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).

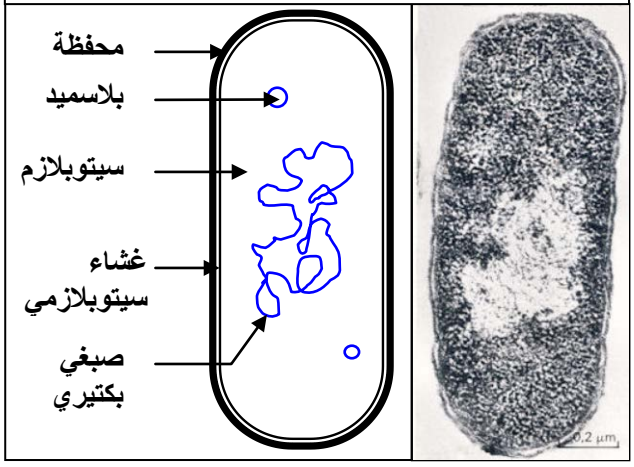
② العلاقة بين الخبر الوراثي والصفة.

أ – تجارب. أنظر الوثيقة 1.

الوثيقة 1: التحول البكتيري عند Escherichia coli.

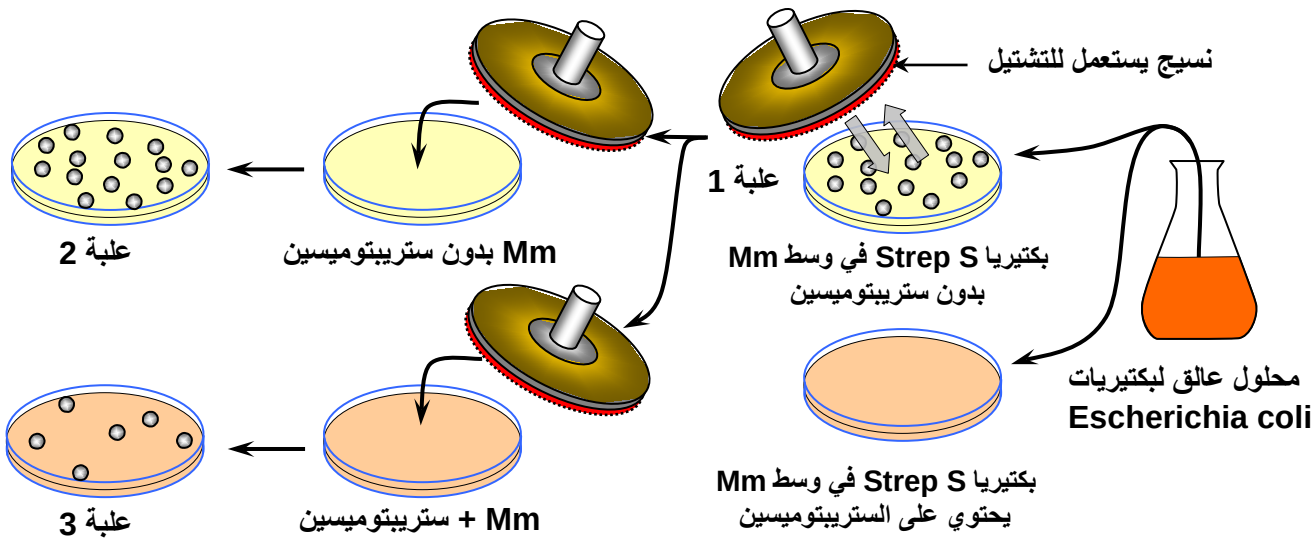
نقوم بتجربة عند إحدى الكائنات الحية التي لها بنية بسيطة ودورة نمو قصيرة زمنيا مثل بكتريا Echerichia-Coli (الشكل أمامه).
E.coli هي بكتيريا تكون عادة حساسة للمضاد الحيوي Antibiotique ستريبتوميسين Streptomycine، ويصطلح على تسميتها Strep S.

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.

