

Chapitre I : Biologie moléculaire

Noms des créateurs : Mr Abraham et Mme Fenitra

Date de création : 2022

## TABLE DES MATIERES

I.	Rappel sur l'ultrastructure de quelques organites :.....	2
1.	Le ribosome :.....	3
2.	Le noyau :.....	3
II.	L'information génétique : .....	5
1.	Le support de l'IG.....	8
a.	Les constituants chimiques des acides nucléiques :.....	8
b.	La mise en évidence des acides nucléiques :.....	9
c.	La structure des acides nucléiques :.....	10
➤	La structure de l'ADN.....	10
➤	La structure de l'ARN.....	11
d.	La comparaison entre ADN et ARN sous forme tableau .....	12
2.	Les chromosomes : .....	12
a.	Le cycle cellulaire ou la vie cellulaire.....	14
b.	Le caryotype.....	21
➤	Le nombre et la forme : .....	21
➤	Les types de chromosomes : .....	22
➤	La formule chromosomique.....	23
➤	La Structure d'un chromosome :.....	26
III.	L'expression de l'IG.....	28
1.	Le code génétique.....	29
2.	La Synthèse des protéines :.....	31

a.	1 <sup>ère</sup> étape : La transcription de l'ADN en ARNm .....	33
b.	2 <sup>ème</sup> étape : La traduction de l'ARNm en protéine :.....	34
3.	Les mutations géniques :.....	36
a.	La Transmission de la mutation .....	36
b.	Les causes des mutations .....	37
c.	Les effets et types de mutation :.....	39
d.	Les différents types de mutations ponctuelles :.....	39
e.	Les mutations chromosomiques :.....	40
IV.	Explication de la correspondance entre gène protéine :.....	42

Programme scolaire en Biologie Moléculaire :

Durée : 2 semaines de 5heures

**Objectif général :** Apprenant doit être capable de comprendre la relation entre l'information génétique et la protéine

Objectifs d'apprentissage	Contenus	Observation
<p>L'apprenant doit être capable de/d' :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Montrer l'existence de l'information génétique.</li> <li>· Identifier le support de l'IG dans le noyau et dans le cytoplasme</li> <li>· Expliquer la reproduction conforme</li> </ul>	<p><b>L'information génétique :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Existence de l'information génétique.</li> <li>· Support de l'IG : Acides nucléiques</li> <li>· <b>Reproduction conforme :</b></li> </ul> <p>Réplication de l'ADN et mitose</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Rappel sur l'Ultrastructure de quelques organites cellulaires et leurs rôles (noyau, ribosome, mitochondrie, nucléole)</li> <li>· La mise en évidence de l'existence de l'information génétique doit être expliquée avec l'Acétabularia (algue)</li> <li>· Traiter les structures des acides nucléiques (ADN et ARN)</li> <li>· Mécanisme de la réplication de l'ADN</li> <li>· Caryotype</li> <li>· Différentes phases de la mitose</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Décrire les étapes de la biosynthèse</li> </ul>	<p><b>Expression de l'IG</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Le code génétique</li> <li>· La biosynthèse des Protéines</li> <li>· Mutation génique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Corrélation entre une suite d'acides nucléiques de l'ARNm et acides aminé</li> </ul>

# Sciences de la Vie et de la Terre Terminale S

## Première partie : Biologie

### Chapitre I : Biologie Moléculaire

La Biologie Moléculaire, selon futura-sciences, est une « Discipline consacrée à l'étude des molécules porteuses du message héréditaire (ADN, ARN), de leur structure, synthèse et altérations (mutations). »

La biologie moléculaire (Parfois abrégée bio. mol.) est une discipline scientifique de la vie au croisement de la génétique, de la biochimie métabolique et de la physique, dont l'objet est la compréhension des mécanismes de fonctionnement de la cellule au niveau moléculaire. Le terme « biologie moléculaire », utilisé la première fois en 1938 par Warren Weaver, désigne également l'ensemble des techniques de manipulation d'acides nucléiques (ADN, ARN), appelées aussi techniques de génie génétique.

# I. Rappel sur l'ultrastructure de quelques organites :

Les organites cellulaires sont des unités structurales membraneuses ayant des fonctions bien précises. Ces organites baignent dans le cytoplasme des cellules et travaillent en coopération.

La Figure 1 ci-dessous nous démontre les différents organites dans les cellules animales et végétales comme les vacuoles, les réticulum endoplasmiques, ...

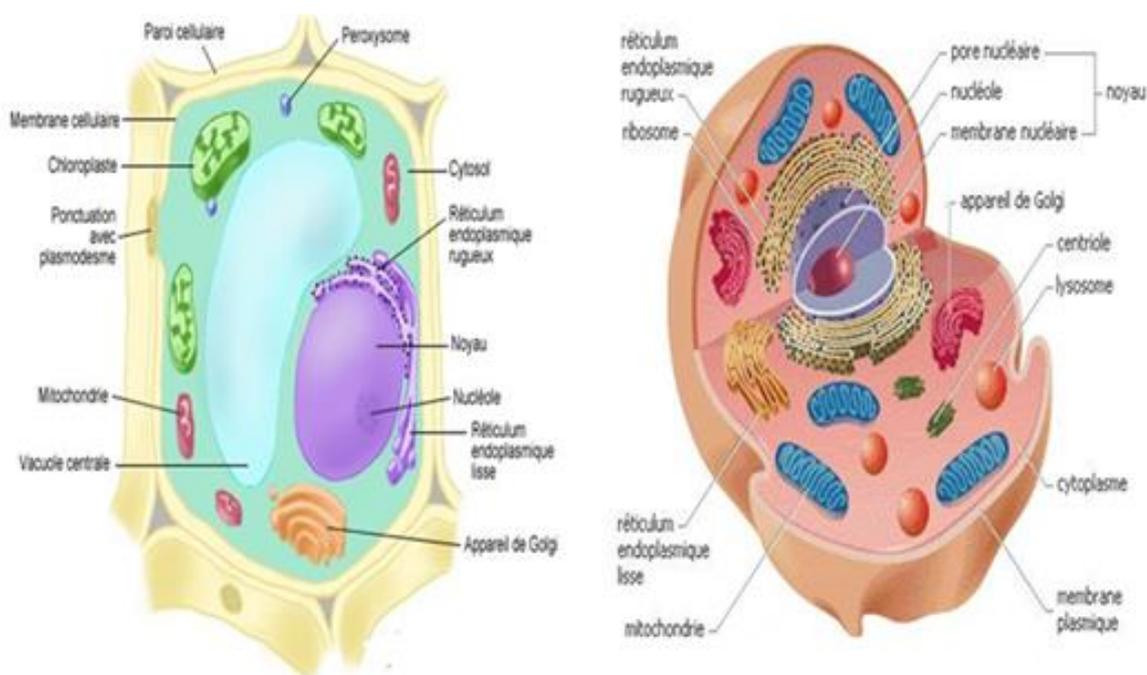


Figure 1 : Schéma de l'ultrastructure des cellules animales et végétales

Source : <http://mediatheque.acesmad.org/educmad/mod/page/view.php?id=30601>

Lien pour plus d'information sur les organites : [http://mediatheque.acesmad.org/educmad/pluginfile.php/28676/mod\\_resource/content/0/Tableau%20des%20organites%20cellulaires.pdf](http://mediatheque.acesmad.org/educmad/pluginfile.php/28676/mod_resource/content/0/Tableau%20des%20organites%20cellulaires.pdf)

Les caractéristiques et rôles de quelques organites cellulaires :

## 1. Le ribosome :

Le ribosome se présente en 2 sous-unités de tailles inégales. Les deux sous-unités sont collées quand le ribosome est en activité, mais quand le ribosome est au repos, ces deux sous-unités se détachent. L'ensemble de plusieurs ribosomes forme le **polysome**.

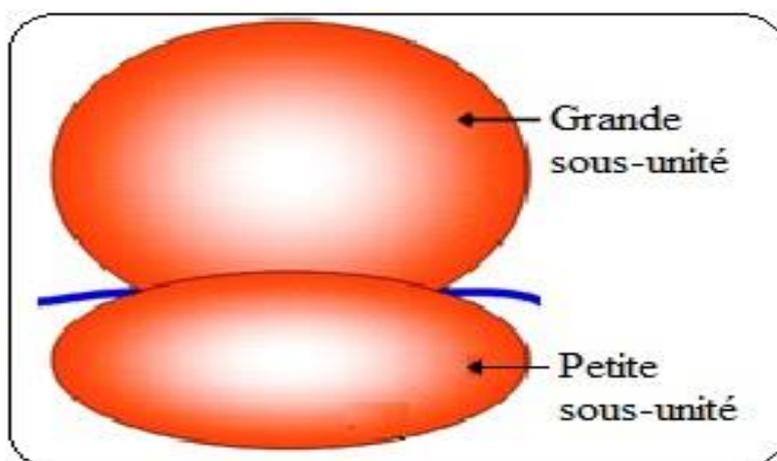
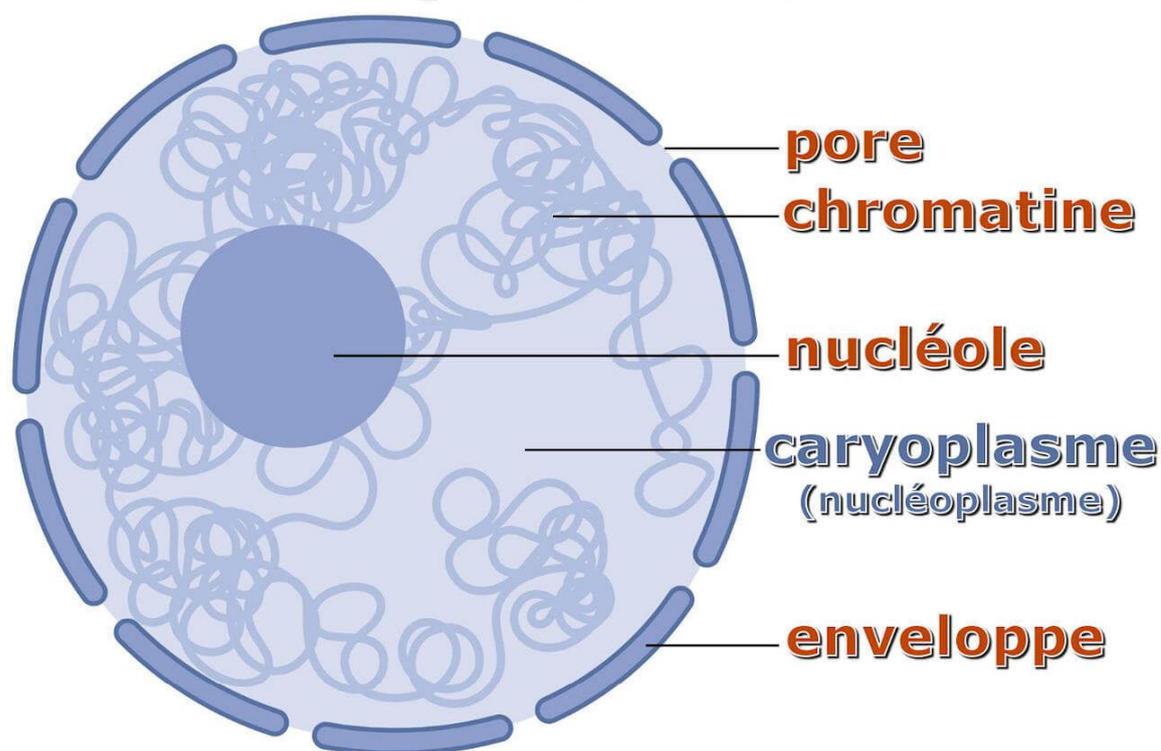


Figure 2: Schéma d'un ribosome

## 2. Le noyau :

Le noyau est une structure cellulaire présente dans la majorité des cellules eucaryotes et chez tous les organismes eucaryotes et contenant l'essentiel du matériel génétique de la cellule (ADN). Il a pour fonction principale de stocker le génome nucléaire ainsi que la machinerie nécessaire à la réplication des chromosomes et à l'expression de l'information contenue dans les gènes. Il disparaît temporairement pendant le processus de division cellulaire pour se reconstituer dans les cellules filles. Il a un diamètre variant de 5 à 7 micromètres. En comparaison à certains organites, il s'agit donc d'une importante structure cellulaire. Généralement c'est la plus visible de la cellule à l'échelle microscopique.



www.aquaportail.com

Figure 3: Schéma du noyau cellulaire

Source : <https://www.aquaportail.com/pictures2104/caryoplasme-nucleus-noyau.jpg>

- **Le nucléole** est vu uniquement quand la cellule est au repos, mais il disparaît quand la cellule est en division. L'analyse chimique du nucléole montre qu'il contient l'ARN<sub>m</sub> (Acide Ribo Nucléique) messenger qui joue un rôle important dans la synthèse des protéines.

- **La chromatine** est formée par un ensemble de filaments très fins, enchevêtrés les uns aux autres quand la cellule est au repos. Au moment de **la division cellulaire**, ces filaments se séparent les uns aux autres et ils deviennent plus épais et plus visibles en formant les **chromosomes**. L'analyse chimique de la chromatine montre qu'elle contient de l'ADN (Acide DésoxyriboNucléique) qui est le support de l'**information génétique** et assure **la transmission des caractères héréditaires**. Elle joue un rôle important dans la division cellulaire en donnant les **chromatides et les chromosomes**.

## II. L'information génétique :

La **génétique** est une science qui concerne la transmission des caractères héréditaires des êtres vivants (caractère qui se transmet des parents aux descendants).

L'**information génétique (IG)** est l'ensemble des informations qui déterminent les caractères d'un individu. Ces caractères proviennent des parents et ils sont transmis aux descendants.

