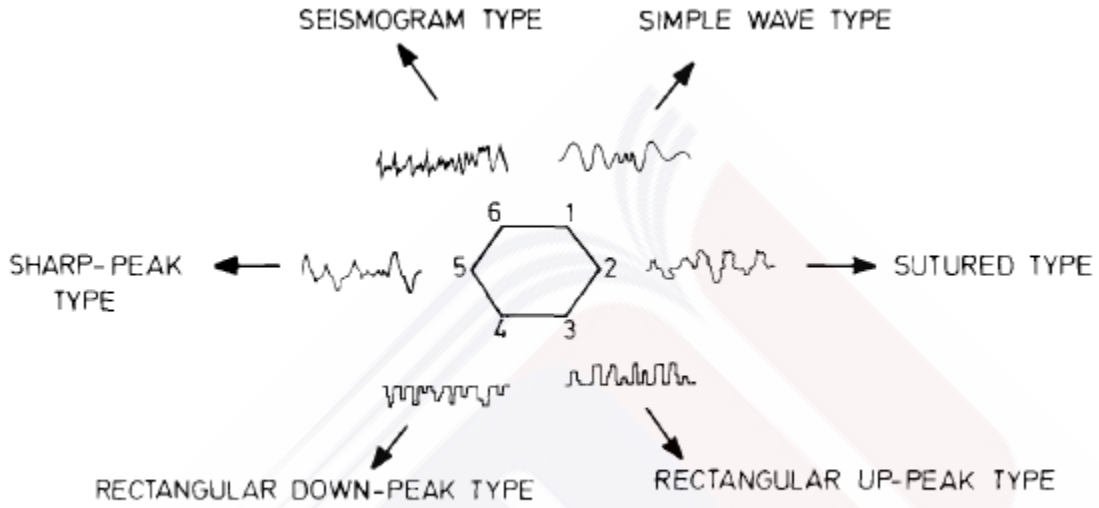
١- ستيلوليت يوصف بالوسائل إلى اتجاهين هندسيين .

٢- ستيلوليت يوصف بتطابق التماس مع التطبق. كما في الأشكال (١- ٢٨ ،١-٢٩).

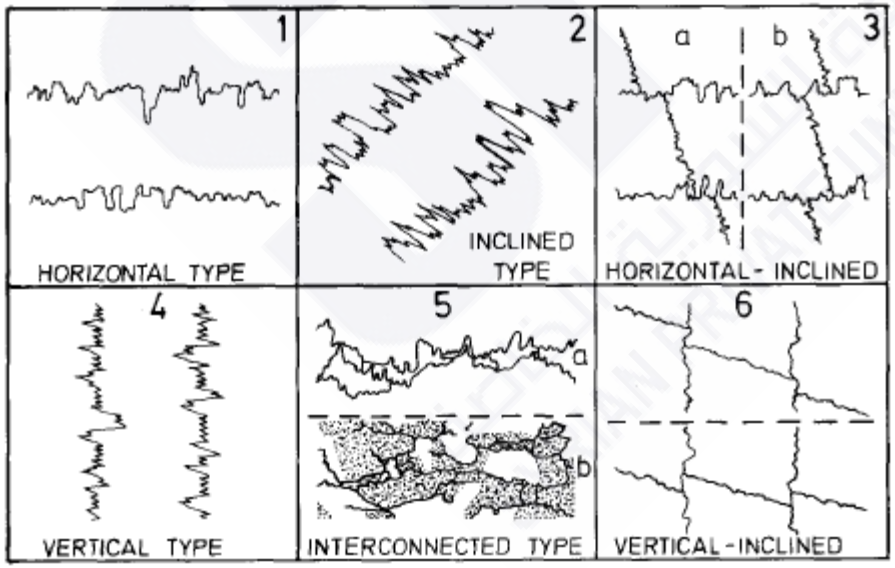
التصنيف المنشائي *Genetic classification* : ويقسم إلى قسمين:

١- منها ما هو مرتبط بالتجوية او غير مرتبط.

