فهرس

I - الانقسام الخلوي

1- الكشف عن الانقسام الخلوي

2- مراحل الانقسام غير المباشر عند خلية نباتية

3- مراحل الانقسام غير المباشر عند خلية حيوانية

4- الدورة الخلوية

5- أسباب الانقسام الخلوي

6- حصيلة

II - الصبغيات دعامة الخبر الوراثي

1- دراسة الصبغيات

2- العلاقة بين الصبغيات و الـ ADN

III - آلية مضاعفة الـ ADN

1- الكشف عن آلية مضاعفة الـ ADN

2- آلية النسخ الجزئي

3- خلاصة

تقديم

يتكـون جسـم الإنسـان مـن ملـايير الخلايـا (10^{14}) و كـل خليـة تتـوفر علـى نـواة تحمـل المـادة الوراثيـة. أصـل هذه الخلايا هو خلية بيضية، فهناك إذن انتقال للخبر الوراثي من خلية لأخرى أثناء تكاثرها.

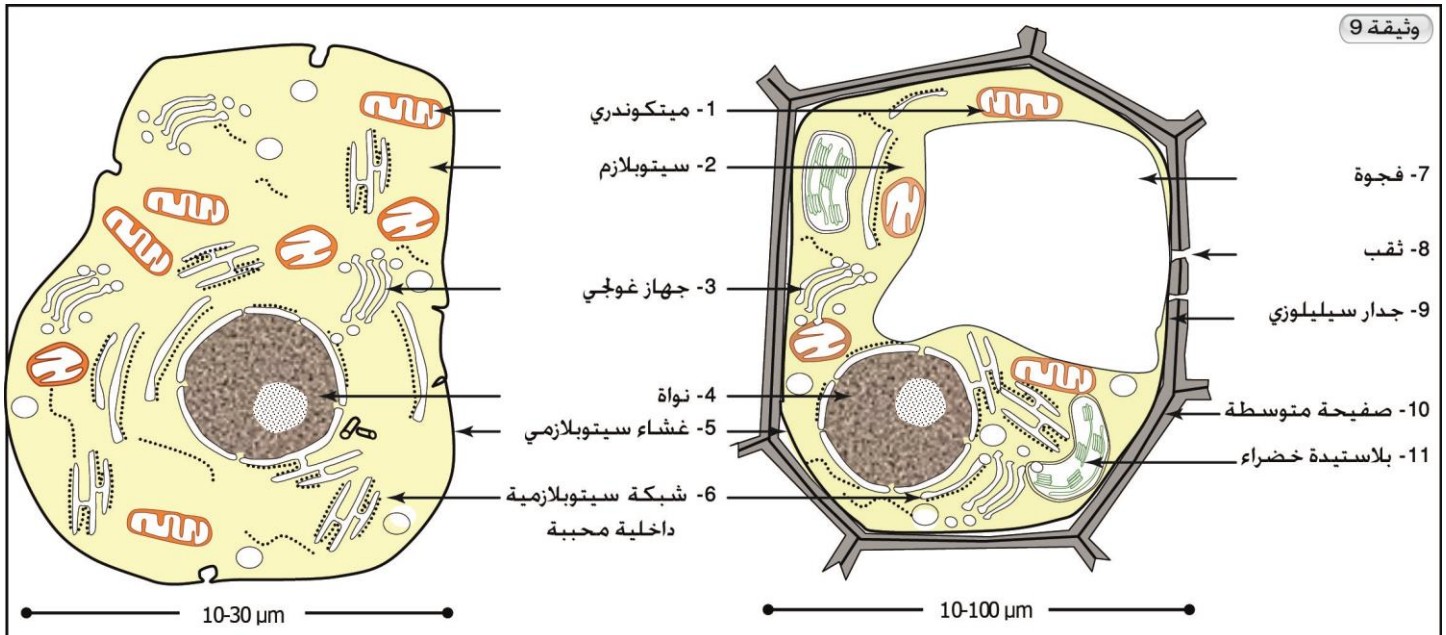
فكيف يتم انتقال الخبر الوراثي من خلية واحدة إلى ملايير الخلايا؟

I - الانقسام الخلوي

1- الكشف عن الانقسام الخلوي

تذكير : بنية الخلية النباتية و الخلية الحيوانية

وثيقة 9



ب- رسم تخطيطي تفسيري لخلية حيوانية

أ- رسم تخطيطي تفسيري لخلية نباتية

وثيقة 10 **ملاحظـة انقسـام خلايا جذور الثوم**

I- مناولة:

- نغمر جذور الثوم داخل إناء به ماء، ثم نضع الإناء في ثلاجة لمدة يومين قصد تبطئة ظاهرة الانقسام الغير المباشر لخلايا الجذور.
- نقطـع 0,5cm من جذر فتي يحتوي على المريستيم (نسيج يؤمن نمو النباتات).
- نضع القطـع في أنبوب اختبار به الملون القرمزي الخلي carmin acétique المغلى لمدة دقيقة.
- نضع قطـعة واحدة على صَفيحة ثم نضيف قطرة من الملون القرمزي البارد و نغطـيها بصُفيحة.
- نضغط ببطء على الصُفيحة ثم نلاحظ التحضير بالمجهر الضوئي بتكبيرات مختلفة و نحدد الخلايا المنقسمة.

II- اكتشاف مراحل الانقسام الخلوي:

1- بعد مشاهدة الشريط المسرع للانقسام الخلوي رتب حسب التسلسل الزمني الصور الممثلة أسفله وعنون كل واحدة منها.

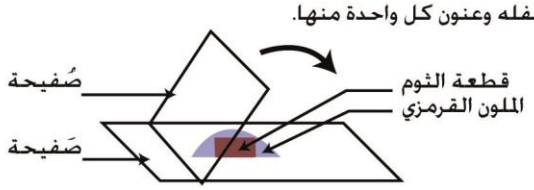
2- بعد مشاهدة المتحركات التي تمثل انقسام خلية ذات زوجين من الصبغيات أجب عن ما يلي:

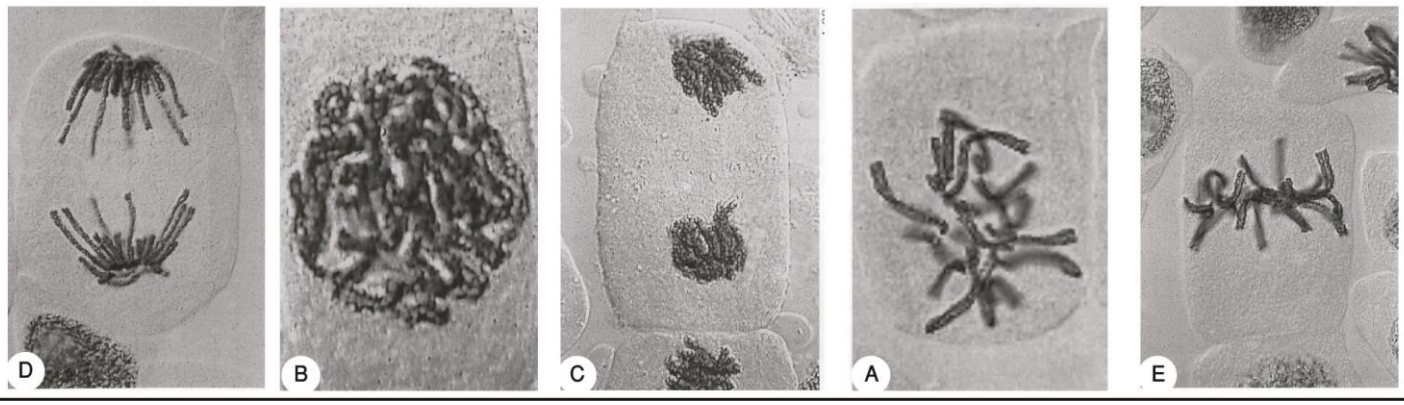
- كم عدد الخلايا المنتجة بعد الانقسام؟
- كم عدد الصبغيات بكل خلية؟
- كم عدد الصُبيغيات المكونة لصبغيات الخلايا البنات.