Cette transmission des caractères aux descendants s'effectue de deux manières :

➤ Par la reproduction sexuée :

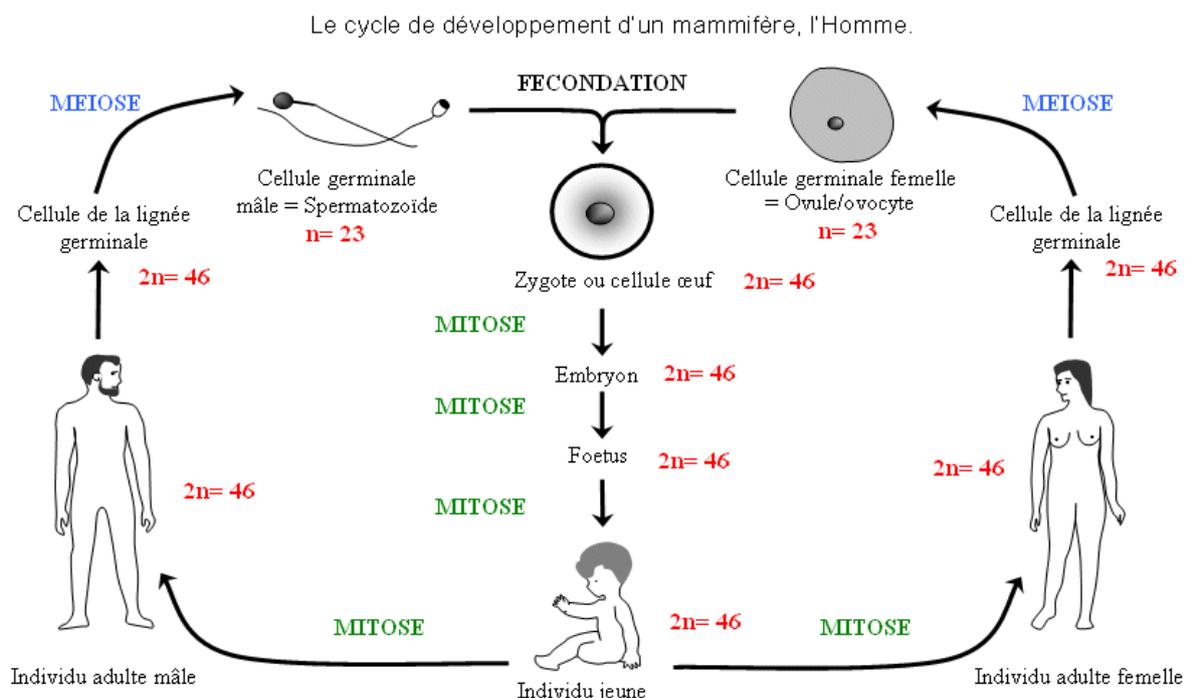


Figure 4 : La reproduction sexuée

Source : [http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/IMG/gif/homme\\_cycle.gif](http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/IMG/gif/homme_cycle.gif)

➤ Par la reproduction conforme

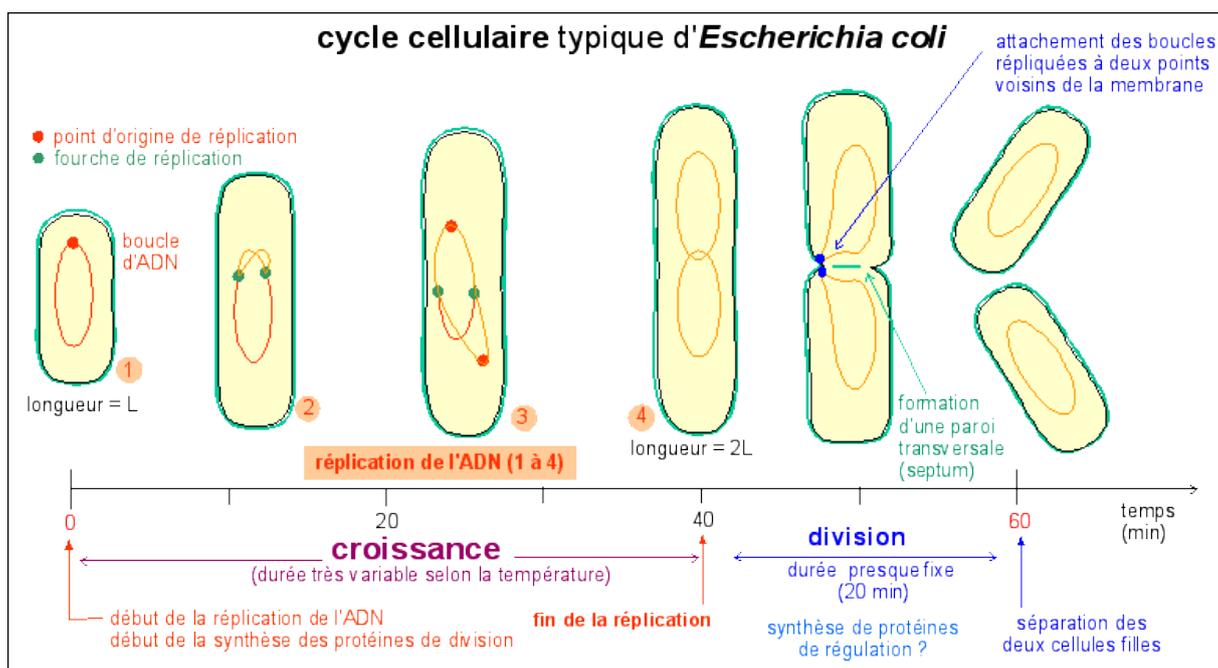


Figure 5 : Reproduction conforme

Source : <http://pst.chez-alice.fr/1s4t.htm>

Tous les êtres vivants sont composés d'au moins une cellule. L'Homme est pluricellulaire, c'est-à-dire qu'il est composé de plusieurs cellules. L'information génétique se trouve dans le noyau de la cellule. Elle est portée par les chromosomes. Il y a chez l'être humain 23 paires de chromosomes, soit 46 chromosomes. L'une des paires de chromosomes diffère selon le sexe de l'individu. Ce sont les chromosomes sexuels (XX chez la femme et XY chez l'homme).

Toutes les cellules d'un individu contiennent la même information.

**Localisation de l'information génétique (IG) cf. Activité 2:**  
expérience sur l'acétabularia.

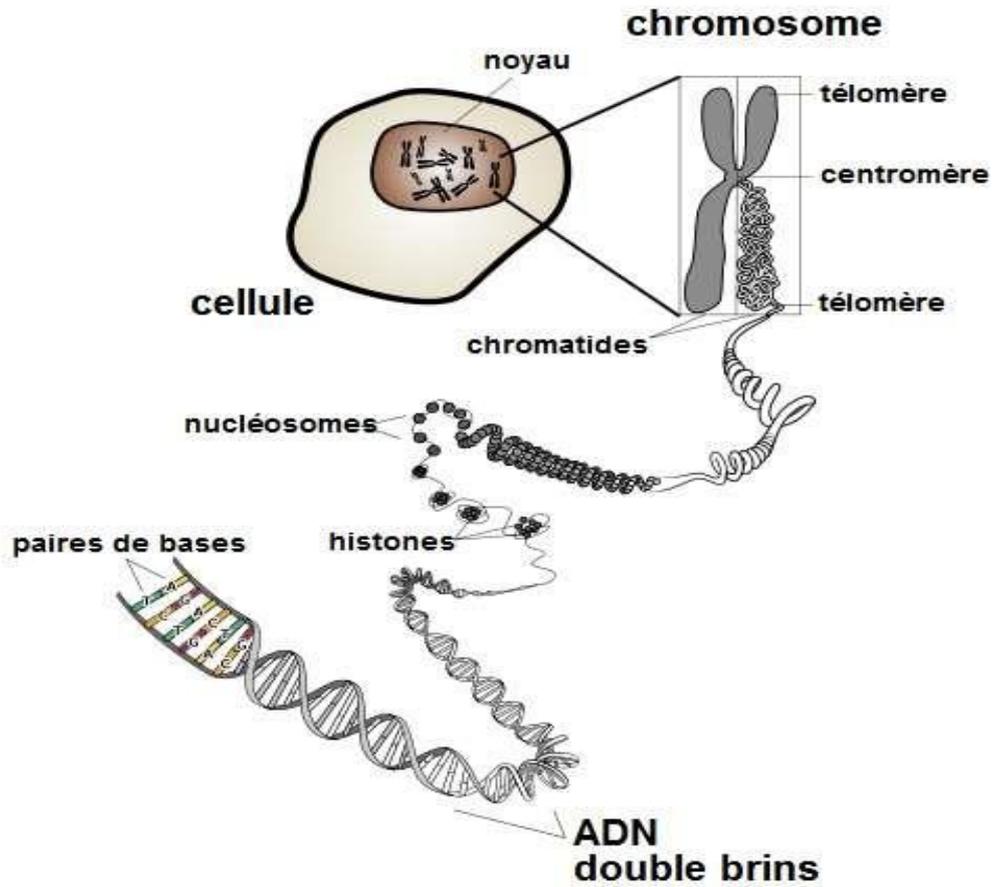


Figure 6 : Différents niveaux de compaction de l'ADN

Source : [https://cdn.futura-sciences.com/cdn-cgi/image/width=1280,quality=60,format=auto/sources/images/glossaire/adn\\_dp\\_02.jpg](https://cdn.futura-sciences.com/cdn-cgi/image/width=1280,quality=60,format=auto/sources/images/glossaire/adn_dp_02.jpg)

# 1. Le support de l'IG

L'**ADN** ou acide désoxyribonucléique est le support de l'IG. C'est une macromolécule d'acide nucléique connue dans la nature. L'ADN est le principal constituant des *chromosomes*. Les chromosomes proviennent de la différenciation des *chromatines*. L'ordre de succession ou séquence des bases de nucléotides constitutifs de la molécule d'ADN constitue une Information codée qui peut être traduite en protéine.

Une petite portion d'ADN ou fragment d'ADN est appelé **gène**, capable d'induire la synthèse d'une protéine. Ainsi, une **Information génétique** est un véritable plan de fabrication de protéine responsable de l'apparition d'un caractère génétique.

**Une Protéine** est une molécule organique constituée par l'assemblage de plusieurs molécules d'acides aminés liés entre eux par une liaison peptidique. Sa nature et sa fonction dépendent de la séquence d'acides aminés constitutifs.

On distingue deux types d'acides nucléiques : **ADN et ARN** (Acide RiboNucléique)

## a. Les constituants chimiques des acides nucléiques :

L'hydrolyse totale des AN libère :

- L'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ )
- Des sucres en  $C_5$  ou les pentoses tels que :
  - Le ribose ( $C_5H_{10}O_5$ ) pour l'ARN
  - Le désoxyribose ( $C_5H_{10}O_4$ ) pour l'ADN
- ✓ Des bases azotées telles que :
  - Les bases puriques : l'Adénine (A), la Guanine (G),

- Les bases pyrimidiques : la cytosine (C), la thymine (T) : propre à l'ADN, l'Uracile (U) qui est propre à l'ARN

L'hydrolyse partielle libère : de nucléotides et des nucléosides

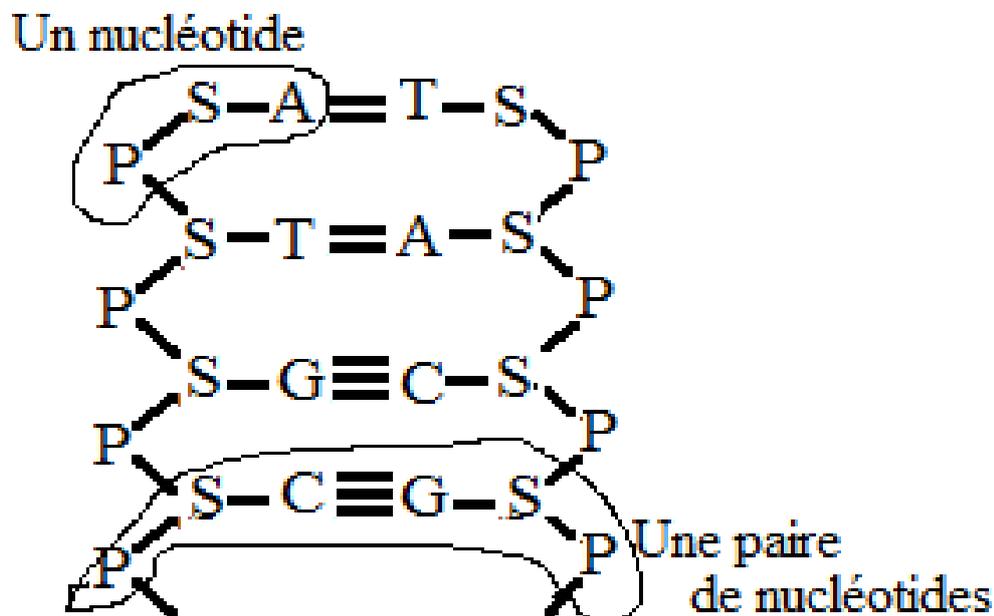


Figure 7: Schéma d'une séquence de 4 paires de nucléotides d'ADN déroulée dans un plan

Ainsi, les acides nucléiques sont des macromolécules complexes constituées par une suite de **nucléotides**.

### b. La mise en évidence des acides nucléiques :

Il existe deux méthodes pour mettre en évidence les acides nucléiques :

✓ La méthode de Brachet : qui consiste à utiliser deux colorants : le vert de méthyle qui colore l'ADN en vert et le pyronine colore l'ARN en rouge (ou rose).

- ✓ La méthode de Feulgen consiste à tester sur deux traitements :
  - *Traitement par l'acide chlorhydrique* : l'hydrolyse partielle de la molécule d'ADN libère le sucre en C<sub>5</sub> appelé désoxyribose (C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>).
  - Test avec le réactif de Schiff

Pour ce test, on utilise un colorant appelé **fuchsine** qui colore le désoxyribose en **rouge ou rose**. Cette coloration montre la présence de l'ADN car le désoxyribose est spécifique à l'ADN.

