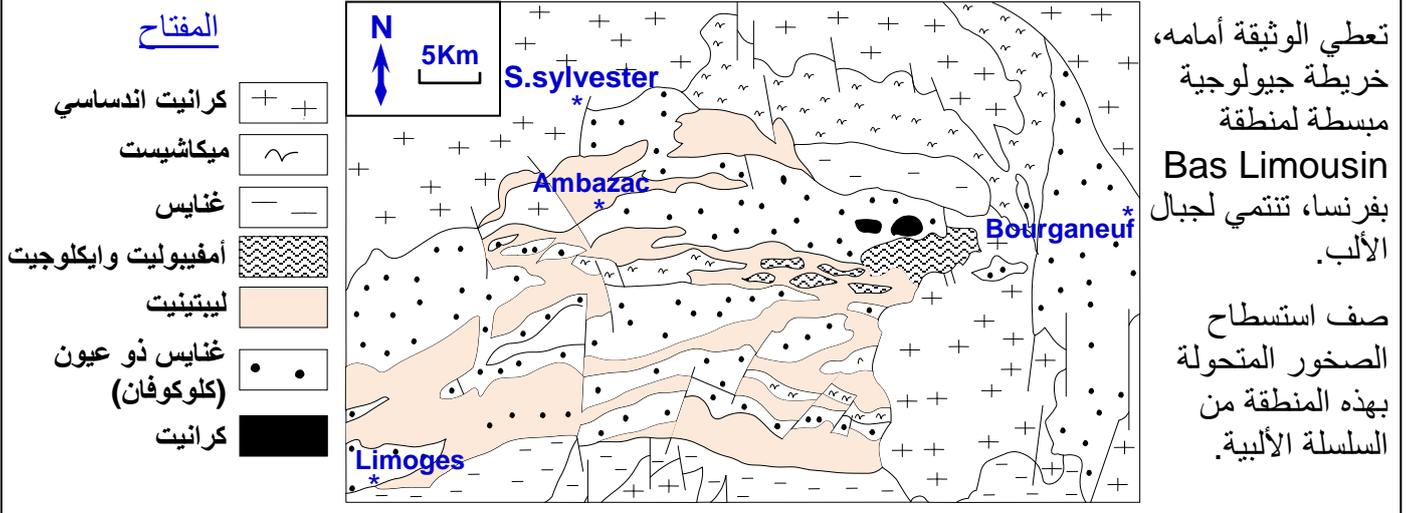


الوحدة الرابعة، الفصل الثاني: التحول وعلاقته بدينامية الصفائح

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

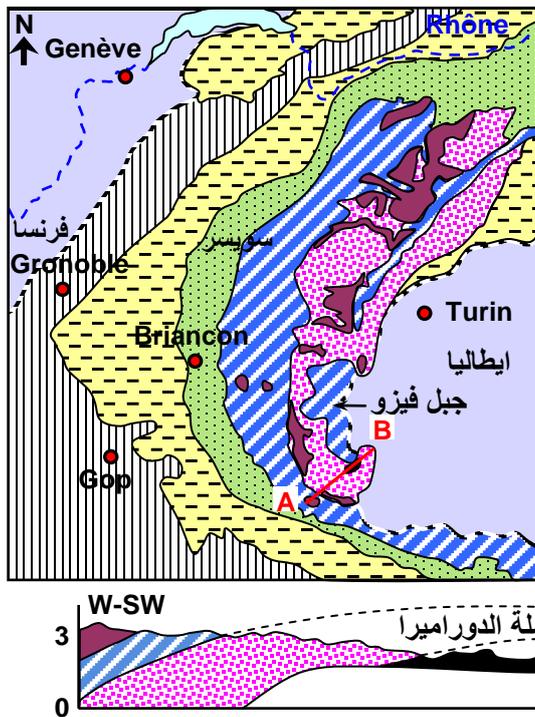


الوثيقة 2: بعض مميزات الصخور المتحولة المنتشرة في سلاسل الاصطدام.

