

## 2

## La reproduction

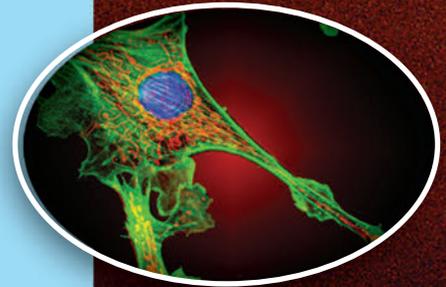
Une fois sortis de leur œuf, les saumons sauvages atteignent au bout de 20 à 30 mois une taille suffisante pour être vendus dans les magasins. Une pisciculture de Terre-Neuve-et-Labrador élève les saumons AquAdvantage<sup>MC</sup>. Ce sont des saumons modifiés génétiquement qui atteignent deux fois plus rapidement la taille requise pour la vente. Les spécialistes en génie génétique doivent bien comprendre l'hérédité et la reproduction pour réaliser leurs travaux. Ils doivent aussi étudier les conséquences de la reproduction en captivité sur la survie des populations de saumons sauvages.

## *Contenu du module*

**4**

### **Le noyau et le contrôle des fonctions vitales**

- 4.1 Le rôle du noyau dans la cellule
- 4.2 Les mutations



**5**

### **La mitose, base de la reproduction asexuée**

- 5.1 Le cycle cellulaire et la mitose
- 5.2 La reproduction asexuée

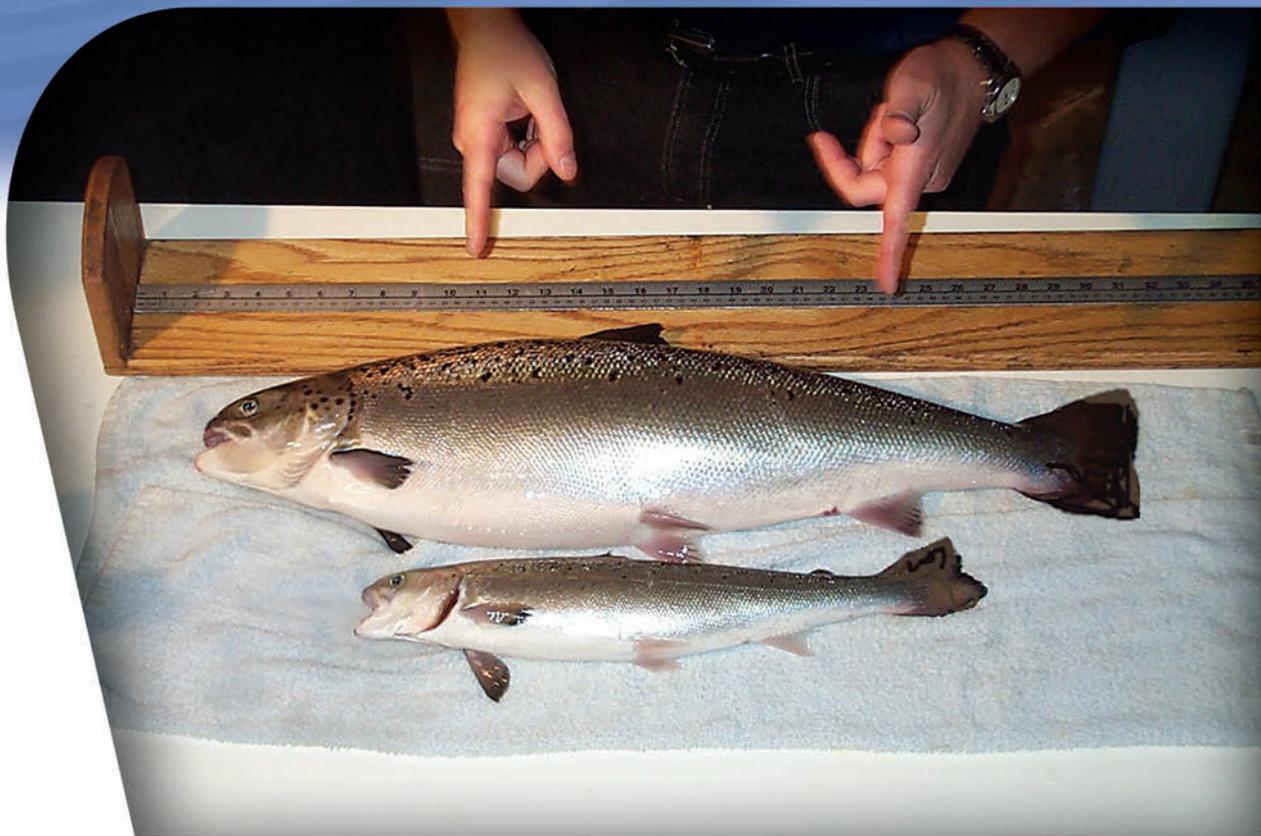


**6**

### **La méiose, base de la reproduction sexuée**

- 6.1 La méiose
- 6.2 La reproduction sexuée
- 6.3 Les appareils reproducteurs de l'homme et de la femme
- 6.4 Les modifications génétiques





## Lien Internet

Plusieurs plantes cultivées ont été modifiées génétiquement pour changer ou améliorer certaines de leurs caractéristiques. Pour en savoir plus sur les produits approuvés par Santé Canada pour la consommation humaine, rends-toi à l'adresse indiquée ci-dessous et suis les étapes.

[www.cheneliere.ca](http://www.cheneliere.ca)

**E**s-tu prêt à consommer de la viande provenant d'animaux modifiés génétiquement? On trouve des plantes modifiées génétiquement dans les supermarchés depuis le milieu des années 1990, mais Santé Canada n'a toujours pas approuvé la vente de viande provenant d'animaux clonés ou modifiés génétiquement.

Tous les organismes naissent avec un ensemble de caractères qui déterminent leur apparence, leur fonctionnement et leur comportement. Ces caractères sont transmis d'un organisme à ses descendants grâce à la reproduction. En génie génétique, on manipule l'ensemble des caractères d'un organisme pour obtenir des descendants avec certains caractères. Le clonage consiste pour sa part à obtenir des descendants dont l'ensemble des caractères est une copie exacte de l'ensemble des caractères d'un organisme donné.

L'entreprise Aqua Bounty Technologies a utilisé les techniques du génie génétique pour introduire une hormone de croissance dans des œufs de saumon de l'Atlantique. Ces saumons grandissent plus vite que les saumons d'élevage traditionnels. Cela pourrait être une bonne nouvelle pour les pisciculteurs. Ils pourraient ainsi réduire leurs coûts en nourriture et vendre leurs poissons plus rapidement. Cependant, certains s'inquiètent que ces poissons puissent constituer un danger pour les écosystèmes naturels s'ils s'échappaient des piscicultures et entraînent en compétition avec les saumons sauvages de l'Atlantique pour la nourriture.

Les porcs Enviropig<sup>MC</sup> sont modifiés génétiquement et produits à l'Université de Guelph, en Ontario. Ils n'ont pas été conçus pour grandir plus vite ou pour avoir meilleur goût, mais pour avoir moins d'impacts sur l'environnement que les autres porcs. Le fumier de porc comporte habituellement beaucoup de phosphore végétal non digéré. Ce phosphore s'infiltré dans le sol pour atteindre les lacs et les rivières et peut nuire à l'équilibre des écosystèmes et aux poissons. Le porc Enviropig<sup>MC</sup> digère mieux ce phosphore végétal, et ses excréments sont ainsi moins nocifs pour les écosystèmes d'eau douce. Cependant, les consommateurs demeurent toujours réticents à manger de la viande d'organismes modifiés génétiquement.



Les excréments du porc Enviropig<sup>MC</sup> contiennent jusqu'à 60 % moins de phosphore que ceux des autres porcs.

## Conçois ton repas

## ACTIVITÉ d'exploration

Les scientifiques en génie génétique peuvent manipuler les caractères qu'un organisme transmet à ses descendants au cours de la reproduction. La technologie leur permet de sélectionner certains caractères désirables des espèces végétales et animales cultivées et élevées. Au cours de cette activité, tu étudieras si le génie génétique devrait être utilisé pour ces organismes.

### Ce que tu dois faire

1. Travaille en équipe de trois ou quatre. Ensemble, choisissez un organisme utilisé comme aliment : par exemple, des bananes, des cacahuètes, du saumon ou des tomates.
2. Dressez une liste de quatre modifications que vous pourriez introduire dans cet organisme pour l'améliorer. Évaluez les caractéristiques liées à la qualité du produit, à son impact environnemental, à sa facilité et à son coût de production.

3. Pour chaque modification, énumérez les avantages et les inconvénients possibles. Inscrivez vos conclusions dans un tableau comme celui présenté ci-dessous.
4. Décidez entre vous s'il y a plus d'avantages que d'inconvénients pour chaque modification choisie.

### Qu'as-tu découvert ?

1. Avez-vous eu des difficultés à être tous d'accord ? Explique pourquoi.
2. Votre décision était-elle la même pour toutes les modifications ? Si vous croyez qu'il y a plus d'avantages que d'inconvénients, est-ce que cet avis est le même pour toutes les modifications ou bien change-t-il selon les cas ?

Organisme :

Modification	Avantages	Inconvénients	Y a-t-il plus d'avantages que d'inconvénients ?
1.			
2.			
3.			
4.			

# Le noyau et le contrôle des fonctions vitales

**S**i tu as déjà mis le doigt sur un poêle chaud, tu sais que tu réagis très vite en retirant ta main de la source de la chaleur. Ce sont tes *neurones*, les cellules nerveuses de ton corps, qui sont responsables de cette réaction. Les neurones, comme celui illustré ci-dessus, sont à l'origine de tous nos mouvements, de toutes nos pensées et de toutes nos sensations. Les neurones reçoivent les sensations perçues par les yeux, les oreilles, le nez, la langue et la peau et transmettent ces renseignements au groupe de neurones qui forment le cerveau. C'est là que l'information est traitée. Les neurones transmettent alors des messages aux cellules des muscles pour déclencher un mouvement.

Comment un neurone parvient-il à faire toutes ces tâches complexes? Comme presque toutes les cellules animales, une cellule nerveuse est contrôlée par son noyau. Le noyau envoie des messages au reste de la cellule, ce qui lui permet de remplir ses fonctions: obtenir et transformer des nutriments en énergie, croître, se reproduire et éliminer les déchets. Dans ce chapitre, tu apprendras comment le noyau conserve l'information nécessaire pour contrôler les activités des neurones ou des autres cellules de ton corps. Tu verras aussi ce qui arrive lorsque cette information est modifiée.