## c. La structure des acides nucléiques :

### ➤ La structure de l'ADN

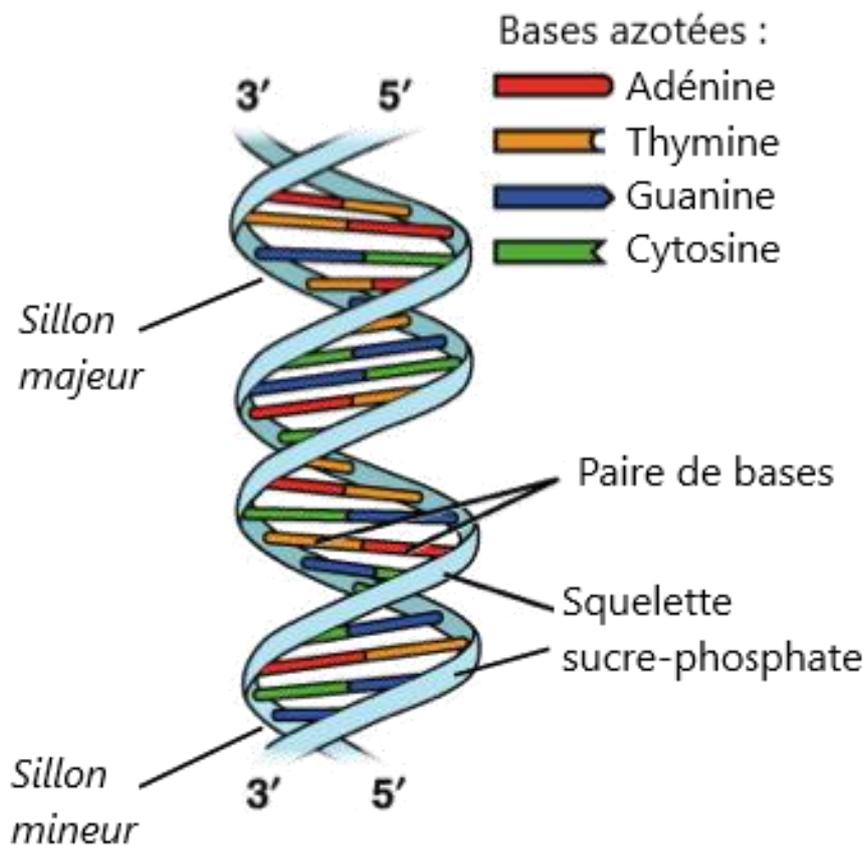


Figure 8 : Schéma de la structure de l'ADN selon Watson et Crick

Source : <https://cdn.kastatic.org/ka-perseus-images/46f45a0afb672531220862912ac5cc58707b6cf2.png>

D'après Watson et Crick : l'ADN est formé par 2 chaînes de nucléotides c'est une molécule bicaténaire.

Les deux chaînes de nucléotides sont :

- Enroulées en hélice autour d'un axe : on parle d'une structure hélicoïdale.
- Liées par des liaisons hydrogènes entre les bases azotées complémentaires. Cette liaison ne s'établit qu'entre :

- Adénine (A) et Thymines (T) ou Thymines et Adénine, qui présentent deux liaisons d'hydrogène : A=T

- Cytosine et Guanine ou Guanine et Cytosine : qui présente trois liaisons d'hydrogène G≡C. C'est la loi de la complémentarité des bases, car les bases sont complémentaires.

➤ **La structure de l'ARN**

Une molécule d'ARN est une molécule monocaténaire car elle est formée par un seul brin ou une seule chaîne de nucléotide. On distingue 3 types d'ARN :

- ✓ L'ARN messager (ARNm) est une molécule constituée d'une chaîne linéaire, synthétisée sur le modèle de chaîne d'ADN par complémentarité de bases dans le noyau. Puis il passe dans le cytoplasme par les pores nucléaires pour transporter le message commandé par l'ADN pour la synthèse de protéine. L'ARNm est formée par une chaîne allongée portant une succession de bases qui vont 3 par 3 pour former un triplet appelé codon Ex : AUG. Son rôle est de lire le message de l'information génétique portée par l'ADN.

- ✓ L'ARN ribosomale (ARNr) est formé par une chaîne reliée sur lui-même et enroulée en hélice. Il lit le message sur l'ARNm.

Il est localisé au niveau des ribosomes dans lesquels sont combinés des protéines. Les ARN ribosomaux constituent, avec des protéines, les sous-unités des ribosomes, qui participent à la traduction lors de la synthèse de protéine ;

- ✓ L'ARN de transfert (ARNt) est formé par une chaîne reliée qui lui-même et enroulée en hélice, la boucle de sa molécule porte **3 bornes libres appelés anticodons**.

L'ARNt est une petite molécule constituée de 70 à 80 nucléotides formant une seule chaîne repliée sur elle-même. Ce repliement présente souvent un triplet de bases appelé anticodon correspondant à un acide aminé et au codon. Il est chargé d'adapter l'acide aminé au codon complémentaire d'anti-codon.

## d. La comparaison entre ADN et ARN sous forme tableau

Tableau 1 : Comparaison entre ADN et ARN

Éléments constitutifs des A.N.	Acides	Sucre	Bases azotées	Nombre Brins	Coloration (Brachet)	Rôle	Localisation
ADN	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Désoxyribose C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>4</sub>	A,T,G,C	02	Vert de méthyl	Support de l'IG	Noyau
ARN	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ribose C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	A,U,G,C (U:uracile)	01	Pyronine	Synthèse des Protéines	Noyau Cytoplasme Ribosome

## 2. Les chromosomes :

Les chromosomes apparaissent au cours de la vie cellulaire.

Les chromosomes sont des éléments caractéristiques du noyau cellulaire d'une espèce déterminée. Ils se présentent sous différentes formes pour différentes périodes de la vie cellulaire :

- sous forme décondensée appelés filaments de chromatine en période de repos cellulaire ou interphase.
- sous forme condensée appelés chromosomes en période de division cellulaire ou mitose

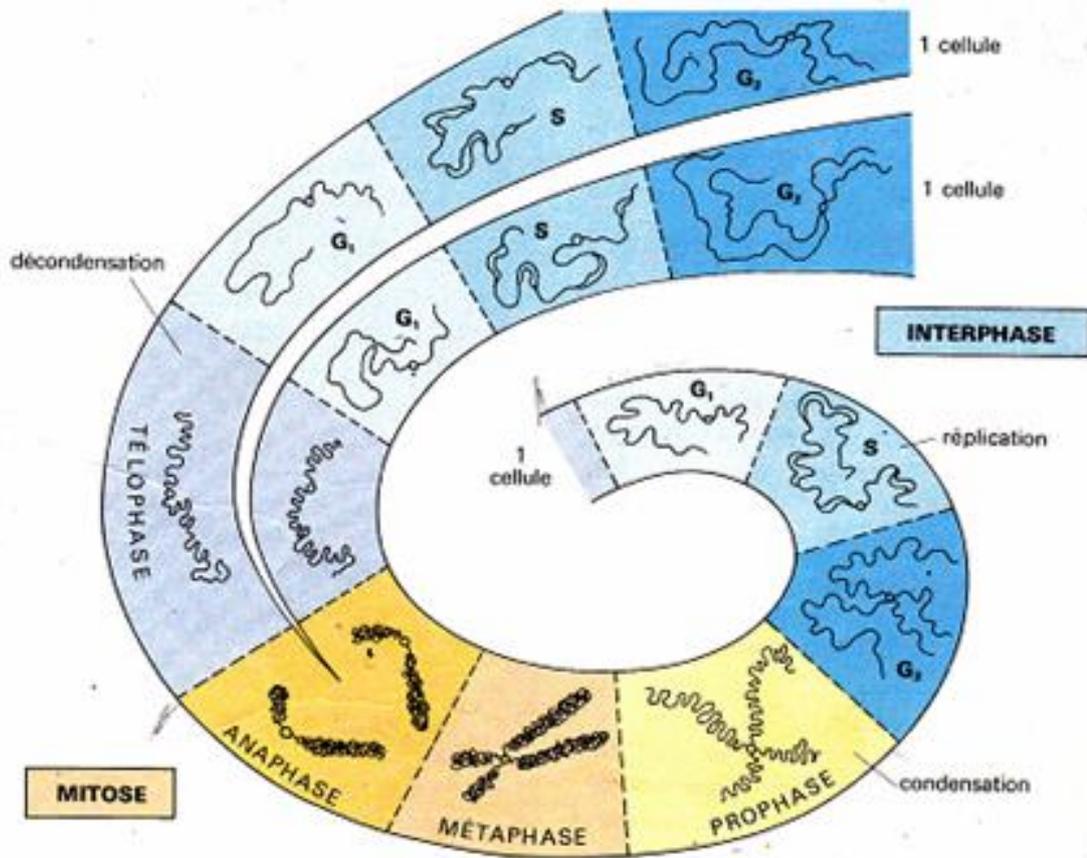


Figure 9 : Evolution des chromosomes au cours des cycles cellulaires

Source : <http://mediatheque.accesmad.org/educmad/mod/page/view.php?id=30602>

## a. Le cycle cellulaire ou la vie cellulaire

La vie cellulaire ou cycle cellulaire comporte deux phases successives :

- Une phase de division ou **mitose** : pendant laquelle une cellule mère donne naissance à deux cellules filles identiques entre elles et à la cellule mère.

- Une phase de repos ou interphase qui sépare les deux mitoses successives et au cours de laquelle la cellule est dite au repos.

Durant la vie de la cellule, le noyau présente deux aspects :

- Le noyau interphasique

Au microscope électronique, le noyau contient des filaments très fins, enchevêtrés les uns aux autres pendant l'interphase. L'ensemble de ces filaments forme la **chromatine**.

- Le noyau mitotique

Les filaments de chromatine se séparent les uns aux autres et deviennent plus épais et plus visibles en formant les chromosomes.

Les chromosomes sont des éléments permanents du noyau de la cellule et ils constituent un point de support de l'information génétique, c'est-à-dire les chromosomes portent les caractères héréditaires que les parents transmettent aux descendants.

### a. Une phase de repos ou interphase :

> Les phases G ou Gap (intervalle) en anglais sont des phases de préparation.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle\\_cellulaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_cellulaire) (pour plus d'information sur les phases G)

> Durant la phase S (phase de synthèse) de l'interphase s'effectue la duplication de l'ADN qui assure la transmission de l'IG par la formation d'une autre molécule d'ADN. Cette duplication entraîne l'augmentation de la quantité d'ADN (doublée : 2Q).

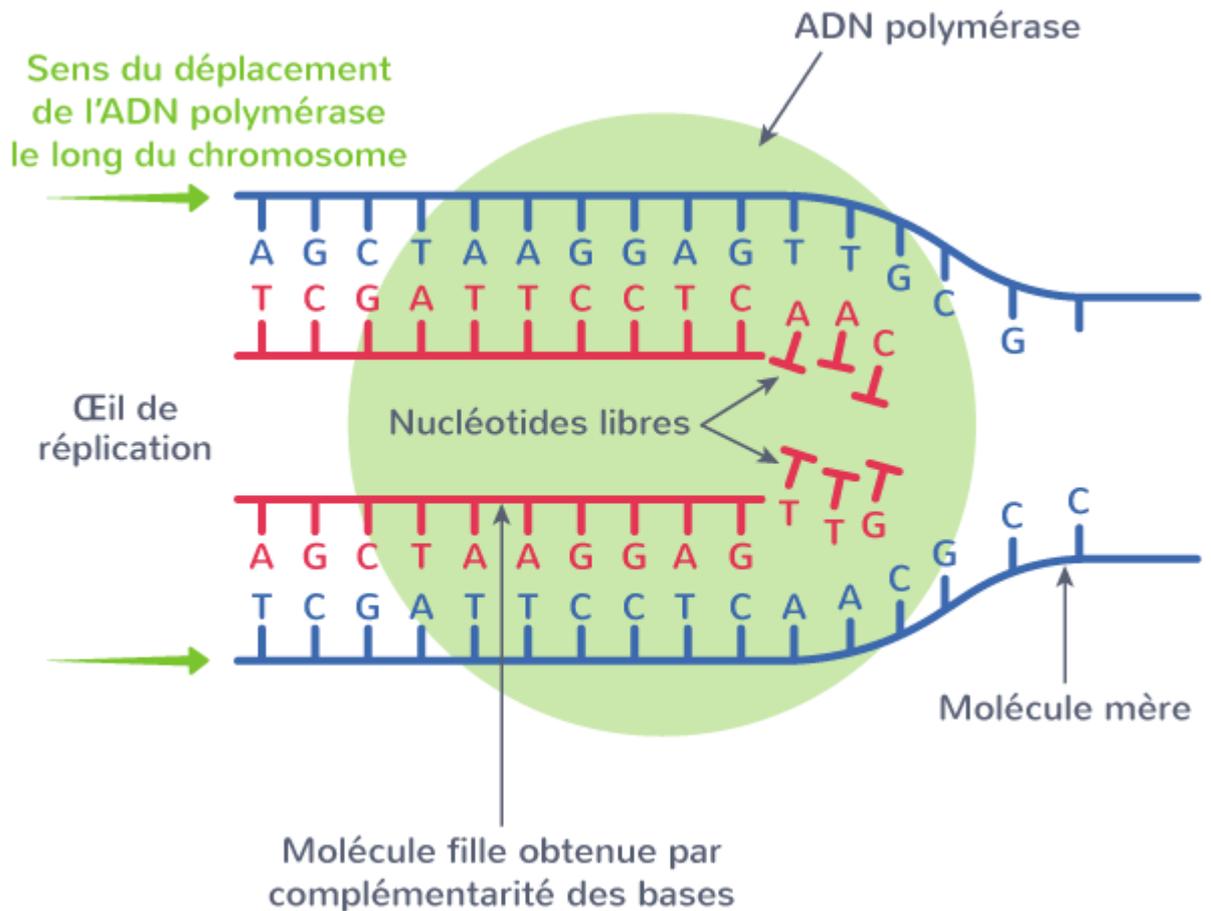


Figure 10 : Duplication de l'ADN

Source : <https://innoverensvt.files.wordpress.com/2022/02/capture-decc81cran-2022-02-25-acc80-17.09.28.png?w=1400&h=>

**La duplication ou la réplication d'ADN permet le doublement de l'ADN et sa quantité :**

- Il y a séparation locale des deux brins d'ADN en plusieurs points appelés « yeux de réplication ». Ces séparations se propagent de part et d'autre de ces points.

