www.students.ma

الفصل الثاني

التحول وعلاقته بدينامية الصفائح

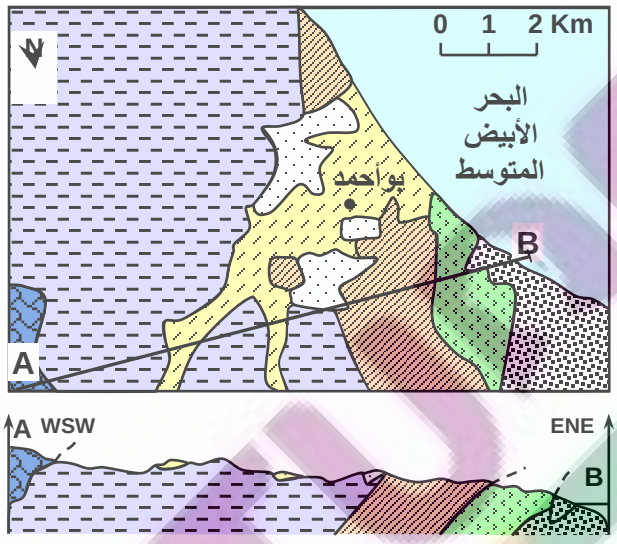
مقدمة: الصخور المتحولة هي صخور ناتجة عن تحول في الحالة الصلبة لصخور سابقة الوجود، تحت تأثير تغير عوامل الضغط والحرارة خلال تشكل السلاسل الجبلية.

- 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 المنتشرة بسلاسل الاصطدام.

① دراسة خريطة جيولوجية لمنطقة Bas Limousin بجبال الألب: أنظر الوثيقة 1

الوثيقة 1: خريطة جيولوجية مبسطة لمنطقة بوأحمد بجبال الريف (سلاسل الاصطدام).



تمثل الوثيقة أمامه خريطة جيولوجية مصحوبة بمقطع جيولوجي لمنطقة بوأحمد بجبال الريف.

1) اعتمادا على معطيات الخريطة الجيولوجية استخرج المميزات الصخرية للمنطقة .
2) اعتمادا على معطيات المقطع الجيولوجي استخرج البنيات التكتونية الميزة للمنطقة وما دلالتها الجيوتكتونية.
3) اربط العلاقة بين توزيع الصخور المتحولة ومظاهر التشوهات التكتونية.ماذا تستنتج.

1) المميزات الصخرية :

الصخور الرسوبية : طمي + رصيص.

الصخور المتحولة : شيست + ميكا شيست + غنايس.

الصخور الصهارية : كنجزيت + البيريدوتيت.

2) البنيات التكتونية ودلالتها :

فوالق معكوسة + طيات: يدل وجودها على أن المنطقة تعرضت لقوى انضغاطية تكتونية .

3) العلاقة بين توزيع الصخور المتحولة ومظاهر التشوهات التكتونية :

تخضع الصخور المتحولة لتوزيع محدد انطلاقا من الجنوب الغربي نحو الشمال الشرقي حيث نجد شيست ثم ميكاشيست ثم بعد ذلك الغنايس كما نلاحظ تعقد تدريجي في البنيات التكتونية بحيث يصبح وسع الطيات صغير وتكثر التصدعات كلما اتجهنا نحو الشمال الشرقي.

www.students.ma

www.students.ma

② الخصائص البنيوية والعيدانية والكيميائية للصخور المتحولة: أنظر الوثيقة 2.

★ مفهوم التنضد، الشيستية والتوريق.

التنضد:

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

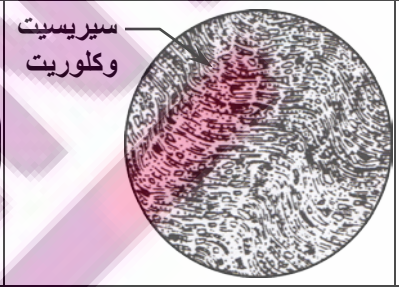
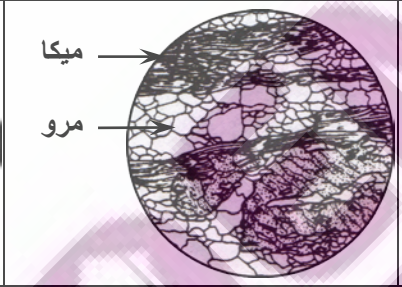
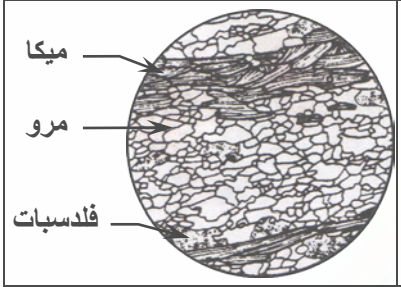
الشيستية:

توريق أقل أو أكثر دقة تكتسبه للصخور المتحولة بفعل عامل الضغط، ويختلف عن التطبق كما يمكن أن يتجزأ إلى صفائح منتظمة.

التوريق:

بنية واضحة في بعض الصخور المتحولة حيث يضاف إلى الشيستية تمايز معدني بين الأسرة ينتج عنه تكوين وريقات.

الوثيقة 2: بعض مميزات الصخور المتحولة المنتشرة في سلاسل الاصطدام.

