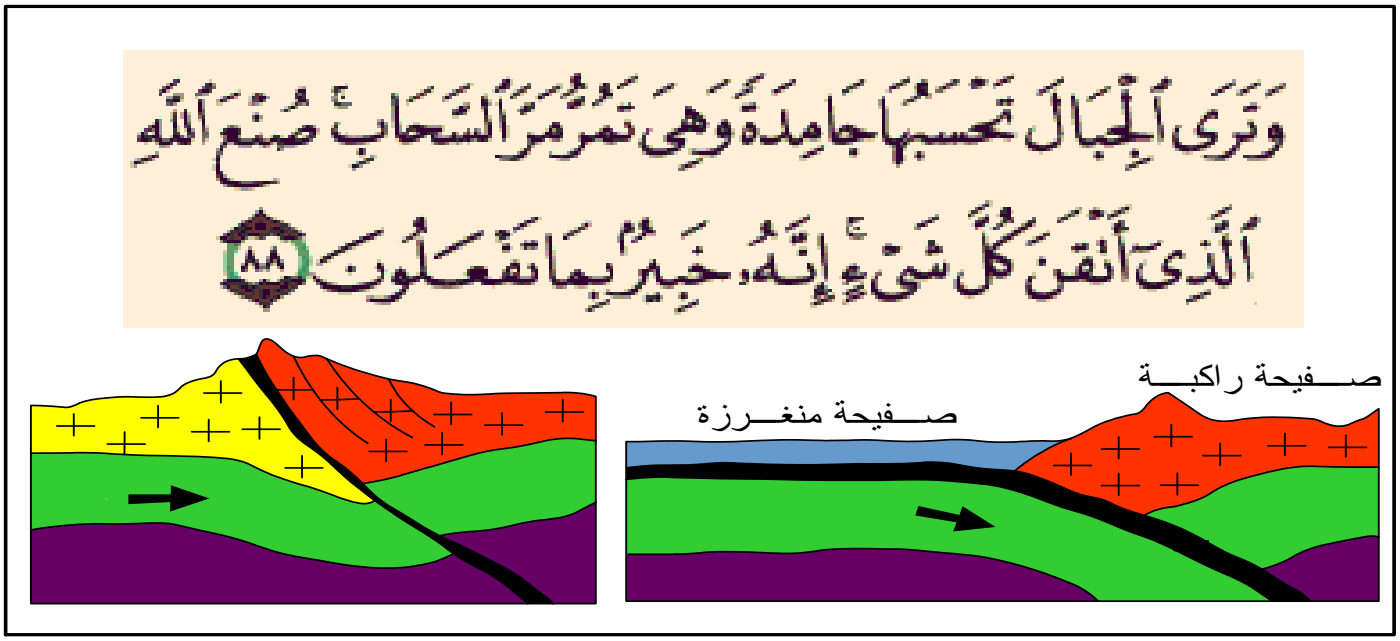
الأكاديمية الجهوية للتربية والتكوين
جهة مراكش تانسيفت الحوز
نيابة الحوز
ثانوية أبطيح التأهيلية

ملف الأستاذ

عنوان الوحدة:

الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية وعلاقتها بتكتونية الصفائح

برنامج السنة الثانية بكالوريا شعبة العلوم التجريبية:
مسلكي علوم الحياة والأرض والعلوم الفيزيائية



اقتراح: الأستاذة خديجة زكريط

الموسم الدراسي: 2016/2015

البرنامج الخاص بتدريس مادة علوم الحياة والأرض.
السنة الثانية علوم تجريبية ـ مسلكي علوم الحياة والأرض والعلوم الفيزيائية
عنوان الوحدة: الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية وعلاقتها بتكتونية الصفائح.

		الحصص
المكتسبات القبلية	الأولى الإعدادية: الظواهر الجيولوجية الخارجية. الثانية الإعدادية: الظواهر الجيولوجية الباطنية. السنة الأولى بكالوريا مسلك علوم تجريبية: الظواهر الجيولوجية الخارجية.	
المضامين المراد دراستها والغلاف الزمني المخصص لكل منها	❁ السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح ..... - سلاسل الطمر. - سلاسل الاصطدام. - سلاسل الطفو ❁ طبيعة التشوهات التكتونية المميزة لسلاسل الطمر وسلاسل الاصطدام ..... - الطيات. - الفوالق. - السدائم. ❁ التحول وعلاقته بدينامية الصفائح ..... - المميزات العيدانية والبنيوية للصخور المتحولة بمناطق الطمر والاصطدام. - ظروف الضغط ودرجة الحرارة المسؤولة عن تشكل هذه الصخور. - مفهوم المعدن المؤشر والسلسلة التحولية. - مفهوما تحول الطمر (الدينامي) والتحول الدينامي – حراري. ❁ الكرانيتية وعلاقتها بظاهرة التحول ..... - أصل وتموضع الكرانيت الأنتكتي. + العلاقة بين الصخور الكرانيتة والصخور المتحولة المجاورة. + دراسة مقارنة للبنية والتركيب العيداني للكرانيت الأنتكتي والصخور المتحولة المجاورة. - تأثير ظاهرة اندساس الصهارة الكرانيتية على الصخور المجاورة (مفهوم تحول التماس). ❁ حصيلة: علاقة مختلف الظواهر الجيولوجية المدروسة بتكتونية الصفائح.....	04 ساعات 04 ساعات 11 ساعة 08 ساعات 02 ساعات
التقويم القبلي التقويم التكويني + الدعم التقويم الإجمالي	في بداية معالجة الوحدة. في منتصف الوحدة. عند نهاية الوحدة. عند نهاية معالجة الوحدة وينبغي أن يشمل مكونات الوحدة.	30 دقيقة 60 دقيقة 90 دقيقة 120 دقيقة
	المجمـــــــــــــــوع	34 ساعة

الفـــــــــهــرس

العنوان	الصفحة
تذكير ببعض المكتسبات	3
الفصل الأول: السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح	6
الفصل الثاني: التحول وعلاقته بتكتونية الصفائح	19
الفصل الثالث: الكرانيتية وعلاقتها بالتحول	29
المعجم	36

تذكير ببعض المكتسبات – تقويم قبلي

I أنواع صخور الغلاف الصخري

يتكون الغلاف الصخري من ثلاثة أنواع من الصخور وهي:

❁ **الصخور الرسوبية**: تتكون على سطح الأرض، غالبا في الأوساط المائية عبر أربع مراحل وهي الحت ثم النقل ثم الترسب ثم التصخر، تكون هذه الصخور على شكل طبقات أفقية ومتوازية ومتراكبة قد تحتوي على مستحاثات .

❁ **الصخور الصهارية**: وهي نتاج لتبريد وتصلب الصهارة. وحسب موقع التبريد، نميز بين:

- الصخور الصهارية الداخلية المنشأ = البلوتونية = النرجفية: تتبرد الصهارة في الأعماق. تكون بنية هذه الصخور محببة = كاملة التبلور.

- الصخور الصهارية الخارجية المنشأ = البركانية: تتميز هذه الصخور بتبرد مرحلي: تبرد في الغرفة الصهارية يؤدي إلى نشوء بلورات كبيرة، وتبرد خلال الصعود يعطي بلورات صغيرة تسمى ميكروليت وتبرد سريع في السطح يؤدي إلى تشكل مادة غير متبلورة تسمى الزجاج. تكون بنية هذه الصخور ميكروليتية.

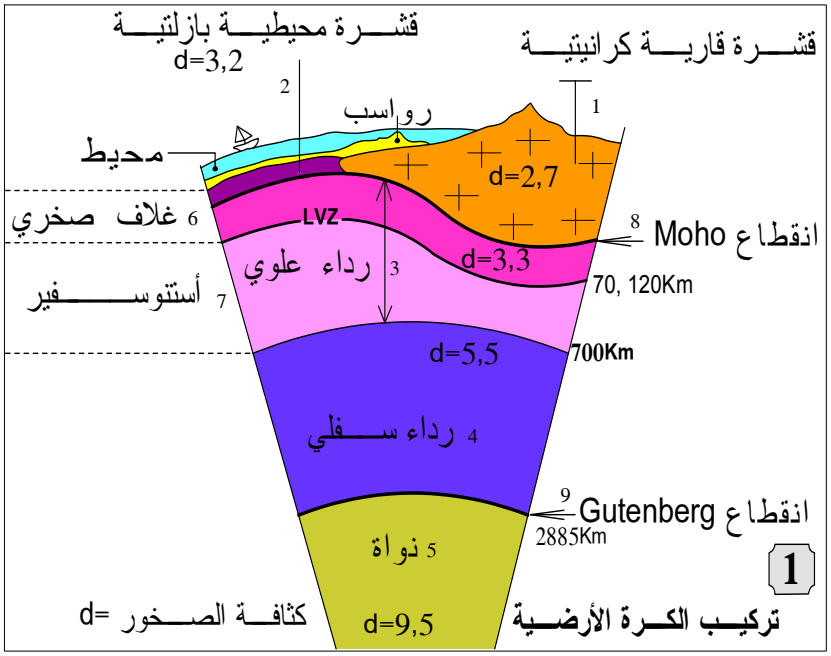
❁ **الصخور المتحولة**: سيأتي ذكرها بتفصيل في هذه الوحدة

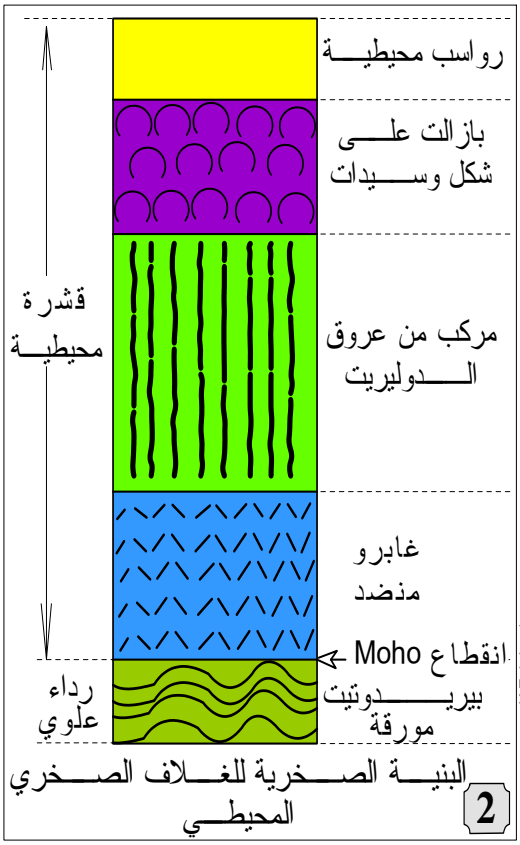
املأ الجدول التالي بأسماء الصخور التي تعرفها أو تلك التي صادفتها عند تناول هذه الوحدة

الصخور الرسوبية	الصخور الصهارية		الصخور المتحولة
	الداخلية المنشأ	البركانية	
الكلس الطين الجبس المرويت الحجر الرملي	الكرانيت الكرانوديوريت الغابرو البريدوتيت الدوليريت	البازلت الريوليت الأنديزيت	الشيست الأخضر الشيست الأورق الميكاشيست الغنايس الإكلوجيت الأمفبوليت الصخرة الهالية الفولاستونيت الرخام

II بنية الكرة الأرضية

تمثل الوثيقة 1 رسما تخطيطيا لتركيب الكرة الأرضية
** حدد أسماء الطبقات الأرضية.
** اعط تعريفا للغلاف الصخري.
** تعرف التركيب الصخري للغلاف الصخري المحيطي من خلال الوثيقة 2.





❁ **الغلاف الصخري**: الطبقة الصلبة من الأرض ذات سمك يتراوح بين 70 و 120Km تتكون من القشرة الأرضية والجزء الصلب من الرداء العلوي.
❁ تتميز المنطقة **LVZ** (zone à faibles vitesses Low Velocity Zone) بكون البيريدوتيت تكون قريبة من حالة الانصهار، وبذلك نقسم الرداء العلوي إلى جزأين: جزء صلب يكون مع القشرة الأرضية الغلاف الصخري وجزء لدن يسمى الأستنوسفير.

II مفهوم الصفيحة وتكتونية الصفائح

الوثائق 3 و 4

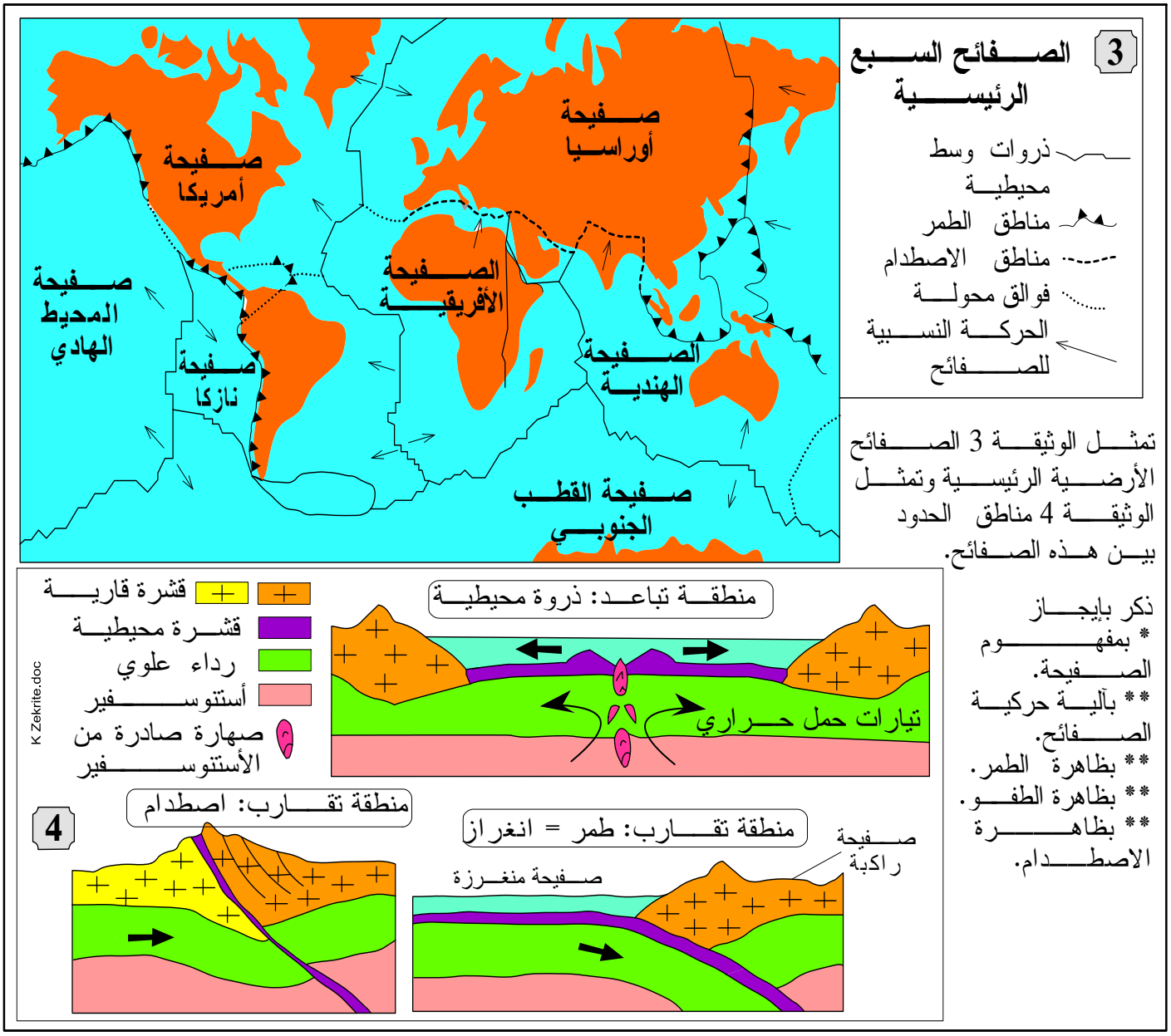
❁ **الصفيحة الصخرية**: قطعة من الغلاف الصخري الصلب، تطفو فوق الأستينوسفير اللدنة، تشتمل على أجزاء محيطية فقط أو على أجزاء قارية ومحيطية معا. تحد الصفائح بهوامش نشيطة (الذروات، مناطق الطمر، الفوالق المحولة، مناطق الاصطدام).
❁ **ذروة محيطية**: سلسلة جبلية بركانية تخترق وسط معظم المحيطات يتوسطها خندق عميق يسمى بالخسف، يتم على مستواها تجديد الغلاف الصخري المحيطي باستمرار مما يجعلها منطقة تباعد حيث تبتعد الصفيحتان عن بعضهما البعض. تتراوح سرعة التباعد بين 2cm في السنة (ذروة المحيط الأطلسي) وأكثر من 10cm في السنة (ذروة المحيط الهادي).

❁ **حركية الصفائح = تكتونية الصفائح**: تتحرك الصفائح بعضها بالنسبة للبعض، وهذه الحركية إما أن تكون حركة التباعد ⇨ ⇦ (مثل صفيحة إفريقيا وصفيحة أمريكا الجنوبية) أو حركة تقارب ⇦⇨ (مثل صفيحة إفريقيا و الصفيحة الأوروأسيوية). تسمى هذه الحركية النسبية للصفائح بتكتونية الصفائح. ويمكن قياس هذه الحركية باستعمال تقنيات حديثة مثل GPS.

❁ **ظاهرة الطمر**: انغراز الغلاف الصخري المحيطي (كثافة مرتفعة) تحت الغلاف الصخري القاري (كثافة منخفضة).

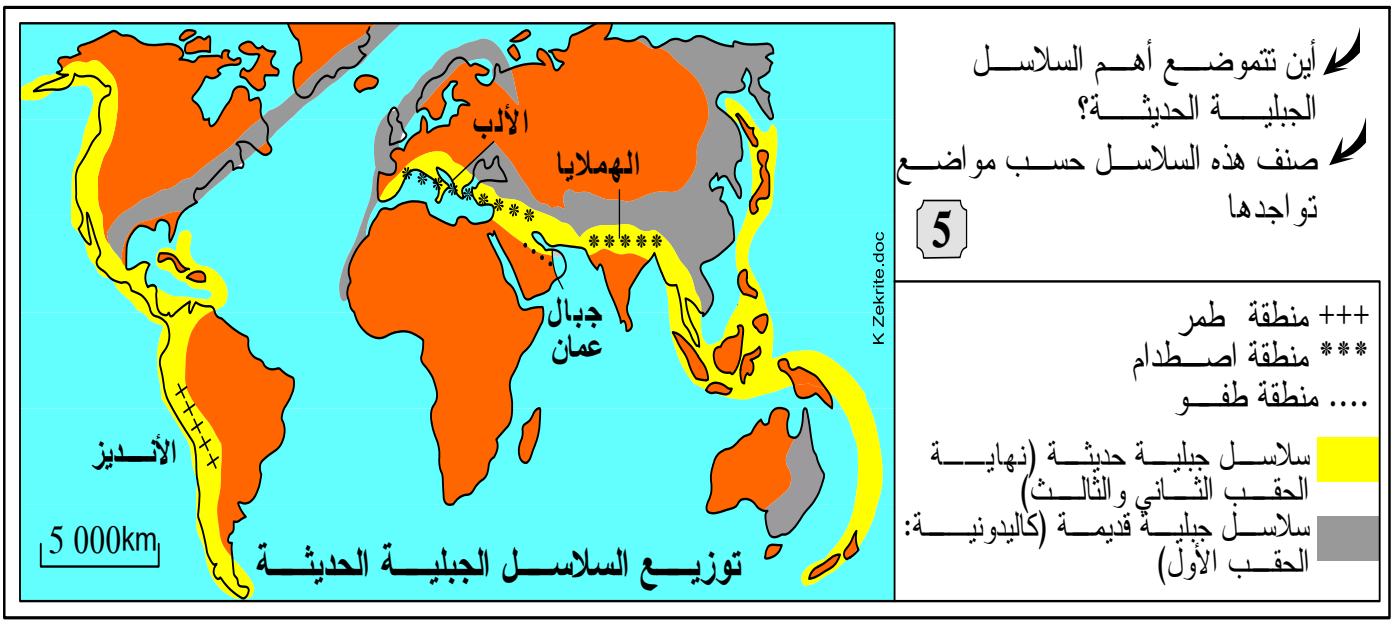
❁ **ظاهرة الطفو**: لظروف معينة، يمكن أن يزحف الغلاف الصخري المحيطي (كثافة مرتفعة) فوق الغلاف الصخري القاري فنتكلم عن ظاهرة الطفو.

❁ **ظاهرة الاصطدام**: عندما ينفذ الغلاف الصخري المحيطي الموجود بين قارتين بفعل الطمر، تتجابه الكتلتان القاريتان فنتكلم عن اصطدام.



الفصل الأول:
السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح

I علاقة السلاسل الجبلية الحديثة بالتقارب بين الصفائح



- تتموضع كل السلاسل الجبلية الحديثة على حدود الصفائح المتقاربة:
  - في مناطق تجابه صفيحة قارية وصفيحة محيطية: مناطق الطمر والطفو.
  - في مناطق تجابه صفيحتين قاريتين: مناطق الاصطدام.
- تصنف هذه السلاسل حسب مواقع تشكلها إلى:
  - سلاسل الطمر.
  - سلاسل الطفو.
  - سلاسل الاصطدام.