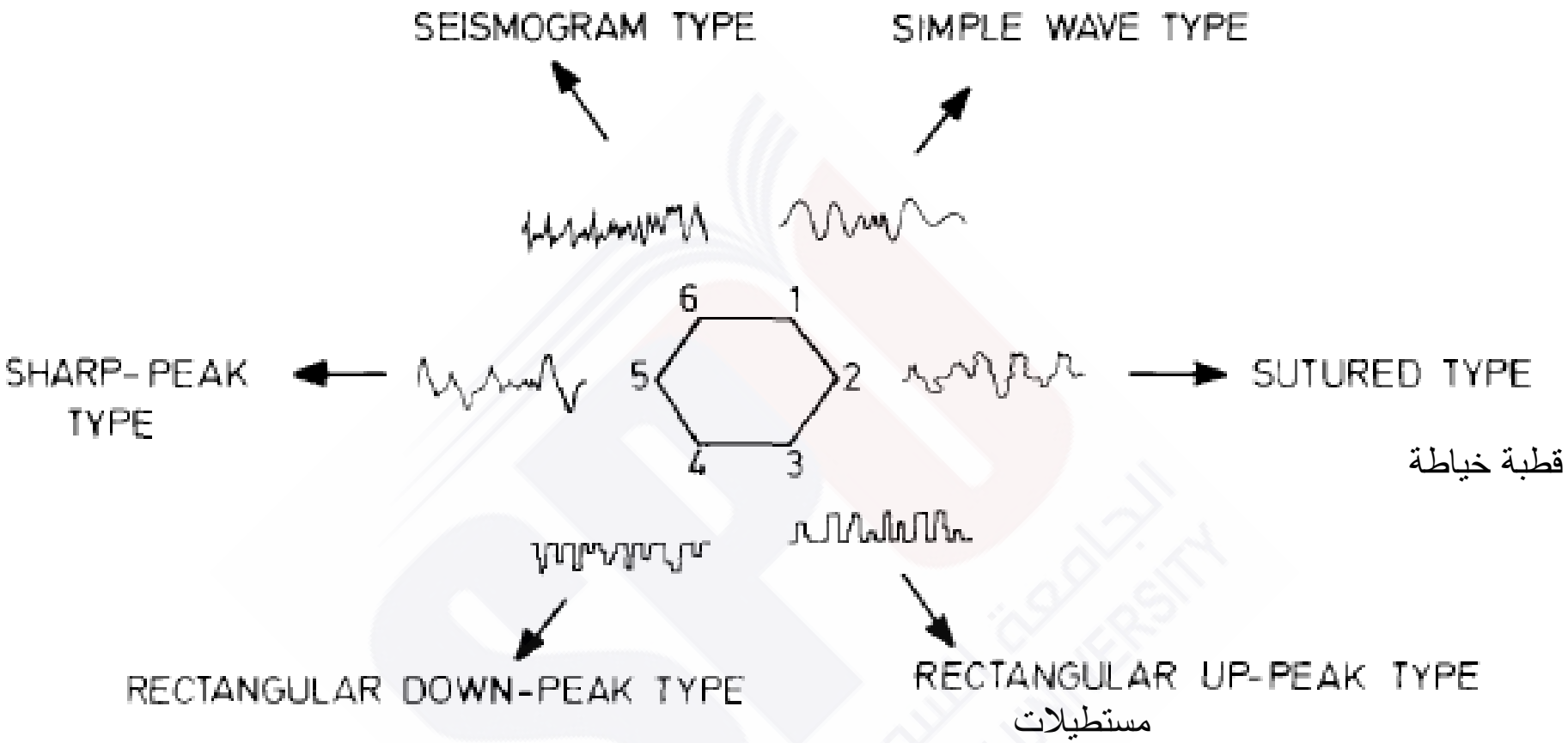
٢- الستيلوليت الذي شكل الشقوق من الدياجينيز أو التكتونيك



1.28 – Classification of stylolites based on stylolitic seam (Park[15], Courtesy AAPG).

