

## الفصل الثاني:

# تبيير 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 مثلاً)، في حين لا تبرز أخرى إلا بواسطة اختبارات أو تحاليل خاصة (الفصيلة الدموية مثلاً).

#### ② العلاقة بين الخبر الوراثي والصفة.

##### أ - تجربة. أنظر الوثيقة 1.

**الوثيقة 1: التحول البكتيري عند Escherichia coli**

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

نقوم بتجربة عند إحدى الكائنات الحية التي لها بنية بسيطة ودورة نمو قصيرة زمنيا مثل بكتيريا Echerichia-Coli (الشكل أمامه).

E.coli هي بكتيريا تكون عادة حساسة للمضاد الحيوي Antibiotique، Streptomycine ويصطلاح على تسميتها Strep S.

**التجربة الأولى:**

- ﴿ نزرع بكتيريا حساسة للستريبيتوسسين (Strep S) في وسط أدنى (أملاح معنية + غراء + سكر) = (Mm) بدون ستريبيتوسسين (علبة بيوري 1). ﴾
- ﴿ نحضر هذه البكتيريات في حرارة 37°C لعدة ساعات، فنلاحظ ظهور مستعمرات بكتيرية (clone) = (لمات بكتيرية colony). ﴾
- ﴿ بعد ذلك، تم تشتيلها (نقلها) إلى أوساط مختلفة كما هو مبين على الوثيقة أسفله: ﴾

الأستاذ: يوسف الأندلسبي

1

طبيعة الخبر الوراثي

www.students.ma

- 1) انطلاقاً من معطيات هذه التجربة، أعط تعريفاً للمة.
- 2) صف هذه التجربة، ثم حدد ما هو المشكل الذي تطرحه هذه النتائج؟
- 3) اقترح تفسيراً لنتائج هذه التجربة.

### التجربة الثانية:

نضع بكتيريا *Strep S* غير قادرة على العيش في وسط لا يحتوي على اللاكتوز (*Lactose*). وتتطلب هذه البكتيريا هذا الأخير للعيش ولها يرمز إليها بـ (*Lac<sup>-</sup>*), ادن هذه البكتيريا سيرمز إليها بـ (*Strep s*, *Lac<sup>-</sup>*). إذا تبعنا هذه التجارب فإننا نحصل بالإضافة للبكتيريا المذكورة سابقاً على أنواع أخرى والتي هي : (*Strep s*, *Lac<sup>+</sup>*) , (*Strep r*, *Lac<sup>-</sup>*) .

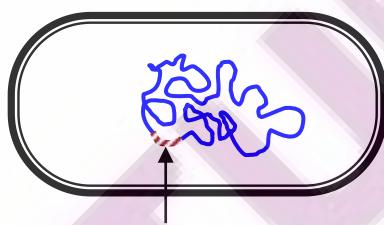
- 4) ماذا تستنتج من تحليل معطيات التجربة الثانية؟
- 5) اربط بين نتائج التجاربتين وبنية جزيئة *ADN* ثم استخلص مفهوم المورثة *Le gène* ومفهوم الحليب.

### 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 *ستريبيتوس* (*Strep S*), لكن تظهر تلائياً بكتيريات أخرى في هذا الوسط، مقاومة لـ *ستريبيتوس*، نصطلح على تسميتها (*Strep R*).
- 3) بما أن الصفة *Strep S* وراثية، والصفة *Strep R* بدورها وراثية، فإن المتحكم فيما هو *ADN* لا يمكن ادن تفسير تحول *بكتيريا Strep S* إلى *بكتيريا Strep R* إلا بحدوث تغير فجائي على مستوى *ADN*. وقد بيّنت دراسات أن قطعة من جزيء *ADN*, هي التي تتعرض للتغيير عند هذه البكتيريا. ونسمي هذا التغير بالطفرة *Mutation*, فنقول أن *بكتيريا Strep R* بكتيريا طافرة أما *بكتيريا Strep S* فهي بكتيريا متوجهة.

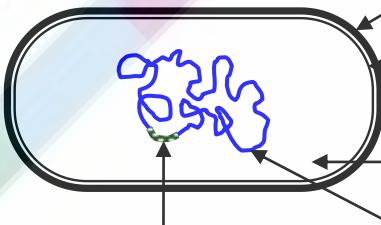
### رسم تخطيطي تفسيري لشكلي بكتيريا *Escherichia Coli*

شكل طافر



جزء *ADN* المسؤول عن المقاومة لـ *ستريبيتوس*

شكل متوجه



جزء *ADN* المسؤول عن الحساسية لـ *ستريبيتوس*

محفظة

غشاء  
سيتوبلازمي

سيتوبلازم

صبغي بكتيري

- 4) نلاحظ في هذه التجربة صفتين:

- ★ العلاقة بالـ *ستريبيتوس*: وتنظر شكلين، الشكل المتوجه *Strep S*، والشكل الطافر *Strep R*.
- ★ العلاقة بالـ *لاكتوز*: وتنظر شكلين، الشكل المتوجه *Lac<sup>-</sup>*, *Strep s*، والشكل الطافر *Lac<sup>+</sup>*, *Strep r*.