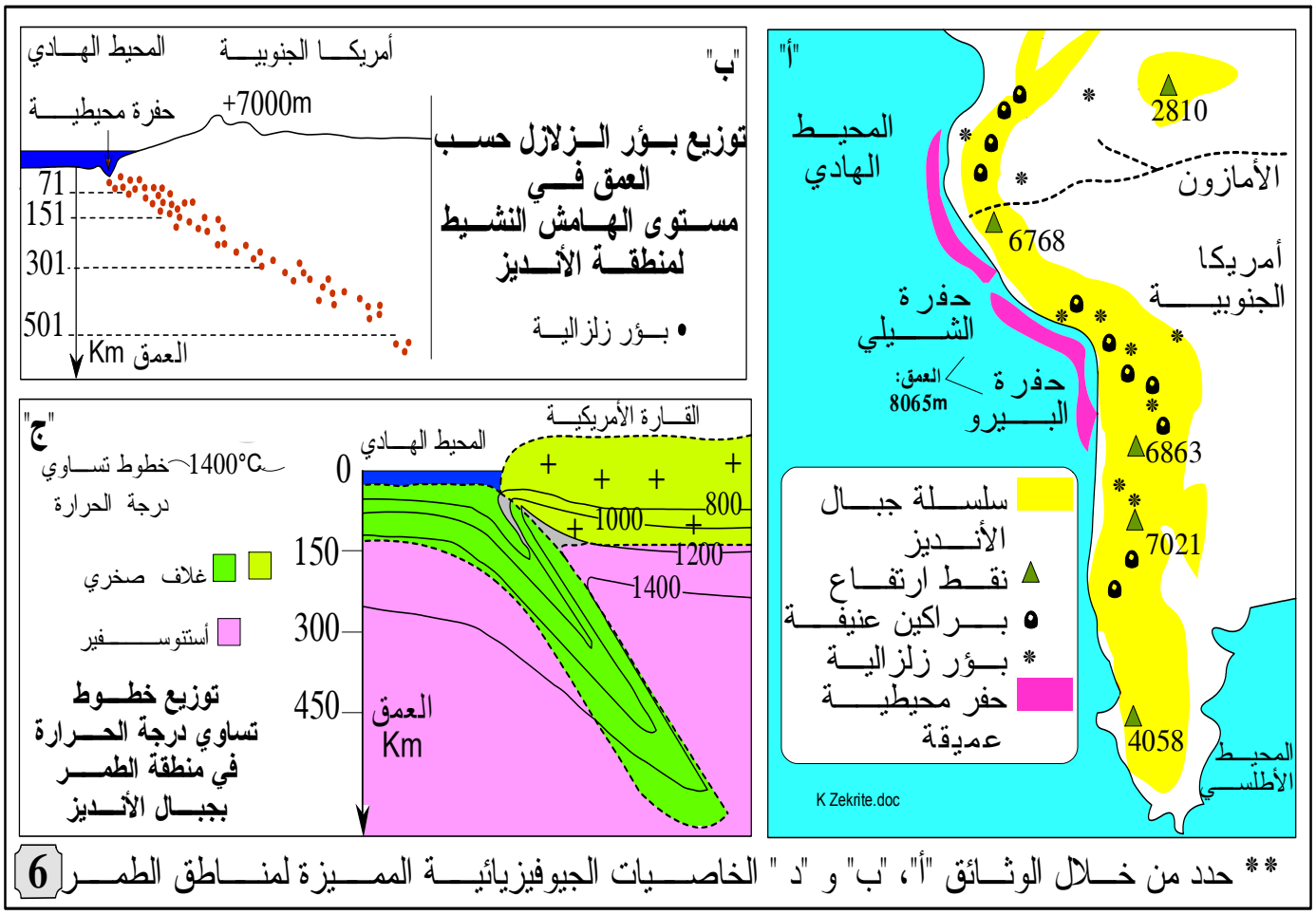
II سلاسل الطمر: مثال جبال الأنديز

1 – الخاصيات البنيوية والجيوفيزيائية لجبال الأنديز

الوثيقة 6 في الصفحة الموالية

- تتموضع جبال الأنديز في منطقة التجابه بين صفيحة المحيط الهادي وصفيحة أمريكا الجنوبية.
- يتميز الهامش النشيط بظواهر جيولوجية خاصة أبرزها:
  - وجود حفر محيطية عميقة.
  - زلزالية شديدة تنتظم بؤرها على مستوى مائل يسمى سطح Benioff. تعود هذه الزلزالية إلى حركة مائلة للغلاف الصخري المحيطي تحت الغلاف القاري.
  - بركانية عنيفة تؤدي إلى قذف صهارة أنديزيتة.

- شذوذ حراري، حيث أن خطوط ثوابت درجة الحرارة غير موازية لسطح الأرض، بل تنغرز نحو العمق حسب سطح مائل موافق لسطح Benioff. يفسر الجيوفيزيائيون هذه الشذوذات بسرعة الطمر، حيث لا يتحقق التوازن الحراري بين الصفيحة الباردة المنغرزة والأستنوسفير الساخن.



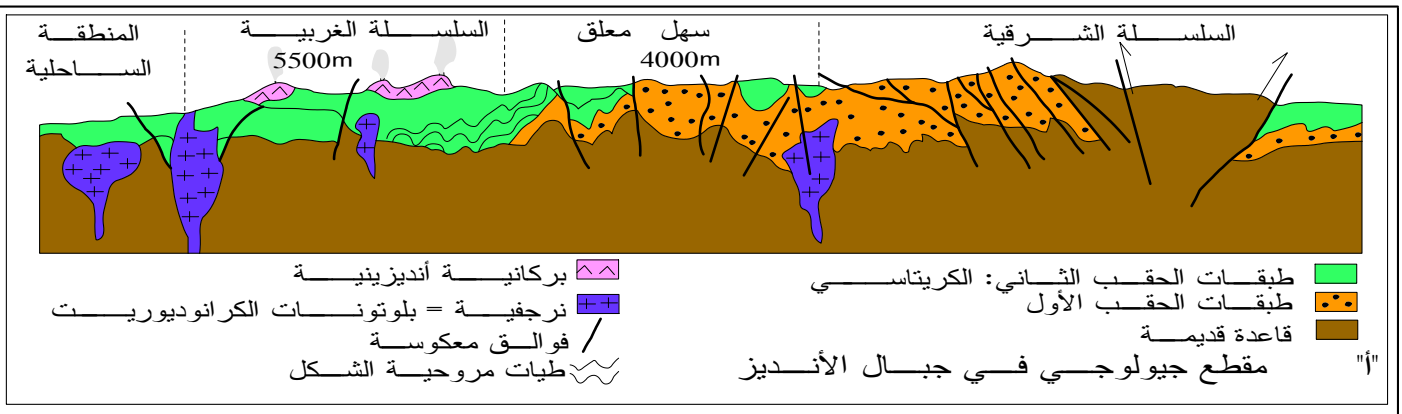
** حدد من خلال الوثائق "أ"، "ب" و " د " الخاصيات الجيوفيزيائية المميزة لمناطق الطمر 6

2 – الخاصيات الجيولوجية لجبال الأنديز:

الوثيقة 7 في الصفحة المالية

✷ تتميز سلاسل الأنديز:

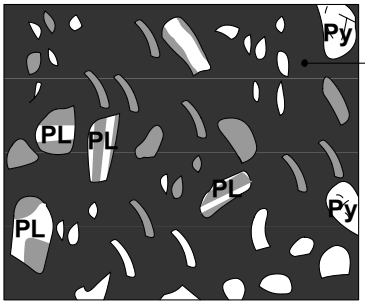
- بانتشار صخور أنديزيتية: تدل بنيتها الميكروليتية على أنها صدرت عن تبرد مرحلي (تبلورت البلورات الكبيرة في الأعماق بينما تشكل الزجاج في السطح)، إذ تعتبر نتاج النشاط البركاني المميز لمناطق الطمر.
- بصخور بلوتونية من الكرانوديوريت (بلوتون = صخرة صهارية داخلية النشأة أي تبردت في العمق).
- تشوهات تكتونية بسيطة: طيات على شكل مروحة وفوالق معكوسة.



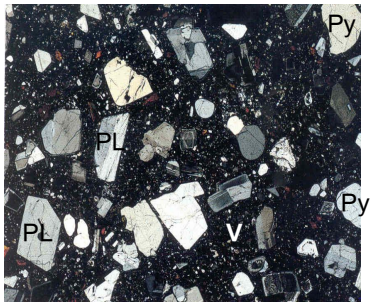
"أ" مقطع جيولوجي في جبال الأنديز

صخرة الأنديزيت ملاحظة بالعين المجردة

صفيحة دقيقة للأنديزيت ملاحظة بالضوء المستقطب مصحوبة برسم تفسيري



v = زجاج: مادة غير متبلورة
ميكروليت: بلورات صغيرة
بلورات كبيرة:
بلاجيوكلاز =PL
بيروكسين= Py



"ب" صخرة الأنديزيت:

هي صخرة رمادية اللون ذات انتشار واسع في مناطق الطمر وقد سميت بذلك لوجودها بكثرة في جبال الأنديز

** استخرج من خلال وثيقة الشكل "أ" المميزات التكتونية والصخرية لجبال الأنديز.
** الشكل "ب": صف صخرة الأنديزيت واربط علاقة بين بنيتها وظروف تشكلها.

3 – سلاسل الطمر هي نتاج لحركية الصفائح

أ ـ الصهارية وعلاقتها بظاهرة الطمر. (الوثيقة 8)

❀ الشكل (أ):

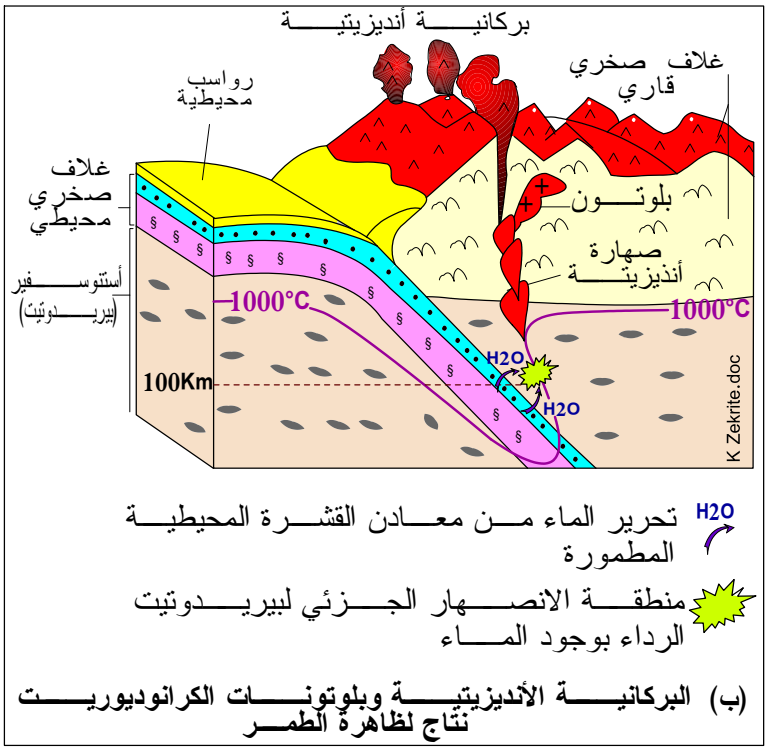
- لا يتقاطع منحنى تغير درجة الحرارة لمنطقة الطمر مع منحنى الانصهار الجزئي للبيريدوتيت غير المميهة، إذن يستحيل انصهار صخرة البيريدوتيت في مواقع الطمر بغياب الماء.
- يتقاطع منحنى تغير درجة الحرارة لمنطقة الطمر مع منحنى الانصهار الجزئي للبيريدوتيت المميهة، إذن تنصهر صخرة البيريدوتيت في مواقع الطمر بوجود الماء.
- إن انصهار البيريدوتيت في مواقع الطمر مشروط بوجود الماء ويقع في عمق يتراوح بين 80 و 100Km وحرارة تقدر ب 1000°C وضغط يقارب 2,5GPa.

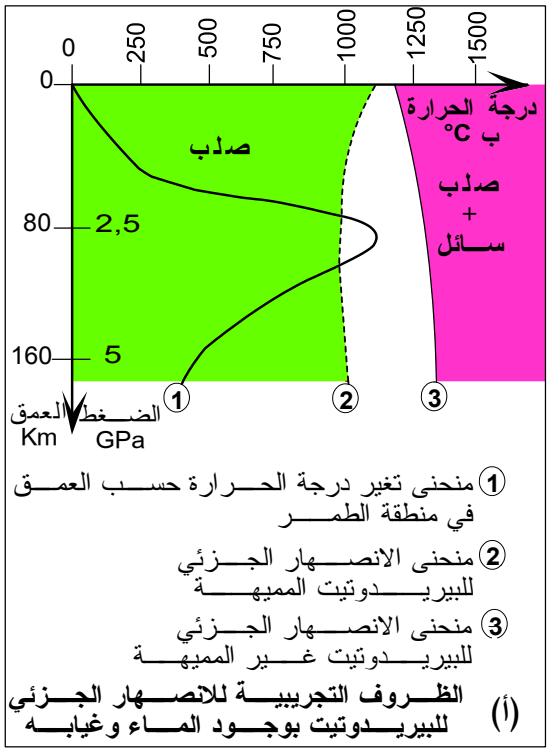
❀ الشكل (ب):

- يؤدي انغراز الغلاف الصخري المحيطي تحت الغلاف الصخري القاري إلى خضوع الصخور عند وصولها إلى الأستنوسفير (تقريبا 100Km) لارتفاع في درجة الحرارة والضغط، وينتج عن هذا الارتفاع تحرير الماء من معادن الصخور المطمورة، الذي ينتشر عبر الرداء العلوي للصفيحة الراكبة

فيصبح هذا الأخير تحت شروط الانصهار الجزئي وتنشأ صهارة أنديزيتة.
- تصعد الصهارة الناتجة عن هذا الانصهار نحو السطح مؤدية إلى بركانية أنديزيتة. كما يتبرد جزء منها في الأعماق فيعطي بلوتونات الكرانوديوريت (الكرانيليت).

الوثيقة 8: لمعرفة شروط وكيفية تشكل الصخور الصهارية بمناطق الطمر (بلوتونات الكرانوديوريت والأنديزيت) نقدم الشكل (أ) الذي يوضح الظروف التجريبية لبداية انصهار صخرة البيريدوتيت المكونة للرداء العلوي والشكل (ب) الذي يبين مكان وكيفية تشكل هذه الصخور الصهارية حسب العمق ودرجة الحرارة.



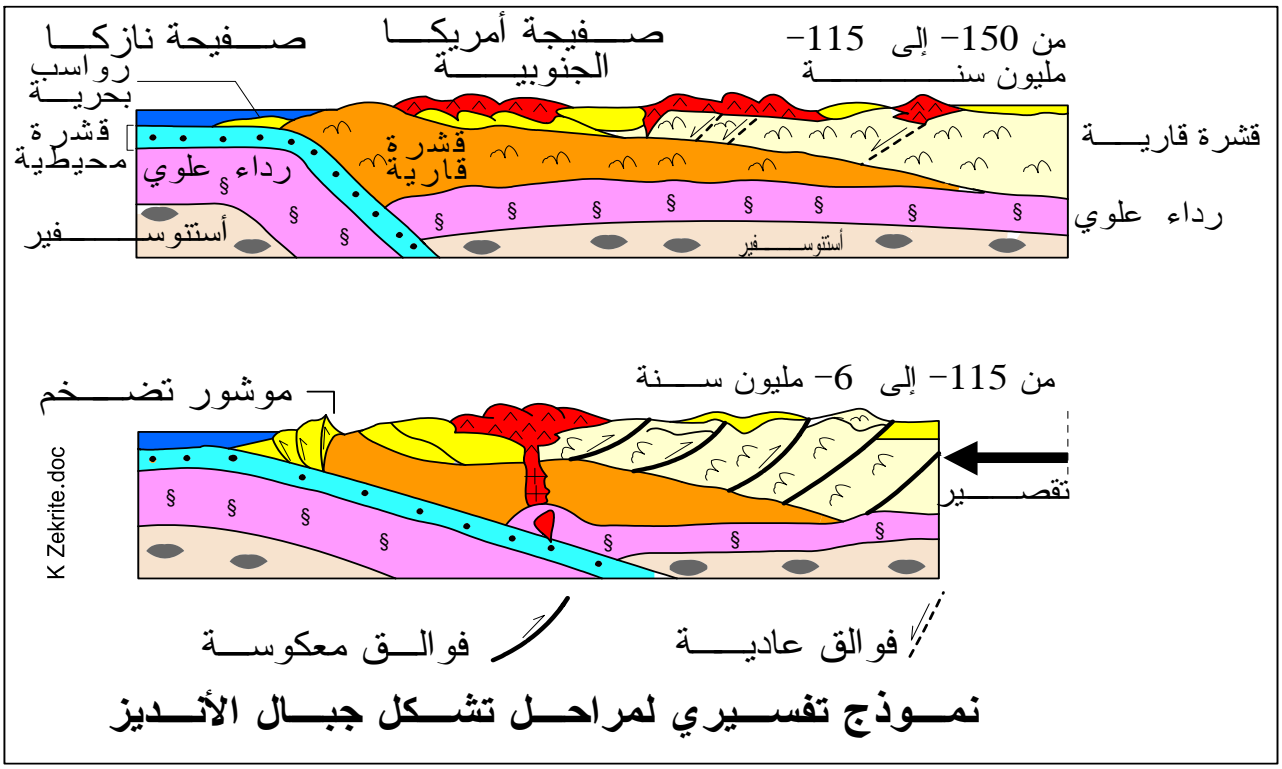


❁ بين من خلال استغلال شكلي هذه الوثيقة ظروف وكيفية تشكل الصخور الصهارية وعلاقتها بمناطق الطمر.

ب ـ موشور التضخم والتشوهات التكتونية وعلاقتهما بظاهرة الطمر. (الوثيقة 9)

✷ أثناء الطمر، تكون الصفيحة المحيطية المنغرزة مكسوة بطبقات رسوبية، تعمل الصفيحة القارية الراكبة على كشطها وفصلها عن القشرة المحيطية المركوبة مشابهة في ذلك عمل المنجر le rabot، بذلك تتجمع هذه الرواسب وتدفع جهة القارة الراكبة مشكلة موشور التضخم.
✷ تؤدي الضغوط التكتونية في مناطق الطمر إلى تكثيف التشوهات (طيات وفوالق معكوسة) مما يؤدي إلى تقصير الغلاف الصخري القاري والزيادة في سمكه، كما تزيد التدفقات البركانية وموشور التضخم من تضخم الغلاف الصخري، فتتشكل تضاريس عالية تمثل سلاسل الطمر.

الوثيقة 9: تمثل الوثيقة جانبه مقطعا تركيبيا نموجيا يبن مراحل نشأة سلسلة جبال الأنديز ومختلف البنيات المرتبطة بها.



❁ باستغلال معطيات هذه الوثيقة وضح كيف ينشأ موشور التضخم وصف تسلسل الأحداث المؤدية إلى نشوء سلسلة جبال الأنديز

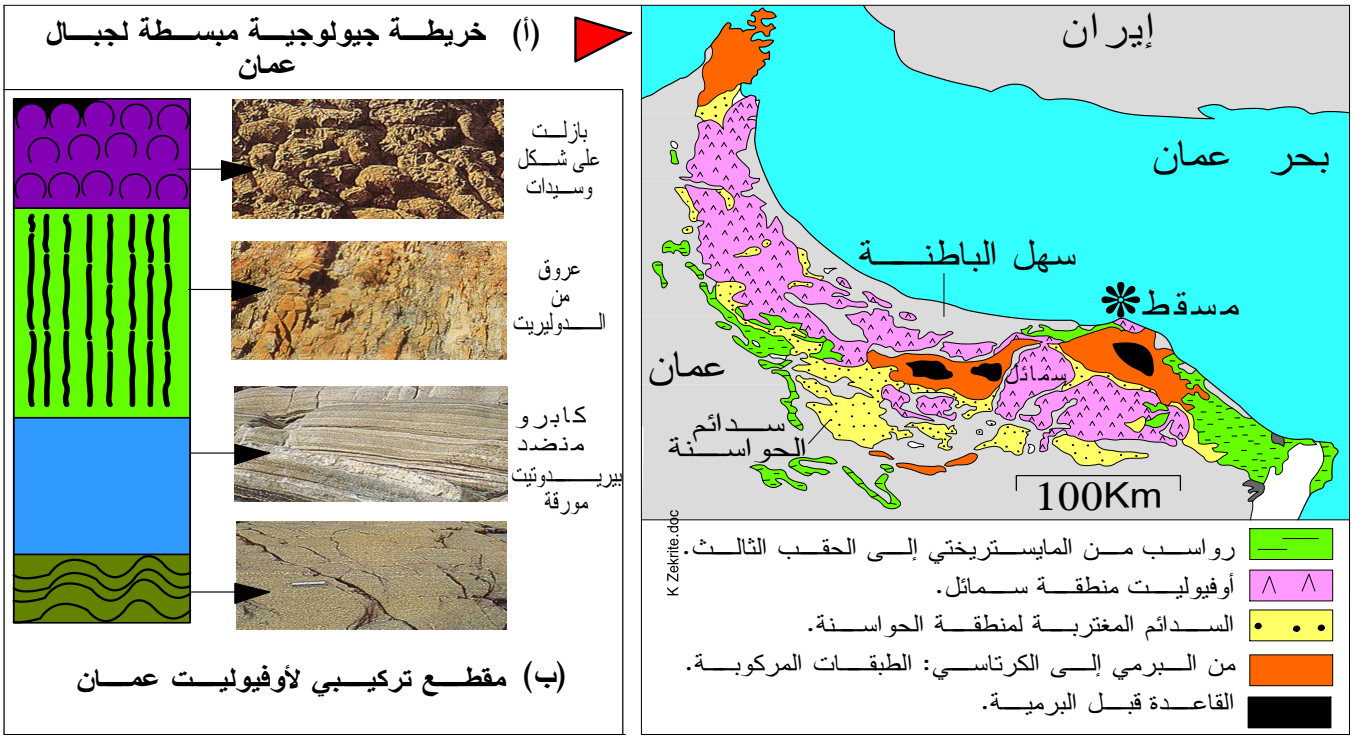
III سلاسل الطفو: مثال سلاسل عمان

1 – الخاصيات البنيوية والصخرية لجبال عمان الوثيقة 10

❁ تتميز سلسلة جبال عمان ب:

- وجود سدائم، وهي تشكيلات صخرية مغتربة ذات امتداد كبير (مئات الكيلومترات)، زحفت من موقع نشأتها واستقرت في مكان آخر وغطت صخورا أخرى تسمى **بالصخور المركوبة**
- وجود أفيوليت: مركب صخري له نفس تركيب الغلاف الصخري المحيطي.