## Mon organisateur graphique\*

Habiletés en lecture et en écriture

### Ce que tu apprendras

À la fin de ce chapitre, tu pourras :

- **décrire** comment le noyau contrôle le fonctionnement, la croissance et la division d'une cellule ;
- **faire la distinction** entre les gènes et les chromosomes ;
- **décrire** les facteurs capables de modifier l'information génétique d'une cellule ;
- **comprendre** comment se produisent les mutations.

### Pourquoi est-ce important ?

Comprendre ce que sont les gènes et comment le noyau contrôle les activités cellulaires permet de comprendre comment les cellules fonctionnent et comment les mutations se produisent. En améliorant leurs connaissances du noyau, les scientifiques continueront, par exemple, de faire progresser les thérapies géniques qui peuvent corriger des mutations et traiter les personnes atteintes de maladies génétiques.

### Les compétences que tu utiliseras

Dans ce chapitre, tu devras :

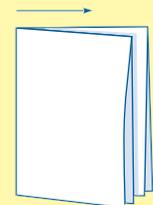
- **classer** les mutations géniques ;
- **expliquer** comment le noyau contrôle les activités d'une cellule ;
- **décrire** des exemples de technologies qui ont été mises au point grâce à la compréhension du fonctionnement cellulaire.

Prépare ton aide-mémoire repliable pour prendre des notes sur ce que tu apprendras dans le chapitre 4.

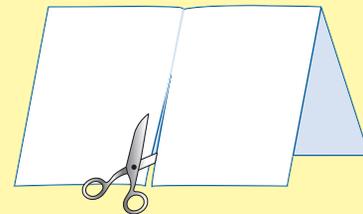
**ÉTAPE 1** Plie horizontalement une feuille de papier en deux.



**ÉTAPE 2** Replie verticalement la feuille en deux.



**ÉTAPE 3** Déplie le papier verticalement, mais laisse-le plié dans le sens horizontal. **Coupe** seulement la partie avant de la pliure verticale.



**ÉTAPE 4** **Inscris** les titres suivants sur les onglets : « Information emmagasinée dans le noyau » et « Mutations modifiant l'information emmagasinée dans le noyau ».



**Lis et écris** Sous chaque onglet, résume ce que tu as appris dans le chapitre à l'aide d'expressions ou de dessins qui illustrent les notions apprises.

\* Tiré et adapté de *Dinah Zike's Teaching Mathematics with Foldables*, Glencoe/McGraw-Hill, 2003.

## 4.1 Le rôle du noyau dans la cellule

### Notions scientifiques de la section

- Le noyau contrôle les fonctions d'une cellule vivante.
- À l'intérieur du noyau, les chromosomes sont constitués d'acide désoxyribonucléique, ou ADN.
- L'ADN contient l'ensemble des instructions de référence pour le fonctionnement de la cellule. Les gènes sont de petits segments d'ADN.
- Les gènes contiennent l'information servant à produire les protéines qui accomplissent notamment les activités de la cellule.

### Mots clés

acide désoxyribonucléique (ADN)  
caractère  
chromosome  
gène  
hérédité  
noyau

La couleur de tes yeux, le timbre de ta voix ou la taille de ton nez sont des caractères que tes parents biologiques t'ont transmis. Un **caractère** est une caractéristique particulière qui peut varier en taille et en forme d'un individu à l'autre dans une même espèce (voir la figure 4.1A). La combinaison de caractères chez un organisme dépend de l'information génétique qu'il a reçue de ses parents (voir la figure 4.1B). L'**hérédité** est la transmission, par un individu à ses descendants, de ces combinaisons de caractères.



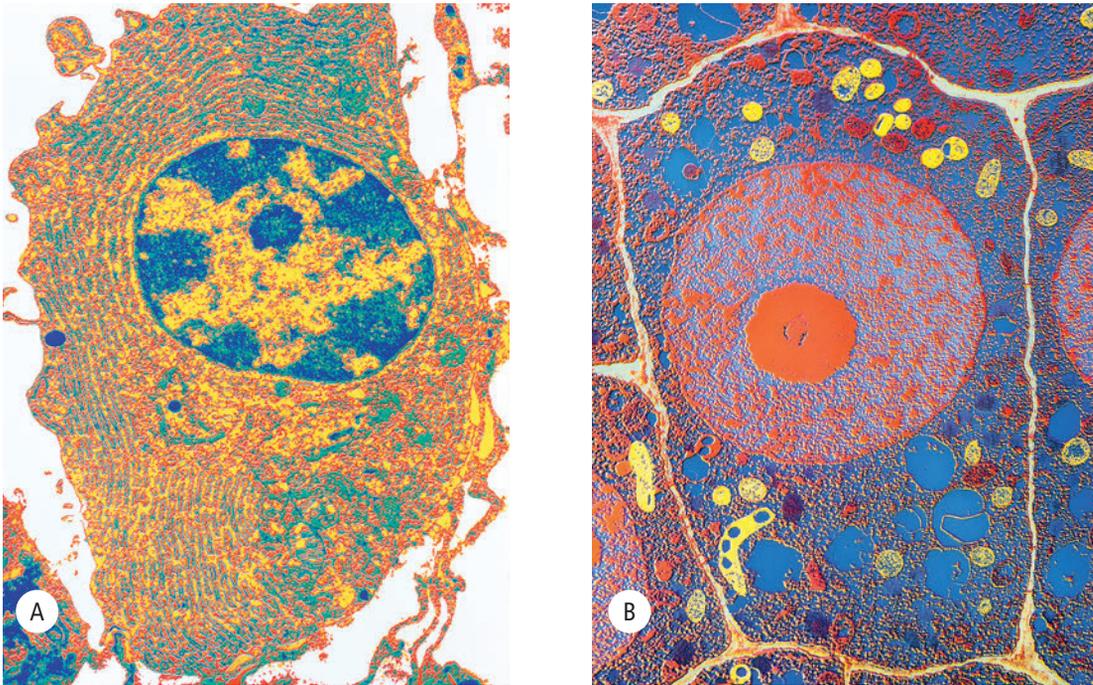
**Figure 4.1A** Chaque chien basset présente des différences de caractères : par exemple, la forme des oreilles, la couleur du pelage ou la disposition des taches.



**Figure 4.1B** On peut observer des ressemblances entre les membres d'une même famille puisque les caractères sont transmis des parents à leurs enfants.

## Le noyau, grand responsable de l'hérédité

Tu as déjà appris que tous les organismes sont composés d'une ou de plusieurs cellules. Tu te rappelles peut-être aussi que les cellules végétales, animales et les autres types de cellules sont composés d'organites, comme la membrane cellulaire, le cytoplasme, les mitochondries et le noyau. Chaque organite remplit certaines fonctions au sein de la cellule. Le **noyau** est responsable de l'hérédité et du contrôle des fonctions cellulaires (voir la figure 4.2). L'information conservée dans le noyau oriente la production ou l'obtention des substances nécessaires à la survie des cellules. Cette information détermine aussi si tu auras les yeux verts, bruns ou bleus, ou si ton nez ressemblera à celui de ton père ou à celui de ta mère.



**Figure 4.2** Le noyau est le gros organite central qui se trouve dans les cellules animales (A) et végétales (B).

### Vérifie ta lecture

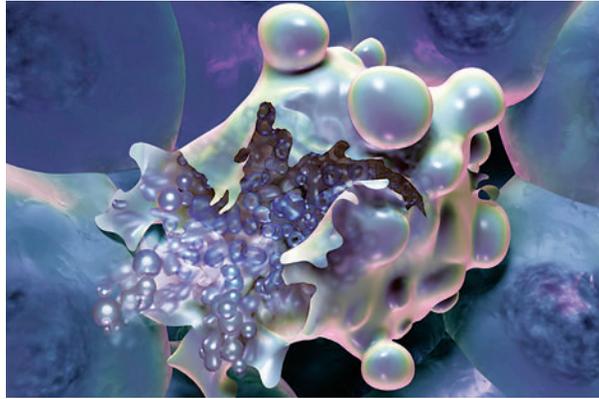
1. Fournis un exemple de caractère.
2. Qu'est-ce que l'hérédité?
3. Où l'information héréditaire est-elle emmagasinée?

## Le savais-tu ?

Si le noyau contrôle toutes les fonctions d'une cellule, on pourrait croire que toutes les cellules de ton corps contiennent un noyau. Ce n'est pourtant pas le cas. Les globules rouges à maturité n'ont pas de noyau. Comment ces cellules parviennent-elles à se développer et à fonctionner sans instructions ? Pendant leur formation, les globules rouges contiennent un noyau qui leur fournit toute l'information nécessaire pour arriver à maturité. À ce stade, le noyau se désintègre pour laisser plus d'espace au transport de l'oxygène.

## Le noyau, centre de contrôle de la cellule

Pour observer l'illustration sur cette page et regarder ton enseignante ou ton enseignant, tu utilises différentes cellules de la rétine de tes yeux. Chaque cellule de ton corps contient les mêmes éléments et organites cellulaires. Pourtant chaque cellule a une fonction précise. Alors, comment les cellules de la rétine deviennent-elles des cellules de rétine et non des cellules d'os ? La réponse se trouve dans le noyau. Le noyau contient les instructions qui déterminent le type de cellule, son fonctionnement, sa croissance, quand elle se divisera et quand elle mourra (voir la figure 4.3).



**Figure 4.3** Voici une cellule en train de mourir. La mort cellulaire est importante pour la croissance et pour le cycle de vie d'un organisme. Quand tu étais un embryon, tes doigts ont commencé à se former lorsque le noyau des cellules présentes entre tes doigts ont donné l'ordre à ces cellules de mourir.

## Le noyau : une boîte noire

Les scientifiques appellent « boîte noire » quelque chose dont on ne peut pas observer le fonctionnement interne. Le noyau d'une cellule est ainsi une boîte noire, parce que les activités qui s'y déroulent ne sont pas toujours visibles ou comprises.

Au cours de cette activité, tu prendras conscience des limites et des défis auxquels les scientifiques doivent faire face pour explorer l'inconnu. Tu utiliseras deux outils pour explorer l'intérieur d'une boîte scellée. À partir de l'information obtenue, tu essaieras de déduire le contenu de la boîte.