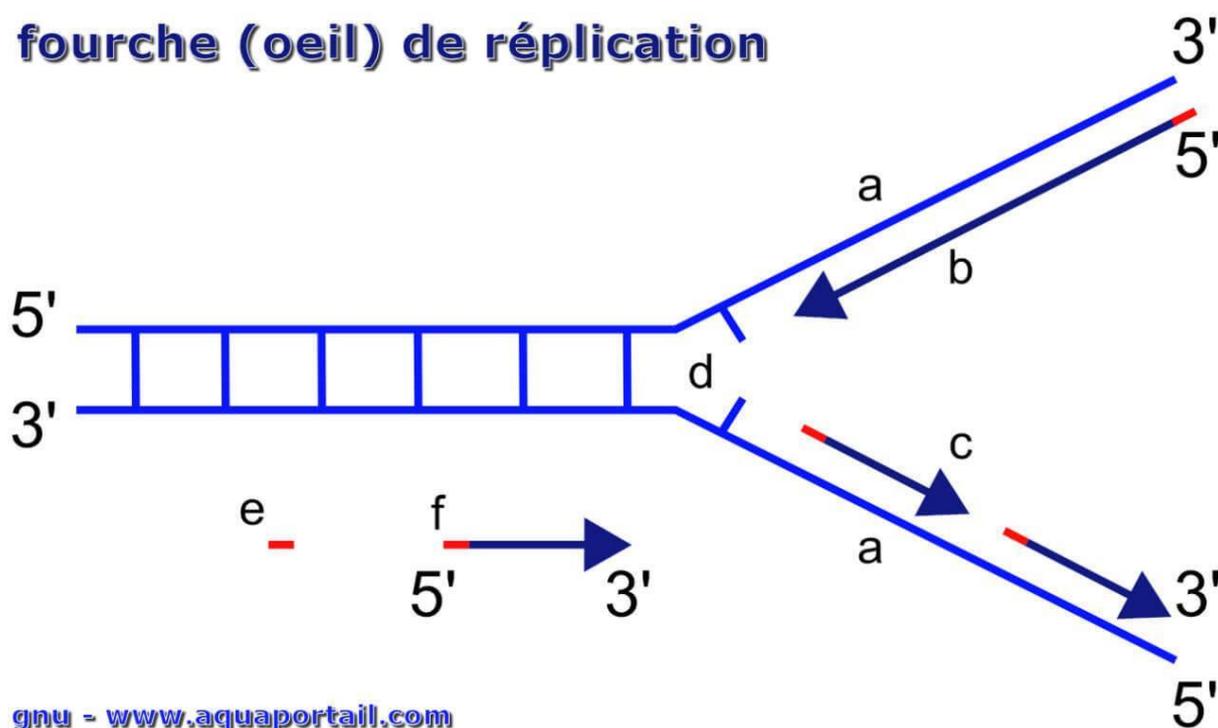
- Au fur et à mesure de l'ouverture, grâce à l'action de l'enzyme ADN polymérase, des nucléotides libres d'ADN vont s'apparier aux anciennes chaînes de nucléotides ; ce qui donne naissance à un nouveau brin d'ADN apparié à chacun des deux brins préexistants : On obtient ainsi deux

nouvelles molécules d'ADN complètement identiques en séquence de nucléotides entre elles et à la molécule mère, ceci maintient l'intégrité des caractères : c'est la reproduction conforme.

- Puisque chacune des deux molécules filles obtenues conserve la moitié de la molécule du départ, on dit que la réplication est **semi-conservative**.

Un des brins de l'ADN, celui ayant l'extrémité 5' constitue le brin leader : sa copie se fait directement par l'intermédiaire de l'ADN polymérase. L'autre brin nécessite la synthèse de petits fragments (appelés fragments de Okazaki) pour respecter le sens 5' vers 3'. Ces fragments sont ensuite rassemblés par la ADN polymérase 1 et par une ADN ligase.

### fourche (oeil) de réplication



gnu - [www.aquaportail.com](http://www.aquaportail.com)

Figure 11 : Fourche de réplication

Source : <https://www.aquaportail.com/pictures1811/fourche-de-replication-oeil.jpg>

b. Une phase de division ou Mitose :

C'est une division cellulaire au cours de laquelle une cellule mère diploïde donne naissance à deux cellules filles diploïdes (identiques à la mère).

Les chromosomes de la cellule mère et ceux des deux cellules filles sont identiques du point de vue caryotype.

b.1. Les phases de la mitose :

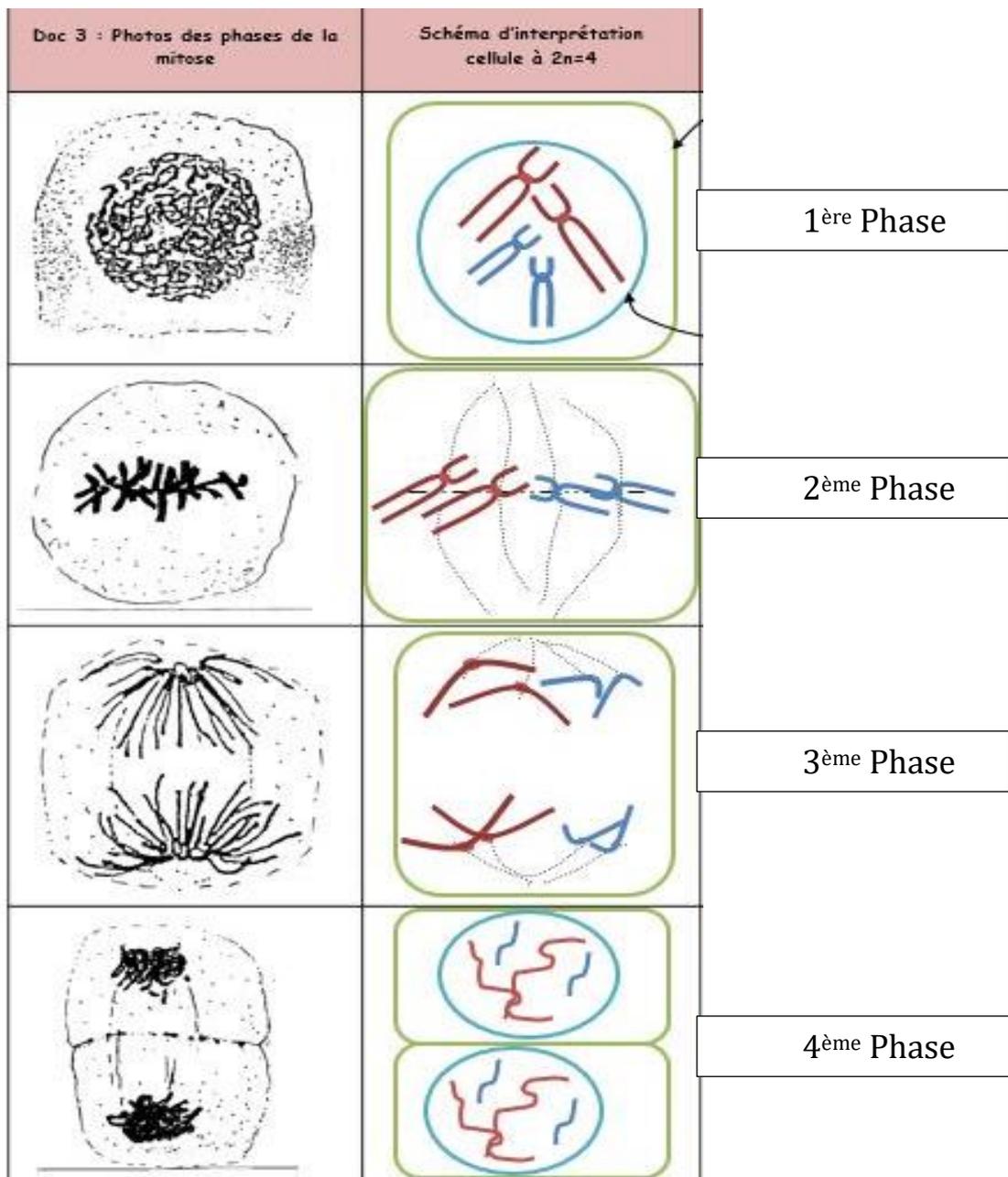


Figure 12: Les étapes de la mitose

➤ La prophase

- Le noyau se gonfle
- Le centrosome se divise en 2 pour former les 2 asters qui migrent vers les 2 pôles de la cellule,
- La formation du fuseau achromatique tendu entre ces 2 asters
- Les filaments de chromatine se condensent (individualisation des chromosomes à 2 chromatides soudés par le centromère),
- Le nucléole et la membrane nucléaire disparaissent,

➤ La métaphase

Les chromosomes viennent se placer dans l'équateur du fuseau achromatique en formant la plaque équatoriale.

➤ L'Anaphase

- Le centromère se divise en deux et on obtient des chromosomes fils (chromosome à simple chromatide).
- Chaque moitié des chromosomes fils migre vers les pôles de la cellule : on parle d'une ascension polaire.

➤ La Télaphase

- La formation d'un sillon de division au niveau de l'équateur du fuseau achromatique,
- La despiralisation des chromatides,
- La disparition du fuseau achromatique,
- La réapparition de la membrane nucléaire, du nucléole, du centrosome, et la formation des deux cellules filles

❖ Remarque : La mitose d'une cellule végétale est presque identique à la mitose de la cellule animale, mais il existe quelques différences :

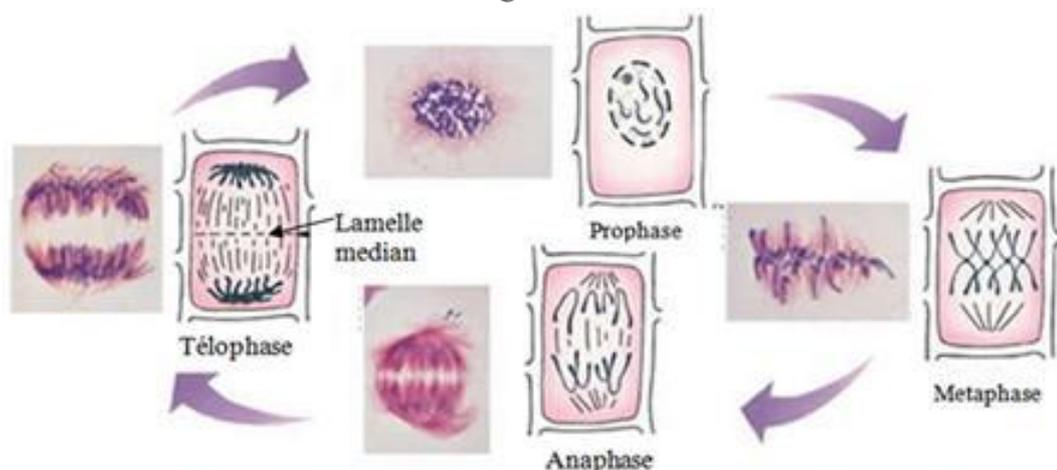


Figure 13: Schéma de la télophase chez les cellules végétales

Source :

[http://mediatheque.accesmad.org/educmad/pluginfile.php/34674/mod\\_resource/content/2/Biologie%20Mol%C3%A9culaire%20-%20accesmad.htm](http://mediatheque.accesmad.org/educmad/pluginfile.php/34674/mod_resource/content/2/Biologie%20Mol%C3%A9culaire%20-%20accesmad.htm)

- La cellule végétale ne possède pas de centrosome mais il y a une condensation du cytoplasme pour former des **calottes polaires** à la place des asters ;

- La membrane squelettique est très épaisse donc elle ne peut pas s'étrangler comme la membrane cytoplasmique de la cellule animale mais il y a formation du **phragmoplaste** (ébauche de la membrane squelettique) qui va diviser la cellule végétale en deux cellules filles.

- A la fin de la télophase, les deux cellules filles obtenues sont identiques entre elles et à la cellule mère du point de vue caryotype donc le support de l'information génétique se trouve toujours dans les chromosomes.

❖ Durant le cycle cellulaire, le taux de l'ADN est très varié.

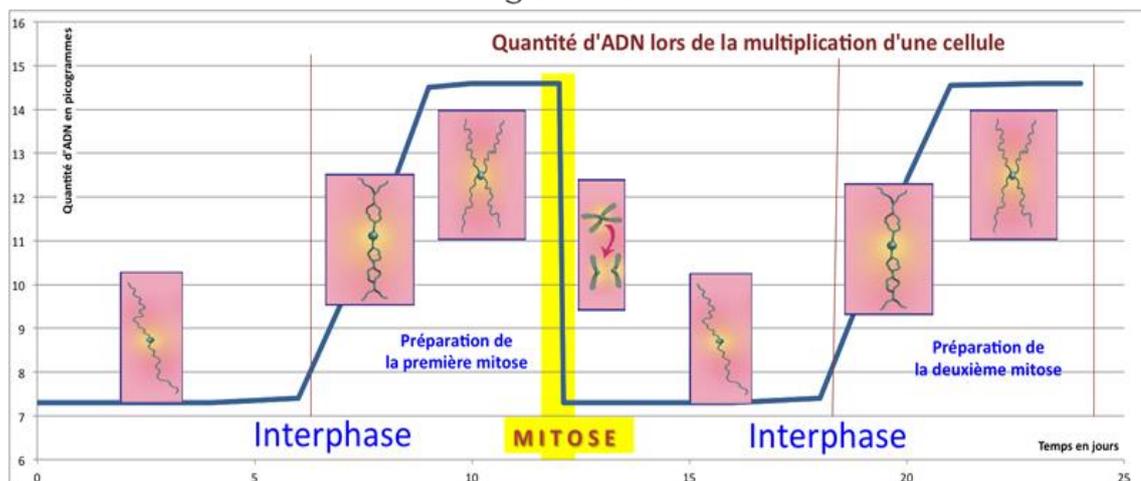


Figure 14 : Variation de la quantité d'ADN

Source : <http://www.jpj-imagine.com/Sharjah/3/31gene/doc31/Chap3/Chap133bilan.html>

Le taux d'ADN varie, au cours d'un cycle cellulaire, en fonction du temps.