❁ يعتبر وجود صخور المركب الأفيوليتي داخل المجال القاري لعمان، دليلا شاهدا عن انغلاق مجال محيطي وزحف (طفو) لصفيحة محيطية على صفيحة قارية.



الشكل (ج): "أي جيولوجي، ومهما كانت تجربته وتعوده الكبير والعمل في الميدان، فإنه يبقى مشدودا أمام المشهد الذي يكتشفه خلال تحليقه فوق جبال عمان بين مسقط وأبو ظبي.
في كل مكان تحت الطائرة، تشاهد تجاعيد خيالية من أعراف مسودة: إنها الأوفيوليت، الغلاف الصخري المحيطي القديم الذي يوجد عرضة للحث الصحراوي. تمتد هذه السدائم الأوفيوليتية العمانية تحت أعيننا على طول يبلغ 500 كلم وعرض يتراوح بين 80 و 100 كلم."
عن مجلة la recherche n°186

- بين من خلال الشكل (أ) المميزات البنيوية والصخرية لجبال عمان.
- باستغلال الشكلين (ب) و (ج)، حدد المعلومات التي يحملها تواجد المركب الأوفيوليتي في جبال عمان القارية.

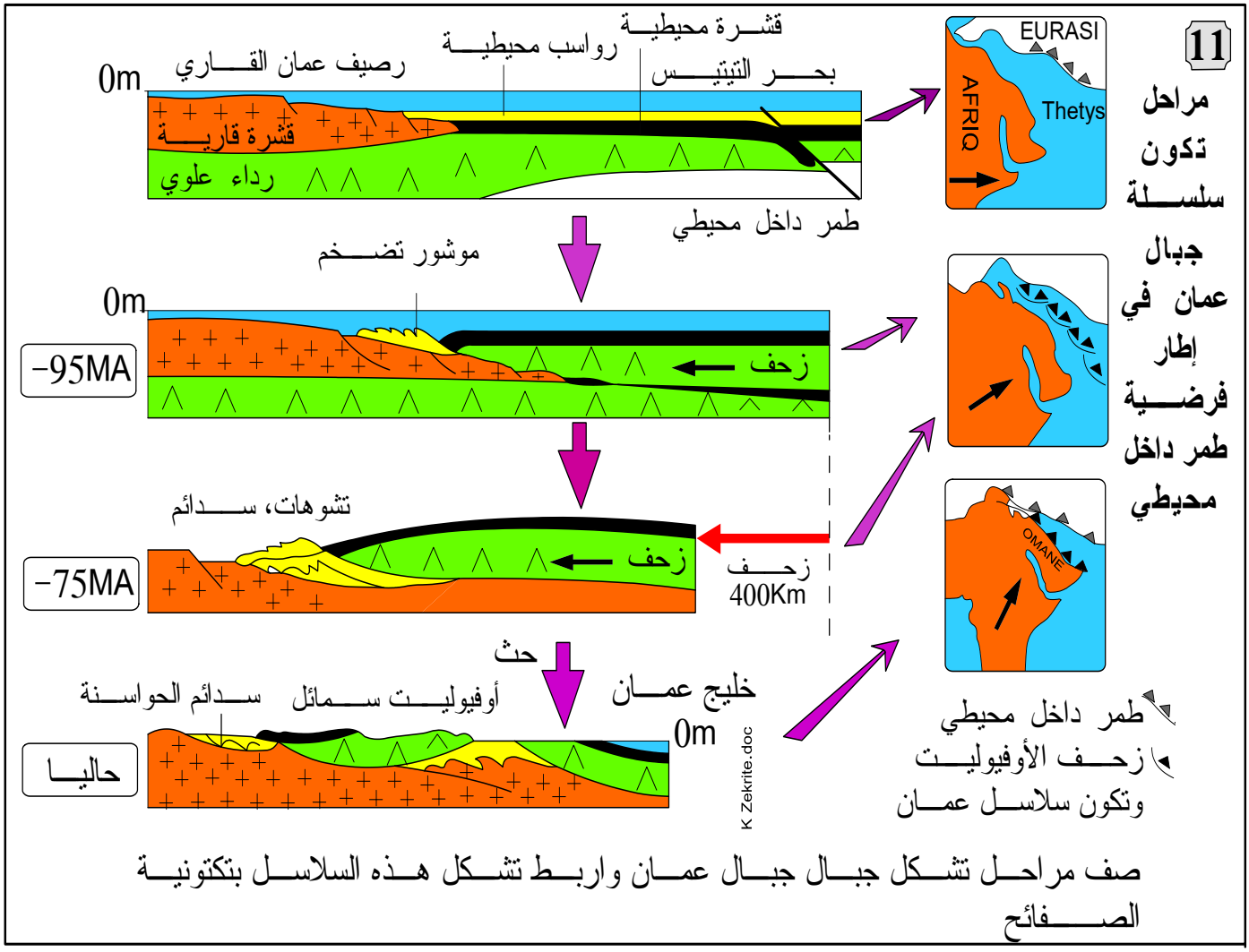
الوثيقة 10

2 – مراحل تشكل جبال عمان الوثيقة 11

باعتبار الخصائص البنيوية والصخرية الحالية لجبال عمان، يمكن استعادة التاريخ الجيولوجي للمنطقة، والذي تتمثل أحداثه كالتالي:

- حدوث طمر ضمحيطي داخل بحر التيتيس (البحر الوحيد الذي كان يحيط باليابسة الوحيدة حسب نظرية زحزحة القارات).
- عندما نفذت القشرة المحيطية المطمورة ووصلت القارة (شبه الجزيرة العربية) إلى منطقة الطمر حجز الطمر.
- مع تواصل القوى الانضغاطية، زحف الغلاف الصخري والرواسب المحيطيين فوق القشرة القارية.

- تضخم الغلاف الصخري بسبب هذا التراكم فنجم عن ذلك نشوء سلاسل جبلية تسمى بجبال الطفو.



صف مراحل تشكل جبال جبال عمان واربط تشكل هذه السلاسل بتكتونية الصفائح

IV سلاسل الاصطدام: مثال جبال الهملايا

1 – الخاصيات البنيوية لجبال الهملايا الوثيقة 12

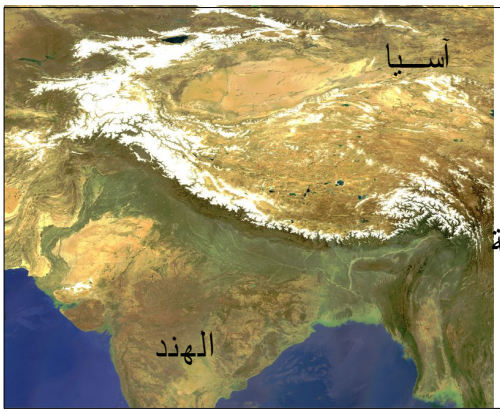
✷ تنحصر جبال الهملايا بين كتلتين قاريتين متصادمتين: الهند وآسيا وتتكون من:
- عدة وحدات تكتونية مشوهة متراكبة.
- خياطة أفيوليتية.
- موشور تضخم (رواسب محيطية).
- صخور كرانيتية وأنديزيتية بالثبت.

✷ يدل وجود الصخور الأنديزيتية في بعض الجهات من سلسلة الهملايا عن نشاط صهاري ناتج عن ظاهرة الطمر.

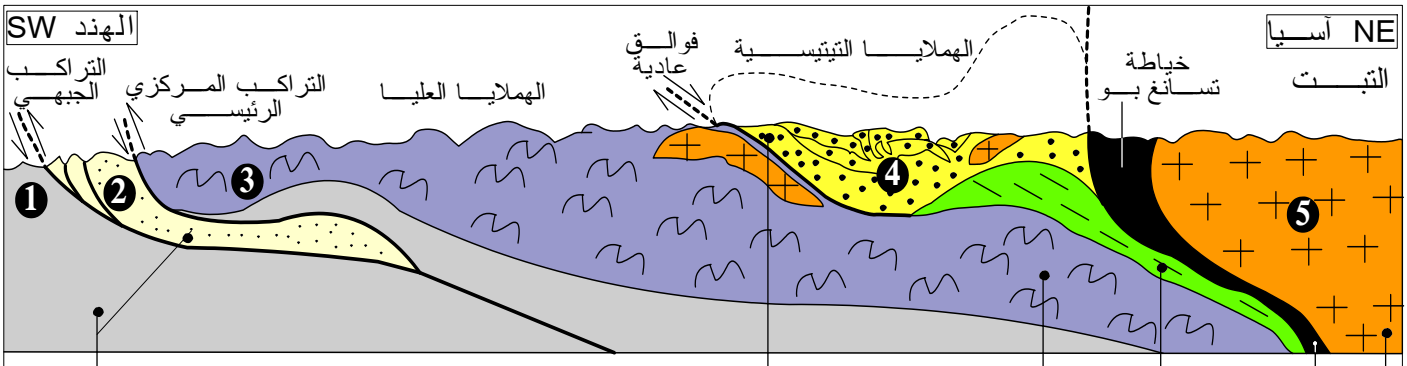
✷ يشهد وجود صخور الأفيوليت وموشور التضخم عن انغلاق محيط قديم وحدوث طفو.

** حدد تموضع جبال الهملايا على الصورة المأخودة بالأقمار الاصطناعية. صف الكيفية التي تتموضع بها هذه الجبال.

** استخرج من خلال المقطع الجيولوجي الخاصيات البنيوية لجبال الهمالايا، عن ماذا يدل تواجد الأوفيوليت في أعالي هذه الجبال؟



"أ" صورة بالأقمار الاصطناعية للهمالايا



❶ وحدة سيوليك شمال الهند.

❷ وحدة الهملايا الوسطى: تركب وحدة سيوليك بواسطة التراكب الجبهي.

❸ وحدة الهملايا العليا: تركب وحدة الهملايا الوسطى بواسطة التراكب المركزي الرئيسي.

❹ وحدة الهملايا التيتيسية ترتفع نتيجة عمل الفوالق العادية كالفالق الشمالي للهملايا.

❺ هضبة التبت: ترتبط بباقي الهملايا بواسطة الخياطة الأفيوليتية لمنطقة تسانغ بو.

K Zekrite.doc

12

" ب" **بنية جبال الهملايا (Dazes, 1999)**

2 – مراحل تشكل جبال الهملايا الوثيقة 13

تشكلت السلاسل الجبلية للهملايا نتيجة حركية الصفائح عبر المراحل التالية:

✷ ابتداء من 100Ma- انفصلت الهند عن أفريقيا وزحفت نحو الشمال (آسيا) بسرعة كبيرة (16cm/an) وذلك نتيجة حركية الصفائح.

✷ طمر الغلاف الصخري المحيطي (لبحر التيتيس) تحت الثبت فأدى إلى حدوث بركانية أنديزيتة شديدة وتشكل بلوتونات على الهامش النشيط (هضبة التبت).

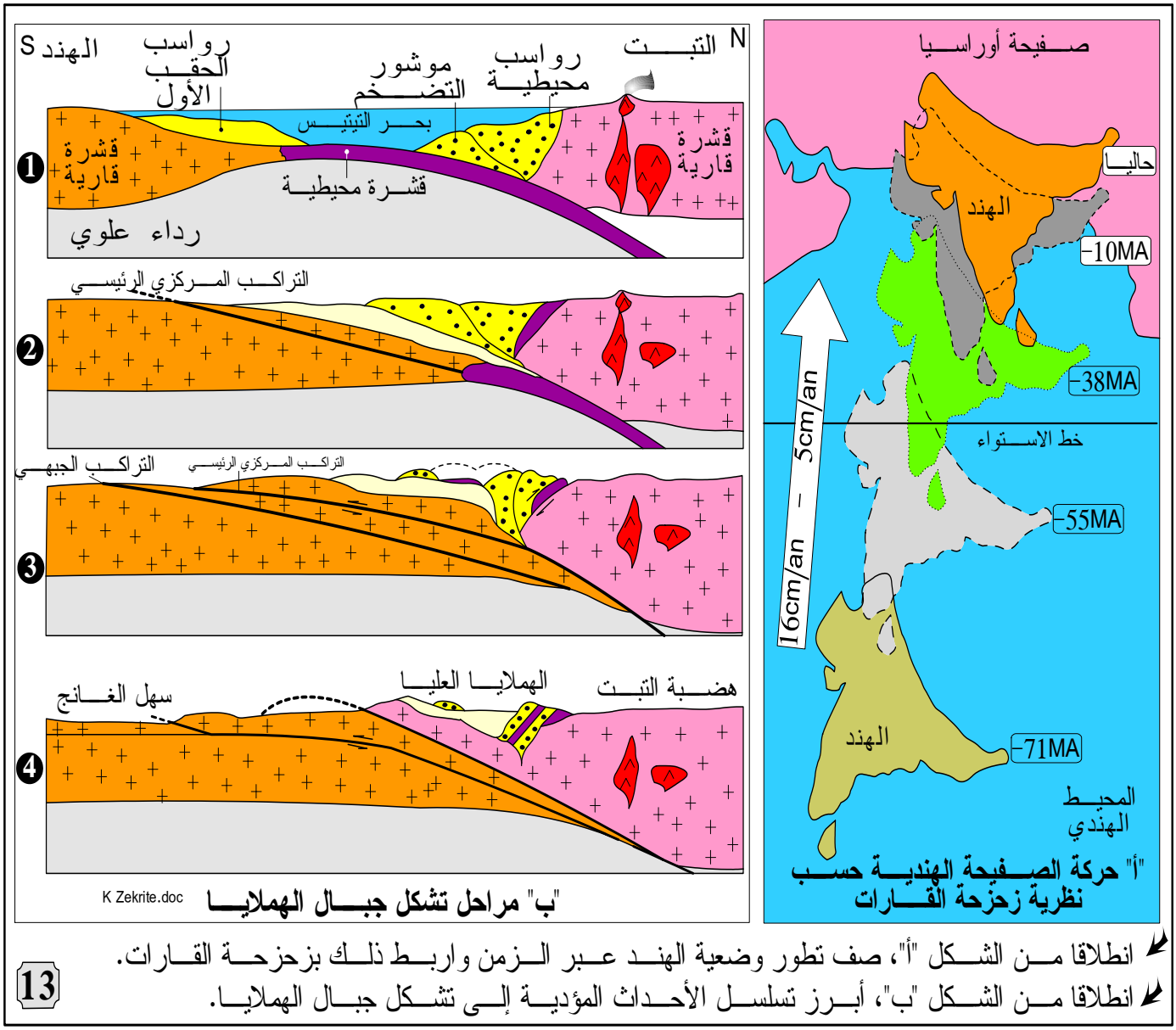
✷ أدى هذا الطمر إلى انغلاق بحر التيتيس كليا، ولم تبق منه إلا قطع من الأوفيوليت تشكل خياطة تسانغ بو، وتشهد عن حدوث الطفو بعدما حجز الطمر.

✷ التقى الهامشان القاريان للهند ولآسيا وتشكل بينهما موشور تضخم من رواسب بحر التيتيس.

✷ نجم عن تواصل تقدم الهند نحو الشمال، نشوء تراكبين كبيرين (المركزي ثم الجبهي) في اتجاه الجنوب.

✷ ساهم هذان التراكبان في تضخم الغلاف الصخري القاري ورفع السلسلة العليا ذات القمم الشاهقة (إفرست مثلا).

✷ بتزايد الضغوطات التكتونية، نشأت تشوهات معقدة دفعت بموشور التضخم باتجاه التبت (آسيا).



13

انطلاقا من الشكل "أ"، صف تطور وضعية الهند عبر الزمن واربط ذلك بزحزحة القارات.

انطلاقا من الشكل "ب"، أبرز تسلسل الأحداث المؤدية إلى تشكل جبال الهملايا.

ملحوظة: إن اصطدام قارتين يمكن أن يكون مسبوقا بـ:

- طمر دون طفو: غياب المركب الأفيوليتي.
- طمر مع طفو: تواجد المركب الأفيوليتي.

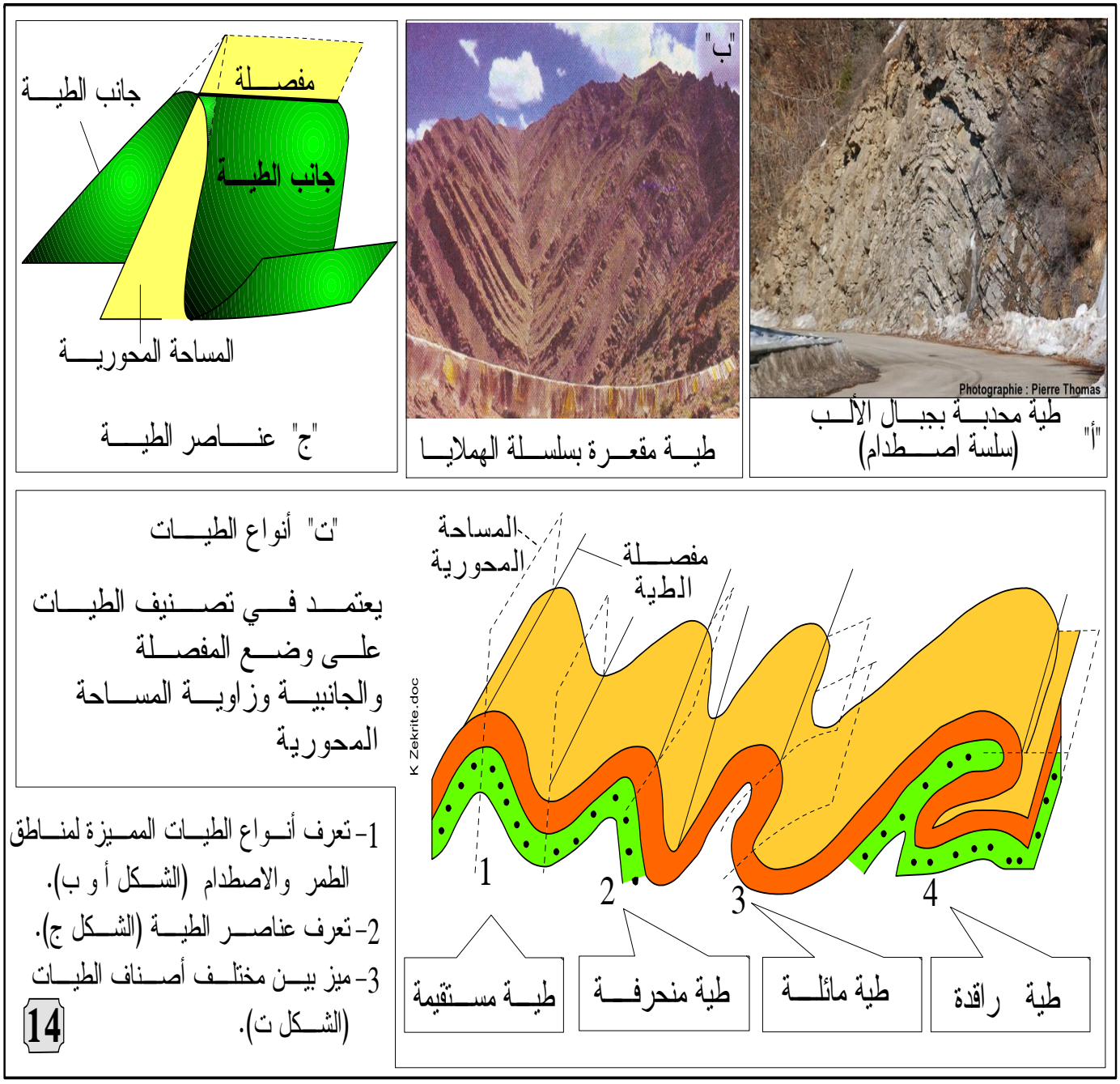
V التشوهات التكتونية المميزة لسلاسل الطمر والاصطدام

التشوه هو كل تغير في شكل القشرة الأرضية، ويؤدي إلى تكوين بنيات تكتونية يمكن تصنيفها إلى:

- تشوهات متواصلة: الطيات.
- تشوهات غير متواصلة: الفوالق والتشوهات الوسيطة.