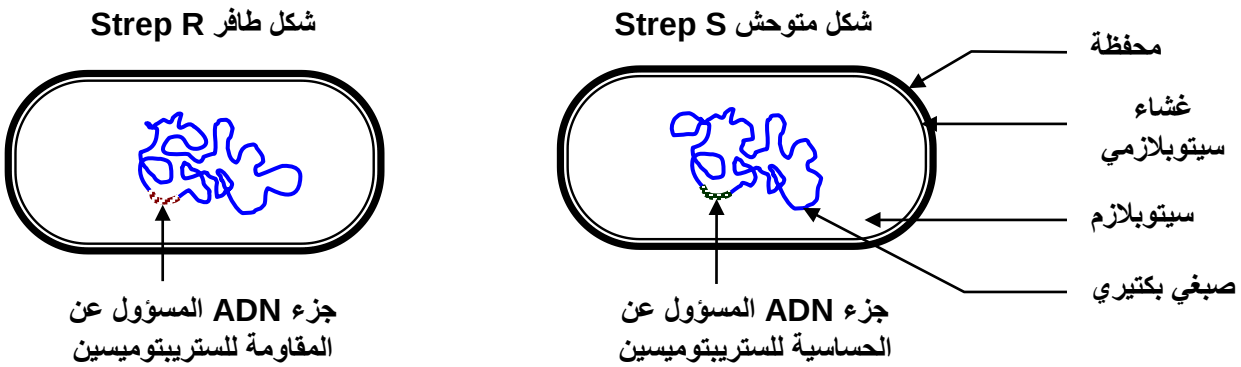
ب – تحليل واستنتاج.

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.

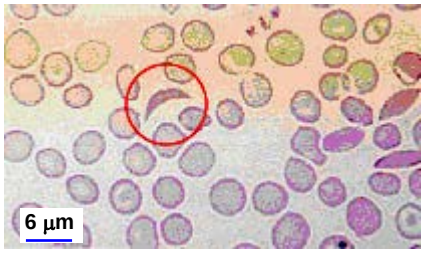
الوثيقة 3: فقر الدم المنجلي L'anémie falciforme.

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.

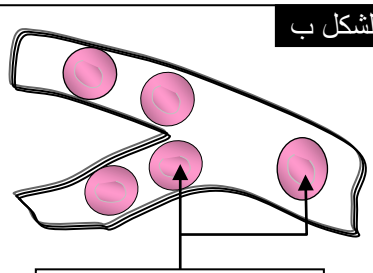
فقر الدم ألمنجلي مرض استقلابي ناتج عن تركيب خضاب دموي غير عادي (تشوه الكريات الحمراء تصبح منجلية الشكل) يرمز له ب (HbS)، بينما يرمز لخضاب الدم العادي ب (HbA). أنظر الشكل أ.

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)

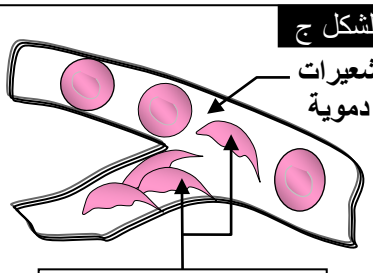
الشكل أ: ملاحظة مجهرية لكريات دموية عند شخص مصاب بفقر الدم المنجلي



