

# SVT 3

MANUEL POUR LES  
ÉLÈVES DE TROISIÈME



**Les humains:** quelle est leur origine, pourquoi sont-ils si différents tout en faisant parti d'une même espèce, comment peuvent-ils survivre dans un monde empli de microbes ? Votre manuel vous donnera quelques éléments de réponse...

## Comment utiliser votre manuel.

### Présenter et organiser les connaissances indispensables pour préparer, soutenir et prolonger le travail de votre professeur.

Vous trouverez essentiellement dans ce manuel des connaissances, des prolongements de cours et de nombreux exercices corrigés.

Le but de ce manuel est de vous aider à progresser et à aller plus loin.

Il s'adresse autant à ceux qui vont arrêter leur scolarité classique au collège qu'à ceux qui vont continuer "vers l'infini et au-delà".

La plupart des manuels vous proposent de jolies photos et vous laissent vous dépatouiller ensuite. Ce n'est pas le cas de celui-ci. J'ai essayé de le rendre agréable par l'injection d'une bonne dose d'humour, car il n'est pas de sciences sans joie (non, les sciences ne sont pas de tristes listes de trucs sans intérêt à connaître par cœur pour avoir la bonne note !).

Ce manuel est organisé comme suit :

- le **cours** présente ce qu'il faut savoir
- le **résumé** présente les notions qu'il faut, comment dire... retenir ?
- les **questions** permettent d'approfondir le sujet
- les **exercices** présentent de quoi vérifier puis appliquer ses connaissances (car la science est aussi l'application de connaissances à des problèmes nouveaux pour générer des connaissances nouvelles, etc.)
- l'**évaluation** vous présente un exemple de devoir et sa correction (évitiez de tricher!). Les **tests** sont des évaluations rapides, sous forme de questionnaires.
- Les "**colles**" sont des questions à vous faire poser par un copain, une copine, un frère ou une soeur ou même, soyons fous, vos parents. Les réponses sont données à la page suivante !
- les méthodes à suivre, les trucs et astuces et les aperçus de la « science vé-



- Ce manuel fait largement appel à l'histoire des sciences, donc vous en profiterez pour réviser aussi votre chronologie et même, chemin faisant, pour apprendre quelques définitions, citations et astuces qui vous permettront de mieux maîtriser votre expression écrite et, pourquoi pas, orale. Et maintenant, au boulot!

Pr. R. Raynal  
Dr de l'Université de Toulouse  
Octobre 2007

## Table des matières

[Génétique](#)

[Le monde microbien](#)

[Défenses de l'organisme](#)

[L'évolution des organismes](#)

[et l'histoire de la Terre](#)

Nouveau programme



2008

Ce manuel est fourni sous forme électronique. Il est entièrement gratuit et peut être librement distribué par tous les moyens possibles, existant ou à venir.

Il est également "libre" dans la mesure où chaque professeur peut l'améliorer et le modifier, les fichiers sources étant librement disponibles sur le site [www.exobiologie.info](http://www.exobiologie.info).

Les illustrations, photos et schémas sont soit totalement libres de droits, soit réalisés par moi-même et donc librement utilisables et modifiables. Les liens Internet donnés sont actifs si le document reste sous forme électronique. Version 1.5.

# Un individu est le représentant unique d'une espèce

## Les caractères d'une espèce sont transmis au cours de la reproduction

### 1 - Nous présentons tous des caractères communs, hérités de nos parents.

Nous sommes tous des êtres humains (1). Qu'est-ce que cela veut dire, être un humain ?

C'est déjà posséder un certain nombre de caractères qui permettent de nous situer dans la classification des êtres vivants. Nous sommes tous des animaux (2) vertébrés qui se positionnent dans la classification comme indiqué sur le schéma ci-contre: nous sommes tous des homo sapiens, vos enfants seront des homo sapiens, leurs enfants aussi, etc...

Comme dit le proverbe "Los cats fan pas de chins." (Les chats ne font pas des chiens !).

Au-delà des caractères communs qui font de nous tous des êtres humains, nous héritons de caractères personnels qui font de nous des individus uniques. Ces caractères ne peuvent venir que de nos parents (3) dont nous sommes pourtant différents.

Nous sommes aussi différents (4) de nos éventuels frères et sœurs, qui pourtant ont les mêmes parents que nous. Pourquoi ? (Réfléchissez deux secondes avant de lire la suite...)

Nous ne venons pas du même ovule ni du même spermatozoïde ! (5)

La reproduction sexuée (6) transmet donc de façon constante les caractères de l'espèce, mais provoque également l'existence d'un grand nombre de variations individuelles qui font de nous des humains certes, mais des humains uniques !

Reste à savoir comment tout cela est possible...

1 - Si des extraterrestres lisent cela, je m'excuse, mais ce manuel s'adresse à priori aux humains !

2 - Oui, l'Homme est un animal !

3 - Et les grands-parents, arrière grand parents ? Ils ont contribué à vos parents donc, indirectement, à vous aussi...

4 - Bien meilleur, sur tous les plans, c'est une évidence !

5 - Et même si cela arrive parfois (vrais jumeaux), nous voyons qu'il existe une grande ressemblance physique, mais qui n'empêche pas d'obtenir deux individus différents. Un problème sur lequel il faudra revenir...

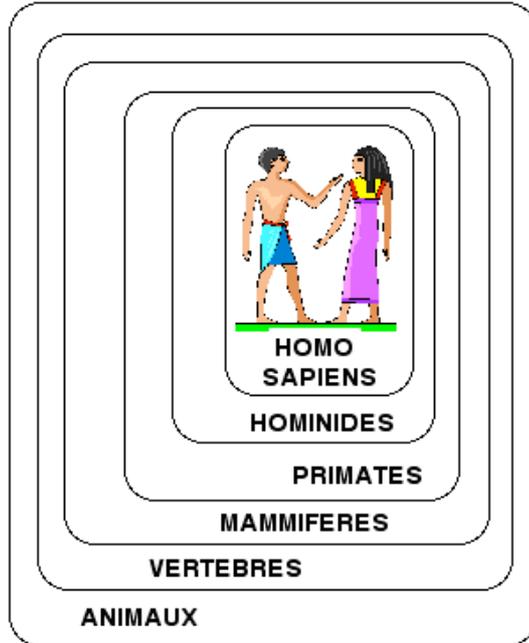
6 - On dit bien sexuée. La reproduction "sexuelle" n'existe que dans l'esprit des élèves!

Caractère: Toute caractéristique observable d'un individu.

**ATTENTION:** rien a voir avec le fait d'être calme ou nerveux, un caractère peut être le nombre de membres, la couleur des yeux, le groupe sanguin...

Hérédité: transmission des caractères par la reproduction sexuée

Hybride : être vivant obtenu par reproduction sexuée de deux parents d'espèces différentes



## Le contexte

### L'hérédité, un très ancien problème

#### Un problème vital

Les premiers agriculteurs et éleveurs devaient avoir de bonnes chances d'obtenir des plantes donnant de meilleures graines ou de meilleurs fruits, des animaux donnant plus de lait, de viande ou plus résistant. Ils se sont vite rendu compte que pour cela il leur fallait agir sur la reproduction des êtres vivants.

#### Un problème social

L'importance sociale dépendait souvent de l'hérédité: pensez à la noblesse au Moyen âge et à la Renaissance, ainsi qu'aux emplois qui se transmettaient de père en fils. Le maintien des familles expliquait que la reproduction des humains était aussi, autrefois (aujourd'hui encore dans certaines cultures) contrôlée par les parents (mariages arrangés - pensez aux pièces de Molière que vous avez étudiées).

#### Un problème scientifique

Jusqu'au 19<sup>e</sup> siècle, on pensait (grâce à des observations comme celle de la couleur de la peau chez les humains) que les caractères se transmettaient surtout comme deux liquides que l'on mélange. De nombreuses légendes laissaient penser qu'il était possible d'obtenir des hybrides d'espèces très différentes, même avec des humains.

Ce sont les agriculteurs et plus précisément les horticulteurs qui, en cherchant à améliorer les plantes, vont fonder les connaissances modernes sur l'hérédité.

## Des films pour réfléchir

[Elephant-man](#), (D Lynch, 1980)

[Bienvenue à Gattaca](#) (A. Nicoll, 1997)



## 2 - Des expériences montrent comment se transmettent les caractères héréditaires

En 1865, le moine tchèque Gregor Mendel étudie la transmission des caractères chez le petit pois (1). Cette plante permet d'étudier facilement la transmission d'un seul caractère à la fois (couleur ou forme des pois, taille de la plante...). Mendel contrôle la reproduction des pois en transportant le pollen sur les étamines à l'aide d'un pinceau. Il est le premier à compter les proportions précises des caractères qui apparaissent dans les différentes générations. Certains de ses résultats sont représentés sur la figure ci-contre. Que peut-on en déduire ? Essayez de rédiger vos propres conclusions, une génération après l'autre, avant de poursuivre la lecture.

1 - Dans la première génération, tous les individus présentent le même caractère. Le caractère "jaune" semble avoir disparu.

2 - Le caractère "jaune" réapparaît à la seconde génération, toujours dans les mêmes proportions: il représente 1/4 des individus obtenus.

Qu'est ce que cela veut dire ?

1 - un caractère peut être "caché" dans un individu, donc dans des cellules. Il existe un support, une "unité" correspondant à ce caractère. **Les caractères héréditaires se transmettent donc à partir d'unités séparées qui ne se mélangent pas (2).**

2 - les proportions fixes ne peuvent s'expliquer que si les "unités" se répartissent par paires: **2 unités/1 caractère**. Mendel suppose que ces unités proviennent l'une du père et l'autre de la mère (ce qui est révolutionnaire, car à l'époque les scientifiques pensaient que pour un caractère il existait un très grand nombre d'éléments différents).

Mendel publie ses résultats dans une revue que presque personne ne lit: ils sont donc ignorés pendant 34 ans avant que trois autres scientifiques ne les redécouvrent, en 1900.

En 1909, le biologiste Johannsen va inventer un mot qui restera célèbre pour désigner les unités de Mendel: il les appelle des **gènes**.

Il se pose alors le problème de situer, dans la cellule, l'emplacement des gènes...

1 - Mendel n'est ni le premier ni le seul à réaliser ce genre d'expérience, mais il sera le premier à analyser complètement ses résultats. En effet, dès 1760, le botaniste J. Koelreuter avait réalisé des expériences voisines en croisant des plants de tabac (voir exercice 5) alors qu'en 1790, T.A. Knight avait étudié la transmission des caractères sur le même «modèle» que Mendel: le petit pois.

2 - Knight, en 1790, était arrivé à des conclusions similaires au terme de ses expériences, en étudiant la couleur des fleurs des pois: alors que la première génération résultant du croisement de fleurs pourpres et blanches donne uniquement des plantes à fleurs pourpres, la seconde génération voit réapparaître quelques plantes à fleurs blanches. Un caractère peut donc disparaître pendant une génération, restant "caché" dans la graine (d'où l'idée qu'il existe un support interne des caractères).

## Pendant le cours...

### Questions d'élèves

Le (très) bon élève (énervé le prof)

*Mais si les caractères sont toujours transmis dans la même espèce, comment on fait pour obtenir des nouvelles espèces, comme des dinosaures à nous ?*

Il doit exister des mécanismes qui créent des variations dans les caractères héréditaires. Toutefois, ils agissent sur de très longues périodes de temps, et nous ne les voyons pas.

Le foyot

*Les trucs de Mendel, ça marche avec d'autres plantes et des animaux ?*

Oui, même si Mendel a eu beaucoup de chance en utilisant des pois qui permettent d'obtenir des résultats très nets. Les conclusions de Mendel s'appliquent aux autres êtres vivants.

Le curieux sans intérêt

*Il a utilisé beaucoup de petits pois Mendel ?*

Dans une série d'expériences (il en a fait 7) il a obtenu 253 hybrides et a dû compter 7324 pois.

L'historien

*Pourquoi il a fait ça Mendel ? Y cherchait quoi ?*

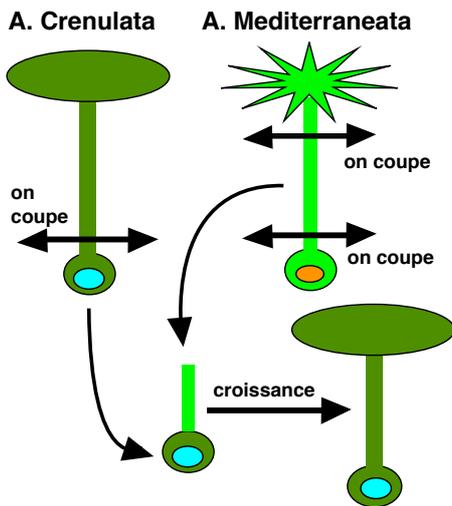
Mendel cherchait en fait à savoir comment apparaissent de nouvelles espèces. Il pensait, avec d'autres scientifiques de son temps, qu'il était possible que les nouvelles espèces viennent de la formation d'hybrides (résultats de la reproduction d'espèces différentes). Pour tester cette idée, il lui fallait vérifier que les nouveaux caractères des hybrides étaient stables, et qu'ils ne se modifiaient pas au cours des générations successives. Cette recherche a été à l'origine de son travail sur la répartition des caractères au cours des générations.

### 3 - Observations et expériences montrent que les gènes sont situés dans le noyau cellulaire

Dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, plusieurs indices laissent penser que les gènes sont situés dans le noyau:

- en 1892, AZ. Wiessman remarque que, lors de la fécondation, le spermatozoïde contient surtout un noyau. Si, comme le pensait Mendel, les deux gamètes contribuent de façon égale aux gènes du futur individu, alors les gènes doivent être contenus dans le noyau (du moins pour le spermatozoïde)

- en 1903, W Sutton observe la formation des gamètes (voir p. 12 pour des détails) et remarque que ce sont des éléments venant du noyau qui se répartissent entre les cellules à l'origine des gamètes.



Expérience de Hammerling (1930)

En 1930 est réalisée une série d'expériences (une d'elles, ci-contre) confirmant le rôle du noyau. Le biologiste Hammerling va utiliser une cellule géante (quelques cm) pour réaliser une manipulation difficile: une "greffe" de noyau. Il transfère le noyau (et très peu de cytoplasme) d'une algue unicellulaire *Acetabularia crenulata* dans le cytoplasme d'une *Acetabularia mediterranea* dont il a coupé le "chapeau". Il constate ensuite que la cellule reprend sa croissance après le transfert de noyau et reforme un chapeau caractéristique de *A. crenulata*: tous les caractères d'une *A. crenulata* ont été obtenus à partir de son noyau. Il en

déduit que **c'est bien le noyau des cellules qui contient les gènes.**

Les résultats d'Hammerling sont confirmés en 1939 (1), lorsque les biologistes Comandon et De Fontbrune utilisent l'un des plus gros unicellulaires, l'amibe, pour éclaircir le rôle du noyau. Ils constatent qu'en enlevant le noyau d'une amibe, cette dernière meurt. Par contre, si on insère un noyau d'amibe dans une autre amibe, dont on vient d'enlever le noyau, celle-ci survit. De plus, elle exprime les caractères de l'amibe donneuse du noyau. Les gènes de l'amibe sont donc bien contenus dans son noyau.

Mais si les gènes sont le support des caractères, les gènes peuvent-ils être modifiés pendant la vie d'un individu ?

1 - C'est, en fait, une drôle de « confirmation »: bien qu'Hammerling ait effectué ses expériences en 1930, elles n'ont été publiées dans une revue scientifique qu'en 1953 ! (De nos jours, les chercheurs publient bien plus rapidement leurs découvertes, parfois même avant d'être certains de leurs résultats...).

## Pendant le cours...

### Questions d'élèves

Celui qui veut se faire bien voir

On peut faire l'expérience avec les algues unicellulaires ?

On trouve ces algues facilement, mais il en faut beaucoup (car elles résistent souvent mal à l'expérience), un aquarium d'eau de mer et être habile! De plus, il ne faut pas être pressé: le transfert de noyau doit se faire lorsque la cellule est jeune, et il faut des mois avant que le « chapeau » ne se forme.

Celui qui cherche des poils aux oeufs

Si on change les noyaux avant qu'il y ait un chapeau, votre schéma, il est faux ?



Pas du tout: un schéma ne décrit pas la réalité, il aide à comprendre en simplifiant et en soulignant l'essentiel.

### Des résultats un peu trop parfaits

Si Mendel a permis d'avancer en utilisant les mathématiques pour décrire ses résultats, ces dernières ont aussi révélé, bien plus tard, un détail gênant: Mendel n'a pas utilisé un nombre suffisant de pois pour obtenir des résultats aussi « parfaits ». La seule explication est donc de supposer que les résultats publiés ont été « arrangés », donc, en fait, que Mendel a triché en modifiant un peu ses résultats. On ne sait pas si Mendel lui-même a « amélioré » ses résultats pour mettre en valeur les proportions qui se dessinaient dans ses résultats bruts, ou si les jardiniers qui l'aidaient ont mal trié les différents caractères en s'arrangeant pour trouver les proportions qui plaisaient à leur supérieur. On ne pourra pas le savoir puisque l'ensemble des documents originaux de Mendel a été détruit par son successeur au monastère, l'abbé Rambousek.



Cette "amélioration" des résultats est assez courante en sciences, même de nos jours, mais doit demeurer dans certaines limites pour ne pas devenir de la fraude manifeste.



## A RETENIR

Observations et expériences montrent que les caractères héréditaires sont liés à des paires d'éléments, les gènes, situés dans le noyau des cellules.

Première définition du gène: élément nucléaire correspondant aux caractères héréditaires (avec 2 gènes / 1 caractère)

# Les conditions de vie peuvent modifier certains caractères, mais ils ne sont pas transmissibles

## 1 - Des caractères acquis ne peuvent pas se transmettre à la descendance.

Au cours de leur vie, les humains (et plus généralement tous les êtres vivants) vont acquérir des caractères à cause de l'influence de leur milieu.

Quelques exemples évidents:

- la langue que vous parlez dépend de celle parlée dans votre milieu: un enfant français élevé en Chine par des Chinois parlera... le chinois.

- Votre personnalité dépend elle aussi de votre milieu. Il est assez facile de comprendre que vous ne seriez pas la même personne si vous aviez été élevé depuis l'enfance dans une tribu de la forêt amazonienne ou dans une secte.

- Si vous apprenez un jeu comme les échecs (ou si vous faites du théâtre), il est possible que vous développiez votre mémoire de façon importante.

- Même la forme de votre corps peut être modifiée par votre milieu. Si le culturisme favorise un développement parfois exagéré des muscles, l'obésité est plus répandue et est souvent liée au milieu de vie, qui influe sur la façon de se nourrir.

**Les caractères "acquis" ne se transmettent pas à la descendance:** ce ne sont pas des caractères héréditaires.

Ainsi, nous ne transmettons pas de façon héréditaire le développement de notre musculature ou de notre mémoire, notre goût immodéré pour les frites ou la langue que nous parlons à nos enfants.

En effet, ces caractères en provenance du milieu ne peuvent pas modifier les gènes présents dans le noyau de nos cellules !

## 2 - Les conditions de vie modifient l'expression des caractères héréditaires.

Les caractères héréditaires forment un ensemble de départ qui est ensuite modifié pour chaque individu par le milieu: ils donnent à l'organisme des capacités d'**adaptation à son environnement**.

Ainsi, nous transmettons de façon héréditaire, par exemple, une large capacité d'apprentissage des langues à nos enfants. Selon leur milieu, cette capacité leur permettra d'apprendre une (ou plusieurs, parfois) langue. Le milieu de vie opère une véritable **sélection** parmi toutes les possibilités transmises de façon héréditaire.

### Un exemple dramatique: les enfants sauvages.

On peut trouver la trace de 18 cas d'enfants abandonnés, maltraités, élevés totalement à l'écart d'une société humaine (par des animaux, des parents malades mentaux...).

Tous ont des difficultés à parler et marchent à quatre pattes. Des progrès sont possibles une fois qu'ils sont récupérés et éduqués (marche bipède, parole) mais restent très limités.

Quelles informations apportent ces cas sur les caractères héréditaires humains et ceux qui ne le sont pas ? (Cherchez et rédigez vos réponses au brouillon avant de lire la suite!)

Si on se base sur ces observations, on peut penser que ni le fait de marcher sur deux jambes ni la parole ne semblent être réellement héréditaires. Par contre, la capacité d'imiter le comportement des êtres vivants proches (loups, ours...) semble être héréditaire dans notre espèce.



**Une critique:** le nombre de cas étudiés est trop faible pour pouvoir conclure, et les enfants abandonnés à des animaux souffraient peut-être de maladies mentales avant leur abandon. Il est donc difficile de se baser vraiment sur ces exemples.



**Conclusion:** en science, des observations ne suffisent pas si elles ne peuvent pas être complétées par des expériences!

**Résumé :** Les caractères héréditaires sont transmis de génération en génération grâce aux gènes, unités situés dans le noyau des cellules. Les caractères acquis au cours de la vie d'un individu grâce à son milieu ne sont pas héréditaires puisqu'ils ne peuvent pas modifier les gènes.

## Une particularité humaine: la transmission de la culture

Les êtres humains possèdent une particularité que l'on ne rencontre, à l'état beaucoup moins développé, que chez certains autres singes: ils possèdent une culture.

C'est un ensemble de pratiques et de connaissances qui sont transmises de génération en génération par des actes, puis par la parole, puis par l'écriture.

Ainsi, la culture permet d'assurer une transmission des connaissances acquises par une génération à une autre. Cela complique beaucoup l'étude des caractères héréditaires, car des comportements d'origine culturelle parentale peuvent alors passer pour des caractères héréditaires.

