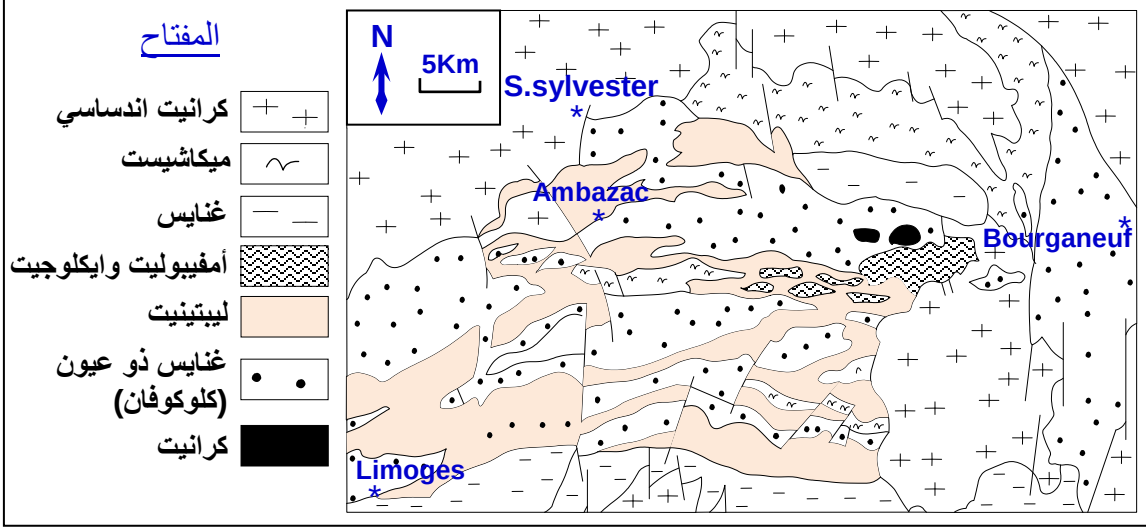
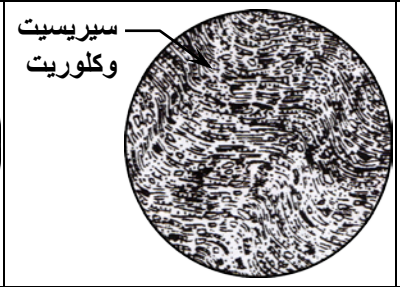
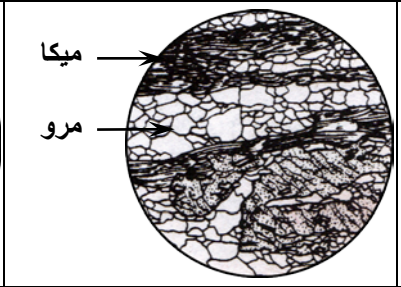
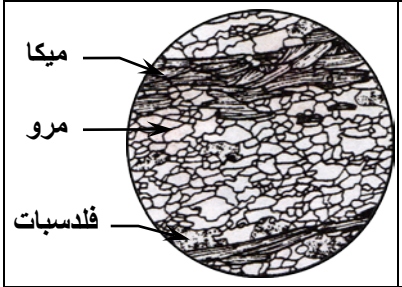
الوثيقة 1: خريطة جيولوجية مبسطة لمنطقة Bas Limosin بجبال الألب (سلاسل الاصطدام).

تعطي الوثيقة أمامه، خريطة جيولوجية مبسطة لمنطقة Bas Limousin بفرنسا، تنتمي لجبال الألب.

صف استسطاح الصخور المتحولة بهذه المنطقة من السلسلة الألبية.



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.