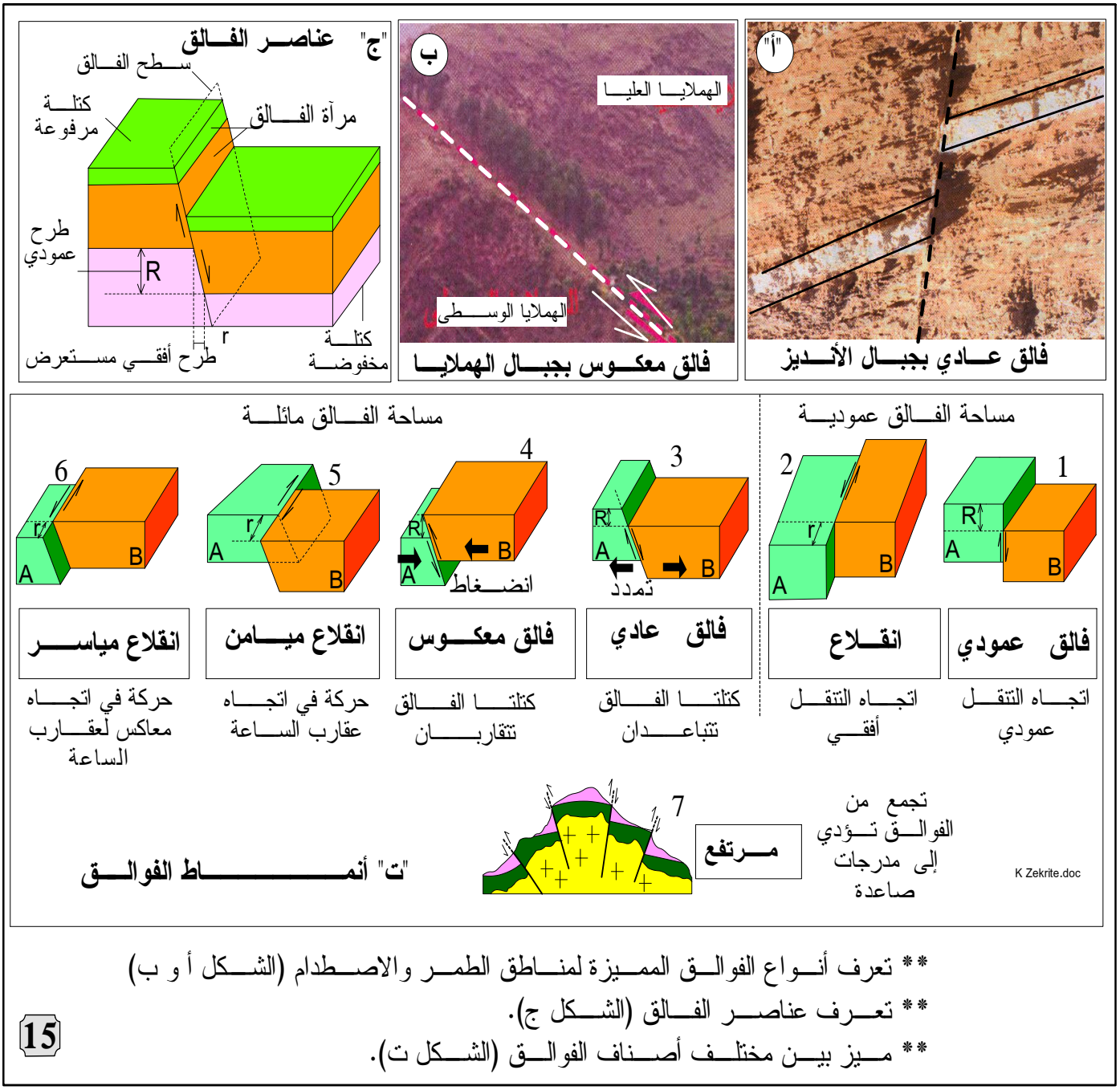
1 – الطيات

❁ **الطيات**: نوع من التشوهات تبقى خلالها الطبقات الصخرية متصلة، حيث تطوى الطبقات الرسوبية المرنة فتغير تطبقها الأصلي لتأخذ أشكالا محدبة (طيات محدبة) أو أشكالا مقعرة (طيات مقعرة).



2 – الفوالق الوثيقة 15

❁ **الفوالق**: عبارة عن تشوهات تكتونية تنفصل خلالها الطبقات الصخرية، لتعطي كتلتين تتحركان نسبيا عن بعضهما البعض. تصنف الفوالق حسب وضع مساحة الفالق ومنحى التنقل النسبي للكتلتين، إذ نميز الفالق العادي والفالق المعكوس والانقلاع.



** تعرف أنـــواع الفوالـــق المميـــزة لمنـــاطق الطمـــر والاصـــطدام (الشـــكل أ و ب)
** تعـــرف عناصـــر الفـــالق (الشـــكل ج).
** مـــيز بيـــن مختلـــف أصـــناف الفوالـــق (الشـــكل ت).

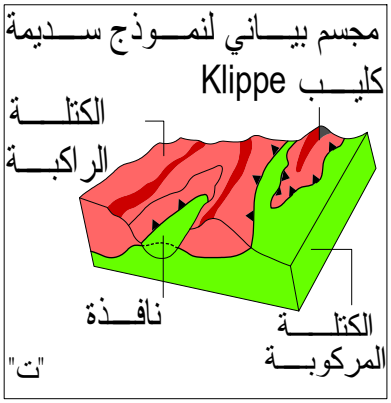
15

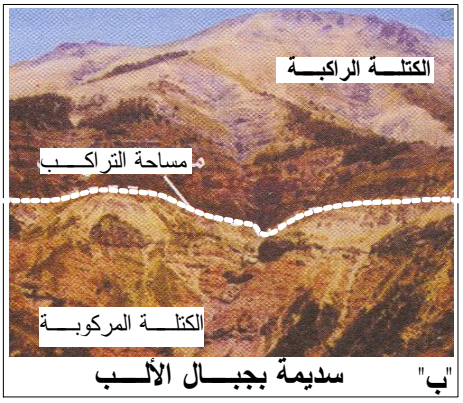
3 – التشوهات الوسيطة الوثيقة 16

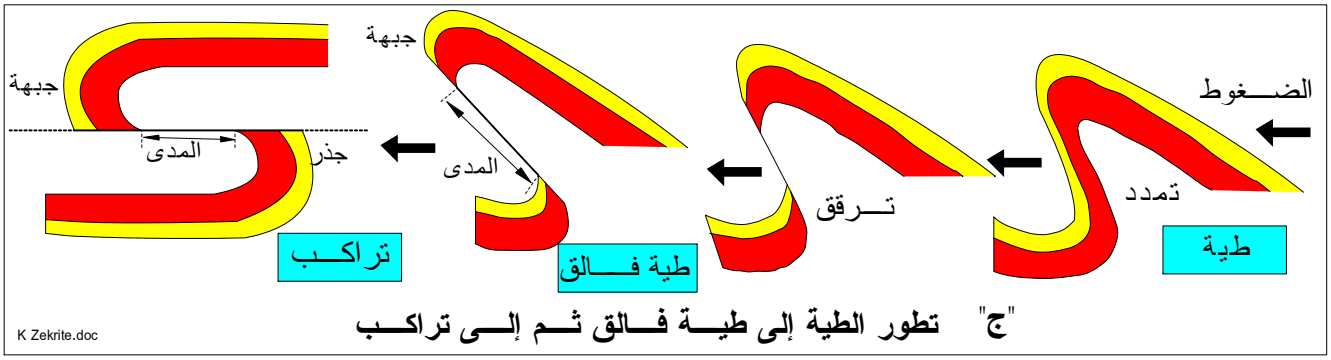
✷ أدت الضغوطات التقصيرية التي تعرضت لها القشرة الأرضية بمناطق الطمر والاصطدام إلى تعقيد التشوهات التكتونية لتتحول إلى تشوهات وسيطة: طيات - فوالق، تراكبات وسدائم.

✷ نتيجة الضغوط المسلطة على الطية من أحد جانبيها، يتمدد الجانب المقابل لمنحى الضغوط ثم يترقق ويؤدي ذلك إلى حدوث فالق وابتعاد الجزأين المشطورين أحدهما عن الآخر. يزحف الجانب الأعلى فوق الآخر مشكلا تراكبا.

✷ إذا استمرت الضغوط وعندما تصبح مسافة الزحف كبيرة، يعطي التراكب سديمة.







** اعتمد على الأشكال "أ" و "ب" و "ج"، وصف بنية كل من الطية فالق والسديمة.

** اعتمادا على الشكل "ج"، بين كيفية تطور الطية إلى طية فالق ثم إلى تراكب. حدد طبيعة القوى التكتونية المؤدية لهذا التطور.

** كيف يمكن للتراكب أن يعطي سديمة؟

16

التشوهات الوسيطة المميزة لمناطق الطمر والاصطدام

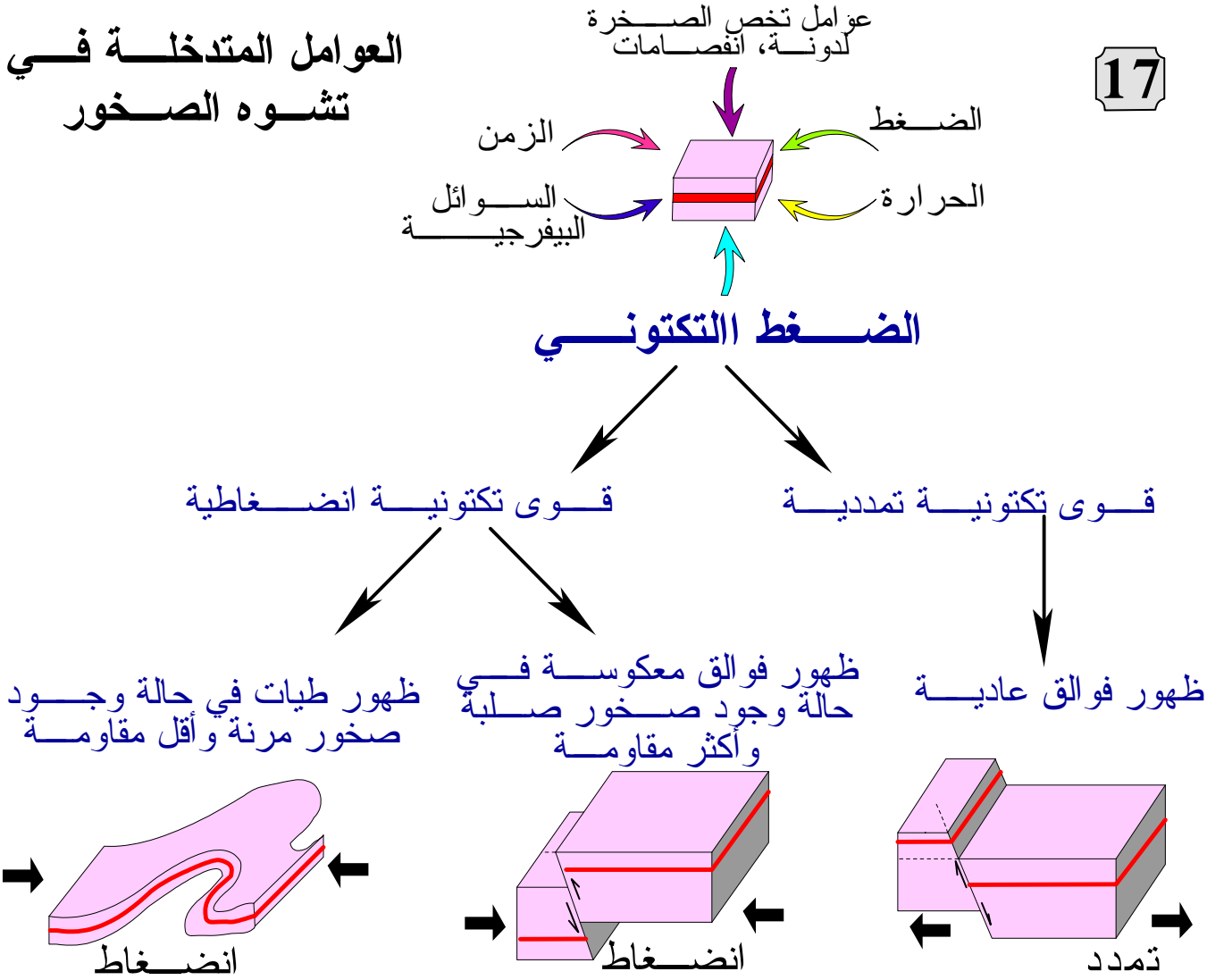
4 – العوامل المسببة لتشوه الصخور الوثيقة 17

يرتبط نمط التشوه التكتوني بمناطق التجابه بين الصفائح بعوامل:

- داخلية: خاصيات المرونة والميوعة.
- خارجية: أهمها:
  - العمق الذي يحدد تغيرات الضغط ودرجة الحرارة.
  - الزمن.
  - الحركات التكتونية.

17

العوامل المتدخلة في تشوه الصخور



تعرف مختلف العوامل المسؤولة عن التشوهات الصخرية المرافقة لتشكل السلاسل الجبلية

VI حصيلة عامة:

تعتبر السلاسل الجبلية نتاجا لتكتونية الصفائح. تختزن تشكيلاتها الصخرية ظروف تشكلها وتطورها. دراسة هذه البنيات الصخرية هي التي مكنت من استرداد تاريخ نشأة هذه السلاسل.

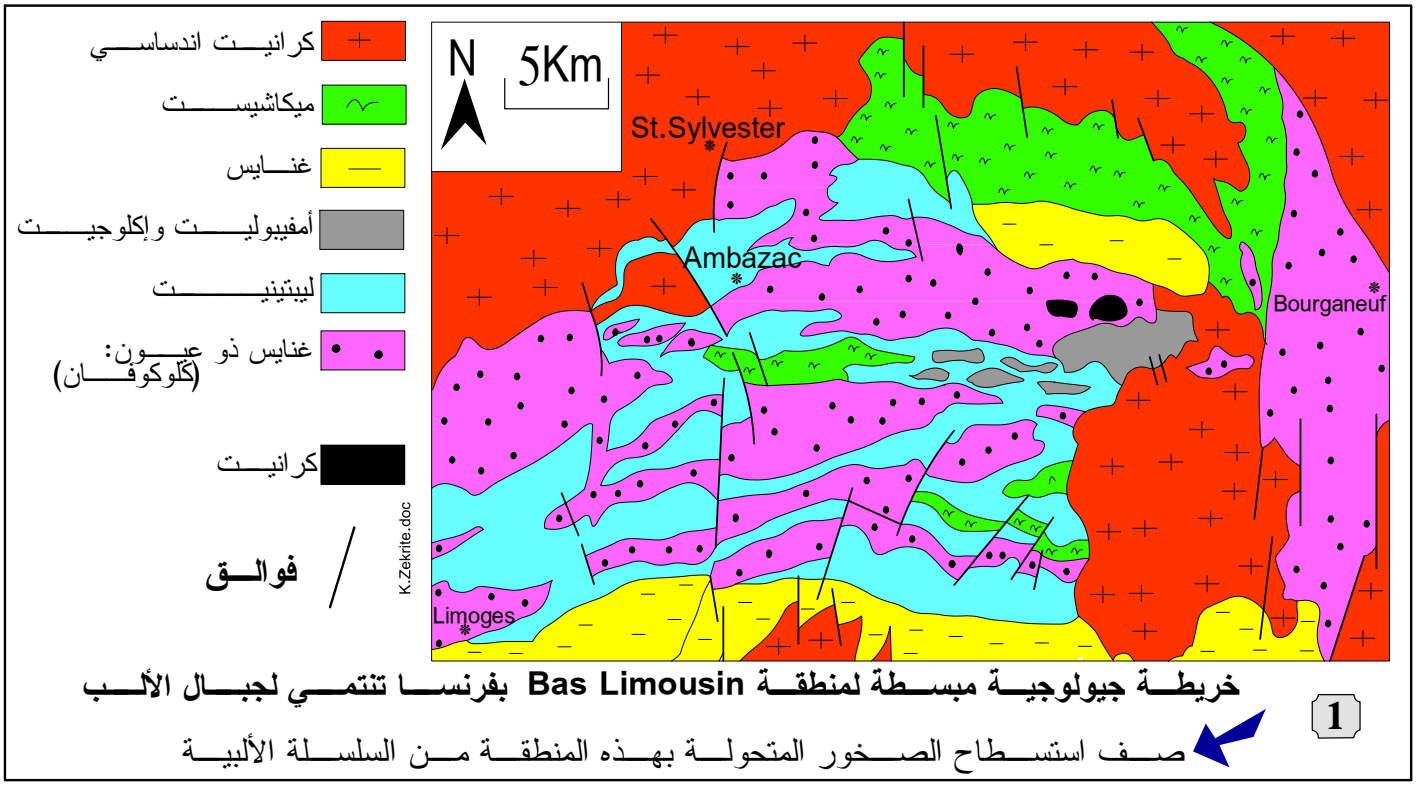
الفصل الثاني:
التحول وعلاقته بتكتونية الصفائح

الصخور المتحولة هي صخور ناتجة عن تحول في الحالة الصلبة لصخور سابقة الوجود تحت تأثير مجموعة من عوامل التحول، يصاحب تشكلها نشوء السلاسل الجبلية.

- فما هي الخاصيات البنيوية والعيدانية للصخور المتحولة المميزة لمناطق الطمر والاصطدام؟
- ما هي ظروف التحول وما هي علاقتها بتكتونية الصفائح؟
- كيف يمكن للصخرة المتحولة أن تختزن ظروف تحولها؟

I الصخور المتحولة بمناطق الاصطدام

1 – دراسة خريطة جيولوجية لمنطقة Bas Limousin بجبال الألب



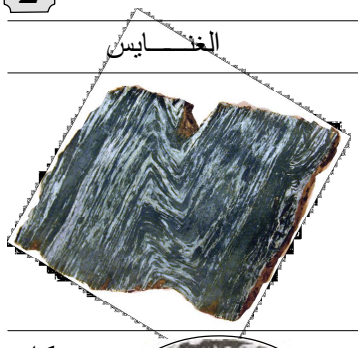
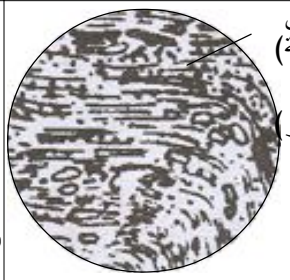
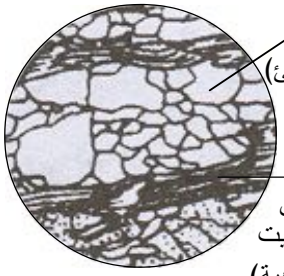
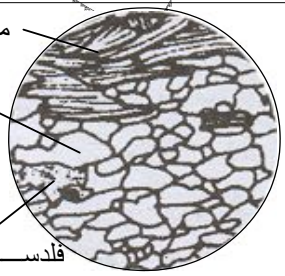
خريطة جيولوجية مبسطة لمنطقة Bas Limousin بفرنسا تنتمي لجبال الألب 1

صف استسطاح الصخور المتحولة بهذه المنطقة من السلسلة الألبية

إضافة إلى التشوهات التكتونية، تتميز سلاسل الألب الناتجة عن الاصطدام باستسطاح صخور متحولة: الميكاشيست، الغنايس، الأمفيبوليت والليبتينيت والتي تتداخل مع صخور أخرى مثل الكرانيت.

2 – الخصائص البنيوية والعيدانية والكيميائية للصخور المتحولة في مناطق الاصطدام الوثيقة 2

2 لنتعرف على بعض مميزات الصخور المنتشرة في مناطق الاصطدام

	الشيست الأخضر	الميكاشيست	الغنايس
ملاحظة الصخرة بالعين المجردة			
ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب	 سريسيت (ألوان زاهية) + كلوريت (لون أخضر)	 مرو (لون منطفئ) ميكا بيوتيت وموسكوفيت (ألوان زاهية)	 ميكا مرو فلدسبات
وصف حالة المعادن	المعادن موجهة على شكل صفائح	أسرة من المرو وأسرة من البيوتيت والموسكوفيت	تعاقب أسرة فاتحة مكونة من المرو والفلدسبات مع أسرة داكنة مكونة من البيوتيت
البنية	تنضد – شيستية	شيستسة	توريق
التركيب العيداني	معادن طينية (كلوريت وسيريسيت) سيلكات ألومين	مرو بيوتيت بيجادي سيلكات ألومين	مرو + بيوتيت فلدسبات بيجادي سيليكات ألومين سليمانيت
التركيب الكيميائي SiO_2	60,2%	60,9%	68,7
Al_2O_3	20,9%	19,1%	16,2%
FeO	3,7%	4,1%	4,1%
K_2O	4,1%	3,7%	3%

** قارن بين مميزات هذه الصخور.
** تتشكل الصخور الطينية في قسمها الكبير من سيلكات الألومين. اقترح فرضية حول العلاقة بين هذه الصخور والصخور المتحولة.