الغنايس	الميكاشيست	الشبيست الأخضر	
			ملاحظة الصخرة بالعين المجردة
			ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب
68.7	60.9	60.2	SiO ₂
16.2	19.1	20.9	Al ₂ O ₃
0.7	1.2	2.8	Fe ₂ O ₃
4.1	4.1	3.7	FeO
1.3	1.4	0.85	MgO
1.8	1.7	0.55	CaO
3.8	2.1	2.45	Na ₂ O
3	3.7	4.1	K ₂ O
التركيب الكيميائي (%)			

- 1) صف البنية المجهرية لكل عينة من الصخور. ماذا تلاحظ.
- 2) استخراج المكونات العيدانية التي تتميز بها كل صخرة. ماذا تستنتج.
- 3) يمثل الجدول أسفل الوثيقة نسب العناصر الكيميائية التي تحتوي عليها كل صخرة. ماذا تستنتج من خلال تحليل معطيات الجدول.
- 4) أثبتت الدراسة الميدانية للمنطقة وجود صخور طينية ذات تركيب كيميائي يغلب عليه العنصرين (SiO₂ و Al₂O₃). 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



- اعتمادا على معطيات الخريطة الجيولوجية استخراج المميزات الصخرية للمنطقة.
- ما دلالة تواجد الأفيوليت بالمنطقة.
- اربط العلاقة بين توزيع الصخور المتحولة وظروف التحول.

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

الوثيقة 4: بعض الخصائص البنيوية والعيانية للصخور المتحولة المنتشرة بمناطق الطمر

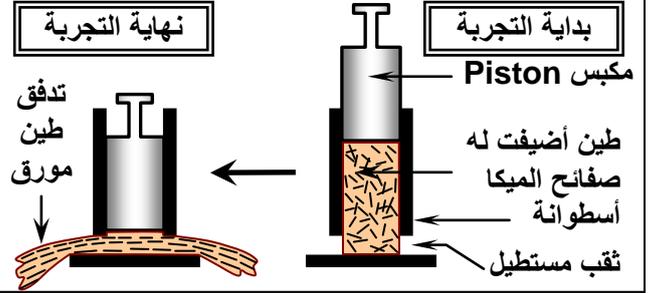
اكتوجيت ذو بجادي وجادييت	شيست أزرق ذي كلوكوفان و ابيدوت	غابرو أفيوليتي							
			الملاحظة بالعين المجردة						
			ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب						
Cpx = بيروكسين Ep+Glc = كلوكوفان و ابيدوت Gt = البجادي	Cpx = بيروكسين Glc = كلوكوفان	Cpx = بيروكسين PL = بلاجيوكلاز	التركيب العياني						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	العناصر	التركيب الكيميائي (لهذه العينات نفس التركيب الكيميائي العام)
47,1	14,2	2,3	11	12,7	9,9	2,2	0,4	النسب المئوية	

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

الوثيقة 5: تجارب الكشف عن ظروف التحول

الشكل أ: تجربة Daubrée:

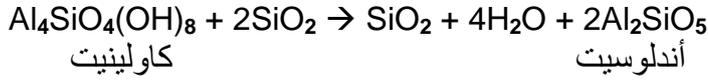
أخضع الباحث Daubrée خليطا من الطين وصفائح بلورية من الميكا لضغط عال بواسطة مكبس داخل أسطوانة بقاعدتها ثقب مستطيلة الشكل. يوضح الرسم أسفله معطيات ونتائج هذه التجربة.