### Matériel

- une boîte noire
- un tampon d'ouate
- une paille
- du ruban adhésif transparent
- une brochette en bois

### Ce que tu dois faire

1. Ton enseignant ou ton enseignante te remettra une boîte fermée avec un trou sur le dessus. N'ouvre pas la boîte et ne regarde pas par le trou.

## 4-1A ACTIVITÉ d'exploration

2. Fixe le tampon d'ouate à une extrémité de la paille avec du ruban adhésif pour obtenir une sonde.
3. Insère cette sonde à l'intérieur de la boîte. Détermine ce qui se trouve dans la boîte en déplaçant la sonde à l'intérieur. Trace un schéma de tes observations dans ton cahier de notes.
4. Reprends l'étape 3 avec la brochette (sans tampon d'ouate). Utilise la pointe comme sonde. Trace un second schéma en y indiquant toute tes nouvelles découvertes.

### Qu'as-tu découvert ?

1. Énumère autant d'hypothèses que possible sur le contenu de la boîte.
2. Quelles sont les difficultés que tu as éprouvées lorsque tu sondais l'intérieur de la boîte ?
3. Explique comment tu as pu surmonter ces difficultés.
4. Compare les observations obtenues avec la paille et celles obtenues avec la brochette en bois.

## L'ADN : l'ensemble des instructions nécessaires au fonctionnement de la cellule

Dans le noyau, les instructions se trouvent sur de longues molécules à deux côtés appelées **acide désoxyribonucléique** ou **ADN**. La molécule d'ADN ressemble à une échelle enroulée (voir la figure 4.4). Les deux côtés, ou brins, d'ADN s'enroulent l'un autour de l'autre. Ils forment une spirale qu'on appelle une double hélice.

Chaque brin de l'échelle d'ADN est composé de molécules de sucre et de phosphate. Chaque barreau de l'échelle est constitué d'une paire de bases azotées représentées soit par les lettres A (adénine) et T (thymine), soit par les lettres G (guanine) et C (cytosine). La figure 4.5 illustre la structure d'une molécule d'ADN.



Figure 4.4 Un modèle d'une molécule d'ADN

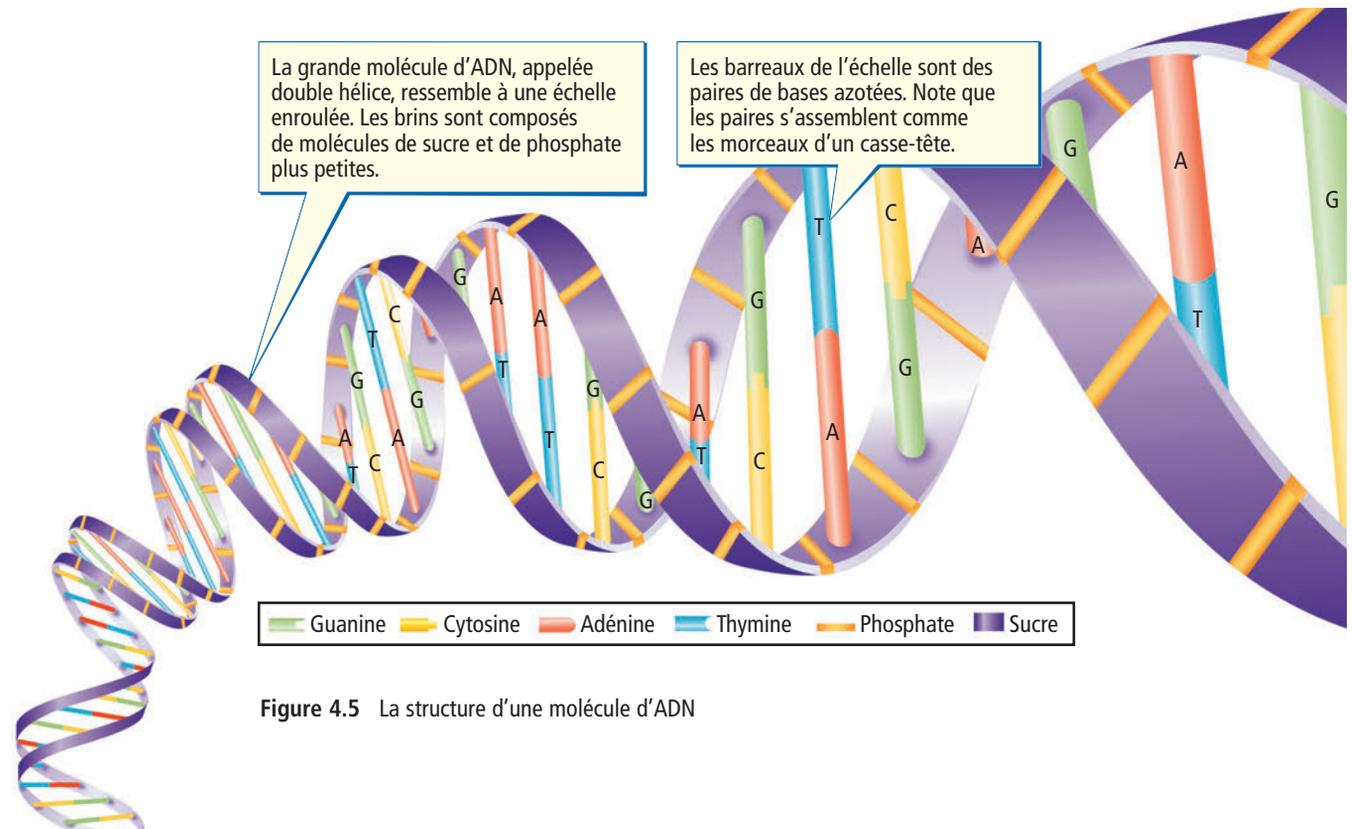


Figure 4.5 La structure d'une molécule d'ADN

## L'arrangement des bases dans l'ADN et le contrôle de toutes les activités cellulaires

Ce qui se produit dans la cellule dépend en grande partie de l'arrangement des bases dans la molécule d'ADN. Cet arrangement est connu sous le nom de message ADN. Comme tu peux le remarquer à la figure 4.5, chaque base azotée d'un brin est liée à une base azotée de l'autre brin de la façon suivante :

- A est toujours avec T ;
- G est toujours avec C.

Cependant, leur ordre et leur nombre peuvent beaucoup varier. Chez les êtres humains, une seule molécule d'ADN peut comporter plusieurs millions de paires de bases.

## Comment l'ADN est-il entreposé ?

La plupart du temps, l'ADN est lâchement enroulé à l'intérieur du noyau (voir la figure 4.6). Lorsque la cellule grandit, l'ADN se déroule et participe à la fabrication des protéines. Les protéines sont des matériaux essentiels pour la cellule. Cette dernière en a besoin pour réaliser les activités nécessaires à sa survie.

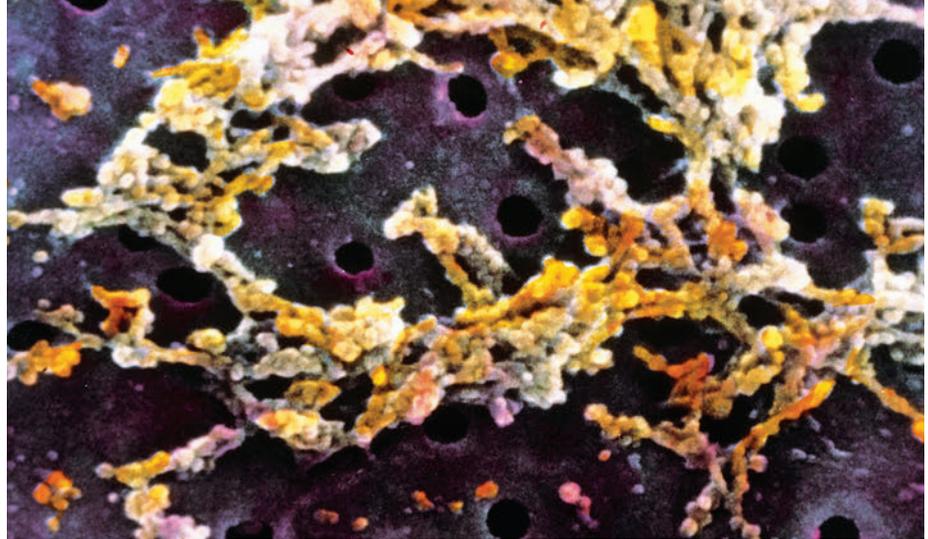


Figure 4.6 L'ADN est visible dans le noyau et est partiellement enroulé.

Lorsqu'une cellule est sur le point de se diviser, les brins d'ADN sont lâchement enroulés selon une structure très compacte en forme de X appelée **chromosome**. La figure 4.7 montre la relation entre l'ADN et les chromosomes.