K Zekrite.doc

✷ عند الانتقال من الشيست إلى الميكاشيست إلى الغنايس:
- تزداد بنية الصخور تعقيدا: من التنضد إلى الشيستسة إلى التوريق.
- تختفي بعض المعادن وتظهر أخرى.
- تتشكل هذه الصخور من نفس العناصر الكيميائية لكن بنسب مختلفة.

✷ تمثل هذه الصخور المتحولة (شيست ميكاشيست وغنايس) مع الصخور الطينية مجموعة صخرية لها نفس التركيب الكيميائي العام رغم اختلاف بنيتها وتركيبها العيداني، مما يدعو للافتراض بأن لهذه الصخور أصل مشترك.

التنضد:
نوع من التطبق تبينه مكونات الصخرة وهو ناجم فقط عن ظاهرة الترسب.

الشيستية:
تجمع المعادن على شكل أسرة دقيقة يجعل الصخرة سهلة الانفصام إذ تتجزأ إلى وريقات منتظمة منتظمة

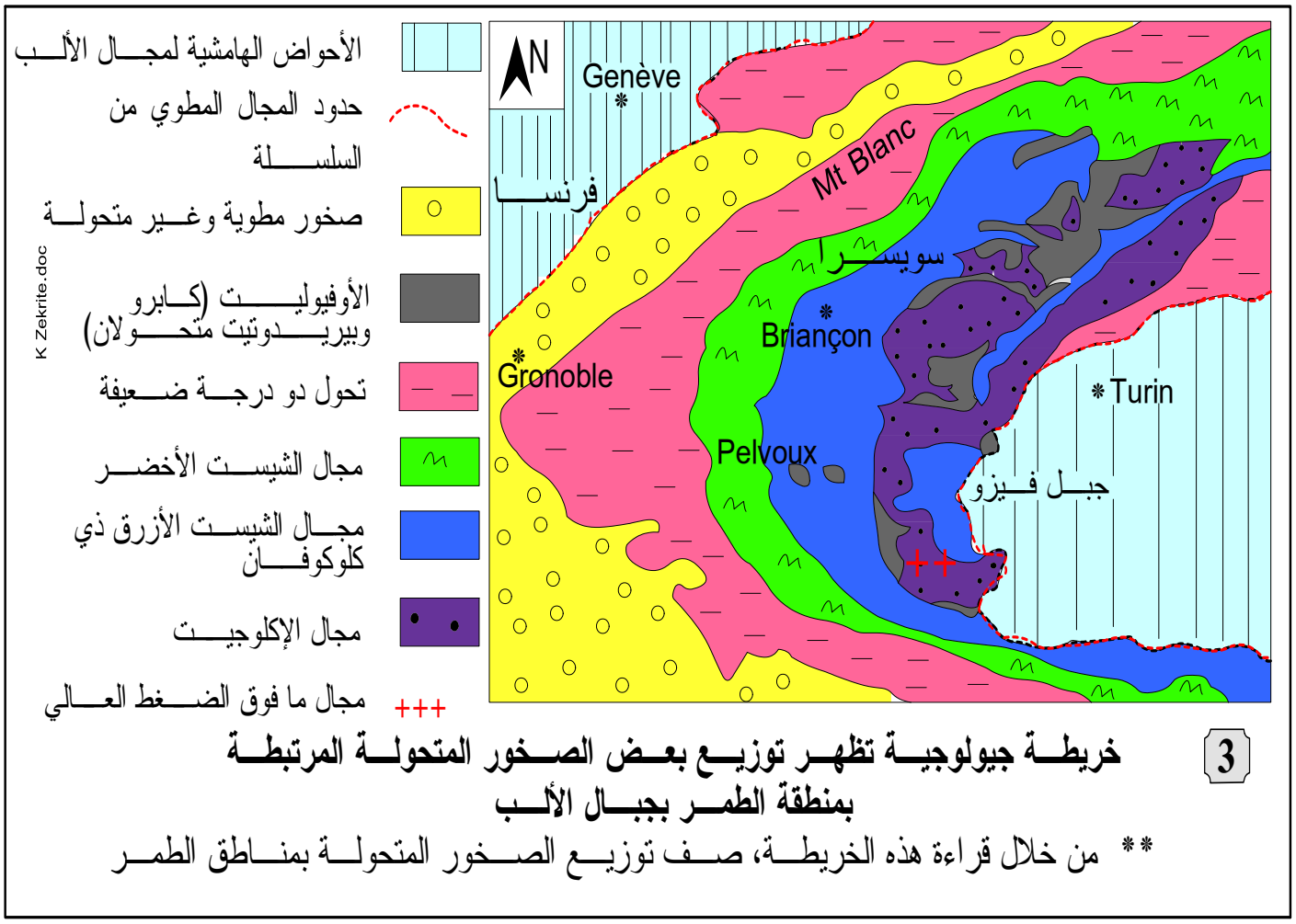
التوريق:
تعاقب المعادن على شكل أسرة فاتحة وأخرى داكنة، يجعل الصخرة غير قابلة للانفصام

✷ الشيستية والتوريق بنيتان مميزتان للصخور المتحولة.

II الصخور المتحولة بمناطق الطمر

1 – استسطاح بعض الصخور المتحولة الشاهدة عن طمر قديم الوثيقة 3

✷ تتميز مناطق الطمر الحالية بظروف ملائمة لتشكل الصخور المتحولة، إلا أنه يصعب ملاحظتها ودراستها لوجودها في الأعماق، لذلك يتم اللجوء إلى دراسة الصخور المستسطحة بمناطق الطمر القديمة.
✷ تبرز الخريطة تمنطقا في توزيع الصخور المتحولة حيث ننتقل تدريجيا من مجال الشيست الأخضر ⇦ مجال الشيست الأزرق ⇦ مجال الإكلوجيت التي تتداخل مع صخور الأوفيوليت المتحولة.



3 **خريطة جيولوجية تظهر توزيع بعض الصخور المتحولة المرتبطة بمنطقة الطمر بجبال الألب**

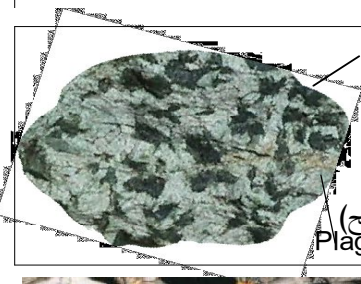
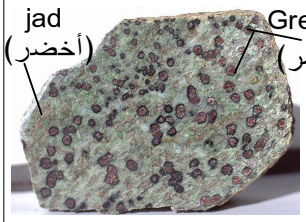
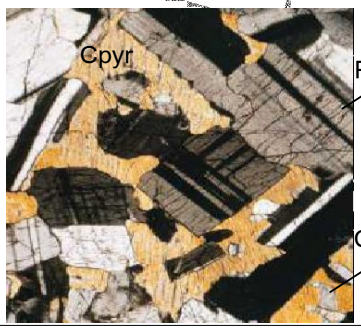
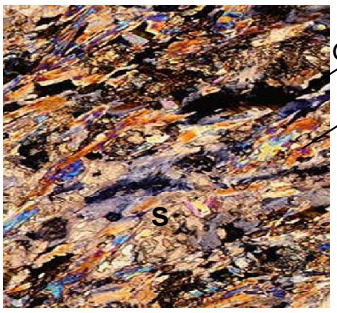
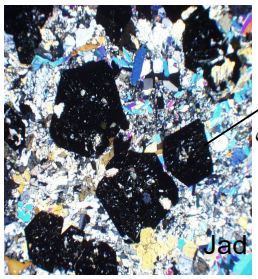
** من خلال قراءة هذه الخريطة، صف توزيع الصخور المتحولة بمناطق الطمر

2 – خصائص الصخور المتحولة لمناطق الطمر

الوثيقة 4 في الصفحة الموالية

✷ رغم اختلاف بنيتها، تتميز كافة هذه الصخور بنفس التركيب الكيميائي وهو نفسه تركيب صخرة الكابرو.
✷ تفيد هذه المعطيات بأن لهذه الصخور أصل مشترك حيث نتجت كلها عن تحول صخرة الكابرو.

لنتعرف على بعض مميزات الصخور المتحولة المنتشرة بجبال الألب والمرتبطة بظاهرة الطمر

	الغابرو الأفيولي	الشيست الأزرق ذي كلوكوفان وإبيدوت	الإكلوجيت ذات بيجادي وجاديت
ملاحظة الصخرة بالعين المجردة			
ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب			
التركيب العيداني	كلينوبيروكسين: Cpyr بلاجيوكلاز: Plag	كلوكوفان: Glau إبيدوت: Epi سبينيل: Sp	بيجادي : Grenat جاديت : Jad (=كلينوبيروكسين)

التركيب الكيميائي — لهذه الصخور نفس التركيب الكيميائي المبين في الجدول جانبه

K_2O	Na2O	CaO	FeO	MgO	Al_2O_3	SiO_2
0,4%	2,2%	9,9%	11%	12,7%	14,2%	47,1%

K Zekrite.doc

** قارن بين مميزات هذه الصخور.

4 ما المعلومات الإضافية التي يمكن استخلاصها من وجود الغابرو الأوفيولي بهذه المنطقة وما علاقته بالصخور المتحولة المجاورة له؟

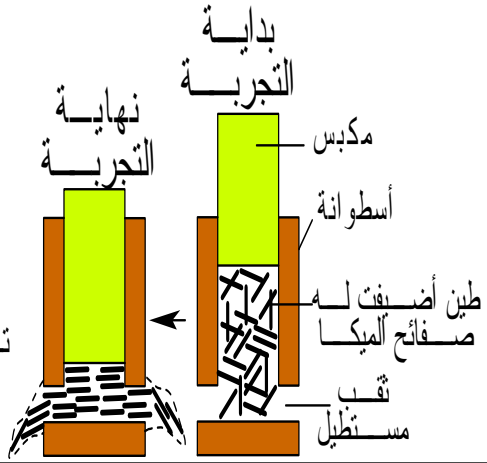
III عوامل التحول

1 – معطيات تجريبية الوثيقة 5

- يؤدي الضغط إلى توجيه المعادن فتظهر الشيستية (الشكل "أ")
- عند إخضاع الطين إلى درجة حرارة عالية، نحصل على صخور بها معادن متحولة تكونت إثر تفاعلات تسمى **تفاعلات عيدانية**.
- إذن فدرجة الحرارة مسؤولة عن التحولات العيدانية التي تشهدها الصخور أثناء التحول.

"أ" تـــأثير الضـــغط: تجربـــة Daubrée

أخضع الباحـــث Daubrée خليطا مـــن الطيـــن وصـــفائح بلورية من الميكـــا لضـــغط عـــال بواســـطة مكبـــس داخـــل أســـطوانة بقاعـــدتها ثقـــوب مســـتطيلة الشـــكل يوضـــح الرســـم أســـفله معطيـــات ونتـــائج هـــذه التجربـــة.



"ب" تـــأثير الحـــرارة: تجربـــة Winkler

أخضع Winkler صـــخورا طينيـــة لضـــغط ثابـــت: 2Kbar مع ارتفـــاع تـــدريجي لدرجـــة الحـــرارة:

صخور طينيـــة ← 570°C ظهور معادن جديدة فـــي الصـــخرة الصـــلبة

700°C ← جزء ســـائل

جزء صلب

* كلوريـــت * سيريســـيت * موســـكوفيت	* بلاجيـــوكلاز * بيوتيـــت * أندلوســـيت	* بلاجيـــوكلاز * بيوتيـــت * ســـيليمانيت

حلـــل معطيـــات الشـــكلين (أ) و (ب) وحدد الظروف الفيزيائيـــة المســـؤولة عـــن:

5

- ظهـــور البنيـــة المورقـــة المميـــزة للصـــخور المتحولـــة
- ظهـــور واختفـــاء المعـــادن أثنـــاء التحـــول التـــدريجي للصـــخور.

2 – ظروف التحول في الطبيعة الوثيقة 6

6

ظروف التحـــول فـــي الطبيعـــة؟

"أ" الضـــغط؟

** الضـــغط التكتونـــي: الناجم عن القـــوى التكتونيـــة فـــي المنـــاطق الغـــير المســـتقرة

** الضـــغط الصـــخري: $P = \frac{\text{وزن العمود}}{\text{مساحة قاعدتـــه}}$

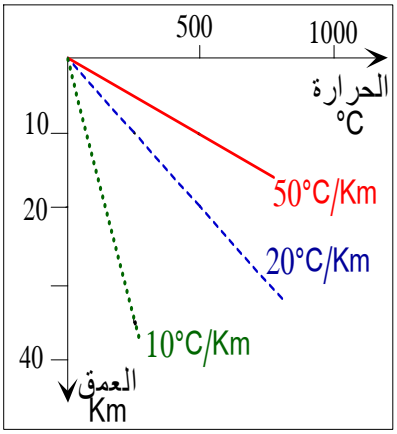
وبذلك تخضـــع المـــواد فـــي بـــاطن الأرض لضـــغط تتناســـب درجتـــه مـــع العمـــق وكثافـــة الصـــخور

** الضـــغط الجزيـــئي للموائـــع البيفرجيـــة تضـــم الصـــخور بيـــن بلوراتهـــا بعـــض الموائـــع (CO_2 و H_2O) تتســـبب فـــي ضـــغط إضـــافي يســـمى الضـــغط الجـــزئي للموائـــع.

"ب" الحرارة؟

تتغير درجـــات الحـــرارة فـــي الأعمـــاق (الدرجـــة الســـعيرية) حسب:

* التركيـــب الـــداخلي لـــلأرض.
* توصـــيلة الصـــخور للحـــــــرارة.
* الطبيعـــة الجيولوجيـــة للمنطقـــة، حيـــث تكـــون منخفضـــة فـــي المنـــاطق المســـتقرة جيولوجيـــا ومرتفعـــة فـــي المنـــاطق النشـــيطة.

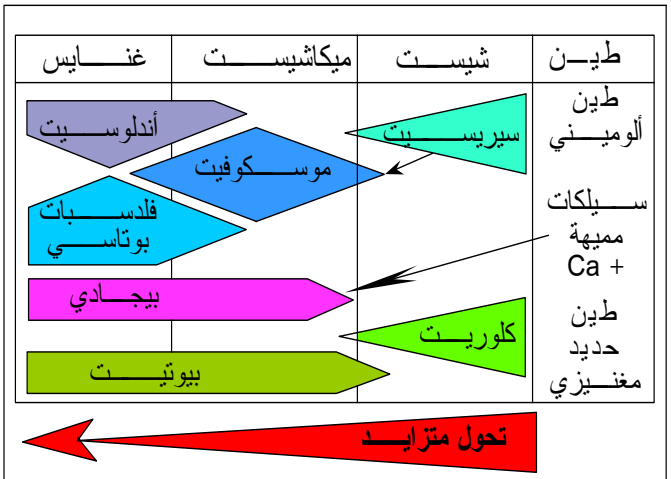


K Zekrite.doc

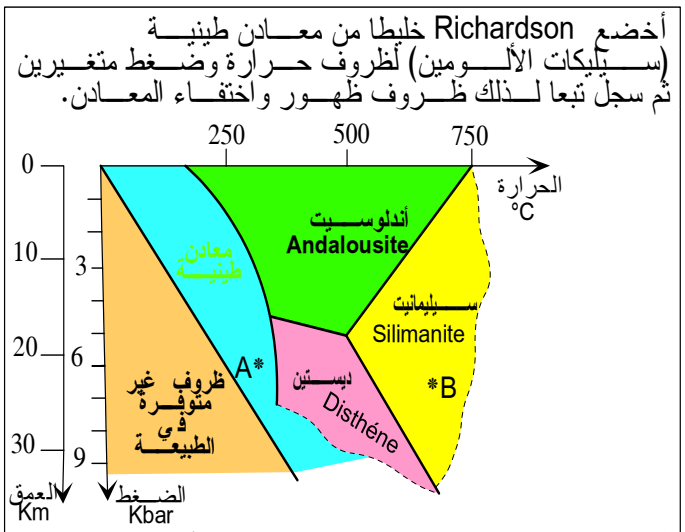
✹ تعبر الدرجة السعيرية عن ارتفاع درجة الحرارة بدلالة العمق.
✹ يمكن قياس هذا الارتفاع مباشرة في المناجم أو آبار البترول.
✹ تقدر الدرجة السعيرية ب 5 إلى 10°C/Km في الكتل القارية القديمة وفي مناطق الطمر وتصل إلى 50 إلى 100°C/Km في مناطق الذروات الوسط محيطية.
✹ تدل هذه الظاهرة على تدفق flux درجة الحرارة الباطنية للأرض في العمق نحو السطح.

IV مفهوم المعدن المؤشر والسلسلة التحولية

1 – مفهوم التحول، المتتالية التحولية والمعدن المؤشر الوثيقة 7



"ب" متتالية تحولية لصخور طينية وتركيبها الكيميائي



أخضع Richardson خليطا من معادن طينية (سيليكات الألومين) لظروف حرارة وضغط متغيرين ثم سجل تبعا لذلك ظروف ظهور واختفاء المعادن.

"أ" مجالات استقرار معادن سيليكات الألومين K Zekrite.doc

** الشكل (أ): بعد تحديدك لمجالات استقرار كل من معادن الأندلوسيت والدستين والسيليمانيت، عرف المعدن المؤشر مبرزا أهمية تواجده في الصخور المتحولة.
** اعتمادا على كل ما سبق وعلى معطيات وثيقة الشكل (ب)، صغ تعريفا دقيقا لمفهوم التحول والمتتالية التحولية.

7

✹ الشكل "أ": عند إخضاع خليط من سيليكات الألومين لدرجة حرارة وضغط مرتفعين ومتغيرين، يظهر أن لكل من الأندلوسيت والسيليمانيت والديستين (معادن مميزة للصخور المتحولة) **مجال استقرار** في ظروف ضغط ودرجة حرارة جد محددة. يعبر الخط الفاصل بين مجالين عن الظروف اللازمة لكي يتم **التفاعل العيداني** وبالتالي تحول معدن إلى آخر.

❁ **التحول** هو مجموعة من التغيرات البنيوية والعيدانية التي تطرأ على صخرة سابقة الوجود (رسوبية، صهارية)، بفعل عاملي الضغط أو الحرارة أو هما معا، ويتم التحول في الحالة الصلبة للصخرة.

❁ **معدن مؤشر**: معدن يظهر في ظروف جد محددة لدرجة الضغط والحراة، يتميز بمجال استقرار ضيق، وبذلك فتواجده في صخرة متحولة يمثل ذاكرة للظروف القصوى للضغط والحرارة التي وصلتها الصخرة، مثلا تواجد الأندلوسيت في الصخور المتحولة يعد شاهدا على تعرض هذه الأخيرة لدرجة حرارة مرتفعة.

❁ **متتالية تحولية**: مجموعة من الصخور المتحولة المنحدرة من نفس الصخرة الأصلية التي خضعت لدرجات تحول متصاعدة مثلا المتتالية الطينية تضم:

الطين (الأصل) ⇦ الشيست ⇦ الميكاشيست ⇦ الغنايس.

⟵

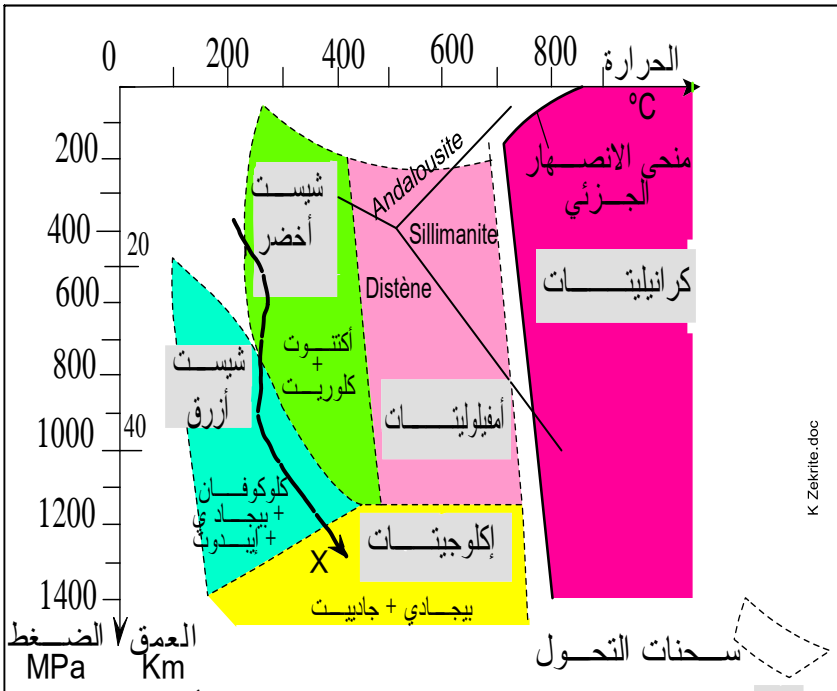
درجة تحول متصاعدة

2 – مفهوم سحنة التحول والسلسلة التحولية الوثيقة 8

تسجل المجموعات العيدانية بالصخور المتحولة الظروف الفيزيائية (P, T) التي كانت تسود في الوسط الذي تشكلت فيه هذه الصخور.
أخضع Escola صخرة البازلت لظروف متغيرة لكل من درجة الحرارة والضغط فتمكن من تحديد سحنات التحول المبينة في الوثيقة جانبه .