الشكل ب: تجربة Winkler:

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

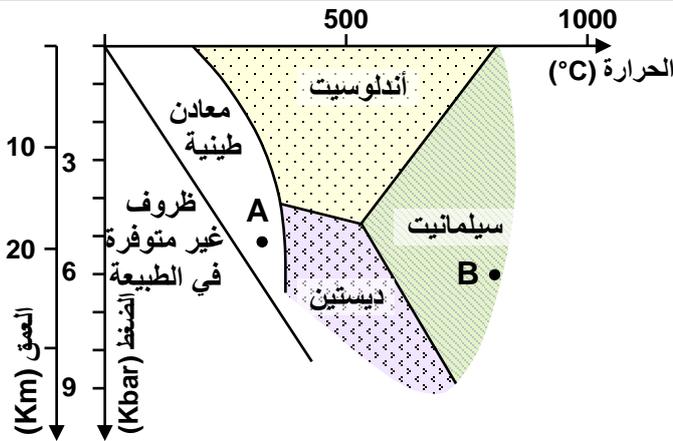
↔ عند 570°C تظهر معادن جديدة كالبيوتيت والأندلوسيت حسب التفاعل التالي:



↔ 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 ومنغيرين، فاستطاعوا تحديد مجال استقرار المعادن الثلاثة: الأندلوسيت Andalousite، والسيليمانيت 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 والشيسيتية 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؟

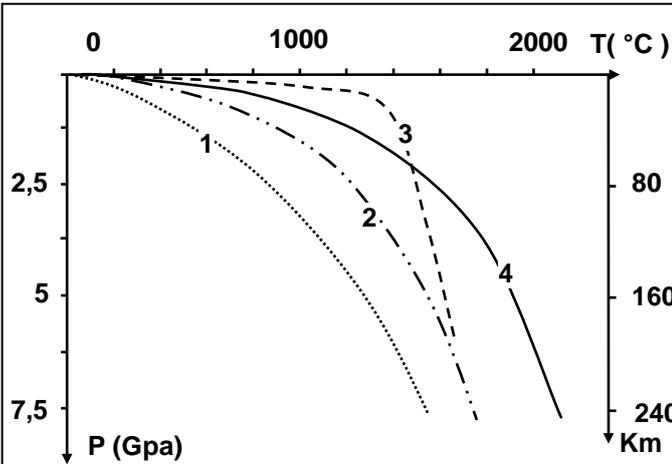
الوثيقة 6: ظروف التحول في الطبيعة

★ 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 النشطة.

★ تخضع المواد في باطن الأرض لضغط تتناسب أهميته مع العمق وكثافة الصخور التي تلوه. 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 الجزئي 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 لصفحة دقيقة لبازلت محيطي قديم متحول، مع رسم تفسيري لهذه الملاحظة. يبرز هذا الشكل مظهرا من مظاهر التحول، بين ذلك.

طين	شيبست	ميكاشيست	غنايس
طين ألوميني	سيرسيت	موسكوفيت	أندلوسيت
سلكاتات مميهة + Ca		Muscovite	فلدسبات بوتاسي
طين حديد مغيزي	كلوريت	بجادي Grenat	
		بيوتيت Biotite	
تحويل متزايد ←			
الشكل ب: متتالية تحولية لصخور طينية وتركيبها العيداني.			



الشكل أ: تحول الكلوكوفان إلى أكتوت (مقبول أخضر) في بازلت متحول

★ 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.

حل معطيات الجدولين أ و ب واستنتج.

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 سيلمانيت + مرو + بيوتيت	بيوتيت وسيلمانيت (اختفاء الموسكوفيت)
غنايس أبيض	كوردبيريت + مرو	اختفاء البيوتيت