	الشيست الأخضر	الميكاشيست	الغنايس
ملاحظة الصخرة بالعين المجردة			
ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب			
التركيب الكيميائي (%) SiO_2	60.2	60.9	68.7
Al_2O_3	20.9	19.1	16.2
Fe_2O_3	2.8	1.2	0.7
FeO	3.7	4.1	4.1
MgO	0.85	1.4	1.3
CaO	0.55	1.7	1.8
Na_2O	2.45	2.1	3.8
K_2O	4.1	3.7	3

1) صف البنية المجهرية لكل عينة من الصخور. ماذا تلاحظ.
2) استخرج المكونات العيدانية التي تتميز بها كل صخرة.ماذا تستنتج.
يمثل الجدول أسفل الوثيقة نسب العناصر الكيميائية التي تحتوي عليها كل صخرة .
3) ماذا تستنتج من خلال تحليل معطيات الجدول.
أثبتت الدراسة الميدانية للمنطقة وجود صخور طينية ذات تركيب كيميائي يغلب عليه العنصرين (SiO_2 وAl_2O_3).
4) اقترح فرضية توضح من خلالها العلاقة بين هذه الصخور والصخور المتحولة الموجودة بالمنطقة.

1) البنية المجهرية للعينات:

- الشيست الأخضر: صخرة ذات بنية شيستية تأخذ خلالها المعادن اتجاها دالا على اتجاه القوى التي تعرضت إليها.
- الميكاشيست : صخرة لامعة ذات بنية مورقة قابلة للانفصام، تتميز بتعاقب أسرة من البيوتيت والموسكوفيت (الألوان الزاهية)، وأسرة من المرو (ألوان منطفئة).

www.students.ma

www.students.ma

- الغنايس : صخرة ذات بنية مورقة غير قابلة للانفصام، بها المعادن على شكل أسرة فاتحة (المرو والفلدسبات) وأخرى داكنة (الميكا).

نلاحظ انه كلما اتجهنا من الشيست إلى الميكاشيست إلى الغنايس، ازداد قد البلورات مع اختلاف في بنية الصخور، حيث تزداد هذه البنية تعقيدا: من التنضد إلى الشيستية إلى التوريق. كما تختفي بعض المعادن وتظهر أخرى.

2) التركيب العيداني للعينات:
- الشيست : تتشكل من السيريسيت(ميكا بيضاء ذات بلورات جد رقيقة) والكلوريت ذو اللون الأخضر(لدى تسمى الصخرة بالشيست الأخضر).
- الميكا شيست : تتشكل من الميكا (البيوتيت والموسكوفيت) ومن المرو.
- الغنايس : تتشكل أساسا من الميكا (البيوتيت والموسكوفيت) والمرو والفلدسبات.

نستنتج ظهور معادن جديدة واختفاء أخرى كلما انتقلنا من الشيست إلى الغنايس مرورا بالميكاشيست.

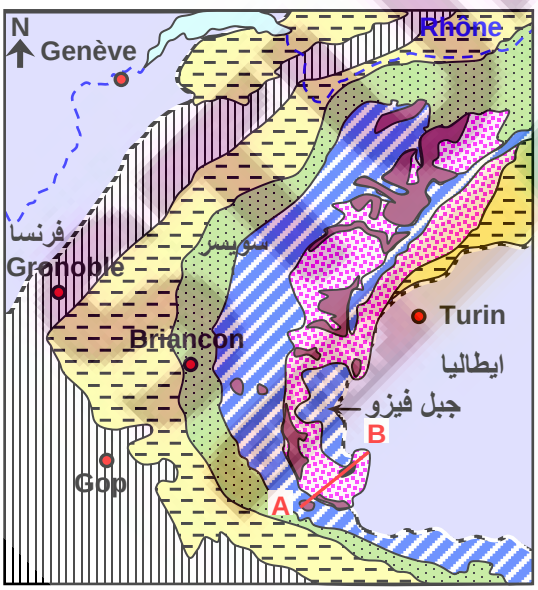
3) لهذه الصخور نفس التركيب الكيميائي، ويغلب عليه العنصرين ($2SiO$ و$3O2Al$). وتسمى المعادن التي تحتوي عليها وتتوفر على هذا التركيب بسيليكات الألومين.

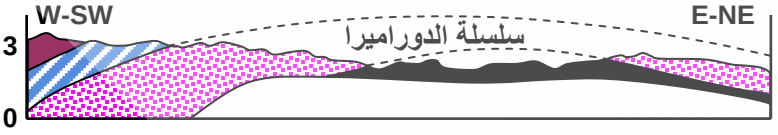
4) الصخور المتحولة لها نفس التركيب الكيميائي لكنها تختلف من حيث البنية وهذا يدل على أن لهذه الصخور نفس الأصل، لكن خضعت لظروف تشكل مختلفة.
إذا علمنا أن الصخور الطينية تتشكل أساسا من سيليكات الألبومين، يمكن افتراض أن العينات المدروسة هي ناتجة عن تحول صخور طينية.

II – الصخور المتحولة المنتشرة بسلاسل الطمر.

① استسطاح بعض الصخور المتحولة الشاهدة عن طمر قديم: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: خريطة جيولوجية مصحوبة بمقطع جيولوجي AB لمنطقة الطمر بجبال الألب





1) اعتمادا على معطيات الخريطة الجيولوجية استخرج المميزات الصخرية للمنطقة .
2) ما دلالة تواجد الأفيوليت بالمنطقة.
3) اربط العلاقة بين توزيع الصخور المتحولة وظروف التحول.

- الأحواض الهامشية لمجال الألب
- حدود المجال المطوي من السلسلة
- صخور مطوية وغير متحولة
- الأوفيوليت (غابرو وبيريدوتيت متحولان)
- تحول ذو درجة ضعيفة
- مجال الشيست الأخضر
- مجال الشيست الأزرق ذي كلوكوفان
- مجال الايكلوجيتات
- مجال ما فوق الضغط العالي

www.students.ma

www.students.ma

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.

