2. النواة والدورة الخلوية
Le noyau et le cycle cellulaire

1.1. الشكل والبنية

النواة هي العضية الرئيسية في الخلية حقيقية النواة، وتتميز بأنها تحتوي على المادة الوراثية DNA وتتحكم في الأنشطة الحيوية للخلية

العضية الأكثر بروزًا في الخلية.

ضرورية لعمليات النمو والتشكل croissance et à la morphogenèse

تحتوي معظم الخلايا على نواة واحدة.

عادة ما تكون كروية أو بيضاوية الشكل

يُحاط بالنواة بغشاء مزدوج يسمى الغلاف النووي enveloppe nucléaire هذا الغشاء مثقوب (يحتوي على مسام).

تشغل النواة حوالي 10٪ من الحجم الكلي للخلية. تُسمى المادة الأساسية للنواة أو مصفوفة النواة nucléoplasme

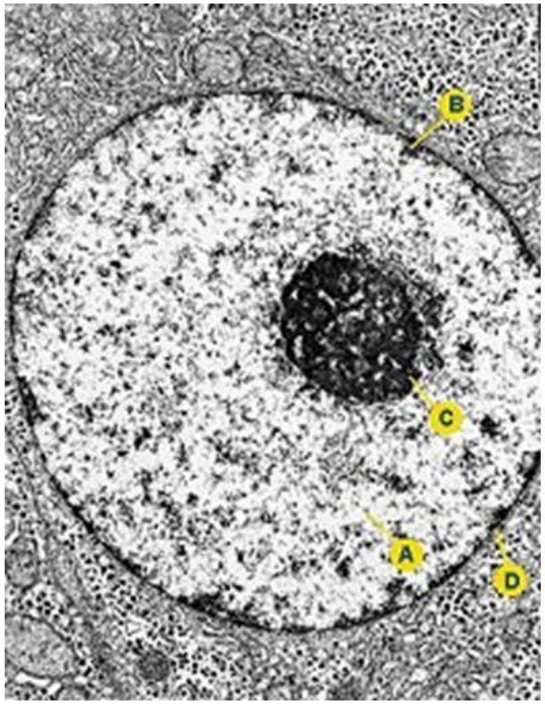
تحتوي على مادة شديدة التفاعل مع الصبغات chromophile تسمى الكروماتين chromatine

في النواة يمكن ملاحظة منطقة أو أكثر قابلة للتلوين بشدة تُسمى النوية Nucléole

حجم النواة يختلف حسب الأنواع.

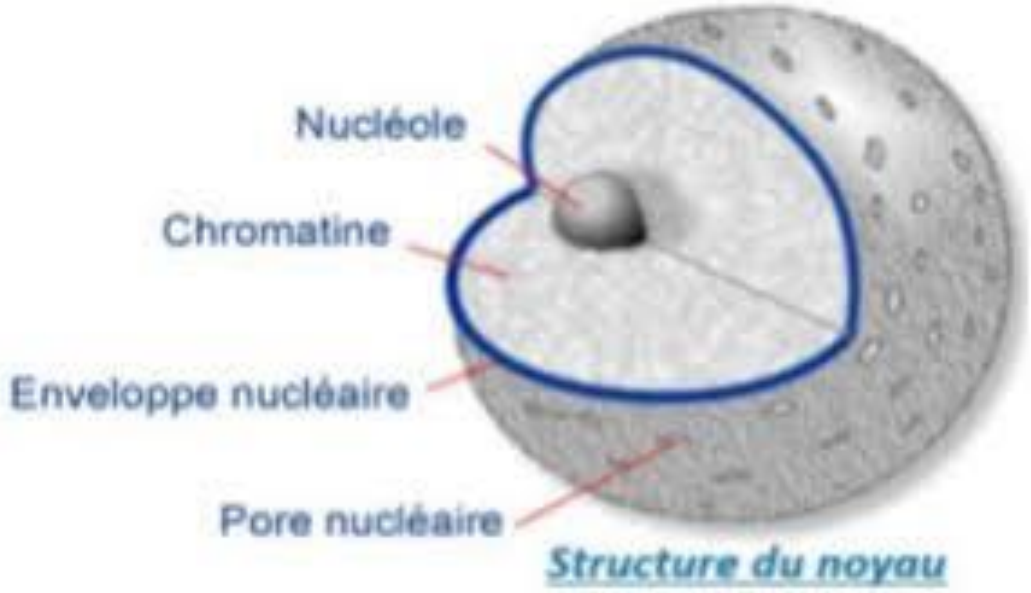
نسبة nucléoplasmique أو النسبة النووية السيتوبلازمية nucléocytoplasmique (RNP) هي نسبة حجم النواة إلى حجم السيتوبلازم (volume du noyau cellulaire / volume du cytoplasme) هذه النسبة ثابتة لكل نوع من الأنواع.