3- أنجز رسما تخطـيطـيا لانقسام لخلية ذات زوجين من الصبغيات.

4- ما الإشكال المطروح إذا كان على الخلايا البنات الإنقسام من جديد؟

5- صغ فرضية لحل هذا الإشكال.





1- B: مرحلة السكون، A: مرحلة تمهيدية، E: مرحلة استوائية، D: مرحلة انفصالية، C: مرحلة نهائية.

2- يتبين من خلال الملاحظة المجهرية أن هناك اختلاف بين الخلايا و نميز:

- هناك خلايا بها نواة كبيرة الحجم محاطة بالغلاف النووي و تحتوي على الصبغين Chromatine، هذه الخلايا في حالة سكون. (B)

- خلايا اختفى بها كل من الصبغين و الغلاف النووي و عوضت ببنيات على شكل عصيات ذات أشكال مختلفة تسمى **الصبغيات.** (A)

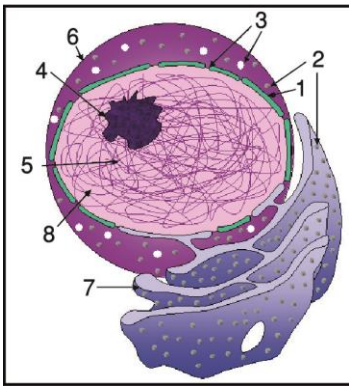
- خلايا تتجمع بها الصبغيات وسط الخلية. (E)

- خلايا تتوزع بها الصبغيات من جهتي الخلية. (C و D)

وثيقة 11

يمثل الشكل جانبه رسما تخطيطيا لنواة خلية في طور السكون Interphase.

1- صف مظهر نواة الخلية في حالة السكون.



1- غلاف نووي، 2- ريبوزوم، 3- ثقب، 4- نوية، 5- صبغين، 6- نواة، 7- شبكة سيتوبلازمية محببة، 8- جبلة نووية.

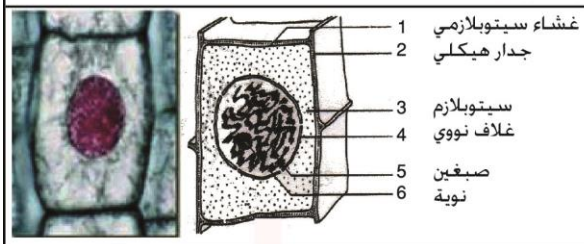
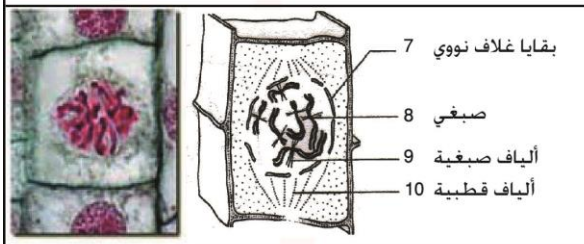
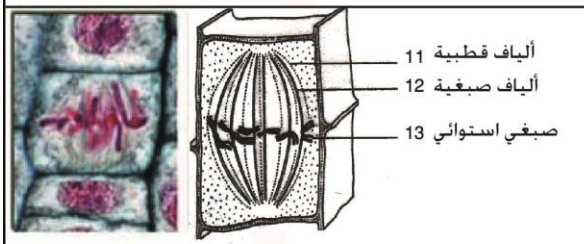
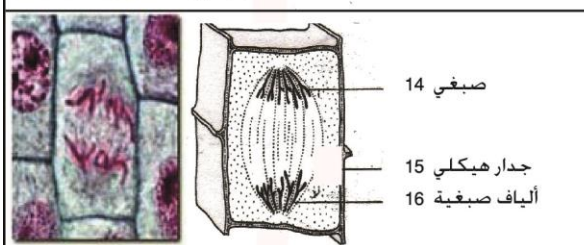
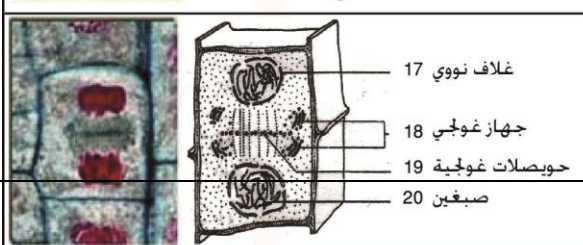
تتكون النواة من:

- غشائين داخلي و خارجي يكونان الغلاف النووي Enveloppe Nucléaire.
- الجبلة النووية: تحتوي على نويات و شبكة كثيفة من الخيوطات النووية تمتص اللون لذا تسمى بالصبغين Chromatine.

2- مراحل الانقسام غير المباشر عند خلية نباتية

وثيقة 12

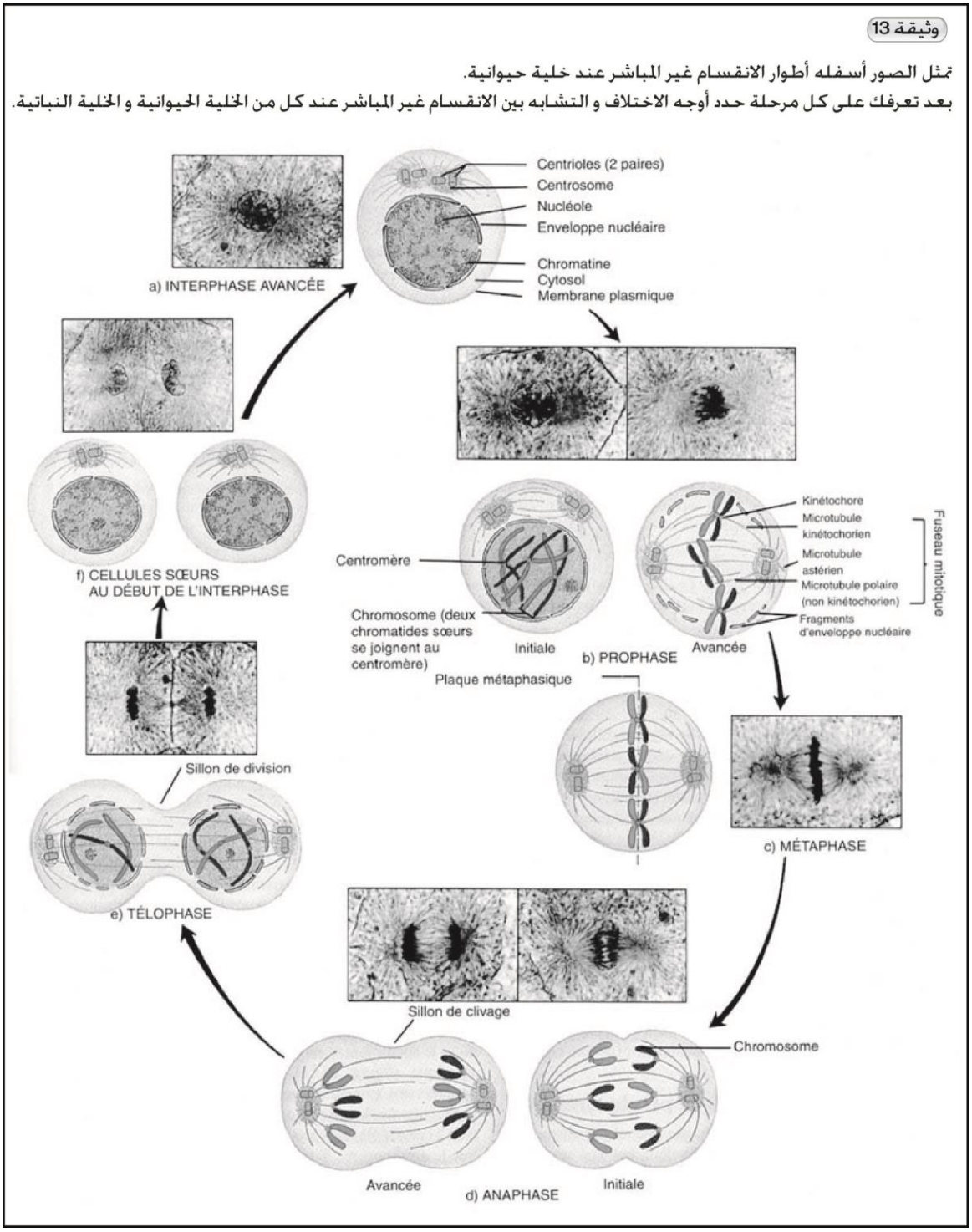
تبين الوثائق أسفله صورا لخلايا نباتية في مختلف مراحل الانقسام غير المباشر (بالإضافة لخلية في مرحلة السكون) مصحوبة برسوم تخطيطية وصفية لهامن خلال تحليلك لهذه الرسوم حدد أهم التغيرات الملاحظة بالنسبة لكل مرحلة.