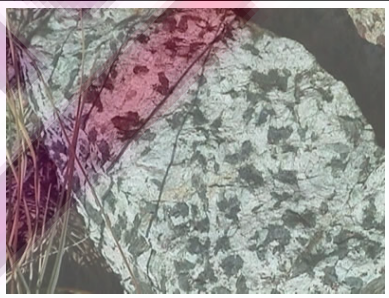
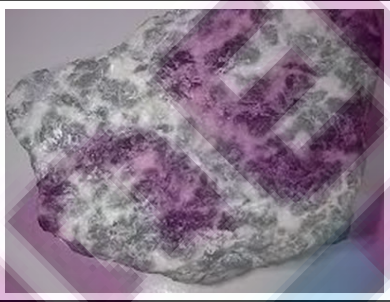
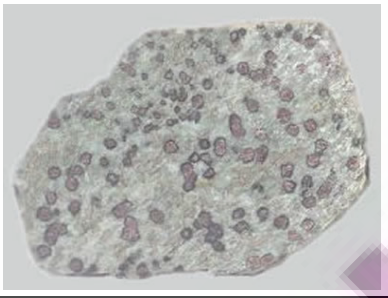
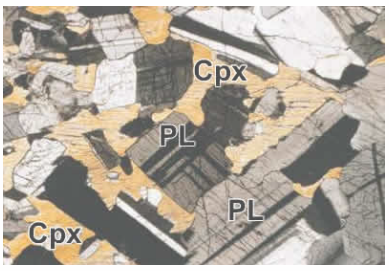
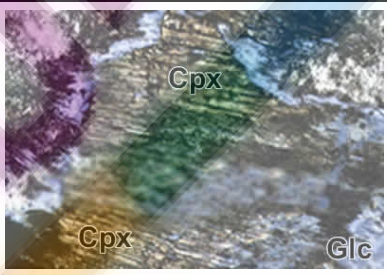
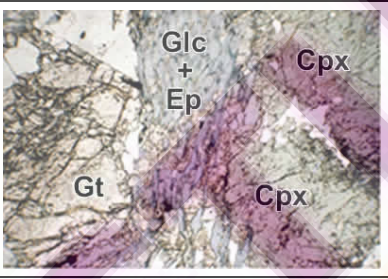
1) المميزات الصخرية للمنطقة:
تبرز الخريطة تمنطقا في توزيع الصخور المتحولة حيث ننتقل تدريجيا من مجال الشيست الأخضر (غني بالكلوريت)، نحو مجال الشيست الأزرق (غني بالكلوكوفان)، ثم إلى مجال الإكلوجيتات (جاديييت والبيجادي) المتداخلة مع الأوفيوليت.

2) دلالة تواجد الأوفيوليت بالمنطقة:
يدل الأوفيوليت على أن الاصطدام الذي نتجت عنه جبال الألب كان مسبوقا بطمر ثم طفو.

3) العلاقة بين توزيع الصخور المتحولة وظروف التحول:
هناك زيادة في شدة التحول كلما اتجهنا من الشيست الأخضر إلى الشيست الأزرق ثم إلى الاكلوجيت.
ان وجود الاكلوجيت المتميز بمعدني البجادي Grenat والجاديييت Jadeite (كلينوبيروكسين صودي)، والتي تتشكل في ظروف ضغط عالية، لشاهد على حدوث طمر سابق لسلاسل الاصطدام.

② **خصائص الصخور المتحولة لمناطق الطمر:** أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: بعض الخاصيات البنيوية والعيدانية للصخور المتحولة المنتشرة بمناطق الطمر.

	غابرو أوفيوليتي	شيست أزرق ذي كلوكوفان وايبيدوت	اكلوجيت ذو بجادي وجاديييت
الملاحظة بالعين المجردة			
ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب			
التركيب العيداني	Cpx = بيروكسين PL = بلاجيوكلاز	Cpx = بيروكسين Glc = كلوكوفان	Cpx = بيروكسين Ep+Glc= كلوكوفان وايبيدوت Gt = البجادي

التركيب الكيميائي (لهذه العينات نفس التركيب الكيميائي العام)	العناصر	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	FeO	TiO_2	Al_2O_3	SiO_2
	النسب المئوية	0,4	2,2	9,9	12,7	11	2,3	14,2	47,1

- قارن بين خصائص الصخور المدروسة.
- ماذا تستخلص من وجود الكابرو الأفيوليتي بهذه المنطقة وما علاقته بالصخور المتحولة المجاورة.

www.students.ma

www.students.ma

★ رغم اختلاف بنيتها وتركيبها العيداني، فان لهذه الصخور نفس التركيب الكيميائي العام. إذن الصخور الرسوبية والبلورية لمنطقة الألب الفرنسي الايطالي خضعت للتحول، ودرجة هذا التحول تختلف حسب المناطق.

★ تفيد هذه المعطيات بأن لهذه الصخور أصل مشترك حيث نتجت كلها عن تحول صخرة الكابرو.
يتبين إذن أن تشكل السلسلة الألبية كان مسبوقا باختفاء المحيط الألبي نتيجة طمر صفيحة صخرية تحت أخرى، وانتهت القارتان المحمولتان على هاتين الصفيحتين بالاصطدام، وهي ظروف ملائمة لتكون صخور متحولة.

III – عوامل التحول.

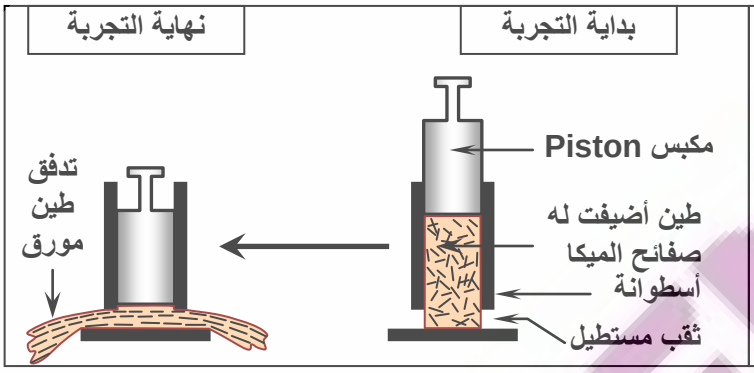
① تجارب الكشف عن ظروف التحول:

أ – تأثير الضغط: تجربة Daubrée أنظر الوثيقة 5 شكل أ.

