

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، التحليل، والطفرة.

① مفهوم الصفة الوراثية.

الصفة الوراثية هي ميزة نوعية (مثل اللون) أو كمية (مثل الطول)، تميز فردا عن باقي أفراد نفس النوع، وتنقل من جيل لآخر، 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.

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

الوثيقة 1: التحول البكتيري عند Escherichia coli

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 ستريبتومييسين Streptomycine، ويصطلح على تسميتها Strep S.

التجربة الأولى:

◀ نزرع بكتيريا حساسة للستريبتومييسين (Strep S) في وسط أدنى (أملاح معدنية + غراء + سكر) = (Mm) بدون ستريبتومييسين (علبة بيثري 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:

نسيج يستعمل للتشتيل

علبة 1: بكتيريا Strep S في وسط Mm بدون ستريبتومييسين

علبة 2: Mm بدون ستريبتومييسين

علبة 3: Mm + ستريبتومييسين

محلول عالق لبكتيريات Escherichia coli

بكتيريا Strep S في وسط Mm يحتوي على الستريبتومييسين

- 1) انطلاقا من معطيات هذه التجربة، أعط تعريفا للـمة.
- 2) صف هذه التجربة، ثم حدد ما هو المشكل الذي تطرحه هذه النتائج؟
- 3) اقترح تفسيراً 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⁻)، اذن هذه البكتريا سيرمز إليها ب (Strep s , Lac⁻). إذا تتبعنا هذه التجارب فإننا نحصل بالإضافة للبكتريا المذكورة سابقا على أنواع أخرى والتي هي :

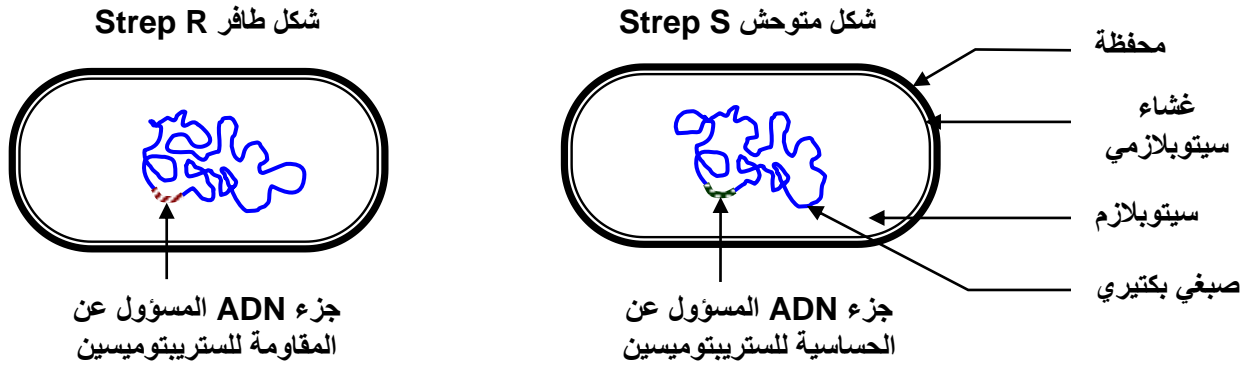
(Strep r , Lac⁻) ، (Strep r , Lac⁺) ، (Strep s , Lac⁺).

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

ب - تحليل واستنتاج.

- 1) الـمة هي مجموعة من الأفراد لهم نفس الخبر الوراثي، ومن تم نفس الصفات.
- 2) نلاحظ أن البكتيريا لا تتكاثر عند وجود الستريبتومييسين (Strep S)، لكن تظهر تلقائيا بكتيريات أخرى في هذا الوسط، مقاومة للستريبتومييسين، نصلح 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، فإن المتحكم فيهما هو ADN. لا يمكن اذن 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 بالستريبتومييسين: 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.

الوثيقة 2: تجربة Beadle و Tatum 1941

قصد الكشف عن العلاقة صفة – بروتين – مورثة، نعمل على استثمار معطيات تجربة Beadle و Tatum: النوروسبورا *Neurospora* عفن مجهري على شكل غزل فطري، ينمو عادة على الخبز. يمكن للسلاطة المتوحشة أن تعيش في وسط أدنى يحتوي على سكر + ماء + أملاح الأمونيوم. بينما توجد سلاطة طافرة غير قادرة على العيش في هذا الوسط.