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

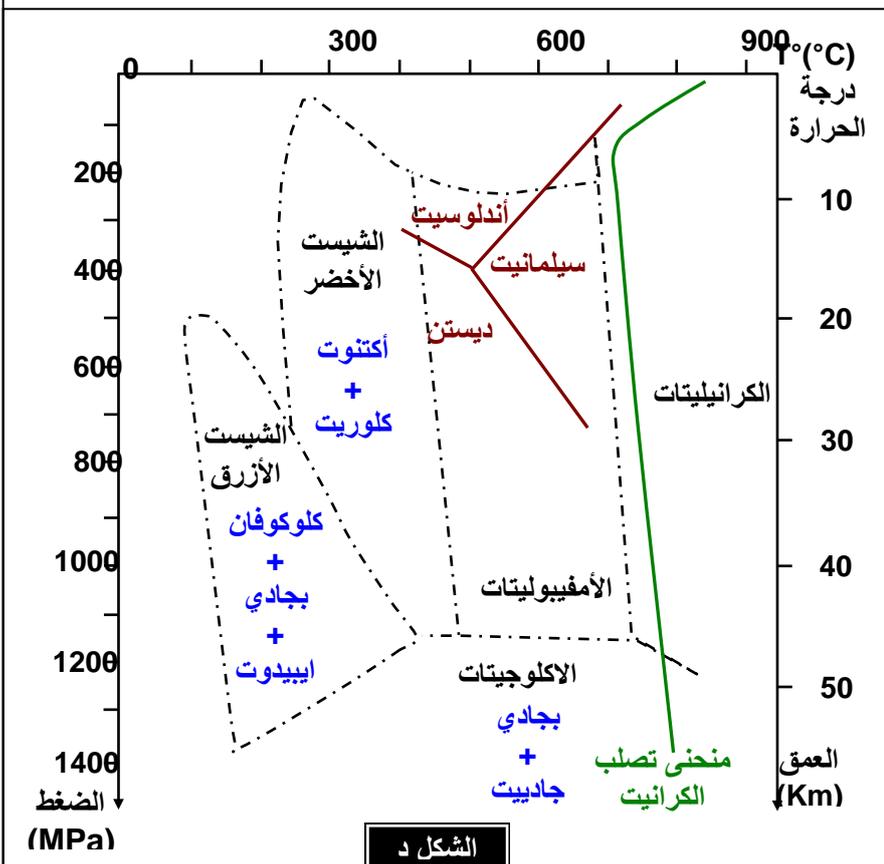
انطلاقا من كل المعطيات السابقة، أعط تعريفا لمفهوم التحول، المعدن المؤشر والمتتالية التحولية.

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

(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).

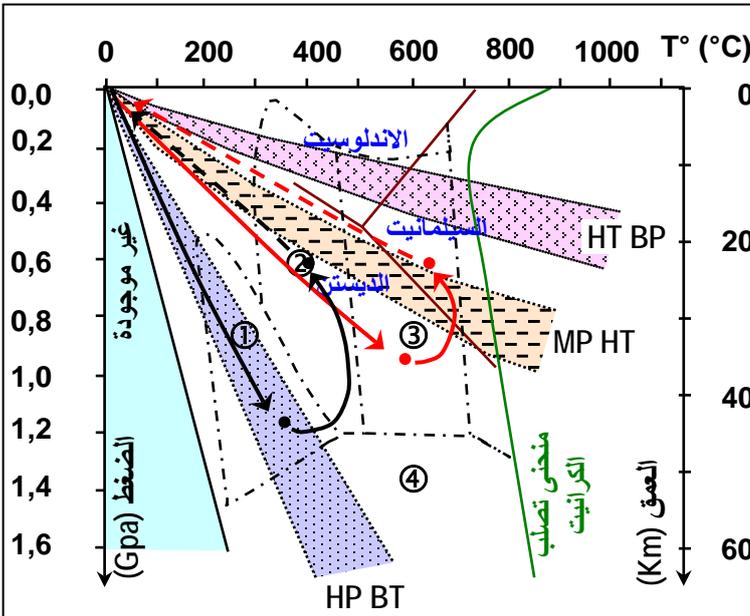
← ماذا تستنتج من معطيات الشكل د، إذا علمت أن للشيبست الأخضر والشيبست الأزرق والأمفيبوليت والاكوجيت، تركيب كيميائي مماثل للتركيب الكيميائي لكل من البازلت والغابرو ؟

← أعط تعريفا دقيقا لسحنة التحول وللسلسلة التحولية.



الشكل د

الوثيقة 8: مجالات التحول في الطبيعة.