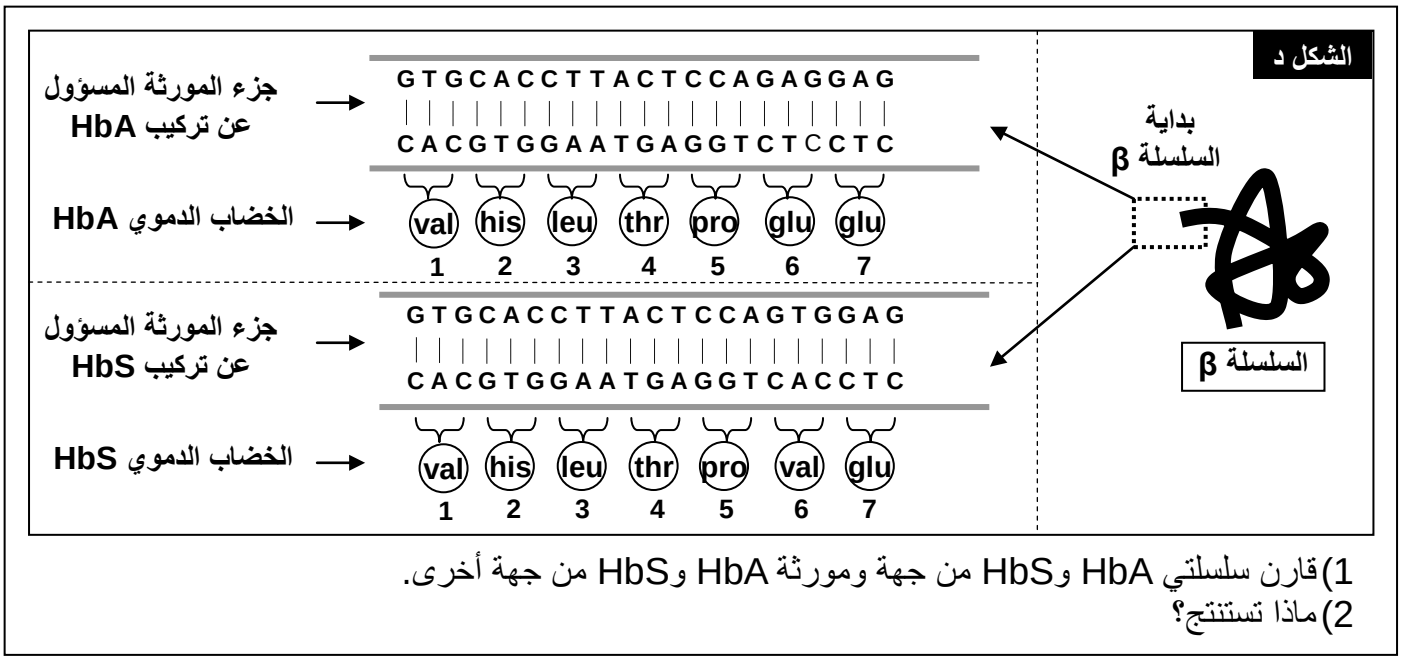
الشكل ب



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.

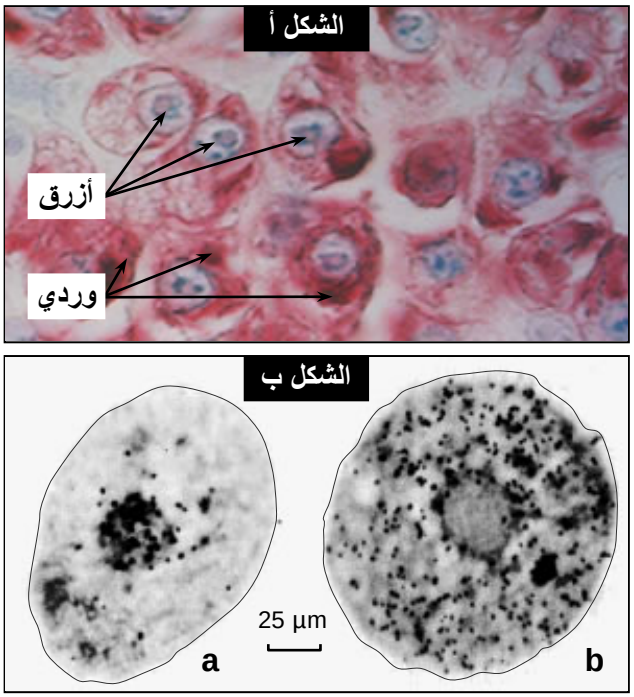
II – آلية تعبير الخبر الوراثي: من المورثة إلى البروتين.

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.