### Exemple 1: la famille Bach

Entre le 16<sup>ème</sup> et le 18<sup>ème</sup> siècle, 22 membres de la famille Bach furent des musiciens remarquables. Cette capacité n'est pas héréditaire, mais est liée à une éducation donnée dans une famille de musiciens déjà célèbres.

### Exemple 2: les enfants des profs...

Des études montrent que les enfants de professeurs réussissent mieux à l'école. Cette réussite n'est pas héréditaire, mais ils sont élevés dans une culture qui valorise le travail scolaire. De plus, ils sont facilement aidés par leurs parents !

Un peu de culture, justement.

Essayez de traduire ([solution](#)):

"Come on, poor babe

Some powerful spirit instruct the kites  
and ravens

To be thy nurses !

Wolves and bears, they say

Casting their savageness aside have  
done

Like offices of pity."

Shakespeare, The winter's tale,  
(acte II, scène 2)

## Des films pour réfléchir

[L'enfant sauvage](#) (F. Truffaut, 1970)

[Greystoke](#) (H. Hudson, 1984)



## Questions

- 1/Qu'est-ce qu'un caractère ?
- 2/Qu'est ce qu'un gène ?
- 3/Pourquoi certains caractères sont-ils héréditaires et pas d'autres ?
- 4/Où sont situés les gènes ?
- 5/Depuis le temps que l'on apprend les tables de multiplication, pourquoi ne naît-on pas en les connaissant ?
- 6/Qu'est-ce qu'une espèce ?
- 7/Tous les humains font-ils parti de la même espèce ?
- 8/Les humains sont-ils des animaux ?
- 9/Qu'est-ce que le milieu ? Quelle est son influence ?

## Colles

- 1/Comparer les caractères héréditaires et les caractères acquis.
- 2/Comment montrer que les gènes sont situés dans le noyau cellulaire ?
- 3/Expliquer pourquoi nous sommes à la fois semblables et différents de nos parents.

## Exercices

### 1 - Les jumelles (4 pts)

Géraldine et Christine Robertson sont de vraies jumelles. Elles possèdent donc les mêmes gènes. Leur père souffrait d'une maladie, l'arthrite, qui cause des douleurs lors des mouvements. Pourtant, actuellement, seule Christine souffre d'arthrite.

Cette maladie est-elle héréditaire ? (Justifier votre réponse)

### 2 - Streets of Philadelphia (4 pts)

Le syndrome de Crigler Najjar est une maladie extrêmement rare (1 malade/1 million de naissances) causée par un défaut du foie qui ne peut pas éliminer une molécule, la bilirubine.

Pourtant, malgré cette rareté, 50 % des cas de malades aux USA touchent la petite population mennonite de Philadelphie. Les mennonites sont une secte dont les différents membres, depuis 16 générations, se reproduisent surtout entre eux.

Est-il possible que ce syndrome soit héréditaire ? (justifier votre réponse)

### 3 - Pêcheurs d'Islande

L'Islande a été peuplée à partir de quelques centaines de Viking et de Celtes au 9<sup>e</sup> siècle. Depuis, il n'y a quasiment pas eu d'immigration. Beaucoup d'habitants sont des pêcheurs ou des agriculteurs travaillant dans le froid et l'humidité.

En Islande, l'ostéo-arthrite (maladie des articulations provoquant des douleurs lors des mouvements) est cinq fois plus fréquente que dans les autres pays.

En soignant une de ses patientes pour cette maladie, le Dr Thorvaldur Ingvarsson découvre que 10 de ses 16 frères et sœurs souffrent de la même maladie.

Dans cette famille, au cours des 5 dernières générations, 700 personnes (femmes et hommes) ont souffert de la même maladie .

- 1- Cette maladie peut-elle être héréditaire ? -2 pts-
  - 2- peut-elle être considérée comme un caractère acquis ? -4 pts-
- Justifiez vos réponses en détaillant vos raisonnements.

### 4 - A la recherche du pharaon perdu

La reine Hatshepsout a été la première femme pharaon. Son règne, de 1503 à 1482 avant J.-C, fut une période de prospérité. Fille du souverain Thoutmôsis Ier, Hatshepsout épouse son demi-frère, le pharaon Thoutmôsis II. A la mort de celui-ci, son héritier Thoutmôsis III, né d'une seconde épouse, est trop jeune (5 ans) pour régner. La reine assure donc la régence puis se proclame pharaon. Thoutmôsis III, partageant en théorie le pouvoir, ne l'exercera qu'après la mort de sa belle-mère, au bout de vingt-deux ans de règne. Il fera effacer

des monuments les traces d'Hatshepsout et déplacera sa momie de son tombeau .

En 1903, l'archéologue H. Carter découvre 2 momies dans une tombe de la vallée des rois: 1 dans un sarcophage royal, censé être la nourrice de la reine, l'autre momie, abandonnée sur le sol, est celle d'une femme obèse de 50 ans environ. On découvre ensuite dans un puit, un vase contenant des organes de la momie de la reine, et dans un tombeau voisin 2 momies royales (dites la sereine et la suppliciee). Peut-être la reine est elle l'une de ces momies. En 2007, un scanner permet d'observer l'intérieur des momies sans les détruire. On cherche à savoir laquelle des quatre est celle de la reine. On dispose également des momies de Thoutmôsis I et II.

1 - On découvre que Thoutmôsis I et II souffraient d'une maladie de la peau.

Est-il possible que cette maladie soit héréditaire ? (Justifier votre réponse) -4 pts-

2 - Parmi les 4 momies féminines, seule la momie abandonnée (obèse) montre la même maladie de peau.

21 - Est-il possible que cette momie soit celle de la reine (justifier votre réponse). -2 pts-

22 - Cette information suffit-elle pour être certain que la momie abandonnée est bien celle d' Hatshepsout ? (justifier votre réponse) -4 pts-

Conseil: avant de répondre, faites un schéma montrant les liens de parenté...

### 5 - Avec des poils (5 pts)

En 1760, le botaniste J. Koelreuter étudie divers hybrides de tabac qu'il obtient à partir de croisements qu'il réalise. Certaines variétés de tabac possèdent des feuilles recouvertes de poils (qui peuvent même piquer comme des orties). Koelreuter constate que s'il croise une variété à feuilles velues avec un tabac à feuille glabre (c'est à dire sans poil, vous venez d'apprendre un mot qui vous permettra de faire le malin ce soir, au dîner), il obtient une première génération de plants de tabac hybride sans poils. Par contre, à la deuxième génération (obtenue en croisant les plantes de première génération entre elles), il constate que certains individus, minoritaires, possèdent, de nouveau, des poils sur les feuilles.

51 - Que peut-on déduire des observations de Koelreuter ?

52 - Que manquait-il à Koelreuter pour arriver aux mêmes découvertes que Mendel ?

## Apprenez à bien rédiger

Corriger la phrase suivante, trouvée dans une copie d'élève qui a compris, mais est incapable de se faire comprendre:

" C'est dans noyau, ça se voit parce que Merlin il a remis un autre noyau et la plante elle a poussé comme celle qui a donné le noyau et pa comme été celle qui la reçu."

## Corrections

### Questions

- 1/ Un caractère correspond à toute caractéristique observable d'un individu.
- 2/ Un gène est un élément présent en double exemplaire dans le noyau de la cellule et correspondant à un caractère.
- 3/ Les caractères héréditaires sont transmis lors de la reproduction car ils correspondent à des gènes, ce qui n'est pas le cas des caractères acquis, en provenance du milieu, et qui eux ne sont pas "supportés" par des gènes, ce qui explique qu'ils ne sont pas transmis.
- 4/ Les gènes sont situés dans le noyau des cellules.
- 5/ Il n'existe pas de gène "tables de multiplication", le savoir est un caractère acquis dont non transmissible à sa descendance par la reproduction sexuée.

6/ Une espèce est un ensemble d'individus susceptibles de se reproduire entre eux pour obtenir des individus fertiles (1) Dans une même espèce, les individus possèdent un très grand nombre de gènes en commun.

7/ Tous les humains font parti de la même espèce car tous peuvent se reproduire, potentiellement, entre eux.

8/ Les humains sont des animaux: jetez des bonbons dans la cour du collège ou dans la cage de chimpanzés, et observez les résultats !

9/ Le milieu est l'environnement (physique mais aussi, pour les humains et les autres animaux qui vivent en groupe, social et culturel) dans lequel vit un individu. Le milieu va permettre l'acquisition de caractères qui ne seront pas transmis de façon héréditaire.

## Colles

1/ Comparer les caractères héréditaires et les caractères acquis.

 Quand on vous demande de comparer, le mieux est de réaliser un tableau comparatif. Vous organisez vos infos au brouillon, ensuite seulement vous tracez votre tableau. Cela devrait donner quelque chose comme ça:

caractère	héréditaire	acquis
origine	gènes	milieu
support	éléments nucléaires (2)	l'individu
transmis par la reproduction	oui	non

2/ Comment montrer que les gènes sont situés dans le noyau cellulaire ?

Détailler les **indices**, puis l'expérience de **Hammerling** et ses conclusions.

3/ Expliquer pourquoi nous sommes à la fois semblables et différents de nos parents.

Nous sommes semblables à nos parents car nous faisons partie de la même espèce, nous provenons de l'union d'un spermatozoïde et d'un ovule qui nous ont transmis des gènes venant de nos parents.

Nous sommes différents de nos parents car l'histoire de notre développement, dans notre milieu, est unique. Nous verrons qu'il y a aussi d'autres raisons (cf. p.15) pour lesquelles nous sommes uniques.

 Eh oui, en Sciences, toute réponse n'est que provisoire...

## Remarques

1- Fertile signifie simplement qui est capable de se reproduire. On parle aussi d'une terre fertile, par exemple, pour dire qu'elle est capable de bien nourrir les plantes et ainsi permettre de produire de nombreux fruits.

2 - Nucléaire veut dire "qui vient du noyau". Ici, bien entendu, on parle du noyau de la cellule et non pas, comme en Physique, du noyau de l'atome !

**Exercices** (j'ai **coloré** les mots qui signalent que l'on a bien affaire à un raisonnement de type scientifique).

### 1- Les jumelles

Si la maladie était héréditaire, **alors** Géraldine et Christine devraient soit en souffrir toutes les deux, soit ne pas être touchées toutes les deux puisqu'elles possèdent les mêmes gènes. **Comme** seule Christine souffre d'arthrite, on peut en conclure que cette maladie n'est pas héréditaire.

### 2- Streets of Philadelphia

La population mennonite est très touchée par cette maladie qui normalement est très rare. **Si** cette maladie est héréditaire, **alors** on peut expliquer cette particularité **en supposant** qu'un des ancêtres des mennonites était malade. **Comme** ils se reproduisent entre eux, le caractère «malade», rare ailleurs, n'est pas «sorti» de cette population et il réapparaît bien plus souvent que si les mennonites se reproduisaient avec d'autres personnes qui n'ont pas les mêmes ancêtres. Il est **donc** possible que ce syndrome soit héréditaire.

(ce n'est pas certain, car **on peut aussi** imaginer que leur mode de vie particulier, comme membre de la secte, soit à l'origine de cette maladie, par l'alimentation par exemple)

### 3 Pêcheurs d'Islande

31 - Les Islandais descendent tous des premiers Vikings et Celtes : beaucoup ont **donc** les mêmes ancêtres. De plus, on constate que l'ostéo-arthrite est fréquente à la fois dans le pays lui-même et à l'intérieur d'une même famille. **Si** la maladie est héréditaire, **alors** il est logique qu'on la retrouve souvent dans une même famille et dans tout le pays, **puisque** des familles différentes ont les mêmes ancêtres qui eux aussi devaient être malades.

L'ostéo-arthrite peut **donc** être héréditaire.

32 - Beaucoup d'habitants sont des pêcheurs ou des agriculteurs travaillant dans le froid et l'humidité. Ils ont **donc** des conditions de vie identiques. **Peut être que** la maladie est « acquise » et se retrouve dans la population simplement **parce que** leur milieu de vie est identique, dur pour les articulations et les rend plus sensible aux maladies que dans d'autres pays.

Dans une même famille, la maladie est fréquente, mais **si** les membres de la famille effectuent le même travail (tous pêcheurs ou agriculteurs) ils ont le même mode de vie et cela permettra d'expliquer la fréquence de la maladie.

**Remarque:** on ne peut **donc** pas conclure, **car** nous n'avons pas assez d'informations. **Comme** les femmes d'une famille sont touchées également **alors** qu'en général elles ne font pas le même métier que les hommes (**donc** n'ont pas tout à fait le même milieu de vie), on peut penser que la maladie est héréditaire.

### 4 - A la recherche du pharaon perdu

41 - **Comme** Thoutmosis I est le père de Thoutmosis II, il est possible que cette maladie de la peau soit héréditaire et se soit **donc** transmise du père au fils.

421 - Il est possible que la momie ayant eu cette maladie de peau soit bien celle d'Hatshepsout **puisque** cette dernière était la fille de Thoutmosis I, malade lui aussi. **Si** la maladie est héréditaire, **alors** la momie peut être celle de la reine.

422 - L'existence de cette maladie commune ne suffit pas pour être certain que la momie abandonnée est bien celle d'Hatshepsout. **En effet:**

- la maladie n'est peut-être pas du tout héréditaire, mais pouvait être très répandue dans l'ancienne Egypte. **Si** beaucoup de personnes en souffraient, ils pouvaient se contaminer, et ce n'est pas étonnant, **alors**, de trouver les membres d'une même famille souffrant de la même maladie sans qu'elle soit héréditaire.

- Même **si** la maladie est héréditaire, **il est possible** que la momie retrouvée soit celle d'une autre personne de la famille de Thoutmosis I: une autre de ses filles, une de ses tantes, une cousine...

### 5 - Avec des poils

51 - Les observations de Koelreuter montrent qu'un caractère peut rester masqué pendant une génération. Cela montre que dans la reproduction, ce ne sont pas les caractères qui se retrouvent directement chez les descendants (**puisque** le caractère «poils sur les

feuilles» disparaît), mais des «supports» qui peuvent rester masqués et resurgir, avec les caractères correspondants, une génération plus tard. (A l'époque de Koelreuter, ces observations contredisaient l'idée, commune, selon laquelle chaque partie du corps de la plante se reproduisait «directement, à l'identique...»).

52 - Pour que Koelreuter arrive aux mêmes découvertes que Mendel, il aurait fallu, principalement, qu'il soit bien plus précis et qu'il dénombre exactement les proportions des différents caractères selon les générations.

## Traduction

"Viens, pauvre enfant,  
Puisse quelque génie puissant  
dresser milans et corbeaux  
A te servir de nourrices !  
On a vu, dit-on, des loups et des ours,  
Se dépouiller de leur sauvagerie  
Pour répondre à semblable devoir  
de compassion."

Ce qui illustre l'existence, connue dès l'antiquité, d'enfants abandonnés "élevés" par divers animaux.

## Rédaction

Les gènes sont dans le noyau, cela se voit parce qu'Hammerling a mis un autre noyau dans une cellule et cette cellule s'est développée comme celle qui a donné le noyau (un schéma légendé aurait permis de répondre plus facilement à cette question)

## TEST RAPIDE: HEREDITE 1

Cochez la ou les cases correspondant à la ou aux réponses exactes. Attention, plusieurs réponses peuvent être exactes pour chaque question. Ne trichez pas !

### 1 - Les cellules

- se retrouvent chez tous les êtres vivants
- caractérisent les végétaux
- se rassemblent pour former des molécules
- contiennent du cytoplasme
- sont des êtres vivants

### 2 - Nous sommes tous des...

- animaux
- mammifères
- singes
- vertébrés
- pluricellulaires

### 3 - Un caractère héréditaire

- est toujours transmis à la descendance
- se mélange avec d'autres au cours de la reproduction
- peut provenir du milieu de vie de l'individu
- leur répartition conditionne l'hérédité
- se superpose à d'autres au cours de la reproduction

### 4 - Le noyau cellulaire

- est absent des ovules
- contient le ou les supports de l'hérédité
- constitue l'essentiel d'un spermatozoïde
- peut parfois être échangé entre cellules différentes
- est présent dans toutes les cellules

### 5 - Un enfant humain élevé par des loups:

- cela n'existe pas
- devient un humain normal
- devient un loup
- essaye de se comporter comme un humain, car ses gènes le commande
- essaye de se comporter comme un loup, car son milieu le commande.

### 6 - Les caractères acquis:

- prennent leur origine dans le milieu de vie
- se transmettent à la descendance
- sont contenus dans le noyau des cellules
- ne sont pas héréditaires
- correspondent aux gènes

### 7 - Les expériences de Mendel ont montré:

- que le noyau contient les gènes
- que les caractères acquis sont héréditaires
- que les caractères se mélangent au cours de la reproduction
- que chaque caractère correspond à deux supports
- que les caractères héréditaires se superposent sans se mélanger

### 8 - Un individu :

- est constitué de cellules
- possède des gènes
- est entièrement défini par le noyau de ses cellules
- se définit aussi par son milieu de vie
- deux vrais jumeaux sont un seul individu

### 9 - Un gène:

- est une cellule
- est une molécule
- est le support d'un caractère héréditaire
- il y a deux caractères pour un gène
- il y a deux gènes pour un caractère

### 10 - Une cellule reçoit un noyau qui n'est pas le sien:

- elle meurt
- son cytoplasme transforme le noyau
- le nouveau noyau transforme la cellule
- rien ne se passe
- elle se divise

## Solutions commentées:

1: 1,4,5. Rappelez vous que les cellules sont constituées de molécules, pas l'inverse !

2: Tout est bon. Oui, nous faisons bien parti de l'honorable famille des singes...

3: 4,5. Oui, le 1 est un piège: ce qui est transmis, c'est le support du caractère, et pas toujours le caractère. Car sinon, comment expliquer la disparition apparente de caractères (la couleur des pois de Mendel, les poils sur les feuilles de tabac de Koelreuter...), à la première génération, qui réapparaissent ensuite ?

4: 2, 3, 4, 5

5: 5

6: 1, 4

7: 4, 5

8: 1, 2, 4. Les jumeaux sont des individus différents, même s'ils sont génétiquement identiques !

9: 3, 5

10: 3. Lorsque l'on réalise ce type d'expériences, beaucoup de cellules meurent, donc on pourrait croire que le 1 peut être exact. Toutefois, de la façon dont la question est posée, si on coche 1, cela veut dire que la cellule meurt obligatoirement à la suite d'un transfert de noyau, ce qui est faux.

«Chacun d'entre nous est une biographie, une histoire, un récit singulier, qui s'élabore en permanence, de manière inconsciente, par, à travers et en nous, à travers nos perceptions, nos sentiments, nos pensées, nos actions; et également par nos récits, nos discours. Biologiquement, physiologiquement, nous ne sommes pas tellement différents les uns des autres; historiquement, en tant que récit, chacun d'entre nous est unique.»

Oliver Sacks, neurologue, l'homme qui prenait sa femme pour un chapeau, éd. points essai, p.148

Nom &amp; prénom:

C D C

**EVALUATION 1- Hérité et gènes****1** (4 pts) Définir les termes suivants: Caractère héréditaire, Gène**2 Les jumelles**

Géraldine et Christine Robertson sont de vraies jumelles. Elles possèdent donc les mêmes gènes. Leur père souffrait d'une maladie, l'arthrite, qui cause des douleurs lors des mouvements. Pourtant, actuellement, seule Christine souffre d'arthrite.

Cette maladie est elle héréditaire ? (Justifier votre réponse) -(4 pts)-

**3 Les jumeaux**

Le document A ci-contre (extrait de la revue "Science" du 23/09/2005) décrit les empreintes digitales de deux vrais jumeaux (individus possédant les mêmes gènes).



31(2 pts) Les empreintes sont elles identiques ? (marquer les différences si elles existent)

32 (2pts) Quelle hypothèse peut-on alors faire au sujet de l'influence des gènes ?

33 (2pts) peut-on alors parler d'un "gène de l'intelligence"? D'un "gène du crime"? Justifiez votre réponse.

**4 - Le camarade Lyssenko**

Au milieu des années 1930, l'agronome soviétique Trofim Lyssenko affirme pouvoir transformer le blé d'hiver (rentable, mais qui doit germer avant l'hiver) en blé de printemps (qui germe tout de suite). Pour cela, il expose les graines au froid, et déclare que le froid « transforme » les graines, et que cette transformation est devenue héréditaire. Il affirme que d'autres végétaux et animaux d'élevage peuvent aussi être améliorés par l'action du milieu, les changements provoqués devenant rapidement héréditaires.

Obtenant la confiance de Staline, il fait éliminer ses opposants puis ensemer les plaines sibériennes de milliers d'hectares de son blé « amélioré » qui ne germera jamais. Il sera ainsi à l'origine de famines qui causeront plusieurs millions de morts. Il poursuivra ses travaux jusqu'en 1962, falsifiant tous ses résultats.

Expliquez pourquoi Lyssenko a échoué. Vous détaillerez votre raisonnement. (4 pts)

**5** – Comment démontrer que les gènes sont situés dans le noyau des cellules ? (2 pts)

## EVALUATION 1- Hérité et gènes: correction commentée.

 **Première chose à faire: lire entièrement le sujet** pour avoir une idée du travail global à faire, du temps à y consacrer et voir comment est construite l'évaluation. Souvent, des indications vous sont données qui peuvent vous aider à répondre à certaines questions, ou qui vous montrent les limites d'un sujet.

**1 (4 pts) Définir les termes suivants: Caractère héréditaire, Gène**

Ici, le prof veut des définitions. Il faut donc répondre à la question: qu'est ce que c'est un caractère héréditaire, qu'est ce que c'est un gène ?

