

# 1

## Reproduction conforme de la cellule et réplication de l'ADN

Vous avez vu en classe de seconde qu'au sein du règne vivant, il existe une grande unité (ADN, cellules, voies métaboliques semblables chez des êtres apparemment très différents...) qui témoigne d'une ascendance commune à tous les êtres vivants (ils ont tous un ancêtre commun). Mais il existe également une grande diversité de formes, liée à une information génétique différente selon les espèces et déterminant, entre autres, leur organisation interne comme externe. La biodiversité se définit à l'échelle intraspécifique, interspécifique et elle se retrouve également dans la diversité allélique (rappelons que les allèles d'un gène sont les diverses formes ou versions sous lesquelles il peut exister).

Si l'on considère les différents individus d'une même espèce, on retrouve de nombreux points communs (même organisation générale, interfécondité...) qui les distinguent des individus des autres espèces, mais il existe également des variations individuelles. Chaque individu est défini par des caractères qui lui sont propres et le distinguent des autres individus de l'espèce (taille, couleur des cheveux, du pelage, des yeux, groupes sanguins, maladies éventuelles...).

Ces caractéristiques qui définissent les individus sont à la fois d'origine environnementale (le milieu dans lequel l'organisme s'est développé, dans lequel il vit) et génétique (le support de l'information génétique étant la molécule d'ADN = Acide désoxyribonucléique, double chaîne complémentaire de nucléotides).

Les caractéristiques des êtres vivants (leur phénotype) peuvent se définir à l'échelle macroscopique (de l'organisme tout entier) cellulaire, ou encore moléculaire.

Nous allons nous intéresser ici à la façon dont l'information génétique peut se transmettre de manière conforme d'une cellule mère aux deux cellules-filles auxquelles elle peut donner naissance en se divisant.

résumés de cours

exercices

contrôles

corrigés

## LES CELLULES SE MULTIPLIENT GRÂCE À DEUX MÉCANISMES COMPLÉMENTAIRES

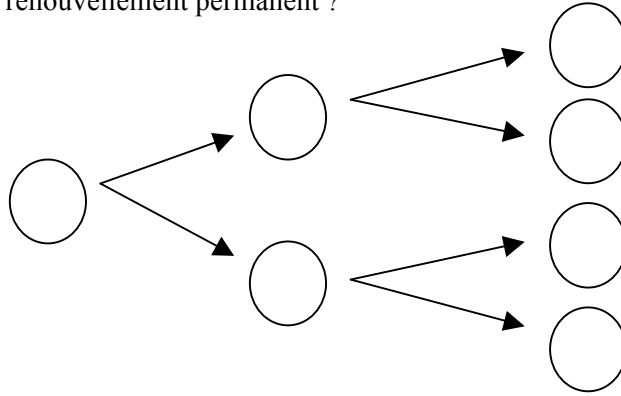
### ● La multiplication cellulaire

25 000 milliards ! C'est approximativement l'ordre de grandeur du nombre de cellules qui composent un organisme humain adulte.

Et pourtant, à l'origine, c'est d'une seule cellule qu'un tel organisme est constitué. Cette cellule unique à l'origine de l'ensemble de l'organisme est la cellule-œuf, produit de la fécondation d'un ovule par un spermatozoïde. Et ce phénomène reste vrai quel que soit l'organisme que l'on considère.

En outre, si l'on considère un organisme adulte, de très nombreux tissus ou organes montrent un renouvellement constant de leurs cellules.

Comment est assurée la multiplication cellulaire qui permet cette croissance et ce renouvellement permanent ?