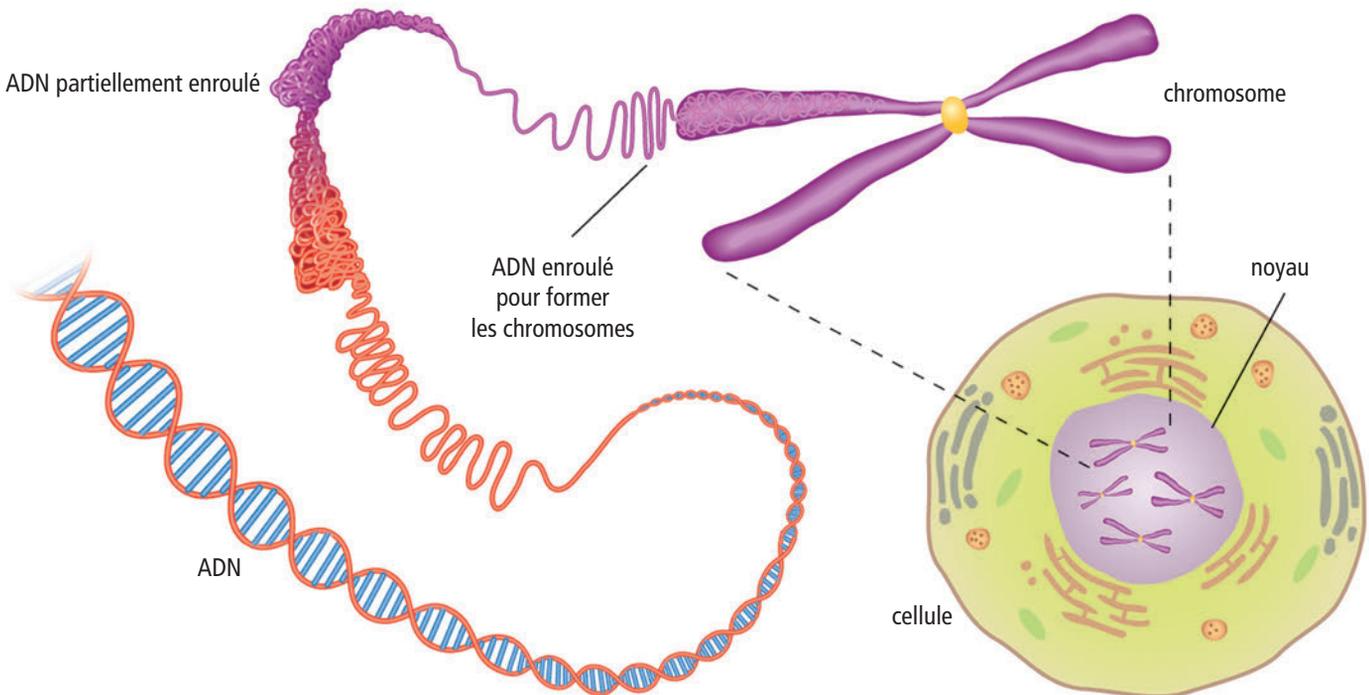


Figure 4.7 En prévision de la division cellulaire, l'ADN est lâchement enroulé pour former des chromosomes.

## Chaque organisme possède un nombre caractéristique de chromosomes

Dans le noyau, les chromosomes se présentent par paire. La plupart des cellules humaines possèdent 46 chromosomes arrangés en 23 paires, dont une paire de chromosomes qui déterminent le sexe (voir la figure 4.8). Chez les hommes, la 23<sup>e</sup> paire de chromosomes est la paire XY, tandis que chez les femmes, c'est la paire XX. Chaque être vivant, comme le montre le tableau 4.1, possède un nombre caractéristique de chromosomes.

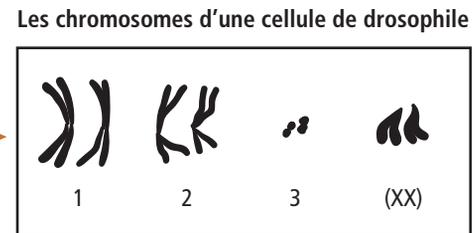
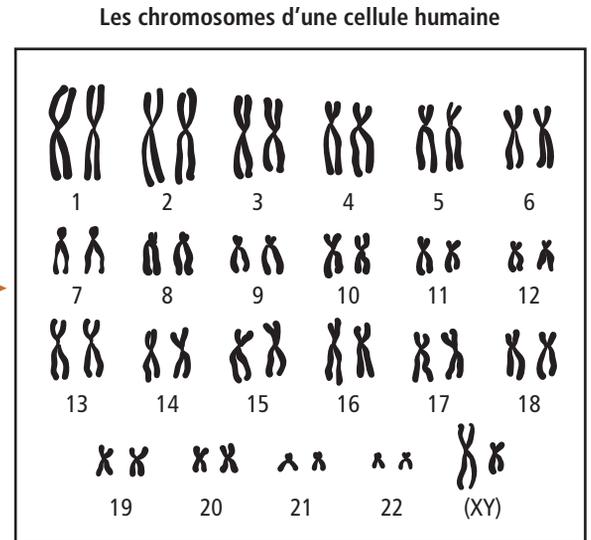
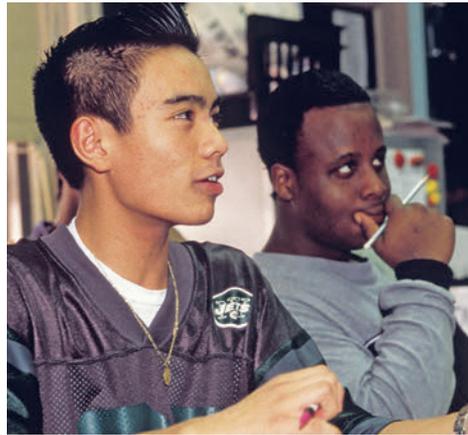


Figure 4.8 Les chromosomes d'une cellule humaine comparés à ceux d'une cellule de drosophile

Tableau 4.1 Les nombres de chromosomes de différents organismes

Organisme	Nombre de chromosomes	Organisme	Nombre de chromosomes
	46		20
	60		80
	78		44

### Le savais-tu ?

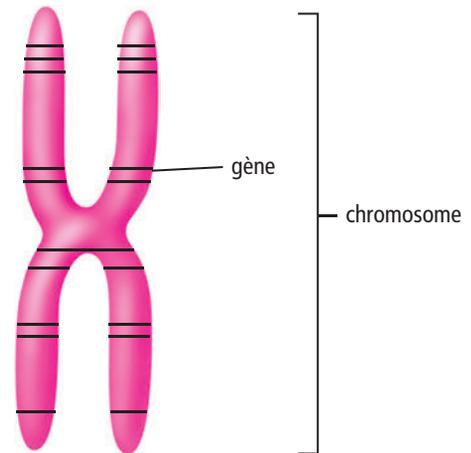
Un génome représente toute l'information génétique contenue dans les chromosomes d'une cellule vivante. Les scientifiques du Projet génome humain, terminé en 2003, ont découvert que les cellules humaines possèdent environ 3 milliards de paires de bases. Ces bases contiennent l'information pour produire de 25 000 à 35 000 gènes. (On estime maintenant qu'il y a seulement entre 20 000 et 25 000 gènes codant les protéines.)

## Les gènes se trouvent sur les chromosomes

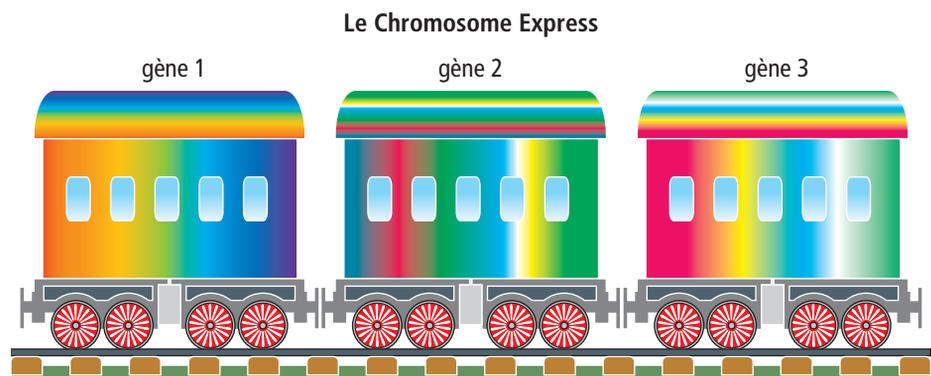
Les **gènes** sont de petits segments d'ADN situés à des endroits précis sur un chromosome (voir la figure 4.9). Les gènes contiennent les instructions nécessaires pour fabriquer les 90 000 à 100 000 protéines différentes utilisées par les cellules de ton corps.

Dans un gène, la disposition des bases sert généralement à produire une protéine particulière. Les gènes peuvent être composés de centaines ou même de milliers de bases. Chaque chromosome porte des milliers de gènes. Chaque chromosome contient donc les instructions pour fabriquer des milliers de protéines différentes.

Les mots « gène » et « chromosome » sont souvent employés pour désigner la même chose. Ils ont en fait des significations bien différentes. Le gène est un segment d'ADN qui contient les instructions codées pour produire un caractère particulier. Le chromosome est composé de gènes et contient les instructions codées pour produire des milliers de caractères. Si tu compares le chromosome à un train, chaque wagon du train représente un gène individuel (voir la figure 4.10).



**Figure 4.9** Les gènes se trouvent sur les chromosomes et contiennent chacun les instructions pour produire une protéine.



**Figure 4.10** La comparaison avec un train peut t'aider à comprendre la différence entre les gènes et les chromosomes.

## Les protéines déterminent l'évolution et le fonctionnement des cellules du corps

Chaque cellule de ton corps possède la même quantité d'information génétique contenue dans ses 46 chromosomes. Cependant, dans chaque cellule, seulement certains gènes sont « lus » afin de produire des protéines particulières. En fabriquant des protéines, une cellule se spécialise pour

remplir une fonction particulière. Voilà pourquoi les cellules de ta rétine sont différentes de celles de tes ongles d'orteils. Les cellules spécialisées se regroupent pour former des tissus (comme ta rétine). Les tissus se regroupent ensuite pour former des organes (comme tes yeux).

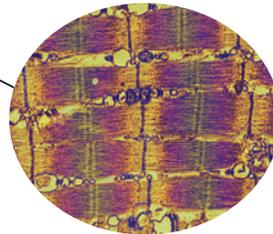
Par conséquent, les protéines nécessaires au fonctionnement de tes muscles ne sont fabriquées que dans les cellules de tes muscles. Les protéines qui te permettent de lire cette page sont produites uniquement dans les cellules de tes yeux (voir la figure 4.11).



Les cellules de la rétine de l'œil fabriquent des protéines permettant de voir.



Les cellules de l'estomac produisent des protéines permettant de digérer la nourriture.



Les cellules des muscles des jambes fabriquent des protéines permettant de skier.

**Figure 4.11** Bien que toutes les cellules de ton corps contiennent les mêmes gènes, seuls certains gènes, comme le montrent les trois exemples à droite, seront lus pour produire des protéines particulières.

Des milliers de protéines spécialisées et différentes, appelées enzymes, accélèrent les centaines de réactions chimiques qui se produisent dans chaque cellule. Par exemple, les enzymes digestives interviennent dans des réactions chimiques pour décomposer la nourriture en nutriments (des molécules) qui fournissent de l'énergie aux cellules.

Certaines protéines sont des messagers chimiques appelés hormones. Par exemple, le rôle de l'hormone de croissance est de préparer une cellule à la division cellulaire. Elle agit de manière à ce que la cellule ait assez de nutriments pour se diviser.