** اعط تعريفا لسحنة التحول والسلسلة التحولية.

ملحوظة
إذا طبقنا نفس ظروف الضغط ودرجة الحرارة المقابلة لسحنة معينة على صخرة أخرى، نحصل على مجموعة معدنية أخرى. فمثلا تتحول صخرة الطين في سحنة الشيست الأزرق إلى ميكاشيست ذي كلوكوفان.



مبيان تركيبي لمجالات استقرار معادن السلسلة التحولية لصخرة البازلت حسب Escola ومجالات استقرار سيليكات الألومين

8

MPa= mégapascal
1MPA = 10^6Pa
GPa = gigapascal

❁ **سحنة التحول**: مجموعة تتميز بمعادن تكون توازنا قارا فيما بينها وتمكن من تحديد مجال ضيق من درجة الحرارة والضغط. وبذلك تجمع كل سحنة مجموعة من الصخور خضعت لتحول في ظروف ضغط ودرجة حرارة متقاربة رغم اختلاف تركيبها.

❁ **سلسلة التحول**: تعبر عن سحنات التحول المتتالية حسب تغير ظروف الضغط ودرجة الحرارة بالنسبة لصخرة معينة مثل الطين أو البازلت. فإذا افترضنا مثلا أن صخرة بازلتية تتطور حسب المسار المشار إليه بالسهم X في البيان، فإن السلسة التحولية ستتكون من توالي: سحنة الشيست الأخضر ← سحنة الشيست الأزرق ← الإكلوجيت.

V أنماط التحول في مناطق الطمر والاصطدام

1 – مجالات التحول في الطبيعة الوثيقة 9

ميز Winkler بين 3 أصناف من التحول:

① **التحول الدينامي**: يتميز بارتفاع سريع للضغط في حين يكون ارتفاع درجة الحرارة منخفضا.

② **التحول الدينامي – حراري** = التحول العام = التحول الإقليمي: يحدث تحت ارتفاع متزامن لكل من درجة الحرارة والضغط.

③ **التحول الحراري**: تحول يحصل بارتفاع مفاجئ لدرجة الحرارة دون زيادة كبيرة في قيمة الضغط.

9 مجالات التحـــول

وضع Winkler تصورا يحـــدد مختلـــف أنـــواع التحول حســـب مجـــالات تـــأثير عـــاملي الضـــغط والحـــرارة، تقـــدم الوثيقـــة جانبـــه هـــذا التقســـيم

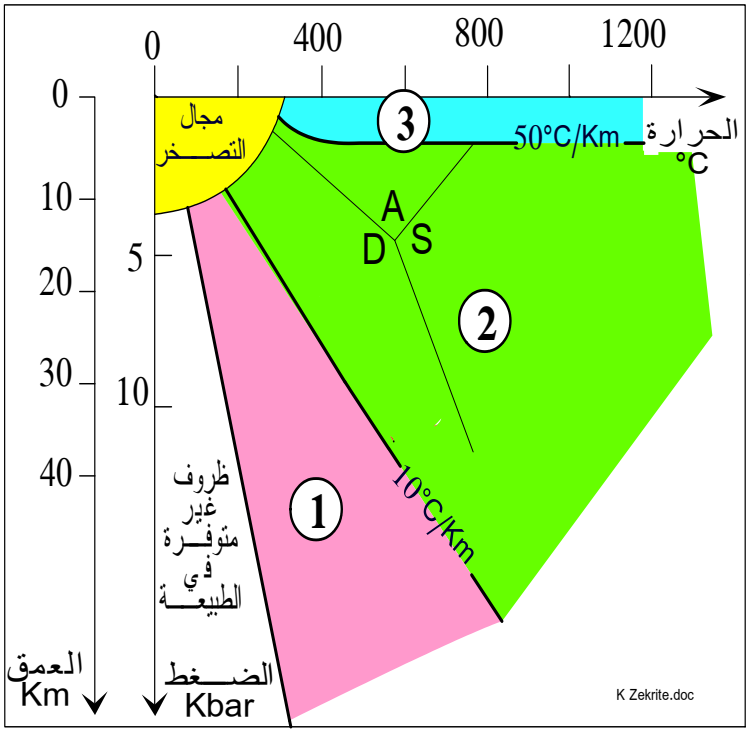
** تعرف مختلـــف أنمـــاط التحـــول مـــبرزا ظروف الحرارة والضغط لكـــل منهـــا

① تحول دينـــــامي

② تحول دينـــــامي- حراري

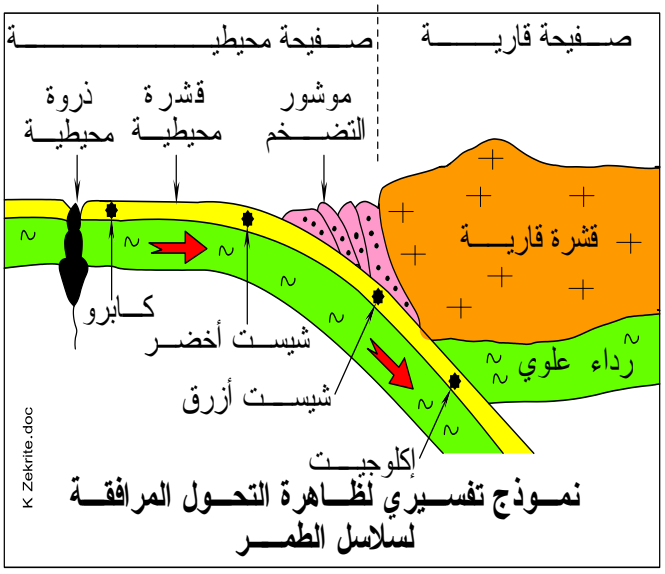
③ تحول حراري

** تعرف مواقع حـــدوث مختلـــف أنمـــاط التحـــول

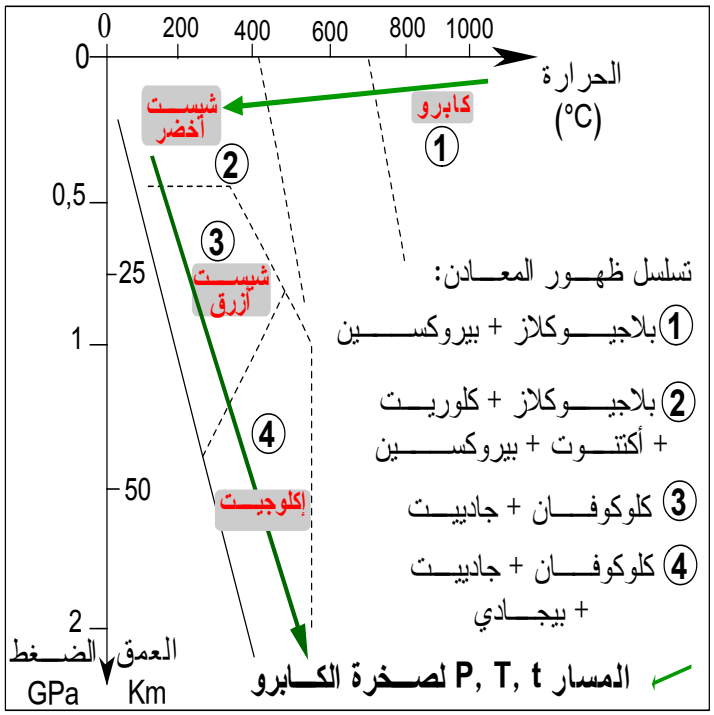


2 – التحول الدينامي: تحول مناطق الطمر الوثيقة 10

تمكـــن الملاحظـــة المجهريـــة للصـــفائح الدقيقـــة مـــن تحديـــد تسلســـل ظهـــور واختفـــاء المعـــادن المكونـــة للصـــخور المتحولـــة. بـــذلك تمكـــن الجيولوجيـــون من تحديـــد المســـار الـــديناميّ- الحراري بدلالـــة الـــزمن (P, T, t) لصـــخرة الكـــابرو (الشـــكل أ) واقـــترحوا النمـــوذج التفســـيري (الشـــكل ب).



نمـــوذج تفســـيري لظـــاهرة التحـــول المرافقـــة لسلاسل الطمـــر



** اعتمـــادا علـــى الشـــكلين (أ) و (ب)، اعـــط تعليقـــا تبيـــن من خلاله مراحل تطور صـــخرة الكـــابرو منـــذ نشـــأتها علـــى مستوى الذروة المحيطيـــة حـــتى طمرهـــا تحـــت الغـــلاف الصـــخري القـــاري.

** اســـتخلص نمـــط التحـــول المـــرتبط بسلاســـل الطمـــر.

10

✹ يمكن اختصار تطور صخرة الكابرو كما يلي:

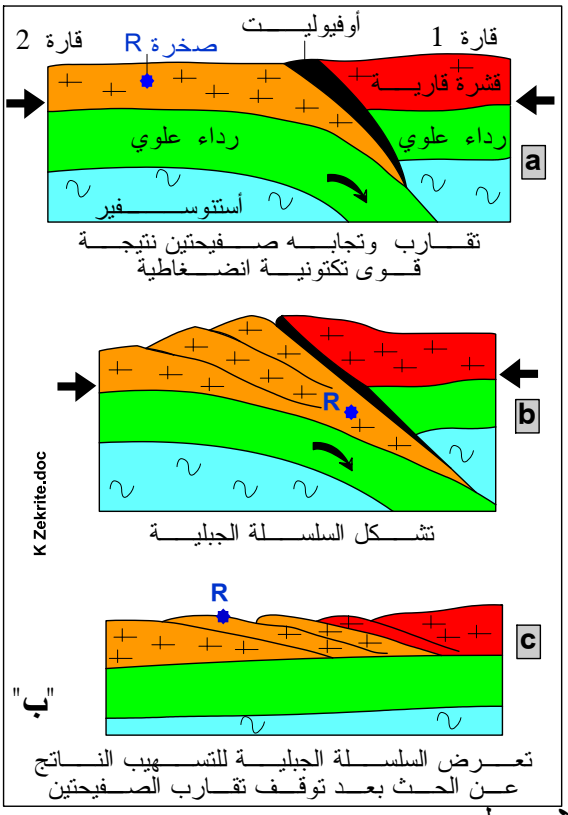
- تنشأ صخرة الكابرو على مستوى الذروة وسط محيطية وتتميز ولادتها بحرارة مرتفعة (1000°C).
- بفعل عمل الذرروة، تبتعد صخرة الكابرو عن محور هذه الأخيرة، بذلك تنخفض حرارتها تدريجيا، تصبح المعادن غير مستقرة في الظروف الجديدة فتتحول صخرة الكابرو إلى شيست أخضر.
- عندما يطمر الغلاف الصخري المحيطي تحت الغلاف الصخري القاري، تتعرض صخرة الشيست الأخضر الناجمة عن تحول الكابرو إلى ارتفاع كبير في الضغط دون زيادة مهمة في درجة الحرارة.
- تؤدي هذه الظروف الجيوفيزيائية الجديدة إلى اختفاء معادن وظهور معادن أخرى، فيتحول الشيست الأخضر تدريجيا إلى شيست أزرق ثم إلى إكلوجيت.
- في نهاية التقارب، تشهد السلسلة الجبلية قوى تكتونية تمددية كما تتعرض السلسلة للانهيار بفعل الحث مما يؤدي إلى صعود الصخور المتحولة التي تشكلت في العمق واستسطاحها.

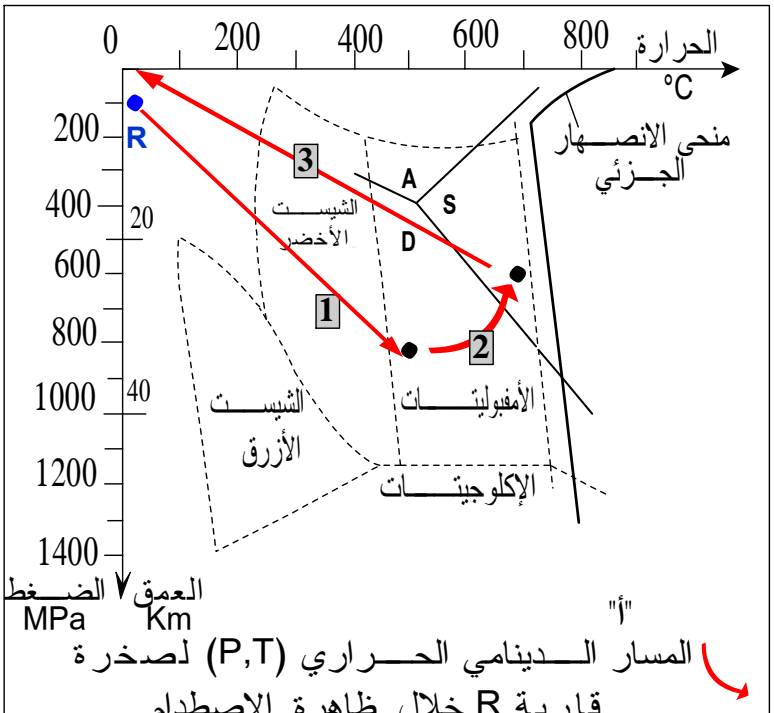
✹ يتميز التحول في **مناطق الطمر** بارتفاع مفاجئ في الضغط دون زيادة كبيرة في الحرارة، فهو إذن **تحول دينامي**.

ملحوظة: عندما تتحول الصخور المطمورة، تفقد معادنها الماء، وهو ما يسهل الانصهار الجزئي لبيريدوتيت الصفيحة الراكبة وتتشكل الصهارة الأنديزيتية المميزة لمناطق الطمر (راجع آلية تشكل صهارية مناطق الطمر).

3 – التحول الدينامي - حراري: تحول مناطق الاصطدام الوثيقة 11

لاسترداد التاريخ الجيولوجي لسلسلة اصطدام، تم تتبع مصير صخرة R تنتمي لصفيحة قارية خلال تجابهها مع صفيحة قارية أخرى:





المسار الديناميي الحراري (P,T) لصخرة قارية R خلال ظاهرة الاصطدام

** اربط العلاقة بين المسار (P, T, t) للصخرة R الشكل "أ" والتاريخ الجيولوجي لسلاسل الاصطدام (الشكل ب) مبرزا تغيرات عاملي الضغط والحرارة.

** استخلص نمط التحول المرتبط بسلاسل الاصطدام.

11

✹ مسار صخرة R في مناطق الاصطدام:

- في مناطق الاصطدام، تؤدي القوى الانضغاطية إلى طمر بعض الوحدات الصخرية للقشرة القارية تحت قشرة أخرى قارية، مما يعرضها لدرجة حرارة وضغط مرتفعين.
- يؤدي هذا التغير المتزامن في قيمة الضغط والحرارة إلى تحول صخور القشرة القارية فيظهر الشيست الأخضر ثم الأمفيبوليت.
- في نهاية التقارب، تشهد السلسلة الجبلية قوى تكتونية تمددية، كما تتعرض السلسلة للحث، فتصعد الصخور المتحولة التي تشكلت في الأعماق.

✹ يتميز **تحول مناطق الاصطدام** بارتفاع متزامن لدرجة الحرارة والضغط ، فهو إذن **تحول دينامي حراري** = تحول عام = تحول إقليمي.

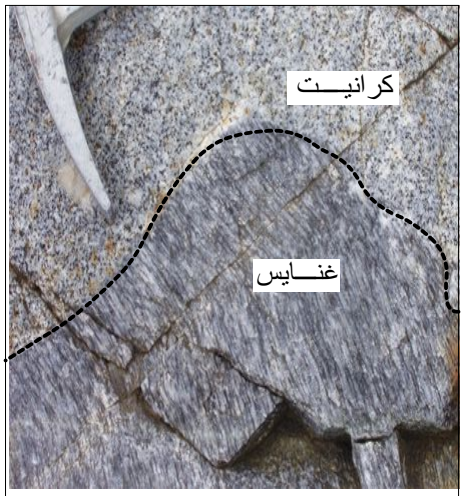
VI حصيـــــــــلة عامة:

ترتبط أنماط التحول بدينامية الصفائح، إذ تختلف الظروف الجيوفيزيائية السائدة من مكان لآخر. إن دراسة هذه الصخور تمكن من تعرف الظروف التي خضعت لها أثناء التحول، إذ تتغير خاصياتها البنيوية والعيدانية تدريجيا حسب درجات التحول المتتالية تصاعديا، والتي يمكن تحديدها بواسطة المعادن المؤشرة وسحنات التحول. فحسب مجالات أهمية تأثير كل من عاملي الضغط ودرجة الحرارة تختلف المميزات العيدانية والبنيوية للصخور المتحولة، حيث تتم إعادة تنظيم العناصر الكيميائية للصخرة لفسح المجال لظهور أنواع معدنية جديدة، في الحالة الصلبة، تبعا لدرجات التحول المتصاعدة. وعليه يمكن تمييز ثلاث مجالات للتحول: التحول الدينامي والتحول الدينامي – حراري والتحول الحراري.

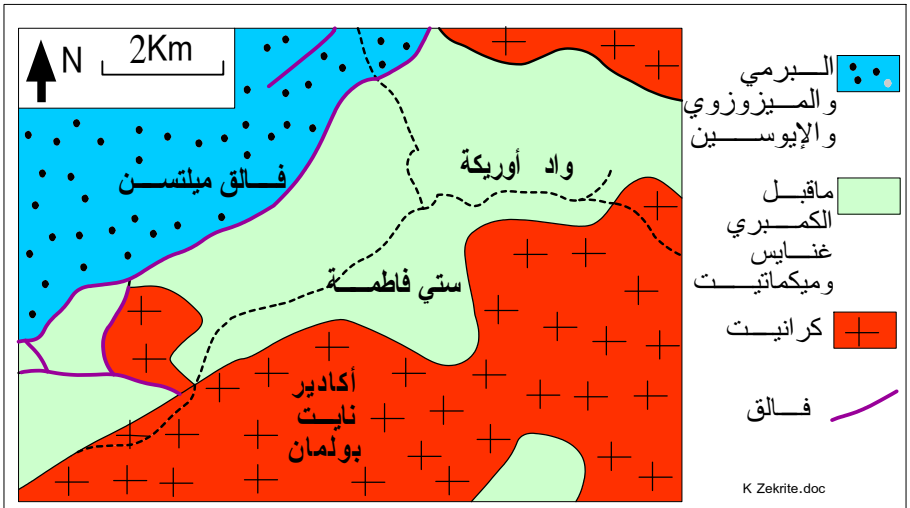
الفصل الثـــــــــالث:
الكرانيتية وعلاقتها بالتحول

I الكرانيت الأناتكتي: مثال كرانيت أوريكا العليا

1- ملاحظات ميدانية:



منظـــر لاستســـطاح الميكماتيـــت بمنطقـــة ســـتي فاطمـــة يـــبرز تـــداخل الغنـــايس مـــع الكرانيـــت



جزء مـــن خريطـــة جيولوجيـــة مبســـطة لناحيـــة أوريكـــا العليـــا

** لون هذه الخريطـــة

** حـــدد خصـــائص الكرانيـــت المستســـطح فـــي هـــذه المنطقـــة وعلاقتـــه بالصـــخور المتحولـــة

1

❁ يرتبط كرانيت ستي فاطمة بصخور شديدة التحول مثل الغنايس وبعدة تشوهات على شكل فوالق أساسا.

❁ لا توجد حدود واضحة بين استسطاح الكرانيت والصخور المتحولة المجاورة حيث تتشكل منطقة المرور من الكرانيت إلى الصخور المجاورة (الغنايس) من تشكيلات وسيطة عبارة عن خليط من الكرانيت والغنايس تسمى بالميكماتيت.(خليط = migma = mélange).

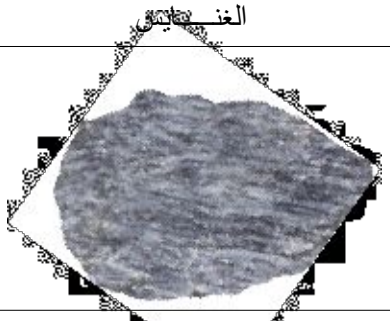
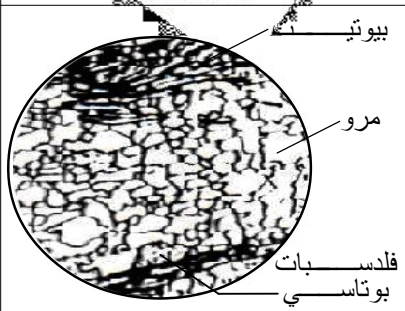
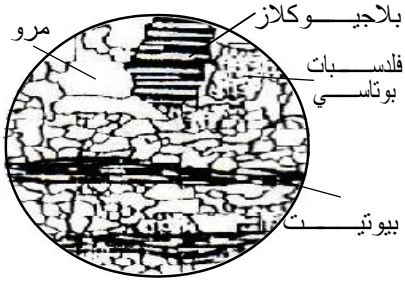
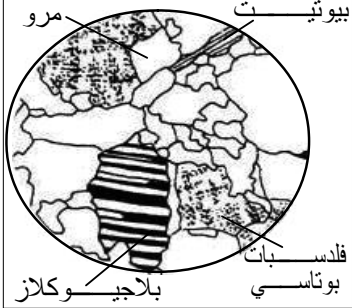
ملحوظة : يجمع الميكماتيت بين أشرطة كرانيتية وأخرى غنايسية: وينقص سمك الأشرطة الغنايسية كلما اقتربنا من كتلة الكرانيت.