الشكل أ: تجربة Daubrée:

أخضع الباحث Daubrée خليطا من الطين وصفائح بلورية من الميكا لضغط عال بواسطة مكبس داخل أسطوانة بقاعدتها ثقوب مستطيلة الشكل. يوضح الرسم أمامه معطيات ونتائج هذه التجربة.

اربط العلاقة بين نتائج تجربة Daubrée والشيستية المميزة للصخور المتحولة.



يلاحظ ظهور شيستية على مستوى الطين المتدفق من ثقوب الاسطوانة، وتكون متعامدة مع اتجاه قوة الضغط. كما أن صفائح الميكا تصفف في اتجاه الشيستية.

ب – تأثير الحرارة:

a - تجربة طهي الاجور:

بعد تسليط درجة حرارة مرتفعة على عجين الطين يتم الحصول على اجور يفقد خلاله الطين لدونته حتى لو أضفنا إليه الماء من جديد، و هذا يعني أن الحرارة المرتفعة أحدثت تغيرا نهائيا في خصائصه دون حدوث الانصهار، و تبين التفاعلات التالية بعض التحولات العيدانية خلال هذه الظاهرة:

كاولينيت (سيليكات ألومين مميه) ← 500 °C ميتاكاولنيت (سيليكات ألومين غير مميه) ← 870 °C ميليت (سيليكات ألومين غير مميه)

b - تجربة Winkler: أنظر الوثيقة 5 شكل ب.

الشكل ب: تجربة Winkler: أخضع الباحث Winkler ومساعدوه صخورا طينية لضغط ثابت (2Kbar) مع ارتفاع تدريجي لدرجة الحرارة:

✷ عند 570°C تظهر معادن جديدة كالبيوتيت والأندلوسيت حسب التفاعل التالي:

$$Al_4SiO_4(OH)_8 + 2SiO_2 \rightarrow SiO_2 + 4H_2O + 2Al_2SiO_5$$

كاولينيت ← أندلوسيت

✷ عند 700°C يبدأ الانصهار حيث يصبح الوسط يضم جزأين: جزء صلب يحتوي على البيوتيت والسيليمانيت، وجزء سائل ناتج عن الانصهار الجزئي للمادة الأصلية.

www.students.ma

يتبين من خلال هذه التجارب أنه عند ارتفاع درجة الحرارة تخضع الصخرة الصلبة لتغيرات عيدانية حيث تظهر معادن و تختفي أخرى. إذن فالحرارة مسؤولة عن هذه التغيرات في الحالة الصلبة.

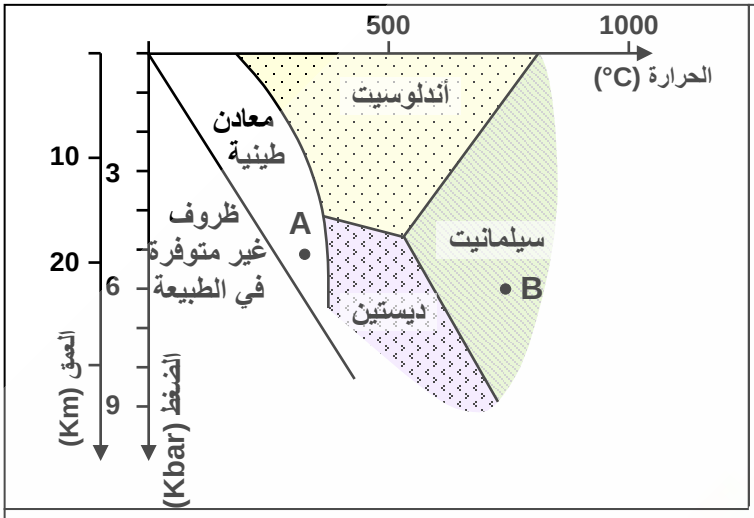
ج – تأثير الحرارة والضغط: تجربة Richardson ومساعدوه أنظر الوثيقة 5 شكل ج.

الشكل ج: تجربة Richardson ومساعدوه:

أخضع هؤلاء الباحثون عينات من خليط من سيليكات الألومين لدرجة حرارة وضغط مرتفعين ومتغيرين، فاستطاعوا تحديد مجال استقرار المعادن الثلاثة: الأندلوسيت Andalousite، والسيلمانيت Sillimanite، والدستين Disthène، (أنظر المبيان أمامه) تمثل الخطوط المستقيمة حدود مجال استقرار كل معدن، ويعبر الخط الفاصل بين مجالين عن الظروف اللازمة لكي يتم التفاعل العيداني، وبالتالي تحول معدن إلى آخر.

انطلاقا من تحليل معطيات هذه الوثيقة:

- أعط التفاعل العيداني الذي يمكن أن يحصل عند مرور صخرة من الظروف A إلى الظروف B .
- بين سبب الاختلاف في التركيب العيداني بين الصخور المتحولة، وماذا نعني بمجال استقرار معدن معين؟ وفيما يفيد تواجد هذا المعدن في صخرة ما؟



يتبين من معطيات التجربة أن لكل معدن ظروف حرارة وضغط يكون خلالها في حالة استقرار، حيث أن تغير هذه الظروف يؤدي إلى تحوله إلى معدن آخر. وظروف استقرار كل معدن تشكل ما يسمى مجال استقرار المعدن.

مثلا عند مرور صخرة من الظروف A إلى الظروف B، يظهر أولا معدن الديستين، ومع تزايد درجات الحرارة يختفي الديستين ويظهر السيلمانيت.