C'est une question à 4 points, vous pouvez donc y consacrer du temps. Combien? Simple: si vous avez 45 mn pour faire votre évaluation sur 20 points, cela signifie que chaque point représente  $45/20 = 2,2$  mn. Comme vous perdrez du temps, qu'il faudra vous relire en entier et bien lire le sujet, comptez 2mn/point. Vous avez donc 8 mn pour traiter cette question. Cela veut dire que vous avez le temps de faire un brouillon et de le recopier clairement. Les réponses? Non, mais vous avez lu ce manuel ou pas? Allez voir page 2 et page 3.

**2 Les jumelles (4 pts)** Ici aussi, 8 mn à consacrer aux aventures de Géraldine et Christine. Vous avez déjà, bien entendu, essayé de faire cet exercice et lu sa [correction p. 5](#). Non ? Alors qu'est ce que vous faites ?

**3 Les jumeaux :** Une indication importante dans le texte: empreintes digitales de **deux vrais jumeaux = individus possédant les mêmes gènes.**

31(2 pts) Une réponse rapide: pour rédiger clairement, on recopie le début de la question:

Les empreintes des jumeaux ne sont pas identiques (cela se remarque en particulier au "centre" des empreintes - voir document). On n'oublie pas de signaler les différences sur le document.



32 (2 pts) *Quelle hypothèse peut-on alors faire au sujet de l'influence des gènes ?* Les jumeaux possèdent les mêmes gènes, pourtant leurs empreintes sont différentes. Les empreintes digitales ne sont donc sans doute pas des caractères liés aux gènes. Là, vous avez répondu, mais il n'est pas interdit de continuer à réfléchir en utilisant ce que vous savez par ailleurs:

Pourtant, on dit que chaque individu possède ses propres empreintes (c'est même utilisé par la police). On peut donc penser que l'influence des gènes peut être modifiée par le milieu de vie puisque la seule différence entre les vrais jumeaux c'est leur milieu de vie.

33 (2 pts) *peut-on alors parler d'un gène de l'intelligence? d'un gène du crime? Justifiez votre réponse.* Le mot "alors" signifie que cette question est liée à la précédente, donc à votre réponse. Comme il faut justifier la réponse, on ne peut pas se contenter de répondre par oui ou non, il faut expliquer, mais rapidement vu que la question n'est que sur 2 points: comme l'influence des gènes peut être modifiée par le milieu de vie, on ne peut pas vraiment parler d'un gène de l'intelligence ou du crime. En effet, on peut penser que l'intelligence ou la criminalité dépendent plus du milieu de vie et de l'histoire des individus que de leurs gènes: les enfants d'un criminel ne deviennent pas obligatoirement des criminels, les enfants d'une personne reconnue intelligente ne le deviennent pas forcément !

### 4 - Le camarade Lyssenko

On dispose ici de 8 min pour donner une explication sur l'échec de Lyssenko, en détaillant notre raisonnement. Lisons le document, que retenir? Un Soviétique en 1930 pensait que si des graines de blé étaient exposées au froid elles allaient germer et **transmettre leur résistance à leurs "enfants"** (les autres graines), et que, finalement, " végétaux et animaux d'élevage peuvent aussi être améliorés par l'action du milieu, **les changements provoqués devenant rapidement héréditaires.**" Il a semé son blé qui n'a pas poussé et de nombreuses personnes en sont mortes de faim.

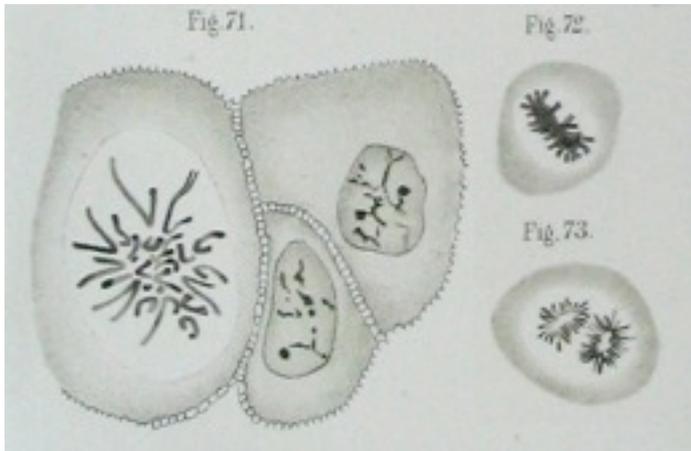
Si vous avez étudié (et j'espère, sinon pourquoi avoir ouvert ce manuel ? Il n'y a même pas de photos dedans!) vous voyez qu'il s'agit d'un problème de transmission des caractères acquis. Vous pouvez alors facilement répondre:

Lyssenko pensait que des caractères acquis en réponse à des conditions du milieu (ici la résistance au froid) pouvaient devenir héréditaires. Mais même si quelques graines résistent au froid, elles ne transmettent pas cette résistance à leurs "enfants ": elles ont déjà leurs gènes avant le traitement par le froid, et le froid ne les modifie pas: cette résistance est un caractère acquis, non transmissible. Ni les plantes ni les animaux de Lyssenko ne pouvaient transmettre des caractères liés à des gènes qui n'existent pas, ce qui explique pourquoi les graines "améliorées" n'ont pas pu germer en quantité: elles n'étaient pas plus résistantes que leurs parents! C'est pour cacher cet échec que Lyssenko a dû falsifier tous ses résultats.

**5 – Comment démontrer que les gènes sont situés dans le noyau des cellules ?** 2 points facilement et rapidement gagnés en décrivant par un texte ou, mieux, un schéma, les [expériences d'Hammerling](#) !

# L'information héréditaire est portée par des gènes situés sur les chromosomes, dans le noyau des cellules

À la fin du 19<sup>e</sup> siècle, les progrès de la microscopie et de la chimie des colorants permettent d'observer, dans le noyau de certaines cellules, des filaments. W Flemming, en 1882, est le premier à dessiner ces filaments.



Dessin original du Pr. d'anatomie W. Flemming en 1882. Il a coloré des cellules de cornée (partie de l'oeil) humaines avec de la safranine et du chrome, et il observe dans certaines cellules des filaments visibles juste avant que la cellule ne se divise (fig. 72 puis 73).

Comme ces filaments se colorent facilement, on leur donne le nom de "corps colorables",

ce qui permet de les appeler, à partir des mots grecs chromos (couleur) + soma (corps), les **chromosomes**. On peut les observer dans toutes les cellules.

## Le noyau des cellules contient des chromosomes

### 1- Les chromosomes sont observables juste avant la division cellulaire

Les chromosomes se répartissent entre les deux cellules filles (1) au moment de la division d'une cellule. Cette observation, entre autres, donne l'idée au biologiste W Sutton, dès 1903, que les chromosomes sont liés aux gènes. Mais, quand une cellule se divise, d'autres éléments sont transmis: du cytoplasme, d'autres éléments du noyau...

D'autres observations établissent que, dans une même espèce, le nombre de chromosomes par cellule est constant. Par contre, les gamètes contiennent deux fois moins de chromosomes que les autres cellules de l'organisme (2).

Dans une cellule, les chromosomes ont une taille particulière qui permet de les grouper. On constate alors que l'on peut les regrouper par paires: **un individu possède 2 n chromosomes** (n= nombre de paires). Chez les humains, on trouve 23 paires de chromosomes (3). Les chromosomes sont toujours présents dans le noyau, mais deviennent visibles en période de division cellulaire car ils se condensent. Dans une même espèce, tous les individus possèdent le même nombre de chromosomes dans leurs cellules (4).

On a donc avec les chromosomes des éléments nucléaires présents par paires et qui se transmettent de cellule en cellule : ils répondent donc à notre première définition du gène.

Mais il y a un problème: si les chromosomes sont les gènes, ils ne sont pas assez nombreux ! avec 46 chromosomes, on peut avoir 46 caractères différents, mais il y en a des milliers à transmettre !

À cause de cette objection, les idées de Sutton ne sont pas tout d'abord pas prise au sérieux. Il faudrait pour cela pouvoir établir directement une correspondance entre un ou plusieurs caractères et un chromosome...

1 - les cellules n'ont pas de sexe ! On considère que la cellule qui se divise est la "mère" de deux cellules qui sont donc ses "filles" puisqu'elles pourront se diviser à leur tour. C'est juste une convention de langage.

2 - Ce qui est logique vu que ces cellules sont vouées à se rencontrer... [Nous examinerons tout cela en détail au prochain chapitre.](#)

3 - Ce nombre n'a rien de spécial. Les chimpanzés possèdent 48 chromosomes, une espèce de cerf en a aussi 46, les iris 84 et les chats 38 ...

4 - Des exceptions seront découvertes entre les mâles et les femelles d'une même espèce, chez les insectes en particulier, où un sexe peut posséder un chromosome supplémentaire par rapport à l'autre.

## Les explorateurs des chromosomes

[Ernst Abbe](#) (1840 - 1905)

En 1873, le physicien Abbe étudie l'optique et perfectionne le microscope en inventant le condenseur, élément qui permet d'obtenir un meilleur éclairage des préparations et qui facilite l'observation de structures de petite taille, comme les chromosomes. Il est aidé par Carl Zeiss, fabricant de lentilles, et Otto Schott, chimiste inventeur de verres aux propriétés révolutionnaires.

Le progrès des techniques et des instruments est indispensable pour le progrès des connaissances!

[W Sutton](#) (1877 - 1916)

Sutton travaille à New York sur les formes de vies marines, c'est un spécialiste de la formation des gamètes. Dès 1902, il déclare " *the association of paternal and maternal chromosomes in pairs and their subsequent separation... may constitute the physical basis of the Mendelian law of heredity.*" Bien entendu, vous allez traduire cela sans peine ! ([correction](#))

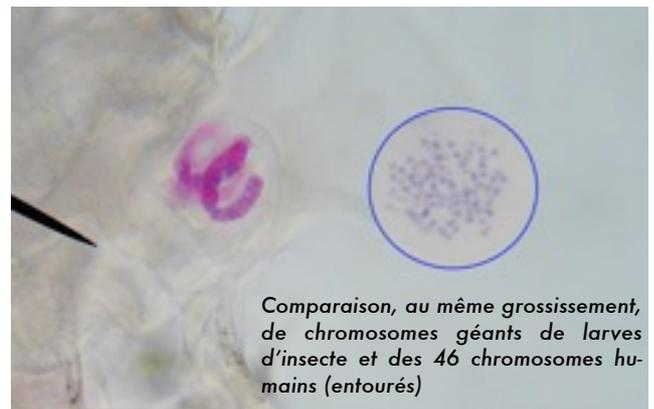
T.H. [Morgan](#) (1866-1945)

Professeur de zoologie en 1904, il étudie la formation des embryons d'insecte et critique les résultats de Mendel. En 1910, il découvre une modification des caractères d'une mouche qui le conduit à confirmer les résultats de Mendel et à montrer que les gènes sont contenus sur les chromosomes.

Morgan a créé une équipe de recherche renommée. Prix Nobel en 1933

[Nettie Stevens](#) (1861 - 1912)

Une des premières femmes scientifiques, ancienne institutrice et élève de Morgan, découvre en 1905 le chromosome Y humain.

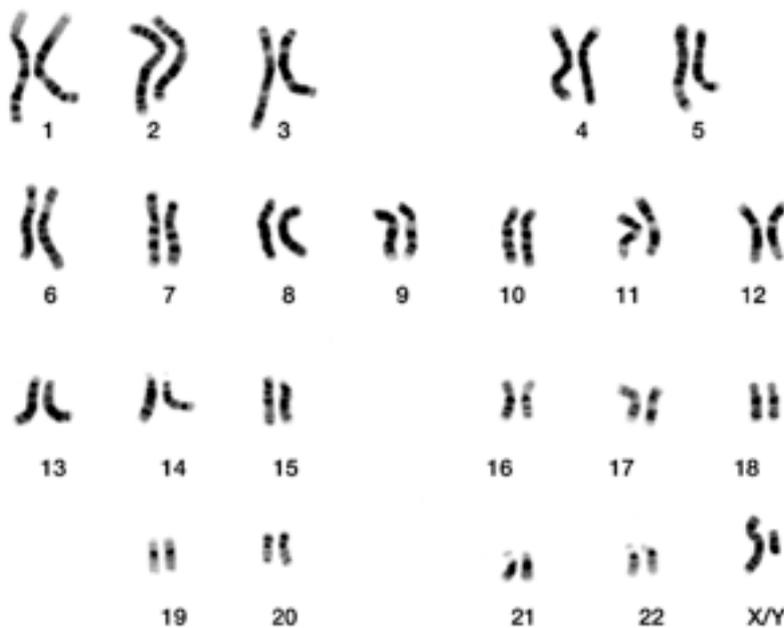


Comparaison, au même grossissement, de chromosomes géants de larves d'insecte et des 46 chromosomes humains (entourés)

## 2- L'aspect et le nombre des chromosomes peuvent être reliés à des caractères héréditaires

Au début du 20<sup>e</sup> siècle, le spécialiste des embryons T.H. Morgan travaille, à New York, sur le développement des mouches "drosophiles". Il observe avec surprise l'apparition de nouveaux caractères et se rend compte que leur répartition, dans des générations successives, peut s'expliquer **si les gènes correspondant à ces caractères sont bien présents sur les chromosomes de cette mouche**. En 1911, une confirmation est apportée par la découverte d'une mouche à oeil blanc (au lieu du rouge normal): seules les mouches porteuses d'un chromosome spécial (dit "X") sont porteuses de ce caractère, qui se transmet comme se transmet ce chromosome: on a un indice supplémentaire (1) du lien entre chromosomes et gènes.

Quelques années plus tard, on découvre qu'un poison violent, la colchicine, stoppe les divisions des cellules: il devient possible d'observer facilement les chromosomes, de les compter, les dessiner, les photographier et les classer. La représentation ordonnée de l'ensemble des chromosomes d'une cellule est son caryotype.



Caryotype (2) d'un humain mâle. Les chromosomes sont artificiellement rangés par paires de tailles décroissantes. La dernière "paire" rassemble ici des éléments différents, les chromosomes sexuels X et Y

Très rapidement, la comparaison du caryotype des cellules permet plusieurs observations:

- La taille et la forme de certains chromosomes conditionnent le sexe de l'individu. Il s'agit des chromosomes sexuels nommés X et Y. Chez les humains (et tous les mammifères) un individu possédant les chromosomes XX est une femelle et celui qui possède un seul chromosome X accompagné du petit chromosome Y est un mâle. La présence de ces chromosomes conditionne donc non seulement la morphologie mais aussi l'anatomie et le psychisme de l'individu. Tout un ensemble de caractères est donc lié à la présence du chromosome Y.

- Un nombre anormal de chromosomes peut être relié à une maladie: c'est le cas du syndrome (3) de Down (anciennement appelé "mongolisme"): les individus qui en souffrent possèdent 3 chromosomes 21 et un ensemble de caractères tels qu'un retard mental, des malformations cardiaques et une forme du visage et des mains caractéristique. De plus, l'examen d'embryons qui ne se sont pas développés (avortements spontanés, ou fausses couches) montre que 30 % d'entre eux possèdent un nombre de chromosomes anormal. Le plus souvent, un nombre de chromosomes différent de 46 est donc fatal.

- Des colorations adaptées permettent de repérer des bandes colorées sur les chromosomes (voir photo du caryotype ci-dessus) Ces bandes ne sont le plus souvent identiques entre 2 chromosomes d'une même paire (4). Dans toutes les cellu-

## Extraire la substance des chromosomes en 30 min dans la cuisine

Une activité à réaliser tranquillement chez vous en évitant de trop salir, et qui vous permettra de voir la substance des chromosomes déroulés (l'ADN lui-même, dont vous avez tant entendu parler...)

Il vous faut:

Un morceau d'être vivant (une banane, tiens, par exemple), de l'alcool, de l'eau, du liquide vaisselle, un filtre à café, une cuillère à café, une fourchette, du sel, une assiette creuse et un verre.

Comment faire ?

Manger la moitié de la banane, écraser le reste (on sépare les cellules) puis ajouter un peu de sel et écraser encore. Ajouter de l'eau pour avoir une bouillie bien liquide. Ajouter du liquide vaisselle et mélanger vigoureusement (on ouvre les membranes des cellules et des noyaux). Filtrer ensuite (cela peut être long). Faire couler lentement, le long de la cuillère, l'alcool qui ne doit pas se mélanger au filtrat, mais rester au dessus de celui-ci. Recouvrir d'un cm d'alcool. Il suffit d'attendre.

Que voit-on ?

Au bout de quelques heures, la substance des chromosomes migre à la limite entre eau et alcool, et vous la voyez sous forme de filaments blancs.

Et [avec vos propres chromosomes ?](#)

## Remarques

1. Les indices précédents étant (allez, réviser un peu...) mais oui, la répartition des chromosomes et leur comportement similaire à celui attendu pour les "unités de Mendel"...
2. vient des mots grecs caryon (noyau) et typos (forme). En effet, on range les formes vues dans le noyau...
3. Un syndrome est un ensemble de plusieurs signes, les symptômes, que l'on retrouve toujours associés dans une maladie.
4. Les chromosomes d'une même paire sont dits homologues (mot, qui, bien sûr, vient du grec - vous commencez à avoir l'habitude): homo = pareil, logos = forme.

les d'un individu, on retrouve les mêmes alternances de bandes (comme un code-barre) sur les mêmes chromosomes.

Toutes ces observations peuvent s'expliquer si on considère que les gènes sont dans les chromosomes. **On passe de l'idée "un gène = un chromosome" qui posait le problème du nombre insuffisant de chromosomes pour tous les gènes nécessaires, à l'idée "un chromosome = un ensemble de plusieurs gènes",** ce qui règle le problème. Il manque encore une observation décisive liant un morceau de chromosome à un gène, donc à un caractère.

## Les chromosomes portent les gènes

### Le secret des mouches

Les mouches étudiées par Morgan allaient apporter l'observation manquante. Les mouches se nourrissent en aspirant des liquides. Elles produisent beaucoup de salive, et possèdent donc des glandes salivaires. Certaines cellules de ces glandes ont des noyaux énormes permettant d'observer des chromosomes géants (photo ci-contre) facilement colorables, et que l'on peut voir en détail au microscope (il y a de grandes chances que votre professeur vous en ait fait observer).

En 1933, il devient possible de relier un caractère héréditaire à une portion de chromosome: on identifie sur certaines mouches un caractère héréditaire, la forme de l'oeil, qui peut être "normal" ou "réduit". En observant de façon détaillée les bandes présentes sur les chromosomes, on constate les changements représentés sur la figure ci-contre. Quels sont-ils ? (Allez, cherchez un peu et rédigez votre réponse, ça vous sera utile!).

Sur un des chromosomes des mouches à oeil réduit, on remarque un changement : une suite de bandes (torsade- pointillés fin - pointillés gras - bande large - pointillés) est présente deux fois au lieu d'une seule ! Il existe donc une correspondance entre les bandes des chromosomes et un caractère héréditaire. On observe directement qu'**un gène est un morceau d'un chromosome correspondant à un caractère héréditaire.**

Nous avons là une autre définition du gène, plus précise, et à laquelle nous nous arrêterons (il existe d'autres définitions, de plus en plus précises, que vous découvrirez tout au long de vos études scientifiques, si vous ne faites).

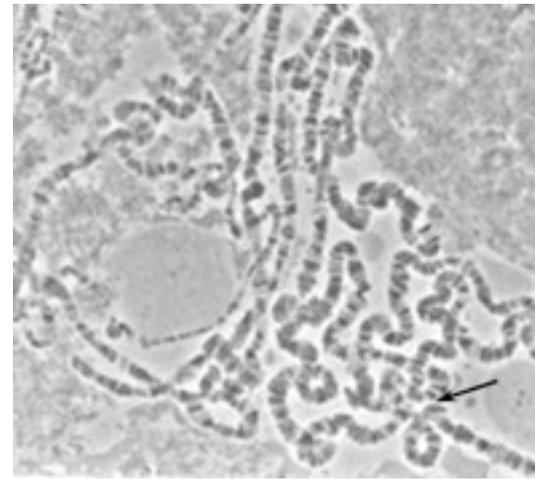
Toutefois, comme vous avez bien étudié le chapitre précédent, vous savez que d'après la définition de Mendel le gène doit aller par paire. Comme les chromosomes vont par paires eux aussi, nous pourrions penser que pour coller à la définition de Mendel il suffit qu'on retrouve les mêmes gènes sur les chromosomes homologues. C'est le cas (et nous avons bien pensé, ce qui prouve que l'on a compris, et que ce manuel n'est pas si mauvais). Reste à préciser les relations de ces paires de gènes.

Un même gène est présent sous forme de 2 allèles semblables ou différents

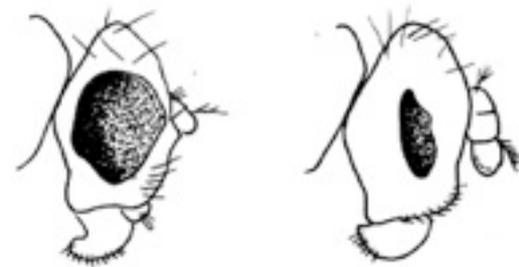
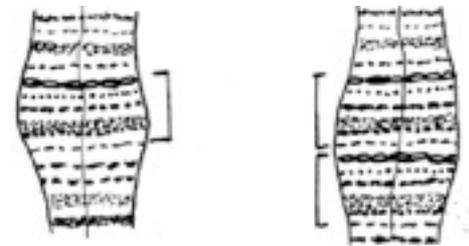
Entre les chromosomes d'une même paire, les bandes sont le plus souvent en position identique: **les chromosomes homologues portent les mêmes gènes au même emplacement.** Dans chaque cellule, il existe donc 2 versions d'un même gène. Ces versions sont les allèles du gène.