### Vérifie ta lecture

1. Combien de chromosomes possède une cellule du corps humain ?
2. a) Que sont les gènes ?  
b) Où se trouvent-ils ?
3. Les cellules de ta rétine et de tes muscles contiennent le même ADN. Pourquoi ces cellules fonctionnent-elles différemment ?

# Incredroyable, mais vrai !

## Des gènes brillants

Le processus qui permet aux lucioles de briller les nuits d'été afin d'attirer un partenaire a également éclairé la biotechnologie. Les lucioles produisent une enzyme (une protéine) appelée la luciférase. Cette enzyme participe à une réaction chimique qui produit de la lumière. La production de lumière par des êtres vivants est appelée bioluminescence.

Dans la luciole, des bio-ingénieurs ont isolé le gène qui contient l'information pour produire de la luciférase. Ces scientifiques sont aussi capables de retirer le gène de la luciole, d'en faire des copies en laboratoire et de les insérer dans un autre organisme. Cette opération est appelé la recombinaison d'ADN.

Prélever des gènes d'une plante ou d'un animal et les transférer dans une autre plante ou un autre animal crée un organisme transgénique. Une plante ou un animal transgénique possède dans son noyau de l'ADN provenant d'une autre plante ou d'un autre animal.



Les bio-ingénieurs ont ainsi créé des organismes transgéniques qui brillent dans le noir. Des porcs, des souris et des singes « qui brillent dans le noir » permettent aux scientifiques de suivre les activités à l'intérieur d'une cellule. Plus une cellule marquée à la luciférase émet de lumière, plus l'activité dans cette cellule est intense.

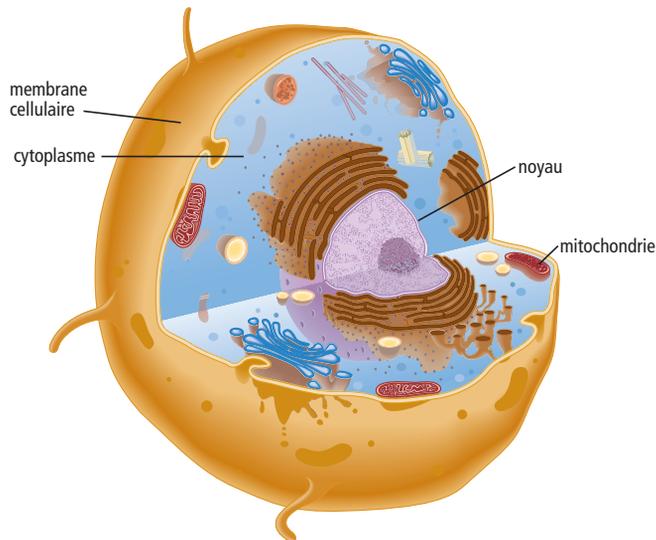
Dans le futur, les scientifiques pourraient utiliser le transfert de gènes d'un organisme à un autre pour accélérer l'évaluation de nouveaux médicaments et de nouveaux traitements géniques. Par exemple, si la cellule ayant reçu un gène fluorescent émet de la lumière, les scientifiques sauront que ce gène a bien pénétré dans la cellule. On pourrait utiliser les techniques de transfert de gènes pour traiter des maladies comme le diabète, le SIDA et le cancer. Les gènes fluorescents pourraient aider à identifier et à traiter les cellules endommagées par des crises cardiaques ou par des maladies neurologiques, comme les maladies d'Alzheimer ou de Parkinson. Les cellules cancéreuses qui brillent indiqueraient aux chirurgiens exactement où ils doivent couper pour retirer une tumeur.

Le gène de la fluorescence de la luciole pourrait encore permettre de nombreuses découvertes médicales dans le futur. En effet, ce gène est peu coûteux et facilite l'observation de l'activité cellulaire. Et contrairement à d'autres substances chimiques utilisées pour surveiller l'activité cellulaire, la luciférase n'est pas radioactive. Elle n'est donc pas néfaste à l'organisme qui la reçoit.

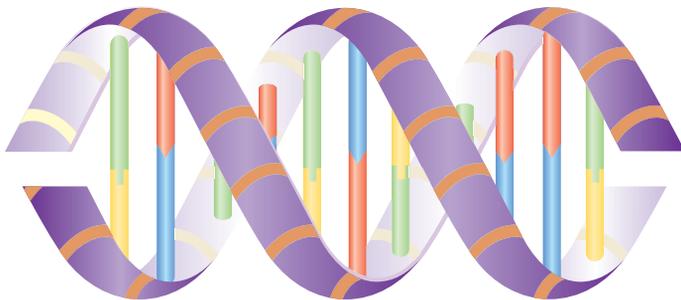


## Des concepts à retenir

1. Dans le schéma de la cellule ci-dessous, à quel endroit l'information héréditaire est-elle emmagasinée ?



2. Pourquoi dit-on que le noyau est le « centre de contrôle » de la cellule ?
3. Quelle est la différence entre un gène et un chromosome ?
4. Fais un dessin simple d'un chromosome et indique où se trouve un gène.
5. Explique le rôle des gènes dans une cellule.
6. Quel rôle la molécule illustrée ci-dessous joue-t-elle dans l'hérédité ?



## Des concepts clés à comprendre

7. Les ressemblances entre les membres d'une même famille sont-elles liées au noyau cellulaire ? Explique ta réponse.

8. Explique comment le noyau contrôle les fonctions de la vie.
9. Qu'est-ce qui différencie une cellule de la peau d'une cellule nerveuse ?
10. Dans les globules rouges, l'hémoglobine est une protéine qui transporte l'oxygène. Explique pourquoi cette protéine n'est pas fabriquée dans une cellule de la peau.
11. Prédis ce qui arriverait à une cellule si une protéine indispensable n'était pas produite dans cette cellule.
12. L'ADN est parfois lâchement enroulé alors qu'à d'autres moments, il est structuré sous forme de chromosomes. À ton avis quelle en est la raison ?
13. Si tu compares les bases de l'ADN à un alphabet chimique, comment décrirais-tu les gènes et les chromosomes dans ce contexte ?

## Pause réflexion

On désigne parfois l'ADN comme le code de la vie. Selon toi, pourquoi les scientifiques ont-ils utilisé ces termes pour décrire l'ADN ?

## 4.2 Les mutations

### Notions scientifiques de la section

- Une mutation génique est une modification de l'ordre des bases A, G, C et T dans un gène.
- Les mutations géniques peuvent être positives, négatives ou neutres.
- Les mutagènes sont des substances ou des facteurs pouvant causer des mutations dans l'ADN.
- Une forme de thérapie génique consiste à remplacer un mauvais gène par une copie saine de ce gène.

### Mots clés

mutagène  
mutation génique

### Le savais-tu ?

L'ADN extrait des os d'un mammouth laineux de Sibérie vieux de 43 000 ans suggère que ces animaux aient pu avoir un pelage d'une couleur autre que le brun présenté dans les musées. En examinant les gènes responsables de la couleur du pelage, les scientifiques ont en effet conclu que des mammouths laineux ayant un pelage blond, roux ou noir ont dû également exister.

### Suggestion d'activité

Activité d'exploration 4-2A, à la page 123.



**Figure 4.12** Cet ours Kermode blanc est un exemple de mutation du gène codant la couleur du pelage.

L'ours Kermode blanc habite les forêts tempérées humides de l'Ouest canadien (voir la figure 4.12). Connu sous le nom d'ours Esprit, ou *Moksgm'ol*, l'ours Kermode blanc est un animal important dans la culture traditionnelle de la Première Nation Tsimshian. L'ours Esprit est le résultat d'une mutation génique. Une **mutation génique** est un changement de l'ordre précis des bases A, G, C et T dans la séquence d'un gène. Une des bases peut manquer, une autre base peut avoir été ajoutée ou encore avoir été remplacée par une autre. Chez les ours Kermode noirs, il y a dans le gène responsable de la couleur du pelage une mutation d'une seule base, une fois sur 10, qui entraîne un pelage blanc. Pour engendrer un ours blanc, les deux parents doivent donc posséder ce gène modifié que le rejeton recevra en deux copies. Pour protéger les populations d'ours Kermode, les populations d'ours noirs doivent aussi être protégées, car ceux-ci peuvent être porteurs du gène qui produit des ours blancs.

L'ours Esprit est blanc à cause d'une mutation génique. Dans un gène, la séquence de l'ADN est interprétée par groupes de trois bases. Chez l'ours Kermode, la séquence des bases donnant un pelage blanc est différente de celle des bases donnant un pelage noir. La substitution, la suppression ou l'ajout d'une base changera donc le sens du message ADN. Dans cette activité, tu apprendras comment ces trois types de mutations géniques modifient la protéine produite dans une cellule.

### Ce que tu dois faire

1. Afin d'expliquer les mutations géniques, les scientifiques comparent parfois les séquences d'ADN aux lettres dans une phrase. Étudie les renseignements fournis dans le tableau ci-dessous. Ce tableau indique les résultats de la substitution ou de la suppression d'une lettre dans une phrase. Ces résultats sont comparés à ceux observés lorsqu'on substitue ou qu'on enlève une base dans un gène.

2. Copie la séquence d'ADN suivante dans ton cahier. Sépare la séquence en groupes de trois bases.  
CATGCCTGACGTCTGATGCCA
3. À l'aide des renseignements du tableau, détermine si chacune des séquences suivantes correspond à la substitution, à la suppression ou à l'ajout d'une base. Pour chaque cas, indique sur la séquence d'ADN copiée dans ton cahier là où la mutation d'une base s'est produite.
  - a) CATGCCTGACCTCTGATGCCA
  - b) CATGCCTGACGTCTGAGCCAA
  - c) CATGCCTGACGTCTGATGGCCA

### Qu'as-tu découvert ?

1. Quels types de mutations géniques seraient les moins néfastes pour une cellule ? Explique ta réponse.
2. Quels types de mutations géniques seraient les plus néfastes pour une cellule ? Explique ta réponse.