Ultrastructure cellulaire



Le noyau est composé de trois éléments:

1. **Membrane nucléaire**
2. **Chromatine**
3. **Nucléole**



1- الغلاف النووي :L’enveloppe nucléaire

الغلاف النووي هو غشاء مزدوج يحيط بالنواة ويفصل المادة الوراثية (DNA) الموجودة داخل النواة عن السيتوبلازم.

يتكون من طبقتين من الدهون (طبقة خارجية تحمل الريبوسومات وطبقة داخلية).

الغشاء الخارجي للغلاف النووي متصل بالشبكة الإندوبلازمية، يحتوي على ريبوسومات تعمل على تصنيع البروتينات. أما الغشاء الداخلي، فيُبطّن من الداخل بطبقة تُسمى lamina وهي شبكة من الخيوط البروتينية التي توفر دعمًا هيكليًا للنواة.

يحتوي الغلاف النووي على مسام نووية pore nucléaire وهي قنوات متخصصة تُعرف بمجمعات المسام النووية (تحتوي كل فتحة او مسام على حبيبة مركزية تسد الفتحة ومبطنة بـ 8 حبيبات أخرى مرتبة في هيكل ثماني الأضلاع) تتيح تبادل المواد بين النواة والسيتوبلازم مثل((RNA) والبروتينات.

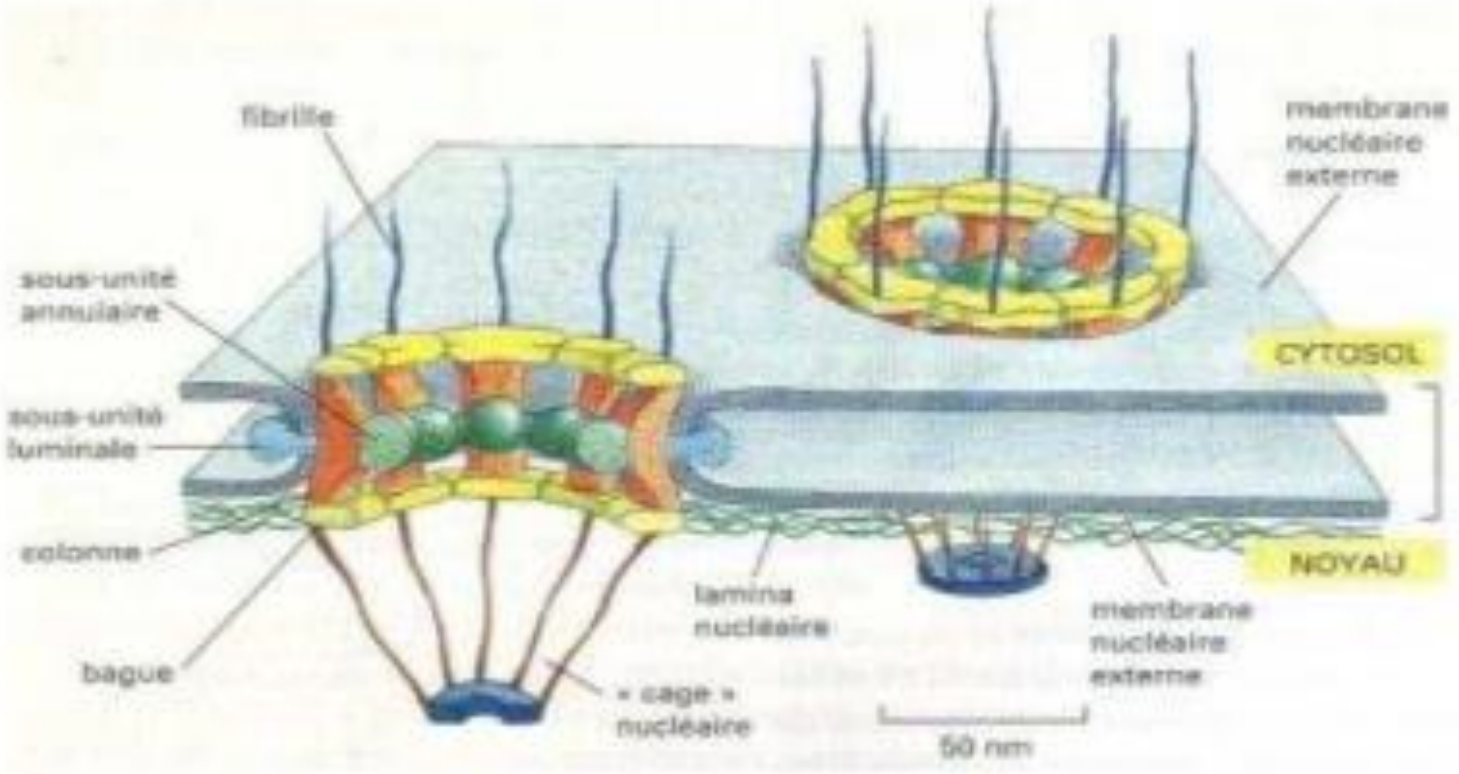


Figure . L'enveloppe nucléaire

وظائف الغلاف النووي: يعمل الغلاف النووي على أداء عدة وظائف مهمة في الخلية، منها:

1. حماية المادة الوراثية: يفصل الغلاف النووي الـ DNAالموجود داخل النواة عن السيتوبلازم، مما يحميه من التفاعلات والإنزيمات في السيتوبلازم التي قد تتسبب في تدهوره.
2. تنظيم مرور المواد: يتيح الغلاف النووي عبر المسام النووية مرور المواد بشكل انتقائي بين النواة والسيتوبلازم. يمكن للجزيئات الصغيرة، مثل الأيونات والجزيئات ذات الوزن الجزيئي المنخفض، أن تعبر بحرية. أما الجزيئات الكبيرة، مثل الـ RNAوالبروتينات، فيتم تنظيم دخولها وخروجها بواسطة مجمع المسام النووية، وهذا يسمح بمرور المواد الضرورية فقط وفقًا لحاجة الخلية.
3. دعم الهيكل الداخلي للنواة: طبقة laminaالنووية الموجودة على الجانب الداخلي من الغلاف النووي توفر دعماً هيكلياً للنواة وتساهم في تثبيت الكروموسومات في مكانها.
4. تسهيل التواصل بين النواة والسيتوبلازم: من خلال المسام النووية، يتم تصدير جزيئات الـ RNA والريبوسومات التي يتم تصنيعها في النواة إلى السيتوبلازم، كما يتم استيراد البروتينات الكبيرة مثل الإنزيمات التي تعمل داخل النواة.

2- النوكليوبلازم :Nucléoplasme

ويُسمى أيضًا العصارة النووية هو المادة الشبيهة بالهلام الموجودة داخل النواة في الخلايا حقيقية النواة.

يعد النوكليوبلازم وسطًا يحتوي على العديد من المكونات الضرورية للعمليات الحيوية داخل النواة. فيما يلي بعض الخصائص والوظائف الأساسية للنوكليوبلازم:

1. دعم الكروموسومات والهياكل النووية: النوكليوبلازم يساعد في تثبيت الكروموسومات والمواد الجينية داخل النواة، ويضمن بيئة ملائمة لعمليات مثل النسخ وتعديل الـDNA.
2. توفير الوسط المناسب للعمليات الحيوية: يحتوي النوكليوبلازم على البروتينات والإنزيمات اللازمة لتخليق الـ RNAومعالجة الـ DNA. كما يحتوي على النيوكليوتيدات وغيرها من الجزيئات الأساسية لتكوين الأحماض النووية.
3. تنظيم العمليات النووية: يلعب النوكليوبلازم دورًا في تنظيم حركة الجزيئات بين النواة والسيتوبلازم، كما يوفر البيئة المناسبة لتخليق الريبوسومات التي تحدث في النوية Nucléoleداخل النواة.
4. حماية المادة الوراثية: يعمل كوسيط يحمي المادة الوراثية من أي تأثيرات خارجية قد تكون ضارة ويضمن استقرار العمليات الحيوية الدقيقة التي تحدث داخل النواة.

3- الكروماتين :Chromatine

هو مركب يتكون من الحمض النووي (DNA) والبروتينات خاصة الهيستونات histones ويوجد داخل نواة الخلايا حقيقية النواة. يلعب الكروماتين دورًا أساسيًا في تخزين وتنظيم المعلومات الوراثية والتحكم في التعبير الجيني. نظرًا لأن الحمض النووي هو جزيء طويل جدًا، فإن الكروماتين يسمح بضغطه وتنظيمه داخل المساحة المحدودة للنواة.

أثناء الطور البيني l'interphase (الفترة التي تفصل بين انقسامين متتاليين):

خلال الطور البيني، يكون الكروماتين (المادة التي يتكون منها الكروموسوم) في حالة غير مكثفة، مما يسمح بحدوث عملية النسخ والوظائف الأخرى المرتبطة بنشاط الخلية.

الكروماتين في بعض الأماكن يظهر على شكل عقد من اللؤلؤ، حيث يلتف الحلزون المزدوج للحمض النووي بانتظام حول كل nucléosome وتستمر في الالتفاف حتى النيوكليوسوم التالي. بعض المناطق تُوجد في مواقع تنظيم الجينات وتحتوي على بروتينات ترتبط بالحمض النووي وتكون محددة لتنظيم جين معين.

- عادةً ما تلتف ألياف الكروماتين على نفسها لتشكل حلزونًا فائق الالتفاف بقطر 30 نانومتر، مشكلة نيوكليوفيلامينات nucleofilaments التي تستمر في الالتفاف لتشكل نيوكليوفيلامينات أكثر سماكة.

