

# Modèles Chromosome

12404



## Extraits référentiels du B.O.

Partie Diversité et unité des êtres humains (*Durée conseillée : 13 heures*)

### **Objectifs scientifiques**

A un niveau adapté à la classe de troisième, la notion de programme génétique permet une première explication de l'unité de l'espèce et de l'unicité de chaque être humain. Il s'agit d'expliquer de manière la plus simple et la plus concrète possible :

- l'influence des facteurs environnementaux sur l'expression des caractères individuels à travers un ou deux exemples ;
- la relation entre information génétique et chromosomes ;
- l'existence d'une information génétique (acide désoxyribonucléique ou ADN) considérée comme identique dans toutes les cellules somatiques de l'organisme ;
- la transmission de l'information génétique ;
- l'origine de la diversité des êtres humains.

Connaissances	Capacités déclinées dans une situation d'apprentissage	Exemples d'activités
<p>Chaque chromosome est constitué d'ADN.</p> <p>L'ADN est une molécule qui peut se pelotonner lors de la division cellulaire, ce qui rend visibles les chromosomes.</p> <p>Chaque chromosome contient de nombreux gènes. Chaque gène est porteur d'une information génétique. Les gènes déterminent les caractères héréditaires.</p> <p>Un gène occupe la même position sur chacun des deux chromosomes d'une paire. Il peut présenter des versions différentes appelées allèles. La molécule d'ADN présente des différences selon les allèles. Les cellules possèdent, pour un même gène, soit deux fois le même allèle, soit deux allèles différents. Dans ce dernier cas les deux allèles peuvent s'exprimer ou l'un peut s'exprimer et pas l'autre.</p>	<p>Manipuler :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- réaliser une observation microscopique au fort grossissement de cellules montrant des chromosomes.</li> <li>- mettre en œuvre un protocole afin d'extraire et de colorer de l'ADN des cellules végétales.</li> </ul> <p>Respecter les consignes de fiches techniques. [Compétence 7]</p> <p>Exploiter une photographie de caryotypes afin d'argumenter un lien entre caractères et chromosomes.</p> <p>Pratiquer une démarche scientifique : observer, questionner, argumenter pour relier les gènes et les caractères héréditaires.</p>	<p>Observation microscopique de cellules colorées au réactif de Feulgen.</p> <p>Extraction et coloration au réactif de Feulgen de l'ADN dans des cellules végétales.</p> <p>Fabrication de maquette afin de modéliser un chromosome.</p> <p>Étude de documents (concernant groupes sanguins du système ABO) pour mettre en évidence l'existence d'allèles.</p> <p>Étude de cas cliniques (myopathie, nanisme, mucoviscidose, présence anormale ou absence du gène SRY ou TDF...) permettant la mise en relation de l'information génétique et du caractère correspondant.</p>

Connaissances	Capacités déclinées dans une situation d'apprentissage	Exemples d'activités
<p>Les cellules de l'organisme, à l'exception des cellules reproductrices, possèdent la même information génétique que la cellule-œuf dont elles proviennent par divisions successives.</p> <p><i>La division d'une cellule :</i>  - est préparée par la copie de chacun de ses 46 chromosomes ;  - se caractérise par la séparation des chromosomes obtenus, chacune des deux cellules formées recevant 23 paires de chromosomes identiques à ceux de la cellule initiale.</p> <p><i>Le cancer est le résultat d'une prolifération incontrôlée de cellules.</i></p>	<p>Observer, questionner, formuler et valider des hypothèses afin d'établir le mécanisme permettant la conservation de l'information génétique au cours des divisions cellulaires.</p> <p>Exploiter un graphique, un vidéogramme afin d'identifier les étapes de la division d'une cellule. [Compétence 5]</p> <p>Exprimer les résultats d'une recherche : réaliser un schéma représentant la répartition des chromosomes lors des divisions cellulaires.</p>	<p>Étude de documents sur le maintien du nombre de chromosomes et de l'information génétique lors d'une division cellulaire.</p> <p>Observation de vidéogrammes, afin de suivre le devenir des chromosomes pendant une division cellulaire.</p> <p>Comparaison du caryotype de la cellule-œuf à celui des autres cellules qui en sont issues.</p> <p>Manipulation de maquettes permettant de rendre compte du devenir des chromosomes lors de la mitose.</p> <p>Étude de l'évolution de la quantité d'ADN au cours de la division cellulaire.</p>