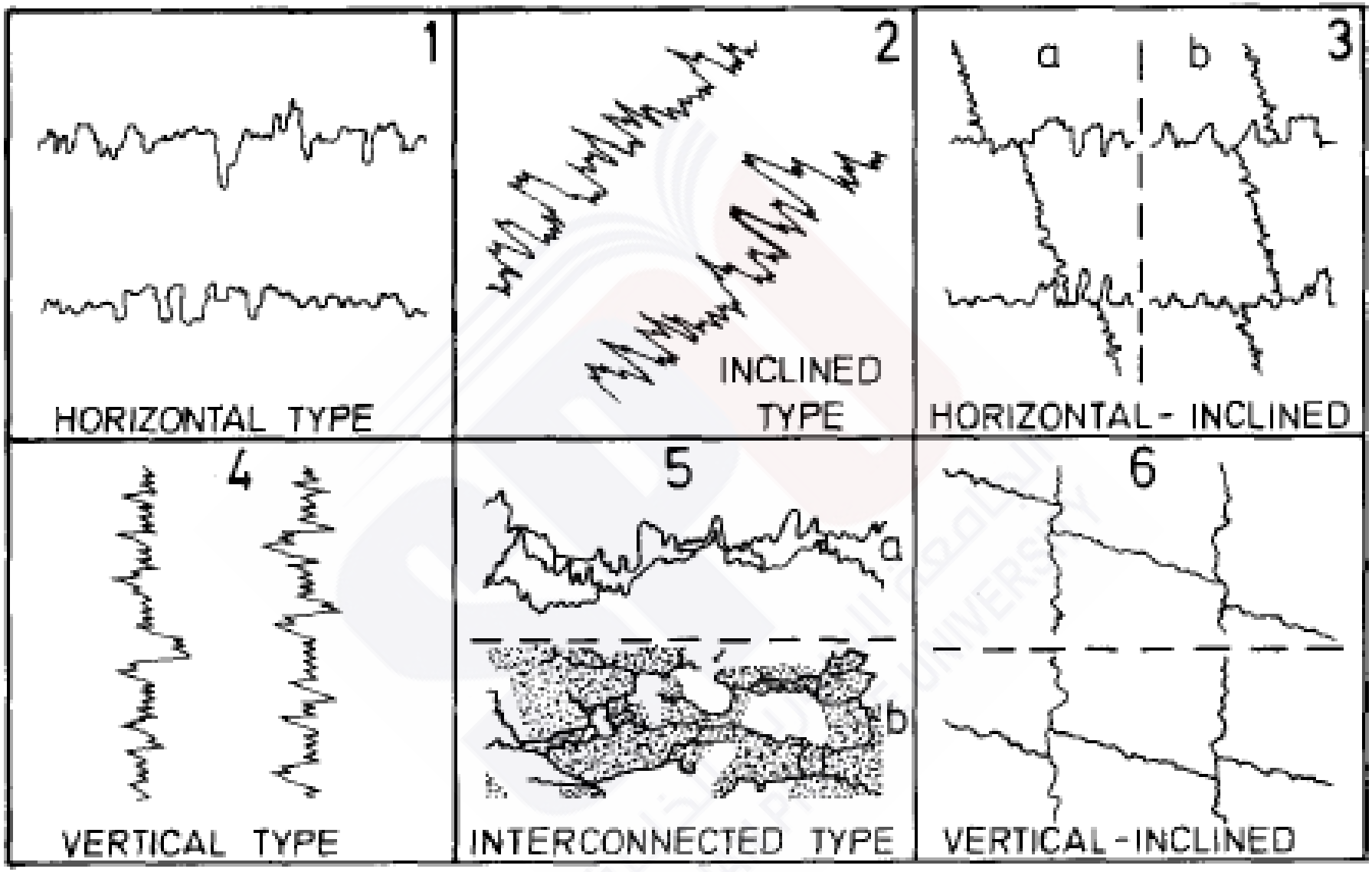


1.29 – Classification of stylolites vs. bedding (Park[15], Courtesy AAPG).



1.28 – **Classification of stylolites based on stylolitic seam (Park[15], Courtesy AAPG).**

seam تماس أو درز



1.29 – Classification of stylolites vs. bedding (Park[15], Courtesy AAPG).