Un allèle correspond à l'information correspondant au gène. Par exemple, si le gène est "couleur de l'oeil", les allèles disponibles peuvent être "rouge", "blanc", "noir" (vous avez deviné que je parlais des yeux...des mouches). Un seul individu peut porter au maximum 2 allèles différents pour le même gène (un sur chaque chromosome d'une paire).

Mais dans une population, on peut trouver des dizaines d'allèles différents pour le même gène.



Chromosomes géants (x400) dans une cellule de glande salivaire d'insecte. La coloration met en évidence une alternance de bandes sombres ou claires le long des chromosomes.



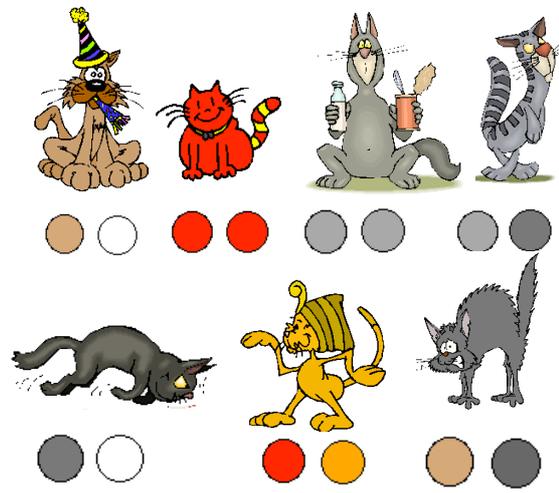
Des modifications de certaines régions des chromosomes géants peuvent être reliées à des caractères héréditaires d'un individu (ici, la modification de la forme de la tête, avec réduction de la taille de l'oeil).



Une mouche drosophile, aussi appelée «mouche du vinaigre». Longueur 2,5 mm. Photo [A. Karwath](#).

C'est clair ? En général, pas trop. Sur le schéma ci-contre sont symbolisés les allèles (sous forme de petits cercles colorés) correspondant à un éventuel gène "couleur du chat". Chaque individu possède 2 allèles seulement, identiques (chat rouge) ou différents (chat orange). Par contre, dans cette "population" féline, on trouve 6 allèles différents. Vous voyez aussi que tous les allèles ne sont pas égaux: dans un couple d'allèles, certains "s'expriment" ("donnent" une couleur alors que d'autres non. L'allèle qui s'exprime est dit **dominant**, celui qui ne s'exprime pas est dit **récessif** (il est "dominé" par l'autre).

L'exemple du chat orange nous montre que l'allèle "orange" domine l'allèle "rouge". "Orange" est dominant, rouge est récessif. Un allèle n'est dominant ou récessif que par rapport à un autre. Ainsi, l'allèle "marron clair", dominant par rapport à l'allèle "blanc" (premier chat) est récessif par rapport à l'allèle "gris foncé" (dernier chat).



Voici donc un autre exemple, plus réaliste, pour comprendre: les groupes sanguins.

Le gène "groupe sanguin" correspond en fait à l'information "accrocher une molécule à la surface des globules rouges". Dans la population humaine, il existe 3 allèles pour le gène groupe sanguin (gène situé sur les chromosomes de la paire n°9): l'allèle A (accrocher la molécule A), l'allèle B (accrocher la molécule B) et l'allèle O (ne rien accrocher). Chez un individu, on peut trouver un maximum de 2 allèles pour ce gène.

Écrivons toutes les possibilités (allez, qu'est ce que vous attendez ? Faites-le ou brouillon, et vite! Combien de couples peut-on former avec trois éléments A,B et O ?).

Vous devriez obtenir la liste suivante: AA,BB,OO,AO,OA, BO; OB, OO, AB. Les trois premières possibilités ne posent pas de problèmes, mais que se passe t'il pour, par exemple, le couple d'allèles AO ? C'est simple (vous avez déjà compris):

- l'allèle A va donner l'information "mettre la molécule A sur les hématies"
- l'allèle O dira de ne rien mettre sur les hématies

Donc, en fait, sur les hématies, on trouvera que les molécules A venant de l'information donnée par l'allèle A. Dans ce cas, l'allèle A est dominant: s'il est présent, c'est lui qui exprime son information. L'allèle O, lui, est récessif.

En procédant de la même façon pour les différents couples d'allèles, on peut construire le schéma ci-contre.

Les différents allèles (1) d'un gène collaborent donc pour construire les caractères correspondant à ce gène.

1) Mais d'où vient ce nom étrange et mystérieux ? Du mot grec "allèlon" qui signifie "l'un et l'autre", c'est à dire pour nous une version du gène et l'autre version du même gène...

**Allèles d'une population**

La population représentée compte 6 allèles différents:

Chaque individu ne possède que deux allèles, identiques ou différents.

Paires d'allèles	Hématies	Groupe
Paire de chromosomes N°9 OU		A
OU		B
		AB
		O

**Résumé :** Les caractères héréditaires sont transmis de génération en génération grâce aux gènes, unités situées dans le noyau des cellules. Les caractères acquis au cours de la vie d'un individu grâce à son milieu ne sont pas héréditaires car ne peuvent pas modifier les gènes, qui sont des morceaux de chromosomes correspondant à un caractère héréditaire donné. Chaque gène est présent sous forme de deux versions correspondant à l'information qu'il contient. Ces versions sont les allèles du gène, on les retrouve sur les chromosomes homologues, au même emplacement.

## Pendant le cours...

### Questions d'élèves

Le (très) bon élève (énervé encore plus le prof)

Comme il y a deux allèles pour un gène, si il y a un allèle qui ne marche pas, l'autre peut le remplacer ?

En effet, la disponibilité de deux allèles par gène permet parfois de compenser un allèle inactif ou modifié par un autre qui lui ne l'est pas. C'est une sécurité qui favorise le bon fonctionnement des cellules.

Chez un garçon, comme il a XY comme chromosomes, les allèles du chromosome X qui ne marchent pas ne peuvent pas être compensés par ceux du Y, non ?

Tout à fait exact ! Les allèles présents sur le chromosome X chez le garçon sont en simple exemplaire, donc si certains allèles ne fonctionnent pas correctement, ils pourront causer, par exemple, des maladies qui toucheront principalement les garçons... C'est une très bonne idée pour un exercice (le bon élève se fait huer par la classe...)

L'ami des bêtes

Les animaux, ils ont les mêmes gènes que nous ?

Premièrement, je rappelle que nous sommes des animaux, et deuxièmement oui, on retrouve en grande partie les mêmes gènes chez tous les animaux. Les variations sont assez faibles, mais importantes, car elles servent de base pour classer les êtres vivants, comme vous l'avez vu en sixième (je sais, c'est loin) et peuvent aussi servir à étudier l'histoire des espèces (voir chapitre 3)

Tous les chromosomes ont-ils le même nombre de gènes ?

Non, c'est une question de place. En gros, plus le chromosome est grand et plus il contient de gènes.

Le curieux sans intérêt

On a combien de gènes ?

Difficile à dire avec précision. Les scientifiques considèrent actuellement que les êtres humains possèdent environ 30000 gènes. Ce chiffre est cependant révisé régulièrement, car beaucoup de recherches sont menées actuellement sur les gènes dans différentes espèces. Il y a quelques années, on pensait que les humains avaient environ 100000 gènes, mais c'était une erreur, et des résultats récents descendraient même autour de 26000 gènes "seulement". Ce n'est pas le nombre de gènes qui compte, mais la façon dont ils "travaillent" ensemble...

Le spécialiste du livre des records

Qui c'est qui a le plus de gènes ? Qui c'est qui en a le moins ?

Le plus grand nombre de gènes doit se trouver chez les plantes cultivées, mais le nombre précis est difficile à dire, car en fait elles copient plusieurs dizaines de fois les mêmes gènes...

Le minimum de gènes connu est celui d'un unicellulaire qui possède environ 400 gènes.

## Des sites pour compléter, comprendre et réfléchir...



Une école canadienne présente [divers exemples pour illustrer le vocabulaire de la génétique](#).

Un logiciel pour [vous amuser à croiser des mouches drosophiles](#) (versions démo gratuites - en anglais)

Une vidéo montrant [la formation des chromosomes dans un noyau](#).

Divers [films sur les chromosomes](#).

Amusez-vous à [modifier les allèles des gènes de la mouche drosophile](#) sur ses 4 paires de chromosomes, et appréciez le résultat.

## Il est vivement recommandé de réfléchir davantage...

L'influence des gènes est majeure, indéniable, mais, pour autant, ils ne font pas tout et ne sont pas «responsables» de tout. Prenons l'exemple d'individus qui, génétiquement, sont tous très proches, voire identiques: les membres d'une colonie d'abeilles. Comme l'écrit le biologiste J.C. Ameisen\* :

*C'est la nature de l'alimentation qui transforme alors la larve (d'abeille) en ouvrière ou en reine. Ainsi, l'environnement «vivant» de la société dans laquelle se développe un embryon l'engage vers l'une ou l'autre de ses deux potentialités radicalement différentes: celle qui conduit à la stérilité et au vieillissement précoce (les ouvrières) ou celle qui conduit à la fécondité et à la longévité (les reines).*

Cet exemple nous montre qu'il ne faut pas négliger les influences de l'environnement dans la construction de ce qui fait un individu.

\* [La sculpture du vivant](#), ed. point, 399

## Avant d'aborder les exercices...

Certains exercices peuvent vous paraître difficiles. C'est fait exprès, leur but étant non seulement de vérifier si vous avez compris les notions présentées, mais aussi de vous faire utiliser ces notions pour résoudre des difficultés imprévues, de vous faire réfléchir en utilisant le cerveau remarquable (oui, vous le saviez, je le confirme) dont les hasards de l'évolution ont doté notre espèce. Cette activité est le propre du scientifique:

«La motivation la plus profonde de la recherche scientifique n'est pas l'exploration de l'inconnu: l'inconnu est trop vaste. Tout chercheur part à la découverte de ce qu'il a déjà entrevu, imaginé, de ce qu'il pense présent mais caché aux regards. D'où l'importance en sciences des hypothèses, des théories, des paradigmes\*, des constructions et des projections intellectuelles.» (J.C. Ameisen - oui, j'aime bien cet auteur - [La sculpture du vivant](#), ed. point, 237)

\* Paradigme ? Que es aço ? Prenez le dictionnaire tiens (le gros bouquin moisi qui sert jamais) et cherchez par vous même, cela vous fera le plus grand bien (et vous aurez en plus un truc à raconter ce soir à la maison).

## Questions

- 1/Qu'est ce qu'un allèle ?
- 2/Qu'est ce qu'un gène ?
- 3/Qu'est-ce qu'un chromosome ?
- 4/Où sont situés les gènes ?
- 5/Pourquoi le nombre de chromosomes d'une cellule est il toujours un nombre pair ?
- 6/Qu'est-ce qu'un caryotype ?
- 7/Pourquoi le nombre de chromosomes ne suffit-il pas à caractériser une espèce ?
- 8/Deux allèles peuvent ils être identiques chez un individu ?
- 9/Sous quelle forme les gènes sont-ils visibles sur un chromosome ?

## Colles

- 1/Dessiner et légènder un schéma décrivant les chromosomes.
- 2/Un gène possède 4 allèles A,B,C,D. établir toutes les combinaisons possibles de ces allèles chez un individu.
- 3/Quelles sont les observations qui ont permis de faire le lien entre les chromosomes et les gènes ?

## Exercices

### 1 - Maïs encore... (4 pts)

Une plante, la téosinte est l'ancêtre du maïs cultivé. L'aspect de ces plantes est très différent, car la téosinte par exemple reste de petite taille et ne fabrique pas d'épi.

On a trouvé entre téosinte et maïs aucune différence au niveau du nombre de chromosomes (20). Au niveau des gènes, il y a très peu de différences: seulement une dizaine de gènes environ ne sont pas identiques, et encore il s'agit davantage d'une différence d'allèles que de gènes.

Les deux plantes peuvent se reproduire ensemble et donner des hybrides.

Au vu de ces informations, comment pourriez-vous expliquer alors les différences entre ces deux plantes ? (Rédigez de façon correcte une hypothèse plausible permettant de répondre à la question).

### 2 - Chromosomes et cancer (6 pts)

Les cellules cancéreuses peuvent être maintenues en vie (cultivées) dans de simples boîtes. Nourries par un liquide, elles se reproduisent.

Une équipe de scientifiques a étudié le caryotype de 23 cellules cancéreuses provenant d'une femme, qui ont été examinées après 3 ans et 2 mois de culture (d'après C. R. Acad. Sc. Paris, t. 274, p. 3438-3441 (19 juin 1972) Série D 32)

Un autre examen, 8 mois plus tard, donne les mêmes résultats. Voici leurs conclusions :

- a) Aucune cellule ne possède un caryotype normal à 46, XX,
- b) Le nombre de chromosomes varie de 41 à 70, avec une majorité à 45 et 46.
- c) Dans toutes les cellules, l'un ou les 2 éléments de la paire 6 sont absents.
- d) Dans 22 cellules, l'un des chromosomes 20 est remplacé par un petit élément, qui peut correspondre à un 20, amputé de la moitié de ses bras

21 (1 pts) - que nous apprend l'observation a sur les cellules cancéreuses ?

22 (2 pts) - proposez une hypothèse, mettant en jeu la répartition des chromosomes, expliquant les observations b et c.

23 (2+1pts) - proposez une hypothèse permettant d'expliquer l'observation d. Que nous apprend cette observation sur les chromosomes ?

### 3 - United colors of cats (7 pts)

source : [http://www.afas-siamois.com/gene\\_o\\_tortie.html](http://www.afas-siamois.com/gene_o_tortie.html)

Des éleveurs s'intéressent à la coloration des chats : "Chaque cellule d'une chatte contient deux chromosomes X: un porteur de Xo (roux), l'autre de X+ (brun). Néanmoins, chaque cellule n'exprime qu'un seul de ses chromosomes X. L'autre est mis "en veilleuse" (inactivé) à un stade très précoce du développement embryonnaire. Une cellule va exprimer son chromosome Xo alors que sa voisine peut exprimer son chromosome X+.

Durant l'évolution de l'embryon, chaque cellule se multiplie et forme un petit clone de cellules, exprimant soit Xo, soit X+. Au niveau des cellules de la peau, certaines cellules expriment donc le roux, d'autres le "non roux", et cela de manière aléatoire. Le résultat visible est la coexistence de taches rousses et de taches brunes. "

31(2 pts) - Quel nom pouvez-vous donner au "o" et au "+" des chromosomes X ?

32 (4 pts) - À partir de vos connaissances et des informations fournies, expliquez pourquoi :

- La répartition des taches d'une femelle n'est pas transmise à ses chatons.
- Chaque chatte écaillé possède un dessin unique, personnel et individuel.

## Apprenez à bien rédiger

Corriger la phrase suivante, trouvée dans la copie de François Van Verenberg (élève qui a compris mais s'exprime difficilement):

" Les allèles, y sont dans le noyau, et entre eux c'est le fight. Il y en a un qui sera winner, pour l'autre c'est la loose, mais parfois, tous les deux, ils sont aware, et y vont bosser ensemble pour faire leur travail, sans fight."

## Corrections

### Questions

1/ Un allèle est une version d'un gène. Il correspond à l'information donnée par ce gène. Dans un individu, un gène est représenté par deux allèles.

2/ Un gène est un morceau (on peut aussi dire une région) de chromosome correspondant à un caractère héréditaire donné. Vous pouvez comparer cette définition à celle que nous avons auparavant (élément présent en double exemplaire dans le noyau de la cellule et correspondant à un caractère) pour voir comment, progressivement, on précise la notion de gène.

3/ Un chromosome est un filament contenant les gènes, dans le noyau cellulaire. Le plus souvent en forme de X, on peut l'observer lorsqu'une cellule va se diviser..

4/ Les gènes sont situés sur les chromosomes, dans le noyau des cellules.

5/ Le nombre de chromosomes est pair, car les chromosomes s'organisent par paires...

6/ Un caryotype est un rangement des chromosomes d'une cellule, dans lequel les chromosomes sont regroupés par paires, du plus grand au plus petit.

7/ Le nombre de chromosomes ne suffit pas à caractériser une espèce car il existe des espèces très différentes qui possèdent le même nombre de chromosomes. Par exemple, Hérissons et Chimpanzés possèdent tous deux 48 chromosomes. Ce qui compte, ce sont les gènes portés sur les chromosomes.

8/ Deux allèles peuvent être, en effet, identiques chez un individu.

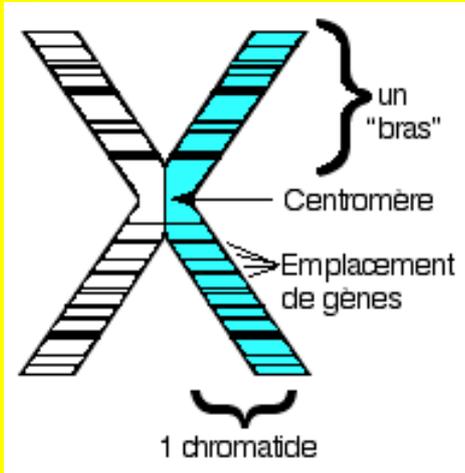
9/ Sur un chromosome, les gènes peuvent apparaître, avec les colorations adéquates, comme des bandes sombres ou claires.

## Colles

1/Dessiner et légender un schéma décrivant les chromosomes.

 Un schéma scientifique comporte toujours un titre et une légende. Il sert à montrer clairement les choses, aussi il doit être assez grand et résumer le maximum de notions de façon claire. Le vôtre devrait donc ressembler à ça:

Aspect d'un chromosome (chromatide colorée)



2/Un gène possède 4 allèles A,B,C,D. établir toutes les combinaisons possibles de ces allèles chez un individu.

Un individu possède deux allèles d'un gène. On répertorie donc toutes les possibilités de couples avec 4 éléments. Il y en a 2<sup>4</sup>, soit 16. On en fait la liste: AA, BB, CC, DD (facile) puis AB, AC, AD et ses inverses BA, CA et DA. Viennent ensuite BC, BD et CB, DB; puis CD et DC.

3/Quelles sont les observations qui ont permis de faire le lien entre les chromosomes et les gènes ?

Nous avons vu que ces observations proviennent à la fois de l'étude du comportement des chromosomes pendant la division de la cellule et au cours de la fécondation mais aussi des observations des chromosomes des mouches drosophiles, que Morgan a pu relier à des caractères facilement observables (et transmis de façon héréditaire).

**Exercices** (j'ai coloré les mots qui signalent que l'on a bien affaire à un raisonnement de type scientifique. **Attention toutefois**: il ne suffit pas de mettre dans un texte des "donc" et des "alors" au pif pour en faire un modèle de raisonnement scientifique!).

1 - Mais encore (4 pts)

Ici, nous avons visiblement affaire à deux plantes d'aspect très différent mais possédant presque les mêmes gènes. **Comme** très peu de gènes sont différents **alors** nous devons nécessairement supposer que même une faible différence entre gènes peut causer d'importantes différences morphologiques. Tous les gènes ne sont **donc** pas "égaux", il y en a certains qui, à la moindre variation, provoqueront d'importants changements dans la forme des organismes, par exemple (vous creuserez ces aspects en seconde).

On peut même remarquer que certaines combinaisons d'allèles, pour un seul gène, peuvent suffire, d'après les informations fournies, pour provoquer d'importantes modifications des caractères (bon, là; j'avoue, c'était difficile de penser aussi aux combinaisons d'allèles...)

2 - Chromosomes et cancer (6 pts)

- Aucune cellule ne possède un caryotype normal à 46, XX,
- Le nombre de chromosomes varie de 41 à 70, avec une majorité à 45 et 46.
- Dans toutes les cellules, l'un ou les 2 éléments de la paire 6 sont absents.

d) Dans 22 cellules l'un des chromosomes 20 est remplacé par un petit élément, qui peut correspondre à un 20, amputé de la moitié de ses bras

31 (1 pts) - L'observation a nous apprend que les cellules cancéreuses possèdent un caryotype anormal. La répartition des chromosomes ne se fait donc pas normalement quand ces cellules se divisent.

32 (2 pts) Les observations b et c s'expliquent si, lors de la division cellulaire, certains chromosomes restent dans une seule cellule fille, d'autres non. En particulier, il semble que le chromosome 6 ne soit plus présent en paire, mais seul: la cellule cancéreuse originelle s'est peut-être formée lors d'une division cellulaire qui a vu disparaître le chromosome 6...

33 (2+1pts) - L'observation d s'explique si le chromosome 20 a été déchiré lors d'une division. Cette observation nous apprend que les chromosomes sont fragiles, et peuvent être endommagés au cours d'une division. Elle montre aussi que tous les gènes ne sont pas indispensables à la vie de la cellule, mais que ceux qui manquent (portés par le chromosome 20, ou le 6) sont indispensables à un comportement cellulaire normal.

3 United colors of cat

31(2 pts) - Le "o" et au "+" des chromosomes X sont visiblement les deux allèles du gène "couleur du poil"

32 (4 pts) Une chatte comporte les deux chromosomes X, **puisque** c'est une femelle mammifère. Chaque chromosome X porte un allèle différent pour le gène "couleur du poil". Le point important est qu'apparemment un seul des deux chromosomes X est actif, et **donc** qu'un seul des allèles s'exprime. De plus, l'allèle qui va s'exprimer est choisi au hasard, ce n'est pas le même dans toutes les cellules ("Une cellule va exprimer son chromosome X<sub>o</sub> alors que sa voisine peut exprimer son chromosome X<sub>+</sub>"). **Puisque** dans l'embryon le "choix" de l'allèle qui va s'exprimer se fait au hasard selon les cellules, il ne peut pas être le même entre une chatte et ses petits, ni entre ses petits d'ailleurs: la répartition des taches d'une femelle ne peut **donc** pas être transmise à ses chatons.