Connaissances	Capacités déclinées dans une situation d'apprentissage	Exemples d'activités
<p>Chaque cellule reproductrice contient 23 chromosomes. La fécondation rétablit le nombre de chromosomes de l'espèce. Chaque individu issu de la reproduction sexuée possède un programme génétique qui contribue à le rendre unique. Au cours de sa formation, chaque cellule reproductrice reçoit un chromosome de chaque paire. Lors de la fécondation, spermatozoïde et ovule participent à la transmission de l'information génétique. Pour chaque paire de chromosomes, un chromosome vient du père, un de la mère. Lors de la formation des cellules reproductrices les chromosomes d'une paire se répartissent au hasard. Les cellules reproductrices produites par un individu sont génétiquement différentes. Pour chaque allèle de la cellule-œuf, l'un vient du père, l'autre de la mère. La reproduction crée au hasard un nouveau programme génétique.</p>	<p>Exploiter des photographies de caryotypes de cellules reproductrices. Observer, questionner, formuler une hypothèse sur le mécanisme permettant le maintien du nombre de chromosomes au cours des générations. Exprimer les résultats d'une recherche : réaliser un schéma traduisant le maintien du nombre de chromosomes lors de la reproduction sexuée.</p>	<p>Étude de documents sur le mécanisme permettant le maintien du nombre de chromosomes de génération en génération. Comparaison de caryotypes d'une cellule reproductrice et d'une cellule de l'organisme. Manipulation de maquettes afin de rendre compte du devenir des chromosomes lors de la formation des cellules reproductrices et de la cellule-œuf. Explication de la formation d'une cellule-œuf mâle ou femelle.</p>

# FICHE PROFESSEUR

## Présentation

A la fois ludique et très didactique, ce modèle analogique permet d'expliquer de manière concrète aux élèves comment se présente l'ADN aux différentes étapes de la vie cellulaire et facilite la compréhension des mécanismes de la mitose et de la méiose.

## Composition

Le kit unitaire comprend quatre sphères en plexiglas transparent (diam. 120 mm), deux jeux de cordons souples bleus/rouges représentant les molécules d'ADN d'origine paternelle/maternelle <sup>(1)</sup>, un lot de 75 pièces allèles colorées <sup>(2)</sup> à clipser sur les cordons, un transparent « Évolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire ».

(1) 2 x 2 cordons longs (2 bleus, 2 rouges), 2 x 2 cordons moyens (2 bleus, 2 rouges) et 2 cordons courts (bleus) permettant de modéliser le chromosome Y

(2) pièces présentes dans différentes couleurs = les gènes et portant soit des lettres, soit des signes = leurs allèles

COULEUR	MARQUAGE	NOMBRE DE PIÈCES
jaune	A / B / O	$3 \times 5 + 10^* = 25$
vert	+ / -	$2 \times 5 + 10^* = 20$
bleu	Y	3
violet	T blanc / T noir	$3 \times 2 = 6$
brun	~ blanc / ~ noir	$3 \times 2 = 6$
orange	/ blanc / / noir	$3 \times 2 = 6$
Gris	*	3
Gris	△	3
Gris	Ω	3

\* Les 20 pièces allèles supplémentaires non marquées permettront au professeur d'inscrire les lettres de son choix afin de faire travailler ses élèves sur d'autres couples d'allèles que ceux proposés dans la fiche pédagogique (ex. le gène responsable de la mucoviscidose sur le chromosome 7, ou les gènes de l'hémophilie sur le chromosome X).

### Environnement conseillé

- Cuvette rectangulaire en plexiglas transparent 2,4 L Réf. 15370.20.223
- Planche didactique « Cycle chromosomique » Réf. 09325.20.159
- Dossier pédagogique « Maintien du caryotype » Réf. 09549.20.168

# Utilisation du modèle analogique

Chaque chromosome en interphase est matérialisé par un demi bouton-pression sur lequel est fixé un cordon souple de couleur ; déroulé ce dernier représente une des quatre molécules d'ADN de la cellule étudiée ( $2n = 4$ ).

Pour obtenir une représentation de l'enchevêtrement chromosomique en interphase on enferme pêle-mêle quatre cordons déroulés <sup>(1)</sup> dans une sphère en plastique, celle-ci matérialisant l'enveloppe nucléaire. Ce « noyau » pourra être introduit dans une cuvette en plexiglas rectangulaire pour figurer la cellule.

Dans la pratique on sort la sphère de la cuvette et on en extrait les cordons.

Avant de passer à la construction des chromosomes on peut matérialiser les gènes portés par les molécules d'ADN en clipant sur les cordons des pièces de couleur représentant les allèles <sup>(2)</sup>.

Pour construire un chromosome à deux chromatides on associe deux demi bouton-pression portant des cordons de même couleur et de même longueur (réplication), on clipe au besoin le deuxième allèle de chaque gène (à même distance du bouton-pression sur le cordon initial et sur le cordon dupliqué), puis on entortille chacun des cordons de part et d'autre du bouton-pression (condensation). Ainsi se trouve réalisé un chromosome double, condensé, les cordons entortillés correspondant aux chromatides, le bouton pression au centromère. C'est l'aspect sous lequel les chromosomes sont habituellement présentés aux élèves en début d'année.

Les figures de la mitose sont obtenues en dissociant les deux demi bouton-pression, en faisant migrer les chromatides de part et d'autre du plan de travail et en les plaçant dans les deux sphères en plastique (noyaux des cellules filles) après avoir déroulé les cordons (décondensation).

Pour étudier la méiose on construit les chromosomes à partir de quatre cordons de même couleur (2 longs et 2 moyens) afin de mieux visualiser l'appariement des chromosomes paternels et maternels lors de la fécondation. Dans un premier temps on fait migrer les chromosomes homologues de part et d'autre du plan de travail, puis on dissocie chaque chromosome et on place chacun des quatre lots de chromatides obtenus dans une sphère en plastique (noyau d'un spermatozoïde ou d'un ovule selon les cas).