*La multiplication cellulaire, principe simplifié : une cellule donne naissance à deux cellules, qui, à leur tour se divisent...*

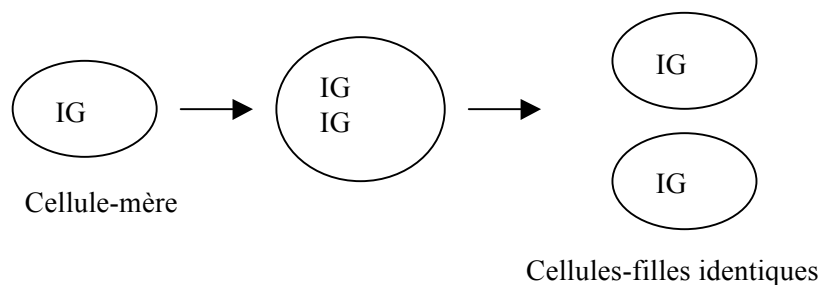
### ● Les cellules se multiplient à l'identique

En culture cellulaire, les cellules-filles issues de la division d'une cellule-mère initiale présentent un même phénotype que celle-ci. Elles sont identiques l'une à l'autre et à la cellule qui leur a donné naissance. L'équipement enzymatique des cellules est le même que celui de la cellule initiale.

Il apparaît donc que l'information génétique de la cellule-mère a été intégralement transmise à ses descendantes.

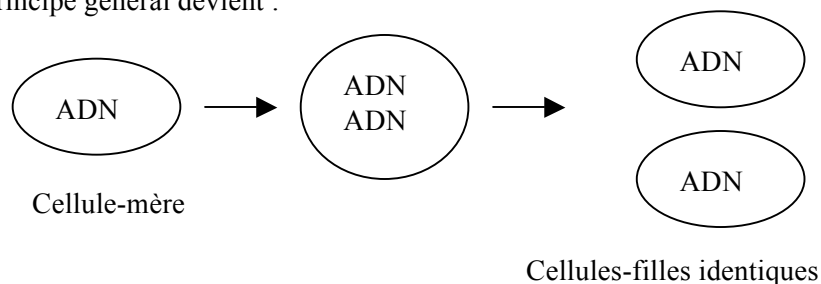
De plus la comparaison des caryotypes des cellules d'un organisme montre que ces cellules, toutes issues d'une même cellule-œuf, présentent le même nombre de chromosomes (même formule chromosomique, soit  $2n = 46$  dans l'espèce humaine par exemple). Cette formule chromosomique est également celle de la cellule-œuf initiale. Outre le nombre, la taille, la morphologie, la position des gènes sur les chromosomes sont les mêmes.

De la cellule-mère aux deux cellules-filles qui en sont issues, il y a donc une transmission intégrale et conforme de l'information génétique (et donc des chromosomes qui en sont porteurs). Ceci n'est possible que s'il se produit, chez la cellule initiale, deux phénomènes complémentaires et indissociables : tout d'abord une répllication de l'information génétique, visant à former deux exemplaires identiques de cette information, puis une division cellulaire, ayant pour but de séparer et de répartir équitablement ces deux exemplaires identiques entre les deux cellules-filles qui seront obtenues.



**Principe général de la multiplication cellulaire selon une reproduction conforme.** IG : Information génétique

Si l'on se souvient que l'information génétique a pour support moléculaire la molécule d'ADN (Acide DésoxyriboNucléique), alors ce principe général devient :



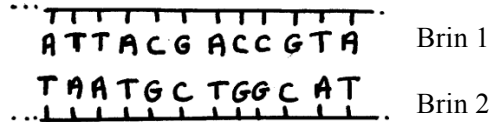
### LA REPLICATION DE L'ADN

Elle est basée sur les propriétés de la molécule d'ADN : molécule bicaténaire, avec deux brins strictement complémentaires par l'intermédiaire des bases azotées (A-T ; C-G).

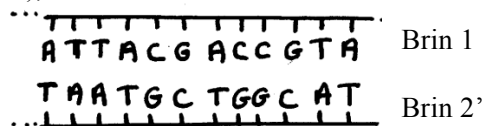
La répllication se fait selon un mode semi-conservatif, c'est-à-dire que chaque molécule-fille formée est constituée d'un brin ancien (dit parental), provenant de la molécule initiale, et d'un brin nouvellement synthétisé (brin néoformé).