2- ملاحظات بنيوية وعيدانية للصخور المستسطحة: (الوثيقة 2)

❁ إن المرور التدريجي من الصخور المتحولة (الغنايس) إلى الكرانيت ووجود صخرة وسيطة (الميكماتيت) يجعلنا نفترض أن الكرانيت يشكل حلقة قصوى من حلقات التحول: يعني نتج عن تحول صخرة سابقة الوجود بفعل ارتفاع عامل الضغط أو الحرارة أو هما معا.

❁ بما أن توجيه المعادن يفقد في صخرة الكرانيت، فيمكن أن نفترض أن المرور من الغنايس إلى الكرانيت يتم بظهور حالة سائلة: يعني أن الصخرة الأصلية تنصهر بفعل الضغط والحرارة فتعطي عند تبردها الكرانيت. نسمي هذا النوع من **الكرانيت بالكرانيت الأناتكتي**.

2 لنتعرف على خصائص الصخور المستسطحة بمنطقة ستي فاطمة (أوريكا العليا)

	الغنيسي	الميكماتيت	الكرانيت
ملاحظة الصخرة بالعين المجردة			
ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب			
وصف حالة المعادن والبنية	معادن موجهة بنية مورقة	تداخل بين أسرة ذات بنية مورقة وأسرة ذات بنية محببة	بنية محببة
الحالة الفيزيائية للصخرة أثناء تشكلها	صلبة	صلبة + سائلة	سائلة

K Zekrite.doc

اجمع المعلومات الميدانية لمنطقة أوريكا العليا والمعطيات البنيوية والعيدانية واقترح فرضية حول العلاقة بين هذه الصخور وتشكل كرانيت المنطقة

II أصل الكرانيت الأناتكتي

1- الأناتيكتية التجريبية:

الوثيقة 3: نخضع 3 صخور طينية مختلفة A و B و C لضغوط هيدروستاتيكية قدرها 2 Kbar (الضغوط السائدة في عمق 7 أو 8 Km) ولدرجات حرارة متصاعدة مع إضافة الصوديوم على شكل NaCl بنسبة 3% للاقتراب من الظروف الطبيعية:

- انطلاقا من حرارة تساوي 500°C تقريبا، تتم إعادةالتنظيم البلوري وذلك باختفاء المعادن الطينية وظهور معادن مؤشرة للتحول.
- ابتداء من حرارة 670°C يحدث انصهار جزئي ينتج عنه سائل أولي ذو تركيب كرانيتي (سائل أناتيكتي) يؤدي تصلبه إلى تكون صخرة كرانيتية.

C	B	A			
24%	20%	15%	quartz	المرو	التركيب العيداني للصخور الطينية
60%	70%	35%	illite	إليت	
10%	10%	50%	kaolinite	كاولنيت	
6%	0%	10%	divers	مختلفات	
670°C	670°C	670°C	درجة الحرارة الأناتيكتية température de l'anatexie		
34%	34%	34%	quartz	المرو	التركيب العيداني للصخرة المحصل عليها بعد تصلب السائل الأناتكتي
26%	26%	26%	orthose	أرتوز	
40%	40%	40%	plagioclase	بلاجيوكلاز (الألبيت)	

1 – قارن تركيب السائل الأناتيكتي المحصل عليه بتركيب الصخور الطينية A و B و C.

2 - عرف ظاهرة الأناتيكتية.

K Zekrite.doc

1 – يتبين أنه **كيفما كان التركيب العيداني للصخرة الطينية** الأصلية فإن انصهارها الجزئي يعطي سائلا أناتيكتي ذو تركيب كرانيتي **ثابت ومخالف للتركيب العيداني للصخرة الأصلية**.

2 – **ظاهرة الأناتيكتية** = Anatexie (انصهار = Anatéksis= fusion): هي ظاهرة الانصهار الجزئي التي تخضع لها الصخور الرسوبية (أو الصخور التحولية الناجمة عنها على إثر التحول العام)، على إثر الارتفاع التدريجي لدرجة الضغط والحرارة. تسمى الحرارة الضرورية لهذا الانصهار الجزئي **بالحرارة الأناتيكتية**، ونسمي السائل (الخليط) الذي يظهر في بداية هذا الانصهار **بالسائل الأناتيكتي** (انظر خصائصه في الجواب السابق) .يعطي هذا السائل عند تبرده كرانيتا نسميه **بالكرانيت الأناتكتي** = granite d'anatexie.

2- الأناتكتية وعلاقتها بتشكل السلاسل الجبلية

أ- ظروف تبلور الصهارة الكرانيتية:

✷ يمثل البيان جانبه منحنى التصلب الذي يعبر عن الحد الفاصل بين الحالة السائلة والحالة الصلبة للصهارة الكرانيتية حسب الضغط ودرجة الحرارة.

1 – كيف تتغير درجة حرارة التصلب بدلالة الضغط؟

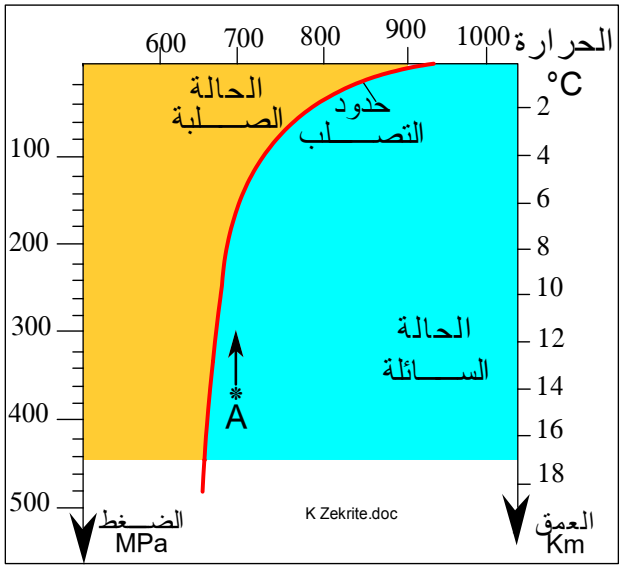
✷ لنعتبر صهارة كرانيتية A تكونت تحت ضغط 370 MPa ودرجة حرارة 700°C.

2 – حدد الضغط والعمق الذين تتصلب فيهما هذه الصهارة في حالة صعودها دون أن تغير من درجة حرارتها.

3.– كيف تفسر ظهور الكرانيت في السطح إذن؟

✷ في حالات استثنائية تصل الصهارة الكرانيتية إلى السطح، لتعطي بعد تصلبها صخرة الريوليت Rhyolite.

4 – اعتمادا على المبيان جانبه، حدد درجة الحرارة الدنيا اللازمة لصهارة كرانيتية لكي تصل إلى السطح .



الوثيقة 4

1 – كلما ازدادت درجة الضغط (كلما زاد العمق) كلما انخفضت درجة حرارة تصلب الصهارة الكرانيتية (لاحظ مثلا أن صهارة كرانيتة تتصلب في حرارة = 700°C عندما يكون عمقها 6Km، أما في عمق 2Km فهي تتبلور في حرارة 800°C).

2 – عند صعودها، تتبلور هذه الصهارة ولو لم تفقد بعضا من حرارتها ويحدث هذا التبلور في عمق = 6Km وضغط يقدر ب 160MPa.

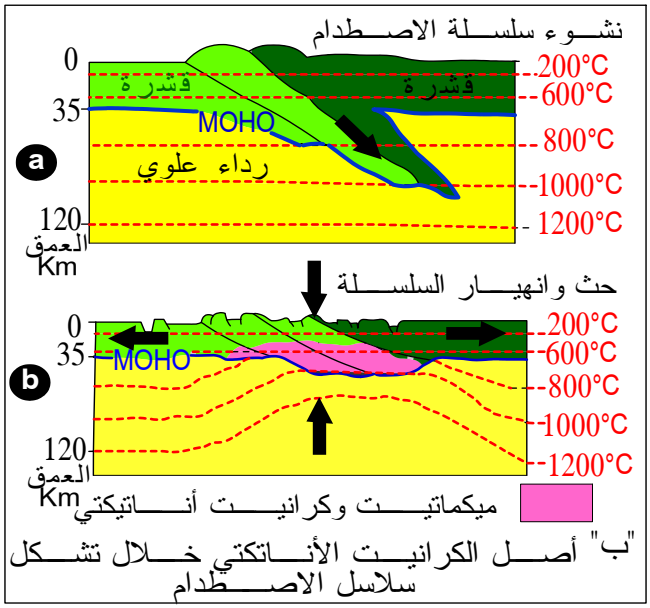
3 – تتبلور الصهارة الكرانيتية في الأعماق قبل وصولها إلى السطح، لذلك نقول أن الكرانيت صخرة **صهارية بلوتونية** = صخرة داخلية النشأة. يظهر الكرانيت في السطح بعد حث الطبقات الصخرية التي تعلوه

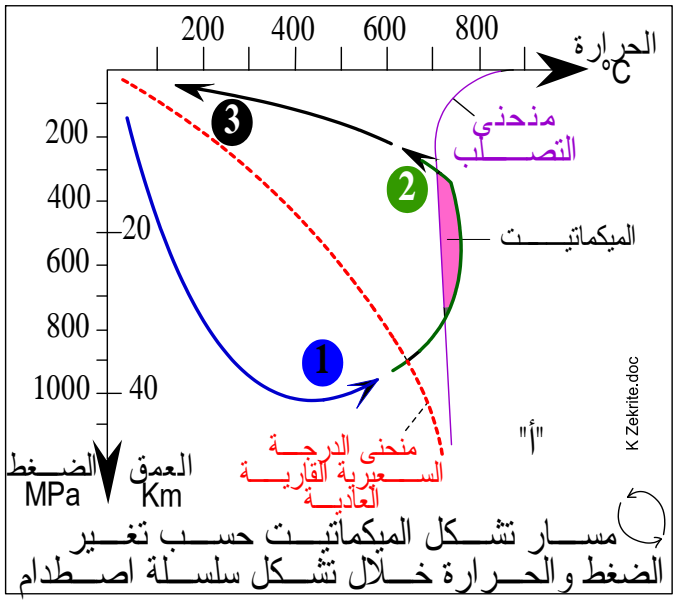
4 – لكي تصل الصهارة السطح سائلة يلزم أن تتوفر على حرارة تفوق 900°C، وهذا لايتوفر إلا ناذرا فتعطي الصهارة حينئذ بعد تصلبها صخرة ذات بنية ميكروليتية تسمى الريوليت.

ب- علاقة الكرانيت الأناتكتي بسلاسل الاصطدام: الوثيقة 5

❁ في مناطق الاصطدام، تؤدي القوى الانضغاطية إلى غور (طمر) بعض الوحدات الصخرية للقشرة القارية مما يعرضها لدرجات حرارة وضغط مرتفعين (الجزء ❶ من السهم الممثل في الشكل "أ" والمرحلة a في الشكل "ب").
❁ في نهاية التقارب، تشهد السلسلة الجبلية قوى تكتونية تمددية فتصعد الوحدات الصخرية، ينخفض ضغطها بينما تظل درجة حرارتها مرتفعة، مما يؤدي إلى انصهارها الجزئي وتشكل سائلا أناتكتي يتبرد في موقع نشأته ليعطي ميكماتيت وكرانيت أناتكتي (الجزء ❷ من السهم الممثل في الشكل "أ" والمرحلة b في الشكل "ب").
❁ لا يستسطح الكرانيت إلا بعد حث الصخور التي كانت تعلوه وذلك بعد ملايين السنين من تشكله.

✷ ناسب لشكلي الوثيقة "ب" المراحل المناسبة لها (1 و 2) من الوثيقة "أ" **الوثيقة 5**
✷ اربط بين الوثيقتين "أ" و "ب" واعط تعليقا موجزا تبين من خلاله ظروف تشكل الكرانيت الأناتكتي وعلاقته بتشكل سلاسل الاصطدام





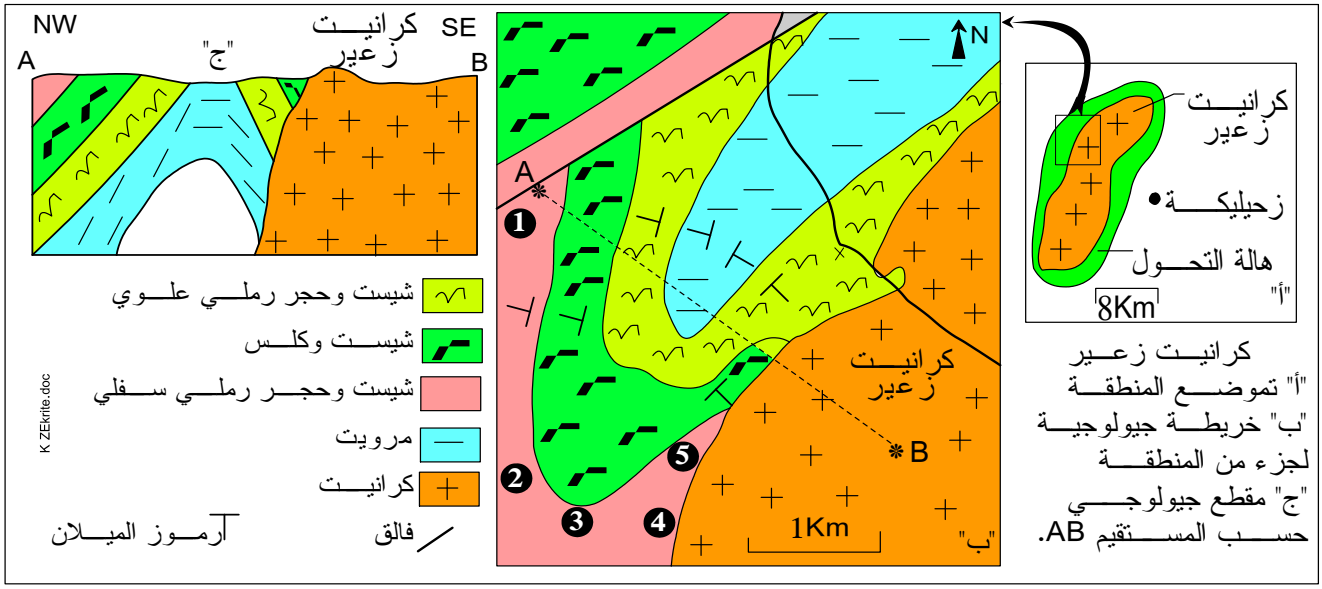
III الكرانيت الاندساسي وأثره على الصخور المجاورة: مثال كرانيت زعير

الوثيقة 6

1 – على مستوى الخريطة والمقطع الجيولوجيين يظهر كرانيت زعير:
❁ بحدود واضحة حيث أن منطقة تماسه مع الصخور المجاورة صريحة.
❁ متجانس (منطقة المرور من الكرانيت إلى الصخور المجاورة لا تتضمن صخرة الميكماتيت).
❁ في وضع متنافر مع الصخور المجاورة حيث يقطعها ويتموضع وسطها كما لو أنه أزاح جزءا منها وحل محله.
❁ يحيط به حزام من صخور متحولة تسمى بهالة التحول، لها امتداد جغرافي ضيق (لاتتعدى2Km).

نستخلص من هذه المميزات أن الصهارة الكرانيتية التي أعطت هذا الكرانيت لم تنشأ في هذا الموضع، بل صعدت من الأعماق واندست بين الصخور السابقة الوجود: نقول أن هذا الكرانيت **كرانيت اندساسي** = Granite intrusif

لنتعرف على مميزات كرانيت منطقة زعير وأثر هذا الكرانيت على الصخور المجاورة له:

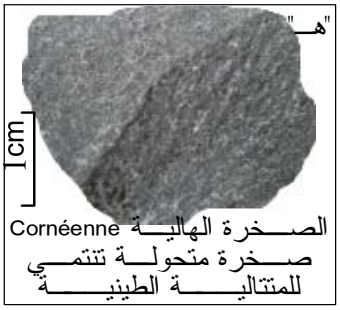


كرانيت زعير
"أ" تموضع المنطقة
"ب" خريطة جيولوجية لجزء من المنطقة
"ج" مقطع جيولوجي حسب المستقيم AB.

أخذت عينات صخرية من المواقع 1 إلى 5، يبين الجدولان (ت) و (ث) والصور (هـ) و (د) مميزات هذه الصخور:

"ت"	مجموعة الشيست والحجر الرملي السفلي
المجموعة الصخرية وموقعها في خريطة الشكل "ب"	❶ شيست طيني به كلوريت وسيريسيت. ❷ شيست به أندلوسيت ذو قد صغير. ❸ شيست به بيوتيت وأندلوسيت ذو قد كبير ❹ صخرة هالية بها فلدسبات بوتاسي (انظر الشكل "هـ"). ❺ حبيسات صخرة هالية في كتلة كرانيتية: (انظر الشكل "د").
حالة المعادن	– ظهور شيستية في الصخرة ❶ – غياب أي أثر لتوجيه المعادن في الصخور ❷ إلى ❺

يميز معدنا الكلوريت والسيريسيت درجات تحول ضعيفة، أما الفلدسبات البوتاسي فيميز درجات التحول المرتفعة. ويؤشر الأندلوسيت عن تعرض الصخرة لحرارة مرتفعة.
"ث"



الصخرة الهالية Cornéenne
صخرة متحولة تنتمي للمتتالية الطينية

حبيسة لصخرة هالية 'cor' داخل كتلة كرانيتية 'gra'.

1- انطلاقا من تحليل الخريطة والمقطع الجيولوجيين، حدد خاصيات كرانيت زعير وعلاقته بالصخور المتحولة
2- لنأخذ مجموعة الشيست والحجر الرملي السفلي "الشكل ت"، قارن بين مختلف العينات الصخرية كلما اقتربنا من الكتلة الكرانيتية
3- اجمع كافة المعطيات المتوفرة، وحدد نمط التحول الذي خضعت له الصخور المجاورة لكتلة كرانيت زعير

6

2 – كلما اقتربنا من الكتلة الكرانيتية:

- ☐ يختفي توجيه المعادن.
- ☐ يزداد قطر البلورات.

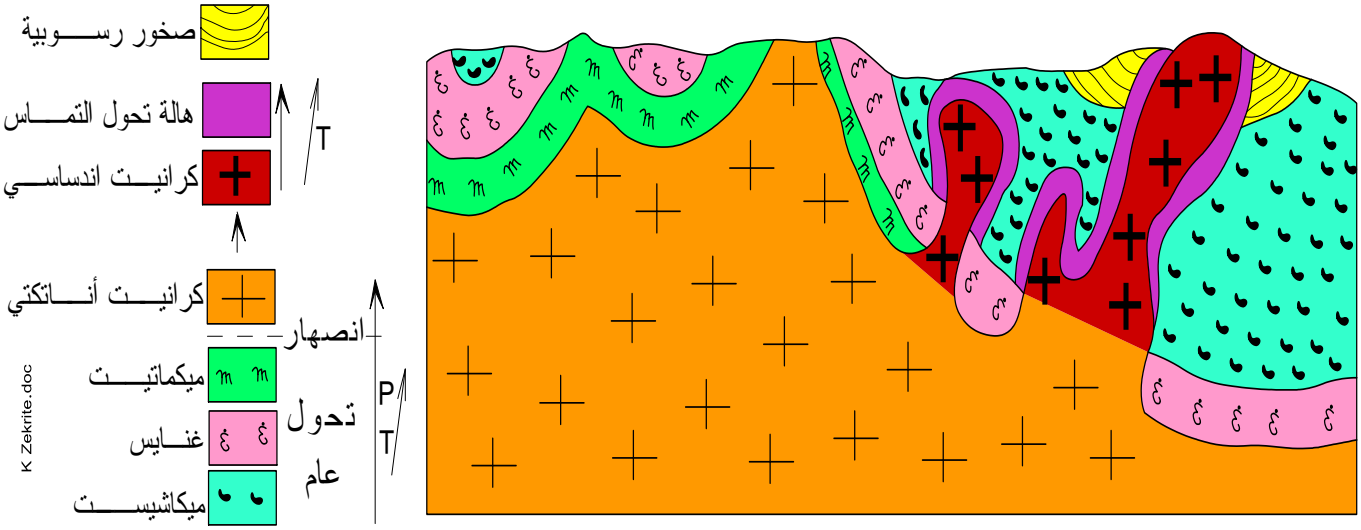
- تختفي بعض المعادن المميزة لتحول ضعيف (مثل السيريسيت) وتظهر معادن دالة على تحول شديد (مثل الفلدسبات) وعلى حرارة مرتفعة (مثل الأندلوسيت).
- خلاصة القول أن شدة التحول تزداد كلما اقتربنا من الكتلة الكرانيتية.

3 – تشير الخاصيات المسجلة في الجواب السابق أن التحول تم بفعل الحرارة العالية التي تحررها الصهارة الكرانيتية الصاعدة أثناء تبريدها وفي غياب ضغوط موجهة، يعني يتعلق الأمر **بتحول حراري = تحول التماس**.

ملحوظة : قد نصادف داخل الكرانيت الاندساسي بعض الحبيسات (=صخرة هالية) وهي بقايا الصخرة الأصلية التي لم تهضم من طرف الصهارة الكرانيتية.