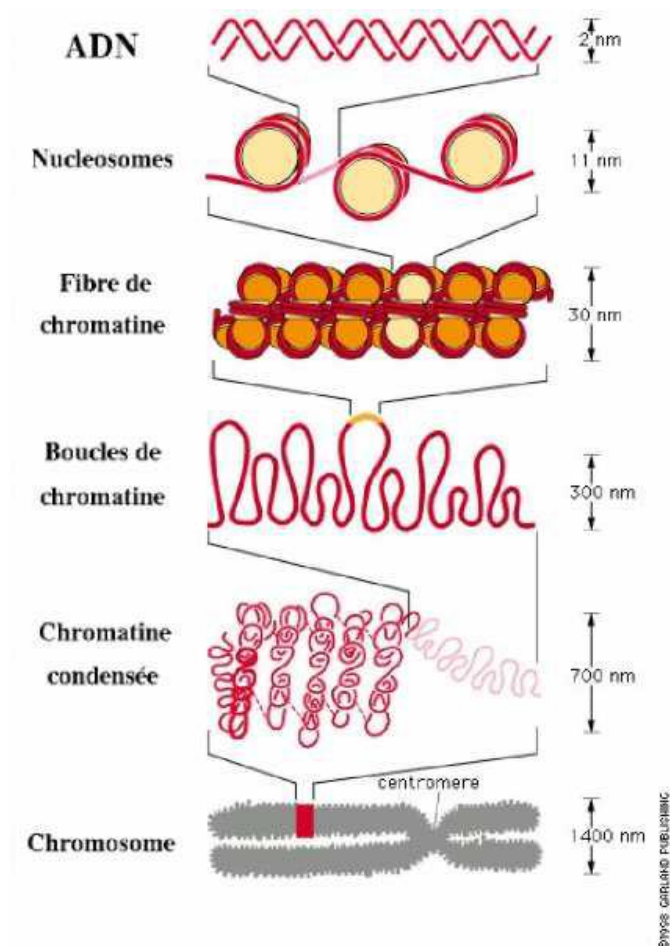
(1) deux cordons longs (un bleu, un rouge) et deux cordons moyens (un bleu, un rouge) ; la teinte des cordons n'a rien de réaliste, mais elle permet le cas échéant de les situer selon leur origine paternelle ou maternelle...

(2) 9 couples de pièces colorées portant soit le même marquage (allèles identiques), soit un marquage différent

## Rappels théoriques

Dans la cellule, les molécules d'ADN sont associées à des protéines (histones et non histones) pour former la chromatine. En interphase de mitose la chromatine occupe tout l'espace nucléaire. Au cours de la mitose, l'enveloppe nucléaire se disloque, et la chromatine se condense progressivement, rendant visibles les chromosomes individuellement.

Le compactage de l'ADN dans le noyau est assuré par différents niveaux de repliement et d'enroulement. Le premier niveau est constitué par l'enroulement de la molécule d'ADN autour des histones (H3, H4, H2A et H2B) pour former les nucléosomes. L'empilement en colonne des nucléosomes, par l'intermédiaire de l'histone H1, conduit à la fibre de 10 nm de diamètre. L'enroulement de cette fibre conduit à la fibre de 30 nm (~6 nucléosomes par tour), dont le modèle le plus couramment présenté est celui du solénoïde. Dans la fibre de 30 nm, le facteur de compaction de l'ADN est de 40 fois. Dans le noyau, le facteur de compaction est d'environ 1000 fois, et il augmente encore d'un facteur 10 dans les chromosomes en mitose. Au-delà de la fibre de 30 nm, la compaction de la chromatine se fait par interaction avec les protéines non histones qui constituent la matrice nucléaire (noyau en interphase) ou le squelette chromosomal (chromosomes à la mitose). L'attachement de la fibre de 30 nm à la matrice nucléaire ou au squelette chromosomal délimite des boucles chromosomiques de 5 à 200 kb (85 kb en moyenne). Le squelette chromosomal d'où partent les boucles chromosomiques forme la fibre chromatidienne. Le degré supplémentaire de compactage dans les chromosomes est obtenu par repliement de la fibre chromatidienne.



## Conditions générales

- La séance poursuivra les objectifs suivants :
  - Faire le lien entre information génétique, ADN et chromosomes.
  - Émettre des hypothèses sur le comportement des chromosomes lors de la mitose.
  - Reconstituer un phénomène biologique à l'aide d'un modèle analogique.
  - Traduire des observations sous forme de schémas légendés.
- La séance est conçue comme une suite d'activités avec une production par les élèves au terme d'une période de travail en autonomie. En fonction du niveau de ses élèves et de sa progression, le professeur choisira ou non d'intégrer les activités complémentaires proposées.
- Certains termes employés ci-après (chromatides, homologues, etc.) n'étant pas exigibles, l'enseignant pourra les remplacer par les mots de son choix.