تماس االتطبق

Development of stylolitization relative to the compaction and diagenetic history of limestone

تطورعملية تشكل الستيلوليت ارتباطا بالضغط وتاريخ الدياجينيز للحجر الكلسي

عمليات تشكل الستيلوليت هي العملية التي تُحدث تغير في حجم وشكل صخور الحجر الكلسي بعد عمليات التصلب الأولية الداخلية .

الستيلوليت تؤثر على حجم كتلة المسامات وحتى على النفاذية .

الستيلوليت تميل إلى التطور في الصخور القاسية (وخاصة الحجر الكلسي) على طول مستويات خاصة معينة (غالبا توازي مستوي التطبق)، وأحيانا بعد التصلب الأولي للصخر، وغالبا عندما السائل الماء يمتد ويتوسع كضغط حرج ودقيق (مرتبط بضغط الانحلال لصخور الخزان).

السجل المبسط للرسوبيات من مرحلة الترسيب حتى عمليات الستيلوليت ، يمكن اختصارها أو جمعها في الأطوار التالية: كما في الشكل (١-٣٠).

الطور ١: ترسب الرواسب تمثل تعبة هشة جدا.

الطور ٢: مع زيادة الوزن أو الثقل الأعلى بشكل مستمر سيؤدي إلى تراص وتعبئة بين الحبيبات. ونتيجة لذلك ستخرج كميات كبيرة من المياه، ولكن الرسوبيات تبقى ذات مسامية عالية. المسامية تبقى ١٠٠% غير مشبعة بالماء.

خلال فترة الفاصل الطور ١ / الطور ٢ أن الصخور تخضع إلى عملية الضغط.

الطور ٣: الضغط يستمر مترافق مع التصلب والتحجر والسمنتة الخفيفة. خلال فترة الفاصل الطور ٢/ الطور ٣ الصخور تخضع إلى عمليةالتصلب، عندما تتقسى الرسوبيات وتتحجر.

الطور ٤: ضغط الانحلال يبدأ من الحبيبات إلى اتصال بين الحبيبات ويتوسع وcaco تذوب. المياه في الفراغ الصافي يتحرك من مناطق الطور العالي لـ pH إلى مناطق الطور المنخفض للـpH .

عمليات تشكل الستيلوليت تكتمل بإزالة الحجم الأعظم (كامل الكتلة الحجمية).

الطور ٥: السمنتة تترسب في المنطقة حول الستيلوليت وبذلك تتم عملية تشكل الستيلوليت.