Exemple de mutations dans une phrase	Comparaison avec les mutations géniques
TonratLéostmonami carsonnidestsûr.	La phrase de départ sans espaces est comme la séquence de bases d'un gène.
Ton rat Léo est mon ami car son nid est sûr.	La phrase est lue par groupes de trois lettres et a un sens. La séquence d'ADN, lue par groupes de trois bases, permet la fabrication de la bonne protéine.
Son rat Léo est mon ami car son nid est sûr.	Lorsqu'une seule lettre est remplacée par une autre, la phrase est encore compréhensible. Lorsqu'une seule base est remplacée par une autre, le gène peut quand même permettre la fabrication de la bonne protéine.
Tor atL éoe stm ona mic ars onn ide sts ûr.	La perte de la lettre « n » dans le mot « ton » fait en sorte que la phrase n'a plus de sens quand elle est regroupée en mots de trois lettres. La perte d'une base dans la séquence d'ADN d'un gène entraînera une mutation. Par conséquent, une protéine complètement différente et inutile pour la cellule sera produite. L'ajout d'une lettre dans la phrase lui enlèverait également son sens. De la même manière, l'ajout d'une base dans la séquence d'ADN d'un gène entraînerait la production d'une protéine complètement différente et inutile pour la cellule.

## Le savais-tu ?

On estime que nos gènes représentent seulement 3 % de l'ADN de nos chromosomes. Certains scientifiques ont désigné les 97 % restants par le terme « ADN égoïste » ou « non codant ». D'après des recherches, plus un organisme est complexe, plus il possède d'ADN égoïste. Comme les gens prévoyants qui épargnent pour de futurs jours difficiles, l'ADN égoïste agirait comme gène de secours ou protégerait contre les mutations géniques. Les recherches dans ce domaine se poursuivent.

## Les conséquences des mutations

Une mutation génique se produit lors d'un changement de l'ordre précis des bases A, G, C et T, ce qui cause une modification d'un gène.

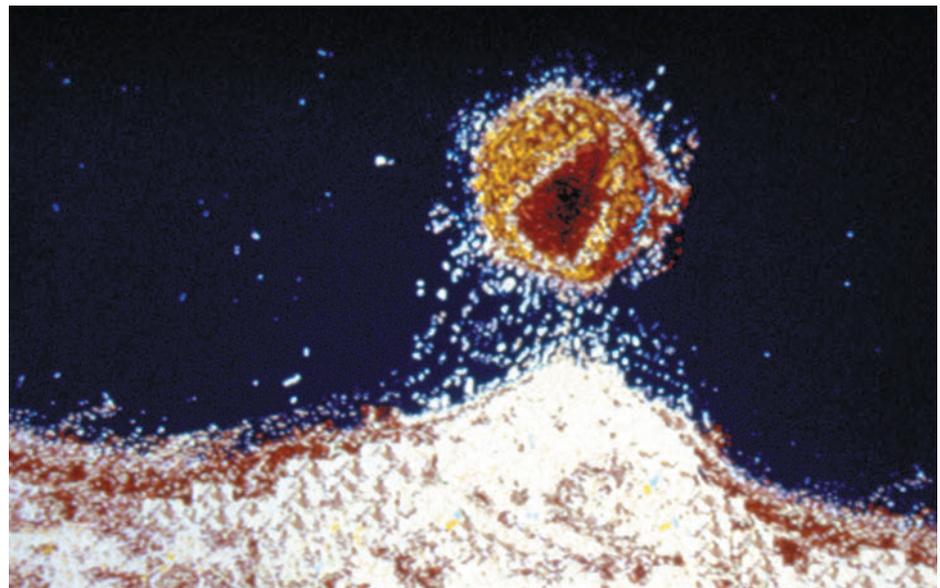
Les mutations peuvent se produire à tout moment au cours de la vie d'une cellule. Les types de mutations géniques sont entre autres :

- une délétion (une partie de l'ADN est perdue ou effacée) ;
- une addition (une paire de bases a été ajoutée) ;
- une substitution (une base a été remplacée par une autre).

Des erreurs dans la séquence des bases de l'ADN peuvent entraîner la fabrication de protéines bénéfiques à un organisme. Ces erreurs peuvent par conséquent être favorables à sa survie. Ces mutations sont appelées « mutations positives ». Les mutations néfastes, ou « mutations négatives », peuvent causer la disparition d'un organisme. Cependant, certaines erreurs dans la séquence des bases de l'ADN ne semblent pas avoir d'effets sur l'organisme. Ces mutations sont appelées « mutations neutres ».

## Les mutations positives

Dans le monde, des millions de personnes sont infectées par le virus de l'immunodéficience humaine (VIH). Par conséquent, la majorité d'entre elles seront atteintes du syndrome d'immunodéficience acquis (SIDA). La figure 4.13 montre une particule de VIH actif. Il n'existe pas de traitement ni de vaccin (une substance qui confère une immunité contre une infection) contre le VIH et le SIDA. Cependant, on a découvert que certaines personnes résistent au VIH. Ces personnes possèdent un gène ayant muté et contenant les instructions pour la production d'une protéine qui empêche le VIH de les infecter. Ce type de mutation est un exemple de mutation positive.



**Figure 4.13** Une particule de VIH s'échappe d'un globule blanc du type lymphocyte T. Le VIH infecte les lymphocytes T et leur fait produire d'autres particules. Chez les personnes bénéficiant de la mutation positive, la particule de VIH ne peut pas infecter les lymphocytes T.

Certaines plantes ont développé une résistance à des infections bactériennes et fongiques. Ainsi, des mutations géniques positives ont engendré chez ces plantes des protéines bénéfiques qui les protègent contre les agents pathogènes responsables de ces maladies (voir la figure 4.14).



**Figure 4.14** La plante à l'extrême gauche bénéficie d'une mutation positive qui la protège contre la maladie affectant les trois autres plantes.

 **Lien Internet**

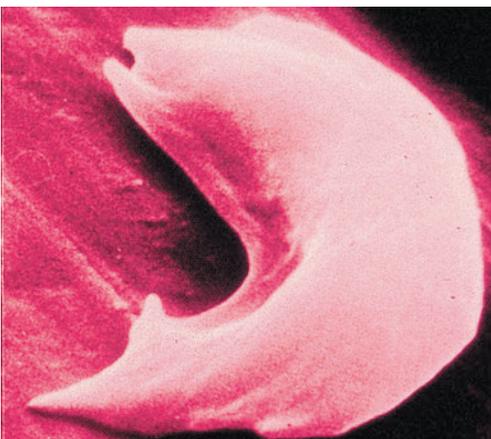
Il existe d'autres types de mutations capables de modifier l'information contenue dans l'ADN. Pour en savoir plus sur ce sujet, rends-toi à l'adresse indiquée ci-dessous et suis les étapes.

[www.cheneliere.ca](http://www.cheneliere.ca)

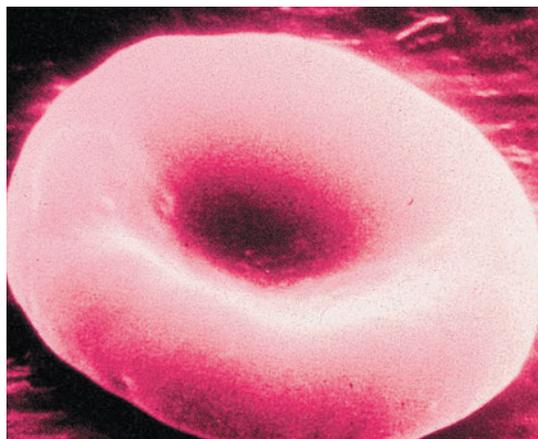
### Les mutations négatives

De petites modifications dans la séquence des bases peuvent également entraîner des mutations négatives. Les mutations négatives réduisent les chances de reproduction ou de survie des organismes porteurs de ces mutations. La substitution d'une base A par une base T en seulement un endroit du gène de l'hémoglobine modifie la forme de cette protéine. Cette molécule d'hémoglobine de forme différente est responsable de la drépanocytose (voir la figure 4.15). Le transport de l'oxygène par ces molécules de forme anormale n'est pas efficace. Elles bloquent également la circulation sanguine, ce qui cause de la douleur et endommage souvent les organes, car le sang qui transporte les nutriments ne peut plus atteindre les poumons, le foie et les reins.

**A**



**B**



**Figure 4.15** Les porteurs du gène de la drépanocytose possèdent des globules rouges en forme de C (A). Les globules rouges normaux sont en forme de disque (B).



## Lien Internet

Des scientifiques canadiens ont contribué à la découverte du gène responsable de la fibrose kystique. Pour en savoir plus sur leur façon de repérer ce gène et sur la nature du travail des généticiens moléculaires, rends-toi à l'adresse indiquée ci-dessous et suis les étapes.

[www.cheneliere.ca](http://www.cheneliere.ca)

La fibrose kystique est une autre maladie génétique causée par une mutation. En fait, la maladie peut être causée par plus de 1300 mutations différentes dans un gène. Le Programme canadien de recherche scientifique pour l'innovation thérapeutique efficace (RESPIRE) a été créé afin d'approfondir les connaissances actuelles sur le gène responsable de la fibrose kystique. Chez la personne atteinte de fibrose kystique, on observe notamment une accumulation de mucus, car la protéine qui transporte normalement les ions chlorure à travers la membrane cellulaire n'est pas fabriquée correctement. Comme cette protéine ne remplit pas bien son rôle, la concentration d'ions chlorure augmente, ce qui modifie l'épaisseur du mucus dans les poumons. Cela rend donc la respiration difficile. Tous les jours, une prise d'antibiotiques et une séance de physiothérapie sont nécessaires pour prévenir les infections pulmonaires (voir la figure 4.16). L'accumulation de mucus empêche également le suc pancréatique de s'écouler dans l'intestin grêle.



**Figure 4.16** Afin de limiter l'accumulation de mucus dans les poumons, les patients atteints de fibrose kystique suivent des séances de physiothérapie pour dégager leurs voies respiratoires.

### Les mutations neutres

Tout comme la substitution d'une lettre dans une phrase peut ne pas en changer le sens, la substitution d'une base dans la séquence d'ADN d'un gène peut ne pas avoir de répercussion sur un organisme. La même protéine sera produite et pourra encore jouer normalement son rôle. Par exemple, chez une souris, si une mutation se produit dans un gène responsable de la couleur brune du pelage, ce gène pourrait encore produire le même pigment brun. La modification correspondant à la mutation n'augmente ni ne diminue l'espérance de vie de l'organisme. Ce type de mutation sans effet sur l'organisme est appelé une « mutation neutre ». La mutation génique produisant la couleur blanche du pelage de l'ours Esprit est également considérée comme une mutation neutre.