# Déroulement de la séquence pédagogique

## 1- Pré requis

Les chromosomes présents dans le noyau sont le support du programme génétique. Chaque cellule d'un individu de l'espèce humaine possède 23 paires de chromosomes. Chaque chromosome est constitué d'ADN.

## 2- Démarrage de la séquence pédagogique [travail collectif]

Avant d'aborder la problématique proprement dite, réactiver les connaissances des élèves en illustrant les notions exposées ci-dessous à l'aide du modèle analogique.

### ► Activités élèves

- Observer et identifier les différents éléments du kit.
- Questionner l'enseignant sur les points du cours posant encore problème.

### ► Objectifs méthodologiques

- S'informer, communiquer.

### ► Notions abordées

- Finalement, un chromosome, qu'est-ce que c'est ?

*Clipper au préalable 4 ou 5 couples de pièces colorées sur chacune des deux paires de cordons homologues du kit avant d'enfermer les 4 cordons déroulés dans une sphère en plexiglas.*

Les chromosomes (du grec *chrôma*, « couleur », parce qu'ils sont facilement colorables, et *soma*, « corps ») sont des éléments microscopiques localisés dans le noyau des cellules. Selon le degré de condensation de la molécule d'ADN dont ils sont constitués ils peuvent se présenter soit sous la forme de longs filaments enchevêtrés (invisibles au microscope optique), soit sous la forme de bâtonnets.

*Extraire deux chromosomes homologues de la sphère et les compacter devant les élèves.*

Le nombre de chromosomes varie d'une espèce à l'autre : l'espèce humaine en compte 46, la pomme de terre 48, le chien 78, certaines fougères (*Ophioglossum*) 1 260 ! Pour simplifier on limitera ce nombre à 4 dans l'étude qui va suivre (comme chez l'ascaris, un parasite du tube digestif).

Chaque chromosome se trouve en double exemplaire (même forme et même taille) dans chacune de nos cellules (exception faite des globules rouges et des cellules sexuelles). Une cellule humaine compte ainsi 22 paires de chromosomes numérotés de 1 à 22, du plus long au plus court, et une paire de chromosomes sexuels, nommés X et Y (XX chez la femme, XY chez l'homme).

Toute l'information nécessaire pour « fabriquer » un être humain est répartie au sein de ces 46 chromosomes sous forme de nombreux gènes (environ 25 000 chez l'Homme), portés par la molécule d'ADN.

☞ Un gène sera défini comme un segment d'ADN situé à un endroit bien précis sur un chromosome et porteur d'une information génétique.

- Pourquoi des chromosomes en double exemplaire au sein de chaque cellule ?

Tout simplement parce que l'un des exemplaires est transmis par le père (il a été apporté par un spermatozoïde) et l'autre par la mère (il était dans l'ovule) au moment de la fécondation. Ceci implique que les chromosomes d'une même paire sont homologues l'un de l'autre (ils présentent les mêmes gènes, alignés dans le même ordre sur la molécule d'ADN). Mais attention, deux chromosomes homologues ne sont pas forcément identiques, car ils ne présentent pas forcément la même version (allèle) de chacun des gènes qu'ils portent. En d'autres termes chaque cellule possède pour un gène donné soit deux fois le même allèle, soit deux allèles différents, positionnés en vis-à-vis sur les deux chromosomes homologues.

*Dérouler les deux cordons homologues précédemment extraits de la sphère pour mieux faire constater par les élèves la position en vis-à-vis des allèles.*

### ► Activités complémentaires envisageables

- Observer des photographies de chromosomes métaphasiques en microscopie électronique pour mettre en évidence la structure fibrillaire du matériel chromosomique.
- Étudier des documents concernant les groupes sanguins du système ABO pour mettre en évidence l'existence d'allèles, et montrer que deux gènes situés au même niveau sur deux chromosomes homologues ne contiennent pas forcément les mêmes informations.



### **3- Poser le problème scientifique et proposer une hypothèse [travail collectif]**

Toutes les cellules de l'organisme, quelle que soit la fonction qu'elles remplissent, renferment les mêmes chromosomes, donc possèdent la même information génétique que la cellule-œuf dont elles proviennent par divisions successives.

Comment l'information génétique portée par l'ADN peut-elle se transmettre à l'identique au cours des divisions cellulaires successives ?

En d'autres termes, comment est-il possible qu'à partir de la cellule-œuf on puisse obtenir plus de 60 000 milliards de cellules possédant toutes autant d'ADN que la cellule de départ ?

#### **► Activités élèves**

- Formuler une hypothèse pour répondre à la question posée.

[réponse attendue : l'ADN doit être recopié puis réparti de façon identique entre les cellules résultant de la division de la cellule initiale de façon à ce que chacune d'elles détienne l'ensemble de l'information qui était dans la cellule mère]

- Imaginer une conséquence vérifiable de l'hypothèse.

[réponse attendue : si l'hypothèse est juste, on devrait observer un doublement de la quantité d'ADN contenu dans la cellule avant que celle-ci ne se divise]

#### **► Objectifs méthodologiques**

- Construire une hypothèse, pratiquer un raisonnement déductif, communiquer.