نقوم بزراع السلاطة الطافرة في وسط أدنى + الحمض الأميني التريبتوفان *L'acide aminé Tryptophane* فنلاحظ أن هذه السلاطة 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:



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

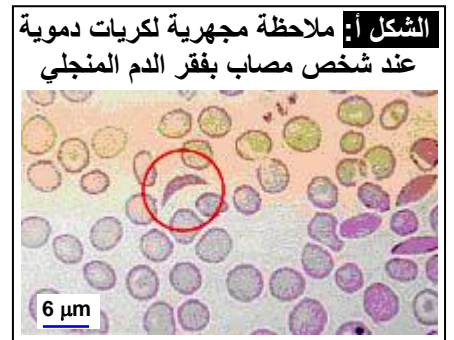
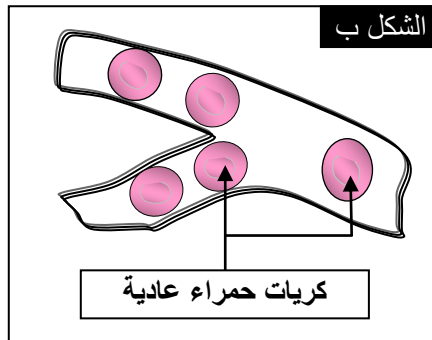
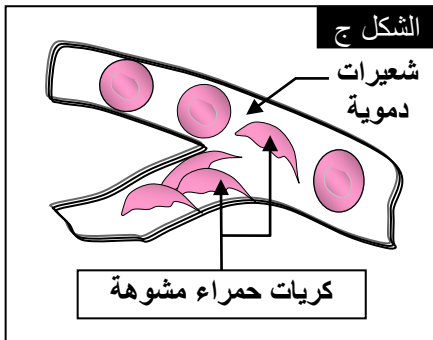
(1) نلاحظ أن السلاطة الطافرة غير قادرة على تركيب التريبتوفان في وسط أدنى يتكون من أملاح الأمونيوم فقط. لذا نرسم لهذه السلاطة ب Try^- ، ونقول أنها سلاطة غير ذاتية التركيب للتريبتوفان *Auxotrophe pour la tryptophane*. بينما السلاطة المتوحشة Try^+ فهي ذاتية التركيب للتريبتوفان *Autotrophe pour la tryptophane*.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

(2) إن السلاطة الطافرة Try^- غير قادرة على تحديد التحول أملاح الأمونيوم \leftarrow حمض الأنترانيليك، لغياب الأنزيم E_1 . نستخلص إذن 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.

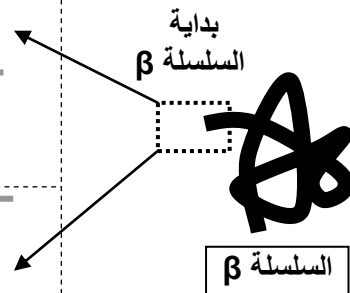
الوثيقة 3: فقر الدم المنجلي L'anémie falciforme

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 المنجلي 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) للأوكسيجين يصبح الخضاب غير دوّاب ويترسب على شكل ابر تشوه مظهر الكريات الحمراء التي تفقد ليونتتها وتسد الشعيرات الدموية، مما ينتج عنه فقر في إمداد الخلايا بالأوكسيجين. (الشكل ب والشكل ج)



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

جزء المورثة المسؤول عن تركيب HbA	→	GTGCACCTTACTCCAGAGGAG CACGTGGAATGAGGTCCTC
HbA الخضاب الدموي	→	val his leu thr pro glu glu 1 2 3 4 5 6 7
جزء المورثة المسؤول عن تركيب HbS	→	GTGCACCTTACTCCAGTGGAG CACGTGGAATGAGGTCACCTC
HbS الخضاب الدموي	→	val his leu thr pro val glu 1 2 3 4 5 6 7



(3) قارن سلسلتي HbA و HbS من جهة ومورثة HbA و HbS من جهة أخرى.
(4) 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 الأزوتية لجزء المورثة HbS، إذ استبدل الزوج النيكلوتيدي 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. 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 بنوي، أو نشاط بروتيني مختص، وأن كل تغيير في تعاقب القواعد الأزوتية (النيكليوتيدات) داخل جزيئة ADN، ينتج عنه تغيير 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، فإن للمورثة المتحكمة فيها عدة أشكال كذلك، وكل شكل يسمى حليلا Allèle.