On note  $Q$  la quantité d'ADN au début de l'interphase. Pendant l'interphase, il y a duplication de l'ADN, ce qui entraîne une double quantité d'ADN à la fin de l'interphase :  $2Q$ .

Pendant la prophase et la métaphase, la quantité d'ADN reste  $2Q$ . Au moment de l'anaphase, cette quantité d'ADN diminue brusquement car il y a une division du centromère suivie de la formation des chromosomes fils. A la télophase, la quantité d'ADN devient  $Q$  car on a deux cellules filles. Donc la cellule mère et les 2 cellules filles ont la même quantité d'ADN d'où l'importance de la duplication d'ADN.

## b.2. Les intérêts et les inhibiteurs de la Mitose

La mitose permet :

- La croissance en longueur et en épaisseur de l'organisme vivant,
- Le remplacement des cellules mortes,
- La conservation du patrimoine héréditaire.

Les inhibiteurs sont :

- Le rayon X (utilisé pour arrêter la multiplication des cellules cancéreuses).
- Les antibiotiques (utilisés pour arrêter la multiplication des cellules bactériennes).
- La **colchicine** (substance utilisée pour bloquer la mitose pendant la métaphase pour obtenir le caryotype d'une cellule).

## b. Le caryotype

Le caryotype ou garniture chromosomique est l'ensemble de nombre et formes des chromosomes d'une cellule ou d'un individu, spécifique d'une espèce donnée.

Par extension, le terme caryotype désigne la représentation photographique des chromosomes d'une cellule. En effet, à un stade précis de la division cellulaire, les paires de chromosomes sont parfaitement visibles. Elles sont alors photographiées, puis numérotées de 1 à 22 par ordre décroissant de taille, les chromosomes sexuels étant notés X et Y et rangés séparément. (Source : <https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/caryotype/11806>)

### ➤ **Le nombre et la forme :**

Le nombre et les formes de chromosomes dans les cellules sont fixes et caractéristiques pour chaque espèce. Le comptage se fait pendant la métaphase (2ème phase de la mitose). Le nombre varie d'une espèce à l'autre.

Exemples : maïs=20 chien=78 blé=48 drosophile=8 être humain=46.

Ce sont des nombres pairs que l'on peut noter  $2n$  chromosomes. Ces chromosomes sont 2 à 2 identiques dont l'un d'origine maternelle et l'autre d'origine paternelle. - Une cellule avec ces deux exemplaires de chromosomes ou  $2n$  chromosomes s'appelle cellule diploïde. - Certaines

cellules qui sont les cellules sexuelles ou gamètes ne présentent qu'un seul exemplaire de chromosomes ou n chromosomes : elles s'appellent cellules haploïdes.

Les chromosomes peuvent se présenter sous des formes variables : en bâtonnets, en U , en V, en point, en crochet..., à bras égaux ou inégaux.

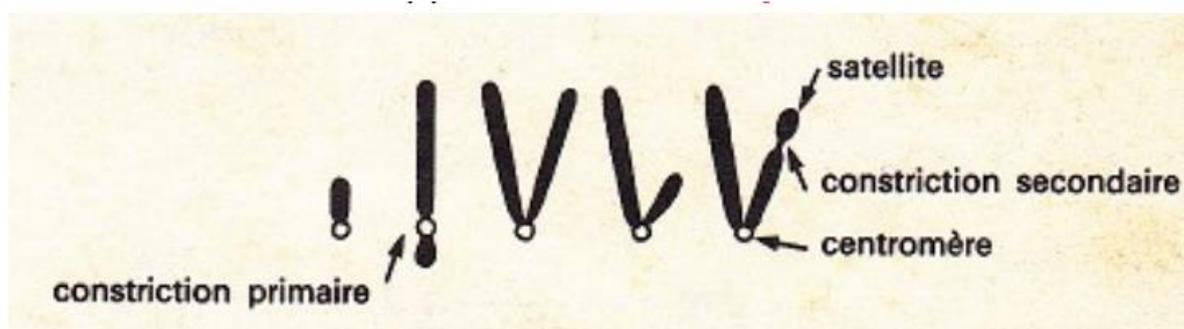


Figure 15: Schéma de Quelques formes des chromosomes

Source : <http://mediatheque.accesmad.org/educmad/mod/page/view.php?id=30602>

### ➤ **Les types de chromosomes :**

Chez des nombreuses espèces à sexe séparé, on classe les chromosomes en deux :

- Les autosomes : qui sont les chromosomes identiques deux à deux dans les deux sexes.

- Les gonosomes appelés également chromosomes sexuels ou aussi hétérochromosomes : la dernière paire de chromosomes, formée par deux chromosomes semblables chez un sexe, désignée par X X et deux chromosomes dissemblables chez l'autre, désignée par XY ou XO. Ce sont ces gonosomes qui déterminent le sexe de descendants. Ainsi les individus des deux sexes sont nommés :

- Individus homogamétiques ayant les deux chromosomes du gonosome identiques XX

- Individus hétérogamétiques ayant les deux chromosomes du gonosome dissemblables XY ou XO.

Remarque :

- Chez les Mammifères et la plupart des insectes, les individus mâles sont hétérogamétiques et les individus femelles homogamétiques.

- Chez les papillons et les oiseaux, ce sont les femelles qui sont hétérogamétiques et les mâles homogamétiques.

➤ **La formule chromosomique**

La formule chromosomique d'une cellule (ou d'un individu) est une façon conventionnelle d'indiquer le nombre de chromosomes caractéristique de l'espèce considérée.

Quelle formule chromosomique correspond à un individu qui possède 46 chromosomes répartis en 23 paires, et les chromosomes sexuels sont X et Y ?

❖ Chez l'être humain, on peut écrire les formules chromosomiques chez les deux sexes :

Homme :  $2n=46=44\text{autosomes}+XY$  gonosomes : hétérogamétique

Femme :  $2n=46=44\text{ autosomes}+XX$  gonosomes : homogamétique

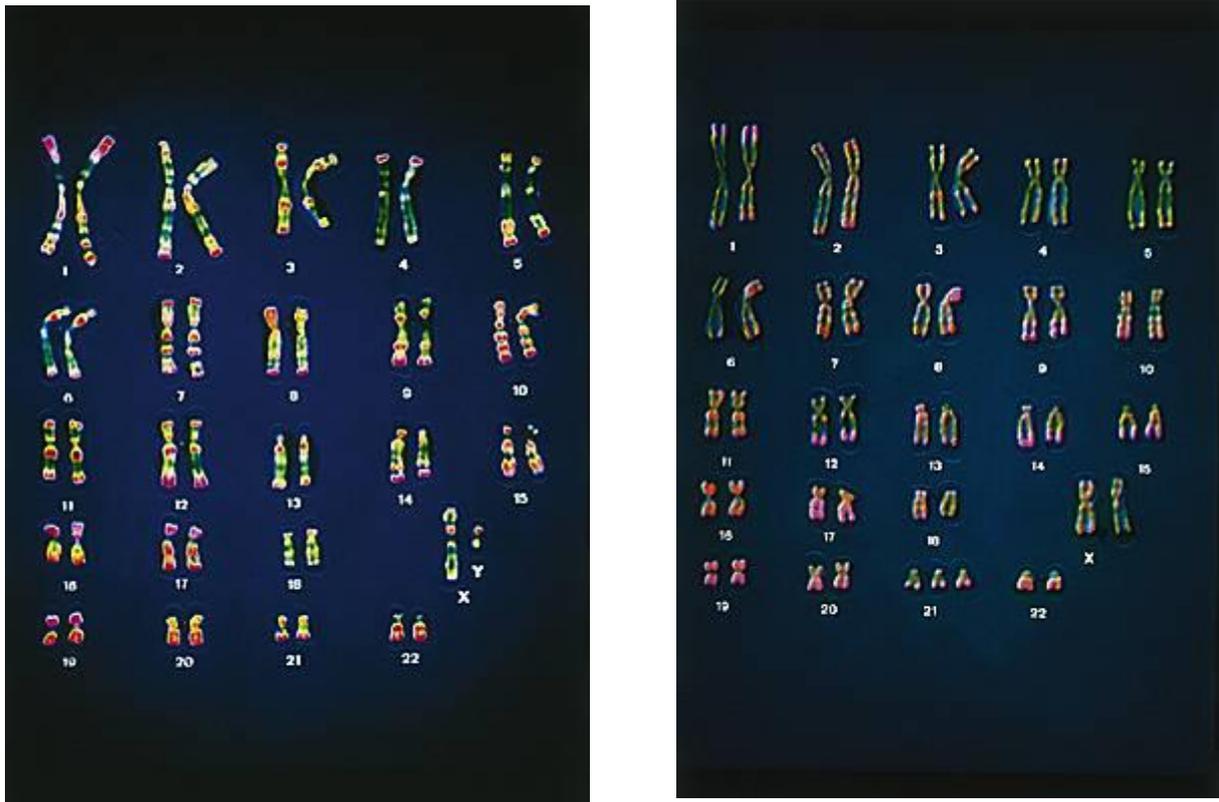


Figure 16: Caryotype d'un homme et d'une femme de l'espèce humaine

Source : <http://www.sirtin.fr/sirtin/wp-content/uploads/080222-09.jpg>

- ❖ Chez les drosophiles (mouche de vinaigre)  $2n=8$  avec 2 paires de chromosomes en V, 1 paire en point et 1 paire en bâtonnet formant les gonosomes (XX et XY).

La drosophile est un insecte diptère, à corps souvent rouge, dont une variété est utilisée dans les expériences de génétique (*syn. courant* mouche du vinaigre).

	Mâle hétérogamétique	Femelle homogamétique	
1ère paire	V V	V V	Autosomes
2ème paire	v v	v v	
3ème paire	c c	c c	
4ème paire	X Y	X X	Gonosomes
Formules chromosomiques	$2n=8= 6 \text{ autosomes} + X Y$	$2n=8= 6 \text{ autosomes} + X X$	



Figure 17: Photos de différents types de drosophiles

Source : [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.alamyimages.fr%2Fle-type-sauvage-mouche-des-fruit-drosophila-melanogaster-laboratoire-de-culture-image365238403.html&psig=AOvVaw0z\\_w8NFAISpczVROY62IHL&ust=1666874435897000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjRxqFwoTCICa-6b1\\_foCFQAAAAAdAAAAABAE](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.alamyimages.fr%2Fle-type-sauvage-mouche-des-fruit-drosophila-melanogaster-laboratoire-de-culture-image365238403.html&psig=AOvVaw0z_w8NFAISpczVROY62IHL&ust=1666874435897000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjRxqFwoTCICa-6b1_foCFQAAAAAdAAAAABAE)

Remarque : Les cellules obtenues lors de la formation des gamètes ou gamétogenèse appelées spermatozoïdes et ovules ou ovocytes II sont des cellules haploïdes. Chaque cellule sexuelle ou gamète contient donc  $n$  chromosomes et dans cette cellule, chaque chromosome est représenté en un seul exemplaire.

Exemples : Chez la drosophile  $n=4$  de Formules chromosomiques :

- pour les femelles on n'a qu'un seul type d'ovule :  $n=3$  autosomes +
- pour les mâles, on a deux types :  $n= 3$  autosomes + X et  $n= 3$  autosomes + Y

Chez l'être homme  $n=23$  pour les spermatozoïdes ou ovocyte II

- pour les ovules ou ovocytes, on n'a qu'un seul type d'ovule :  $n=22$  autosomes + X
- pour les spermatozoïdes, on a deux types :  $n= 22$  autosomes + X et  $n= 22$  autosomes + Y

➤ **La Structure d'un chromosome :**

A différentes périodes de la vie cellulaire, un chromosome peut être constitué d'un ou deux filaments de chromatides :

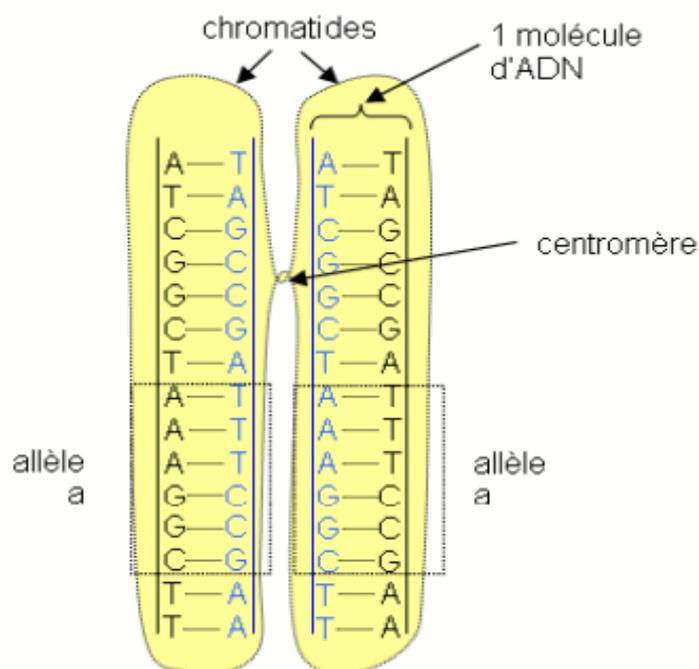


Figure 18: Représentation simplifiée du chromosome métaphasique

- Un chromosome à un seul filament de chromatide est appelé chromosome monochromatidien.
- Un chromosome à deux filaments de chromatides est appelé chromosome bichromatidien. (Chromosome en métaphase de la division cellulaire ou chromosome métaphasique) Ces filaments sont constitués essentiellement d'ADN et de protéines, le tout constituant la chromatine.