En vertu de la complémentarité des bases azotées, il n'existe qu'une seule séquence nucléotidique complémentaire d'une séquence pré-existante.

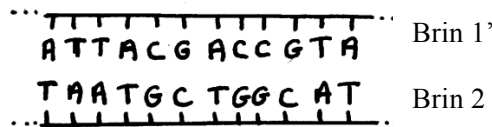
Ainsi, si au départ, la molécule d'ADN initiale a pour séquence :



après séparation des deux brins parentaux 1 et 2, puis synthèse de nouveaux brins complémentaires 2' (complémentaire du brin 1, donc identique au brin 2) et 1' (complémentaire du brin 2, donc identique au brin 1), nous obtiendrons deux molécules bicaténares de séquence ...



et



... c'est-à-dire deux molécules-filles rigoureusement identiques l'une à l'autre et identiques à la molécule initiale. Deux copies totalement conformes de l'information génétique initiale auront donc été formées (il restera ensuite à les répartir dans deux cellules-filles distinctes).

La réplication se déroule dans le noyau, dans l'intervalle de temps qui sépare deux divisions successives, c'est-à-dire au cours d'une période nommée interphase. C'est, plus précisément encore, au cours d'une phase dite S (de synthèse) que se produit la réplication.

La réplication est assurée par un complexe enzymatique qui possède, entre autres, une activité ADN polymérase, c'est-à-dire qui est capable d'unir les uns aux autres des nucléotides pour constituer des chaînes nucléotidiques.

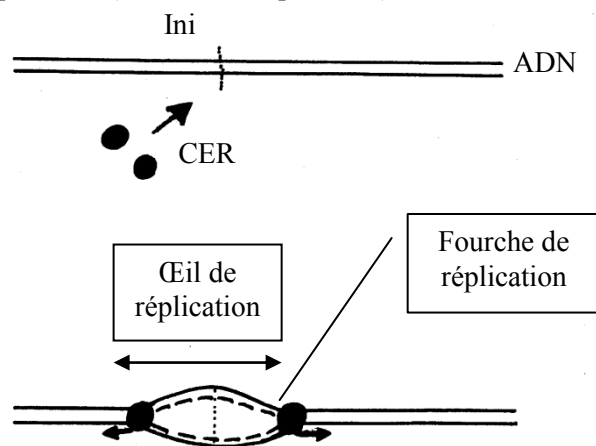
Outre ce complexe enzymatique de réplication (CER), la réplication nécessite également une molécule d'ADN qui va servir de matrice, des nucléotides libres qui seront polymérisés, ainsi que de l'énergie.

Les principales étapes de la réplication sont :

- fixation des complexes enzymatiques sur les molécules d'ADN, au niveau de points d'initiation ;

– progression des complexes enzymatiques sur les molécules d'ADN, les brins complémentaires étant séparés au fur et à mesure de la progression, tandis que de nouveaux brins, complémentaires aux brins existants, sont synthétisés. À partir des points d'initiation, la synthèse d'ADN est bidirectionnelle, c'est-à-dire que les complexes enzymatiques partent dans deux directions opposées.

Aux endroits où les deux brins anciens se séparent, se trouvent des fourches de réplication. Entre deux fourches de réplication, on définit un œil de réplication (ou unité de réplication).



**Principe de la réplication de l'ADN.** Les Complexes enzymatiques de réplication (CER) se fixent sur la molécule mère (traits pleins) au niveau de points d'initiation (Ini). Les CER progressent sur la molécule en séparant les deux brins anciens tandis que de nouveaux brins (tirets) sont synthétisés. Chez les eucaryotes, on peut simultanément observer plusieurs yeux de réplication sur une même molécule. Ce phénomène (qui permet d'accélérer le processus de réplication puisque celle-ci se déroule simultanément en plusieurs endroits), ainsi que la structure en collier de perles (ADN enroulé sur des protéines) de la chromatine interphasique, sont des éléments caractéristiques des cellules eucaryotes.