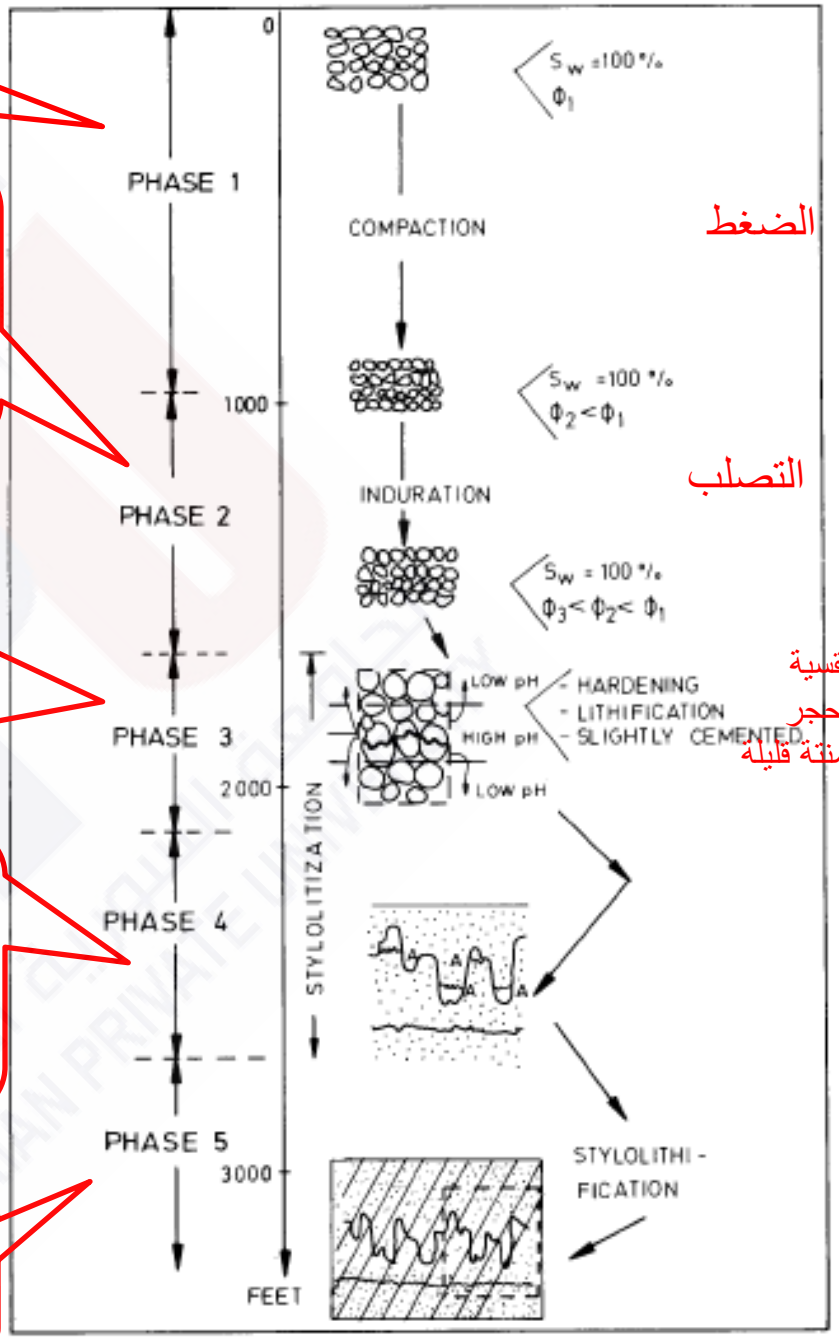
الطور ١: ترسب الرواسب تمثل تعبة هشة جدا

الطور ٢: مع زيادة الوزن او الثقل الأعلى بشكل مستمر سيؤدي الى تراص وتعبئة بين الحبيبات . كما ان كميات كبيرة من المياه تخرج ، ولكن الرسوبيات تبقى ذات مسامية عالية .المسامية تبقى ١٠٠% غير مشبعة بالماء.