- خلال الطور البيني، يحتوي النيوكليوبلازم في بعض المواقع على مناطق مكثفة من الكروماتين تُسمى الكروموسنترات chromocenters

- اعتمادًا على حالة الالتفاف (اللولبة) للكروماتين، يمكن التمييز بين نوعين رئيسيين:

1- اليُكروماتين l'euchromatine

يتكون من ألياف قطرها يتراوح بين 3.5 إلى 6 نانومتر، ويكون في حالة غير مكثفة جدًا (مفكك بشكل كبير). هذه الألياف ضعيفة التلوين عند استخدام تقنيات الصبغ المجهري،

يرتبط بالمناطق التي تحتوي على جينات نشطة، حيث تتم عملية النسخ. بعبارة أخرى، هو الشكل الذي يتواجد فيه الحمض النووي أثناء نشاطه في إنتاج RNA، مما يسمح بنسخ المعلومات الوراثية الضرورية لتصنيع البروتينات

2- الهيتروكروماتين l’hétérochromatine

هو أكثر تكثيفًا، ويتكون من ألياف يتراوح قطرها بين 20 إلى 30 نانومتر. في هذه الحالة المكثفة، يكون الحمض النووي أقل نشاطًا من حيث النسخ، ويكون عادة غير نشط جينيًا، أو يشمل مناطق جينية غير فعالة. ولا يسمح بعملية النسخ.

الكروماتين يتكون من خمسة مكونات:

1. الحمض النووي DNA المرتبط بـ nucléoprotéines يشكل حوالي 30%.
2. الهيستونات: تشكل ما بين 30 إلى 40% من الكروماتين، وهي البروتينات الأساسية التي يلتف حولها الحمض النووي.
3. البروتينات الحمضية: تشكل حوالي 10 إلى 25%، وتساهم في تنظيم الوظائف الجينية والهيكلية.
4. الحمض النووي الريبي RNA : يشكل حوالي 5%، وهو مهم في عمليات النسخ وترجمة الجينات.
5. الدهون الفوسفاتية Phospholipids :غالبًا ما ترتبط بالحمض النووي، وتساهم في هيكلة الكروماتين ووظائفه.

هذه المكونات تعمل معًا لتشكيل الكروماتين، الذي يلعب دورًا مهمًا في تنظيم الجينات وتكثيف الحمض النووي داخل النواة.

اثناء الانقسام الخلوي mitose

تتكثف ألياف الكروماتين تدريجيًا لتتحول إلى كروموسومات، حيث تصل عملية التكثيف إلى أقصى درجاتها في مرحلة الطور الاستوائي Métaphase في هذه المرحلة، يمكن أن يتقلص طول الكروموسوم حتى يصل إلى 1/1000 من طوله الأصلي.

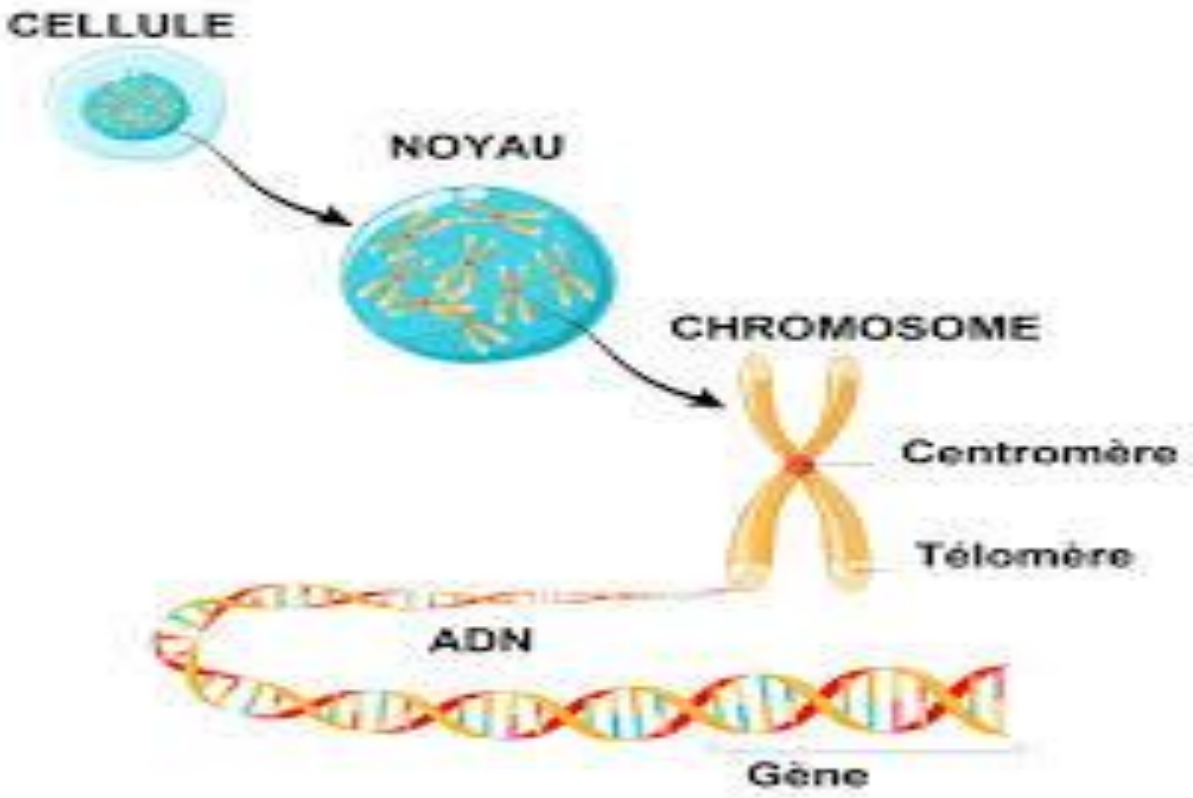
تقوم البروتينات غير الهيستونية بتوصيل حلقات ألياف الكروماتين التي تحتوي على 20.000 إلى 30.000 زوج من النيوكليوتيدات عبر قاعدتها.