Les chromosomes sont les supports des gènes (fragment d'ADN), la figure 9 indique les gènes déterminés sur une chromosome

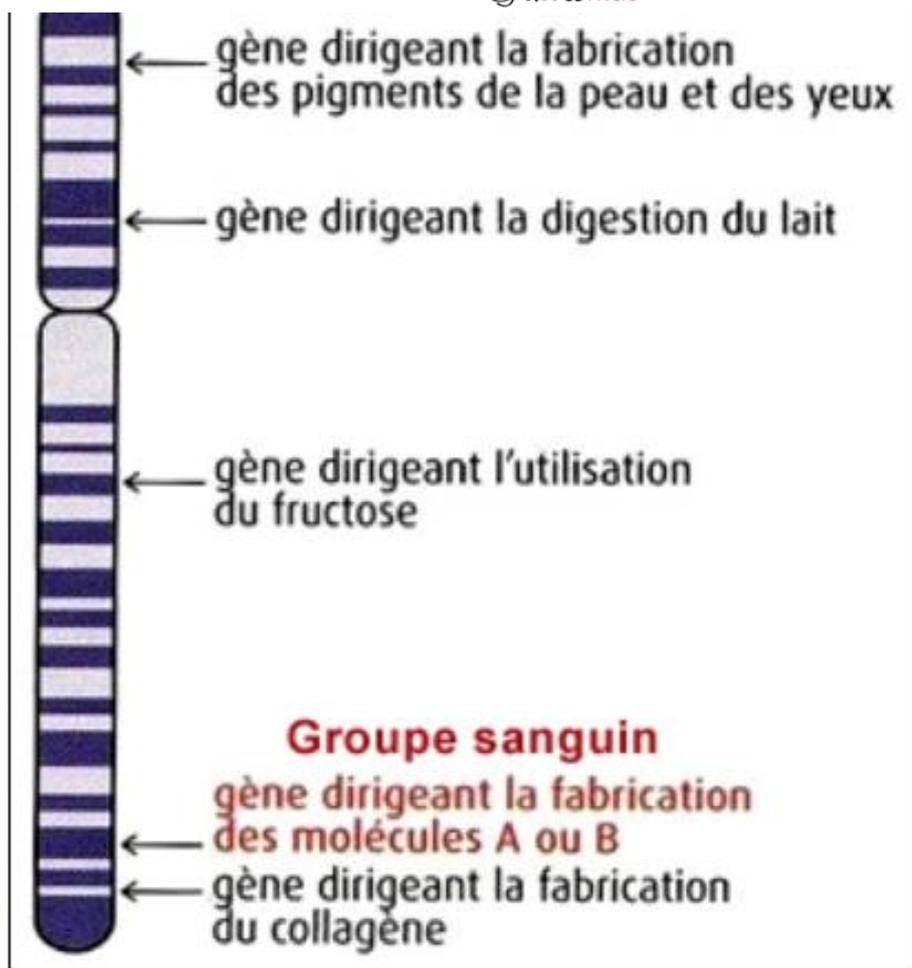


Figure 19: Quelques gènes sur le chromosome 9

Source : <http://www.jpbi->

[http://www.jpbi-imagine.com/Sharjah/3\\_C4\\_2016/32genevol/doc32/Chap2/Chap123bilan.html](http://www.jpbi-imagine.com/Sharjah/3_C4_2016/32genevol/doc32/Chap2/Chap123bilan.html)

Les allèles : sont les différentes manifestations **des caractères**.

<https://www.linternaute.fr/dictionnaire/fr/definition/allele/>

Les caractères héréditaires (forme, ...) sont les expressions des gènes.

Caractères	Allèles
Couleur	Rouge ; jaune ; bleue ; vert, ...
Forme	Arrondie ; allongé ; ovale,...
Taille	Petite ; grande, ....

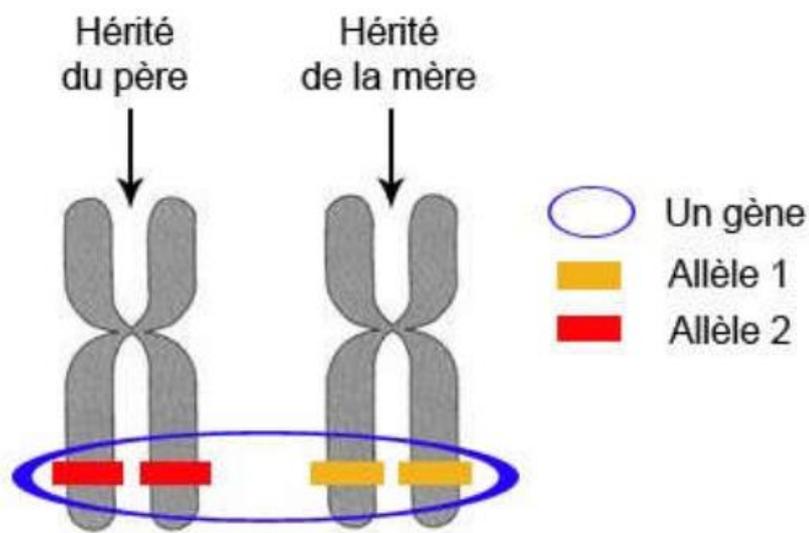
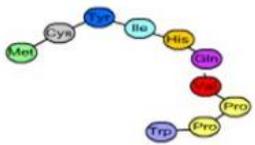


Figure 20: Une paire de chromosome montrant les allèles

### III. L'expression de l'IG

L'expression génétique est la fabrication par la cellule d'une protéine donnée, en suivant l'information génétique portée par un gène de l'ADN.

L'expression est la traduction de l'IG porté par l'ADN en acide aminé donnant les chaînes polypeptidiques. Les protéines jouent un rôle majeur dans l'ensemble des réactions chimiques dont les cellules sont le siège : ce sont les enzymes.

	ADN (gène)	ARN	Protéine
Molécules élémentaires	Désoxyribonucléotides	Ribonucléotides	Acides aminés
Structure	Double chaînes complémentaires 	Simple chaîne 	Simple chaîne 
Tests de coloration	- Vert par le vert de méthyl - Recolore en rouge la fuchsine décolorée	Rose par la pyronine	- Bleue par le sulfate de cuivre puis violette par la soude (réaction de biuret) - Jaune par l'acide nitrique puis orange par l'ammoniaque (réaction xanthoprotéique)

Source :

[http://mediatheque.accesmad.org/educmad/pluginfile.php/45143/mod\\_resource/content/0/Correspondance%20g%C3%A8ne-%20prot%C3%A9ine.pdf](http://mediatheque.accesmad.org/educmad/pluginfile.php/45143/mod_resource/content/0/Correspondance%20g%C3%A8ne-%20prot%C3%A9ine.pdf)

La séquence des acides aminés est gouvernée par celle des nucléotides de l'ARNm suivant un système de correspondance : **le code génétique**.

## 1. Le code génétique

Le code génétique définit la correspondance entre la séquence nucléotidique de l'ARN messenger (et donc celle de l'ADN) et la séquence en acides aminés de la protéine.

La séquence des 20 acides aminés qui peuvent constituer une protéine est programmée dans l'ADN et donc dans sa copie transcrite : l'ARNm. L'enchaînement des acides aminés différents se fait dans un ordre précis. Cet ordre détermine la forme de la molécule et sa fonction

Il existe un système de correspondance entre la séquence des 4 nucléotides (et donc des 4 bases azotées) de l'ADN et la séquence de 20 acides aminés : l'unité de code ou codon. Comme il existe 4 bases d'ARNm différentes pour former un triplé, alors on a 43 combinaisons possibles c'est-à-dire 64 codons.

**Les caractéristiques du code génétique** : Il est universel (le même chez tous les êtres vivants), non ambiguë (un codon, un acide aminé) mais dégénéré (un acide aminé peut correspondre à plusieurs codons).

**Le lien entre les acides aminés et les codons** est assuré par les ARNt. Chacun d'entre eux reconnaît le codon grâce à un triplet de bases d'ARNt qui forment l'anticodon.

Les 64 codons possibles pour 20 acides aminés, se répartissent en :

- **codons synonymes** (triplets différents mais codant pour un même acide aminé), le code est redondant ;

- **codons ponctuations** qui indiquent le début et la fin de traduction, le message est ponctué :

> AUG marque le début du gène : c'est le codon initiateur correspondant à l'acide aminé Méthionine (Met) ;

> UAA, UAG, UGA codons non-sens ou codon stop marquent la fin du gène

- Dans la pratique, on désigne parfois le nom de chaque acide aminé par ses trois premières lettres pour simplifier ; exemples Serine = Ser, Leucine=Leu

Chaque codon signifie un seul acide aminé. Il n'y a pas de chevauchement, cela veut dire qu'une base n'appartient qu'à un seul codon et par conséquent n'est lue qu'une seule fois. Codon d'initiation AUG : La traduction de l'ARN messager se fait dans le sens 5' vers 3' et démarre à un point fixe appelé codon d'initiation : AUG. . Chaque codon rencontré est " décodé " en acide aminé.

		Deuxième nucléotide									
		U		C		A		G			
Premier nucléotide	U	UUU	phényl-alanine	UCU	sérine	UAU	tyrosine	UGU	cystéine	Troisième nucléotide	
		UUC		UCC			UAC		UGC		
		UUA	leucine	UCA			UAA	STOP	UGA		STOP
	UUG	UCG			UAG	UGG	tryptophane				
C	CUU	leucine	CCU	proline	CAU	histidine	CGU	arginine			
	CUC		CCC			CAC			CGC		
	CUA		CCA			CAA	glutamine		CGA		
	CUG		CCG			CAG			CGG		
A	AUU	isoleucine	ACU	thréonine	AAU	asparagine	AGU	sérine			
	AUC		ACC			AAC			AGC		
	AUA		ACA			AAA	lysine		AGA	arginine	
	AUG	méthionine	ACG		AAG	AGG					
G	GUU	valine	GCU	alanine	GAU	acide aspartique	GGU	glycine			
	GUC		GCC			GAC			GGC		
	GUA		GCA			GAA	acide glutamique		GGA		
	GUG		GCG			GAG			GGG		

Figure 21 : Le Code génétique

### Remarques

- Toute modification de la séquence de nucléotides de l'ADN peut avoir des répercussions sur la qualité du polypeptide synthétisé : c'est une mutation

- Toutes les activités biologiques à l'intérieur de la cellule nécessitent de l'énergie ; celle-ci est fournie par l'hydrolyse d'ATP produit par les mitochondries responsables de la respiration cellulaire.

- Les protéines synthétisées dans une cellule sont :

> soit utilisée dans cette même cellule

> soit exportée hors de la cellule par exocytose

- Toutes les cellules de l'organisme (à l'exception des gamètes), contiennent la même information génétique. Les mécanismes de duplication et de mitose expliquent cette réalité : Pour édifier un organisme, la cellule-œuf initiale subit un grand nombre de divisions ou mitoses. Si chaque cellule contient la même information génétique (IG), c'est que l'IG est transmise intégralement à chaque mitose. L'IG contenue dans le noyau, est sous forme de molécules d'ADN (acide désoxyribonucléique). Deux événements fondamentaux et complémentaires assurant la transmission de la totalité de l'Information génétique de la cellule mère aux deux cellules filles : Au cours de la vie de la cellule, deux mécanismes complémentaires assurent la transmission intégrale de l'IG: – la synthèse de l'ADN pendant l'interphase – l'anaphase pendant la mitose. Ce sont des mécanismes de reproduction conforme.