- La répartition des allèles o ou + actifs dans les cellules de la peau se fait au hasard: ce n'est **donc** pas un caractère héréditaire. La couleur du poil dépend de ces allèles, et se retrouve **donc** choisie au hasard pour chaque cellule. On obtient **donc** une répartition des couleurs sur la peau qui est une possibilité parmi des millions d'autres (**car** il existe des millions de cellules de peau avec 2 possibilités pour chacune). La répartition des couleurs sur la peau ("dessin") de chaque chatte est **donc** bien unique, personnelle et individuelle.

**Remarque**: Ce genre de caractère lié au chromosome X, qui sera donc différent selon les mâles ou les femelles mammifères, est très étudié, car impliqué dans certaines maladies (et ils ont joué un rôle dans l'histoire de la découverte de l'activité des gènes).

## Rédaction

Chaque gène est représenté par deux allèles, **sur les chromosomes du noyau**. Les allèles **collaborent** pour construire les caractères. Parfois, un seul d'entre eux s'exprime, c'est le **dominant** alors que l'autre est dit **récessif**. Parfois, les deux allèles **fonctionnent ensemble harmonieusement**

## Traduction:

L'association des chromosomes paternels et maternels en paires et leurs séparation ultérieure constituent la base physique des lois de l'hérédité découvertes par Mendel.

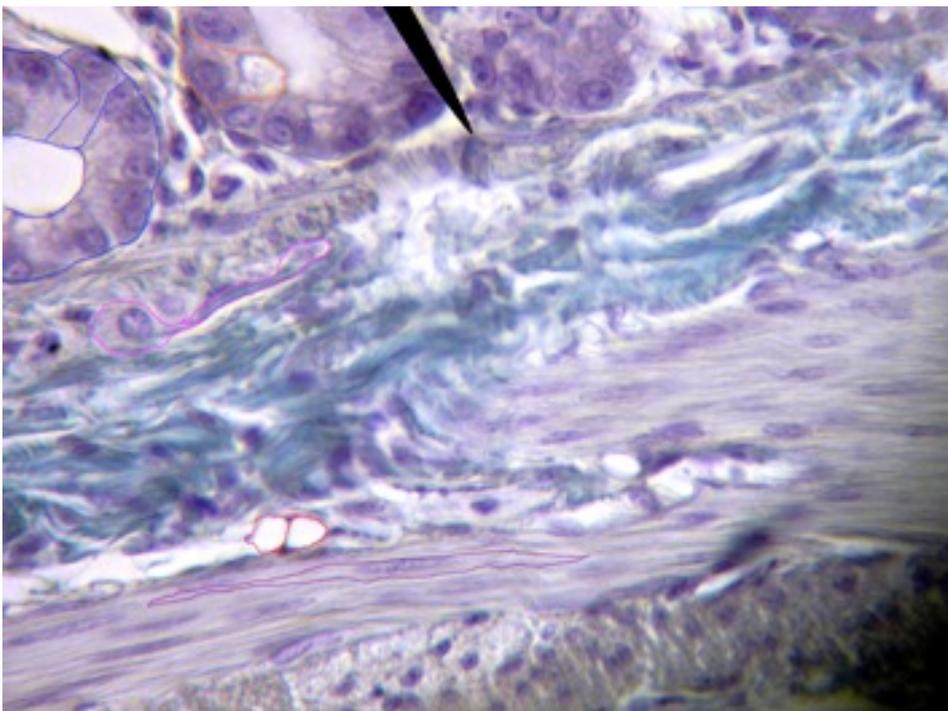
# Une cellule n'exprime qu'une partie des gènes qu'elle contient

Si on réalise des caryotypes à partir de cellules différentes d'un même individu, on constate que tous sont identiques: les cellules de l'organisme ont le même caryotype. Cela signifie qu'elles possèdent donc toutes les mêmes gènes.

La seule exception concerne des cellules très spéciales, qui devront fusionner avec d'autres pour accomplir leur fonction: les gamètes (nous y reviendrons dans le chapitre suivant).

Toutes les autres cellules, les  $10^{14}$  cellules de votre organisme, possèdent les mêmes gènes. C'est assez logique: toutes ces cellules ne sont que des copies de la cellule oeuf à l'origine de chaque individu. Cela motive deux remarques.

**Remarque n°1:** comment expliquer que nous ne sommes pas des tas de cellules-oeuf, mais que nous avons des organes spécialisés formés de cellules très différentes, qui ne se ressemblent pas et ne possèdent pas les mêmes propriétés ?



En effet, sur cette microphotographie d'une coupe d'intestin de rat ( $\times 400$ ) on distingue facilement 5 types de cellules très différentes:

Les cellules intestinales (entérocytes - cerclées de bleu, en haut à gauche); les cellules sécrétrices de mucus (cerclée d'orange); les cellules accumulant les graisses (adipocytes, deux sont cerclées de rouge): les cellules liant les autres entre elles (conjonctives, elles sont allongées et cerclées de roses) et les cellules musculaires en forme de fuseau (myocytes cerclé de violet). Si toutes ces cellules possèdent les mêmes gènes, pourquoi ont-elles des caractères si différents ?

Ce problème se résout facilement: il suffit de supposer que les cellules n'utilisent pas tous les gènes qu'elles contiennent, mais seulement ceux qui correspondent à leur fonction.

Les cellules se comportent comme vous dans une bibliothèque: vous ne lisez que ce qui vous intéresse (ou ce que l'on vous force à lire). De même, la cellule n'utilise que les gènes qui "l'intéresse" pour réaliser sa fonction.

Dans les exemples examinés, les cellules musculaires utilisent les gènes leur permettant de fabriquer des molécules qu'elles stockent dans leur cytoplasme et qui sont capables de se contracter. Les cellules sécrétrices de mucus n'utilisent pas ces gènes, mais d'autres qui leur permettent de fabriquer les molécules caractéristiques du mucus...

Chacune de nos cellules n'exprime donc qu'une partie des gènes qu'elle contient. Cette utilisation partielle permet à la cellule de "faire son travail" et est à l'origine de son aspect particulier.

## L'observation microscopique



Son but est de vous faire observer en détail votre sujet. C'est pour cela que l'on vous demande un dessin qui doit vous obliger à être attentif (rien ne vous empêche, en plus, de faire une photo avec votre mobile, ça marche\*). L'image au microscope est toujours très petite: vous devez grossir par la pensée ce que vous observez. Par exemple, vous voyez ce groupe de cellules:



et votre dessin "nu" (sans titre, grossissement et légende mentionnant les diverses parties de la cellule et vos remarques) doit ressembler à ça:



Entraînez-vous !

Si vous n'y arrivez pas, demandez de l'aide à votre prof d'art plastique: la plupart (pas tous...) des profs ne demandent qu'à vous aider...

\* Si votre prof ne veut pas que vous fassiez de photos, citez-lui ceci: " Deux personnes ne feront jamais le même dessin (...). Il y aura toujours discussion et confusion. Mais les photos ne mentent pas. Dix hommes peuvent les étudier simultanément et d'entendre à leur sujet". Robert Koch (éminent biologiste - nous le retrouverons au chapitre 2).

## Pendant le cours...

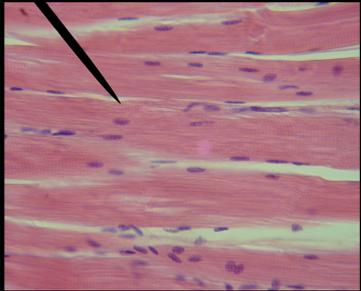
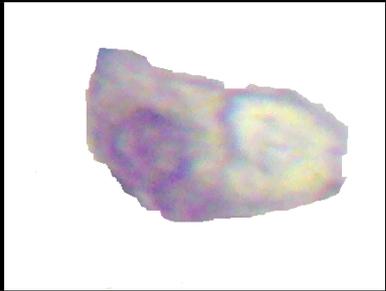
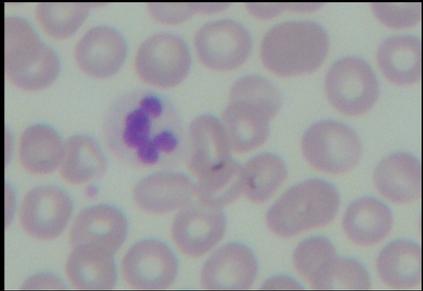
La question qui tue:

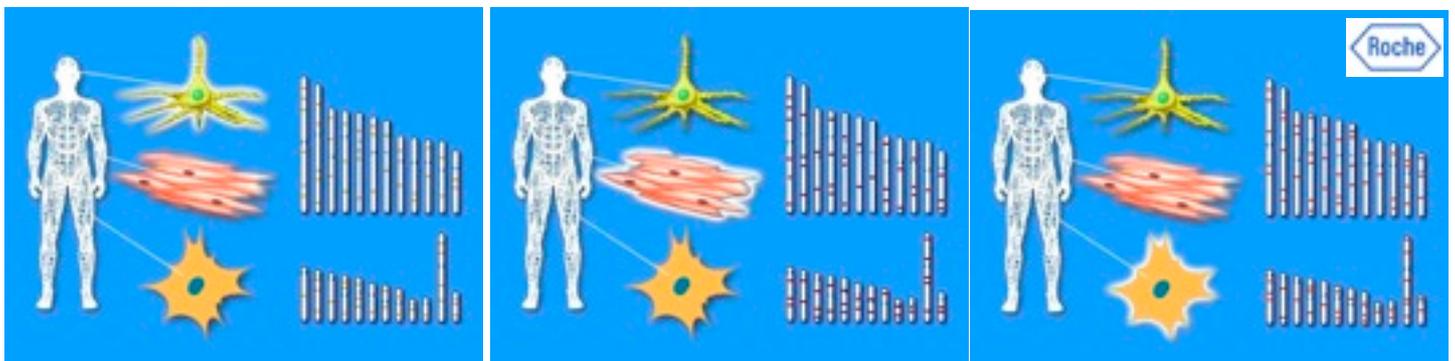
"Comment une cellule sait-elle quels sont les gènes qu'elle doit utiliser ?"

Elle reçoit pour cela des informations venant de son environnement, et principalement des autres cellules qui l'entourent. L'ordre des gènes sur le chromosome joue aussi un rôle (vous le verrez en seconde).

Toutefois, les mécanismes qui activent ou qui arrêtent l'expression d'un gène sont très complexes et souvent mal connus.

Le tableau suivant compare trois types de cellules et leurs propriétés liées à l'expression spécifique de certains gènes.

cellule	musculaire	sécrétrice	sanguine
Aspect (proportions non respectées)			
Propriétés	capable de se contracter	fabrique et libère diverses molécules	Transporte le O <sub>2</sub> (hématies) Défend l'organisme (leucocytes)



Les trois schémas ci-dessus (extraits du [programme de formation en génétique des laboratoires Roche](#)) montrent quels sont les gènes activés chez trois types de cellules: les cellules nerveuses, les myocytes et les cellules de la peau. Les gènes activés sont représentés sous forme de barres colorées sur les chromosomes. Vous avez bien entendu remarqué que pour clarifier le schéma on a représenté que la moitié des chromosomes de la cellule (un de chaque paire).

**Remarque n°2:** si toutes nos cellules contiennent les mêmes gènes, alors il devrait être possible de réaliser une "copie génétique" d'un organisme à partir de n'importe laquelle de ses cellules !

En effet, il est possible de réaliser une copie génétique d'un individu à partir d'une seule de ses cellules. Vous l'avez fait vous même, avec des végétaux. C'est le principe du bouturage (vous utilisez plusieurs cellules, un morceau de végétal qui redonne des racines et un autre individu). On peut réaliser la même chose à partir d'une cellule. On obtient de multiples copies d'un individu. Cela s'appelle un clone. Beaucoup de végétaux cultivés sont produits de cette façon.

Le clonage des animaux est plus difficile, mais il est réalisable. On prélève le noyau d'une cellule (n'importe laquelle) qui va remplacer le noyau d'un ovule. La cellule obtenue se comporte comme une cellule-oeuf et, implantée dans une femelle, va donner une copie génétique de l'individu de départ, un "jumeau" décalé dans le temps. Toutefois, cette technique est délicate, et le pourcentage de réussite est, pour les mammifères, très faible.

Les deux vidéos ci-contre (extraites du cours d'été 2006 de l'[Howard Hughes Medical Institute - HHMI](#)) montrent le principe de ce transfert de noyau et sa réalisation pratique (la grosse pipette à gauche sert à tenir l'ovule par une légère aspiration). Oui, les commentaires sont en Anglais, et alors ? Cela fait deux ou quatre ans que vous étudiez cette langue, il faut bien que cela vous serve! (Ceux qui ont fait Espagnol et Allemand n'ont pas bien compris:  un scientifique s'exprime mal, surtout s'il est Français - en Anglais!)



# La répartition des chromosomes et des gènes qu'ils portent explique la reproduction des cellules et des individus.

Entre 1870 et 1890, de nombreux chercheurs observent les chromosomes nouvellement découverts et font à leur sujet de nombreuses découvertes sur leur comportement au cours de la division des cellules. Pour mieux voir, ils réalisent leurs observations sur des animaux possédant peu de chromosomes (surtout des vers). Leurs observations sont à l'origine des premières idées sur le rôle des chromosomes dans la transmission des caractères.

## 1 - Les cellules somatiques se reproduisent à l'identique par division

### 11 - chaque cellule fille reçoit les mêmes gènes que ceux de la cellule mère

Une cellule qui va se diviser est dite cellule "mère". Elle donne ensuite deux cellules, dites cellules "filles" (quand elles se diviseront, chaque cellule "fille" deviendra à son tour une cellule "mère", et ainsi de suite...)

C'est Walther Flemming, en 1879, qui est parmi les premiers à observer la répartition de chromosomes dans des cellules d'embryons de salamandre, qui se divisent à intervalle de temps réguliers. Les schémas dans la marge résument ses observations, complétées depuis par de nombreux chercheurs (et résumées en BD page suivante):

1 - Avant que la cellule ne se divise, son noyau disparaît alors que les chromosomes deviennent visibles (on peut se demander où ils étaient avant ....)

2 - Les chromosomes se rassemblent et s'alignent à l'équateur de la cellule. On observe l'apparition d'un ensemble de fibres (1) qui "tirent" les chromosomes qui se séparent en deux chromatides au niveau du centromère.

3 - un lot complet et identique de chromatides ("demi" chromosomes) migre vers chaque pôle de la cellule.

4 - La division de la membrane individualise deux cellules filles, puis les chromosomes disparaissent et le noyau se reforme.

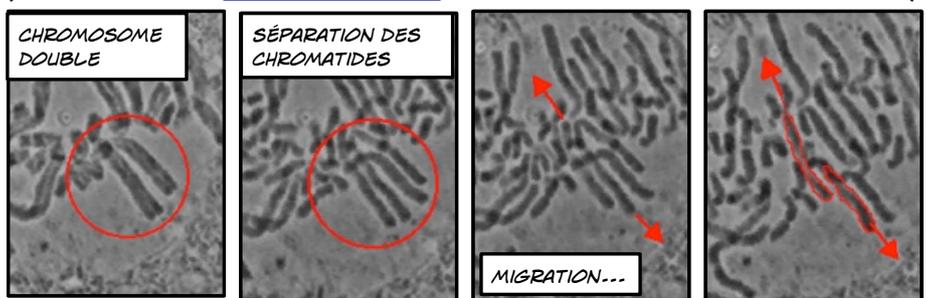
Mais que devient le nombre de chromosomes par cellules? Comme les chromosomes se séparent en deux, ce nombre est conservé (1 cellule à 46 chromosomes en forme de X donne deux cellules à 46 chromosomes en forme de "I"). Mais un chromosome est-il en forme de I ou de X? Pour le savoir, réfléchissons aux gènes contenus sur le chromosome: on se retrouve face à un problème car pour que les cellules puissent fonctionner, elles doivent recevoir tous les gènes.



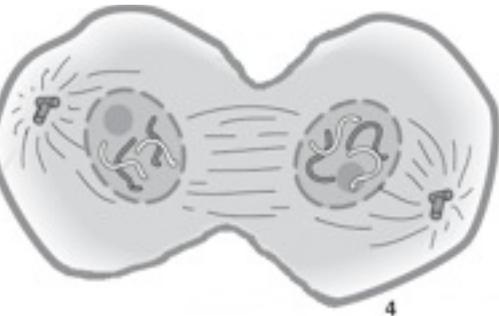
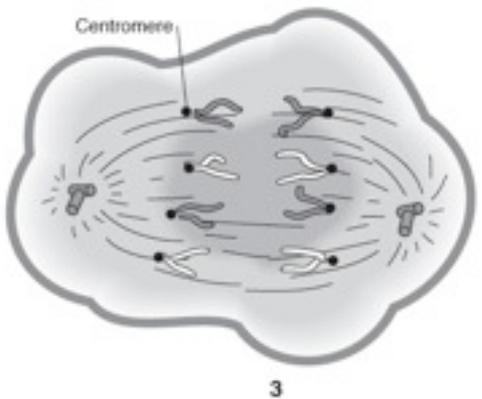
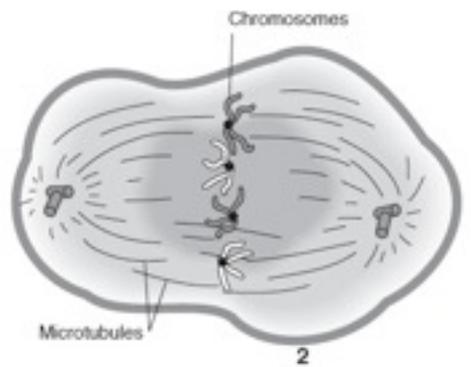
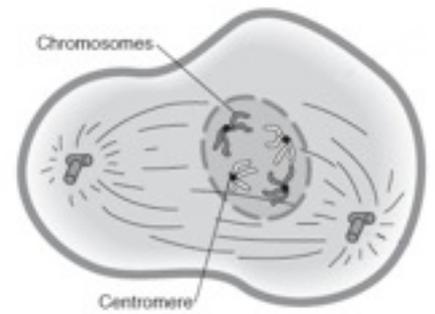
Pour cela, on est conduit à penser que le chromosome en X est en fait un chromosome double correspondant à un chromosome en forme de I ("original" = une chromatide) relié à une copie de ce chromosome (l'autre chromatide), en forme de I aussi, fabriqué par la cellule avant sa division.

Cela explique pourquoi les chromosomes n'apparaissent qu'au moment de la division de la cellule (2) et pourquoi ils ont cette forme en X (3).

Lorsque les deux chromatides se séparent, nous avons en fait une séparation de l'"original" et d'une "copie" du chromosome. Les photos ci-dessous montrent bien la séparation des chromatides d'un chromosome au cours de la division cellulaire (vues extraites d'un film de T Salmon - Université de Caroline du Nord, USA).

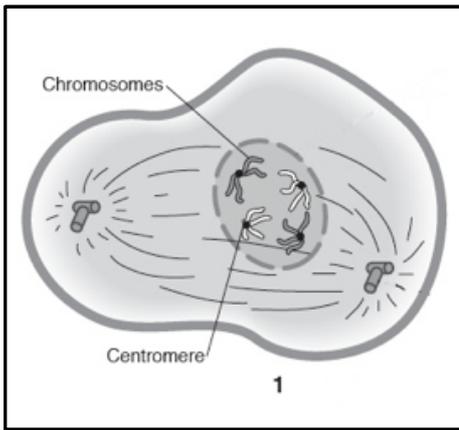


Cette façon de se diviser (4) permet donc de conserver le nombre de chromosomes par cellules: c'est une reproduction à l'identique. Ainsi se multiplient et se différencient les cellules de tous nos organes (sauf les gamètes...). Le mécanisme clef de cette division est la séparation des chromatides. Ce qui nous conduit à examiner la façon dont les chromosomes se forment.

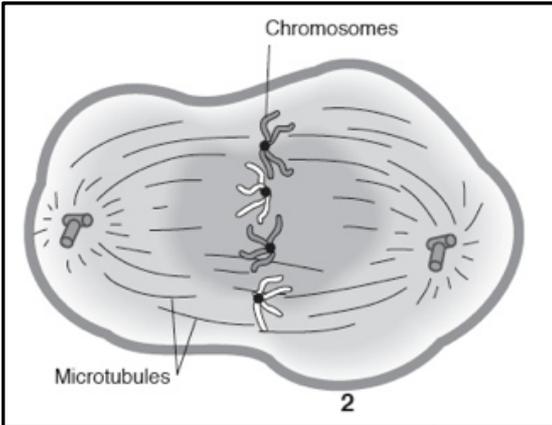


Sur ce schéma, les centromères des 4 chromosomes doubles sont représentés par des points noirs. Les microtubules sont les filaments qui tirent les chromosomes. Les pointillés sur les dessins 1 et 4 signalent respectivement la disparition puis la formation du noyau cellulaire.