إن تواجد معدن معين من هذه المعادن في صخرة ما، يشهد على ظروف معينة للضغط والحرارة، خضعت لها الصخرة (تواجد الدستين مثلا ⇦ ضغط مرتفع)، بذلك تنعت هذه المعادن بالمعادن المؤشرة.

② ظروف التحول في الطبيعة: أنظر الوثيقة 6.

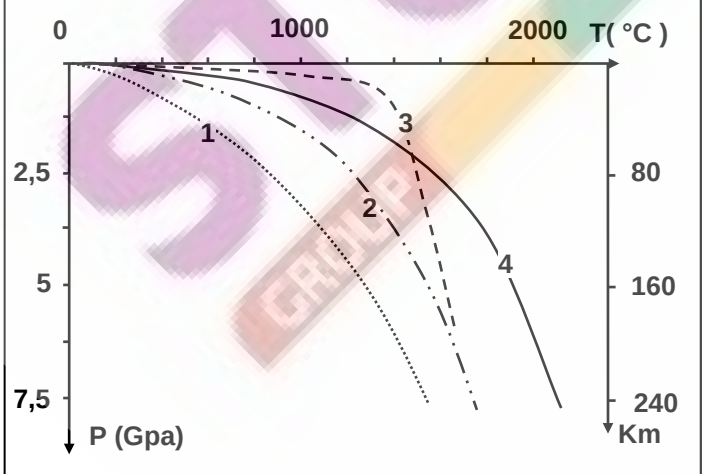
الوثيقة 6: ظروف التحول في الطبيعة.

✱ تزداد درجة الحرارة مع العمق في باطن الأرض وتكون هذه الزيادة ما يسمى الدرجة السعيرية (أنظر المبيان أمامه) le gradient géothermique، وتتغير حسب التركيب الداخلي والطبيعة الجيولوجية للمنطقة، وتكون منخفضة في المناطق المستقرة جيولوجيا ومرتفعة في المناطق النشيطة.

✱ تخضع المواد في باطن الأرض لضغط تتناسب أهميته مع العمق وكثافة الصخور التي تعلوه. ويسمى بضغط الغلاف الصخري. وتحدد قيمته بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{\text{وزن العمود الصخري}}{\text{مساحة قاعدته}}$$

تضم الصخور بين بلوراتها بعض الموائع (H2O, CO2) تتسبب في ضغط إضافي هو الضغط الجزيئي للموائع.



www.students.ma

أ – درجة الحرارة:

تزداد درجة الحرارة مع العمق في باطن الأرض، وتكون هذه الزيادة ما يسمى الدرجة السعيرية، وتتغير حسب التركيب الداخلي والطبيعة الجيولوجية للمنطقة.

ب – الضغط:

تخضع الصخور في الطبيعة لتغير الضغط حسب:

- الضغط التكتوني: ناتج عن الحركات التكتونية.
- الضغط الصخري: يزداد الضغط مع زيادة العمق، حيث أن الطبقات الصخرية في باطن الأرض تخضع لضغط مستمر يتناسب مع كثافة الصخور التي تعلوها. ويسمى هذا الضغط بضغط الغلاف الصخري.
- ضغط الموائع: يتمثل في الموائع البيفرجية المتواجدة في أعماق الأرض، كالماء وثنائي أكسيد الكربون، والتي تغير من ظروف التفاعلات.

IV – مفهوما المعدن المؤشر والسلسلة التحولية.

① **مفهوم التحول والمعدن المؤشر:** أنظر الشكل أ، ب، ج وثيقة 7.

الوثيقة 7: المعدن المؤشر والمتتالية التحولية.

✱ يعطي الشكل أ من الوثيقة ملاحظة بالضوء المستقطب لصفيحة دقيقة لبازلت محيطي قديم متحول، مع رسم تفسيري لهذه الملاحظة.

⇦ يبرز هذا الشكل مظهرا من مظاهر التحول، بين ذلك.

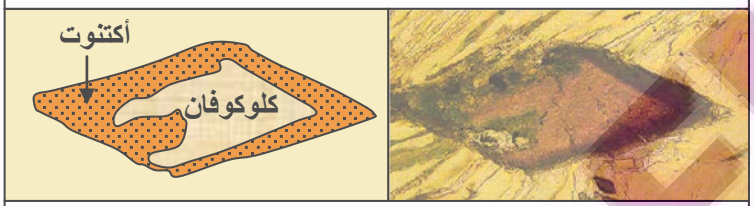
✱ يعطي الشكل ب متتالية تحولية لصخور طينية وتركيبها العيداني

✱ يعطي الشكل ج تغير التركيب العيداني حسب ظروف الضغط ودرجة الحرارة، أي حسب ارتفاع شدة التحول.

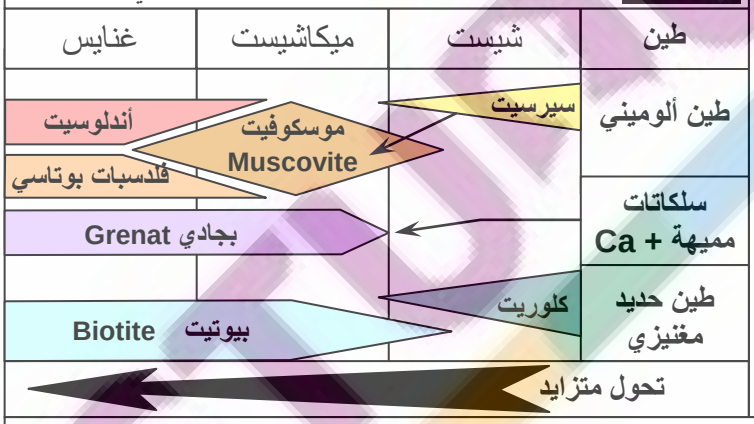
⇦ حلل معطيات الجدولين أ وب واستنتج.