IV العلاقة بين الكرانيتية والتحول

يمثل المقطع التالي رسما تصوريا للعلاقة بين التحول العام والكرانيت الأناتكتي من جهة وبين تحول التماس والكرانيت الاندساسي من جهة ثانية:



اعتمادا على هذا الرسم التصوري، وعلى معلوماتك السابقة، استخرج أهم خصائص كل من الكرانيت الأناتكتي والكرانيت الاندساسي وعلاقة كل منهما بظاهرة التحول

7

يدرج الجدول في الصفحة الموالية العلاقة بين نوعي الكرانيت ونوعي التحول المرتبطين بهما:

	الكرانيت الأناتكتي وعلاقته بالتحول الإقليمي	الكرانيت الاندساسي وعلاقته بتحول التماس
أصل الكرانيت	صهارة ناتجة عن ظاهرة الأناتكتية تتبلور في موقع تشكلها	صهارة ناتجة عن ظاهرة الأناتكتية تغادر موقعها الأصلي، تصعد عبر الصخور التي تعلوها وتحل محلها.
العلاقة الوراثية كرانيت - تحول	يدخل الكرانيت الأناتكتي ضمن متتالية التحول العام (يشكل حلقة قصوى من درجات "التحول").	الكرانيت الاندساسي هو المسؤول عن حدوث التحول الذي حوله (هالة التحول = تاج).
المميزات الميدانية للحدود بين الكرانيت والصخور المتحولة.	انتقال تدريجي من الصخور المتحولة إلى الكرانيت الأناتكتي، الحدود غير صريحة تتميز بظهور صخرة الميكماتيت، الصخرة المزيج بين الكرانيت والغنايس.	حدود صريحة بين الكرانيت الاندساسي والصخور المتحولة التي تحيط به. تتميز الحدود بتواجد حبيسات مؤشرة على بقايا صخور أصلية لم تهضم بفعل الصهارة الكرانيتية المندسة.
مميزات الصخور المتحولة	- امتداد جغرافي شاسع (تحول إقليمي = عام) - تضم الصخور المتحولة معادن موجهة مؤشرة على ضغط وحرارة مرتفعين. (تحول دينامي - حراري)	- امتداد جغرافي جد محدود. - تضم هالة التحول معادن غير موجهة مؤشرة على حرارة مرتفعة وضغط منخفض.(تحول حراري)

رجاء لا تنسوني من الدعاء

المعجـــــــــــم

❁ **الصخور الرسوبية**: تتكون على سطح الأرض، غالبا في الأوساط المائية عبر أربع مراحل وهي الحت ثم النقل ثم الترسب ثم التصخر، تكون هذه الصخور على شكل طبقات أفقية ومتوازية ومتراكبة قد تحتوي على مستحاثات . مثال الكلس، الطين، الحجر الرملي الخشن، السجيل، الفوسفاط، الملح الصخري...

❁ **الصخور الصهارية**: وهي نتاج لتبريد وتصلب الصهارة. وحسب موقع التبريد، نميز بين:

- الصخور الصهارية الداخلية المنشأ = البلوتونية = النرجفية: تتبرد الصهارة في الأعماق. تكون بنية هذه الصخور محببة = كاملة التبلور. مثال الكرانيت، الغابرو، الكرانوديوريت، الدوليريت...
- الصخور الصهارية الخارجية المنشأ = البركانية: تتميز ببنية ميكروليتية. مثال: البازلت، الريوليت، الأنديزيت....

❁ **الصخور المتحولة**: هي صخور تعرضت لضغط وحرارة مرتفعين مما أدى الى تغير في بنيتها و تركيبها. تتميز هذه الصخور ببنيات خاصة مثل الشيستية والتوريق. مثال الشيست الأخضر، الميكاشيست، الغنايس، الشيست الأزرق، الإكلوجيت، الأمفيبوليت، الصخرة الهالية، الفولاستونيت، الرخام ....

❁ **القشرة القارية**: هي طبقة من الصخور الرسوبية والمتحولة والصهارية التي تُشكل القارات والمناطق الضحلة (المغمورة بطبقة قليلة من الماء) من قاع البحر بالقرب من الشواطئ والتي تُسمى بالرصيف القاري. يتراوح سمك القشرة القارية بين 30 و 80Km، تتألف في أغلبها من صخور الكرانيت، كثافتُها $2,7g/cm^3$.

❁ **القشرة المحيطية**: هي جزء من غلاف الأرض الصخري وتشكل قيعان المحيطات، تتكون بشكل رئيسي من المعادن القاتمة الغنيّة بالحديد والمغنيسيوم . سمكها عموما أقل من10Km، كثافتها أعلى من القشرة القارية حيث تصل إلى $2,9g/cm^3$

❁ **الرداء**: يتمركز بين القشرة الأرضية والنواة، يصل سمكه الى حوالي 2900Km، يتكون أساسا من صخرة البيريدوتيت، وهو مقر لحركات داخلية لحالته الفيزيائية اللدنة، يتكون من جزأين:

- الرداء العلوي: يتكون من جزء صلب قابل للانكسار يشكل مع القشرة الأرضية ما يسمى بالغلاف الصخري وجزء لدن وأقل صلابة (تكون البيريدوتيت قريبة من حالة الانصهار) يسمى الأستينوسفير.
- الرداء السفلي يمتد عمقه من 700Km إلى 2885.

❁ **الغلاف الصخري**: الطبقة الصلبة من الأرض ذات سمك يتراوح بين 70 و 120Km يتكون من القشرة الأرضية والجزء الصلب من الرداء العلوي.

❁ **انقطاع Moho**: انقطاع يفصل بين القشرة الأرضية والرداء العلوي، يحدث على مستواه تغير مفاجئ في اتجاه وسرعة الموجات الزلزالية.

❁ **الصفيحة الصخرية**: قطعة من الغلاف الصخري الصلب، تطفو فوق الأستينوسفير اللدنة، تشتمل على أجزاء محيطية فقط أو على أجزاء قارية ومحيطية معا. تحد الصفائح بهوامش نشيطة (الذروات، مناطق الطمر، الفوالق المحولة، مناطق الاصطدام).

❁ **حركية الصفائح = تكتونية الصفائح**: تتحرك الصفائح بعضها بالنسبة للبعض، وهذه الحركية إما أن تكون حركة التباعد ⇨ ⇦ (مثل صفيحة إفريقيا وصفيحة أمريكا الجنوبية) أو حركة تقارب ⇨⇦ (مثل صفيحة إفريقيا و الصفيحة الأوروأسيوية). تسمى هذه الحركية النسبية للصفائح بتكتونية الصفائح. ويمكن قياس هذه الحركية باستعمال تقنيات حديثة مثل GPS.

❁ **ذروة محيطية**: سلسلة جبلية بركانية تخترق وسط معظم المحيطات يتوسطها خندق عميق يسمى بالخسف، يتم على مستواها تجديد الغلاف الصخري المحيطي باستمرار مما يجعلها منطقة تباعد حيث تبتعد الصفيحتان عن بعضهما البعض. تتراوح سرعة التباعد بين 2cm في السنة (ذروة المحيط الأطلسي) وأكثر من 10cm في السنة (ذروة المحيط الهادي).
❁ **ظاهرة الطمر**: انغراز الغلاف الصخري المحيطي (كثافة مرتفعة) تحت الغلاف الصخري القاري (كثافة منخفضة).
❁ **ظاهرة الاصطدام**: عندما ينفذ الغلاف الصخري المحيطي الموجود بين قارتين بفعل الطمر، تتجابه الكتلتان القاريتان فنتكلم عن اصطدام.
❁ **ظاهرة الطفو**: لظروف معينة، يمكن أن يزحف الغلاف الصخري المحيطي (كثافة مرتفعة) فوق الغلاف الصخري القاري فنتكلم عن ظاهرة الطفو.
❁ **سلاسل الطمر**: تنشأ هذه السلاسل عندما تنغرز صفيحة محيطية تحت صفيحة قارية. تتميز هذه الهوامش بقوى تكتونية انضغاطية تسبب: تقصير وازدياد سمك الغلاف الصخري القاري مع تشوهه (طيات وفوالق)، حدوث زلازل (سطح مائل: Benioff)، بركانية أنديزيتية وصخور بلوتونية من نوع الكرانوديوريت في مستوى الصفيحة القارية الراكبة، شذوذ حراري (معدل الدرجة السعيرية لا يتعدى 10°C/Km)، نشوء موشور التضخم، وميلاد حفر محيطية عميقة (8Km)، تحول صخور الغلاف الصخري المحيطي المنغرز (تحول دينامي).
❁ **سلاسل الاصطدام**: تنشأ هذه السلاسل عندما تتجابه صفيحتان قاريتان. ويكون هذا الاصطدام مسبوقا بطمر يؤدي إلى اختفاء القشرة المحيطية التي كانت تفصل القشرتين القاريتين المتصادمتين. تتميز هذه الهوامش بقوى تكتونية انضغاطية، تقصير وازدياد سمك الغلاف الصخري القاري مع تشوهه (طيات، فوالق وتراكبات)، وجود صخور أنديزيتية وصخور بلوتونية من نوع الكرانوديوريت وموشور التضخم نتجت خلال ظاهرة الطمر، وجود أوفيوليت (غلاف صخري محيطي قديم)، صخور متحولة (تحول دينامي: نشأت خلال ظاهرة الطمر) وصخور متحولة (تحول دينامي حراري: تشكلت خلال الاصطدام، كما أنها حدود ملائمة لنشوء الكرانيت الأناتكتي.
❁ **سلاسل الطفو**: تنشأ هذه السلاسل عندما يتوقف الطمر وتحت تأثير القوى الانضغاطية المتزايدة، حيث تزحف الكتلة المحيطية فوق الكتلة القارية. تتميز هذه الهوامش بقوى تكتونية انضغاطية، تقصير وازدياد سمك الغلاف الصخري القاري مع تشوهه (تراكبات ضخمة: سدائم)، وجود صخور أنديزيتية وصخور بلوتونية من نوع الكرانوديوريت وموشور التضخم نتجت خلال ظاهرة الطمر، وجود أوفيوليت (غلاف صخري محيطي قديم يغطي قشرة قارية)، صخور متحولة (تحول دينامي: نشأت خلال ظاهرة الطمر).
❁ **الأوفيوليت**: مركب من الصخور الصهارية (بازلت على شكل وسيدات ← عروق الدوليريت ← الغابرو البيريدوتيت) ذو لون أخضر، وهو عبارة عن قطعة من الغلاف الصخري المحيطي القديم أدمجت داخل السلاسل الجبلية إثر ظواهر ترتبط بتكتونية الصفائح (الطفو أو الاصطدام).
❁ **موشور التضخم**: كتل صخرية رسوبية بحرية نتجت عن كشط الرواسب التي تعلو القشرة المحيطية بفعل القشرة القارية خلال ظاهرة الطمر. تدفع هذه الكتل في التجاه القارة وتشكل مقدمة السلاسل الجبلية.
❁ **الطيات**: نوع من التشوهات تبقى خلالها الطبقات الصخرية متصلة، تنجم عن قوى تكتونية انضغاطية في مناطق التجابه والتقارب، حيث تطوى الطبقات الصخرية المرنة لتأخذ أشكالا محدبة (طيات محدبة) أو أشكالا مقعرة (طيات مقعرة).

❁ **الفوالق**: عبارة عن تشوهات تكتونية تنفصل خلالها الطبقات الصخرية، لتعطي كتلتين تتحركان نسبيا عن بعضهما البعض. تصنف الفوالق حسب وضع مساحة الفالق ومنحى التنقل النسبي للكتلتين، إذ نميز الفالق العادي والفالق المعكوس والانقلاع. تشهد الفوالق المعكوسة على تدخل قوى انضغاطية، بينما تحدث الفوالق العادية إثر قوى تمددية.

❁ **الطية/ فالق**: نوع من التشوهات الوسيطة حيث تنتج الطية الفالق بعد تعرض الطية لقوى انضغاطية من أحد جانبيها فيتمدد ويترقق الجانب المقابل لمنحى القوى، فينكسر ويعطي فالق.

❁ **التراكبات**: نوع من التشوهات الوسيطة تحدث نتيجة استمرار القوى الانضغاطية على الطية/ الفالق، حيث يزحف الجانب الأعلى فوق الآخر مشكلا تراكبا.

❁ **السدائم**: عندما يكون زحف الطبقات الراكبة فوق الطبقات المركوبة لمسافات كبيرة قد يصل لعدة كيلومترات، نتكلم عن سديمة.

❁ **الدرجة السعيرية**: قيمة ارتفاع درجة الحرارة مع زيادة العمق. تصدر الحرارة داخل الكرة الأرضية عن تفكك العناصر إشعاعية النشاط مثل الأورانيوم، وتزداد كمية هذه العناصر غير المستقرة حسب العمق مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة معه. تقدر الدرجة السعيرية ب 5 إلى 10°C/Km في الكتل القارية القديمة وفي مناطق الطمر وتصل إلى 50 إلى 100°C/Km في مناطق الذروات الوسط محيطية.

❁ **تيارات الحمل الحراري**: يؤدي تدفق الحرارة داخل الأرض إلى حدوث حركة للمادة في الحالة الصلبة مما يؤدي إلى تشكل تيارات الحمل الحراري وهي المسؤولة عن حركية الصفائح، فتتقارب في مناطق الطمر (تيارات هابطة) وتتباعد في مناطق الذروات (تيارات صاعدة)

❁ **التحول**: هو مجموع التغيرات البنيوية و العيدانية التي تخضع لها الصخور القديمة (رسوبية أو صهارية) يتم التحول في الحالة الصلبة تحت تأثير الضغط أو الحرارة أو هما معا

❁ **الشيستية:** تجمع المعادن على شكل أسرة دقيقة يجعل الصخرة سهلة الانفصام إذ تتجزأ إلى وريقات منتظمة.

❁ **التوريق**: تعاقب المعادن على شكل أسرة فاتحة وأخرى داكنة، يجعل الصخرة غير قابلة للانفصام.
الشيستية والتوريق بنيات مميزة للصخور المتحولة وتعبر عن تعرض الصخرة في حالتها الصلبة لعامل الضغط

❁ **بنية ميكروليتية**: نتحدث عن بنية ميكروليتية عندما تكون الصخرة مكونة من بلورات كبيرة وأخرى مجهرية مغمورة في عجينة زجاجية غير متبلورة. تميز هذه البنية الصخور الصهارية البركانية وتعبر عن تبلور مرحلي إذ بدأ التبلور في الغرفة الصهارية فأدى إلى نشوء البلورات الكبيرة، أما الميكروليتات فتبلورت أثناء صعود الصهارة، واكتمل التبرد في السطح بشكل سريع فنجم عنه مادة غير متبلورة تسمى الزجاج.

❁ **بنية محببة**: نتحدث عن بنية محببة عندما تكون الصخرة مكونة من بلورات كبيرة فقط دون عجين زجاجي. تميز هذه البنية الصخور الصهارية البلوتونية، إذ نجمت عن تبرد بطيئ للصهارة في العمق.

❁ **مجال استقرار معدن معين**: عند إخضاع صخرة لارتفاع الضغط أو الحرارة أو هما معا تختفي بعض المعادن و تظهر معادن جديدة، تسمى المعادن المختفية بالغير المستقرة و تسمى المعادن الجديدة بالمستقرة، فكل معدن يستطيع التواجد في مجال محدود من قيم الضغط و الحرارة، يسمى مجال الاستقرار.

❁ **التفاعل العيداني**: إثر تغير ظروف الضغط والحرارة تظهر معادن أكثر استقرارا في الظروف الجديدة نتجت إثر تفاعلات بين معادن سابقة أصبحت غير مستقرة. مثال لتفاعل عيداني في صخور القشرة المحيطية خلال الطمر : بلاجيوكلاز + كلوكوفان ⇦ بيجادي + جاديبيت + ماء

❁ **معدن مؤشر**: معدن يظهر في ظروف جد محددة لدرجة الضغط والحراة، يتميز بمجال استقرار ضيق، وبذلك فتواجده في صخرة متحولة يمثل ذاكرة للظروف القصوى للضغط والحرارة التي تعرضت لها الصخرة.

❁ **متتالية تحولية**: يؤدي اختفاء المعادن الغير مستقرة و ظهور المعادن الجديدة المستقرة إلى تغير الصخرة، نسمي مجموع الصخور الناتجة عن تحول نفس الصخرة الأم عند زيادة شدة التحول بالمتتالية التحولية مثلا: المتتالية البازلتية (أو الصادرة من الكابرو): البازلت (الكابرو) ----- الشيست الأخضر----- الشيست الأزرق ----- الإكلوجيت.

❁ **سحنة التحول**: يمكن هذا المفهوم من تجميع صخور تعرضت لظروف ضغط وحرارة معينة، بغض النظر عن تركيبها الكيميائي. أما أسماء السحنات فتمثل أسماء الصخور المتحولة ذات التركيب البازلتي بذلك تعبر السحنة عن تجمعات معدنية تتقارب في ظروف التشكل والتي تميز صخرة معينة، هذا يعني أن كل سحنة تقابل مجال معين من الضغط والحرارة.

❁ **سلسلة تحولية**: مجموع سحنات التحول المسؤولة عن ظهور المتتالية التحولية.

❁ **التحول الدينامي**: تحول يتميز بارتفاع سريع للضغط في حين يكون ارتفاع درجة الحرارة منخفضا. يتميز بوجود الشيست الأزرق. تخضع لهذا الصنف من التحول صخور القشرة المحيطية أثناء انغرازها بفعل ظاهرة الطمر، إذ يتحول الكابرو (أو البازلت) بالتتالي إلى ⇦ شيست أخضر ⇦ شيست أزرق ⇦ إكلوجيت.

❁ **التحول الدينامي – حراري = التحول العام = التحول الإقليمي**: يحدث تحت ارتفاع متزامن لكل من درجة الحرارة والضغط. يتميز بالمرور من الدستين إلى السليمانيت. يخضع لهذا الصنف من التحول صخور القشرة القارية أثناء ظاهرة الاصطدام إذ يمكن أن تتحول صخرة الطين مثلا ⇦ شيست أخضر ⇦ ميكاشيست ⇦ غنايس

❁ **التحول الحراري = تحول التماس**: أثناء صعود الصهارة تتعرض الصخور المحيطة لتغير مفاجئ في درجة الحرارة دون زيادة في الضغط فتتعرض لتحول حراري (هالة التحول)، يتميز بالمرور من الأندلوسيت الى السليمانيت

❁ **ظاهرة الأناتيكتية** = Anatexie (انصهار = Anatéksis= fusion): هي ظاهرة الانصهار الجزئي التي تخضع لها الصخور الرسوبية (أو الصخور التحولية الناجمة عنها على إثر التحول العام)، بفعل الارتفاع التدريجي لدرجة الضغط والحرارة. تسمى الحرارة الضرورية لهذا الانصهار الجزئي بالحرارة الأناتيكتية، ونسمي السائل (الخليط) الذي يظهر في بداية هذا الانصهار بالسائل الأناتيكتي.يعطي هذا السائل عند تبرده كرانيتا نسميه بالكرانيت الأناتكتي.

❁ **الميكماتيت**: تشكيلات وسيطة عبارة عن خليط من الكرانيت والغنايس.(خليط = migma = mélange).

❁ **الكرانيت الأناتكتي**: صخرة صهارية بلوتونية ناتجة عن ظاهرة الأناتكتية إذ تتبرد الصهارة الناتجة عن الانصهار الجزئي في موقع تشكلها. يتشكل إثر ارتفاع الضغط والحرارة في مناطق الاصطدام وبذلك فهو يجاور الصخور المتحولة الناجمة عن التحول الدينامي- حراري تتميز، حدوده مع الصخور المتحولة بظهور صخرة الميكماتيت.

❁ **الكرانيت الانسداسي**: صخرة صهارية بلوتونية ناتجة عن ظاهرة الأناتكتية إذ تغادر الصهارة موقعها الأصلي وتصعد عبر الصخور التي تعلوها. تؤدي الحرارة المنبعثة من هذه الصهارة إلى تحول الصخور المجاورة وظهور هالة تحول (تحول حراري) تتميز حدود هذا الكرانيت مع الصخور المتحولة بوجود حبيسات وهي بقايا الصخور الأصلية في الموقع والتي لم تهضمها الصهارة.

- في رحاب علوم الحياة والأرض (الكتاب المدرسي) السنة الثانية من سلك البكالوريا شعبة العلوم التجريبية مسلك علوم الحياة والأرض.
- الكتاب المدرسي لمادة العلوم الطبيعية السنة الأولى ثانوي شعبة العلوم التجريبية.
- الجديد في علوم الحياة والأرض (الكتاب المدرسي) السنة الثانية من سلك البكالوريا شعبة العلوم التجريبية مسلك علوم الحياة والأرض.
- الامتحانات الوطنية للبكالوريا مادة علوم الحياة والأرض شعبة العلوم التجريبية مسلك العلوم الفيزيائية وعلوم الحياة والأرض.
- سلسلة باك الأكاديميات.
- Sciences de la vie et de la terre Régis Demounem, Josef Gourlaouen, Eric Périlleux 1re S NATHAN
- Sciences de la vie et de la terre Tavernier C.Lizeaux TermS BORDAS