وهكذا فالسلالة المتوجهة بالنسبة للصفتين هي: (*Strep S, Lac<sup>-</sup>*).  
والسلالة الطافرة بالنسبة للصفتين هي: (*Strep R, Lac<sup>+</sup>*).

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

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

### ③ العلاقة مورثة - بروتين / بروتين - صفة.

## أ - مثال أول : تجربة Beadle et Tatum و Beadle 1941

### الوثيقة 2: تجربة Beadle et Tatum و Beadle 1941

قصد الكشف عن العلاقة صفة - بروتين - مورثة، نعمل على استئثار معطيات تجربة Beadle et Tatum و Beadle 1941. النوروسپورا Neurospora عفن مجهرى على شكل غزل فطري، ينمو عادة على الخبز. يمكن للسلالة المتوجهة أن تعيش في وسط أدنى يحتوى على سكر + ماء + أملاح الأمونيوم. بينما توجد سلالة طافرة غير قادرة على العيش في هذا الوسط.

نقوم بزرع السلالة الطافرة في وسط أدنى + الحمض الأميني التريبتوفان Tryptophane لـ 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 يلى:



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

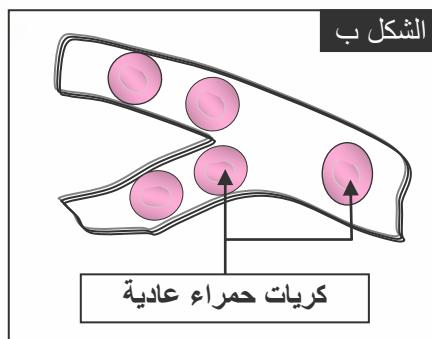
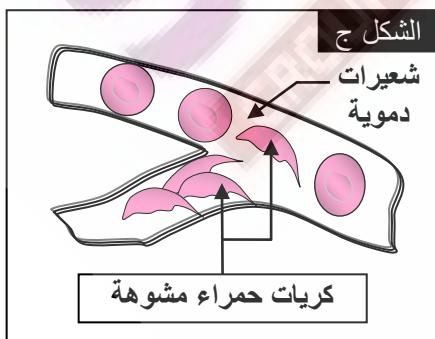
1) نلاحظ أن السلالة الطافرة غير قادرة على تركيب التريبتوفان في وسط أدنى يتكون من أملاح الأمونيوم فقط. لذا نرمز لهذه السلالة ب Try<sup>-</sup>، ونقول أنها سلالة غير ذاتية التركيب للتريبتوفان Auxotrophe pour la tryptophane. بينما السلالة المتوجهة Try<sup>+</sup> فهي ذاتية التركيب للتريبتوفان Autotrophe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

2) إن السلالة الطافرة Try<sup>-</sup> غير قادرة على تحديد التحول من أملاح الأمونيوم إلى حمض الأنترانيليك، لغياب الأنزيم E<sub>1</sub>. نستخلص ادن أن كل صفة مرتبطة بتركيب بروتيني معين، والذي يرتبط بدوره بتركيب أنزيمي معين.

## ب - مثال ثاني : فقر الدم المنجل Falciforme

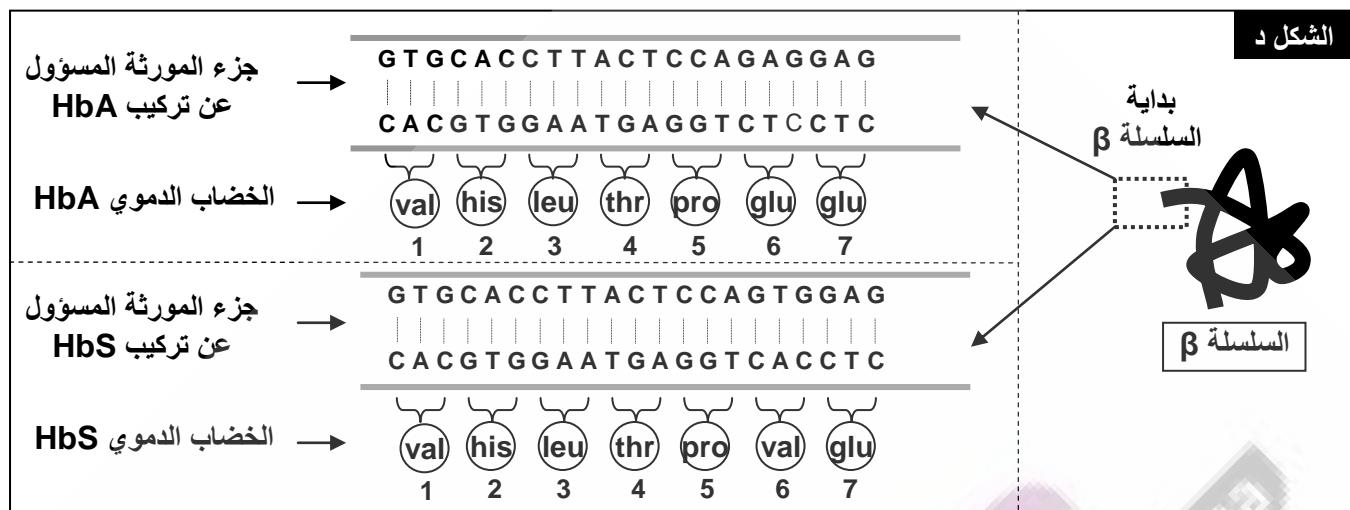
### الوثيقة 3: فقر الدم المنجل L'anémie falciforme