#### **► Activités complémentaires envisageables**

- Comparer les caryotypes de cellules issues de l'évolution de la cellule-œuf afin de mettre en évidence le maintien des chromosomes, de leurs caractéristiques et de leur nombre au cours de la division cellulaire.

### **4- Exploiter un document pour tester l'hypothèse [travail collectif]**

Projeter le transparent « Évolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire ».

#### **► Activités élèves**

- Décrire l'évolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire ; conclure sur la validité de l'hypothèse précédemment formulée.

[réponse attendue : l'hypothèse est validée → avant de se diviser, la cellule double sa quantité d'ADN]

- Comparer le contenu des noyaux d'une cellule au repos et d'une cellule en division ; expliquer les différences observées.

[réponse attendue : lorsqu'une cellule entre en division, les filaments d'ADN se condensent, ce qui rend visibles les chromosomes]

- Comparer la structure des chromosomes en début et en fin de division cellulaire, et expliquer par quel mécanisme l'information génétique peut être répartie équitablement entre les deux cellules filles.

[réponse attendue : en début de division, chaque chromosome est formé de deux chromatides ; au moment de la division, chaque chromosome se clive au niveau du centromère en deux chromosomes à une chromatide chacun, chacune des cellules produites héritant d'une des copies.]

- Expliquer pourquoi les chromosomes disparaissent une fois la division cellulaire achevée.

[réponse attendue : après la division les chromosomes se décondensent]

*Pour faciliter le travail des élèves dans la phase d'autonomie (cf. 5) l'enseignant pourra illustrer les observations précédentes à l'aide de deux cordons identiques (même taille, même couleur) en modélisant successivement la réplication de l'ADN, sa condensation en chromosome, le clivage du chromosome puis la décondensation de chaque demi chromosome.*

#### **► Objectifs méthodologiques**

- Reasonner, communiquer.

#### **► Notions abordées**

- Comment l'ADN se transmet-il de cellule en cellule ?

Quelques heures avant la division cellulaire chaque nucléofilament d'ADN se dédouble (réplication), ce dédoublement aboutissant à deux molécules d'ADN rigoureusement identiques, liées entre elle au niveau du

centromère (zone non répliquée). Ces nucléofilaments se spiralisent, s'épaissent et prennent l'aspect de bâtonnets en X appelés chromosomes. C'est le seul moment de la vie cellulaire où ces derniers sont bien visibles. En début de division cellulaire, chaque chromosome est donc formé de deux chromatides strictement identiques, chacune correspondant à une molécule d'ADN. Au moment de la division, l'enveloppe du noyau se désagrège ; chaque chromosome se clive en deux au niveau du centromère. Les chromatides sœurs se séparent l'une de l'autre et constituent deux lots identiques. Chacun des deux lots rejoint une extrémité de la cellule. Deux enveloppes se reconstituent pour créer de nouveaux noyaux, et les deux cellules filles, chacune possédant rigoureusement le même matériel génétique que la cellule initiale, se séparent.

La réplication de l'ADN suivie de la répartition en deux lots identiques des chromatides entre les cellules filles permet d'assurer la transmission conforme de l'information génétique contenue à l'origine dans la cellule-œuf au cours des divisions cellulaires successives.

- Quel est l'intérêt pour la cellule de présenter son ADN sous forme déroulée entre les divisions cellulaires et de le condenser sous forme de chromosomes entre les divisions ?

Entre les divisions cellulaires, la forme déroulée de l'ADN permet à la molécule d'être répliquée. Sous sa forme condensée, cette réplication ne serait pas possible.

La condensation intervient pour compacter l'ADN et individualiser les chromosomes obtenus, facilitant ainsi la répartition du génome

☞ Si on déroulait les 46 molécules d'ADN d'une seule cellule humaine, ces dernières mises bout à bout mesureraient près de 2 mètres de long ; on peut aisément imaginer que sans chromosomes, tout l'ADN d'une cellule en fin de réplication formerait un fouillis inextricable, et compliquerait quelque peu la séparation du matériel génétique en deux lots strictement identiques...

➤ **Activités complémentaires envisageables**

- Observer un vidéogramme présentant le comportement des chromosomes lors de la division cellulaire.

## **5- Reconstituer un phénomène biologique à l'aide d'un modèle analogique** **[travail en autonomie]**

Distribuer à chaque groupe d'élèves une sphère contenant 4 cordons déroulés (2 cordons longs, un bleu et un rouge et deux cordons moyens, un bleu et un rouge) ; leur donner séparément quatre cordons complémentaires et une deuxième sphère.

➤ **Activités élèves**

- Utiliser le matériel proposé pour modéliser la division d'une cellule contenant 2 paires de chromosomes.
  - Présenter l'animation à la classe (un groupe).

➤ **Objectifs méthodologiques**

- Utiliser un modèle analogique, communiquer.

## **6- Traduire ses observations sous forme d'un schéma légendé [travail en autonomie]**

Distribuer aux élèves une trame de schéma à compléter (cf. annexe)

➤ **Activités élèves**

- Compléter un schéma bilan.

[réponse attendue : cf. schéma en annexe]

- Décrire de manière simple le devenir de l'ADN et des chromosomes au cours de la vie cellulaire.