يعتبر الانقسام غير المباشر La Mitose ظاهرة مستمرة في الزمن لكن لتسهيل الدراسة يمكن تحديد مراحلها في أربعة أطوار حسب تغير النواة، و تعتبر نهاية كل طور بداية للطور الموالي. تسبق مراحل الانقسام غير المباشر مرحلة السكون Interphase (المدة الفاصلة بين انقسامين متتاليين) تتعرض خلالها الخلية للنمو و مضاعفة دخيرتها الوراثية ADN.	
الطور التمهيدي Prophase (ب): يدوم مدة طويلة و يتميز ب: - اختفاء الصبغين و تكثيفها على شكل صبغيات، حيث كل صبغي يتكون من صبيغيين chromatides مرتبطين على مستوى الجزيء المركزي Centromère . - تلاشي الغشاء النووي و النوية. - بداية تشكل مغزل الانقسام بين قطبي الخلية (ظهور الألياف القطبية).	
الطور الاستوائي Métaphase (ج): يدوم مدة قصيرة، و يتميز ب: - تموضع الصبغيات على خط استواء الخلية مكونة ما يسمى بالصفيحة الاستوائية plaque équatoriale . - نشوء ألياف خاصة تدعى الألياف الصبغية fibres chromosomiques انطلاقا من الجزيء المركزي، تربط كل صبغي بقطبي مغزل الانقسام (مغزل الانقسام = الألياف القطبية بالإضافة للألياف الصبغية).	
الطور الانفصالي Anaphase (د-هـ): يدوم مدة جد قصيرة . و يتميز ب: - انفصال صبيغيي كل صبغي بانشطار الجزيء المركزي. - ابتعاد كل صبغي ابن في اتجاه أحد قطبي الخلية نتيجة تقصير الألياف الصبغية نسمي هذه العملية بالصعود القطبي للصبغيات.	
الطور النهائيTélophase (و-ز): يدوم مدة طويلة تقارب مدة الطور التمهيدي، و يتميز ب: - تكون مجموعتين من الصبغيات في قطبي الخلية حيث تتكتل على شكل صبغين. - اختفاء مغزل الانقسام و تكون الغشاء النووي. - انقسام السيتوبلازم بظهور جدار سيلولوزي يفصل بين الخليتين البنتين.	

3- مراحل الانقسام غير المباشر عند خلية حيوانية

وثيقة 13

تمثل الصور أسفله أطوار الانقسام غير المباشر عند خلية حيوانية.
بعد تعرفك على كل مرحلة حدد أوجه الاختلاف و التشابه بين الانقسام غير المباشر عند كل من الخلية الحيوانية و الخلية النباتية.



من خلال تحليل الوثيقة يتضح أن للخلية الحيوانية نفس أطوار الانقسام لدى الخلية النباتية (الطور التمهيدي، الطور الاستوائي، الطور الانفصالي و الطور النهائي) لكن هناك اختلافين أساسين:

- اشتمال الخلية الحيوانية على عضي خاص يدعى الجسيم المركزي Centrosome مكون من مريكزين Centrioles. تتم مضاعفته في نهاية طور السكون لكن مع بداية الطور التمهيدي يشكل كل واحد منهما نجيمة تتجه نحو أحد أقطاب الخلية مشكلة مغزل الانقسام انطلاقا من الألياف القطبية.
- خلال الطور النهائي عند الخلية النباتية يتشكل الجدار الذي يفصل بين الخليتين من مركز الخلية نحو المحيط، أما عند الخلية الحيوانية التي لا تتوفر على جدار سيلولوزي فإن الغشاء السيتوبلازمي الذي يفصل بين الخليتين البنتين يتشكل من المحيط إلى مركز الخلية على شكل اختناق استوائي.

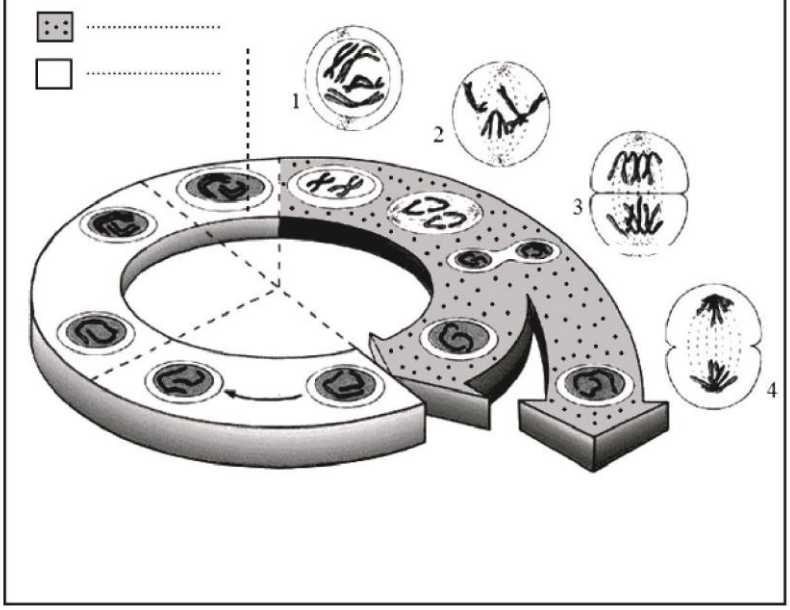
4- الدورة الخلوية

وثيقة 14 تعبر الدورة الخلوية عن مجموع مرحلة السكون بالإضافة لمرحلة الانقسام غير المباشر و تمثل الوثيقتين أسفله مراحل الدورة الخلوية و سلوك الصبغيات أثناء هاته الدورة.

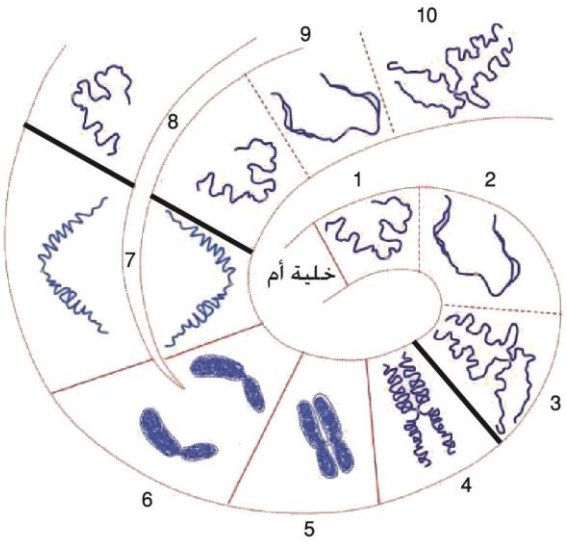
1- صف سلوك و تطور الصبغيات من حيث العدد و الشكل خلال الدورة الخلوية.

2- أبرز أهمية مرحلة السكون بالنسبة للانقسام غير المباشر.