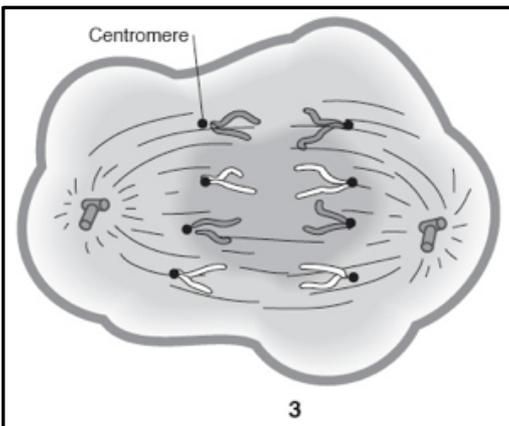
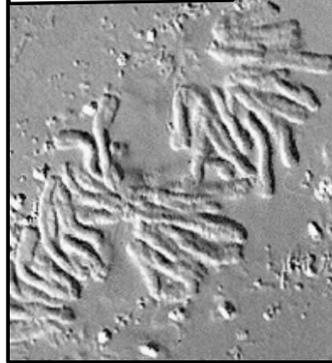
- 1 - Ces fibres ne sont pas à votre programme, mais on les voit dans la plupart des films et des schémas, alors autant en parler, non ?
- 2 - Ce qui est souvent oublié dans des films ou des animations qui vous montrent bien les chromosomes en X à l'intérieur du noyau, ce qui n'existe pas...
- 3 - Surtout sur les schémas! Cette forme n'est pas toujours bien visible, et si on filme les chromosomes tels qu'ils se comportent dans la réalité elle est beaucoup moins évidente à voir...
- 4 - Qui s'appelle la mitose, du grec mitos, qui veut dire filament...



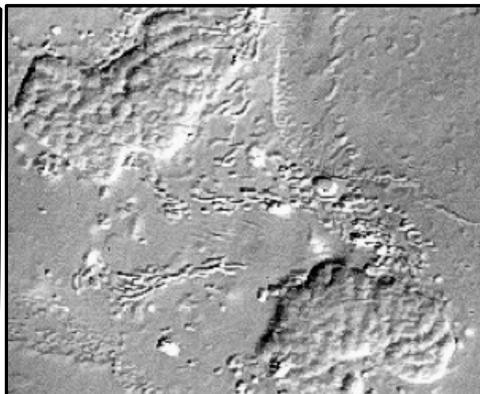
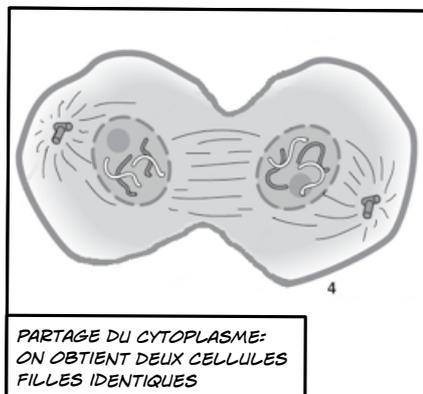
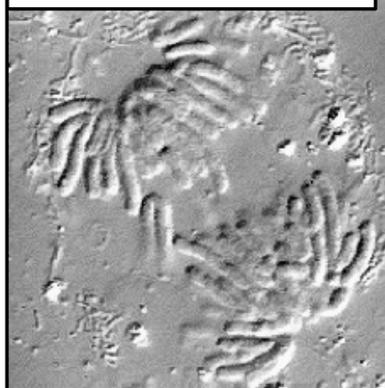
LES CHROMOSOMES DEVIENNENT VISIBLES



ALIGNEMENT DES CHROMOSOMES



SÉPARATION DES CHROMATIDES !



LES CHROMOSOMES DEVIENNENT INVISIBLES: ILS SE DÉCONDENSENT... ET DEUX NOYAUX SE REFORMENT.

## Les chorégraphes de la danse des chromosomes

Qui sont les découvreurs des chromosomes et de leurs aventures ?

Jusque vers 1870, les scientifiques étaient persuadés que le noyau (découvert par R Brown en 1833) n'était pas très important: on ne le voyait pas toujours (car il disparaît pendant la division cellulaire, des cellules faciles à observer comme les globules rouges n'ont pas de noyaux, il peut aussi être difficile à voir). On pensait que les cellules apparaissaient comme par cristallisation. Cette idée venait de Schleiden, excellent scientifique qui découvrit que les plantes sont entièrement formées de cellules mais qui avait l'impression que les cellules se formaient autour d'un noyau se formant subitement à côté d'autres cellules (ses observations étaient justes, mais réalisées à travers des microscopes de mauvaise qualité sur des préparations épaisses, mal colorées, rendant floues les images des cellules en train de se diviser: on ne voyait bien que les noyaux).

En science, l'amélioration des techniques permet de nouveaux progrès décisifs. Sciences et technique fonctionnent ensemble.

Anton Schneider observe le premier la répartition des chromosomes en 1873, dans des cellules animales.

Edouard Strasburger découvre en 1875 la division des cellules de végétaux.

Walther Flemming, entre 1879 et 1882, découvre la division des cellules des animaux, étudie la répartition des chromosomes et les compte: il est le premier à voir la séparation des chromatides.

En 1883, Van Beneden étudie les chromosomes des gamètes et leur devenir après la fécondation...

T Boveri, en 1890, observe la formation et la disparition des chromosomes, ainsi que les apports égaux de chromosomes par les spermatozoïdes et les ovules.

Une technique microscopique particulière

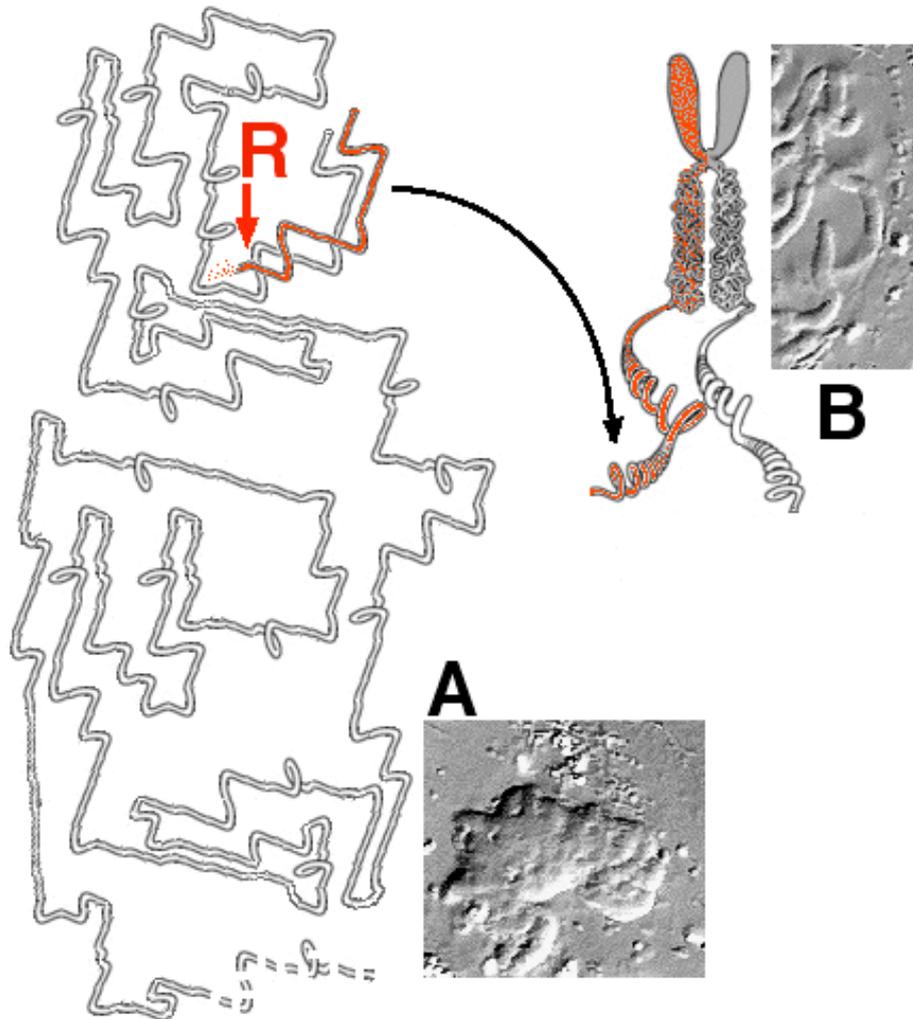
En utilisant les propriétés de la lumière, il est possible d'observer les cellules sans avoir à les colorer (ce qui les tue): on peut donc photographier et filmer les cellules vivantes (les vues de cette page ont été obtenues de cette façon par l'équipe du biologiste T. Salmon).

## 12 - Les chromosomes se dupliquent avant division

Nous avons vu que pour expliquer que les cellules conservent la même information alors qu'elles se partagent les chromatides de leurs chromosomes, il faut supposer que les chromosomes sont en fait doubles, comportant un original et une copie.

Un raisonnement simple permet aussi d'aboutir au même point: "si, à chaque division, les chromosomes se répartissaient au hasard sans se recopier, il n'y en aurait très vite plus qu'un seul par cellule, voire aucun!" Ce n'est pas ce que l'on observe. La répartition des chromosomes se fait donc de manière à conserver leur nombre.

Avant la division cellulaire, les chromosomes ne sont pas directement visibles: le noyau n'est qu'une masse indistincte (A sur le schéma). En fait, chaque chromosome y est présent sous la forme d'un long filament, comme une pelote de laine entièrement déroulée. Ce filament va se recopier intégralement (voir schéma ci-dessous, point R = Réplication). L'original et la copie restent liés au niveau d'une zone qui va devenir le centromère. Par la suite, juste avant que la cellule ne commence sa division, ces deux filaments s'embobinent, se pelotonnent pour former les chromatides du chromosome. Tout comme une pelote de laine est plus épaisse qu'un fil, les chromatides sont visibles alors que le filament déroulé ne l'était pas: les chromosomes apparaissent (B sur le schéma) et prennent leur forme "en X".



## Quelques points de français

Tout le monde ne maîtrise pas le vocabulaire français utilisé dans ce chapitre, alors quelques définitions, au cas où...

**Aléatoire:** qui se fait au hasard  
**alternance:** suite régulière de deux éléments (par exemple dans 01010101, les 0 et les 1 sont en alternance)

**Critère:** caractère ou donnée permettant de réaliser une sélection, un choix  
**complexe:** compliqué, difficile à comprendre  
**Contexte:** situation d'un problème par rapport à une époque ou des idées particulières

**Dramatique:** qui finit mal, ou va mal finir  
**Développement:** en biologie, qui se rapporte à la construction d'un individu avant qu'il soit adulte (principalement au stade d'embryon).  
**Dupliquer:** recopier de façon à obtenir deux exemplaires identiques.

**Équitablement:** de façon égale

**Horticulteur:** spécialiste de la culture non pas des orties, mais des fleurs!  
**Hématie:** cellules que vous appelez les "globules rouges".

**Iris:** plante à fleurs, souvent utilisée en bord de mur dans les jardins.  
**Immodéré:** sans modération, c'est à dire sans limites.  
**Issus:** venant, ayant pour origine  
**Indistincte:** floue, que l'on ne voit pas bien.

**Mucus:** liquide gluant

**Persuadés:** convaincus de, qui croient vraiment que...

**Philosophe:** spécialiste de la réflexion. De nombreux philosophes (anciens Grecs en particulier) ont été les premiers scientifiques. Vous en connaissez au moins deux: Pythagore et Thalès...

**Préparation:** en biologie, ce sont souvent les lames de verres enfermant les échantillons coupés, conservés et colorés qu'il faut observer au microscope.  
**provenir:** venir, avoir pour origine

**Spécifique:** spécialisé, bien adapté, que l'on ne retrouve que dans le cas considéré.

**Résumé :** Les caractères héréditaires sont transmis de génération en génération grâce aux gènes, unités situées dans le noyau des cellules. Les caractères acquis au cours de la vie d'un individu ne sont pas héréditaires puisqu'ils ne peuvent pas modifier les gènes. Les gènes correspondent physiquement à des régions de corps filamenteux, les chromosomes, organisés en paires et qui se recopient et prennent une forme en "X" caractéristique lorsqu'une cellule se divise. Cette copie permet de conserver le nombre de chromosomes au cours de la division cellulaire.

Chaque gène est présent sous forme d'un allèle, qui représente l'information liée à ce gène. Sur une paire de chromosomes, les allèles peuvent être identiques ou différents (dans ce cas, si un seul allèle s'exprime il est dit dominant et l'autre est récessif).

Une fois les chromatides séparées, les chromatides vont se dérouler, reprendre leur aspect filamenteux et fin: le noyau se reforme pendant que les chromatides disparaissent progressivement.

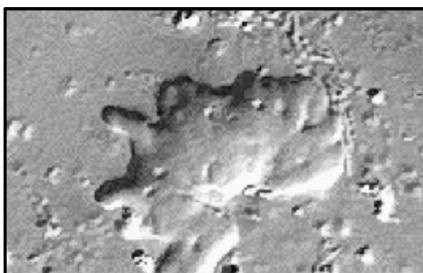
## LA DISPARITION DES CHROMOSOMES



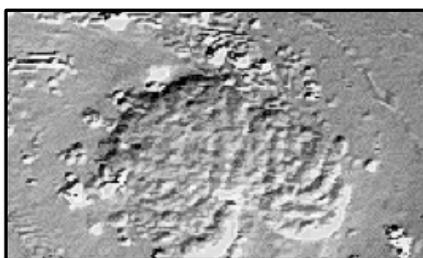
LES CHROMATIDES VIENNENT DE MIGRER ET SE RASSEMBLENT



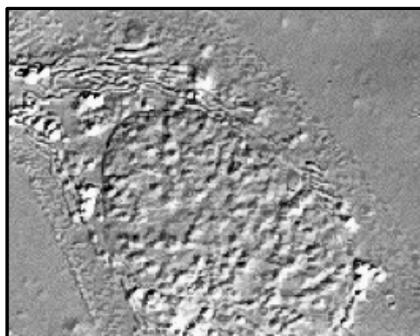
LES CHROMATIDES DEVIENNENT INDISTINCTES



UN NOUVEAU NOYAU EST EN TRAIN DE SE FORMER. LES CHROMOSOMES SE DÉBOBINENT, REDEVIENNENT DES FILAMENTS QUI S'ENTREMÊLENT.



LA NOUVELLE CELLULE POSSÈDE MAINTENANT UN NOYAU LARGE, PLAT, CONTENANT DES CHROMOSOMES DÉROULÉS, UTILISABLES.



## 2 - Les gamètes sont génétiquement différents de la cellule qui leur donne naissance

### 21- Chaque gamète reçoit au hasard un seul chromosome de chaque paire

Si chaque gamète possédait 46 chromosomes, on se retrouverait avec une cellule oeuf à 92 chromosomes qui se reproduirait ensuite à l'identique. Ce n'est pas ce que l'on observe.

Les gamètes ne doivent donc pas posséder 46 chromosomes.

Historiquement, c'est justement l'observation des gamètes et de la fécondation qui a donné les premiers indices de l'importance des chromosomes pour le transport des gènes. L'examen du caryotype des gamètes confirme que ces cellules ne comptent que 23 chromosomes, un de chaque paire.

Comment expliquer cette répartition ?

Les gamètes résultent de deux divisions cellulaires successives, dont la première est très particulière : les chromosomes se rassemblent et s'alignent par paires (en rang par deux !) puis lorsqu'ils se séparent un chromosome de chaque paire migre de chaque côté de la cellule. Ici, les centromères restent entiers. On se retrouve avec deux cellules qui ne possèdent qu'un chromosome "complet (en X) de chaque

## L'histoire des gamètes

L'idée que les gamètes sont des cellules qui se rencontrent et fusionnent leurs noyaux lors de la fécondation a été très longue à s'imposer...

Les gamètes, des cellules?

Découvrir l'existence des cellules ne veut pas dire comprendre que c'est un petit être vivant, bien au contraire: longtemps, les scientifiques considèrent uniquement les parois de la cellule. On pense qu'elle est remplie d'un liquide mystérieux, que deux biologistes (Purkinje en 1839 puis Von Mohl en 1845) ont baptisé protoplasme, où nage le noyau. Pendant un siècle, les scientifiques vont croire que le protoplasme est une substance qui explique les propriétés des êtres vivants.

En 1852, R. Remak montra que l'oeuf de grenouille est bien une cellule, et que toutes les cellules de l'embryon de grenouille se forment par divisions successives d'autres cellules. Le biologiste Virchow étendit en 1855 cette observation aux animaux et aux humains. Après les grenouilles, Gegenbaur montra en 1861 que les ovules de tous les vertébrés étaient aussi des cellules.

Les spermatozoïdes (découverts dès 1677 par Leeuwenhoek) ont été pris par les premiers observateurs pour des parasites, des espèces de vers vivants dans le sperme. (les maladies causées par des vers parasites étaient très fréquentes à cette époque -a-) Ce n'est qu'en 1841 que Kölliker démontra, en observant les diverses étapes de leur formation, que c'était bien des cellules.

L'idée que les gamètes sont des cellules a mis du temps à s'imposer: des scientifiques influents ne la soutenaient pas (-b-), et, en 1868, Darwin n'était pas encore persuadé de sa justesse.

Vous pourriez croire qu'une fois que l'on sait que les deux gamètes sont des cellules, la fécondation va être comprise tout de suite (-c-). Et bien pas du tout: bien au contraire, des discussions et des affrontements passionnés ont eu lieu à propos de la fécondation.



a) En sciences, l'observation de suffit pas: pour la comprendre, il faut l'interpréter correctement, ce qui est très difficile et se fait selon les connaissances de l'époque.

b) La célébrité de certains scientifiques ne signifie pas qu'ils ont toujours raison !

c) Les opinions (parfois fantaisistes) des scientifiques jouent aussi un rôle dans leur façon d'interpréter expériences et observations !

paire, et qui vont subir une deuxième division "classique" avec séparation des chromatides.

Ce mode de division (1) permet bien une réduction du nombre de chromosomes. Chaque gamète ne contient qu'un seul exemplaire d'un chromosome homologue

## CONSTRUCTION DES GAMÈTES



CHROMOSOMES...  
EN RANG PAR DEUX !



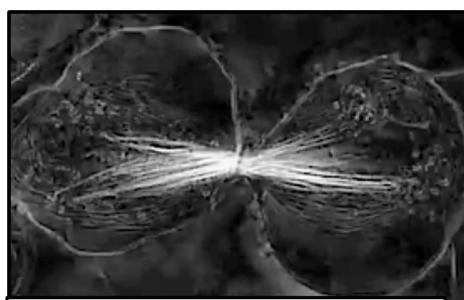
MAIS CE SONT LES PAIRES DE  
CHROMOSOMES QUI SE SÉPARENT !



ON REMARQUE D'AILLEURS  
UN CHROMOSOME "DOUBLE"  
(EN FORME DE "X" TORDU)  
QUI SE DIRIGE VERS LA  
DROITE DE LA CELLULE



UN SEUL CHROMOSOME DE  
CHAQUE PAIRE SE DIRIGE VERS UN  
DES "POLES" DE LA CELLULE...



DIVISION DU CYTOPLASME: DEUX FUTURS  
GAMÈTES CONTENANT UN SEUL  
CHROMOSOME DE CHAQUE PAIRE.

La BD ci dessus résume et illustre la formation des gamètes mâles chez un insecte qui ressemble beaucoup au cousin. Les cercles rouges entourent les chromosomes doubles en cours de séparation.

Les vues de cette page sont tirées du travail des chercheurs James LaFontain jr, de l'université de Buffalo, et Rudolf Oldenbourg, du laboratoire de biologie marine de Woods hole (*Meiosis I in a living crane fly spermatocyte: time lapse movie*. ASCB Image & Video Library. February 2007:VID-13. Film complet visible [sur le site de l'ASCB](#) - American Society of Cell Biology).

1 - que l'on appelle la méiose, d'après le mot grec "méiosis", qui signifie décroissance (du nombre de chromosomes au cours de ce type de division)...

## La guerre des gamètes

Avant de découvrir que les gamètes étaient des cellules, les biologistes se sont divisés, dans les années 1700, en deux camps qui vont s'affronter à coup d'observations et d'expériences: les "ovistes" croient que seul l'ovule contient le futur embryon, le spermatozoïde n'ayant qu'un rôle mécanique: en "piquant" l'ovule, il déclenche son développement. Une observation les soutenait: les ovules des femelles pucerons sont (parfois) capables de se développer seuls, sans contact avec un spermatozoïde...

Au contraire, les "spermatistes" sont persuadés que c'est le spermatozoïde qui contient le véritable embryon, et l'emporte dans l'ovule où il ne fera que grandir. Des observateurs comme Nicolas Hartsoeker en 1694 sont même persuadés d'avoir vu au microscope un petit homme replié à l'intérieur d'un spermatozoïde...

Personne ne pensait qu'un spermatozoïde pouvait pénétrer à l'intérieur de l'ovule. Ce ne fut qu'en 1843 que M. Barry découvrit, des spermatozoïdes à l'intérieur des ovules d'une lapine. En 1854, Thuret observa, chez une algue dont le nom doit vous rappeler quelque chose, le fucus vésiculeux (voilà donc pourquoi on vous en a parlé en quatrième!) l'entrée des spermatozoïdes dans les ovules.