⇦ انطلاقا من كل المعطيات السابقة، أعط تعريفا لمفهوم التحول، المعدن المؤشر والمتتالية التحولية.

الشكل أ: تحول الكلوكوفان إلى أكتنوت (امفبول أخضر) في بازلت متحول



الشكل ب: متتالية تحولية لصخور طينية وتركيبها العيداني.



الشكل ج: تغير التركيب العيداني حسب ظروف الضغط ودرجة الحرارة (ارتفاع شدة التحول).

الصخور	التفاعلات	المعادن المميزة
ميكاشيست ذو موسكوفيت	كلوريت + موسكوفيت	موسكوفيت وكلوريت
ميكاشيست ذو نوعين من الميكا	بيجادي + بيوتيت	موسكوفيت متبق
غنايس ذو نوعين من الميكا	مرو + موسكوفيت	بيوتيت (اختفاء الكلوريت)
غنايس ذو بيوتيت	سيلمانيت + أرتوز سيليمانيت + مرو + بيوتيت	بيوتيت وسيلمانيت (اختفاء الموسكوفيت)
غنايس أبيض	كورديييريت + مرو	اختفاء البيوتيت

ارتفاع شدة التحول ↓

www.students.ma

www.students.ma

⇦ تظهر ملاحظة الصفيحة الدقيقة للبازلت اختفاء الكلوكوفان وظهور الأكتينوت، وذلك تحت تأثير تغير ظروف التحول.

⇦ تحت تأثير عاملي الضغط والحرارة تخضع الصخور لتحول، حيث نمر من تركيب عيداني لآخر، وذلك باختفاء معادن وظهور أخرى أكثر استقرارا في الظروف الجديدة.

⇦ تعريف التحول، المعدن المؤشر والمتتالية التحولية.

★ **التحول:** هو مجموعة من التغيرات البنيوية والعيدانية التي تطرأ على صخرة سابقة الوجود (رسوبية، صهارية أو متحولة)، في حالتها الصلبة، بفعل عاملي الضغط أو الحرارة أو هما معا.

★ **معدن مؤشر:** معدن يظهر في ظروف جد محددة لدرجة الضغط والحرارة، وبذلك فتواجده في صخرة متحولة يمثل ذاكرة للظروف القصوى للضغط والحرارة التي وصلتها الصخرة، مثلا تواجد والبيجادي في الصخور المتحولة لمناطق الطمر يعد شاهدا على تعرض هذه الأخيرة لضغط عال.

★ **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:** أنظر الشكل د وثيقة 7.

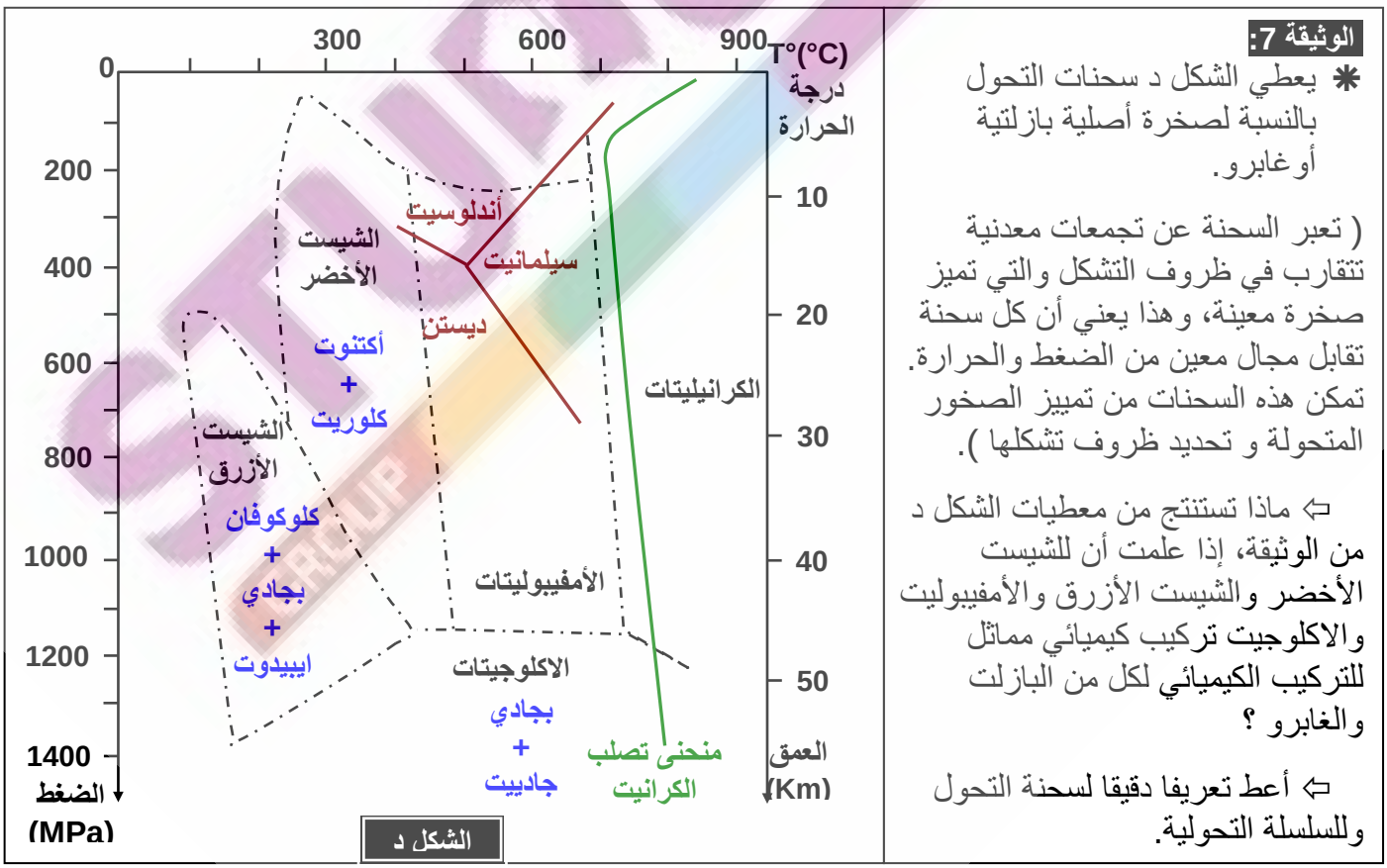
الوثيقة 7:

✱ يعطي الشكل د سحنات التحول بالنسبة لصخرة أصلية بازلتية أوغابرو.