شكل 1



شكل 2



1- تعرف الصبغيات عدة تغيرات على مستوى الشكل و العدد خلال أطوار الدور الخلوية:

- طور السكون: في بداية هذا الطور تحتوي النواة على خيبطات تشكل الصبغين لكن مع نهايته تتم مضاعفة هاته الخيبطات و بداية تكون الصبغيات عن طريق التلولب، حيث يصبح كل صبغي يتكون من صبيغيين متماثلين.
- الطور التمهيدي: استمرار تلولب الصبغيات فتصبح أكثر وضوحا.
- الطور الاستوائي: في هذا الطور يبلغ تلولب الصبغيات أقصاه حيث تصبح واضحة جدا.
- الطور الانفصالي: يحدث انشقاق على مستوى الجزيء المركزي مما يؤدي إلى انفصال الصبيغيات المتماثلة حيث يتجه كل صبيغي إلى أحد قطبي الخلية.
- الطور النهائي: يتم في هذا الطور إ زالة تلولب الصبغيات فتصبح غير واضحة، لتعود فيما بعد إلى حالتها الأولى على شكل خيبطات نووية (صبغين).

هذه التطورات التي تخضع لها الصبغيات خلال الدورة الخلوية تشكل ما يسمى بالدورة الصبغية Cycle chromosomique.

2- يتضح مما سبق أن مرحلة السكون ضرورية من أجل مضاعفة الدخيرة الوراثي لكي يتم توزيعها بطريقة متساوية على الخليتين البنتين بعد الانقسام غير المباشر، في هذه الحالة نتكلم عن النقل المطابق للخبر الوراثي.

5- أسباب الانقسام الخلوي

لتحديد بعض أسباب الانقسام الخلوي نقترح التجربتين التاليتين:

❋ نعلم أن الخلايا العصبية لا تنقسم بينما الخلايا المضغية فتتميز بانقسامات سريعة و متتالية. نقوم بزرع نواة خلية عصبية في خلية مضغية مزالة النواة فنحصل على خلية هجين تدخل في سلسلة من الإنقسامات.

❋ نأخذ خلية تتميز بسرعة انقسامها، ثم نستأصل بشكل مستمر جزء من السيتوبلازم فنلاحظ بقاء هذه الخلية في حالة سكون.

بعد تحليل هذه النتائج، ماذا تستنتج بخصوص أسباب الانقسام الخلوي؟

- تأخذ النواة العصبية نشاط و سرعة الانقسام عند الخلية المضغية.
- تخفيض حجم السيتوبلازم باستمرار يمنع انقسام الخلية.

نستنتج أن:

- السيتوبلازم يحتوي على عوامل تحفز انطلاق الانقسام غير المباشر.
- عندما يكبر حجم السيتوبلازم تصبح النواة غير قادرة على التحكم به، و انقسام الخلية يخفض من حجم السيتوبلازم ليضمن تحكما فعالا. يشار لهذه العلاقة بالمعامل النكليوبلازمي RNP Rapport nucléocytoplasmique حيث $RNP = \frac{V\,N}{V\,C}$ وعندما يصل إلى قيمة دنوية تنقسم الخلية.

حصيلة:

الانقسام غير المباشر ظاهرة خلوية تتم عند أغلب الكائنات الحية، تكون مسبوقة بمضاعفة الذخيرة الوراثية في المراحل الأولى للدورة الخلوية، و ذلك لتوزيعها بالتساوي على الخليتين البنتين مع نهاية أطوار الانقسام غير المباشر على شكل صبغيات، إذن فهذه الأخيرة تعتبر الدعامة الخلوية للمادة الوراثية.

II - الصبغيات دعامة الخبر الوراثي

1- دراسة الصبغيات

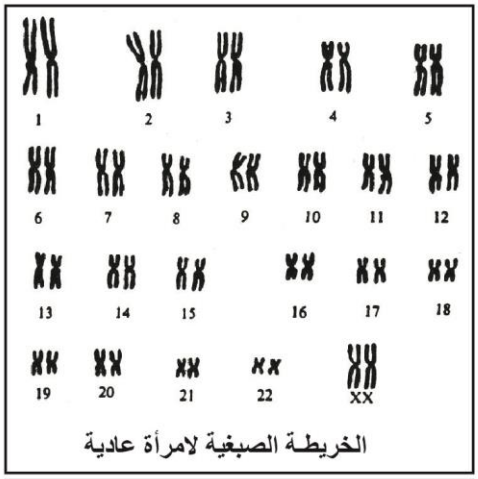
وثيقة 15

الخريطة الصبغية Caryotype وثيقة يتم الحصول عليها بعد عزل و ترتيب الصبغيات و يتم إنجازها وفق المراحل التالية:

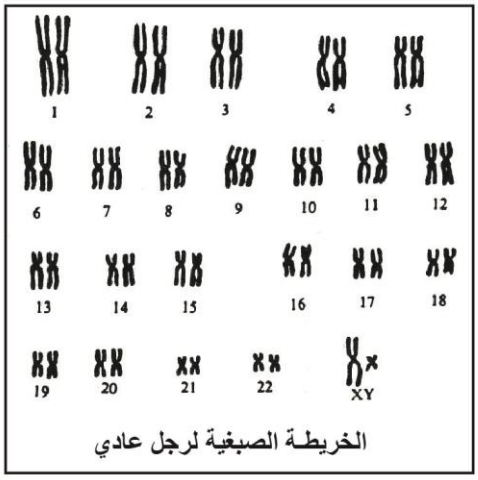
+ عزل و زرع خلايا في وسط ملائم يؤدي إلى تكاثرها.
+ إيقاف الانقسامات في المرحلة الاستوائية بإضافة مادة الكلشيسين (مانعة لافتراق الصبيغييات).
+ وضع هذه الخلايا في وسط ناقص التوتر فتنفجر محررة الصبغيات.
+ نقوم بعد ذلك بأخذ صورة مجهرية لكل صبغي بنفس التكبير مع عدها و ترتيبها.

يمثل جدول أسفله تغير عدد الصبغيات حسب أنواع الكائنات الحية، بينما تمثل الوثيقتين جانبه الخريطة الصبغية عند الرجل و عند المرأة

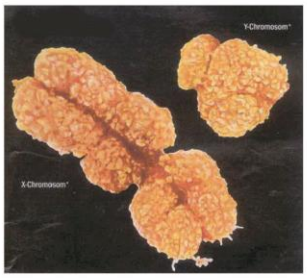
1) ماذا تستنتج من تحليلك للجدول.
2) ماذا تستنتج من مقارنة الخريطتين الصبغيتين للرجل و المرأة.



الخريطة الصبغية لامرأة عادية



الخريطة الصبغية لرجل عادي



صورة مجهرية للصبغيات الجنسية

أنواع ثنائية الصيغة الصبغية		أنواع أحادية الصيغة الصبغية
حيوانات	نباتات	
ذبابة الخل.....8	زعفران..... 6	نوروسبورا.....7
ضفدعة.....26	جلبانة.....14	صورداريا.....7
قط.....38	بصل.....16	بنسيليوم.....4
فأر.....40	ذرة.....20	بكتيرية.....1
أرنب.....44	لوبيا.....22	
إنسان.....46	خميرة.....18	
غورلي.....48	طماطم.....24	
بقرة.....60	أرز..... 24	
حصان.....64	بطاطس.....48	
حمار.....66	تبغ.....48	
كلب.....78		
دجاجة.....78		

أجوبة :

1- نستنتج أن عدد الصبغيات يختلف من كائن لأخر لكنه يبقى ثابتا عند نفس النوع. نلاحظ كذلك أن هناك كائنات تحتوي خلاياها على عدد زوجي من الصبغيات (2n) نطلق عليها اسم الكائنات ثنائية الصيغة الصبغية Diploïdes بينما هناك كائنات أخرى لا تتوفر خلاياها إلا على (n) صبغي، ونسميها في هذه الحالة بالكائنات أحادية الصيغة الصبغية Haploïdes (n) .

2- من خلال مقارنة الخريطة الصبغية عند الرجل و المرأة يتضح ما يلي:

- ✓ مظهر الصبغيات مختلف، فالطول الأقصى وموقع الجزيء المركزي يتغيران من صبغي لآخر.
- ✓ لكل صبغي يوجد مثيل له فنسميهما معا بالصبغيان المتماثلان.
- ✓ يتوفر كل من الرجل و المرأة على 22 زوجا من الصبغيات المتماثلة نسميها بالصبغيات اللاجنسية autosomes ونرمز لها بـ A.
- ✓ الزوج 23 عند الرجل غير متماثلان فنرمز لأكبرهما ب X بينما لأصغرهما ب Y، بينما عند المرأة نجدهما متماثلين XX، هذه الصبغيات تسمى بالصبغيات الجنسية gonosomes.