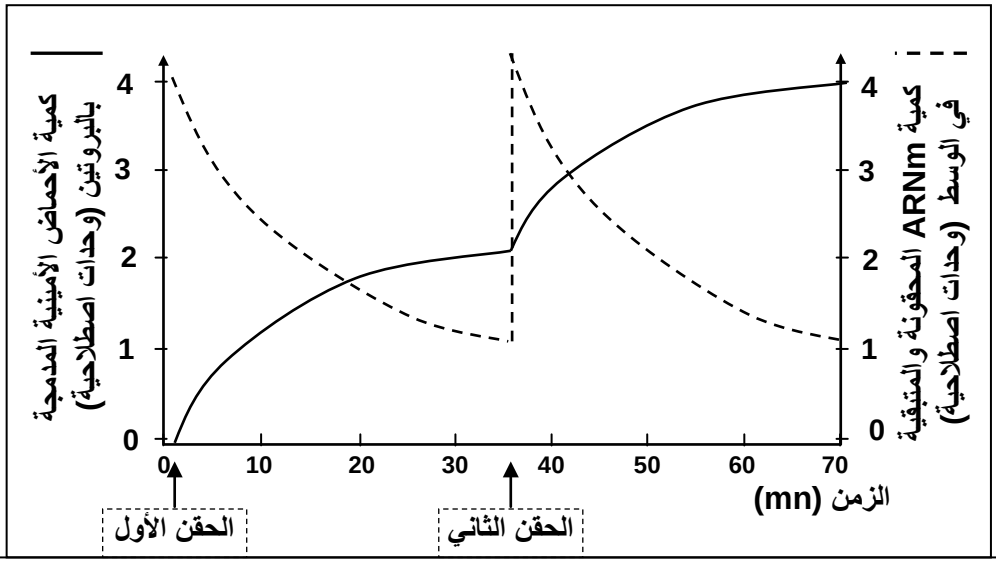
★ انطلاقا من الشكل أ من الوثيقة يتبين أن اللون الأزرق يتركز في النواة، بينما السيتوبلازم يظهر ملونا بالوردي.
نستنتج من هذا أن ADN يتواجد بالنواة، بينما جزيئة ARN تتواجد بالسيتوبلازم.

★ 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.

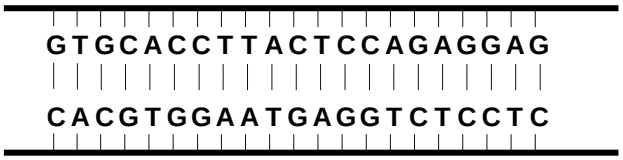
ماذا تستنتج من تحليل معطيات هذه التجربة؟

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.

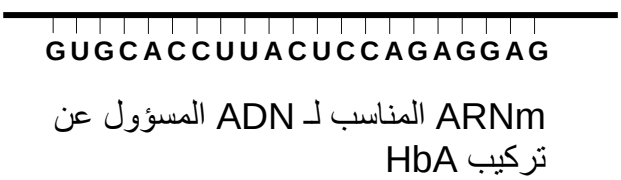
② بنية جزيئة ARN. أنظر الوثيقة 6 والوثيقة 7.

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.



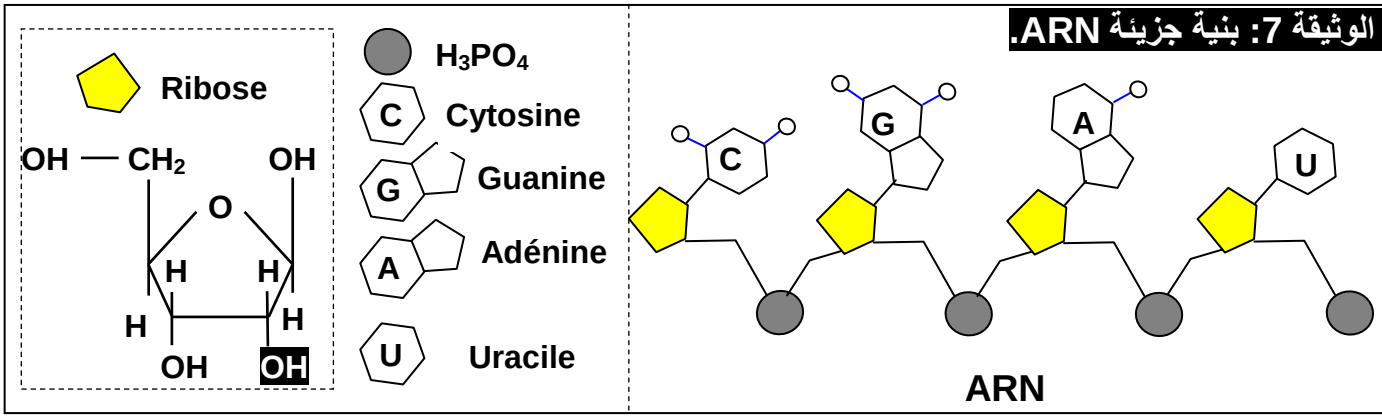
جزء من ADN المسؤول عن تركيب HbA



ARNm المناسب لـ ADN المسؤول عن تركيب HbA

U = قاعدة ازوتية هي الأوراسيل (Uracile)

الوثيقة 7: بنية جزيئة 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.

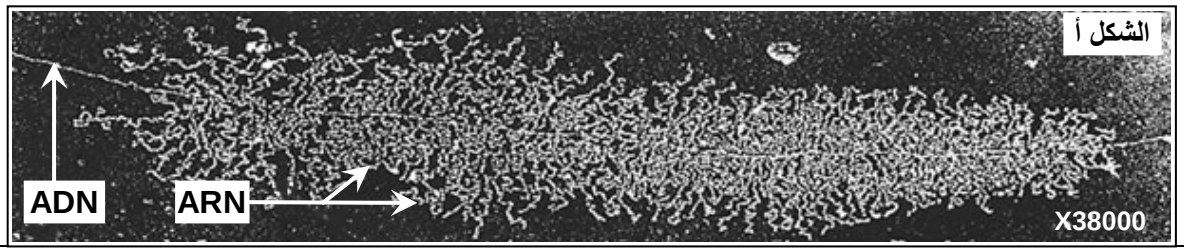
أ – مرحلة نسخ ARN: من المورثة إلى ARNm. أنظر الوثيقة 8

الوثيقة 8: بنية جزيئة ARN.

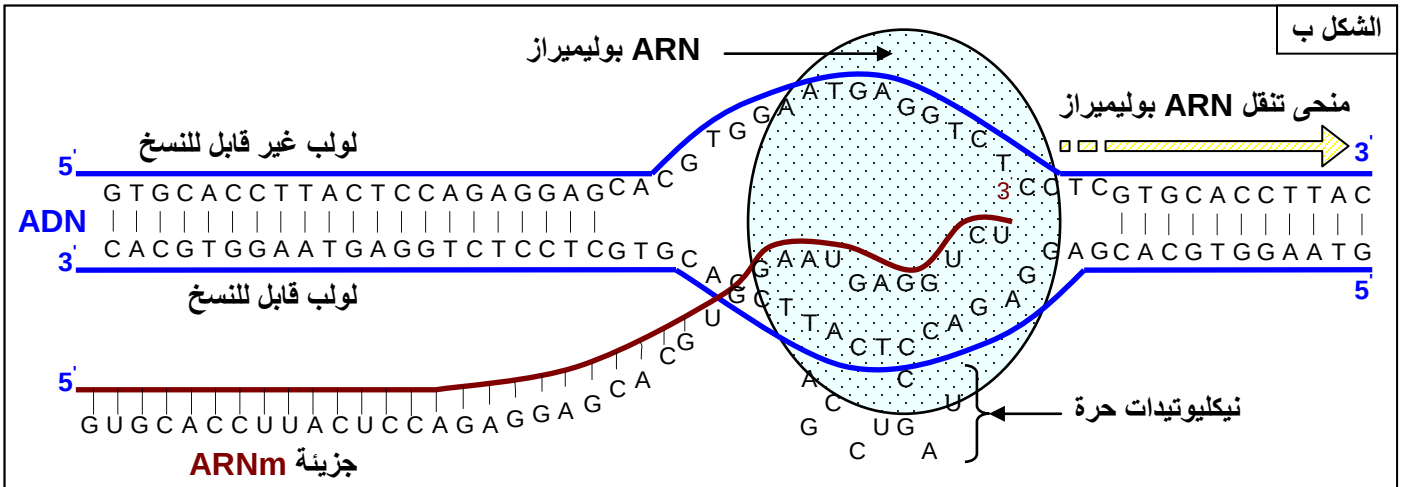
للـ ARNm والـ ADN بنية متشابهة نسبيا، حيث أنهما معا يتشكلان من متتالية نيكليوتيدات. وتلعب جزيئة ARNm دور الوسيط بين الـ ADN في النواة وتركيب البروتينات في السيتوبلازم، إذ يعمل على نقل الرسالة الوراثية من ADN بشكل متطابق. تسمى هذه العملية بالاستنساخ (النسخ الوراثي) La transcription.

★ 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 ؟

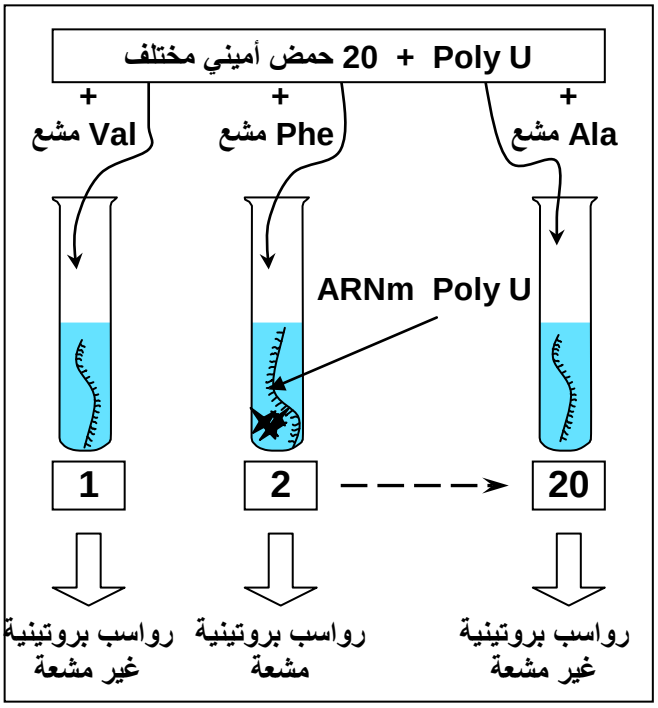
تبين هذه المعطيات ما يلي:

- 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	U		C		A		G		الحرف الثالث
U	UUU	Phe الفينيلالنين	UCU	Ser سيرين	UAU	Tyr تيروزين	UGU	Cys سيستيين	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 برولين	CAU	His هستدين	CGU	Arg أرجنين	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 أرجنين	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.

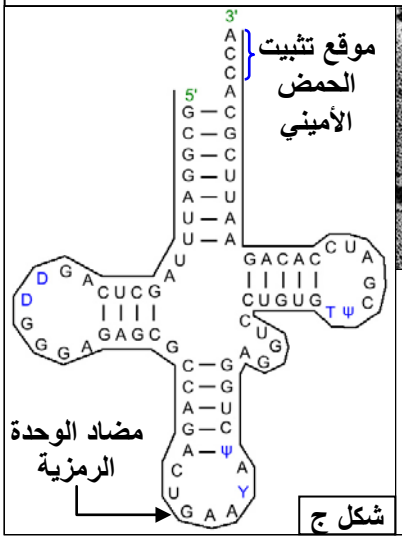
الوثيقة 12: العناصر المتدخلة في تركيب البروتينات:

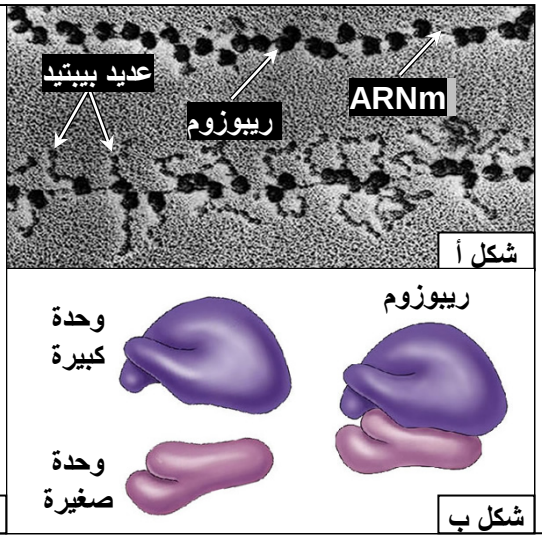
تتم عملية تركيب البروتينات بتواجد ARNm، لكن هناك عدة عناصر أخرى تتدخل خلال هذه العملية، لتُحول الرسالة المحمولة على ARNm، إلى سلسلة أحماض أمينية. توضح الوثائق أمامه أهم هذه العناصر:

★ 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. وتتشكل الريبوزومات داخل النوية.