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

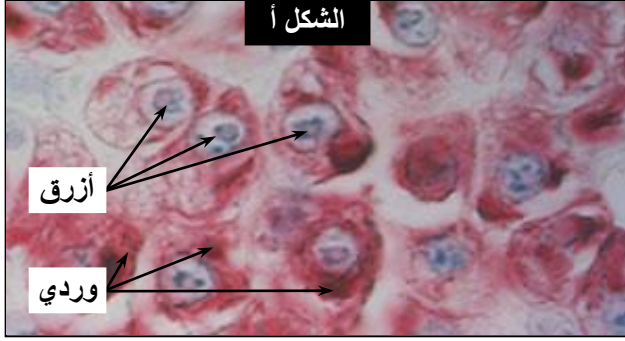
II - آلية تعبير الخبر الوراثي: من المورثة إلى البروتين.

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

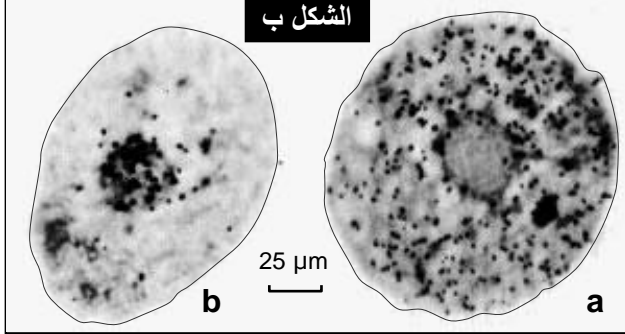
① الوسيط بين النواة والسيتوبلازم.

أ - معطيات تجريبية. أنظر الوثيقة 4.

الوثيقة 4: الكشف عن الوسيط بين النواة والسيتوبلازم.



الشكل أ



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

تضم الخلايا جزئيات يقارب تركيبها الكيميائي تركيب ADN، وتسمى ARN. نكشف عن تموضع الجزئيتين 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 لجزئية 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.

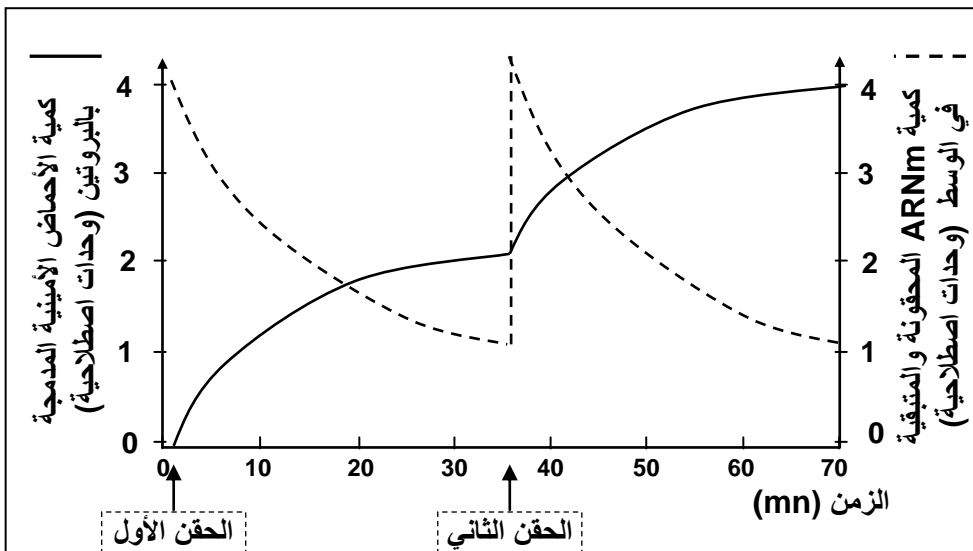
ب - تحليل واستنتاج.

- ★ 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 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. وهكذا يمكن افتراض أن الوسيط بين المورثات في النواة، والبروتينات في السيتوبلازم، هو ARN، لذلك سمي ARN الرسول، ونرمز له بـ ARNm (ARN messenger).

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، و تركيب 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 الجزيئين وبالاعتماد على معطيات الوثيقة 7، استنتج بنية جزيئة ARN.