الخضاب الدموي L'hémoglobine، بروتين يوجد داخل الكريات الحمراء وله دورين: دور وظيفي يتجلّى في نقل الغازات التنفسية، ودور بنوي يتجلى في إعطاء الشكل الكروي المقعر للكريات الحمراء. فقر الدم المنجل 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). انظر الشكل أ. عند تحرير (HbS) للأكسجين يصبح الخضاب غير دواب ويتربّس على شكل ابر تشوّه مظهر الكريات الحمراء التي تفقد ليونتها وتسد الشعيرات الدموية، مما ينبع عنه فقر في إمداد الخلايا بالأكسجين. (الشكل ب والشكل ج)



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

الشكل د



(3) قارن سلسلتي HbA و HbS من جهة مورثة HbA ومن جهة أخرى.

(4) ماذا تستنتج؟

(1) يكمن الاختلاف الوحيد بين السلسلة  $\beta$  للخضاب 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 الأزوتية لجزء المورثة HbS، إذ استبدل الزوج النيكليلوتيدي رقم 17، حيث تم استبدال A - T في HbS بـ T - A في HbA.

(2) إن استبدال متتالية القواعد الأزوتية في المورثة، ترتب عنه تغيير في متتالية الأحماض الأمينية في البروتين. تستنتج 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 بنوي، أو نشاط بروتيني مختص، وأن كل تغيير في تعاقب القواعد الأزوتية (النيكليلوتيدات) داخل جزيئة ADN، ينتج عنه تغيير في تعاقب الأحماض الأمينية داخل السلسلة البروتينية. وهذا يعني أن ترتيب النيكليلوتيدات 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 المتحكم فيها عدة أشكال كذلك، وكل شكل يسمى حليلا Allèle.

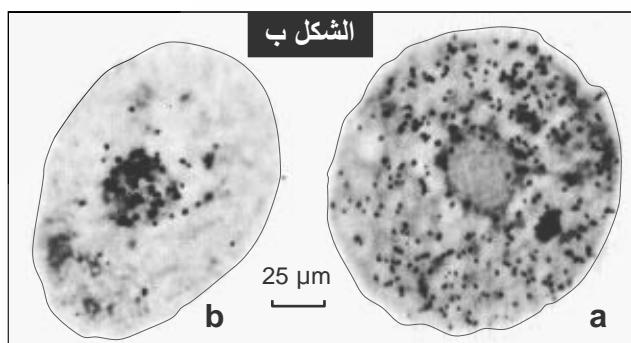
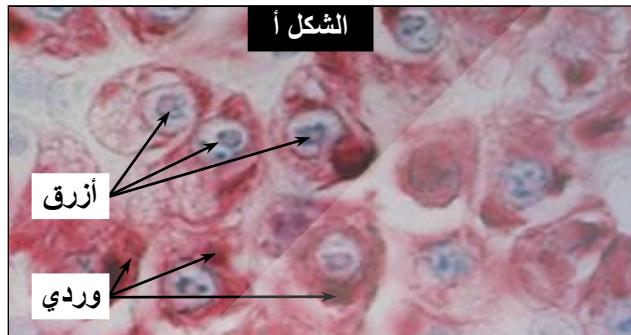
مثال : صفة العلاقة بالستربتوميسين لدى البكتيريا E.coli .  
الحليل المتواحسن StrepS ، الحليل الطافر StrepR

## 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. انظر الوثيقة 4.

**الوثيقة 4: الكشف عن الوسيط بين النواة والسيتوبلازم.**

تضم الخلايا جزيئات يقارب تركيبها الكيميائي تركيب ADN، وتسمى ARN. نكشف عن تموير الجزيئين معاً في خلايا البنكرياس التي تنتج كمية كبيرة من البروتينات، باستعمال خليط من ملونين: أحمر الميتييل الذي يلوّن ADN بالأزرق المخضر، والبيرونين الذي يلوّن ARN بالوردي. انظر 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 معلاً نعمته بـ ARN الرسول.

