علوم الحياة والأرض

السنة الثانية من سلك البكالوريا

شعبة العلوم التجريبية

مسلك العلوم الفيزيائية

إعداد: الأستاذ يوسف الأندلسي

2
باك
ع . ف

تقديم

بسم الله الرحمان الرحيم

لقد تم انجاز هذا الكتاب في مادة علوم الحياة والأرض بالسنة الثانية من سلك البكالوريا، مسلك العلوم الفيزيائية، وفقا للوثيقة الإطار الموضوعة من طرف وزارة التربية الوطنية.

نسعى من انجاز هذا العمل، توفير معين بيداغوجي يعتمد من طرف التلاميذ والمدرسين. وذلك بعرض الوحدات الأساسية لمختلف الدروس المقررة، على شكل وثائق بيداغوجية (صور، رسوم تخطيطية، معطيات ونتائج تجريبية، رسوم بيانية، خرائط ومقاطع جيولوجية، نصوص علمية، خطاطات تركيبية ...) هي عبارة عن أنشطة متنوعة تراعي تسلسل الوحدات والفصول للدروس المقررة.

ترمي مختلف الأنشطة المدرجة في هذا العمل، مساعدة كل من الأستاذ والتلميذ على انجاز المقرر في أحسن الظروف، من خلال منهجية تراعي خصوصيات هذا المسلك التعليمي. إلا أن هذه الأنشطة لا يمكنها أن تعوض الملاحظة المباشرة أو المناولة أو التجربة في حالة إمكانية انجازها.

أملنا أن يساهم هذا الكتاب في تدليل الصعاب المرتبطة بتدريس مادة علوم الحياة والأرض في هذا المسلك التعليمي، وتسهيل بلوغ الأهداف وتحقيق كفايات المادة.

الأستاذ يوسف الأندلسي

الفهرس

الوحدة الأولى: استهلاك المادة العضوية وتدفق الطاقة	الفصل الأول: تحرير الطاقة الكامنة في المواد العضوية	I – الكشف عن أنماط التفاعلات المسئولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية: II – انحلال الكليكوز على مستوى الجبلة الشفافة III – التأكسدات التنفسية ودور الميتوكندريات. IV – دور التأكسدات التنفسية في إنتاج ATP: V – مقارنة الحصيلة الطاقية للتنفس والتخمر:	5
	الفصل الثاني: دور العضلة الهيكلية المخططة في تحويل الطاقة	I – الدراسة التجريبية للتقلص العضلي. II – الظواهر التي تصاحب التقلص العضلي. III – بنية وفوق بنية النسيج العضلي. IV – آلية التقلص العضلي. V – كيف يتم تجديد الطاقة اللازمة للتقلص العضلي ؟	19
الوحدة الثانية: طبيعة الخبر الوراثي وآلية تعبيره – نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي	الفصل الأول: طبيعة الخبر الوراثي	I – أين يتواجد الخبر الوراثي؟ II – انتقال الخبر الوراثي عبر الانقسام الخلوي. III – الطبيعة الكيميائية للمادة الوراثية. IV – التركيب الكيميائي لجزيئة ADN وبنيتها. V – العلاقة بين الصبغين، الصبغيات، و ADN. VI – آلية مضاعفة جزيئة ADN.	31
	الفصل الثاني: تعبير الخبر الوراثي	I – مفهوم الصفة، المورثة، الحليل، والطفرة. II – آلية تعبير الخبر الوراثي: من المورثة إلى البروتين.	51
	الفصل الثالث: نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي	I – مراحل الانقسام الاختزالي II – دور الانقسام الاختزالي والإخصاب في تخليط الحليلات.	62
	الفصل الرابع:القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية عند ثنائيات الصيغة الصبغية	I – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة السيادة التامة: الهجونة الثنائية. II – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة تساوي السيادة III – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة المورثة المميتة. IV – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة مورثة مرتبطة بالجنس. V – دراسة انتقال زوجين من الحليلات: الهجونة الثنائية. VI – قياس المسافة بين مورثتين.	70

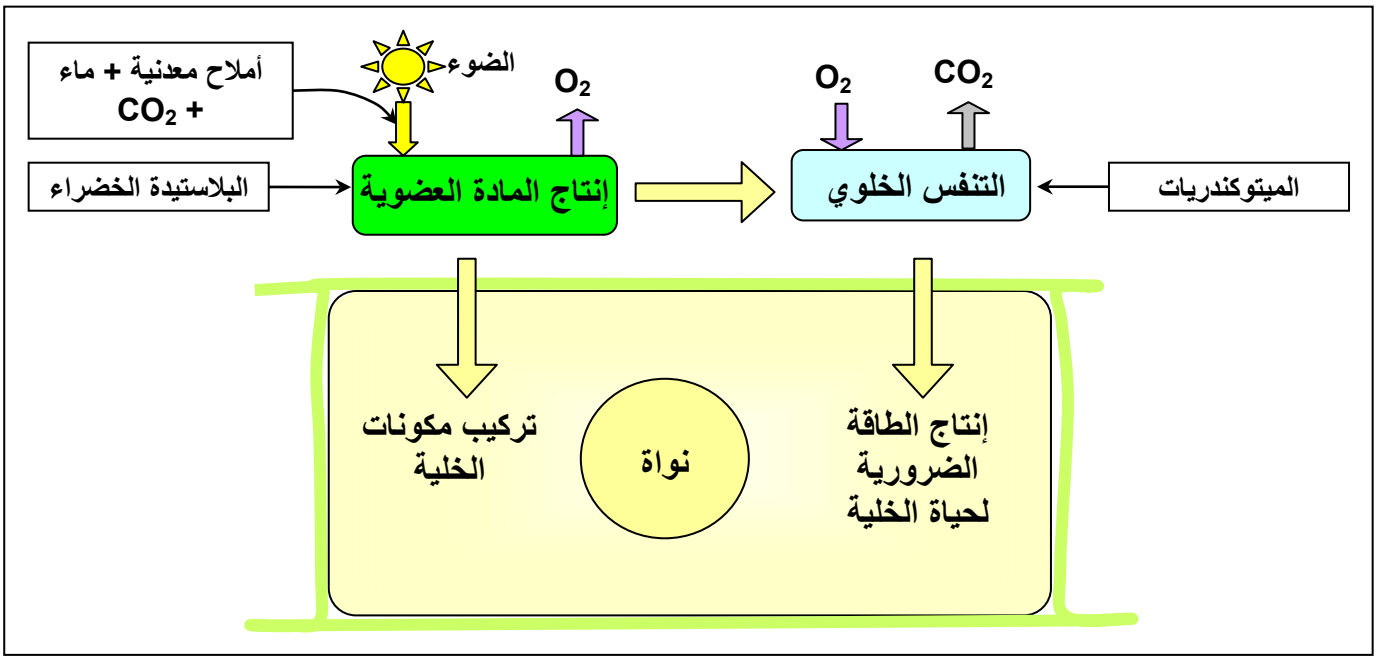
<table>
<tr>
<td rowspan="2">الوحدة الثالثة: استعمال المواد العضوية وغير العضوية</td>
<td>الفصل الأول: النفايات المنزلية الناتجة عن استعمال المواد العضوية</td>
<td>I – التخلص من النفايات المنزلية وطرق معالجتها: الانتقاء.
① حجم النفايات المنزلية ومكوناتها:
② الانتقاء:
أ – تعريف الانتقاء:
ب – مراحل الانتقاء:
③ خلاصة:
II – التخلص من النفايات المنزلية وطرق معالجتها: تقنية إعادة الاستعمال والتصنيع.
① إنتاج السماد العضوي:
② إنتاج غاز الميثان:
③ الترميد:
④ حصيلة:
III – آثار النفايات المنزلية على البيئة والصحة والاقتصاد.
① آثار النفايات المنزلية على البيئة:
② آثار النفايات المنزلية على الصحة:
③ آثار النفايات المنزلية على الاقتصاد:
IV – حصيلة عامة على شكل خطاطة:</td>
<td>96</td>
</tr>
<tr>
<td>الفصل الثاني: التلوثات الناتجة عن استهلاك المواد الطاقية واستعمال المواد العضوية وغير العضوية</td>
<td>I – الملوثات والأوساط الملوثة.
① تلوث الهواء:
أ- الاحتباس الحراري
a – آلية تكون الاحتباس الحراري:
b – دور الأنشطة البشرية في الاحتباس الحراري:
ب- ثقب الأوزون وعلاقته بتلوث الهواء:
ج- الأمطار الحمضية وعلاقتها بتلوث الهواء:
② تلوث الماء:
تلوث المياه العذبة:
ب- تلوث المياه المالحة:
ج- تلوث التربة:
II – آثار التلوث على الصحة والبيئة والاقتصاد.
① آثار التلوث على الصحة.
② آثار التلوث على البيئة.
③ آثار التلوث على الاقتصاد.
III – مصادر الطاقة البديلة.
① بدائل استهلاك المواد الطاقية ذات أصل بيوكيميائي.
② بدائل استهلاك المواد الطاقية ذات أصل فيزيائي.
أ- الطاقة المائية:
ب- الطاقة الجيوحرارية:
ج- الطاقة الريحية:
د- الطاقة الشمسية:
ه- الطاقة النووية:</td>
<td>106</td>
</tr>
</table>

	الفصل الثالث: المواد المشعة والطاقة النووية	I – المواد الإشعاعية النشاط. ① اكتشاف النشاط الإشعاعي: ② مكونات الذرة: ③ الإشعاعات المنبعثة من المواد المشعة: ④ بعض خاصيات المواد الإشعاعية: أ- التناقص الإشعاعي: ب- الانشطار النووي: II – مزايا المواد الإشعاعية النشاط. ① توظيف المواد المشعة في إنتاج الطاقة: ② توظيف المواد المشعة في تأريخ المواد: ③ توظيف المواد المشعة في الميدان الصناعي والطبي: أ- التعقيم والحفاظ على الأغذية: ب- في المجال الطبي: ج- في البحث العلمي: III – أخطار التلوث النووي. ① أخطار التلوث النووي على الصحة: ② أخطار التلوث النووي على البيئة: IV – إشكالية النفايات النووية والبدائل البيئية. ① تصنيف النفايات النووية: ② إشكالية تدبير النفايات النووية: ③ إشكالية البدائل البيئية لتدبير النفايات النووية:	116
	الفصل الرابع: مراقبة جودة وصحة الأوساط الطبيعية	I – معايير قياس جودة الأوساط المائية. ① المعايير الفيزيائية - الكيميائية: ② المعايير البيولوجية (تقدير المعامل الإحيائي): II – معايير قياس جودة الهواء والتربة. ① مراقبة جودة الهواء: ② مراقبة جودة التربة:	124
الوحدة الرابعة: الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية وعلاقتها بتكتونية الصفائح	الفصل الأول: السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح	I – أنواع السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح. II – خصائص السلاسل الجبلية الحديثة. III – التشوهات التكتونية المميزة لسلاسل الطمر والاصطدام.	127
	الفصل الثاني: التحول وعلاقته بدينامية الصفائح	I – الصخور المتحولة المنتشرة بسلاسل الاصطدام. II – الصخور المتحولة المنتشرة بسلاسل الطمر. III – عوامل التحول. IV – مفهوما المعدن المؤشر والسلسلة التحولية. V – مفهوم التحول الدينامي والتحول الدينامي الحراري.	139
	الفصل الثالث: الكرانيتية وعلاقتها بظاهرة التحول	I – الكرانيت الاناتيكتي Le granite d'anatexie مثال كرانيت أوريكا العليا: II – الأناتيكتية وعلاقتها بتشكل السلاسل الجبلية: III – اندساس الصهارة الكرانيتية وتحول التماس: IV – مقارنة الكرانيت الأناتيكتي والكرانيت الاندساسي:	149

الوحدة الأولى

استهلاك المادة العضوية وتدفق الطاقة

مدخل عام:



★ النباتات اليخضورية هي كائنات حية ذاتية التغذية Autotrophe، تقوم بإنتاج المواد العضوية، من سكريات، دهنيات، وبروتيدات، انطلاقا من الضوء والماء والأملاح المعدنية وثنائي أكسيد الكربون، وذلك بواسطة ظاهرة التركيب الضوئي.

✓ خلال المرحلة المضاءة من التركيب الضوئي، يتم تحويل الطاقة الضوئية الملتقطة من طرف خلايا النبات، إلى طاقة كيميائية على شكل جزيئات ATP (الأدينوزين ثلاثي الفوسفات Adenosine Triphosphate) حسب التفاعل التالي:

$$ADP + Pi + \text{طاقة} \longrightarrow ATP$$

✓ خلال المرحلة المظلمة، تستعمل الطاقة المخزنة في ATP في تفاعلات تركيب المواد العضوية.

★ تستعمل الكائنات الحية غير ذاتية التغذية Auxotrophe المادة العضوية لتجديد مكوناتها من جهة، وللتزود بالطاقة اللازمة لنشاطها من جهة أخرى. وبما أن شكل الطاقة المستعملة من طرف الخلايا الحية هو ATP فلا بد من استخلاص الطاقة الكامنة في المواد العضوية المستهلكة لتصبح على شكل ATP، يمكن بعد ذلك استعماله في مختلف الظواهر المستلزمة للطاقة، كالنقل النشيط، الحركة، والتركيبات الخلوية.

1) ما هي الظواهر الخلوية التي تمكن من استخلاص الطاقة على شكل ATP من المواد العضوية المستهلكة؟
2) كيف تستفيد الخلية من ATP المستخلص؟

الوحدة الأولى، الفصل الأول:

تحرير الطاقة الكامنة في المواد العضوية

تمهيد: تحتاج جميع الخلايا إلى طاقة تمكنها من القيام بمختلف الأنشطة الخلوية، هذه الطاقة يتم استخلاصها من المادة العضوية من خلال ظواهر إستقلابية مختلفة.

- **ما هي الظواهر الإستقلابية التي توفر الطاقة للخلايا؟**
- **ما هي العضيات المتدخلة خلال هذه العملية؟**
- **كيف تقوم الخلايا باستخلاص الطاقة الكامنة على مستوى المادة العضوية؟**

I – الكشف عن أنماط التفاعلات المسئولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية:

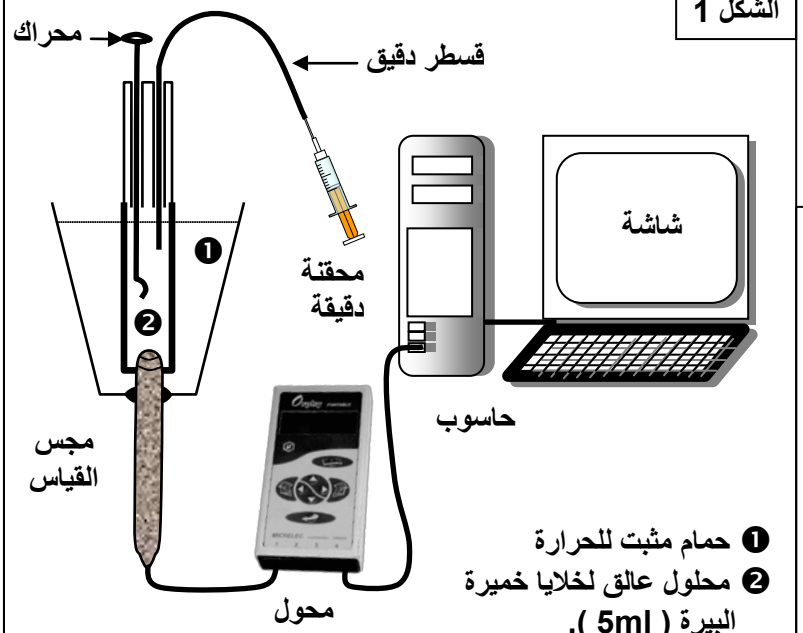
① معطيات تجريبية:

أ – تجربة 1: أنظر الوثيقة 1

الوثيقة 1: الكشف عن أنماط التفاعلات المسئولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية (تجربة 1):

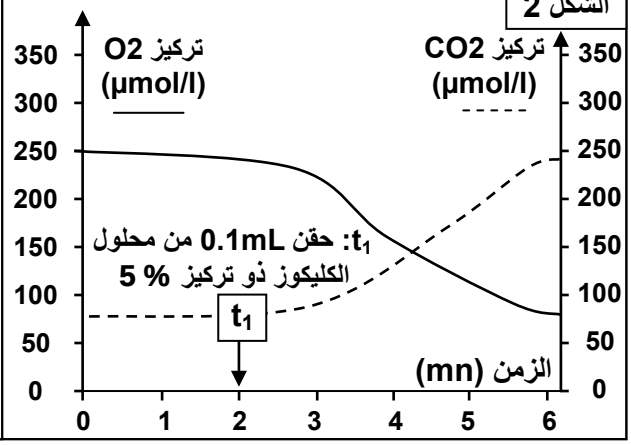
نعرض محلولا عالقا لخلايا الخميرة (10g/l) للتهوية بواسطة مضخة لمدة 30 ساعة. نضع 5ml من هذا المحلول داخل مفاعل حيوي لعدة ExAO (الشكل 1). نتتبع بفضل العدة تطور تركيز الأكسجين (O_2) المذاب داخل المفاعل الحيوي وتركيز ثنائي أكسيد الكربون (CO_2). ينقل مجس القياس، إشارات كهربائية إلى المرافق البيني (محول) الذي يحولها إلى معطيات رقمية يعالجها الحاسوب ويترجمها إلى مبيان (الشكل 2). في الزمن t_1 نحقن داخل المفاعل 0.1ml من محلول الكليكوز بتركيز 5 %.

الشكل 1



1) صف تطور تركيز كل من الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون في المفاعل الحيوي، قبل إضافة الكليكوز وبعدها.
2) فسر النتائج المحصل عليها. ماذا تستنتج؟

الشكل 2



1) قبل إضافة الكليكوز لمحلول الخميرة، يبقى تركيز كل من الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون مستقرا. ومباشرة بعد إضافة الكليكوز للمحلول، نلاحظ انخفاضا تدريجيا لتركيز الأكسجين، إلى أن يستقر في قيمة 80 µmol/l، وارتفاعا تدريجيا لتركيز ثنائي أكسيد الكربون، إلى أن يستقر في قيمة 235 µmol/l.

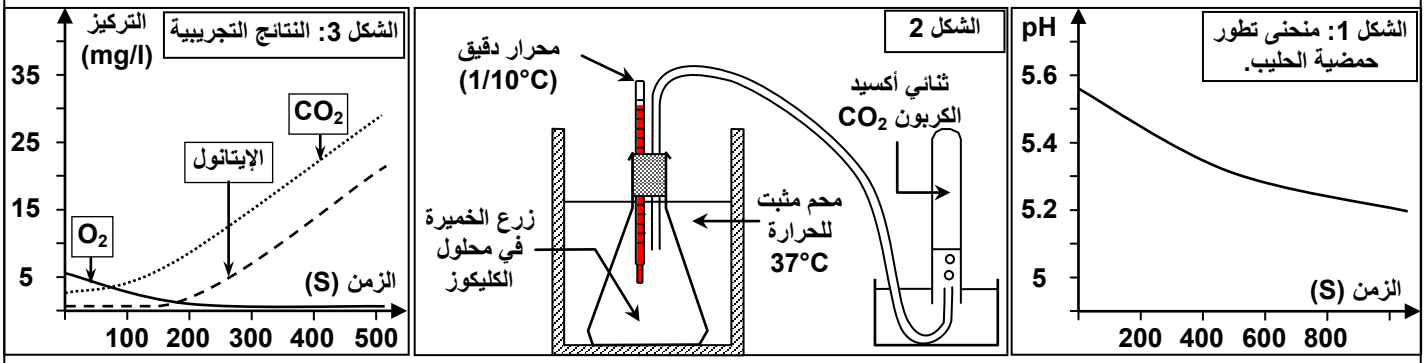
2) إن التغيرات الملاحظة على تركيز كل من الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون مباشرة بعد إضافة الكليكوز لمحلول الخميرة، تفسر بكون خلايا الخميرة استهلكت الأكسجين وطرحت ثنائي أكسيد الكربون، أثناء هدمها للكليكوز الذي يعتبر مصدرا للطاقة بالنسبة لهذه الخلايا. أما استقرار تركيز الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون فيُفسر بالهدم الكلي للكليكوز من طرف خلايا الخميرة.
نستنتج من هذه المعطيات، أن خلايا الخميرة تقوم باستهلاك الأكسجين لهدم الكليكوز، مع طرح ثنائي أكسيد الكربون، إنها ظاهرة التنفس الخلوي Respiration cellulaire.

ب – تجربة 2: أنظر الوثيقة 2

الوثيقة 2: الكشف عن أنماط التفاعلات المسئولة عن تحرير الطاقة الكامنة في المادة العضوية (تجربة 2):

قصد دراسة سلوك خلايا الخميرة **La levure de bière** تُجاه المواد العضوية في غياب الأكسجين (وسط حي لا هوائي)، نقوم بالتجارب التالية:

★ نأخذ عينة من الحليب الكامل الطري ونفرغها في بوقال Bocal ذي حجم 250 ml. نحرص على ملء البوقال إلى أخره لطرد الهواء. نضع داخل الحليب مقياس ph الذي نربطه بعدة **ExAO** قصد تتبع تطور حمضية الحليب أثناء عملية التخمر (تحول الكليكوز المكون للاكتوز إلى حمض لبني، ويتم ذلك دون طرح co_2). نترك التحضير لمدة 15 يوما في درجة حرارة ملائمة (37°C)، بعد ذلك نتتبع تطور قيمة ph بواسطة عدة ExAO، فنحصل على النتائج المبينة على الشكل 1.



1) صف تطور المنحنى واستنتج العلاقة بين هذا التطور وهدم الكليكوز علما أن الوسط أصبح غنيا بالحمض اللبني (Acide lactique).

★ نضع في قارورة محلول الكليكوز (5g/l). نزرع في هذا المحلول خميرة البيرة. ثم نضع التحضير في ماء ساخن (37°C) (يمثل الشكل 2 العدة التجريبية). بعد ذلك استُعملت عُدة ExAO لقياس تغير تركيز كل من الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون والكحول الإيتيلي (الإيتانول Ethanol). يمثل الشكل 3، النتائج المحصل عليها.

2) حلل النتائج المحصل عليها خلال هذه التجربة.
3) فسر هذه النتائج ثم استنتج.
4) ماذا تستخلص من كل هذه المعطيات التجريبية؟

1) بعد 15 يوما في درجة حرارة ملائمة (37°C) نلاحظ انخفاض قيمة ph أي ارتفاع قيمة حمضية الحليب. نستنتج من هذه الملاحظة أنه تم هدم الكليكوز المكون للاكتوز Lactose، وتحوله إلى حمض لبني، وذلك في غياب الأوكسجين. نتكلم ادن عن ظاهرة التخمر، وهو تخمر لبني La fermentation lactique.

2) نلاحظ في بداية التجربة، إن الوسط يتوفر على نسبة ضعيفة من الأكسجين، لكن هذه النسبة انخفضت تدريجيا إلى أن تنعدم بعد حوالي 200s، بالموازاة مع ذلك، ارتفعت نسبة ثنائي أكسيد الكربون طيلة مراحل التجربة، كما ظهر الإيتانول في الوسط ابتداء من الثانية 200 من بداية التجربة.

3) يدل استهلاك الأكسجين في بداية التجربة على أن خلايا الخميرة اعتمدت على ظاهرة التنفس الخلوي لهدم الكليكوز. لكن مباشرة بعد اختفاء الأكسجين في الوسط، بدأت خلايا الخميرة في طرح الإيتانول، واستمرت في طرح ثنائي أكسيد الكربون. نستنتج من هذا أنه تم هدم الكليكوز، وتحوله إلى إيتانول، وذلك في غياب الأوكسجين. نتكلم ادن عن ظاهرة التخمر، وهو تخمر كحولي La fermentation alcoolique.

4) تعمل مختلف الخلايا على استخلاص الطاقة اللازمة لنشاطها من المواد العضوية، وذلك من خلال نوعين من التفاعلات:
- ✓ التنفس الخلوي الذي يتجلى في تفاعلات حي هوائية (تحدث بوجود الأكسجين).
- ✓ التخمر الذي يتجلى في تفاعلات حي لاهوائية (تحدث في غياب الأكسجين).

② حصيلة:

تستعمل الخلايا الكليكوز كمستقلب طاقي، ويمكنها هدمه بطريقتين مختلفتين حسب ظروف الوسط:

- ✓ التنفس: في وسط حي هوائي Aérobie، يتم الهدم الكلي للكليكوز وتحويله إلى CO_2 وماء وهي مواد معدنية دون قيمة طاقية.
- ✓ التخمر: في وسط حي لاهوائي Anaérobie، يخضع الكليكوز لهدم غير تام، وتحويله إلى جزيئات عضوية لا تزال تخزن الطاقة الكيميائية، ونجد نوعين من التخمر:

- التخمر اللبني هو طريقة لهدم الكليكوز، حيث ينتج عن ذلك تكون الحمض اللبني دون طرح CO_2.

$$C_6H_{12}O_6 \dashrightarrow 2CH_3 - CHOH - COOH$$

- التخمر الكحولي هو طريقة لهدم الكليكوز، حيث ينتج عن ذلك كحول هو الإيتانول مع طرح CO_2.

$$C_6H_{12}O_6 \dashrightarrow 2CH_3 - CH_2OH + 2CO_2$$

II – انحلال الكليكوز على مستوى الجبلة الشفافة Le hyaloplasme

① تعرف البنيات الخلوية المتدخلة في التنفس والتخمر

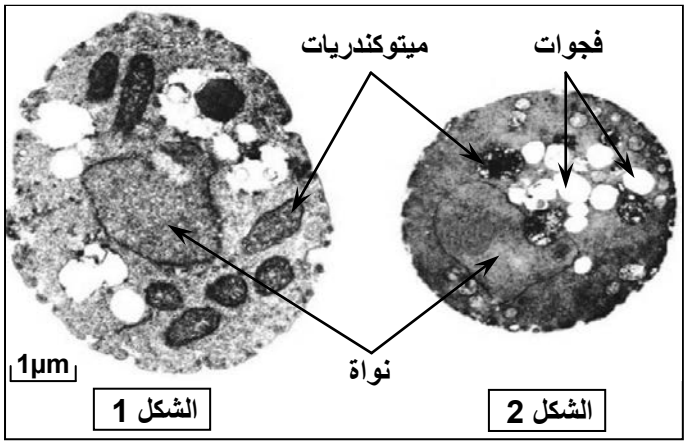
أ - **تجارب وملاحظات:** أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: البنيات الخلوية المتدخلة في التنفس والتخمر

خميرة البيرة فطر مجهري وحيد الخلية، يمكن أن يعيش في وسط حي هوائي ووسط حي لاهوائي.

★ توضع الخميرة في وسط غني بالأكسجين يحتوي على الكليكوز، فيلاحظ بعد مرور يوم أن عدد الخمائر تضاعف كثيرا مع انخفاض كميتي الكليكوز والأكسجين، وارتفاع كميتي CO_2 وH_2O في الوسط. وتبين الملاحظة المجهرية أن خلايا الخمائر غنية بعضيات خلوية تسمى الميتوكندريات (الشكل 1).

★ توضع الخميرة في وسط يفتقر للأكسجين يحتوي على الكليكوز، فيلاحظ بعد مرور يوم أن عدد الخمائر زاد نسبيا، مع انخفاض كمية الكليكوز وارتفاع كمية CO_2، مع تكون كحول الايثانول C_2H_5OH في الوسط. وتبين الملاحظة المجهرية أن خلايا الخمائر تحتوي على ميتوكندريات قليلة وضامرة (الشكل 2).



انطلاقا من هذه المعطيات التجريبية حدد العلاقة بين وجود الميتوكندريات، ووجود ثنائي الأكسجين في الخلية، مبينا موقعي كل من التنفس والتخمر داخل الخلية.

ب- تحليل واستنتاج:

يتبين من هذه المعطيات أنه في الظروف الحي هوائية، أي خلال ظاهرة التنفس، يتطلب هدم الكليكوز وجود عضيات خلوية خاصة هي الميتوكندريات (Mitochondries)، بينما في الظروف الحي لاهوائية، أي خلال ظاهرة التخمر، لا يتطلب هدم الكليكوز وجود الميتوكندريات.

يبتدئ كل من التنفس والتخمر بمرحلة مشتركة تتم داخل الجبلة الشفافة، وهي انحلال الكليكوز (glycolyse). فتستمر تفاعلات التخمر في الجبلة الشفافة، بينما يتطلب التنفس تدخل الميتوكندريات.

② مراحل انحلال الكليكوز La glycolyse

أ - التركيب الجزيئي للكليكوز والـ ATP: أنظر الوثيقة 4.

تستخلص الخلايا الحية الطاقة انطلاقا من المدخرات القيتية كالسكريات، خاصة الكليكوز الذي يتعرض للانحلال على مستوى الجبلة الشفافة، لينتج مركبات عضوية كحمض البيروفيك Acide pyruvique، ومركبات طاقية كالأدينوزين ثلاثي الفوسفات Adénosine triphosphate ATP.

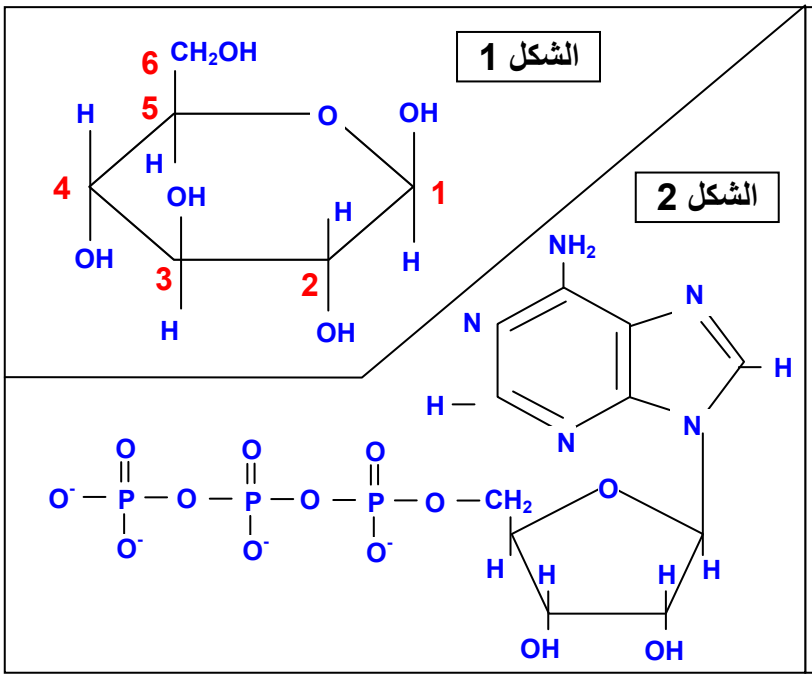
الوثيقة 4:

الشكل 1: التركيب الجزيئي للكليكوز:

الكليكوز $C_6H_{12}O_6$: يتكون من ذرات الكربون والأكسجين والهيدروجين. ترتبط ذرات الكربون فيما بينها بروابط تساهمية.

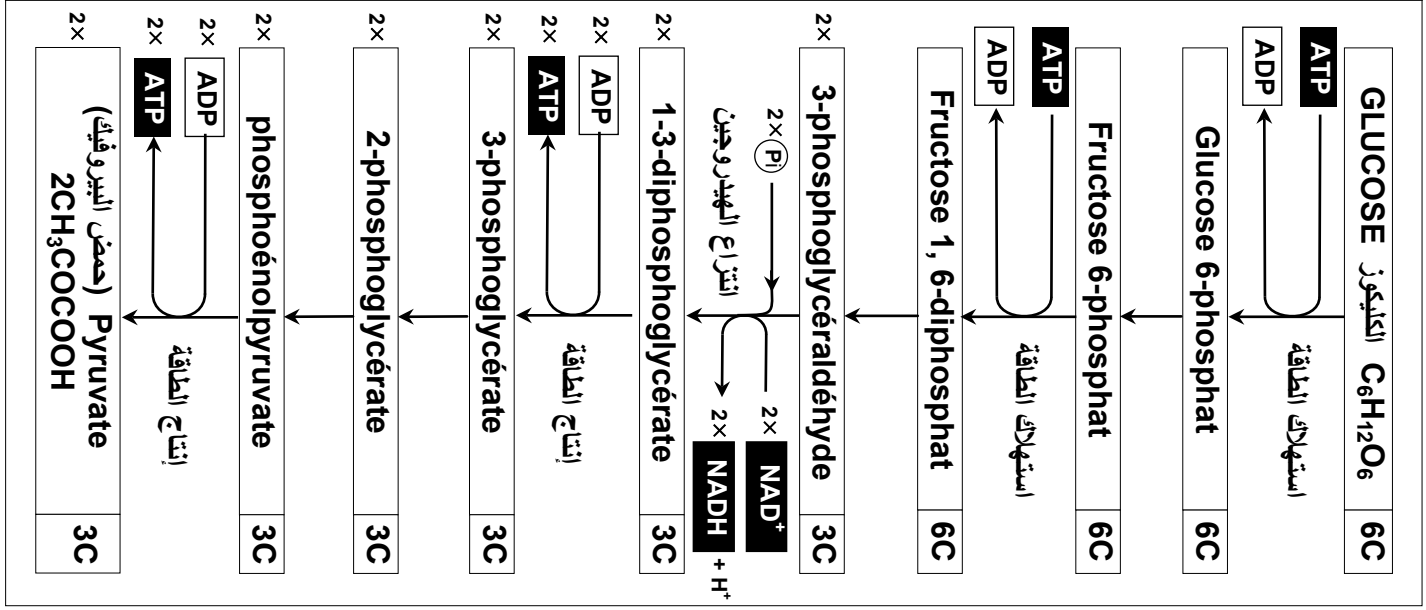
الشكل 2: التركيب الجزيئي لـ ATP:

الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP، جزيئة طاقية تتكون من قاعدة آزوتية وسكر ريبوزي، إضافة إلى ثلاث مجموعات فوسفاتية. تُخزن الروابط التساهمية بين المجموعات الفوسفاتية، طاقة مهمة، يتم توفيرها للخلية للقيام بمختلف أنشطتها وذلك بتحرير إحدى المجموعات الفوسفاتية، فيتحول الـ ATP إلى ADP (أدينوزين ثنائي الفوسفات).



ب- تفاعلات انحلال الكليكوز : أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5 : مراحل انحلال الكليكوز. صف مختلف التحولات التي تتعرض لها جزيئة الكليكوز خلال مراحل انحلالها



داخل الجبلة الشفافة ينحل الكليكوز حسب سلسلة من التفاعلات الكيميائية، المحفزة بأنزيمات نوعية. وهي تفاعلات غير مستهلكة للأكسجين، وتتم على ثلاث مراحل:

- **المرحلة الأولى:** هي مرحلة مستهلكة للطاقة، وذلك بحلمأة جزيئتي ATP، حيث يتم تثبيت مجموعات فوسفاتية على مستوى جزيئة الكليكوز، انطلاقا من جزيئتي ATP، لتتشكل في نهاية هذه المرحلة جزيئة فريكتوز 6,1 ثنائي الفوسفات، مع إنتاج جزيئتي ADP.

- **المرحلة الثانية:** خلال هذه المرحلة تنشطر جزيئة فريكتوز 6,1 ثنائي الفوسفات، إلى جزيئتي غليسيرألديهيد 3 فوسفات، تخضع كل من هاتين الجزيئتين لانتزاع الهيدروجين، ليتم اختزال جزيئتي NAD^+ إلى $NADH+H^+$، إضافة إلى تثبيت الفوسفات اللاعضوي Pi على كل جزيئة غليسيرألديهيد 3 فوسفات، لتعطي جزيئتي حمض غليسيري 3,1 ثنائي الفوسفات.

$$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \dashrightarrow NADH + H^+$$

- **المرحلة الثالثة:** هي مرحلة منتجة للطاقة، حيث يتم تركيب الـ ATP من خلال تفسفر الـ ADP. إذ تسلم جزيئتا الحمض الغليسيري ثنائي الفوسفات، مجموعتيهما الفوسفاتية إلى ADP وتتحولان إلى جزيئتين من حمض البيروفيك (Acide pyruvique $CH_3COCOOH$)، بينما يتحول ADP إلى ATP.

ملحوظة: لكي تستمر عملية انحلال الكليكوز، يجب إعادة أكسدة $NADH + H^+$. وتتم هذه الأكسدة، إما خلال التنفس الخلوي، عند وجود الأوكسجين، أو خلال التخمر في غياب الأوكسجين.

③ الحصيلة الطاقية لانحلال الكليكوز:

انطلاقا من جزيئة واحدة من الكليكوز، يتم الحصول في نهاية انحلاله، على جزيئتين من حمض البيروفيك. مع تشكل جزيئتين $NADH+H^+$، وهي عبارة عن جزيئات ناقلة للإلكترونات يتم استغلالها لاحقا لإنتاج الطاقة. كما تتشكل أربع جزيئات ATP، و في المقابل، يتم استهلاك جزيئتي ATP، مما يجعل الحصيلة الطاقية لانحلال الكليكوز إيجابية، تتجلى في تركيب جزيئتي ATP بالنسبة لكل جزيئة كليكوز.

ويمكن كتابة التفاعل الكيميائي العام لانحلال الكليكوز كما يلي:

$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2Pi + 2NAD^+ \dashrightarrow 2CH_3COCOOH + 2ATP + 2(NADH+H^+)$$

III – التأكسدات التنفسية ودور الميتوكندريات.

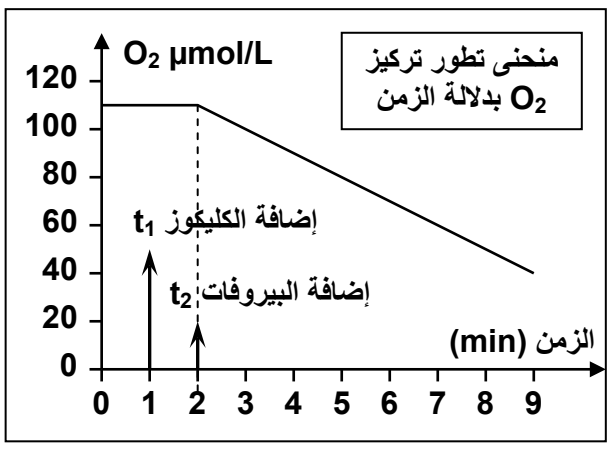
① ماذا يحدث على مستوى الميتوكندري؟

أ - معطيات تجريبية:

لمعرفة مصير حمض البيروفيك الناتج عن انحلال الكليكوز، أنجزت التجارب المبينة على الوثيقة 6.

الوثيقة 6 : مصير حمض البيروفيك بعد انحلال الكليكوز.

نهرس خلايا كبد فأر في محلول عيار له ph=7.4، من أجل عزل الميتوكندريات. نعرض الخليط لنبذ ذي سرعة كبيرة يمكن من الحصول على قعيرة culot من الميتوكندريات.
نخلط جزءا من القعيرة بمحلول عيار ملائم، ونضعه في مفاعل إحيائي لعدة ExAO، ثم نتتبع على شاشة الحاسوب تطور تركيز ثنائي الأوكسجين (المبيان أمامه).
في الزمن t_1 نضيف إلى المفاعل الإحيائي كمية قليلة من الكليكوز، وفي الزمن t_2 نضيف كمية قليلة من حمض البيروفيك.



1) حلل منحنى تطور تركيز O_2 بدلالة الزمن.
2) على ماذا يدل تغير كمية O_2 في الوسط ؟
3) ما هي الظاهرة الفيزيولوجية التي يعبر عنها المنحنى وأين تتم؟
4) ماذا تستنتج بخصوص التفاعلات التي تتم داخل الميتوكندري؟

ب- تحليل واستنتاج:

1) قبل إضافة الكليكوز إلى المفاعل الإحيائي في الزمن t_1، يكون تركيز الأكسجين مستقرا، وعند إضافة الكليكوز في الزمن t_1 لا يتغير تركيز الأكسجين. أما عند إضافة حمض البيروفيك فإننا نلاحظ انخفاضا في تركيز الأكسجين في المفاعل الإحيائي.

2) يدل تغير كمية الأوكسجين في الوسط على استهلاكه من طرف الميتوكندريات خلال نشاطها.

3) استهلاك الأكسجين يدل على أن الأمر يتعلق بظاهرة التنفس الخلوي، والتي تتم على مستوى الميتوكندريات.

4) نستنتج أن الميتوكندريات لا تستعمل الكليكوز مباشرة، بل تستعمل ناتج انحلال الكليكوز، الذي هو حمض البيروفيك.

إن التفاعلات الكيميائية التي تطرأ على حمض البيروفيك بوجود الأوكسجين، داخل الميتوكندري، تشكل التأكسدات التنفسية وهي تفاعلات حي هوائية.

ت- حصيلة:

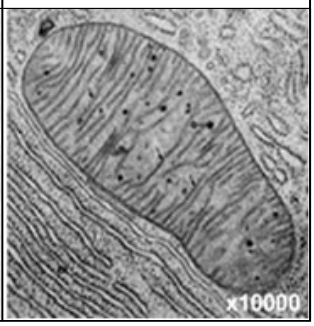
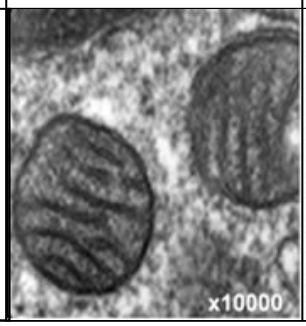
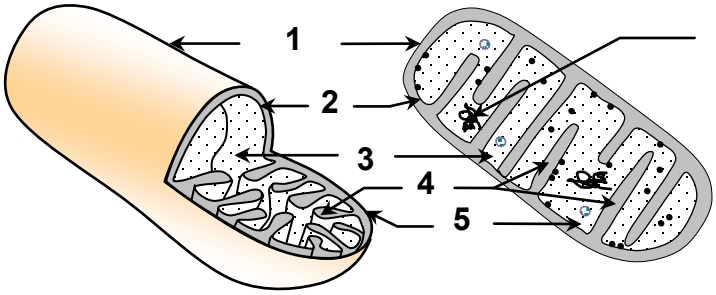
يتعرض مستقلب الكليكوز إلى تفككين:

- الأول خارج الميتوكندري على مستوى الجبلة الشفافة، ولا يحتاج إلى الأوكسجين، ويسمى انحلال الكليكوز.
- الثاني على مستوى الميتوكندري ويحتاج إلى الأوكسجين ويسمى التأكسدات التنفسية. ويعتبر حمض البيروفيك هو المستقلب الذي يتعرض للتأكسدات التنفسية.

② بنية ومكونات الميتوكندريات:

أ - فوق بنية الميتوكندري: أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: فوق بنية الميتوكندري. تظهر الوثيقة صورا الكترونوغرافية للميتوكندريات ورسوما تفسيرية لها. اعتمادا على هذه المعطيات تعرف بنية الميتوكندري.

شكل 1	شكل 2	شكل3
		

الشكل 1 = ملاحظة الكترونغرافية لمقطع طولي للميتوكندري.
الشكل 2 = ملاحظة الكترونغرافية لمقطع عرضي للميتوكندري.
الشكل 3 = رسم تخطيطي تفسيري لفوق بنية الميتوكندري.

عناصر الشكل 3 من الوثيقة:

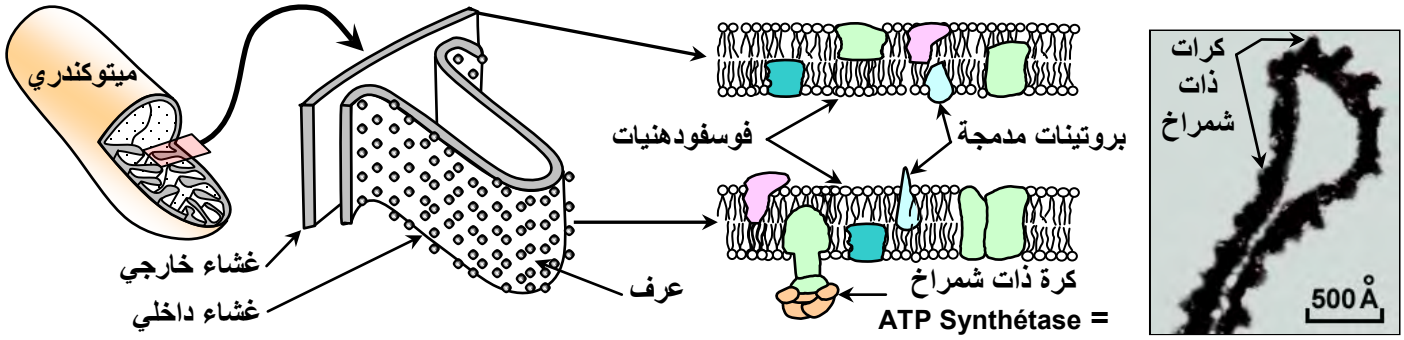
1= غشاء خارجي. 2= غشاء داخلي. 3= ماتريس.
4= أعراف. 5= حيز بيغشائي. 6= ADN.

تعتبر الميتوكندري من عضيات الخلية، وتتكون من غشاء مزدوج، يحيط بمادة عديمة اللون تسمى ماتريس(matrice)، تتخللها تفرعات للغشاء الداخلي تسمى أعراف (crêtes).

ب- **التركيب البيوكيميائي للميتوكندري:** أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: التركيب البيوكيميائي للميتوكندري.

★ يعطي الشكل أسفله من الوثيقة صورة الكترونغرافية للغشاء الداخلي للميتوكندري، بالإضافة إلى رسم تفسيري للبنية الجزيئية للغشاءين الداخلي والخارجي للميتوكندري.



1) ماذا تستخلص من مقارنة البنية الجزيئية للغشاءين الداخلي والخارجي للميتوكندري؟

★ يعطي الجدول التالي بعض مميزات أهم مكونات الميتوكندري:

الغشاء الخارجي	الغشاء الداخلي	الماتريس
▪ بروتينات % 62. ▪ دهنيات % 38 ذات طبيعة شبيهة بتلك الموجودة بالغشاء السيتوبلازمي.	▪ بروتينات % 80. ▪ دهنيات % 20، طبيعتها مختلفة عن الجزيئات الموجودة بالغشاء السيتوبلازمي. ▪ أنزيمات تساهم في تفاعلات أكسدة اختزال. ▪ ATP سنتتاز.	▪ جزيئات صغيرة كربونية. ▪ أنزيمات متنوعة. ▪ ناقلات الالكترونات والبروتونات. ▪ ATP و ADP و Pi.

2) قارن التركيب الكيميائي لكل من الغشاء الداخلي والخارجي للميتوكندري والماتريس، واربط بين هذه المعطيات وبنية الميتوكندري.

1) و2) من خلال معطيات الوثيقة يتبين أن هناك اختلاف في التركيب بين الغشاء الخارجي، والداخلي، والماتريس، إذ تكون الماتريس غنية بالأنزيمات المزيلة للهيدروجين والمزيلة للكربون، غنية بناقلات البروتونات والالكترونات وATP، أما الغشاء الداخلي فيتميز بوجود مركبات أنزيمية مسؤولة عن تفسفر ADP إلى ATP. وتدخل هذه الأنزيمات في تركيب الكرات ذات شمراخ (sphère pédonculée).

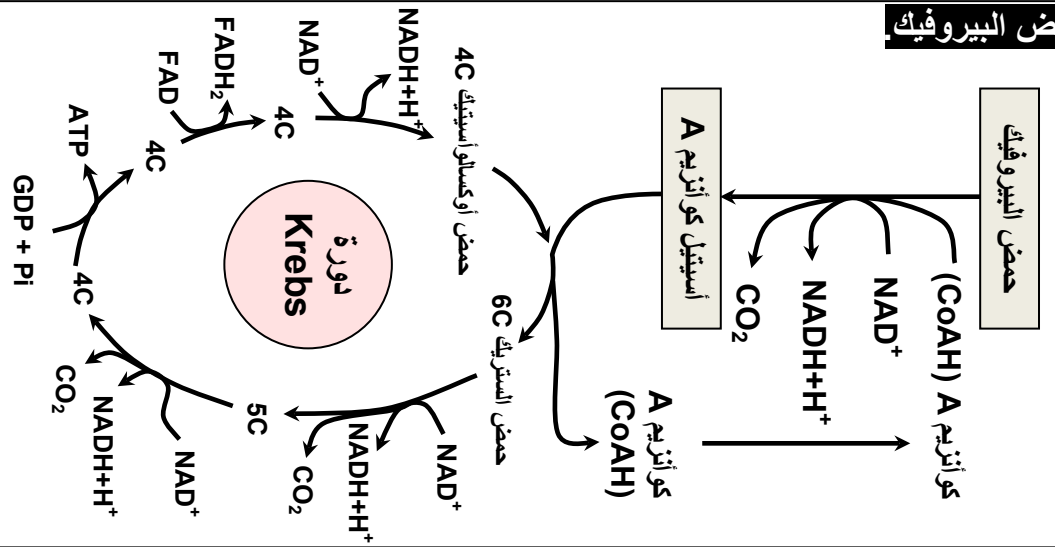
IV – دور التأكسدات التنفسية في إنتاج ATP:

① تفاعلات هدم حمض البيروفيك: أنظر الوثيقة 9.

الوثيقة 9: تفاعلات هدم حمض البيروفيك.

يتعرض حمض البيروفيك داخل الميتوكندري للهدم عبر مجموعة من التفاعلات. تلخص الوثيقة أمامه مراحل هذه التفاعلات.

صف من خلال هذه الوثيقة، مختلف التفاعلات التي تتعرض لها جزيئة حمض البيروفيك على مستوى الميتوكندري.



عند انتقاله إلى الميتوكندري، يخضع حمض البيروفيك لمجموعة من التفاعلات، بوجود الأوكسجين، تسمى التأكسدات التنفسية. تبدأ هذه التفاعلات في الماتريس، حيث يتم هدم حمض البيروفيك عبر مرحلتين:

أ - المرحلة الأولى: تكون الأسيتيل كوأنزيم A.

تحت تأثير أنزيمات نوعية، مزيلة للهيدروجين ومزيلة للكربون، يتكون الأسيتيل كوأنزيمA في الماتريس، انطلاقا من حمض البيروفيك. مع تشكل جزيئة واحدة من $NADH+H^+$، وطرح جزيئة واحدة من CO_2.

$$CH_3CO-COOH + Co\text{-}AH + NAD^+ \dashrightarrow CH_3CO-CoA + NADH_2 + CO_2$$

حمض البيروفيك — كوأنزيم A — أسيتيل كوأنزيم A

ب- المرحلة الثانية: دورة Krebs.

هي دورة بيوكيميائية تتكون من سلسلة من تفاعلات إزالة الكربون، وإزالة الهيدروجين.

- ينضم أستيل كوأنزيم A إلى حمض أوكسالوأسيتيك (4C) ، ليعطي حمض السيتريك (6C).
- يحرر الكوأنزيم A، قصد تثبيت شق أستيل جديد.
- يخضع حمض السيتريك لتفاعلات إزالة الكربون، وإزالة الهيدروجين، بتواجد أنزيمات خاصة، لنحصل في الأخير على حمض الأوكسالوأسيتيك، هذا الأخير يعاود التفاعل مع أستيل كوأنزيمA.
- خلال دورة Krebs يتم تحرير CO_2، واختزال NAD^+ وFAD، وتركب ATP انطلاقا من أكسدة GDP.

$$NAD^+ + 2(H^+ + e^-) \dashrightarrow NADH + H^+$$

$$FAD + 2(H^+ + e^-) \dashrightarrow FADH_2$$

التفاعل الإجمالي لهدم حمض البيروفيك في الماتريس:

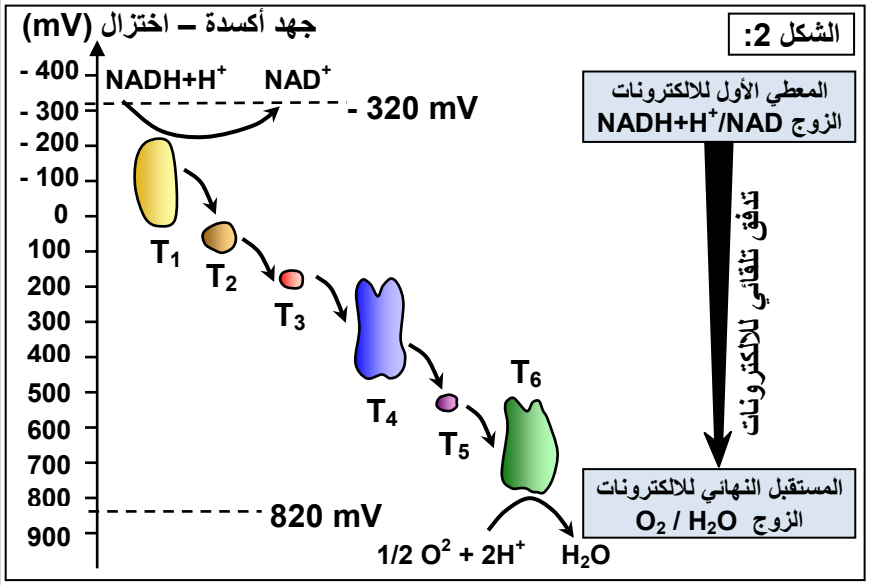
$$CH_3\text{-}CO\text{-}COOH + 4NAD^+ + FAD + GDP + P_i + 3H_2O \dashrightarrow 4NADH+H^+ + ATP + 3CO_2 + FADH_2$$

② مصير جزيئات $NADH+H^+$ و$FADH_2$:

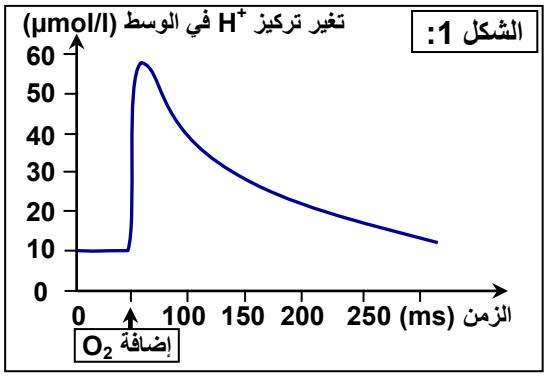
ينتج عن تفاعلات انحلال الكليكوز على مستوى الجبلة الشفافة، وهدم حمض البيروفيك علي مستوى الماتريس، عدد كبير من النواقل المختزلة $NADH+H^+$، و$FADH_2$. فما مصير هذه الجزيئات التي تعتبر مُخزِّنة للطاقة؟

الوثيقة 10: دور بروتينات السلسلة التنفسية في أكسدة النواقل المختزلة.

للتعرف على الدور الذي تلعبه بروتينات السلسلة التنفسية، نقترح دراسة المعطيات التجريبية التالية:
تم وضع ميتوكندريات في شكل محلول عالق في وسط مغلق خال من الأكسجين O_2، ثم تم تتبع تغير تركيز البروتونات H^+ قبل وبعد إضافة الأكسجين (الشكل 1). كما نعطي قيم جهد الأكسدة اختزال لدى بروتينات السلسلة التنفسية (T).



انطلاقا من هذه المعطيات، ومعطيات الوثيقة 11 ، وضح كيف تحصل الأكسدة التنفسية، وأبرز أهميتها في تكون ممال البروتونات H^+ من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكندري.



★ الشكل 1:

⇦ قبل إضافة الأكسجين إلى الوسط، كان تركيز البروتونات H^+ ثابت لكن مباشرة بعد إضافة الأكسجين إلى الوسط، عرف تركيز البروتونات H^+ ارتفاعا سريعا ليبدأ بالانخفاض من جديد بشكل تدريجي.

⇦ يفسر ارتفاع تركيز البروتونات H^+ في الوسط بعد إضافة O_2، بعملية أكسدة النواقل المختزلة على مستوى الماتريس، الشيء الذي يؤدي إلى تحرير H^+ ونقله إلى الحيز البيغشائي ومنه إلى الوسط (الغشاء الخارجي نفوذ لـ H^+).

$$TH_2 \quad \text{----------} > \quad T + 2H^+ + 2e^-$$

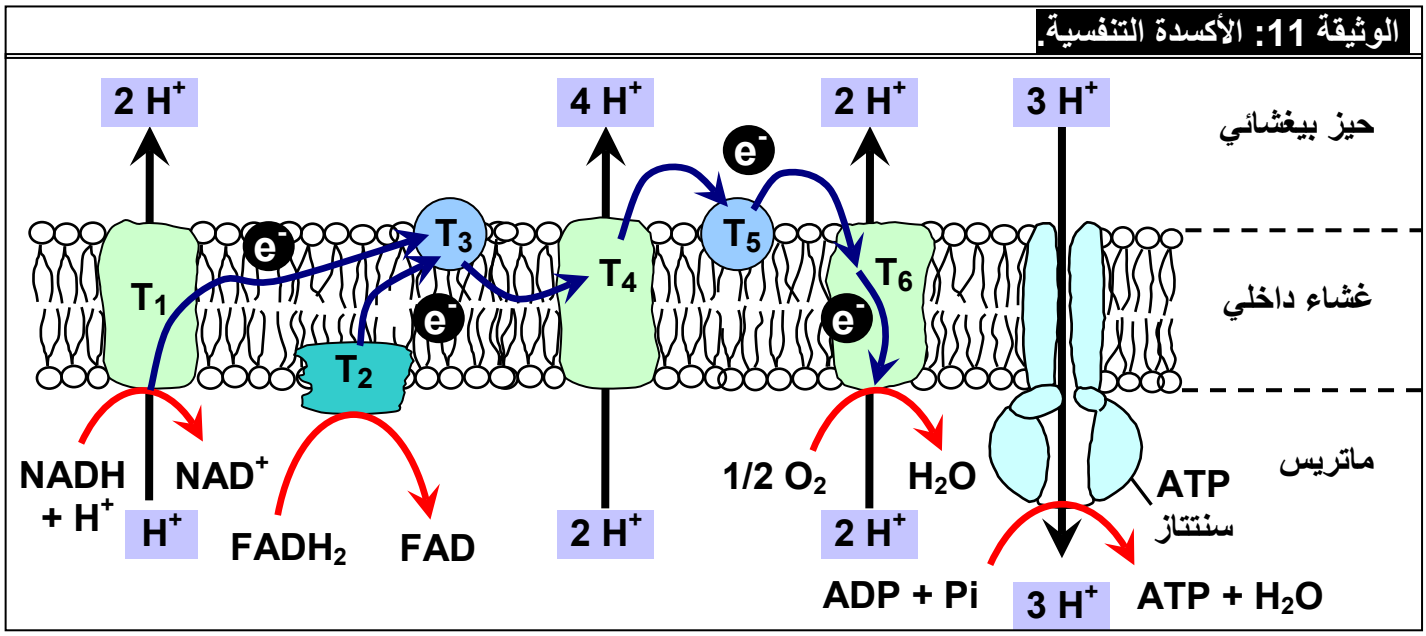
بعد ذلك يفسر الانخفاض التدريجي لـ H^+ بعودة هذه البروتونات إلى داخل الماتريس، لكن بشكل بطيء.

★ الشكل 2:

⇦ يتميز الغشاء الداخلي للميتوكندري بوجود بروتينات شكل السلسلة التنفسية، تتميز هذه الجزيئات باختلاف جهد الأكسدة اختزال الخاص بها، الشيء الذي يمكنها من تقبل وإعطاء الإلكترونات.

⇦ إن بروتينات السلسلة التنفسية تتميز بجهد أكسدة اختزال مختلف، الشيء الذي يمكن الجزيئات ذات الجهد أكسدة اختزال الأكبر من انتزاع الإلكترونات من الجزيئات ذات جهد الأكسدة اختزال الأقل، وبالتالي فالإلكترونات تنتقل من الناقل ذي جهد الأكسدة اختزال الأضعف (الزوج $NADH+H^+/NAD^+$)، باتجاه البروتين T_1، ثم T_2 ثم T_3 إلى أن تصل إلى آخر متقبل للإلكترونات ذي جهد الأكسدة اختزال الأكبر (الزوج O_2/H_2O)، والذي يتم اختزاله إلى جزيئة الماء H_2O وتتم هذه العملية داخل الماتريس: $1/2\ O_2 + 2H^+ + 2e^- \text{ ----------} > H_2O$
يسمى هذا التدفق للالكترونات بالأكسدة التنفسية (أنظر الوثيقة 11).

الوثيقة 11: الأكسدة التنفسية.



⇦ يمكن كتابة التفاعل الإجمالي على الشكل التالي:

$$TH_2 + 1/2\ O_2 \quad \text{----------} > \quad T + H_2O$$

⇦ خلال مرور الالكترونات من أول معط $NADH+H^+$ إلى أخر متقبل O_2، يتم طرح بروتونات H^+ داخل الحيز البيغشائي، فيرتفع بذلك تركيز H^+ في هذا الحيز، مما يترتب عنه ممال للبروتونات H^+ من جهتي الغشاء الداخلي.

③ اختزال الأكسجين والتفسفر المؤكسد: la phosphorylation oxydative

أ - معطيات تجريبية:

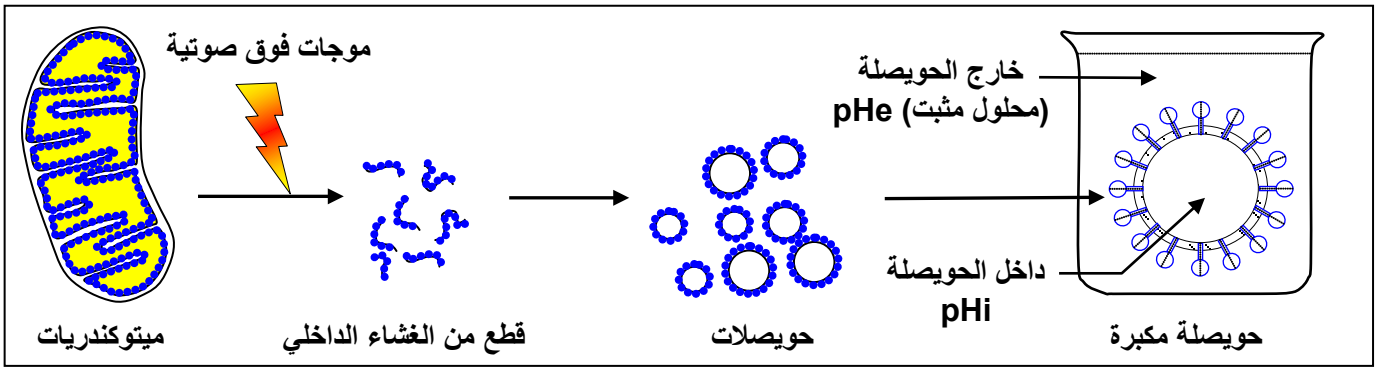
للكشف عن شروط إنتاج ATP على مستوى الكرات ذات شمراخ، نقوم بالتجارب المبينة على الوثيقة 12.

الوثيقة 12: الكشف عن دور الكرات ذات شمراخ. (نقل البروتونات والتفسفر المؤكسد لجزيئة ATP).

✱ التجربة a:

بعد عزلها، تخضع الميتوكندريات لفعل الموجات فوق الصوتية مما يؤدي إلى تقطيعها وجعل أعراف الغشاء الداخلي تنقلب وتكون حويصلات مغلقة، تكون الكرات ذات شمراخ المرتبطة بها موجهة نحو الخارج. توضع هذه الحويصلات بحضور ADP وPi في محاليل مثبتة تختلف من حيث pH.

المعطيات والنتائج التجريبية مبينة على الرسم أسفله:



- إذا كان pH الداخلي (pHi) أصغر من pH الخارجي (pHe)، يلاحظ تفسفر ADP.
- إذا كان pH الداخلي (pHi) يساوي pH الخارجي (pHe)، يلاحظ انعدام تفسفر ADP.

✱ التجربة b:

DNP (2,4dinitrophénol) مادة ذوابة في الدهون، بحضور هذه المادة يصبح الغشاء الداخلي للميتوكندري نفوذا للبروتونات، في هذه الحالة يلاحظ أن اختزال الأكسجين يتم بصفة عادية بينما يتوقف تفسفر ADP.

انطلاقا من هذه المعطيات التجريبية استخرج شروط تركيب ATP داخل الميتوكندري. ثم أبرز العلاقة بين اختزال الأوكسجين والتفسفر المؤكسد.

ب- تحليل واستنتاج:

✓ تبين التجربة a أن فسفرة ADP إلى ATP، يتم على مستوى الكريات ذات شمراخ، وتتطلب هذه الفسفرة وجود فارق في تركيز H^+ بين الحيز البيغشائي والماتريس، حيث يفوق تركيزه في الحيز البيغشائي، تركيزه في الماتريس.

✓ تبين التجربة b أن الغشاء الداخلي للميتوكندري ضروري لإنتاج ATP، فهو المسئول عن خلق الفارق في تركيز H^+، بين الحيز البيغشائي والماتريس، هذا الفارق في التركيز يعتبر ضروريا لفسفرة ADP إلى ATP من طرف الكريات ذات شمراخ.

ت- خلاصة:

عند وجود متقبل للالكترونات (O_2)، تتم أكسدة ($NADH+H^+$, $FADH_2$) = (معط للالكترونات)، الشيء الذي يؤدي إلى طرح للبروتونات H^+، فترتفع نسبتها داخل الحيز البيغشائي.
بفعل اختلاف تركيز H^+ من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكندري، تتدفق هذه البروتونات إلى الماتريس عبر الكرات ذات شمراخ المتوفرة على أنزيم ATP-synthétase، والتي تستغل طاقة التدفق لتنتج ATP من خلال تثبيت مجموعة فوسفاتية على جزيئة ADP. تسمى هذه العملية التفسفر المؤكسد.

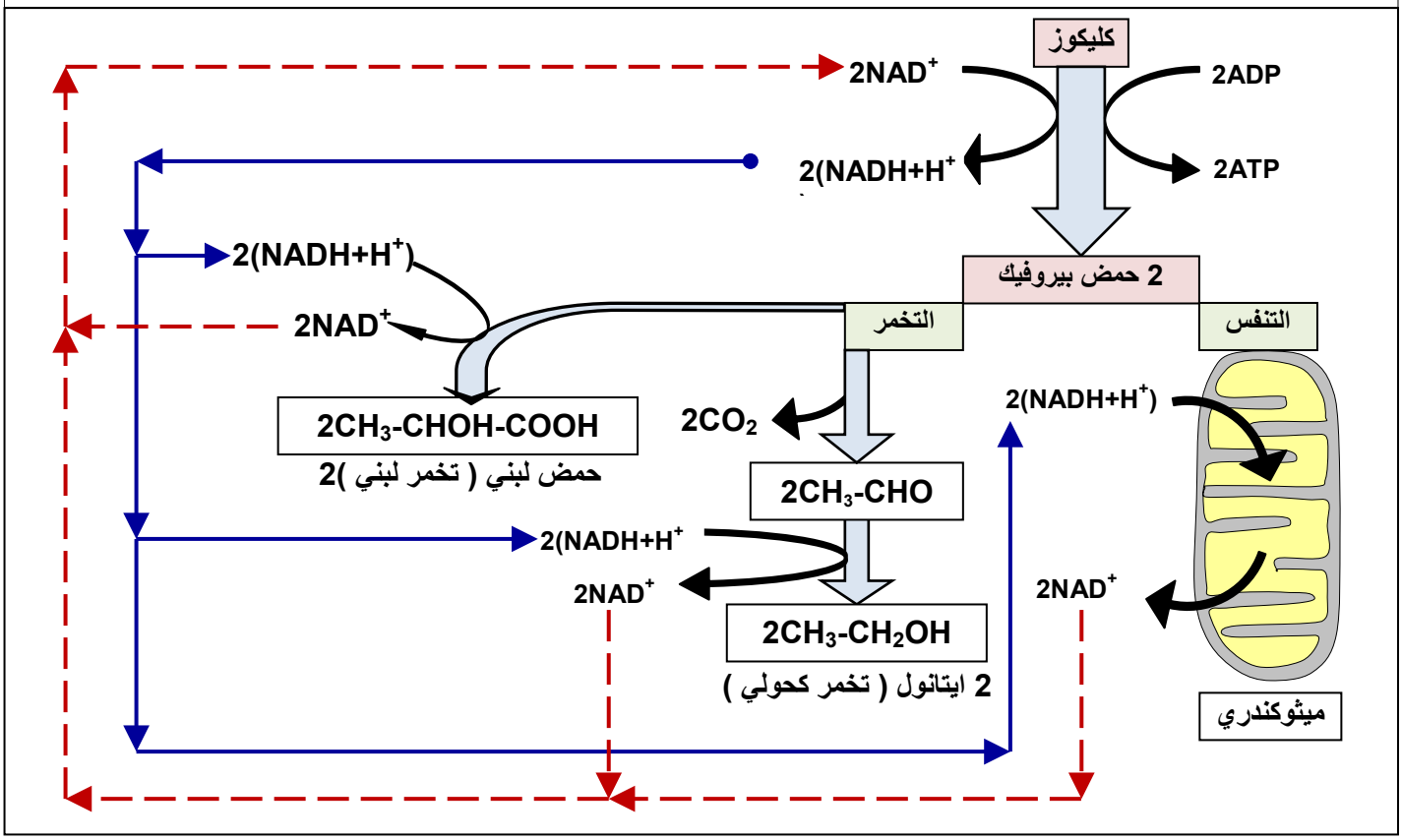
إن أكسدة جزيئة واحدة من $NADH+H^+$، تؤدي إلى إنتاج ثلاث جزيئات من ATP.

تحدث نفس المراحل بالنسبة للناقل المختزل $FADH_2$، ويتجلى الاختلاف فقط بكون البروتين T2 من السلسلة التنفسية هو الذي يقوم بأكسدة الناقل المختزل $FADH_2$، الشيء الذي ينتج عنه تركيب جزيئتين فقط من ATP.

ملاحظة: مصير حمض البيروفيك خلال التخمر. أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: مصير حمض البيروفيك بعد انحلال الكليكوز.

انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة، بين ما هو مصير حمض البيروفيك خلال التخمر.



بعد انحلال الكليكوز الذي ينتج عنه جزيئتين $NADH+H^+$ وجزيئتين ATP وجزيئتين حمض البيروفيك، وفي غياب الأكسجين، تقوم بعض الخلايا بتفاعلات حي لاهوائية على مستوى الجبلة الشفافة للخلية، تقوم بالهدم الجزئي لحمض البيروفيك، ينتج عنه جزيئات عضوية صغيرة، إضافة إلى كمية ضعيفة من الطاقة. هذه التفاعلات هي:

- ✓ التخمر اللبني: تتحول جزيئتي حمض البيروفيك، إلى جزيئتين من الحمض اللبني **$2CH_3$-CHOH-COOH** مع أكسدة $NADH+H^+$، إلى NAD^+ الضروري لاستمرار انحلال الكليكوز.
- ✓ التخمر الكحولي: تتحول جزيئتي حمض البيروفيك إلى جزيئتين من كحول إيتيلي **$2CH_3$-CH_2OH** (إيثانول)، مع أكسدة $NADH+H^+$، إلى NAD^+، إضافة إلى طرح CO_2.

V – مقارنة الحصيلة الطاقية للتنفس والتخمر:

① قياس مردودية التنفس والتخمر :

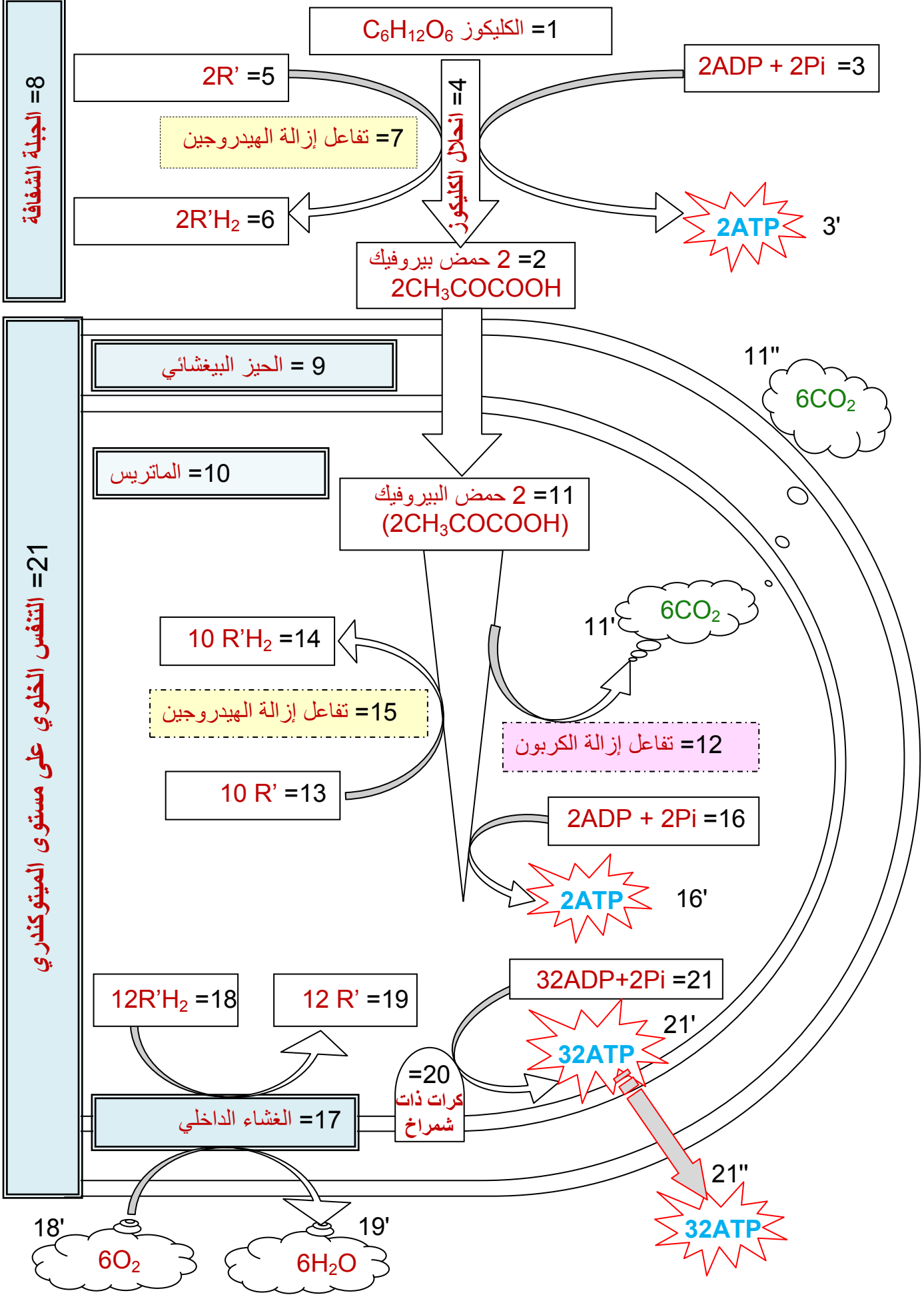
أ - المردود الطاقي للتنفس:

اعتمادا على ما سبق وعلى معطيات الوثيقة 14 بعد إتمامها:

1) حدد عدد جزيئات ATP المنتجة انطلاقا من الأكسدة الكاملة لجزيئة واحدة من الكليكوز، في حالة التنفس علما أن أكسدة جزيئة واحدة من $NADH+H^+$، تمكن من تركيب ثلاث جزيئات من ATP. وأكسدة جزيئة واحدة من $FADH_2$، تمكن من تركيب جزيئتين من ATP. وأكسدة جزيئة واحدة من GDP تمكن من تركب جزيئة واحدة من ATP.

2) أحسب المردود الطاقي للتنفس، علما أن الطاقة الإجمالية التي يمكن استخراجها من مول واحد من الكليكوز، تحت درجة حرارة 37°C، وبوجود الأكسجين، هي: 2860 KJ، وأن حلمأة مول واحد من ATP، يؤدي إلى تحرير طاقة تساوي 30.5KJ.

الوثيقة 14: خطاطة تركيبية تلخص العلاقة بين مختلف التفاعلات المحررة للطاقة.



1) إن الأكسدة الكاملة لجزيئة الكليكوز، تعطي:

- خلال انحلال الكليكوز نحصل على $2(NADH+H^+)$ + 2ATP + جزيئتين من حمض البيروفيك.
- خلال دورة Krebs يتكون $3(NADH+H^+)$ + $1(FADH_2)$ + 1ATP. ادن بالنسبة لجزيئتين من حمض البيروفيك، الناتجتين عن انحلال جزيئة واحدة من الكليكوز، يتكون $8(NADH+H^+)$ + $2(FADH_2)$ + 2ATP.

إذن عدد ATP المركبة عند استهلاك جزيئة واحدة من الكليكوز هو:

4 ATP	⟵----------	4 ATP
30 ATP	⟵----------	10 $(NADH+H^+)$
4 ATP	⟵----------	$2(FADH_2)$

المجمـــوع:
38 ATP

ملاحظة: نظريا نحصل على 38 ATP، لكن في الواقع نحصل على ATP36 فقط لأن نواقل $NADH+H^+$ الناتجة في الجبلة الشفافة لا تدخل إلى الميتوكندري، ولكن تعوض بنواقل $2FADH_2$، باستثناء خلايا القلب والكبد حيث تعوض بنواقل $NADH+H^+$.

2) حساب المردود الطاقي للتنفس:

بما أن مول واحد من الكليكوز يركب 38 ATP، وكل ATP يؤدي إلى تحرير طاقة تساوي 30.5KJ. فالطاقة التي يحررها مول واحد من الكليكوز هي: (38 x 30.5) = 1159 KJ

ادن المردود الطاقي للتنفس هو:

$$\frac{1159}{2860} \times 100 = 40{,}5\ \%$$

ب- المردود الطاقي للتخمر:

علما أن استهلاك جزيئة واحدة من الكليكوز في حالة التخمر اللبني، يحرر فقط جزيئتين من ATP، فان المردود الطاقي للتخمر هو:

$$\frac{(2 \times 30.5)}{2860} \times 100 = 2.13\ \%$$

② مقارنة وتفسير:

- أثناء التنفس يتحلل المستقلب (الكليكوز) كليا، فيطرح مجموع الطاقة الكامنة فيه، على شكل طاقة كيميائية (1159KJ)، وطاقة حرارية (1701KJ)، مع تكوين حثالة معدنية (CO_2 + H_2O) خالية من الطاقة.

- أثناء التخمر، لا يتحلل المستقلب (كليكوز) كليا، وبالتالي لا يطرح إلا جزء من الطاقة الكامنة (167 KJ). جزء منها على شكل طاقة كيميائية (61KJ)، وجزء على شكل طاقة حرارية (106KJ)، مع حثالة عضوية (حمض لبني)، مازالت تحتوي على طاقة كامنة. ((2860 – 167)/2 = 1346.5 KJ/acide lactique).

الوحدة الأولى، الفصل الثاني:
دور العضلة الهيكلية المخططة في تحويل الطاقة

تمهيد:

يمكن كل من التنفس والتخمر من هدم المواد العضوية المستهلكة، وتحرير الطاقة الكامنة فيها، لتصبح على شكل ATP، قابل للاستعمال في مختلف الظواهر المستهلكة للطاقة، كالتفاعلات الكيميائية، مواجهة تغيرات درجة الحرارة، أو القيام بحركة. يعتبر التقلص العضلي إذن من الظواهر المستهلكة للطاقة.

- **كيف يتم التقلص العضلي؟ وما هي البنيات المسئولة عنه؟**
- **كيف يتم تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية؟**
- **كيف يتم تجديد الـ ATP على مستوى العضلة؟**

I – الدراسة التجريبية للتقلص العضلي.

① تسجيل التقلص العضلي عند الضفدعة: أنظر الوثيقة 1.

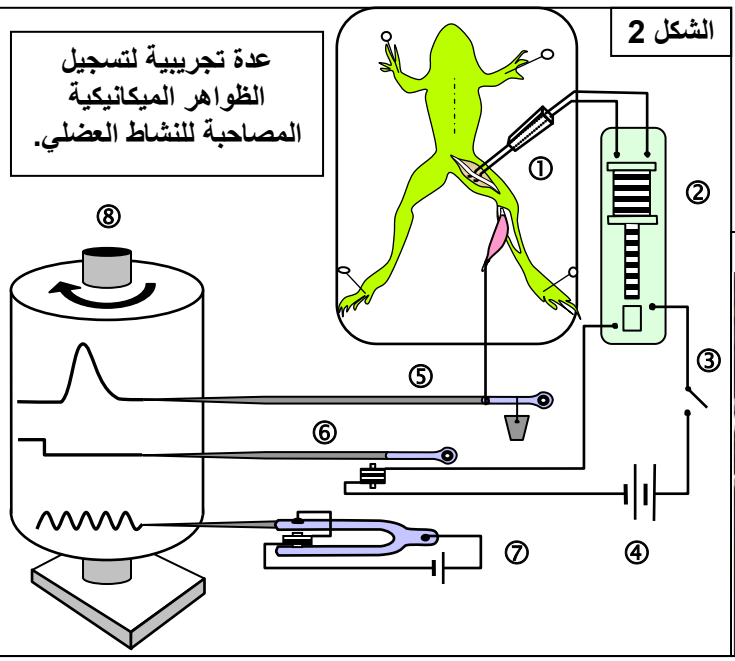
الوثيقة 1: تسجيل التقلص العضلي للطرف الخلفي لضفدعة.

لدراسة التقلص العضلي، نأخذ ضفدعة، نخرب دماغها ونخاعها الشوكي،لإزالة كل ردود الفعل الإرادية واللاإرادية. بعد تثبيتها على لوحة خشبية، نشرح الطرف الخلفي لإبراز العصب الوركي (الشكل 1)، نقطع وتر العقب لعضلة بطن الساق، ونوصله بجهاز تسجيل التقلص العضلي (الشكل 2). نهيج العضلة إما مباشرة، بوضع الالكترودين المهيجين على سطحها، أو بصفة غير مباشرة، بوضع الالكترودين على العصب الوركي.

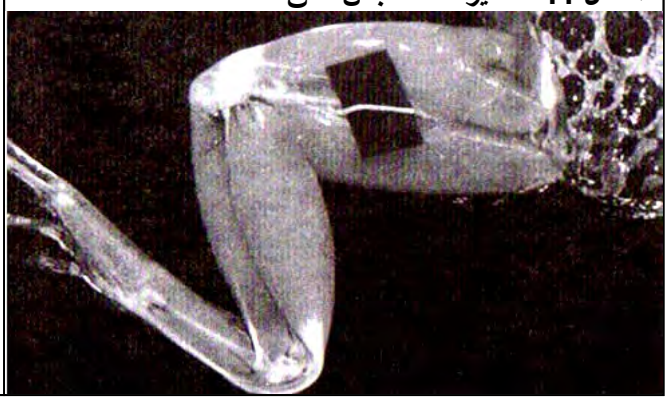
تهيج العضلة بواسطة مهيجات اصطناعية، تكون إما ميكانيكية، حرارية، كيميائية، أو كهربائية.

انطلاقا من تحليل معطيات الوثيقة، استخرج الشروط التجريبية لتسجيل التقلص العضلي.

الشكل 2



الشكل 1: تحضير عضلة بطن ساق ضفدعة



① = مساري التهييج، ② = مهيج، ③ = قاطع التيار الكهربائي، ④ = مصدر التيار الكهربائي، ⑤ = قلم مسجل، ⑥ = مسجل إشارة التنبيه، ⑦ = شوكة رنانة لتسجيل إشارة الزمن، ⑧ = أسطوانة مسجلة

لتسجيل التقلص العضلي:

- ✓ نستعمل الراسمة العضلية myographe، التي تعطينا تخطيطات عضلية myogramme.
- ✓ يجب أن تكون الضفدعة المستعملة مخربة الدماغ والنخاع الشوكي لحذف كل نشاط إرادي أو انعكاسي.
- ✓ التهييج يكون إما مباشرا على مستوى عضلة بطن الساق، أو عن طريق عصبها الوركي.
- ✓ يجب ضبط شدة التهييج أو التنبيه، المدة، وتردد التهييج وكذلك سرعة دوران الأسطوانة.

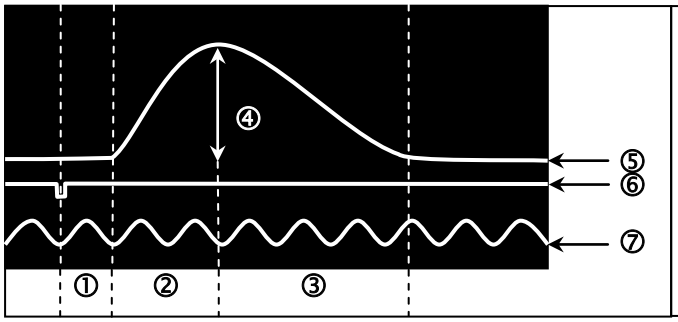
② استجابة العضلة للتهييج الكهربائي:

أ - استجابة العضلة لاهاجة منفردة: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: استجابة العضلة لتهييج وحيد.

تعطي الوثيقة أمامه تسجيلا لرعشة عضلية معزولة ناتجة عن تسليط اهاجة كهربائية واحدة فعالة على العضلة.
حلل هذا التسجيل مع تحديد مختلف عناصره.

① = مرحلة الكمون ② = مرحلة التقلص
③ = مرحلة الارتخاء ④ = وسع ⑤ = مخطط عضلي
⑥ = إشارة التهييج ⑦ = إشارة الزمن



★ عند تسليط اهاجة فعالة، تستجيب العضلة للاهاجة، فنقول أنها هيوجة (Excitable)، ولها خاصية الاهتياجية. كما تستجيب بالتقلص، فنقول أنها قلوصة Contractile، وتسمى هذه الخاصية بالقلوصية La contractilité.

★ عند تطبيق اهاجة منفردة، نحصل على تقلص قصير الأمد، معزول، وبسيط، نتكلم عن رعشة عضلية (Secousse musculaire). والتي يمكن تقسيمها إلى ثلاث مراحل:

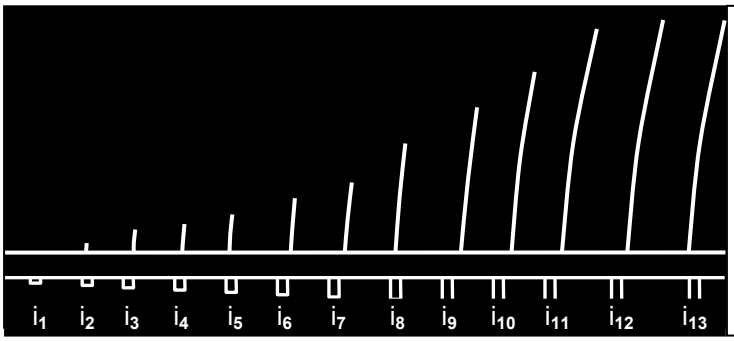
- فترة الكمون: هي الفترة الزمنية الفاصلة بين لحظة الاهاجة (حادث التنبيه) وبداية الاستجابة.
- مرحلة التقلص: خلالها يتم تقلص العضلة، حيث ينخفض طول العضلة ويرتفع توترها (زيادة الوسع).
- مرحلة الارتخاء: خلالها تسترجع العضلة أبعادها الأولية (انخفاض الوسع).

ملحوظة: يتغير شكل التخطيط العضلي حسب سرعة الأسطوانة المسجلة.

ب - استجابة العضلة لاهاجات متباعدة ذات شدة متصاعدة: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: استجابة العضلة لاهاجات منفردة.