GUGCACCUUACUCCAGAGGAG

ARNm المناسب لـ ADN المسؤول عن
تركيب HbA

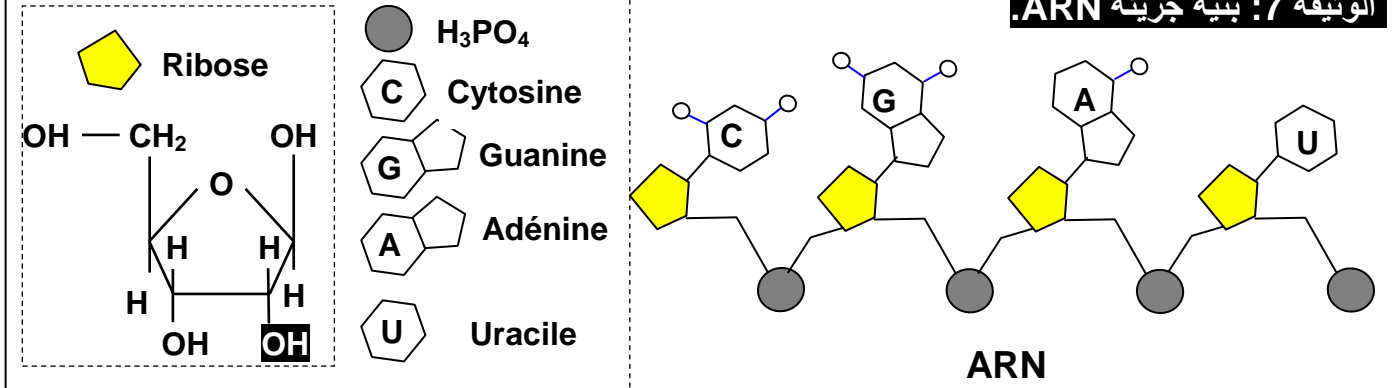
= قاعدة ازوتية هي الأوراسيل (Uracile)

GTGCACCTTACTCCAGAGGAG

CACGTGGAATGAGGTCTCCTC

جزء من ADN المسؤول عن تركيب HbA

الوثيقة 7: بنية جزيئة ARN.



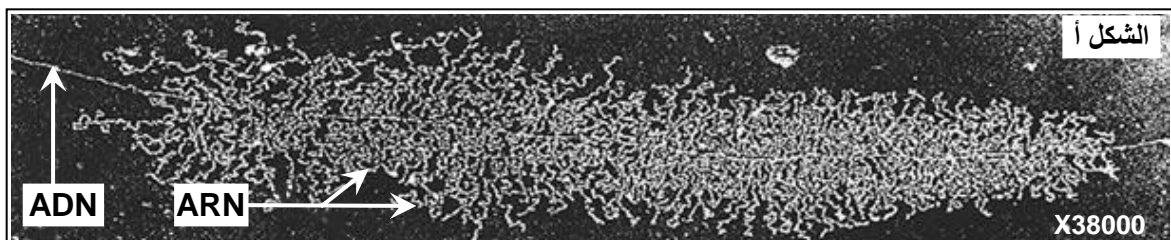
ARN هو الحمض النووي الريبوزي Acide ribonucléique، يتكون من سلسلة من النيكليوتيدات على شكل لولب واحد من النيكليوتيدات (شريط واحد)، وكل نيكليوتيد يتكون من حمض فوسفوري + سكر الريبوز + قاعدة ازوتية تكون إما الأدينين A، أو الغوانين G، أو السيتوزين C، أو الأوراسيل U.