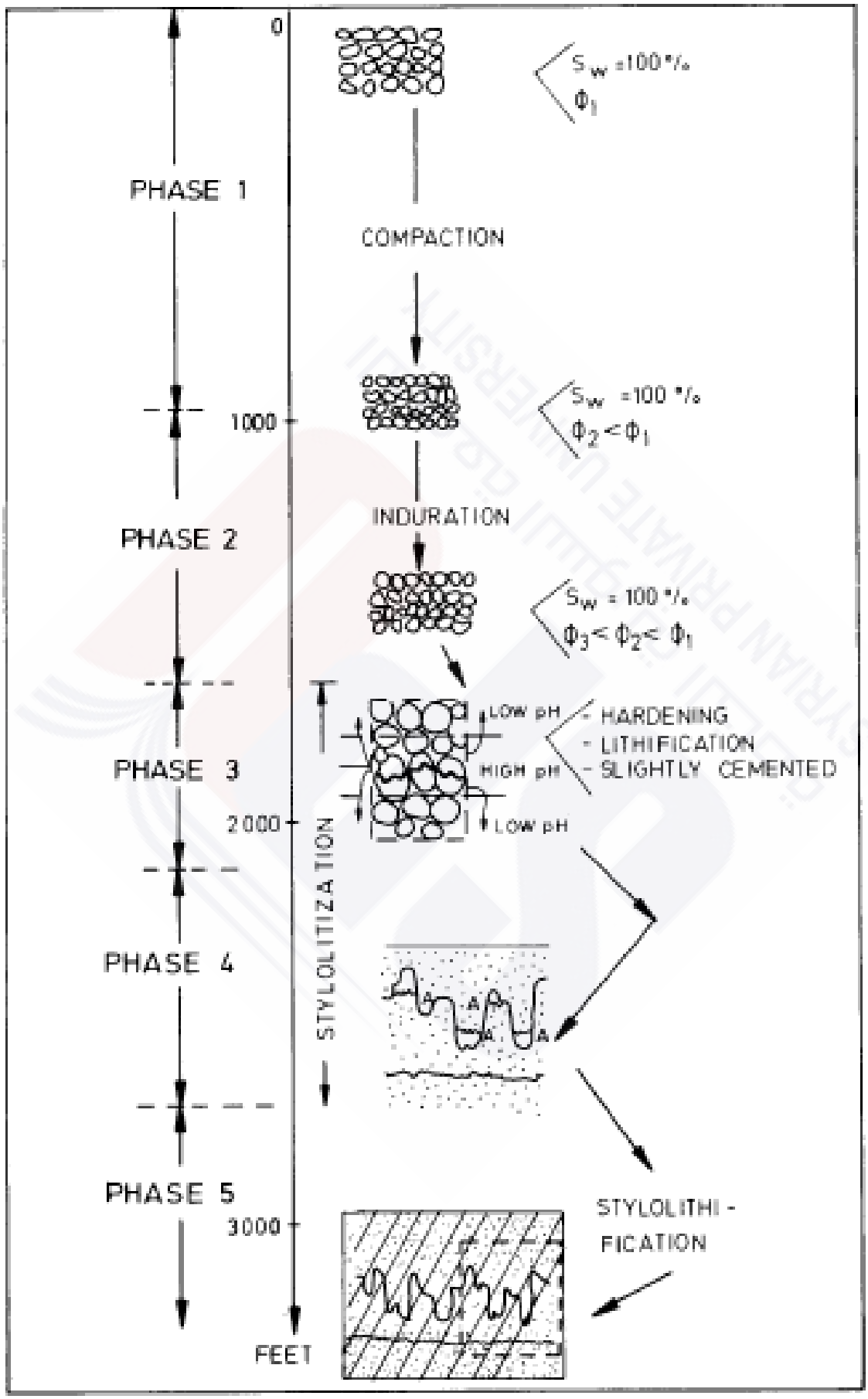
الطور ٣: الضغط يستمر مترافق مع التصلب والتحجر والسمنتة الخفيفة. خلال فترة الفاصل الطور ٢/ الطور ٣ الصخور تخضع إلى عملية التصلب ، عندما تتقسى الرسوبيات وتتحجر.

الطور ٤: ضغط الانحلال يبدأ من الحبيبات إلى اتصال بين الحبيبات ويتوسع وcaco تذوب .
المياه في الفراغ الصافي يتحرك من مناطق الطور العالي لـ pH الى مناطق الطور المنخفض للـpH .

الطور ٥: السمنتة تترسب في المنطقة حول الستيلوليت وبذلك تتم عملية تشكل الستيلوليت.



1.30 – Schematization of stylolitization and stylolithification.



1.30 – Schematization of stylolitization and stylolithification.

ملاحظات عامة

أكثر الضغط المُكون للستيلوليت هو وزن السماكات (الغطاء الرسوبي) وضغطه عندما تقع هذه الرسوبيات على أعماق كبيرة تقريبا من ٢٠٠٠-٣٠٠٠ قدم.

أمثلة :

حقل دخان قطر: تشكل من ثلاث حقول في طبقات الجوراسي المغطية والتي تحتوي على شبكة من الستيلوليت.

التطور الأولي للستيلوليت يعتقد انه حدث بعد وقت قصير من بدء تراكم النفط ضمن التركيب واستمر الضغط الانحلالي في العمل مع استمرار التراكم النفطي.

هذا واضح من الجزء الأسفل من التركيب حيث كثافة الستيلوليت متطورة جدا، ووجود انخفاض في الإنتاجية.