عندما نعرض العضلة لسلسلة تهييجات منعزلة ومتباعدة ومتزايدة الشدة ($i_1, i_2 \ldots i_{13}$)، نحصل على المخطط العضلي أمامه. (تدار الأسطوانة المسجلة يدويا بين التنبيهات).
انطلاقا من تحليل هذه المعطيات، اربط العلاقة بين شدة التهييج ووسع الاستجابة العضلية.



★ **التحليل:** بعد التهييج i_1، لا نحصل على أي استجابة عضلية، لكن ابتداء من التهييج i_2 نحصل على استجابات، تتمثل في رعشات عضلية، يزداد وُسعها تدريجيا مع زيادة شدة التهييج. لكن ابتداء من التهييج i_{12} يبقى وسع الاستجابة ثابتا رغم زيادة شدة التهييج.

★ **التفسير:**

- بعد التهييج i_1، ليس هناك تسجيل عضلي لكون هذه الشدة تعتبر غير فعالة (تحت بدئية). لكن الإهاجة i_2 تُحدث رعشة عضلية، فتسمى بذلك عتبة التهييج (Seuil d'excitation) أو الريوباز (Rhéobase)، وهي أقل شدة إهاجة تُسبب حدوث التقلص العضلي.
- بعد الإهاجة i_2، وكلما ازدادت شدة الإهاجة، يزداد وُسع الرعشات العضلية، مما يُفسَّر بكون العضلة تتكون من وحدات بنيوية قابلة للتقلص، حيث يزداد عدد الوحدات المتقلصة كلما ازدادت شدة الاهاجة، فيكون تقلص العضلة أقوى.
- ابتداء من الإهاجة i_{12} يبقى وُسع الرعشات ثابتا، الشيء الذي يُفسَّر بكون كل الوحدات المُكونة للعضلة أصبحت مُتقلصة.

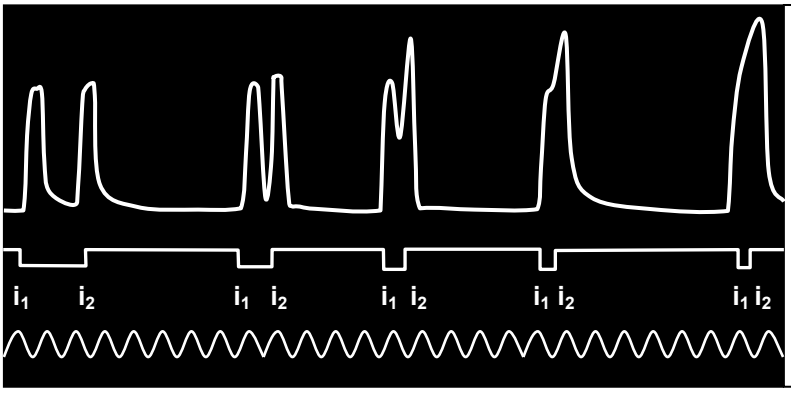
ت ـ **استجابة العضلة لاهاجتين متتاليتين:** أنظر الوثيقة 4

الوثيقة 4: استجابة العضلة لاهاجتين متتاليتين.

نعرض العضلة لاهاجتين فعالتين متتاليتين من نفس الشدة، مع تغيير المدة الفاصلة بينهما (المدة الفاصلة من اليسار إلى اليمين: 90ms, 50ms, 40ms, 30ms, 20ms).

يعطي الشكل أمامه، المخططات العضلية المحصل عليها.

حلل التسجيل المحصل عليه، واربط العلاقة بين المدة الفاصلة بين الاهاجتين المتتاليتين ومظهر الرعشات العضلية.



★ **الحالة الأولى:** إذا وقع التهييج الثاني بعد انتهاء الاستجابة الأولى، نحصل على رعشتين عضليتين متماثلتين ومستقلتين لهما نفس الوسع.

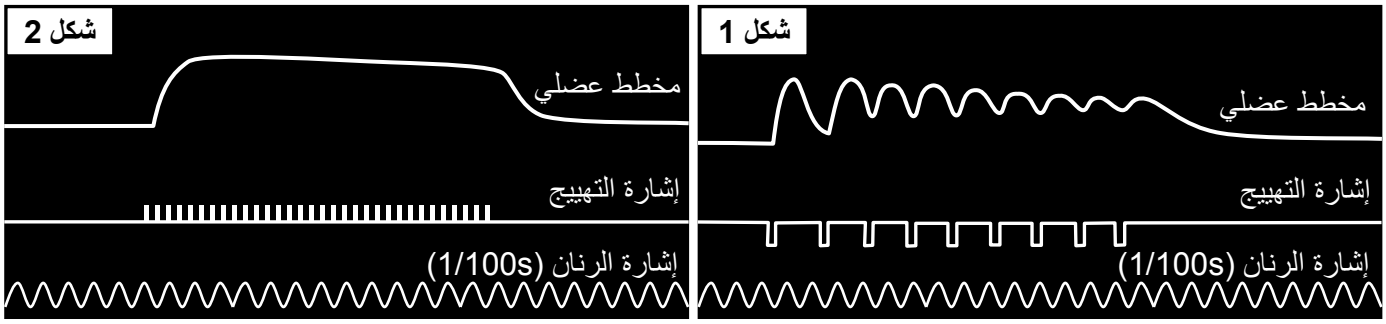
★ **الحالة الثانية:** إذا وقع التهييج الثاني خلال مرحلة ارتخاء الاستجابة الأولى، يكون وسع الاستجابة الثانية أكبر من وسع الاستجابة الأولى، كما يبقى المنحنيان منفصلان. نتكلم عن الالتحام غير التام.

★ **الحالة الثالثة:** إذا وقع التهييج الثاني خلال مرحلة تقلص الاستجابة الأولى، يلاحظ تراكب المنحنيين. نتكلم عن الالتحام التام، يكون فيه وسع التوتر الاجمالي أكبر من وسع التوتر خلال رعشة معزولة.

ث ـ **استجابة العضلة لاهاجات متتالية:** أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: استجابة العضلة لاهاجات متتالية.

نعرض العضلة إلى سلسلة اهاجات فعالة من نفس الشدة، متباعدة زمنيا (الشكل 1)، أو متقاربة (الشكل 2).
صف التسجيلين المحصل عليهما، ثم استنتج مفهوم الكزاز التام والكزاز الناقص.



عندما نعرض العضلة لسلسلة من الاهاجات المتتالية، نلاحظ حالتين حسب تردد الاهاجات:

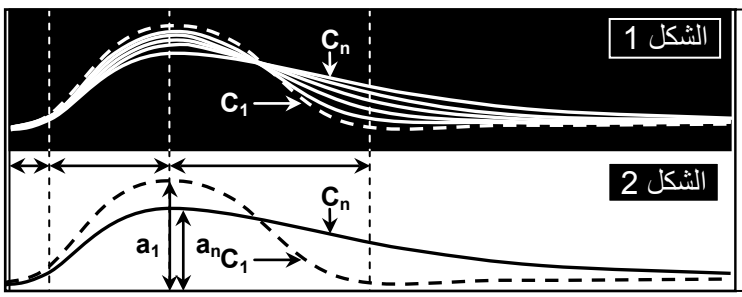
الشكل 1: عندما يكون تردد التهييجات ضعيفا، نحصل على تسجيل مكون من ذبذبات متتالية، نسمي هذا التقلص الكزاز الناقص (Tétanos imparfait)، والذي يفسر بالتحام غير تام للرعشات العضلية، لأن كل تهييج يحدث خلال فترة الارتخاء للاستجابة السابقة.

الشكل 2: عندما يكون تردد التهييجات قوي، نحصل على تسجيل منبسط مستقيم، نسمي هذا التقلص الكزاز التام (Tétanos parfait)، والذي يفسر بالتحام تام للرعشات العضلية، لأن كل تهييج يأتي في فترة التقلص للاستجابة السابقة.

ملاحظة: استجابة العضلة المتعبة. أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: استجابة العضلة المتعبة.

نخضع العضلة لسلسلة اهاجات من نفس الشدة، لمدة طويلة، فنسجل التخطيط العضلي الممثل على الشكل 1 (C_1 إلى C_n هي رعشات عضلية). أما الشكل 2 فيمثل رسما للرعشة الأولى C_1، والرعشة الأخيرة C_n.
حدد من خلال الشكلين فيم يتمثل العياء العضلي؟



عندما تصبح العضلة متعبة، بعد خضوعها لعدة اهاجات، فان وسع الاستجابة يصبح ضعيفا، كما أن مدة الارتخاء تصبح طويلة.

II – الظواهر التي تصاحب التقلص العضلي.

① الظواهر الحرارية المرافقة للتقلص العضلي:

عند القيام بمجهود عضلي، ترتفع درجة حرارة الجسم الداخلية، ويقاوم هذا الارتفاع بزيادة طرح الحرارة. هذا الطرح يختلف حسب شدة الجهد.

أ - التركيب التجريبي والنتائج المحصلة: أنظر الوثيقة 7

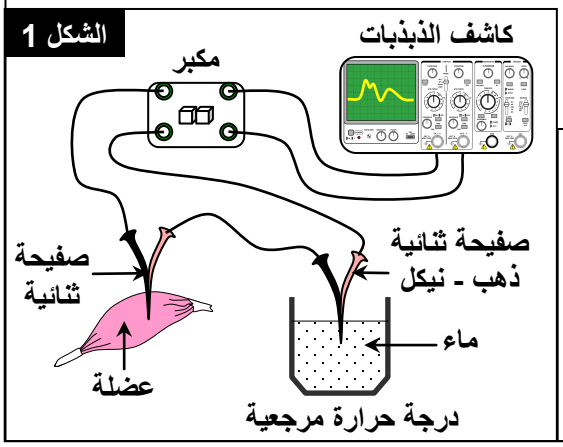
الوثيقة 7: الظواهر الحرارية المرافقة للتقلص العضلي.

نستعمل في هذه الدراسة تقنية العمود الحراري **Thermopile** (شكل1)، إذ يتكون العمود الحراري من إبرتين كهروحراريتين، تتكون كل إبرة من معدنين مختلفين (نحاس و نيكل أو ذهب ونيكل).تغرز إحدى الإبرتين في العضلة ويحافظ على الأخرى في درجة حرارة ثابتة (إبرة مرجعية). إن اختلاف الحرارة بين الإبرتين، يولد فرق جهد كهربائي تتناسب شدته مع درجة حرارة العضلة المتقلصة.

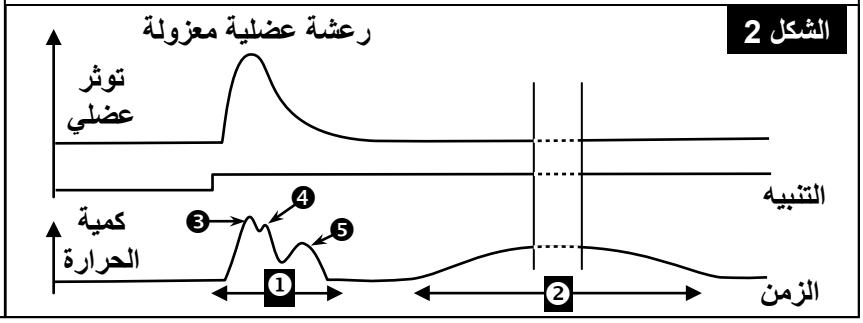
يبين الشكل 2 التسجيل المحصل عليه.

استخرج أنواع الحرارة المحررة من طرف العضلة في حالة نشاط.

الشكل 1



الشكل 2



ب- تحليل واستنتاج:

خلال التقلص العضلي تنتج الحرارة، ويتوزع إنتاجها على مرحلتين أساسيتين:

- الحرارة الأولية: هي الحرارة الابتدائية، كميتها كبيرة، لكنها لا تدوم مدة طويلة. وتحرر في جزأين: جزء خلال التقلص (حرارة التقلص)، وجزء خلال الارتخاء (حرارة الارتخاء)، وتدوم بضع أجزاء من الثانية.
- الحرارة المؤخرة: أو المتأخرة، وتحرر بعد التقلص العضلي، وتدوم من دقيقة إلى دقيقتين.

ملاحظة: بغياب الأكسجين، نلاحظ طرح الحرارة الأولية فقط، مما يدل على أن الحرارة الأولية مرتبطة بتفاعلات حي لاهوائية (التخمر)، بينما الحرارة المؤخرة مرتبطة بتفاعلات حي هوائية (التنفس).

② الظواهر الكيميائية والطاقية:

أ - ملاحظات:

تبين الملاحظة المجهرية للنسيج العضلي، أنه غني بالشعيرات الدموية. يبرر إذن هذا التعرق الشديد للنسيج العضلي، أن النشاط العضلي يرفع من حاجيات العضلة من القيت والأوكسجين، والتي تصل إلى العضلة عن طريق الدم.

ب- نتائج تجريبية: أنظر الوثيقة 8 والوثيقة 9.

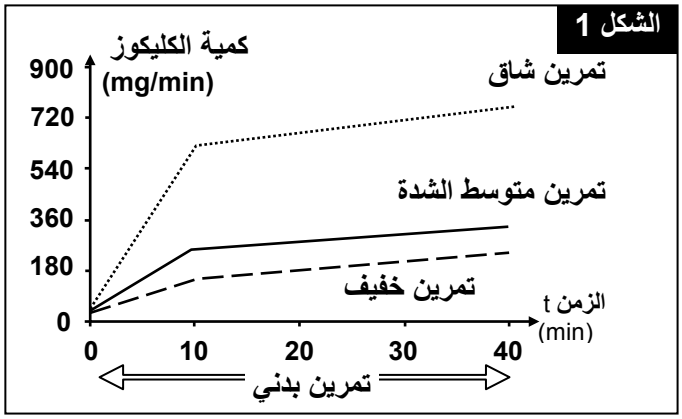
الوثيقة 8: الظواهر الطاقية المصاحبة للتقلص العضلي.

تقاس داخل قاعات مجهزة بمعدات خاصة، التغيرات التي تطرأ على مجموعة من الثوابت في مستوى العضلات، وذلك بتحليل عينات عضلية تؤخذ من رياضيين أثناء قيامهم بتمارين مختلفة. نتائج هذا القياس ممثلة على الشكلين1 و2.

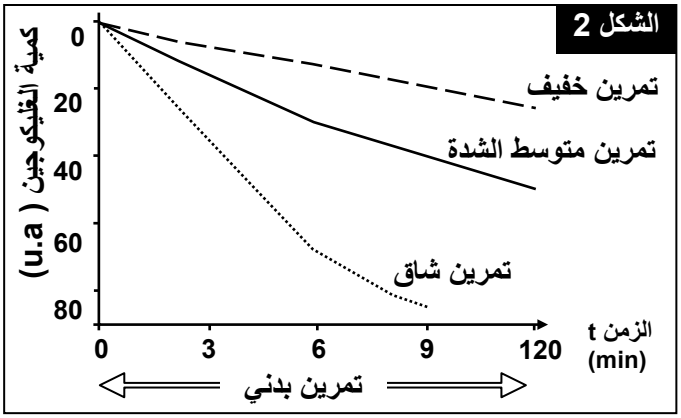
الشكل 1: كمية الكليكوز المستعملة من طرف عضلات الطرفين السفليين عند شخص خلال مجهود عضلي متزايد الشدة. الشكل 2: كمية استهلاك الغليكوجين بعضلات الطرفين السفليين عند شخص خلال مجهود عضلي متزايد الشدة.

حلل الرسوم البيانية، واستنتج متطلبات العمل العضلي.

الشكل 1



الشكل 2



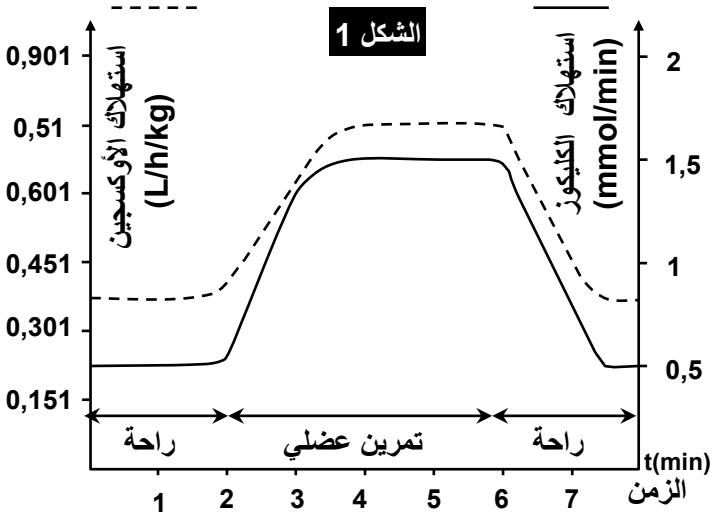
الوثيقة 9: تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة قبل وبعد التقلص العضلي.

يعطي الشكل 1 من الوثيقة تطور استهلاك ثنائي الأوكسجين والكليكوز. والشكل 2، تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة، خلال الراحة وخلال المجهود العضلي. حلل واستنتج.

الشكل 2

	خلال ساعة بالنسبة ل 1kg من العضلة	
	في حالة راحة	في حالة نشاط
حجم الدم الذي يعبر العضلة ب (l)	12.220	56.325
حجم O_2 المستهلك ب(l)	0.307	5.207
حجم CO_2 المطروح ب (l)	0.220	5.950
كمية الكليكوز المستهلكة ب (g)	2.042	8.432
البروتيدات المستهلكة ب (g)	0	0
الدهون المستهلكة ب (g)	0	0

الشكل 1



تا -تحليل واستنتاج:

نلاحظ خلال المجهود العضلي، ارتفاع استهلاك الكليكوز، ويلاحظ في نفس الوقت، انخفاض مدخرات العضلة من الغليكوجين. نلاحظ كذلك عند المجهود العضلي، ارتفاع استهلاك الأكسجين، مع طرح المزيد من ثاني أكسيد الكربون. انطلاقا من هذه المعطيات، نستنتج أن الطاقة اللازمة للنشاط العضلي، تأتي من تفاعل أكسدة الكليكوز، الناتج عن حلمأة الغليكوجين.

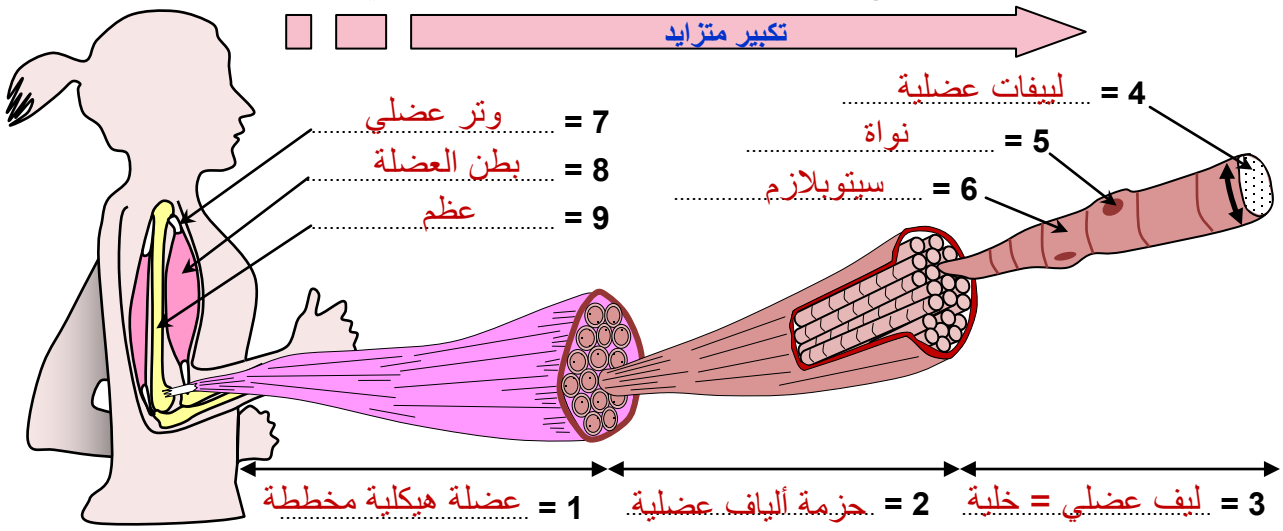
III – بنية وفوق بنية النسيج العضلي.

① بنية العضلة الهيكلية المخططة:

أ - ملاحظات بالعين المجردة: أنظر الوثيقة 10.

الوثيقة 10: بنية العضلة المخططة الهيكلية.

يتطلب النشاط العضلي تقلص عدة عضلات وفق آلية محددة. لفهم هذه الآلية، ينبغي أولا معرفة بنية و فوق بنية هذه العضلات ثم التعرف على أبرز مكوناتها. تعطي الوثيقة أسفله رسما تفسيريا لبنية العضلة الهيكلية المخططة.
تعرف بنية العضلة الهيكلية المخططة، مع إعطاء الأسماء المناسبة للأرقام الممثلة في الوثيقة.



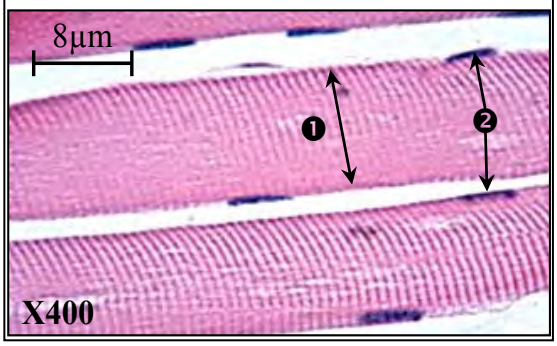
تكون العضلات مثبتة على العظام، وتظهر جزأين: جزء أحمر مرن، يسمى بطن العضلة، وهو أحمر بوجود بروتين خاص يسمى الخضاب العضلي (Myoglobine)، وجزء أبيض لؤلئي (nacré)، يوجد في نهايتي العضلة، ويسمى وتر عضلي (Tendon).
تبين ملاحظة المقطع العرضي للعضلة أنها تتكون من كتل مفصولة عن بعضها بواسطة نسيج ضام، هي الحزم العضلية (Faisceau musculaire). كما أن تأريب العضلة (Délacération) يبين أنها ذات بنية ليفية.
تتشكل إذن العضلة الهيكلية المخططة من عدة ألياف عضلية متجمعة على شكل حزم، هذه الألياف عبارة عن خلايا عملاقة متعددة النوى ومُكونة بدورها من لُيفات عضلية.

ب- ملاحظات مجهرية: أنظر وثيقة 11.

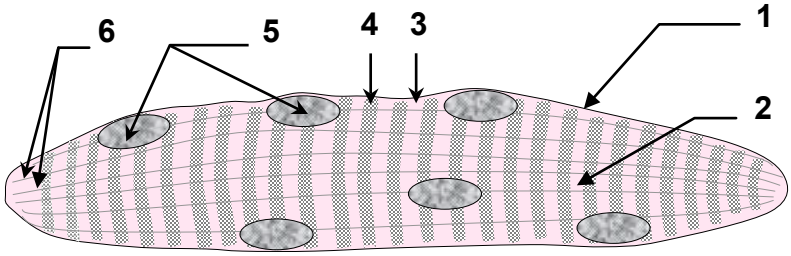
الوثيقة 11: ملاحظات مجهرية للنسيج العضلي.

يعطي الشكل 1 من الوثيقة، ملاحظة بالمجهر الضوئي لمقطع طولي لعضلة هيكلية مخططة. و الشكل 2، رسما تفسيريا لبنية ليف عضلي. بعد ملاحظة معطيات هذه الوثيقة، أعط الأسماء المناسبة لأرقام الوثيقة، ثم صف البنية المجهرية لليف العضلي، وبرر تسمية العضلة الهيكلية بالمخططة.

الشكل 1: ❶= ليف عضلي ❷ = نوى



الشكل 2:



الطول يصل إلى 35 cm، والقطر يصل إلى 10 à 120 µm

1= غشاء سيتوبلازمي = ساركوليم، 2 = سيتوبلازم = ساركوبلازم، 3 = شريط فاتح،
4 = شريط قاتم، 5 = نوى، 6 = ليفات عضلية.

تتكون العضلة الهيكلية المخططة من عدد كبير من الألياف، كل ليف هو عبارة عن خلية مستطيلة مخططة،وتحتوي على عدة مئات من النوى مرتبة على المحيط، نتكلم عن مختلط خلوي.
كل ليف عضلي يكون محاطا بغشاء سيتوبلازمي (ساركوليم)، ويحتوي على سيتوبلازم (ساركوبلازم).

تظهر الخلية العضلية (الليف العضلي) مخططة طوليا، لوجود لييفات عضلية داخل الساركوبلازم. وتظهر هذه الخلية مخططة عرضيا، لكون اللييفات العضلية تتكون من تناوب أشرطة قاتمة وأشرطة فاتحة.

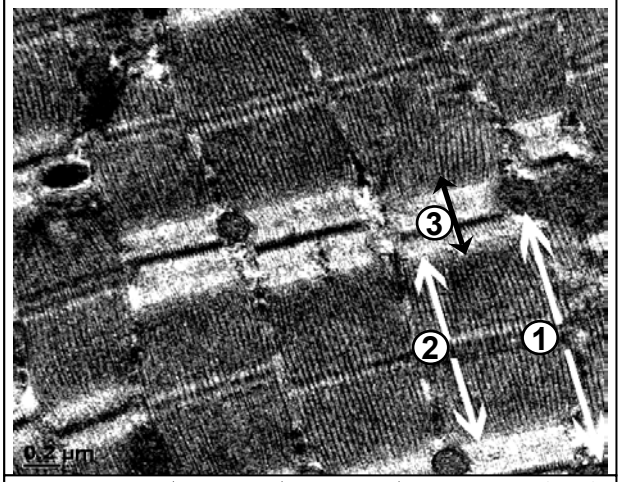
② فوق بنية العضلة الهيكلية المخططة:

أ - ملاحظات بالمجهر الالكتروني: أنظر الوثيقة 12.

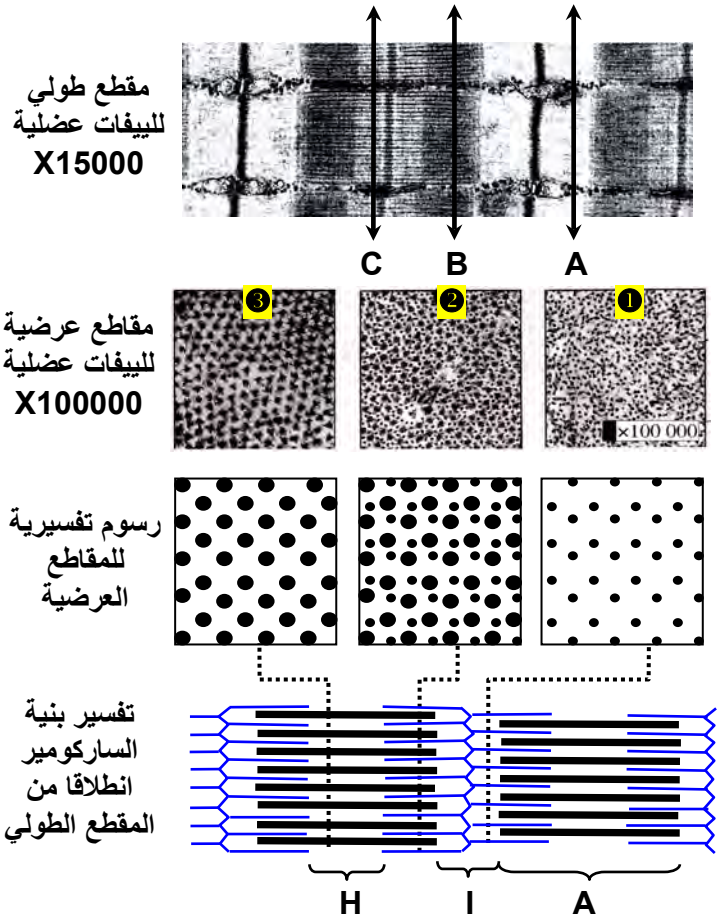
الوثيقة 12: فوق بنية النسيج العضلي.

قصد التمكن من تحديد العناصر المتدخلة خلال التقلص العضلي، نقترح استثمار معطيات الوثائق أسفله.
انطلاقا من هذه المعطيات، صف البنية المجهرية لليف العضلي مع تحديد الخييطات المتواجدة في كل منطقة.

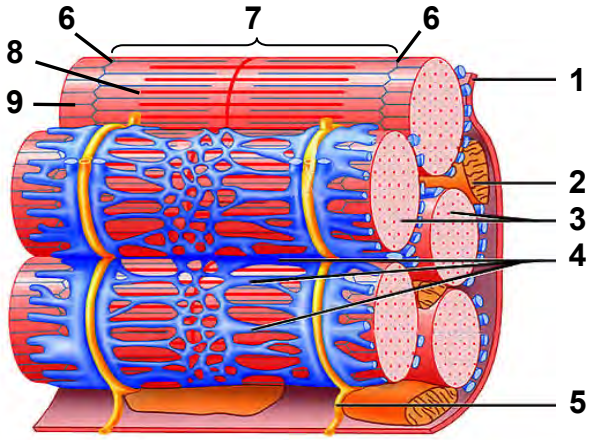
الشكل 1: ملاحظة الكترونغرافية لنسيج عضلي.



الشكل 2: نقوم بمقاطع مستعرضة لليف عضلي على المستويات: A , B , C. فنحصل بالتتالي على الملاحظات ❶، ❷، و❸.



الشكل 3: مجسم لجزء من ليف عضلي.



- أسماء عناصر الشكل 3 من الوثيقة:

1= ساركوليم، 2= ميتوكندري، 3= ليفان عضليان، 4= شبكة سيتوبلازمية داخلية،
5= أنيبيبات مستعرضة، 6= حز Z، 7= ساركومير، 8= ميوزين، 9= أكتين

- يتبين من معطيات الوثيقة أن اللييفات العضلية تتكون من تناوب نوعين من الأشرطة:

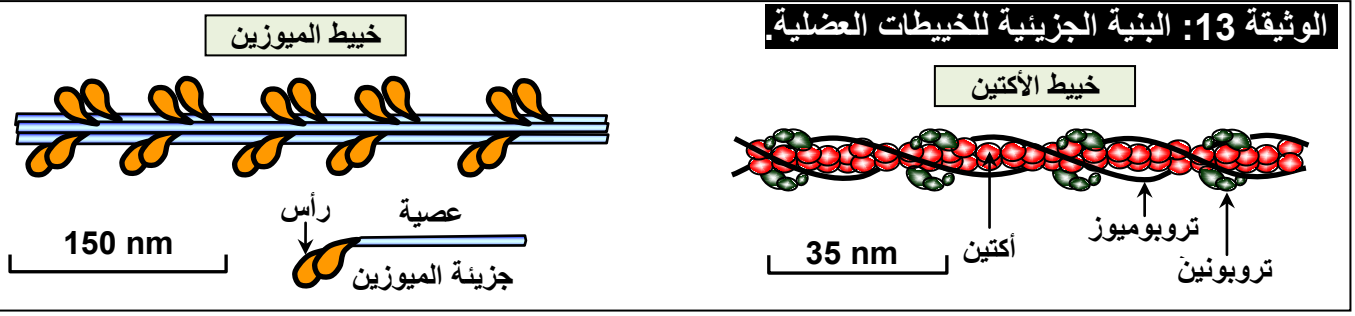
✓ أشرطة فاتحة (Isotropique=I) تتكون من خييطات دقيقة من بروتين يسمى الأكتين (Actine)، ويتوسطها الحز Z. (Strie Z) (de l'allemand zwischen, signifiant "entre")

✓ أشرطة قاتمة (Anisotropique=A)، تتكون من خييطات الأكتين، وخييطات سميكة من بروتين يسمى الميوزين (Myosine)، وتتوسطها المنطقة H (de l'allemand heller, plus pâle) . التي تحتوي على خييطات الميوزين فقط.

- يتكون كل ليف عضلي من وحدات متتالية تسمى الساركوميرات (Sarcomère)، توجد بين حزي Z. ويعتبر الساركومير الوحدة البنيوية لليف العضلي.
- يحتوي الساركوبلازم على عدد كبير من الميتوكندريات، وعلى شبكة ساركوبلازمية وافرة، وقد بينت دراسات أخرى أن الساركوبلازم يتوفر على كمية هامة من الغليكوجين، كما أن الشبكة الساركوبلازمية تحتوي على كمية كبيرة من الكالسيوم.

ب- البنية الجزيئية للخيوطات العضلية: أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: البنية الجزيئية للخيوطات العضلية.



يتكون كل خيط دقيق، أو خيط الأكتين من بروتين يدعى الأكتين، وهو الطاغي، بالإضافة إلى بروتينين آخرين هما التروبونين والتروبوميوزين.
يتكون الخيط السميك أو خيط الميوزين، من حزمة من جزيئات بروتين الميوزين، وكل جزيئة ميوزين تتكون من رأسين كرويين وعصية.

IV – آلية التقلص العضلي.

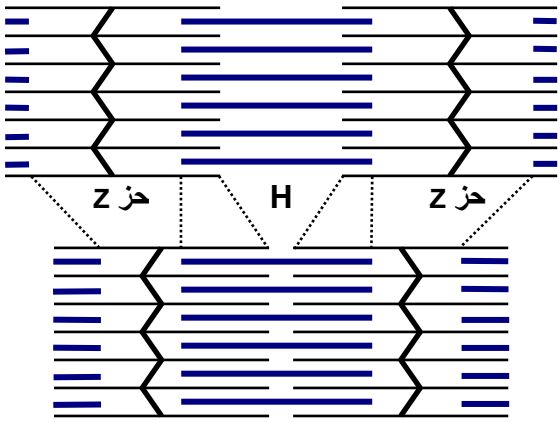
① ماذا يحدث أثناء التقلص العضلي؟

أ - ملاحظات مجهرية:

تم تجميد عضلة في حالة راحة، وعضلة متقلصة. بعد ذلك تم انجاز مقاطع على مستوى العضلتين، لتتم ملاحظتهما بالمجهر الالكتروني. تمثل الوثيقة 14، نتيجة هذه الملاحظة.

الوثيقة 14: آلية التقلص.

تعطي الوثيقة أمامه ملاحظة مجهرية لساركومير مرتخ (شكل أ) وآخر متقلص (شكل ب)، مصحوبة برسم تفسيري (شكل ج).
قارن الشكلين أ وب واستخرج مختلف التغيرات التي تطرأ على الليف خلال التقلص العضلي، ثم فسر هذه التغيرات.



نلاحظ أن تقلص العضلة يصاحبه :
- تقصير على مستوى الساركوميرات (تقارب حزي z).
- ينقص طول الشريط الفاتح I، والمنطقة H.
- يبقى طول الشريط القاتم A ثابت.

ب- تفسير واستنتاج:

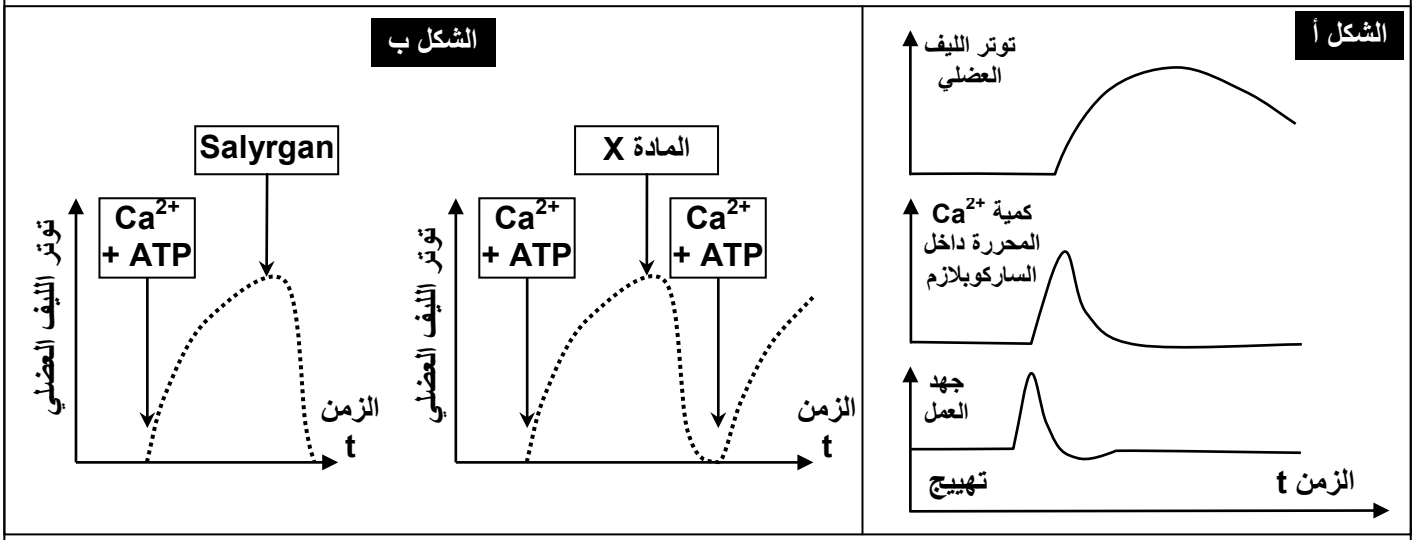
بما أن طول الأشرطة القاتمة يبقى ثابت، نستنتج أن التقصير الملاحظ في الساركومير ليس ناتجا عن تقصير في الخيوط العضلية، بل عن انزلاق الخيوط بعضها بالنسبة لبعض، في اتجاه مركز الساركومير (انزلاق الأكتين على الميوزين)، فينتج عن ذلك اقتراب حزي Z، واختزال المنطقة H. نتكلم عن آلية انزلاق الخيوط. **Glissement des filaments**

② آلية انزلاق الخيوط

أ - معطيات تجريبية: أنظر الوثيقة 15.

الوثيقة 15: دور الكالسيوم و ATP في حدوث التقلص العضلي.

★ يعطي مبيان الشكل أ، نتائج قياس كل من كمية Ca^{2+} داخل ساركوبلازم الخلية العضلية وتوترها بعد تهييجها.
يعطي مبيان الشكل ب، نتائج تأثير وجود أو عدم وجود ATP و Ca^{2+} ، على توتر الليف العضلي.
(المادة X هي مادة كيميائية ترتبط بالكالسيوم وتمنع فعله. المادة Salyrgan، هي مادة كابحة لحلمأة ATP).
حلل هذه المنحنيات، واستنتج دور ATP وايونات الكالسيوم في حدوث التقلص العضلي.



★ لقد بينت الدراسات وجود تالف بين رؤوس الميوزين والأكتين. وبوجود ايونات الكالسيوم، ترتبط رؤوس الميوزين بالأكتين فيتشكل مركب الأكتوميوزين الذي يكون بنيات خاصة تسمى القناطر المستعرضة(Ponts transversals).
بالاعتماد على هذه المعطيات والمعطيات السابقة، بين العلاقة بين ايونات الكالسيوم ونشوء القناطر المستعرضة.

ب- تحليل واستنتاج:

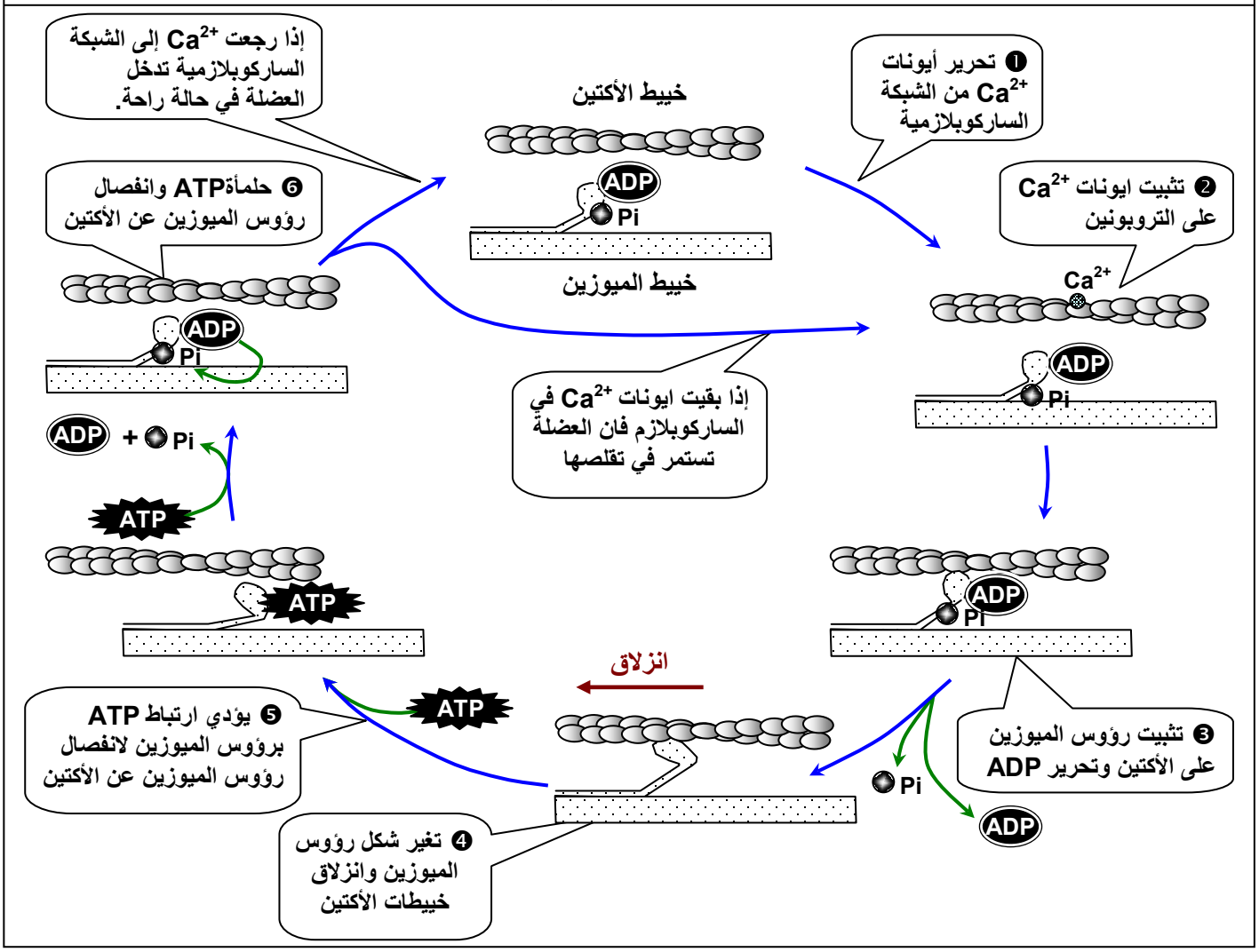
- الشكل أ : بعد تهييج العضلة مباشرة، نلاحظ ارتفاع تركيز الكالسيوم داخل سيتوبلازم الخلية العضلية، متبوعا بارتفاع توتر الليف العضلي.
- الشكل ب : نلاحظ أن الليفات العضلية تتقلص بسرعة عند وجود ATP، وايونات الكالسيوم. وعندما نمنع حلمأة ATP بفعل Salyrgan، يختفي توتر الليف.
  أما عندما نمنع فعل Ca^{++} ، يختفي توتر الليف، رغم وجود ATP.
- نستنتج من هذه المعطيات أن توتر الليف العضلي يستلزم وجود ATP وCa^{++}. هذا الأخير يعمل على تحرير مواقع الارتباط بين الميوزين والأكتين، لتتكون قناطر مستعرضة.

ت- خلاصة: آلية التقلص العضلي.

يعتمد التقلص العضلي على تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة على مستوى الـ ATP إلى طاقة ميكانيكية، تتجلى في انزلاق خيوط الأكتين على خيوط الميوزين وِفق آلية التقلص العضلي. تمر هذه الآلية عبر مراحل تلخصها الوثيقة16.

الوثيقة 16: خطاطة تبين التفاعل بين خيطات الميوزين والأكتين خلال التقلص العضلي.

حول الخطاطة التالية إلى نص تفسر من خلاله آلية التقلص العضلي.



يتطلب التقلص العضلي وجود ATP، وايونات الكالسيوم، ويتم كما حسب المراحل التالية:

- ترتبط جزيئات الـ ATP برؤوس الميوزين، فيتشكل مركب الميوزين-ATP. وبوصول السيالة العصبية يتم تنبيه الليف العضلي، فتحرر الشبكة الساركوبلازمية ايونات الكالسيوم Ca^{2+}.
- بحضور Ca^{2+}، يتم تحرير مواقع ارتباط رؤوس الميوزين على الأكتين، والتي كانت محجوبة ببروتينات التروبوميوزين، فتتكون بذلك قناطر الأكتوميوزين.
- تلعب مركبات الأكتوميوزين دور أنزيم محفز لحلمأة ATP إلى ADP + Pi + طاقة. و بذلك يتشكل مركب أكتين-ميوزين-ADP+Pi.
- بتحرير Pi وadp يتم تحرير طاقة، تؤدي إلى دوران رؤوس الميوزين في اتجاه مركز الساركومير، وهذا ما يؤدي إلى تقلصه.
- ترتبط جزيئة ATP من جديد برؤوس الميوزين مسببة انفصالها عن الأكتين، ثم تتم حلمأتها. وفي حالة استمرار وجود الكالسيوم بتركيز ملائم (استمرار التنبيه)، ترتبط من جديد خيطات الميوزين بخيطات الأكتين وتدور رؤوس الميوزين، فيستمر انزلاق الخيطات، ويحدث بالتالي تقلص الليف العضلي، ومعه تقلص العضلة.
- عند انتهاء التنبيه، يضخ Ca^{2+} داخل الشبكة الساركوبلازمية، وبارتبلط جزيئة أخرى لـ ATP برؤوس الميوزين، ينفصل الأكتين عن الميوزين، وتحجب مواقع ارتباط رؤوس الميوزين على الأكتين، فيحدث الارتخاء.

V – كيف يتم تجديد الطاقة اللازمة للتقلص العضلي ؟

① **معطيات تجريبية:** أنظر الوثيقة 17

الوثيقة 17: تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة قبل وبعد التقلص.

تعطي الجدول أسفله، تغيرات بعض المكونات الكيميائية للعضلة، قبل وبعد التقلص.
قارن معطيات هذا الجدول، واقترح تفسيرا للتغيرات الملاحظة قبل التقلص وبعده. ثم استنتج طرق تجديد ATP.

التجارب	الملاحظات	المواد المعايرة	نتائج المعايرة		تحليل وتفسير
			قبل التقلص	بعد التقلص	
اهاجة العضلة كهربائيا	تقلص العضلة لمدة 3 دقائق	غليكوجين	1.62	1.21	①
		حمض لبني	1.5	1.95	
		ATP	2	2	
		فوسفوكرياتين	1.5	1.5	
اهاجة العضلة بوجود الحمض الأيودي الأسيتيك (مادة توقف انحلال الكليكوز)	تقلص العضلة في نفس ظروف التجربة السابقة	غليكوجين	1.62	1.62	②
		حمض لبني	1.5	1.5	
		ATP	2	2	
		فوسفوكرياتين	1.5	0.4	
اهاجة العضلة بوجود الحمض الايودي الأسيتيك ومادة مانعة للفوسفوكرياتين كيناز (أنزيم ضروري لانحلال الفوسفوكرياتين)	العضلة تتقلص بصفة عادية ثم تتوقف	غليكوجين	1.62	1.62	③
		حمض لبني	1.5	1.5	
		ATP	2	0	
		فوسفوكرياتين	1.5	1.5	

② تحليل وتفسير:

- **التجربة ①:** نلاحظ خلال التجربة الأولى أن نسبة الغليكوجين تنخفض، ونسبة الحمض اللبني ترتفع، بينما نسبة ATP، والفوسفوكرياتين، تبقى ثابتة.
يدل ثبات نسبة ATP في هذه التجربة، رغم استهلاكه خلال التقلص العضلي، على أنه يتجدد باستمرار. ويتم هذا التجديد بواسطة التخمر اللبني، حيث تمت حلمأة الغليكوجين إلى كليكوز، يخضع هذا الأخير للتخمر ليعطي حمض لبني + ATP.

- **التجربة ②:** خلال التجربة الثانية، انخفاض نسبة الفوسفوكرياتين فقط. تدل هذه النتائج على أن تجديد ATP في هذه الحالة يتم بواسطة الفوسفوكرياتين، وهي مادة غنية بالفوسفات، تجدد ATP، حسب التفاعل التالي:

$$ADP + CP\ (\text{الفوسفوكرياتين}) \xrightarrow[\text{أنزيم خاص}]{} C\ (\text{الكرياتينين}) + ATP$$

- **التجربة ③:** خلال التجربة الثالثة، توقفت العضلة عن التقلص بعد استنفاذ مخزونها من ATP ، يدل هذا على عدم تجديد **ATP**.

③ استنتاج: طرق تجديد ATP:

حسب سرعة تدخلها يمكن تصنيف الطرق المجددة ل ATP، إلى ثلاثة أنواع:

أ - الطرق اللاهوائية السريعة:

في أقل من 30 ثانية ينطلق تفاعلان لتجديد ATP:

- بواسطة التفاعل بين ADP، تحت تأثير الأنزيم الميوكيناز MK (myokinase)

$$ADP + ADP \xrightarrow[MK]{} ATP + AMP$$

- بواسطة الفوسفوكرياتين:

$$ADP + CP\ (\text{الفوسفوكرياتين}) \xrightarrow[\text{أنزيم خاص}]{} C\ (\text{الكرياتينين}) + ATP$$

يكون هذا التفاعل مصحوبا بتحرير حرارة، هي الحرارة الأولية.

ب- الطرق اللاهوائية المتوسطة السرعة:

تتمثل في التخمر اللبني، حيث تتم حلمأة الغليكوجين العضلي إلى كليكوز، يخضع للانحلال في الجبلة الشفافة إلى حمض البيروفيك، الذي يتحول إلى حمض لبني.

$$(C_6H_{11}O_5)_n \text{ غليكوجين} + n\ H_2O \xrightarrow[\text{حلمأة الغليكوجين}]{} n\ (C_6H_{12}O_6) \text{ كليكوز}$$

$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP \xrightarrow[\text{التخمر اللبني}]{} 2CH_3 - CHOH - COOH + 2ATP$$

كليكوز — حمض لبني + طاقة

ت- الطرق الهوائية البطيئة:

تتمثل في التنفس الخلوي، حيث تتم حلمأة الغليكوجين العضلي إلى كليكوز، يتم هدمه بشكل تام بوجود الأوكسجين، ليتحول إلى CO2 وماء، مع تحرير كمية كبيرة من الطاقة (ATP)، مع تحرير طاقة على شكل حرارة، هي الحرارة المؤخرة.

الوحدة الثانية

طبيعة الخبر الوراثي والية تعبيره
نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي

مدخل عام :

رغم تنوع الكائنات الحية، ورغم الفروق البيفردية والسلالية داخل كل جنس، يلاحظ دائما أن هناك وحدة على مستوى الآلية الوظيفية عند كل الأجسام الحية، كما أن مختلف البروتينات المكونة لمختلف البنيات، تتكون من تسلسل الأحماض الأمينية، وتختلف هذه البروتينات فيما بينها بعدد ونوع وترتيب الأحماض الأمينية، وأن الصفات الشكلية والفيزيولوجية والسلوكية، تنتقل عبر السلالات المتعاقبة، الشيء الذي يبين أن هناك خبر وراثي ينتقل من جيل إلى آخر.ويمكن التوالد الجنسي من نقل الخبر الوراثي من جيل لآخر.

- **أين يتموضع الخبر الوراثي ؟ وما هي الطبيعة الكيميائية لهذا الخبر الوراثي؟**
- **ما علاقة نوع وترتيب الأحماض الأمينية للبروتينات بطبيعة الخبر الوراثي؟**
- **كيف ينقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي عند ثنائيات الصيغة الصبغية؟**
- **أين تتجلى أهمية الانقسام الاختزالي و الإخصاب عند الكائنات الحية؟**
- **ما الذي يُسبب تنوع الخبر الوراثي من جيل لآخر عند أفراد نفس النوع؟**
- **ما القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية؟ وما تأويلها الصبغي؟**

الوحدة الثانية: الفصل الأول:

طبيعة الخبر الوراثي

تمهيد:

يَنتُج التوأمان الحقيقيان عن بيضة واحدة، بعد التقاء مشيج ذكري ومشيج أنثوي. تنقسم هذه البيضة إلى خليتين، تتطور كل منهما، لتعطيان في الأخير جنينين متشابهين، يشتركان في جل الصفات.
هذا التشابه بين التوأمين يدل على أنهما تلقيا نفس الخبر من الخلية الأصلية (البيضة). وبالتالي فللصفات الوراثية، يحكمها برنامج وراثي دقيق، يتموضع على مستوى الخلايا، و ينتقل من خلية إلى أخرى أثناء تكاثرها.

- **أين يتموضع الخبر الوراثي على مستوى الخلية؟**
- **كيف ينتقل هذا الخبر عبر خلايا الكائن الحي؟**
- **ما هي الطبيعة الكيميائية للخبر الوراثي؟**

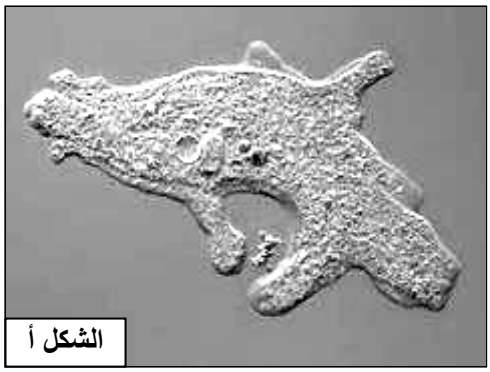
I – أين يتواجد الخبر الوراثي؟

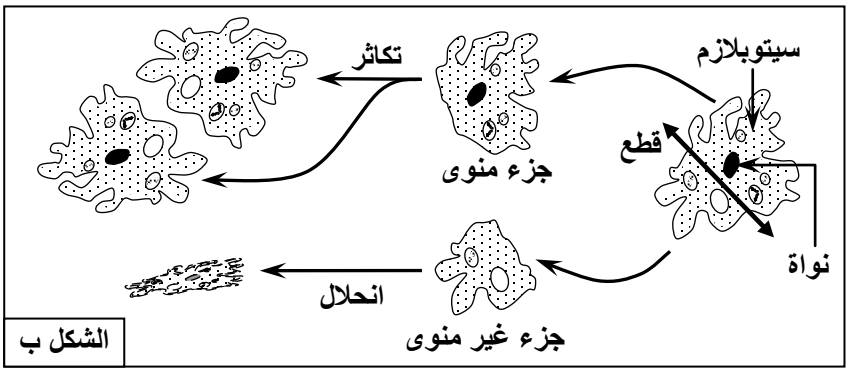
① الكشف عن تموضع الخبر الوراثي داخل الخلية

أ – تجربة القطع عند الأميبة Amibe : أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: تجربة القطع عند الأميبة Amibe.

الأميبة(الشكل أ) كائن حي وحيد الخلية، وهي عبارة عن كتلة بروتوبلازمية مجهرية يتراوح قطرها بين 127 و340µm، غير منتظمة الشكل تحتوى على نواة حقيقية واحدة، وتتحرك حركة انزلاقية بطيئة باستخدام الأرجل الكاذبة (Pseudopodes).
يبين الشكل ب من الوثيقة رسوما تخطيطية لمراحل تجربة القطع عند هذه الأميبة.


الشكل أ



الشكل ب

ماذا تستخلص من تحليل نتائج هذه التجربة؟

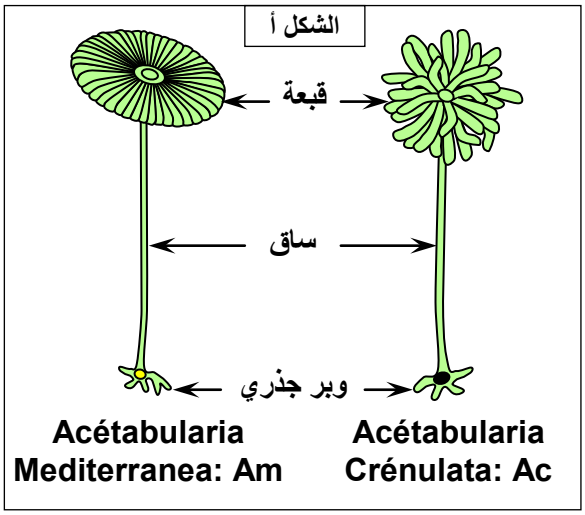
نلاحظ أن الجزء الذي يحتوي على النواة يستمر في الحياة، ويتكاثر. نستنتج أن النواة ضرورية لحياة الخلية وتكاثرها.

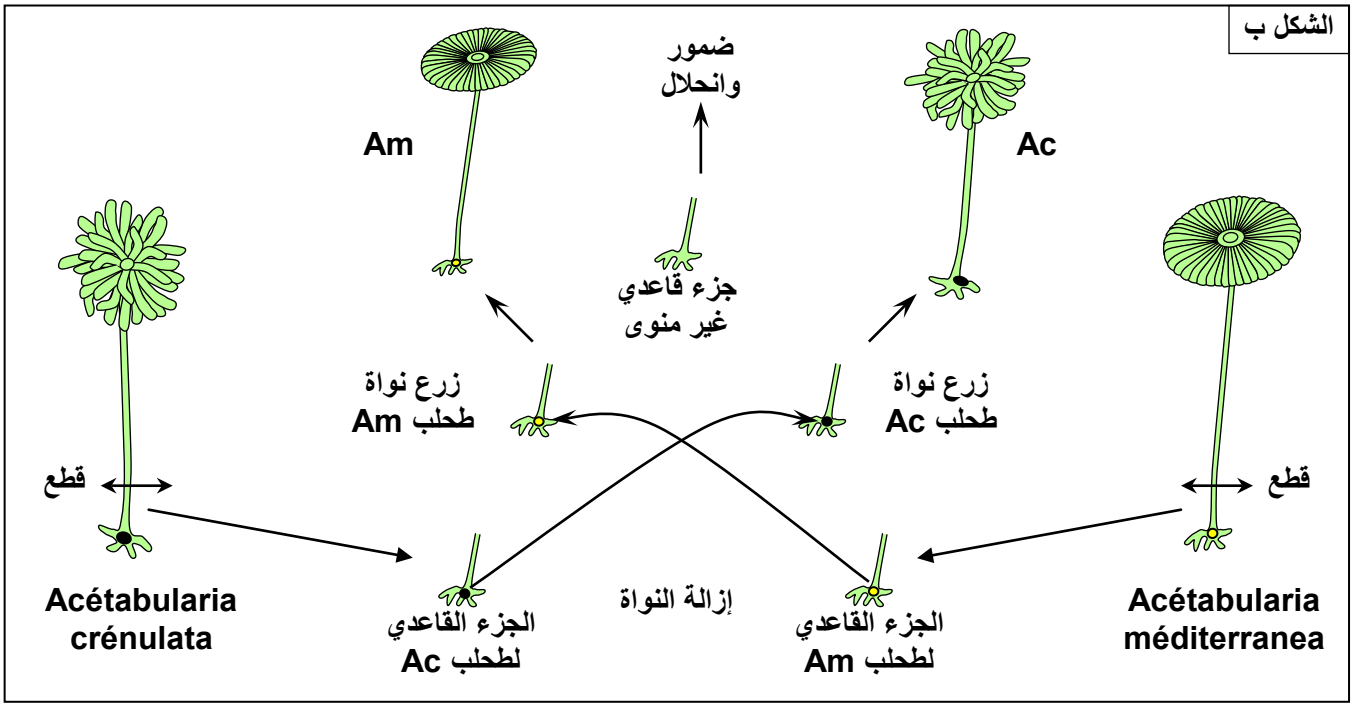
ب – تجارب القطع والتطعيم عند الأسيتابولاريا Acetabularia: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: تجارب القطع والتطعيم عند الأسيتابولاريا.

تعد الأسيتابولاريا Acétabularia من بين الطحالب الخضراء البحرية الوحيدة الخلية. ويمثل الشكل أ رسوما تخطيطية لنوعين من هذا الطحلب.
قام Hamerling ومساعدوه بتجربة القطع والتطعيم على النوعين المذكورين أعلاه من طحلب الأسيتابولاريا.
يبين الشكل ب من الوثيقة ظروف ونتائج هذه التجربة.

1) حدد الهدف من هذه التجربة.
2) ضع فرضية تفسر بواسطتها تشكل القبعة.





1) الهدف من هذه التجربة هو تحديد دور النواة في حياة الخلية.

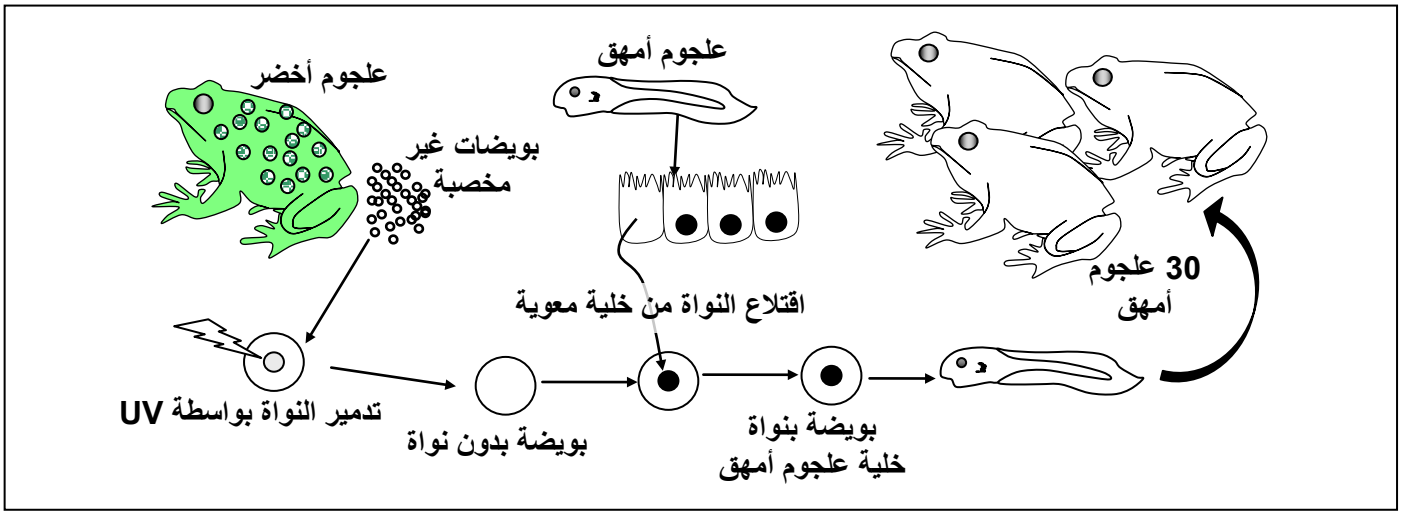
2) نلاحظ أن الوبر الجذري الذي يحتوي على النواة، وحده يستمر في العيش ويجدد خلية كاملة (طحلب)، بنفس صفات الخلية الأصل للنواة، أي أن شكل القبعة مرتبط بنوع النواة. انطلاقا من هذا يمكن افتراض أن النواة هي المسؤولة عن تشكل القبعة، إذن هي الحاملة للخبر الوراثي.

ج – تجربة الاستنساخ عند العلجوم Xénopes (Crapaud) : أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: تجربة الاستنساخ عند العلجوم Xénope (Crapaud)

قصد تحديد تموضع الخبر الوراثي داخل الخلية، قام العالم Gurdon سنة 1960 بتجربة على سلالتين من العلاجم: علجوم عادي (متوحش) وعلجوم أمهق (أنظر الصورة جانبه).
لقد قام هذا العالم بأخذ نواة خلية معوية لشرغوف أمهق، وزرعها داخل بويضة علجوم عادي، بعد أن قام بتعريض هذه البويضة للأشعة فوق البنفسجية UV بهدف تدمير نواتها الأصلية.
تمثل الرسوم التخطيطية أسفله مراحل التجربة والنتائج المحصل عليها.

انطلاقا من معطيات هذه التجربة، بين كيف مكنت تجربة Gurdon من تأكيد المعطيات الواردة في تجارب التقطيع الخلوي عند الأسيتابولاريا بخصوص تموضع الخبر الوراثي.



لقد أدى زرع نواة شرغوف أمهق داخل بويضة بدون نواة لعلجوم عادي، إلى إعطاء علاجم مهقاء.
يتبين من هذا أن العلاجم الناتجة عن الاستنساخ، لها صفات العلجوم الذي أخذت منه النواة، وبالتالي فالصفة أمهق انتقلت من نواة العلجوم الأمهق وليس سيتوبلازم العلجوم العادي.
هذه المعطيات تؤكد استنتاجات تجارب التقطيع الخلوي عند الأسيتابولاريا، حيث أن النواة هي موضع الخبر الوراثي.

② خلاصة:

يتبين من كل التجارب السابقة أن النواة ضرورية لحياة الخلية ولتوالدها، وأن هذه النواة هي التي تتحكم في التكوين الشكلي للخلية. إذن المادة الناقلة للصفات الوراثية توجد في النواة. أي أن الخبر الوراثي يتواجد على مستوى النواة.

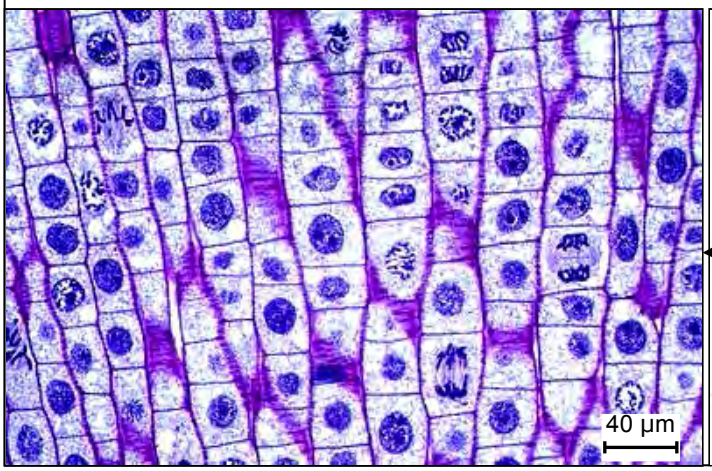
II – انتقال الخبر الوراثي عبر الانقسام الخلوي.

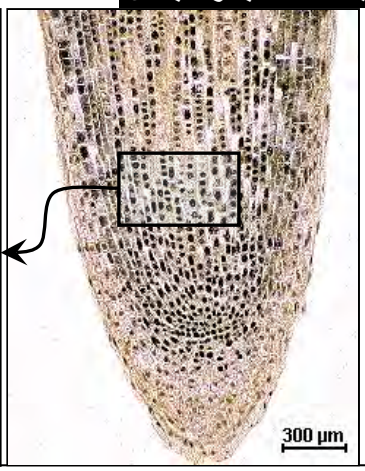
① الانقسام غير المباشر عند خلية نباتية.

يتم نمو المتعضيات وتجديد خلاياها بالتكاثر الخلوي، الذي يتم عبر الانقسام الخلوي، حيث تنقسم الخلايا الأم، لتعطي خلايا بنت مشابهة لها. ويسمى هذا الانقسام بالانقسام غير المباشر (Mitose).
يحافظ هذا الشكل من التوالد على الهوية البيولوجية للخلية. فكيف تتدخل هذه الآلية في انتقال الخبر الوراثي؟

أ – ملاحظة خلايا نباتية في طور الانقسام غير المباشر. أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: ملاحظة مجهرية لحافة جذر البصل.





تعطي الأشكال أمامه صور الكترونوغرافية لملاحظات مجهرية لحافة جذر البصل.

انطلاقا من تحليل هذه الوثائق بين كيف يتم التكاثر الخلوي؟

تبين هذه الملاحظة أن الجدر يتكون من خلايا صغيرة ذات نوى مختلفة المظهر: بعضها كبير الحجم، وكروي الشكل، محاطة بغشاء نووي، وتضم شبكة كثيفة من الخيبطات النووية تسمى الصبغين كما تحتوي على نويات، تعتبر هذه الخلايا في طور السكون، بعض الخلايا تلاشت بها النواة وعوضت ببنيات على شكل خيبطات تسمى الصبغيات Chromosomes، وتعتبر في حالة انقسام غير مباشر.

ب – مراحل الانقسام غير المباشر. أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: مراحل الانقسام غير المباشر.

★ يعطي الشكل أ من الوثيقة 5 صورا الكترونوغرافية لبعض الخلايا في طور الانقسام.

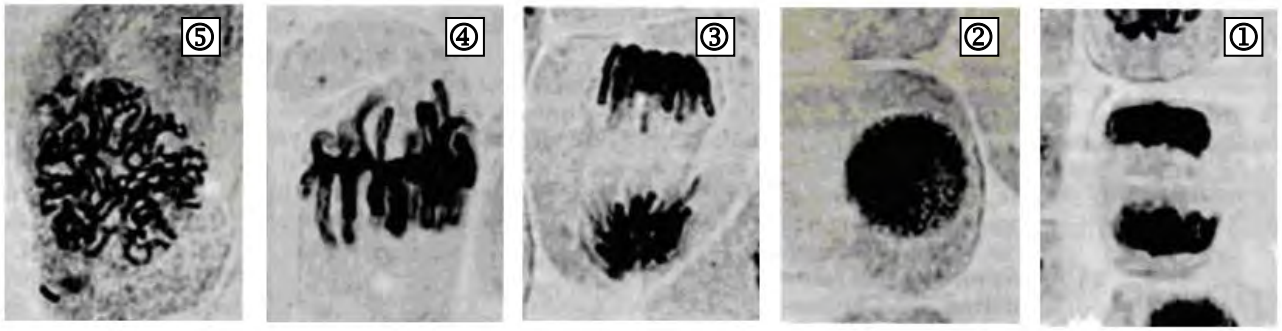
1) أعط عنوانا مناسبا لكل صورة من الصور 1، 2، 3، 4، و5 بعد ترتيبها زمنيا والتعليق عليها.

★ يعطي الشكل ب من الوثيقة 5 رسوما تخطيطية لملاحظات مجهرية لخلايا نباتية وحيوانية في طور الانقسام.

2) أعط الأسماء المناسبة لعناصر كل رسم ثم حدد اسم كل طور وعدد الصبغيات. ماذا تستنتج من ذلك؟

3) صف أهم مميزات كل مرحلة من مراحل الانقسام غير المباشر؟

الشكل أ: صور الكترونوغرافية لبعض الخلايا في طور الانقسام



الشكل ب: رسوم تخطيطية لملاحظات مجهرية لخلايا نباتية وحيوانية في طور الانقسام

	خلية نباتية		خلية حيوانية
المرحلة التمهيدية	عدد الصبغيات: 6	1= جدار هيكلي 2 = غشاء سيتوبلازمي 3 = سيتوبلازم 4 = نوية 5 = غشاء نووي 6 = صبغيات	عدد الصبغيات: 4
المرحلة الاستوائية	عدد الصبغيات: 6	1 = كمة قطبية 2 = غشاء سيتوبلازمي 3 = سيتوبلازم 4 = صبغيات 5 = ألياف قطبية 6 = ألياف صبغية 7 نجيمة	عدد الصبغيات: 4
المرحلة الانفصالية	عدد الصبغيات: 6+6	1 = كمة قطبية 2 = صبغيات 3 = اختناق استوائي 4 = نجيمة	عدد الصبغيات: 4+4
المرحلة النهائية	عدد الصبغيات: 6	1 = خليتان بنتان 2 = فاصل غشائي 3 = نواة بنت	عدد الصبغيات: 4

1) الترتيب الزمني للصور مع التعليق:

★ الترتيب الزمني للصور هو: ② ← ⑤ ← ④ ← ③ ← ①.

★ التعليق على الصور:

- ✓ الصورة ②: قبل الدخول في الانقسام غير المباشر، تضم النواة شبكة كثيفة من الخيبطات النووية هي الصبغين. نقول أن الخلية في مرحلة السكون Interphase.
- ✓ الصورة ⑤: يختفي الصبغين الذي يتجمع على شكل خيبطات تسمى الصبغيات Chromosomes. نقول أن الخلية في المرحلة التمهيدية Prophase.
- ✓ الصورة ④: تموضع الصبغيات وسط الخلية مشكلة صفيحة استوائية. نقول أن الخلية في المرحلة الاستوائية Métaphase.
- ✓ الصورة ③: انفصال الصبغيات إلى مجموعتين، تهاجر كل مجموعة في اتجاه أحد قطبي الخلية. نقول أن الخلية في المرحلة الانفصالية Anaphase.
- ✓ الصورة ①: اختفاء الصبغيات ليحل محلها الصبغين في كل قطب من قطبي الخلية، حيث تتشكل نواتين يظهر بينهما فاصل. نقول أن الخلية في المرحلة النهائية Télophase.

2) الأسماء المناسبة لعناصر الشكل ب من الوثيقة وعدد الصبغيات: أنظر الشكل ب من الوثيقة.
نستنتج من هذه المعطيات أن الانقسام غير المباشر يمكننا من المرور من خلية أم بعدد 2n من الصبغيات لنحصل على خليتين كل واحدة ب عدد 2n من الصبغيات، أي نفس الخبر الوراثي للخلية الأم.

3) مميزات مراحل الانقسام غير المباشر:

a – الطور التمهيدي La prophase

تتميز هذه المرحلة في بدايتها بتكاثف الصبغين و انتظامه على شكل خيبطات تسمى الصبغيات، كل صبغي مكون من وحدتين، نسمي كل واحد منهما صبيغي Chromatide، مرتبطين على مستوى الجزيء المركزي Centromère، في نهاية هذه المرحلة يتلاشى الغشاء النووي و النويات، وتظهر منطقة فاتحة في قطبي الخلية، هي عبارة عن كمات قطبية Calottes polaires، يظهر بينهما مغزل لالوني Fuseau achromatique.

b – الطور الاستوائي La métaphase

خلال هذه المرحلة تصبح الصبغيات أكثر وضوحا، و تتموضع على المستوى الاستوائي للخلية مكونة الصفيحة الاستوائية La plaque équatoriale، و يكتمل تشكل مغزل الانقسام.

c – الطور الانفصالي L'anaphase

تتميز هذه المرحلة بانشطار الجزيء المركزي، ليعطي جزيئين مركزيين، يتصل كل منهما بصبيغي، ليتضاعف عدد الصبغيات. تتكون مجموعتين متساويتين من حيث عدد الصبغيات، فتتم هجرة كل مجموعة نحو أحد قطبي الخلية نتيجة تقصير الألياف الصبغية إنها الهجرة القطبية.

d – الطور النهائي La télophase

تتجمع الصبغيات و تتشابك و تفقد شكلها الانفرادي الواضح، و تتحول إلى كتلة من الصبغين، ويتكون الغشاء النووي و النويات، ويختفي مغزل الانقسام، و يتكون جدار أولي للغشاء السيليلوزي يفصل بين خليتين بنتين تتوفران على نفس عدد الصبغيات.

② الانقسام غير المباشر عند خلية حيوانية.

من خلال ملاحظة مراحل الانقسام غير المباشر عند خلية حيوانية، يتبين أنه يشبه انقسام الخلية النباتية في خطوطه العريضة، مع وجود اختلافين رئيسيين:

- تتوفر الخلية الحيوانية على عضي خاص يسمى الجسيم المركزي Le centrosome، مكون من مريكزين 2Centrioles، يشكل كل واحد منهما نجيمة قطبية Aster، يتكون بينهما المغزل اللالوني أثناء الانقسام الخلوي.

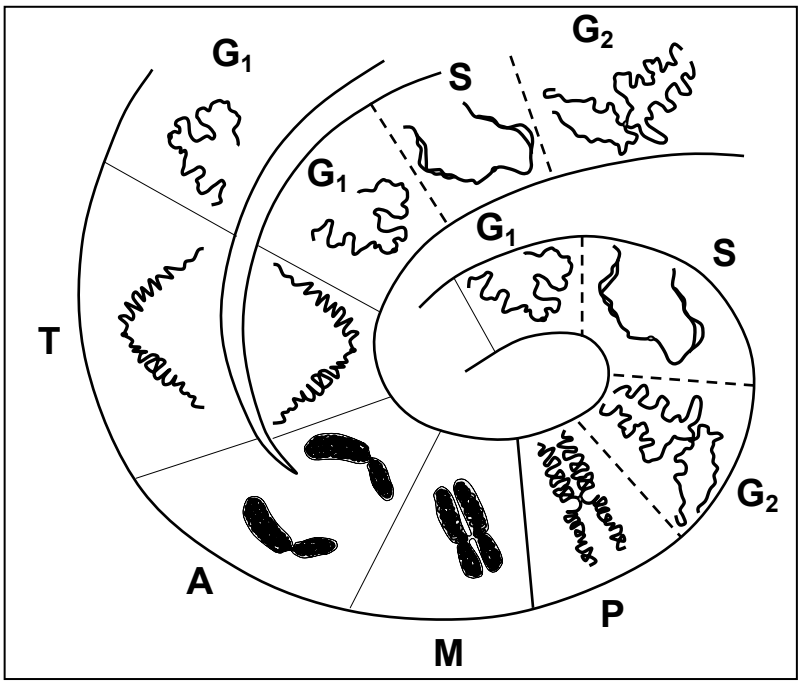
- خلال الطور النهائي، يتم انفصال الخليتين البنتين، بواسطة حلقة قلوصة تظهر على مستوى استواء الخلية، تنقبض فتفصل الخلية إلى جزأين متساويين، وتسمى هذه الظاهرة بالاختناق الاستوائي L'étranglement équatorial.

③ مفهوم الدورة الخلوية. أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: مفهوم الدورة الخلوية.

يبين الرسم التخطيطي أمامه، مظاهر الصبغيات خلال دورة خلوية.

ماذا تستخلص من تحليل هذه المعطيات؟



G_1 = مرحلة النمو الأولى
S = مرحلة التركيب
G_2 = مرحلة النمو الثانية
P = المرحلة التمهيدية
M = المرحلة الاستوائية
A = المرحلة الانفصالية
T = المرحلة النهائية

★ يكون كل انقسام غير مباشر مسبوقا بمرحلة سكون، تتميز بالتطورات التالية:
- ✓ في الفترة G_1: يكون خيط الصبغين دقيقا وطويلا.
- ✓ في الفترة S: يخضع الصبغين لعملية التضاعف.
- ✓ في G_2: الصبغين مضاعف. كل خيط يعتبر نسخة لقرينه المرتبط به على مستوى الجزيء المركزي.

★ بعد مرحلة السكون تدخل الخلية في الانقسام غير المباشر، والذي يتميز بالتطورات التالية:
- ✓ في المرحلة التمهيدية (P): يتلولب الصبغين لتظهر الصبغيات.
- ✓ في المرحلة الاستوائية (M): تظهر الصبغيات أقصى تلولب.
- ✓ في المرحلة الانفصالية (A): تنفصل صبيغيات كل صبغي لتعطي صبغيين متماثلين.
- ✓ في المرحلة النهائية (T): يزال تلولب الصبغيات وتعود من جديد إلى حالة الصبغين لندخل في مرحلة السكون.

يمثل مجموع مرحلة الانقسام غير المباشر، ومرحلة السكون التي تسبقه، دورة خلوية. والتي تؤدي إلى ظهور خليتين بنتين جديدتين . تأخذ كل خلية نفس الصبغيات أي نفس الخبر الوراثي كأختها، وهذا ما يفسر التشابه بين الخليتين البنتين من جهة وبين الخليتين البنتين والخلية الأم من جهة أخرى.

ادن تنتقل الذخيرة الوراثية من جيل إلى أخر دون تغيير، فنتكلم عن النقل المطابق للخبر الوراثي.

III – الطبيعة الكيميائية للمادة الوراثية.

① الكشف عن الطبيعة الكيميائية للمادة الوراثية.

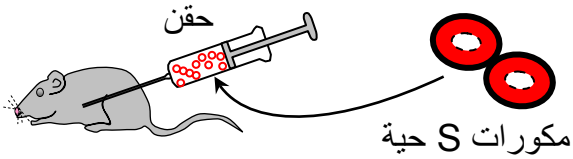
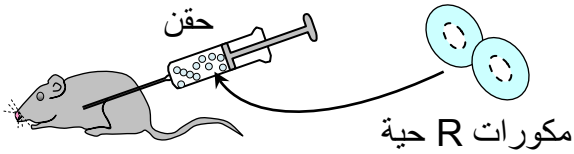
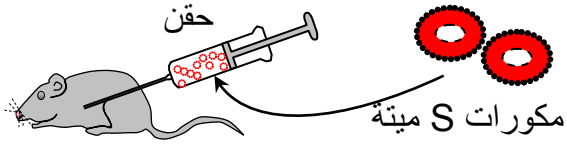
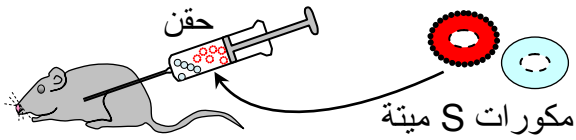
أ – تجربة Griffith (1928)

الوثيقة 7: تجربة Griffith .

في سنة 1928 قام العالم الإنجليزي Frederick Griffith بملاحظة المكورات الثنائية الرئوية Les pneumocoques، وهي بكتريا تسبب التهاب الرئة، وتوجد على شكلين مختلفين:
- ✓ شكل يحتوي على محفظة (علبية) ويكون لمات ملساء، نرمز لها بالحرف S (Smooth). يتميز هذا الشكل بكونه حاد (ممرض).
- ✓ شكل بدون محفظة ويكون لمات حرشة (خشنة)، نرمز لها بالحرف R (rough). وهذا الشكل غير حاد.

الوثيقة 7: تجربة Griffith .

في محاولة منه لتحويل البكتريا S إلى بكتريا R غير معدية، قام هذا العالم بالتجارب الملخصة على الجدول التالي:

التجربة	ظروف التجربة	النتائج	تحليل دم الفأر
①		 موت الفأر	 S حية
②		 يبقى الفأر حيا	غياب المكورات الرئوية
③		 يبقى الفأر حيا	غياب المكورات الرئوية
④		 موت الفأر	 S حية

ماذا تستنتج من خلال تحليل نتائج أبحاث Griffith ؟

ب – تحليل واستنتاج:

★ التحليل:

- عند حقن فأر سليم بالمكورات الرئوية S حية، يلاحظ موت هذا الفأر، (S بكتيريات حادة).
- عند حقن فأر آخر سليم بالمكورات R حية، يلاحظ بقاء هذا الفأر حيا، (R بكتيريات غير حادة).
- بعد تدمير المكورات S وحقنها لفأر سليم، يلاحظ بقاء هذا الفأر حيا. إذن، فالمكورات S الميتة فقدت قدرتها الممرضة، بفعل فقدانها للمحفظة.
- عند حقن فأر سليم بالمكورات S الميتة (غير الممرضة)، والمكورات R، يلاحظ موت هذا الفأر. كما أن تحليل عينة من دم هذا الفأر الميت، كشف عن تواجد مكورات S حية.

★ استنتاج:

نستنتج أن العامل المسؤول عن موت الفأر، هو تواجد المحفظة، حيث أن المكورات R التي لا تتوفر على المحفظة لا تؤثر على الفأر.

نستنتج من التجربة الأخيرة لـ Griffith أن المكورات S الحية التي تم الكشف عنها في دم الفأر الميت، لا يمكن أن تنتج إلا عن تحول المكورات R الحية إلى S حية، ولتفسير هذا التحول افترض Griffith أن S الميتة، حولت R الحية، إلى S حية، وذلك عن طريق مادة نقلتها إليها، سماها Griffith : العلة المحولة Principe transformant.

ج – التحقق من فرضية Griffith:

a – تجربة Avery و مساعدوه: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: أبحاث Avery , MacLeod , McCarthy (1944).

لمعرفة العلة المحولة، أي تحديد العامل المسؤول عن تحول البكتيريا R غير الممرضة، إلى بكتيريا S ممرضة، قام هؤلاء الباحثون بإضافة أنزيمات خاصة لتفكيك بعض المكونات الكيميائية للبكتيريا، فكانت النتائج كالتالي:

- بكتيريا R حية + بكتيريا S ميتة + أنزيم محلل للبروتينات = تحول البكتيريا R إلى بكتيريا S حية.
- بكتيريا R حية + بكتيريا S ميتة + أنزيم محلل للدهون = تحول البكتيريا R إلى بكتيريا S حية.
- بكتيريا R حية + بكتيريا S ميتة + أنزيم محلل ل ARN = تحول البكتيريا R إلى بكتيريا S حية.
- بكتيريا R حية + بكتيريا S ميتة + أنزيم محلل ل ADN = عدم تحول البكتيريا R إلى بكتيريا S حية.
- حقن ADN بكتيريا S لبكتيريا R حية ثم حقن هذه الأخيرة للفأر = موت الفأر ويبين تحليل دمه وجود بكتيريا S حية.

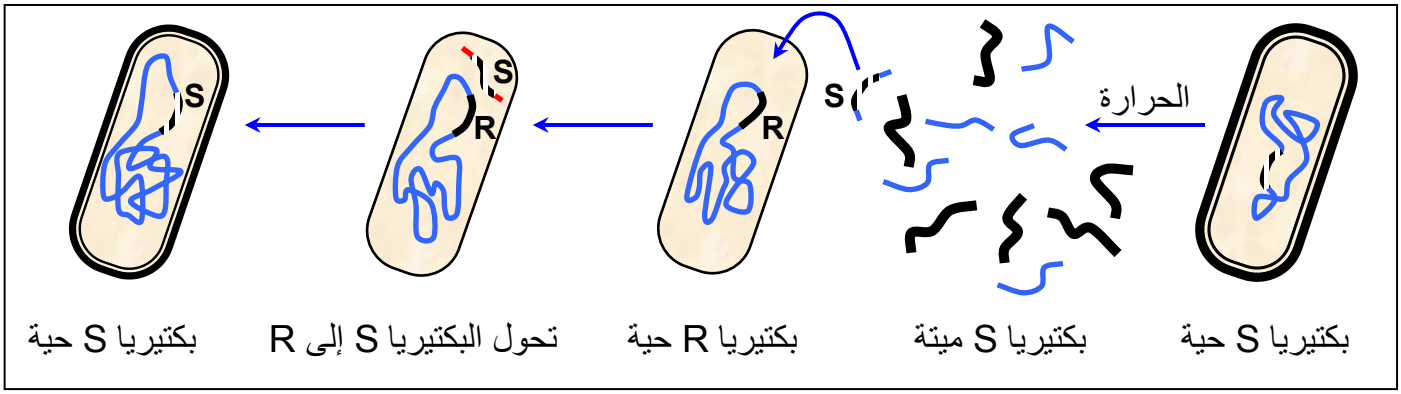
ماذا تستنتج من خلال تحليل نتائج تجربة Avery ومساعدوه؟

b – تحليل واستنتاج:

- نلاحظ أن العلة المحولة لا تتأثر بالأنزيمات المُحللة للبروتينات، والمحللة للدهون، والمحللة ل ARN.
- نلاحظ أن التحول البكتيري لا يحدث عند استعمال أنزيمات محلل ل ADN، (الحمض النووي الريبوزي ناقص الأكسجين Acide désoxyribonucléique). كما أن حقن ADN البكتيريا S، لبكتيريا R، يحول هذه الأخيرة إلى بكتيريا S حية.

نستنتج من هذه المعطيات أن العنصر المسؤول عن تحويل البكتيريا R الحية إلى بكتيريا S حية، هو ADN، وبالتالي فالعلة المحولة هي جزيئة ADN.

c – تفسير آلية التحول البكتيري: أنظر الرسم أسفله.



بعد موت المكورات S الحادة يتجزأ ADN إلى أجزاء صغيرة، فيدمج جزء من ADN المكورات S الميتة في ADN المكورات R الحية، التي تصبح لها القدرة على تركيب المحفظة المسؤولة عن المرض، وبالتالي تصبح مكورات S حية. يعني هذا نقل صفة وراثية جديدة من S إلى R.