Lorsque l'ensemble de la molécule a été répliquée, les complexes enzymatiques se séparent des molécules formées. Les deux molécules-filles qui s'individualisent alors sont identiques. Autrement dit, en absence d'erreur, la réplication de l'ADN préserve, par copie conforme, la séquence des nucléotides.

Une représentation schématique des phénomènes se produisant au niveau d'une fourche de réplication est donnée à la page suivante.

## LA DIVISION CELLULAIRE

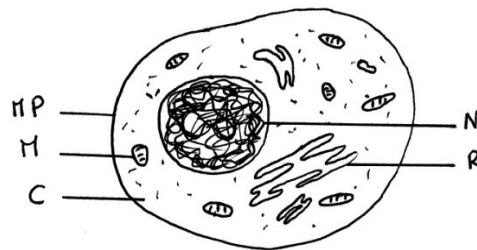
### ● La mitose : un mode de division cellulaire

À la suite de la réplication semi-conservative de l'ADN, il existe à présent, dans le noyau, deux exemplaires identiques de l'information génétique. Dans le cadre d'une reproduction conforme, il faut à présent répartir de manière équitable, tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif, ces deux exemplaires de l'information génétique dans deux cellules distinctes.

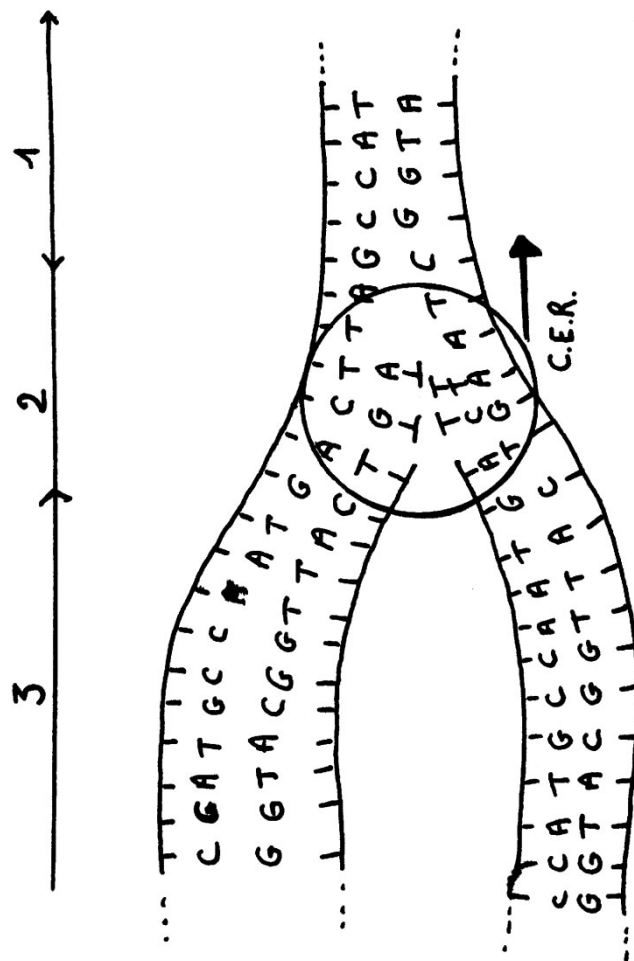
Cette répartition de l'information génétique est assurée, chez les eucaryotes, par un mode de division caractéristique : la mitose.

Plusieurs phases se succèdent au cours de cette division. Préalablement à l'entrée en mitose, la cellule se trouvait en interphase. Au cours de la phase S, il y a eu réplication des molécules d'ADN. Une phase G2 a succédé à la phase S, il s'y est produit une synthèse de protéines et une préparation à la mitose.

