

# **cours de génétique**

fekih hind Université Tlemcen ABOUBAKR BELKAID  
Faculté des sciences de la nature et de la vie, science  
de la terre et de l'univers  
Département de Biologie  
Email : [hindfekih@gmail.com](mailto:hindfekih@gmail.com)

1.0 06-02-2024



# Table des matières

<b>I - introduction</b>	<b>3</b>
1. carte conceptuelle .....	3
2. objectifs.....	3
3. Connaissances préalables recommandées .....	3
4. Exercice .....	3
5. Exercice .....	4
<b>II - chapitre 1 Matériel génétique</b>	<b>5</b>
1. nature chimique du matériel génétique.....	5
1.2. Structure des acides nucléiques.....	6
1.3. Structure et composition du matériel génétique .....	7
2. Réplication de la molécule d'ADN.....	8
2.1. Introduction .....	8
2.2. Le problème à résoudre .....	8
2.3. Les hypothèses.....	9
2.4. L'expérience : résultats observés.....	9
2.5. . L'expérience .....	10
2.6. Conclusion.....	11
<b>III - chapitre 2 Transmission des caractères génétique chez les eucaryotes</b>	<b>13</b>
1. Introduction .....	13
1.1. La scissiparité est le mode de division habituel des cellules .....	13
1.2. La mitose .....	13
1.3. La méiose.....	15
<b>IV - examen d'évaluation</b>	<b>17</b>
1. Exercice : exercice 1 .....	17
2. Exercice : exercice 2 .....	17
3. Exercice : exercice 3 .....	17
4. Exercice : exercice 4 .....	17
5. Exercice : exercice 5 .....	18
<b>Abréviations</b>	<b>19</b>
<b>Références</b>	<b>20</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>21</b>
<b>Webographie</b>	<b>22</b>



## 5. Exercice

Lorsqu'on croise des petits pois lisse avec des petits pois ridés, on obtient en F1 DES PETITS POIS LISSES

- C'est un cas de codominance
- Le parent lisse est hétérozygote
- Le phénotype ridé est dominant
- Les petits pois obtenus en F1 sont hétérozygote

# chapitre 1 Matériel génétique



## 1. nature chimique du matériel génétique

Le matériel génétique est le génome d'un organisme, précisément défini comme l'ensemble des acides nucléiques d'une cellule. Il contient à la fois les séquences codantes et non-codantes des protéines. *L'ADN\** est le matériel génétique dans les cellules.

Le matériel génétique (héréditaire) de tous les êtres vivants est composé d'ADN . La structure de l'ADN doit permettre à cette substance de stocker des informations codées qui contrôlent la fonction biologique des cellules.

Jusqu'en 1944, on ignorait quelle pouvait être la nature chimique de la molécule présente dans les chromosomes et porteuse de l'information génétique. Alors que la plupart des chercheurs pensaient qu'il s'agissait de protéines.

alors quelle est la nature de l'information génétique ?

Doc 1: Expérience de Griffith (1928)

Le pneumocoque est une bactérie responsable de la pneumonie chez les mammifères. Il existe sous deux formes :

- La bactérie S : souche virulente, possède une capsule de nature glucidique qui empêche sa phagocytose par les leucocytes et qui donne un aspect lisse aux bactéries (S pour smooth).
- La bactérie R : souche non virulente, dépourvue de capsule et présente un aspect rugueux (R pour rough en anglais).

Observation microscopique de pneumocoques

Pneumocoque S      Pneumocoque R

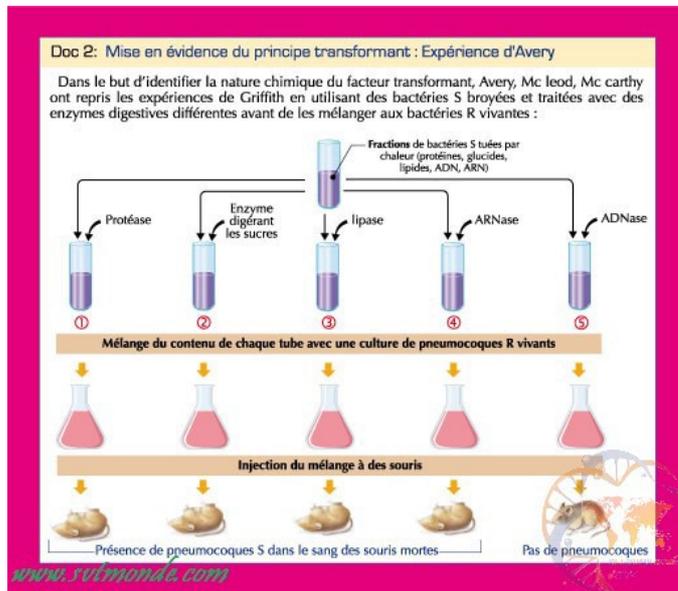
Dans le but de trouver un vaccin contre la pneumonie, Griffith a réalisé des expériences qui consistent à inoculer à des souris différents types de pneumocoques.

1	2	3	4
Injection de pneumocoques S vivants	Injection de pneumocoques S vivants	Injection de pneumocoques S tués	Injection d'un mélange de S tués et R vivants
survie	mort	survie	mort
Absence dans le sang de l'animal de tout Pneumocoque	Présence de très nombreux Pneumocoques S vivants dans le sang	Absence dans le sang de l'animal de tout Pneumocoque	Présence de très nombreux Pneumocoques S vivants dans le sang

A partir des informations tirées des expériences, Griffith a admis l'idée qu'il y a eu transformation des bactéries R vivantes en bactéries S vivantes par l'effet d'un facteur qu'il a qualifié de «Principe transformant».

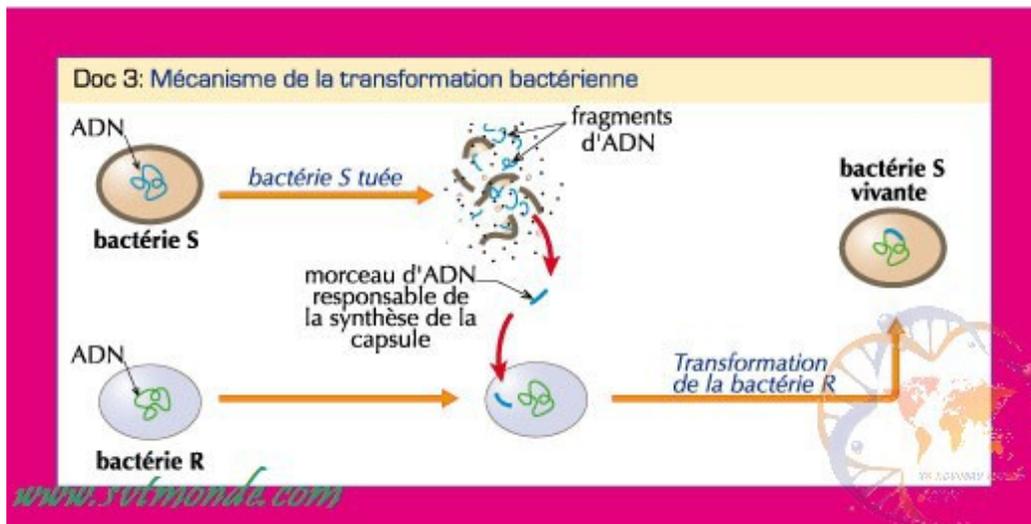
a) analysez le document, et déduisez le facteur responsable de la mort des souris.

- Ces expériences ont mis en évidence l'existence d'une substance libérée par les bactéries S tuées, susceptible d'être intégré par les bactéries R, et qui leur confère la capacité de synthétiser la capsule, ainsi elles se transforment en bactéries S.
- Griffith a appelé cette substance « facteur transformant » (ou principe transformant) mais il n'a pas déterminé sa nature chimique.



**i) que peut-on conclure d'après les expériences d'Avery.**

- L'utilisation de protéase et de ribonucléase a montré que les protéines et l'ARN ne sont pas impliqués dans la transformation des bactéries R en S.
- La substance responsable de la transformation des bactéries R en bactéries S est l'ADN (acide désoxyribonucléique) car lors de l'addition d'une ADNase (enzyme qui détruit l'ADN), la transformation n'avait pas lieu et la souris survivait.



remarque

Ces expériences ont montrées que seule l'ADN est capable de conférer les bactéries R la capacité de synthétiser la capsule. L'ADN est donc le support de l'information génétique. .

**1.2. Structure des acides nucléiques**

Les acides nucléiques sont des polymères linéaires de nucléotides (nucléosides monophosphates) reliés entre eux par une liaison 3'-5' phosphodiester. Il en existe deux types :

- ▶ l'acide désoxyribonucléique (ADN), support de l'information génétique (gènes);
- ▶ l'acide ribonucléique (ARN), dont il existe plusieurs formes :
  - ARN messenger, support transitoire de l'information génétique qui est traduite en protéines,
  - ARN ribosomique et ARN\* de transfert, impliqués dans la synthèse des protéines,
  - petits ARN ayant un rôle de régulation.



Base azotée		ADN		Désoxyribonucléotides 5' triphosphate	
Désoxyribonucleosides	désoxyribonucléotides en 5' monophosphate	Désoxyribonucléotides 5' diphosphates			
Adénine (A) Adénosine	(dAMP)	(dADP)		(dATP)	
Guanine (G) Guanosine	(dGMP)	(dGDP)		(dGTP)	
Thymine (T) thymidine	(dTMP)	(dTDP)		(dTTP)	
Cytosine (C) Cytidine	(dCMP)	(dCDP)		(dCTP)	

## 2. Réplication de la molécule d'ADN

Au moment de la division cellulaire, la cellule doit copier son génome afin de le transmettre aux cellules descendantes. La réplication doit se faire sans aucune erreur ce qui explique que toutes les cellules de l'organisme contiennent le même génome (correction sur épreuve de l'ADN polymérase).

Lors de sa réplication, chacune des doubles hélices d'ADN filles est constituée de l'un des brins original matrice (brin ancien) et d'un brin nouveau : on dit que la réplication de l'ADN est semiconservatrice (Expériences de MESELSON ET STAHL (1957)).

### 2.1. Introduction

Cette expérience date de 1958. Elle permet de démontrer le caractère semi-conservatif de la multiplication de la molécule d'ADN chez les bactéries. Cette expérience a pu être réalisée grâce à plusieurs mises au point techniques :

*Meselson et Stahl\** mettent au point une technique d'obtention d'un gradient de densité par centrifugation.

En utilisant du chlorure de césium de densité moyenne 1,72, ils obtiennent, après 24 h de centrifugation à grande vitesse, un gradient de densité d'environ 1,70 à 1,75. Cette gamme englobe la densité de l'ADN (1,710).

Ils cultivent les bactéries dans un milieu dont les substances organiques utilisées comme source d'azote contiennent de l'azote lourd (15N). Au cours de la culture, toutes les molécules azotées et en particulier l'ADN contiennent une forte proportion d'azote 15N.

L'ADN « lourd » a une densité de 1,724 et peut être distingué de l'ADN « léger » (1,710).

Ils mettent au point une méthode qui permet de synchroniser pendant quelques générations la division des bactéries.

### 2.2. Le problème à résoudre

Depuis Watson et Crick (1953), on sait que l'ADN est une molécule formée de deux brins antiparallèles, formant une double hélice. Dès leur publication originale sur la structure de l'ADN, Watson et Crick ont proposé que cette double hélice puisse s'ouvrir, permettant ainsi la synthèse de nouveaux brins, complémentaires des brins originaux.

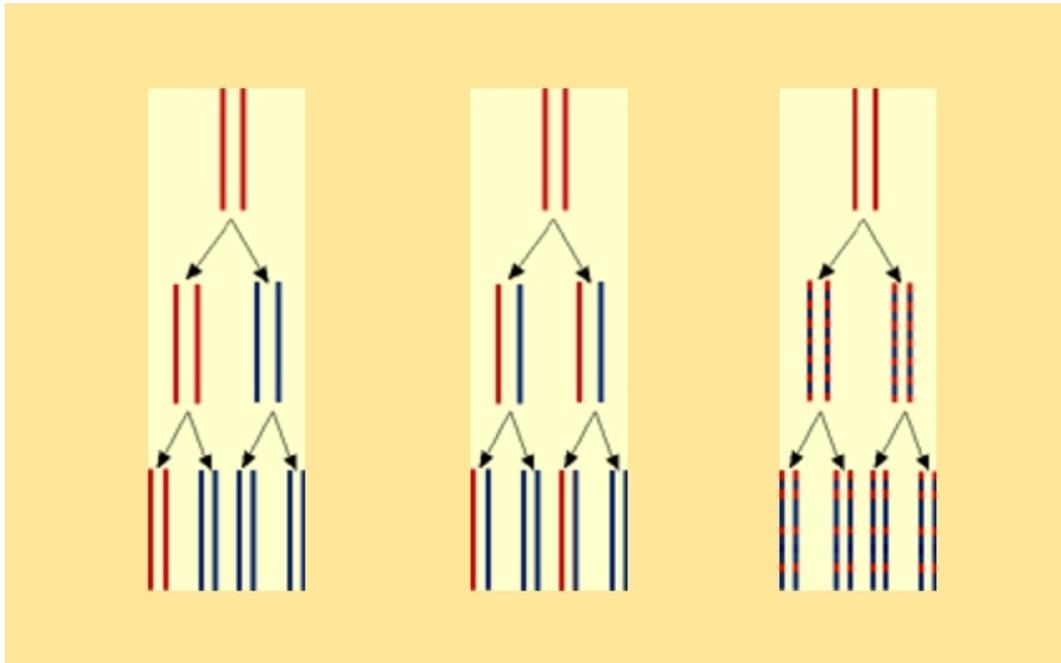
L'ADN peut ainsi servir de matrice à sa propre réplication, étape essentielle du cycle cellulaire. Cette duplication de l'ADN (et donc des chromatides) permet de passer de chromosomes à une chromatide à des chromosomes possédant deux chromatides identiques, portant la même information génétique. Lors de la mitose, ces deux chromatides sont réparties, chaque cellule-fille héritant d'une chromatide de chaque chromosome. On obtient ainsi deux cellules possédant la même information génétique que la cellule-mère.

Le problème qui se posait à Meselson et Stahl était alors de comprendre comment se réalisait cette réplication : selon quelles modalités passe-t-on d'une molécule d'ADN formée de deux brins à deux molécules d'ADN bicaténares identiques ?

## 2.3. Les hypothèses

Pour expliquer la duplication d'un ADN bicaténaire, trois modèles ont été proposés. Ces modèles se basent tous sur l'utilisation de la molécule d'ADN « mère » comme matrice pour sa réplication, mais selon des modalités différentes :

Ce schéma présente le devenir de l'ADN chez trois générations de cellules successives, selon les trois hypothèses de mode de réplication de l'ADN.



### a) Hypothèse 1

à gauche : modèle conservatif

À partir d'une molécule d'ADN bicaténaire « mère », on forme une nouvelle molécule d'ADN bicaténaire. On garde donc ici une molécule « mère », non modifiée (elle est donc conservée), tout en « créant » une nouvelle molécule (« fille »).

### i) Hypothèse 2

au centre : modèle semi-conservatif

On dissocie les deux brins de la molécule d'ADN bicaténaire « mère ».

Chaque brin sert donc de matrice à la synthèse d'un brin complémentaire, l'ensemble reformant une molécule d'ADN bicaténaire. Chaque nouvelle molécule « fille » ne conserve donc que la moitié de la molécule « mère ».

### 1 Hypothèse 3

à droite : modèle dispersif On ne conserve aucun brin intact. La copie se réalise par fragments dispersés dans l'ensemble de l'ADN, permettant de former les deux molécules d'ADN bicaténaire « filles ».

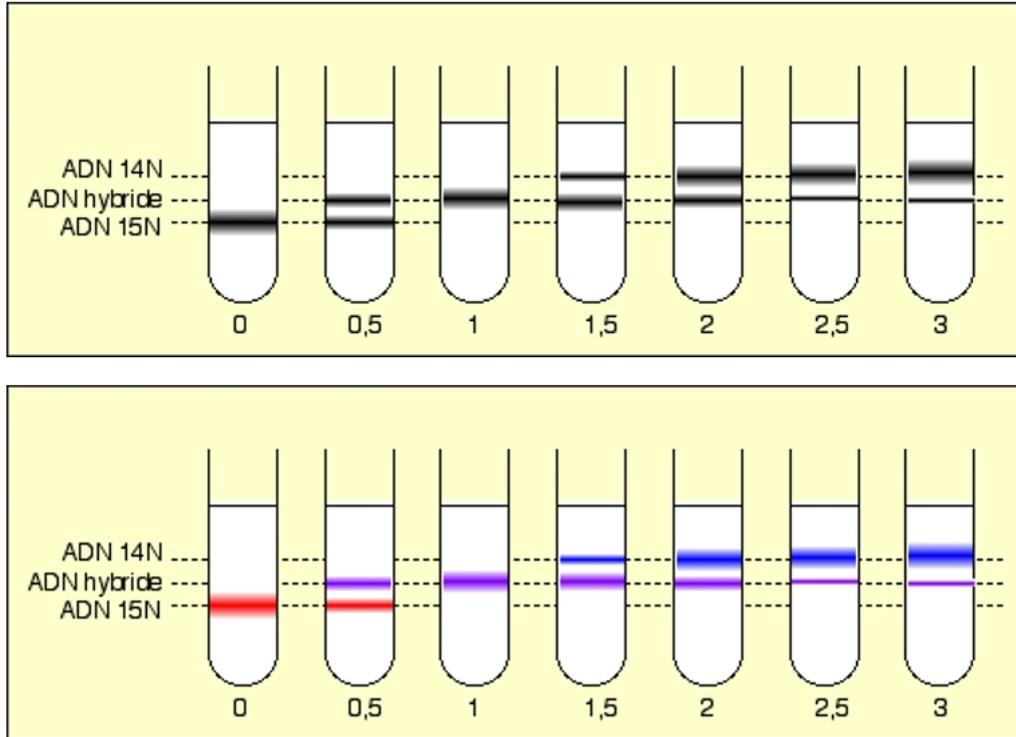
## 2.4. L'expérience : résultats observés



Ces schémas représentent la position des différentes bandes d'ADN observées au cours du temps (divisions successives), après centrifugation dans le gradient de chlorure de césium. Les chiffres donnent le nombre de divisions.

Le schéma du bas correspond à une interprétation colorée de celui du haut

Des bactéries cultivées depuis longtemps en présence de molécules azotées  $^{15}\text{N}$  sont repiquées sur un milieu contenant des molécules azotées  $^{14}\text{N}$  et permettant la synchronisation des divisions. Des fractions sont prélevées après différents temps correspondant à 1, 2, 3... divisions. L'ADN est extrait, placé dans la solution de chlorure de césium et centrifugé 24 h à 100 000 g. La position des ADN est repérée par une mesure de la densité optique.

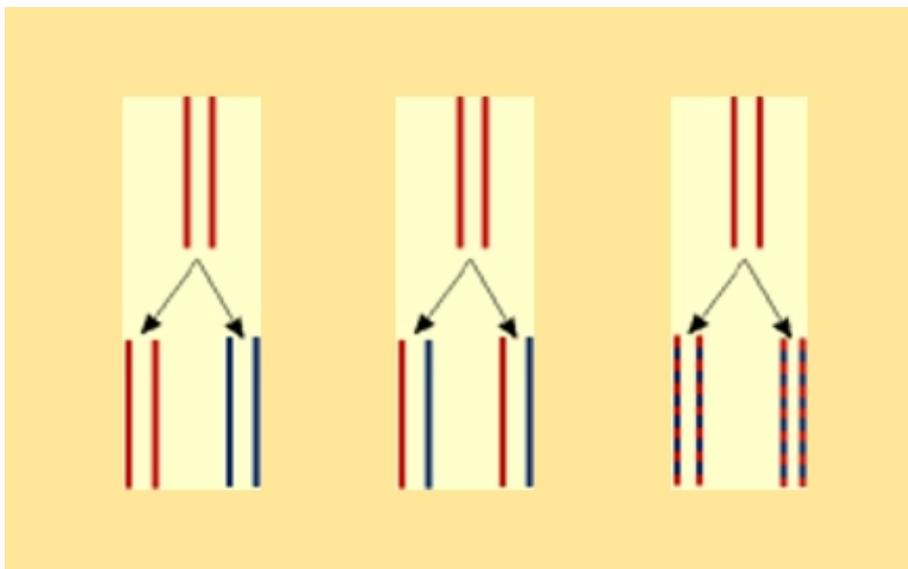


Après une génération, tout l'ADN est hybride (du point de vue de sa densité). Il n'y a plus d'ADN  $^{15}\text{N}$ . Ensuite, l'ADN hybride disparaît progressivement au profit d'ADN « léger » ( $^{14}\text{N}$ ).

## 2.5. . L'expérience

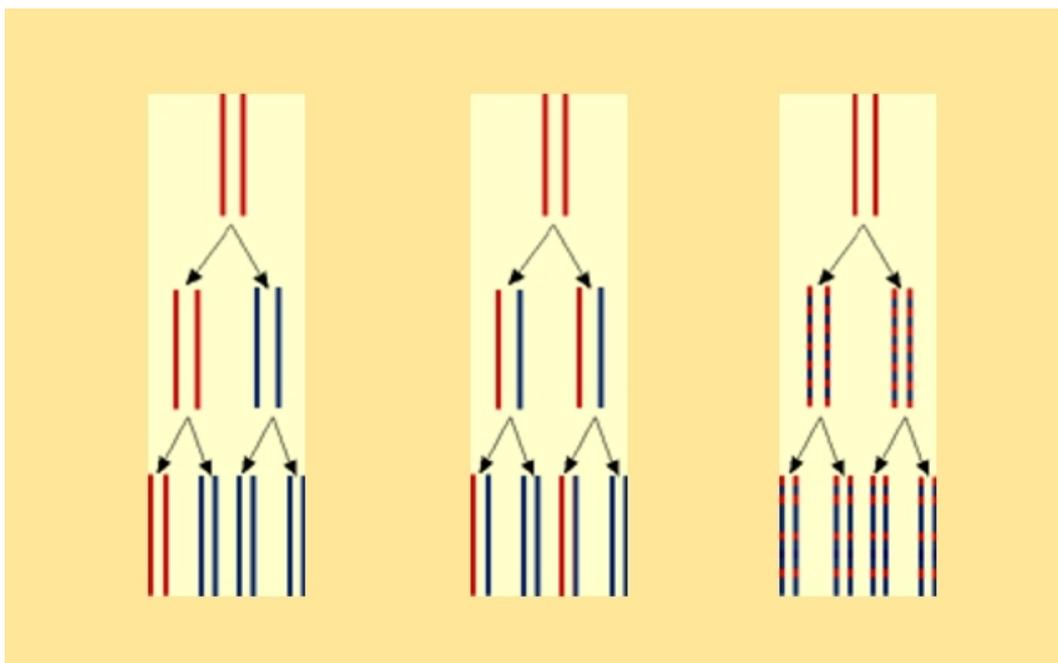
comparaison avec les modèles

L'expérience de Meselson et Stahl montre donc la présence d'un ADN hybride au bout d'une génération cellulaire. Or, qu'attend-on pour les trois modèles proposés ?



On peut donc, dès cette première observation, rejeter le modèle conservatif.

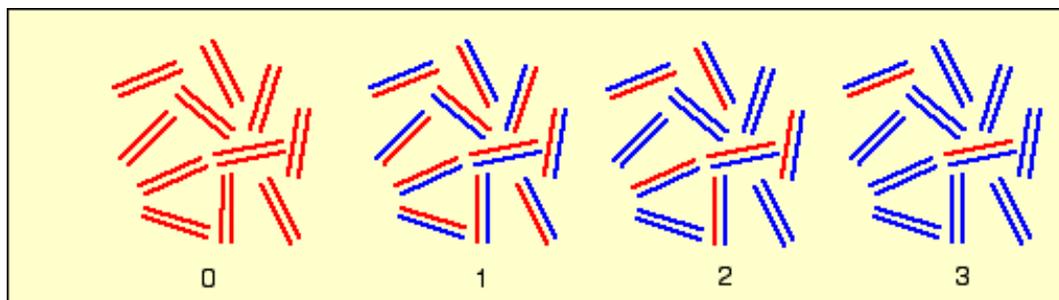
Au bout de deux générations cellulaires, Meselson et Stahl observent la présence d'ADN hybride et d'ADN léger. Ceci permet de conclure quant aux deux modèles restants :



En conclusion, seul le modèle semi-conservatif permet d'aboutir à une concordance entre résultats attendus et résultats observés.

## 2.6. Conclusion

L'expérience de Meselson et Stahl permet donc de mettre en évidence le fait que la réplication de l'ADN se réalise selon un mode semi-conservatif.



Au début de l'expérience tout l'ADN des bactéries est formé de deux brins d'ADN lourd (rouge).

A la première génération, après une réplication en milieu contenant  $^{14}\text{N}$ , tout l'ADN est « hybride » et constitué d'un ancien brin « lourd » ( $^{15}\text{N}$ , ici en rouge) et d'un nouveau brin « léger » ( $^{14}\text{N}$ , ici en bleu).

A la deuxième génération la moitié des fragments d'ADN est hybride (un ancien brin rouge et un nouveau brin bleu) et l'autre moitié de l'ADN est constitué de deux nouveaux brins légers (deux brins bleus).

Cette conclusion a été depuis confirmée par des études plus précises, pour aboutir au modèle actuel de fonctionnement de la réplication.

Quelques points importants de cette expérience sont à noter : tout d'abord le fait qu'il est nécessaire de séparer les ADN sur un gradient permettant de mettre en évidence leurs très faibles différences de densités ; une « simple » centrifugation ne suffit pas. L'utilisation d'un gradient de chlorure de césium est donc un point fondamental du protocole. De même, ces observations n'ont été possibles que parce que Meselson et Stahl avaient réussi à obtenir des populations de bactéries synchrones (pendant quelques générations).

De nombreux auteurs omettent ces points fondamentaux... Ce qui fait perdre tout sens à leurs conclusions...

[cf. LA RÉPLICATION DE L'ADN CHEZ L'EUCARYOTE]

# chapitre 2 Transmission des caractères génétique chez les eucaryotes



## 1. Introduction

La division cellulaire est le processus par lequel la cellule se reproduit, et c'est la base de la perpétuation de la vie.

La division cellulaire

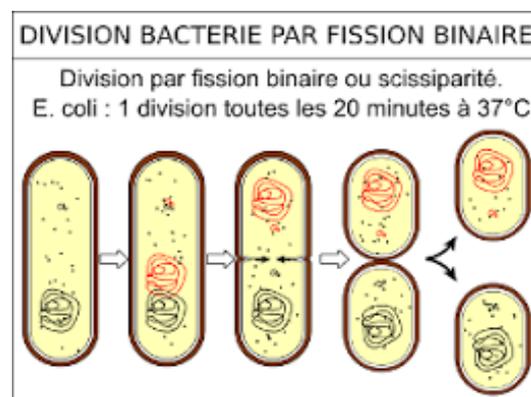
- crée une génération identique au parent chez les organismes unicellulaires
- est responsable de la croissance chez les organismes pluricellulaires.
- est responsable du développement chez les organismes pluricellulaires.
- est responsable de la réparation chez les organismes pluricellulaires.

Le processus de division cellulaire est complexe puisque la cellule requiert une duplication exacte et une division égale de l'ADN qui contient la programmation génétique de la cellule (le génome).

### 1.1. La scissiparité est le mode de division habituel des cellules

Les cellules procaryotes (souvent des bactéries) se divisent par scissiparité.

- L'unique chromosome (circulaire) (*cf. p.18*) s'attache à la membrane bactérienne et se réplique (se double), puis, la bactérie s'allonge et se divise en deux.
- Mode de reproduction qui n'introduit pas de variabilité génétique chez les bactéries filles.
- Celles-ci sont des « clones » : des bactéries génétiquement identiques à la bactérie mère.



### 1.2. La mitose

La mitose est le mode de division le plus courant chez les cellules eucaryotes

- Les chromosomes se doublent puis se répartissent dans 2 cellules filles.
- Les cellules filles sont des clones de la cellule mère.

*La mitose\** c'est une division nucléaire qui accompagne les divisions des cellules somatiques. Chaque mitose est associée à une seule division cellulaire qui produit deux cellules filles génétiquement identiques elle dure 10 à 20 heures. Chaque chromosome du noyau se copie lui-même sur toute sa longueur, puis cette structure double (deux chromatides) est donc clivée à la mitose et produit deux chromosomes-fils qui migrent vers des noyaux différents. La mitose se fait en plusieurs phases :

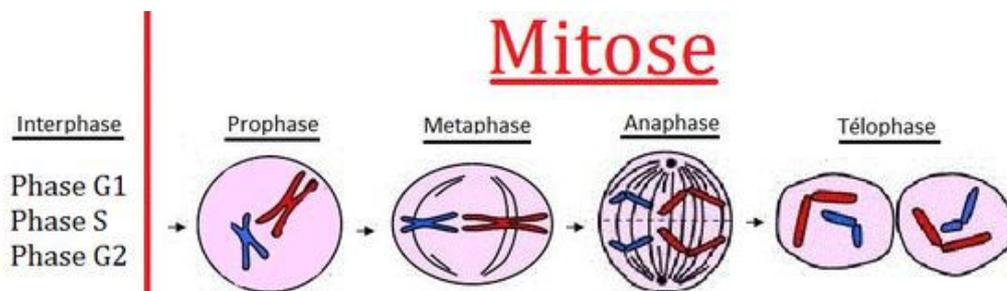
**Interphase** : c'est la période la plus longue du cycle (90%), elle est caractérisée par l'accroissement du volume de la cellule en phase G1, la synthèse de nouvelles molécules d'ADN par réplication (Phase S) puis pendant la phase G2 la cellule continue à croître afin d'avoir suffisamment d'organites nécessaires pour sa division.

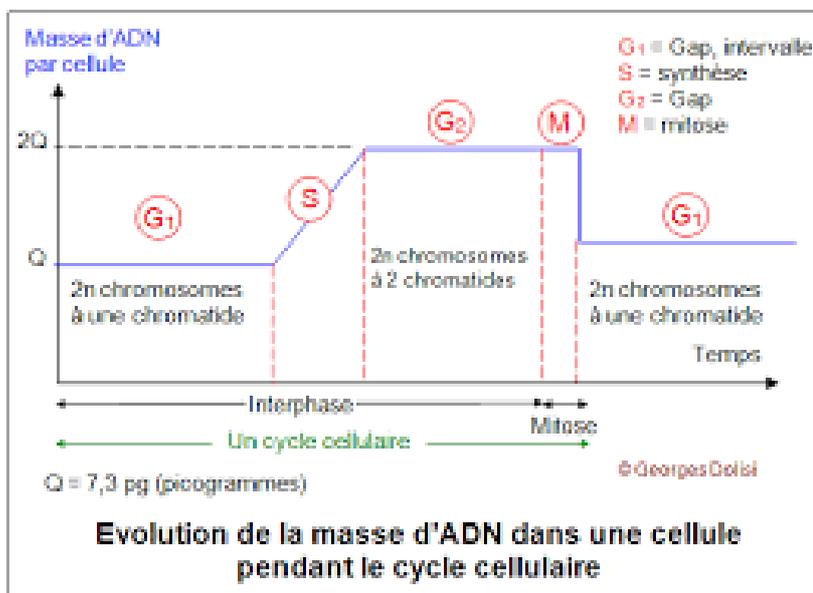
**Prophase** : condensation de chromosomes qui deviennent visibles et présentent l'aspect de filaments doubles. Chaque chromosome est donc présent sous forme de deux chromatides sœurs. Celles-ci étant reliées au niveau de leur centromère. Les nucléoles et l'enveloppe nucléaire commencent à se dégrader, puis le contenu du noyau, appelé « nucléoplasme », finit par se confondre avec le cytoplasme.

**Métaphase** : on distingue le fuseau mitotique (microtubules) qui apparaît clairement. L'enveloppe est complètement dégradée et les chromosomes migrent vers le plan équatorial de la cellule et s'attachent aux fibres du fuseau mitotique, grâce à un complexe protéique appelé « kinétochore. »

**Anaphase** : il y a séparation des chromatides sœurs, chaque chromatide migre vers un des pôles de la cellule. Durant la migration, les deux bras de la chromatide s'infléchissent et il en résulte des structures en « V. »

**Télophase** : l'enveloppe nucléaire se reforme autour de chaque noyau issu de la division. Les chromosomes condensés se dés spiralisent, les nucléoles réapparaissent, le fuseau mitotique s'atrophie et les noyaux interphasiques se recréent. La cytokinèse permet de couper la cellule mère en deux « cellules-filles » avec des chromosomes sous forme d'une chromatide comme la cellule interphasique du départ.





[cf. Qu'est-ce que la mitose]

### 1.3. La méiose

C'est une division nucléaire des cellules germinales ou méiocytes ( $2n$ ), comme les gonades, spermatogonie ou ovogonie, rencontrées dans le cycle sexuel. Chaque méiocyste subit deux divisions cellulaires accompagnées de deux divisions nucléaires. Il s'ensuit généralement 4 cellules « tétrades » ou « produit de la méiose » ou « gamètes » (spermatozoïdes et ovocytes) qui sont génétiquement différentes. Chez les organismes haploïdes, pour qu'il y ait méiose, il faut créer un méiocyste à  $2n$  transitoire (zygote).

Comme pour la mitose, la méiose est toujours précédée d'une phase S pré-méiotique, au cours de laquelle la répllication de l'ADN se fait. La méiose possède deux divisions : méiose I et méiose II.

#### **Phases de la Méiose I\* :**

**Prophase I :** Les chromosomes invisibles jusqu'à présent deviennent visibles en longs filaments.

L'appariement des chromosomes homologues par un processus dit « en fermeture éclair » appelé également complexe synaptonémal

**Métaphase I :** L'enveloppe nucléaire et les nucléoles ont disparus et, cette fois-ci, chaque paire d'homologues se place dans le plan équatorial du fuseau. En métaphase I les centromères ne se séparent pas. Chaque chromosome va rester sous forme de deux chromatides.

**Anaphase I :** Les chromosomes homologues appariés se séparent et migrent vers les pôles grâce aux tensions opposées subites sur les kinétochores. En fin de stade, chaque lot de chromosomes se retrouve de chaque côté de la cellule.

**Télophase I :** Deux noyaux issus de la méiose I se reforment. Ces deux noyaux sont haploïdes puisque le nombre de chromosomes a été réduit de moitié par rapport à la cellule mère. On parle de « division réductionnelle » pour la méiose I.

**Phases de la Méiose II :** La méiose II ressemble à la mitose. Celle-ci conserve le nombre  $n$

de chromosomes. On parle de « division équationnelle »

**Prophase II** : Les chromosomes ont un aspect très compacté et sont en nombre haploïde.

**Métaphase II** : Les chromosomes se rangent sur le plan équatorial (toujours présents sous forme de deux chromatides.)

**Anaphase II** : Les centromères se séparent et chaque chromatide est entraînée vers un pôle opposé.

**Télophase II** : Reconstitution d'un noyau autour des chromosomes rassemblés.

[cf. Méiose]

# examen d'évaluation

---



## 1. Exercice : exercice 1

Si le contenu en GC d'une molécule d'ADN est de 56% , quelle sont les pourcentages des quatre bases (A,T,G,C) de cette molécule ?

## 2. Exercice : exercice 2

Soit un ADN de composition suivante A=21%, T=21%, G=29%, C=29%.

On chauffe rapidement la solution à 90°C, puis on refroidit rapidement.

Dans ces conditions on libère deux catégories de molécules : l'une de densité  $d=1.685$  et l'autre  $d=1.710$ .

L'analyse de la première fraction montre que la composition est de A=4%, T=38%, G=26%, C=32%. Reconstituer la structure de cet ADN.

## 3. Exercice : exercice 3

Le virus de l'herpès simplex humain type 1 a un génome à ADN double brin. Ce dernier a une masse moléculaire d'environ  $1,03 \times 10^5$  kD.

1- Combien de paires de bases contiennent ce virus ?

2- Combien de tour d'hélice contient cet ADN ?

3- quelle est la longueur de cette molécule ?

Une partie de cet ADN est séquencée, en voici la composition : 3'-TAG TGT TTC TTC TTT-5'. Sa chaîne complémentaire sera :

a) 3'-ATC ACA AAG AAG AAA-5', ou b) 5'-ATC ACA AAG AAG AAA-3' ?

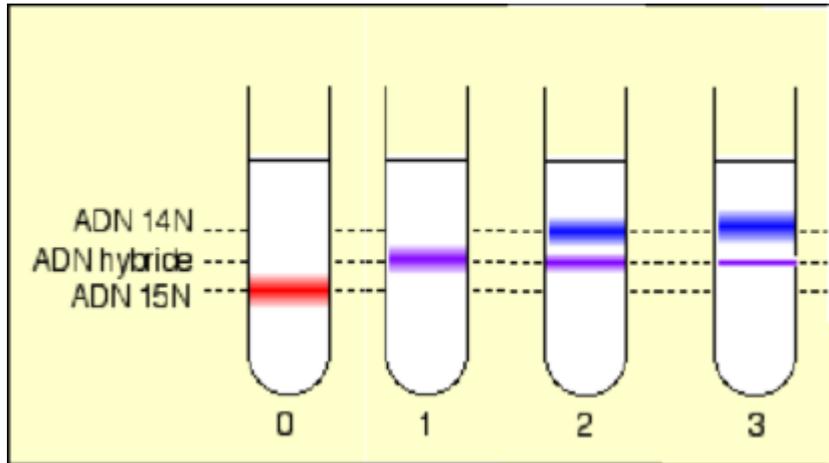
## 4. Exercice : exercice 4

En s'inspirant de l'expérience de Meselson et Stahl, des jeunes chercheurs ont fait d'abord croître des bactéries pendant quelques générations dans un milieu enrichi en azote  $^{15}\text{N}$ .

Ces bactéries ont ensuite été placées sur un milieu avec une source d'azote normale ( $^{14}\text{N}$ ) , puis prélevées pour l'analyse de l'ADN au bout d'une et deux générations.

Le suivi de l'ADN après centrifugation dans un gradient de densité de chlorure de césium (ClCs), a été par spectrophotométrie d'absorption dans l'Ultra violet (UV).

Les résultats sont représentés dans la figure qui suit :



1-A quelle longueur d'onde peut-on réaliser ce suivi ?

2-Les résultats obtenus sont ils compatibles avec les résultats attendus? et tirez une conclusion par rapport au mode de réplcation.

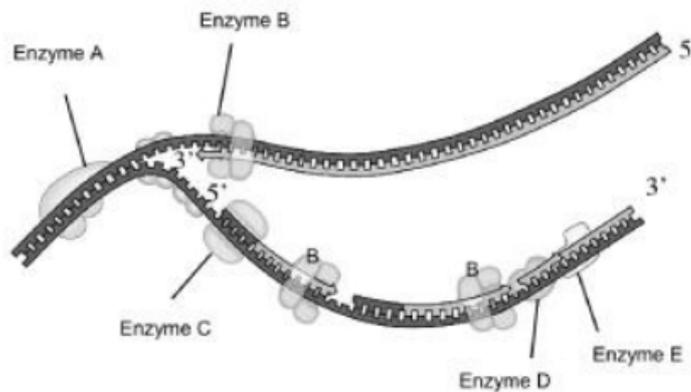
3-En représentant le brin d'ADN père en rouge et les brins fils en bleu, schématisez trois cycles de divisions et estimez la proportion de l'ADN mère et l'ADN fille ainsi que l'ADN hybride

4-En admettant que le mode de réplcation est conservatif, représentez les résultats attendus

## 5. Exercice : exercice 5

1.A quel moment la réplcation se produit-elle ?

2.Nommez sur ce schéma les enzymes A à E et indiquez leur fonction.



# Abréviations

---



**ADN** : acide désoxyribonucléique

**ARN** : acide ribonucléique

# Références

---



*Biochimie Structurale* Composition des Acides Nucléiques

# Bibliographie

---



Cours du module Génétique moléculaire des eucaryotes

Composition des Acides Nucléiques

# Webographie

---



file:///F:/cours%20g%C3%A9n%C3%A9tique/Exp%C3%A9rience%20de%20Meselson%20et%20Stahl%20\_%20Planet-Vie.html