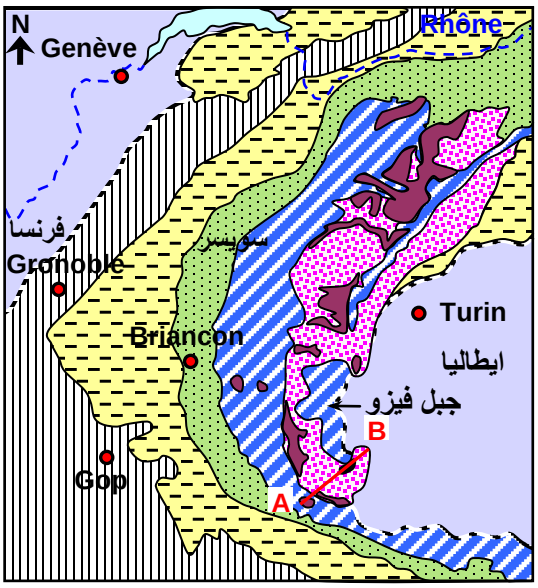
يمثل الجدول أسفل الوثيقة نسب العناصر الكيميائية التي تحتوي عليها كل صخرة .

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).

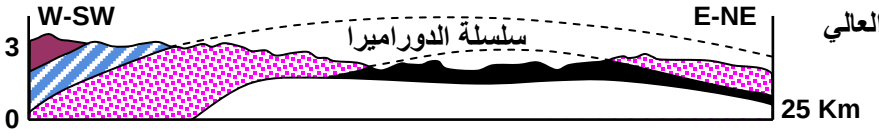
4) اقترح فرضية توضح من خلالها العلاقة بين هذه الصخور والصخور المتحولة الموجودة بالمنطقة.

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

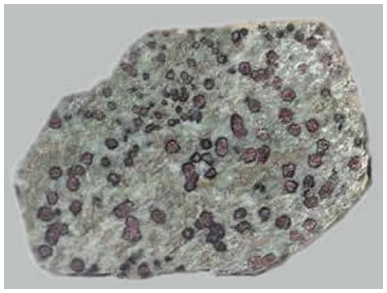
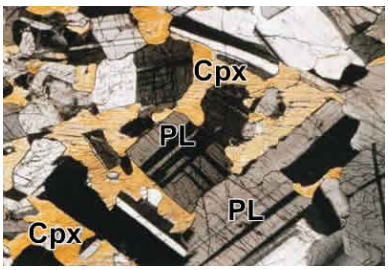
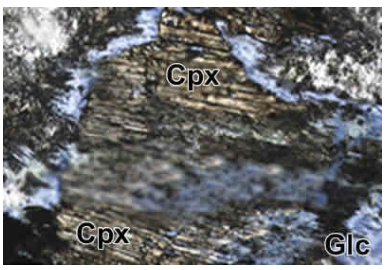
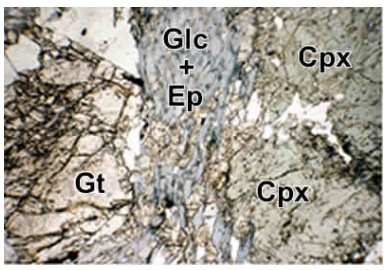


1) اعتمادا على معطيات الخريطة الجيولوجية استخرج المميزات الصخرية للمنطقة.
2) ما دلالة تواجد الأفيوليت بالمنطقة.
3) اربط العلاقة بين توزيع الصخور المتحولة وظروف التحول.

- 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



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

	غابرو أوفيوليتي	شيست أزرق ذي كلوكوفان وابيبدوت	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 وابيدوت Gt = البجادي

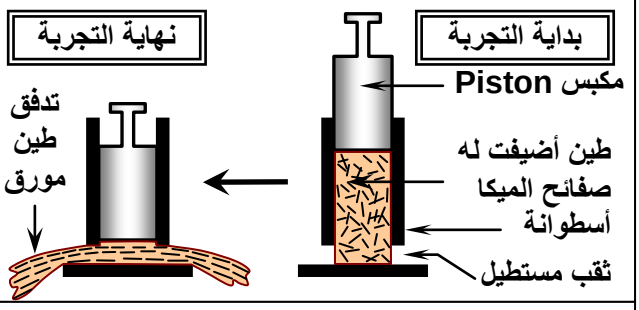
التركيب الكيميائي (لهذه العينات نفس التركيب الكيميائي العام)	العناصر	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	FeO	TiO_2	Al_2O_3	SiO_2
	النسب المئوية	0,4	2,2	9,9	12,7	11	2,3	14,2	47,1

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

الوثيقة 5: تجارب الكشف عن ظروف التحول.

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 أسفله معطيات ونتائج هذه التجربة.