## Les mutagènes

Les **mutagènes** sont des agents physiques ou chimiques pouvant causer des mutations dans l'ADN. Tout comme un virus informatique modifie les instructions dans un logiciel, un virus biologique peut modifier les instructions conservées dans les gènes. Quand des virus biologiques atteignent l'ADN, certains gènes peuvent être mal lus ou mal copiés. La fumée de cigarette, les rayons X, les rayons ultraviolets, des polluants comme le mercure et même des produits chimiques domestiques sont des exemples de mutagènes environnementaux qui peuvent causer des mutations.

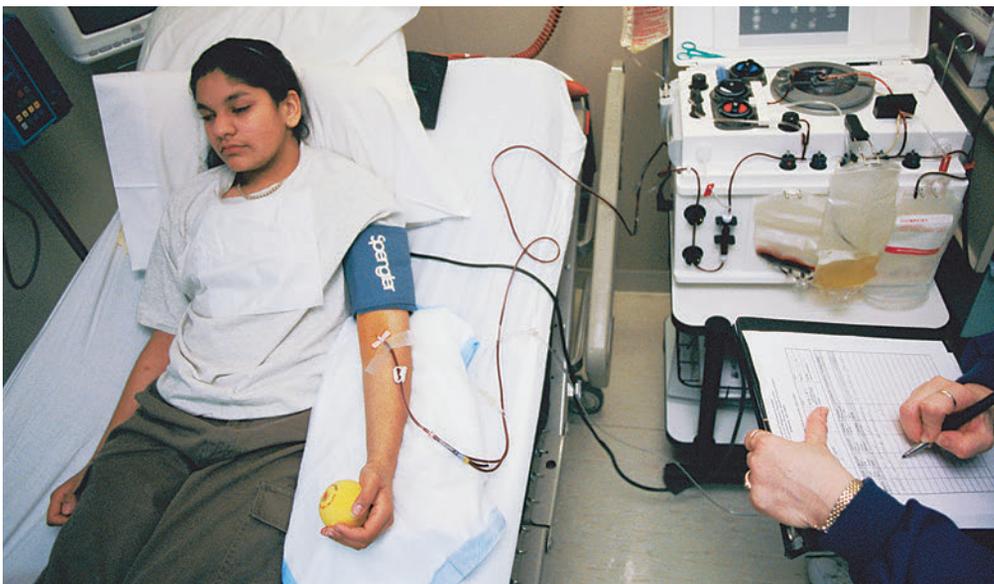
Lorsque l'ADN est altéré, les protéines d'une cellule ne sont plus fabriquées correctement. Au chapitre 5, tu apprendras comment ces protéines non fonctionnelles peuvent perturber le cycle de vie d'une cellule et causer le cancer.

### Vérifie ta lecture

1. Pourquoi l'ours Esprit est-il blanc?
2. Qu'est-ce qu'une mutation génique?
3. Comment les virus causent-ils des mutations?
4. Donne deux origines des mutagènes.
5. Donne trois exemples de mutagènes environnementaux.

## La correction des mutations

Tu as lu comment certaines mutations géniques peuvent causer des maladies. En ce moment, les traitements les plus efficaces de ces maladies demeurent la prise de médicaments ou la chirurgie. Actuellement, les scientifiques testent une nouvelle technique, la thérapie génique, pour traiter les gènes ayant muté. Une forme de thérapie génique consiste à remplacer un gène ayant muté par une copie saine de ce gène. Cette technique est toutefois risquée. Aussi, la thérapie génique est-elle seulement testée sur des personnes atteintes de maladies incurables (voir la figure 4.17).



### Le savais-tu?

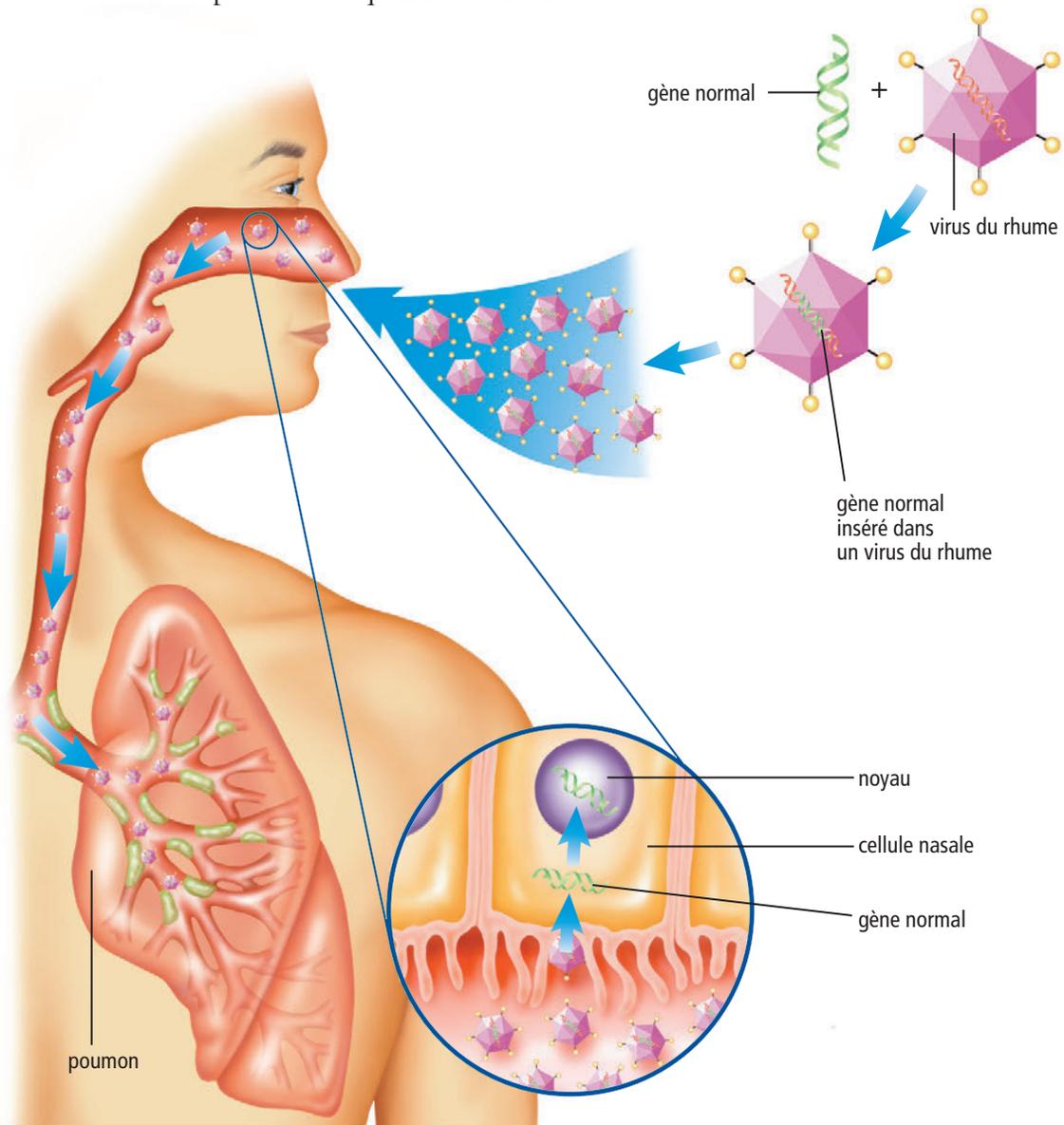
Certains mutagènes sont normalement présent dans la nature, alors que d'autres proviennent des activités humaines. Les rayons ultraviolets, gamma et X sont des sources naturelles de radiation qui peuvent altérer l'ADN. D'autre part, ce sont les humains qui produisent les cigarettes, les produits de nettoyage et les déchets industriels qui contiennent des mutagènes chimiques. Certaines entreprises de tabac, en plus d'avoir des méthodes pour attirer les jeunes, vont jusqu'à introduire de façon délibérée ces mutagènes pour les rendre dépendants.

**Figure 4.17** Ashanti DeSilva a été la première personne traitée par thérapie génique. Les scientifiques espéraient que cette thérapie guérirait le trouble immunitaire rare d'Ashanti en reprogrammant les cellules défectueuses de son système immunitaire afin qu'elles produisent des cellules saines. Cela ne s'est pas produit et Ashanti est toujours traitée par thérapie génique pour l'aider à surmonter sa maladie.

**Suggestion d'activité**

Réfléchis bien 4-2B, à la page 129.

La thérapie génique n'est pas simple. Il s'agit encore d'une intervention médicale très expérimentale. Le généticien doit avoir l'habileté d'un archer qui décoche une flèche vers la cible. La cible, ce sont les cellules contenant des gènes défectueux ayant muté. La flèche utilisée est appelée «vecteur» et est souvent un virus inactif qui apporte le gène sain aux cellules atteintes (voir la figure 4.18). Cependant, le gène sain sera utile seulement si le généticien peut envoyer le vecteur viral dans le noyau de chacune des millions de cellules visées. Ensuite, les cellules du patient doivent arriver à activer ou à «mettre en fonction» ces gènes sains pour produire la bonne protéine. Pour être activé, le gène sain doit d'abord être attaché à un chromosome présent dans les noyaux des cellules du patient. L'opération est réussie quand les instructions portées par le gène sain peuvent être lues et quand la bonne protéine est ainsi produite en quantité suffisante.



**Figure 4.18** Un virus du rhume inactif pénètre dans le corps et apporte le « gène sain » aux cellules affectées par la fibrose kystique.

La thérapie génique peut affecter le système immunitaire et certains patients ne répondent pas bien au traitement. Toutefois, des scientifiques ont annoncé en 2006 qu'une thérapie génique utilisée pour le traitement des mélanomes (un cancer qui débute dans la peau) avait renforcé le système immunitaire d'un patient. En modifiant génétiquement des globules blancs appelés lymphocytes T, les scientifiques ont ainsi pu augmenter la capacité de son système immunitaire à combattre un mélanome avancé.

## Des réflexions sur les thérapies géniques

4-2B

Réfléchis bien

Bien que la thérapie génique ait réussi dans certains cas, les patients courent des risques en participant à des essais cliniques. Certaines personnes craignent aussi de voir la thérapie génique utilisée pour améliorer les caractéristiques génétiques. Par exemple, rendre les muscles de certains athlètes plus forts leur procurerait un avantage injuste sur les autres athlètes. Dans cette activité, tu considéreras le pour et le contre de la thérapie génique.