د – دورة حياة العاثية Bactériophage: أنظر الوثيقة 9

الوثيقة 9: آلية تكاثر العاثيات.

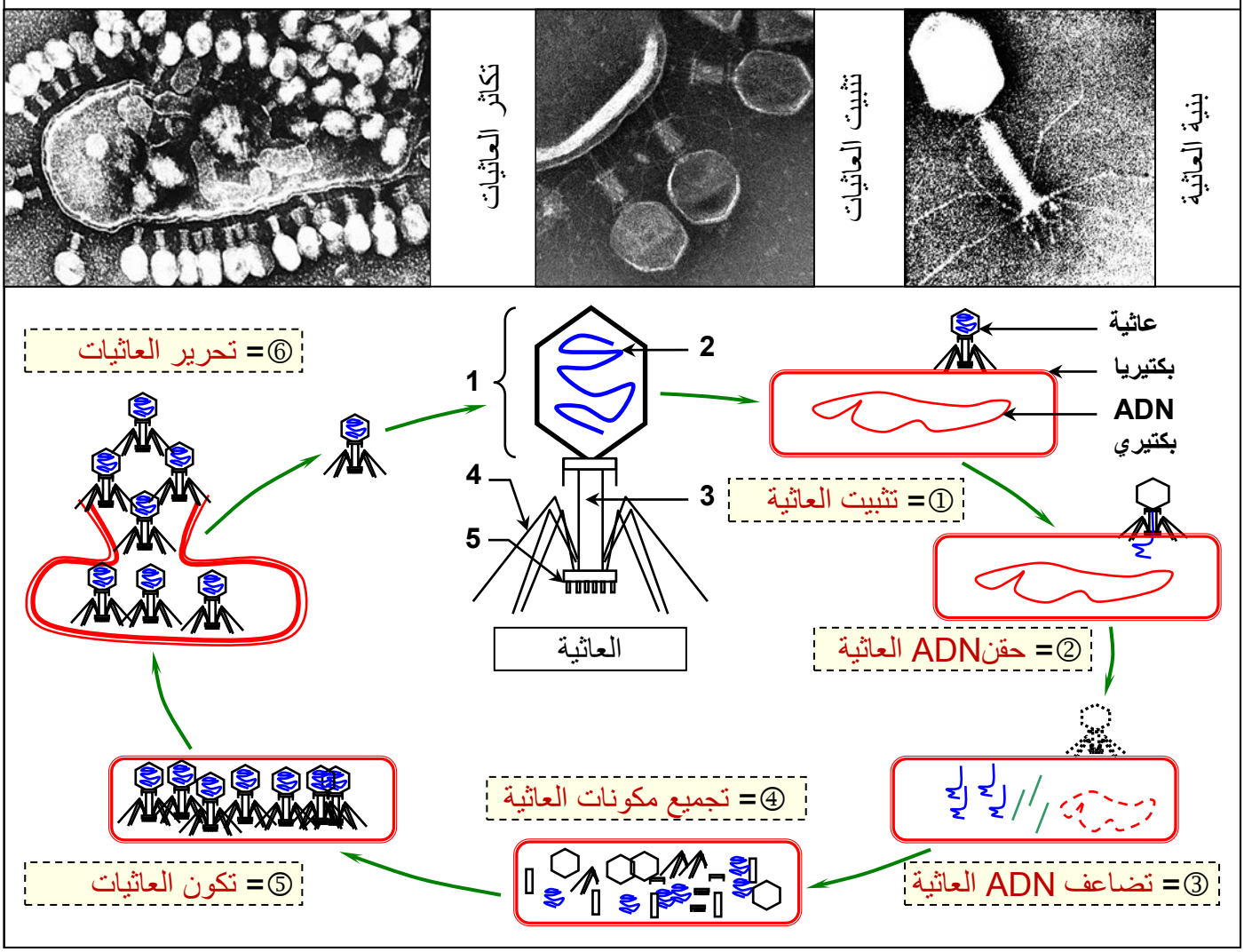
بعد تجارب Avery ومساعديه، واقتراحهم لطبيعة العلة المحولة، تمكن العالمين Alfred Hershey وChase Martha (1952)، من تأكيد الطبيعة الكيميائية للخبر الوراثي.

لقد اعتمد هذان العالمان في تجاربهم على تكاثر العاثيات Bactériophage، التي تعتبر نوع من أنواع الفيروسات، التي تتكاثر على حساب البكتيريات، ويتم ذلك على مراحل (أنظر الصور الالكترونغرافية والرسم التخطيطي أسفله).

تعتبر الفيروسات نظاما حيا، لها شكل هندسي مكون من بروتينات يتوسطها حمض نووي ADN وأحيانا ARN كحالة الزكام والسيدا. ليس لها استقلاب خاص بها بل تتكاثر على حساب خلايا أخرى.

اعتمادا على معطيات هذه الوثائق ماذا يمكنك استخلاصه من تفسير آلية تكاثر العاثيات؟

الوثيقة 9: آلية تكاثر العاثيات.



★ تتكون العاثية من رأس (1) يحتوي على جزيئة الـ ADN (2)، وتحيط بها طبقة بروتينية تسمى الغمد (3). تحتوي العاثية كذلك على خيبطات (4) ومُسطح به أشواك (5) يُسهل عملية تثبيتها على البكتيريات.

★ تتكاثر العاثية على حساب البكتيريا، ويتم ذلك على مراحل هي:

① تثبيت العاثية على البكتيريا.
② تسرب جزيئة ADN العاثية إلى سيتوبلازم البكتيريا.
③ تضاعف ADN العاثية وتلاشي ADN البكتيريا.
④ تركيب مكونات العاثية داخل البكتيريا.
⑤ تجميع مكونات العاثية وتركيب عاثيات جديدة.
⑥ انفجار البكتيريا وتحرير عاثيات جدد مشابهة للعاثية الأصلية.

★ يتبين من دورة حياة العاثية أن هذه الأخيرة تحقن فقط خبرها الوراثي، المتمثل في جزيئة ADN، ليتم تركيب عاثيات جديدة مشابهة للعاثية الأصلية. وبذلك يتأكد أن ADN يمثل الخبر الوراثي.

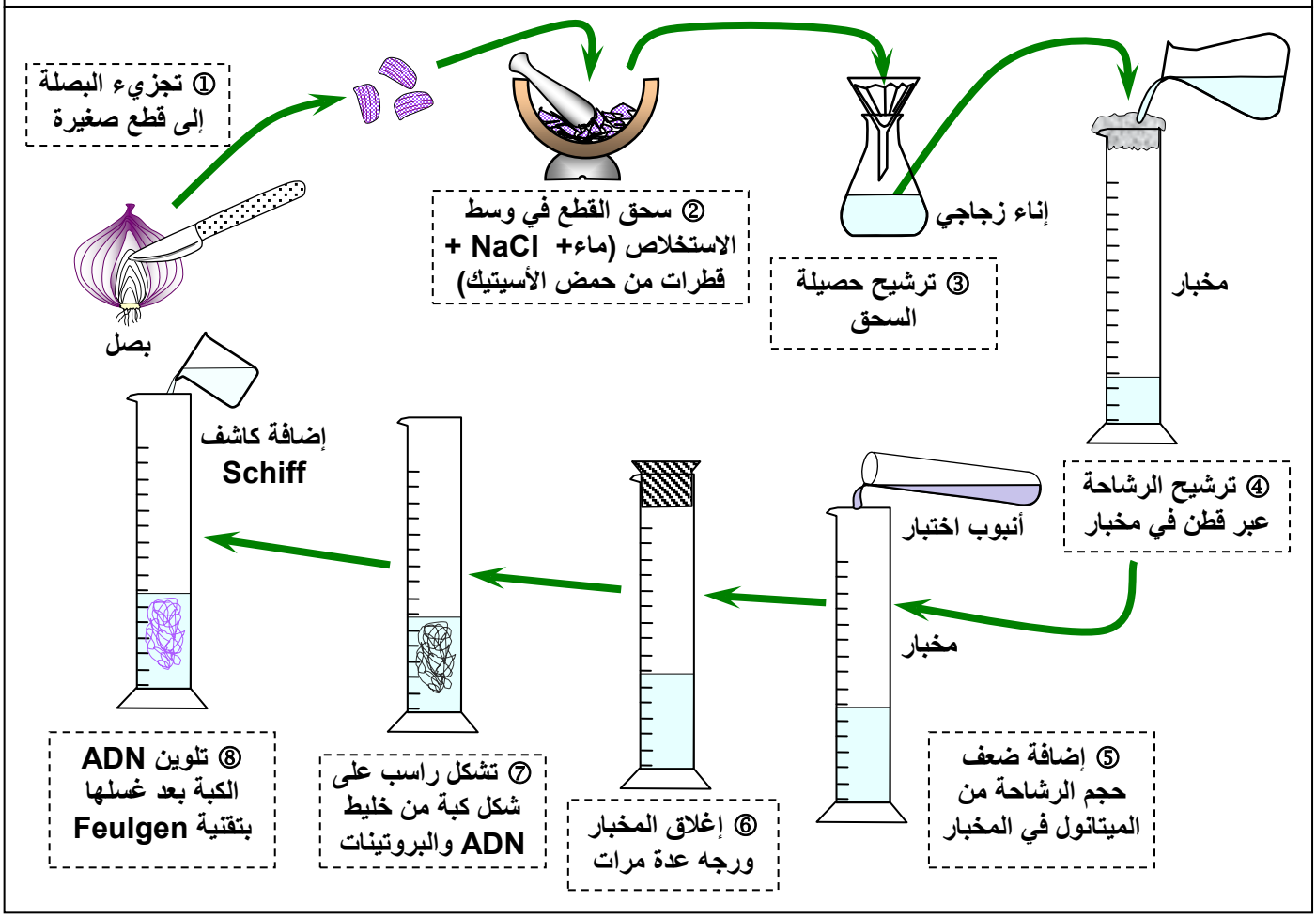
ه – خلاصة:

انطلاقا من تجارب Griffith وAvery ومساعديه، إضافة إلى تجارب العالِمين Hershey وChase يمكننا استخلاص أن المادة الوراثية الحاملة للخبر الوراثي هي عبارة عن جزيئة ADN، تتموضع في النواة وتنتقل عبر الصبغيات خلال الانقسام الخلوي.

② استخلاص مادة ADN من الخلايا والكشف عنها. أنظر الوثيقة 10

الوثيقة 10: استخلاص مادة ADN من الخلايا والكشف عنها.

للكشف عن مادة ADN تستعمل طريقة Feulgen، إذ تعتمد هذه التقنية على استعمال كاشف schiff وهو مادة عديمة اللون تتلون بالأحمر عند اتصالها ب ADN.
تبرز الرسوم أسفله مراحل تجربة استخلاص جزيئة ADN من خلايا بصلة البصل.
إذا علمت أن الصبغين يتلون بالأحمر بواسطة كاشف Schiff، ماذا تستخلص من نتائج تجربة استخلاص ADN حول العلاقة بين الصبغين وADN المستخلص.



تبرز نتائج تقنية Feulgen أن جزيئة ADN مكون أساسي للصبغيات، وهي بذلك الحاملة للخبر الوراثي.

ملحوظة: بينت دراسات أخرى وجود جزيئة ADN على مستوى الميتوكندري والبلاستيدة الخضراء، لكنها تتحكم فقط في بعض خصائص هذه العضيات.

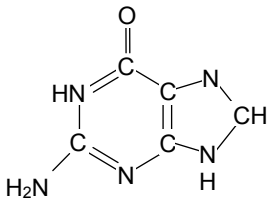
IV – التركيب الكيميائي لجزيئة ADN وبنيتها.

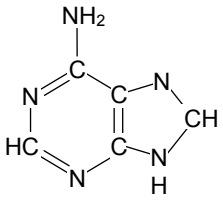
① المكونات الكيميائية لجزيئة ADN. أنظر الوثيقة 11

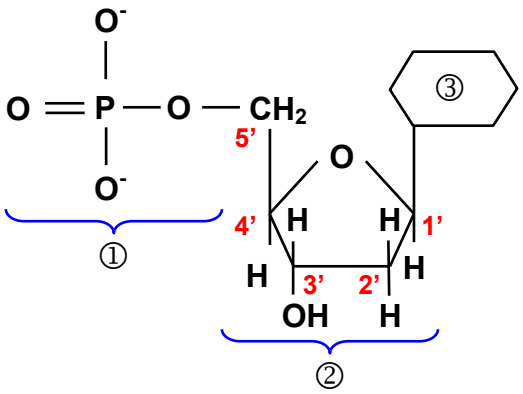
الوثيقة 11: التركيب الكيميائي لجزيئة ADN.

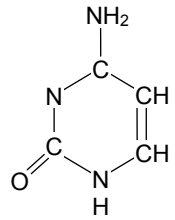
اعتمادا على الحلمأة الأنزيمية، أمكن عزل مختلف مكونات جزيئة ADN، إذ تعتبر جزيئة ADN جزيئة كبيرة تتكون من ثلاثة عناصر هي:

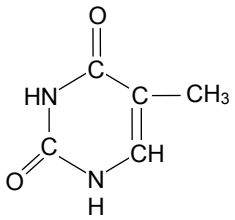
① حمض فسفوري Acide phosphorique.
② سكر الريبوز ناقص الأكسجين Désoxyribose.
③ قاعدة ازوتية Base azotée وهي إما:
★ الأدنين Adénine (A)، ★ الغوانين Guanine (G)، ★ التيمين Thymine (T)،
★ السيتوزين Cytosine (C).


Guanine (G)


Adénine (A)




Cytosine (C)


Thymine (T)

تكون الأجزاء الثلاثة (الحمض الفوسفوري+السكر+القاعدة الازوتية)، الوحدة الأساسية ل ADN، ونسميها نيكليوتيد Nucléotide وبذلك نقول أن جزيئة ADN هي عبارة عن عديد النيكليوتيدات.

بينت حلمأة جزيئات ADN، ذات مصادر مختلفة أنها تتكون من ثلاثة عناصر هي:

- حمض فوسفوري H_3PO_4 .
- سكر خماسي هو الريبوز ناقص أوكسجين $C_5H_{10}O_4$.
- قواعد ازوتية G، C، T، A.

و يمثل النيكليوتيد الوحدة الأساسية لـ ADN.

② بنية جزيئة ADN.

أ – نتائج أبحاث Chargaff: أنظر الوثيقة 12

الوثيقة 12: بنية جزيئة ADN.

ساهمت أبحاث العالم Erwin Chargaff سنة 1950 في فتح الباب أمام تحديد بنية جزيئة ADN. فلقد قام هذا الباحث بتحديد نسب القواعد الأزوتية الأربع، A, T, C, G، في جزيئات ADN ذات مصادر مختلفة، فحصل على النتائج الممثلة في الجدول أسفله.

الأجسام	التركيب من القواعد الازوتية ب %				نسبة القواعد الازوتية		
	A	G	C	T	A / T	G / C	A+G/C+T
الإنسان	30.9	19.9	19.8	29.4	1.05	1.01	1.03
الخروف	29.3	21.4	21.0	28.3	1.04	1.02	1.03
الدجاج	28.8	20.5	21.5	29.3	0.98	0.95	0.97

ما المعلومات الممكن استخلاصها من أبحاث Chargaff بخصوص بنية الـ ADN؟

ب – تحليل واستنتاج.

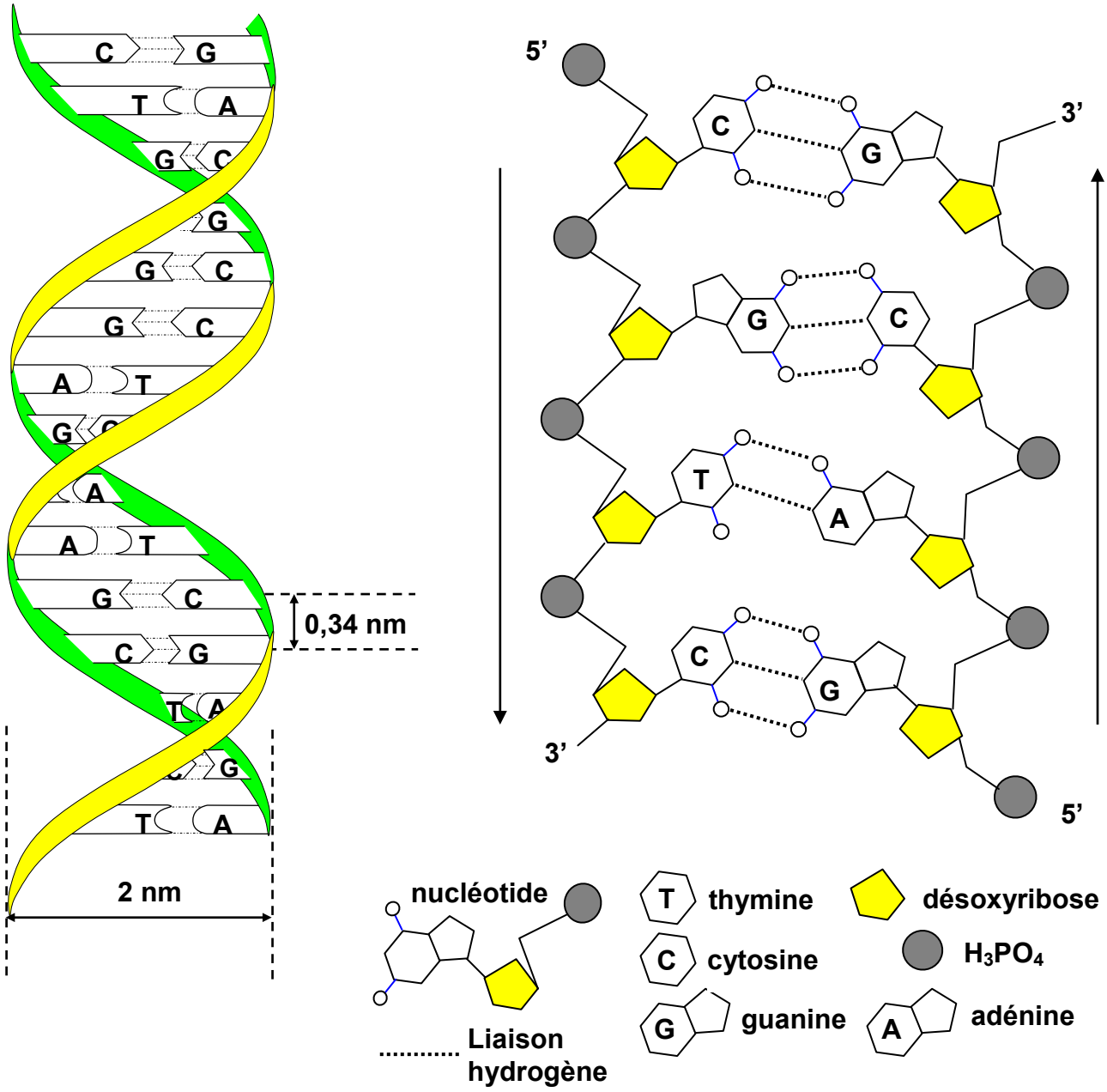
نلاحظ بالنسبة لجميع المتعضيات أن العلاقة A/T = G/C = 1، كما أن (A + G) / (T + C) = 1، وذلك لأن مقدار A يساوي مقدار T، ومقدار C يساوي مقدار G. هذه المعطيات تدعو للافتراض أن هناك تكامل بين A و T من جهة وبين C و G من جهة أخرى. كما يمكن الإفتراض أن هذه القواعد الآزوتية مرتبطة فيما بينها (A مع T و C مع G).

ج – أنموذج WATSON وCRICK أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: نموذج Watson وCrick لتفسير بنية جزيئة ADN .

تعتبر أبحاث العالمين Crick و Watson سنة 1953، من أهم محطات تحديد بنية جزيئة الـ ADN بشكل دقيق، حيث اقترحا نموذج اللولب المضاعف الممثل في الوثيقة أسفله.

صف من خلال معطيات هذه الوثيقة كيف تندمج مختلف مكونات جزيئة الـADN.



انطلاقا من نموذج Watson وCrick، يتبين أن جزيئة ADN، هي عبارة عن لولب مضاعف Double hélice، حيث يتكون كل لولب من متتالية من النيكليوتيدات، والتي ترتبط فيما بينها عن طريق الحمض الفسفوري بواسطة الكربون'5 لسكر الريبوز ناقص أكسجين للنيكليوتيد الأول والكربون'3 لسكر الريبوز ناقص أكسجين للنيكليوتيد الموالي، وهكذا إلى نهاية اللولب، وبالتالي تكون هناك نهايتين حرتين: '3 و'5، ومن تم نصطلح على التوجيه '5 ← '3. وبما أن جزيئة ADN لولب مضاعف، فلكي يكتمل اللولبين يجب أن يكونا متضادا القطبية. نقول إن لولبي ADN مضادا التوازي.

يرتبط اللولبان بعضهما ببعض، بروابط هيدروجينية على مستوى القواعد الازوتية.

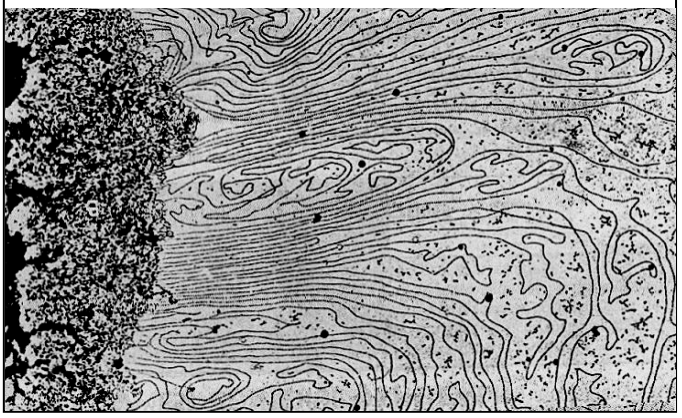
V – العلاقة بين الصبغين، الصبغيات، و ADN.

① بنية الصبغين. أنظر الشكل أ من الوثيقة 14.

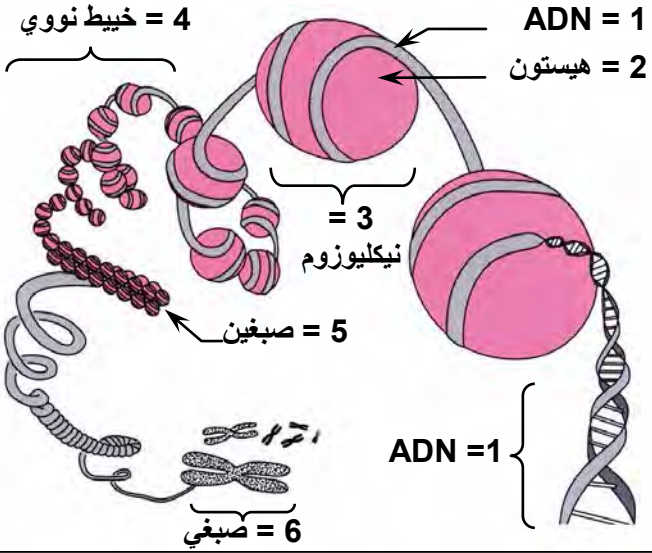
☒ يعطي الشكل أ من الوثيقة 14، ملاحظة بالمجهر الالكتروني لصبغي استوائي، تمت معالجته بواسطة أنزيمات نوعية تحلل البروتينات. انطلاقا من هذه الملاحظة استخرج بنية الصبغين.

الوثيقة 14: العلاقة بين الصبغين الصبغيات وADN.

الشكل أ: ملاحظة الكترونوغرافية لصبغي استوائي معالج بواسطة أنزيمات نوعية تحلل البروتينات.



الشكل ب: نموذج تفسيري يبين العلاقة البنيوية بين الخييط النووي والصبغي.



انطلاقا من تحليل معطيات هذه الوثيقة، استخرج بنية الصبغين والصبغيات وحدد العلاقة البنيوية بين الصبغين الصبغيات وADN.

☑ تبين الملاحظة المجهرية لصبغين خلية أنه يتكون من خييطات متشابكة، يبلغ قطر الواحد منها30nm، وتسمى هذه الخييطات خييطات نووية Les nucléofilaments.

بينت الدراسات أن الخييط النووي يتكون من جزيئة ADN ملولبة حول حبات من البروتينات، مكونة نكليوزومات Nucléosomes، كما نسمي هذه البروتينات: هيستونات Les histones.

② بنية الصبغيات. أنظر الشكل ب من الوثيقة 14.

إن للصبغين والصبغيات نفس التركيب الكيميائي، إذ يعتبر ADN مكون مشترك بين الصبغين والصبغيات:

- يلتف كل خييط ADN حول هيستونات، فيشكل خييط نووي.
- تتلولب الخييطات النووية تلولبا طفيفا، فتشكل الصبغين.
- عند دخول الخلية في انقسام غير مباشر، يزداد تلولب الخييط النووي حول نفسه، فتظهر الصبغيات. ويصبح هذا التلولب شديدا وقصويا، في المرحلة الاستوائية، مما يجعل الصبغيات جد واضحة.
- في نهاية الانقسام تتم إزالة تلولب الخييطات النووية للصبغيات، لتعود إلى حالة الصبغين.

③ العلاقة بين الصبغين، الصبغيات، و ADN.

يلاحظ خلال الانقسام الخلوي، أنه عندما تظهر الصبغيات، يختفي الصبغين، والعكس صحيح. كما أن للصبغين والصبغيات نفس التركيب الكيميائي (ADN + هيستونات)، فهما إذن يمثلان عنصرا واحدا، يتغير شكله حسب درجة تلولب الخييط النووي، وذلك حسب مراحل الدورة الخلوية.

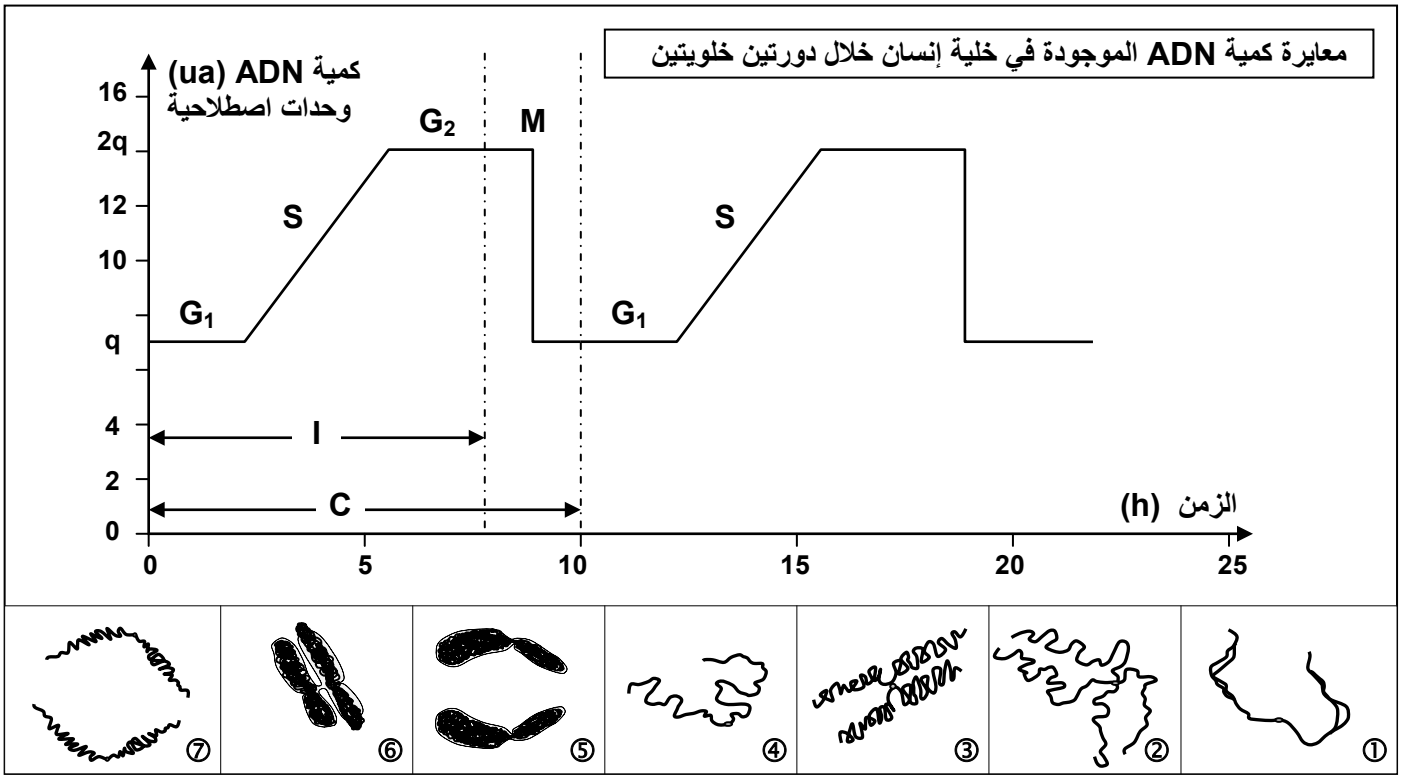
VI – آلية مضاعفة جزيئة ADN.

① الكشف عن مضاعفة جزيئة ADN. أنظر الوثيقة 15.

الوثيقة 15: الية مضاعفة ADN وعلاقتها بالحفاظ على الخبر الوراثي.

يعتبر ال ADN المكون الأساسي للصبغيات والحامل الكيميائي للخبر الوراثي، وينتقل من جيل لآخر بواسطة الانقسام الخلوي غير المباشر. قصد فهم الآليات التي تضمن الحفاظ على الخبر الوراثي من دورة خلوية لأخرى، نقترح دراسة تطور كمية الـ ADN خلال دورة خلوية (أنظر الصفحة الموالية).

1) سم المراحل المشار إليها بحروف على الوثيقة. ثم حدد المدة الزمنية التقريبية للمراحل: I، وC ، وM.
2) كيف تتطور كمية ADN في الخلية خلال الدورة الخلوية؟
3) أنسب كل شكل من أشكال الوثيقة (①، ②، ③، ...، ⑦)، لمرحلة الدورة الخلوية المطابقة له (M, G_2, S, G_1).
4) بين العلاقة بين كمية ADN في الخلية وشكل الصبغي في مختلف مراحل الدورة الخلوية.



1) تسمية المراحل:

I = مرحلة السكون، تدوم 8 ساعات، وتتكون من ثلاث فترات هي:

G_1 = فترة النمو الأولى، S = فترة التركيب / التضاعف. G_2 = فترة النمو الثانية.

M = الانقسام غير المباشر، ويدوم ساعتين.

C = M+I = دورة خلوية، وتدوم 10 ساعات.

2) تتغير كمية ADN في نواة الخلية خلال الدورة الخلوية على النحو التالي:

★ خلال الفترة G_1 من مرحلة السكون تبقى كمية ADN مستقرة في القيمة q، لتتضاعف خلال الفترة S وتمر من القيمة q إلى القيمة 2q. فتبقى مستقرة في القيمة 2q خلال الفترة G_2.

★ خلال الانقسام غير المباشر، تنخفض كمية ADN، لتمر من القيمة 2q إلى القيمة q، بحيث أنه خلال المرحلة التمهيدية والاستوائية، كمية ADN مستقرة في القيمة 2q، وفي المرحلة الانفصالية والنهائية، تصبح كمية ADN مستقرة في القيمة q.

3) ننسب للمرحلة G_1، الشكل 4. وللمرحلة S، الشكل 1. وللمرحلة G_2، الشكل 2. أما الأشكال 3، 5، 6، 7، فتنسب المرحلة M، أي الانقسام غير المباشر، (3 للمرحلة التمهيدية، 5 للمرحلة الانفصالية، 6 للمرحلة الاستوائية، 7 للمرحلة النهائية).

4) تتكون الدورة الخلوية من مرحلتين:

★ مرحلة السكون، خلالها تتضاعف كمية ADN في نواة الخلية، ومع تضاعف ADN تتضاعف الصبغيات حيث يصبح كل صبغي مكونا من صبيغيين.

★ مرحلة الانقسام غير المباشر، خلالها تنشطر الصبغيات على مستوى الجزيء المركزي، فتتشكل مجموعتان متماثلتان من الصبغيات، تحتوي كل واحدة على الكمية q من ADN.

يتبين من هذا أن الخلية تضاعف كمية ADN التي تتوفر عليها، لتصل إلى القيمة 2q، أثناء فترة السكون، ثم تعود بعد ذلك كمية ADN إلى القيمة الأصلية q أثناء المرحلة الانفصالية للانقسام غير المباشر.

② آلية مضاعفة ADN.

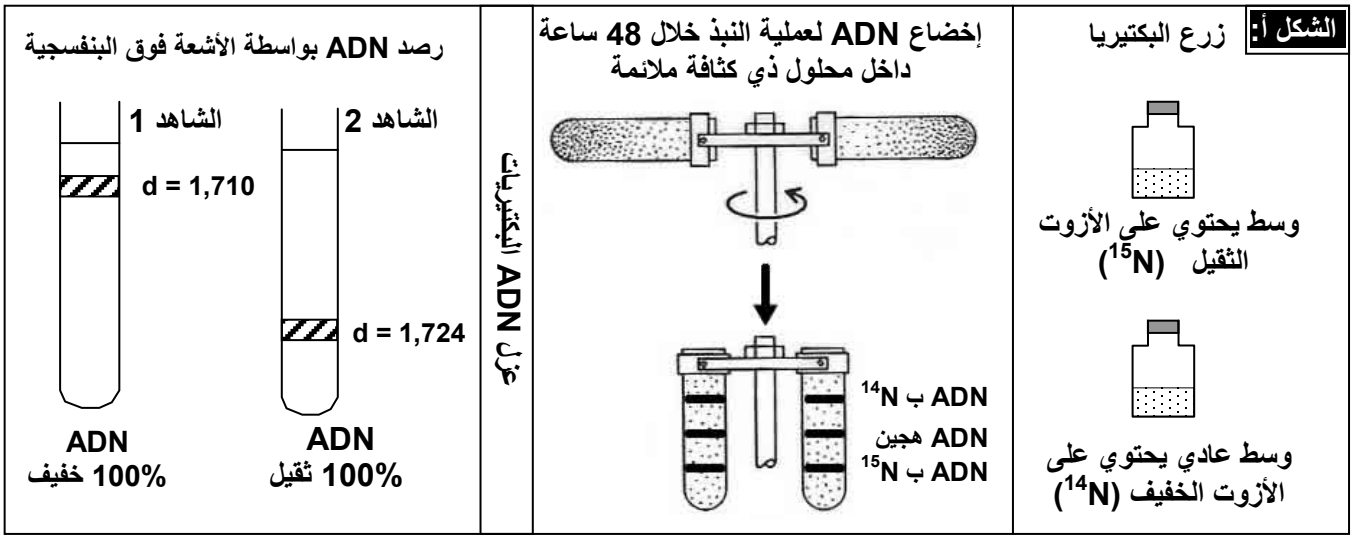
أ – تجربة Meselson و Stahl. أنظر الوثيقة 16.

الوثيقة 16: تجربة Meselson وStahl 1957.

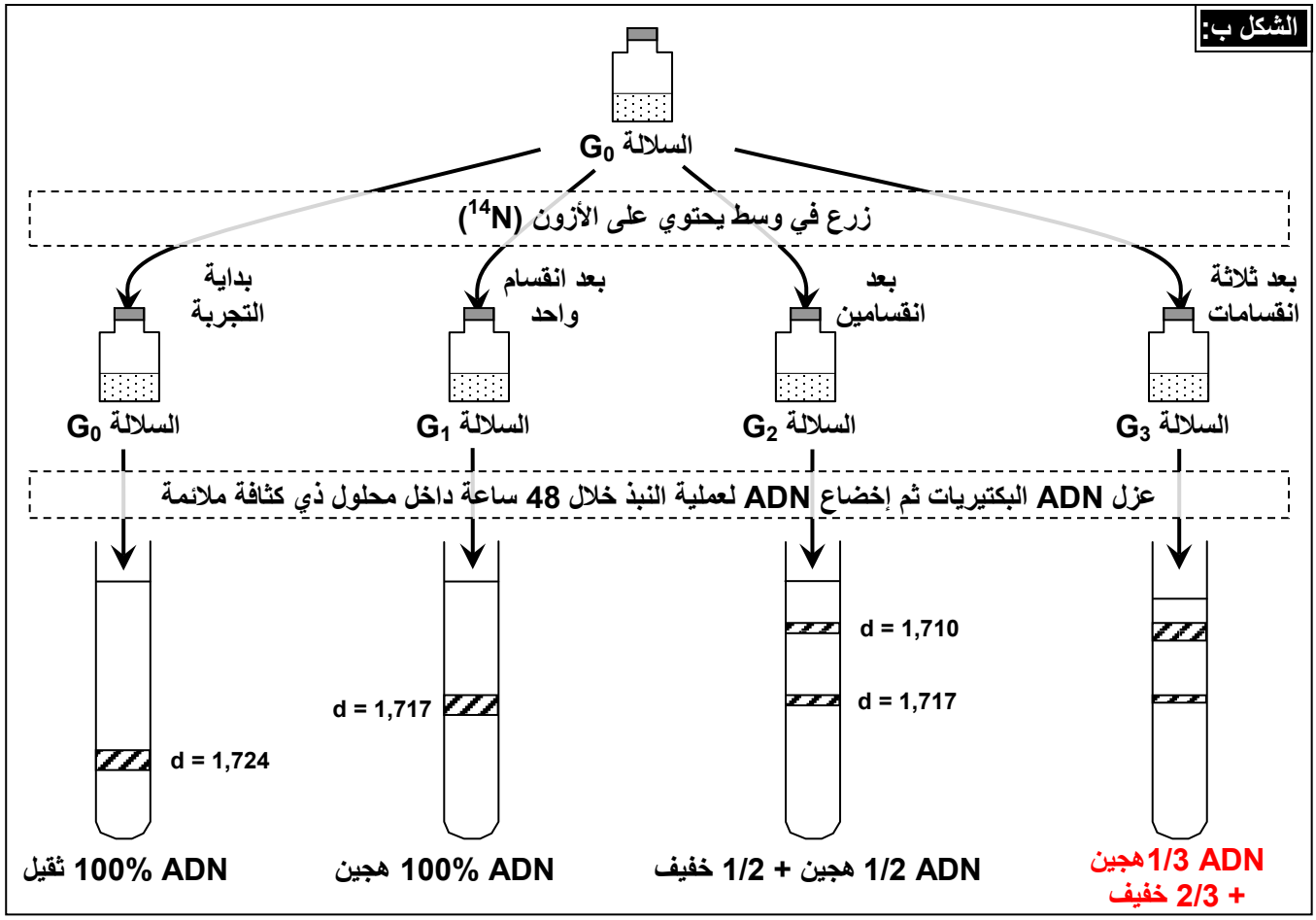
بهدف تحديد الكيفية التي تتم بها مضاعفة ADN، قام العالمان Meselson وStahl بإجراء التجارب التالية:

★ قام العالمان بتحضير بكتيريات عادية، ذات ADN خفيف بوضعها في وسط اقتياتي يدخل في تركيبه الآزوت الخفيف ^{14}N، فحصلا على بكتيريات كلها ذات ADN خفيف (الشاهد 1).

★ بعد ذلك، زرعا هذه البكتيريات في وسط مغذي، حيث المصدر الوحيد للآزوت هو الآزوت الثقيل ^{15}N. بعد عدة أجيال، حصل العالمان على بكتيريات ذات ADN ثقيل (الشاهد 2) : الجيل G_0.



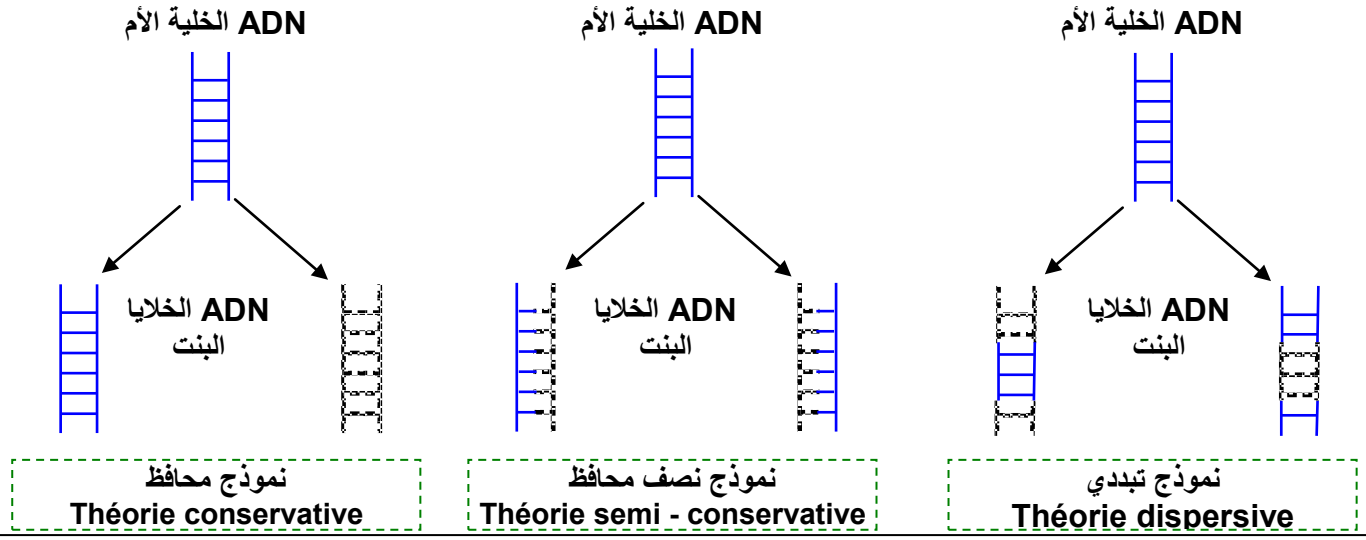
★ وضع العالمان عينة من بكتيريات الجيل G_0 في وسط اقتياتي به آزوت خفيف N^{14}، و قاما بقياس كثافة ADN هذه البكتيريات بواسطة تقنية النبذ Centrifugation، بعد انقسام واحد G_1، ثم بعد انقسام ثان G_2، ثم بعد انقسام ثالث G_3. يمثل الشكل ب من الوثيقة النتائج التجريبية المحصل عليها.



1) ماذا تستنتج من خلال تحليل نتائج تجربة Meselson وStahl؟
2) بالاعتماد على معطيات الوثيقة 17 ، ترجم الاستنتاجات السابقة على شكل رسوم تخطيطية محترما الطبيعة الفيزيائية لجزيئة ADN، قصد تفسير نتائج تجربة Meselson وStahl.

الوثيقة 17: النماذج المقترحة لتفسير آلية مضاعفة ADN.

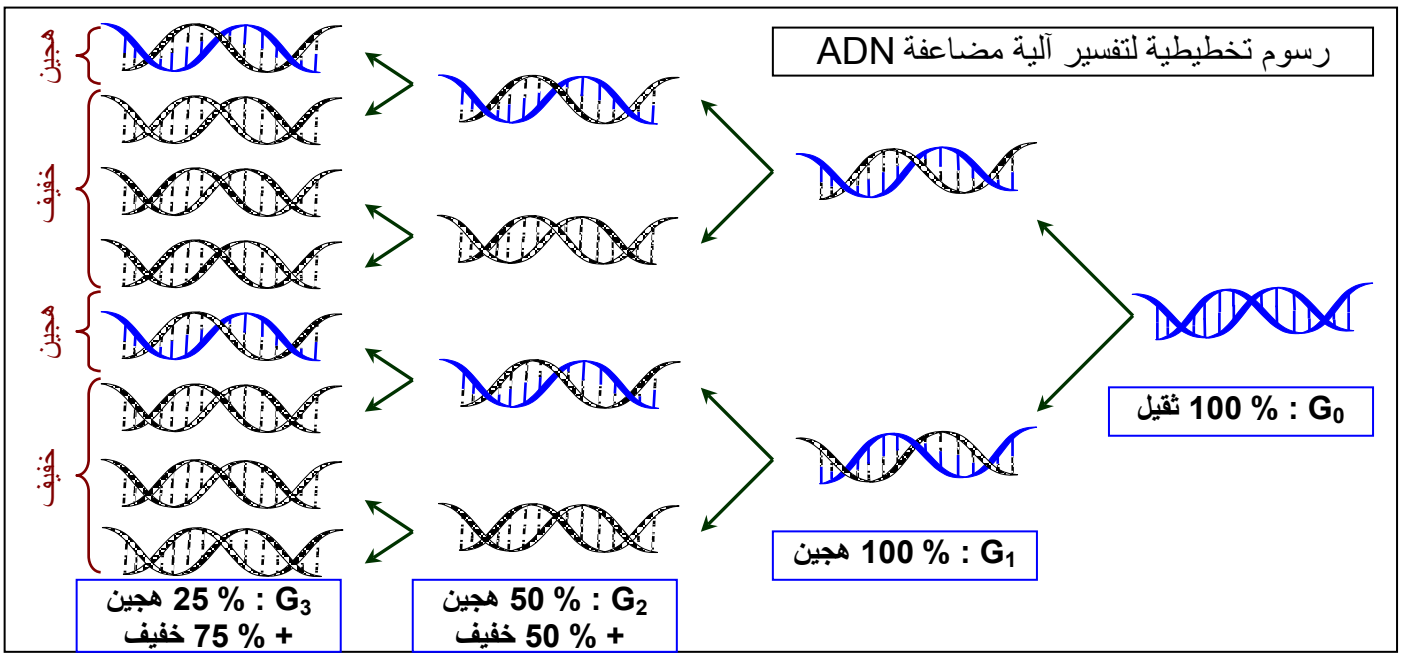
لتحديد الكيفية التي تتم بها مضاعفة ADN تم اقتراح ثلاثة نماذج يمكن أن تتم بها هذه المضاعفة. تمثل الوثيقة أسفله رسوما تخطيطية للنماذج الثلاثة المقترحة: **الشريط القديم** **الشريط الجديد**



1) يتبين من المعطيات التجريبية أن :
- ✓ الجيل G1: كل الخلايا لها d(ADN) =1.717 (كثافة وسيطة بين ADN الثقيل (1.724) وADN الخفيف (1.710) واعتبر هذا الـ ADN هجينا.
- ✓ الجيل G2: 50% من الخلايا لها ADN هجين و 50 % لها AND خفيف.
- ✓ الجيل G3: 25% من الخلايا لها ADN هجين و 75 % لها AND خفيف.

بناءا على هذه النتائج، فان بنية وكثافة ADN الجيل الأول G_1 لا يمكن تفسيرها إلا باعتبار كون نصف جزيئة ADN الجيل الأول تتوفر على ^{14}N والنصف الآخر على ^{15}N.
وبنية وكثافة ADN الجيل الثاني G_2 لا يمكن تفسيرها إلا باعتبار كون نصف الجزيئات يطابق ADN الجيل الأول، والنصف الآخر من الجزيئات لا يتوفر إلا على ^{14}N فقط.

2) من خلال ملاحظة النتائج المحصل عليها في تجربة Meselson وStahl، يتبين أن النموذج نصف المحافظ هو الملائم لتفسير آلية مضاعفة ADN. أنظر الرسم أسفله:



ب – تجربة Taylor. أنظر الوثيقة 18

الوثيقة 18: تجربة Taylor.

وضع Taylor جذور نبات Bellevalia في وسط يحتوي على التيمدين معلم بالتريتيوم H^3 ، وهو نظير إشعاعي النشاط للهدروجين. وبعد مرور 8 ساعات (مدة طور السكون)، أخرج Taylor هذه الجذور ثم غسلها ووضعها في وسط اقتياتي محايد (غير مشع)، وتتبع اندماج التيمدين بالتصوير الإشعاعي الذاتي وذلك أثناء الانقسامات الخلوية، ومن أجل تسهيل ملاحظة الصبغيات، أضاف Taylor للمحلول الاقتياتي مادة الكولشسين التي تمنع افتراق الصبغيات في نهاية الطور الاستوائي. فحصل على النتائج المبينة على الوثيقة التالية:

الوثيقة 3

① مظهر الصبغيات بوجود التريتيوم	② مظهر الصبغيات بعد وضعها في وسط محايد خلال مدة تقابل دورة خلوية	③ مظهر الصبغيات بعد وضعها في وسط محايد خلال مدة زمنية تقابل دورتين خلويتين

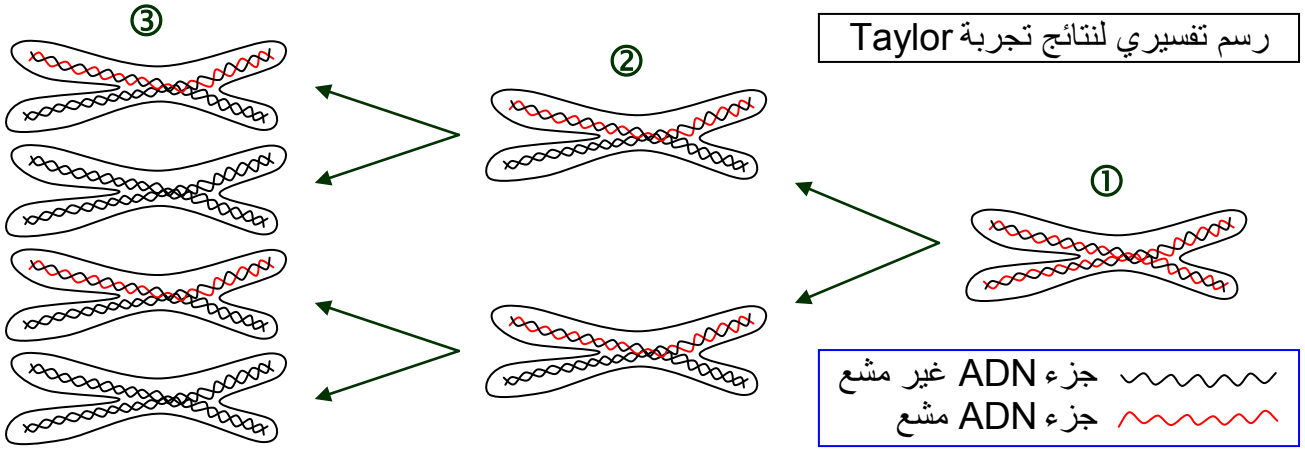
1) بين أهمية توظيف التيميدين والكولشيسين في هذه التجربة.
2) صف نتائج هذه التجربة.
3) فسر بواسطة رسوم نتائج هذه التجربة، مع العلم أن كل صبيغي يتكون من جزيئة ADN واحدة.

1) التيميدين مكون لـ ADN، يحتوي على التيمين كقاعدة ازوتية، وتم استعماله مشعا لرصد إدماجه في جزيئة ADN.
الكولشيسين مادة توقف الانقسام غير المباشر في المرحلة الاستوائية، حيث تكون الصبغيات جد واضحة، مما يمكن من ملاحظتها وتحديد نشاطها الإشعاعي.

2) مباشرة بعد المعالجة بالتيميدين المشع، نلاحظ أن كل الصبغي يظهر نشاطا إشعاعيا.
بعد مدة زمنية من المعالجة تقابل دورة خلوية، نلاحظ أن أحد صبيغيي الصبغي يكون مشعا، والأخر غير مشع.
بعد مدة زمنية تقابل دورتين خلويتين، نلاحظ أن نصف الصبغيات يكون غير مشع، والنصف الأخر يتكون من صبيغيات مشعة وصبيغيات غير مشعة.

3) تفسر نتائج هذه التجربة بكون كل لولب من لولبي ADN، يعمل كقالب يشيد عليه لولب مكمل، مما ينتج عنه تكون جزيئتين متماثلتين لجزيئة ADN الأصل. ويلاحظ أنه أثناء المضاعفة يتم الاحتفاظ على نصف كل جزيئة أصلية، لذلك نتكلم عن التركيب النصف محافظ Semi conservatif. أنظر الرسم أسفله.

رسم تفسيري لنتائج تجربة Taylor



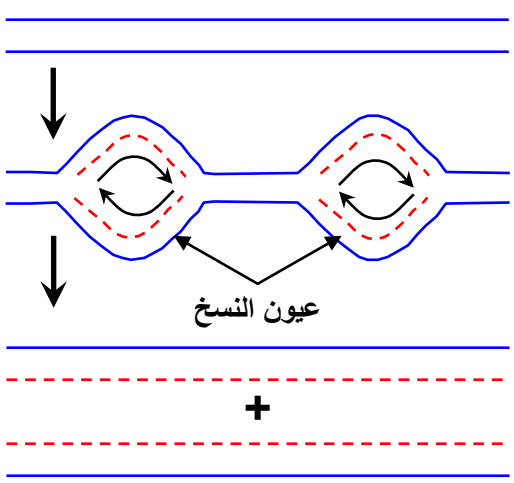
ج – التضاعف النصف محافظ لجزيئة ADN. أنظر الوثيقة 19

الوثيقة 19: آلية التضاعف نصف المحافظ لجزيئة ADN.

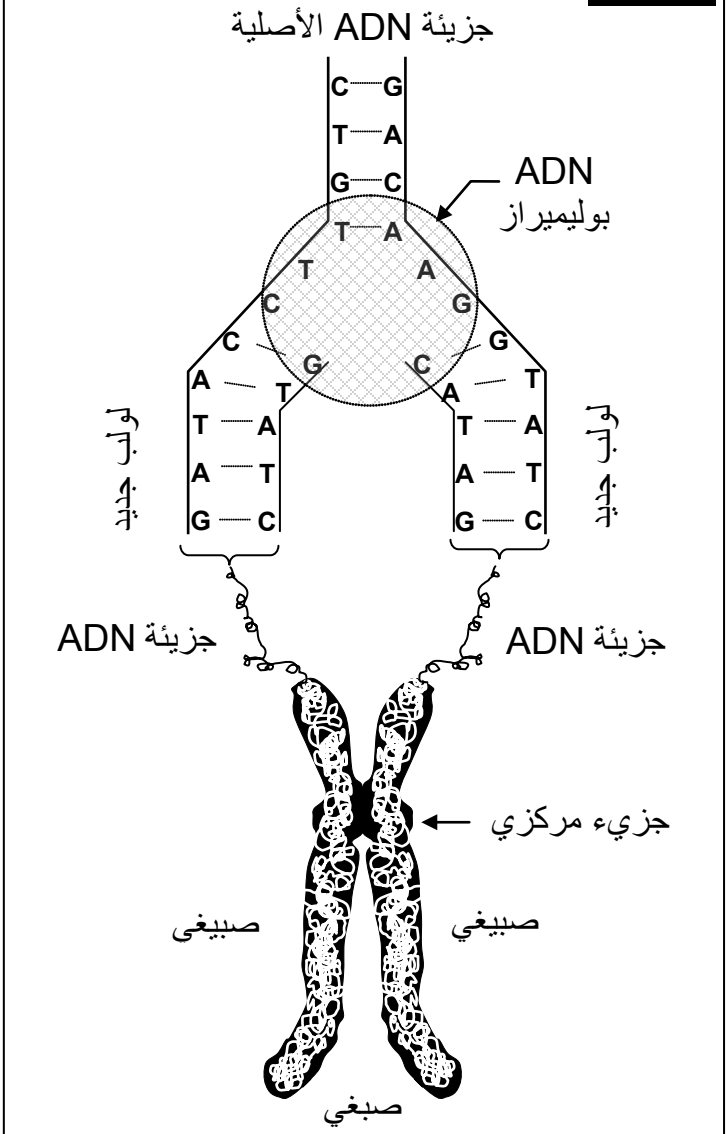
يعطي الشكل أ من الوثيقة ملاحظة الكترونوغرافية لصبغي في الفترة S من مرحلة السكون.
تعطي الأشكال ب، ج، د من الوثيقة رسوما تخطيطية توضيحية لآلية المضاعفة نصف المحافظة لجزيئة ADN.
من خلال معطيات هذه الوثيقة، صف كيف تتم مضاعفة الـ ADN .

الشكل أ: ملاحظة الكترونوغرافية لصبغي في الفترة S من مرحلة السكون

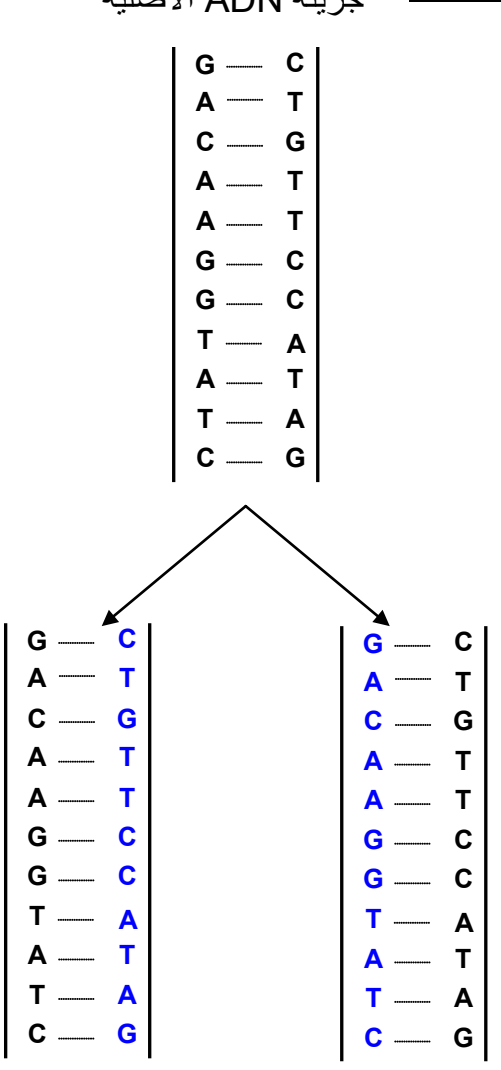
الشكل ج:



الشكل ب:



الشكل د:



يتطلب تركيب ADN جزيئة أصلية، ونيكليوتيدات حرة، وأنزيمات، وطاقة. ويتم التركيب الإحيائي لـADN على الشكل التالي:

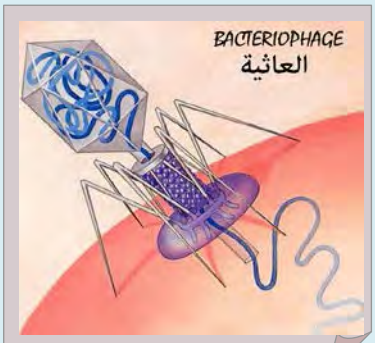
- تحت تأثير أنزيم خاص، يتم تفريق اللولبين المكملين، بانفصال الروابط الهيدروجينية الرابطة بين القواعد الازوتية، وبذلك تظهر مناطق افتراق اللولبين على شكل عيون النسخ (الشكل أ).
- بلمرة تدريجية للنكليوتيدات تحت تأثير أنزيم ADN بوليميراز، حيث يستعمل كل شريط قديم كنموذج لتشييد شريط جديد، وذلك مع احترام تكامل القواعد الازوتية مع تلك المتواجدة في اللولب الأصلي،A مع T وC مع G (الشكل ب)، نتكلم عن النسخ الجزيئي لـ ADN.
- تتم استطالة الشريطين الجديدين في الاتجاهين على مستوى عين النسخ، (الشكل ج) مما يؤدي إلى اتساعها، فتلتحم ببعضها البعض ليتم الحصول على جزيئتين بنتين من ADN، كل واحدة تتكون من شريط قديم، ورثته من الجزيئة الأصلية، مع شريط جديد (الشكل د).

ملحوظة:

بعد تدخل الهيليكاز، الذي يقوم بفصل شريطي الـ ADN الأصليين، يتدخل أنزيمين ADN بوليميراز، يعملان على تركيب الشريطين الجديدين. بما أن الهيليكاز يتجه في منحى واحد، وبما أن شريطي الـ ADN متعاكسا التوازي، فإن أنزيمي الـ ADN بوليميراز سيكون لهما منحيان مختلفان: أحدهما سيكون له نفس منحى الهيليكاز، نتحدث عن استطالة متواصلة. بينما الأنزيم الآخر سيكون له منحى معاكس لمنحى الهيليكاز، نتحدث عن استطالة متقطعة.

معلومات إضافية

النوع	ذبابة الخل	الضفدعة	الحصان	الحمار	الكلب	القط	القرد	الدجاجة	البقرة
عدد الصبغيات	8	26	64	62	78	38	48	32	60



Francis Harry Compton Crick

(né le 8 juin 1916 à Weston Favell, Northamptonshire, en Angleterre, et mort le 28 juillet 2004 à l'hôpital de l'Université de San Diego, en Californie) est un biologiste britannique.

Il reçut avec James Watson et Maurice Wilkins le Prix Nobel de physiologie ou médecine en 1962 pour la découverte de la structure de l'ADN, ainsi que la médaille Copley en 1975.

ames Dewey Watson

James Dewey Watson (né le 6 avril 1928 à Chicago) est un généticien et biochimiste américain, codécouvreur de la structure de l'ADN. Il a obtenu le prix Nobel de physiologie ou médecine en 1962 pour cette découverte.

Erwin Chargaff

Erwin Chargaff était un biochimiste autrichien, né à Czernowitz (Ukraine) le 11 août 1905, décédé le20 juin 2002, à New York, États-Unis.

Distinctions et récompenses: Bourse Guggenheim des sciences naturelles pour les États-Unis et le Canada.

Formation : Université de Vienne (1924–1928), Université Yale

الوحدة الثانية، الفصل الثاني:
تعبير الخبر الوراثي

تمهيد:

من خلال دراسة تجارب GRIFFITH تبين أن هناك علاقة بين المادة الوراثية (ADN)، وظهور أو غياب صفة معينة.
فما هي هذه العلاقة؟ وكيف يتحكم ADN في ظهور صفات وراثية قابلة للملاحظة والقياس؟

I – مفهوم الصفة، المورثة، الحليل، والطفرة.

① مفهوم الصفة الوراثية.

الصفة الوراثية هي ميزة نوعية (مثل اللون) أو كمية (مثل الطول)، تميز فردا عن باقي أفراد نفس النوع، وتنتقل من جيل لأخر، لذلك تسمى صفات وراثية.
بعض الصفات تلاحظ بالعين المجردة (لون الأزهار مثلا)، في حين لا تبرز أخرى إلا بواسطة اختبارات أو تحاليل خاصة (الفصيلة الدموية مثلا).

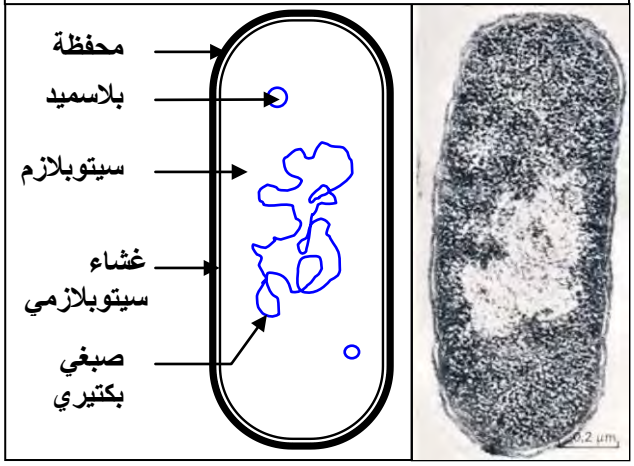
② العلاقة بين الخبر الوراثي والصفة.

أ – تجارب. أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: التحول البكتيري عند Escherichia coli.

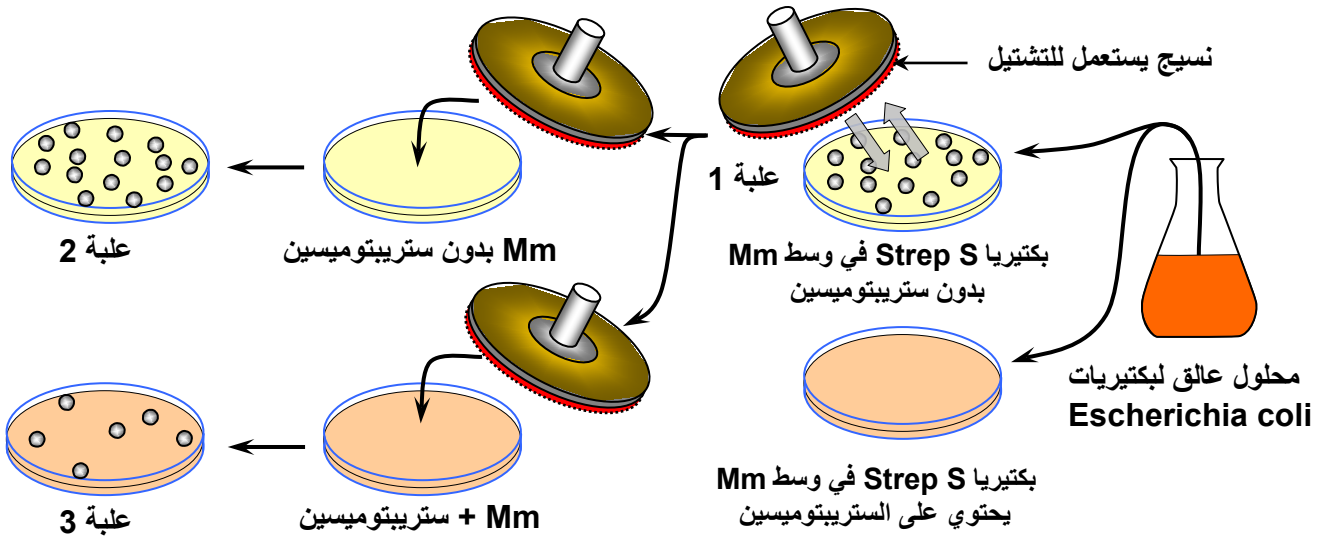
نقوم بتجربة عند إحدى الكائنات الحية التي لها بنية بسيطة ودورة نمو قصيرة زمنيا مثل بكتريا Echerichia-Coli (الشكل أمامه).
E.coli هي بكتيريا تكون عادة حساسة للمضاد الحيوي Antibiotique ستريبتوميسين Streptomycine، ويصطلح على تسميتها Strep S.

يعطي الشكل أسفله ملاحظة الكترونوغرافية لبكتيريا E.coli مع رسم تخطيطي توضيحي لبنية هذه البكتيريا



التجربة الأولى:

- نزرع بكتيريا حساسة للستريبتوميسين (Strep S) في وسط أدنى (أملاح معدنية + غراء + سكر) = (Mm) بدون ستريبتوميسين (علبة بيتري 1).
- نحضن هذه البكتيريات في حرارة 37°C لعدة ساعات، فنلاحظ ظهور مستعمرات بكتيرية (colonie) = (لمات بكتيرية clone).
- بعد ذلك، تم تشتيلها (نقلها) إلى أوساط مختلفة كما هو مبين على الوثيقة أسفله:



1) انطلاقا من معطيات هذه التجربة، أعط تعريفا للمة.
2) صف هذه التجربة، ثم حدد ما هو المشكل الذي تطرحه هذه النتائج؟
3) اقترح تفسيرا لنتائج هذه التجربة.

التجربة الثانية:

نضع بكتريا Strep S غير قادرة على العيش في وسط لا يحتوي على اللاكتوز (Lactose). وتتطلب هذه البكتريا هذا الأخير للعيش ولهذا يرمز إليها ب (Lac^-)، ادن هذه البكتريا سيرمز إليها ب (Strep s , Lac^-). إذا تتبعنا هذه التجارب فإننا نحصل بالإضافة للبكتريا المذكورة سابقا على أنواع أخرى والتي هي :
(Strep r , Lac^-) ، (Strep r , Lac^+) ، (Strep s , Lac^+).

4) ماذا تستنتج من تحليل معطيات التجربة الثانية؟
5) اربط بين نتائج التجربتين وبنية جزيئة ADN ثم استخلص مفهوم المورثة Le gène ومفهوم الحليل.

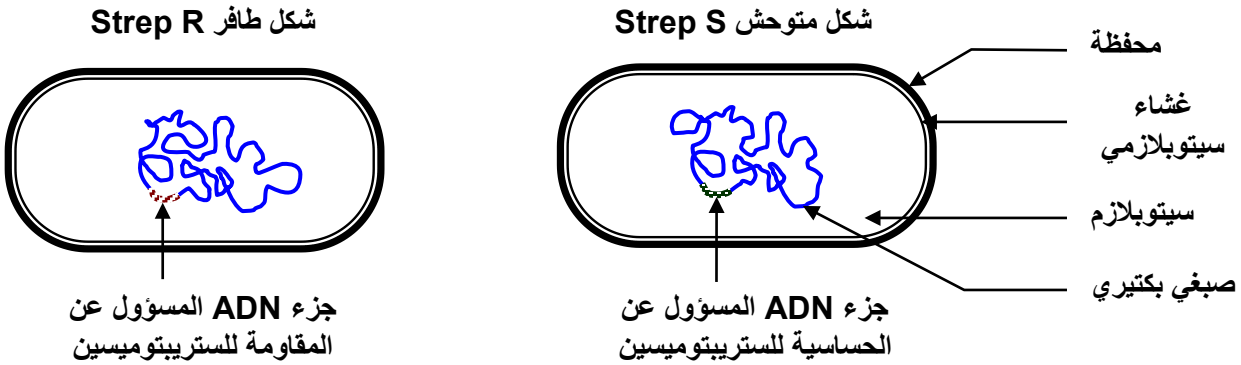
ب – تحليل واستنتاج.

1) اللمة هي مجموعة من الأفراد لهم نفس الخبر الوراثي، ومن تم نفس الصفات.

2) نلاحظ أن البكتيريا لا تتكاثر عند وجود الستريبتوميسين (Strep S)، لكن تظهر تلقائيا بكتيريات أخرى في هذا الوسط، مقاومة للستريبتوميسين، نصطلح على تسميتها (Strep R).
المشكل المطروح هو كيف أصبحت البكتيريا Strep S بكتيريا Strep R؟

3) بما أن الصفة Strep S وراثية، والصفة Strep R بدورها وراثية، فان المتحكم فيهما هو ADN.
لا يمكن ادن تفسير تحول البكتيريا Strep S إلى بكتيريا Strep R إلا بحدوث تغير فجائي على مستوى ADN.
وقد بينت دراسات أن قطعة من جزيئة الـ ADN، هي التي تتعرض للتغير عند هذه البكتيريا. ونسمي هذا التغير بالطفرة Mutation، فنقول أن البكتيريا Strep R بكتيريا طافرة أما البكتيريا Strep S فهي بكتيريا متوحشة.

رسم تخطيطي تفسيري لشكلي بكتيريا Escherichia Coli:



4) نلاحظ في هذه التجربة صفتين:
★ العلاقة بالستريبتوميسين: وتظهر شكلين، الشكل المتوحش Strep S، والشكل الطافر Strep R.
★ العلاقة باللاكتوز: وتظهر شكلين، الشكل المتوحش Lac^-، والشكل الطافر Lac^+.

وهكذا فالسلالة المتوحشة بالنسبة للصفتين هي: (Strep S, Lac^-).
والسلالة الطافرة بالنسبة للصفتين هي: (Strep R, Lac^+).

نلاحظ أن ظهور طفرة في صفة ما غير مرتبط بالضرورة بظهور طفرة في الصفة الأخرى، ويمكن تفسير ذلك بأن قطعتي ADN المتحكمتين في الصفتين مختلفتان.

5) بما أن التغير على مستوى المادة الوراثية ADN أدى إلى تغير على مستوى الصفة، فهذا يعني أن كل صفة يقابلها جزء خاص من ADN، يسمى مورثة Gène. وأن كل مورثة تظهر عدة أشكال تسمى حليلات Les allèles.

③ العلاقة مورثة – بروتين / بروتين - صفة.

أ – مثال أول : تجربة Beadle et Tatum: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: تجربة Beadle و Tatum 1941.

قصد الكشف عن العلاقة صفة – بروتين – مورثة، نعمل على استثمار معطيات تجربة Beadle وTatum:

النوروسبورا Neurospora عفن مجهري على شكل غزل فطري، ينمو عادة على الخبز. يمكن للسلالة المتوحشة أن تعيش في وسط أدنى يحتوي على سكر + ماء + أملاح الأمونيوم. بينما توجد سلالة طافرة غير قادرة على العيش في هذا الوسط.

نقوم بزرع السلالة الطافرة في وسط أدنى + الحمض ألأميني التريبتوفان L'acide aminé Tryptophane فنلاحظ أن هذه السلالة قادرة على العيش والتكاثر في هذا الوسط وحده.

1) ماذا تستنتج من هذه التجربة؟

يتم تركيب التريبتوفان عبر سلسلة من التفاعلات الأنزيمية، يمكن تلخيصها فيما يلي:

أملاح الأمونيوم (وسط أدنى) ⟸ (E_1 أنزيم) حمض أنترانيليك Antranilique ⟸ (E_2 أنزيم) أندول Indole ⟸ (E_3 أنزيم) تريبتوفان Tryptophane

2) ماذا تستخلص إذا علمت أن بعض السلالات الطافرة يكفيها وجود حمض أنترانيليك في الوسط لكي تعيش وتتكاثر؟

1) نلاحظ أن السلالة الطافرة غير قادرة على تركيب التريبتوفان في وسط أدنى يتكون من أملاح الأمونيوم فقط. لذا نرمز لهذه السلالة ب Try^-، ونقول أنها سلالة غير ذاتية التركيب للتريبتوفان **Auxotrophe pour la tryptophane**.
بينما السلالة المتوحشة Try^+ فهي ذاتية التركيب للتريبتوفان **Autotrophe pour la tryptophane**.
نستنتج من هذه الملاحظة أن الصفة مرتبطة بالقدرة على تركيب بروتيني معين.

2) إن السلالة الطافرة Try^- غير قادرة على تحديد التحول أملاح الأمونيوم ← حمض الأنترانيليك، لغياب الأنزيم E_1.

نستخلص ادن أن كل صفة مرتبطة بتركيب بروتيني معين، والذي يرتبط بدوره بتركيب أنزيمي معين.

ب – مثال ثاني : فقر الدم المنجلي L'anémie falciforme أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: فقر الدم المنجلي L'anémie falciforme.

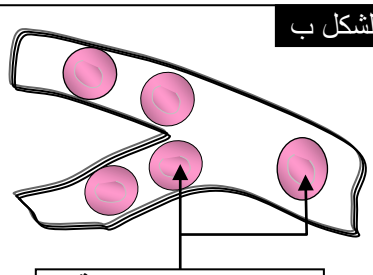
الخضاب الدموي L'hémoglobine، بروتين يوجد داخل الكريات الحمراء وله دورين: دور وظيفي يتجلى في نقل الغازات التنفسية، ودور بنيوي يتجلى في إعطاء الشكل الكروي المقعر للكريات الحمراء.

فقر الدم ألمنجلي مرض استقلابي ناتج عن تركيب خضاب دموي غير عادي (تشوه الكريات الحمراء تصبح منجلية الشكل) يرمز له ب (HbS)، بينما يرمز لخضاب الدم العادي ب (HbA). أنظر الشكل أ.

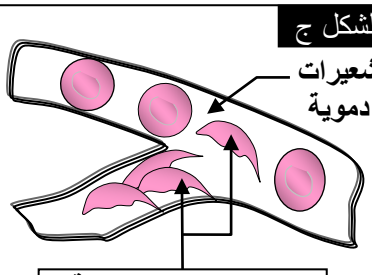
عند تحرير (HbS) للأكسيجين يصبح الخضاب غير دواب ويترسب على شكل ابر تشوه مظهر الكريات الحمراء التي تفقد ليونتها وتسد الشعيرات الدموية، مما ينتج عنه فقر في إمداد الخلايا بالأكسيجين. (الشكل ب والشكل ج)

الشكل أ: ملاحظة مجهرية لكريات دموية عند شخص مصاب بفقر الدم المنجلي

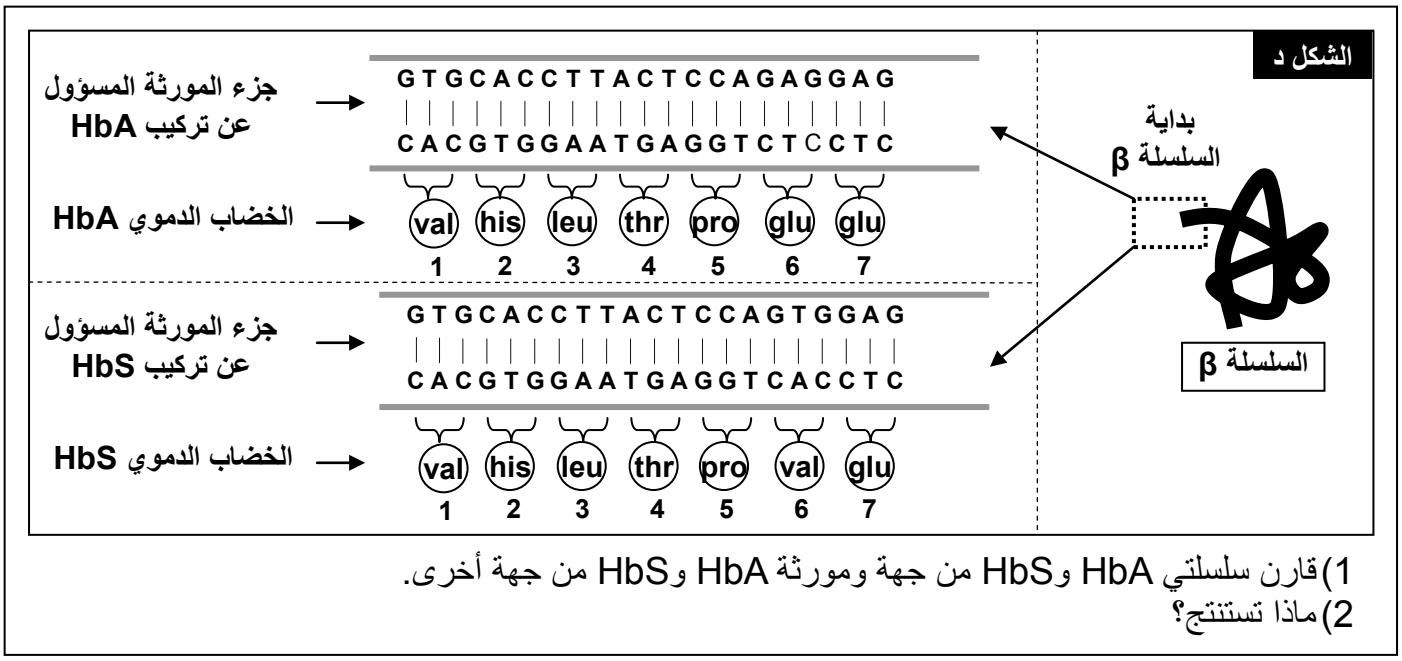
الشكل ب



الشكل ج



يعطي الشكل د تسلسل الأحماض الأمينية المكونة لجزء من جزيئة الخضاب الدموي مع جزء من المورثتين المتحكمتين في تركيبهما.



1) قارن سلسلتي HbA وHbS من جهة ومورثة HbA وHbS من جهة أخرى.
2) ماذا تستنتج؟

1) يكمن الاختلاف الوحيد بين السلسلة β للخضاب الدموي HbA والخضاب الدموي HbS، في تعويض الحمض الأميني رقم 6 (Glu) في HbA بالحمض الأميني Val في HbS.
وأن متتالية القواعد الأزوتية لجزء المورثة HbA تختلف عن متتالية القواعد الازوتية لجزء المورثة HbS، إذ استبدل الزوج النيكليوتيدي رقم 17، حيث تم استبدال T – A في HbA بـ A – T في HbS.

2) إن استبدال متتالية القواعد الازوتية في المورثة، ترتب عنه تغيير في متتالية الأحماض الأمينية في البروتين. نستنتج أن هناك علاقة بين المورثة والبروتين.
إن كل تغيير في بنية البروتين، يؤدي إلى تغيير في المظهر الخارجي لصفة معينة (تغير بنية الخضاب تغير شكل الكريات الحمراء)، هذا يدل على وجود علاقة بين الصفة والبروتين.

ج – خلاصة.

إن كل صفة تترجم وجود بروتين بنيوي، أو نشاط بروتيني مختص، وأن كل تغير في تعاقب القواعد الازوتية (النيكليوتيدات) داخل جزيئة ADN، ينتج عنه تغير في تعاقب الأحماض الأمينية داخل السلسلة البروتينية. وهذا يعني أن ترتيب النيكليوتيدات في جزيئة ADN، هو الذي يحدد طبيعة وترتيب الأحماض الأمينية في البروتينات.
تسمى كل قطعة من ADN تتحكم في صفة وراثية معينة مورثة، وبما أن الصفة لها عدة أشكال، فان للمورثة المتحكمة فيها عدة أشكال كذلك، وكل شكل يسمى حليلا Allèle.

مثال : صفة العلاقة بالستريبتوميسين لدى البكتيريا E.coli:
الحليل المتوحش StrepS، الحليل الطافر StrepR.

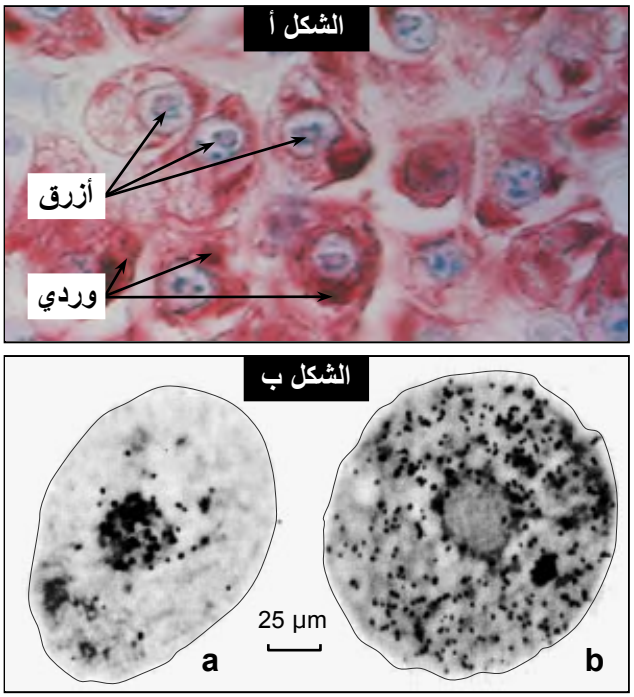
II – آلية تعبير الخبر الوراثي: من المورثة إلى البروتين.

المورثات قطع من ADN، وموقعها النواة، أما تركيب البروتينات فيتم على مستوى السيتوبلازم. فما الذي يلعب دور الوسيط بين النواة والسيتوبلازم؟

① الوسيط بين النواة والسيتوبلازم.

أ – معطيات تجريبية. أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: الكشف عن الوسيط بين النواة والسيتوبلازم.



تضم الخلايا جزيئات يقارب تركيبها الكيميائي تركيب ADN، وتسمى ARN. نكشف عن تموضع الجزيئتين معا في خلايا البنكرياس التي تنتج كمية كبيرة من البروتينات، باستعمال خليط من ملونين: أخضر الميتيل الذي يلون ADN بالأزرق المخضر، والبيرونين الذي يلون ARN بالوردي. أنظر الشكل أ من الوثيقة.

كما يمكن أن يضاف إلى وسط زرع الخلايا مكون نوعي لجزيئة ARN مشع، ثم نلاحظ تطور الإشعاع داخل الخلية، فنحصل على النتائج المبينة على الشكل ب من الوثيقة:

a: صورة إشعاعية ذاتية لخلية زرعت مدة 15min بشير مشع نوعي لـ ARN.

b: صورة إشعاعية ذاتية لخلية مماثلة عرضت مدة 15min لنفس البشير المشع، ثم زرعت مدة 1h 30min في وسط يحتوي على بشائر أخرى عادية (غير مشعة).

تمثل النقطة السوداء في الصور أمكنة وجود ARN المشع.

ماذا تستنتج من هذه المعطيات التجريبية؟ حدد الخاصية المميزة لـ ARN معللا نعته بـ ARN الرسول.

ب – تحليل واستنتاج.

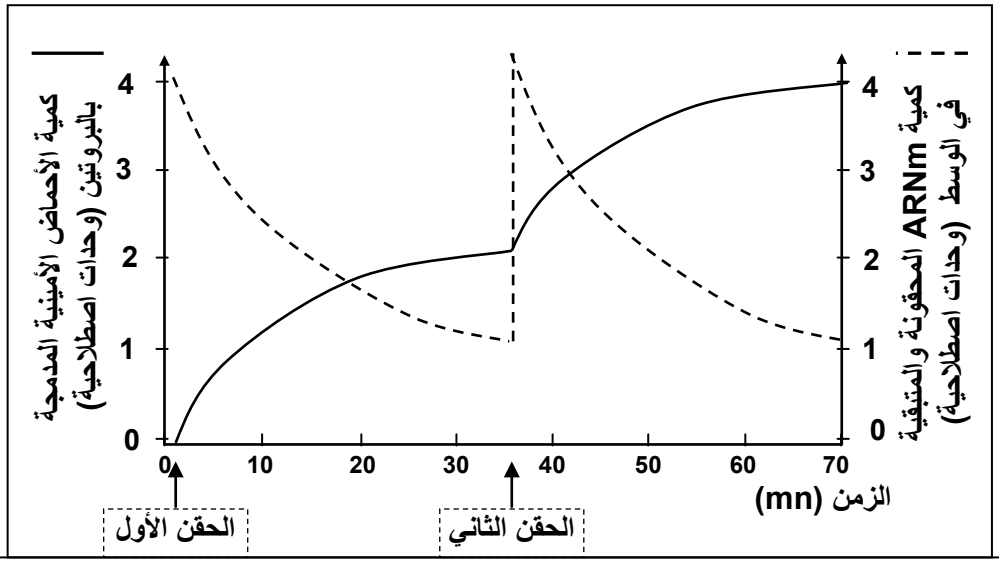
★ انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة يتبين أن اللون الأزرق يتركز في النواة، بينما السيتوبلازم يظهر ملونا بالوردي.
نستنتج من هذا أن ADN يتواجد بالنواة، بينما جزيئة ARN تتواجد بالسيتوبلازم.

★ انطلاقا من الشكل ب من الوثيقة نلاحظ في المرحلة الأولى من التجربة تركيز الإشعاع في نواة الخلية، وفي المرحلة الثانية من التجربة انتقل الإشعاع نحو السيتوبلازم.
نستنتج من هذا أن ARN يركب داخل النواة، وينتقل بعد ذلك إلى السيتوبلازم.
انطلاقا مما سبق يمكن افتراض أن الوسيط بين المورثات في النواة، والبروتينات في السيتوبلازم، هو ARN، لذلك سمي ARN الرسول، ونرمز له ب ARNm. (ARN messager).

ج – التحقق من الفرضية. أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: تجربة تركيب البروتينات في الزجاج.

انطلاقا من عصيات كولونية نعد مستخلصا يحتوي على جميع المكونات السيتوبلازمية اللازمة لتركيب البروتينات، ماعدا ADN. بعد ذلك نضيف لهذا المستخلص كميتين من ARNm وأحماض أمينية، خلال فترتين مختلفتين.



يعطي المبيان أمامه، تطور كمية ARNm والأحماض الأمينية المدمجة في البروتينات بعد كل حقن لـ ARNm وأحماض أمينية.

ماذا تستنتج من تحليل معطيات هذه التجربة؟

نلاحظ أنه بعد كل حقن لـ ARNm والأحماض الأمينية، ترتفع كمية الأحماض الأمينية المدمجة في البروتينات، مع انخفاض في كمية ARNm.
نستنتج من هذه التجربة أن هناك علاقة مباشرة بين تركيب البروتين ووجود ARNm، أي أن ARNm هو فعلا الوسيط بين المادة الوراثية على مستوى النواة، وتركيب البروتينات على مستوى السيتوبلازم.