(تعبر السحنة عن تجمعات معدنية تتقارب في ظروف التشكل والتي تميز صخرة معينة، وهذا يعني أن كل سحنة تقابل مجال معين من الضغط والحرارة. تمكن هذه السحنات من تمييز الصخور المتحولة و تحديد ظروف تشكلها).

⇦ ماذا تستنتج من معطيات الشكل د من الوثيقة، إذا علمت أن للشيست الأخضر والشيست الأزرق والأمفيبوليت والاكلوجيت تركيب كيميائي مماثل للتركيب الكيميائي لكل من البازلت والغابرو ؟

⇦ أعط تعريفا دقيقا لسحنة التحول وللسلسلة التحولية.



الشكل د

www.students.ma

www.students.ma

⇦ يتبين من معطيات الوثيقة أن هناك اختلاف في التركيب العيداني لكل من الشيست الأخضر والشيست الأزرق والاكلوجيت والأمفيبوليت. ويرجع هذا الاختلاف إلى اختلاف ظروف الحرارة والضغط الذي تكون فيه كل منها.

⇦ تعريف كل من سحنة التحول والسلسلة التحولية.

★ **سحنة التحول:** حسب ظروف الضغط ودرجة الحرارة، تتحدد مجالات استقرار مجموعة معدنية معينة تسمى سحنة التحول. وكل صخرة سابقة الوجود خضعت لظروف تحول سحنة معينة، تظهر بها نفس المجموعة المعدنية المميزة لهذه السحنة، رغم اختلاف تركيبها.

★ **سلسلة التحول:** هي متتالية السحنات المميزة لصخرة أصلية معينة، وذلك حسب تغير ظروف الضغط ودرجات والحرارة. وتمكن من معرفة تطورات الضغط والحرارة التي خضعت لها الصخرة الأصلية في العمق.

③ **خلاصة:**

لتحديد التركيب العيداني لصخرة متحولة (شيست، غنايس ...) ننجز صفيحة دقيقة لهذه الصخرة في المختبر، وبعد تحديد المعادن المتحولة، نتعرف على سحنة التحول والمتتالية المنتمية لها الصخرة ومن تم نتعرف على الظروف التكتونية التي تشكلت فيها.

V – مفهوم التحول الدينامي والتحول الدينامي الحراري.

① مجالات التحول في الطبيعة: أنظر وثيقة 8.

الوثيقة 8: مجالات التحول في الطبيعة.

ترتبط أنواع التحول بدينامية الصفائح، لذا فهي تختلف من مكان لآخر. واعتمادا على تغير الضغط والحرارة في أعماق الغلاف الصخري، وضع Winkler تصورا يحدد مختلف أنواع التحول حسب مجالات تأثير هذين العاملين معا.

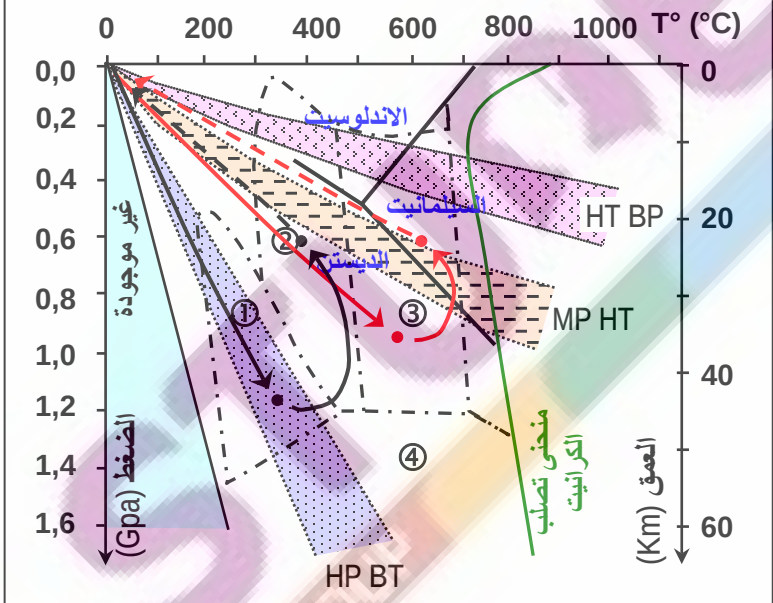
✱ في مناطق الاصطدام، يحدث ارتفاع متزامن لكل من الضغط والحرارة فيكون التحول دينامي – حراري = تحول إقليمي = تحول عام.

✱ في مناطق الطمر، يرتفع الضغط بسرعة، في حين يكون ارتفاع الحرارة منخفضا فيحصل تحول دينامي.

✱ أثناء صعود الصهارات تتعرض الصخور المحيطة لارتفاع مفاجئ في درجات الحرارة فيحصل تحول حراري.

تمثل الوثيقة أمامه مختلف أنماط التحول في الطبيعة. اعتمادا على معطيات الوثيقة:

1) عرف مختلف أنواع التحول.
2) تتبع مسار تحول الصخور المدروسة واربط العلاقة بين هذا المسار وسحنات التحول، والظروف السائدة في كل من مناطق الاصطدام ومناطق الطمر.