➤ **Objectifs méthodologiques**

- Représenter, communiquer.

➤ **Activités complémentaires envisageables**

- A partir de l'exemple des groupes sanguins ABO et Rhésus\* et à l'aide du modèle analogique, justifier le caractère conforme de la transmission de l'information génétique au cours de la division cellulaire (en d'autres termes montrer que les cellules filles récupèrent exactement la même information génétique - ici les groupes sanguins - que la cellule mère dont elles sont issues).

🕒 Outre le matériel précédemment utilisé (cf. 5), distribuer aux élèves les pièces allèles ABO et Rhésus. Chaque groupe travaille sur un groupe sanguin (ex. AB Rh<sup>+</sup>Rh<sup>-</sup>) et insère les couples d'allèles sur les cordons avant de modéliser la réplication de l'ADN suivie de la condensation des chromosomes et de la division cellulaire. Veiller à ce que les élèves positionnent bien les couples d'allèles à même distance du centromère sur chacun des chromosomes concernés - au besoin fixer une valeur (ex. à 5 cm du centromère pour les chromosomes portant les allèles ABO, à 10 cm pour les chromosomes portant les allèles Rh<sup>+</sup>/Rh<sup>-</sup>). respectivement localisés sur les chromosomes n°9 et n°1.

- Compléter le schéma précédemment réalisé en représentant sur les molécules d'ADN et sur les chromosomes les deux couples d'allèles étudiés..

#### Pistes d'évaluation formative

- Formuler une hypothèse (Ra)
- Conclure sur la validité d'une hypothèse (Ra)
- Utiliser un modèle analogique (Re)
- Compléter un schéma bilan (C)

#### Prolongements envisageables

Vérifier l'acquisition et la compréhension des mécanismes de la méiose en organisant un jeu (« La grande loterie de l'hérédité ») mettant en compétition les différents groupes d'élèves.

##### ➤ Préparation

Distribuer à la moitié des groupes 4 sphères, 4 cordons bleus (2 x 2 longs et 2 x 2 moyens), 4 pièces allèles A, 4 pièces allèles O, 4 pièces allèles + et 4 pièces allèles - , à l'autre moitié 4 sphères, 4 cordons rouges (2 x 2 longs et 2 x 2 moyens), 4 pièces allèles B, 4 pièces allèles O, 4 pièces allèles + et 4 pièces allèles -.

##### ➤ But du jeu

Obtenir un « enfant » de groupe AB<sup>+</sup>.