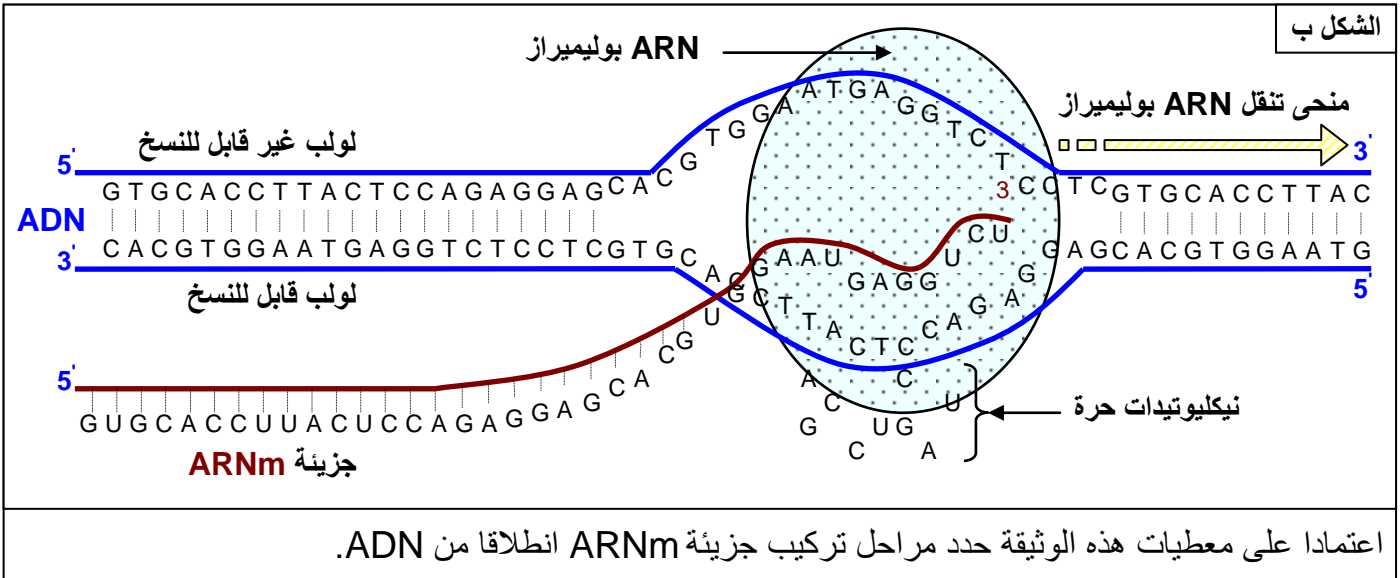
③ مراحل تعبير المورثة.

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 و تركيب البروتينات في السيتوبلازم، إذ يعمل على نقل الرسالة الوراثية من ADN بشكل متتابع. تسمى هذه العملية بالاستنساخ (النسخ الوراثي) La transcription. ★ يعطي الشكل أ من الوثيقة صورة الكرونوغرافية لنواة خلية بيضية عند الضفدعة أثناء عملية النسخ. ★ يعطي الشكل ب رسما تخطيطيا توضيحيا لآلية نسخ جزيئة ARN الرسول (ARNm).





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 المتكاملة فيما بينها.
- تعمل ARN polymérase على بلورة 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 البلورة، 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 أميين 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.

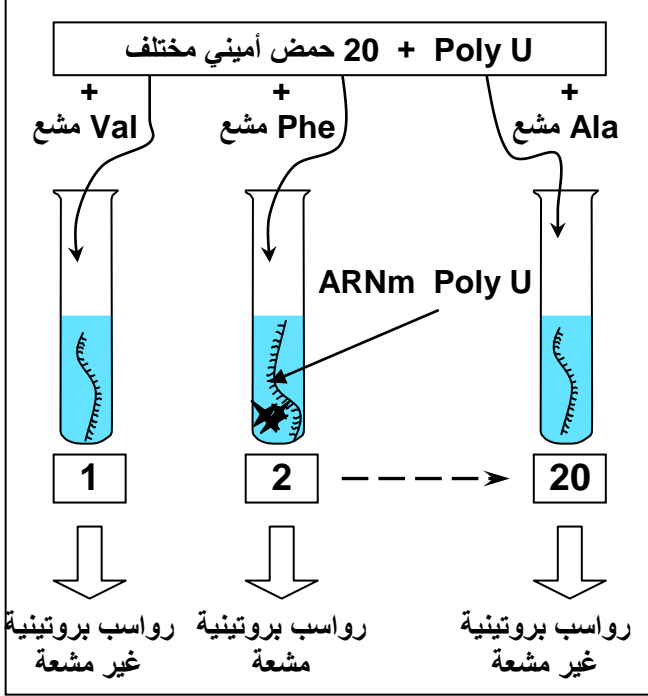
عن ماذا تكشف هذه المعطيات ؟

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 بلمره النيكلوتيدات وتركيب جزيئة مشابهة لجزيئة ARNm (عديد نيكلوتيد اصطناعي)، الشيء الذي مكن Nirenberg و Matthaei من انجاز التجارب التالية: عزل مستخلص خلوي من بكتيريا E.coli يتوفر على كل العناصر السيتوبلازمية اللازمة لتكوين البروتينات (أنزيمات، ريبوزومات، ATP، GTP، و Mg^{2+}) لكن بدون ADN وبدون ARNm.