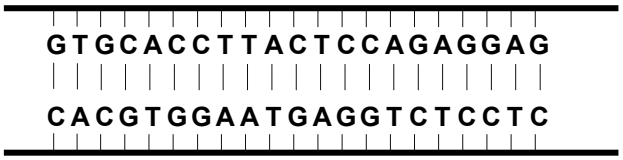
② بنية جزيئة ARN. أنظر الوثيقة 6 والوثيقة 7.

الوثيقة 6: مقارنة جزيئة ADN وجزيئة ARN.

تعطي الرسوم التخطيطية أسفله جزء المورثة المسؤولة عن تركيب الخضاب الدموي HbA و جزيئة ARNm المناسب له. انطلاقا من مقارنة الجزيئتين وبالاعتماد على معطيات الوثيقة 7، استنتج بنية جزيئة ARN.

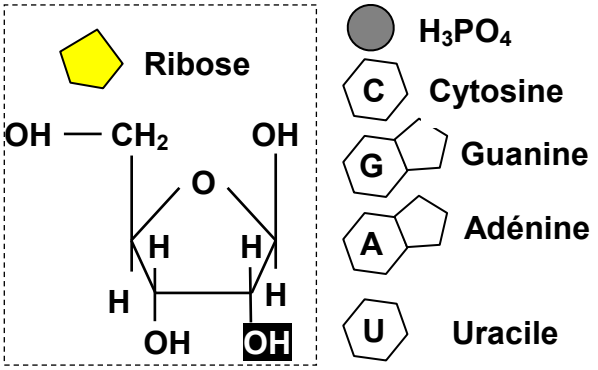
ARNm المناسب لـ ADN المسؤول عن تركيب HbA

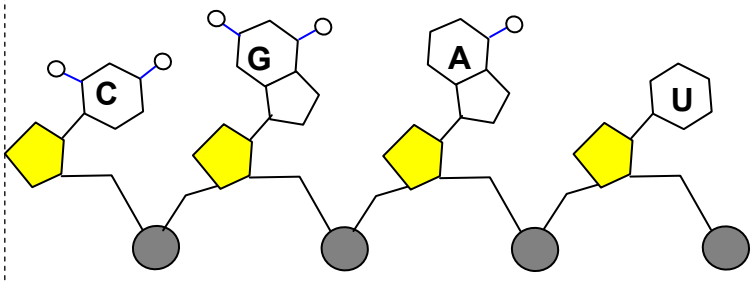
U = قاعدة ازوتية هي الأوراسيل (Uracile)



جزء من ADN المسؤول عن تركيب HbA

الوثيقة 7: بنية جزيئة ARN.





ARN

ARN هو الحمض النووي الريبوزي Acide ribonucléique، يتكون من سلسلة من النيكليوتيدات على شكل لولب واحد من النيكليوتيدات (شريط واحد)، وكل نيكليوتيد يتكون من حمض فوسفوري + سكر الريبوز + قاعدة ازوتية تكون إما الأدنين A، أو الغوانين G، أو السيتوزين C، أو الأوراسيل U.

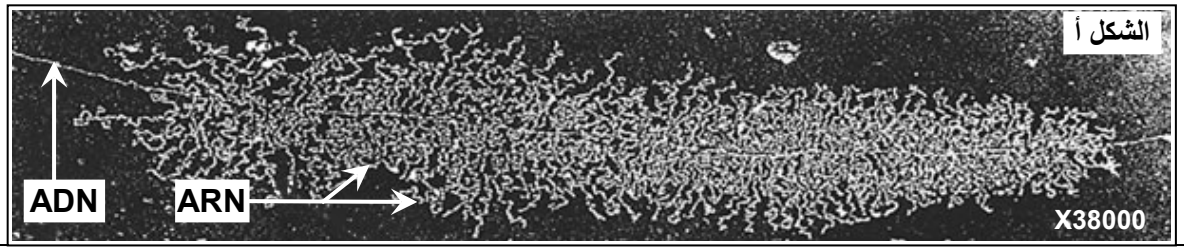
③ مراحل تعبير المورثة.

أ – مرحلة نسخ ARN: من المورثة إلى ARNm. أنظر الوثيقة 8

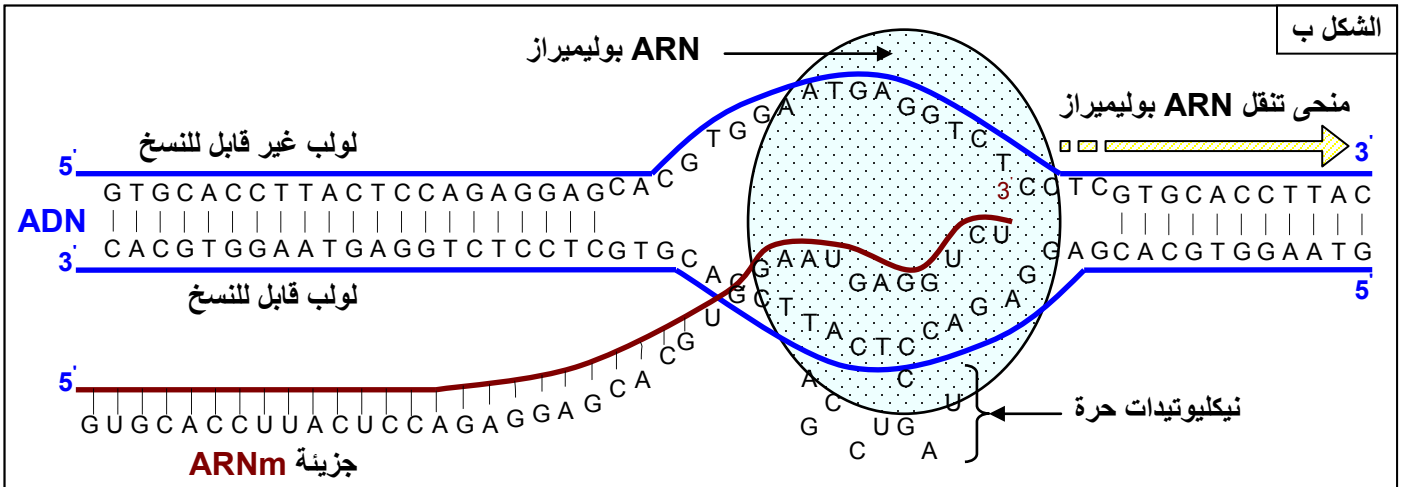
الوثيقة 8: بنية جزيئة ARN.

للـ ARNm والـ ADN بنية متشابهة نسبيا، حيث أنهما معا يتشكلان من متتالية نيكليوتيدات. وتلعب جزيئة ARNm دور الوسيط بين الـ ADN في النواة وتركيب البروتينات في السيتوبلازم، إذ يعمل على نقل الرسالة الوراثية من ADN بشكل متطابق. تسمى هذه العملية بالاستنساخ (النسخ الوراثي) La transcription.

★ يعطي الشكل أ من الوثيقة صورة الكترونوغرافية لنواة خلية بيضية عند الضفدعة أثناء عملية النسخ.
★ يعطي الشكل ب رسما تخطيطيا توضيحيا لآلية نسخ جزيئة ARN الرسول (ARNm).



الشكل ب



اعتمادا على معطيات هذه الوثيقة حدد مراحل تركيب جزيئة ARNm انطلاقا من ADN.

إن تركيب ARNm يتم داخل النواة، ثم ينتقل إلى السيتوبلازم حاملا الخبر الوراثي، أو الشفرة الضرورية لتركيب البروتين. إن ARNm هو نسخة لأحد شريطي ADN، وتسمى عملية تركيب ARNm بالاستنساخ والتي تتم كما يلي:

- يتعرف أنزيم ARN polymérase على الإشارات الوراثية المسؤولة عن انطلاق تركيب ARNm ويلتصق بها.
- يعمل ARN polymérase على تفريق لولبي جزيئة ADN على اثر انفصام الروابط الكيميائية التي تجمع القواعد الازوتية المتاكملة فيما بينها.
- تعمل ARN polymérase على بلمرة النيكليوتيدات الخاصة بـ ARNm، وذلك حسب تكامل القواعد الازوتية لـ ARNm، (G أمام C و U أمام A). ويبدأ تركيب ARNm من طرفه 5' ويتشكل حسب المنحى 3' ← 5' بالنسبة لشريط ADN المنسوخ.
- تتعرف ARN polymérase على الوحدات الرمزية المسؤولة عن نهاية الاستنساخ، فتتوقف عن البلمرة، وتستعيد جزيئة ADN حالتها الأصلية.

هكذا يعمل ARNm على نقل الرسالة الوراثية المتواجدة على مستوى جزيئة ADN، من النواة باتجاه السيتوبلازم حاملة معها الخبر الوراثي، لتتم ترجمته إلى بروتينات.

ب – مرحلة الترجمة في السيتوبلازم: من ARNm إلى البروتين.

a – معطيات حول الطفرات: أنظر الوثيقة 9.

الوثيقة 9: معطيات حول الطفرات:

كشفت دراسة الطفرات عن ما يلي:

- يؤدي تغيير نيكليوتيد واحد أو اثنان أو ثلاثة نيكليوتيدات متتالية في المورثة، إلى تغيير متتالية النيكليوتيدات في ARNm، وبالتالي تغيير حمض أميني واحد في البروتين.
- يؤدي تغيير أربعة أو خمسة أو ستة نيكليوتيدات متتالية في المورثة، إلى تغيير متتالية النيكليوتيدات في ARNm، وبالتالي تغيير حمضين أمينين في البروتين.
- يؤدي تغيير سبعة أو ثمانية أو تسعة نيكليوتيدات متتالية في المورثة، إلى تغيير متتالية النيكليوتيدات في ARNm، وبالتالي تغيير ثلاثة أحماض أمينية في البروتين.

عن ماذا تكشف هذه المعطيات ؟

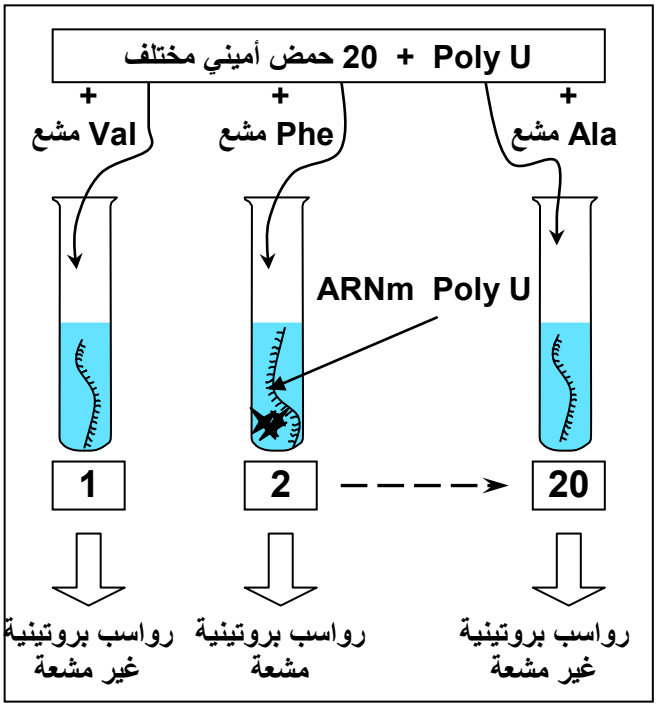
تبين هذه المعطيات ما يلي:

- هناك علاقة بين النيكليوتيدات المكونة لـ ARNm والأحماض الأمينية للبروتين.
- إن الإشارة لحمض أميني واحد في البروتين، يتم بواسطة ثلاثة نيكليوتيدات في ARNm.

الوثيقة 10: تجارب Nirenberg و Matthaei (1962):

في بداية الستينات تمكن الباحثون من عزل أنزيم قادر على بلمرة النيكليوتيدات وتركيب جزيئة مشابهة لجزيئة ARNm (عديد نيكليوتيد اصطناعي)، الشيء الذي مكن Nirenberg وMatthaei من انجاز التجارب التالية:
عزل مستخلص خلوي من بكتيريا E.coli يتوفر على كل العناصر السيتوبلازمية اللازمة لتركيب البروتينات (أنزيمات، ريبوزومات، ATP، GTP، وMg^{2+}) لكن بدون ADN وبدون ARNm.

وضع المحتوى الخلوي تحت حرارة 37°C في 20 أنبوب اختبار، ثم أضيف لكل أنبوب اختبار 20 حمض أميني. حيث أن كل أنبوب يتميز بكون حمض أميني واحد موسوم بالكربون المشع ^{14}C. بعد ذلك تضاف إلى كل وسط جزيئات ARNm اصطناعية، ذات متتالية نيكليوتيدية معروفة، مثلا متتالية مكونة من نيكليوتيدات لا تحتوي إلا على قاعدة ازوتية واحدة هي الأوراسيل -U- وبذلك يرمز له بـ ARNm Poly U.



في آخر التجربة وسط واحد من هذه الأوساط يظهر سلسلة عديد الببتيد مشعة، هذا الوسط يتميز بتوفره على الحمض الأميني الفينيلالانين.

1) ماذا تستنتج من هذه المعطيات ؟

عندما نستعمل ARNm Poly C نحصل على متتالية من البرولين Pro.
عندما نستعمل ARNm Poly A نحصل على متتالية من الليزين Lys.
عندما نستعمل ARNm Poly GU نحصل على متتالية من حمضين أمينيين السيستين-الفالين Val-Cys.

2) حدد الوحدة الرمزية التي تطابق كل حمض أميني من الأحماض الأمينية التي تكشف عنها هذه التجارب.

1) يتبين من هذه المعطيات أن الطابع الوراثي الأساسي يوجد على شكل ثلاثي من النيكليوتيدات، حيث أن الثلاثي UUU يرمز للحمض الأميني الفينيلالانين.

2) الوحدة الرمزية CCC ترمز للحمض الأميني البرولين. والوحدة الرمزية AAA ترمز للحمض الأميني الليزين. والوحدة الرمزية GUG ترمز للحمض الأميني الفالين، والوحدة الرمزية UGU ترمز للحمض الأميني السيستين.

نستخلص من هذه التجارب أن كل ثلاثي نيكليوتيدي يشكل وحدة رمزية Codon، ويرمز لأحد الأحماض الأمينية.
وباستعمال نفس التقنية التجريبية السابقة، تمكن الباحثون من تحديد الوحدات الرمزية التي تشير إلى 20 نوعا من الأحماض الأمينية المكونة للبروتينات، فتم تجميع النتائج المحصل عليها في جدول الرمز الوراثي الممثل على الوثيقة 11.

تبين من هذه المعطيات التجريبية أن الرمز الوراثي يتكون من 4^3 أي 64 وحدة رمزية تتكون من ثلاثيات من النيكليوتيدات، حيث أن عدة ثلاثيات ترمز لنفس الحمض الأميني، وبعض الثلاثيات لا ترمز لأي حمض أميني نقول أنها بدون معنى Non Sens أو قف Stop، لكونها تدل على نهاية أو توقف تركيب البروتين. وهذه الثلاثيات هي: (UAA, UAG, UGA).

الوثيقة 11: جدول الرمز الوراثي Code génétique:

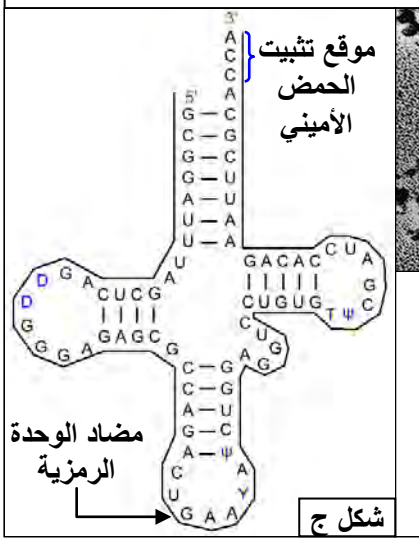
يسمى نظام التطابق بين الوحدات الرمزية التي يحملها ARNm، وبين الأحماض الأمينية التي ترمز لها، بالرمز الوراثي، ويلخص الجدول أسفله، الأحماض الأمينية المقابلة لكل وحدة رمزية.

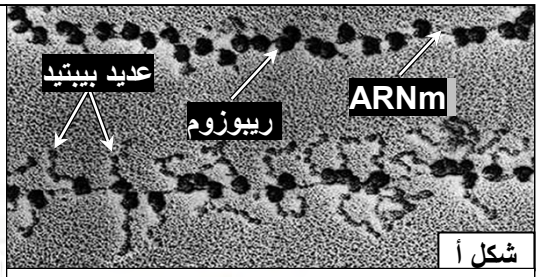
الحرف الأول		الحرف الثاني										الحرف الثالث
		U		C		A		G				
U	UUU	Phe الفينيلالنين	C	UCU	Ser سيرين	UAU	Tyr تيروزين	UGU	Cys سيستيين	U	U	
	UUC			UCC		UAC		UGC		C		
	UUA	Leu لوسين		UCA		UAA	STOP بدون معنى	UGA	STOP بدون معنى	A		
	UUG			UCG		UAG		UGG	Trp تريبتوفان	G		
C	CUU	Leu لوسين		CCU	Pro بروليين	CAU	His هستدين	CGU	Arg أرجينين	U		
	CUC			CCC		CAC		CGC		C		
	CUA			CCA		CAA	Gln غلوتامين	CGA		A		
	CUG			CCG		CAG		CGG		G		
A	AUU	Ileu ازولوسين		ACU	Thr تريونين	AAU	Asn أسبارجين	AGU	Ser سيرين	U		
	AUC			ACC		AAC		AGC		C		
	AUA			ACA		AAA	Lys ليزين	AGA	Arg أرجينين	A		
	AUG	Met ميثيونين		ACG		AAG		AGG		G		
G	GUU	Val فالين		GCU	ala ألنين	GAU	Asp حمض أسبارتيك	GGU	Gly غليسين	U		
	GUC			GCC		GAC		GGC		C		
	GUA			GCA		GAA	Glu حمض الغلوتاميك	GGA		A		
	GUG			GCG		GAG		GGG		G		

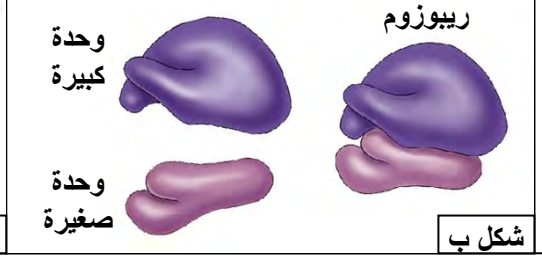
c – مراحل الترجمة:

✸ **العناصر اللازمة للترجمة:** أنظر الوثيقة 12.

الوثيقة 12: العناصر المتدخلة في تركيب البروتينات:







تتم عملية تركيب البروتينات بتواجد ARNm، لكن هناك عدة عناصر أخرى تتدخل خلال هذه العملية، لتُحول الرسالة المحمولة على ARNm، إلى سلسلة أحماض أمينية. توضح الوثائق أمامه أهم هذه العناصر:

★ الشكل أ: ملاحظة الكترونوغرافية تظهر ارتباط الريبوزومات ب ARNm.

★ الشكل ب: رسم تخطيطي يوضح بنية الريبوزوم.

★ الشكل ج: جزيئة ARNt

يحتاج تركيب البروتينات بالإضافة إلى ARNm والمورثة إلى:

⇦ ريبوزومات (شكل أ)، وهي عضيات سيتوبلازمية صغيرة يتشكل كل واحد منها من وحدة صغيرة ووحدة كبيرة، (شكل ب)، وتتكون كل وحدة من ARN ريبوزومي (ARNr) ومن بروتينات. وتشكل الريبوزومات داخل النوية.

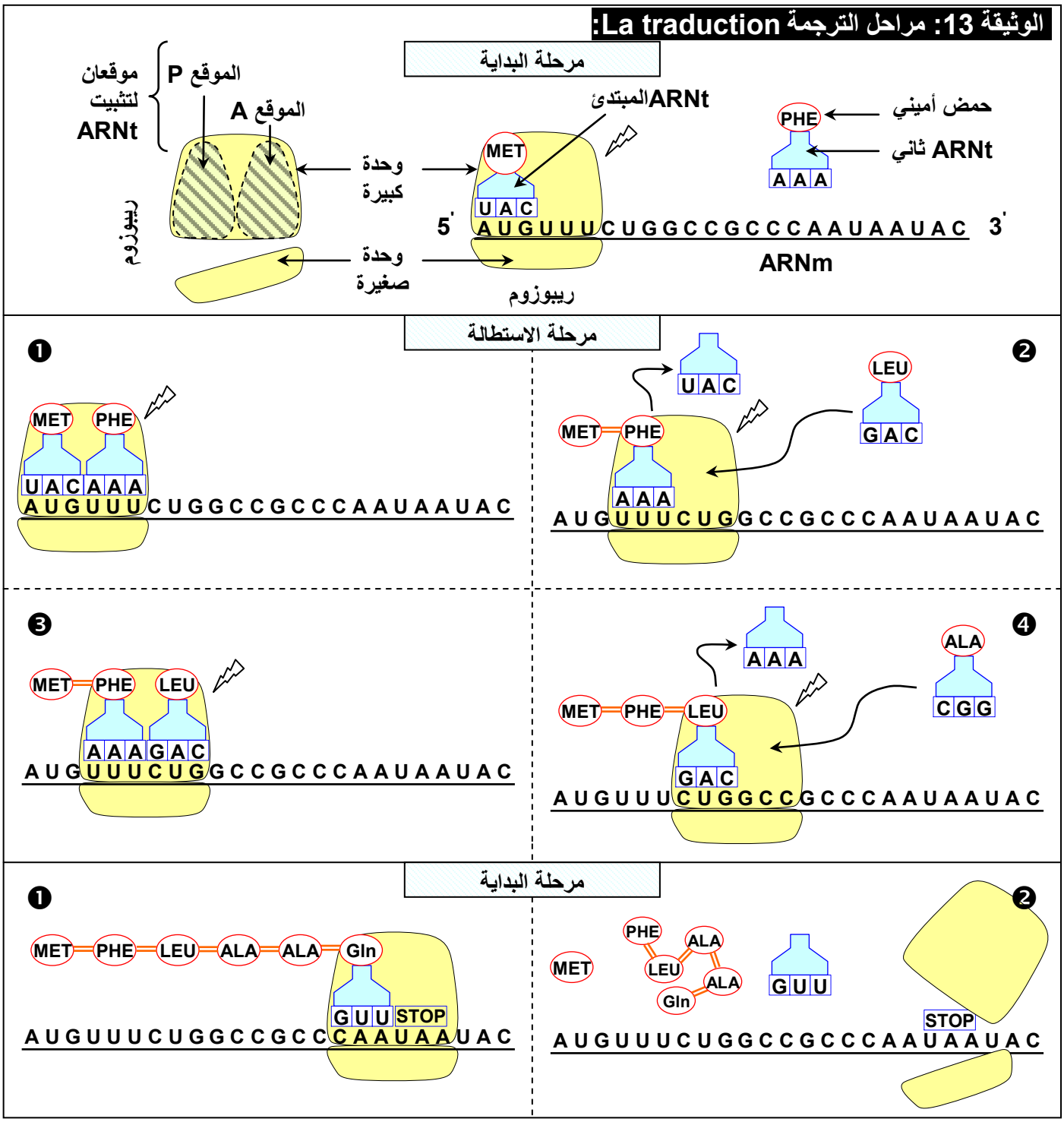
⇦ ARN ناقل (ARNt) الموجود بالسيتوبلازم (شكل ج)، ويختص بنقل الأحماض الأمينية الحرة المطابقة للوحدة الرمزية. وتتكون جزيئة ARNt من نيكليوتيدات وتتضمن موقعين:

- ✓ موقع يحتوي على ثلاث نيكليوتيدات مكملة للوحدة الرمزية المشيرة لحمض أميني معين، ويسمى هذا الثلاثي النيكليوتيدي مضاد الوحدة الرمزية Anticodon.
- ✓ موقع لتثبيت الحمض الأميني المناسب للوحدة الرمزية.

⇦ أحماض أمينية وهي 20 حمض أميني طبيعي.
⇦ طاقة لمختلف مراحل التركيب، مصدرها الاستقلاب الطاقي.
⇦ عوامل منشطة.

✸ **مراحل الترجمة:** أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: مراحل الترجمة La traduction:



يمكن تلخيص ظاهرة تركيب البروتينات في ثلاثة مراحل أساسية وهي:

⇦ المرحلة الأولى: البداية L'initiation

خلال هذه المرحة تلتصق وحدتي الريبوزومات بـ ARNm، على مستوى الوحدة الرمزية AUG، التي تمثل إشارة البدء، وترمز للحمض الأميني الميثيونين الذي يرتبط بـ ARNt خاص يسمى ARNt المبتديء، والحامل لمضاد الوحدة الرمزية UAC.

⇦ المرحلة الثانية: الاستطالة L'élongation

وصول ARNt آخر حاملا معه حمض أميني ثاني مطابق للوحدة الرمزية الموالية على ARNm .
تتشكل رابطة ببيتيدية بين الميثيونين (Met) والحمض الأميني الموالي، فتنفصل الرابطة بين Met وARNt المبتدئ الذي يغادر الريبوزوم.
يتحرك الريبوزوم بوحدة رمزية واحدة (حسب المنحى 5' ← 3' لشريط الـ ARNm المقروء)، ليصل ARNt ثالث، وهكذا تتضاعف الأحماض الأمينية في السلسلة الببتيدية.

⇦ المرحلة الثالثة: النهاية La terminaison

عندما يصل الريبوزوم إلى الوحدة الرمزية قف (UAA أوUAG أوUGA) لا يدمج أي حامض أميني، إذ لا يوجد أي ARNt متكامل مع هذه الوحدات الرمزية. فتفترق وحدتي الريبوزوم عن بعضهما البعض و عن ARNm و يتم تحرير السلسلة الببتيدية. كما ينفصل الحمض الأميني Met عن باقي السلسلة الببتيدية.

ملحوظة:

إن جزيئة واحدة من ARNm تتم ترجمتها في نفس الوقت بواسطة عدة جسيمات ريبية، تنتقل على طول خيطARNm، مما يسمح بتكون عدة بروتينات في نفس الوقت. (أنظر الشكل أ الوثيقة 12).

الوحدة الثانية، الفصل الثالث:

نقل الخبر الوراثي عبر التوالد الجنسي

تمهيد : أنظر الوثيقة 1

الوثيقة 1: دور التوالد الجنسي في ثبات عدد الصبغيات عند نفس النوع.

★ خلال الانقسام غير المباشر، تنشطر الصبغيات و تنتقل من خلية إلى أخرى، ممايوحي بأنها تلعب دورا في انتقال البرنامج الوراثي عبر الخلايا. مكنت الأبحاث من تحديد عدد الصبغيات عند الكائنات الحية (أنظر الشكل أ).

الشكل أ بعض الأنواع الثنائية الصيغة الصبغية

حيوانات		نباتات		بعض الأنواع الأحادية الصيغة الصبغية	
ذبابة الخل	08	البصل	16	فطر نوروسبورا	07
الضفدعة	26	الخميرة	18	فطر صورداريا	07
القط	38	الأسيتابولاريا	20		
الفأر	40	الأرز	24	فطر البينسيليوم	04
الإنسان	46	الفاصوليا	22		
الحصان	64	التبغ	48	البكتيريا	01
الدجاجة	78	البطاطس	48		

★ لإنجاز خريطة صبغية نعتمد التقنيات التالية:

⇦ نوقف الانقسام خلال الطور الاستوائي حيث تكون الصبغيات واضحة، وذلك بواسطة مادة السورنجين.

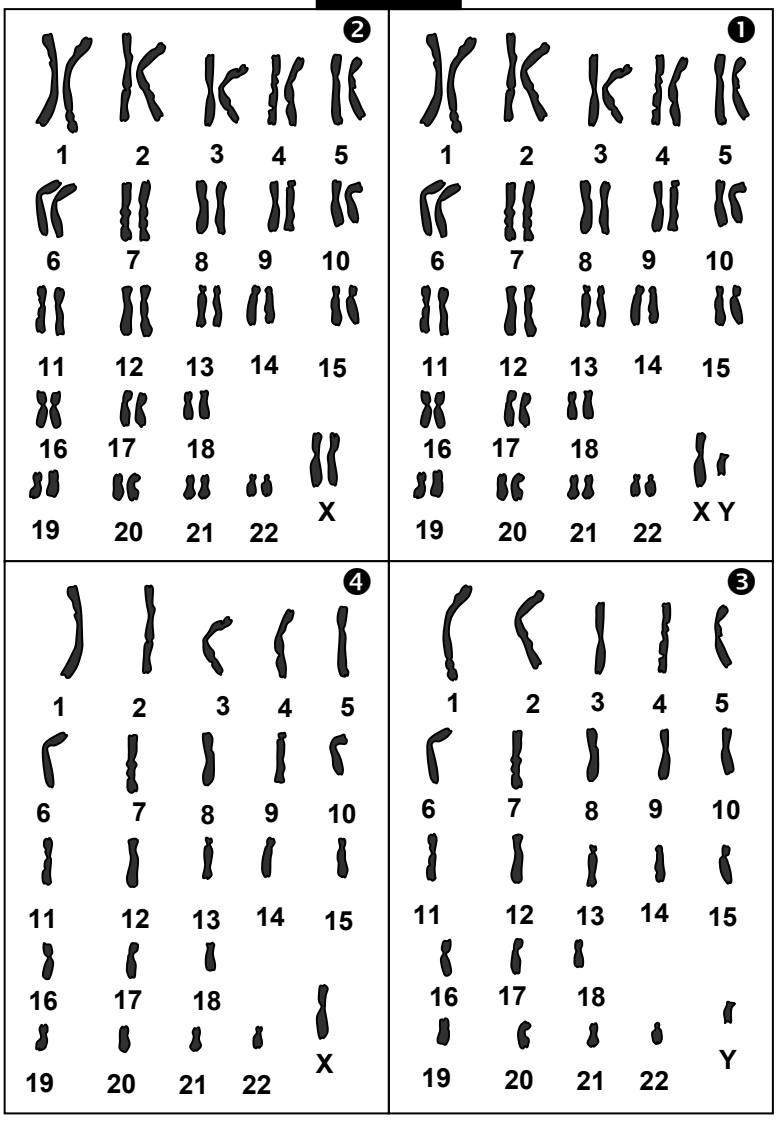
⇦ نفجر الخلية بوضعها في وسط ناقص التوتر فتتحرر الصبغيات.

⇦ نثبت الصبغيات بمواد خاصة مثل الكحول ثم نصورها، فنحصل على زينة صبغية.

⇦ نرتب هذه الصبغيات بالاعتماد على المعايير التالية:

- ✓ قدها (من الأكبر إلى الأصغر).
- ✓ موقع الجزيء المركزي (وسط، طرف)
- ✓ الأشرطة الملونة الفاتحة والداكنة.
- ✓ في حالة الخلايا الثنائية الصيغة الصبغية نرتب الصبغيات بالأزواج، حيث يضم كل زوج صبغيين متماثلين.

الشكل ب



يعطي الشكل ب خرائط صبغية لخلايا الإنسان:

❶ = خلية جسدية عند الرجل.

❷ = خلية جسدية عند المرأة.

❸ = خلية جنسية ذكرية.

❹ = خلية جنسية عند الرجل وعند المرأة.

انطلاقا من هذه الوثائق، ماذا يمكنك استخلاصه من حيث دور التوالد الجنسي في ثبات عدد الصبغيات عند الكائنات الحية؟

★ انطلاقا من تحليل معطيات الشكل أ من الوثيقة 1 يتبين أن:

⇦ عدد الصبغيات يختلف من كائن حي لآخر، لكنه يبقى ثابتا بالنسبة لجميع أفراد نفس النوع، وبالتالي فعدد الصبغيات (الصيغة الصبغية) يُميز جميع أفراد نوع معين من الكائنات الحية.
⇦ نعبر عن عدد الصبغيات في الخلية بالصيغة الصبغية = Formule chromosomique.
⇦ تضم خلايا بعض الكائنات الحية عددا زوجيا من الصبغيات، حيث أن لكل صبغي صبغي آخر مماثل له، نقول أن هذه الخلايا ثنائية الصيغة الصبغية = diploïde، فنرمز إلى الصيغة الصبغية ب 2n حيث يمثل n عدد الأزواج أي عدد الصبغيات المتماثلة. مثلا عند ذبابة الخل 2n = 8 ← n = 4، يعني
⇦ هناك كائنات أخرى أحادية الصيغة الصبغية = Haploïde مثلا البينيسيليوم: n = 4 يوجد 4 الصبغيات المختلفة.

★ انطلاقا من تحليل معطيات الشكل ب من الوثيقة 1 يتبين أن:

⇦ الإنسان يتوفر على 46 صبغي، وأن هذه الصبغيات تتواجد على شكل أزواج (2n = 46)، فنقول أن الإنسان ثنائي الصيغة الصبغية diploïde. عن ترتيب وتصنيف هذه الصبغيات حسب البنية وحسب تموضع الجزيء المركزي ننجز وثيقة تعرف بالخريطة الصبغية.
⇦ يلاحظ تشابه في أزواج الصبغيات من 1 إلى 22 عند كل من الرجل والمرأة، تسمى هذه الصبغيات، بالصبغيات الجسدية (اللا جنسية) les autosomes. (نرمز لها بالحرف A)، لكن في الزوج 23، هناك اختلاف حيث تتوفر المرأة على صبغيين متماثلين نرمز لهما ب X، بينما الرجل يتوفر على صبغيين مختلفين (نرمز لهما بـ X و Y) تسمى هذه الصبغيات، بالصبغيات الجنسية (Les chromosomes sexuels) لكونها تحدد جنس الأفراد.

✓ الصيغة الصبغية عند المرأة: 2n = 44 A + XX نكتب كذلك 2n = 22 AA + XX
✓ الصيغة الصبغية عند الرجل: 2n = 44 A + XY نكتب كذلك 2n = 22 AA + XY

★ تحتوي خلايا الكائن الحي الثنائي الصيغة الصبغية على 2n صبغي، هذا الأخير ينتج أمشاجا أحادية الصيغة الصبغية n، يلزم أن نسلم إذن أن الخلايا الأم للأمشاج والمتواجدة على مستوى المناسل، تخضع إلى اختزال صبغي. نسمي الظاهرة المسؤولة عن اختزال عدد الصبغيات إلى النصف بالانقسام الاختزالي la méiose،

- **فما ميزات الانقسام الاختزالي؟**
- **ما هي أهمية الانقسام الاختزالي والإخصاب؟ وما علاقتهما بانتقال الصفات الوراثية؟**

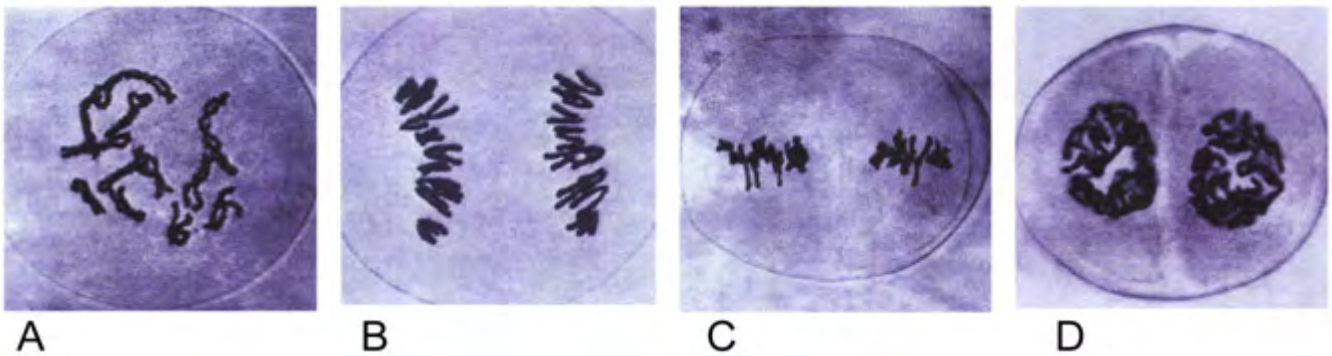
I – مراحل الانقسام الاختزالي La méiose

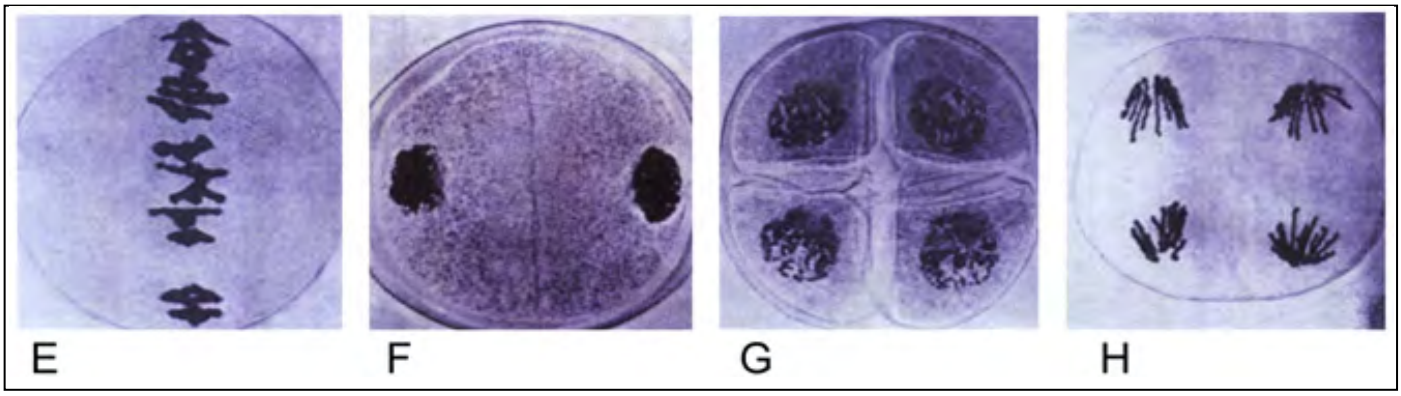
يمكن الانقسام الاختزالي من المرور من صيغة صبغية ثنائية إلى صيغة صبغية أحادية. نبحث من خلال الوثائق التالية عن آلية هذا الانقسام وعن علاقته بتطور كمية ADN، ثم دوره في تنوع الصفات الفردية.

① ملاحظات مجهرية لمراحل الانقسام الاختزالي. أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: ملاحظات مجهرية لخلايا خلال الانقسام الاختزالي La méiose.

تعطي الصور أسفله ملاحظات مجهرية لخلية نبات أثناء الانقسام الاختزالي.
صف مظهر هذه الخلايا ثم أعط عنوانا مناسبا لكل صورة بعد ترتيبها ترتيبا زمنيا.





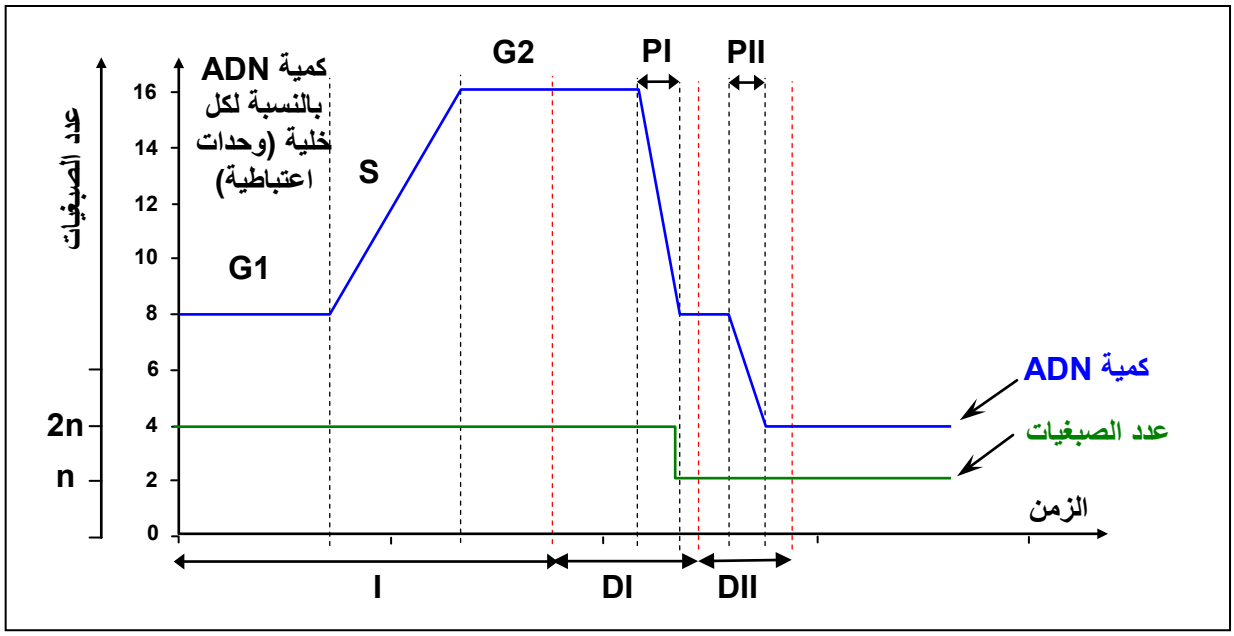
يتبين من هذه الملاحظة أن الانقسام الاختزالي يتم عبر انقسامين متتاليين، يتضمن كل واحد منهما المراحل المعتادة للانقسام غير المباشر.

الترتيب الزمني للصور: A = الطور التمهيدي I. B = الطور الانفصالي I. C = الطور الاستوائي II.
D = الطور التمهيدي II. E = الطور الاستوائي I. F = الطور النهائي I.
G = الطور النهائي II. H = الطور الانفصالي II.

② **تطور كمية ADN خلال الانقسام الاختزالي.** أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: تطور كمية ADN أثناء الانقسام الاختزالي.

لتأكيد التغيُّرات التي تتعرض لها الخلايا الأم للأمشاج خلال الانقسام الاختزالي، تم تتبع تغير كمية الـ ADN على مستوى إحدى هذه الخلايا، ويمثل المبيان أسفله، النتائج المحصل عليها. ماذا تستخلص من تحليل هذه الوثيقة؟



★ يسبق الانقسام الاختزالي مرحلة السكون (I) التي تعرف مضاعفة ADN في طور التركيب S من كمية q (8) إلى الكمية 2q (16).

★ خلال الانقسام المنصف (DI) تنفصل الصبغيات المتماثلة فتحصل كل خلية على كمية q من ADN. كما ينخفض عدد الصبغيات من 2n صبغي إلى n صبغي.

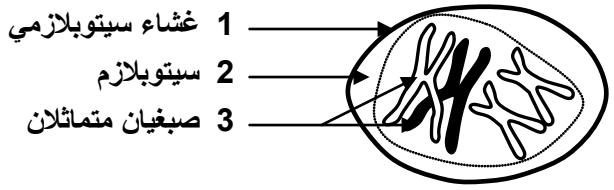
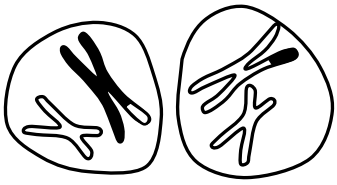
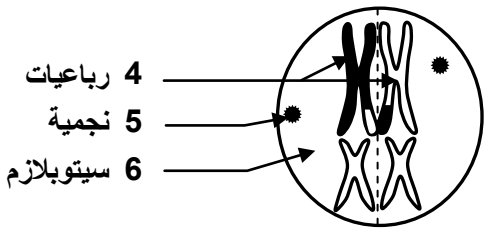
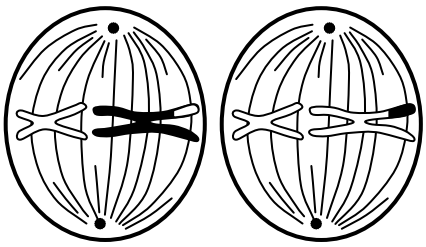
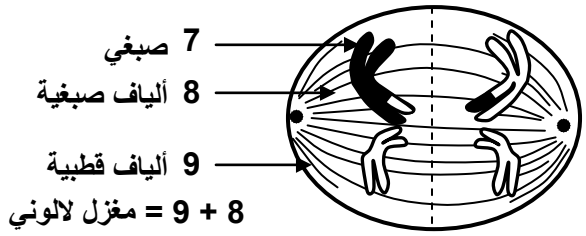
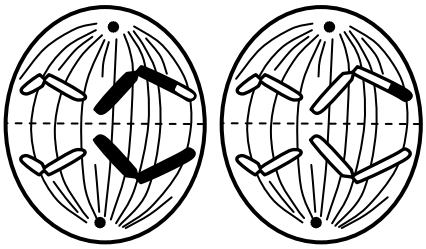
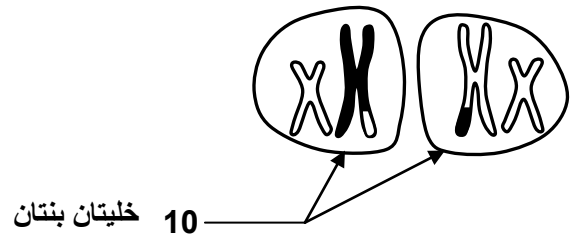
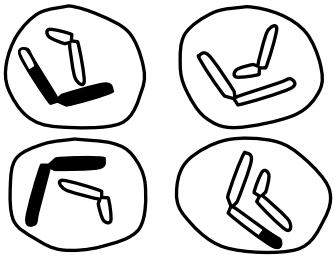
★ خلال الانقسام التعادلي (DII) تنفصل صبيغيات الصبغي الواحد فتحصل كل خلية على q/2 من كمية ADN. بينما يبقى عدد الصبغيات ثابت.

نستخلص من تحليل هذه الوثيقة أن الانقسام الاختزالي يمكننا من الحصول على خلايا أحادية الصيغة الصبغية انطلاقا من خلايا ثنائية الصيغة الصبغية، وهذه الظاهرة مهمة خلال تشكل الخلايا الجنسية التي يجب أن تكون أحادية الصيغة الصبغية.

③ **مراحل الانقسام الاختزالي.** أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4 : رسوم تخطيطية تفسيرية لأطوار الانقسام الاختزالي .

حلل هذه الرسوم محددا مختلف أطوار الانقسام الاختزالي.

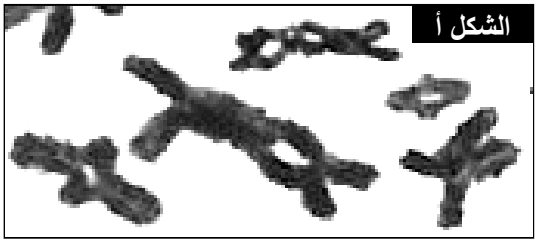
I = الانقسام الأول = الانقسام المنصف	**II** = الانقسام الثاني = الانقسام التعادلي
	
① الطور التمهيدي I	**⑤ الطور التمهيدي II**
يتميز بتكثيف الصبغيات، وباقتران الصبغيات المتماثلة ، مشكلة أزواجا تسمى الرباعيات. اختفاء الغشاء النووي والنويات	تبتدئ مباشرة بعد الطور النهائي I في كل خلية، تبقى الصبغيات منشطرة طوليا، و يظهر المغزل اللالوني في كل خلية.
	
② الطور الاستوائي I	**⑥ الطور الاستوائي II**
تتموضع الصبغيات المتماثلة في المستوى الاستوائي للخلية، تتكون النجميتين ويبدأ تشكل المغزل اللالوني.	بعد اكتمال تشكل المغزل اللالوني، تتموضع الصبغيات على مستوى وسط الخلية مشكلة صفيحة استوائية.
	
③ الطور الانفصالي I	**⑦ الطور الانفصالي II**
انفصال الصبغيات المتماثلة بعضها عن بعض، وهجرتها نحو القطب الخلوي القريب منها، كل صبغي مكون من صبيغيين.	انشطار الجزيء المركزي لكل صبغي بفعل تقلص خيوط المغزل اللالوني، فنحصل على صبغيات مُشكلة من صبيغي واحد، تهاجر في اتجاه قطبي الخلية.
	
④ الطور النهائي I	**⑧ الطور النهائي II**
تجمع الصبغيات المكنة من صبيغيين في كل قطب، ونحصل على خليتين بنتين أحاديتا الصيغة الصبغية.	تنقسم كل خلية مُشكلة خليتين، وبذلك نحصل علي أربع خلايا أحادية الصيغة الصبغية.

أ – الانقسام المنصف :

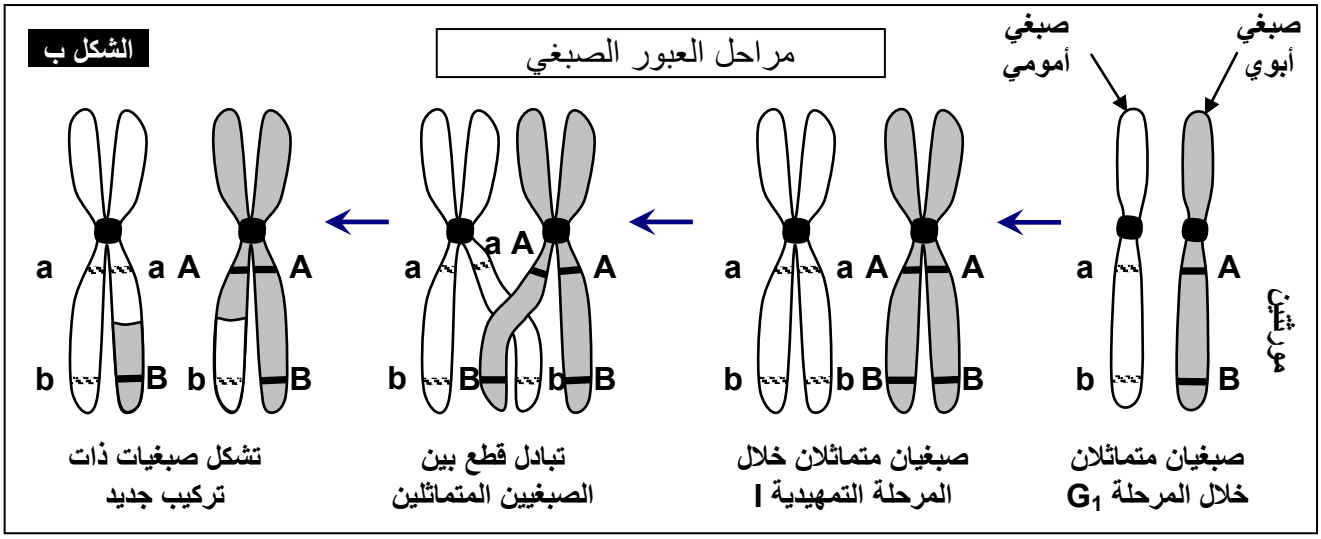
a – المرحلة التمهيدية I :

تتميز هذه المرحلة بتكثيف الصبغيات واقتران الصبغيات المتماثلة لتشكل أزواجا تسمى الرباعيات (تتشكل من صبغيين متماثلين كل صبغي مكون من صبيغيين)، اختفاء الغشاء النووي و النويات.
خلال هذه المرحلة تتقاطع صبيغيات الصبغيين المتماثلين، فيتم تبادل أجزاء فيما بينها أثناء تباعدهما، وتسمى هذه الظاهرة العبور Crossing-over. أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5 : دور ظاهرة العبور الصبغي Crossing over.



يعطي الشكل أ من الوثيقة صورة بالمجهر الالكتروني لصبغيات أثناء المرحلة التمهيدية I، والشكل ب رسم تفسيري لظاهرة تحدث خلال هذه المرحلة.
تعرف هذه الظاهرة وبين دورها في التأثير على الصفات الفردية.



تتجلى ظاهرة العبور الصبغي في تبادل قطع بين الصبغيات خلال الانقسام المنصف. وتلعب هذه الظاهرة دورا هاما في تنوع الأمشاج الناتجة عن الانقسام الاختزالي، حيث تساهم في تنوع التركيبات الوراثية بين مختلف الحليلات.

b – المرحلة الاستوائية I:

تتموضع الصبغيات المتماثلة في المستوى الاستوائي للخلية، تتكون النجيتين ويظهر بينهما المغزل اللالوني.

c – المرحلة الانفصالية I:

انفصال الصبغيات المتماثلة دون انقسام الجزيء المركزي، وهجرتها نحو القطب الخلوي القريب منها، وهكذا يتجمع في كل قطب من قطبي الخلية نصف الصيغة الصبغية، أي n صبغي كل واحد بصبيغيين.

d – المرحلة النهائية I:

يتجمع نصف عدد الصبغيات في كل قطب، يتلاشى المغزل اللالوني ويحدث انقسام السيتوبلازم للحصول على خليتين بنتين أحاديتا الصيغة الصبغية (n).

ب – الانقسام التعادلي :

a – المرحلة التمهيدية II:

قصيرة جدا تبتدئ مباشرة بعد النهائية I، تبقى الصبغيات منشطرة طوليا، و يظهر المغزل اللالوني في كل خلية.

b – المرحلة الاستوائية II:

تتموضع الصبغيات لكل خلية في المستوى الاستوائي مشكلة الصفيحة الاستوائية.

c – المرحلة الانفصالية II:

انشطار الجزيء المركزي لكل صبغي، وتنفصل صبيغيات كل صبغي فيمثل كل واحد منهما صبغي ، يهاجر نحو أحد قطبي الخلية.

d – المرحلة النهائية II:

تتجمع الصبغيات في كل قطب و يزال تلولبها و يتشكل الغشاء النووي وتظهر النويات، ويختفي مغزل الانقسام، وينقسم السيتوبلازم لتتكون في النهاية أربع خلايا أحادية الصيغة الصبغية (n)، كل صبغي مكون من صبيغي واحد.

II – دور الانقسام الاختزالي والإخصاب في تخليط الحليلات.

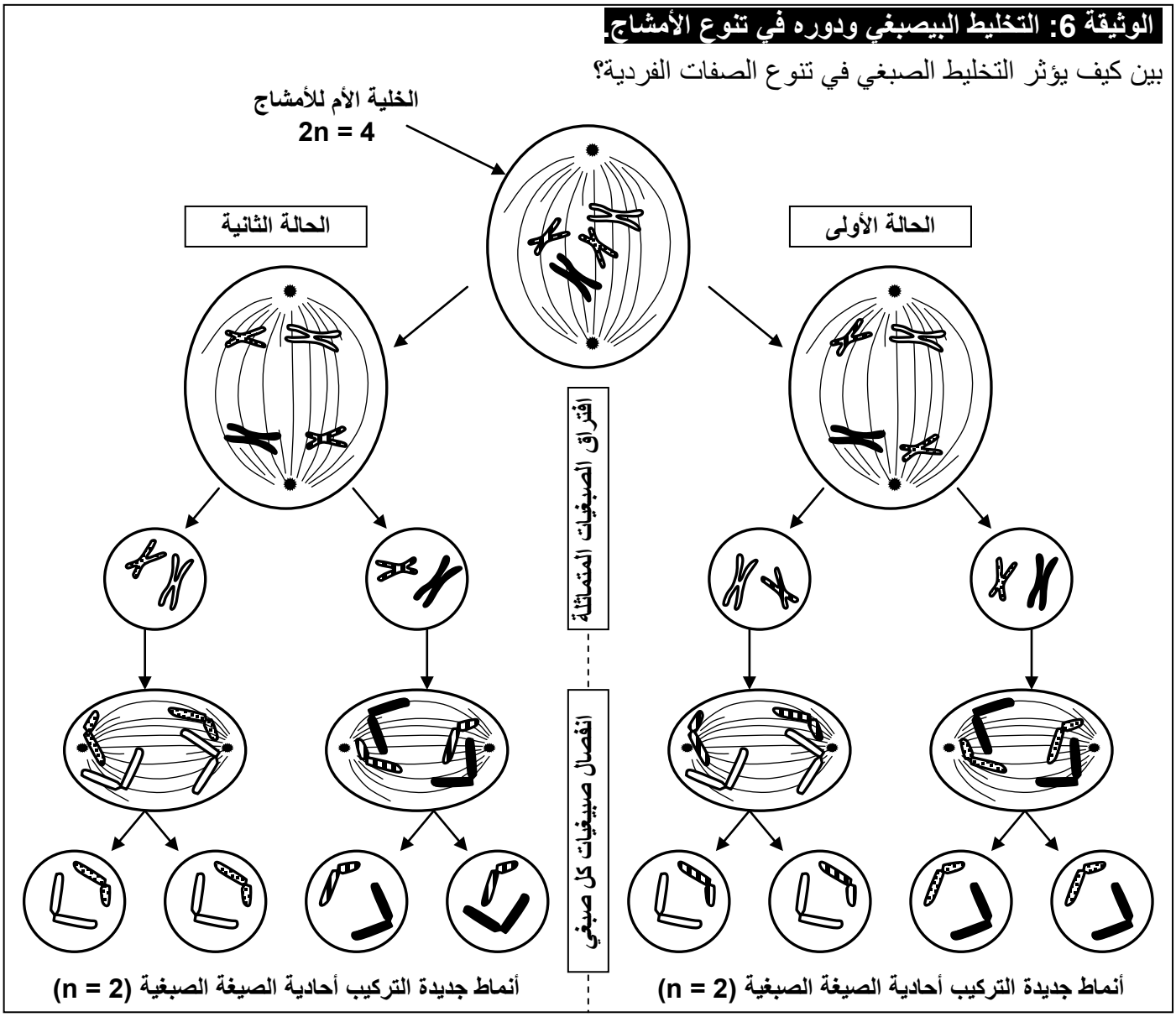
① – دور الانقسام الاختزالي:

يضمن الانقسام الاختزالي إنتاج خلايا أحادية الصيغة الصبغية انطلاقا من خلايا ثنائية الصيغة الصبغية، كما يضمن تخليط الحليلات وانتقال الصفات الوراثية من جيل إلى آخر، وذلك من خلال ظاهرتين مهمتين، وهما التخليط البيصبغي والتخليط الضمصبغي.

أ – التخليط البيصبغي Brassage interchromosomique: أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: التخليط البيصبغي ودوره في تنوع الأمشاج.

بين كيف يؤثر التخليط الصبغي في تنوع الصفات الفردية؟



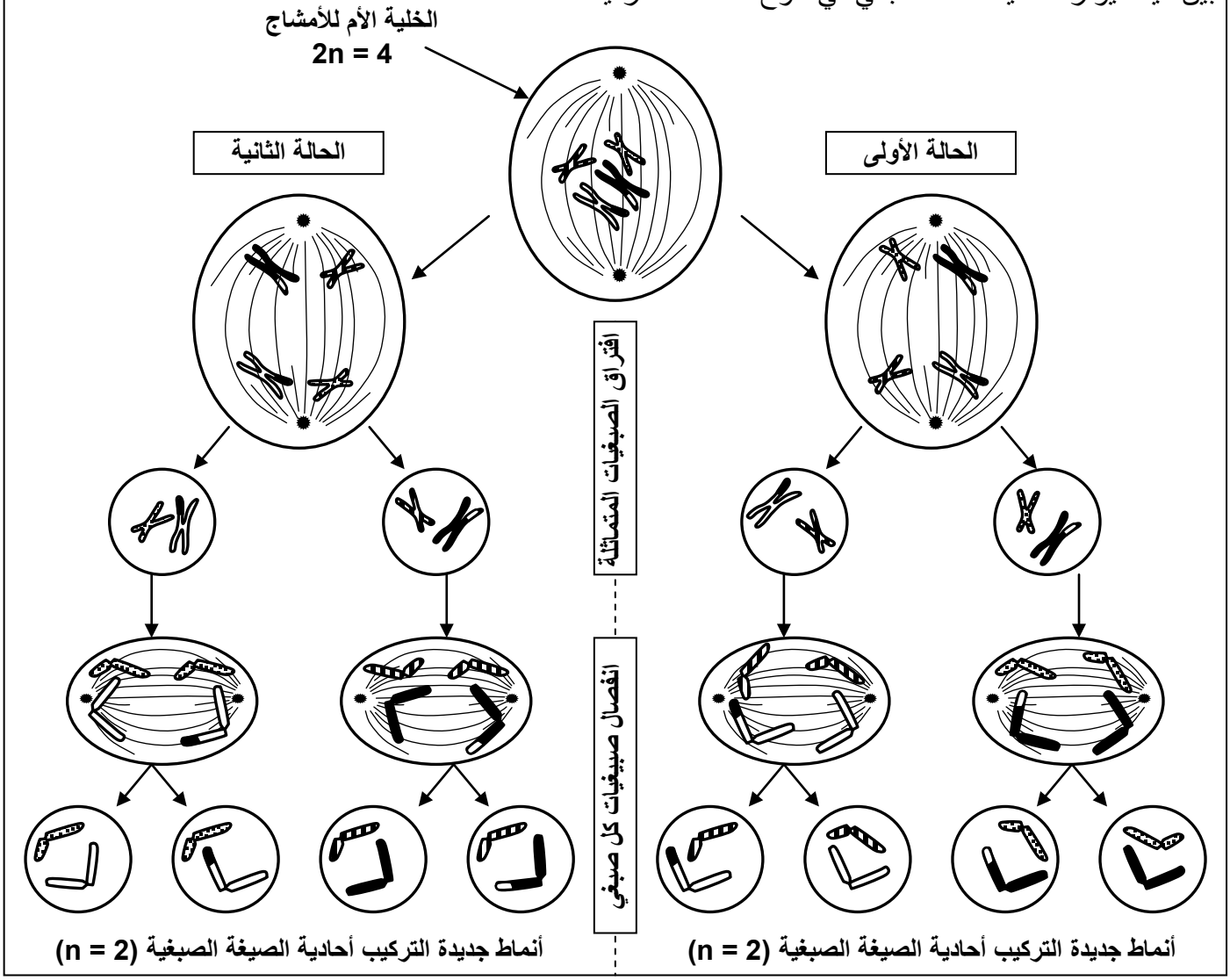
يتبين من معطيات الوثيقة أن مجموع التركيبات الجديدة المختلفة للأمشاج يساوي 4، وهذا راجع إلى الهجرة العشوائية للصبغيات أثناء الطور الانفصالي I، حيث أن هناك احتمالين لتموضع كل صبغي، مما يرفع عدد التركيبات التركيبات الجديدة الممكنة. باستعمال الصيغة 2^n، وبما أن لدينا فقط زوجين من الصبغيات (2n=4)، فإن عدد التركيبات الجديدة هو: 2^2 يعني 4، وهو نفس العدد المحصل عليه في المثال أعلاه.

مثلا يتوفر الإنسان على 23 زوجا من الصبغيات، وبالتالي سيكون عدد التركيبات الجديدة المختلفة للأمشاج هو: 2^{23} أي 8388608 مشيج مختلف، وهو عدد كبير جدا على الرغم من عدم الأخذ بعين الاعتبار ظاهرة التخليط الضمصبغي، والتي ترفع كثيرا من هذا العدد.

ب – التخليط الضمصبغي Brassage intrachromosomique: أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: التخليط الضمصبغي ودوره في تنوع الأمشاج Le brassage intrachromosomique.

بين كيف يؤثر التخليط الضمصبغي في تنوع الصفات الفردية؟



في نهاية الطور التمهيدي I يمكن تبادل قطع من الصبغيات المتماثلة، إنها ظاهرة العبور الصبغي، التي تلعب دورا هاما في تنوع الأمشاج الناتجة عن الانقسام الاختزالي، حيث تساهم في تنوع التركيباتالوراثية بين مختلف الحليلات، نتكلم إذن عن التخليط الضمصبغي.

② – دور الإخصاب:

بعد تشكل الأمشاج، وفي حالة حدوث تزاوج، تلتقي الأمشاج الذكريةبالأمشاج الأنثوية، مما يؤدي إلي تكون خلية تسمى البيضة، تدعى هذه الظاهرة بالإخصاب، وتلعب دورا هاما في تنوع الأفراد مثلها مثل ظاهرة الانقسام الاختزالي

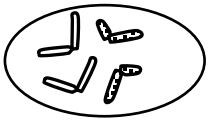
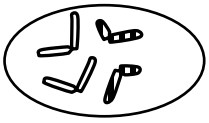
تختلف معظم الحليلات المتواجدة في المشيج الذكري عن الحليلات المتواجدة في المشيج الأنثوي، مما يفسر التنوع الهائل في أصناف البيضات المحصل عليها بعد الإخصاب.

نأخذ مثلا خلية أم للأمشاج ذات صيغة صبغية 2n = 4، أي أن المورثات عند هذه الخلية محمولة على زوجين من الصبغيات المتماثلة. يؤدي الانقسام الاختزالي إلى تشكل أمشاج مختلفة وراثيا، وعددها أربعة أمشاج ممكنة لدى كل أب، في حالة عدم حدوث التخليط الضمصبغي (أنظر الوثيقة 6).

تعطي الوثيقة 8 مختلف البيضات الناتجة عن الإخصاب في هذه الحالة.

الوثيقة 8: دور الإخصاب في تخليط الحليلات (تخليط بيصبغي).

يمثل الجدول أسفله احتمالات البيضات الممكن الحصول عليها بالنسبة لخلية أم للأمشاج ذات صيغة صبغية 2n=4. انطلاقا من هذه المعطيات أبرز دور الإخصاب في تخليط الحليلات.

الأمشاج الذكرية / الأمشاج الأنثوية				
				
				

- عند الأب لدينا 4 احتمالات أمشاج مختلفة، وعند الأم لدينا كذلك 4 احتمالات أمشاج مختلفة، مما يجعل عدد البيضات المختلفة الممكنة يساوي (4x4) أي 16 بيضة.
- لحساب عدد البيضات الممكن تشكلها عند الإنسان، نحدد أولا عدد الأمشاج المختلفة الممكن تشكلها عند الأبوين وهو 2^{23} بالنسبة لكل أب. وهكذا فعدد البيضات الممكنة هو: ($2^{23}x2^{23}$) أي 2^{46} أي (7.10^{13})، وهو عدد هائل، دون الأخذ بعين الاعتبار حدوث ظاهرة العبور الصبغي.

يتبين إذن أن الإخصاب يزيد من التنوع الوراثي للبيضات، بفعل الالتقاء العشوائي للأمشاج، الشيء الذي يعطي أفرادا بصفات مختلفة. وهكذا فان الإخصاب يعمق التخليط البيصبغي. كما أن الإخصاب يساهم في استرداد حالة ثنائية الصيغة الصبغية (2n) أثناء تشكل البيضة، نتيجة اندماج مشيجين بـ (n) صبغي لكل واحد.

الوحدة الثانية، الفصل الرابع:

القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية عند ثنائيات الصيغة الصبغية

تمهيد :

تعتبر الكائنات الثنائية الصيغة الصبغة نتيجة إخصاب لخلايا جنسية أحادية الصيغة الصبغية، الشيء الذي يعطي بيضة ثنائية الصيغة الصبغية تحتوي على أزواج من الصبغيات المتماثلة وبذلك توجد كل مورثة على شكل زوج من حليلين.ولفهم الآليات التي تتحكم في انتقال هذه الحليلات عبر أجيال هذه الكائنات، قام العلماء بمجموعة من الأبحاث والتجارب. وشكلت أعمال العالم ماندل Gregor Mendel، الدراسات الأولية التي مكنت من وضع قوانين إحصائية لانتقال الصفات الوراثية عند ثنائيات الصيغة الصبغية.

بعد العالم Mendel، ساهم علماء آخرون، من بينهم العالم Thomas Hunt Morgan، في فهم أكثر دقة للكيفية التي تنتقل خلالها الصفات الوراثية عبر الأجيال.

- **ما هي نتائج أعمال ماندل Mendel؟ وما تأويلها الصبغي؟**
- **ما هي القوانين الإحصائية المتحكمة في انتقال الحليلات عبر الأجيال؟**

I – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة السيادة التامة: الهجونة الثنائية.

① تجارب Mendel وتأويلها الصبغي:

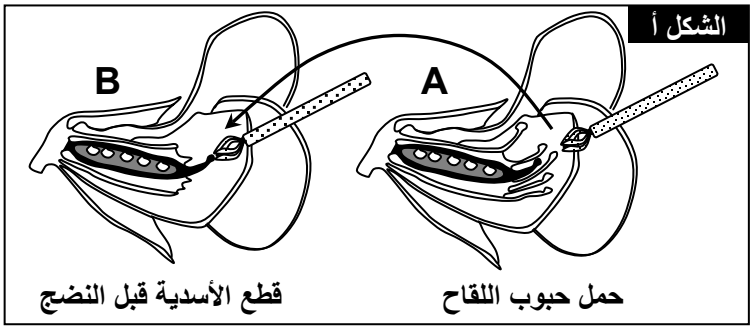
أ - تجارب Mendel. أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: تجارب ماندل Mendel.

JOHANN GREGOR MENDEL

★ اختار Mendel لهذه الدراسة نبات الجلبانة الذي يظهر صفات متعارضة (بذور صفراء أو خضراء، أزهار بيضاء أو بنفسجية، بذور ملساء أو متجعدة) فقام بزرع سلالتين نقيتين من نبات الجلبانة، تتميز السلالة الأولى ببذور ملساء Graines lisses والسلالة الثانية ببذور متجعدة (Graines ridées). ولضمان الإخصاب المتبادل بين هاتين السلالتين منع Mendel الإخصاب الذاتي الذي يتم بصورة طبيعية قبل تفتح أزهار الجلبانة وذلك بقطع الأسدية Les étamines قبل نضجها في مستوى الأزهار المستقبلة لحبوب اللقاح من أزهار أخرى (أنظر الشكل أ).

نتج عن هذا التزاوج تشكل بذور كلها ملساء تكون الجيل الأول الذي سوف نرمز له بـ F_1.



★ قام Mendel بإحداث تزاوج بين أفراد الجيل الأول (F_1XF_1) بنفس الطريقة السابقة فحصل على الجيل الثاني F_2 مكون من 75 % من بذور ملساء، و25 % من بذور متجعدة. (أنظر الشكل ب).

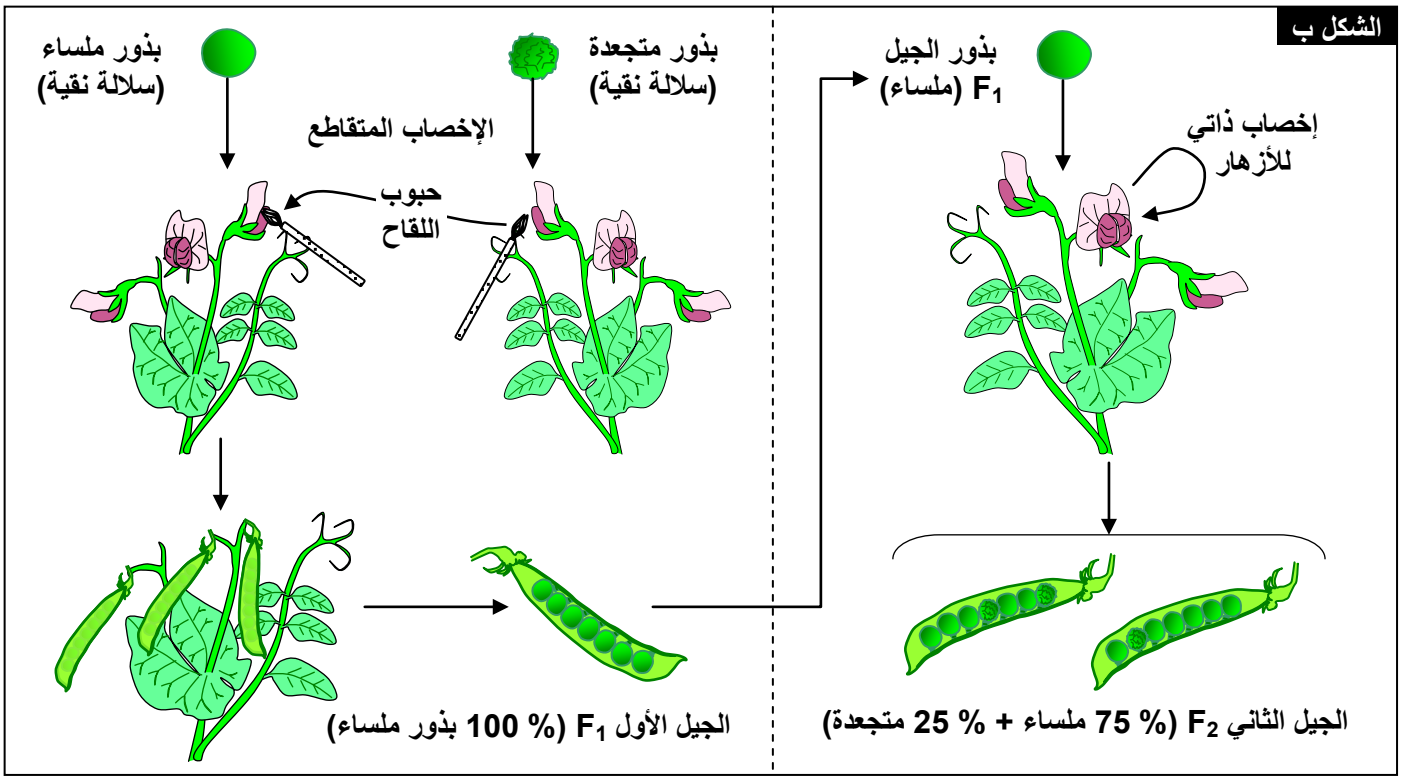
قام Mendel بعد ذلك بزرع بذور الجيل F_2 تاركا أزهارها تلقح ذاتيا.

حصل ماندل على النتائج التالية:

- ✓ البذور المتجعدة F_2 تعطي 100 % من البذور المتجعدة.
- ✓ 25 % من البذور الملساء أفراد الجيل F_2 تعطي 100 % من البذور الملساء.
- ✓ 50 % من البذور الملساء أفراد الجيل F_2 يعطون 75 % من البذور الملساء و25 % من البذور المتجعدة.

1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج تجربة ماندل؟

2) أعط التأويل الصبغي لنتائج تجربة ماندل، آخذا بعين الاعتبار معطيات جدول الوثيقة2 حول الترميز.



الوثيقة 2: معطيات حول الترميز.

⇦ نرمز للمظهر الخارجي لفرد ما بالحرف الأول اللاتيني من التسمية الفرنسية للصفة المدروسة. ويكتب هذا الحرف بين معقوفتين وبكتابة كبيرة Majuscule عندما تكون الصفة سائدة Dominante، وبكتابة صغيرة Minuscule عندما تكون الصفة متنحية Récessif.

مثال : بذور ملساء [L] ، بذور متجعدة [r] .

⇦ نرمز للحليلات المسئولة عن صفة ما كما هو الشأن بالنسبة للمظهر الخارجي بالحرف الأول اللاتيني من التسمية الفرنسية لهذه الصفة.

⇦ نرمز للنمط الو راثي بالشكل التالي: L//L حيث يمثل الخطآن الزوج الصبغي الذي يحمل الحليلين كما نرمز لكل حليل بحرفه.
مثال: النمط الو راثي للبذور المتجعدة هو : r//r والنمط الو راثي للبذور الملساء هو إما L//L أو L// r.

⇦ تعريف **بعض المفاهيم :**

- ✓ السلالة النقية: تكون السلالة نقية بالنسبة لصفة معينة، عندما تنتقل هذه الصفة من جيل إلى آخر دون تغيير.
- ✓ السلالة المتوحشة: السلالة ذات الصفة المرجعية الأكثر حضورا في الطبيعة.
- ✓ التهجين: تزاوج طبيعي أو اصطناعي بين حيوانات أو نباتات من أنواع أو سلالات مختلفة، ينتج عنه أفراد هجناء.
- ✓ المظهر الخارجي: هو الشكل الظاهر أو المعبر عنه لصفة معينة.
- ✓ النمط الوراثي: حليلات المورثة المتحكمة في الصفة المدروسة، وعند ثنائيات الصيغة الصبغية تكون كل مورثة ممثلة بحليلين، حليل على كل صبغي من الصبغيات المتماثلة. وهكذا يكون الفرد إما متشابه الاقتران عندما يكون الحليلان متشابهان، أو مختلف الاقتران، عندما يكون الحليلان مختلفان.

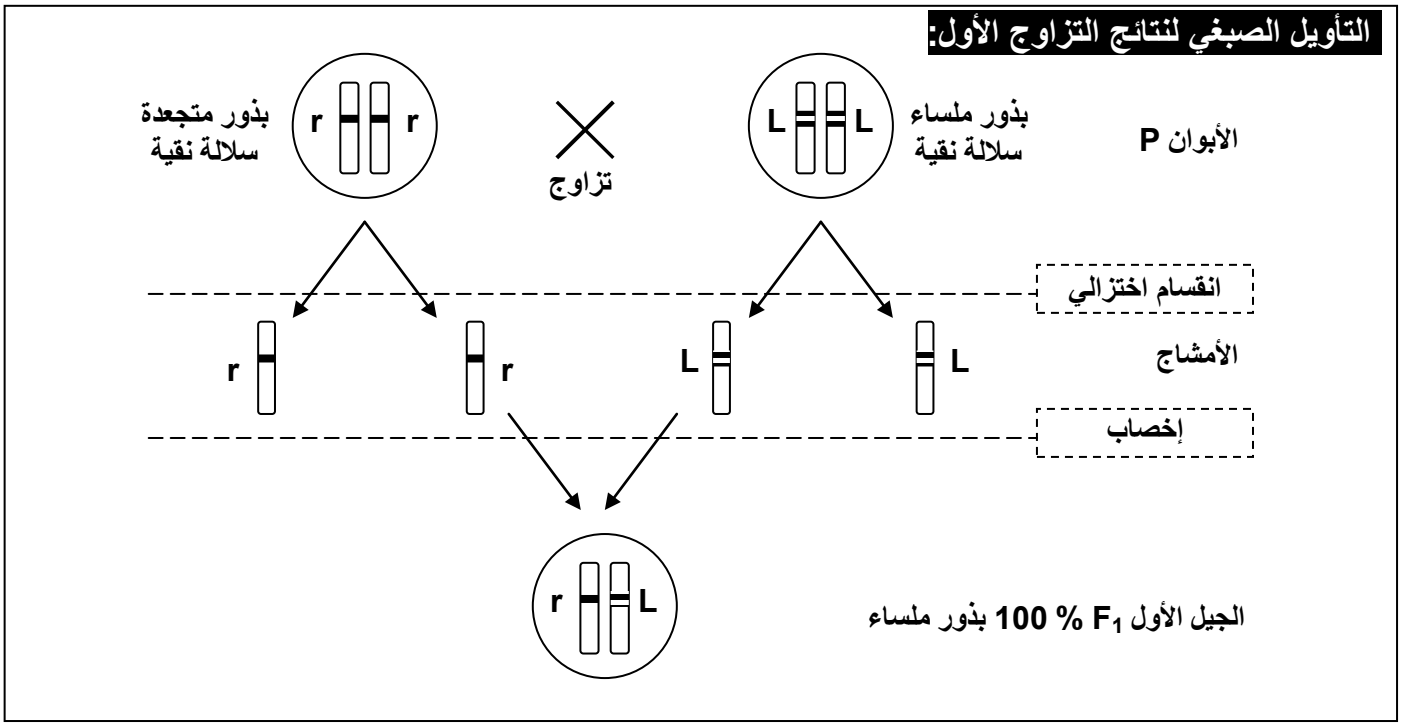
ب – تحليل نتائج تجارب Mendel.

1) نتج عن تزاوج نبتتين من سلالة نقية، لإحداهما بذور ملساء والأخرى بذور متجعدة (جيل الآباء P)، جيل أول F_1 يتكون من أفراد متجانسون ويشبهون في المظهر الخارجي الأب ذي الشكل الأملس، مع غياب الشكل متجعد. نعلم أن الأبوين من سلالة نقية، إذن سيكونان متشابها الاقتران، حيث ستكون النبتة ذات البذور الملساء، حاملة لحليلي الشكل الأملس، بينما النبتة ذات البذور المتجعدة، ستكون حاملة لحليلي الشكل متجعد. أما النبتات الناتجة عن هذا

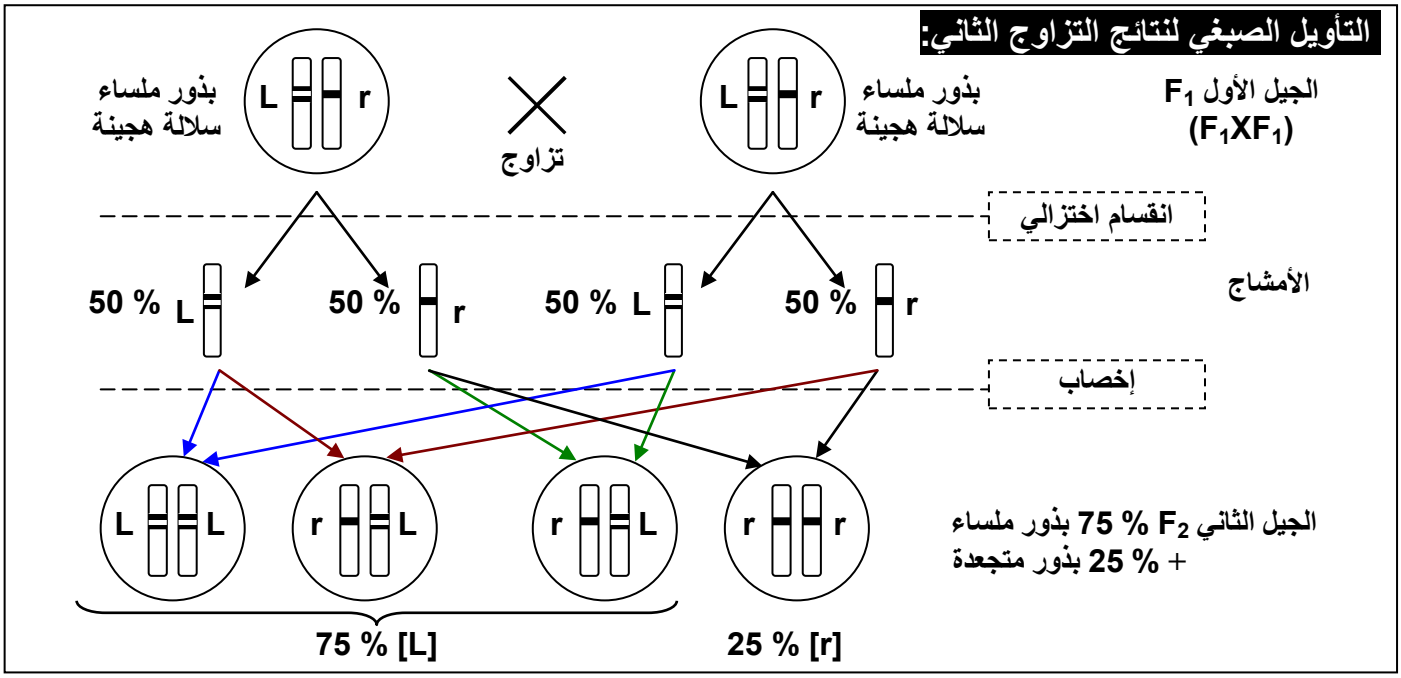
التزاوج، ورغم إبدائها للمظهر بذور ملساء، إلا أنها حاملة لحليل الشكل أملس وحليل الشكل متجعد، أي أنها مختلفة الاقتران بالنسبة لهذه الصفة، فنقول أنها هجينة. ورغم أن بذور نبتات الجلبانة للجيل F_1 تتوفر على حليل الشكل أملس وحليل الشكل متجعد، إلا أنها تبرز الشكل أملس فقط. نستنتج إذن، أنه يتم فقط تعبير أحد الحليلين إلى مظهر خارجي، نقول أن حليل الشكل أملس سائد على حليل الشكل متجعد Dominant، وبالتالي هذا الأخير هو حليل متنحي Récessif .

2) لدينا حليل مسؤول عن الشكل أملس Lisse سائد، وحليل مسؤول عن الشكل متجعد Ridé متنحي، إذن سنرمز لأملس بالحرف L، وللمتجعد بالحرف r. وهكذا نفسر التزاوجات كما يلي:

★ يعطي التزاوج الأول بين الآباء P، الجيل الأول F_1 مكون من أفراد متجانسون ويشبهون في المظهر الخارجي الأب ذي الشكل الأملس، مع غياب الشكل متجعد.



★ عند التزاوج الثاني (F_1 X F_1)، يظهر جيل ثاني F_2، مكون من أفراد غير متجانسين (25 % متجعدة + 75 % ملساء). هذا يعني أن أفراد الجيل الأول F_1 كانت تحمل الشكل متجعد ولكنه لم يظهر إلا في الجيل الثاني F_2. يعني أن الفرد الهجين F_1 يحمل العاملين الوراثيين المسؤولين عن المظهرين الخارجيين المتعارضين.



ج – استنتاجات.

★ إن الفرد الهجين F_1 يحمل العاملين الوراثيين المسؤولين عن المظهرين الخارجيين المتعارضين. وهكذا فالمظهر الخارجي لهجناء F_1 الذي يشبه أحد الأبوين هو سائد، وبالمقابل فالمظهر الثاني الذي بقي مستترا في هذا الجيل وظهر في الجيل الثاني F_2، هو مظهر متنحي. من كل ما سبق استنتج القانون الأول لماندل:

نسمي هذا القانون قانون تجانس الهجناء:

في حالة تزاوج سلالتين نقيتين تختلفان بصفة واحدة، نحصل في الجيل الأول F_1 على أفراد متجانسة ذات صفة الأب السائدة.

★ تفسر النتائج المحصل عليها في الجيل الثاني F2 بافتراض أن العاملين الوراثيين المسؤولين عن المظهرين الخارجيين المتعارضين يفترقان أثناء تشكل أمشاج النبات الهجين (كل مشيج يحمل فقط أحد هذين العاملين) ويلتقيان بالصدفة أثناء الإخصاب. ومن ذلك استنتج القانون الثاني لماندل:

نسمي هذا القانون قانون نقاوة الأمشاج:

أثناء تشكل الأمشاج يفترق العاملان الوراثيان اللذان يحملان الصفتين المتعارضتين، فيحتوي كل مشيج على أحد حليلي المورثة، ادن هو نقي.

② انتقال صفة لون الفرو عند الفئران:

أ – معطيات تجريبية. أنظر الوثيقة 3.

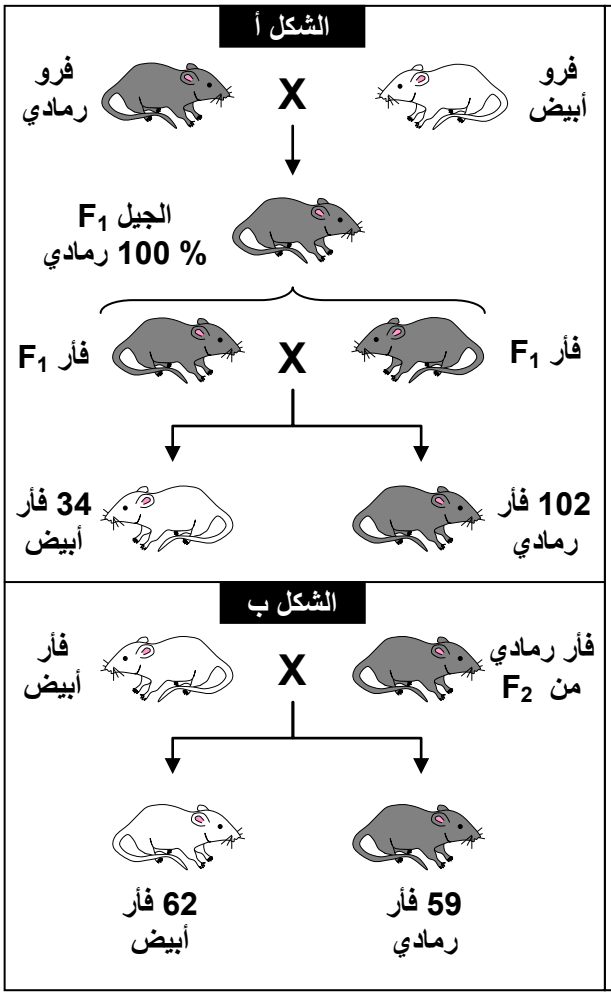
الوثيقة 3: دراسة تجريبية لانتقال صفة لون الفرو عند الفئران:

عند ظهور نتائج Mendel (1866)، حاول هذا الباحث تطبيق مبادئه على الحيوانات، فدرس انتقال صفة لون الفرو عند الفئران. لدينا سلالتين من الفئران تختلفان بلون الفرو، أحدهما ذو فرو أبيض والثاني ذو فرو رمادي. يعطي التزاوج بين فئران إحداها رمادية والأخرى بيضاء (سلالة الآباء P)، خلفا متجانسا مكون فقط من فئران رمادية اللون (الجيل الأول F_1).
نقوم بتزاوج أفراد F_1 مع بعضها فنحصل على الجيل الثاني F_2 يتكون من فئران رمادية وفئران بيضاء (أنظر الشكل أ).