##### ➤ Activités élèves

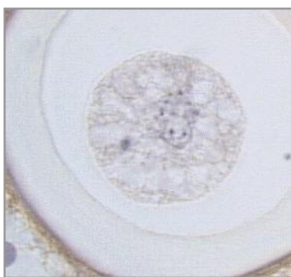
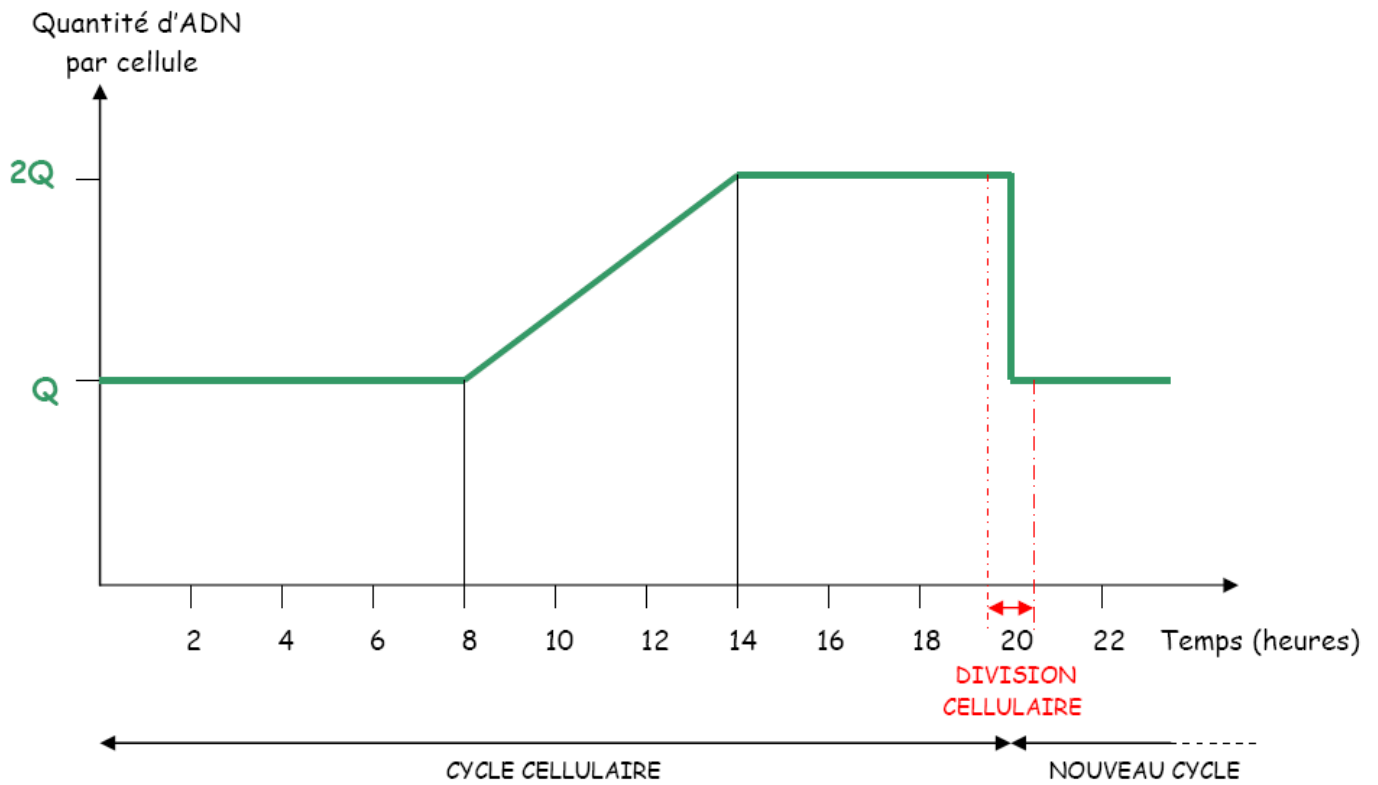
- Construire une cellule souche de spermatozoïdes d'un homme de groupe sanguin AO Rh<sup>+</sup>Rh<sup>-</sup> (resp. une cellule souche d'ovules d'une femme de groupe sanguin BO Rh<sup>+</sup>Rh<sup>-</sup>) en ne modélisant que les paires de chromosomes n° 1 et n° 9.
  - 🕒 Toutes les cellules d'un homme du groupe AO, en particulier celles à l'origine des spermatozoïdes, contiennent les gènes A et O, même si ces derniers ne s'expriment que dans les globules rouges (même remarque pour les cellules souches d'ovules d'une femme de groupe BO).
- Fabriquer 4 gamètes (spermatozoïdes ou ovules selon les cas) à partir de cette cellule souche en respectant les différentes étapes de la double division étudiée en classe (réplication de l'ADN - condensation en chromosomes- séparation aléatoire des chromosomes homologues - disjonction des chromatides).
- Faire vérifier par l'enseignant les quatre lots de chromosomes obtenus avant d'enfermer chacun d'eux dans une sphère en plexiglas (noyau du gamète).
- Introduire l'ensemble des sphères dans un sac plastique opaque.
- Tirer un gamète au hasard et aller « féconder » un ovule (resp. un spermatozoïde) fabriqué par un autre groupe, tiré lui aussi au hasard ; reconstituer les paires de chromosomes homologues <sup>(1)</sup> avant d'enfermer l'ensemble des cordons dans une sphère (noyau de la cellule-œuf).  
(1) Les couleurs des chromosomes permettent de bien visualiser l'appariement des chromosomes paternels et maternels.
- Les deux premiers groupes qui réussissent à obtenir une cellule-œuf AB<sup>+</sup> seront déclarés vainqueurs...  
Remarques
  - Selon la nature des gamètes formés par chacun des groupes, il est possible que l'obtention d'un « enfant » AB<sup>+</sup> se révèle impossible (gamètes A<sup>-</sup>/O<sup>+</sup> d'une part, B<sup>-</sup>/O<sup>+</sup> d'autre part).
  - On pourra signaler aux élèves que l'on retrouve la cellule-œuf étudiée en 6 ; cette dernière en se divisant va transmettre son programme génétique à l'identique à toutes ses cellules filles et construire un nouvel individu original, unique, différent de chacun de ses parents et de tous les autres individus de son espèce.

- Sur le même principe, l'enseignant pourra choisir de travailler sur les chromosomes sexuels pour montrer que le sexe de l'enfant dépend du spermatozoïde. Il suffit de remplacer un des deux cordons bleus moyens par le cordon bleu court (Y), sur lequel aura été clipé au préalable le gène SRY (Sex determining Region of chromosom Y, noté Y sur la pièce colorée). Le but du jeu sera alors par exemple d'obtenir un « garçon » du groupe AB.

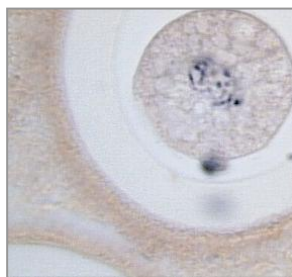
► Objectifs

- Vérifier que les élèves ont bien compris le processus de séparation des paires chromosomiques.
- Montrer que chaque gamète de même provenance contient des informations génétiques différentes.
- Montrer que la fécondation assure l'appariement des paires chromosomiques paternelle et maternelle.
- Montrer que l'hérédité est une vaste loterie où le hasard intervient deux fois (au moment de la formation des gamètes et au moment de la fécondation).