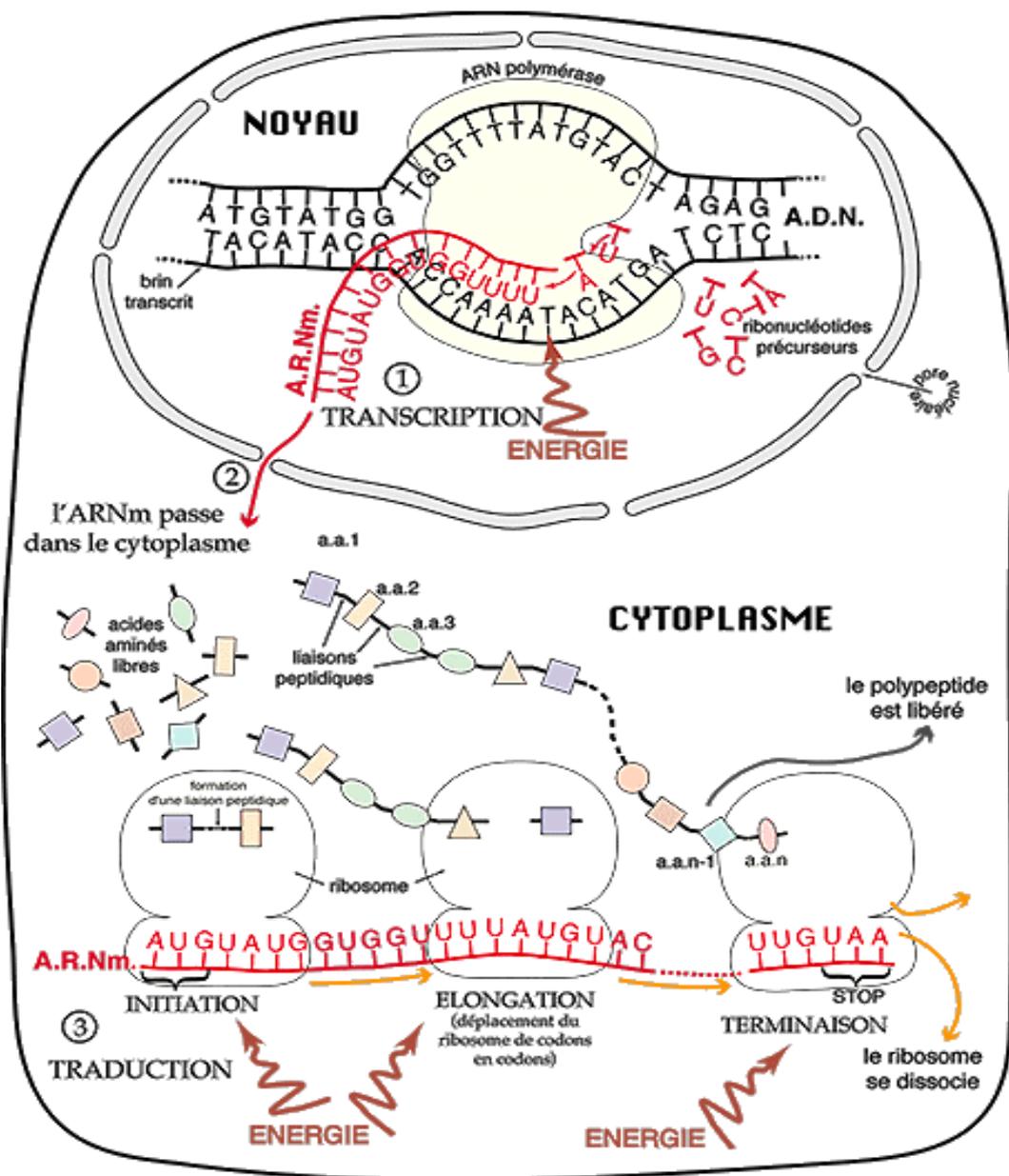
## 2. La Synthèse des protéines :

La synthèse des protéines s'effectue pendant l'interphase.

Cette synthèse de protéine à partir de l'ADN se fait en 2 étapes :

- la transcription qui se déroule dans le noyau

- la traduction, dans le cytoplasme



- ① TRANSCRIPTION
- ② l'ARNm passe dans le cytoplasme
- ③ TRADUCTION

Figure 22: Les étapes de la synthèse des protéines

4

## a. 1<sup>ère</sup> étape : La transcription de l'ADN en ARNm

Cette transcription correspond à la synthèse d'ARNm à partir d'un seul brin codant ou brin transcrit d'ADN, en présence d'ARN polymérase, par complémentarité des bases.

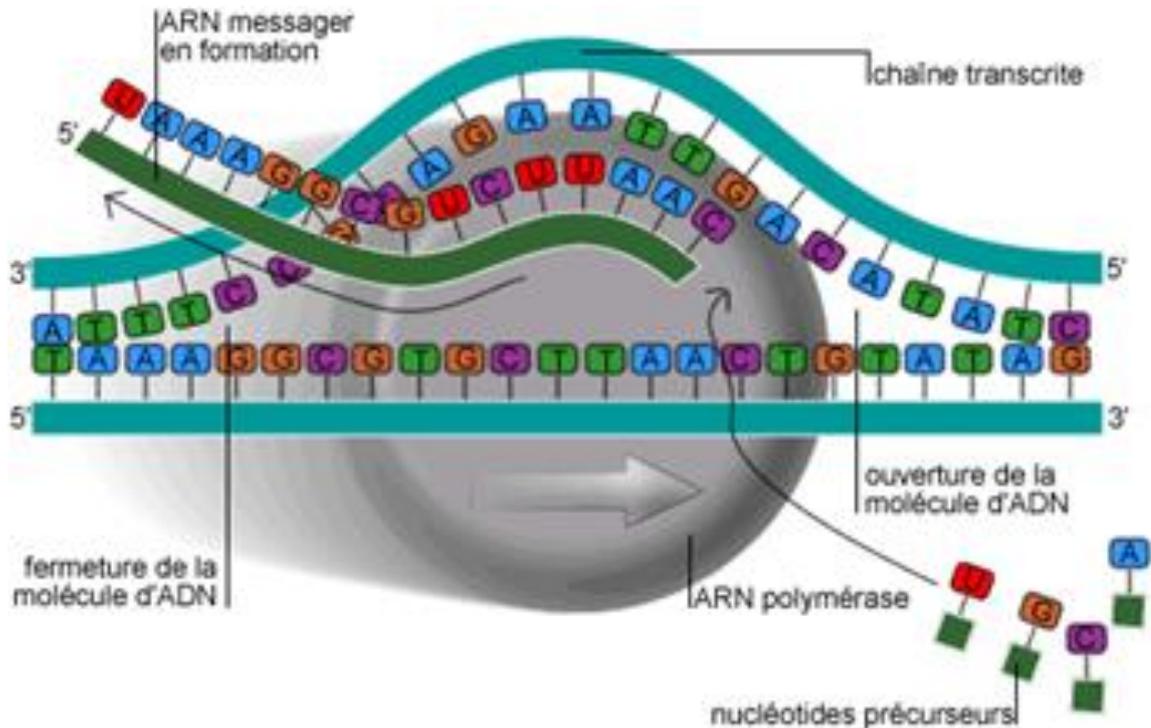


Figure 23 : La transcription

Les étapes suivantes se succèdent :

- Fixation de l'ARN polymérase sur une séquence d'ADN qui contient le site d'initiation ou promoteur où la synthèse d'ARNm va commencer
- Coupure des liaisons hydrogènes entre les bases complémentaires et ouverture de la double chaîne
- Copie de brin transcrit : fixation des nucléotides d'ARNm à bases complémentaires sur le brin informatif formant ainsi une chaîne.
- Arrivée au niveau du signal de terminaison, l'ARN polymérase libère la matrice d'ADN et la chaîne d'ARNm.

## b. 2<sup>ème</sup> étape : La traduction de l'ARNm en protéine :

Cette traduction correspond à exprimer l'information portée par l'ARNm (séquence nucléotidique) en une séquence d'acides aminés (protéines). C'est la synthèse de protéine qui se déroule dans l'hyaloplasme.

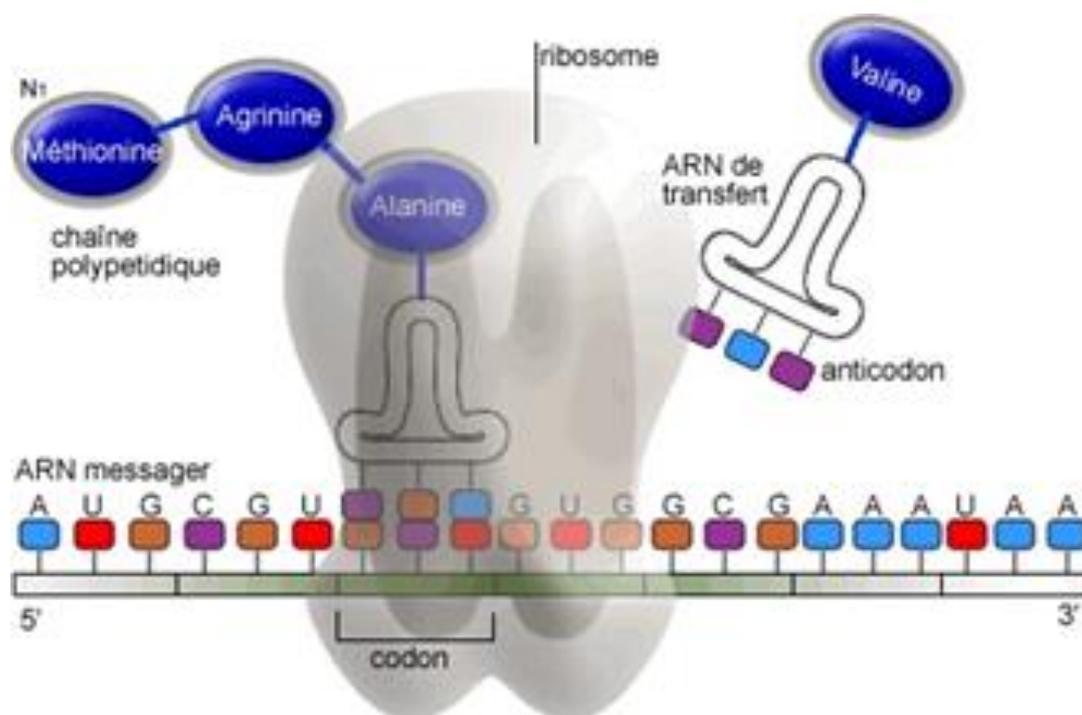


Figure 24 : La traduction

Ses principaux acteurs sont :

- un modèle, détenteur de l'information : l'ARNm
- un système de lecture : les ribosomes
- des adaptateurs, les ARNt, qui assurent la correspondance entre acides aminés et ARNm
- le stock cellulaire d'acides aminés
- un fournisseur d'énergie, des systèmes enzymatiques et des facteurs protéiques conditionnant le fonctionnement des ribosomes

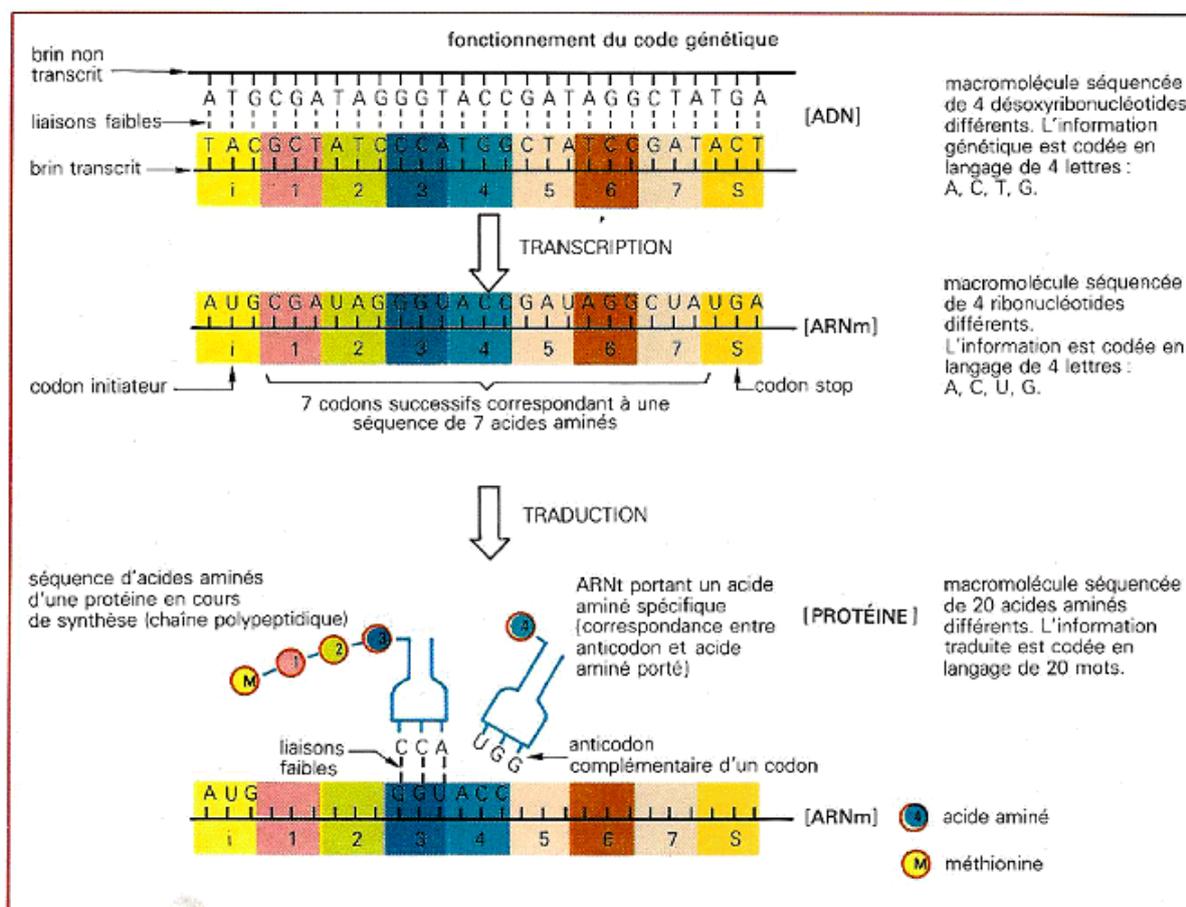
La synthèse d'une chaîne polypeptidique comporte trois étapes successives qui sont:

- > L'initiation qui consiste à la mise en place :
  - de la petite sous-unité ribosomiale,
  - d'un ARNt porteur d'un premier acide aminé (complexe ARNt-méthionine activée ou ARNt formyl-méthionine activée),
  - puis de la grosse sous-unité ribosomiale;
- > L'élongation s'effectue par adjonction de nouveaux acides aminés.

Cet accrochage successif se fait en 3 temps:

- Association codon-anticodon ;
- Transfert d'énergie permettant la formation d'une liaison peptidique entre 2 acides aminés;
- Translocation (décalage ribosome/ARNm sur une longueur d'un codon, dans le sens 5' -> 3')

> La terminaison apparaît lors de la lecture d'un codon-stop : Elle entraîne la dissociation de l'ARNm -les deux sous-unités ribosomiales - la méthionine (1er acide aminé au bout de la chaîne) - la chaîne polypeptidique constituée, qui acquiert spontanément sa configuration tridimensionnelle (protéine).