أثناء الطور الاستوائي، يكون تكثيف الكروماتين في الكروموسومات هو الحد الأقصى. يتم ربط جزيئين من الحمض النووي المكثف بشكل فردي يسمى الكروماتيدات الشقيقة في السنترومير.

يُظهر كل كروموسوم انقسامي نمطًا مميزًا.

الأنماط الجينية caryotype هي مجموعة الكروموسومات يتميز كل فرد منها بشكل وعدد ثابت من الكروموسومات. بعد عملية الصبغ، يظهر كل كروموسوم مجموعة من التقلصات والأشرطة الهتروكروماتينية المميزة، الناتجة عن الصبغ التفاضلي للمناطق الغنية بالنيوكليوتيدات A-T، المعروفة (bande G comme Giemsa) والمناطق الغنية بالنيوكليوتيدات C-G، المعروفة بأشرطة R أو (bande R ou reverse)).

كل كروماتيدة تحتوي في نهايتيها على تسلسل قصير من الحمض النووي يُسمى télomère، والذي يلعب دورًا مهمًا في حماية نهاية الكروموسوم ومنع فقدان المعلومات الجينية أثناء عمليات النسخ والتكاثر الخلوي. يساعد التيلومير أيضًا في الحفاظ على استقرار الكروموسومات خلال الانقسامات الخلوية.


CELLULE
NOYAU
CHROMOSOME
Centromère
Télomère
ADN
Gène

2. الدورة الخلوية le Cycle cellulaire

يتضح أن دورة الخلية تلعب دورًا أساسيًا في النشاط المرستيمي. في المرستيمات، يتسم نشاط الخلايا بتتابع مرحلتين متتاليتين وهما: الطور البيني (l'interphase) والانقسام الخيطي (la mitose)

1.2.2. الطور البيني L'interphase

الطور البيني هو المرحلة التي تستعد فيها الخلية للانقسام، ويتضمن ثلاثة أطوار:

1. **الطور G1 (Gap 1):** تنمو الخلية وتقوم بوظائفها الطبيعية. في نهاية هذا الطور تقرر الخلية ما إذا كانت ستدخل مرحلة الانقسام أم لا.

2. **الطور S (Synthèse):** يحدث تضاعف المادة الوراثية DNA حيث تُنسخ جميع جزيئات الحمض النووي في الخلية.

3. **الطور G2 (Gap 2):** تواصل الخلية النمو وتستعد للانقسام بشكل نهائي، حيث يتم إنتاج المزيد من البروتينات والعضيات لضمان انقسام سلس ودقيق.

يمكن تقسيم الطور البيني إلى عدة مراحل متتابعة التي ينتج عنها :

1- تضاعف الكروموسومات:

تضاعف الكروموسومات يحدث خلال الطور S من الطور البيني في الدورة الخلوية في هذه المرحلة يتضاعف الحمض النووي بحيث يكون لكل كروموسوم نسخة مطابقة، وهي الكروماتيدات الشقيقة، المرتبطة ببعضها عند نقطة تسمى السنترومير.

عملية التضاعف ضرورية لضمان أن كل خلية بنت تحصل على نسخة كاملة من المادة الوراثية بعد انقسام الخلية.

2- تضاعف الحمض النووي ADN:

نموذج واتسون وكريك Watson et Crick:

نموذج واتسون وكريك للحمض النووي (ADN) يصف البنية الثلاثية الأبعاد للجزيء في شكل لولب مزدوج. والذي يُعتبر إنجازًا محوريًا في فهمنا للوراثة والجزيئات الحيوية.

وفقًا لهذا النموذج، يتكون الحمض النووي من شريطين متوازيين من الفوسفات والسكر متصلين ببعضهما عبر القواعد النيتروجينية. هذه القواعد تشمل A، T، G ، وC وتتزاوج القواعد بشكل محدد: (A-T)، (G-C) الروابط الهيدروجينية بين هذه القواعد النيتروجينية هي التي تثبت التركيب الحلزوني المزدوج.

يشرح هذا النموذج أيضًا آلية التضاعف الحمض النووي. حيث ينفصل الشريطان الأصليان عن بعضهما ليعمل كل منهما كقالب لبناء شريط جديد مكمل، ما يضمن تضاعف المادة الوراثية بدقة عالية.

L'ADN polymérase هوالإنزيم المسؤول عن التضاعف

3- L'ADN polymerase الإنزيم المسؤول عن التضاعف

تتطلب عملية تضاعف الحمض النووي (ADN) مجموعة من الخطوات تشمل:

- فصل الشريطين من الجزيء الأصلي
- فك ارتباط البروتينات المرتبطة بالحمض النووي
- تخليق الشريط الجديد.

تُنفذ هذه الخطوات بواسطة مركب إنزيمي كبير، حيث يُعتبر l'ADN polymérase هو الإنزيم الرئيسي في هذا المركب، المسؤول عن تخليق الشريط الجديد من الحمض النووي. يتمتع هذا الإنزيم أيضًا بقدرة على إصلاح الأخطاء وتصحيحها، من خلال مراقبة النيوكليوتيدات المضافة والتأكد من توافقها مع الشريط القالب. لذا، تُعتبر عملية التضاعف عملية "موثوقة" للغاية، مع معدل أخطاء منخفض جدًا.

2.2.2. الانقسام الميتوزي : la mitose

قبل الانقسام الميتوزي يتم تضاعف الحمض النووي (ADN) في هذه المرحلة نستعرض كيفية توزيع كل نسخة من الحمض النووي من الخلية الأصلية بشكل عادل بين الخلايا البنات.

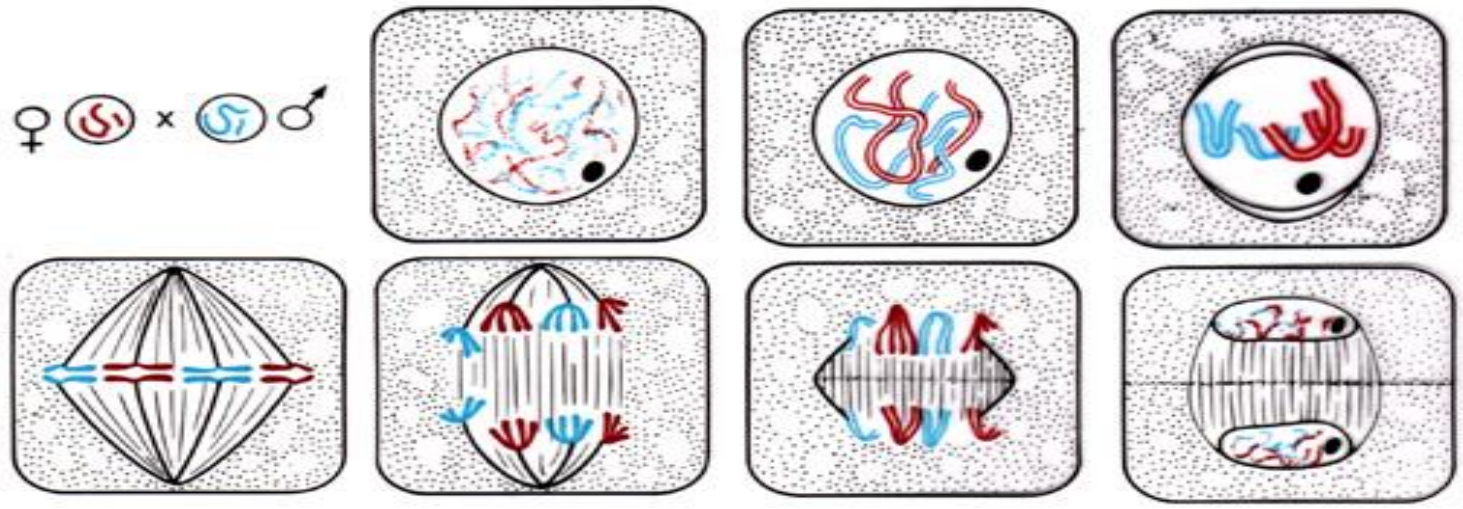
1- مراحل الميتوز : الانقسام المتساوي هو عملية مستمرة ولكن يمكن تقسيمه إلى أربع مراحل، كل منها تتميز بشكل أساسي بحالة وموقع الكروموسومات.

1. الطور الأول (Prophase) : في هذه المرحلة، تتكثف الكروموسومات وتصبح مرئية تحت المجهر. كما يختفي الغلاف النووي ، وتظهر الألياف المغزلية التي ستساعد في فصل الكروموسومات.

2. الطور الثاني (Metaphase) : تكون الكروموسومات قد تفصلت تمامًا، حيث تصل عملية تكثيفها إلى أقصى درجاتها، وتكون جميع السنترومیرات على خط الاستواء للخلية. وبهذا الشكل، تشكل الكروموسومات ما يُعرف باللوحة الاستوائية

3. الطور الثالث (Anaphase) : تتفصل الكروماتيدات في كل كروموسوم بعد تمزق السنتروميرات، وتتحرك نحو قطبي الخلية المعاكسين. نتيجة لذلك، تتواجد مجموعتان متطابقتان من الكروموسومات ذات الكروماتيدة الواحدة في كل قطب من أقطاب الخلية. وتبدأ نهاية المرحلة الانفصالية مع انقسام السيتوبلازم إلى جزئين.

4. الطور الرابع (Telophase) : تبدأ الكروموسومات في الانفصال عن بعضها، وتبدأ الغلاف النووي في التكون حول كل مجموعة من الكروموسومات. يختفي المغزل الميتوزي، وتستمر عملية انقسام السيتوبلازم. تنتهي المرحلة النهائية (التيلوفاز) بعملية الانقسام الخلوي



رسومات توضيحية لمختلف مراحل الانقسام الميتوزي:

- الصف الأول يُظهر الطور البيني **l'interphase** والطور التمهيدي **Prophase** لخلية نباتية ثنائية الصيغة الصبغية.(2n=4)
- الصف الثاني يُظهر الطور الاستوائي **Metaphase** (الرسم الأول)، الطور الانفصالي **Anaphase** (الرسم الثاني)، والطور النهائي **Telophase** (الرسمين الثالث والرابع).

تم تلوين الكروموسومات أصل الأم باللون الأحمر، وتلك من أصل الأب باللون الأزرق.

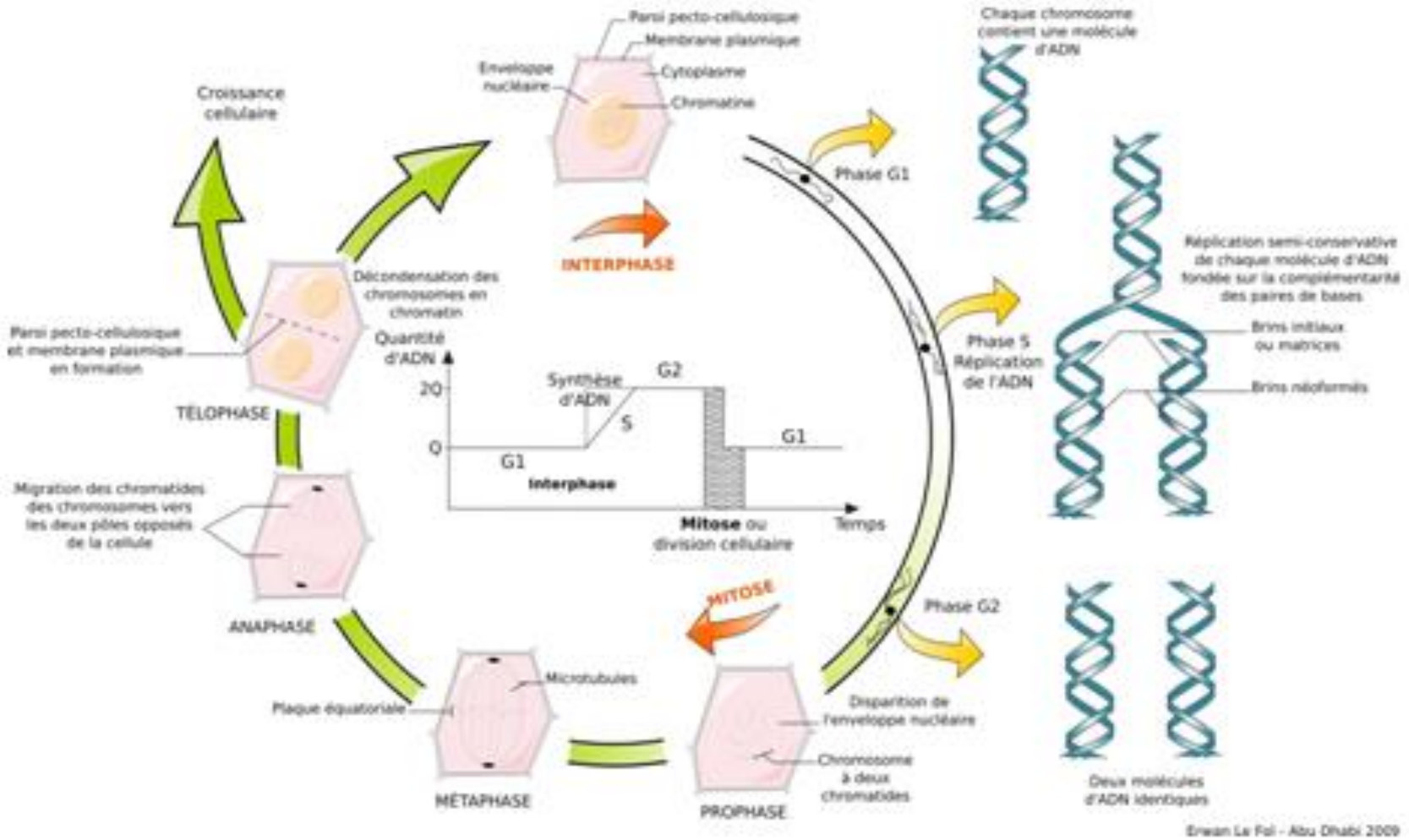


FIG1: **Le cycle cellulaire**

2- انقسام السيتوبلازم (Cytodiérèse)

في النباتات، يتم فصل السيتوبلازم عن طريق بناء جدار خلوي جديد عند خط استواء الخلية. يتشكل هذا الجدار بفضل الحويصلات التي تحتوي على جزيئات تساعد في بناء الجدار، وتكون أغشية هذه الحويصلات هي أصل الغشاء البلازمي للخلتين المستقبليتين. يتم توجيه هذه الحويصلات بواسطة المغزل الانقسامي إلى مركز الخلية، حيث تندمج لتشكيل الغشاء والجدار الخلوي. تبدأ هذه العملية بشكل طرد مركزي (تبدأ في وسط الخلية وتنتقل تدريجيًا نحو الأطراف) حتى تصل إلى الغشاء البلازمي والجدار الأصلي على جانبي الخلية. ثم يندمج الغشاء البلازمي الجديد مع الغشاء الأصلي، وكذلك الجدار الجديد يندمج مع الجدار الأصلي. مما يؤدي إلى انفصال الخليتين بشكل نهائي.

يتم فصل الخليتين البنتين عبر تكوين غشاء بلازمي جديد لكل خلية، بالإضافةً إلى بناء جدار خلوي جديد لكل منهما.

3- الهياكل الخلوية المعدلة أثناء الانقسام:

أثناء الانقسام الخلوي تتعرض العديد من الهياكل الخلوية للتعديل لضمان حدوث الانقسام بشكل صحيح ودقيق. من بين هذه الهياكل:

الهيكل الخلوي Cytosquelette: يتغير الهيكل الخلوي (هو شبكة من الألياف والبروتينات التي توجد في سيتوبلازم الخلية وتلعب دورًا أساسيًا في الحفاظ على شكل الخلية وتثبيت عضياتها الداخلية وتنظيم حركتها)

بشكل كبير خلال الانقسام، حيث تتفكك الألياف الدقيقة وتُعاد تنظيمها لتشكيل المغزل الانقسامي، وهو هيكل بروتيني يلعب دورًا حاسمًا في فصل الكروموسومات الشقيقة بين الخليتين البنتين.

الكروموسومات: تتكثف الكروموسومات لتصبح أكثر وضوحًا خلال الطور التمهيدي Prophase وهو جزء من الانقسام الخيطي Mitose هذا التكثف يسهل عملية فصل المادة الوراثية أثناء الانقسام.

الغشاء النووي: يتفكك خلال الانقسام الخيطي للسماح للمغزل الانقسامي بالوصول إلى الكروموسومات. يحدث هذا التفكك في نهاية الطور التمهيدي، ويُعاد تشكيله في الطور النهائي Telophase حول النواتين الجديدتين.

تعد هذه التعديلات أساسية لضمان توزيع متساوٍ ودقيق للمادة الوراثية بين الخلايا الناتجة بعد الانقسام.

3.2.2. تنظيم الدورة الخلوية:

تشمل سلسلة دورات الخلية شبكة معقدة من نقاط التحكم التي تضمن سلامة الخلية. تتيح هذه الشبكة التأكد من أن كل مرحلة من مراحل الدورة قد تمت بشكل صحيح، خاصة خلال الانتقال من المرحلة G1 إلى S، وكذلك خلال الانتقال من G2 إلى الانقسام الميتوزي. كما تعمل هذه النقاط على منع الدخول إلى الانقسام الميتوزي قبل اكتمال تكرار الحمض النووي، وتستجيب أيضًا لأي اضطرابات مثل تلف الحمض النووي أو تخليق البروتينات نتيجةً للإجهاد.