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:

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

أندلوسيت — كاولينيت

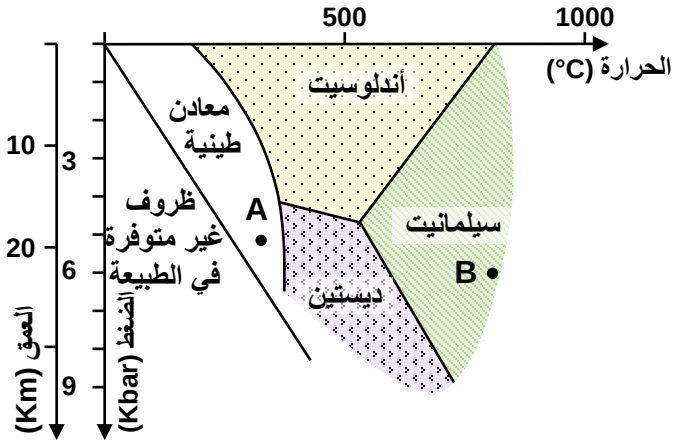
⇦ عند 700°C يبدأ الانصهار حيث يصبح الوسط يضم جزأين: جزء صلب يحتوي على البيوتيت والسيليمانيت، وجزء سائل ناتج عن الانصهار الجزئي للمادة الأصلية.

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 نتائج هذه التجارب:

- ★ انطلاقا من معطيات الشكل أ، اربط العلاقة نتائج تجربة Daubrée والشيستية المميزة للصخور المتحولة.
- ★ انطلاقا من النتائج السابقة ومعطيات الشكل ب، حدد العوامل المسؤولة عن التحول.
- ★ أعط التفاعل العيداني الذي يحصل عند مرور صخرة من الظروف A إلى الظروف B (مبيان الشكل ج)
- ★ بين سبب الاختلاف في التركيب العيداني بين الصخور المتحولة، وماذا نعني بمجال استقرار معدن معين؟ وفيما يفيد تواجد هذا المعدن في صخرة ما؟

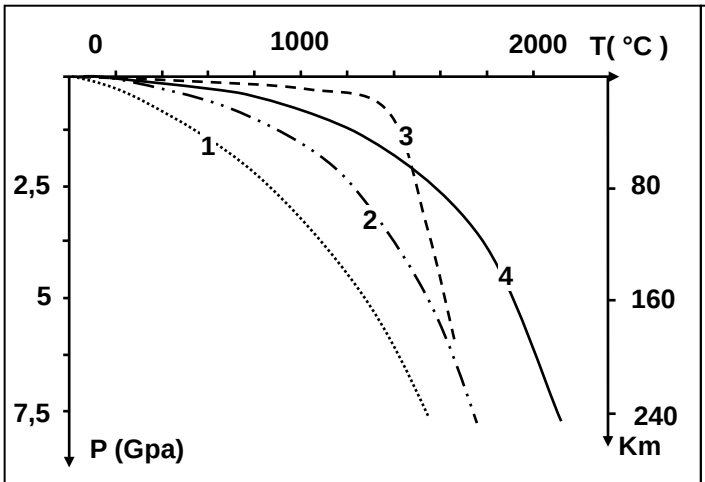
الوثيقة 6: ظروف التحول في الطبيعة.

★ 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 (H_2O, CO_2) تتسبب في ضغط إضافي هو الضغط الجزيئي للموائع.



1 = متوسط الدرجة السعيرية القارية

2 = متوسط الدرجة السعيرية المحيطية

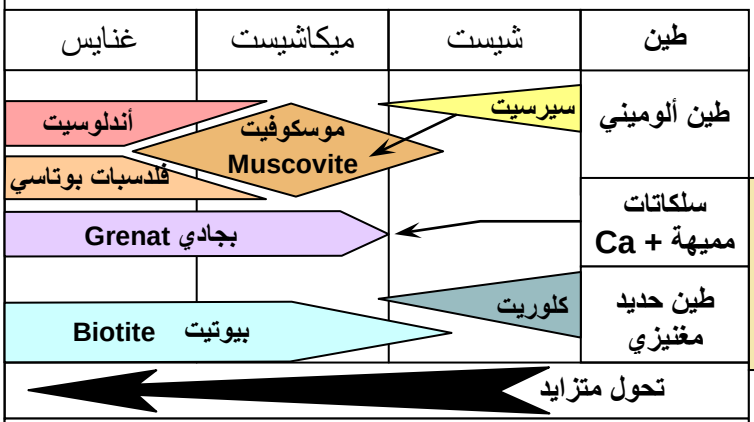
3 = الدرجة السعيرية أسفل الدروة

4 = الدرجة السعيرية بالنقط الساخنة

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.

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



الشكل ب : متتالية تحولية لصخور طينية وتركيبها العيداني.

★ 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.

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	كورديبريت + مرو	اختفاء البيوتيت

ارتفاع شدة التحول

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

حلل معطيات الجدولين أ وب واستنتج.

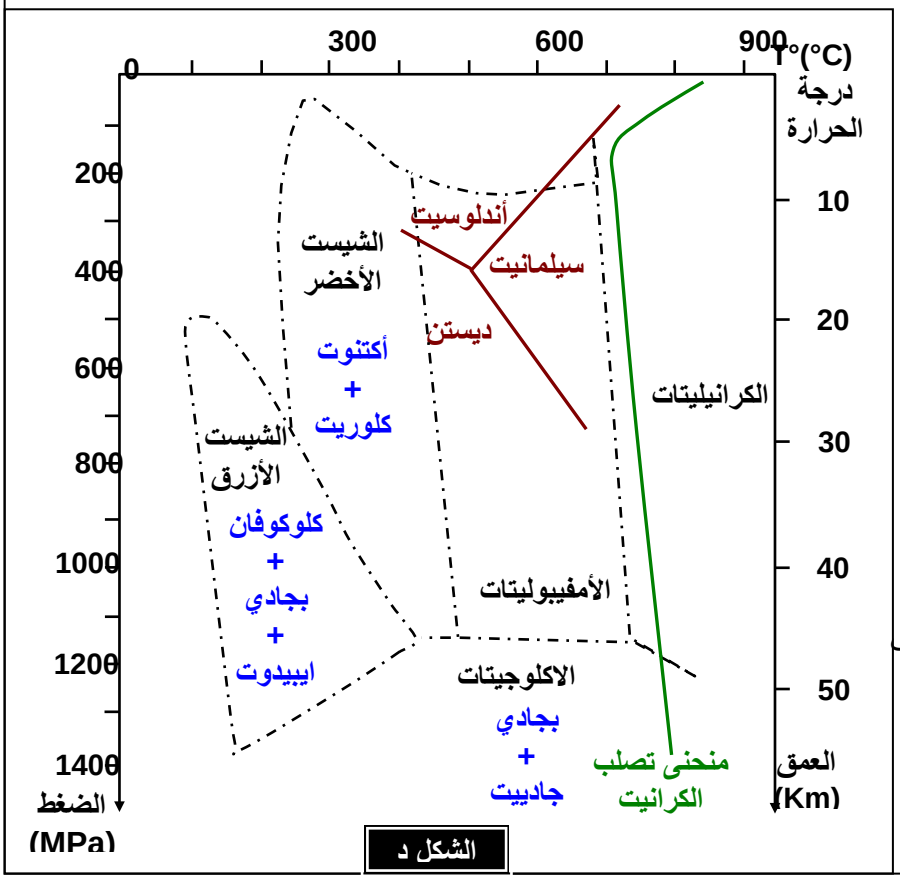
انطلاقا من كل المعطيات السابقة، أعط تعريفا لمفهوم التحول، المعدن المؤشر والمتتالية التحولية.

★ يعطي الشكل د سحنات التحول بالنسبة لصخرة أصلية بازلتية أو غابرو.

(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، إذا علمت أن للشيست الأخضر والشيست الأزرق والأمفيبولية والاكلوجيت، تركيب كيميائي مماثل للتركيب الكيميائي لكل من البازلت والغابرو ؟

⇦ أعط تعريفا دقيقا لسحنة التحول وللسلسلة التحولية.



الشكل د

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.