① = مجال الشيست الأزرق ③ = مجال الأمفيبوليتات

② = مجال الشيست الأخضر ④ = مجال الاكلوجيتات

HT BP = ضغط منخفض ـ حرارة مرتفعة

MP HT = ضغط متوسط إلى مرتفع ـ حرارة مرتفعة

HP BT = ضغط عالي ـ حرارة منخفضة

= مسار التحول لقطعة من البازلت الأوفيوليتي الألبي

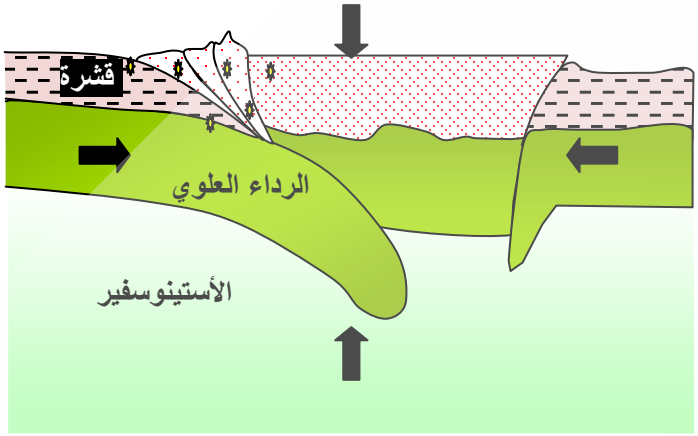
= مسار التحول لقطعة من الميكاشيست للغلاف القاري

www.students.ma

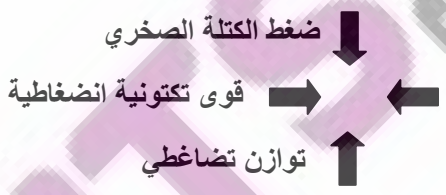
يتبين من معطيات هذه الوثيقة أن تحول الصخور مرتبط بتغير عاملي الضغط والحرارة، وهذه الأخيرة ترتبط بدينامية الصفائح. وهكذا يمكن تحديد عدة مجالات للتحول: التحول الدينامي Dynamique والتحول الدينامي الحراري Thermo-dynamique والتحول الحراري Thermique.

② ظروف التحول في مناطق الاصطدام: أنظر وثيقة 9.

الوثيقة 9: ظروف التحول في مناطق الاصطدام.



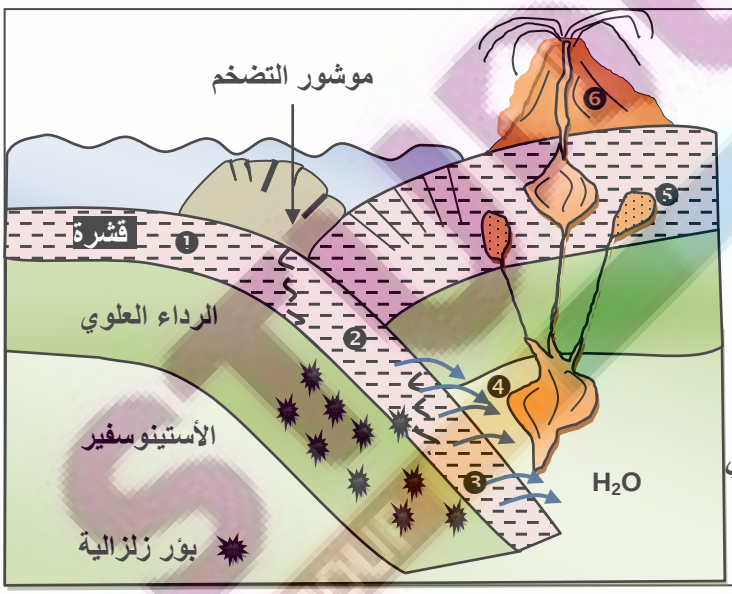
يعود التحول في مناطق الاصطدام إلى ارتفاع متزامن لدرجة الحرارة والضغط. (ضغط موجه ناتج عن القوى التكتونية وضغط الكتلة الصخرية).
التحول بهذه المناطق هو تحول دينامي حراري.
استخرج ظروف التحول في مناطق الاصطدام.



في مناطق الاصطدام تخضع الصخور لارتفاع متزامن لكل من الضغط والحرارة نتيجة اصطدام صفيحتين قاريتين، فيحصل تحول دينامي حراري (تحول إقليمي Métamorphisme régional).

③ ظروف التحول في مناطق الطمر: أنظر وثيقة 10.

الوثيقة 10: ظروف التحول في مناطق الطمر.



عند حدوث الطمر، ينغرز الغلاف الصخري المحيطي تحت الغلاف الصخري القاري، فتتغير الظروف التي تخضع لها الصخور المنغرزة كالارتفاع الكبير في الضغط.
قد يحدث أن تصعد صخور القشرة المحيطية إلى الأعلى نتيجة ظروف جيولوجية مختلفة فيلاحظ تكون صخور جديدة تختلف عن تلك التي انغرزت.
استخرج ظروف التحول في مناطق الطمر.

❶ سحنة الشيست الأخضر
❷ سحنة الشيست الأزرق
❸ سحنة الاكلوجيت
❹ تحرير الماء وانصهار جزئي
❺ تصلب الصهارة في العمق
❻ تدفق الصهارة إلى السطح

في مناطق الطمر تخضع الصخور المنغرزة لضغط عال، نتيجة طمر غلاف صخري محيطي تحت الغلاف الصخري القاري، في حين يكون ارتفاع درجة الحرارة منخفضا، فيحصل تحول دينامي.

ملاحظة: أثناء صعود الصهارات، تتعرض الصخور المحيطة بالغرفة الصهارية لارتفاع مفاجئ في درجات الحرارة، فيحصل بذلك تحول للصخور المحيطة، يسمى بالتحول الحراري.