### Ce que tu dois faire

1. Évalue tes opinions sur la thérapie génique en répondant au questionnaire suivant. Donne une note à chaque énoncé selon l'échelle suivante :

- 1 : fortement en désaccord
- 2 : assez en désaccord
- 3 : neutre
- 4 : assez en accord
- 5 : fortement en accord

- a) Si la thérapie génique permet de guérir une maladie, tout le monde devrait y avoir accès, peu importe son coût.
  - b) Étant donné ses risques, la thérapie génique ne devrait pas être testée sur des êtres humains avant qu'on ne soit sûr qu'elle soit totalement efficace et sécuritaire.
  - c) S'il est prouvé que la thérapie génique est sécuritaire, on pourra l'utiliser pour améliorer les caractères hérités génétiquement, mais à condition que les patients supportent tous les coûts du traitement.
  - d) La thérapie génique ne devrait être qu'un traitement de dernier recours pour des patients gravement malades.
2. Explique la note que tu as attribuée à chacun des énoncés.

### Qu'as-tu découvert ?

1. Résume en un paragraphe ton avis sur la thérapie génique.

## Produire des vaccins avec des bananes

Au Mozambique, en Afrique, une mère amène son bébé à la clinique. Pourtant, elle sait que les médecins ne pourront pas faire grand-chose. La peau et les yeux de son bébé sont jaunes. Le bébé ne veut pas manger et pleure sans arrêt. Pourquoi ? Durant l'accouchement, ce bébé a contracté le virus de l'hépatite B au contact de sa mère. Il survivrait s'il était vacciné. Une vaccination l'immuniserait contre cette maladie. Le vaccin contre l'hépatite B est disponible depuis 25 ans, mais il n'est pas facilement accessible dans les pays en développement. Dans ces pays, environ 20 % des enfants en bas âge ne sont pas vaccinés, ce qui entraîne plus de 2 millions de décès chaque année.

Actuellement, le coût des vaccins est de 100 \$ à 150 \$ par enfant. Il y a une controverse au sujet des produits chimiques utilisés pour la conservation des vaccins, plusieurs devant même être réfrigérés. De plus, mettre en place des centres de vaccination est souvent difficile dans les pays en développement. Toutefois, les biotechniciens pourraient bientôt résoudre ce problème. En effet, ils développent actuellement une protection contre l'hépatite B peu coûteuse et sans douleur. À la place d'une piqûre, les enfants n'auraient qu'à manger une banane.

Les biotechniciens tentent d'injecter des gènes du virus de l'hépatite B dans de jeunes bananiers. Seuls les gènes codant la protéine de l'enveloppe du virus seraient transférés à la banane. À mesure que le bananier pousserait, les cellules de la banane commenceraient à fabriquer cette protéine. Lorsqu'une personne mangerait une de ces bananes, cette protéine passerait à travers l'intestin dans le sang. Comme cette protéine est une substance étrangère, les globules blancs produiraient des anticorps contre cet envahisseur protéique. Cette réponse ressemble à ce qui se produit lors de l'injection d'un vaccin. Si le virus de l'hépatite B pénètre dans le corps de cette personne, les anticorps produits en réponse à la protéine attaqueront le virus envahisseur.

La production de vaccins à partir de bananes aurait plusieurs avantages. On peut manger les bananes crues. D'autres aliments de base comme le riz et les pommes

de terre nécessitent une cuisson qui peut détruire la protéine. On peut aussi facilement écraser les bananes pour les enfants en bas âge. Le coût de chaque vaccin ne serait que de quelques cents, car un bananier peut donner plus de 45 kg de bananes. Contrairement aux autres vaccins, les vaccins dans les bananes n'ont pas besoin de réfrigération ni de personnel médical pour les administrer. En outre, les habitants des pays en développement pourraient cultiver leurs propres bananes transgéniques. Cependant, comme les bananiers prennent trois ans pour atteindre leur maturité, les scientifiques prédisent qu'il faudra au moins dix ans avant d'obtenir un vaccin comestible.



### Questions

1. Calcule combien d'enfants meurent chaque jour dans les pays en développement faute de vaccin.
2. Explique comment une personne ayant mangé une banane transgénique serait protégée contre un virus.
3. Quels seraient les avantages de produire des vaccins au moyen de bananes ?

## Des concepts à retenir

1. Comment une mutation génique peut-elle entraîner des modifications dans un organisme?
2. Pourquoi est-il important de protéger l'ours Kermode noir pour protéger l'ours Esprit?
3. Qu'est-ce qu'un mutagène?
4. Donne un exemple de mutation causée par un mutagène naturel.
5. Donne un exemple de mutation causée par l'activité humaine.
6. Que peut-il arriver lorsqu'un gène ayant muté produit une protéine ne fonctionnant pas correctement? Donne un exemple.

## Des concepts clés à comprendre

7. Des mutations de l'ADN entraînent des changements dans les organismes. Explique pourquoi cela est important pour la survie d'une espèce.
8. Prédise si une mutation qui se produit dans une cellule de la peau d'une personne et qui cause un cancer est transmissible à ses descendants. Explique ta réponse.
9. Un champ de blé est détruit par une maladie. Parmi les plants morts, on trouve trois plants vivants et en santé.
  - a) Explique comment les gènes de ces trois plants peuvent avoir contribué à leur survie.
  - b) Comment l'agriculteur pourrait-il utiliser les plants qui ont survécu pour empêcher que la maladie ne détruise à nouveau sa récolte?
10. Pourquoi est-il important d'être protégé par un tablier en plomb pour passer des radiographies dentaires?

11. Peux-tu te protéger contre tous les mutagènes? Pourquoi?
12. Pourquoi dois-tu toujours prendre des précautions quand tu manipules des substances chimiques?
13. Pourquoi le bronzage peut-il être dangereux pour les cellules de la peau?
14. Les mutagènes sont-ils tous dangereux? Donne un exemple pour appuyer ta réponse.
15. On utilise les radiations électromagnétiques dans plusieurs types d'examen médicaux : les mammographies pour dépister le cancer du sein et les tomographies pour diagnostiquer les cancers du poumon, du foie ou du pancréas. Crois-tu que ces examens présentent plus d'avantages que de risques? Explique ta réponse.

## Pause réflexion

Sachant que les cigarettes contiennent des mutagènes, jusqu'à quel point doit-on réglementer l'usage du tabac? Crois-tu qu'il devrait être complètement interdit de fumer? Rédige un paragraphe pour soutenir ton opinion.

### Prépare ton propre résumé

Dans ce chapitre, tu as étudié le rôle du noyau d'une cellule ainsi que le rôle des gènes dans la production des protéines. Rédige ton propre résumé des idées principales de ce chapitre.

Tu peux ajouter des organisateurs graphiques ou des illustrations à tes notes. (Voir l'Omnicruc 8 sur l'utilisation des organisateurs graphiques.)

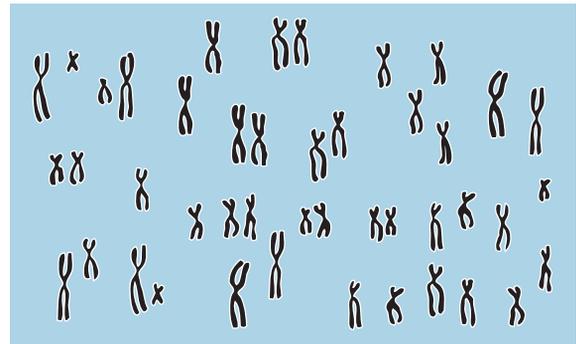
Sers-toi des titres suivants pour organiser tes notes :

1. Le noyau, centre de contrôle de la cellule
2. Les gènes
3. Les mutations

### Des concepts à retenir

1. Selon quels points de vue le noyau est-il comparable à une boîte noire ?
2. Explique pourquoi l'ADN doit être présent dans chaque cellule.
3. Donne trois exemples de caractères chez l'humain.
4. Quel est le rôle du noyau cellulaire dans l'hérédité ?
5. Combien y a-t-il de chromosomes dans une cellule de la peau chez l'humain ?
6. Quelles sont les fonctions des protéines dans les cellules ?
7. Quelle est la différence entre l'ADN et les chromosomes ? Trace un schéma simple pour appuyer ta réponse.
8. Explique pourquoi il est important que la séquence des bases dans l'ADN soit la bonne pour fabriquer des protéines.
9. Décris les conséquences de deux mutations géniques connues.
10. Quelle est la cause des mutations géniques ?
11. Comment peut-on se protéger des mutagènes environnementaux ? Fournis des exemples pour appuyer tes suggestions.

12. On brise une cellule et on observe ses chromosomes au microscope. Un schéma des chromosomes observés est présenté ci-dessous. Cette cellule provient-elle d'un humain ? Explique ta réponse.



### Des concepts clés à comprendre

13. Quel est le lien entre les caractères et les gènes ?
14. Tu lis un article dans une revue où il est question de l'« unité de l'hérédité ». Selon toi, cette expression désigne-t-elle la molécule d'ADN, le gène, le chromosome ou le génome ? Explique ta réponse.
15. Compare la quantité d'ADN dans une cellule de la peau avec celle dans une cellule d'un muscle.
16. Comment fait l'ADN pour qu'une cellule devienne soit une cellule de muscle, soit une cellule de l'estomac ?
17. Selon toi, le nombre de chromosomes d'une cellule animale ou végétale indique-t-il le degré d'évolution de l'organisme ? Pourquoi ?
18. Que se passerait-il si le noyau d'une cellule ne remplissait pas son rôle ?

19. Comment une mutation génique peut-elle influencer la survie d'une espèce ?
20. Certains métiers présentent plus de risques de mutations de l'ADN que d'autres. Nomme cinq métiers présentant plus de risques en matière de mutations et explique tes choix.
21. Crois-tu que tous les caractères d'un organisme sont commandés par un noyau cellulaire ? Explique ta réponse.
22. Observe les photographies ci-dessous. Énumère les sources potentielles des mutagènes illustrés dans chaque photo et indique s'il s'agit de mutagènes naturellement existants ou fabriqués par l'humain.

a)



b)



## ***Pause réflexion***

Tu as déjà appris que le noyau est le centre de contrôle de la cellule. Dans ce chapitre, tu as vu comment le noyau dirige les fonctions vitales. Quelles connaissances as-tu acquises dans ce chapitre sur le noyau et sur la façon dont il contrôle les fonctions cellulaires ?