وضع المحتوى الخلوي تحت حرارة $37^{\circ}C$ 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 نيكلوتيدية معروفة، مثلا متتالية مكونة من نيكلوتيدات 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 أميين السيسيتين-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 النيكلوتيدات، 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 السيسيتين.

نستخلص من هذه التجارب أن كل ثلاثي نيكلوتيدي 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 النيكلوتيدات، 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:

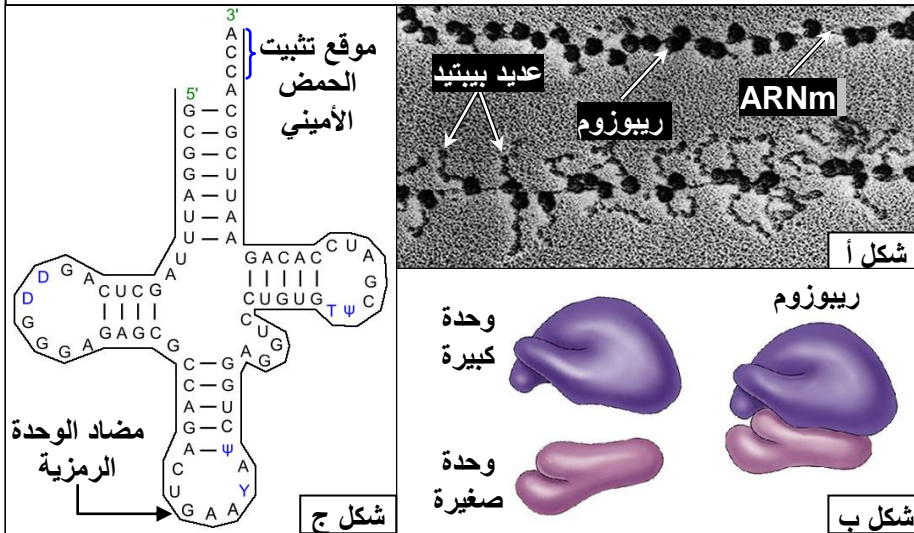
يسمى نظام التطابق بين الوحدات الرمزية التي يحملها ARNm، وبين الأحماض الأمينية التي ترمز لها، بالرمز الوراثي، ويلخص الجدول أسفله، الأحماض الأمينية المقابلة لكل وحدة رمزية.

		الحرف الثاني												
		U		C		A		G						
الرمز الأول	U	UUU	Phe	الفينيلانين	UCU	Ser	سيرين	UAU	Tyr	تيروزين	UGU	Cys	سيسيتين	U
		UUC		UCC			UAC		UGC		C			
		UUA	Leu	لوسين	UCA	STOP	بدون معنى	UGA	STOP	بدون معنى	UGG	Trp	تريبوفان	A
		UUG		UCG			UAG				G			
	C	CUU	Leu	لوسين	CCU	Pro	برولين	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	ثريونين	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	ألانين	GAU	Asp	حمض أسبارتيك	GGU	Gly	جليسين	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، لتُحوّل الرسالة المحمّولة على ARNm، إلى سلسلة أحماض أمينية. توضح الوثائق أمامه أهم هذه العناصر:

- ★ الشكل أ: ملاحظة الكرونوغرافية تظهر ارتباط الريبوزومات ب ARNm.
- ★ الشكل ب: رسم تخطيطي يوضح بنية الريبوزوم.
- ★ الشكل ج: جزيئة ARNt