# ÉVOLUTION DE LA QUANTITÉ D'ADN AU COURS DU CYCLE CELLULAIRE



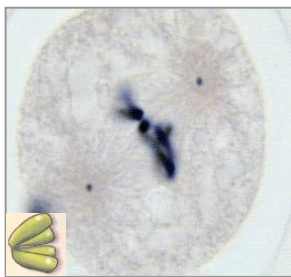
t = 4h  
(Cellule au repos)



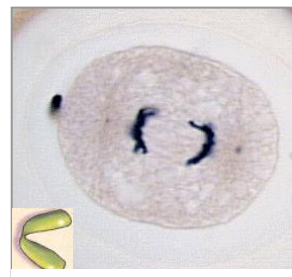
t = 19h15  
(Début de division)



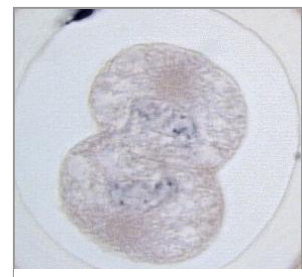
t = 19h40  
(Division en cours)



t = 19h45  
(Division en cours)



t = 19h50  
(Division en cours)



t = 20h15  
(Fin de division)

Quelques étapes de la division d'une cellule-œuf d'ascaris ( $2n = 4$ )

## QUELQUES DATES DE L'HISTOIRE DE LA GÉNÉTIQUE

- 1665** Robert Hooke observe la structure cellulaire du liège.
- 1831** Robert Brown identifie les noyaux dans les cellules.
- 1839** Matthias Schleiden & Theodor Schwann énoncent la première théorie cellulaire : «Tous les êtres vivants, animaux et végétaux, sont constitués de cellules». Rudolf Virchow complète la théorie cellulaire : toute cellule provient d'une autre cellule («*Omni cellula e cellula* »).
- 1865** Gregor Mendel découvre les lois fondamentales de l'hérédité (héritage de « facteurs »).
- 1889** Johann Miescher isole la « nucléine » à partir du pus.
- 1866** Ernst Haeckel fait l'hypothèse que l'information héréditaire est transmise par le noyau.
- 1879** Walter Fleming décrit le comportement des chromosomes au cours du cycle cellulaire.
- 1902** Walter Sutton & Theodor Heinrich Boveri formulent indépendamment la théorie chromosomique de l'hérédité (les gènes sont portés par les chromosomes).
- 1909** Wilhelm Johannsen emploie pour la première fois le mot « gène » pour désigner les « facteurs » de Mendel.
- 1911** Thomas Hunt Morgan confirme la théorie chromosomique de l'hérédité avec ses travaux sur la drosophile.
- 1924** Robert Feulgen montre que les chromosomes sont constitués d'acides nucléiques.
- 1928** Frederick Griffith découvre la transformation bactérienne chez le pneumocoque.
- 1944** Oswald Avery, Colin MacLeod & Maclyn MacCarthy mettent en évidence le rôle des acides nucléiques comme support de l'information génétique.
- 1949** Erwin Chargaff montre que pour une espèce animale donnée, une molécule d'ADN comprend toujours la même quantité d'adénine et de thymine, et la même quantité de cytosine et de guanine.
- 1953** James Watson & Francis Crick décrivent la structure en double hélice de la molécule d'ADN.
- 1956** Joe Han Tjio & Albert Levan montrent que les cellules humaines contiennent 46 chromosomes.
- 1959** Jérôme Lejeune montre que le syndrome de Down est lié à une anomalie chromosomique.
- 1960** Moorhead réalise la première analyse chromosomique.
- 1967** Har Gobind Khorana réussit le décryptage complet du code génétique.
- 1974** Roger D. Kornberg décrit la structure de la chromatine (nucléosomes).
- 1975** Fred Sanger & Alan Coulson mettent au point la technique de séquençage de l'ADN.
- 1990** Lancement de l'HGP (Human Genome Project).
- 1999** Première séquence complète d'un chromosome humain (chromosome 22).
- 2000** Séquençage du chromosome 21.
- 2001** Séquençage du chromosome 20.
- 2003** Séquençage du chromosome 14.

## SUR LE WEB...

- Un site très complet sur la biologie cellulaire conçu par l'université Pierre et Marie Curie, à Paris.  
<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/sommaires/bc.htm>
- Une section « A l'intérieur de la cellule » dans ces pages réalisées par le Musée canadien de la nature.  
[http://www.nature.ca/genome/03/c/10/03c\\_10\\_f.cfm](http://www.nature.ca/genome/03/c/10/03c_10_f.cfm)
- Développé par le Laboratoire de génétique humaine, développement et cancer à Bordeaux, le site « Planète Gène » propose des dossiers et divers documents sur la génétique.  
<http://www.planetegene.com>
- Une présentation très accessible de la notion de gène, réalisée avec le soutien du Fonds national suisse de la recherche scientifique. En prime : un dictionnaire, un index, et la possibilité de poser des questions.  
[http://www.gene-abc.ch/index\\_f.html](http://www.gene-abc.ch/index_f.html)
- « Il était une fois l'ADN », version française du site pédagogique du Cold Spring Harbor Laboratory.  
<http://edumed.unige.ch/dnaftb/index.php>
- Le séquençage du génome humain, sur le site du Génoscope.  
<http://www.cns.fr/externe/Francais/Questions/FAQ.html>