À l'entrée en mitose la cellule peut se représenter ainsi :



*Aspect schématique d'une cellule à l'entrée en mitose : C : cytoplasme, limité par une membrane (MP), N : noyau limité par son enveloppe, et contenant la chromatine diffuse (forme non encore condensée de l'ADN). À cela s'ajoutent des organites divers, qui ne sont pas tous forcément présents : M : mitochondries, R : réticulum endoplasmique.*



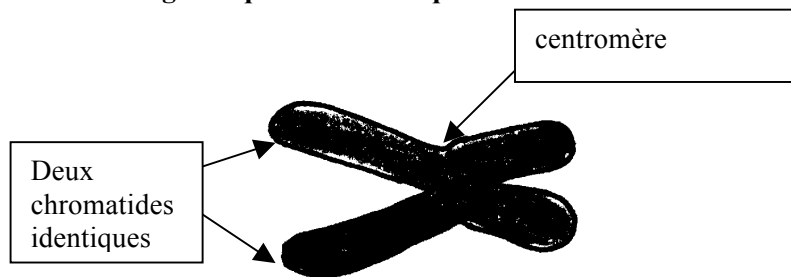
**Réplication de l'ADN, représentation schématique simplifiée.**

Les complexes enzymatiques de réplication (CER, symbolisés sur ce schéma par un cercle) progressent sur la molécule d'ADN (la flèche indique le sens de la progression). En avant de ces complexes (zone 1),

la réplication n'a pas encore débuté, la molécule mère d'ADN, bicaténaire, est encore constituée des deux brins parentaux. En arrière de ces complexes (zone 3) la réplication est achevée, deux molécules d'ADN filles sont présentes, bicaténaires, chacune formée d'un brin ancien et d'un brin néosynthétisé. Au niveau des complexes (zone 2), se déroule la phase active de la réplication : ouverture de la molécule mère, association de nouveaux nucléotides complémentaires et polymérisation de ces nucléotides pour former les brins néosynthétisés. À ce niveau, l'ADN est localement monocaténaire.

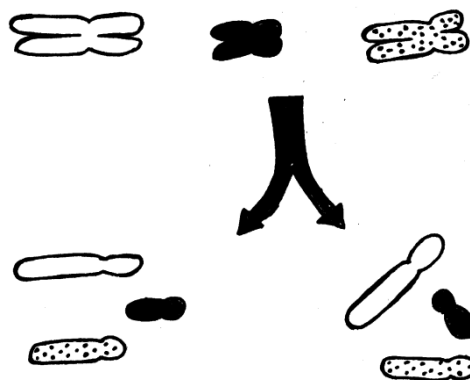
La première (et la plus longue) phase de la mitose est la **Prophase**. Les principaux événements marquant cette période sont : début de disparition de l'enveloppe nucléaire, début de condensation des molécules d'ADN associées à des protéines et apparition de structures nommées chromosomes. Ceux-ci représentent une forme condensée de l'ADN.

À ce stade, les chromosomes sont constitués de deux filaments nommés chromatides (les chromosomes sont alors dits bichromatidiens) unis par un centromère. L'important est de bien comprendre que les deux chromatides qui constituent alors un chromosome sont en réalité deux molécules d'ADN, condensées et associées à des protéines, mais identiques l'une à l'autre car étant issues d'une même molécule initiale par processus de réplication. Les deux molécules issues d'une molécule initiale d'ADN restent en effet associées au niveau de ce qui deviendra par la suite le centromère. **Un chromosome est constitué de deux chromatides génétiquement identiques.**



*Un chromosome bichromatidien.*

On peut alors comprendre que séparer les deux exemplaires de l'information génétique consistera en fait à séparer les deux chromatides de chaque chromosome. Le principe peut être schématisé ainsi :



*Principe de la séparation de trois chromosomes bichromatidiens, en deux lots identiques de chromatides.*