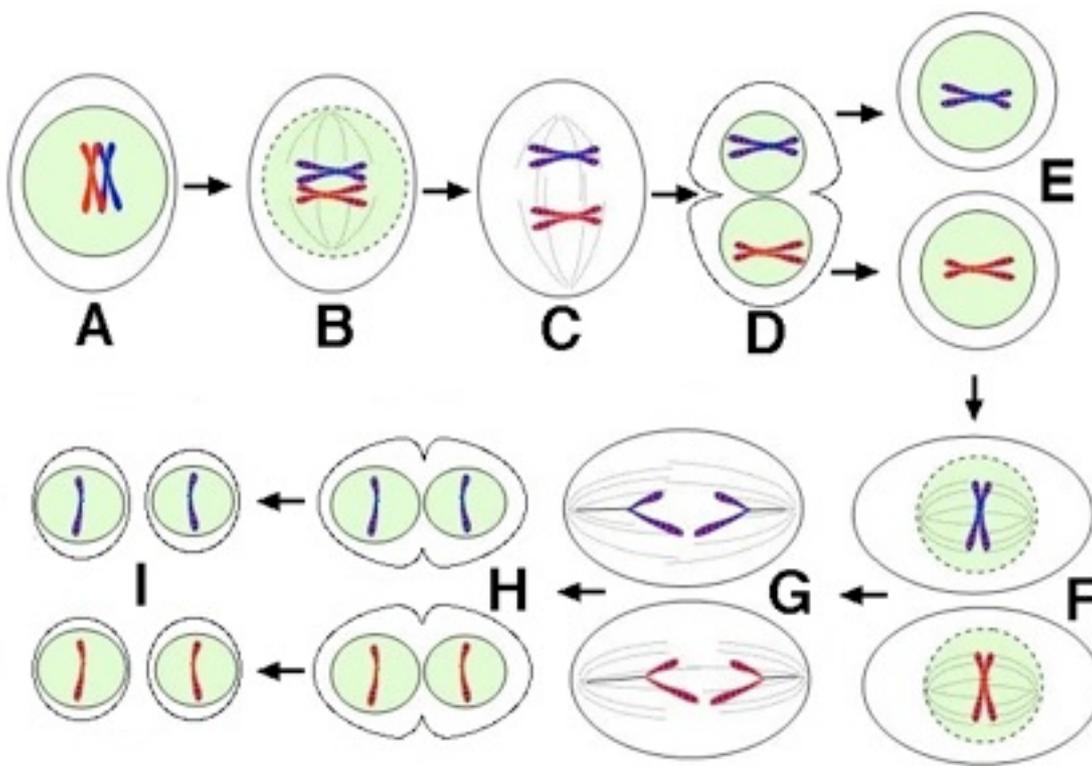
Il fallut 25 ans d'améliorations des microscopes et de multiplication des observations pour établir que le spermatozoïde pénétrait, au moins en partie, dans l'ovule.

Toutefois, les biologistes pensaient que le spermatozoïde disparaissait dans l'ovule (leur microscope ne leur montrait pas les noyaux dans l'ovule).

L'utilisation d'animaux dont les gamètes sont plus faciles à observer (des vers), de meilleurs microscopes (le grossissement x 1000 fut possible en 1870), la machine permettant de découper les échantillons en lamelles transparentes (1866) et de nouveaux colorants ont permis d'importants progrès.

En 1883, Van Beneden étudie la fécondation chez l'ascaris, un ver parasite du cheval, dont les cellules possèdent 4 chromosomes seulement. Il découvre que les gamètes n'en contiennent que 2 et qu'après la fécondation les chromosomes du spermatozoïde se joignent à ceux de l'ovule pour former un nouveau noyau à 4 chromosomes. Beneden ne fit pas le lien entre cette observation et la transmission des caractères. D'autres chercheurs confirmèrent ensuite ces découvertes, abandonnant lentement l'idée de l'hérédité par mélange des caractères.

Le biologiste Wilson a résumé ces découvertes en 1896. [Vous pouvez consulter son livre \(the cell in development and inheritance\) sur le web...](#) pour vous faire une idée des connaissances de l'époque (c'est en anglais, mais il y a de nombreux schémas).



### Une division particulière

Partons d'une cellule qui va donner des gamètes et possède une paire de chromosomes "en X" (A). Les chromosomes s'alignent par deux (B) puis se séparent (C) et la cellule termine sa division (D).

On obtient deux cellules dont le nombre de chromosomes a été divisé par deux (E): les futurs gamètes.

Comme le chromosome de chaque cellule est toujours double, une seconde division sera nécessaire: alignement (F), séparation des chromatides (copie et original du chromosome - G) puis division du cytoplasme (H) permettant d'obtenir, à partir d'une cellule à deux chromosomes doubles, 4 gamètes à un seul chromosome. Cette division particulière permet de diviser par deux le nombre des chromosomes d'une cellule, chaque cellule recevant un chromosome d'une paire.

## 22 - La fécondation rétablit le nombre de chromosomes de l'espèce

Lorsque les gamètes d'une même espèce se rencontrent, chacun apporte un des chromosomes d'une paire: le génome de la nouvelle cellule constituée (la cellule oeuf) provient pour moitié de la mère et pour moitié du père.

Cela signifie que dans une paire de chromosomes, il existe un chromosome d'origine paternelle et un autre d'origine maternelle

**2 chromosomes homologues = 1 chromosome paternel + 1 chromosome maternel.**

Le sexe d'un individu est déterminé par les chromosomes sexuels X et Y. Mais un ovule contiendra forcément un chromosome X (issu de la séparation de la paire XX) alors que les spermatozoïdes vont contenir le chromosome sexuel issu de la séparation de la paire XY. Il y a donc des spermatozoïdes "X" et des spermatozoïdes "Y". C'est le chromosome sexuel apporté par le spermatozoïde qui décide donc du sexe du futur individu (1).

$X$  (spermatozoïde) +  $X$  (ovule) =  $XX$  → sexe féminin

$Y$  (spermatozoïde) +  $X$  (ovule) =  $YX$  → sexe masculin

Comme un spermatozoïde a 50% de probabilité d'hériter de l'un ou de l'autre des chromosomes sexuels, cela explique pourquoi les sexes se répartissent équitablement dans la population (2)

## 3 - Les individus issus de la reproduction sexuée sont uniques

### 31- La reproduction sexuée reconstitue au hasard un génome unique

Lors de la formation des gamètes, les chromosomes de chaque paire se répartissent au hasard dans une cellule ou dans une autre. Comme ils peuvent porter des allèles différents, **la répartition des allèles d'un gène est aléatoire**. On peut calculer qu'avec 23 paires de chromosomes, il existe  $2^{23}$  combinaisons différentes (environ 8 millions de possibilités).

Quand les deux gamètes se rencontrent, le noyau du spermatozoïde pénètre dans l'ovule (souvenir de quatrième...) et les deux noyaux fusionnent; la rencontre des deux gamètes recombine deux demi-génomes choisis au hasard, et donne donc un génome original (parmi  $8 \times 8 = 64$  millions de possibilités environ, sur ces seuls critères, pour les enfants d'un seul couple). Vous savez maintenant pourquoi vous êtes si unique et exceptionnel (comment, vous avez un jumeau ?)

1 - Ce qui veut dire que les régimes "sans sel" pour avoir une fille, que l'on trouve dans des livres ou sur internet, sur des sites qui se croient sérieux (comme [ici](#), [tiens](#)), sont de remarquables absurdités...

2 - Moitié fille, moitié garçon, ce qui est heureux pour la perpétuation de l'espèce !

## Pendant le cours...

### Questions d'élèves

**Le bon élève (de plus en plus énervant)**

*Si la séparation des chromosomes se fait mal, ça fait quoi ensuite pour la fécondation ?*

Les gamètes sont anormaux, car ils vont avoir soit 2 fois le même chromosome (une paire complète) soit un chromosome en moins. A la fécondation, on obtiendra une cellule oeuf qui aura soit une trisomie (3 chromosomes au lieu de 2) soit une monosomie (1 au lieu de 2). Le plus souvent, c'est mortel pour la cellule qui ne peut pas se développer et meurt.

**Le curieux sans intérêt**

*Une femme et un ours, ça peut faire des bébés ?*

Non, la fécondation n'est possible que si les paires de chromosomes reconstituées dans la cellule oeuf se "correspondent" et portent des gènes capables de "collaborer" pour fabriquer un embryon. Cela n'est pas possible entre des espèces différentes (il n'y a pas d'hybrides chez les humains, malgré les légendes!)

**Celui qui veut se faire bien voir**

*Les plantes, elles font la fécondation ?*

Les plantes qui se reproduisent par voie sexuée réalisent en effet une fécondation qui a lieu dans la fleur femelle (dans l'ovaire) C'est le grain de pollen qui représente l'équivalent du spermatozoïde des animaux (mais vous avez déjà vu ça en quatrième, non ?)

### 32- La cellule oeuf peut reconstituer un individu unique

La cellule oeuf issue de la fécondation va se diviser un grand nombre de fois pour constituer un individu complet et, forcément, unique. C'est le moment et de rouvrir vos cours de quatrième (comment ? vous les avez perdus ?) pour réviser la passionnante histoire de l'embryon. Rassurez-vous, nombre de documentaires retracent aussi ces événements .

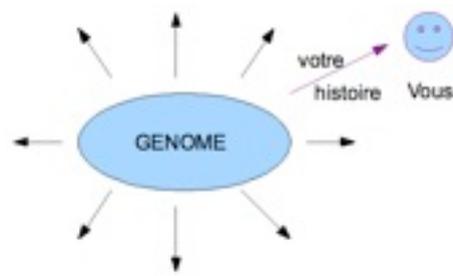
Si on sépare les 2 premières copies de la cellule oeuf, chacune d'elle se développe pour donner un individu (1). Les deux individus possèdent le même génome. Si cette séparation se fait naturellement, ce sont de vrais jumeaux (2).

### 33 - Chaque individu est unique, car il est le produit de l'expression de son génome et de l'action de son environnement

Deux vrais jumeaux possèdent des génomes identiques, mais n'en sont pas moins deux individus différents, aux capacités et aux intérêts divers. Ils prouvent que **le génome ne bâtit pas entièrement l'individu**: on ne peut pas négliger l'influence de l'environnement (3).

Chaque individu possède un potentiel biologique qui dépend de ses gènes mais la façon d'exprimer ce potentiel dépend de son environnement (4)

Les gènes que nous avons reçus en héritage de nos parents nous donnent un éventail de potentialités qu'il nous appartient de développer tout au long de notre vie.



Sur le schéma ci-contre, les flèches noires signalent toutes les possibilités ouvertes par votre génome. Votre environnement va provoquer une sélection (flèche mauve) parmi ces différentes possibilités, sélection qui, au travers de votre histoire personnelle, conduit jusqu'à vous, individu unique en perpétuelle construction, en évolution permanente.

un individu = un génome unique + une histoire unique

1) On peut même séparer jusqu'aux huit premières cellules d'un embryon (cela a été réalisé sur des vaches) pour obtenir 8 individus identiques. Une population d'individus génétiquement identiques porte un nom que vous connaissez: c'est un clone ! (hé oui, un clone est une population, pas un individu comme dans les films!)

2) Les vrais jumeaux proviennent d'une seule cellule oeuf. Ce sont des exemplaires multiples de l'expression d'un même génome (mais des individus différents). Si les 4 premiers exemplaires de la cellule oeuf se séparent, on aura des quadruplés (une peut mourir: des triplés). Les faux jumeaux sont toujours deux (sauf s'il s'agit d'une reproduction assistée médicale, avec des embryons qui sont implantés dans une femme qui ne peut pas avoir d'enfants), et résultent de la fécondation de deux ovules différents par deux spermatozoïdes différents. Ils peuvent donc être de sexe différent, et ne se ressemblent pas plus que des frères et soeurs "classiques"... On a dû vous parler de "poches". Les "vrais" jumeaux partagent la même poche amniotique, les "faux" possèdent chacun leur propre poche.

3) Environnement au sens large: ce n'est pas la "nature", les fleurs et les petits oiseaux, mais l'ensemble des facteurs extérieurs à l'organisme: nourriture, climat, environnement affectif, familial et culturel...

4) Ce qui ne veut pas dire que l'environnement va modifier les gènes, mais seulement assurer une sélection parmi les différentes possibilités données par le génome obtenu après la fécondation. Cette sélection par l'environnement des génomes obtenus au hasard est un des moteurs de l'évolution des espèces (mais il paraît qu'il ne faut pas vous le dire, les "génies" qui font les programmes sont persuadés que vous ne pouvez pas le comprendre.... moi si! Rendez-vous au chapitre 3 pour plus de détails...)

#### Résumé du chapitre entier:

Dans le noyau de nos cellules, nos caractères héréditaires sont portés par des gènes, régions précises des chromosomes, dont nous possédons 23 paires. La répartition des chromosomes lors des divisions des cellules explique la répartition des caractères héréditaires. La plupart de nos cellules reproduisent à l'identique leur caryotype de 46 chromosomes, mais les cellules qui vont donner les gamètes se divisent de façon à ne plus conserver qu'un seul chromosome de chaque paire. Chaque gamète porte donc un demi-génome constitué au hasard parmi plusieurs millions de possibilités, et la fécondation donnera une cellule oeuf au génome original, qui constituera un individu qui sera unique de par son génome, mais aussi à cause de son expérience, de son histoire et de son environnement.

## Mythes et légendes de la reproduction

Le philosophe Aristote (384-322) pensait que seul le mâle fournissait un « principe » nourri par le sang des règles de la femelle et abrité dans son corps (cette conception peut vous paraître fantaisiste, mais elle permettait d'expliquer pourquoi les femmes enceintes n'avaient plus de règles...)

Antonio Vallisnieri (1661-1730), professeur à Padoue, n'arriva pas à trouver des ovules dans les ovaires de plusieurs femelles de mammifères. Pourtant, il affirma: « La semence du mâle monte à l'ovaire, pénètre l'oeuf, et donne le mouvement au foetus qui est préexistant dans cet oeuf. Dans l'ovaire de la première femme étaient contenu des oeufs, qui non seulement renfermaient en petit tous les enfants qu'elle a faits ou qu'elle pouvait faire, mais encore toute la race humaine, toute sa postérité, jusqu'à l'extinction de l'espèce. »

Pour Vallisnieri, la ressemblance entre parents et enfants ne venait que de l'imagination de la mère: "la force de cette imagination est si grande et si puissante sur le foetus, qu'elle peut produire des taches, des monstruosité, des dérangements des parties, des accroissements extraordinaires, aussi bien que des ressemblances parfaites."

Cette idée d'une influence de l'imagination de la mère a survécu très longtemps: vous la retrouvez au début d'Elephant man, par exemple: la mère effrayée par un éléphant transmet une forme monstrueuse à son futur enfant....

Vers 1870, les biologistes étaient bien plus attirés par l'observation des fibres (facilement visibles) séparant les chromosomes que par celle des chromosomes (et cela retarda la découverte de l'intérêt de ces derniers, et c'est pourquoi on évite de vous parler de ces fibres dans votre programme: c'est un mauvais souvenir...)

## Des films sur l'embryon

[L'odyssée de la vie](#)

[Histoires secrètes du corps humain: la grossesse.](#)

[Voyage au centre de la vie](#)



## Questions

- 1/Pourquoi les gamètes ne possèdent-ils que la moitié du nombre des chromosomes des autres cellules de l'organisme ?
- 2/Qu'est ce qu'un gène ?
- 3/Pourquoi les chromosomes ne sont-ils pas toujours visibles ?
- 4/Qu'est-ce qu'un chromosome ?
- 5/Une cellule de peau possède-t-elle le même génome qu'une cellule de cerveau ?
- 6/Qu'est-ce qu'une chromatide ?
- 7/Comment une cellule prépare-t-elle sa division ?
- 8/Comment se forment les jumeaux ?

## Colles

- 1/Expliquer de quelle façon se reproduisent la majorité des cellules de l'organisme.
- 2/Comment expliquer, au moyen du génome, que les individus d'espèces différentes ne puissent pas se reproduire entre eux ?
- 3/Expliquer pourquoi nous sommes des individus uniques.

## Exercices

### 1 - Calcul mental (2 pts)

Soit une paire de chromosomes homologues et un gène a, présent sur ce chromosome. Sur ces chromosomes "en X", combien de fois le gène a est-il présent ? Combien d'allèles de ce gène sont-ils présents au maximum ? (Justifier votre réponse)

### 2 - Cinema et génétique (6 pts)

La génétique a inspiré, bien ou mal, plusieurs réalisateurs qui ont parfois compris à leur façon (plus ou moins) ses principales conclusions. Ainsi, dans les films

- "Jurassic park", les dinosaures sont ramenés à la vie grâce à l'injection de leurs gènes, récupérés dans un moustique fossile, dans des ovules de grenouille.

- "Bienvenu à GATTACA", l'analyse "express" du génome à la naissance permet de prédire les caractères du futur individu, les maladies dont il souffrira et l'âge de sa mort.

- "Alien IV", le lieutenant Ripley est cloné à partir du génome d'une de ses cellules (car elle est morte 200 ans avant dans Alien III, faut suivre!), et sa "copie" se réveille au début du film avec tous ses souvenirs, dans l'état où était Ripley juste avant sa mort...

Utilisez vos (vastes ?) connaissances pour présenter dans un tableau, pour chacun de ces films, les idées correctes et celles qui sont fantaisistes, donc fausses. Vous expliquerez l'erreur, ou les erreurs, commises par le réalisateur.

### 3 Bêtises sur le net

Mr Verenberg, élève distrait, a mal copié son cours (et ne possède pas ce manuel) et est allé chercher des informations sur internet pour se dépanner. Il y a trouvé ce texte: "Quand la cellule sexuelle se forme, les différents chromosomes se répartissent au hasard entre les cellules filles. Cette répartition est compensée par celle que subit l'autre cellule sexuelle correspondante: si une cellule mère a donné un spermatozoïde A possédant 10 chromosomes et un autre, B, à 36 chromosomes, alors A ne pourra féconder qu'un ovule à 36 chromosomes et B un ovule possédant 10 chromosomes. C'est pour cela que très peu de spermatozoïdes peuvent parvenir à féconder l'ovule"

31 - Souligner les erreurs contenues dans ce texte et le réécrire de façon correcte. (3 pts)

32 - Afin d'aider Mr Verenberg, réalisez un schéma montrant comment se répartissent 3 paires de chromosomes lors de la formation d'un spermatozoïde. (4 pts)

### 4 - Un problème expérimental

R. de Graaf publie en 1672 un ouvrage sur la reproduction (*De mulierum organis generationi inservientibus tractatus novus., et vous trouvez que mes titres sont longs ?*). Il dissèque des lapines juste après l'accouplement, mais ne trouve aucune trace de spermatozoïdes. Il dissèque ensuite, jour après jour, des lapines gravides, suivant ainsi le développement du fœtus. C'est lui qui nomme ovaires les gonades des femelles, parce qu'il croit y voir de véritables oeufs. Comment pourriez-vous expliquer les étonnantes observations de Mr de Graaf ?

### 5 - Vrai ou faux (4pts):

- Les cellules humaines comportent toutes 46 chromosomes
- Les chromosomes se répartissent par paires
- Les chromosomes sont visibles en dehors des périodes de division cellulaire
- Les caractères acquis par un individu du fait de son milieu ne sont pas des caractères héréditaires

### 6 - Un individu malchanceux (4 pts)

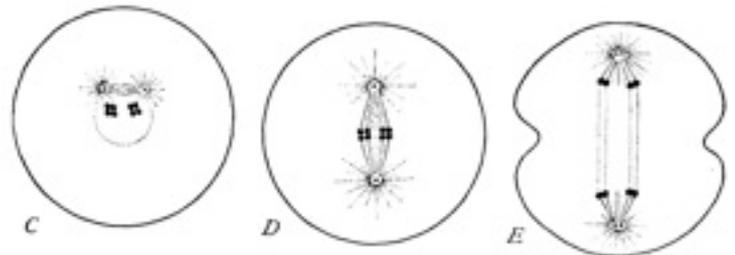
Les cellules sanguines d'un individu possèdent 47 chromosomes: 21 paires normales, 3 chromosomes 13 ainsi que 2 chromosomes X.

Quel est le sexe de cet individu ?

Si cet individu a des enfants avec un individu "normal", seront-ils obligatoirement trisomiques ? Pourquoi ?

### 7 - Un ancien schéma (5 pts)

Le schéma ci-dessous est tiré du Livre de Wilson (*The cell in development and heredity*) publié en 1900. Vous allez l'observer attentivement, trouver ce qu'il représente, lui donner un titre et rédiger (de préférence en français de France) un bref commentaire permettant de le comprendre.



### 8 - Lyons club (4 pts)

En 1948, Le Canadien M Barr découvre, dans des coupes de cerveaux de chat, une petite tache noire dans tous les noyaux des cellules. Avec surprise, il constate que cette tache n'apparaît que chez les individus femelles. Elle disparaît lorsque la cellule se divise, puis réapparaît ensuite dans les deux cellules-filles. Après cette découverte, ce corpuscule (que l'on va appeler "corps de Barr") est découvert dans tous les noyaux des cellules de femelles, sauf dans les ovules. Rédiger une hypothèse plausible, logique, sur ce que pourrait être ce corps de Barr.

### 9 - philosophie (2 pts)

La sexualité des animaux était évidente, celle des plantes a été découverte bien plus tard. Pourtant, dès 1694, R. Camerarius découvrit le rôle du grain de pollen et posa les bonnes questions, dont les réponses ne furent obtenues que dans les années 1850.

Pourquoi, en sciences, peut-on dire que les questions sont souvent plus importantes que les réponses ?

### 10 - Citation (2 pts)

Que veut dire le biologiste J.C. Ameisen lorsqu'il écrit: « Notre «programme» de développement ne procède pas comme celui d'un ordinateur (...) Il laisse une part au hasard pour se projeter dans la complexité. C'est pourquoi, jouant exactement la même partie dans deux embryons de jumeaux vrais, il ne peut jamais, exactement, la jouer de la même façon. Et c'est pourquoi aussi, contrairement à toutes les craintes, les angoisses, à tous les désirs ou les fantasmes qui s'expriment aujourd'hui, un clone ne sera jamais identique à celui qui lui a donné naissance » ?