ملحوظة:

تكتب الصيغة عند الرجل على الشكل التالي: $2n = 22AA + XY$ أو $2n= 44A + XY$

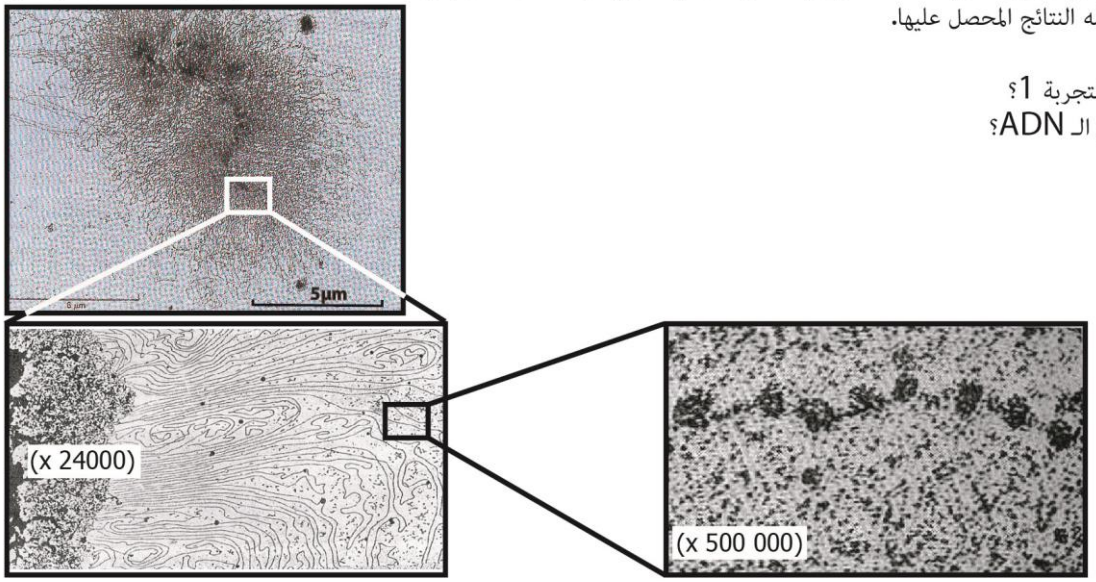
وعند المرأة تكتب على الشكل التالي: $2n = 22AA + XX$ أو $2n= 44A + XX$

2- العلاقة بين الصبغيات و الـ ADN

وثيقة 16

تجربة 1: يتفاعل محلول Feulgen مع السكر الريبوزي ناقص أوكسجين فيعطي تلون أحمر. عند إضافة محلول Feulgen لصبغيات استوائية يظهر تلون أحمر.
تجربة 2: تؤدي إضافة أنزيمات من نوع بروتياز (أنزيمات محللة للبروتينات) إلى صبغي استوائي من الحصول على جزيئات ADN متحدة مع بروتينات تسمى الهيستونات (histones)، وتمثل الصور أسفله النتائج المحصل عليها.

1) ماذا تستنتج من تحليل نتائج التجربة 1؟
2) ما هي العلاقة بين الصبغيات و الـ ADN؟

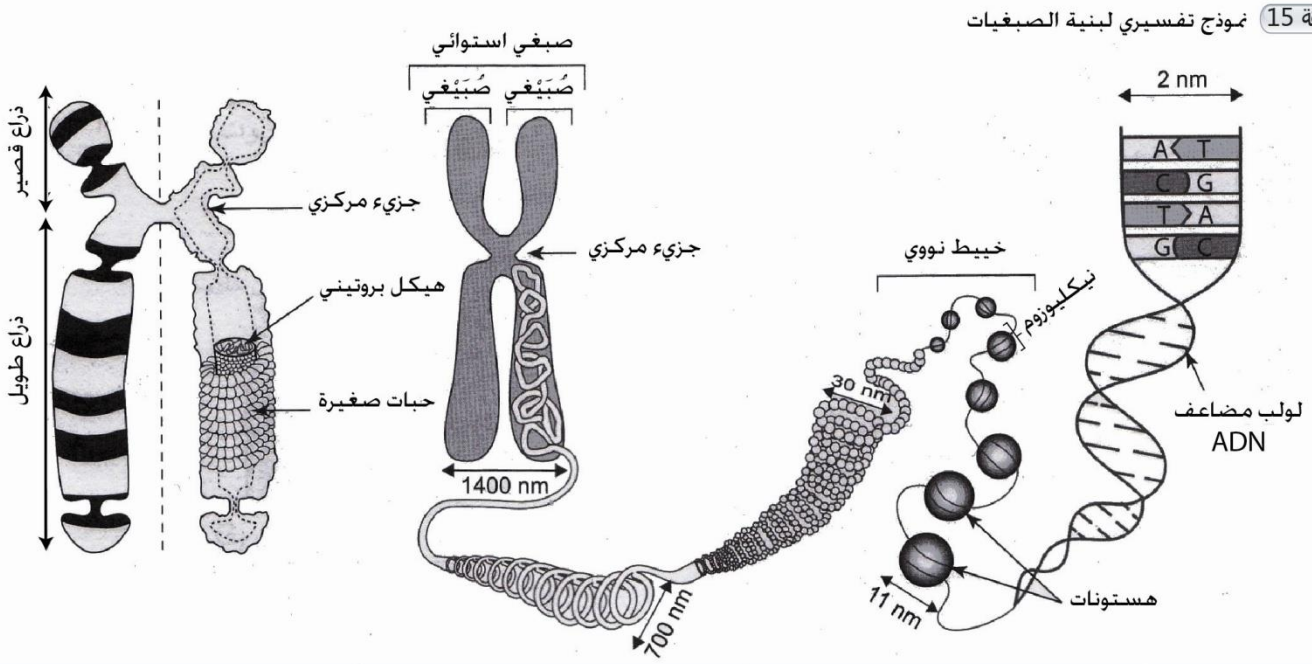


خيبط نووي على شكل قلادة من اللآلئ — خيبطات **ADN** حول شبح من البروتينات التي لم تتحلل

* L'ADN du noyau de toutes les cellules du corps humain mis bout à bout, au lieu d'être replié et étroitement serré dans les chromosomes, pourrait couvrir la distance de la Terre à la Lune, aller et retour, non pas une fois, mais 300 fois.
* Longueur par cellule Dans chacune des cellules humaines de 1/100 de mm, la molécule d'ADN, riche de 3 milliards de paires de bases, fait plus de 2 mètres de long.
* Pour l'homme avec 6.10^{13} cellules dans l'organisme : Longueur de l'ADN mis en ligne: $1,2.10^{14}$ mètres = $1,2\ 10^{11}$ km
Distance Terre Lune: 400 millions de km = 4.10^{8} km. Rapport 300

1- نستنتج أن الصبغات تحتوي على الـ ADN.
2- يتبين أن الصبغيات مكونة من الـ ADN المكثف، و للمرور من اللولب المضاعف لجزيئة ال ADN إلى الصبغي الاستوائي يتعرض ال ADN إلى عدة مستويات من التكثف.

وثيقة 15 نموذج تفسيري لبنية الصبغيات



- تَكَوُّن النيكليوزومات: يلتف اللولب المضاعف لل ADN حول مجموعة من البروتينات تسمى الهيستونات مكونة مجموعة من النيكليوزومات على شكل قلادة قطرها 11nm (قلادة اللآلئ).
- تَكَوُّن الخييطات النووية: بتدخل بروتينات هيستونية أخرى ترتبط النيكليوزمات فيما بينها وتكون خييط أكثر سمكا (30nm) يسمى الخييط النووي، تُكَوِّن مجموع الخييطات النوويية المتداخلة فيما بينها الصبغين الذي يميز الخلية في طور السكون.
- تَكَوُّن الصبغي الاستوائي: في بداية الطور التمهيدي تبدأ الخييطات النووية بالالتفاف حول هيكل من البروتينات اللاهستونية لتصبح أكثر تكثفا، حتى تكون الصبغي الاستوائي (قطر 1400nm).