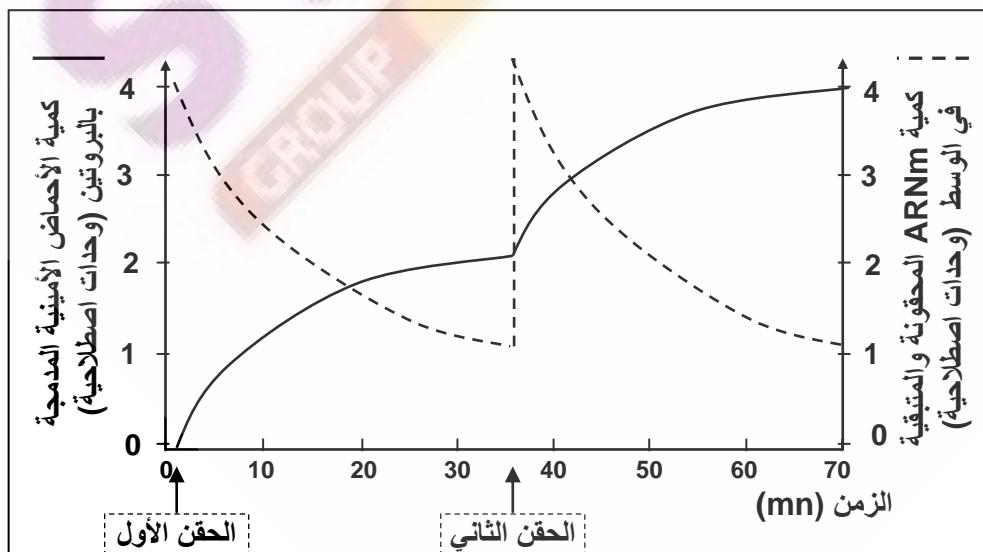
**ب - تحليل واستنتاج.**

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

★ انطلاقاً من الشكل أ 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. وهذا يمكن افتراض أن الوسيط بين المورثات في النواة، والبروتينات في السيتوبلازم، هو ARN، لذلك سمي ARN الرسول، ونرمز له بـ (ARN messenger).

**ج - التحقق من الفرضية.** انظر الوثيقة 5.**الوثيقة 5: تجربة تركيب البروتينات في الزجاج.**

انطلاقاً من عصيات كولونية نعد مستخلصاً يحتوي على جميع المكونات السيتوبلازمية الازمة 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.

نسننخ من هذه التجربة أن هناك علاقة مباشرة بين تركيب البروتين وجود ARNm، أي أن ARNm هو فعلا الوسيط بين المادة الوراثية على مستوى النواة، وتركيب البروتينات على مستوى السيتوبلازم.

## ② بنية جزيئة ARN. انظر الوثيقة 6 والوثيقة 7.

### الوثيقة 6: مقارنة جزيئة ADN وجزيء ARN.

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

GUGCACCUUACUCCAGAGGAG

جزء من ADN المناسب لـ ARNm  
 تركيب HbA

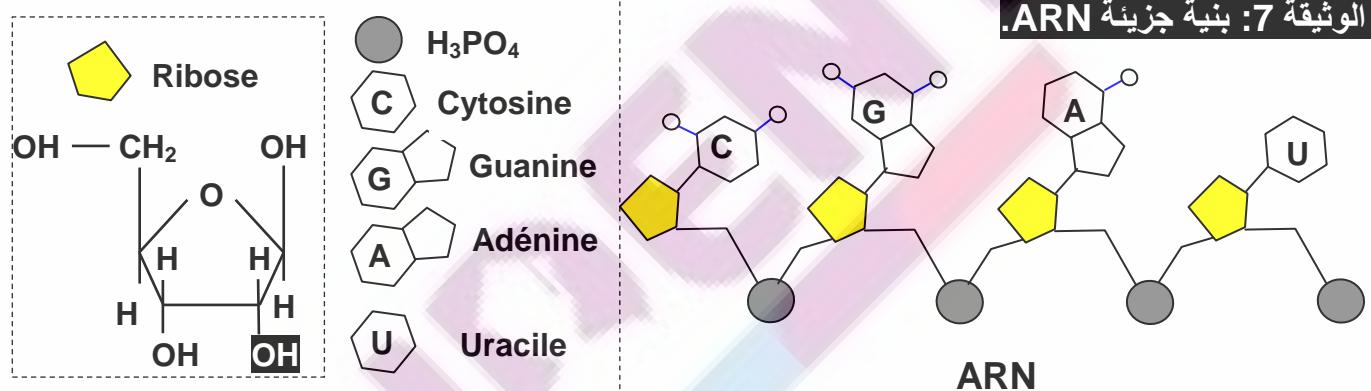
U = قاعدة ازوتيه هي الأوراسيل ( Uracile )

GTGCACCTTACTCCAGAGGAG

CACGTGGAATGAGGTCTCCTC

جزء من ADN المسؤول عن تركيب HbA

### الوثيقة 7: بنية جزيء ARN.



ARN هو الحمض النووي الريبيوري Acide ribonucléique، يتكون من سلسلة من النيكلويتيدات على شكل لولب واحد من النيكلويتيدات (شريط واحد)، وكل نيكليوتيد يتكون من حمض فوسفور + سكر الريبيوز + قاعدة ازوتيه تكون إما الأدينين A، أو الغوانين G، أو السيتوزين C، أو الأوراسيل U.

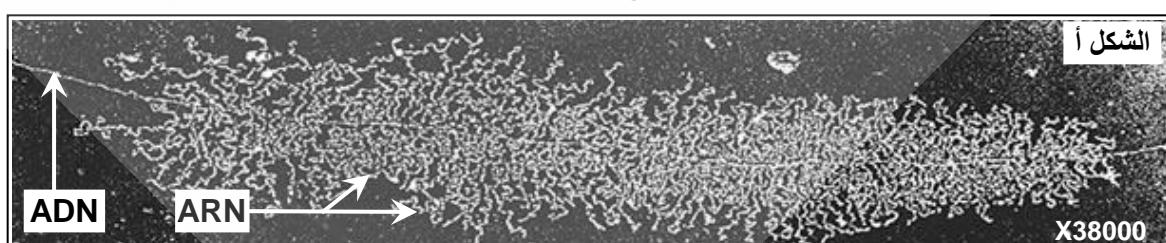
## ③ مراحل تعبير المورثة.

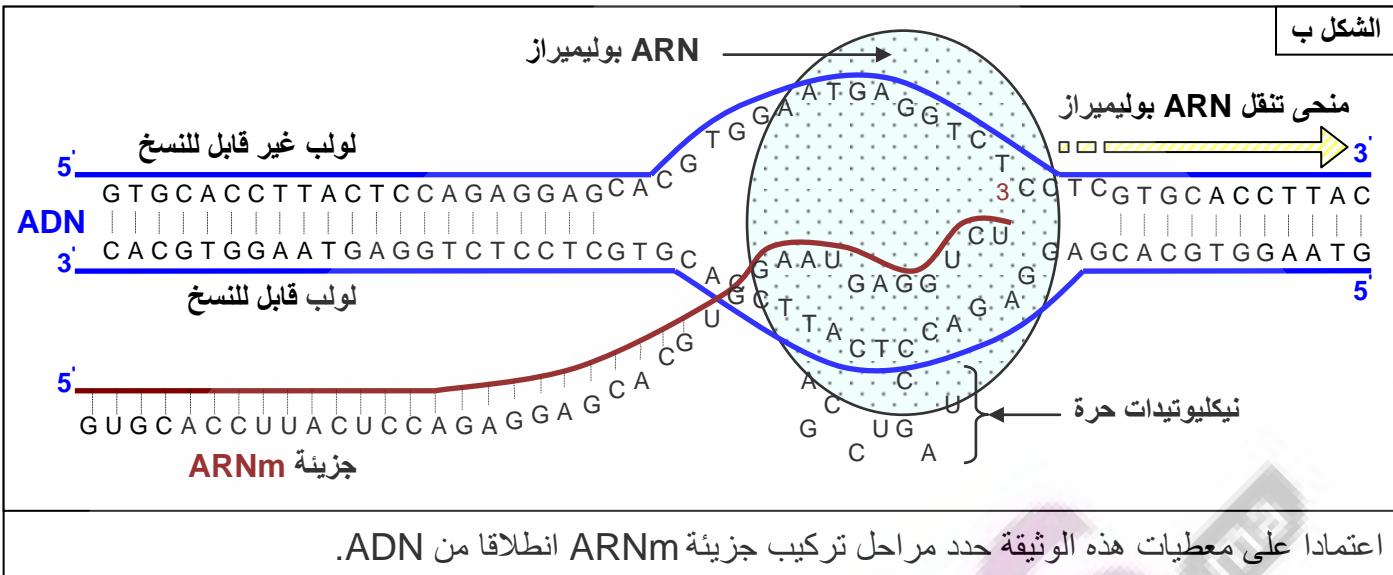
### أ - مرحلة نسخ ARN: من المورثة إلى ARNm. انظر الوثيقة 8

### الوثيقة 8: بنية جزيء ARN.

للـ ARNm والـ ARN بنية متشابهة نسبياً، حيث أنهما معاً يتشكلان من متتالية نيكليوتيدات. وتلعب جزيء 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 الكترونوجرافية لنواة خلية بيضية عند الضفدعه أثناء عملية النسخ.
- ★ يعطي الشكل ب رسماً تخطيطياً توضيحاً لآلية نسخ جزيء ARN الرسول (ARNm).





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

- يتعرف أنزيم ARN polymérase على الإشارات الوراثية المسؤولة عن انطلاق تركيب ARNm ويلتصق بها.
- يعمل ARN polymérase على تفريغ لولبي جزيئة ADN على اثر اتفاق الروابط الكيميائية التي تجمع القواعد الأزوتية المتكاملة فيما بينها.
- تعمل ARN polymérase على بلمرة النيكليوتيدات الخاصة بـ ARNm، وذلك حسب تكامل القواعد الأزوتية 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 الاستساخ، فتوقف عن البلمرة، وتستعيد جزيئة ADN حالتها الأصلية.

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

## ب - مرحلة الترجمة في السيتوبلازم: من ARNm إلى البروتين.

### a - معطيات حول الطفرات: انظر 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 أمينيين 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؟

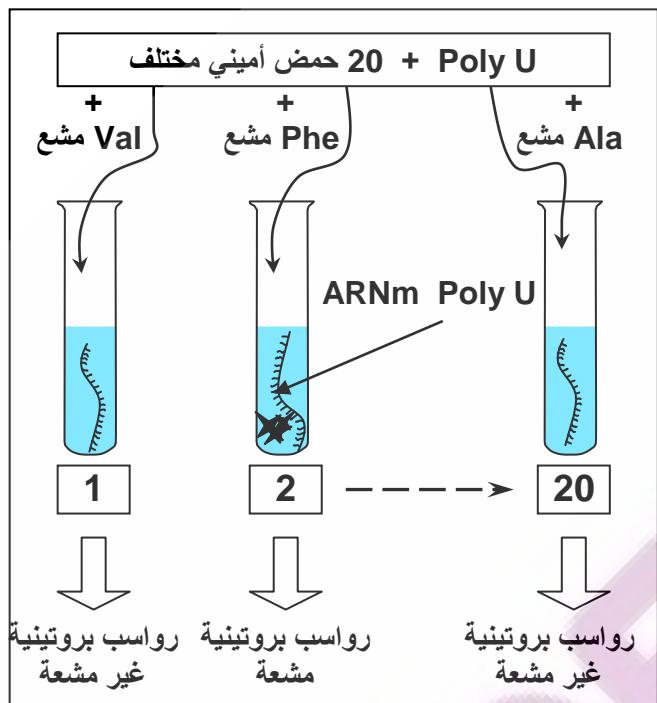
تبين هذه المعطيات ما يلي:

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

## b - تجارب Matthaei و Nirenberg أنظر الوثيقة 10.

### الوثيقة 10: تجارب Matthaei و Nirenberg (1962)

في بداية السنتين تمكّن الباحثون من عزل إنزيم قادر على بلمرة النيكليلوتيدات وتركيب جزيئه مشابهة لجزيئه ARNm (عديد نيكليوتيد اصطناعي)، الشيء الذي مكن Matthaei و Nirenberg من انجاز التجارب التالية: عزل مستخلص خلوي من بكتيريا E.coli يتوفّر على كل العناصر السينتوبلازمية الازمة لتركيب البروتينات (إنزيمات، ريبوزومات، ADN، ATP، Mg<sup>2+</sup>, GTP) لكن بدون ARNm.



وضع المحتوى الخلوي تحت حرارة 37°C في 20 أنبوب اختبار، ثم أضيف لكل أنبوب 20 حمض أميني. حيث أن كل أنبوب يتميز بكون حمض أميني واحد موسوم بالكربون المشع <sup>14</sup>C. بعد ذلك تضاف إلى كل وسط جزيئات ARNm اصطناعية، ذات متالية نيكليوتيدية معروفة، مثلاً متالية 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 البيبتيد مشعة، هذا الوسط يتميز بتوفّره على الحمض الأميني الفينيلالين.

1) ماذا تستنتج من هذه المعطيات؟

عندما نستعمل ARNm Poly C نحصل على متالية من البرولين Pro.

عندما نستعمل ARNm Poly A نحصل على متالية من الليزين Lys.

عندما نستعمل ARNm Poly GU نحصل على متالية 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) يتبيّن من هذه المعطيات أن الطابع الوراثي الأساسي يوجد على شكل ثلاثي من النيكليلوتيدات، حيث أن الثلاثي UUU يرمز للحمض الأميني الفينيلالين.

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 يشكّل وحدة رمزية Codon، ويرمز لأحد الأحماض الأمينية. وباستعمال نفس التقنية التجريبية السابقة، تمكّن الباحثون من تحديد الوحدات الرمزية التي تشير إلى 20 نوعاً 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 3<sup>3</sup> أي 64 وحدة رمزية تتكون من ثلاثيات من النيكليلوتيدات، حيث أن عدة ثلاثيات ترمز لنفس الحمض الأميني، وبعض ثلاثيات لا ترمز لأي حمض أميني. نقول أنها بدون معنى Stop أو قف Non Sens، لكونها تدل على نهاية أو توقف تركيب البروتين. وهذه ثلاثيات هي: (UAA, UAG, UGA).

## الوثيقة 11: جدول الرمز الوراثي :Code génétique

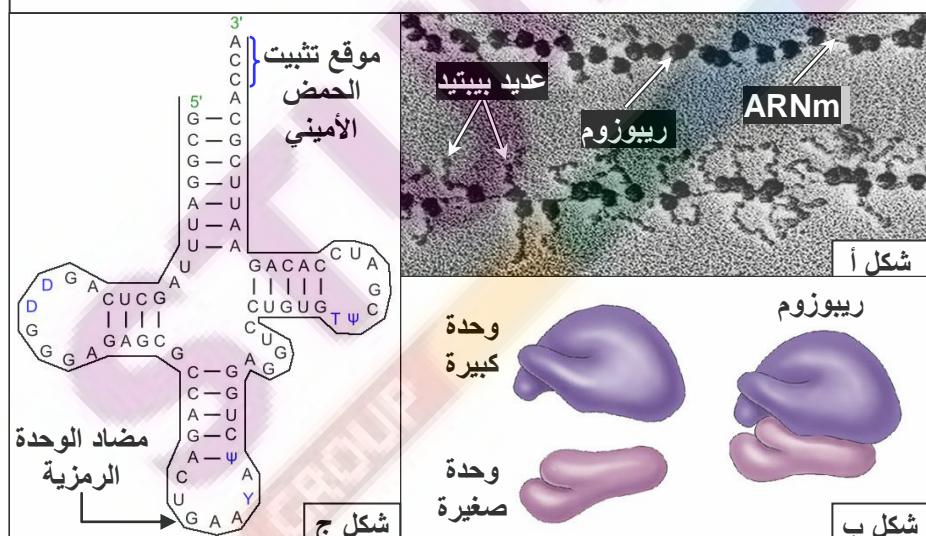
يسمي نظام التطابق بين الوحدات الرمزية التي يحملها ARNm، وبين الأحماض الأمينية التي ترمز لها، بالرمز الوراثي، ويلخص الجدول أسفله، الأحماض الأمينية المقابلة لكل وحدة رمزية.

		الحرف الثاني										
		U	C	A	G							
التحول	U	UUU	Phe	الفينيلالانين	UCU	Ser	Tyr	تيروزين	UGU	Cys	سيستيين	U
		UUC			UCC		UAU		UGC			C
		UUA	Leu	لوسين	UCA		UAA		UGA	STOP	بدون معنى	A
		UUG			UCG		UAG		UGG		بدون معنى	G
	C	CUU			CCU		CAU	His	CGU			U
		CUC	Leu	لوسين	CCC		CAC	هستدین	CGC			C
		CUA			CCA		CAA	Gln	CGA	Arg	أرجينین	A
		CUG			CCG		CAG	غلوتامین	CGG			G
	A	AUU			ACU		AAU	Asn	AGU	Ser	سيرین	U
		AUC	Ileu	ازولوسین	ACC		AAC	أسبارجين	AGC			C
		AUA			ACA		AAA	Lys	AGA	Arg	أرجينین	A
		AUG	Met	ميثيونین	ACG		AAG	ليزین	AGG			G
	G	GUU			GCU		GAU	حمض أسبارتیک	GGU			U
		GUC	Val	فالین	GCC		GAC		GGC			C
		GUA			GCA		GAA		GGA	Gly	غليسین	A
		GUG			GCG		GAG	حمض الغلوتامیک	GGG			G

### C - مراحل الترجمة:

★ العناصر اللازمة للترجمة: انظر الوثيقة 12.

### الوثيقة 12: العناصر المتدخلة في تركيب البروتينات:



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

★ الشكل أ: ملاحظة الكترونوجرافية تظهر ارتباط الريبوزومات بـ ARNm.

★ الشكل ب: رسم تخطيطي يوضح بنية الريبوزوم.

★ الشكل ج: جزيئة ARNt

يحتاج تركيب البروتينات بالإضافة إلى ARNm والمورثة إلى:

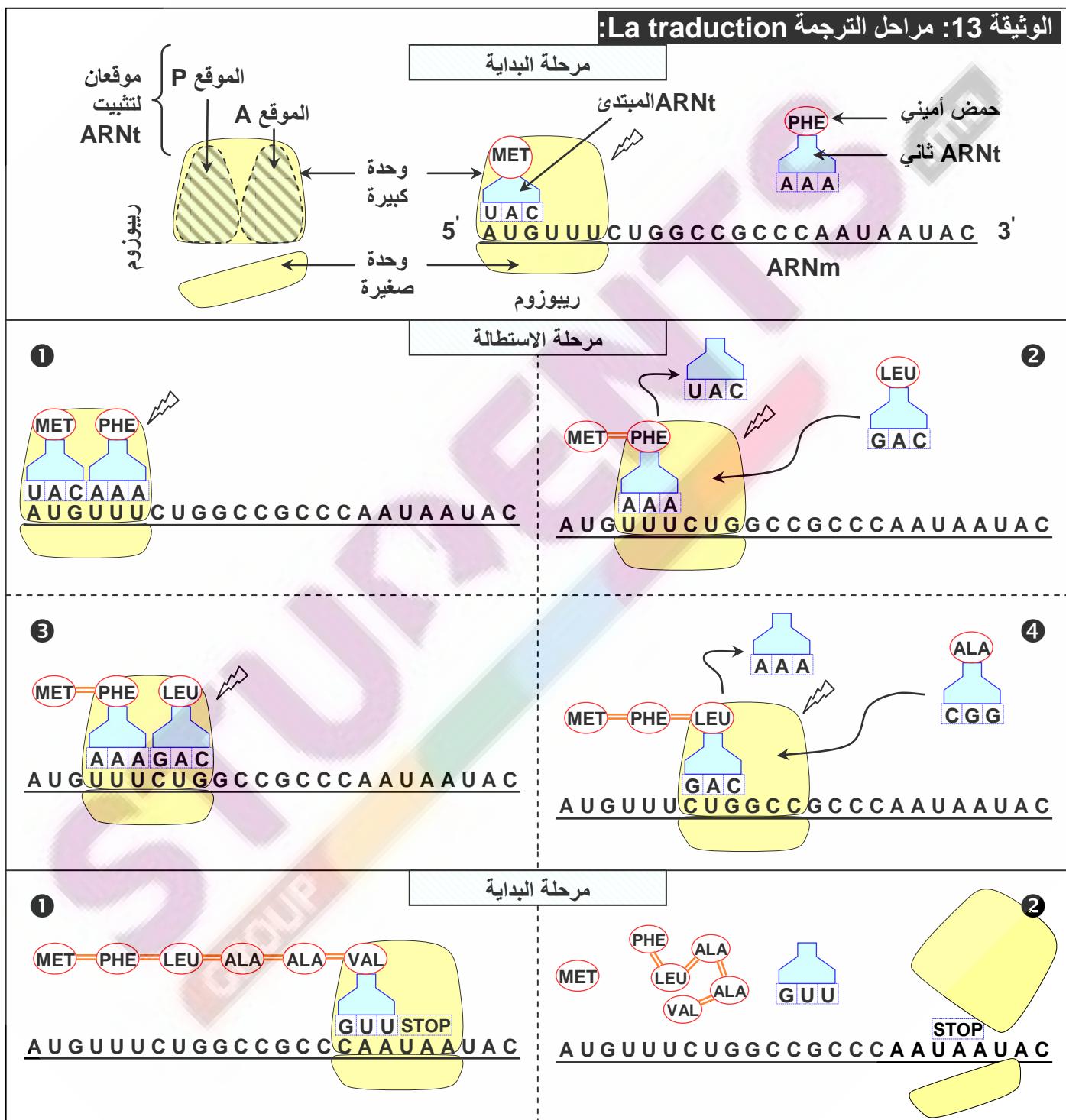
↳ ريبوزومات (شكل أ)، وهي عضيات سيتوبلازمية صغيرة يتشكل كل واحد منها من وحدة صغيرة ووحدة كبيرة، (شكل ب)، وتكون كل وحدة من ARN ريبوزومي (ARNt) ومن بروتينات. وتشكل الريبوزومات داخل النوية.

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

- ✓ موقع يحتوي على ثلاثة نيكليوتيدات مكملة للوحدة الرمزية لحمض الأميني معين، ويسمى هذا الثلاثي النيكلويتديي مضاد الوحدة الرمزية Anticodon.
- ✓ موقع لتثبيت الحمض الأميني المناسب للوحدة الرمزية.

- ↳ أحماض أمينية وهي 20 حمض أميني طبيعي.
- ↳ طاقة لمختلف مراحل التركيب، مصدرها الاستقلاب الطيفي.
- ↳ عوامل منشطة.

### \* مراحل الترجمة: انظر الوثيقة 13.



يمكن تلخيص ظاهرة تركيب البروتينات في ثلاثة مراحل أساسية وهي:

### ⇨ المرحلة الأولى: البداية L'initiation

خلال هذه المرحلة تلتصل وحدتي الريبيوزومات بـ ARNm، على مستوى الوحدة الرمزية AUG، التي تمثل إشارة البدء، وترمز للحمض الأميني الميثيونين الذي يرتبط بـ ARNt خاص يسمى ARNt المبتديء، والحاصل 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 بيبتيدية بين الميثيونين (Met) والحمض الأميني الموالي، فتنفصل الرابطة بين ARNt Met و ARNt المبتدئ الذي يغادر الريبيوزوم. يتحرك الريبيوزوم 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 الريبيوزوم إلى الوحدة الرمزية قف (UGA أو UAA أو UAG) لا يدمج أي حامض أميني، إذ لا يوجد أي ARNt متكمال مع هذه الوحدات الرمزية. فتفترق وحدتي الريبيوزوم عن بعضهما البعض وعن 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 خيط ARNm مما يسمح بتكون عدة بروتينات في نفس الوقت. (أنظر الشكل A الوثيقة 12).