### 3. Les mutations géniques :

Les mutations sont souvent la conséquence d'erreurs se produisant lors de la réplication de l'ADN (mauvais appariement de nucléotides, introduit par l'ADN polymérase). Mais l'ADN peut également être endommagé en dehors de sa réplication.

#### a. La Transmission de la mutation

Si la mutation n'empêche pas la survie de la cellule, elle sera transmise aux cellules filles au moment de la division cellulaire. Sa transmission dépend du type de cellules touchées. En effet notre corps contient deux types de cellules :

- Les cellules germinales sont les cellules de notre corps impliquées dans la reproduction (gamètes et cellules souches des gamètes) ;
- Toutes les autres cellules sont dites somatiques.

Chez les animaux dont l'être humain, si une mutation survient dans une cellule somatique, elle sera présente dans le clone issu de cette cellule (si toutefois cette cellule se divise) c'est une mutation somatique qui peut être source de cancers. Si elle survient dans une cellule germinale, elle devient potentiellement héréditaire, une mutation germinale qui affecte les gamètes.

## b. Les causes des mutations

Les mutations peuvent être induits par des facteurs de l'environnement ou spontanées (aucun facteur précis) qui sont rares et aléatoires.

Des modifications de l'information génétique d'une cellule peuvent aussi être introduites volontairement en laboratoire, grâce à des techniques dites de génie génétique. Ces techniques peuvent conduire à la création d'OGM (Organismes Génétiquement Modifiés) ou à la mise au point de thérapies géniques.

Les facteurs de l'environnement, chimiques ou physiques, qui augmentent la fréquence d'apparition des mutations : ce sont **des agents mutagènes**. Par exemple :

- Les rayonnements ionisants comme les UV.
- Certaines substances chimiques comme l'acridine (utilisée dans l'industrie des colorants), l'amiante (ignifuge et isolant électrique).
- Divers virus (HPV ou Human Papilloma Virus, VHB ou Virus de l'Hépatite B)

Les mutations provoquées par les agents mutagènes sont **appelées mutations induites**.

L'accumulation de mutations dans nos cellules peut déclencher l'apparition d'un cancer, c'est pourquoi les agents mutagènes les plus puissants sont aussi des agents cancérigènes.

### c. Les effets et types de mutation :

Selon leur nature, les mutations ont des effets variés sur le phénotype : certaines n'ont aucun impact contrairement à d'autres qui sont à l'origine de l'apparition de nouvelles variations d'un caractère. Ce sont donc les mutations qui sont à l'origine de la grande variabilité génétique humaine et ainsi de la grande diversité de nos caractères héréditaires.

Une mutation peut être de forte amplitude (quelquefois visible au niveau du chromosome) ou très ponctuelle (au niveau des nucléotides)

### d. Les différents types de mutations ponctuelles :

- par Substitutions (remplacement d'1 nucléotide par un autre au niveau de l'ADN)
- par Insertions (ajout de nucléotide au niveau de l'ADN)
- par Délétions (perte de nucléotide au niveau de l'ADN)

Ces mutations ponctuelles peuvent être **silencieuses** si elles n'engendrent aucune modification de l'acide aminé dans la protéine. Mais on dit qu'elles sont **efficaces** si un ou des acides aminés sont remplacés par un autre entraînant la modification de la chaîne polypeptidique. Cette modification détermine les types de mutations suivants :

- Mutation faux sens : remplacement d'un acide aminé par un autre dans la chaîne polypeptidique.

Exemple : Le remplacement de l'acide glutamique par de la valine au niveau de la chaîne de  $\beta$ -globine suite à une mutation ponctuelle par substitution amène à une maladie grave : la drépanocytose.

- Mutation non-sens : arrêt de la synthèse, un arrêt de façon prématurée causé par un codon stop donc la chaîne polypeptidique est raccourcie.

- Mutation « décalante » : séquence d'acide aminé fortement modifiée donc une chaîne polypeptidique très différente. Cette mutation peut être causée

par une addition ou délétion d'un nucléotide entraînant un décalage du « cadre de lecture » de l'ARNm au moment de la traduction.

- Mutation neutre : des changements sans effet sur la fonction de la protéine, si certains acides aminés ayant des propriétés semblables (remplacement d'un acide aminé par un acide aminé de propriétés semblables).

Source : <https://www.maxicours.com/se/cours/mecanismes-mutations-et-duplications/>

### e. Les mutations chromosomiques :

On parle de mutations ou anomalies chromosomiques. Deux grands types d'anomalies chromosomiques peuvent être diagnostiquées :

#### - **Les anomalies de nombre des chromosomes :**

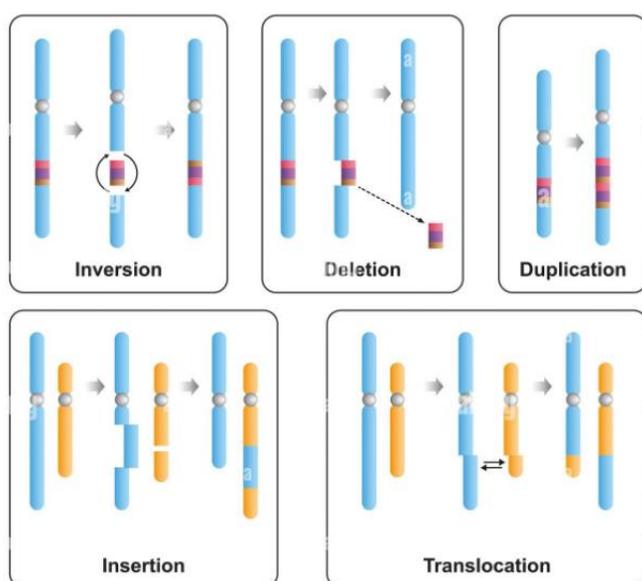
Le caryotype normal comporte 23 paires de chromosomes, soit 46 chromosomes. Ces anomalies (également appelées aneuploïdies) peuvent être homogènes (présentes dans toutes les cellules), ou en mosaïque (présentes dans une proportion variable de cellules). L'origine des anomalies homogènes se situe soit au moment de la méiose pendant le processus qui aboutit à la formation des cellules reproductrices soit lors des premières divisions mitotiques du zygote, (ovule) après la fécondation. Le facteur de risque prédominant des anomalies de disjonction chromosomique méiotique est l'âge maternel élevé.

- On parle de trisomie en présence d'un chromosome supplémentaire, d'une monosomie en cas de perte d'un des deux chromosomes d'une paire chromosomique. Les trisomies les plus fréquentes à la naissance sont les trisomies 21, 18 et 13 et la trisomie 8 en mosaïque. Les trisomies des chromosomes sexuels sont très fréquentes et portent aussi bien sur l'X que sur l'Y : 47,XXX , 47,XXY , 47,XYY.
- On parle de monosomies en cas de perte d'un chromosome. Les monosomies autosomiques sont rarement observées à la naissance du

fait, car probablement non viables avec un arrêt précoce de la grossesse. Concernant les chromosomes sexuels, la monosomie X est fréquente (1/2700), responsable du syndrome de Turner (caryotype : 45, XO). Syndrome qui affecte les femmes, qui sont stériles, impubères et atteinte de nanisme.

### - Les anomalies de structure des chromosomes

Elles résultent de la survenue de cassures chromosomiques suivies par un ou plusieurs recollements anormaux. Les anomalies de structure peuvent affecter un chromosome, ou plusieurs chromosomes (par exemple les translocations). Ces anomalies peuvent être équilibrées ou non équilibrées.



Ces anomalies sont des erreurs qui peuvent se produire au cours de la méiose comme le crossing-

Figure 25: Mutation chromosomique

Source : <https://www.alamyimages.fr/types-de-mutation-chromosomique-illustration-image529052305.html?imageid=33DB8809-536B-4E75-821C-59B831093095&p=2085580&pn=1&searchId=287c396ac329636556b9dd3ff01a3f24&searchtype=0>

Le crossing-over est une recombinaison réciproque entre deux chromosomes homologues au cours de la métaphase et de l'anaphase de la méiose. Il permet l'échange d'allèles entre chromosomes et participe ainsi à la diversité génétique. (source : <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/genetique-crossing-over-2551/>)

Les chromosomes homologues s'associent, croisent puis échangent certains segments de leur matériel génétique, avant de se séparer. Ce qui entraîne une migration de certains gènes d'un chromosome à l'autre. En conséquence, une combinaison de gènes différentes de celles des

autres. Grâce au brassage génétique créé par la méiose et par la fécondation, tout zygote possède un patrimoine unique de gènes paternels et maternels.

(Source : <https://www.vetofish.com/definition/crossing-over-enjambement-chromosomique>)

## IV. Explication de la correspondance entre gène protéine :

Les êtres humains possèdent des caractères communs comme les yeux, les cheveux, les groupes sanguins, ...

Ces **caractères** présentent plusieurs variations pour chaque individu, par exemple des yeux bleus ou yeux brun, des cheveux roux ou bruns. Ces **variations** sont les différentes versions possibles d'un même gène qu'on appelle **allèle**. Ces variations sont donc les résultats de l'expression de son programme génétique.

L'apparence d'un individu ou **phénotype** est étroitement dépendant des protéines qu'il est capable de produire.

Exemple de protéine : l'hémoglobine : une protéine qui se trouve dans les hématies (ou globules rouges) qui transporte l'oxygène et extrait le dioxyde de carbone des organes. L'hémoglobine donne aussi la couleur rouge du sang. Chaque hématie contient environ trois cent millions de molécules d'hémoglobine. Ce dernier résulte de l'assemblage de 4 chaînes polypeptidiques dont 2 globines alpha de 141 acides aminés et 2 globines bêta de 146 acides aminés. Le dosage moyen de globules rouges est de 4,6 à 6,2 millions/mm<sup>3</sup> chez l'homme et de 4,2 à 5,4 millions/mm<sup>3</sup> chez la femme. Un prélèvement sanguin permet de s'en assurer.

L'hémoglobine peut être affecté par une maladie appelée la drépanocytose. Cette dernière est une maladie génétique très répandue qui se manifeste par une anémie (teneur du sang réduite en hémoglobine), de

brusque augmentation de la rate, des crises de douleurs au niveau des articulations.

Les hématies humaines normales ont la forme de disque biconcaves observées au microscope électronique à balayage, mais chez les individus drépanocytose, elles ont une forme de faucille.

Les globules rouges sains sont mous, arrondis et souples. Mais les drépanocytes sont collants et durs, et ils peuvent bloquer la circulation sanguine.

Chaîne bêta de l'hémoglobine HbA (individu normal) : Val-His-Leu-Thr-Pro-Glu-Glu-Lys-Ser-...

Chaîne : bêta de l'hémoglobine HbS (individu drépanocytaire) : Val-His-Leu-Thr-Pro-Val-Glu-Lys-Ser-...

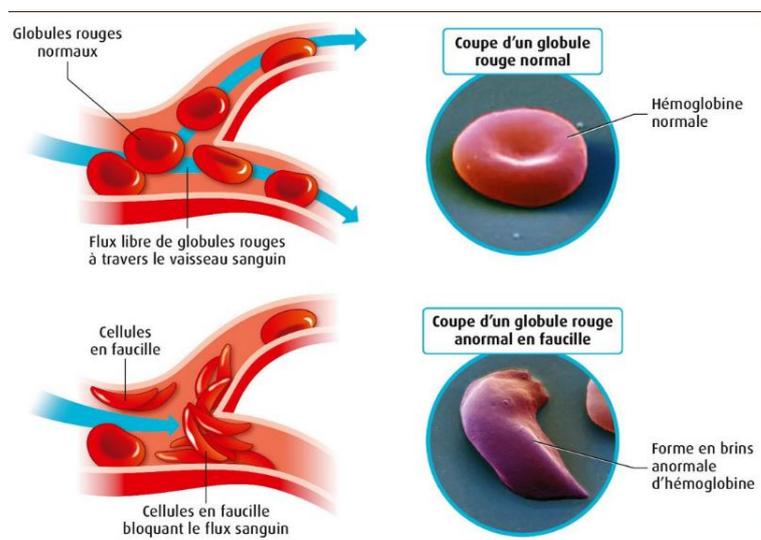


Figure 26: Les hémoglobines normales et cellules faucilles

Source : <https://manuelnumeriquemax.belin.education/svt-premiere/topics/svt1-ch14-242-a-des-maladies-genetiques-liees-a-l-hemoglobine>

## Références :

1. [https://www.assistancescolaire.com/eleve/3e/svt/reviser-une-notion/3\\_svt\\_07#:~:text=L'information%20g%C3%A9n%C3%A9tique%20se%20trouve,le%20sexe%20de%20l'individu.](https://www.assistancescolaire.com/eleve/3e/svt/reviser-une-notion/3_svt_07#:~:text=L'information%20g%C3%A9n%C3%A9tique%20se%20trouve,le%20sexe%20de%20l'individu.)
2. <https://fr.khanacademy.org/science/biologie-a-l-ecole/x5047ff3843d876a6:bio-6e-annee-sciences-de-base/x5047ff3843d876a6:bio-6-1h-adn-et-arn-les-acides-nucleiques/a/nucleic-acids>
3. <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-anatomie-et-examens/2703665-allele-definition-role-difference-avec-un-gene-schema-recessif-dominant/>
4. <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/l-heredite-genotype-et-phenotype-s1229>
5. <https://fr.khanacademy.org/science/biologie-a-l-ecole/x5047ff3843d876a6:bio-6e-annee-sciences-de-base/x5047ff3843d876a6:bio-6-1h-adn-arn-et-expression-d-un-gene/a/hs-rna-and-protein-synthesis-review>
6. <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-de-la-mere-et-de-l-enfant/anomalies-et-malformations-congenitales/articles/anomalies-chromosomiques#:~:text=L'on%20parle%20de%20trisomie,la%20trisomie%208%20en%20mosa%C3%AFque>
- 7.
- 8.
- 9.