تسمح هذه الدرجة العالية من التكثف من خفض طول جزيئة ال ADN من 2m إلى 5µm، و كذلك انفصال الصبيغيين بسهولة خلال الطور الانفصالي.

ملحوظة هامة:

نواة الخلايا البشرية تحتوي على g 10^{-12} من الـ ADN، و بالنسبة لـ 10^{14} خلية المكونة لجسم الإنسان يبلغ الطول الإجمالي لهذا الـ ADN حوالي 15 إلى 30 مليار كيلومتر (200 مرة المسافة بين الأرض و الشمس !!).

بعد أن تعرفنا على بنية ال ADN و الصبغيات يبقى التساؤل المطروح الآن هو كيف تتضاعف جزيئة ال ADN قبل الانقسام غير المباشر؟

III - آلية مضاعفة ال ADN

1- الكشف عن آلية مضاعفة ال ADN

وثيقة 16 بعد الانقسام غير المباشر تتوفر الخلايا الجديدة على نفس عدد الصبغيات عند الخلية الأم. و هذا راجع إلى تضاعف الصبغيات أثناء طور السكون S. و بما أن الصبغي هو دعامة ADN اذن هناك أيضا تضاعف لجزيئة ADN.

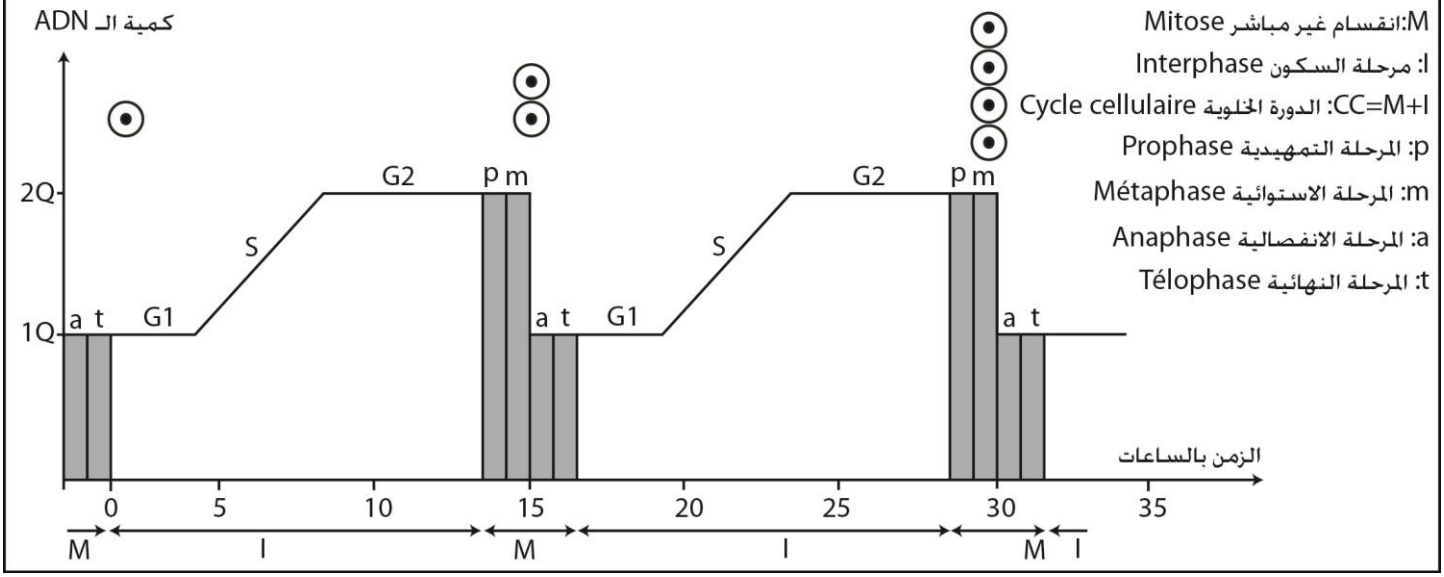
تم قياس كمية ADN عند خلية معينة خلال دورات خلوية و تمثل و 2 لوحة 7 النتائج المحصل عليها.

1- عوض الحروف بالمصطلحات المناسبة.

2- حدد عدد الدورات الكاملة. ثم حدد مدة الدورة الخلوية.

3- صف تطور كمية ADN بدلالة مراحل الدورة.

4- ماذا تستنتج؟



2- عدد الدورات الكاملة هو 2 و تدوم كل دورة 15 ساعة.

3- تعبر الدورة الخلوية عن مجموع طور السكون و الانقسام غير المباشر، وتتغير كمية ال ADN خلال الدورة الخلوية كالتالي :

* طور السكون I: يمكن تقسيمه إلى 3 فترات:

الفترة G1: و فيها تبقى كمية ال ADN مستقرة في القيمة q و تسمى فترة النمو الأولى.

المرحلة S: تتم خلالها مضاعفة كمية ال ADN من q إلى 2q. و تسمى فترة التركيب Synthèse.

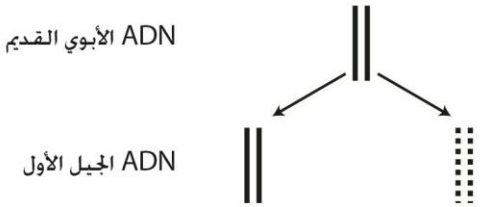
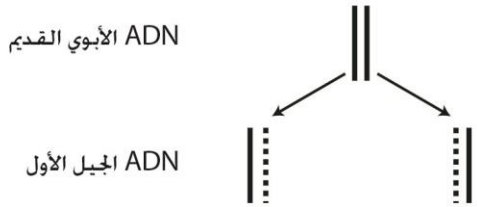
المرحلةG2: تبقى كمية ال ADN مستقرة في 2q. و تسمى فترة النمو الثانية و خلالها تستعد الخلية للانقسام.

* طور الانقسام غير المباشر M: تبقى فيه كمية ال ADN مستقرة في 2q خلال الطور التمهيدي و الاستوائي و تعود مرة أخرى إلى q أثناء الطور الانفصالي لتبقى مستقرة في هذه القيمة خلال الطور النهائي.

4- خلال طور السكون S تتم مضاعفة ال ADN و بالتالي فتضاعف ADN ينتج عنه تضاعف الصبغيات.