1) حدد نمط التزاوج المنجز.
2) عرف السلالة النقية.
3) حلل النتائج المحصل عليها في F_1 وفي F_2.
4) فسر صبغيا النتائج المحصل عليها في كل من F_1 وF_2.

من أجل التأكد من نقاوة سلالة الفئران ذات اللون الرمادي في الجيل الثاني F_2، نقوم بإجراء تزاوج بين فرد رمادي من F_2 وفرد آخر أبيض، فنحصل على خلف يضم فئران رمادية وفئران بيضاء كما هو ممثل على الشكل ب.

5) ماذا نسمي هذا النوع من التزاوج؟ ماذا تستنتج من تحليل نتيجة هذا التزاوج؟



ب – تحليل نتائج التزاوجات.

1) لقد تم التزاوج بين أفراد من نفس النوع، ينتمون لسلالتين نقيتين، تختلفان في صفة واحدة. ادن نمط التزاوج هو عبارة عن هجونة أحادية.

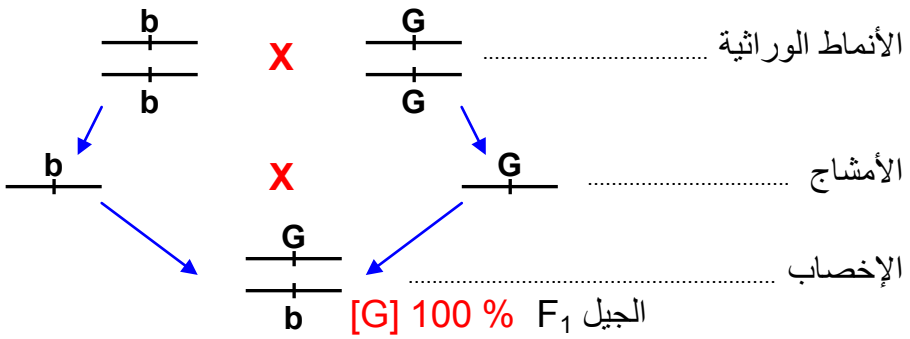
2) تكون السلالة نقية بالنسبة لصفة معينة، عندما تنتقل هذه الصفة إلى الخلف بدون تغير عبر أجيال متعددة. ونفسرها بوجود حليلين متشابهين بالنسبة للمورثة المرتبطة بتلك الصفة.

3) إن جميع أفراد الجيل F_1 متجانسون فيما بينهم، ويشبهون في المظهر الخارجي الأب ذي اللون الرمادي. اعتمادا على القانون الأول لـ Mendel نستنتج أن صفة اللون رمادي صفة سائدة، بينما الصفة لون أبيض صفة متنحية. نلاحظ كذلك أن الصفة أبيض ظهرت لدى أفراد الجيل F_2، ولم تكن تظهر عند الجيل F_1، نستنتج أن أفراد الجيل F_1 يحملون الحليل المسؤول عن الصفة أبيض، ولا يظهر عندهم لكونه حليل متنحي

4) التفسير الصبغي لنتائج التزاوج:

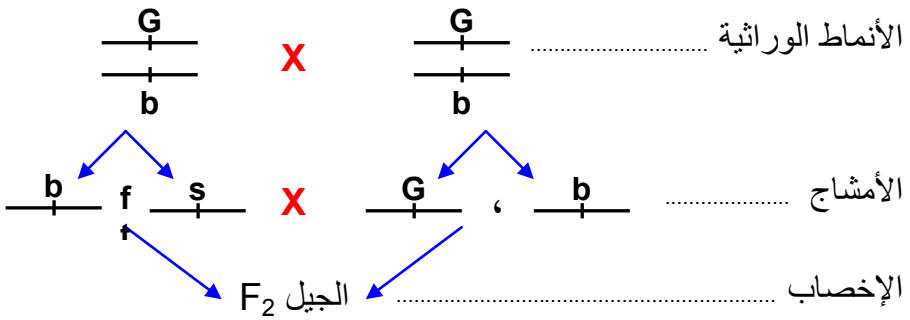
بما أن رمادي سائد سنرمز له ب G، وأبيض متنحي سنرمز له ب b.

★ **التزاوج الأول: عند الآباء P:** المظاهر الخارجية لـ P ..... : [G] X [b]



كل أفراد الجيل الأول F_1 لهم النمط الوراثي G//b، وبما أن الحليل G سائد على الحليل b، فان كل أفراد F_1 سوف يكون لهم نفس المظهر الخارجي [G].

★ **التزاوج الثاني: F1 X F1.** المظاهر الخارجية لـ F_1 ..... : [G] X [G]



في F_2 يمكن تلخيص إمكانية الإخصاب، في جدول ذي مدخلين، يسمى شبكة التزاوج L'échiquier de croisement. حيث يكتب في المدخل العمودي، مختلف أصناف الأمشاج الأنثوية ونسبها، وفي المدخل الأفقي، مختلف أصناف الأمشاج الذكرية ونسبها.

شبكة التزاوج

♂ / ♀	50 % b	50 % G
G 50 %	25 % G//b	25 % G//G
b 50 %	25 % b//b	25 % G//b

يتكون الجيل الثاني F_2 من :

★المظاهر الخارجية: [b] 25 % + [G] 75 %.

★ الأنماط الوراثية: 25 % بنمط وراثي b//b.
50 % بنمط وراثي G//b.
25% بنمط وراثي G//G.

5) نسمي هذا النوع من التزاوج بالتزاوج الاختباري Test Cross، وهو تزاوج يتم بين فرد ذي مظهر خارجي سائد ونمط وراثي غير معروف، وفرد ذي مظهر خارجي متنح أي متشابه الاقتران بالنسبة للصفة المدروسة.

في هذا التزاوج، يرتبط المظهر الخارجي للخلف بنمط الأمشاج التي ينتجها الأب ذو المظهر الخارجي السائد. وبذلك نجد حالتين:

★ **الحالة الأولى:** إذا كان النمط الوراثي للأب ذو المظهر السائد هو G//G، فسوف ينتج نمطا واحدا من الأمشاج G/، وبالتالي نحصل عند الخلف على 100 % G//b. أي 100 % فئران رمادية.

★ **الحالة الثانية:** إذا كان النمط الوراثي للأب ذو المظهر السائد هو G//b، فسوف ينتج نمطين من الأمشاج G/ و b/، وبالتالي نحصل عند الخلف على 50 % G//b + 50 % b//b. أي 50 % فئران بيضاء + 50 % فئران رمادية.

نلاحظ أن نتيجة هذا التزاوج الاختباري هي 50 % فئران بيضاء + 50 % فئران رمادية. نستنتج ادن أن الفأر الرمادي المختبر هجين أي مختلف الاقتران G//b.

II – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة تساوي السيادة La codominance.

① التهجين عند نبات شب الليل أنظر الوثيقة 4.

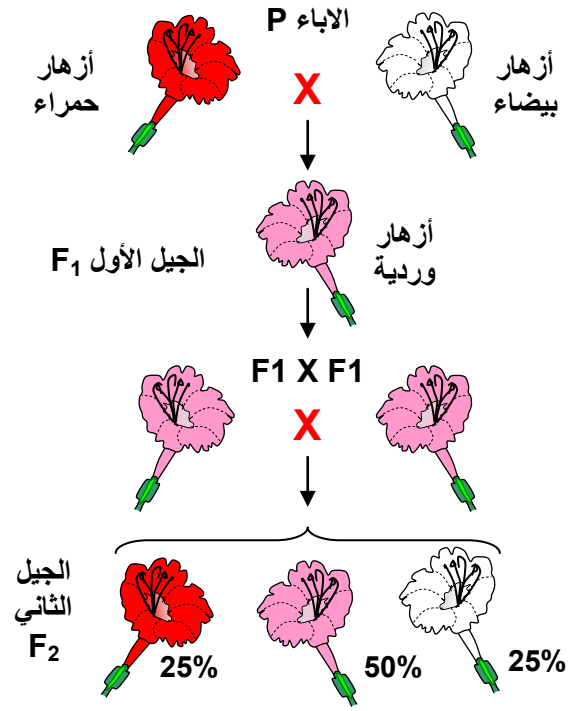
الوثيقة 4: التهجين عند نبات شب الليل:

قصد دراسة مظهر آخر لكيفية انتقال الصفات الوراثية وتعبيرها، تم إجراء تزاوج عند نبات شب الليل Mirabilis jalapa، حيث تم إنجازه بين سلالتين نقيتين من نبات شب الليل، الأولى ذات أوراق تويجية حمراء Rouge، والثانية ذات أوراق تويجية بيضاء Blanche، فتم الحصول نباتات هجينة ذات أوراق تويجية وردية Rose تمثل الجيل الأول F1 (أنظر الرسم أمامه). نشير إلى أنه تم اعتماد الإخصاب المتقاطع، لتجنب حدوث إخصاب ذاتي لنفس الأزهار.

1) حلل هذه النتائج، ثم استنتج.

يعطي تزاوج نباتات F_1 فيما بينها جيل ثاني F_2 غير متجانس ومكون من 25 % نباتات ذات أزهار بيضاء و25 % نباتات ذات أزهار حمراء و50 % نباتات ذات أزهار وردية.

2) فسر صبغيا النتائج المحصل عليها في F_1 و في F_2.



② تحليل نتائج التزاوج:

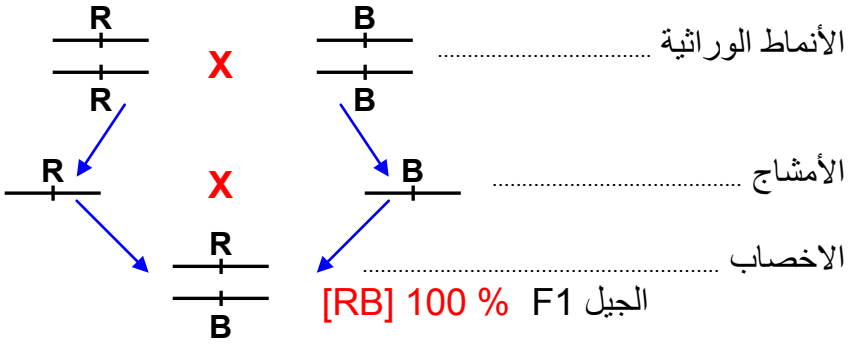
1) إن تزاوج سلالتين نقيتين من شب الليل تختلفان بصفة لون الأوراق التويجية أعطى جيل أول F_1 يتكون من أفراد متجانسون، إذن الجيل F_1 سيكون هجينا (تحقق القانون الأول لماندل). إلا أن صفةأفراد الجيل F_1 لا تشبه أي صفة من صفات الوالدين، بل هي صفة وسيطة بين صفتي الأبوين. نستنتج من هذا أن هناك غياب للسيادة أو نقول كذلك تساوي السيادة أو السيادة غير التامة.

2) التفسير الصبغي لنتائج التزاوجات:

بما أن الحليلان متساويا السيادة، سنرمز لهما معا بحروف كبيرة Majuscules، فنعطي للحليل المسؤول عن اللون الأحمر Rouge للأوراق التويجية الحرف R، والحليل المسؤول عن اللون الأبيض Blanc للأوراق التويجية الحرف B.

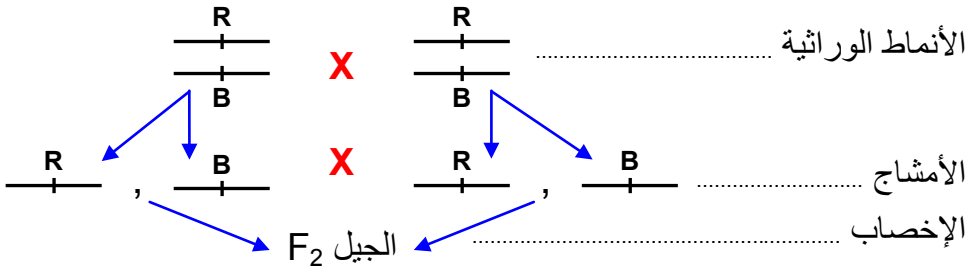
سيكون التفسير الصبغي إذن على الشكل التالي:

★ **التزاوج الأول : عند الآباء P:** المظاهر الخارجية لـ P: ..... [B] X [R]



كل أفراد الجيل الأول F_1 لهم النمط الوراثي R//B، وبما أن هناك تساوي السيادة، فان كل أفراد F_1 سوف يكون لهم نفس المظهر الخارجي [RB].

★ **التزاوج الثاني : F1 X F1.** المظاهر الخارجية لـ F1: ..... [RB] X [RB]



في F_2 يمكن تلخيص إمكانية الإخصاب، في شبكة التزاوج التالية:

♂ / ♀	R 50 %	B 50 %
R 50 %	R//R 25 %	R//B 25 %
B 50 %	R//B 25 %	B//B 25 %

يتكون الجيل الثاني F_2 من:

★ المظاهر الخارجية: [R] 25 % + [B] 25 % + [RB] 50 %.

★ الأنماط الوراثية: 25 % بنمط وراثي R//R.
+ 50 % بنمط وراثي R//B.
+ 25 % بنمط وراثي B//B.

III – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة المورثة المميتة.

① انتقال صفة مرتبطة بمورثة مميتة عند الفئران أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: دراسة صفة مرتبطة بمورثة مميتة عند الفئران:

نقوم بتزاوج سلالتين من فئران صفراء Jaune، فنحصل على خلف غير متجانس يضم: 202 فأر أصفر و98 فأر رمادي Gris.

1) ماذا يمكنك استنتاجه من خلال نتائج هذا التزاوج؟ علل جوابك؟
2) أحسب نسبة الأنماط المحصل عليها. ماذا تلاحظ؟
3) فسر صبغيا هذه النتائج علما أنه لوحظ في رحم الأم فئران صفراء ميتة

② تحليل نتائج التزاوج:

1) تحليل واستنتاج:

★ لقد تم التزاوج بين فئران صفراء، فحصلنا في الخلف على فئران غير متجانسة (صفراء ورمادية)، إذن لم يتحقق القانون الأول لمانـدل، وبالتالي فالأبوين لا ينتميان لسلالة نقية.

★ إن ظهور فئران رمادية عند الخلف، يدل على أن الحليل المسؤول عن هذه الصفة كان عند الآباء ولم يظهر عندهم. يمكننا القول إذن أن صفة لون رمادي صفة متنحية وصفة لون أصفر صفة سائدة.

★ إن الحصول في الجيل الأول F_1 على أفراد بلون رمادي، يعني أن الأبوين معا يتوفران على الحليل المسؤول عن هذا اللون، لكنهما يبديان مظهرا خارجيا أصفر، نستنتج بالتالي أن الأبوين معا مختلفي الاقتران (هجناء).

2) نسب الأنماط المحصل عليها:

نسبة الفئران الصفراء هي: (2/3) 67.33 % = 100 x ((202 / (202 + 98))

نسبة الفئران الرمادية هي: (1/3) 32.66 % = 100 x ((98 / (202 + 98))

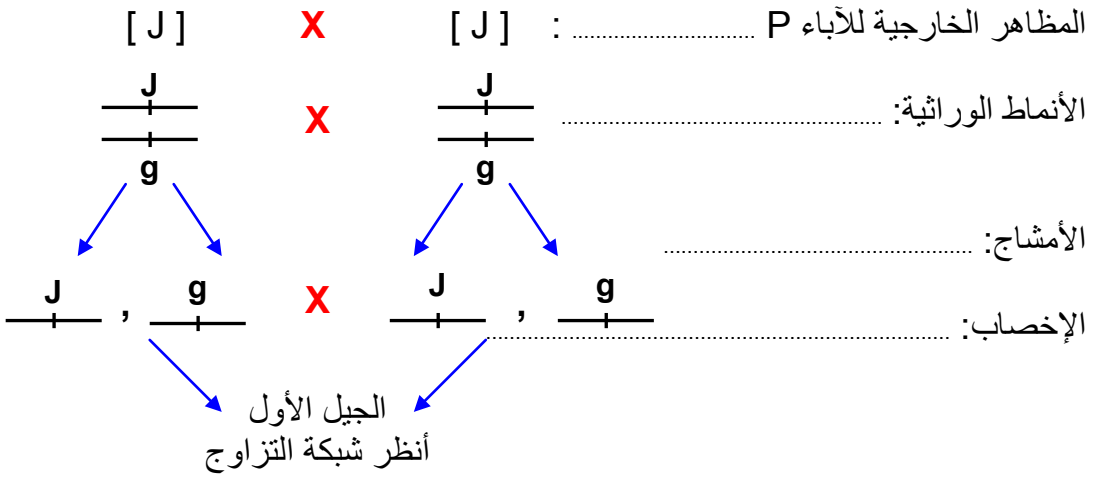
بما أننا في حالة سيادة تامة، فالنسب المتوقعة هي 25 % (أي 1/4) للمظهر الخارجي المتنحي + 75 % (أي 3/4) للمظهر الخارجي السائد.

نلاحظ أن النسب المحسوبة تخالف النسب المتوقعة F_2 في حالة السيادة التامة.

3) التأويل الصبغي لنتائج التزاوج:

ننجز التفسير الصبغي باستعمال الرموز التالية: الحليل المسؤول عن اللون الأصفر Jaune سائد، سنرمز له بالحرف J، والحليل المسؤول عن اللون الرمادي Gris متنحي، سنرمز له بالحرف g.

التأويل الصبغي للتزاوج [J] X [J].



شبكة التزاوج

♂ / ♀	J	g
	50 %	50 %
J	25 %	25 %
J		
g	50 %	
g	25 %	25 %
g		

إن تشابه الاقتران بالنسبة للحليلين السائدين j//j يؤدي إلى موت هذه الفئران، وهذا ما يفسر وجود فئران ميتة في رحم الأم، ويفسر أن ثلث الفئران ذات لون رمادي، والثلثين بلون أصفر.

من خلال هذا التفسير الصبغي، يتضح أن النتائج النظرية تطابق النتائج التجريبية، وبالتالي، فنحن فعلا أمام حالة مورثة مميتة Gène létale.

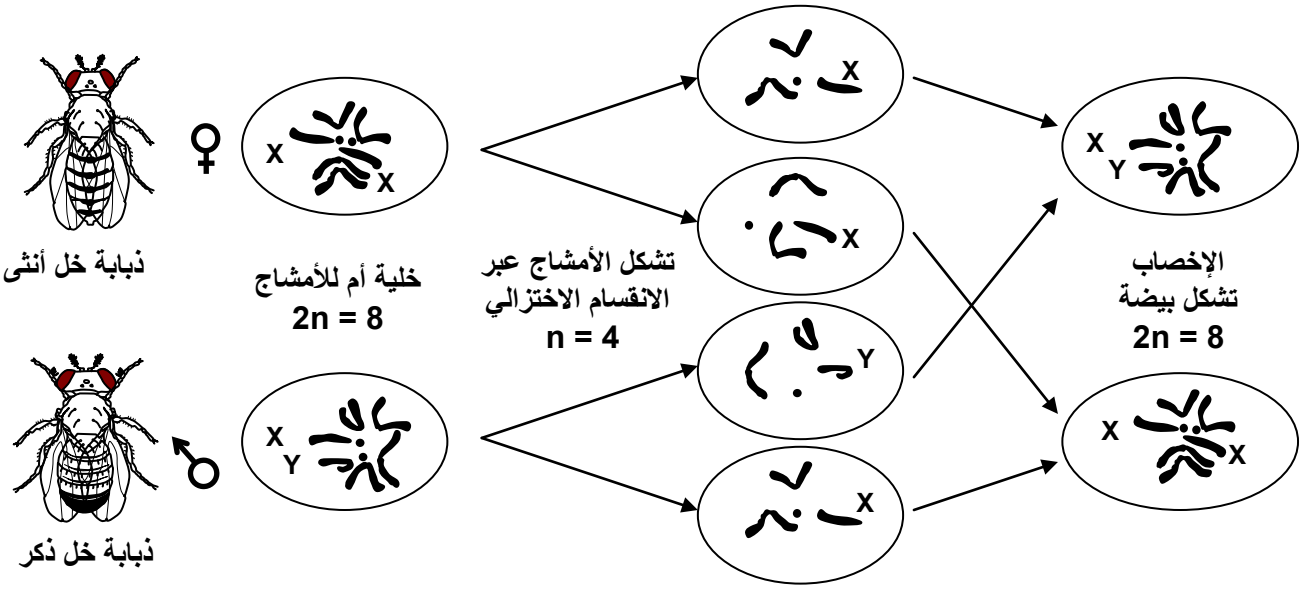
IV – دراسة انتقال زوج من الحليلات في حالة مورثة مرتبطة بالجنس.

① دور الصبغيات الجنسية في تحديد الجنس. أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: دور الصبغيات الجنسية في تحديد الجنس: استعمل Morgan في تجاربه حول انتقال الصفات الوراثية ذبابة الخل Drosophile، وذلك نظرا لخصوصياتها المتجلية في نموها في أوساط بسيطة وقصر دورة نموها وقلة عدد صبغياتها (2n = 8). خلال تجارب التهجين عند ذبابة الخل، لاحظ العالم Morgan، اختلافا في النتائج المحصل عليها بمجرد تغيير جنس الأفراد المتزاوجين، فاستنتج على أنه ليست كل الصفات الوراثية محمولة على صبغيات لاجنسية، بل أن بعضها يكون محمولا على الصبغيات الجنسية.

تعطي الوثيقة أسفله رسما تخطيطيا توضيحيا لدور الصبغيات الجنسية في تحديد الجنس عند ذبابة الخل.

انطلاقا من تحليل معطيات هذه الوثيقة، صف سلوك الصبغيات الجنسية أثناء الانقسام الاختزالي والإخصاب.



إن ملاحظة الخريطة الصبغية لكائن ثنائي الصيغة الصبغية يبين أن النواة تحتوي على أزواج من الصبغيات المتماثلة، تشكل الصبغيات اللاجنسية، بالإضافة إلى صبغيان جنسيان. عند الذكر يكون الصبغيان الجنسيان مختلفين فنقول أنه متغاير الأمشاج ونرمز له ب XY. عند الأنثى يكون الصبغيان الجنسيان متشابهين فنقول أنه متشابه الأمشاج ونرمز له بXX.

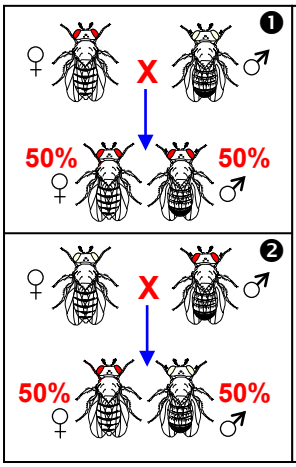
لكن هناك حالات استثنائية، حيث يكون الذكر فيها متشابه الأمشاج، فنرمز لصبغياته الجنسية بـ Z . والنمط الوراثي في هذه الحالة هو ZZ، بينما تكون الأنثى متغايرة الأمشاج، ونرمز لصبغياتها الجنسية بـZ وW ، والنمط الوراثي في هذه الحالة هو ZW.

هناك حالات أخرى استثنائية، حيث يتوفر الذكر على صبغي جنسي واحد X النمط الوراثي في هذه الحالة هو XO بينما الأنثى تتوفر على صبغيين جنسيين X ، والنمط الوراثي في هذه الحالة هو XX، مثل حالة الجراد.

② انتقال صفة مرتبطة بالجنس عند ذبابة الخل.

أ – معطيات تجريبية. أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: دراسة انتقال صفة لون العيون عند ذبابة الخل:



ننجز تزاوجات بين سلالتين نقيتين من ذباب الخل تختلفان بلون العيون، الأولى متوحشة ذات عيون حمراء Rouge وسلالة طافرة ذات عيون بيضاء Blanche.

★ **التزاوج الأول ❶:** تم بين أنثى ذات عيون حمراء وذكر ذو عيون بيضاء فحصلنا في الجيل الأول F_1 على أفراد كلهم بعيون حمراء.

1) ماذا تستخلص من نتائج هذا التزاوج؟

★ **التزاوج الثاني ❷:** تزاوج عكسي تم بين أنثى ذات عيون بيضاء وذكر ذو عيون حمراء. فحصلنا على جيل F_1 مكون من 50 % إناث بعيون حمراء و50 % ذكور بعيون بيضاء.

2) حلل هذه النتائج؟ ماذا تستنتج؟

3) أعط تفسيرا صبغيا للنتائج المحصل عليها.

ب – تحليل نتائج التزاوج.

1) في التزاوج الأول نلاحظ أن كل أفراد الجيل الأول F_1 متجانسون ولهم الصفة عيون حمراء. طبقا للقانون الأول لـ Mendel نستنتج أن الحليل المسؤول عن اللون الأحمر للعيون سائد، والحليل المسؤول عن لون العيون البيضاء متنحي.

2) يعطي التزاوج العكسي (تغيير الصفة بين الذكور والإناث)، جيل F_1، يتكون من أفراد غير متجانسين، رغم أن الأبوين من سلالة نقية (لم يتحقق القانون الأول لماندل)، كما نلاحظ خلال هذا التزاوج أن الذكور أخذوا صفة أمهاتهم، بينما الإناث أخذن صفة أبائهن، مما يدعو للاعتقاد بكون هذه المورثة محمولة على صبغي جنسي، وبالضبط الصبغي الجنسي X، لان هذه الصفة تظهر عند الذكور و الإناث.

3) التفسير الصبغي للنتائج المحصل عليها:

الحليل المسؤول عن لون العيون الحمراء Rouges سائد، نرمز له بالحرف R، أما الحليل المسؤول عن لون العيون البيضاء Blanches متنح، نرمز له بالحرف b.
عندما تكون المورثة محمولة على الصبغي الجنسي X، يجب الإشارة في الرموز المستعملة خلال التفسير الصبغي إلى كل من الصبغيين X عند الأنثى والصبغيين X و Y عند الذكر. أما بخصوص المظهر الخارجي، فتُستعمل نفس الطريقة المعتمدة في حالة الصبغيات اللاجنسية.

خلال التزاوج الأول، سيكون النمط الوراثي للأنثى X^RX^R ، بمظهر خارجي [R] ، والذكر X^bY بمظهر خارجي [b]،
وخلال التزاوج الثاني، سيكون النمط الوراثي للأنثى X^bX^b ، بمظهر خارجي [b] ، والذكر X^RY بمظهر خارجي [R]

★ التزاوج الأول:

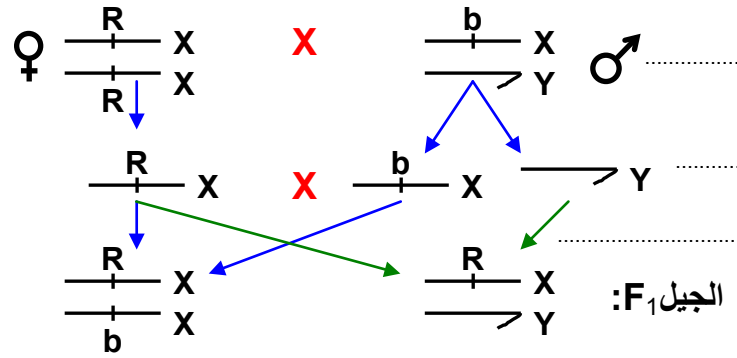
المظاهر الخارجية لـ P ..... : ذكور بعيون بيضاء [b] X إناث بعيون حمراء [R]

الأنماط الوراثية: .....

الأمشاج: .....

الإخصاب: .....

الجيل F_1:



الجيل F_1 100 % [R]، 50 % إناث X^RX^b + 50 % ذكور X^RY

★ التزاوج الثاني = التزاوج العكسي:

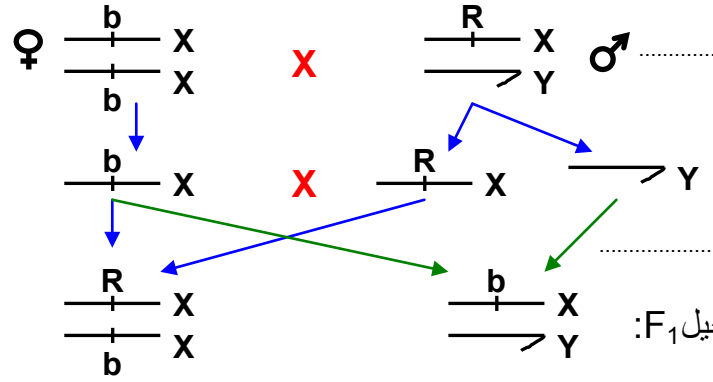
المظاهر الخارجية لـ P: ..... : ذكور بعيون حمراء [R] X إناث بعيون بيضاء [b]

الأنماط الوراثية: .....

الأمشاج: .....

الإخصاب: .....

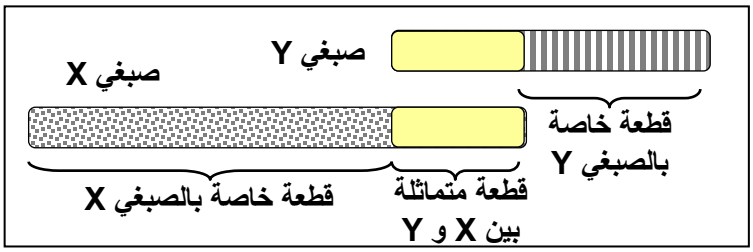
الجيل F_1:



الجيل F_1 50 % إناث [R] + 50 % ذكور [b] : 50 % إناث X^RX^b + 50 % ذكور X^bY

ملاحظة:

يمكن تفسير انتقال الصفات الوراثية المرتبطة بالجنس بكون المورثات المسؤولة عن هذه الصفات تتموضع على جزء الصبغي الجنسي X الذي ليس له مماثل على الصبغي Y. أو على جزء الصبغي Y الذي ليس له مقابل على X.

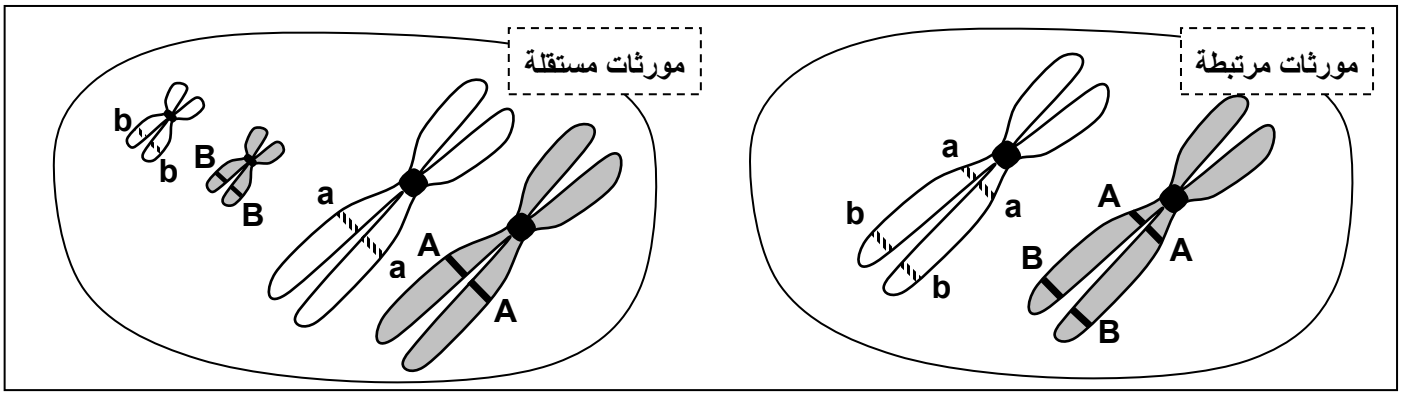


ادن التموضعات الممكنة للمورثة عند الصبغي الجنسي:

- ✓ على الجزء المميز للصبغي X : المورثة ممثلة بحليلين عند الأنثى وبحليل واحد عند الذكر.
- ✓ على الجزء X الذي له مماثل في الصبغي Y: المورثة ممثلة بحليلين عند الأنثى، و بحليلين عند الذكر. تخضع لنفس قوانين الصفة غير المرتبطة بالجنس.
- ✓ على الجزء المميز للصبغي Y: المورثة ممثلة بحليل واحد عند الذكر، وغير ممثلة بأي حليل عند الأنثى. ادن صفة خاصة بالذكور.

V – دراسة انتقال زوجين من الحليلات: الهجونة الثنائية.

نتكلم عن الهجونة الثنائية Le dihybridisme إذا كان التزاوج بين أفراد ينتمون لسلالتين نقيتين تختلفان في صفتين. وفي هذه الحالة فالمورثتين إما أن تكونان على نفس الصبغي فنتكلم عن مورثات مرتبطة Les gènes liés. وإما أن تكونان على صبغيين مختلفين فنتكلم عن مورثات مستقلة Les gènes indépendants.



① حالة المورثات المستقلة:

أ – الهجونة الثنائية عند نبات الجلبانة.

a - تمرين أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: دراسة انتقال صفتين متعارضتين عند نبات الجلبانة:

قام العالم Mendel بتزاوج سلالتين نقيتين من نبات الجلبانة تختلفان بصفتين، شكل ولون البذرة: الأولى ملساء Lisse وصفراء Jaune. والسلالة الثانية متجعدة Ridée وخضراء Verte. فحصل في الجيل الأول F_1 على بذور كلها ملساء و صفراء.

1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج هذا التزاوج؟

قام Mendel بزرع بذور من F_1 و ترك الأزهار تتلقح ذاتيا، وبعد الإثمار جني بذور الجيل F_2 فحصل على 556 بذرة تتوزع كالتالي:

★ 315	بذرة صفراء وملساء	★ 101	بذرة خضراء وملساء
★ 108	بذرة صفراء ومتجعدة	★ 32	بذرة خضراء ومتجعدة

2) أحسب النسب المئوية المحصل عليها في الجيل F2.

3) فسر صبغيا نتائج F1 و F2 ، مستعملا الرموز: أخضر(V,v)، اصفر (J,j) ، أملس (L,l) ، متجعد (R,r) .

b - حل التمرين:

1) تحليل واستنتاج:

★ تم التزاوج بين فردين من سلالتين نقيتين تختلفان بصفتين اثنتين، يتعلق الأمر ادن بالهجونة الثنائية.

★ نلاحظ أن أفراد الجيل الأول F_1 متجانسون، ويشبهون في مظهرهم الخارجي الأب ذو الشكل الأملس واللون الأصفر (تحقق القانون الأول لماندل بالنسبة للصفتين). نستنتج ادن أن الصفة أملس سائدة على متجعد، وأصفر سائد على أخضر. وهكذا نكتب الحليلات كما يلي: أملس L، أصفر J، متجعد r، وأخضر v.

★ ليس في نتيجة هذا التزاوج ما يدل على أن المورثتان محمولتان على صبغيات جنسية، نستنتج إذن أنهما محمولتان على صبغيات لاجنسية.

2) حساب النسب المئوية عند F_2:

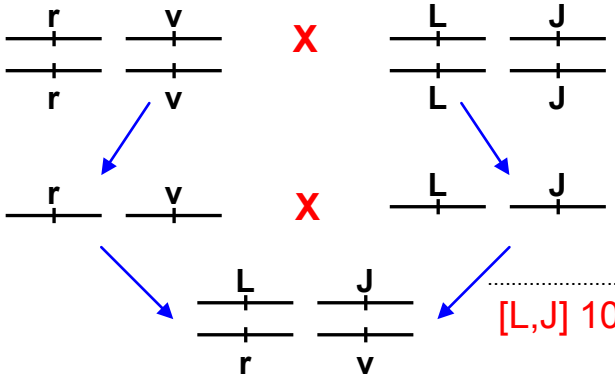
- نسبة المظهر الخارجي [L,J] : (315 / 556) x 100 = 56.6 %
- نسبة المظهر الخارجي [r,v] : (32 / 556) x 100 = 5.75 %
- نسبة المظهر الخارجي [L,v] : (101 / 556) x 100 = 18.16 %
- نسبة المظهر الخارجي [r,J] : (108 / 556) x 100 = 19.4 %

★ نلاحظ أن الجيل F_2 غير متجانس ويضم أربعة مظاهر خارجية. مظهران يشبهان المظاهر الخارجية للآباء: [L,J] و[r,v]، نسميها مظاهر أبوية. ومظهران خارجيان جديدان: [L,v] و[r,J]، نسميها مظاهر جديدة التركيب.

★ عندما يتعلق الأمر بمورثتين محمولتين على صبغيين مختلفين (مستقلتين)، فإن التخليط البيصبغي سيساهم في تنوع الأمشاج المحصل عليها في حالة اختلاف الاقتران، وبالتالي فلا يمكن تفسير ظهور صفات جديدة إلا بالافتراق المستقل للحليلات أثناء تشكل الأمشاج.

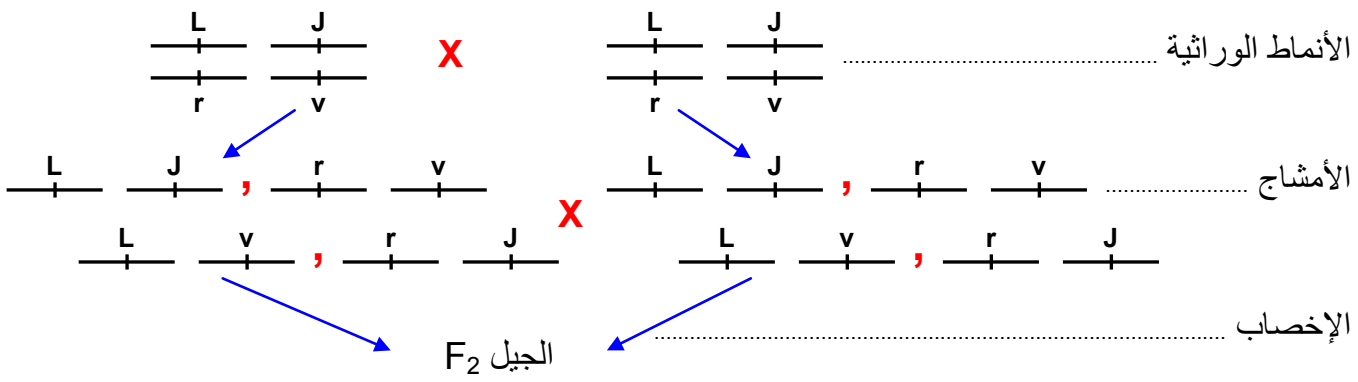
3) التأويل الصبغي لنتائج التزاوج:

★ **التزاوج الأول: عند الآباء P** المظاهر الخارجية لـ P ..... : [L,J] X [r,v]



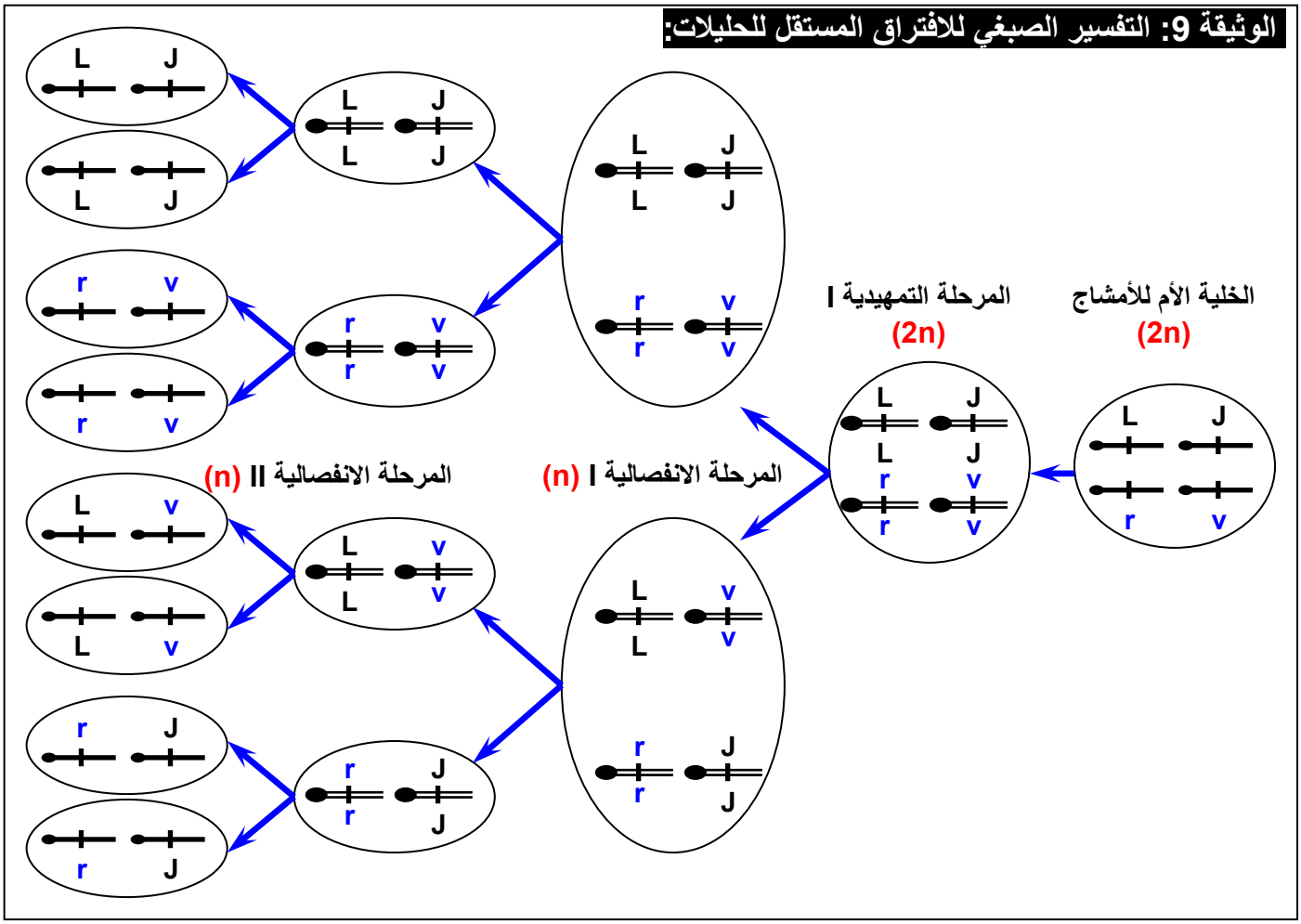
كل أفراد الجيل الأول F_1 لهم النمط الوراثي L//r,J//v، وبما أن L و J سائدين، فان كل أفراد F_1 سوف يكون لهم نفس المظهر الخارجي [L,J].

★ **التزاوج الثاني : F1 X F1** المظاهر الخارجية ..... : [L,J] X [L,J]



بفعل التخليط البيصبغي ينتج كل فرد هجين من الجيل F_1 أربعة أنواع من الأمشاج بنسب متساوية: 1/4 لكل نوع، مشيجان أبويان بنسبة 50 % ومشيجان جديدا التركيب بنسبة 50 % (أنظر الوثيقة 9).
بعد تحديد الأمشاج لدى الأبوين ننجز شبكة التزاوج كما هو ممثل على الوثيقة 10.

الوثيقة 9: التفسير الصبغي للافتراق المستقل للحليلات:



الوثيقة 10: شبكة التزاوج:

♂ \ ♀	L J	L v	r J	r v
L J	[L,J]	[L,J]	[L,J]	[L,J]
L v	[L,J]	[L,v]	[L,J]	[L,v]
r J	[L,J]	[L,v]	[r,J]	[r,J]
r v	[L,J]	[L,v]	[r,J]	[r,v]

في الجيل الثاني F2 نحصل على المظاهر الخارجية التالية:

- أفراد لهم المظهر الخارجي [L,J] ، يشكلون 9/16 من F_2 أي 56.25 %.
- أفراد لهم المظهر الخارجي [L,v] ، يشكلون 3/16 من F_2 أي 18.75 %.
- أفراد لهم المظهر الخارجي [r,J] ، يشكلون 3/16 من F_2 أي 18.75 %.
- أفراد لهم المظهر الخارجي [r,v] ، يشكلون 1/16 من F_2 أي 6.25 %.

يتبين من خلال التفسيرين الصبغيين للتزاوجين الأول والثاني، أن النتائج المحصل عليها نظريا، تطابق النتائج المحصل عليها تجريبيا، وبالتالي فالمورثتان فعلا مستقلتان.

c - القانون الثالث لـ Mendel:

يسمى هذا القانون: قانون استقلالية أزواج الحليلات.

أثناء تشكل الأمشاج وأثناء المرحلة الانفصالية I، يمكن لكل فرد من زوج صبغي معين أن يجتمع بأحد فردي الزوج الصبغي الآخر. وينتج عن هذا أن كل عنصر من زوج حليلي معين، يمكنه أن يجتمع بأحد عنصري الزوج الحليلي الآخر، وهذا ما يسمى بالافتراق المستقل للحليلات.

ب – الهجونة الثنائية عند ذبابة الخل

a - تمرين أنظر الوثيقة 11.

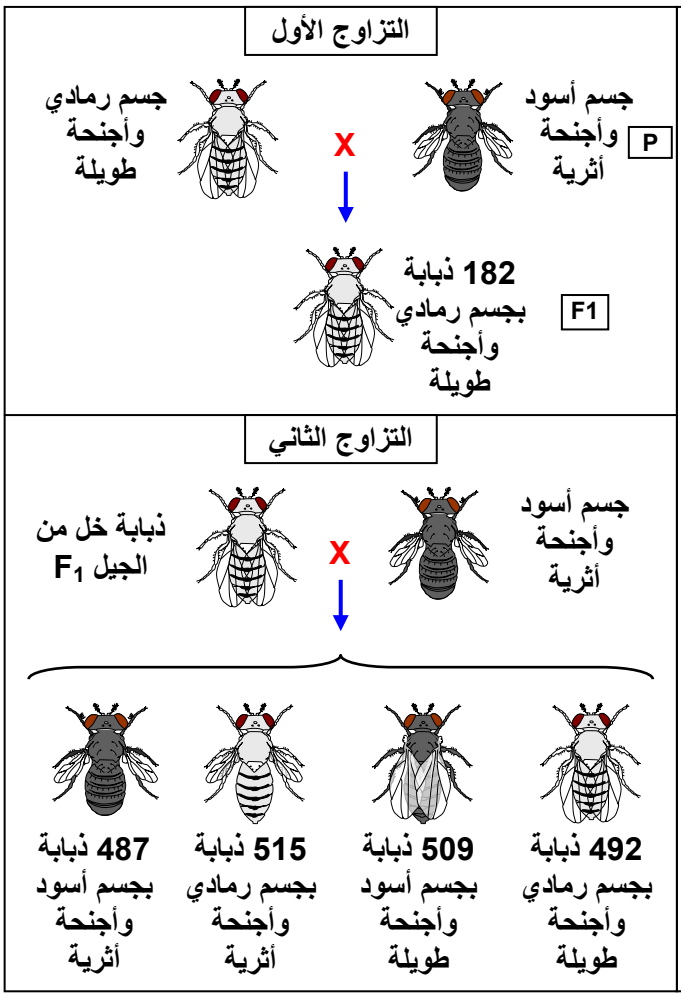
الوثيقة 11: دراسة الهجونة الثنائية عند ذبابة الخل:

نقوم بتزاوج أول عند سلالتين نقيتين من ذبابة الخل (أنظر الرسوم التخطيطية أمامه)، الأولى ذات جسم رمادي Gris وأجنحة طويلة Longues. والثانية ذات جسم أسود حالك Eben وأجنحة أثرية Véstigiales. نحصل في الجيل الأول F_1 على 182 ذبابة خل رمادية ذات أجنحة طويلة.

1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج هذا التزاوج؟

نقوم بعد ذلك بتزاوج ثاني بين ذبابة خل من الجيل الأول F_1 وذبابة خل ذات جسم أسود حالك وأجنحة أثرية. فنحصل على النتائج الممثلة على الرسم أمامه.

2) كيف نسمي هذا النوع من التزاوج؟ وما هي الغاية منه؟
3) أحسب النسب المئوية للأنواع المحصل عليها في F_2. ماذا تستنتج؟
4) فسر صبغيا نتائج التزاوجين، مستعملا الرموز: رمادي (G,g)، أسود (E,e)، طويلة (L,l)، أثرية (V,v).



b - حل التمرين:

1) بدراستنا لكل صفة على حدة، نلاحظ أن أفراد الجيل الأول F_1 متجانسون بالنسبة للصفتين، ويشبهون في مظهرهم الخارجي الأب ذو الجسم الرمادي والأجنحة الطويلة. ادن طبقا للقانون الأول لـMendel نستنتج أن:
   - الحليل المسؤول عن صفة اللون رمادي سائد على الحليل أسود.
   - الحليل المسؤول عن صفة الأجنحة طويلة سائد على الحليل أثرية.
   - ليس هناك ما يدل أن المورثتان محمولتان على صبغي جنسي، إذن هما محمولتان على صبغي لاجنسي.

2) نسمي هذا النوع من التزاوج بالتزاوج الراجع Back Cross، لأنه تم بين فرد هجين F_1 وأب P متنحي. الغاية منه هو التحقق من الانفصال المستقل لزوجي الحليلين.

3) حساب النسب المئوية المحصل عليها في F2:

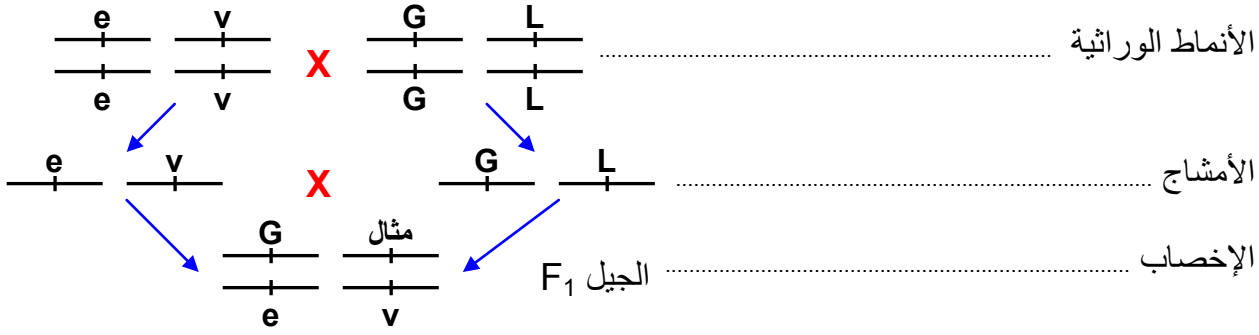
- المظهر الخارجي (رمادية، أجنحة طويلة): % 24.56 = (492/(487+509+515+492))x100
- المظهر الخارجي (سوداء، أجنحة طويلة): % 25.41 = (509/(487+509+515+492))x100
- المظهر الخارجي (رمادية، أجنحة أثرية): % 25.71 = (515/(487+509+515+492))x100
- المظهر الخارجي (سوداء، أجنحة أثرية): % 24.31 = (487/(487+509+515+492))x100

★ إن الفرد الثنائي التنحي [e,v]، لا ينتج سوى نمط واحد من الأمشاج (e/,v/)، وبالتالي فالمظهر الخارجي لأفراد الخلف F_2 سيعكس النمط الوراثي للأمشاج التي أنتجها الفرد الهجين. ومنه نستنتج هل المورثات مستقلة أم مرتبطة.

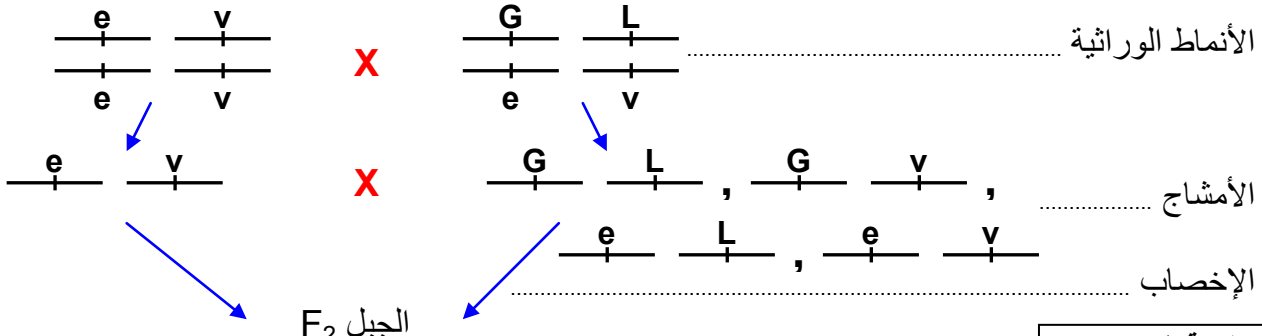
★ تدل النسب المحصل عليها في F2: (25 % + 25 % + 25 % + 25 %) على أنه خلال تشكل الأمشاج عند الفرد الهجين، يجتمع كل حليل من زوج حليلي معين بلا تميز مع أحد حليلي الزوج الحليلي الآخر (القانون الثالث لماندل). نستنتج من ذلك أن الحليلان (G,e) و(L,v) محمولان على زوجين مختلفين من الصبغيات. أي أن المورثات مستقلة.

4) التأويل الصبغي لنتائج التزاوجين:

★ **التزاوج الأول: عند الآباء P** المظاهر الخارجية عند P : ..... [G,L] X [e,v]



★ **التزاوج الثاني = التزاوج الراجع:** المظاهر الخارجية لـ F_1..... : [G,L] X [e,v]



شبكة التزاوج				
♂ / ♀	G L	G v	e L	e v
e v	G L / e v 1/4	G v / e v 1/4	e L / e v 1/4	e v / e v 1/4
	1/4	1/4	1/4	1/4

نحصل في F_2 على % 25 [G,L] + % 25 [G,v] + % 25 [e,L] + % 25 [e,v].
نلاحظ أن النتائج النظرية تطابق النتائج التجريبية، ادن المورثات مستقلة.

② حالة المورثات المرتبطة:

أ – التهجين عند ذبابة الخل.

a - تمرين أنظر الوثيقة 12.

الوثيقة 12: دراسة الهجونة الثنائية عند ذبابة الخل:

نقوم بتزاوج سلالتين نقيتين من ذبابة الخل تختلفان بزوجين من الصفات. الأولى ذات أجنحة عاديةNormal وعيون حمراء Rouge والأخرى ذات أجنحة مقورة Tronqué وعيون بنية Brun. نحصل في الجيل الأول F_1 على خلف متجانس ذو مظهر خارجي بأجنحة عادية وعيون حمراء.

1) ماذا تستنتج من تحليل هذه النتائج؟

نقوم بتزاوج ثاني بين أنثى هجينة من F_1 وذكر ثنائي التنحي، فحصلنا في الجيل الثاني F_2 على:

★ 400 ذبابة خل ذات أجنحة مقورة وعيون بنية .
★ 109 ذبابة خل ذات أجنحة عادية وعيون بنية
★ 111 ذبابة خل ذات أجنحة مقورة وعيون حمراء.
★ 410 ذبابة خل ذات أجنحة عادية وعيون حمراء

2) ماذا نسمي هذا النوع من التزاوج و ما هي الغاية منه ؟
3) حدد نسب الأفراد المحصل عليها في F_2. ماذا تستنتج؟
4) أعط تفسيرا صبغيا لهذه النتائج.

نقوم بتزاوج ثالث بين أنثى ذات أجنحة مقورة وعيون بنية مع ذكر F_1 ذو أجنحة عادية وعيون حمراء. فحصلنا على الجيل F'_2 مكون من:

★ 170 ذبابة خل ذات أجنحة عادية وعيون حمراء
★ 175 ذبابة خل ذات أجنحة مقورة وعيون بنية.

5) حدد نسب الأفراد المحصل عليها في F'_2. ماذا تلاحظ؟
6) كيف تفسر هذه النتيجة؟

b - حل التمرين:

1) ★ بدراستنا لكل صفة على حدة، نلاحظ أن الجيل الأول F_1 متجانس بالنسبة للصفتين، ويشبه في مظهره الخارجي الأب ذو أجنحة عادية وعيون حمراء. طبقا للقانون الأول لـMendel نستنتج أن حليل الأجنحة العادية سائد على حليل الأجنحة المقورة، وحليل العيون الحمراء سائد على حليل العيون البنية.
★ لقد تم هذا التزاوج بين ذكور وإناث، وأعطى نفس النتيجة، وليس هناك ما يدل أن المورثتان محمولتان على صبغي جنسي، إذن فالمورثتان محمولتان على صبغي لاجنسي.
★ سنرمز للمظهر أجنحة عادية وعيون حمراء بـ[N,R] ، والمظهر أجنحة مقورة وعيون بنية بـ[t,b].

2) نسمي هذا النوع من التزاوج بالتزاوج الراجع Back Cross، والغاية منه هو التحقق من الانفصال المستقل للحليلات.

3) النسب المئوية للأنواع المحصل عليها في F_2:

- نسبة المظهر الخارجي [N,R] هي: 39.81 % = (410/(410+400+111+109))x100
- نسبة المظهر الخارجي [t,b] هي: 38.83 % = (400/(410+400+111+109))x100
- نسبة المظهر الخارجي [N,b] هي: 10.58 % = (109/(410+400+111+109))x100
- نسبة المظهر الخارجي [t,R] هي: 10.78 % = (111/(410+400+111+109))x100

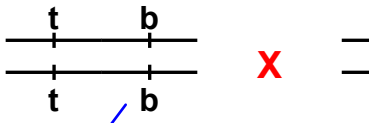
نلاحظ أن هذه النتائج تخالف القانون الثالث لـMendel (قانون الافتراق المستقل للحليلات)، إذ لا نحصل على أربعة مظاهر خارجية بنسب متساوية (50% مظاهر أبوية + 50% مظاهر جديدة التركيب)، بل نحصل على مظهرين خارجيين أبويين [N,R] و[t,b] بنسب كبيرة (78.64%)، ومظاهر خارجية جديدة التركيب [N,b] و [t,R] بنسب ضعيفة (21.36%).

تدل هذه النتائج على عدم الافتراق المستقل للحليلات، وهو ما يعني أن المورثتين مرتبطتين.

4) التأويل الصبغي لنتائج التزاوجات:

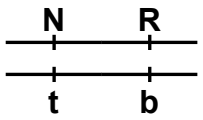
★ **التزاوج الأول : عند الآباء P .** المظاهر الخارجية لـ P : [N,R] X [t,b]

الأنماط الوراثية .....



الأمشاج .....

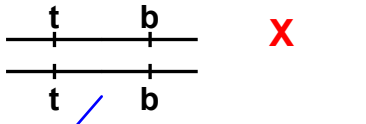
الإخصاب .....



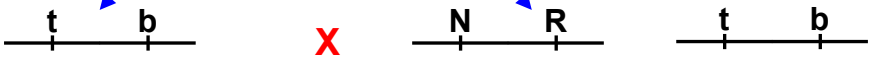
الجيل F_1 [N,R] 100 %

★ **التزاوج الثاني : التزاوج الراجع.** المظاهر الخارجية : [N,R] X [t,b]

الأنماط الوراثية .....



الأمشاج .....



الإخصاب .....

الجيل F_2

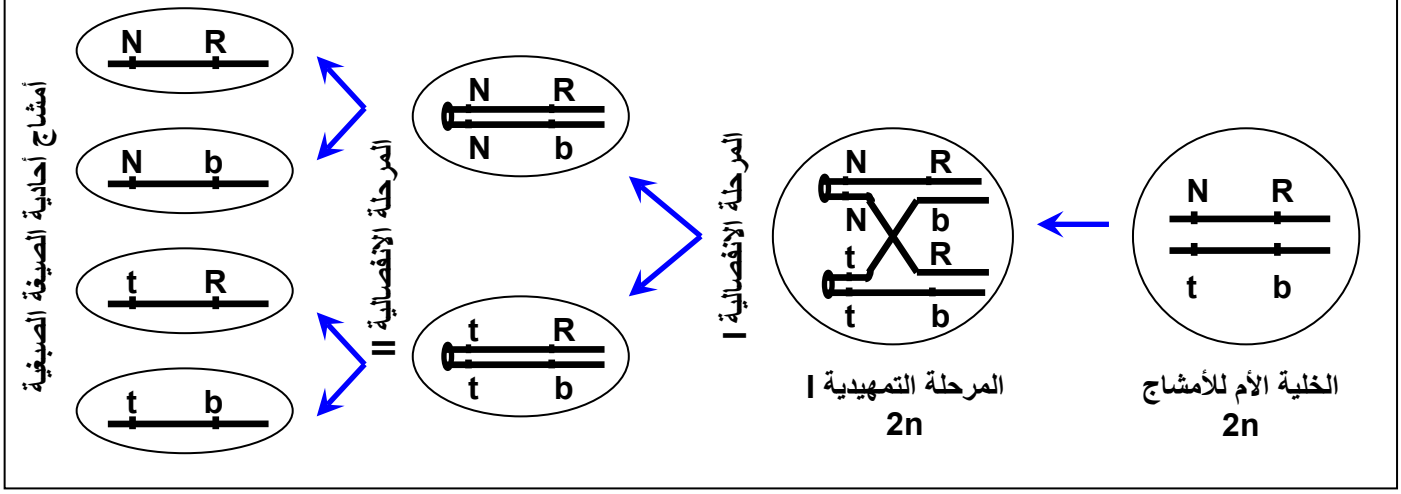
يعطي الإخصاب جيل F_2، أنظر شبكة التزاوج

t b 50 %	N R 50 %	♀ / ♂
t b t b 50 %	N R t b 50 %	t b 100 %

نلاحظ أن النتائج النظرية تخالف النتائج التجريبية حيث نحصل في F_2 على مظاهر خارجية أبوية فقط، [N,R] بنسبة 50% و[t,b] بنسبة 50%.

إن ظهور مظاهر خارجية جديدة التركيب في F_2، يفسر بافتراض وجود تركيبات جديدة في أمشاج الأنثى الهجينة، وذلك لحدوث تبادل أجزاء صبغية بين الصبغيات المتماثلة خلال الانقسام الاختزالي. (أنظر الوثيقة13).

الوثيقة 13 : كيفية إنتاج الأمشاج عند أنثى ذبابة الخل الهجينة:



وبالتالي تكون شبكة التزاوج على الشكل التالي:

♀ / ♂	N R	N b	t R	t b
t b	N R t b 39.81 %	N b t b 10.58 %	t R t b 10.78 %	t b t b 38.83 %
t b 100 %	N R 39.81 %	N b 10.58 %	t R 10.78 %	t b 38.83 %

5) التزاوج الثالث هو تزاوج عكسي (تزاوج راجع)، لنحسب نسب المظاهر الخارجية في F'_2:

- نسبة مظهر الخارجي [N,R] هي: 49.27 % = (170/(170+175))x100
- نسبة مظهر الخارجي [t,b] هي: 50.73 % = (175/(170+175))x100

★ نلاحظ أن هذا التزاوج يعطي فقط مظاهر خارجية أبوية بنسبة 50 % + 50 %.
★ نلاحظ اختلاف نتائج التزاوجين الراجعين الأول الثاني (= تزاوج عكسي)، لكن لا يمكننا في هذه الحالة أن نقول أن المورثتان محمولتان على صبغيات جنسية، وذلك لعدم اختلاف الصفات بين الذكور والإناث المحصلة، كما أن الفرق يتجلى فقط في ظهور صفات جديدة التركيب، بغض النظر عن جنس الأفراد. إذن المورثتان محمولتان علي صبغي لاجنسي.

6) تفسر هذه النتيجة بكون الذكر الهجين أنتج فقط أمشاجا أبوية، ولم ينتج الأمشاج الجديدة التركيب، وذلك لعدم حدوث العبور الصبغي خلال تشكل الأمشاج عند ذكر ذبابة الخل. نقول أن المورثات مرتبطة ارتباطا مطلقا.

ب – التهجين عند نبات الطماطم.

a - تمرين (تمرين منزلي) أنظر الوثيقة 14.

الوثيقة 14: دراسة الهجونة الثنائية عند نبات الطماطم:

نقوم بتزاوج سلالتين نقيتين من الطماطم، تختلفان بزوجين من الصفات. الأولى سهلة الجني وحساسة لطفيلي stemphyllium والأخرى صعبة الجني ومقاومة لهذا الطفيلي. نحصل في الجيل الأول F_1 على خلف متجانس يتكون من طماطم صعبة الجني ومقاومة للطفيلي.

1) ماذا تستنتج من تحليل هذه النتائج؟

نقوم بتزاوج ثاني بين طماطم ثنائية التنحي وطماطم هجينة من F_1، فحصلنا في الجيل الثاني F_2 على:
★ 39 % من الطماطم سهلة الجني وحساسة للطفيلي. ★ 11 % من الطماطم سهلة الجني ومقاومة للطفيلي.
★ 11 % من الطماطم صعبة الجني وحساسة للطفيلي. ★ 39 % من الطماطم صعبة الجني ومقاومة للطفيلي.

2) ماذا نسمي هذا النوع من التزاوج و ما هي الغاية منه ؟
3) ماذا تستنتج من النسب المحصل عليها في هذا التزاوج ؟
4) أعط تفسيرا صبغيا لهذه النتائج.

b - حل التمرين:

1) ★ بدراستنا لكل صفة على حدة، نلاحظ أن الجيل الأول F_1 متجانس بالنسبة للصفتين، ويشبه في مظهره الخارجي الأب ذو طماطم صعبة الجني ومقاومة للطفيلي. طبقا للقانون الأول لـ Mendel نستنتج أن حليل الطماطم صعبة الجني سائد على حليل الطماطم سهلة الجني، وحليل الطماطم المقاومة للطفيلي سائد على حليل الطماطم الحساسة للطفيلي.
★ لقد تم هذا التزاوج بين ذكور وإناث، وأعطى نفس النتيجة، وليس هناك ما يدل أن المورثتان محمولتان على صبغي جنسي، إذن فالمورثتان محمولتان على صبغي لاجنسي.
★ سنرمز للمظهر طماطم صعبة الجني ومقاومة للطفيلي ب[D,R] ، والمظهر الطماطم سهلة الجني وحساسة للطفيلي ب[f,s].

2) نسمي هذا النوع من التزاوج بالتزاوج الراجع Back Cross، والغاية منه هو التحقق من الانفصال المستقل للحليلات.

3) النسب المئوية للأنواع المحصل عليها في F_2:

- نسبة المظهر الخارجي صعبة الجني ومقاومة للطفيلي [D,R] هي: 39 %
- نسبة المظهر الخارجي سهلة الجني وحساسة للطفيلي [f,s] هي: 39 %
- نسبة المظهر الخارجي صعبة الجني وحساسة للطفيلي [D,s] هي: 11 %
- نسبة المظهر الخارجي سهلة الجني ومقاومة للطفيلي [f,R] هي: 11 %

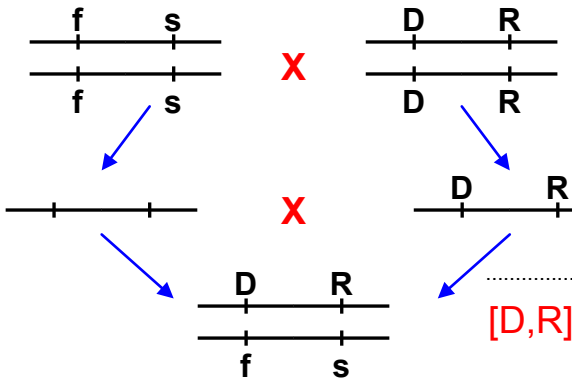
نلاحظ أن هذه النتائج تخالف القانون الثالث لـ Mendel (قانون الافتراق المستقل للحليلات)، إذ لا نحصل على أربعة مظاهر خارجية بنسب متساوية (50% مظاهر أبوية + 50% مظاهر جديدة التركيب)، بل نحصل على مظهرين خارجيين أبويين [D,R] و[f,s] بنسب كبيرة (78%)، ومظاهر خارجية جديدة التركيب [D,s] و [f,R] بنسب ضعيفة (22%).

تدل هذه النتائج على عدم الافتراق المستقل للحليلات، وهو ما يعني أن المورثتين مرتبطتين.

4) التأويل الصبغي لنتائج التزاوجات:

★ **التزاوج الأول : عند الآباء P .**

المظاهر الخارجية لـ P ..... : [D,R] X [f,s]



الأنماط الوراثية .....

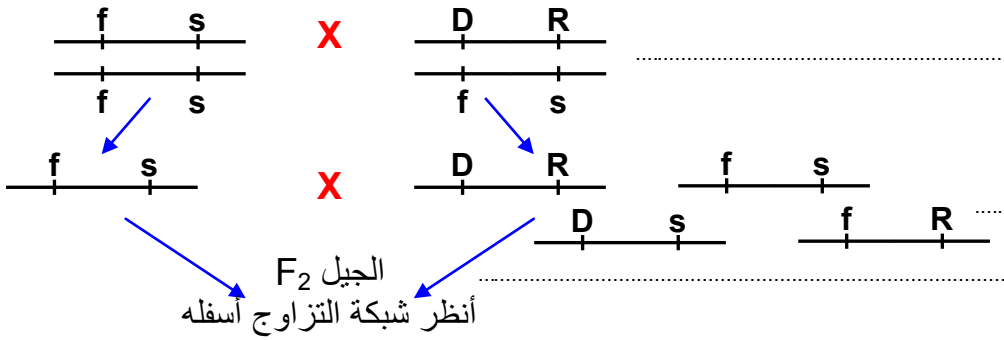
الأمشاج .....

الإخصاب .....

الجيل F_1 [D,R] 100 %

★ **التزاوج الثاني : التزاوج الراجع.**

المظاهر الخارجية ..... : [N,R] X [t,b]



الأنماط الوراثية .....

الأمشاج .....

الإخصاب .....

الجيل F_2

أنظر شبكة التزاوج أسفله

f s 39 %	f R 11 %	D s 11 %	D R 39 %	♀ / ♂
f s f s 39 %	f R f s 11 %	D s f s 10.58 %	D R f s 39 %	f s 100 %

ج – خلاصة:

★ عندما نحصل بعد تزاوج أفراد الجيل F_1 فيما بينهم ($F_1 \times F_1$) على مظاهر أبوية فقط، فإن المورثتان المدروستان، مرتبطتان ارتباطا مطلقا (دون حدوث عبور صبغي)، أما إذا حصلنا على مظاهر خارجية جديدة التركيب بنسبة تقل بكثير عن 37,5% (16/6)، فإن المورثتان المدروستان مرتبطتان ارتباطا غير مطلق (حدوث عبور صبغي).

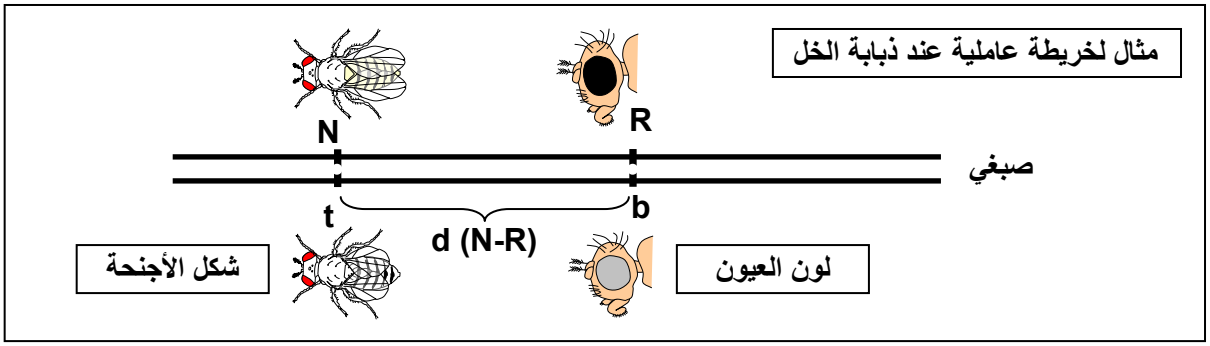
★ عندما نحصل بعد التزاوج الراجع على مظاهر أبوية فقط، فإن المورثتان المدروستان، مرتبطتان ارتباطا مطلقا (دون حدوث عبور صبغي)، أما إذا حصلنا على مظاهر خارجية جديدة التركيب بنسبة تقل بكثير عن 50%، فإن المورثتان المدروستان مرتبطتان ارتباطا غير مطلق (حدوث عبور صبغي).

VI – قياس المسافة بين مورثتين.

① العلاقة بين نسبة التركيبات الجديدة والمسافة بين مورثتين: أنظر الوثيقة 15.

الوثيقة 15: قياس المسافة بين مورثتين ووضع الخريطة العاملية (La carte factorielle).

لقد لاحظ العالم الأمريكي Thomas Hunt Morgan أنه في حالة تزاوج سلالتين تختلفان بصفتين في حالة مورثتين مرتبطتين، فان نسبة التركيبات الجديدة الناتجة عن هذا التزاوج تكون دائما ثابتة.
انطلاقا من هذه الملاحظة افترض Morgan أن موقع المورثة فوق الصبغي يكون دائما ثابتا. فوضع علاقة بين نسبة التركيبات الجديدة ونسبة احتمال حدوث عبور صبغي. إذ كلما كبرت المسافة بين مورثتين إلا وارتفعت نسبة احتمال حدوث العبور وبالتالي ارتفعت نسبة التركيبات الجديدة. ومنه فان نسبة التركيبات الجديدة تمكننا من تحديد المسافة الفاصلة بين مورثتين، وبالتالي انجاز الخريطة العاملية.



لقياس المسافة بين مورثتين، استعمل Morgan وحدة (Centimorgan = CMg)، بحيث أن 1CMg = 1% من التركيبات الجديدة. وهكذا فالمسافة الفاصلة بين مورثتين a وb هي d(a-b).

$$d\,(a\text{-}b) = \frac{\text{عدد الأفراد ذوي التركيبات الجديدة}}{\text{العدد الإجمالي للأفراد}} \times 100$$

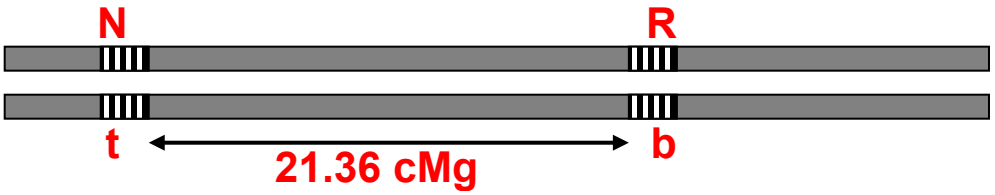
باستثمار هذه المعطيات ومعطيات تمرين الوثيقة 12:
1) أحسب المسافة بين المورثتين لون العيون وشكل الأجنحة d(N – R).
2) أنجز الخريطة العاملية.

انطلاقا من معطيات تمرين الوثيقة 12:

1) نحسب المسافة بين المورثتين لون العيون وشكل الأجنحة d(R,N):

$$d(R,N) = \frac{\text{عدد الأفراد ذوي التركيبات الجديدة}}{\text{العدد الإجمالي للأفراد}} \times 100 = \frac{109 + 111}{1030} \times 100 = 21.36\ cMg$$

2) الخريطة العاملية:



② دراسة أمثلة:

أ – التهجين عند الطماطم.

a - تمرين أنظر الوثيقة 16.

الوثيقة 16: تحديد التموضع النسبي للمورثات لدى نبات الطماطم.

تم التزاوج بين سلالتين نقيتين من الطماطم، سلالة (SM) ذات أوراق خضراء وقد عادي وثمار ملساء، مع سلالة (M) ذات أوراق مبقعة بالأصفر وقد قصير وثمار ناعمة. نحصل على جيل أول F_1 متجانس بأوراق خضراء وقد عادي وثمار ملساء. ويعطي التزاوج الراجع بين نبتة هجينة F_1 ونبتة من السلالة (M) النتائج التالية:

- ✓ 417 نبتة ذات أوراق خضراء وقد عادي وثمار ملساء.
- ✓ 425 نبتة ذات أوراق مبقعة وقد قصير وثمار ناعمة.
- ✓ 16 نبتة ذات أوراق خضراء وقد عادي وثمار ناعمة.
- ✓ 3 نبتة ذات أوراق خضراء وقد قصير وثمار ملساء.
- ✓ 55 نبتة ذات أوراق خضراء وقد قصير وثمار ناعمة.
- ✓ 59 نبتة ذات أوراق مبقعة وقد عادي وثمار ملساء.
- ✓ 5 نبتة ذات أوراق مبقعة وقد عادي وثمار ناعمة.
- ✓ 20 نبتة ذات أوراق مبقعة وقد قصير وثمار ملساء.

1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج التزاوج الأول؟
2) باستعمال الرموز التالية: قد عادي (N,n)، أوراق خضراء (V,v)، ثمار ملساء (L,l)، قد قصير (C,c)، أوراق مبقعة (T,t)، ثمار ناعمة (R,r). حدد المظاهر الخارجية المحصل عليها في الجيل الثاني F_2، مع حساب نسبة كل مظهر.
3) ماذا تستنتج من نتيجة التزاوج الراجع؟ وكيف تفسر ظهور التركيبات الجديدة عند نبات الطماطم؟
4) احسب المسافة بين المورثات المدروسة.
5) أنجز الخريطة العاملية La carte factorielle بالنسبة للمورثات الثلاث.

b - حل التمرين:

1) لقد تم التزاوج بين سلالتين نقيتين تختلفان بثلاث صفات وراثية، نتكلم ادن عن الهجونة الثلاثية.
نلاحظ أن كل أفراد الجيل الأول F_1 متجانسون ويشبهون في مظهرهم الخارجي الأب ذو قد عادي، أوراق خضراء، وثمار ملساء. واعتمادا على القانون الأول لماندل فأن الصفات قد عادي، أوراق خضراء، وثمار ملساء سائدة على الصفات قد قصير، أوراق مبقعة، وثمار ناعمة.

2) المظاهر الخارجية المحصل عليها في الجيل الثاني F2 هي:

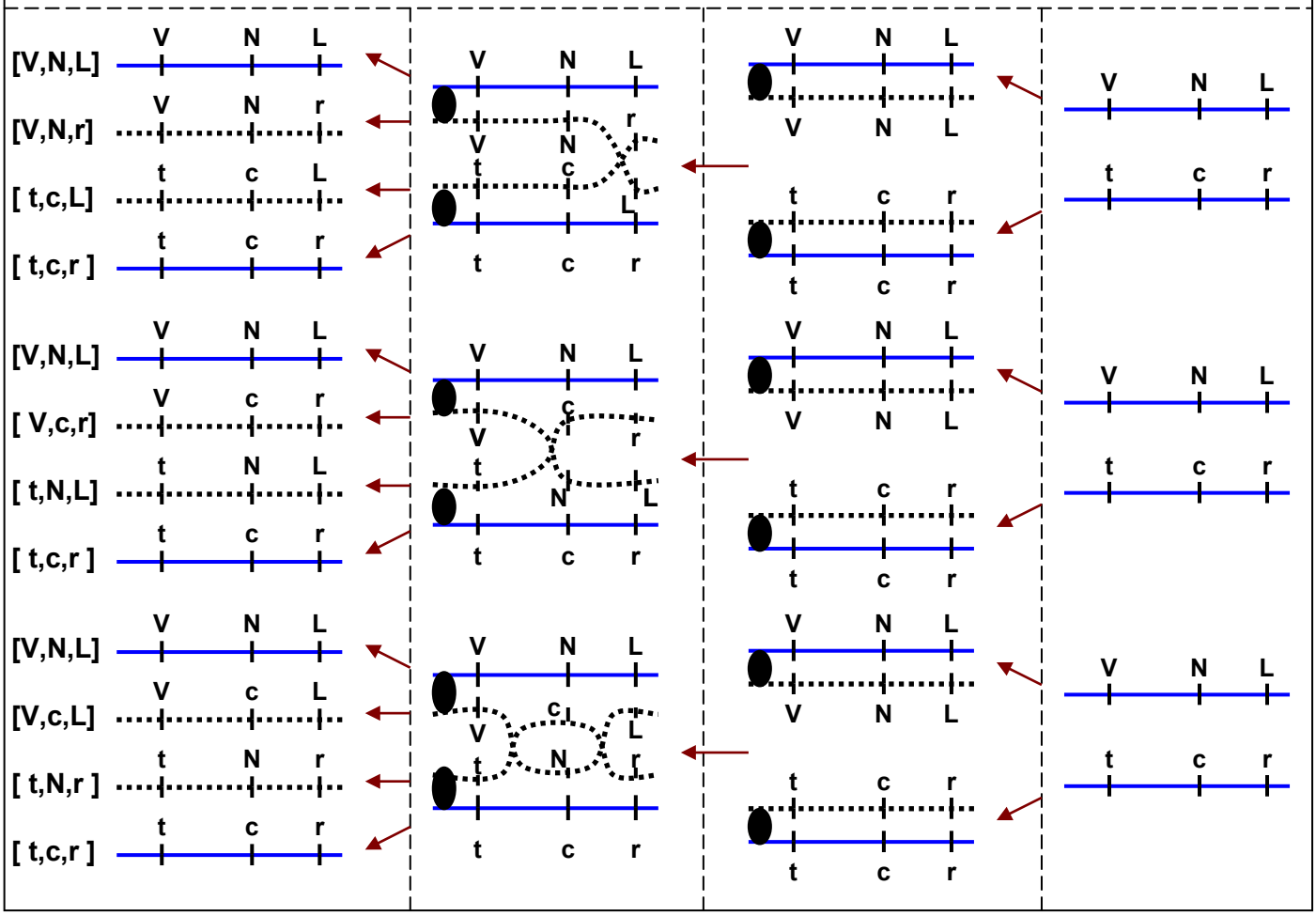
- 41.7 % = 100.(417/1000) بنسبة [V,N,L]
- 42.5 % = 100.(425/1000) بنسبة [t , c, r]
- 1.6 % = 100.(16/1000) بنسبة [V,N ,r]
- 0.3 % = 100.(3/1000) بنسبة [V,c,L]
- 5.5 % = 100.(55/1000) بنسبة [V,c,r]
- 5.9 % = 100.(59/1000) بنسبة [t,N,L]
- 0.5 % = 100.(5/1000) بنسبة [t,N,r]
- 2 % = 100.(20/1000) بنسبة [t,c,L]

مظاهر أبوية بنسبة 84.2 %

مظاهر جديدة التركيب بنسبة 15.8 %

3) نلاحظ أن نسبة المظاهر الخارجية الأبوية كبيرة جدا بالمقارنة مع المظاهر الخارجية الجديدة التركيب. نستنتج من هذا أن المورثات مرتبطة. ويفسر ظهور تركيبات جديدة لدى النبتة بحدوث ظاهرة العبور الصبغي عند تشكل الأمشاج لدى الأب الهجين F_1 (أنظر الوثيقة 16).

الوثيقة 17: حالات العبور الصبغي وتفسير التركيبات الجديدة.



4) حساب المسافة بين المورثات:

❖ المسافة بين القد ولون الأوراق هي: $d(V\text{-}N) = \frac{5+59+55+3}{1000} \times 100 = 12.2$ cMg

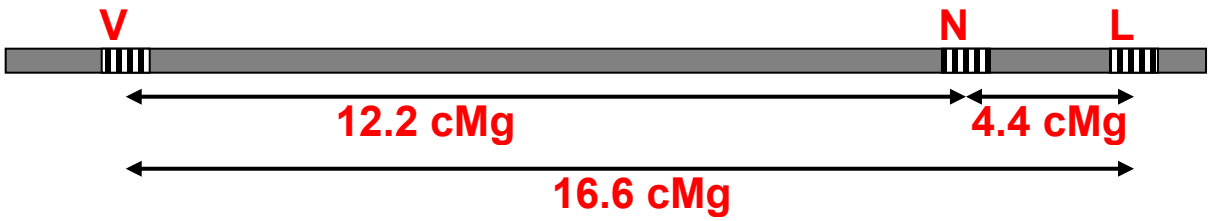
❖ المسافة بين القد وشكل الثمار هي: $d(N\text{-}L) = \frac{16+3+5+20}{1000} \times 100 = 4.4$ cMg

❖ المسافة بين اللون وشكل الثمار هي: $d(V\text{-}L) = \frac{16+55+59+20}{1000} \times 100 = 15$ cMg

نلاحظ أن: $d(V\text{-}L) = d(V\text{-}N) + d(N\text{-}L)$ نستنتج من هذا أن المورثة (N,c) تتموضع بين المورثتين (V,t) و(L,r).
نلاحظ كذلك حدوث عبور مزدوج بين L وv، ولم يحتسب خلال تحديد المسافة بين المورثتين، لذلك فان $d(V\text{-}L) < d(V\text{-}N) + d(N\text{-}L)$. ادن يجب الأخذ بعين الاعتبار وقوع عبورين في نفس الوقت وبذلك فالمسافة d(V-L) هي:

$$d(V\text{-}L) = \frac{16+55+59+20 + (2X(5+3))}{1000} \times 100 = 16.6 \text{ cMg}$$

5) الخريطة العاملية هي تمثيل لصبغي على شكل خط طولي، ترتب عليه المورثات حسب تموضعها النسبي فوق الصبغيات.



الخـــريـــطـــة العـــامـــلـــيـــة

ب – التهجين عند ذبابة الخل.

a - تمرين أنظر الوثيقة 18.

الوثيقة 18: التهجين لدى ذبابة الخل.

تم تزاوج أول بين أنثى من ذباب الخل من سلالة نقية ذات جسم رمادي Gris وعيون ملساء Lisse وأجنحة كاملة Complètes مع ذكر من سلالة نقية ذو جسم أصفر Jaune وعيون حرشاء Rugueuses وأجنحة مبتورة Tronquées. فحصلنا في الجيل F_1 على خلف متجانس ذو جسم رمادي، عيون ملساء، وأجنحة كاملة.

تم تزاوج ثاني بين أنثى من الجيل الأول F_1 مع ذكر من سلالة نقية ذو جسم أصفر، عيون حرشاء، وأجنحة مبتورة. فحصلنا في الجيل F_2 على 2880 ذبابة خل موزعة على 8 مظاهر خارجية:

- 1080 ذبابة خل ذات جسم رمادي،عيون ملساء، وأجنحة كاملة.
- 78 ذبابة خل ذات جسم أصفر،عيون ملساء، وأجنحة كاملة.
- 1071 ذبابة خل ذات جسم أصفر،عيون حر شاء، وأجنحة مبتورة.
- 66 ذبابة خل ذات جسم رمادي،عيون حرشاء، وأجنحة مبتورة.
- 293 ذبابة خل ذات جسم رمادي،عيون ملساء، وأجنحة مبتورة.
- 6 ذبابة خل ذات جسم رمادي،عيون حرشاء، وأجنحة كاملة.
- 282 ذبابة خل ذات جسم أصفر،عيون حرشاء، وأجنحة كاملة.
- 4 ذبابة خل ذات جسم أصفر،عيون ملساء، وأجنحة مبتورة.

1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج هذه التزاوجات؟
2) عن ماذا يعبر تركيب الجيل F_2؟

باستعمال الرموز التالية: جسم رمادي (G,g)، عيون ملساء (L,l)، أجنحة كاملة (C,c)، جسم أصفر (J,j)، عيون حرشاء (R,r)، أجنحة مبتورة (T,t). أعط تفسيرا صبغيا لنتائج التزاوج الأول والتزاوج الثاني.

3) أعط تفسيرا صبغيا لهذه التزاوجات.
4) أحسب المسافة بين المورثة j وr. و بين المورثة r وt. و بين المورثة j وt.
5) استنتج التموضع النسبي للمورثات الثلاث، ثم أنجز الخريطة العاملية بالنسبة لهذه المورثات.

b - حل التمرين:

1) تحليل واستنتاج:

★ لقد تم التزاوج بين سلالتين نقيتين تختلفان بثلاث صفات وراثية يتعلق الأمر إذن بالهجونة الثلاثية Trihybridisme.
★ كل أفراد الجيل F_1 متجانسون ويشبهون في مظهرهم الخارجي الأب ذو جسم رمادي، عيون ملساء وأجنحة كاملة.
وتطبيقا للقانون الأول لـ Mendel فان الصفات جسم رمادي، عيون ملساء وأجنحة كاملة سائدة على الصفات جسم أصفر، عيون حرشاء، وأجنحة مبتورة.
لقد تم التزاوج الثاني بين فرد من F_1 غير متشابه الاقتران، نمطه الوراثي معروف، مع فرد من النمط الأبوي ثلاثي التنحي. نسمي هذا النوع من التزاوج بالتزاوج الراجع Backcross، الغاية منه هو التحقق من الانفصال المستقل للحليلات.

★ يعطي التزاوج الثاني جيل F_2 يتكون من 8 مظاهر خارجية بالنسب التالية:

- الأفراد [G,L,C] النسبة المئوية: (1080/2880)X100 = 37.50 %
- الأفراد [j, r, t] النسبة المئوية: (1071/2880)X100 = 37.19 %

أنماط أبوية 74.69 %

- الأفراد [G,L, t] النسبة المئوية: (293/2880)X100 = 10.17 %
- الأفراد [j, r, C] النسبة المئوية: (282/2880)X100 = 9.79 %
- الأفراد [j, L, C] النسبة المئوية: (78/2880)X100 = 2.71 %
- الأفراد [G, r, t] النسبة المئوية: (66/2880)X100 = 2.29 %
- الأفراد [G,r,C] النسبة المئوية: (6/2880)X100 = 0.21 %
- الأفراد [j, L, t] النسبة المئوية: (4/2880)X100 = 0.14 %

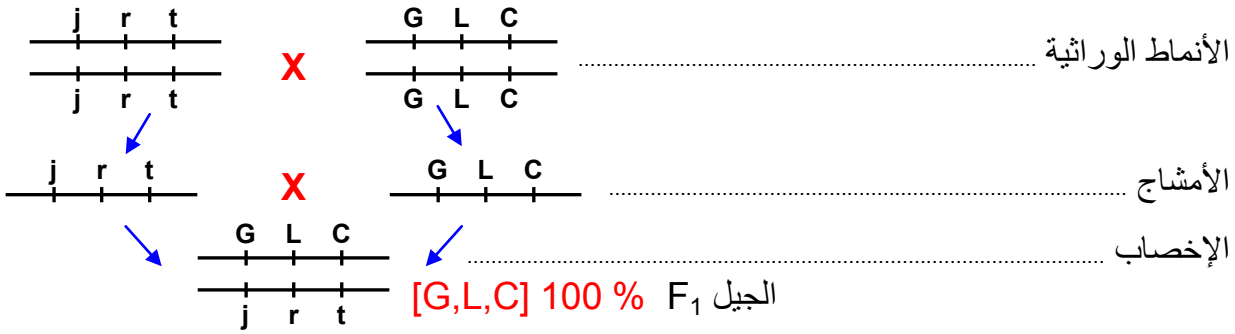
أنماط جديدة التركيب 25.31 %

نلاحظ أن الأنماط الجديدة التركيب تظهر بنسب ضعيفة مقارنة بالأنماط الأبوية، نستنتج من هذا أن المورثات مرتبطة.

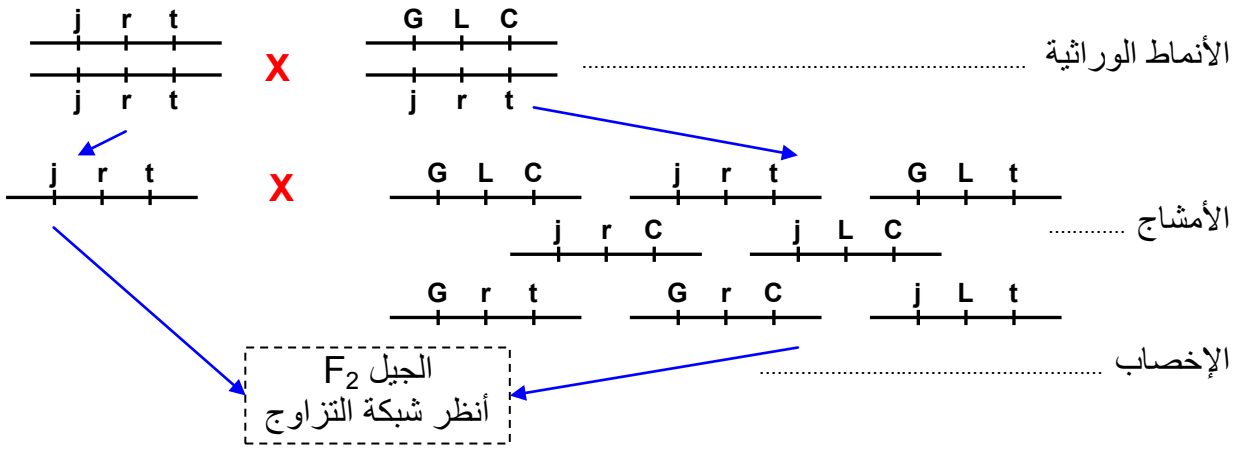
2) إن تركيب الجيل F_2 يعبر عن تركيب أنماط الأمشاج الأنثوية، لأن الذكر هو من سلالة نقية وثلاثي التنحي، فانه لن ينتج سوى نمط واحد من الأمشاج.

3) التفسير الصبغي لنتائج التزاوج:

★ **التزاوج الأول : عند الآباء P .** المظاهر الخارجية لـ P : ♀ [G,L,C] X ♂ [j, r, t]



★ **التزاوج الثاني : التزاوج الراجع.** المظاهر الخارجية لـ P : ♀ [G,L,C] X ♂ [j, r, t]



شبكة التزاوج

♀ / ♂	j L t	G r C	G r t	j L C	j r C	G L t	j r t	G L C
j r t	j r t	j r t	j r t	j r t	j r t	j r t	j r t	j r t
المظاهر الخارجية	[G,L,C]	[j,r,t]	[G,L,t]	[j,r,C]	[j,L,C]	[G,r,t]	[G,r,C]	[j,L,t]

4) حساب المسافة بين المورثة j و r: d(j-r)

$$d(j-r) = ((4+6+66+78)/2880)X100 = 5.35\ cMg$$

حساب المسافة بين المورثة r و t: d(r-t)

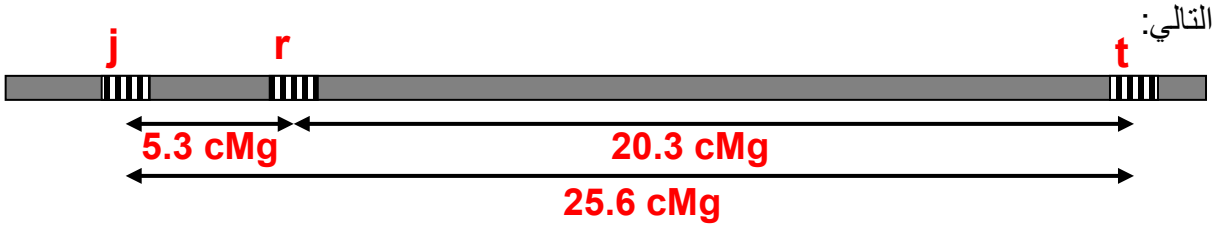
$$d(r-t) = ((4+6+282+293)/2880)X100 = 20.31\ cMg$$

حساب المسافة بين المورثة j و t: d(t-j)

$$d(t-j) = ((2X(4+6)+66+78+282+293)/2880)X100 = 25.66\ cMg$$

5) يتبين من النتائج المحصل عليها في السؤال السابق أن: $d\ (j-t) \approx d(r-j) + d(r-t)$

نستنتج من هذا أن المورثة r تتواجد بين المورثة j والمورثة t، وبالتالي فالخريطة العاملية بالنسبة للمورثات الثلاث ستكون على الشكل التالي:



الخـــريـــطـــة العـــامـــلـــيـــة

ملاحظات:

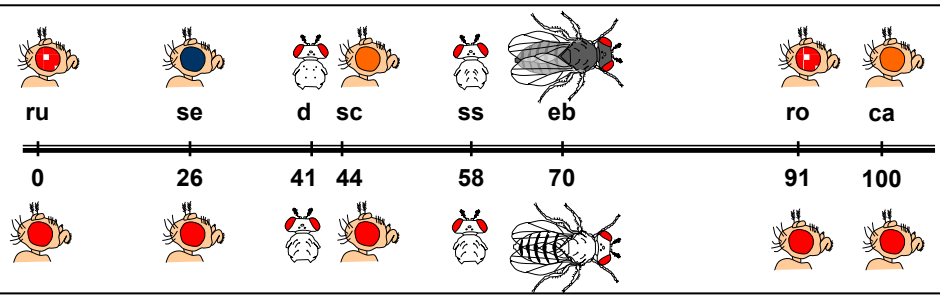
★ مكن إجراء عدة تزاوجات ودراسة مورثات مختلفة، من تحديد تموضع نسبي لعدة مورثات عند مجموعة من الكائنات الحية، ويوضح الشكل أ من الوثيقة 19 جزءا من الخريطة العاملية للصبغي 3 عند ذبابة الخل.

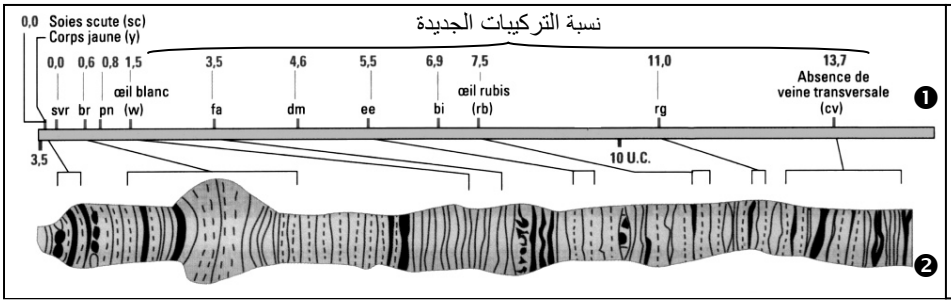
★ لقد مكنت الملاحظة المجهرية لصبغيات عملاقة في مستوى الغدد اللعابية ليرقات ذبابة الخل من الكشف عن وجود أشرطة متعاقبة تختلف حسب تلوينها، وسمكها، ولها ترتيب ثابت بالنسبة لصبغي معين. وقد تبين أن كل خلل في تعاقب هذه الأشرطة يؤدي إلى خلل في ظهور الصفات المتوحشة وظهور صفات جديدة.
انطلاقا من هذه الملاحظات تمكن الباحثون من وضع خرائط صبغية (carte chromosomique, Cytologique ou physique) ، توضح التموضع المضبوط وليس النسبي للمورثات على الصبغيات أنظر الشكل ب من الوثيقة 19.

الوثيقة 19: الخريطة العاملية والخريطة الصبغية.

الشكل أ: الخريطة العاملية للصبغي 3 عند ذبابة الخل (المسافة بالسنتمتر –d'après E. Altenburg–)

ru = roughoid (oeil rugueux)
se = sepia (œil foncé)
d = dichaete (soies thoraciques absentes)
sc = scarlet (oeil vermillon)
ss = spineless (soies très courtes)
eb = ebony (corps noir)
ro = rough (oeil rugueux)
ca = claret (oeil rouge)





الشكل ب: الخريطة الصبغية لصبغي عند ذبابة الخل.

❶ = خريطة عاملية.
❷ = خريطة صبغية.

خلاصة: أنظر الوثيقة 20.

الوثيقة 20: حصيلة القوانين الإحصائية لانتقال الصفات الوراثية.

		النسب الإحصائية			حالة خاصة
		الجيل الأول F_1		الجيل الثاني F_2	
الهجونة الأحادية (أبوان من سلالة نقية)	سيادة تامة	100 % صفة الأب ذي الحليل السائد		1/4 ، 3/4	في حالة مورثة مرتبطة بالجنس، لا يعطي تزاوج ذكر من سلالة A بأنثى من سلالة B نفس نتيجة التزاوج العكسي، أي أنثى من سلالة A بذكر من سلالة B.
	تساوي السيادة	100 % صفة وسيطة		1/4 ، 1/4 ، 1/2	
الهجونة الثنائية (أبوان من سلالة نقية)	مورثتان مستقلتان	100 % صفة الأب ذي الحليل السائد	سيادة تامة بالنسبة للحليلين	1/16 ، 3/16 ، 3/16 ، 9/16	
		جيل متجانس له الصفة السائدة بالنسبة للزوج الحليلي الأول، وصفة وسيطة بالنسبة للزوج الحليلي الثاني	سيادة تامة بالنسبة لزوج حليلي وتساوي السيادة بالنسبة للآخر	1/16 ، 1/16 ، 2/16 ، 3/16 ، 3/16 ، 6/16	
		جيل متجانس له صفتين وسيطتين بالنسبة للزوجين الحليلين.	تساوي السيادة بالنسبة للزوجين الحليلين	1/16 ، 1/16 ، 1/16 ، 1/16 ، 2/16 ، 2/16 ، 2/16 ، 2/16 ، 4/16	
	مورثتان مرتبطتان	100 % صفة الأب ذي الحليلين السائدين.	أحد الأبوين سائد والآخر متنحي	1/4 ، 3/4	

الوحدة الثالثة

استعمال المواد العضوية وغير العضوية

مدخل:

أدى النمو الديموغرافي المضطرد والتطور الاقتصادي والصناعي للمجتمعات الحديثة، إلى زيادة في الاستهلاك سواء المنزلي أو ألفلاحي أو الصناعي. الشيء الذي نتج عنه استعمال كميات متزايدة من المواد العضوية وغير العضوية. إذا كان استعمال هذه المواد العضوية وغير العضوية جد مفيد للساكنة، فانه يطرح عدة مشاكل ترتبط أساسا بتراكم النفايات وما يصاحبه من مشاكل في تدبيرها، والتلوث الذي يلحق أضرارا بالغة بالبيئة والصحة.

- **ما مظاهر التلوث الناتج عن استعمال المواد العضوية وغير العضوية؟**
- **كيف يمكن تدبير هذه النفايات لتفادي آثارها السلبية؟**

الوحدة الثالثة، الفصل الأول:
النفايات المنزلية الناتجة عن استعمال المواد العضوية

تمهيد: أنظر الوثيقة 1:

الوثيقة1:

صورة أ

صورة ب

تعد المجتمعات الحديثة مجتمعات استهلاكية يرتفع طلبها على المواد الغذائية بشكل متزايد، وخاصة الأغذية المصنعة. وقد ترتب عن ذلك زيادة مضطردة في حجم النفايات المنزلية التي تبقى في حاجة إلى المعالجة والتدبير، على الخصوص في المدن ذات التجمعات السكانية الكبيرة.

★ **إشكالية:** كيف يتم تدبير النفايات المنزلية؟

تلقى مشكلة التخلص من النفايات في الوقت الراهن اهتماما كبيرا، خاصة بعد أن فطن الإنسان إلى حدة مشكلة التلوث وخطورتها على صحته وسلامته، وضررها البالغ على البيئة.

★ **إشكالية:** ما مظاهر الآثار السلبية للنفايات المنزلية على صحة الإنسان وسلامة البيئة؟

I – التخلص من النفايات المنزلية وطرق معالجتها: الانتقاء.

① حجم النفايات المنزلية ومكوناتها: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: ينتج المغرب ما يقارب 7 ملايين طن من النفايات سنويا موزعة بين النفايات المنزلية والنفايات الطبية والنفايات الصناعية. أي بمعدل 0.75 Kg لكل فرد في اليوم. ويختلف هذا المعدل حسب المناطق ونمط العيش وفصول السنة، إذ يتراوح بين 0.3Kg في الوسط القروي و 1Kg في الوسط الحضري. وعرفت النفايات المنزلية زيادة كبيرة مع مرور السنوات. ويمثل الجدول أسفله تطور محتوى هذه النفايات ما بين 1960 و1999.

المكونات الرئيسية للنفايات	1960	1990	1999
مواد عضوية قابلة للتخمر	75 %	60 - 70 %	50 – 70 %
ورق – ورق مقوى	15 %	18 – 20 %	5 - 10 %
بلاستيك	0.3 %	2 – 3 %	6 – 8 %
معادن – فلزات	0.4 %	1 – 3 %	1 – 4 %
زجاج	0.6 %	1 %	1 – 2 %
مختلفات	0.7 %	5 - 7 %	16 %

1) عرف النفايات المنزلية.
2) كيف تفسر انخفاض نسبة الورق المقوى في النفايات المنزلية؟
3) حدد من خلال تحليل معطيات الوثيقة المشكل الذي تطرحه هذه النفايات في المغرب.
4) تكتسي النفايات المنزلية أهمية اقتصادية، فيم تتجلى هذه الأهمية؟
5) كيف يمكن الاستفادة من النفايات المنزلية؟

1) النفايات المنزلية هي مجموع بقايا ومخلفات الأنشطة المنزلية للأسر، وتتكون من مواد مختلفة كبقايا الأغذية، الورق، الزجاج، المعادن ... (وكذا أنشطة المطاعم والفنادق والمحلات التجارية).

2) انخفضت نسبة الورق المقوى بينما ارتفعت نسبة البلاستيك. ويفسر ذلك بتعويض الورق بالبلاستيك، مثلا في ميدان التلفيف والتعليب. مما جعل نسبة البلاستيك ترتفع ونسبة الورق تنخفض.

3) يتمثل المشكل في كون نسبة كبيرة من النفايات المنزلية في المغرب، تبقى بدون معالجة وفي مطارح غير مراقبة. فكيف يمكن تدبير هذه النفايات دون إضرار بالبيئة؟

4) تتميز النفايات المنزلية المغربية بكونها:
★ تتركب من نسبة عالية من المواد العضوية القابلة للتحلل، ونسبة متوسطة من البلاستيك والورق، ونسبة ضعيفة من المعادن والزجاج.
★ تختزن مواد ذات أهمية اقتصادية لاحتوائها على كميات مهمة من مواد قابلة لإعادة الاستغلال كمواد أولية (بلاستيك، زجاج، ورق...).

5) يمكن الاستفادة من النفايات المنزلية عبر:
★ فرزها وتصنيف المواد المكونة لها حسب أنواعها (بلاستيك، زجاج، ورق، معادن، ...).
★ إعادة تدوير (إعادة التصنيع) المواد المنتقاة.

② الانتقاء: Le tri

أ – تعريف الانتقاء: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: الانتقاء Le tri

تعتمد مجموعة من الأسر المغربية على كسب قوتها من خلال جمع وانتقاء النفايات من أجل إعادة بيعها.
رغم الطابع غير المنظم لهذه العملية، فقد أثبتت مجموعة من التحريات التي قامت بها العديد من الجماعات المحلية بالمغرب، أن ما يزيد عن 24 % من النفايات يعاد تدويرها من خلال جمعها بهذه الطرق.
في الدول المتقدمة، تندرج عملية الانتقاء في إطار الخدمات العمومية، وتتم على عدة مستويات: بمشاركة المستهلك، وعمال جمع النفايات، ومتخصصين في مراكز الانتقاء. (أنظر الوثيقة 4)

الانتقاء هو عملية تهدف إلى فرز المواد المكونة للنفايات بعضها عن بعض لأجل إعادة تدويرها. تفرز المواد حسب أصنافها الأولية (زجاج، ورق، بلاستيك...) أو حسب أصنافها الثانوية (زجاج أبيض، قارورات...)

★ تتم عملية الانتقاء بشكل غير منظم في المغرب وفي عامة الدول النامية، وهو ما يجعل نسبة النفايات المنزلية المعاد استغلالها تكون ضئيلة.

★ في الدول المتقدمة ينجز الانتقاء في عدة مستويات:

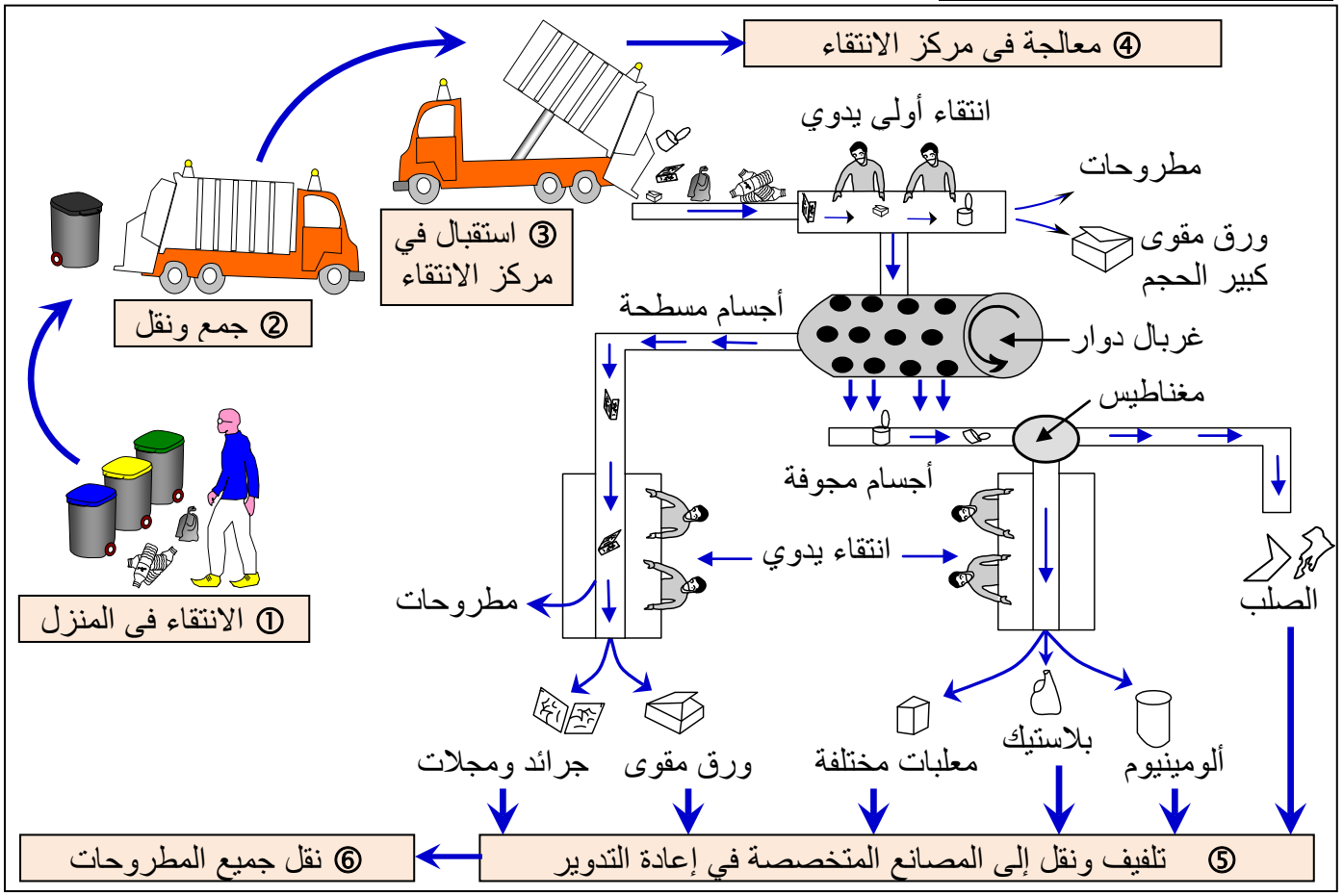
⇦ من طرف المستهلك: استعمال حاويات قمامة خاصة.
⇦ من طرف عمال جمع النفايات.
⇦ في مراكز انتقاء خاصة ومجهزة.

ب – مراحل الانتقاء: أنظر الوثيقة 4:

الوثيقة 4: مراحل الانتقاء.

تعطي الوثيقة أسفله، رسما تخطيطيا لمراحل الانتقاء.
انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة ومعطيات الوثيقة 3، عرف عملية الانتقاء ثم لخص في شكل نص كيفية انجاز عملية الانتقاء وبين أهميتها الاقتصادية.

(تابع) الوثيقة 4: مراحل الانتقاء.



★ تتم في مراكز الانتقاء عملية فرز النفايات حسب أصناف المواد التي تحتوي عليها (صلب، ألومنيوم، ورق مقوى، بلاستيك...) من طرف عمال متخصصين وبمساعدة آلات مصممة لهذا الغرض.

★ بعد فرز النفايات يتم تلفيف كل صنف، ثم ينقل إلى المصانع المتخصصة في التدوير.

③ خلاصة:

أصبحت النفايات المنزلية تطرح مشكلا نظرا لتزايد حجمها بفعل زيادة عدد السكان وتحسن مستواهم المعيشي، لدى أصبح من الضروري الاهتمام بمعالجتها وحسن تدبيرها، وتبدأ هذه العملية بالانتقاء لفرز مكوناتها.

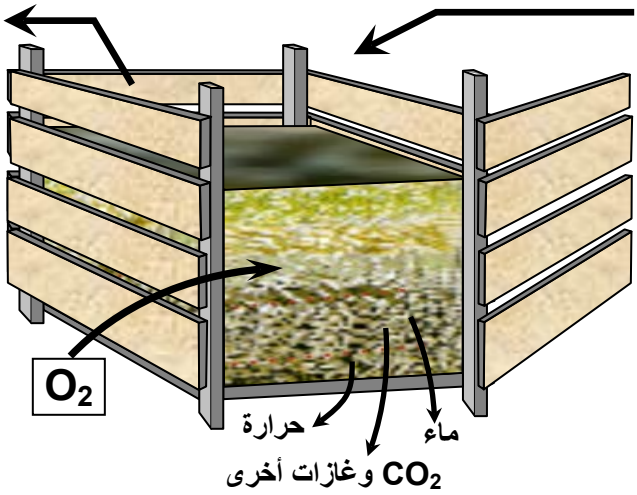
II – التخلص من النفايات المنزلية وطرق معالجتها: تقنية إعادة الاستعمال والتصنيع.

① إنتاج السماد العضوي: أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5 الشكل أ: تقنية إنتاج السماد العضوي.

مواد أولية :

- ✓ نفايات منزلية قابلة للتخمر: (مواد عضوية غنية بالكربون والأزوت).
- ✓ روث البهائم.
- ✓ فرش حرجي
- ✓ بقايا أغذية الحيوانات
- ✓ ماء
- ✓ تربة



سماد عضوي ناضج :

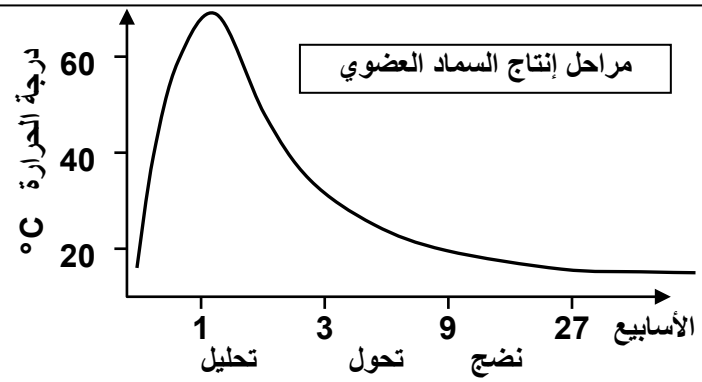
خليط متجانس من مواد عضوية متحللة وفلزات ومتعضيات مجهرية.

ينتج كل 1Kg من النفايات حوالي 300 إلى 400g من السماد.

الوثيقة 5 الشكل ب:

تطور بعض أنواع المتعضيات المتدخلة في تشكل السماد العضوي حسب الزمن.

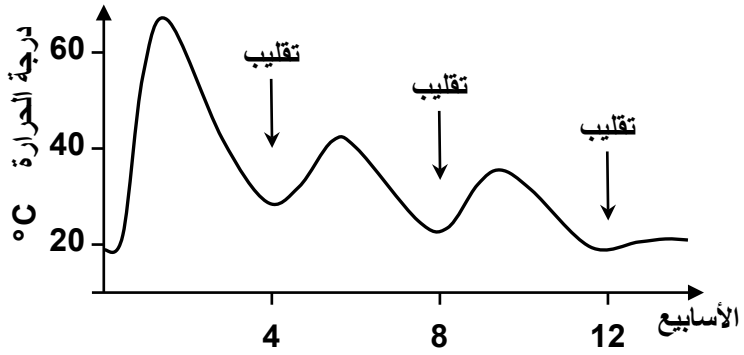
(يعبر تغير درجة الحرارة عن شدة نشاط المتعضيات المجهرية).



الوثيقة 5 الشكل ج:

دور التقليب في تهوية التربة وفي نشاط المتعضيات المتدخلة في تشكل السماد العضوي.

(يعبر تغير درجة الحرارة عن شدة نشاط المتعضيات المجهرية).



استثمار الوثائق أ، ب وج:

1) حدد من خلال الشكل أ نوع النفايات المنزلية التي تستعمل في إنتاج السماد العضوي.
2) بين من خلال الشكل أ و ب و ج، كيف يتشكل السماد العضوي انطلاقا من هذه النفايات، مبرزا أهمية التقليب.
3) أعط تعريفا لمبدأ إنتاج السماد العضوي (Compostage) وبين الأهمية الاقتصادية والبيئية لهذه التقنية.

1) نوع النفايات المنزلية التي تستعمل في إنتاج الأسمدة العضوية هي النفايات العضوية، و هي بقايا المواد الغذائية النباتية، الفرش الحرجي (بقايا أغصان النباتات والأوراق الميتة) وروث البهائم.

2) تحليل الوثائق وربط العلاقة بين تشكل السماد العضوي وتطور الحرارة والكائنات المجهرية:

★ تبرز كل من وثيقة الشكل "أ" و "ب" أن عملية إنتاج السماد تكون مصحوبة باستهلاك الأوكسجين، بطرح الحرارة والماء وغاز ثنائي أوكسيد الكربون، كما تتحلل المواد العضوية الأولية وتغتني بالمتعضيات المجهرية.

★ نفسر كل هذه الملاحظات بكون المتعضيات المجهرية تستهلك النفايات العضوية، في ظروف حي هوائية (أكسدة تنفسية) لتحصل على الطاقة الضرورية لنشاطها ونموها، تكون هذه التفاعلات مصحوبة بطرح حرارة وماء وCO_2.

★ تبرز وثيقة الشكل "ج" أن عملية التقليب تكون متبوعة بزيادة في درجة حرارة المواد العضوية المعدة لإنتاج السماد العضوي، وهو ما يعني أن عملية التقليب تساهم في زيادة نشاط المتعضيات المجهرية

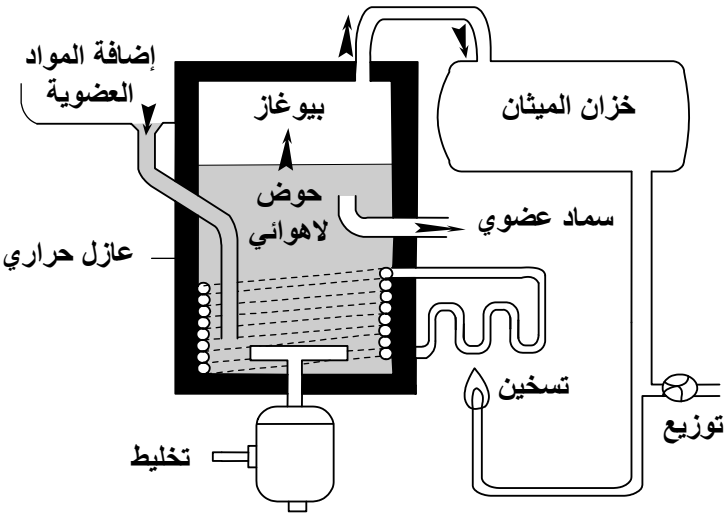
تتجلى إذن أهمية التقليب في توفير التهوية أي إغناء الوسط ب O_2، لأن الكائنات المجهرية المتدخلة كائنات حي هوائية.

3) إنتاج السماد العضوي Compostage، هي عملية تتمثل في المعالجة البيولوجية للنفايات العضوية، حيث تخضع لتفسخ هوائي تحت تأثير متعضيات مجهرية (بكتيريا، فطريات) والحيوانات الدقيقة (ديدان الأرض، قراديات...) التي تتغذى على النفايات العضوية (بروتينات، سيليلوز...) وتحولها إلى سماد عضوي = composte.
تتمثل إذن الأهمية الاقتصادية لهذه التقنية في كونها تنتج سمادا عضويا قابل للاستعمال في الميدان الزراعي، والأهمية البيئية في كونها تعمل على تخليص الوسط البيئي من نسبة من النفايات المنزلية.

② **إنتاج غاز الميثان:** أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: إنتاج البيوغاز (الميثان) Méthane.

الشكل أ: رسم تخطيطي يبين طريقة إنتاج البيوغاز



طبيعة الغاز	النسبة المئوية
الميثان CH_4	50 à 80
ثنائي أكسيد الكربون CO_2	20 à 50
هيدروكسيد الكبريت H_2S	0 à 0.5

الشكل ب: مكونات البيوغاز (الغاز الإحيائي).

الشكل ج:
البكتيريا اللاهوائية Méthanobacterium :

هي بكتيريا لاهوائية تعمل على إنتاج الطاقة اللازمة لنشاطها بالاعتماد على تفاعلات التخمر التي تنتج غاز الميثان حسب التفاعل الإجمالي:

مواد عضوية (سكريات، بروتينات ...)

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

أسيتات — ميثان

استثمار الوثائق: 1) ما هي النفايات المنزلية المستعملة لإنتاج غاز الميثان؟
2) بين كيف يتم إنتاج غاز الميثان انطلاقا من النفايات المنزلية؟
3) استنتج الفوائد من استعمال النفايات المنزلية في إنتاج غاز الميثان، وأعط تعريفا لهذه التقنية.

1) نوع النفايات المنزلية التي تستعمل في إنتاج غاز الميثان هي النفايات العضوية.

2) طريقة إنتاج غاز الميتان:
★ توضع النفايات المنزلية العضوية داخل خزان في ظروف لا هوائية.
★ تتعرض المواد العضوية (سكريات، بروتينات...) لتحلل لاهوائي بفعل بكتيريا حي لاهوائية تسمى بالبكتيريا المولدة للميثان = Methanobacterium.
★ تصاحب هذه التفاعلات اللاهوائية بطرح غاز إحيائي، قابل للاشتعال يحتوي على أزيد من 50% من غاز الميتان، يتم تخزينه داخل بالونات.

3) تتمثل أهمية إنتاج غاز الميتان في عدة مستويات:
★ إنتاج غاز الميتان القابل للاشتعال والذي يستعمل كمصر للطاقة: توليد الكهرباء، تسخين، وقود.
★ الحصول على حثالة عضوية تستعمل كسماد عضوي.
★ تقليص حجم النفايات المنزلية (تتبقى فقط 40% من الحجم الأصلي، وهي عبارة عن سماد نافع).

إنتاج غاز الميثان: عملية تتمثل في المعالجة البيولوجية للنفايات العضوية حيث تخضع لتفسخ لاهوائي تحت تأثير بكتيريا مولدة للميثان، والتي تتغذى على المواد العضوية لجلب الطاقة الضرورية لنموها، وينجم عن ذلك طرح غازات إحيائية يشكل الميتان النسبة العالية منها.

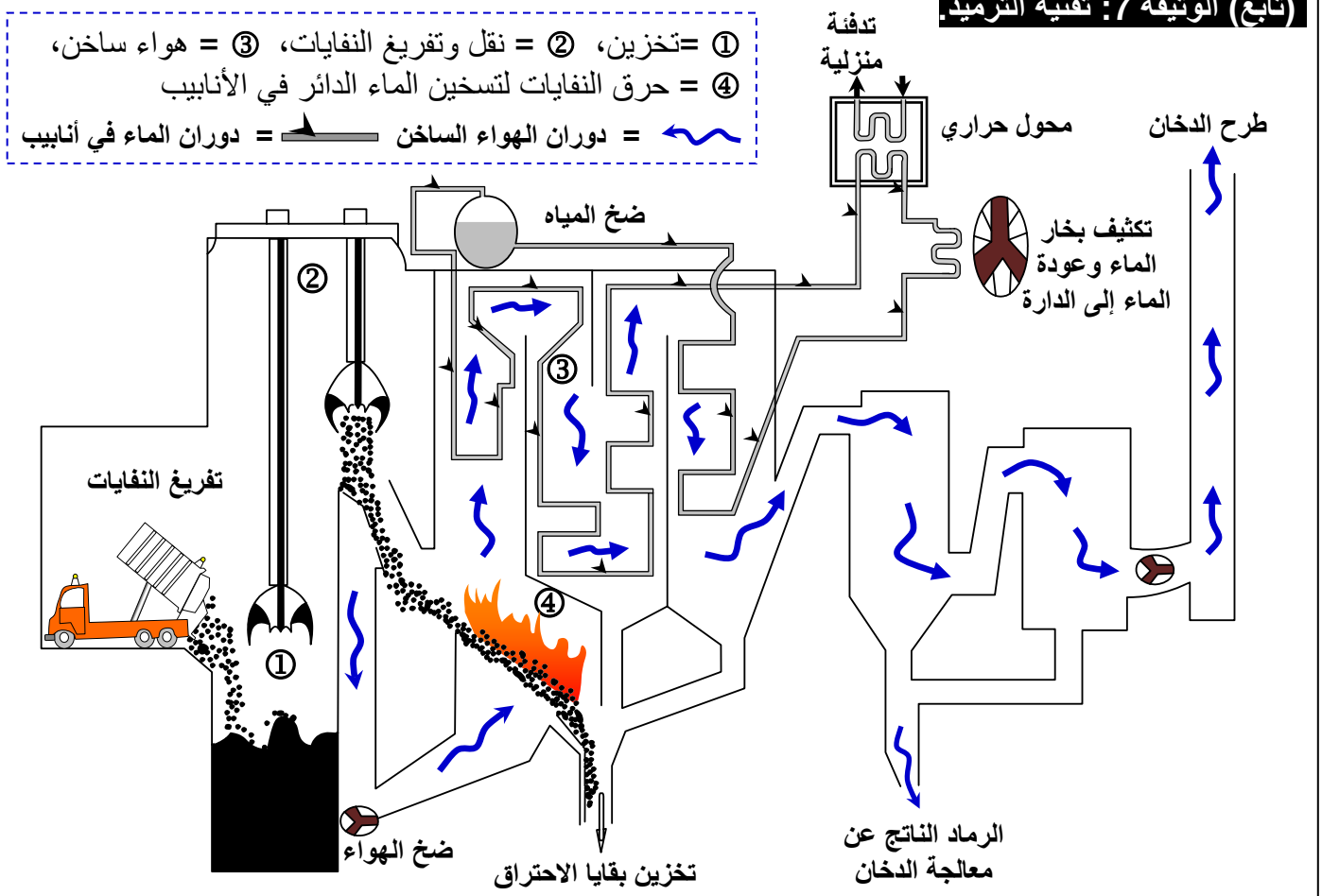
③ الترميد: Incinération أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: تقنية الترميد L'incinération. (أنظر الصفحة الموالية)

تعطي هذه الوثيقة رسما تخطيطيا توضيحيا لمراحل تقنية الترميد.

- ✓ تتم معالجة الأدخنة قبل طرحها في الهواء عن طريق ترشيحها من الغبار والمعادن الثقيلة التي ترسل إلى محطات خاصة للطمر، تحترم الشروط البيئية.
- ✓ خلال عملية الطمر تدفن النفايات الصلبة في حفر ذات عمق وسعة مختلفة حسب نوع النفايات. وتفاديا لتلويث المياه الجوفية يتم عزل هذه الحفر بواسطة طبقة من الاسمنت أو البلاستيك.
- ✓ تمثل الحثالة الصلبة المتبقية (أجزاء غير قابلة للاحتراق، والرماد، والمواد السامة كالمعادن الثقيلة، والديوكسين...) حوالي 10 % من الحجم الأصلي للنفايات.

(تابع) الوثيقة 7: تقنية الترميد.



1) باستغلال معطيات الوثيقة، صغ نصا تبرز من خلاله فيم تتمثل تقنية الترميد.
2) أحسب نسبة النفايات التي يتم التخلص منها بواسطة تقنية الترميد، ثم أعط مميزات هذه التقنية.

1) تعريف الترميد: = Incinération

الترميد تقنية تتمثل في حرق النفايات داخل فرن معد لهذه العملية تحت درجة حرارة عالية (بين 800 إلى 1000°C) بحضور الأوكسجين. تستغل الطاقة الحرارية الناتجة في إنتاج بخار الماء الذي يستعمل في التدفئة وفي توليد الكهرباء، يحرر كل 1 طن من المحروقات ما يعادل 258KW من الطاقة.

2) تتمثل أهمية الترميد في:

- ✓ تخفيض حجم النفايات المنزلية بنسبة قد تصل إلى 90%
- ✓ إنتاج طاقة: للتدفئة، توليد الكهرباء.

④ حصيلة:

لتفادي المشاكل التي تطرحها النفايات المنزلية، يمكن الاستفادة منها وذلك بإعادة استعمال بعض موادها في:

- ★ إنتاج السماد العضوي.
- ★ إنتاج غاز الميتان.
- ★ إنتاج طاقة من خلال عملية الترميد.

III – آثار النفايات المنزلية على البيئة والصحة والاقتصاد.

① آثار النفايات المنزلية على البيئة: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: آثار النفايات المنزلية على البيئة.

الشكل أ : آثار الغازات الناجمة عن احتراق النفايات المنزلية في المطارح غير المراقبة: ينتج عن احتراق النفايات المنزلية في المطارح غير المراقبة غازات سامة نتيجة احتواءها على عدة عناصر كيميائية. كما أن التخمر اللاهوائي للنفايات المنزلية يؤدي إلى انبعاث غاز الميثان CH_4 الذي يساهم في الاحتباس الحراري وتدمير طبقة الأوزون.

العناصر الكيميائية	الغازات الناتجة عن الاحتراق	عواقبها
الكربون (C)	أكسيد الكربون CO	احتباس حراري
الأزوت (N)	أكسيد الأزوت NO_2 ; NO	احتباس حراري - أمطار حمضية - تشكل أوزون الغلاف الجوي المنخفض
الكبريت (S)	ثنائي أكسيد الكبريت SO2	احتباس حراري
الكلور (Cl)	حمض الكلوريدريك HCl	احتباس حراري
	الديوكسين	تراكم في سلاسل غذائية
الفليور (F)	حمض الفليوريدريك	احتباس حراري

الشكل ب : آثار الليكسيفيا Lexiviat على البيئة. (lixivius = jus de lessive)
الليكسيفيا (عصير النفايات): سائل ناتج عن ترشيح مياه الأمطار عبر النفايات، حيث تشحن بملوثات عضويةذائبة ناتجة عن نشاط بعض المتعضيات المجهرية، وملوثات معدنية (مثلا المعادن الثقيلة المكونة للبطاريات)، وجراثيم ممرضة... مما يؤثر سلبا على متعضيات التربة (فونة و فلورة) حيث يمكن وصولها إلى الفرشاة المائية لتلوث المياه الجوفية.

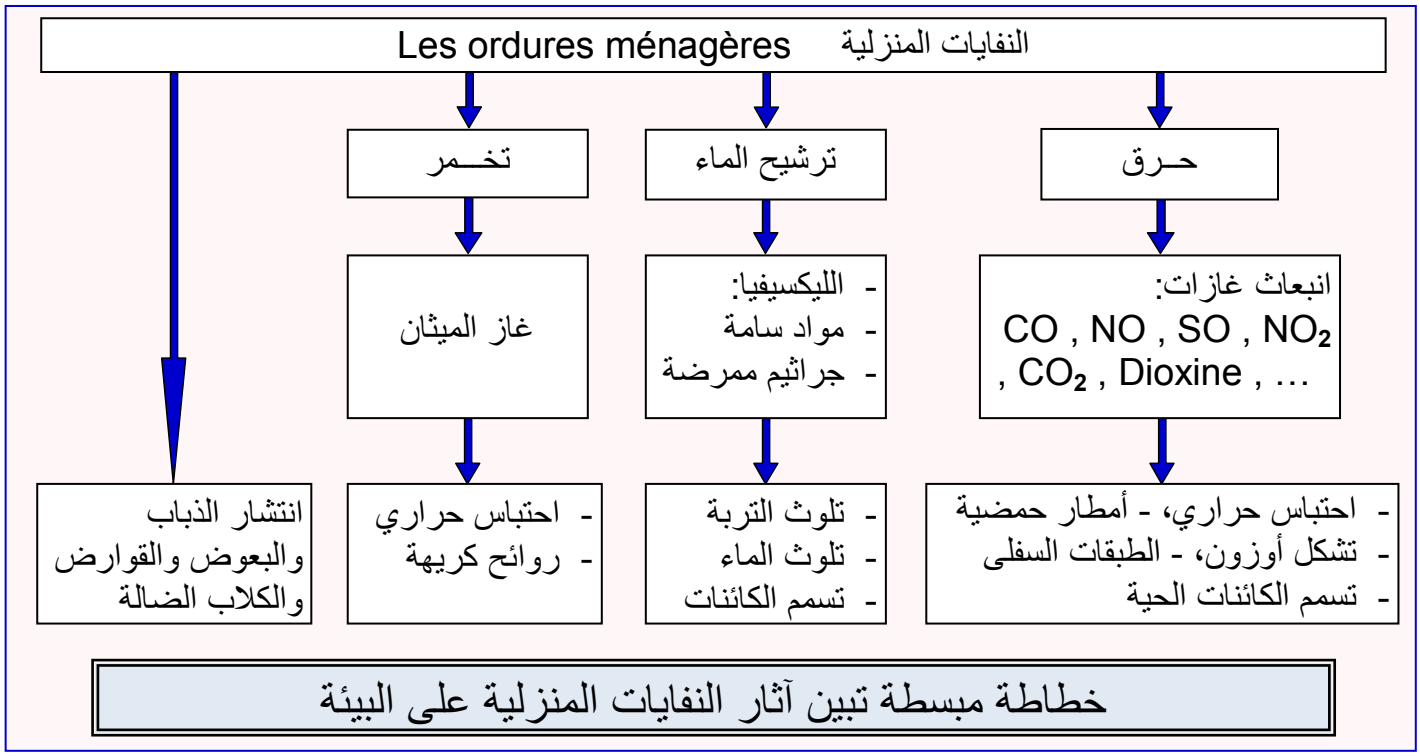
استخرج من خلال معطيات هذه الوثيقة مختلف مظاهر تأثير النفايات المنزلية على البيئة.

ترتبط الآثار السلبية للنفايات المنزلية على البيئة بالظواهر التالية:

يؤدي احتراق النفايات المنزلية في المطارح غير المراقبة إلى تحرير غازات سامة مثل (CO_2 , NO_2 , CO , NO)

تساهم في الاحتباس الحراري وتدمير طبقة الأوزون والأمطار الحمضية.

في مواقع تراكم النفايات تتشكل الليكسيفيا التي تكون مركزة بعناصر ملوثة كالجراثيم والمواد الكيميائية السامة والمعادن الثقيلة، تلوث التربة والفرشاة المائية.



② آثار النفايات المنزلية على الصحة: أنظر الوثيقة 9.

الوثيقة 9: آثار النفايات المنزلية على الصحة.

★ تسبب الليكسيفيا تلوث المياه الجوفية بواسطة الجراثيم الممرضة والمعادن الثقيلة والمواد الكيميائية ، تنتج عنها تسممات غذائية وأوبئة عند استهلاك هذه المياه للشرب أو أغذية مسقية بالمياه الملوثة.
★ تسبب الغازات السامة الناتجة عن احتراق النفايات المنزلية خطرا على صحة الإنسان لأنها تتسبب في عدة أمراض:

الغازات الناتجة عن الاحتراق		آثارها على الصحة
أحادي أكسيد الكربون		بكمية كبيرة: سام بالنسبة للجهاز القلبي و التنفسي و أحيانا مميت. بكمية ضعيفة: يعرقل نقل الأكسجين إلى الدماغ و القلب و العضلات..
اوكسيدات الازوت		تسبب اضطرابات في الجهاز التنفسي و أزمات الربو
اوكسيدات الكبريت		اضطرابات في الجهاز التنفسي و القلبي و أزمات الربو
الديوكسين		تؤثر على الجهاز المناعي و العصبي و الهرموني، تسبب السرطان
مواد عضوية طيارة Composés organiques volatils (COV)	الألدهيد	اضطرابات تنفسية
	البنزن	تسبب السرطان

استخلص من هذه المعطيات آثار مختلف الملوثات الناجمة عن النفايات المنزلية على الصحة.

★ تحتوي الليكسيفيا على مواد سامة وجراثيم ممرضة، تلوث المياه الجوفية وتتركز في السلاسل الغذائية مما يؤدي إلى تسممات غذائية.

★ تشكل الغازات السامة الناتجة عن إحراق وترميد النفايات المنزلية تهديدا لصحة الإنسان:
- المركبات العضوية الطيارة تسبب مشاكل تنفسية وتهدد بالإصابة بالسرطان.
- الديوكسين يعتبر مادة مسرطنة ويؤثر على وظائف أجهزة الجسم.
- أوكسيدات الكربون وأوكسيدات الآزوت وأوكسيدات الكبريت تضر بالجهاز التنفسي.

★ تساهم النفايات المنزلية في انتشار الجراثيم وتكاثر الحشرات والقوارض، وهو ما يهدد بظهور وانتشار الأمراض.

③ آثار النفايات المنزلية على الاقتصاد: أنظر الوثيقة 10.

الوثيقة 10: آثار النفايات المنزلية على الاقتصاد.

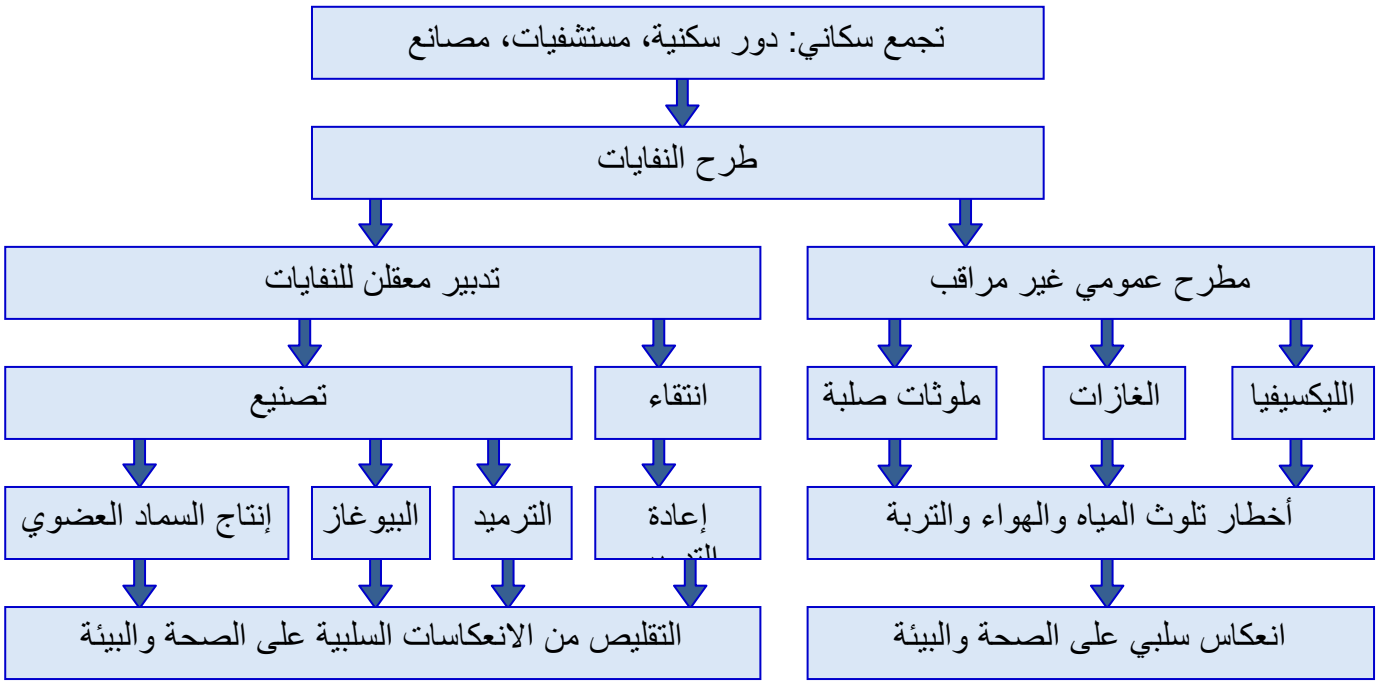
تقدر كمية النفايات المنتجة بالمغرب ب 6.5 ملايين طن في السنة، يلقى معظمها بدون معالجة في مطارح غير مراقبة وبدون بنية تحتية ملائمة. تقدر التكلفة الاجمالية المخصصة لبرنامج النفايات المنزلية ب37 مليار درهم، يخصص منها 27 مليارا لتحسين خدمات الجمع و6 ملايير لانجاز واستغلال مطارح مراقبة و2.5 مليار لصيانة وتأهيل المطارح المستخدمة و1 مليار لتطوير أنشطة الانتقاء وإعادة الاستعمال.

يكلف تدبير النفايات المنزلية من تجميع ونقل ومعالجة اعتمادات مالية مهمة. بالمقابل تحتوي هذه النفايات على عدة مواد يمكن إعادة استعمالها كمواد أولية في عدة صناعات (البلاستيكية، المعدنية، الورقية) بهدف التخلص منها من جهة، واستغلالها اقتصاديا من جهة أخرى.

IV – حصيلة عامة على شكل خطاطة: أنظر الوثيقة 11.

الوثيقة 11: حصيلة عامة على شكل خطاطة.

تعتبر النفايات أهم مصدر من مصادر التلوث، إذ تساهم بشكل مباشر في تلوث البيئة، وتأثر على صحة الإنسان وإنتاجيته بسبب انتشار الأمراض وزيادة نسبة الوفيات.



يترتب عن النمو المتزايد للسكان ارتفاع في إنتاج النفايات المنزلية. ولتفادي المشاكل الصحية والبيئية لهذه النفايات، يتطلب الأمر تدبيرها ومعالجتها بشكل معقلن يتمثل في الانتقاء والمعالجة.

التلوثات الناتجة عن استهلاك المواد الطاقية واستعمال المواد العضوية وغير العضوية

تمهيد:

أدى التقدم الصناعي والضغط الديموغرافي والتوسع العمراني إلى الاستغلال المفرط للموارد الطبيعية وإلى طرح المزيد من المواد الملوثة للأوساط الطبيعية الثلاثة (الهواء، الماء والتربة)، وهو ما ينعكس سلبا على هذه الأوساط البيئية ويضر بالكائنات الحية ويؤثر على الاقتصاد.

- **فما هي هذه الملوثات، وما مصادرها؟**
- **ما هي آثار تلوث الأوساط الطبيعية على البيئة والصحة والاقتصاد؟**
- **ما هي الحلول والبدائل للتخفيف من آثار هذه الملوثات أو الحد منها؟**

I – الملوثات والأوساط الملوثة.

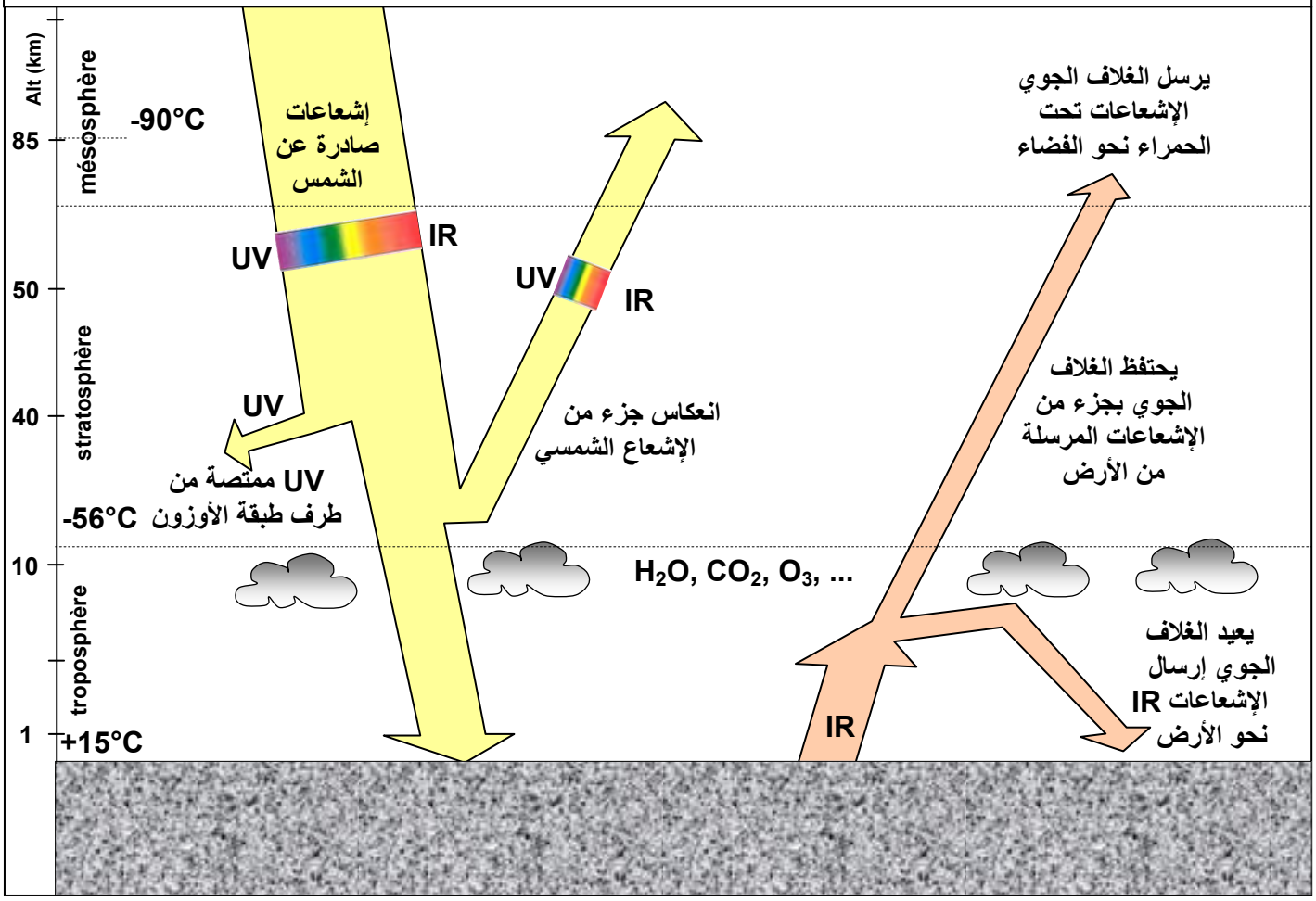
① تلوث الهواء:

أ- الاحتباس الحراري Effet de serre

a – آلية تكون الاحتباس الحراري: أنظر الوثيقة 1

الوثيقة 1: خطاطة تبين الآلية المؤدية إلى الاحتباس الحراري على سطح الأرض.

يعطي الرسم أسفله، خطاطة تبين الالية المؤدية الى ظاهرة الاحتباس الحراري على سطح الأرض.
حول هذه الخطاطة إلى نص يبين آلية حدوث الاحتباس الحراري على سطح الأرض، موضحا العلاقة بين الغلاف الجوي ودرجة حرارة الأرض.



★ يمتص سطح الأرض كمية من الإشعاعات التي تصدرها الشمس، بينما تعكس السحب جزء من هذه الإشعاعات في اتجاه الفضاء أو يمتصه الغلاف الجوي.

★ عند ارتفاع حرارة الأرض، ترسل جزءا من هذه الطاقة على شكل إشعاعات تحت حمراء (IR).

★ يعيد الغلاف الجوي (غازات، بخار الماء) جزءا من الإشعاعات الحمراء إلى الأرض من جديد، وهو ما يرفع من حرارتها: تسمى هذه الظاهرة بالاحتباس الحراري.

★ كلما كانت طبقة الغازات المشكلة للغلاف الجوي سميكة كلما كان الاحتباس الحراري قويا.

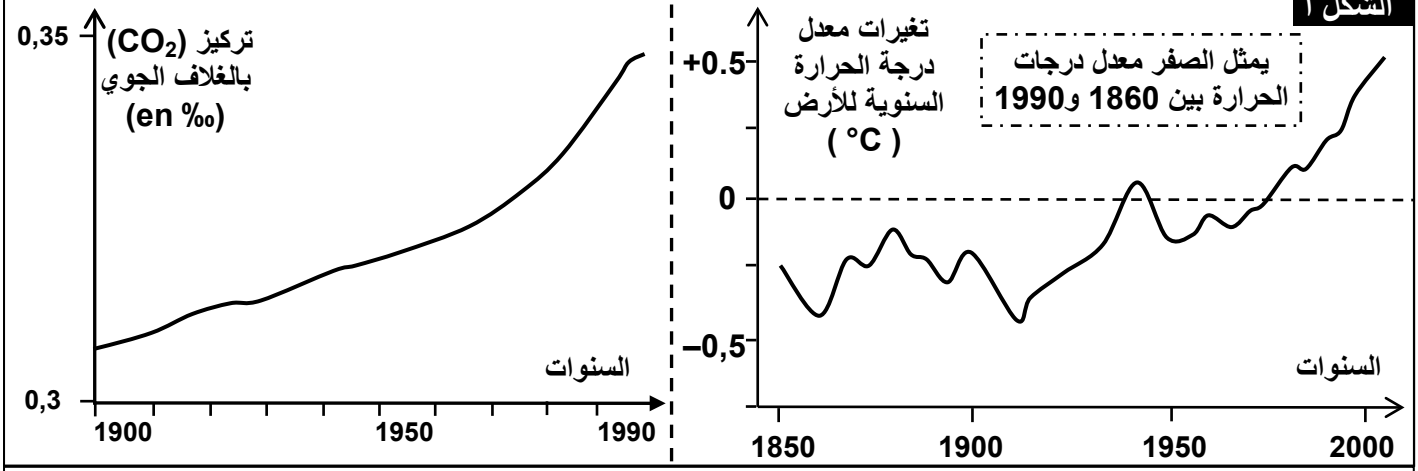
الاحتباس الحراري ظاهرة طبيعية تتجلى في احتباس كمية من الحرارة في الغلاف الجوي، نتيجة قدرة مجموعة من الغازات على الاحتفاظ بالإشعاعات تحت الحمراء (بخار الماء،ثنائي أكسيد الكربون...).

b – دور الأنشطة البشرية في الاحتباس الحراري: (أنظر الوثيقة 2)

الوثيقة 2: يعطي الشكل أ من الوثيقة نسبة تطور CO_2 بالغلاف الجوي. وتغيرات معدل درجة الحرارة عبر السنين.
أما الشكل ب من الوثيقة فانه يمثل نسبة مساهمة بعض الغازات في ظاهرة الاحتباس الحراري.

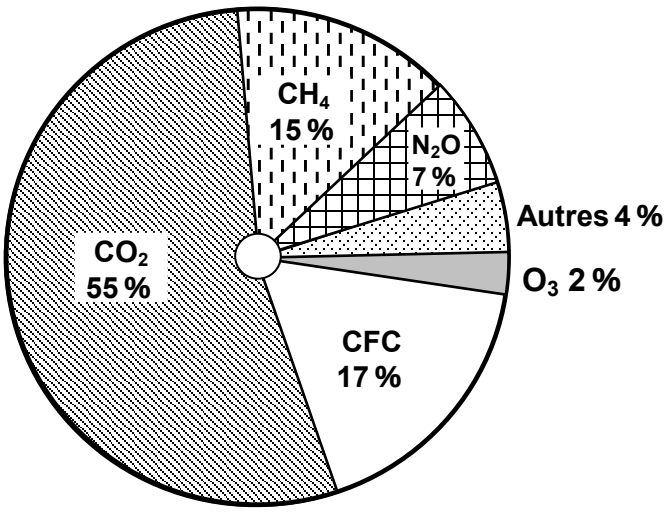
1) حلل منحنيي الوثيقة واربط علاقة بينهما وبين الثورة الصناعية واستنتج أسباب التغيرات المسجلة في حرارة الأرض.
2) أبرز من خلال الشكل ب من الوثيقة مختلف الغازات المساهمة في ظاهرة الاحتباس الحراري ومصادرها.
3) ما هي عواقب ظاهرة الاحتباس الحراري على البيئة؟

الشكل أ



الشكل ب: أهم الغازات المساهمة في ظاهرة الاحتباس الحراري ومصادرها.

الغازات	مصادرها
CO2	- استعمال المحروقات (البترول والفحم ...) - إحراق الغابات.
غاز الميثان	التخمر في مزارع الأرز ومطارح النفايات وفي الأنبوب الهضمي للحيوانات المجترة.
غاز CFC Chlorofluorocarbone	جزيئات تستعمل في البخاخات وفي آلات التبريد.
أوكسيد الكربون	- التخمر الجرثومي في التربة والمياه. - الاحتراقات (السيارات والمعامل).



1) قبل الحقب الصناعي كانت نسبة CO_2 في الغلاف الجوي ضعيفة ومستقرة لا تتعدى 0,28 في الألف كما أن درجة الحرارة كانت أقل من المعدلات المسجلة بين سنتي 1860 و 1990.
مع بداية الحقب الصناعي، نسجل ارتفاعا تدريجيا لنسبة CO_2 في الغلاف الجوي، حيث بلغت 0,34 في الألف سنة 2000، وموازاة مع ذلك زادت درجة حرارة الأرض بما يقارب 1°C.

نستنتج من هذه المعطيات أن النشاط الصناعي المكثف الذي بدأ مع الثورة الصناعية أدى إلى ارتفاع نسبة CO_2 في الغلاف الجوي، وهذا الارتفاع سبب زيادة في درجة حرارة الأرض. بذلك يصنف CO_2 من الغازات الدفيئة.

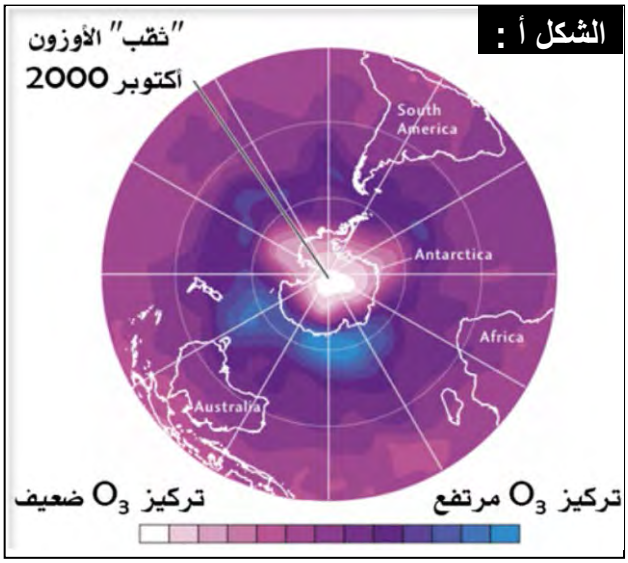
2) للغازات المسببة للاحتباس الحراري مصدرين:
★ مصادر طبيعية: الانفجارات البركانية، الحرائق، الكائنات الحية، لكن نسبتها تبقى قليلة.
★ من خلال الأنشطة البشرية: النشاط الصناعي (التبريد، المصانع، استعمال المحروقات كالبترول والفحم أو الحرائق...) النشاط الفلاحي (تربية الحيوانات...) النشاط المنزلي (طرح النفايات المنزلية....).

3) العواقب المتوقعة لظاهرة الانحباس الحراري:
★ ارتفاع درجة حرارة الأرض.
★ ذوبان الثلوج وجليد القطبين.
★ ارتفاع مستوى البحر، مما يهدد المناطق المنخفضة من الكرة الأرضية بالانغمار بالماء.
★ نقص الماء في بعض المناطق وتصحرها.
★ تغير التنبت.

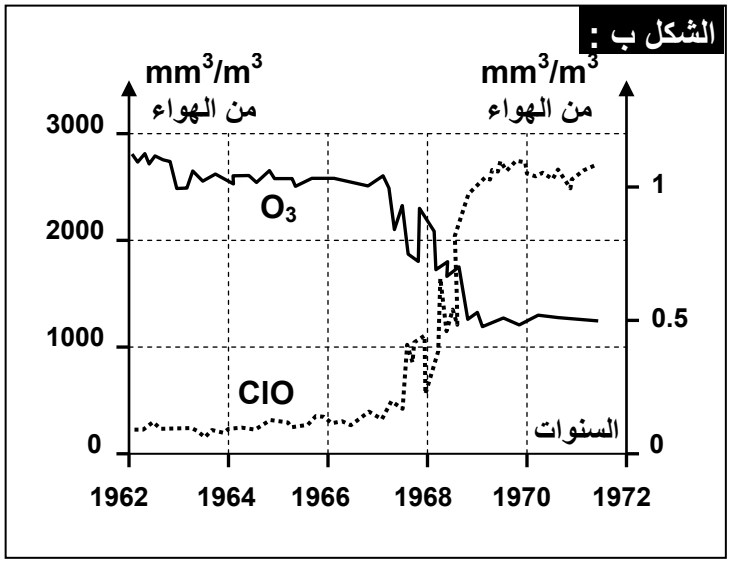
ب- ثقب الأوزون وعلاقته بتلوث الهواء: أنظر الوثيقة 3

الوثيقة 3: يعطي الشكل أ من الوثيقة نتائج قياس تركيز غاز الأوزون O_3، في الستراتوسفير (المنطقة المتوسطة من الغلاف الجوي) فوق القطب الجنوبي، باستعمال الأقمار الاصطناعية. والشكل ب تغير تركيز غاز الأوزون وأحادي أوكسيد الكلور فوق القطب الجنوبي.
1) أعط تعريفا لطبقة الأوزون، وحدد أهمية تواجد هذه الطبقة في الغلاف الجوي للأرض.
2) حلل معطيات الشكلين أ وب.
3) استنتج سبب التغير الملاحظ في سمك طبقة الأوزون فوق القطب الجنوبي.
4) حدد عواقب التغير في سمك طبقة الأوزون على صحة الإنسان.

الشكل أ :



الشكل ب :



1) تعريف طبقة الأوزون وأهميتها:
الأوزون هو غاز O_3، الذي يشكل طبقة حول الأرض على علو ما بين 15 و 50Km، تمتص كمية كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية الشمسية (UV) الخطيرة على الكائنات الحية ، و لها دور أيضا في الحفاظ على درجة حرارة الأرض.

2) تحليل الوثائق وتفسير سبب حدوث ثقب الأوزون:

★ الشكل أ: تبرز الصورة الملتقطة بالأقمار الاصطناعية أن منطقة شاسعة فوق القطب الجنوبي، يقل فيها تركيز الأوزون عن باقي المناطق. نتحدث بذلك عن ثقب الأوزون.

★ الشكل ب: قبل سنة 1968، كان تركيز كل من الأوزون وأحادي أوكسيد الكلور شبه مستقرين، وبعد هذه السنة، نسجل انخفاضا سريعا لتركيز الأوزون وموازاة مع ذلك يرتفع تركيز أحادي أوكسيد الكلور.

3) إن انخفاض سمك طبقة الأوزون هو ناتج عن تدمير غاز الأوزون نتيجة تفاعله مع بعض الغازات

★ المترتبة عن الأنشطة المرتبطة باستعمال المركب الكيميائي CFC كلوروفليوروكربون (التبريد، مكيفات الهواء، بخاخات العطور والمبيدات ...) الذي يطرح في الهواء فيزيد من تركيز الكلور.

★ يتلف الكلور طبقة الأوزون حسب التفاعل التالي : $Cl + O_3 \text{ ----------> } ClO + O_2$

ما يفسر انخفاض نسبة الأوزون موازاة مع زيادة أحادي أوكسيد الكلور.

★ يعاد تكون الكلور حسب التفاعل التالي: $ClO + O \text{ ----------> } Cl + O_2$

4) عواقب انخفاض سمك طبقة الأوزون على صحة الإنسان:

إن انخفاض سمك طبقة الأوزون سيساهم في ارتفاع نسبة الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى الأرض، الشيء الذي سيؤثر بشكل مباشر على الإنسان وعلى حرارة الكرة الأرضية.

★ ظهور سرطان الجلد، وشيخوخة مبكرة للجلد.

★ ضعف الجهاز المناعي.

★ التهاب قرنية العين.

ج- الأمطار الحمضية وعلاقتها بتلوث الهواء: أنظر الوثيقة 4

الوثيقة 4: الأمطار الحمضية.

لوحظ في بعض الدول كالسويد والنرويج وألمانيا وبلونيا، موت الأشجار بملايين الهكتارات من الغابات، وارتفاع حمضية العديد من البحيرات والتربة: تعود هذه الآثار السلبية إلى تساقط أمطار حمضية (قد تصل قيمة pH فيها إلى قيمة 4) تحتوي على حمض الكبريتيك وحمض النتريك.

تتكون هذه الأحماض من خلال تفاعل كيميائي بين ماء الغلاف الجوي وأوكسيدات الكبريت (SO2) أو أ,كسيدات الأزوت (NO2). تحرر هذه الغازات طبيعيا بفعل النشاط البركاني ونشاط بعض بكتيريات التربة. إلا أن الاستعمال المكثف للمحروقات من طرف الإنسان رفع بشكل كبير من نسبة هذه الغازات في الهواء.

انطلاقا من هذه المعطيات بين أصل الأمطار الحمضية وآثارها في البيئة.

تصبح الأمطار حمضية نتيجة تفاعل مياه الغلاف الجوي مع حمض النيتريك HNO3 و حمض الكبريتيك H2SO4 مما يؤدي إلى انخفاض pH التربة (قد يصل pH إلى 4).

★ ينتج حمض النيتريك عن تحول أكسيدات الازوت المطروحة من طرف محركات العربات و بعض المحركات الصناعية.

★ ينتج حمض الكبريتيك عن تحول ثنائي أكسيد الكبريت الناتج عن استعمال محروقات صناعية تحتوي على الكبريت.

★ تتسبب الأمطار الحمضية في عدة مشاكل بيئية:

✓ توقيف ظاهرة التركيب الضوئي وكبح امتصاص بعض الأملاح المعدنية الضرورية للنباتات.

✓ ارتفاع حمضية التربة وحمضية المجاري المائية، مما يؤثر سلبا على المتعضيات التي تعيش فيها.

② تلوث الماء:

أ - تلوث المياه العذبة: أنظر الوثيقة 5

الوثيقة 5: تلوث المياه العذبة:

انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة، عرف المياه الملوثة، ثم تعرف مختلف مصادر تلوث المياه العذبة.

التلوث الناتج عن الاستعمالات المنزلية (المياه العادمة)

- ✓ مواد غير عضوية
- ✓ مواد عضوية قابلة للتحلل بفعل المتعضيات المجهرية.
- ✓ مواد فوسفاطية، مواد آزوتية كالحمض البولي والبروتينات.
- ✓ مواد منظفة
- ✓ متعضيات مجهرية بعضها ممرض كجرثومة الكوليرا والتفويد.

التلوث الناتج عن النشاط الفلاحي

- ✓ الأسمدة: أملاح معدنية: النيترات، الفوسفاط...
- ✓ المبيدات.
- ✓ مواد عضوية: صناعة المواد الغذائية والدباغة والنسيج.
- ✓ مواد سامة كالزئبق، الرصاص، الكادميوم والهيدروكاربونات: الصناعة البترولية
- ✓ تصريف مياه ساخنة: صناعة المواد الغذائية، المحطات الحرارية والمحطات النووية.

التلوث الناتج عن النشاط الصناعي

- ✓ مواد صلبة عالقة.
- ✓ أملاح معدنية ناتجة عن صناعة الأسمدة.
- ✓ مواد عضوية: صناعة المواد الغذائية والدباغة والنسيج.
- ✓ معادن ثقيلة سامة كالزئبق، الرصاص، الكادميوم.
- ✓ الهيدروكاربونات: الصناعة البترولية.
- ✓ مياه حمضية أو قاعدية.
- ✓ تصريف مياه ساخنة: صناعة المواد الغذائية، المحطات الحرارية والمحطات النووية.

تطور حجم مياه الصرف الصحي حسب السنوات وتوقع سنة 2020

السنة	حجم مياه الصرف الصحي مليون m^3
1960	48
1970	129
1980	270
1990	370
2000	495
2010	666
2020	954

★ تعريف تلوث الماء:

حسب المنظمة العالمية للصحة OMS، يعتبر تلوث الأوساط المائية: كل تغير للخاصيات الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية، أو كل إلقاء لمواد سائلة أو غازية أو صلبة في الماء، من شأنه أن يلحق ضررا أو يجعل هذا الماء خطرا أو ضارا بالصحة العمومية وأمن الأفراد وراحتهم.

★ مصادر تلوث المياه العذبة:

من أكثر المصادر التي تتسبب في تلويث الموارد المائية العذبة السطحية والجوفية نجد:

- ✓ المياه العادمة (مياه الصرف الصحي):
  تتميز هذه المياه العادمة بتزايد حجمها، وبكونها غنية بالمواد العضوية والمعدنية ومواد التنظيف.
  كما تكون غنية بالمعادن الثقيلة والجراثيم.
- ✓ الليكسيفيا: الذي يترشح من النفايات المنزلية الصلبة، فيلوث المياه العذبة السطحية والجوفية.
- ✓ الأنشطة الفلاحية: بفعل استعمال المبيدات والأسمدة في الحقول والمزارع، تتسم هذه المواد بذوبانية كبيرة، وتنقل بسهولة عبر مياه السيلان إلى المجاري السطحية القريبة. للإشارة تتسرب أيضا هذه المواد إلى المياه الجوفية فتقلل من جودتها.
- ✓ المياه الصناعية المستعملة.

ب- تلوث المياه المالحة: أنظر الوثيقة 6

الوثيقة 6: تلوث المياه المالحة:

تستقبل البحار والمحيطات، بالإضافة لما تجلبه الأنهار، عوادم المدن والوحدات الصناعية المتموضعة على الساحل، أو زيوت المحركات التي تلقيها السفن وناقلات النفط. يؤثر هذا التلوث في جودة المياه مما يؤدي غلى نقص كبير في النشاط الإحيائي للماء، ويسبب هذا تكاثر الجراثيم الضارة التي تعيش في بيئة لاهوائية.

(تابع) الوثيقة 6: تلوث المياه المالحة:

وتعد حوادث ناقلات النفط من أخطر مصادر تلوث مياه البحار والمحيطات، إذ يتدفق النفط مشكلا بقعة سوداء تزيد مساحة انتشارها بتوالي الأيام. تعتبر هذه الحوادث كوارث بيئية حقيقية إذ تقضي على أعداد هائلة من الأسماك والطيور والمحار والطحالب البحرية.

استخرج من خلال هذا النص مصادر تلوث المياه المالحة.

تتلوث البحار و المحيطات أساسا عن طريق:

★ النفط ومشتقاته: ويرتبط هذا النوع من التلوث بنشاط النقل البحري سواء من خلال حوادث ناقلات البترول وتحطمها، أو عند تنظيف خزانات الناقلات المارة من المخلفات والنفايات البترولية. أو خلال التنقيب عن النفط في أعالي البحار.

★ المياه العادمة المنزلية والصناعية: التي تصب مباشرة على الشواطئ أو تصل عبر الأنهار.

★ استعمال المبيدات الكيماوية والأسمدة التي تصبها الأنهار في البحار والمحيطات.

ج- تلوث التربة:

★ تأثير النشاط الفلاحي والصناعي على التربة. (أنظر الوثيقة 7)

الوثيقة 7: تأثير النشاط الفلاحي والصناعي على التربة.

تستعمل الأسمدة في الميدان الفلاحي للرفع من الإنتاج الزراعي، والمبيدات للقضاء على المتعضيات الضارة. إلا أن الكميات غير المستعملة من طرف النبات تمكث في التربة وتضير مصدر تلوث، إذ تحتوي على معادن ثقيلة كالزرنيخ والكادميوم والكروم والكوبالت والنحاس والرصاص والزئبق والموليبدان والنيكل والسلينيوم والزنك (أنظر الجدول)، وهي مواد ضرورية بالنسبة للنباتات والحيوانات بكميات قليلة، لكنها تصبح سامة إذا كانت بكميات كبيرة.

السماد	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
الفوسفات الثلاثي	9	5	92	3	36	3	108
البولة	<0.1	<1	<3	<0.4	<1	<3	< 1
كلورور البوتاسيوم	<0.1	<2	<3	<0.6	<4	<3	< 1
الجير الفلاحي	<0.1	<1	<3	<0.2	<5	<3	< 2
روث البهائم	1	6	56	62	29	16	71

من خلال معطيات هذه الوثيقة، بين أين تتجلى خطورة استعمال الأسمدة والمبيدات، واقترح تدبيرا للتقليص من حجم هذا المشكل.

تتمثل خطورة الأسمدة في استعمالها بإفراط في المجال الفلاحي، حيث تتضمن الأسمدة، بالإضافة إلى الأملاح المعدنية كميات من المعادن الثقيلة، يستعمل بعضها من طرف الزراعات، لكن الكميات غير الممتصة تمكث في التربة فتلوثها، كما يمكن أن تنقل بمياه السيلان أو مياه الترشيح إلى المياه الجوفية والمياه السطحية فتسبب تلوثها.

للتخفيف من مشكل تلوث التربة والمياه بالمبيدات والأسمدة، يلزم استعمالها بمقادير مضبوطة، ولن يتأتى ذلك إلا بتحسيس وتوعية الفلاحين المستعملين لهذه المواد بخطورتها وكيفية استعمالها.

★ تأثير التلوث الصناعي على التربة. (أنظر الوثيقة 8)

الوثيقة 8: تأثير التلوث الصناعي على التربة:

تتلقى التربة ملايين الأطنان من أوكسيدات الكبريت والازوت عن طريق الأمطار الحمضية التي تكون سببا في ارتفاع حمضية التربة. ويعتبر pH التربة عاملا محددا لنمو العديد من النباتات، إذ أن ارتفاع حمضية التربة ينقص من قدرة النباتات على امتصاص الماء والأملاح المعدنية الضرورية لحياة ونمو النباتات.

يعطي الجدول التالي حدود تحمل بعض النباتات لتغير pH.

(تابع) الوثيقة 8: تأثير التلوث الصناعي على التربة:

المزروعات	حدود تحمل قيمة pH
القمح	$6 \leq pH \leq 7$
الفصة	$6.4 \leq pH \leq 7$
الخرطال	$5.8 \leq pH \leq 7$
الذرة	$6 \leq pH \leq 7$
بطاطس	$5.2 \leq pH \leq 6.2$

قارن بين حدود تحمل مختلف النباتات لحمضية التربة، واستنتج تأثير الأمطار الحمضية على التربة ومتعضياتها.

تختلف قدرة تحمل المزروعات للحمضية، لكن على العموم، تلزم النباتات pH محايد إلى حمضية خفيفة.

تؤدي الأمطار الحمضية إلى ارتفاع حمضية التربة، وهو ما يؤثر سلبا على النباتات، إذ يتوقف امتصاصها للأملاح المعدنية والماء مما يؤدي إلى موتها.

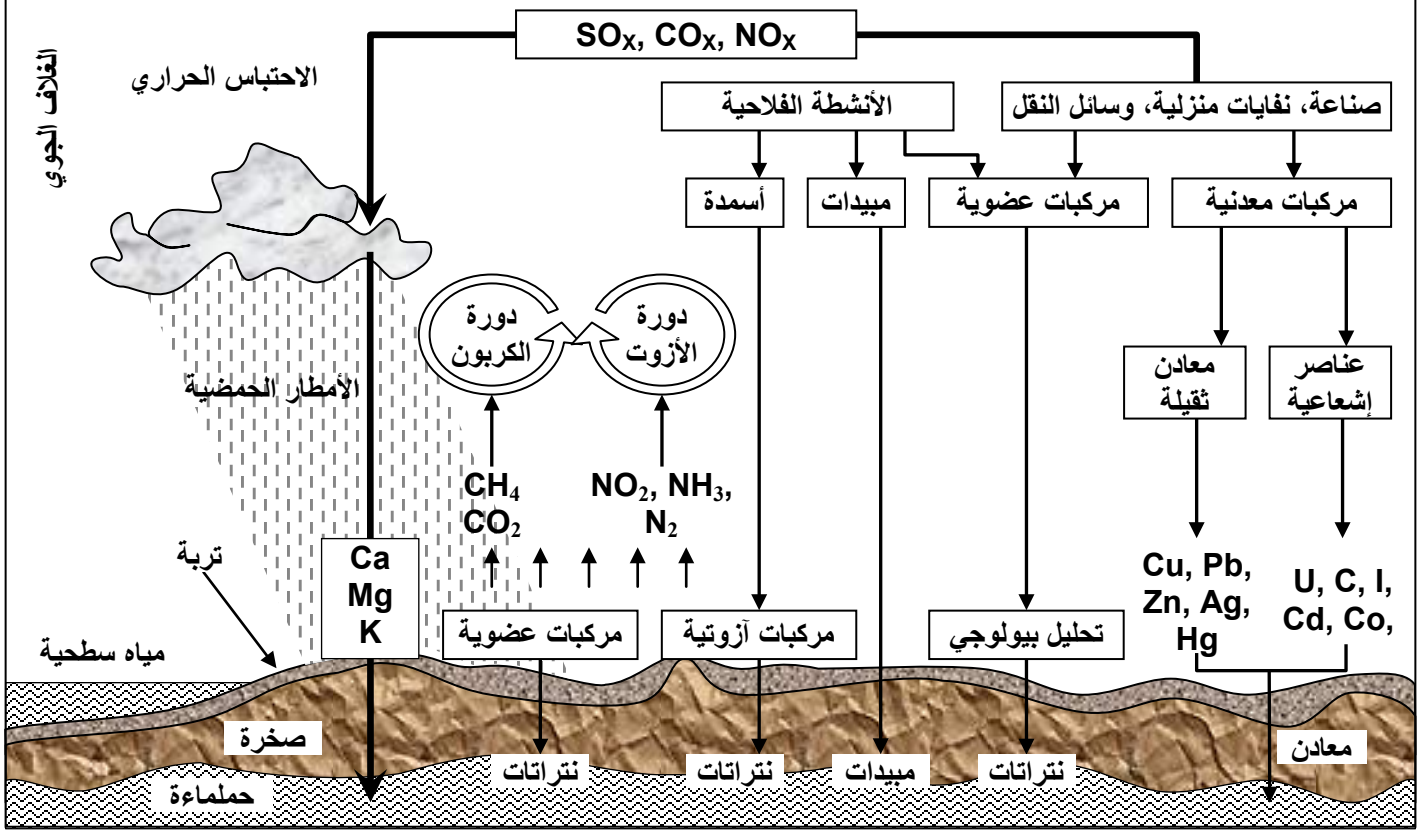
★ مصادر أخرى تتسبب في تلوث التربة:

مياه الصرف الصحي وطرح النفايات بشكل عشوائي والصادران عن الاستعمالات المنزلية والصناعية.

العناصر الإشعاعية النشاط الصادرة عن النشاط الصناعي.

★ دور التربة كوسيط لنقل الملوثات بين مختلف الأوساط. (أنظر الوثيقة 9)

الوثيقة 9: دور التربة كوسيط لنقل الملوثات بين مختلف الأوساط



تتموضع التربة بين الغلاف الجوي والمياه السطحية والمياه الجوفية، وتشكل الدعامة المباشرة للحميلات البيئية الطبيعية وأنشطة الإنسان. يترتب عن ذلك أنها تستقبل كل الملوثات الطبيعية أو الناجمة عن أنشطة الإنسان. فتعمل على نقلها إلى المياه السطحية عن (طريق الجريان) والمياه الجوفية (بواسطة الغسل) أو تراكمها. تهدم التربة بعض العناصر الضارة وتحولها إلى مواد غير سامة للكائنات الحية وغير ملوثة للمياه الجوفية، إلا أن هذه الأدوار جد محدودة بالنسبة للتلوث المرتبط بأنشطة الإنسان.

II – آثار التلوث على الصحة والبيئة والاقتصاد.

① آثار التلوث على الصحة. (أنظر الوثيقة 10)

الوثيقة 10: آثار التلوث على الصحة.

حلل معطيات الوثيقة مبينا تأثير مختلف الملوثات في صحة الإنسان.

نوع الملوث	آثاره على صحة الإنسان
ثنائي أوكسيد الكبريت SO_2	غاز مهيج يتسبب في أزمات تنفسية عند الأشخاص المصابين بالربو، وفي عسر تنفسي عند الأطفال.
أحادي أوكسيد الكربون CO	يرتبط بجزيئات الخضاب الدموي مما يؤدي إلى نقص في إيصال الأوكسجين إلى الجهاز العصبي. ويعتبر غازا ساما ومميتا في حالة التعرض لجرعات كبيرة منه.
الديوكسين	تؤثر على الجهاز المناعي والعصبي والهرموني، تسبب السرطان.
الجزيئات العالقة	تتسرب الجزيئات الدقيقة داخل المسالك التنفسية (القصبات والأسناخ). ويمكنها أن تحمل مواد سامة أو مسببة للسرطان.
المعادن الثقيلة	- الرصاص يعرقل تكون الخضاب الدموي ويؤثر في الجهاز العصبي. - الكادميوم يسبب اضطرابات هضمية ودموية وكلوية وقد يؤدي إلى الموت أحيانا. - النيكل يسبب التهابات المسالك التنفسية. - الزرنيخ يعتبر سما بالنسبة للخلايا، ويصيب أعضاء الجهاز الهضمي خاصة الكبد.

★ تؤثر الغازات اوكسيدات الكبريت اوكسيدات الأزوت أحادي أكسيد الكربون الأوزون المنخفض بشكل أساسي على الجهاز التنفسي والقلبي. كما أن بعض المواد كالديوكسين تؤثر على الجهاز المناعي والعصبي والهرموني، وتسبب السرطان.

★ انخفاض سمك طبقة الأوزون بنسبة 1% يؤدي إلى ظهور 7000 سرطان جلدي سنويا في العالم.

تنتقل المعادن الثقيلة من التربة أو من الماء إلى النباتات، ثم تنتقل عبر حلقات السلاسل الغذائية، حيث يزيد تركيز هذه المواد وتتراكم عبر حلقات السلاسل الغذائية.

② آثار التلوث على البيئة. (أنظر الوثيقة 11)

الوثيقة 11: آثار التلوث على البيئة.

من خلال معطيات الوثيقة فسر كيفية حدوث ظاهرة التخاصب مبرزا تأثيرها في الحميلة البيئية.

تتلقى بعض البحيرات كمية كبيرة من الأسمدة الفلاحية والمواد العضوية للمياه العادمة. توفر هذه المواد تغذية مفرطة للطحالب التي تتكاثر بسرعة كبيرة على سطح الماء (التخاصب). فينجم عن ذلك حجب ضوء الشمس، وبالتالي توقف التركيب الضوئي في العمق، مما يؤدي إلى انخفاض نسبة الأوكسجين. تترسب المادة النباتية المنتجة في القعر ويؤدي تحللها الهوائي بفعل المتعضيات المجهرية إلى نفاذ الأوكسجين في العمق وظهور التخمر اللاهوائي المصاحب بتحرير مواد سامة (NH_4 , H_2S) تساهم في موت الحيوانات.

التخاصب: ظاهرة ناتجة عن تلوث الماء بالفوسفاط ونترات، حيث يغتني تغتني المياه بمواد اقتياتية (آزوت، فوسفور) تستهلكها بعض النباتات المائية لتتكاثر على السطح، مسببة حجب الضوء عن العمق وبالتالي نقصا في كمية الأوكسجين، وموت العديد من الحيوانات.

وهكذا فالتلوث يؤدي إلى تدهور الأوساط المائية، وتسمم النباتات والحيوانات وبالتالي تدهور الحميلات البيئية .

③ آثار التلوث على الاقتصاد.

يكلف التلوث اقتصاد الدول خسائر مادية كبيرة وذلك باعتبار:

★ مصاريف علاج مرضى التلوث، وضياع أيام العمل.

★ ارتفاع تكاليف معالجة المياه، وفقدان الثروة الحيوانية المائية.
★ فقدان القيمة الإنتاجية للأراضي الزراعية.
★ التأثير على النشاط السياحي الشاطئي...

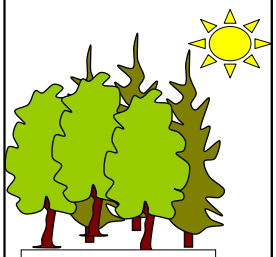
III – مصادر الطاقة البديلة.

① بدائل استهلاك المواد الطاقية ذات أصل بيوكيميائي. (أنظر الوثيقة 12 - ❶)

الوثيقة 12: بدائل استهلاك المواد الطاقية واستعمال المواد العضوية وغير العضوية.

تعطي هذه الوثيقة أهم بدائل استعمال المواد العضوية وغير العضوية ، قارن مختلف مصادر الطاقة وعلاقتها بالتلوث البيئي.

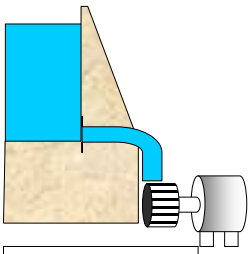
❶



الوقود البيولوجي

يمكن اندفاع المياه في السدود أو المجاري المائية أو المياه المتحركة خلال المد والجزر، من إنتاج كميات كبيرة من الكهرباء دون الإضرار بالبيئة. وتولد هذه الطاقة بشكل مستمر ومتواصل بمعدل 24 ساعة في اليوم.

❷



الطاقة المائية

يؤمن هكتار من الحبوب إنتاج 30hl من الكحول الايتيلي وامتصاص ثنائي أوكسيد الكربون المطروح من ثلاث سيارات. ينتج عن تعويض طن من البنزين بطن من الكحول الايتيلي انخفاض طرح 75 % من الغازات المسببة للاحتباس الحراري.

★ الايثانول C_2H_5OH (الكحول الايثيلي) Bioéthanol، يتم الحصول عليه من خلال تخمر السكريات النباتية المتواجدة في بعض النباتات كالحبوب (قمح، ذرة، أرز ...)، قصب السكر، نوار الشمس، ...
مزايا الوقود البيولوجي : نسبة النفايات والتلوث بصفة عامة ضعيفة جدا.
★ الزيوت النباتية : يتم الحصول عليها من خلال استخلاص مباشر من النباتات الزيتية،مثل زيوت الذرة أو الصوجا أو نوار الشمس. فتستعمل ك تستعمل كوقود بيولوجي.
★ غاز الميتان : تخمرات المادة العضوية المتواجدة ب النفايات المنزلية، بواسطة بكتيريات حي لاهوائية.

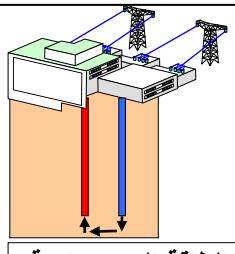
② بدائل استهلاك المواد الطاقية ذات أصل فيزيائي.

أ- الطاقة المائية: Energie Hydraulique (أنظر الوثيقة 12 - ❷)

تحتوي المياه المتحرّكة على مخزون ضخم من الطاقة الطبيعيّة، تمكن من إنتاج كميات كبيرة من الكهرباء دون الإضرار بالبيئة. وخلافاً للطاقة الشمسيّة أو طاقة الرياح، يمكن للمياه أن تولّد الطاقة بشكل مستمر ومتواصل، بمعدّل 24 ساعة في اليوم.

ب- الطاقة الجيوحرارية: Energie Géothermique (أنظر الوثيقة 12 - ❸)

❸

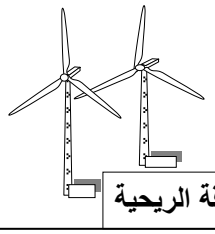


الطاقة الجيوحرارية

تحتوي الأرض على حرارة طبيعية مخزونة يمكن استغلالها. وقد أنشئت محطات للطاقة الجيوحرارية تضخ الماء الساخن إلى السطح وتحوله إلى حرارة وكهرباء. وفي حالات أخرى, يتم استخراج الحرارة من جوف الأرض بضخ الماء العادي نزولاً من خلال ثقب إلى الطبقات الصخرية الحارة ، ومنها صعوداً كتيار بالغ السخونة. وتعتبر الطاقة الجيوحرارية من أكثر المصادر إنتاجية للطاقة المتجددة.

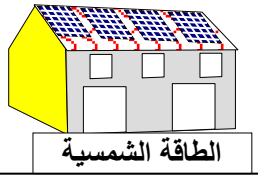
تحتوي الأرض على حرارة طبيعية مخزونة يمكن استغلالها وتحويلها إلى حرارة وكهرباء. وتعتبر من أكثر المصادر إنتاجية للطاقة المتجددة.

ج- الطاقة الريحية: Energie Eolienne (أنظر الوثيقة 12 - ❹)

❹  الطاقة الريحية	عندما تهب الرياح على المراوح الهوائية تنتج هذه الأخيرة الطاقة الكهربائية، إذ يتم تحويل طاقة الريح إلى كهرباء بواسطة مولدات عملاقة. وهي المصدر الأسرع نمواً لتوليد الكهرباء في العالم. فقد قفزت الطاقة الإنتاجية بنسبة 26 في المائة عام 2003, متجاوزة الطاقة الشمسية وطاقة المد والجزر.

تعتمد على استعمال نظام من المراوح الهوائية تحول طاقة الريح إلى كهرباء. واستعمال هذه التقنية هي في تزايد حيث تعتبر مصدرا للطاقة النظيفة.

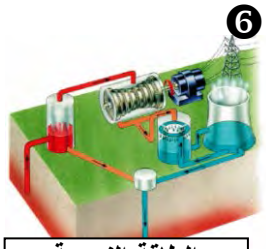
د- الطاقة الشمسية: Energie Solaire (أنظر الوثيقة 12 - ❺)

❺  الطاقة الشمسية	تصدر الطاقة الشمسية تفاعلات الانصهار النووي الحراري في الشمس، وتنتشر في الفضاء على شكل كمات تسمى الفوتونات. يمكن استغلال هذه الطاقة باعتماد لاقطات شمسية تلتقط حرارة الأشعة تحت الحمراء لإنتاج طاقة كهربائية.

يتم استعمال لوحات شمسية ذات مستقبلات تلتقط الأشعة الشمسية لتحولها بطريقتين:
- تحويل الإشعاع الشمسي مباشرة إلى طاقة كهربائية بوساطة الخلايا الشمسية.
- تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات (الأطباق) الشمسية.

تمكن الطاقة الشمسية من توفير 2700 ميغاواط من الكهرباء كل سنة خلال ساعات الذروة، وتجنب انبعاث 50 مليون طن من CO_2 علماً أن كل ميغاواط يؤمن الحاجة الطاقية لنحو 1000 منزل.

ه- الطاقة النووية: Energie nucléaire (أنظر الوثيقة 12 - ❻)

❻  الطاقة النووية	تعمل هذه المحطات على الانشطار النووي، حيث تنشأ عن هذه العملية تفاعل متسلسل لا ينتهي إلا بتحويل المادة القابلة للانشطار إلى مواد جديدة وإطلاق كمية كبيرة من الطاقة.رغم أن هذه التقنية لا تساهم مباشرة في تلويث الجو إلا أنها تعاني من مشكل البقايا المشعة التي تشكل خطرا على الإنسان.ويمثل استهلاك الطاقة النووية 6 في المائة من مجموع استهلاك العالمي.

تعمل المحطات النووية على الانشطار النووي، الذي يصدر كمية كبيرة من الطاقة. رغم أن هذهالتقنية لا تلوث الجو مباشرة، إلا أنها تطرح مشكل البقايا المشعة والتسربات الناتجة عن حوادث المحطات النووية.

الوحدة الثالثة، الفصل الثالث:
المواد المشعة والطاقة النووية

تمهيد:

تعتمد الطاقة النووية على استغلال النشاط الإشعاعي لبعض المواد كالاورانيوم والتي تحرر كمية كبيرة من الطاقة يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية قابلة للاستغلال من طرف الإنسان. وعلى الرغم من مزايا الطاقة النووية والمواد المشعة، إلا أن لها عدة مخاطر على الإنسان والبيئة.

- **فما هي المواد المشعة وما مزاياها؟**
- **ما هي أخطار التلوث النووي والنفايات النووية؟**
- **ما هي البدائل البيئية للطاقة النووية؟**

I – المواد الإشعاعية النشاط.

① اكتشاف النشاط الإشعاعي: أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: اكتشاف النشاط الإشعاعي.

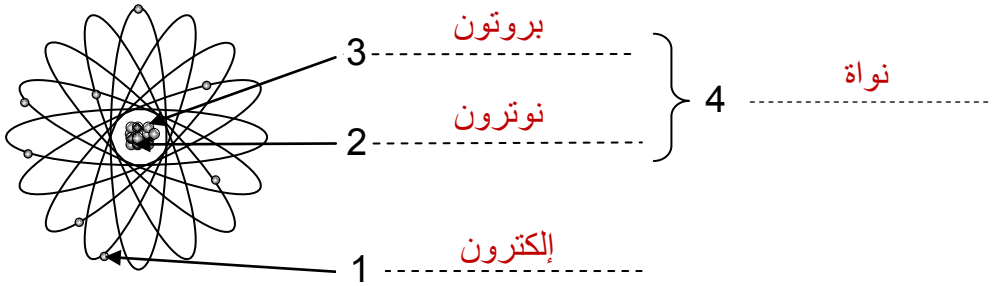
وضع Henri Becquerel (الشكل ❶) سنة 1896 مواد تحتوي على مادة الأورانيوم على صفيحة فوتوغرافية ملفوفة بورق أسود سميك، وحفظ التحضير في مكان مظلم. بعد أيام لاحظ آثارا على الصفيحة الفوتوغرافية (الشكل ❷).

ماذا تستخلص من ملاحظات H. Becquerel؟

لقد اكتشف H. Becquerel أن بعض المواد تتميز بنشاط إشعاعي، أي أنها تصدر إشعاعات قادرة على اختراق المادة.

② مكونات الذرة: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: بنية الذرة. بعد إعطائك الأسماء المناسبة لعناصر الوثيقة، أعط تعريفا للذرة.



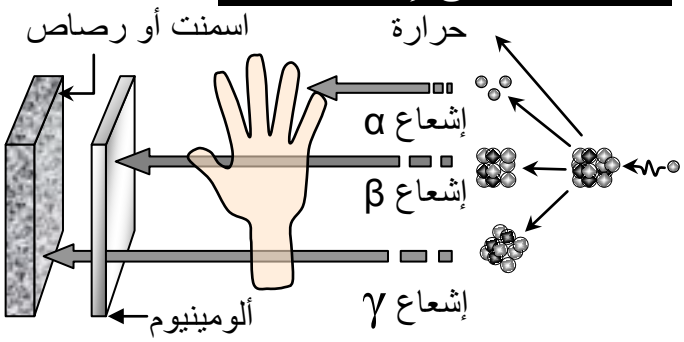
تتكون المواد من ذرات كل ذرة يوجد في وسطها منطقة صغيرة جداً وكثيفة موجبة الشحنة تسمى النواة. تحتوي النواة على بروتونات موجبة الشحنة، ونوترونات متعادلة الشحنة. وتحيط بالنواة إلكترونات، ذات شحنة سالبة.
يكون الفرق بين ذرات عنصر ما وذرات عنصر آخر بعدد البروتونات (أو عدد الإلكترونات) التي تحتويها كل ذرة. أما عدد النوترونات فيمكن أن يختلف حتى في ذرات العنصر الواحد ويشكل ما يعرف بنظائر العنصر. حيث تسمي ذرات العنصر الواحد التي تختلف في عدد النوترونات بالنظائر Isotopes. ويطلق على عدد البروتونات والنوترونات المكونة لنواة الذرة بعدد الكتلة A .

③ الإشعاعات المنبعثة من المواد المشعة: أنظر الوثيقة 3.

عندما تكون النواة غير مستقرة تتفتت إلى نواة أكثر استقرارا مع انبعاث دقائق تكون إشعاعات، وتنقسم الإشعاعات إلى ثلاثة أنواع:

- ★ الإشعاعات α: هي نويدات الهليوم He ويمكن توقيفها بواسطة ورقة عادية.
- ★ الإشعاعات β: إما الكترونات أو بوزيترونات وهي أكثر طاقة وتحتاج ورقة من الألومنيوم بسمك 6mm لتوقيفها.
- ★ الإشعاعات γ: هي فوتونات عالية الطاقة لها سرعة الضوء وتتطلب حائطا من الاسمنت أو الرصاص لتوقيفها.

الوثيقة 3: اختراق الإشعاعات للمادة.



④ بعض خاصيات المواد الإشعاعية:

أ- التناقص الإشعاعي: أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: التناقص الإشعاعي.

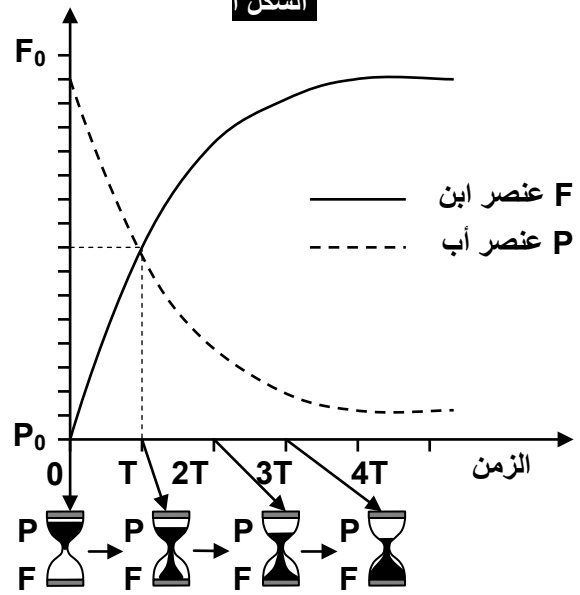
تصدر الإشعاعات α وβ وγ عن النويدات الإشعاعية النشاط (الأم) التي تتفتت تدريجيا لتعطي نويدات جديدة (بنت) ويتناقص عدد النويدات المشعة مع مرور الزمن، وتستمر عملية التفتت حتى الحصول على نويدة مستقرة وغير مشعة.

يسمى عمر النصف لنويدة مشعة المدة الزمنية T اللازمة لتفتت نصف نويدات العينة الشكل أ.

يعطي الشكل ب عمر النصف لبعض العناصر الكيميائية الإشعاعية النشاط.

بين تأثير التناقص الإشعاعي في تطور العناصر الإشعاعية النشاط. اربط العلاقة بين هذا التطور وانبعاث الإشعاعات أثناء التفتت.

الشكل أ

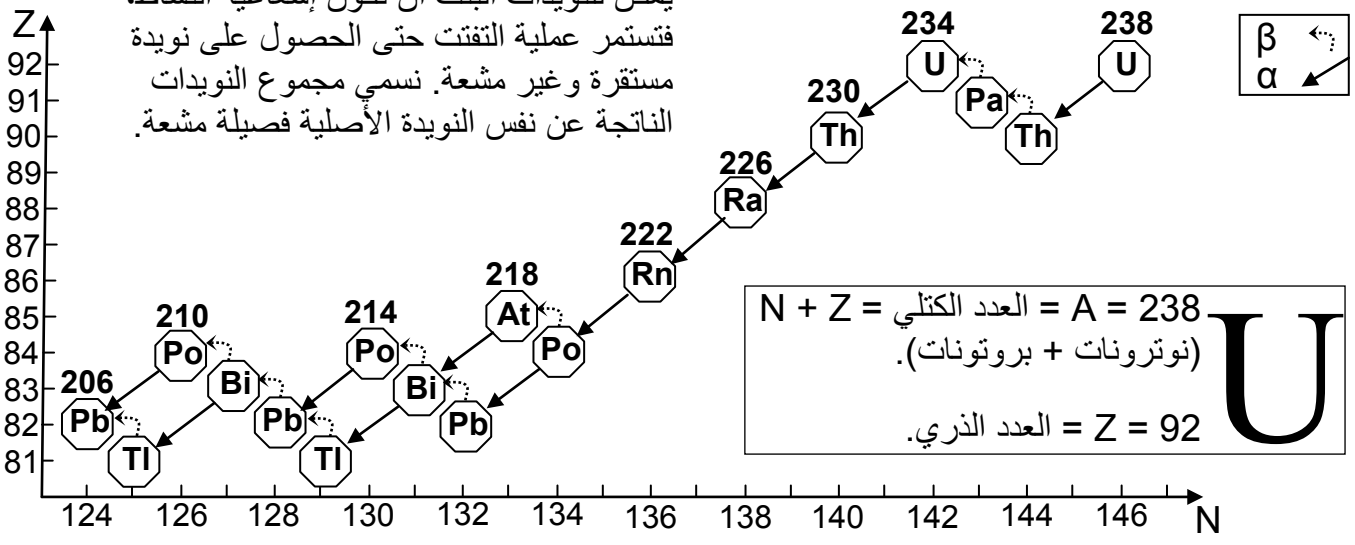


الشكل ب

النظير	عمر النصف
^{72}Ti	0.2 ثانية
^{131}I	8.04 ثانية
^{39}Ar	269 سنة
^{14}C	5730 سنة
^{238}U	$4.46.10^{9}$
^{90}Th	$1.4.10^{10}$

الشكل ج

يمكن للنويدات البنت أن تكون إشعاعية النشاط، فتستمر عملية التفتت حتى الحصول على نويدة مستقرة وغير مشعة. نسمي مجموع النويدات الناتجة عن نفس النويدة الأصلية فصيلة مشعة.



$^{238}_{92}U$: A = 238 = العدد الكتلي = N + Z (نوترونات + بروتونات).

Z = 92 = العدد الذري.

تتفتت تدريجيا النويدات الإشعاعية النشاط (الأم) لتعطي نويدات جديدة (بنت) ويتناقص عدد النويدات مع مرور الزمن وتستمر عملية التفتت حتى الحصول على نويدة مستقرة وغير مشعة، نسمي مجموع النويدات الناتجة عن النويدة الأصلية فصيلة مشعة. مثال الفصيلة المشعة للأورانيوم .
يسمى عمر النصف لنويدة مشعة، المدة الزمنية T اللازمة لتفتت نصف نويدات العينة.

ب- الانشطار النووي:

تتم تفاعلات الانشطار النووي في المفاعلات النووية، وذلك بقذف نويدة (غالبا الأورانيوم) بنوترونات حرارية. ويصاحب هذا الانشطار انبعاث إشعاعات (نوترونات) . و إذا كانت ذرات أخرى بجانب الذرات المنشطرة فان النوترونات المحررة تسبب انشطارات أخرى تساهم في تفاعل متسلسل، وهو ما يؤدي إلى ارتفاع كبير في درجة الحرارة، يمكن الاستفادة منها في إنتاج الطاقة الكهربائية.

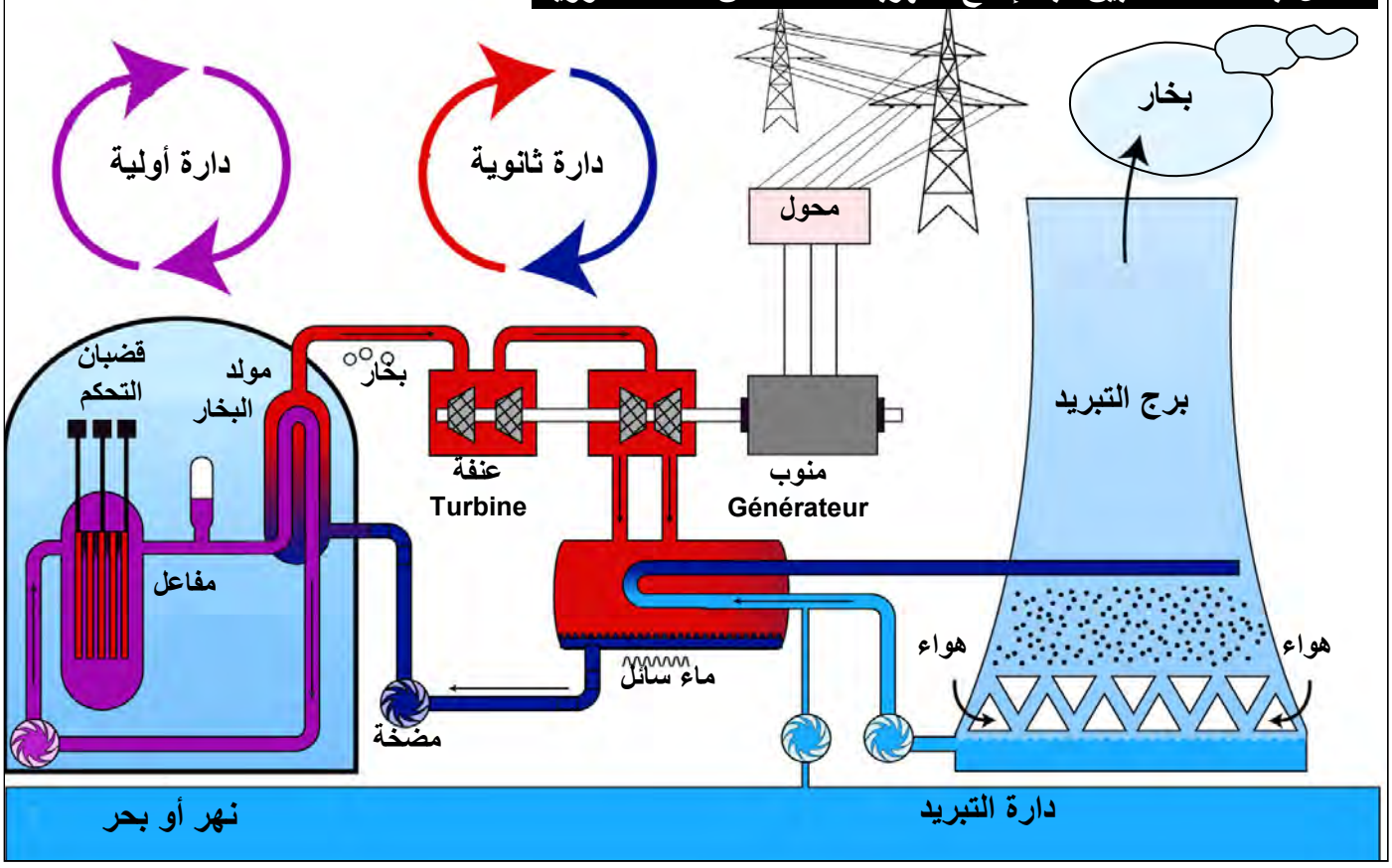
II – مزايا المواد الإشعاعية النشاط.

① توظيف المواد المشعة في إنتاج الطاقة: أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: توظيف المواد المشعة في إنتاج الكهرباء.

لقد أصبحت الطاقة النووية مصدرا مهما للكهرباء في العالم حيث تستجيب لنحو 17% من الطلب العالمي. وتوجد حاليا زهاء 400 محطة نووية وظيفية عبر العالم.
الشكل أ: مدخنات أحد المفاعلات النووية.
الشكل ب: خطاطة تبين مبدأ إنتاج الكهرباء انطلاقا من الطاقة النووية.
انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة فسر كيفية إنتاج الطاقة الكهربائية باستعمال الطاقة النووية.

الشكل ب : خطاطة تبين مبدأ إنتاج الكهرباء انطلاقا من الطاقة النووية.



تعتمد المحطات النووية على الانشطار النووي، حيث تنشأ عن هذه العملية تفاعل متسلسل لا ينتهي إلا بتحويل المادة القابلة للانشطار إلى مواد جديدة وإطلاق كمية كبيرة من الطاقة على شكل طاقة حرارية تمكن من توليد بخار انطلاقا من الدارة الثانوية، حيث يمكن البخار من دوران عنفة منوب لتوليد الطاقة الكهربائية. ويتم التحكم في مختلف التفاعلات بواسطة قضبان التحكم التي تمتص النوترونات الناتجة عن الانشطار.

② توظيف المواد المشعة في تأريخ المواد: أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: التأريخ باستعمال الكربون ^{14}C.

تتكون نوى الكربون ^{14}C في الطبقات العليا نتيجة تأثير النوترونات الفضائية في الأزوت ^{14}N.

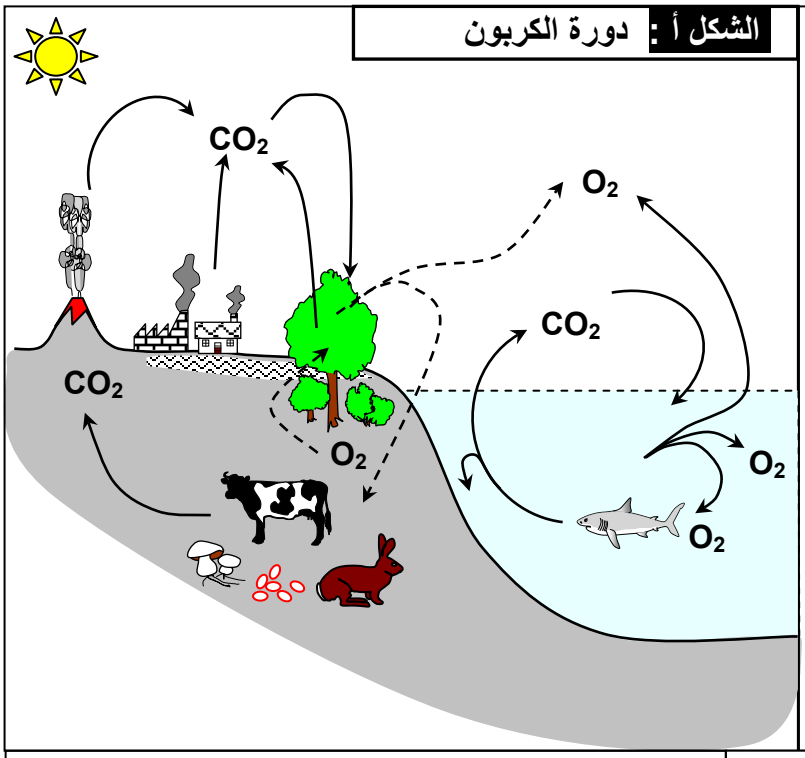
$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{14}_{7}C + ^{1}_{1}H$$

تمتص المتعضيات ^{12}C و^{14}C على شكل ثنائي أكسيد الكربون (الشكل أ)، وعند موتها يتوقف الامتصاص ويتناقص ^{14}C الموجود فيها بفعل التفتت (الشكل ب).

علما أن عمر النصف للكربون ^{14}C هو 5730 سنة، وبمقارنة النشاط الإشعاعي a المتبقي في المتعضي مع النشاط a_0 لمتعضي حي من نفس الفصيلة، يمكن معرفة تاريخ موت المتعضي.

تمكن العناصر الإشعاعية النشاط من التحديد الدقيق لعمر الصخور كذلك.

الشكل أ: دورة الكربون

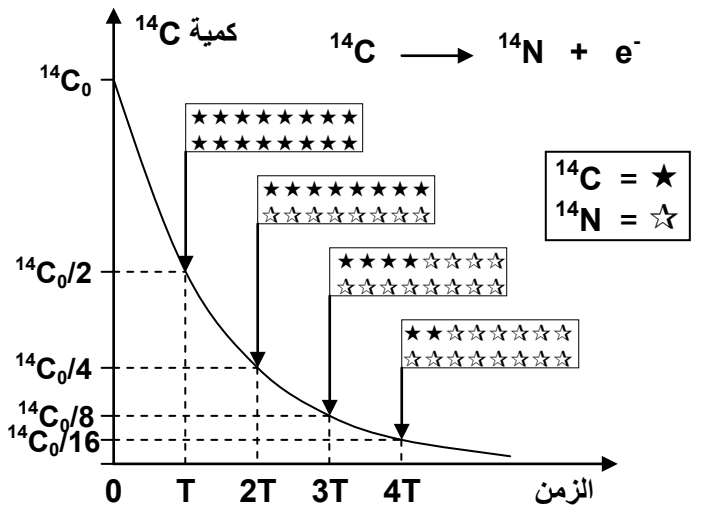


الشكل ب: تغير كمية ^{14}C الذي يتفتت إلى ^{14}N.

عندما يموت كائن حي ينغلق نظامه البيولوجي حيث يتوقف تبادل المواد مع الوسط الخارجي، وهكذا وخلال كل 5730 سنة يتحول نصف ذرات ^{14}C إلى ^{14}N.

يبين المبيان أمامه تغير كمية ^{14}C الذي يتفتت إلى ^{14}N.

باستثمار معطيات الوثيقة، بين أهمية المواد ذات النشاط الإشعاعي في تأريخ بعض الأجسام.



- يسمح التناقص الإشعاعي لبعض العناصر المشعة الموجودة في الكائنات الحية أو الصخور بتأريخها، وذلك بمقارنة النشاط الإشعاعي المتبقي في العينة المراد تأريخها، مع قياس النشاط الإشعاعي لعينة شاهدة من نفس الطبيعة.
- يتم الاعتماد على الكربون 14، عندما يتعلق الأمر بمدة لا تزيد عن 40000 سنة، لأن عمر النصف للكربون 14 هو 5730 سنة.
- يتم الاعتماد على الأورانيوم عندما يتعلق الأمر بمدة طويلة جدا مثل تأريخ الصخور.

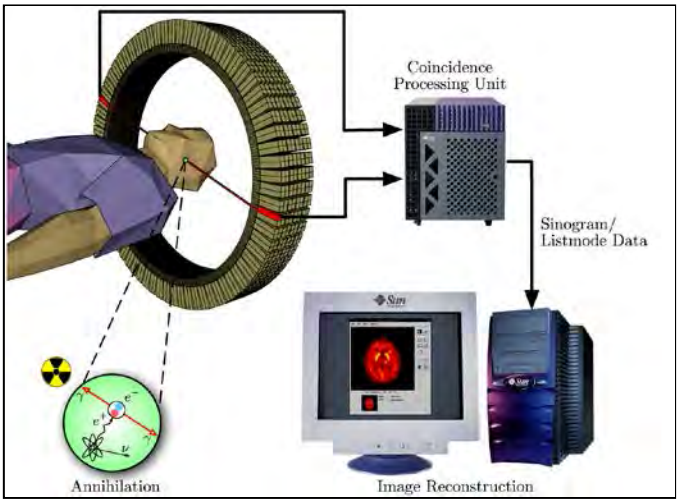
③ توظيف المواد المشعة في الميدان الصناعي والطبي: أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: استعمالات أخرى للمواد الإشعاعية النشاط.

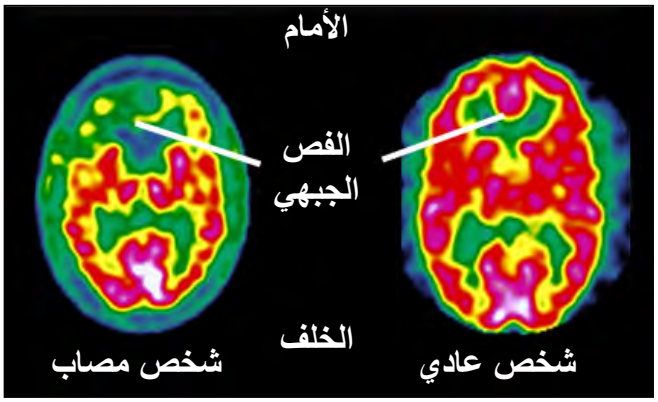
❖ في الميدان الزراعي والصناعات الغذائية:
- تستعمل الإشعاعات γ وأشعة X في تعقيم المواد الغذائية وتمديد مدة حفظها (مثل التوابل). وذلك بمنع تكاثر الجراثيم والحشرات، وكبح إنبات البذور وزيادة مقاومتها للأمراض والطفيليات.
- تستعمل المواد المشعة لتتبع امتصاص بعض العناصر المعدنية ومسارها داخل النبات.

❖ في الميدان الطبي والبحث العلمي:
- يستعمل الايسام بواسطة مواد إشعاعية النشاط لتتبع بعض الجزيئات داخل الخلايا أو الكائن الحي.
- نستعمل الإشعاعات في تشخيص الأمراض وعلاج البعض منها (مثلا السرطان).
- تستعمل المواد المشعة لتعقيم الأدوات الطبية والتي يصعب تعقيمها بواسطة الحرارة أو المواد الكيميائية.

❖ في الميدان الصناعي:
- نستعمل الإشعاعات في الكشف عن العيوب الصناعية، وتقنيات اختبار الجودة.
- نستعمل المواد المشعة كذلك في الصناعات الحربية.



Scintigraphie cérébrale



أ- التعقيم والحفاظ على الأغذية:

تستعمل الإشعاعات γ و β من أجل:
- تعقيم المواد الغذائية المعلبة وتمديد مدة حفظها.
- كبح إنبات البذور وزيادة مقاومتها للأمراض والطفيليات.
- تعقيم الأدوات والوسائل الطبية، والتي يصعب تعقيمها بواسطة الحرارة أو المواد الكيميائية.

ب- في المجال الطبي:

تستعمل الإشعاعات في:
- التصوير الطبي La scintigraphie من أجل الفحص وتشخيص الأمراض:
يحقن المريض بكميات ضئيلة من مادة إشعاعية النشاط لتثبت على العضو المستهدف. وبواسطة كاميرا خاصة يمكن استقبال الإشعاعات التي يرسلها العضو بشدة تختلف حسب شدة التثبيت التي تتغير حسب طبيعة وظيفة الخلايا. مثلا يستعمل اليود 131 المشع لفحص الغدة الدرقي.
- الفحص بأشعة X الشبيهة بالأشعة γ والتي لها قدرة اختراق عالية لاستكشاف الأعضاء الداخلية للجسم.
- في التحاليل النووية لقياس نسبة بعض المواد في الدم أو في بعض الأعضاء.
- العلاج بالأشعة La radiothérapie حيث تستعمل إشعاعات مؤينة عالية الطاقة لتدمير الخلايا السرطانية.

ج- في البحث العلمي:

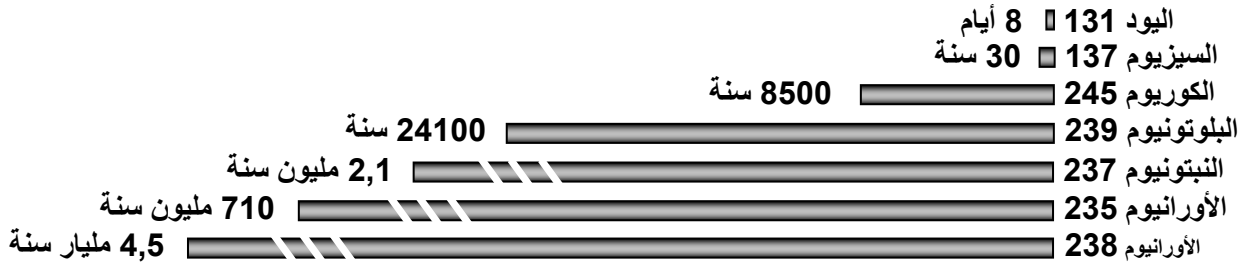
- استعمال الايسام الإشعاعي بواسطة مواد إشعاعية النشاط لتتبع مصير بعض الجزيئات داخل الخلايا.
- استعمال المواد الإشعاعية النشاط في مجال البحث الزراعي وذلك لإحداث التغير الوراثي عند بعض البذور أو النباتات للرفع من المردودية.

III – أخطار التلوث النووي.

① أخطار التلوث النووي على الصحة: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8:أخطار التلوث النووي. انطلاقا من المعطيات التالية، استخرج المظاهر السلبية للتلوث النووي على الصحة.

أ - تفقد العناصر التالية نصف نشاطها الإشعاعي خلال:



ب – لقياس النشاط الإشعاعي تستعمل الوحدات التالية:

- البيكيريل (Bq) Becquerel: عدد النوى التي تتفتت في الثانية بالنسبة لعينة إشعاعية النشاط.
- الغراي (Gy) Gray: كمية الإشعاع الممتصة من طرف متعض معرض للإشعاع (1Gy = 1j/Kg).
- السييفرت (Sv) Sievert: تعبر عن الآثار البيولوجية للإشعاعات على المتعضي.

ج – يتعرض جسم الإنسان إلى:

- الإشعاعات الطبيعية: إشعاعات فضائية (50mrem/an)، إشعاعات من القشرة الأرضية (50mrem/an)، ...
- الإشعاعات الاصطناعية: الفحص الطبي، الأجهزة الالكترونية كالتلفاز والساعات (2mrem/an)، الغبار الناتج عن التجارب النووية (1mrem/an)، ...

(1 mrem = 10^{-5} Sievert)

د – الآثار البيولوجية للإشعاعات النووية:

تؤثر الإشعاعات النووية بنقل طاقتها للجزيئات العضوية. وترتبط خطورة الإشعاع بنوع الإشعاع وشدته وطول المدة التي يتعرض لها الجسم لهذا الإشعاع النووي. (يجب أن لا يتعرض جسم الإنسان لأكثر من 50 mSv في اليوم). أنظر الجدول أمامه

جرعة الإشعاع ب mSv	الآثار الفورية
0 - 250	دون آثار ملحوظة
250 – 1000	تغير في عدد الخلايا الدموية
1000 – 3000	غثيان، تقيؤ، إعياء شديد
4500	موت في 50 % من الحالات

- تختلف فترة عمر النصف من عنصر إشعاعي لآخر، وقد تصل إلى 4.5 مليار سنة، إذن تتجلى خطورة النفايات النووية في المدة الزمنية الكبيرة اللازمة لاختفاء النشاط الإشعاعي.

- يتعرض الإنسان لإشعاعات من مصادر مختلفة (إشعاعات طبيعية، الفحص الطبي الإشعاعي، البحث العلمي، الحوادث النووية ...). ويؤثر الإشعاع على الأنسجة الحية بشكل كبير خصوصا على جزيئةADN التي تتلف نتيجة تعرضها لكمية كبيرة من الإشعاع، حيث يصعب على الخلية إصلاحها، وقد تحدث بذلك طفرات. كما أنها تؤدي إلى تشوهات خلقية عند تعرض المرأة الحامل للإشعاعات، ويمكن أن تتسبب في العقم.

② أخطار التلوث النووي على البيئة: أنظر الوثيقة 9.

الوثيقة 9: أخطار التلوث النووي.

في سنة 1996 وصل عدد المفاعلات النووية في العالم 437، يطرح كل مفاعل أثناء اشتغاله العادي عدة مواد إشعاعية النشاط: غازية عبر المدخنات، سائلة في الأنهار والبحار، وصلبة تتمثل في النفايات النووية.
في يوم السبت 26 أبريل من عام 1986 شهد العالم أكبر كارثة نووية، حيث وقع حادث في مفاعل الطاقة في مدينة تشرنوبيل في أوكرانيا، ونتج عنه تحطم المفاعل وقذف جزء من قلبه إلى المحيط الخارجي، مما أدى إلى توزيع سحابة إشعاعية النشاط على مجموع أوربا الغربية (الشكل أ).

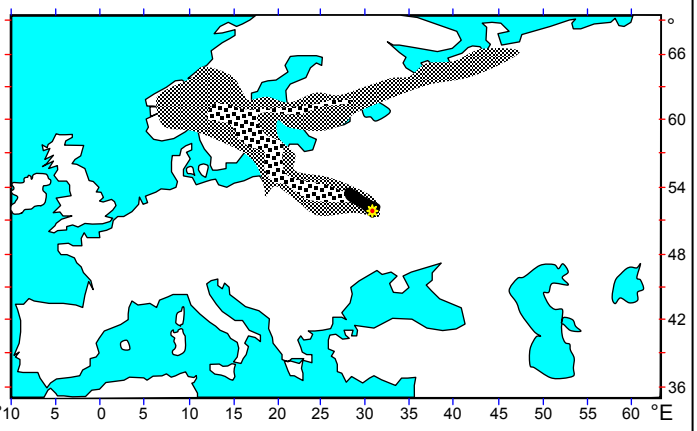
(تابع) الوثيقة 9: أخطار التلوث النووي.

الشكل أ:

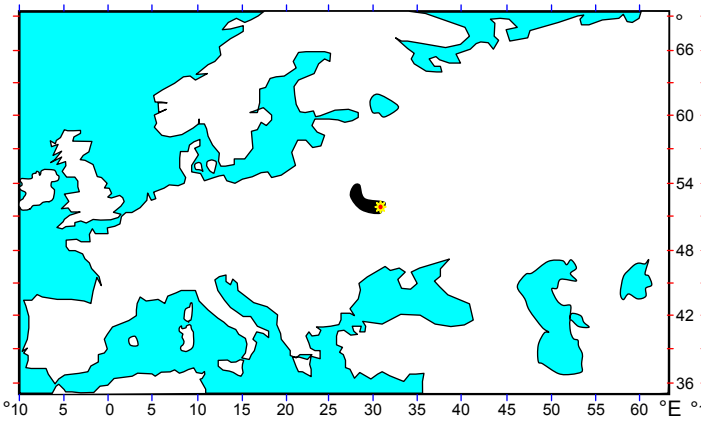
Tchernobyl

نسبة الإشعاع / m^3

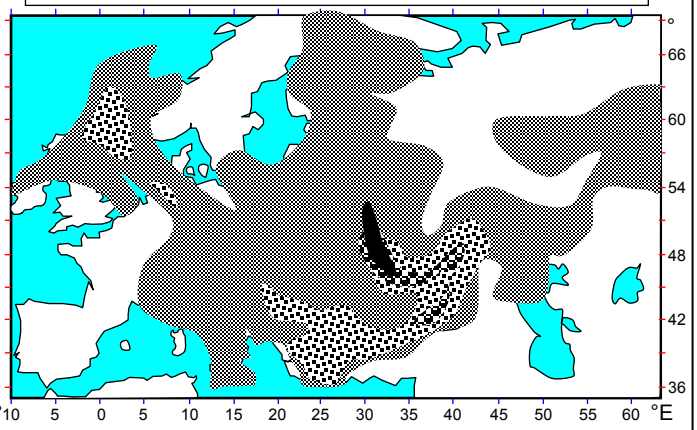
تطور الإشعاع في الهواء في 28 أبريل 1986



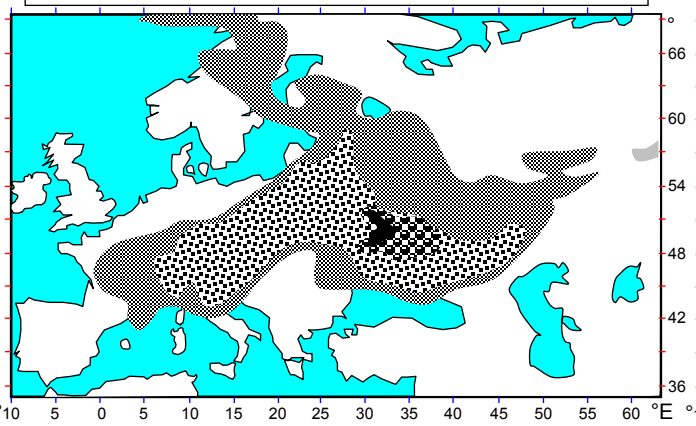
تطور الإشعاع في الهواء في 26 أبريل 1986



تطور الإشعاع في الهواء في 3 ماي 1986



تطور الإشعاع في الهواء في 1 ماي 1986

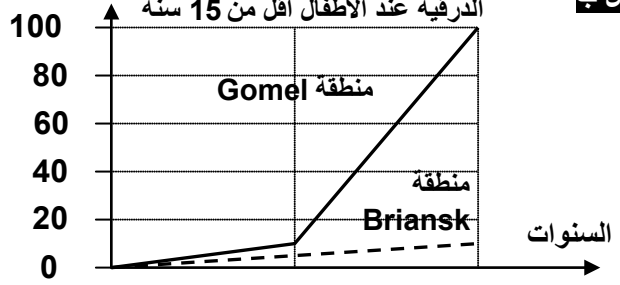


من بين العناصر الإشعاعية النشاط المطروحة: اليود 131 الذي يتراكم بالغدة الدرقية، مما يرفع من احتمال الإصابة بسرطان هذه الغدة (الشكل ب).

حلل معطيات الوثيقة واربط العلاقة بين تطور المرض في منطقة Gomel وحادثة تشرنوبيل.

الشكل ب

عدد حالات الإصابة بسرطان الغدة الدرقية عند الأطفال أقل من 15 سنة



ينتج عن نشاط المفاعلات النووية والتجارب النووية عدة مواد إشعاعية النشاط، غازية أو صلبة، يتم تحريرها في الجو والأنهار والبحار، فتؤدي إلى تلوث التربة والأوساط المائية، الشيء الذي يؤدي إلى تلوث مختلف الأوساط البيئية، حيث تنتقل هذه المواد إلى الكائنات الحية، وتتراكم عبر حلقات السلاسل الغذائية.

مثال: انفجار المفاعل النووي لتشرنوبيل بأوكرانيا، الذي أدى إلى كارثة صحية وبيئية واقتصادية وسياسية. تشكلت سحابة إشعاعية النشاط فوق موقع الانفجار، انتشرت بسرعة كبيرة بفعل الرياح إلى الدول المجاورة لتغطي مساحة شاسعة تقدر بآلاف الكيلومترات المربعة.

IV – إشكالية النفايات النووية والبدائل البيئية.

أبرز مشكل يواجه استعمال الطاقة النووية كمصدر للطاقة هو تدبير النفايات النووية الناتجة عن تشغيل المفاعلات النووية. فبقايا الوقود النووي تحتوي على عناصر إشعاعية النشاط، وانتهاء نشاطها الاشعاعي بواسطة التناقص الإشعاعي يتطلب مدة زمنية طويلة قد تتطلب ملايين السنين.

① تصنيف النفايات النووية:

تشكل النفايات النووية كل مادة إشعاعية النشاط، أصبحت غير قابلة لإعادة الاستعمال ويجب التخلص منها. وتصنف حسب مدة ومستوى نشاطها الإشعاعي إلى:

- الصنف TFA (Très faiblement actif): نفايات ذات نشاط ضعيف جدا، ناتجة عن تفكيك المفاعلات النووية.
- الصنف A: نفايات ذات نشاط ضعيف إلى متوسط وعمر قصير، مصدرها معدات المختبرات، المستشفيات والصناعات.
- الصنف B: نفايات ذات نشاط ضعيف وعمر طويل، مصدرها معدات معالجة الأورانيوم في المحطات النووية.
- الصنف C: نفايات ذات نشاط مرتفع وعمر طويل يدوم آلاف أو ملايين السنين، مصدرها قلب المفاعل النووي.

② إشكالية تدبير النفايات النووية:

- النفايات ذات المستوى الإشعاعي المنخفض والعمر القصير: تخضع للمعالجة ثم تطرح في البيئة، حيث أن المعالجة ترتكز على تجميعها في أوعية من البلاستيك أو الزجاج، وتركها إلى أن ينخفض مستواها الإشعاعي إلى حد أقل من المستوى الإشعاعي الطبيعي. وإذا كانت ذات عمر طويل فإنها تخضع للمعالجة الكيميائية داخل خزانات لتخفيض مستواها الإشعاعي.
- النفايات ذات النشاط الإشعاعي المتوسط: تخضع للتعليب في قوالب من الاسمنت أو الحديد الصلب غير القابل للتأكسد، ثم تترك إلى أن ينخفض مستواها الإشعاعي إلى درجة تسمح بتصريفها في الوسط البيئي.
- النفايات ذات النشاط الإشعاعي المرتفع والخطير: تخضع للانصهار مع مواد زجاجية للحد من إمكانية تفاعلها مع المحيط البيئي، لتدفن في مواقع تخزين آمنة ومستقرة جيولوجيا، لمنع تسرب الإشعاعات.

③ إشكالية البدائل البيئية لتدبير النفايات النووية:

تعتبر الطاقة النووية أكثر كفاءة ومردودية، إلا أنها تطرح إشكالية في تدبير النفايات النووية. وهكذا فالطاقات المتجددة تعتبر بديلا للطاقة النووية، كالطاقة الكهرومائية، والطاقة الريحية، والطاقة الشمسية...
وتتميز هذه الطاقات البديلة بمردودية منخفضة، إلا أن التطور العلمي يمكن أن يرفع من مردوديتها حتى تساعد في تغطية الطلب العالمي المتزايد على الطاقة.

الوحدة الثالثة، الفصل الرابع:
مراقبة جودة وصحة الأوساط الطبيعية

تمهيد:

بسبب تنوع مصادر التلوث وارتفاع درجته، تم إيجاد طرق ومعايير لتحديد مدى جودة الأوساط الطبيعية.

- **فما هي هذه المعايير؟**

I – معايير قياس جودة الأوساط المائية.

تكون المياه السطحية والمياه الجوفية ومياه البحر موارد للماء الشروب، إلا أن هذه المياه غير صالحة للشرب لأنها تتعرض باستمرار للتلوث، حيث أن الماء الشروب هو ماء صاف، بدون لون ولا طعم ولا رائحة، خال من المتعضيات المجهرية الممرضة، وبدون تركيز مرتفع لمواد غير مرغوب فيها. وقد وضعت معايير صارمة لقياس مدى جودة هذه المياه وصلاحيتها للشرب.

① المعايير الفيزيائية - الكيميائية:

لتحديد مستوى جودة وسط مائي، يتم قياس بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذا الوسط. فالأوكسجين المذاب في الماء يعتبر كمؤشر على مدى تلوث المياه، لأنه يستهلك من طرف البكتيريا الحيهوائية التي تستعمله من أجل أكسدة المواد العضوية. ولهذا تم وضع معايير ترتكز على كمية الأوكسجين المذاب في الماء، وهذه المعايير هي: (أنظر الوثيقة10)

الوثيقة 10: المعايير الفيزيائية – الكيميائية لتقدير جودة مياه الوسط.

(Mg /l)	جيدة جدا	جيدة	متوسطة الجودة	رديئة	رديئة جدا
المواد العالقة	< 25	< 25	30 - 25	70 - 30	> 70
DBO5	أقل من 3	5 - 3	10 - 5	25 - 10	أكبر من 25
DCO	أقل من 20	25 - 20	40 - 25	80 - 40	أكبر من 80
الأمونيوم NH_4^+	أقل من 0.1	0.5 – 0.1	2 – 0.5	8 - 2	أكثر من 8
النيترات NO_3^-	أقل من 25	44 - 25	50 - 44	100 - 50	أكثر من 100
الكلور	أقل من 100	200 - 100	400 - 200	1000 - 400	أكثر من 1000
الفوسفور الكلي	أقل من 0.1	0.3 – 0.1	0.5 – 0.3	3 - 0.5	أكثر من 3
الأوكسجين المذاب	أكثر من 7	7 - 5	5 - 3	أقل من 3	أقل من 3
pH	6.5	7.5	8.5	9.5	أكبر من 10

- ❖ معيار DBO5: الطلب البيولوجي من الأوكسجين خلال 5 أيام، أي كمية الأوكسجين اللازمة لتحلل المواد العضوية المتوفرة في الماء من طرف البكتيريا خلال 5 أيام، في درجة حرارة 20 °C وفي الظلام.
- ❖ معيار DCO: الطلب الكيميائي من الأوكسجين، أي كمية الأوكسجين اللازمة للأكسدة الكيميائية لجميع المواد القابلة للتأكسد في الظروف السابقة. (مواد تتحلل من طرف البكتيريا بوجود الأوكسجين).
- ❖ معيار المادة القابلة للتأكسد MO:

$$MO = \frac{2DBO5 + DCO}{2}$$

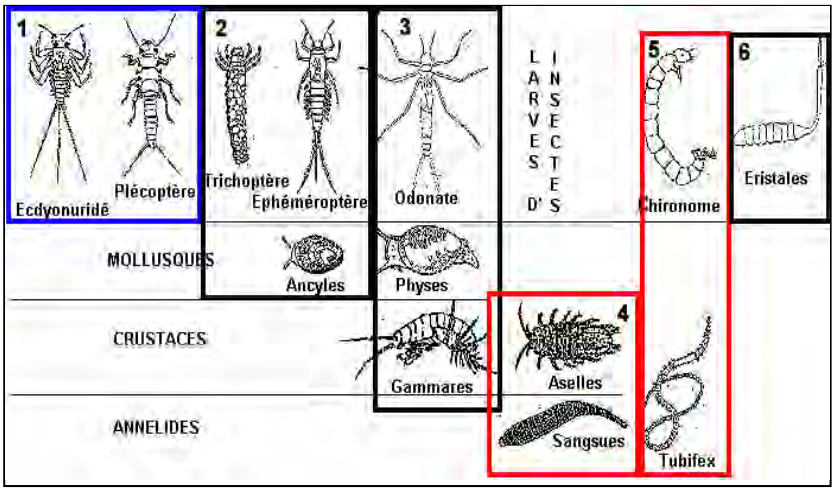
هناك معايير أخرى فيزيائية: اللون، الطعم، الرائحة، pH ودرجة الحرارة، وتركيز بعض المكونات الكيميائية مثل NH^+_4، NO_2، NO_3.

من خلال جدول الوثيقة يتبين أنه كلما كانت DBO5 وDCO كبيرة، كلما كانت المياه رديئة.

② المعايير البيولوجية (تقدير المعامل الإحيائي): (L'indice biotique)

يمكن تقدير درجة تلوث المياه الجارية من خلال ملاحظة ودراسة عينات من اللافقاريات التي تعيش بهذه المياه، ثم تحديد قيمة المعامل الإحيائي (أنظر الوثيقة 11).

الوثيقة 11: تقدير درجة تلوث المياه باستعمال طريقة تقدير المعامل الإحيائي



نأخذ عينة من المجرى المائي، ونحدد المجموعة اللافقارية المؤشرة (الأكثر حساسية للتلوث) من جهة، ومن جهة ثانية العدد الكلي للوحدات الصنافية الموجودة في العينة.
يعطي تقاطع السطر المقابل للمجموعة المؤشرة مع العمود المقابل لعدد الوحدات الصنافية، قيمة المعامل الإحيائي. مثال وجود يرقات اليعاسيب في عينة تتضمن 12 وحدة صنافية يناسب المعامل 6.

	الوحدات الصنافية	العدد الكلي للوحدات الصنافية في العينة				
		1	2 إلى 5	6 إلى 10	11 إلى 15	≥ 16
		المعامل الإحيائي				
①	مطويات الأجنحة، بنات يوم	-	7	8	9	10
		5	6	7	8	9
②	زغبيات الأجنحة	-	6	7	8	9
		5	5	6	7	8
③	بنات يوم، ثنائية الصدفة	-	5	6	7	8
		3	4	5	6	7
④	نصفيات الأجنحة، يعاسيب، قشريات، حلازين الماء	3	4	5	6	7
⑤	الأزيل، علق، نصفيات الأجنحة	2	3	4	5	-
⑥	ديدان، يرقات، كيرونوم	1	2	3	-	-
⑦	يرقات ذباب الزهور	0	1	1	-	-

حساسية تنازلية للتلوث العضوي

المعامل الإحيائي: نقطة من 0 إلى 10، يميز جودة الماء في مجرى معين، ويحدد باللافقاريات الأكثر حساسية للتلوث، والذي يعتمد سبع مجموعات حيوانية مرتبة حسب متطلباتها لكميات الأوكسجين المرتبط باغتناء الوسط بالمادة العضوية.

مثلا وجود المجموعة الحيوانية " زغبيات الأجنحة " تقرأ في السطر الخاص بالمجموعة2، ووجود 8 أنواع من هذه المجموعة الحيوانية مثلا يقرأ في العمود الثالث (6 إلى 10) وبالتالي فان المعامل الإحيائي هو 6.

فالمياه تعتبر غير ملوثة إذا كان المعامل الإحيائي هو 6 فما فوق، بينما تعتبر ملوثة إذا كان المعامل الإحيائي أقل من 5.

II – معايير قياس جودة الهواء والتربة.

① مراقبة جودة الهواء:

لتخفيض عواقب تأثير تلوث الهواء على الصحة، حددت المنظمة العالمية للصحة OMS التراكيز التي لا ينبغي تجاوزها لمجموعة من المواد الملوثة للهواء، مثل الدقيقات العالقة، O_3، NO_2، SO_2. ولاحترام هذه التوصيات، يتوفر كل بلد على مجموعة من المحطات لمراقبة جودة الهواء في عدة نقط.

	مراكش (دجنبر 2000)		
	باب دكالة	حي النخيل	المعايير الوطنية
المعدل السنوي ل SO_2 ب $\mu g/m^3$	135.6	4.5	100
المعدل السنوي ل NO_2 ب $\mu g/m^3$	84.6	1.7	100

② مراقبة جودة التربة:

لتحديد مستوى جودة التربة، يتم الاعتماد على التنوع البيولوجي، أي تنوع الكائنات الحية التي تعيش في التربة. ويتم تقدير هذا التنوع بواسطة المؤشر الإحيائي لجودة التربة IBQS **(IBQS = Indice Biotique de Qualité des Sols).**

نأخذ عينة من التربة بمواقع مختلفة، نستخرج الفونة المتواجدة بها، نتعرف عليها، ثم نحدد عددها ونحسب قيمة المؤشر الإحيائي للتربة. فكلما كان هذا المؤشر ضعيفا كلما كانت جودة التربة رديئة والعكس صحيح.

IBQS	النقطة الممنوحة	فئة الجودة	تقدير الجودة
< 282 – 685	1 – 4	**I**	رديئة
686 – 1089	5 – 8	**II**	متوسطة
1090 – 1492	9 – 12	**III**	جيدة
3941 – 1997	13 - 17	**IV**	جد جيدة
8991 - 2300	18 - 20	**V**	فضلى

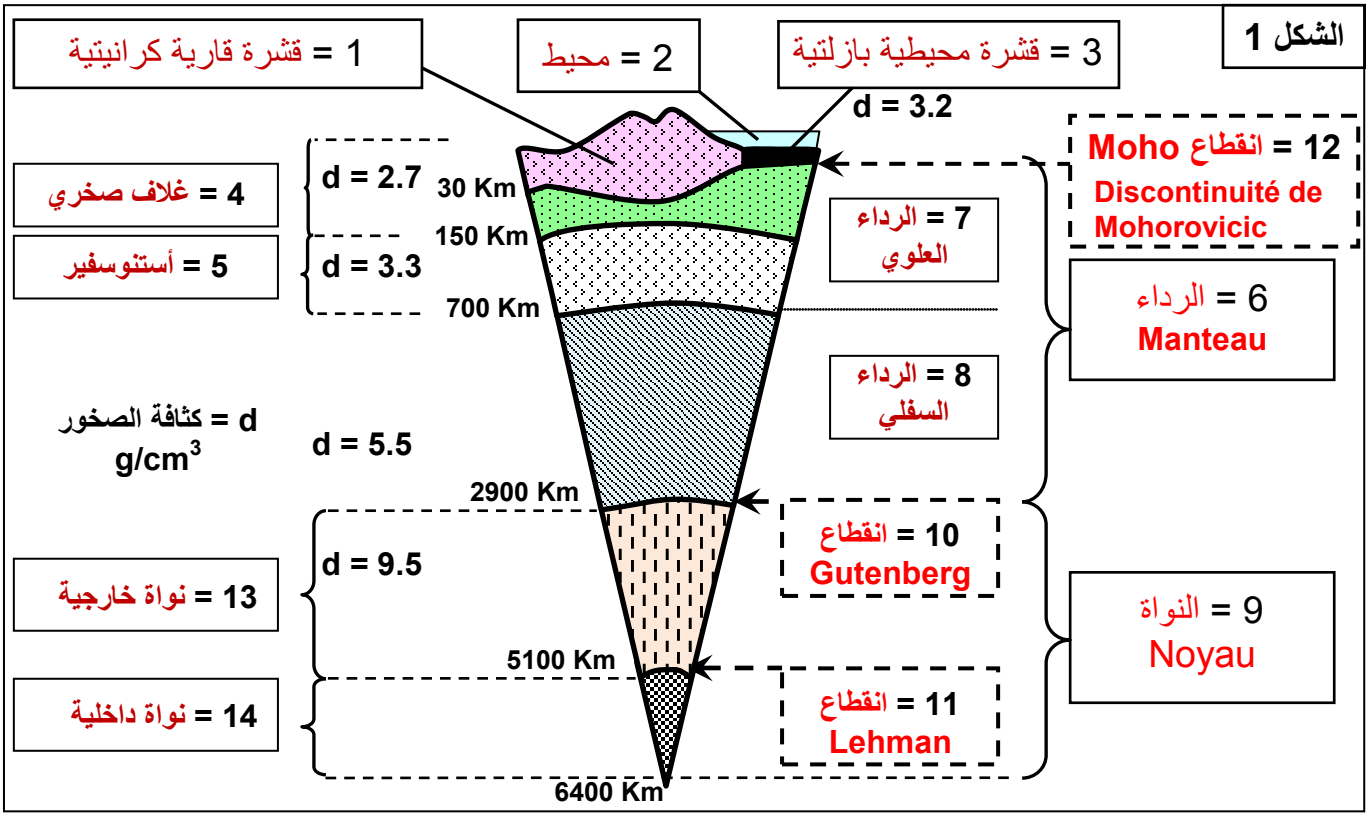
الوحدة الرابعة: الفصل الأول: الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية وعلاقتها بتكتونية الصفائح

تذكير ببنية الكرة الأرضية: أنظر الوثيقة 1

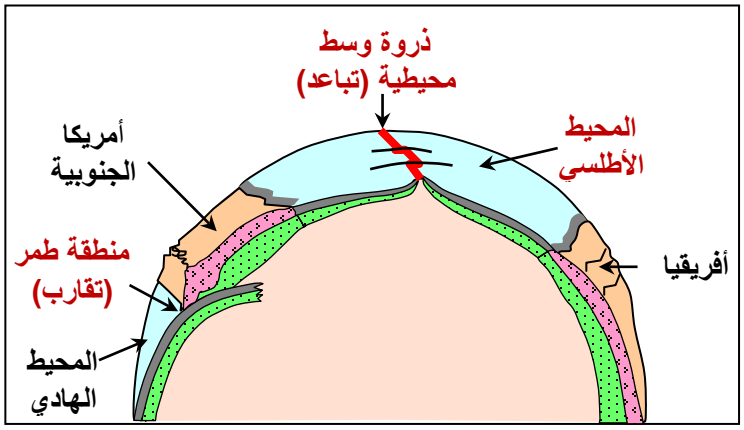
الوثيقة 1: تمثل الوثيقة رسما تخطيطيا لتركيب الكرة الأرضية.

يعطي الشكل 1، رسما تخطيطيا، يبرز البنية الداخلية للكرة الأرضية. ويبين الشكل 2 من الوثيقة، بعض الظواهر الجيولوجية التي تطرأ على مستوى جزء من الكرة الأرضية.

الشكل 1



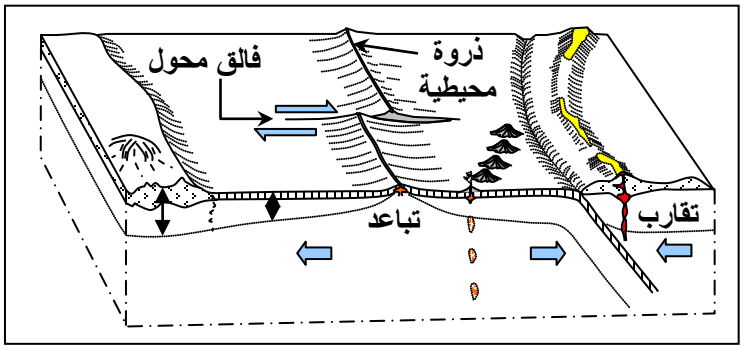
الشكل 2



★ ينقسم الغلاف الصخري Lithosphère إلى عدة كتل تمثل الصفائح الصخرية أو التكتونية.

★ يمكن التمييز بين أربعة أنواع من الحدود بين الصفائح:

- الذروات المحيطية، حيث تنشأ القشرة المحيطية الجديدة.
- مناطق الطمر حيث يختفي الغلاف الصخري القديم.
- مناطق الاصطدام حيث تكوم تتجابه قشرتان قاريتان.
- الفوالق المحولة.



★ تنتقل الصفائح بالنسبة لبعضها البعض. فهي تتباعد في مستوى الذروات. وتتقارب في مناطق الطمر وتتجابه في مستوى مناطق الاصطدام.

بعد إعطاء عناصر الوثيقة، تعرف بنية الكرة الأرضية، ثم أعط تعريفا للغلاف الصخري.

تتشكل الكرة الأرضية من ثلاث طبقات رئيسية:

- ★ القشرة الأرضية وهي الطبقة الخارجية، وتتميز بقشرتين تختلفان عن بعضهما في السمك و التركيب: قشرة محيطية، تقع تحت الماء في البحار والمحيطات، وتتميز بأنها قليلة السمك (حوالي 7 كم). وقشرة قارية، توجد في المناطق اليابسة (سمكها بين30 و100 كم).
تشكل القشرة الأرضية، والجزء العلوي من الرداء العلوي، الغلاف الصخري La lithosphère.
- ★ الرداء: مادته غير متجانسة بشكل عام. فالجزء العلوي منه يتكون من مادة لدنه (مائعة)، تطفو فوقه صفائح الغلاف الصخري، بينما الجزء السفلي منه يتكون من مادة صلبة. ولهذا يقسم الرداء إلى قسمين: الرداء العلوي والرداء السفلي. يمتد إذن الرداء من انقطاع Moho إلى انقطاع Gutenberg.
- ★ النواة الخارجية: تتكون من مادة منصهرة وسائلة، تحد بواسطة انقطاع Lehmann. الكثافة من 9.5 إلى 12.
النواة الداخلية: تسمى البذرة وتمتد إلى مركز الأرض أي إلى عمق 4600 كيلومتر. الكثافة ما بين 12 إلى 12.5.

يتشكل الغلاف الصخري من مجموعة من الصفائح صلبة وطافية على الأستينوسفير وفي حركية مستمرة. وينتج عن حركية صفائح الغلاف الصخري، انفتاح المحيطات، والذي يعوضه تقارب الصفائح في مناطق أخرى حيث تتشكل السلاسل الجبلية، والتي تصاحبها مجموعة من التشوهات التكتونية.

- **ما هي ظروف تشكل السلاسل الجبلية؟ وما هي أنواعها؟**
- **ما هي الظواهر الجيولوجية المصاحبة لنشوء السلاسل الجبلية الحديثة؟**
- **ما علاقة هذه الظواهر الجيولوجية بتكتونية الصفائح؟**

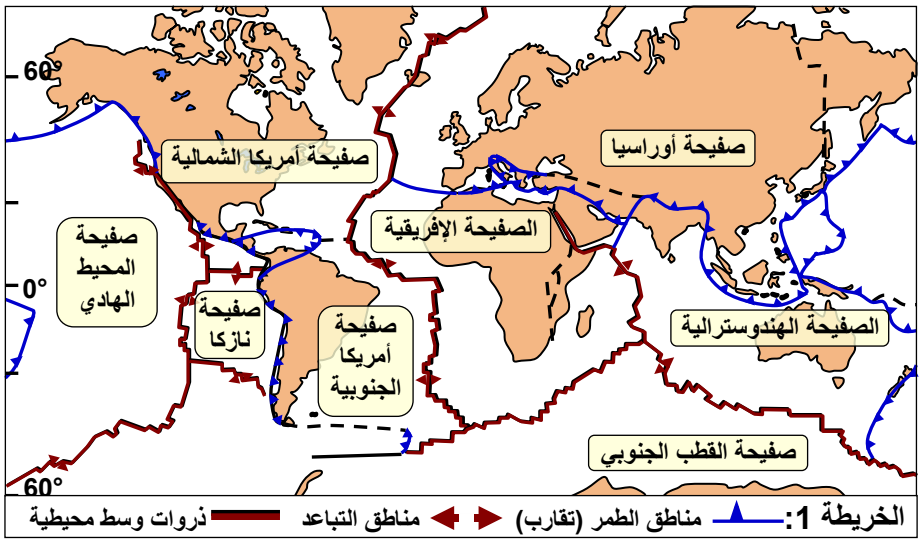
الوحدة الرابعة، الفصل الأول:
السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح

مقدمة: السلاسل الجبلية الحديثة تضاريس بارزة على سطح الأرض، ارتبط تشكلها بحركية الصفائح التكتونية خلال الأزمنة الجيولوجية القديمة.

- **ما علاقة السلاسل الجبلية الحديثة بتكتونية الصفائح؟**
- **ما هي أنواع السلاسل الجبلية الحديثة؟ وما هي مميزاتها؟**
- **ما هي أبرز التشوهات التكتونية المميزة للسلاسل الجبلية الحديثة؟**

I – أنواع السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح. أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: أنواع السلاسل الجبلية الحديثة وعلاقتها بتكتونية الصفائح.

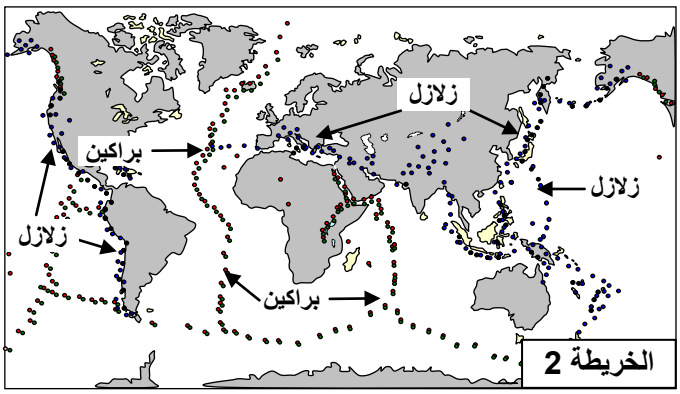


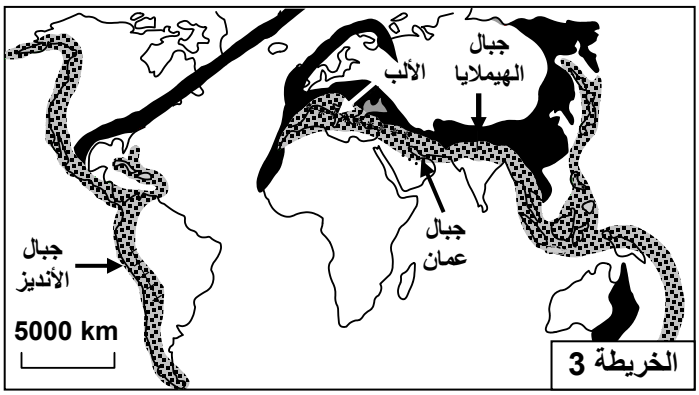
الصفائح الصخرية هي قطع صلبة طافية على الأستينوسفير، تتكون من جزء من الرداء العلوي تعلوه قشرة قارية أو قشرة محيطية أو هما معا. يشكل مجموع الصفائح الغلاف الصخري للكرة الأرضية.

★ تمثل الخريطة 1 أهم الصفائح التكتونية وعلاقتها ببعضها البعض.

★ تمثل الخريطة 2 التوزيع الجغرافي للبراكين وبؤر الزلازل على مستوى الكرة الأرضية.

★ تمثل الخريطة 3 التوزيع الجغرافي للسلاسل الجبلية الحديثة على مستوى الكرة الأرضية.





1) اعتمادا على الخريطة1 و2 وعلى مكتسباتك ذكر بمميزات حدود الصفائح؟
2) بالاعتماد على الخريطة 3 والخرائط السابقة، حدد تموضع السلاسل الجبلية الحديثة.
3) صنف هذه السلاسل الجبلية حسب مواضع تواجدها.

1) الصفيحة التكتونية هي قطعة من الغلاف الصخري شاسعة وهادئة، تحدها مناطق ضيقة ذات نشاط بركاني وزلزالي كثيف. وتتميز حدود الصفائح بـ:

- مناطق التباعد: تتموضع وسط المحيط، وتتمثل في الذروات الوسط محيطية.
- مناطق التقارب أو التجابه وتتكون من:
  - ✓ مناطق الطمر Subduction ، حيث تنغرز صفيحة تحت أخرى.

- ✓ مناطق الطفو Obduction ، حيث يزحف الغلاف الصخري المحيطي فوق الغلاف الصخري القاري.
- ✓ مناطق الاصطدام Collision ، حيث تصطدم كتلة قارية مع أخرى.

- مناطق الاحتكاك: تحتك صفيحة بأخرى، مع حركة أفقية للصفيحتين.

2) تتموضع السلاسل الجبلية الحديثة على مستوى مناطق التقارب بين الصفائح التكتونية، مما يدل على وجود علاقة بين حركية الصفائح وتشكل السلاسل الجبلية الحديثة.

3) يمكن تصنيف السلاسل الجبلية الحديثة إلى ثلاثة أنواع هي:

- سلاسل الطمر: تتشكل في مناطق الطمر بين صفيحة محيطية وصفيحة أخرى.
- سلاسل الاصطدام: تتشكل اثر اصطدام كتلتين قاريتين تنتميان لصفيحتين مختلفتين.
- سلاسل الطفو: تنتج عن طفو أو تراكب غلاف صخري محيطي فوق غلاف صخري قاري ينتميان لصفيحتين مختلفتين.

II – خصائص السلاسل الجبلية الحديثة.

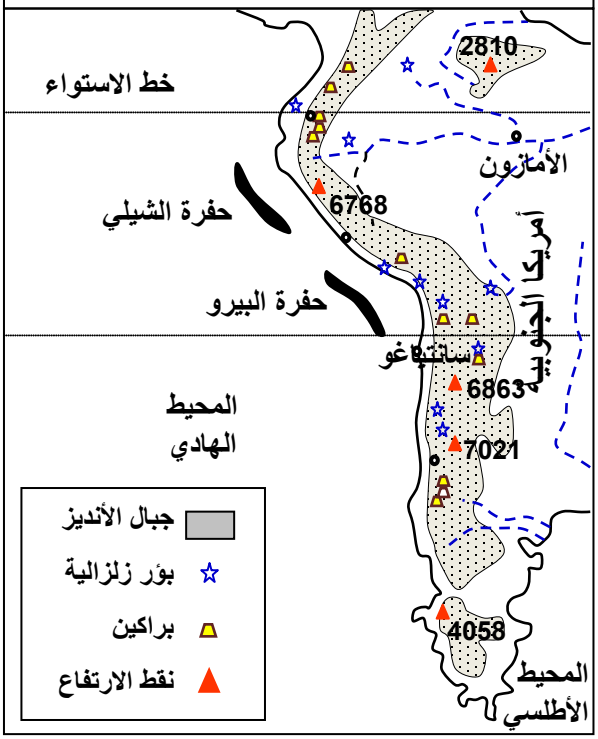
① **سلاسل الطمر:** مثال جبال الأنديز

أ - الخاصيات البنيوية والجيوفيزيائية لمناطق الطمر: أنظر الوثيقة 3.

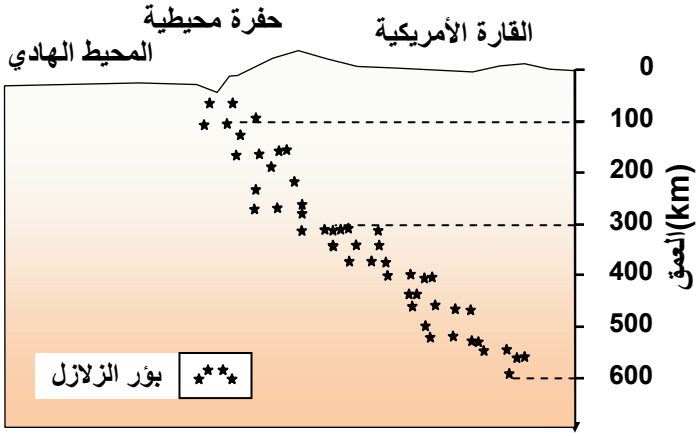
الوثيقة 3: الخاصيات البنيوية والجيوفيزيائية لمناطق الطمر.

تعتبر سلسلة جبال الأنديز بالساحل الغربي لأمريكا الجنوبية، نتاج لظاهرة الطمر. لتعرف الخاصيات البنيوية والجيوفيزيائية لمناطق الطمر، نعطي الوثائق التالية:

شكل أ: خريطة أمريكا الجنوبية تبين جغرافية الهامش النشيط.

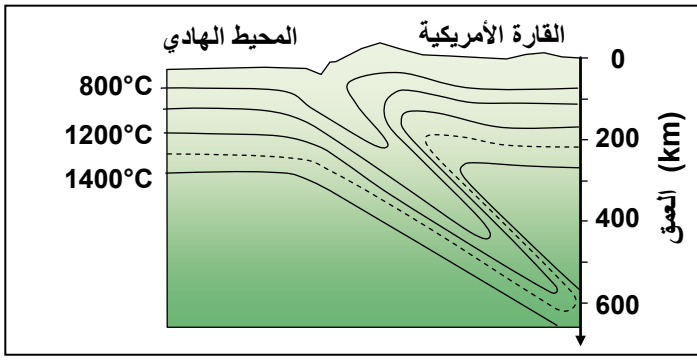


شكل ب: توزيع بؤر الزلازل حسب العمق في مستوى الهامش النشيط لمنطقة الأنديز.



شكل ج:

توزيع خطوط تساوي درجة الحرارة في منطقة الطمر بجبال الأنديز.



(تابع) الوثيقة 3: الخاصيات البنيوية والجيوفيزيائية لمناطق الطمر

شكل د: صخرة الأنديزيت Andésite: صخرة رمادية اللون، مميزة لمناطق الطمر وقد سميت بذلك لوجودها بكثرة في جبال الأنديز. ①: عينة لصخرة الأنديزيت. ②: ملاحظة صفيحة دقيقة لصخرة الأنديزيت بالمجهر المستقطب. ③: رسم تفسيري للصفيحة الدقيقة: PY= البيروكسين، PL= البلاجيوكلاز، M= ميكروليتات، C= زجاج.

انطلاقا من دراسة معطيات هذه الوثيقة:

1) استخرج الظروف الجيوفيزيائية المميزة لمناطق الطمر.
2) صف صخرة الأندزيت واربط العلاقة بين بنيتها وظروف تشكلها.

1) تتموضع جبال الأنديز (سلاسل الطمر) في منطقة التجابه بين صفيحة المحيط الهادي وصفيحة أمريكا الجنوبية. ويتميز هذا الهامش النشيط بظواهر جيولوجية خاصة أبرزها:

- وجود حفر محيطية عميقة.
- زلزالية شديدة تنتظم بؤرها على مستوى مائل يسمى مستوى Benioff.
- شذوذات حرارية، حيث أن خطوط ثوابت درجة الحرارة غير موازية لسطح الأرض، بل تنغرز نحو العمق حسب سطح مائل موافق لمستوى Bénioff. يفسر الجيوفيزيائيون هذه الشذوذات بانغراز صفيحة باردة بالأستينوسفير الساخن.
- بركانية عنيفة تؤدي إلى قذف صهارة أندزيتية يسبب تبردها المرحلي صخرة ذات بنية ميكروليتية تسمى الأندزيت.

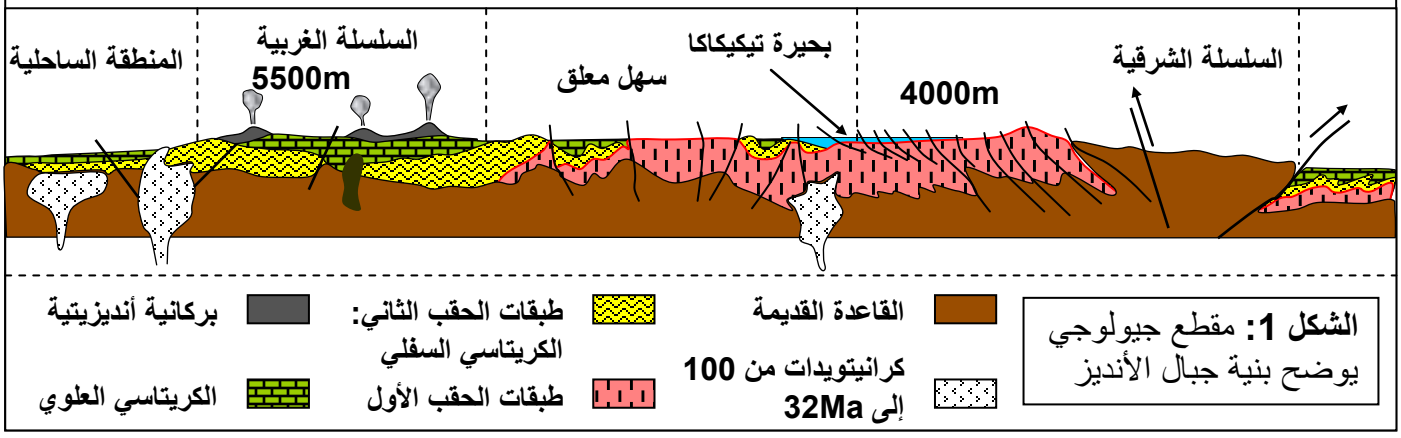
2) تتكون صخرة الأنديزيت من مادة غير متبلورة تدعى عجين أو زجاج، وبلورات كبيرة الحجم (البلاجيوكلاز والبيروكسين)، وبلورات صغيرة الحجم تدعى ميكروليتات. لدى نتكلم عن بنية ميكروليتية، الشيء الذي يدل على أن صخرة الأنديزيت تشكلت عبر مراحل:

- تبريد بطيء في العمق مكن من تشكل البلورات الكبيرة.
- تبريد سريع على السطح ترتب عنه تشكل الزجاج والميكروليتات.

ب- تشكل سلاسل الطمر: أنظر الوثيقة 4

الوثيقة 4: تشكل سلاسل الطمر

يعطي الشكل 1 من الوثيقة، مقطعا جيولوجيا يوضح بنية جبال الأنديز.



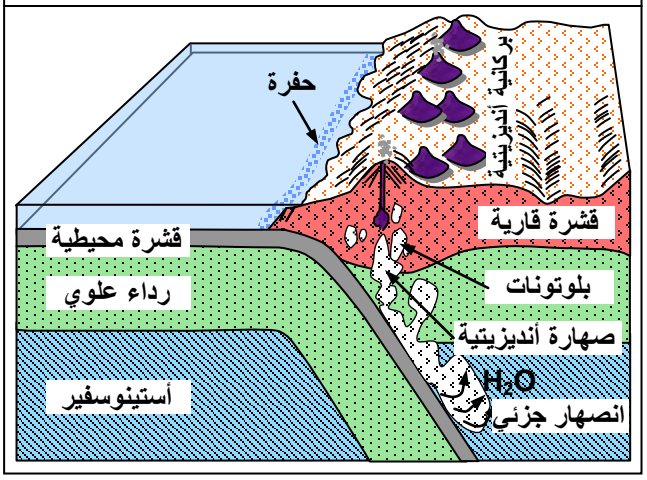
الشكل 1: مقطع جيولوجي يوضح بنية جبال الأنديز

(تابع) الوثيقة 4: تشكل سلاسل الطمر.

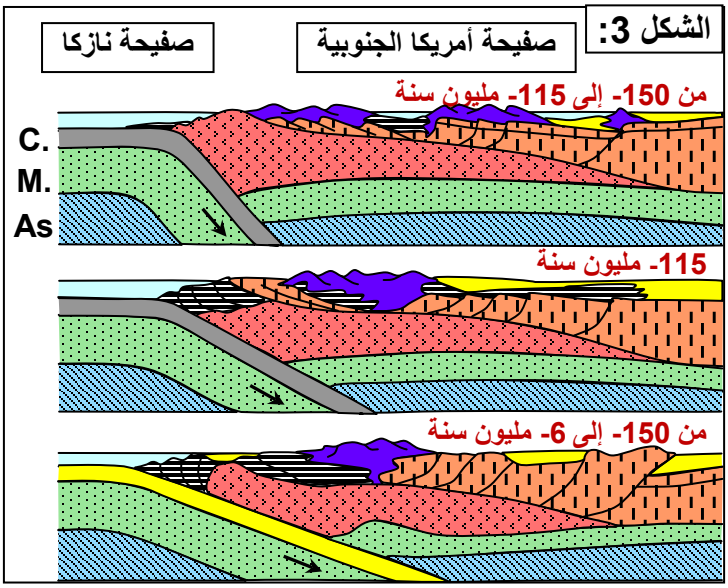
1) انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة، استخرج المميزات التكتونية لجبال الأنديز.

يعطي الشكل 2 مجسما بيانيا لبنية جبال الأنديز. والشكل 3، نموذجا تفسيريا لمراحل تشكل سلاسل الطمر.

الشكل 2: مجسم بياني لبنية جبال الأنديز: البركانية الأنديزيتية والبلوتونية نتاج لتكتونية الصفائح



الشكل 3:



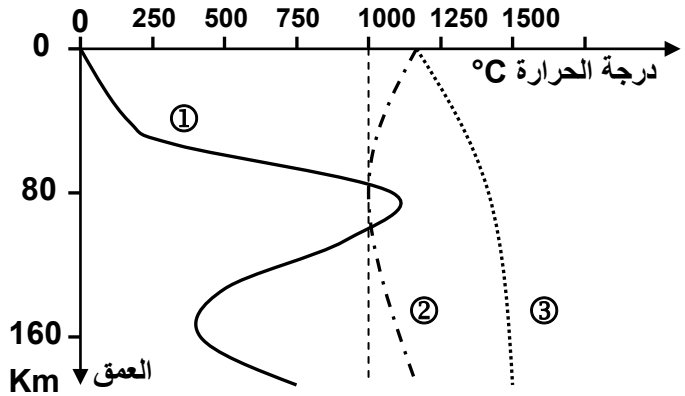
2) من خلال معطيات الشكل 2 من هذه الوثيقة، ومعطيات الوثيقة 5، بين كيف تتشكل البركانية الأنديزيتية وبلوتونات الكرانوديوريت، واربط هذين الحدثين بتكتونية الصفائح.

3) من خلال تحليل معطيات الشكل 3 من الوثيقة، حدد تسلسل الأحداث المؤدية إلى تشكل جبال الأنديز.

1) انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة يمكن القول أن سلاسل الأنديز تتميز بـ:

- بركانية أنديزيتية وبصخور بلوتونية (صخرة صهارية داخلية النشأة أي تبردت في العمق).
- تشوهات تكتونية بسيطة: طيات على شكل مروحة وفوالق معكوسة.

الوثيقة 5: تطور درجة الحرارة حسب العمق تحت القوس الصهاري لمنطقة الطمر ① .



على نفس المبيان مثلت المنحنيات التجريبية لبداية انصهار البيريدوتيت المكونة للرداء تحت ظروف الضغط والحرارة:

② = منحنى تصلب البيريدوتيت المميهة.

③ = منحنى تصلب البيريدوتيت غير المميهة.

من خلال تحليل معطيات هذه الوثيقة، أربط العلاقة بين البلوتونية والبركانية الأنديزيتية وتكتونية الصفائح.

2) انطلاقا من معطيات الشكل 2 من الوثيقة 4، ومعطيات الوثيقة 5، ، نفسر البنيات التكتونية والصخرية لمناطق الطمر بما يلي:

يؤدي انغراز الغلاف الصخري المحيطي (أكثر كثافة) تحت الغلاف الصخري القاري (أقل كثافة) إلى خضوع الصخور عند وصولها إلى الأستنوسفير لارتفاع في درجة الحرارة والضغط، وينتج عن هذا تحرير الماء الذي ينتشر عبر الرداء فيصبح هذا الأخير تحت شروط الانصهار الجزئي. تصعد الصهارة الناتجة عن هذا الانصهار الجزئي نحو السطح مؤدية إلى بركانية أنديزيتية. كما يتبرد جزء من هذه الصهارة في الأعماق فيعطي بلوتونات الكرانوديوريت.

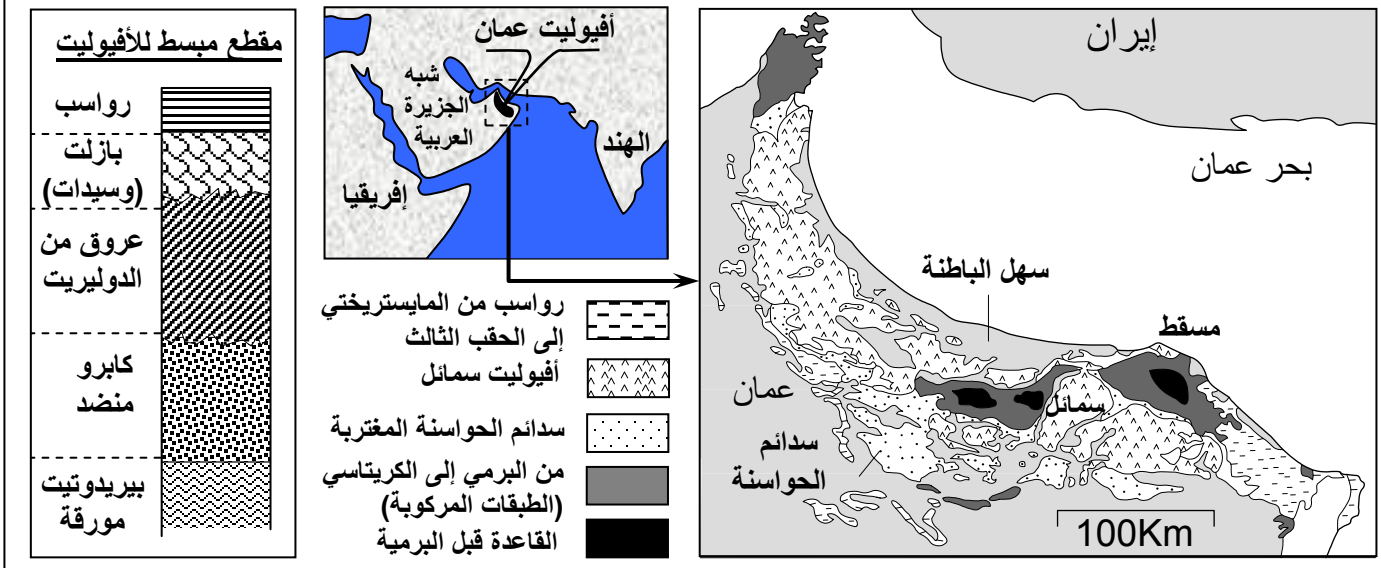
3) تكون الصفيحة المنغرزة أثناء الطمر مكسوة بطبقات رسوبية، تعمل الصفيحة الراكبة على كشطها وفصلها عن القشرة المحيطية المركوبة ، فتشكل هذه الرواسب موشور التضخم.

بتوالي الضغوط التكتونية، تزداد أهمية الطي والفوالق المعكوسة، فينتج عن هذا تقصير وارتفاع في الغلاف الصخري مشكلا تضاريس عالية تمثل سلاسل الطمر.

② سلاسل الطفو: مثال جبال عمان

أ - الخاصيات البنيوية لسلاسل الطفو: أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: خريطة جيولوجية مبسطة لجبال الحجر شمال عمان.



انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة، حدد المميزات البنيوية لجبال عمان. وما المعلومات التي يفيد بها وجود الأفيوليت في جبال عمان؟

★ تتميز سلسلة جبال عمان ب:

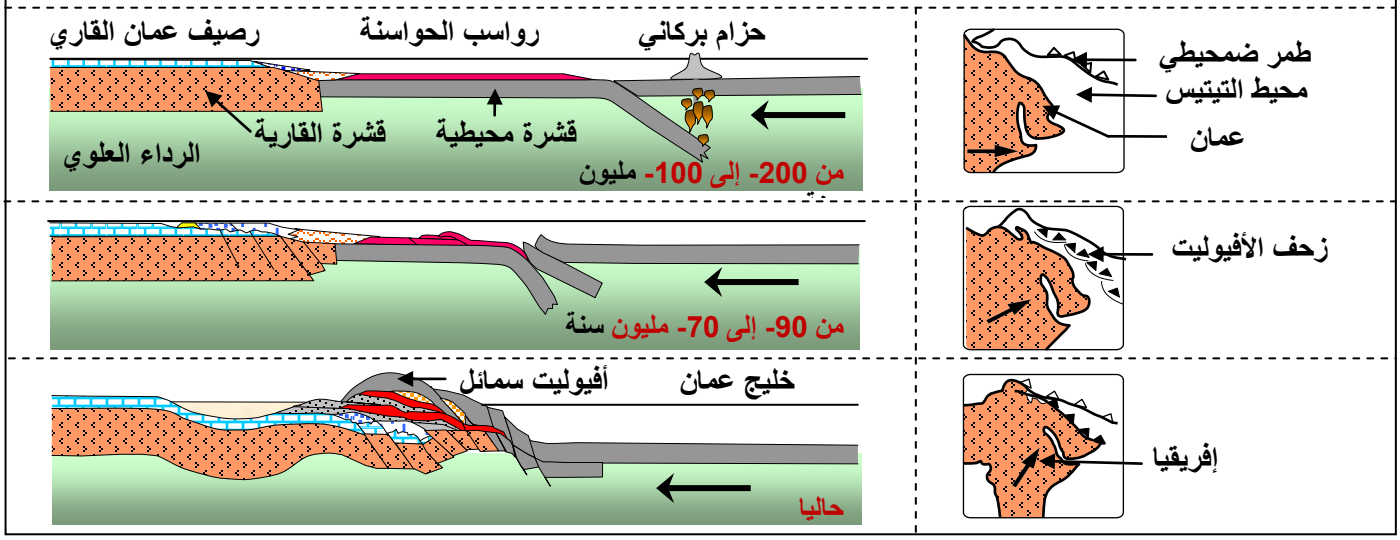
- وجود سدائم، وهي تشكيلات صخرية مغتربة ذات امتداد كبير (مئات الكيلومترات)، زحفت من موقع نشأتها واستقرت في مكان آخر وغطت صخورا أخرى تسمى بالصخور المركوبة.
- وجود صخور المركب الأوفيوليتي Ophiolite له نفس تركيب الغلاف الصخري المحيطي.

★ داخل المجال القاري لعمان، يعتبر وجود صخور المركب الأفيوليتي شاهدا عن انغلاق مجال محيطي وزحف لصفيحة محيطية على صفيحة قارية، وهو ما يسمى بالطفو Obduction.

ب- تشكل سلاسل الطفو: أنظر الوثيقة 7.

الوثيقة 7: مراحل تشكل جبال عمان.

اعتمادا على معطيات هذه الوثيقة، صف مراحل تشكل جبال عمان، واربط تشكل هذه السلاسل بتكتونية الصفائح.



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

- بين الصفيحة الإفريقية والصفيحة الأوراسيوية كان هناك محيط قديم هو التيتيس Téthys (البحر الوحيد الذي كان يحيط باليابسة الوحيدة حسب نظرية زحزحة القارات)، حيث ظهرت منطقة طمر ضمحيطية تم فيها طمر الصفيحة الإفريقية تحت الصفيحة الأوراسيوية.
- عندما نفذت القشرة المحيطية المطمورة، ووصلت القارة (شبه الجزيرة العربية) إلى منطقة الطمر بدأ طمر الغلاف الصخري القاري، غير أن ضعف كثافة هذا الأخير تحول دون استمرار طمره، مما أدى إلى حجز الطمر.
- مع تواصل القوى الانضغاطية، يزحف الغلاف الصخري والرواسب المحيطيين فوق الغلاف الصخري القاري. نتكلم عن ظاهرة الطفو.
- تؤدي هذه التراكبات من الصخور إلى تضخم الغلاف الصخري،فينتج عن ذلك نشوء سلاسل جبلية تسمى بسلاسل الطفو.

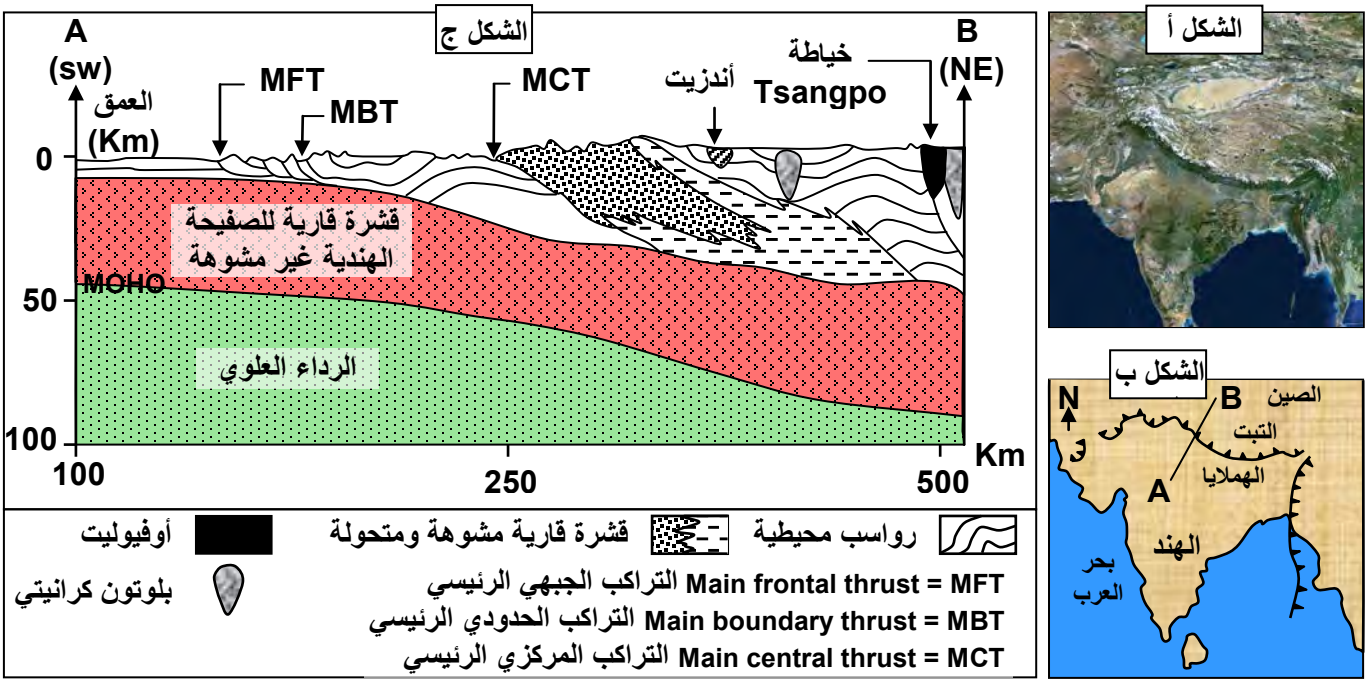
③ سلاسل الاصطدام: مثال جبال الهملايا

أ - الخاصيات البنيوية والبتروغرافية لسلاسل الاصطدام: أنظر الوثيقة 8.

الوثيقة 8: سلاسل الاصطدام (سلسلة جبال الهملايا)

تعطي الوثيقة صورة بالأقمار الاصطناعية للهملايا (الشكل أ)، ورسم تفسيري لهذه الصورة (الشكل ب). ويمثل الشكل ج، رسم تخطيطي لمقطع جيولوجي أنجز على مستوى جبال الهملايا حسب الخط AB.

1) انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة حدد تموضع جبال الهملايا، ثم صف الكيفية التي تتموضع بها هذه الجبال.
2) انطلاقا من الشكل ب استخرج المميزات الصخرية والتكتونية لجبال الهملايا مع ذكر دلالة كل عنصر.



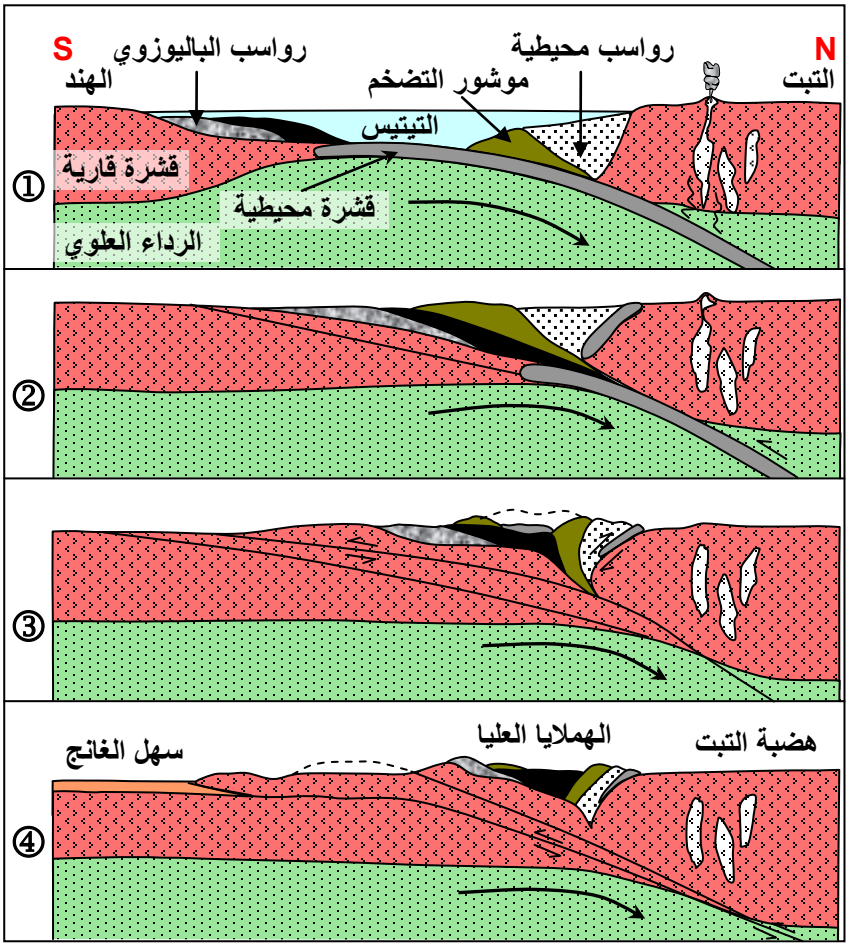
1) تنحصر جبال الهملايا بين كتلتين قاريتين متصادمتين: الهند وآسيا.

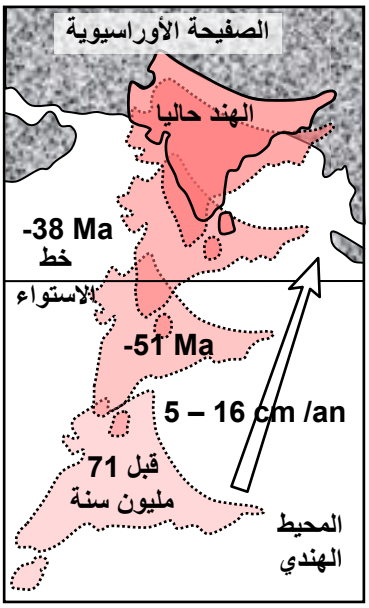
2) تتميز هذه السلاسل بـ :
- تراكبات Chevauchement وتشوهات ناتجة عن قوى انضغاطية عرفتها منطقة التجابه بين الكتلتين القاريتين.
- وجود صخور أنديزيتية وكرانيتية بالتبت، تدل على نشاط صهاري ناتج عن ظاهرة الطمر.
- وجود صخور الأوفيوليت وصخور رسوبية تيتيسية (موشور التضخم) تدل على حدوث طفو.

ب- تشكل سلاسل الاصطدام: أنظر وثيقة 9.

الوثيقة 9: تشكل سلاسل الاصطدام.

رسوم تخطيطية تبين حركة الصفيحة الهندية حسب نظرية زحزحة القارات. ومراحل تشكل جبال الهملايا.





انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة:

1) صف تموضع شبه الجزيرة الهندية عبر الزمن واربط ذلك بزحزحة القارات.

2) فسر آلية تشكل سلاسل الاصطدام واربط العلاقة بين تشكل هذه الجبال وتكتونية الصفائح.

1) حسب الشكل أ، قبل 70 مليون سنة كانت القارة الهندية والأسيوية متباعدتان، ونتيجة لحركية الصفائح انتقلت القارة الهندية نحو الشمال، مع اختفاء المحيط الذي يفصلها عن القارة الأسيوية، إلى أن التصقت بالقارة الأسيوية وتشكلت بينهما سلاسل جبال الهملايا.

2) تشكلت السلاسل الجبلية للهملايا نتيجة حركية الصفائح عبر المراحل التالية:

- قبل 100 مليون سنة كانت هناك منطقة طمر ضمحيطية بين الصفيحة التي تحمل القارة الهندية والصفيحة الأوراسيوية.
- طمر الغلاف الصخري المحيطي تحت الصفيحة الأوراسيوية أدى إلى نشوء الصهارة الأنديزيتية والبلوتونية.
- بعد استنفاد الغلاف الصخري المحيطي للصفيحة المطمورة يتم حجز الطمر، فينتج عن ذلك طفو جزء من الغلاف الصخري المحيطي للصفيحة الراكبة فوق القشرة القارية للهند الشيء الذي أعطى مركب الأوفيوليت.
- مع استمرار القوى الانضغاطية، اصطدم الهامشان القاريان للهند واسيا، مع تكون موشور تضخم بينهما ونشوء تراكبات كبيرة في اتجاه الجنوب.
- بتزايد الضغوطات التكتونية، نشأت تشوهات معقدة دفعت بموشور التضخم باتجاه آسيا مع رفع الكتل الصخرية عاليا وهذا ما أعطى الهملايا العليا (حيث توجد أعلى قمة: Everest).

ملحوظة: إن اصطدام قارتين يمكن أن يكون مسبوقا بـ:

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

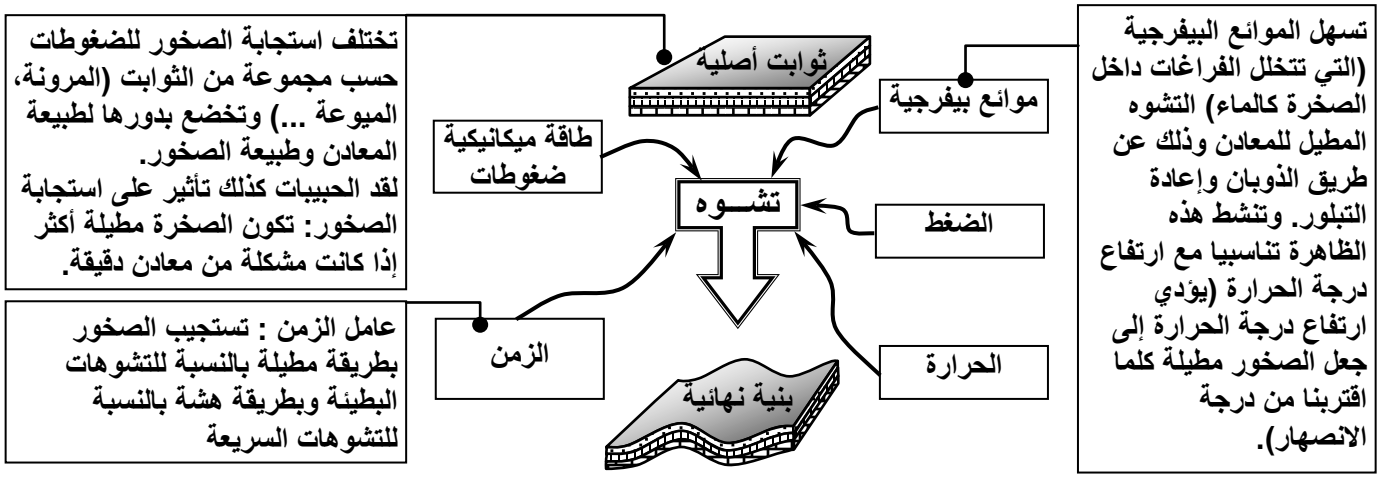
III – التشوهات التكتونية المميزة لسلاسل الطمر والاصطدام.

① العوامل المتدخلة في تشوه الصخور.

أ - ملاحظات: أنظر الوثيقة 11.

الوثيقة 10: عوامل تشوه الصخور.

تختلف تشوهات الصخور حسب بنيتها وتركيبها وتموضعها في الغلاف الصخري، إذ تكون هشة في السطح فتشكل فوالق وطيات ثابتة السمك. وتكون مطيلة في العمق فتشكل طيات متغيرة السمك وشيستية.



1) استخرج أهم العوامل المؤثرة في تشوه الصخور بالسلاسل الجبلية.
2) فسر سلوك الصخور إزاء التشوهات بدلالة العمق.

1) يرتبط نمط التشوه التكتوني بمناطق التجابه بين الصفائح، بعوامل خارجية أهمها: العمق الذي يحدد تغيرات الضغط ودرجة الحرارة والزمن والحركات التكتونية. وعوامل داخلية أهمها: خاصيات المرونة والميوعة.

2) تختلف استجابة الصخور للضغوط التكتونية حسب العمق:

- على السطح تكون ظروف الضغط والحرارة منخفضة، فتكون الصخور هشة مما يجعل التشوهات التكتونية من النوع الكسور. وتتمثل أساسا في الفوالق المعكوسة والسدائم المرتبطة بها.
- في العمق يزداد الضغط والحرارة مما يجعل الصخور مرنة، فتصبح التشوهات التكتونية على شكل طيات متساوية السمك، ثم متغيرة السمك مع ازدياد العمق.

ب- استنتاج:

تتطور التشوهات حسب شدة الضغوط المسلطة عليها، وبذلك نحدد ثلاثة مجالات هي: المجال 1 = المجال المرن، المجال 2 = المجال اللدن، المجال 3 = مجال التدفق اللدن (Fluage).

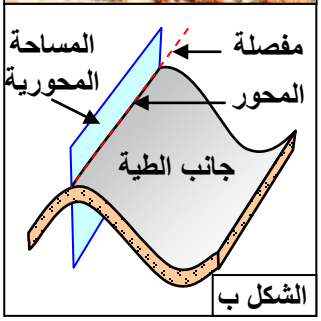
② التشوهات التكتونية.

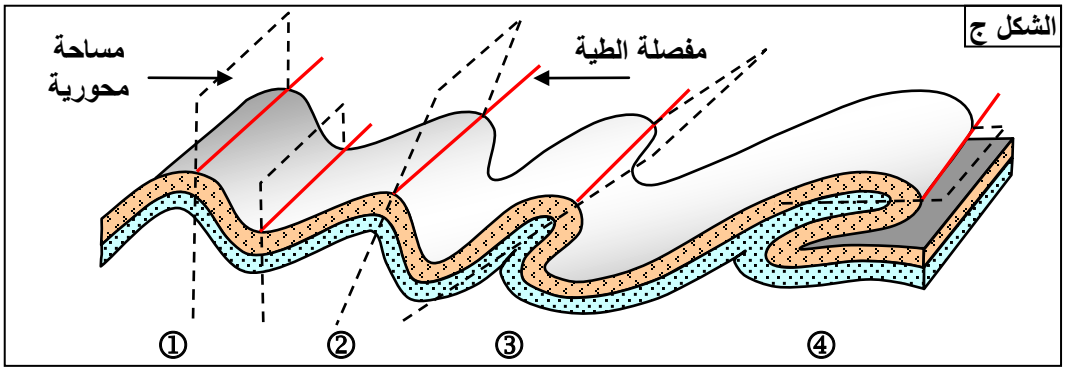
أ - الطيات Les plis:

الطيات هي عبارة تشوهات تكتونية متواصلة (تبقى الطبقات الصخرية متصلة على طول مساحة الطي)، تنتج عن قوى انضغاطية، مما يترتب عنه تقصير في الطبقات الصخرية. أنظر الوثيقة 11.

الوثيقة 11: الطيات. يمثل الشكل أ صورة لطيات بسلسلة الجبال الصخرية، والشكل ب رسم تخطيطي لعناصر الطية. والشكل ج رسم تخطيطي لمختلف أنماط الطيات.

1) تعرف مختلف أنماط الطيات المميزة لمناطق الطمر.
2) تعرف عناصر وخاصيات الطيات.
3) ميز بين مختلف أصناف الطيات.





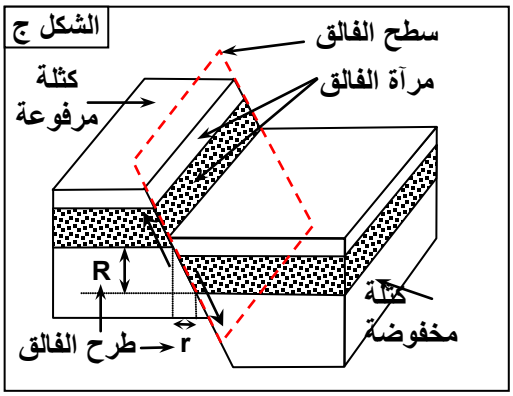
1) تتميز سلاسل الطمر والاصطدام بتشوهات تكتونية تتجلى في طيات محدبة، وطيات مقعرة، وهي تشوهات تقاربية ناجمة عن ضغوط تكتونية بمناطق التجابه بين الصفائح.
2) (أنظر الشكل ب) عناصر الطية هي: المفصلة، جانب الطية، المساحة المحورية، محور الطية.
3) (أنظر الشكل ج) أصناف الطيات هي: طية مستقيمة، طية منحرفة، طية مائلة، طية راقدة.

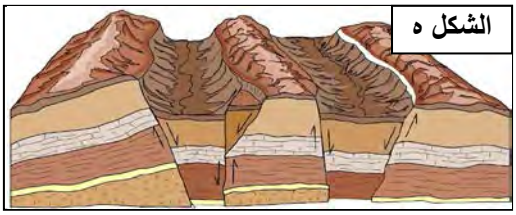
ب- الفوالق Les failles:

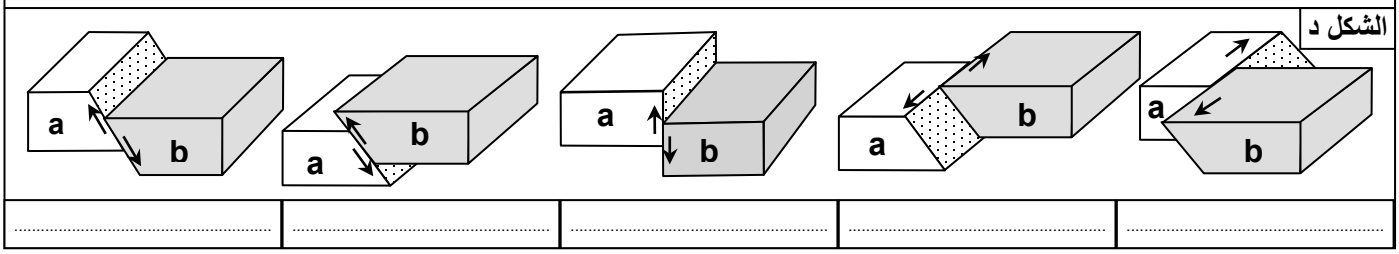
الطيات هي عبارة عن انكسارات للكتل الصخرية مصحوبة بتفاوت للكتلتين الناتجتين عن الكسر. أنظر الوثيقة 12.

الوثيقة 12: الفوالق. يعطي الشكل أ صورة لفالق عادي، والشكل ب صورة لفالق معكوس. الشكل ج: عناصر الفالق. الشكل د: أنماط الفوال. الشكل ه: الفوالق المركبة. انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة:

1) تعرف أنواع الفوالق المنتشرة في مناطق الطمر والاصطدام.
2) تعرف عناصر الفالق.
3) قارن بين مختلف أصناف الفوالق.







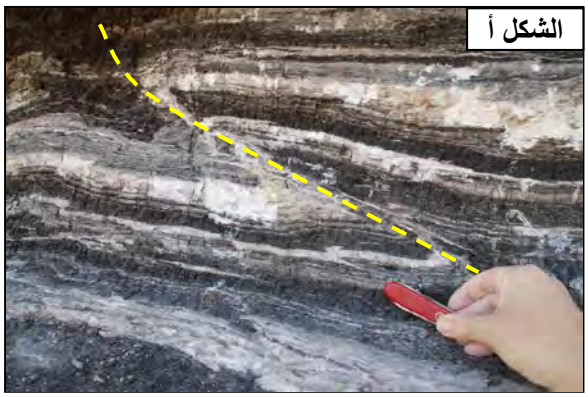
1) تتميز سلاسل الطمر والاصطدام بفوالق معكوسة وعادية، وسدائم، وهي تشوهات تقاربية ناجمة عن ضغوط تكتونية بمناطق التجابه بين الصفائح.
2) (أنظر الشكل ج) عناصر الفالق هي: سطح الفالق يكون مصحوبا بصقل إلي يسمى مرآة الفالق. طرح الفالق مركب من طرح أفقي مستعرض (r)، وطرح عمودي (R).

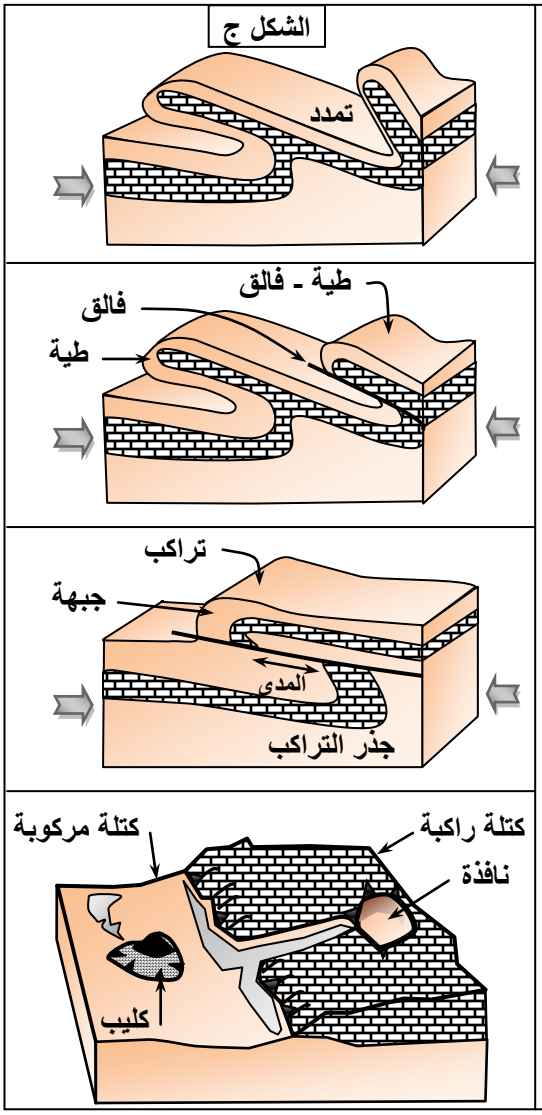
3) (أنظر الشكل ت) أنماط الفوالق هي: فالق عادي، فالق معكوس، فالق عمودي، انقلاع.
الفوالق المركبة هي مجموعة من الفوالق المعكوسة، في مناطق تسود فيها القوى الانضغاطية فتؤدي إلى تشكل مدرجات صاعدة (الأنشاز) Horst.

ت- التشوهات الوسيطة: أنظر الوثيقة 13.

الوثيقة 13: التشوهات الوسيطة

يمثل الشكل أ من الوثيقة صورة لمنظر جيولوجي بسلسلة جبال الألب تظهر طية- فالق. والشكل ب هو عبارة عن صورة لمنظر جيولوجي تظهر تراكبا. أما الشكل ج فهو عبارة عن رسوم تفسيرية تبين تطور الطية إلى الطية الفالق ثم إلى التراكب. انطلاقا من معطيات هذه الوثيقة تعرف مختلف التشوهات الوسيطة المميزة لمناطق الطمر والاصطدام.





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

a – الطيات – الفوالق pli-faille

نتيجة لتزايد الضغوط المسلطة على الطية من أحد جانبيها، يتمدد الجانب المقابل لمنحى الضغوط ثم يترقق، فيؤدي ذلك إلى حدوث فالق، لتتطور الطية إلى طية-فالق.

b – التراكب Chevauchement

بعد تشكل الطية-الفالق، وإذا استمرت الضغوطات، يزحف الجزء الأعلى فوق الآخر مشكلا تراكبا.

c – السديمة Nappe de charriage

بعد تشكل التراكب، وإذا استمرت الضغوطات، تصبح مسافة زحف الجزء الأعلى كبيرة، فتتكون بذلك السديمة. يسمى الجزء المتنقل بالراكب، وتسمى القاعدة بالمركوب.
تتعرض الصخور الراكبة للحث فتتكون نافذة تسمح برؤية الطبقات المركوبة. ويمثل الكليب Klippe الصخور الراكبة التي لم تتعرض للحث، وتبقى شاهدة على التراكبات.

الوحدة الرابعة، الفصل الثاني:
التحول وعلاقته بدينامية الصفائح

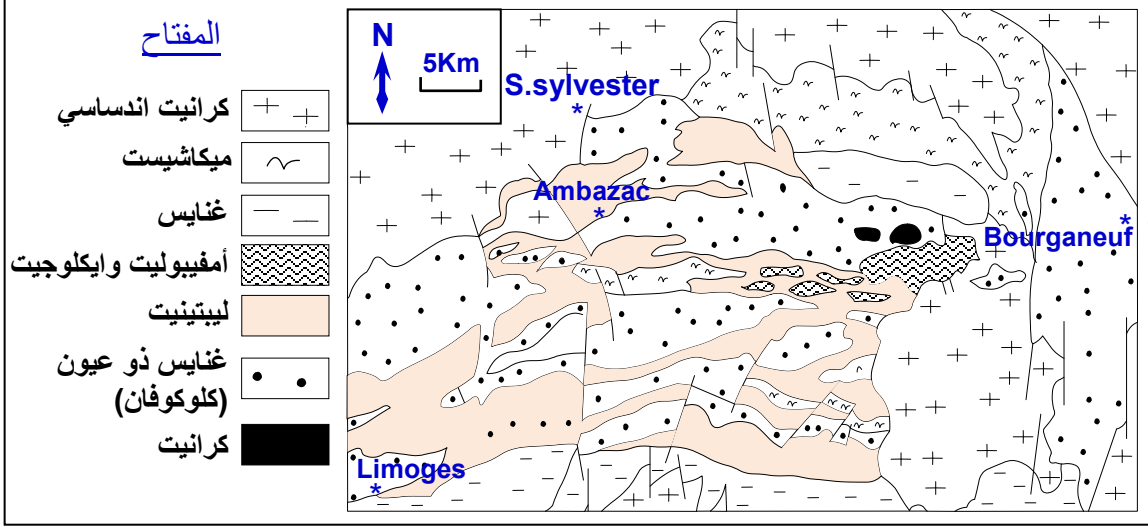
مقدمة: الصخور المتحولة هي صخور ناتجة عن تحول في الحالة الصلبة لصخور سابقة الوجود، تحت تأثير تغير عوامل الضغط والحرارة خلال تشكل السلاسل الجبلية.

- **ما 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 مبسطة لمنطقة Bas Limousin: أنظر الوثيقة 1

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.

نلاحظ أن المنطقة تتميز بتشوهات تكتونية كالفوالق. يدل وجود هذا النمط من التشوهات على أن المنطقة تعرضت لقوى تكتونية انضغاطية، ناتجة عن الاصطدام. إضافة إلى التشوهات التكتونية، تتميز سلاسل الألب باستسطاح صخور الميكاشيست، الغنايس، الأمفيبوليت والليبتينيت، وهي صخور ذات تركيب عيداني مميز، تسمى صخورا متحولة والتي تتداخل مع الكرانيت.

② الخصائص البنيوية والعيدانية والكيميائية للصخور المتحولة:

أ - مفهوم التنضد، الشيستية والتوريق:

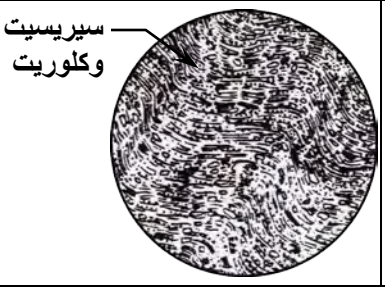
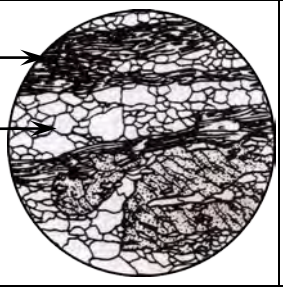
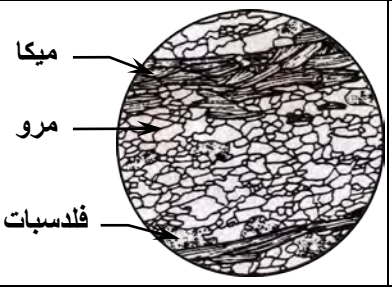
التنضد Stratification: هو نوع من التطبق تبينه مكونات الصخرة وهو ناجم فقط عن ظاهرة الترسب.

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

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

ب - مميزات الصخور المتحولة المنتشرة في سلاسل الاصطدام: أنظر الوثيقة 2.

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).
- ✓ 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 (SiO_2 وAl_2O_3). 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.

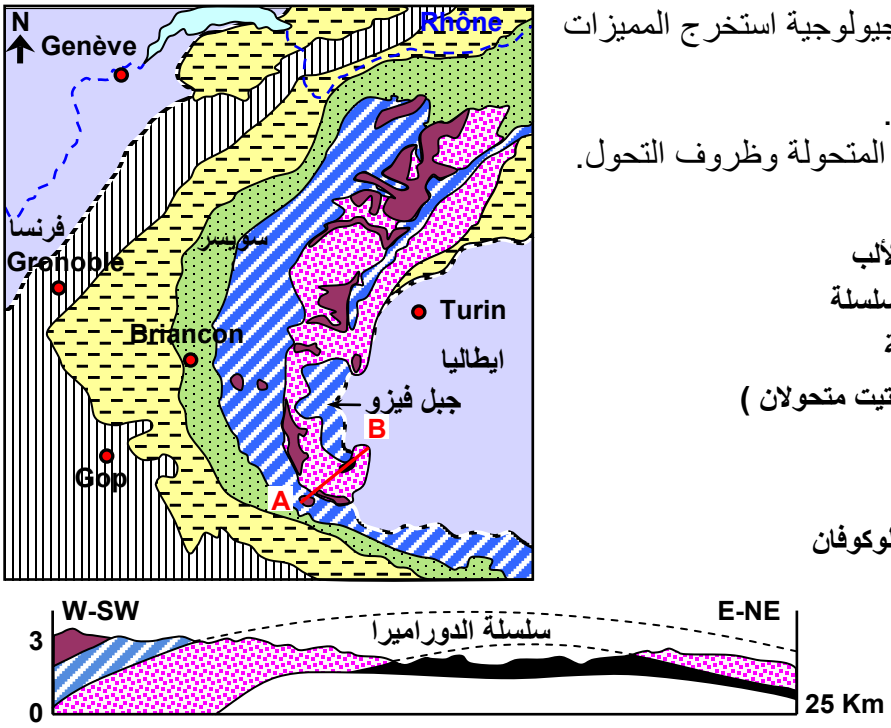
إذا علمنا أن الصخور الطينية تتشكل أساسا من سيليكات الألبومين، يمكن افتراض أن العينات المدروسة هي ناتجة عن تحول صخور طينية.

II – الصخور المتحولة المنتشرة بسلاسل الطمر.

① استسطاح بعض الصخور المتحولة الشاهدة عن طمر قديم:

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. 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.

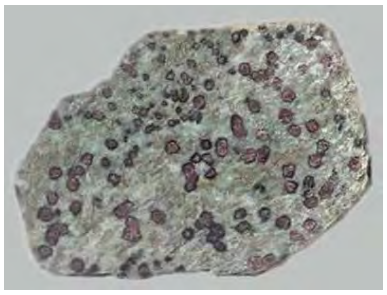
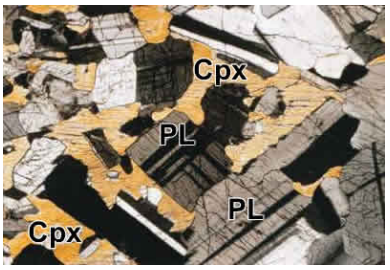
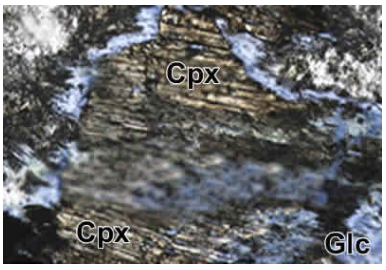
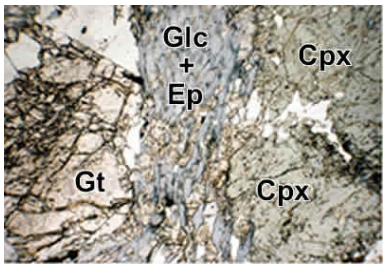
1) المميزات الصخرية للمنطقة:
تبرز الخريطة تمنطقا في توزيع الصخور المتحولة حيث ننتقل تدريجيا من مجال الشيست الأخضر (غني بالكلوريت)، نحو مجال الشيست الأزرق (غني بالكلوكوفان)، ثم إلى مجال الإكلوجيتات (جادييت والبيجادي) المتداخلة مع الأوفيوليت.

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 والجاديت 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 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.

1) 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.

2) 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.

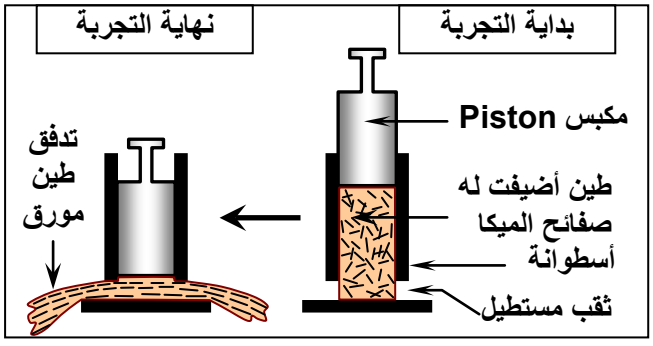
① تجارب الكشف عن ظروف التحول:

أ - **تأثير الضغط: تجربة Daubrée** أنظر الوثيقة 5 شكل أ.

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 أمامه معطيات ونتائج هذه التجربة.

★ انطلاقا من معطيات الشكل أ، اربط العلاقة بين نتائج تجربة Daubrée والشيستية المميزة للصخور المتحولة.



في نهاية التجربة، 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.

الوثيقة 5: تجارب الكشف عن ظروف التحول.

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:

$$\underset{\text{كاولينيت}}{Al_4SiO_4(OH)_8} + 2SiO_2 \rightarrow SiO_2 + 4H_2O + \underset{\text{أندلوسيت}}{2Al_2SiO_5}$$

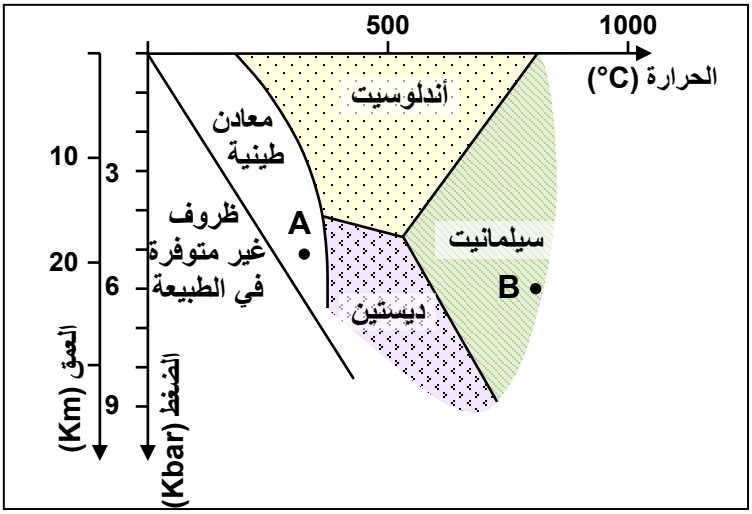
⇦ عند 700°C يبدأ الانصهار حيث يصبح الوسط يضم جزأين: جزء صلب يحتوي على البيوتيت والسيليمانيت، وجزء سائل ناتج عن الانصهار الجزئي للمادة الأصلية.

★ انطلاقا من النتائج السابقة ومعطيات الشكل ب، حدد العوامل المسؤولة عن التحول.

يتبين من خلال هذه التجارب أنه عند ارتفاع درجة الحرارة تخضع الصخرة الصلبة لتغيرات عيدانية حيث تظهر معادن وتختفي أخرى. إذن بالاضافة الى عامل الضغط، فالحرارة مسؤولة عن تغيرات عيدانية للصخرة في حالتها الصلبة.

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

الوثيقة 5: تجارب الكشف عن ظروف التحول.



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 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؟

★ 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.

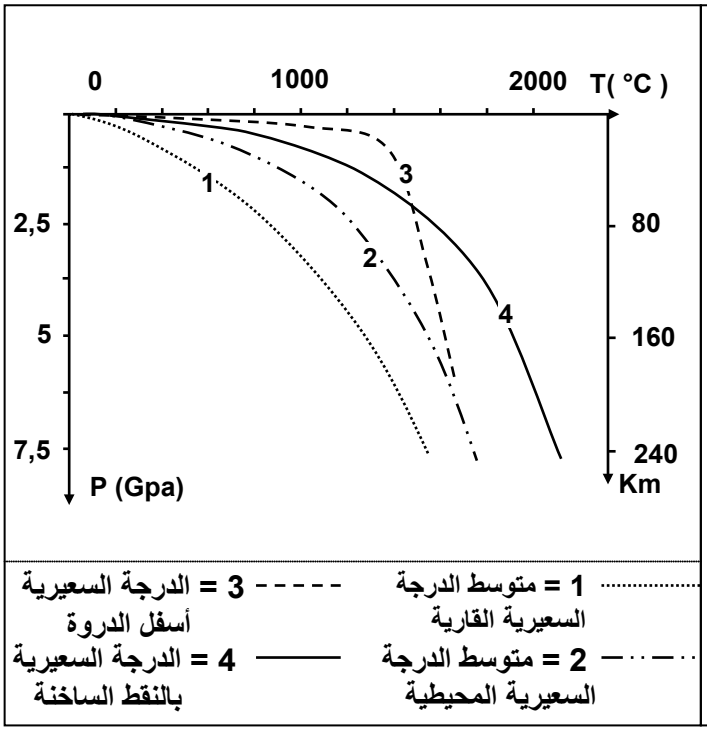
الوثيقة 6: ظروف التحول في الطبيعة.

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



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

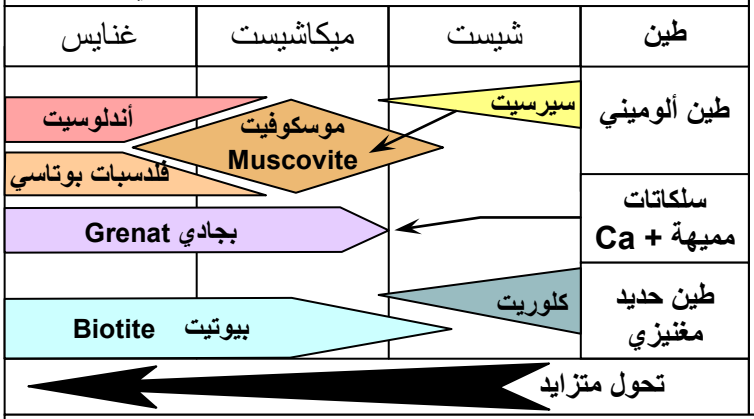
★ يعطي الشكل ج تغير التركيب العيداني حسب ظروف الضغط ودرجة الحرارة، أي حسب ارتفاع شدة التحول.

⇦ 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	كورديبريت + مرو	اختفاء البيوتيت

ارتفاع شدة التحول

⇦ 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.

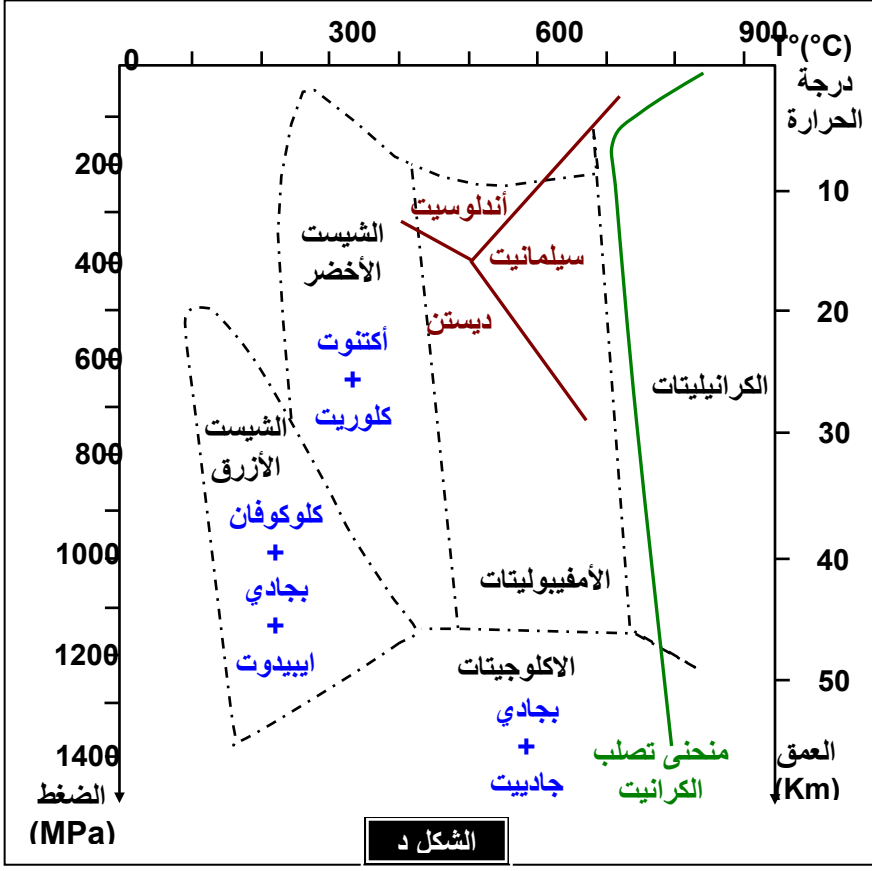
الوثيقة 7:

★ 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

⇦ 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.

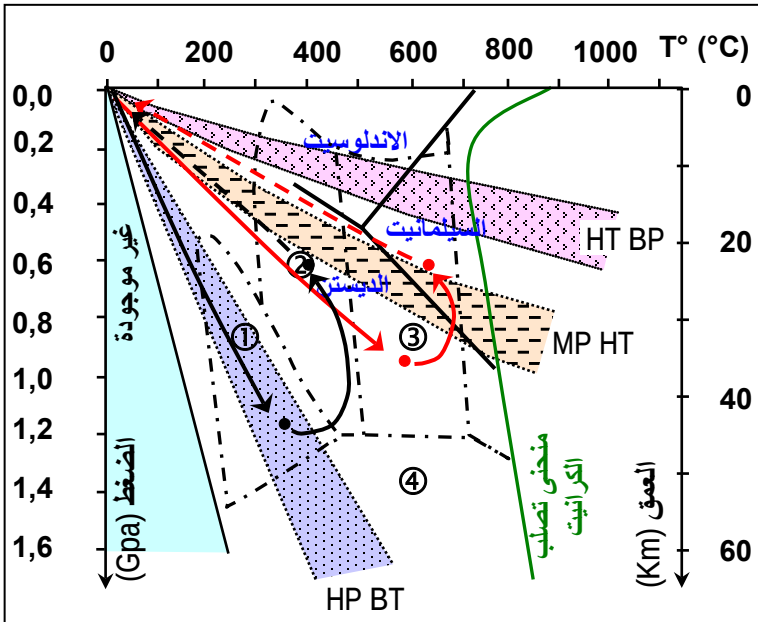
★ في مناطق الاصطدام، يحدث ارتفاع متزامن لكل من الضغط والحرارة فيكون التحول دينامي – حراري = تحول إقليمي = تحول عام.

★ 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

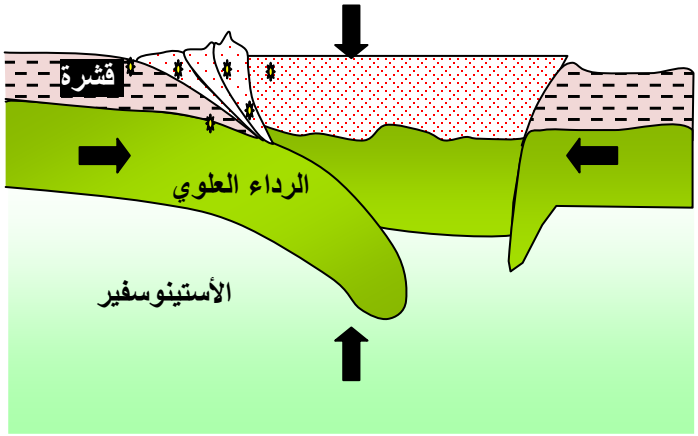
= مسار التحول لقطعة من البازلت الأوفيوليتي الألبي

= مسار التحول لقطعة من الميكاشيست للغلاف القاري

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.

ضغط الكتلة الصخري

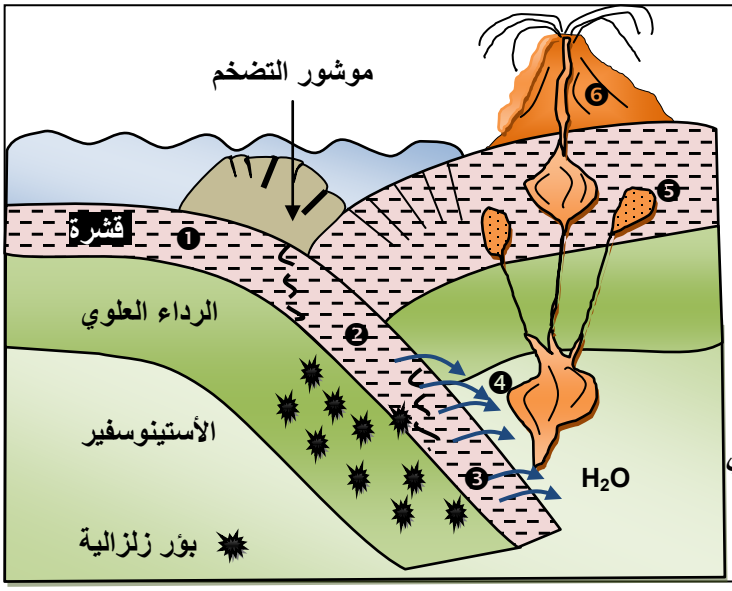
قوى تكتونية انضغاطية

توازن تضاغطي

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.

الوحدة الرابعة، الفصل الثالث:
الكرانيتية وعلاقتها بظاهرة التحول

مقدمة: تعتبر الصخور الكرانيتية صخورا صهارية بلوتونية، ناتجة عن تبريد وتصلب صهارة في العمق، وهي المكون الأساسي للقشرة القارية.

- **ما هي ظروف تشكل الصخور الكرانيتية؟**
- **ما هي علاقتها بظاهرة التحول؟**

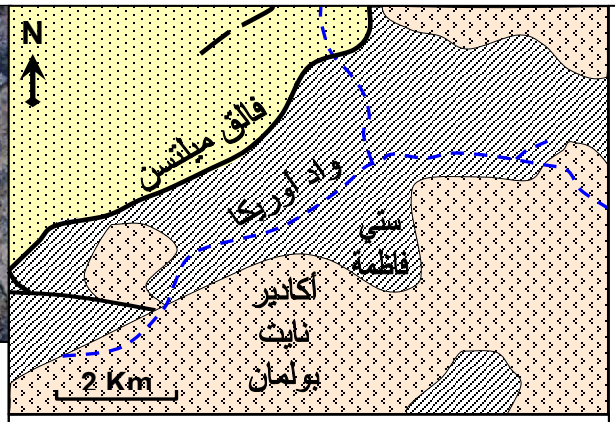
I – الكرانيت الاناتيكتي Le granite d'anatexie مثال كرانيت أوريكا العليا:

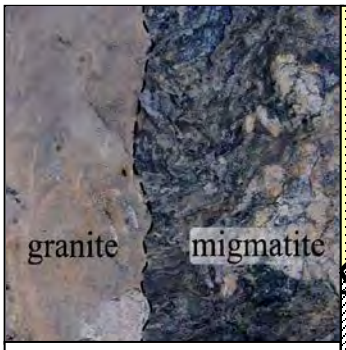
① ملاحظات ميدانية: أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: ملاحظة ميدانية لاستسطاح الكرانيت الأناتيكتي والصخور المتحولة المجاورة له

تمثل الوثيقة أمامه خريطة جيولوجية مبسطة لناحية أوريكا العليا، صحبة منظر لاستسطاح سحنة تتداخل فيها المجموعة الكرانيتية بالمجموعة المتحولة.

انطلاقا من تحليل الخريطة الجيولوجية، ومن ملاحظة العينة الصخرية حدد العلاقة الممكنة بين الصخور المكونة لمنطقة ستي فاطمة.



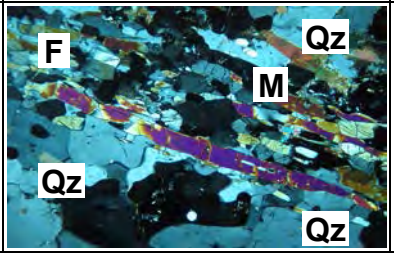
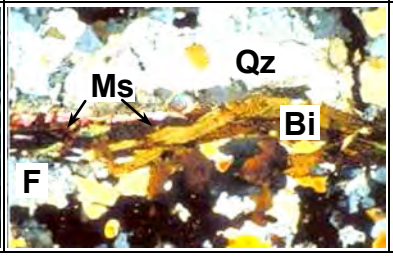
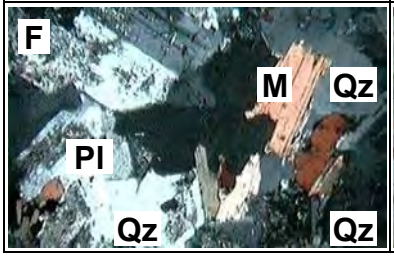


منظر لاستسطاح الميكماتيت بمنطقة ستي فاطمة يبرز تداخل الغنايس مع الكرانيت

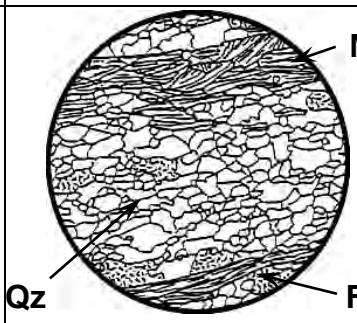
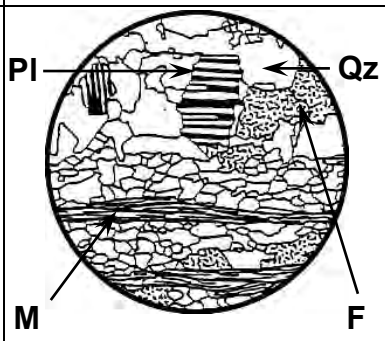
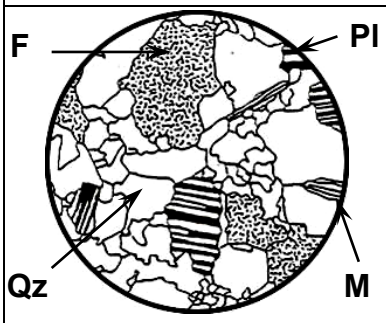
يرتبط كرانيت ستي فاطمة بصخور شديدة التحول مثل الغنايس وبعدة تشوهات على شكل فوالق أساسا.
لا توجد حدود واضحة بين استسطاح الكرانيت ذي اللون الفاتح والصخور المتحولة المجاورة، حيث تتشكل منطقة المرور من الكرانيت إلى الصخور المجاورة (الغنايس) من تشكيلات وسيطة عبارة عن خليط من الكرانيت والغنايس تسمى بالميكماتيت.(خليط = migma = mélange). وهي تدل على نهاية المتتالية التحولية مرورا من ظروف التحول إلى ظروف الانصهار.

② بعض خصائص الصخور المستسطحة بمنطقة ستي فاطمة: أنظر الوثيقة 2.

الوثيقة 2: التعرف على بعض خصائص الصخور المستسطحة بمنطقة ستي فاطمة (أوريكا العليا)

العينة الصخرية	الغنايس	الميكماتيت	الكرانيت
ملاحظة الصخرة بالعين المجردة			
ملاحظة الصفيحة الدقيقة بالمجهر المستقطب			

(تابع) الوثيقة 2: التعرف على بعض خصائص الصخور المستطحة بمنطقة ستي فاطمة (أوريكا العليا)

العينة الصخرية	الغنايس	الميكماتيت	الكرانيت
رسم تفسيري للملاحظة المجهرية			
التركيب العيداني	Qz = المرو. F = فيلدسبات بوتاسي. M = ميكا سوداء.	Qz = المرو. F = فيلدسبات بوتاسي. Pl = فيلدسبات بلاجيوكلاز. M = ميكا سوداء.	Qz = المرو. F = فيلدسبات بوتاسي. Pl = فيلدسبات بلاجيوكلاز. M = ميكا سوداء.
البنية	مورقة	مورقة - محببة	محببة

★ قارن بين العينات الصخرية.
★ تعبر هذه العينات عن مرور تدريجي نحو الكرانيت. أبرز ذلك معتمدا المعطيات الخاصة بالميكماتيت.

★ الكرانيت صخرة صلبة، ذات بنية حبيبية، تتكون من ثلاثة معادن رئيسية هي المرو، الميكا السوداء (البيوتيت)، والفيلدسبات الذي يكون ورديا ويسمى أورتوز، أو أبيض غير لامع ويسمى البلاجيوكلاز. (معادن غير موجهة).

★ الغنايس صخرة صلبة ذات بنية مورقة،، تتكون من المرو، الفيلدسبات، البيوتيت والسيليمانيت. (معادن موجهة).

★ تتميز الميكماتيت بتعاقب مناطق فاتحة (كرانيتية ذات بنية محببة) تتكون من المرو والفلدسبات، ومناطق داكنة(متحولة) عبارة عن مستويات مسطحة تتميز بوجود الميكا السوداء (البيوتيت).

★ يتبين من الملاحظة المجهرية أنه كلما اقتربنا من الكتلة الكرانيتية، إلا وتم الانتقال من بنية مورقة مميزة للغنايس، نحو بنية محببة مميزة للكرانيت.

★ إن للكرانيت والغنايس نفس التركيب العيداني، مع اختلاف في البنية وقد البلورات. ومن تم يمكن القول بأن هذه الصخور لها نفس الأصل.

③ خلاصة:

★ 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.

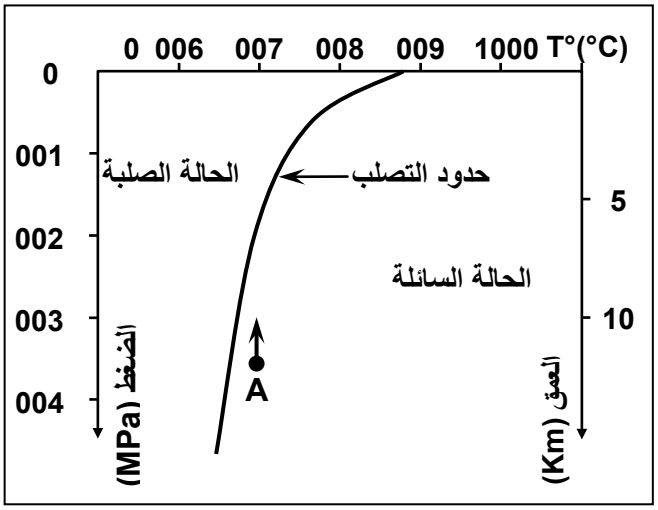
★ بما أن توجيه المعادن يفقد في صخرة الكرانيت، فيمكن أن نفترض أن المرور من الغنايس إلى الكرانيت يتم بظهور حالة سائلة: يعني أن الصخرة الأصلية تنصهر بفعل الضغط والحرارة فتعطي عند تبردها الكرانيت. نسمي هذا النوع من الكرانيت بالكرانيت الأناتيكتي.

II – الأناتيكتية وعلاقتها بتشكل السلاسل الجبلية:

① ظروف تصلب الصهارة الكرانيتية: أنظر الوثيقة 3.

الوثيقة 3: ظروف تبلور الصهارة الكرانيتية.

يمثل البيان أسفله 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 اللذين 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 .

1) كلما ازدادت درجة الضغط (كلما زاد العمق) كلما انخفضت درجة حرارة تصلب الصهارة الكرانيتية (لاحظ مثلا أن صهارة كرانيتية 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 أي صخرة داخلية النشأة، وتظهر في السطح بفعل عوامل التعرية.

4) لكي تصل الصهارة السطح سائلة يلزم أن تتوفر على حرارة تفوق 900°C، وهذا لا يتوفر إلا ناذرا فتعطي الصهارة حينئذ بعد تصلبها صخرة الريوليت.

خلاصة:

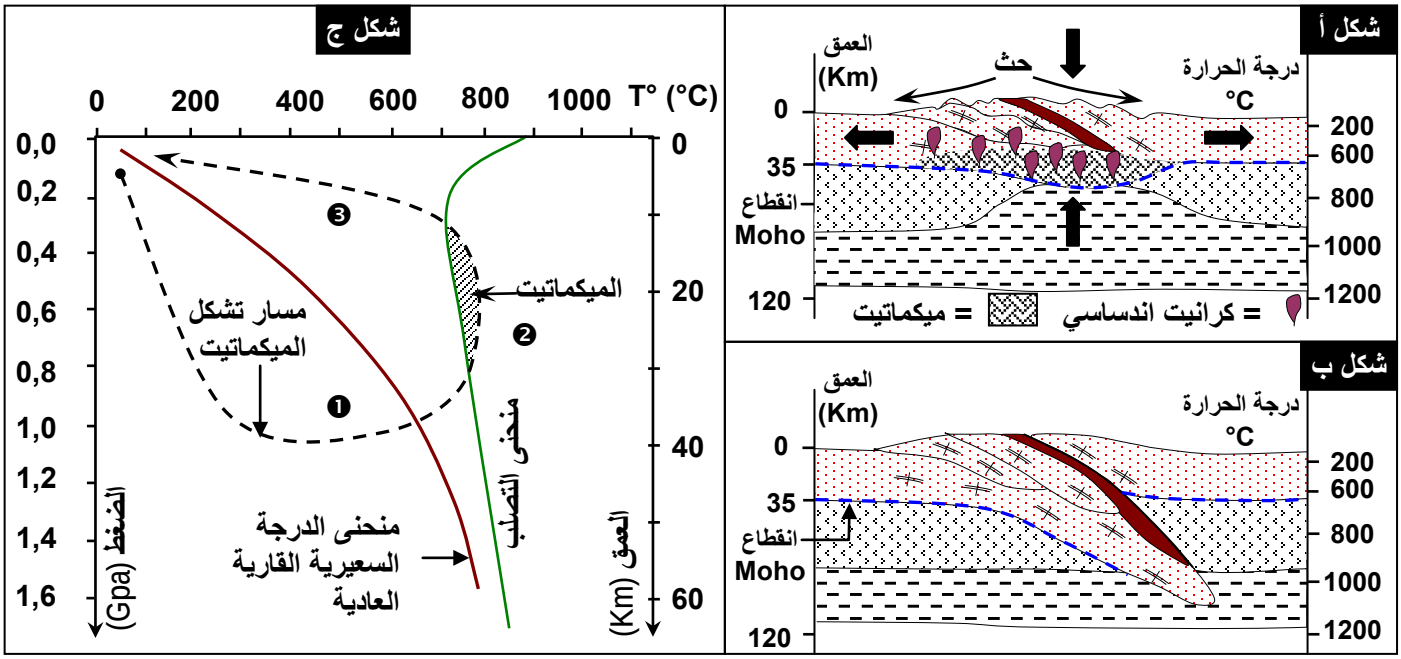
عندما تبلغ درجة حرارة الصخور 700 °C وتحت الضغوط السائدة في أعماق المناطق غير المستقرة، تخضع لانصهار جزئي لتعطي سائلا ذا تركيب كرانيتي (الأناتيكتية).
تتركز القطرات الأولى من السائل الناتج على شكل أكوام، وتعطي بتبلورها مادة كرانيتية حديثة التكون، تبقى مرتبطة بمادة لم تنصهر بعد، الشيء الذي يفسر تكون صخور الميكماتيت. وعندما تزداد نسبة السائل الناتج، يمكنه أن يتصلب في موقعه ليعطي الكرانيت الأناتيكتي.

② علاقة الكرانيتية بالسلاسل الجبلية: أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: علاقة الكرانيت الأناتيكتي بسلاسل الاصطدام.

في مناطق الاصطدام، يؤدي غور بعض الوحدات الصخرية للقشرة القارية إلى خضوعها لدرجات حرارة وضغط مرتفعين. أثناء صعود هذه الوحدات نتيجة الحركات التكتونية، ينخفض الضغط، بينما تظل الحرارة مرتفعة مما يؤدي إلى انصهار جزئي للصخور، وتشكل السائل الأناتيكتي الذي يعطي صهارة كرانيتية أناتيكتية تتبرد في مكانها.
يعطي الشكل أ والشكل ب، رسوم تخطيطية لتوضيح أصل الكرانيت الأناتيكتي خلال تشكل سلاسل الاصطدام.
يعطي الشكل ج مسار تشكل الميكماتيت حسب تغير كل من الضغط والحرارة خلال تشكل سلاسل الاصطدام.

★ وظف معطيات المبيان على الشكل ج لتفسير تشكل الكرانيت الأناتيكتي في مناطق تشكل السلاسل الجبلية.
★ أبرز دور العوامل التكتونية في تشكل الكرانيت الأناتيكتي المصاحب للسلاسل الجبلية.



★ في مناطق الاصطدام، تؤدي القوى الانضغاطية إلى 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 أناتيكتي يتبرد في موقع نشأته ليعطي ميكماتيت وكرانيت أناتيكتي (الجزء ❷ من السهم الممثل في الشكل "أ" والمرحلة b في الشكل "ب").

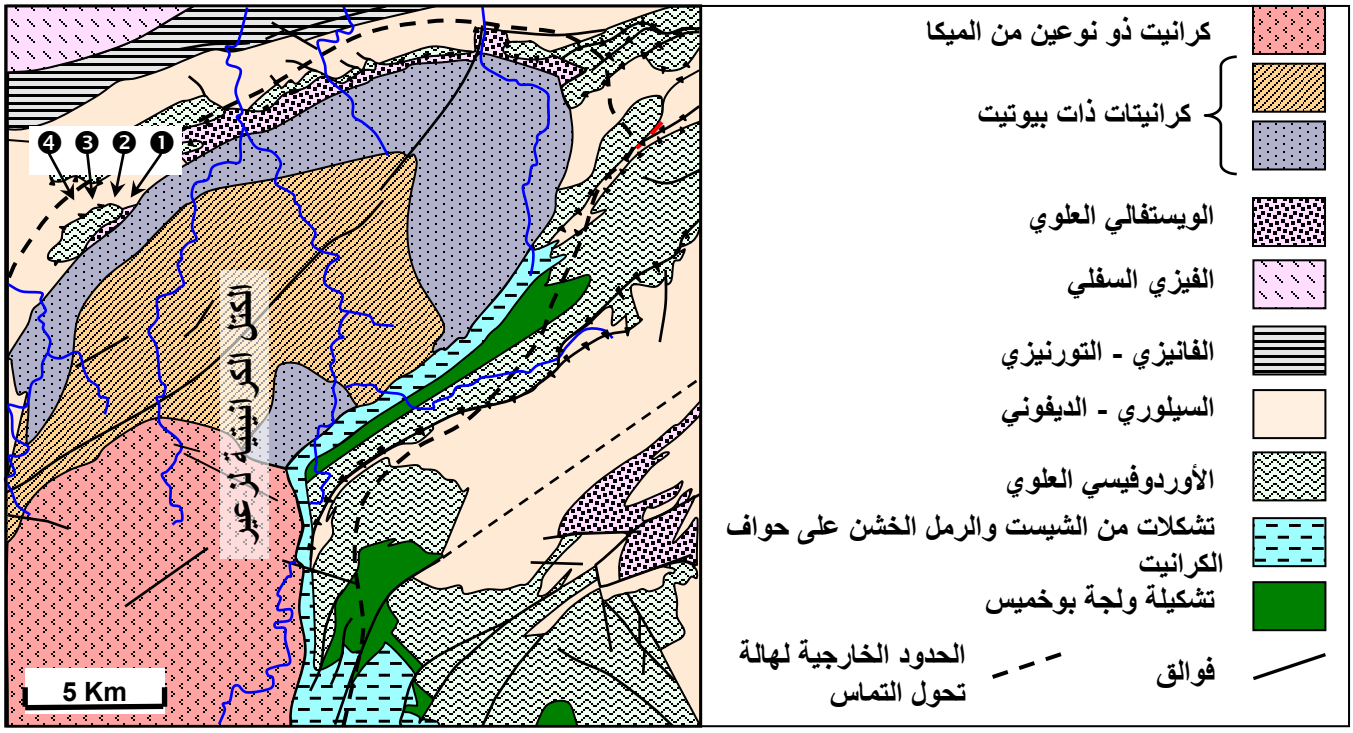
★ لا يستسطح تيارالكل إلا بعد حث الصخور التي كانت تعلوه وذلك بعد ملايين السنين من تشكله.

III – اندساس الصهارة الكرانيتية وتحول التماس:

① دراسة كتلة كرانيت زعير: أنظر الوثيقة 5.

الوثيقة 5: علاقة الكرانيت الأناتيكتي بسلاسل الاصطدام.

تعطي الوثيقة أسفله خريطة جيولوجية مبسطة تظهر كرانيت زعير وتموضع هالة التحول مع مواقع أخذ العينات الصخرية المميزة لهذه الهالة.

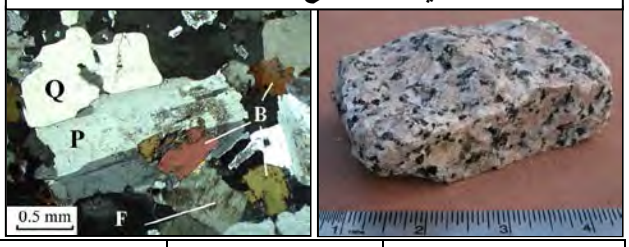


(تابع) الوثيقة 5: علاقة الكرانيت الأناتيكتي بسلاسل الاصطدام.

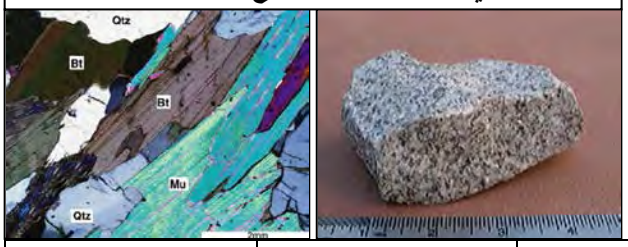
الصخرة	❶	❷	❸	❹
المميزات العيدانية	فلدسبات بوتاسي	كورديييريت + أندلوسيت	أندلوسيت + بيوتيت	بيوتيت (كلوريت) + سيريسيت

نعطي كذلك بعض العينات الكرانيتية صحبة صفائح دقيقة ملاحظة بالضوء المستقطب.

كرانيت ذي بيوتيت مع الملاحظة المجهرية



كرانيت ذي نوعين من الميكا مع الملاحظة المجهرية



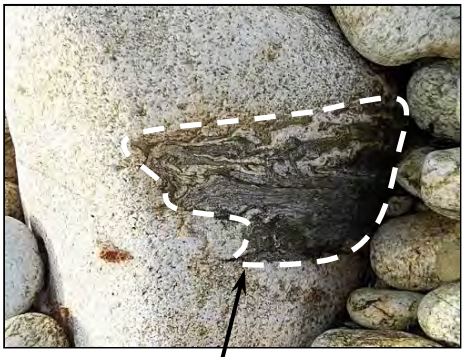
B = Bt = بيوتيت	Q=Qtz= مرو	P= فيلدسبات بلاجيوكلاز	F= فيلدسبات بوتاسي	Mu= موسكوفيت

1) انطلاقا من تحليل الخريطة الجيولوجية حدد خاصيات كرانيت زعير وعلاقته بالصخور المتحولة.
2) قارن بين مختلف العينات الصخرية المقترحة. فسر اختفاء الشيستية عند الاقتراب من كتلة الكرانيت واختفاء وظهور معادن جديدة كالأندلوسيت (معدن مميز للضغط المنخفض والحرارة المرتفعة).
3) انطلاقا من مختلف المعطيات حدد نمط التحول الذي خضعت له الصخور المجاورة لكتلة الكرانيت.

توجد في حدود الكتلة الكرانيتية لزعير حبيسات تختلف من حيث البنية والتركيب العيداني عن الكرانيت الذي يضمها (الصورة أمامه). ويمكن التعرف على أصلين أساسيين للحبيسات:

★ أصل عميق (حبيسات تحتوي على الكوراندون والسبينيل وهي معادن تتشكل في ظروف 5Kb = 16Km).

★ أصل من الصخور المحيطة بالكرانيت (حبيسات ذات أندلوسيت، سليمانيت وبيوتيت وهي معادن تتشكل في ظروف 2.5Kb = 8Km).



حبيسة من الميكاشيست داخل الكرانيت

4) فسر وجود الحبيسات على جوانب الكتل الكرانيتية محددا أهميتها في تعرف أصل الصهارة الكرانيتية.

1) انطلاقا من الخريطة الجيولوجية 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 (لا تتعدى2Km).

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: فنقول كرانيت اندساسي (Granite intrusif).

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).
- 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 Métamorphisme de contact.

4) قد نصادف داخل الكرانيت الاندساسي بعض الحبيبات، وهي بقايا الصخرة الأصلية التي لم تهضم من طرف الصهارة الكرانيتية.

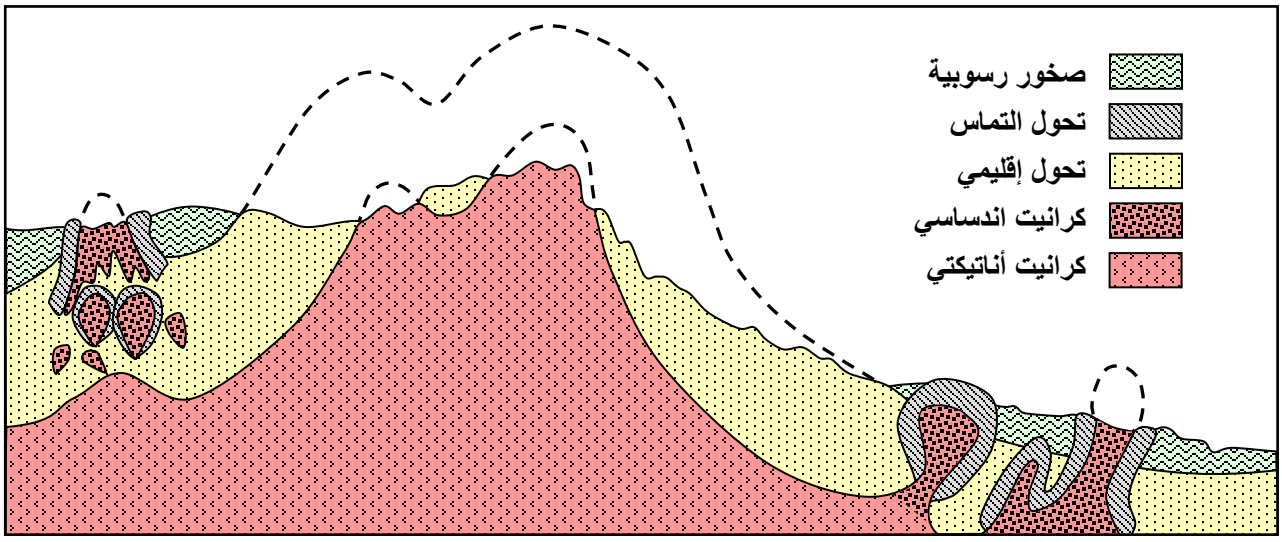
② خلاصة:

في بعض الحالات يمكن للصهارة الأناتيكتية الساخنة أن تصعد إلى الأعلى، فتخترق صخورا سابقة الوجود، وتتصلب وسطها. ونظرا للحرارة المرتفعة، تتعرض الصخور المجاورة لتغيرات بنيوية وعيدانية، يصطلح عليها تحول التماس أو التحول الحراري، لأن عامل الحرارة هو العامل الرئيسي في هذه الحالة.

IV – مقارنة الكرانيت الأناتيكتي والكرانيت الاندساسي: أنظر الوثيقة 6.

الوثيقة 6: العلاقة بين التحول الإقليمي والكرانيت الاناتيكتي من جهة وتحول التماس والكرانيت الاندساسي من جهة أخرى.

يمثل المقطع التالي رسما للتصور العام للعلاقة بين كل من الكرانيت الأناتيكتي والتحول الإقليمي من جهة، والكرانيت الاندساسي وتحول التماس من جهة أخرى.
انطلاقا من هذه المعطيات، استنتج العلاقة بين الكرانيت الاندساسي والكرانيت الأناتيكتي. لخص ذلك في جدول موضحا العلاقة بين كل من الكرانيت الأناتيكتي والكرانيت الاندساسي والتحول الإقليمي وتحول التماس.



يدرج الجدول التالي العلاقة بين نوعي الكرانيت ونوعي التحول المرتبطين بهما:

	الكرانيت الأناتيكتي وعلاقته بالتحول الإقليمي	الكرانيت الاندساسي وعلاقته بتحول التماس
أصل الكرانيت	صهارة ناتجة عن ظاهرة **الأناتيكتية تتبلور في موقع تشكلها.**	صهارة ناتجة عن ظاهرة **الأناتيكتية تغادر موقعها الأصلي، تصعد عبر الصخور التي تعلوها وتحل محلها.**

العلاقة بين الكرانيت والتحول	يدخل الكرانيت الأناتيكتي ضمن متتالية **التحول العام** (يشكل حلقة **قصوى** من درجات "التحول").	الكرانيت الاندساسي هو المسؤول عن حدوث **التحول** الذي حوله (هالة التحول).
المميزات الميدانية للحدود بين الكرانيت والصخور المتحولة.	انتقال **تدريجي** من الصخور المتحولة إلى الكرانيت الأناتيكتي، 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)