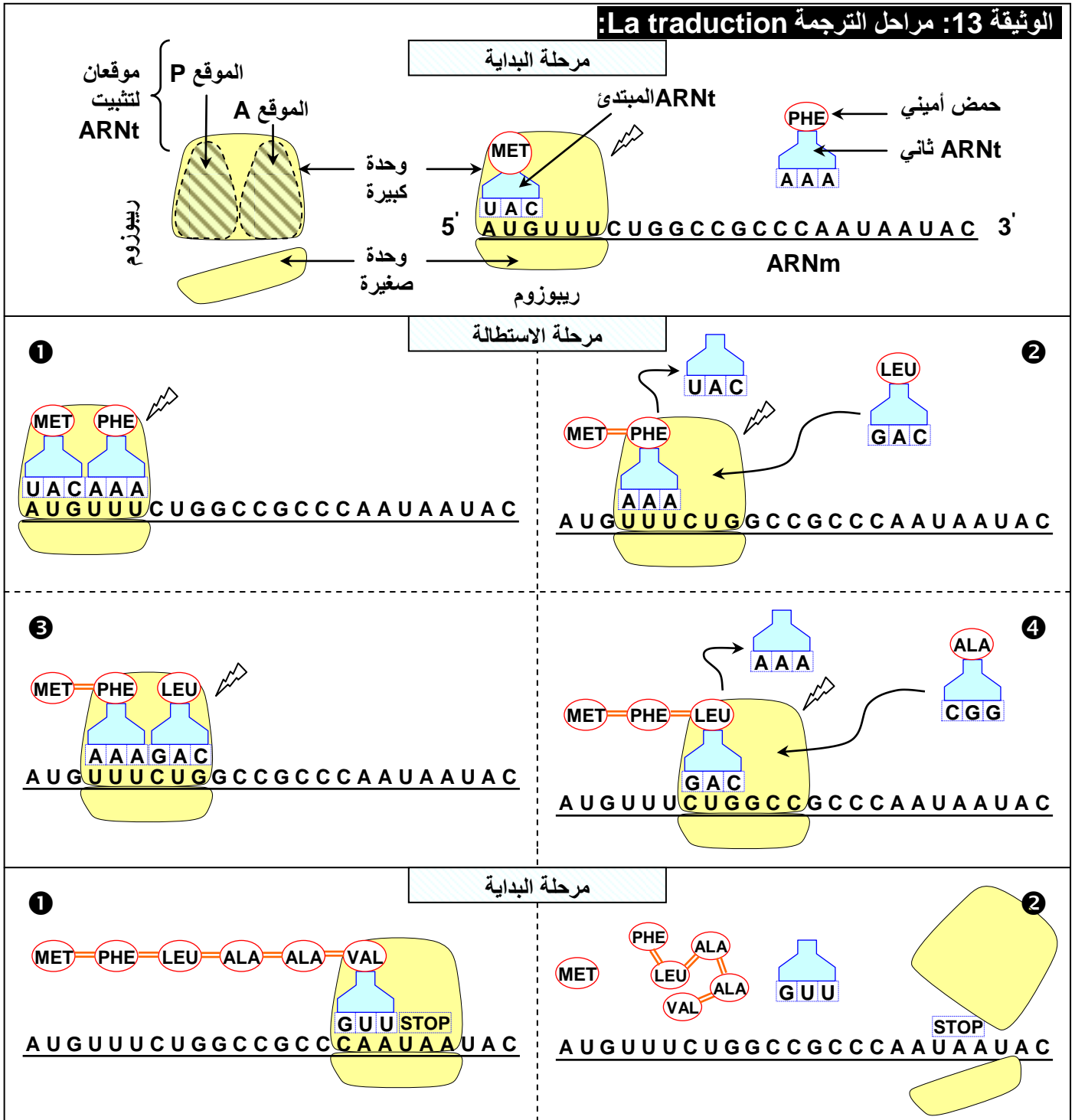
يحتاج تركيب البروتينات بالإضافة إلى ARNm والمورثة إلى:

- ↔ 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 الطاقوي.
 ↪ عوامل منشطة.

★ مراحل الترجمة: أنظر الوثيقة 13.



يمكن تلخيص ظاهرة تركيب البروتينات في ثلاثة مراحل أساسية وهي:

← المرحلة الأولى: البداية L'initiation

خلال هذه المرحلة تلتصق وحدتي الريبوزومات بـARNm، على مستوى الوحدة الرمزية AUG، التي تمثل إشارة البدء، وترمز للحمض الأميني الميثيونين الذي يرتبط بـARNt خاص يسمى ARNt المبتيء، 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 بيبتيديية بين الميثيونين (Met) والحمض الأميني الموالي، فتتفصل الرابطة بين Met وARNt المبتيء الذي يغادر الريبوزوم. يتحرك الريبوزوم بوحدة رمزية واحدة (حسب المنحى 5' ← 3' لشريط الـARNm المقروء)، ليصل ARNt ثالث، وهكذا تتضاعف الأحماض الأمينية في السلسلة البيبتيديية.

← المرحلة الثالثة: النهاية La terminaison

عندما يصل الريبوزوم إلى الوحدة الرمزية قف (UAA أو UAG أو UGA) 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 البيبتيديية. كما ينفصل الحمض الأميني Met عن باقي السلسلة البيبتيديية.

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 أ الوثيقة 12).