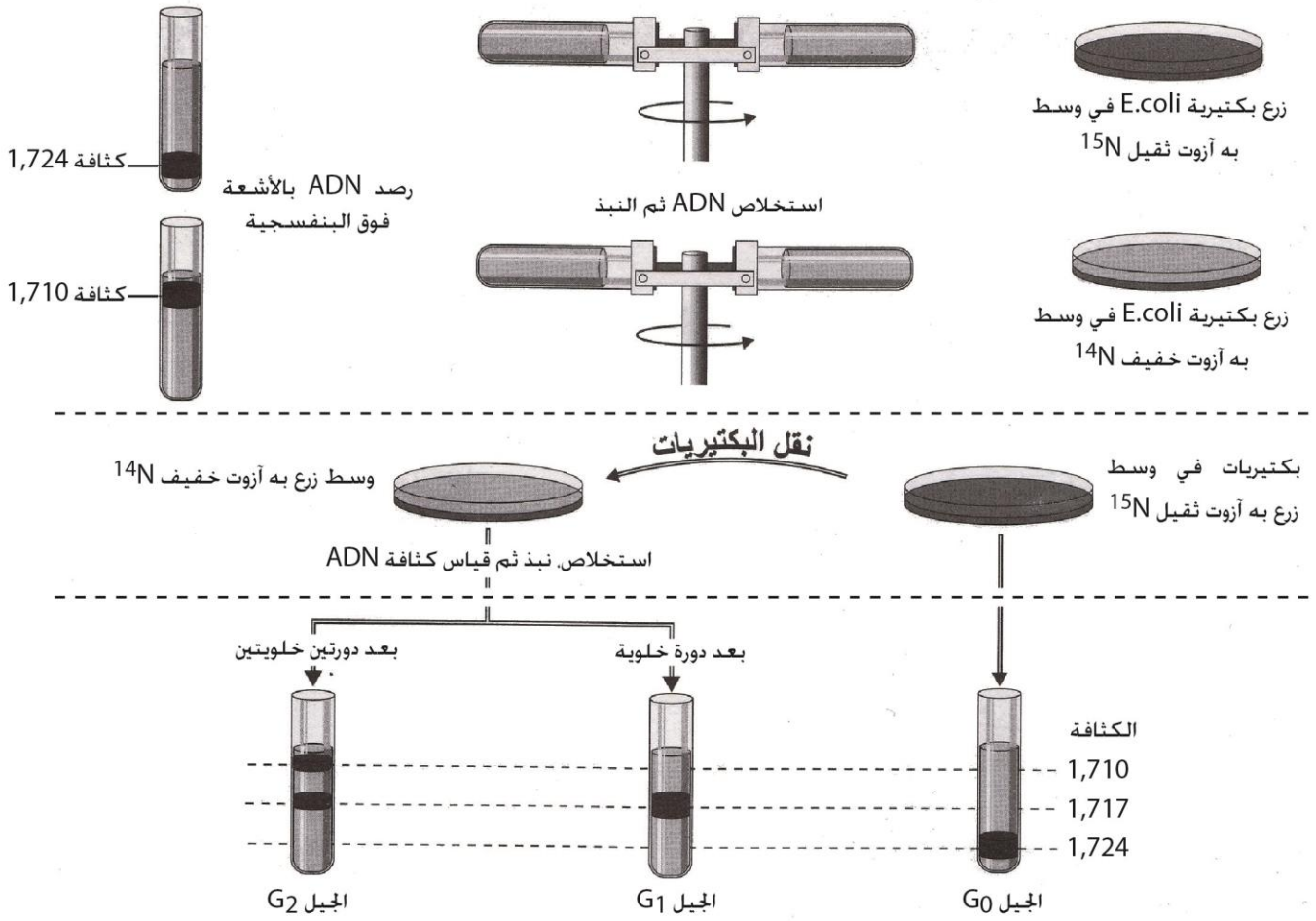
2- آلية النسخ الجزئي

وثيقة 17 قصد تفسير كيفية مضاعفة ال ADN قدمت فرضيتان 1 و 2 و يبين الجدول كيفية مضاعفة ADN حسب هذه الفرضيتين.

الفرضية 1 مضاعفة محافظة	الفرضية 2 مضاعفة نصف محافظة
	

لولب ADN قديم لولب ADN جديد لولب ADN هجين

للتأكد من صحة الفرضيتين 1 و 2 أنجز Meselson و Stahl التجربة التالية:



1- حدد نتيجة مضاعفة ADN حسب الفرضيتين 1 و 2 المثلتين بالجدول.

2- أعتمادا على هذه المعطيات حدد النسب المائوية ل ADN الثقيل (d=1,724) و ADN الخفيف (d=1,710) و ADN الهجين (d=1,717) في الجيل G0 و G1 و G2.

3- أي الفرضيتين 1 أو 2 تؤكد معطيات هذه التجارب؟ علل جوابك.

4- استنتج كيف ستكون النتائج بالنسبة للجيل G3.

5- اعتمادا على المعطيات السابقة أنجز رسما تخطيطيا تبين فيه نتيجة مضاعفة قطعة ال ADN الممثلة في الشكل أسفله. مستعملا لونين مختلفين بالنسبة للولب الأبوي و اللولب الجديد.

أجوبة:

1- حسب الفرضية 1: تتم مضاعفة ال ADN عن طريق الحفاظ على الجزيئة الأصلية كاملة و تركيب جزيئة جديدة.

- حسب الفرضية 2: تتم مضاعفة ال ADN عن طريق الحفاظ على خييط أصلي و تركيب خييط جديد.

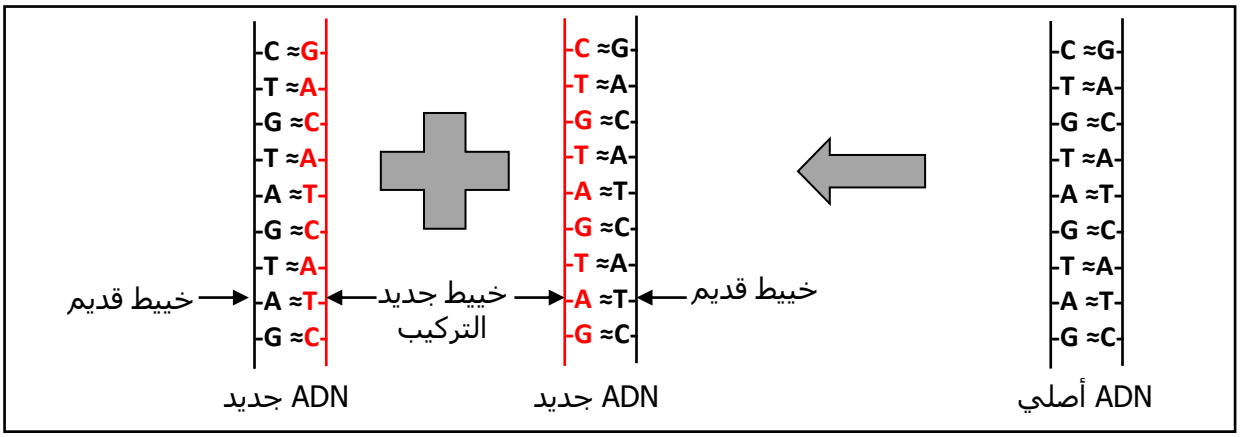
-2

الجيل	نسبة ADN ثقيل	نسبة ADN هجين	نسبة ADN خفيف

G0	100%	0%	0%
G1	0%	100%	0%
G2	0%	50%	50%

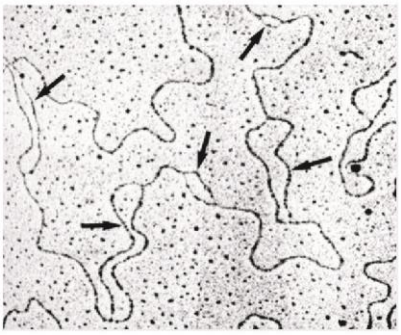
3- هذه المعطيات تأكد فرضية التضاعف النصف المحافظ (فرضية 2) لأن الجيل G1 يحتوي على 100% ADN هجين.

4-

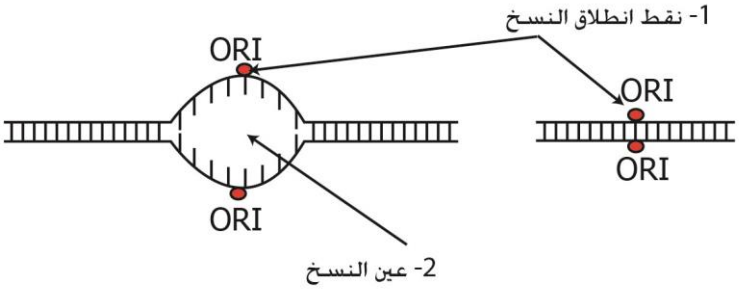


❄ مراحل النسخ الجزئي لـ ADN

وثيقة 18 من أجل معرفة ما يحدث على مستوى النواة أثناء مرحلة مضاعفة ال ADN نعتمد على ملاحظة إلكترونوغرافية لنواة في هذه المرحلة ممثلة في الشكل -أ- ويمثل الشكل -ب- رسما تفسيريا. ماذا تستنتج من معطيات الوثيقة؟