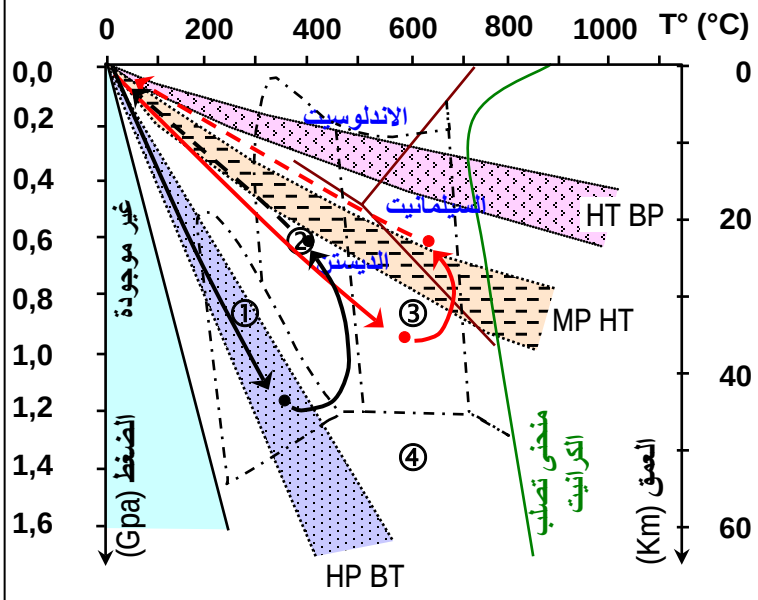
★ في مناطق الاصطدام، يحدث ارتفاع متزامن لكل من الضغط والحرارة فيكون التحول دينامي – حراري = تحول إقليمي = تحول عام.

★ 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

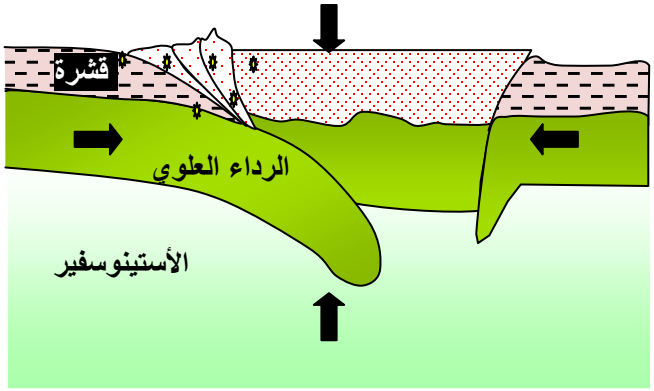
= مسار التحول لقطعة من الميكاشيست للغلاف القاري

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.



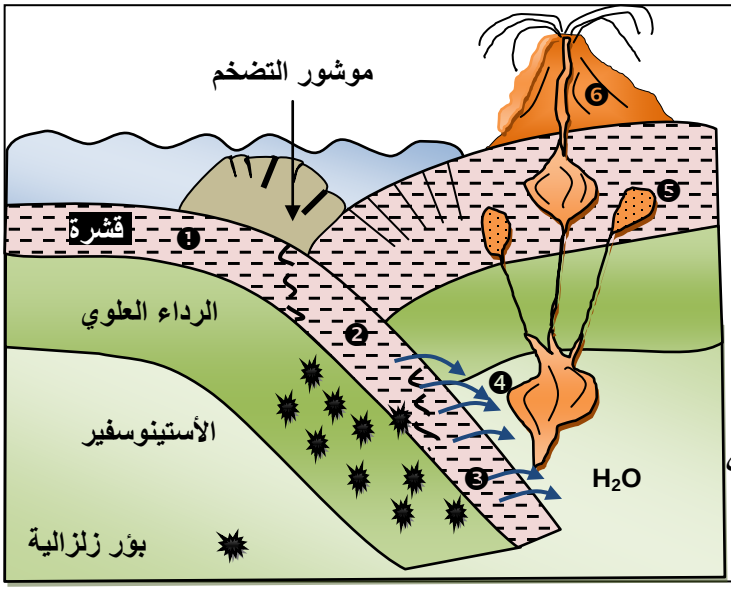
ضغط الكتلة الصخرية
قوى تكتونية انضغاطية
توازن تضاغطي

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 ❹ تحرير الماء وانصهار جزئي

❷ سحنة الشيست الأزرق ❺ تصلب الصهارة في العمق

❸ سحنة الاكلوجيت ❻ تدفق الصهارة إلى السطح