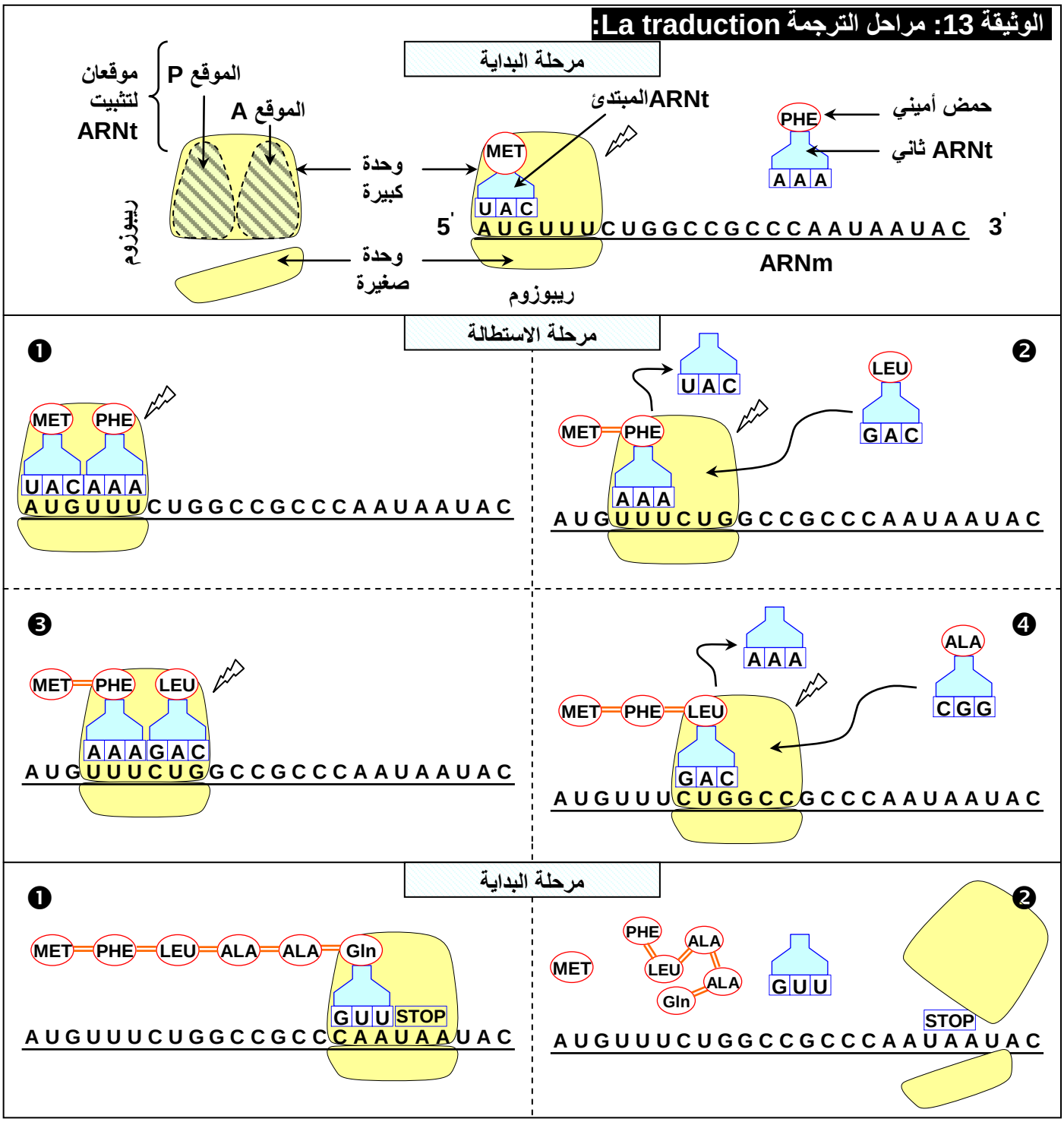
⇦ ARN ناقل (ARNt) الموجود بالسيتوبلازم (شكل ج)، ويختص بنقل الأحماض الأمينية الحرة المطابقة للوحدة الرمزية. وتتكون جزيئة ARNt من نيكليوتيدات وتتضمن موقعين:

- ✓ 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).