## Apprenez à bien rédiger

Corriger la phrase suivante, trouvée dans une copie d'élève qui a des difficultés à se faire comprendre:

" Le spermatozoïde il spide dans l'ovule, y fout ses chrosome dans le noyo de l'ovule qui a lui aussi ses moitié de chrosome, et puis les deux ensemble ça fait un complet de crosome comme dans les autres cellules."

## Traduire pour comprendre

Dans son livre publié en 1900 et faisant le point sur les découvertes accomplies au 19<sup>ème</sup> siècle, Wilson déclare : "Van Beneden's epoch-making discovery that the nuclei of the conjugating germ-cells contain each one-half the number of chromosomes characteristic of the body-cells has now been extended to so many plants and animals that it may probably be regarded as a universal law of development".

Vous allez bien entendu nous traduire tout cela en bon français (attention: une traduction scientifique ne se fait pas mot à mot: vous devez exprimer le sens des phrases plutôt que de chercher à reproduire la moindre tournure!)

## Corrections

### Questions

1/Au cours de leur formation, les gamètes subissent une division cellulaire particulière qui sépare les paires le chromosomes homologues, chaque cellule ne contenant donc plus que la moitié du nombre de chromosomes de celle qui lui a donné naissance.

2/Un gène est une région d'un chromosome correspondant à un caractère d'un individu.

3/Les chromosomes ne sont pas toujours visibles, car la plupart du temps ils sont déroulés et prennent la forme de filaments trop fins pour être clairement visible au microscope.

4/Un chromosome est un filament, dans le noyau de la cellule, qui porte des informations correspondantes à des caractères héréditaires. Avant que la cellule ne se reproduise, ces filaments se recopient, se condensent et prennent une forme en X, ce qui permet de les voir après coloration. (📖 comparez cette définition avec celle des exercices précédents, et vous constaterez qu'en science on précise toujours davantage nos objets d'étude!)

📖 **En Sciences, toute réponse n'est que provisoire...**

5/Une cellule de peau possède le même génome qu'une cellule de cerveau car elles dérivent toutes de la cellule-oeuf par division à l'identique. Seuls les gamètes possèdent un demi-génome différent de celui de leur cellule mère.

6/Une chromatide est une "moitié" de chromosome double (en X) et correspond en fait soit au chromosome originel soit à sa copie.

7/Une cellule prépare sa division en recopiant ses chromosomes puis en condensant la copie et l'original sous forme d'un "X" visible au microscope.

8/Les jumeaux se forment de deux façons chez les humains: alors que les "faux" jumeaux sont simplement le résultat de deux fécondations différentes, mais simultanées (2 spermatozoïdes fécondent deux ovules différents), les "vrais jumeaux" proviennent d'une séparation des deux premières cellules de l'embryon, dont chacune va se développer pour conduire à deux individus possédant le même génome (et donc très ressemblant).

### Colles

1/Expliquer de quelle façon se reproduisent la majorité des cellules de l'organisme

Pour expliquer, vous avez le choix des armes: texte, schéma, tableau, BD... rien ne vous est imposé dans cette situation. Le plus sim-

ple est d'utiliser un schéma titré et légendé. Il s'agit de la reproduction de la majorité des cellules de l'organisme, on ne parle donc pas des gamètes. Dans ce cas, reproduire le [schéma de la p.17](#) s'impose!

2/Comment expliquer, au moyen du génome, que les individus d'espèces différentes ne puissent pas se reproduire entre eux?

Pour que la reproduction soit possible, il faut que chaque gamète contienne un demi-génome. On pourrait croire que ce serait possible si le nombre de chromosomes est le même dans les deux gamètes, mais cela ne suffit pas: même si un spermatozoïde de hérisson (24 chromosomes) rencontre un ovule de chimpanzé (24 chromosomes) il n'y a pas reconstitution d'un génome complet, mais superposition de deux demi-génomes différents qui ne peuvent rien donner: ils ne fonctionnent pas ensemble, ne portent pas les allèles des mêmes gènes, les chromosomes ne peuvent pas se lier, ni se séparer convenablement: la fécondation est donc impossible (sans parler d'autres mécanismes de reconnaissance entre ovules et spermatozoïdes).

3/Expliquer pourquoi nous sommes des individus uniques.

Vaste programme, car il faut résumer pas mal de choses pour construire votre réponse! 📖 Faites un plan pour construire votre réponse (c'est un bon entraînement pour le lycée)

1 - Nous sommes uniques car nous résultons d'une fécondation se produisant au hasard entre deux gamètes qui, lors de leur formation, ont hérité de façon aléatoire de l'un des chromosomes de chaque paire, et donc des allèles des gènes portés par ces chromosomes. Il faudra compléter cela par un schéma titré et légendé du mode de formation des gamètes (comme [celui-ci](#)).

2 - Nous sommes uniques car nous résultons aussi de l'effet de notre environnement, qui modifie notre développement et influence notre personnalité.

Conclusion : nous sommes à la fois le produit d'un génome unique et d'une histoire unique, donc nous sommes uniques... CQFD(1)

## Exercices

(les mots **colorés** signalent un raisonnement de type scientifique).

1 - Calcul mental (2 pts)

Un chromosome contient deux chromatides copies l'une de l'autre. Le gène a est **donc** présent 2 fois, de façon identique, sur un chromosome "en X". Sur une paire de chromosomes, le gène a est **donc** présent 4 fois. Par contre, les allèles de a ne pourront différer que sur des chromosomes différents, mais de la même paire. On ne peut donc avoir, au maximum, que 2 allèles de a.

2 - Cinema et génétique (6 pts)

film	idées correctes	erreurs
Jurassic park	Les gènes contiennent toutes les informations relatives à une espèce	Même si on récupérerait les gènes des dinosaures, il n'y a plus de cellules permettant de les utiliser! L'ovule de grenouille ne permet que le développement...de grenouilles!
Bienvenue à GATTACA	Les gènes d'un individu peuvent donner des renseignements sur ses caractères futurs et sur les risques de quelques maladies.	Les gènes ne contiennent aucune information précise sur la durée de vie des individus, qui dépend fortement de leur environnement et de leur histoire.
Alien IV	Deux clones possèdent le même génome	Ce sont des individus différents: ils n'ont ni les mêmes souvenirs, ni la même histoire, ni la même personnalité.

### 3 Bêtises sur le net

31 - *Quand la cellule sexuelle se forme, les différents chromosomes se répartissent au hasard entre les cellules filles. Cette répartition est compensée par celle que subit l'autre cellule sexuelle correspondante: si une cellule mère a donné un spermatozoïde A possédant 10 chromosomes et un autre, B, à 36 chromosomes, alors A ne pourra féconder qu'un ovule à 36 chromosomes et B un ovule possédant 10 chromosomes. C'est pour cela que très peu de spermatozoïdes peuvent parvenir à féconder l'ovule"*

*Quand la cellule sexuelle se forme, un chromosome de chaque paire se répartit au hasard entre les cellules filles. Les gamètes possèdent un demi-génome, qui est reconstitué lorsque le spermatozoïde féconde l'ovule"*

 Ce n'est pas parce que l'on trouve une information sur un site web qu'elle est exacte! Il faut toujours vérifier qui est celui qui donne cette information, et savoir si on peut lui faire confiance...

32 - Vous avez bien entendu reproduit un schéma comme celui-ci avec 6 chromosomes au départ, formation puis séparation des paires, et trois chromosomes dans chaque gamète à l'arrivée.

### 4 - Un problème expérimental

En 1672, pourquoi De Graaf ne trouve-t-il pas de spermatozoïdes dans les lapines? **Plusieurs hypothèses sont possibles:**

- il y en a trop peu pour qu'il puisse les mettre en évidence.
- Les microscopes de l'époque ne donnent pas d'assez bonnes images pour les identifier clairement
- il ne les cherche pas au bon endroit: il cherche les spermatozoïdes au niveau de l'ovaire juste après l'accouplement, alors qu'ils sont encore dans l'utérus (revoir vos cours de quatrième, oui, ceux que vous avez perdus).

Ces trois hypothèses peuvent être vraies en même temps (on dit simultanément)

### 5 - Vrai ou faux (4pts):

F (n'oubliez pas les gamètes!) - V - F - V

### 6 - Un individu malchanceux (4 pts)

(47 chromosomes: 21 paires normales, 3 chromosomes 13, 2 chromosomes X).

**Puisque** cet individu possède deux chromosomes X, on peut affirmer qu'il est du sexe féminin.

Cet individu possède 3 chromosomes 13. Lors de la formation de ses gamètes (des ovules), ces trois chromosomes vont se répartir entre les gamètes formés: l'un va hériter d'un chromosome 13 et l'autre de deux. La moitié des gamètes formés seront **donc** "anormaux" et comporteront 2 chromosomes 13.

**Si** un spermatozoïde rencontre un ovule de cet individu:

- **soit** c'est un ovule "normal" avec un chromosome 13, alors une paire de 13 est reformée et l'enfant sera normal
- **soit** c'est un ovule possédant 2 chromosomes 13, et dans ce cas le futur enfant, avec 3 chromosomes 13, sera trisomique. **Il y a donc** 50 % de risque d'obtenir un enfant trisomique (*dans la réalité, ce risque est de 0 car les individus souffrant de trisomie 13 ne vivent pas assez vieux pour pouvoir avoir des enfants*).

### 7 - Un ancien schéma (5 pts)

Visiblement, ce schéma décrit la division d'une cellule. On peut observer 8 "points" noirs qui se répartissent en 2 x 4 points. Il s'agit donc (et c'est le titre) d'une division cellulaire conduisant aux gamètes, ou encore d'une division cellulaire avec réduction du nombre de chromosomes (les points noirs).

Un commentaire :

En C, les 4 paires de chromosomes sont formées et accolées, en deux groupes de 4. En D, les paires de chromosomes sont alignées puis (E)

il y a séparation des paires en deux groupes de 4 chromosomes. Le nombre de chromosomes étant réduit, les cellules obtenues ne posséderont qu'un demi-génome et seront donc des gamètes.

### 8 - Lyons club (4 pts)

Il s'agit d'une tache noire qui n'est visible que dans les noyaux des cellules femelles. **Comme** cette tache "disparaît lorsque la cellule se divise, puis réapparaît ensuite dans les deux cellules - filles", **on peut remarquer** qu'elle se comporte à l'inverse des chromosomes, qui eux apparaissent lorsque la cellule se divise et disparaissent ensuite. **Il est donc possible** que ce corps de Barr soit un chromosome (il est dans le noyau) mais pour expliquer son comportement, **on doit supposer** que c'est un chromosome "déroulé" qui est visible.

Comme il n'est visible que chez les individus femelles, on pourrait même penser que c'est un (ou deux ?) chromosome X déroulé...

### 9 - philosophie (2 pts)

*Pourquoi, en sciences, peut-on, dire que les questions sont souvent plus importantes que les réponses ?*

 Il y a plusieurs façons de répondre à cette question, mais il est facile de comprendre en prenant l'exemple de nos définitions successives du gène: pour une même notion, nous avons obtenu trois définitions successives, exactes toutes trois, mais de plus en plus précises. Il s'agissait de répondre à une question: comment se transmettent les caractères héréditaires? **En progressant, les réponses changent, mais la question demeure !**

L'histoire de R. Camerarius, le découvreur du rôle du grain de pollen, illustre un autre intérêt des questions: même si on ne peut y répondre tout de suite, elles demeurent posées et peuvent surgir d'une découverte. Mais (et c'est assez évident!), on ne peut trouver des réponses que si l'on connaît les bonnes questions!

C'est pour cela qu'en sciences **les questions que l'on se pose ont souvent plus d'importances que les réponses obtenues.**

### 10 - Citation (2 pts)

Le biologiste J.C. Ameisen signale dans cette phrase (tirée de La sculpture du vivant ed. point, p.174) que, lorsqu'un embryon se forme, il ne suit pas un «programme» précisément décrit dans ses gènes, mais se structure aussi en fonction des informations reçues de son environnement. Comme il existe une part de hasard dans le développement d'un embryon, une identité génétique ne correspond pas à une identité des individus. Deux clones sont donc bien deux individus différents, même s'ils sont génétiquement identiques.

## Rédaction

*" Le spermatozoïde il spide dans l'ovule, y fout ses chromosome dans le noyo de l'ovule qui a lui aussi ses moitié de chromosome, et puis les deux ensemble ça fait un complet de cromosome comme dans les autres cellules."*

Le spermatozoïde pénètre dans l'ovule et libère ses 23 chromosomes dans le cytoplasme de l'ovule, qui possède lui aussi 23 chromosomes, un de chaque paire. Les deux lots de chromosomes reconstituent un ensemble complet de 23 paires de chromosomes, comme dans les cellules non reproductrices de l'organisme.

## Traduction

*Van Beneden's epoch-making discovery that the nuclei of the conjugating germ-cells contain each one-half the number of chromosomes characteristic of the body-cells has now been extended to so many plants and animals that it may probably be regarded as a universal law of development".*

La découverte, réalisée à l'époque de Van Beneden, que les deux gamètes ne contiennent chacun que la moitié du nombre de chromosomes caractéristiques des cellules du corps a maintenant été étendue à tant de plantes et d'animaux qu'elle peut être réellement considérée comme une loi universelle du développement"

Nom & prénom:

## EVALUATION 2 - GENETIQUE

1 (4 pts) Définir les termes suivants:

Allèle:

Génome:

### 2 Croissance et différenciation

Au tout début de votre passionnante existence, vous étiez une simple cellule, la cellule-oeuf.

21 (1 pts) Le génome d'une de vos cellules musculaires est-il différent de celui de la cellule-oeuf ?

22 (2 pts) Un gène **a** est présent sur un chromosome. Sur une paire de chromosomes "en X", combien de fois le gène **a** est-il présent? Combien d'allèles de ce gène sont-ils présents au maximum? (justifier brièvement vos réponses)

23 (6 pts) Sur un (grand!) schéma titré et légendé, au dos de cette feuille, représentez la façon dont se répartissent les chromosomes lors de la formation des gamètes ( pour simplifier, vous ne représenterez que 4 chromosomes sur les 46).

### 3 Un singe comme les autres ? (6 pts)



Une étude parue dans la revue "Nature" en mai 2005, et confirmée en 2006, montre que **seul 1 % des gènes sont différents entre les Humains et les Chimpanzés**. Ces différences sont localisées dans des zones précises du génome correspondant aux fonctions de reproduction, d'immunité et d'odorat. Entre deux humains pris au hasard, la différence de génome est d'environ 0,1 %

31 (3 pts) - Quelles conclusions peut-on tirer de cette découverte ?

32 (2 pts) - Proposez une hypothèse plausible permettant d'expliquer pourquoi il existe un tel écart d'intelligence entre hommes et chimpanzés alors qu'ils ont en commun 98.7 % de leurs gènes.



33 (1 pts) - Au vu de ces résultats, doit-on dire que les humains sont des singes comme les autres ou bien que les singes sont des humains comme les autres ? (justifier votre réponse)

## EVALUATION 2 - GENETIQUE - Corrigé

**1** (4 pts)

*Allèle*: version d'un gène, information correspondant à un gène donné/

*Génome*: ensemble des gènes d'une cellule, d'un être vivant ou même, par extension, d'une espèce.

### 2 Croissance et différenciation

**21** (1 pts) Le génome d'une de nos cellules musculaires n'est pas différent de celui de la cellule-oeuf. En effet, la cellule musculaire est une cellule somatique obtenue par reproduction à l'identique de la cellule œuf.

**22** (2 pts) Sur une paire de chromosomes "en X", on a 2 fois 2 gènes (car un X correspond à un original + une copie). On a donc 4 gènes.

Toutefois, original et copie sont identiques, donc portent le même allèle. Il n'y a donc possibilité que pour 2 allèles différents au maximum.

**23** (6 pts) Cf cours! 4 chromosomes avec alignement **PAR PAIRES**. On obtient 4 gamètes à 2 chromosomes chacun...

### 3 Un singe comme les autres ? (6 pts)

**31** (3 pts) - On peut mettre en évidence les conclusions suivantes:

- Il y a très peu des différences entre les gènes des humains et des singes. Cela signifie sans doute que ces deux espèces ont eu, il y a peu (pour des géologues!) un ancêtre commun.
- Les différences entre humains et singes ne dépendent sans doute pas toutes des gènes mais de la façon dont ils s'expriment dans leur milieu.
- Une faible différence en nombre de gènes peut correspondre à d'importantes distinctions au niveau des individus. Toutefois, il y a 10 fois plus de différences entre humain et singes, en nombre de gènes différents, qu'entre deux humains de même sexe, même très différents.

**32** (2 pts) - L' écart d'intelligence entre hommes et chimpanzés montre que l'importance des gènes n'est pas liée à leur nombre, mais à l'information, aux allèles qu'ils représentent. Peu de différences en quantité peuvent aboutir à des grandes modifications en qualité. L'évolution peut donc être "rapide"

**33** (1 pts) - Au vu de la faible différence entre les humains et les singes, on peut dire que les humains sont des singes comme les autres. En effet, un "singe" ne représente pas une espèce particulière, mais un groupe (chimpanzés, gorilles, gibbons...) alors que le terme "humain" se rapporte à une espèce particulière: l'espèce humaine!

Manuel libre & gratuit.  
Copiez-le !  
Téléchargez-le !  
Donnez-le !

Remarque sur les programmes  
Dans ce manuel, je considère les programmes officiels de la classe de troisième non comme le maximum de ce que doivent savoir les élèves, mais comme le minimum permettant de leur ouvrir l'esprit. Les programmes sont donc parfois complétés dès que la compréhension globale d'un phénomène l'exige, sans toutefois dépasser le niveau que l'on peut attendre d'un élève motivé de troisième.

VOUS VENEZ DE TERMINER  
LE CHAPITRE 1.

Les 2 autres chapitres, ainsi que des documents supplémentaires, sont disponibles sur le site web dédié à ce manuel, qui sera régulièrement tenu à jour et permettra de le faire évoluer, lui aussi...

RR

Avant de partir....

## L'auteur de cet ouvrage

Je suis prof de SVT. Chercheur de formation, je n'ai pas trouvé d'emploi après m'être spécialisé dans la physiologie animale. J'ai enseigné à plusieurs niveaux: séminaires, université, formation d'adultes, lycée et collège.



Ancien élève de math-sup & math-spé bio techno, j'ai également étudié et enseigné la physique. Je m'intéresse

à la philosophie des sciences, aux méthodes d'enseignement et à divers problèmes scientifiques liés aux origines de la vie. Ayant rédigé une trentaine d'articles scientifiques ces dernières années, j'ai décidé, au vu de l'inadaptation des manuels envers les élèves et connaissant la charge financière que représente l'achat de milliers de manuels, de rédiger le premier manuel, en français, libre et gratuit, de SVT pour les troisièmes.

Puisse t'il en inspirer bien d'autres, et de meilleurs !

R. Raynal  
Dr de l'université de Toulouse.

## Support en ligne



Le site [www.exobiologie.info](http://www.exobiologie.info) sera votre lien vers les mises à jour du manuel. Vous pourrez également joindre directement l'auteur.

Le [site du manuel](#) vous apportera les dernières versions et corrections, des documents supplémentaires ainsi que les "podcasts" disponibles depuis la rentrée 2008.

## Évitez d'imprimer



Un document sous forme électronique doit le rester le plus possible: c'est ainsi que vous aurez accès à toute sa richesse, à ses liens, ses vidéos et ses possibilités de navigation. Imprimer est le plus souvent inutile, et représente une dépense (en encre surtout, en papier ensuite) qui n'est pas négligeable. Si vous le pouvez, conservez et utilisez ce manuel sous sa forme électronique.

### LICENCE D'UTILISATION

Ce manuel vous est fourni gratuitement sous [licence creative commons "paternité - pas d'utilisation commerciale"](#).



Vous êtes donc libres (à condition de citer le nom de l'auteur original) de reproduire, distribuer et communiquer ce manuel au public, par tous les moyens. Vous pouvez aussi modifier ce manuel.

Vous n'avez pas le droit d'utiliser ce manuel à des fins commerciales.

*lamque opus exegi, quod nec Iovis ira  
nec ignis nec poterit ferrum nec edax abolere  
vetustas. Cum volet, illa dies, quae nil nisi  
corporis huius ius habet, incertum spatium mihi  
finiat aevi: parte tamen meliore mei super  
alta perennis astra ferar, nomenque erit  
indelebile nostrum.*

Ovide, Métamorphoses, livre XV, 871-876

## Remerciements

### Institut de recherche

Je remercie le [Howard Hughes Medical Institute](#), qui réalise et met gratuitement à disposition de tous, sur son site, d'excellents documents et cours en vidéo. Merci aussi à The American Society for Cell Biology.

### Institutions

Je remercie Wikipedia et ses contributeurs qui mettent à disposition d'excellents documents sous licence wikimedia commons.

Je remercie aussi le congrès des USA pour le Federal Research Public Access Act exigeant de toute agence fédérale l'accès permanent, libre et gratuit pour tous aux publications scientifiques.

Enfin, mention spéciale pour les concepteurs des licences creative commons et GNU qui ont permis de trouver (et de créer) facilement des documents pour cet ouvrage.

### Chercheurs

Que soit remercié Ted Salmon, de l'université de Caroline du Nord, pour son autorisation d'utiliser son film sur la division cellulaire ainsi que James LaFountain et Rudolf Oldenbourg pour leur vidéo de la méiose.

Tout le monde peut lire  
ce manuel ! (enfin presque !)