- ① = مجال الشيست الأزرق
② = مجال الشيست الأخضر
③ = مجال الأمفيبوليتات
④ = مجال الاكلوجيتات
- HT BP = ضغط منخفض - حرارة مرتفعة
MP HT = ضغط متوسط إلى مرتفع - حرارة مرتفعة
HP BT = ضغط عالي - حرارة منخفضة
- مسار التحول لقطعة من البازلت الأوفيويتي الألبى =
مسار التحول لقطعة من الميكاشيست للغلاف القاري =

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.

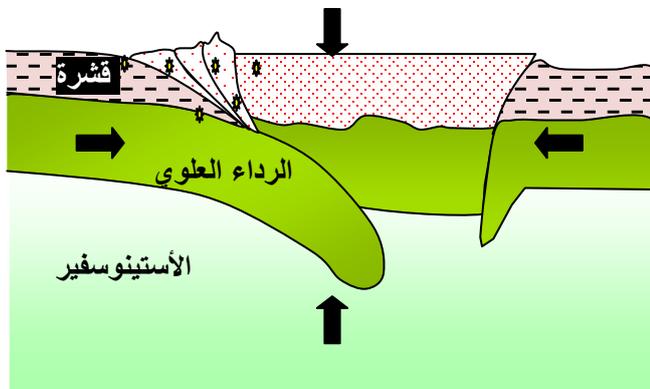
★ في مناطق الطمر، يرتفع الضغط بسرعة، في حين يكون ارتفاع الحرارة منخفضا فيحصل تحول دينامي.

★ 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.

الوثيقة 9: ظروف التحول في مناطق الاصطدام.

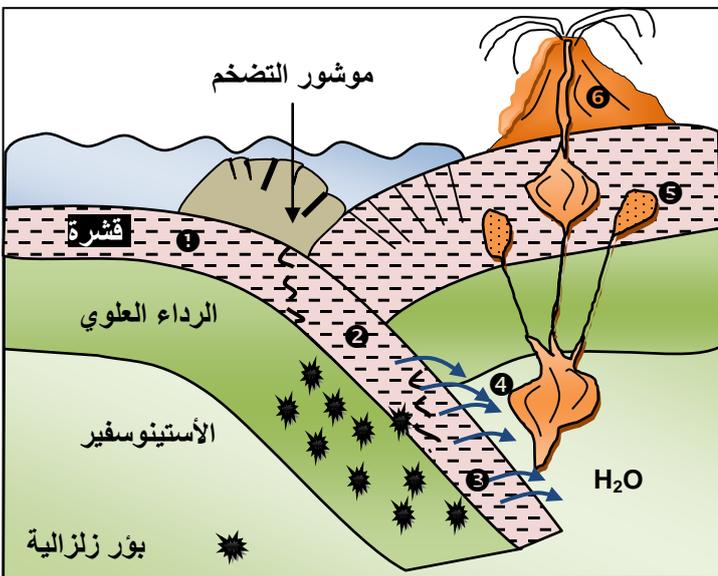


يعود التحول في مناطق الاصطدام إلى ارتفاع متزامن لدرجة الحرارة والضغط. (ضغط موجه ناتج عن القوى التكتونية وضغط الكتلة الصخرية).

التحول بهذه المناطق هو تحول دينامي حراري. استخراج ظروف التحول في مناطق الاصطدام.

ضغط الكتلة الصخرية
قوى تكتونية انضغاطية
توازن تضاعفي

الوثيقة 10: ظروف التحول في مناطق الطمر.



عند حدوث الطمر، ينفرز الغلاف الصخري المحيطي تحت الغلاف الصخري القاري، فتتغير الظروف التي تخضع لها الصخور المنغرفة 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 انغرتت. استخراج ظروف التحول في مناطق الطمر.

- 1) سحنة الشيست الأخضر ④ تحرير الماء وانصهار جزئي
- 2) سحنة الشيست الأزرق ⑤ تصلب الصهارة في العمق
- 3) سحنة الاكلوجيت ⑥ تدفق الصهارة إلى السطح