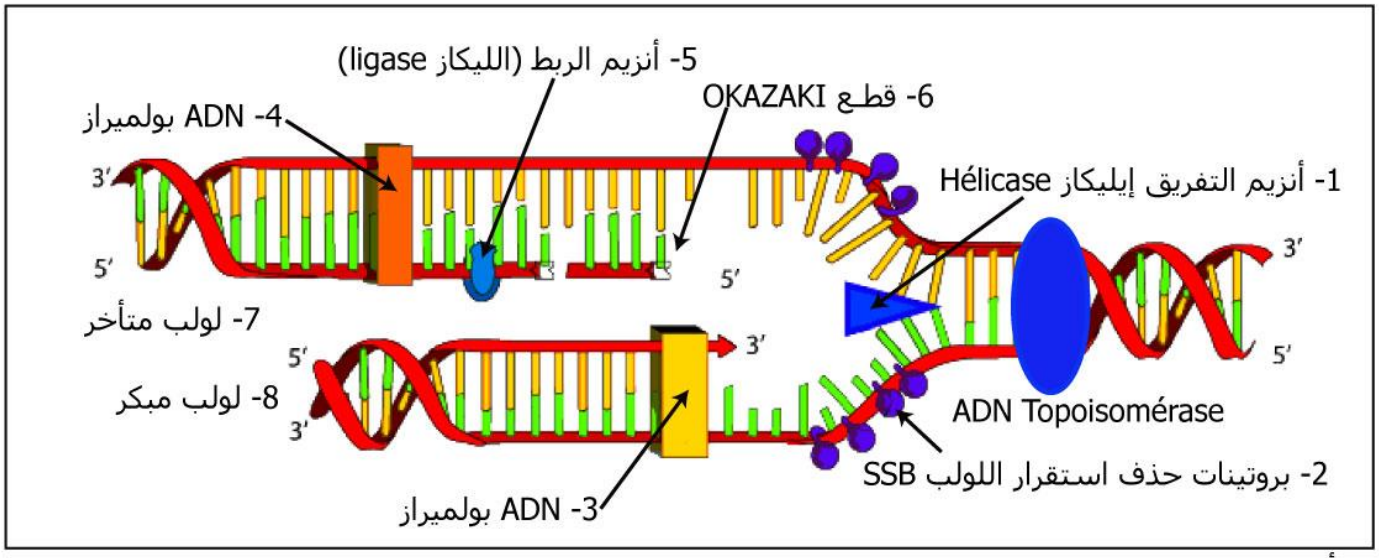
(أ) - صورة إلكترونوغرافية لـ ADN خلال التضاعف



(ب) - رسم تخطيطي يبين تشكل عيون النسخ

نستنتج من خلال هذه الملاحظة أن تضاعف الخييط النووي عند الخلايا ذوات النواة الحقيقة يبدأ في نقط تسمى نقط **انطلاق النسخ الجزيئي ORI** ، ثم ينتشر في الاتجاهين مكونا ما يسمى بعيون **النسخ**. (يوجد ORI 10^5 في كل صبغي عند ذوات النواة الحقيقية) ☝ (و ORI واحد عند البكتيريا).

من أجل فهم دقيق لآلية مضاعفة ال ADN على مستوى عيون النسخ أنجزت عدة تجارب مكنت من وضع النموذج التفسيري للنسخ الجزيئي الممثل في الوثيقة أسفله.

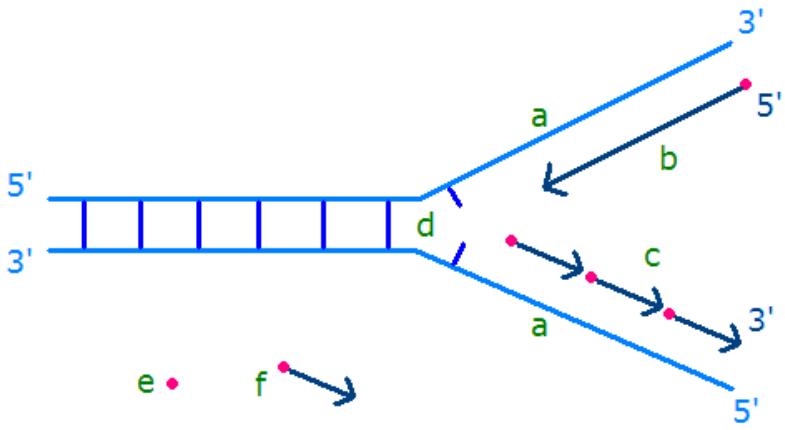


1- أتمم مفتاح الوثيقة.
2- من خلال تحليلك لهذه الوثيقة بين آلية مضاعفة ال ADN مع تحديد الأنزيمات المتدخلة و دور كل منها.

تتم مضاعفة جزيئة الـ ADN بتدخل عدة أنزيمات:

- تفريق اللولبين الأصليين نتيجة قطع الروابط الهيدروجينية بواسطة **أنزيم التفريق Hélicase** و تدخل أنزيمات أخرى تمنع ارتباط اللولبين من جديد (**بروتينات حذف استقرار اللولب SSB** single strand binding protein).

- تشكيل اللولب الجديد بتجميع تدريجي للنيكليوتيدات الحرة لتشكل لولبا مكملا للولب الأصلي مع احترام تكامل القواعد الآزوتية، تسمى عملية التجميع هذه **ببلمرة النيكليوتيدات** التي يقوم بها أنزيم يسمى **ADN بولميراز**، يتميز ال ADN بوليميراز بالقدرة على تركيب لولب ال ADN الجديد في اتجاه **واحد فقط هو 3'←5'**،



اتجاه القراءة: 3'←5'

اتجاه التركيب: 3'←5'

Réplication de l'ADN :
(a) brins « parents » ;
(b) brin continu (dit avancé), dans le sens 5' vers 3' ;
(c) brin discontinu (dit retardé), formé de **fragments d'Okazaki** ;

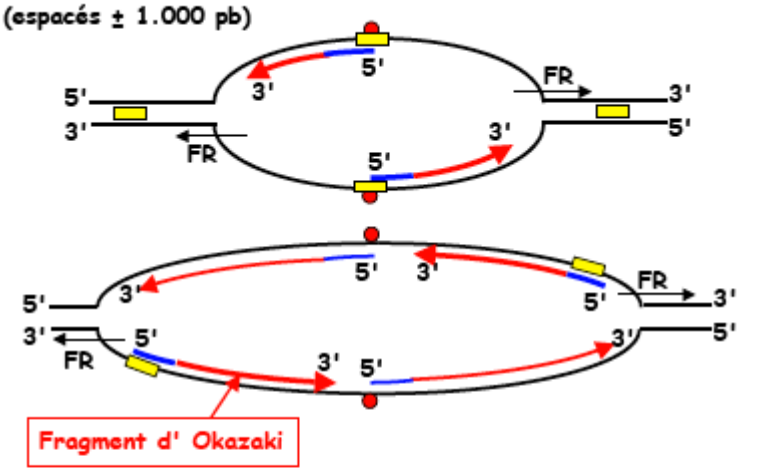
اتجاه القراءة و اتجاه التركيب بالنسبة ل ADN بولميراز

و لأن لولبي ال ADN مضادي التوازي فإن مضاعفة ال ADN تتم بطريقتين مختلفتين حسب قطبية اللولب:

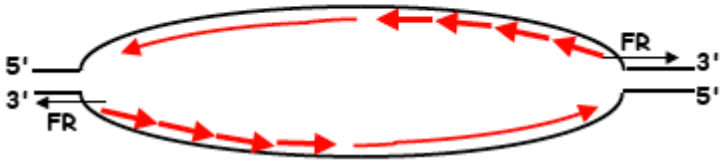
استطالة متصلة : تنطبق على اللولب الجديد المكمل للولب الأصلي الموجه من **3'←5' (لولب مبكر)**

استطالة متقطعة: تنطبق على اللولب الجديد المكمل للولب الأصلي الموجه من **3'←5'** و الذي يتم تركيبه بشكل متقطع في اتجاه **5'←3'** على شكل قطع من ال ADN غير المتصلة يطلق عليها أجزاء OKAZAKI بواسطة ال ADN بوليميراز حيث يقوم في النهاية أنزيم يدعى **الليكاز (أنزيم الربط) Ligase** لتشكل لولب ال ADN الجديد.

◊ Progression des FR —> nouveaux sites pour les primases (▭)
(espacés ± 1.000 pb)



◊ FR : synthèse continue sur un brin (brin précoce)
synthèse discontinue, à rebours, sur l'autre (brin tardif)



خلاصة: