



# COURS PI

☆ *L'école sur-mesure* ☆

de la Maternelle au Bac, Établissement d'enseignement  
privé à distance, déclaré auprès du Rectorat de Paris

**Terminale - Module 1 - Génomique fonctionnelle :  
expression des gènes et de la santé**

## Sciences de la Vie et de la Terre

v.5.1



- ✓ **Guide de méthodologie**  
pour appréhender notre pédagogie
- ✓ **Leçons détaillées**  
pour apprendre les notions en jeu
- ✓ **Exemples et illustrations**  
pour comprendre par soi-même
- ✓ **Prolongement numérique**  
pour être acteur et aller + loin
- ✓ **Exercices d'application**  
pour s'entraîner encore et encore
- ✓ **Corrigés des exercices**  
pour vérifier ses acquis

[www.cours-pi.com](http://www.cours-pi.com)

Paris & Montpellier



# EN ROUTE VERS LE BACCALAURÉAT

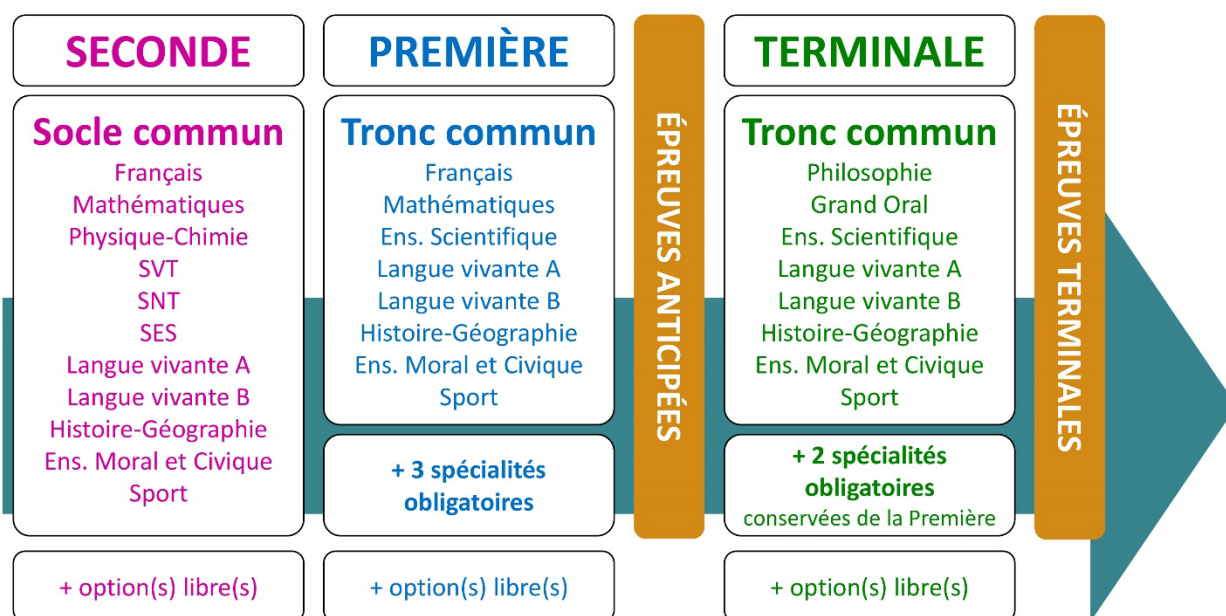
Comme vous le savez, la **réforme du Baccalauréat** est entrée en vigueur progressivement jusqu'à l'année 2021, date de délivrance des premiers diplômes de la nouvelle formule.

Dans le cadre de ce nouveau Baccalauréat, **notre Etablissement**, toujours attentif aux conséquences des réformes pour les élèves, s'est emparé de la question avec force **énergie** et **conviction** pendant plusieurs mois, animé par le souci constant de la réussite de nos lycéens dans leurs apprentissages d'une part, et par la **pérennité** de leur parcours d'autre part. Notre Etablissement a questionné la réforme, mobilisé l'ensemble de son atelier pédagogique, et déployé tout **son savoir-faire** afin de vous proposer un enseignement tourné continuellement vers l'**excellence**, ainsi qu'une scolarité tournée vers la **réussite**.

- Les **Cours Pi** s'engagent pour faire du parcours de chacun de ses élèves un **tremplin vers l'avenir**.
- Les **Cours Pi** s'engagent pour ne pas faire de ce nouveau Bac un diplôme au rabais.
- Les **Cours Pi** vous offrent **écoute** et **conseil** pour coconstruire une **scolarité sur-mesure**.

## LE BAC DANS LES GRANDES LIGNES

Ce nouveau Lycée, c'est un enseignement à la carte organisé à partir d'un large tronc commun en classe de Seconde et évoluant vers un parcours des plus spécialisés année après année.



### CE QUI A CHANGÉ

- Il n'y a plus de séries à proprement parler.
- Les élèves choisissent des spécialités : trois disciplines en classe de Première ; puis n'en conservent que deux en Terminale.
- Une nouvelle épreuve en fin de Terminale : le Grand Oral.
- Pour les lycéens en présentiel l'examen est un mix de contrôle continu et d'examen final laissant envisager un diplôme à plusieurs vitesses.
- Pour nos élèves, qui passeront les épreuves sur table, le Baccalauréat conserve sa valeur.

### CE QUI N'A PAS CHANGÉ

- Le Bac reste un examen accessible aux candidats libres avec examen final.
- Le système actuel de mentions est maintenu.
- Les épreuves anticipées de français, écrit et oral, tout comme celle de spécialité abandonnée se dérouleront comme aujourd'hui en fin de Première.



A l'occasion de la réforme du Lycée, nos manuels ont été retravaillés dans notre atelier pédagogique pour un accompagnement optimal à la compréhension. Sur la base des programmes officiels, nous avons choisi de créer de nombreuses rubriques :

- **Suggestions de lecture** pour s'ouvrir à la découverte de livres de choix sur la matière ou le sujet
- **L'essentiel** et **Le temps du bilan** pour souligner les points de cours à mémoriser au cours de l'année
- **Pour aller plus loin** pour visionner des sites ou des documentaires ludiques de qualité
- Et enfin... la rubrique **Les Clés du Bac by Cours Pi** qui vise à vous donner, et ce dès la seconde, toutes les cartes pour réussir votre examen : notions essentielles, méthodologie pas à pas, exercices types et fiches étape de résolution !

## SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE TERMINALE

### Module 1 – Génomique fonctionnelle : expression des gènes et de la santé

#### L'AUTEUR



#### Sébastien RANALDI

« Enseigner c'est reformuler ».

Titulaire d'un doctorat en biochimie, passionné de biologie et de science en général depuis toujours, il a choisi l'enseignement après 10 ans d'activité dans la recherche. Sa pratique de l'enseignement est tournée vers l'utilisation d'images simples pour illustrer des concepts qui semblent compliqués. Sébastien est aussi fan de basket, de mangas, et de musique.

#### PRÉSENTATION

La discipline Sciences de la Vie et de la Terre va non seulement permettre aux élèves de constituer leur socle de connaissances culturelles et notionnelles scientifiques, mais aussi de les préparer à analyser, commenter, et argumenter leurs raisonnements.

Ce sont ces compétences qui seront évaluées au baccalauréat et c'est à cela que va vous préparer par étapes, de façon très guidée tout au long des 3 thématiques au programme :

- La Terre, la vie et l'évolution du vivant
- Enjeux contemporains de la planète
- Le corps humain et la santé

Des thèmes passionnants que nous vous proposons de découvrir sans attendre !

## CONSEILS À L'ÉLÈVE

Vous disposez d'un support de Cours complet : **prenez le temps** de bien le lire, de le comprendre mais surtout de **l'assimiler**. Vous disposez pour cela d'exemples donnés dans le cours et d'exercices types corrigés. Vous pouvez rester un peu plus longtemps sur une unité mais travaillez régulièrement.

## LES DEVOIRS

Les devoirs constituent le moyen d'évaluer l'acquisition de **vos savoirs** (« Ai-je assimilé les notions correspondantes ? ») et de **vos savoir-faire** (« Est-ce que je sais expliquer, justifier, conclure ? »).

Placés à des endroits clés des apprentissages, ils permettent la vérification de la bonne assimilation des enseignements.

Aux *Cours Pi*, vous serez accompagnés par un **professeur selon chaque matière** tout au long de votre année d'étude. Référez-vous à votre « Carnet de Route » pour l'identifier et découvrir son parcours.

Avant de vous lancer dans un devoir, assurez-vous d'avoir **bien compris les consignes**.

**Si vous repérez des difficultés lors de sa réalisation**, n'hésitez pas à le mettre de côté et à revenir sur les leçons posant problème. **Le devoir n'est pas un examen**, il a pour objectif de s'assurer que, même quelques jours ou semaines après son étude, une notion est toujours comprise.

**Aux Cours Pi, chaque élève travaille à son rythme, parce que chaque élève est différent et que ce mode d'enseignement permet le « sur-mesure ».**

Nous vous engageons à respecter le moment indiqué pour faire les devoirs. Vous les identifierez par le bandeau suivant :



Vous pouvez maintenant  
faire et envoyer le **devoir n°1**



Il est **important de tenir compte des remarques, appréciations et conseils du professeur-correcteur**. Pour cela, il est **très important d'envoyer les devoirs au fur et à mesure** et non groupés. **C'est ainsi que vous progresserez !**

**Donc, dès qu'un devoir est rédigé**, envoyez-le aux *Cours Pi* par le biais que vous avez choisi :

- 1) Par **soumission en ligne** via votre espace personnel sur **PoulPi**, pour un envoi **gratuit, sécurisé** et plus **rapide**.
- 2) Par **envoi électronique** à l'adresse mail dédiée qui vous a été communiquée si vous avez souscrit à cette option

**N.B. :** quel que soit le mode d'envoi choisi, vous veillerez à **toujours joindre l'énoncé du devoir** ; plusieurs énoncés étant disponibles pour le même devoir.

**N.B. :** si vous avez opté pour un envoi par voie postale et que vous avez à disposition un scanner, nous vous engageons à conserver une copie numérique du devoir envoyé. Les pertes de courrier par la Poste française sont très rares, mais sont toujours source de grand mécontentement pour l'élève voulant constater les fruits de son travail.

## VOTRE RESPONSABLE PÉDAGOGIQUE

Professeur des écoles, professeur de français, professeur de maths, professeur de langues : notre Direction Pédagogique est constituée de spécialistes capables de dissiper toute incompréhension.

Au-delà de cet accompagnement ponctuel, notre Etablissement a positionné ses Responsables pédagogiques comme des « super profs » capables de co-construire avec vous une scolarité sur-mesure.

En somme, le Responsable pédagogique est votre premier point de contact identifié, à même de vous guider et de répondre à vos différents questionnements.

Votre Responsable pédagogique est la personne en charge du suivi de la scolarité des élèves.

Il est tout naturellement votre premier référent : une question, un doute, une incompréhension ? Votre Responsable pédagogique est là pour vous écouter et vous orienter. Autant que nécessaire et sans aucun surcoût.

QUAND  
PUIS-JE  
LE  
JOINDRE ?

Du **lundi** au **vendredi** : horaires disponibles sur votre carnet de route et sur PoulPi.

QUEL  
EST  
SON  
RÔLE ?

**Orienter** les parents et les élèves.

**Proposer** la mise en place d'un accompagnement individualisé de l'élève.

**Faire évoluer** les outils pédagogiques.

**Encadrer** et **coordonner** les différents professeurs.

## VOS PROFESSEURS CORRECTEURS

Notre Etablissement a choisi de s'entourer de professeurs diplômés et expérimentés, parce qu'eux seuls ont une parfaite connaissance de ce qu'est un élève et parce qu'eux seuls maîtrisent les attendus de leur discipline. En lien direct avec votre Responsable pédagogique, ils prendront en compte les spécificités de l'élève dans leur correction. Volontairement bienveillants, leur correction sera néanmoins juste, pour mieux progresser.

QUAND  
PUIS-JE  
LE  
JOINDRE ?

Une question sur sa correction ?

- faites un mail ou téléphonez à votre correcteur et demandez-lui d'être recontacté en lui laissant **un message avec votre nom, celui de votre enfant et votre numéro.**
- autrement pour une réponse en temps réel, appelez votre Responsable pédagogique.

## LE BUREAU DE LA SCOLARITÉ

Placé sous la direction d'Elena COZZANI, le Bureau de la Scolarité vous orientera et vous guidera dans vos démarches administratives. En connaissance parfaite du fonctionnement de l'Etablissement, ces référents administratifs sauront solutionner vos problématiques et, au besoin, vous rediriger vers le bon interlocuteur.

QUAND  
PUIS-JE  
LE  
JOINDRE ?

Du **lundi** au **vendredi** : horaires disponibles sur votre carnet de route et sur PoulPi.

04.67.34.03.00

scolarite@cours-pi.com



# LE SOMMAIRE

Sciences de la Vie et de la Terre - Module 1 - Génomique fonctionnelle : expression des gènes et de la santé

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
---------------------------	----------

<b>CHAPITRE 1. Les cycles biologiques</b> .....	<b>3</b>
---	----------

## Q COMPÉTENCES VISÉES

- Schématiser les conséquences de la méiose pour deux paires d'allèles portés par deux chromosomes différents ou par un même chromosome.
- Interpréter des résultats de croisements avec transmission de deux paires d'allèles (liés ou non entre eux), portés ou pas par les chromosomes sexuels.  
Schématiser les mécanismes expliquant certaines anomalies chromosomiques après méiose et fécondation.

<b>Première approche</b> .....	<b>4</b>
--------------------------------	----------

<b>1. Les étapes de la méiose et le brassage génétique</b> .....	<b>6</b>
--	----------

<b>Exercices</b> .....	<b>11</b>
------------------------	-----------

<b>2. La fécondation rétablit la diploïdie et assure un nouveau brassage allélique</b> .....	<b>14</b>
--	-----------

<b>Exercices</b> .....	<b>18</b>
------------------------	-----------

<b>3. Les anomalies de répartition des chromosomes</b> .....	<b>20</b>
--	-----------

<b>Exercices</b> .....	<b>22</b>
------------------------	-----------

<b>Le temps du bilan</b> .....	<b>26</b>
--------------------------------	-----------

<b>Les Clés du Bac : exercice de synthèse, l'introduction</b> .....	<b>27</b>
---	-----------

<b>CHAPITRE 2. Diversification des espèces et évolution</b> .....	<b>37</b>
---	-----------

## Q COMPÉTENCES VISÉES

- Extraire et organiser des informations sur les mutations et leurs effets phénotypiques, notamment sur un site régulateur de l'expression d'un gène.
- Recenser des informations attestant l'existence de transferts horizontaux de gènes dans l'histoire du génome humain.
- Extraire et organiser des informations d'un arbre phylogénétique pour identifier l'importance des transferts horizontaux.
- Étudier des expériences historiques mettant en évidence la transformation bactérienne.
- Comprendre comment la connaissance des mécanismes des transferts horizontaux permet des applications biotechnologiques (notamment la production de molécules d'intérêt dans les lignées bactériennes).
- Mettre en œuvre une méthode permettant de comprendre les arguments qui ont conduit à considérer que les organites énergétiques sont issus de symbioses dans la lignée des eucaryotes.
- Extraire, organiser et exploiter des informations sur l'évolution de fréquences alléliques dans des populations.
- Questionner la notion d'espèce en s'appuyant sur les apports modernes
- Étudier un exemple de diversification du vivant sans modification du génome.
- Extraire, organiser et exploiter des informations pour :
  - appréhender la notion de phénotype étendu
  - appréhender la notion d'évolution culturelle et ses liens avec celle d'évolution biologique

<b>Première approche</b> .....	<b>38</b>
--------------------------------	-----------

<b>1. Les mutations</b> .....	<b>40</b>
-------------------------------	-----------

<b>Exercices</b> .....	<b>44</b>
------------------------	-----------

<b>2. Le transfert horizontal de gènes</b> .....	<b>47</b>
--	-----------

Exercices.....	50
3. Diversification sans modification des génomes.....	54
Exercices.....	57
Le temps du bilan .....	60
Les Clés du Bac : formulation d'une argumentation scientifique.....	61

## **CHAPITRE 3. Le devenir des innovations génétiques..... 71**

### **Q COMPÉTENCES VISÉES**

- Comprendre et identifier les facteurs éloignant de l'équilibre théorique de Hardy-Weinberg, notamment l'appariement non aléatoire, la sélection, la population finie (dérive).
- Extraire, organiser et exploiter des informations sur l'évolution de fréquences alléliques dans des populations.
- Questionner la notion d'espèce en s'appuyant sur les apports modernes du séquençage de l'ADN.

Première approche .....	72
1. La fréquence allélique .....	74
Exercices.....	75
2. Les moteurs de l'évolution.....	76
Exercices.....	80
Le temps du bilan .....	89
Les Clés du Bac : exercice de synthèse, les mots de transition.....	90

## **CHAPITRE 4. Principes de base de la génétique..... 97**

### **Q COMPÉTENCES VISÉES**

- Extraire et organiser des informations sur l'élaboration des lois de Mendel.
- Comprendre les relations de dominance / récessivité en fonction de l'équipement chromosomique chez les diploïdes (par exemple sur le système ABO, et/ou les gènes de la globine).
- Schématiser les conséquences de la méiose pour deux paires d'allèles portés par deux chromosomes différents ou par un même chromosome.
- Interpréter des résultats de croisements avec transmission de deux paires d'allèles (liés ou non entre eux), portés ou pas par les chromosomes sexuels.
- Recenser et comparer des séquences d'ADN sur des trios père / mère / enfant permettant d'analyser la présence de mutations nouvelles.
- Recenser des informations sur les nombreux mutants du gène de la mucoviscidose et les analyses prédictives qui peuvent être conduites.

Première approche .....	98
1. Etude du monohybridisme.....	100
Exercices.....	102
2. Etude du dihybridisme .....	105
Exercices.....	109
3. Hérité humaine : généalogie et prévision en génétique.....	112
Exercices.....	115
Le temps du bilan .....	119
Les Clés du Bac : méthodologie de l'étude d'un arbre généalogique .....	120

## **CORRIGÉS des exercices..... 121**



## ESSAIS

- **Atlas de la biologie** *Günther Vogel et Hartmut Angermann*
- **La Logique du vivant** *François Jacob*
- **La souris, la mouche et l'homme** *François Jacob*
- **Le coup de la girafe : des savants dans la savane** *Léo Grasset*
- **Le Hasard et la Nécessité** *Jacques Monod*
- **La plus belle histoire du monde** *Reeves, Simonnet, Coppens, de Rosnay*
- **La raison du plus faible** *Jean-Marie Pelt*
- **Sur les épaules de Darwin (tous les tomes)** *Jean-Claude Ameisen*

## LITTÉRATURE

- **Le meilleur des mondes** *Aldous Huxley.*

## BANDES DESSINÉES

- **La biologie en BD** *Larry Gonick*
- **La génétique en BD** *Larry Gonick*

## DOCUMENTAIRES AUDIOVISUELS

- **Il était une fois les gènes** *Barak Goodman*
- **Les nouveaux secrets de notre hérédité** *Laurence Serfaty*
- **La fabuleuse histoire de l'évolution (6 épisodes)** *Satoshi Okabe*

## FILMS

- **Bienvenue à Gataca** *Barak Goodman*

## PODCASTS

- **Mon génome et moi** [www.mongenome.ch/fr](http://www.mongenome.ch/fr)











Si l'on devait choisir une image permettant de comprendre le génome, une possibilité serait de choisir l'image du livre de recettes ou encore d'un livret d'instructions. Cependant pour bien visualiser, il faut imaginer un livret d'instructions géant contenant les notices de tout ce qu'il est possible de construire, livret qui serait de plus écrit dans une langue inconnue.

C'est ce manuel d'instruction du vivant que l'Homme s'évertue à comprendre depuis si longtemps et qui nous permet aujourd'hui de tenter de le modifier à notre avantage. Pour avoir un ordre de grandeur, ce livre aurait une taille d'environ 6,4 GB.

Au cours de votre scolarité, vous avez appris un certain nombre de choses concernant le génome et sa molécule support : l'ADN. Notamment comment la cellule va lire des notices (les gènes) et les traduire en protéines, processus que l'on nomme plus globalement l'expression des gènes. Vous avez également découvert comment cette information peut être dupliquée. Enfin vous avez pu constater que si l'erreur est humaine, elle est également cellulaire et moléculaire ce qui est à l'origine de mutations génétiques ayant potentiellement un effet sur la santé humaine.

Ce module vous propose de continuer cette exploration du génome en se focalisant sur sa variabilité. Il s'agira ainsi d'établir ou de renforcer le lien entre la génétique et les concepts de biodiversité ou d'évolution.

Enfin la notion capitale de transmission (ou d'hérédité) sera étudiée. En effet que serait une innovation si elle n'était pas transmise ? Imaginez que Marc Zuckerberg ait gardé pour lui sa « découverte » de Facebook. Les réseaux sociaux modernes existeraient-ils ? En d'autres termes, notre société aurait-elle évolué comme elle l'a fait ou aurait-elle évolué différemment ?



# CHAPITRE 1

## LES CYCLES BIOLOGIQUES



En classe de première vous avez étudié la mitose. Vous avez été initié à la notion de clonage et de reproduction conforme.

Si l'homme suivait uniquement ce mode de reproduction, nous serions tous identiques. Nous serions une population de « clones ».

Or si vous regardez autour de vous, au sein de votre fratrie, de votre famille, de vos amis, de votre lycée... que remarquez-vous ? Nous sommes tous différents.

Avec ce premier chapitre nous comprendrons les mécanismes permettant cette diversité.

### Q COMPÉTENCES VISÉES

- Schématiser les conséquences de la méiose pour deux paires d'allèles portés par deux chromosomes différents ou par un même chromosome.
- Interpréter des résultats de croisements avec transmission de deux paires d'allèles (liés ou non entre eux), portés ou pas par les chromosomes sexuels.
- Schématiser les mécanismes expliquant certaines anomalies chromosomiques après méiose et fécondation.



# Première approche

## Le brassage génétique

A l'aide des documents suivants, expliquez le lien entre le phénomène de brassage génétique et l'extinction de certaines espèces animales.

### Document 1 :

Déforestation, artificialisation des espaces naturels, discontinuité des espaces naturels habitables, braconnage... autant de pressions anthropiques qui pèsent sur les espèces et qui sont susceptibles de les mener à leur extinction. Pour Florian Kirchner, chargé de programme "Espèces" du comité Français de l'UICN, les démarches visant à enrayer la crise de biodiversité doivent prioritairement se concentrer sur la préservation des espèces dans leur lieu naturel avec la création de zones protégées et la lutte contre les pressions sur les écosystèmes.

### Favoriser le brassage génétique

Au-delà de la réduction directe des effectifs au sein d'une espèce naturelle, la diminution de la variété génétique pose problème. L'uniformisation du patrimoine génétique au sein d'une espèce rend en effet les individus survivants encore plus vulnérables car moins enclins à s'adapter. C'est l'une des raisons qui poussent les parcs zoologiques ayant vocation de conservation, à organiser des accouplements entre des individus géographiquement très éloignés. Exemple dans un centre d'élevage et de reproduction spécialisé sur les espèces félines situé en Seine et Marne (77) qui vient d'accueillir deux tigres de Sumatra arrivés respectivement de... Hawaï et d'Australie.



Baptiste Clarke, journaliste  
Reporter d'images

[www.actu-environnement.com](http://www.actu-environnement.com)

### Document 2 :

**Extrait de l'article « L'Homme a-t-il un impact sur la biodiversité animale à l'échelle des gènes ? » par Héloïse Chapuis, « Sciences et avenir », 26 octobre 2019.**

« L'impact désastreux des humains sur la biodiversité mondiale est indiscutable. Il est en effet visible à travers la destruction d'écosystèmes et la disparition progressive de certaines espèces qui le composent, des phénomènes qu'il devient impossible de nier. Si les populations humaines sont nocives à la diversité des espèces animales, des chercheurs de l'Université McGill à Montréal (Canada) ont montré que notre influence est dévastatrice à une tout autre échelle. L'étude publiée le 21 octobre 2019 dans la revue Ecology Letters a mis en lumière l'effet des humains sur les variations génétiques de certains animaux.

### Les mutations génétiques, moteurs de l'Évolution

Pourquoi tant d'espèces se sont-elles succédées en 3,5 milliards d'années ? Chacune s'est façonné une place dans l'arbre du vivant qui n'a cessé depuis l'origine de la Vie de grandir, vibrant au rythme des événements de spéciation et d'extinction. Le secret du concept même de l'Évolution caché dans notre génome à tous, qui fait équipe avec le hasard.

La diversité, ou variance génétique, régie par les mutations génétiques hasardeuses, entre les individus d'une même espèce est à l'origine des différences entre ces individus. [...] À partir du moment où une mutation modifie un gène, la diversité génétique au sein de l'espèce croît car une nouvelle version du gène est créée, augmentant ou diminuant les aptitudes de survie de l'individu et éventuellement de sa progéniture. Les allèles





## CORRECTION

La survie d'une espèce dépend de sa capacité à s'adapter à l'environnement. Pour cela elle doit posséder tout un arsenal de stratégies possibles. Imaginez un téléphone contenant toutes les « applis » possibles afin de répondre à tous vos besoins éventuels. Pour le moment du vivant, les « applis » sont les gènes et donc il faut une grande diversité génétique pour être sûr de pouvoir répondre à tous les défis environnementaux et ainsi survivre.

Ainsi comme le montre les deux documents ci-dessus, le maintien d'une diversité génétique est crucial.

C'est pour cela que de nombreux zoo organisent des accouplements « entre individus géographiquement très éloignés », et donc probablement génétiquement différents. Cette pratique a pour but de favoriser le brassage génétique afin d'éviter « la diminution de la variété génétique ». En effet, on nous dit dans ce document que « l'uniformisation du patrimoine génétique au sein d'une espèce rend les individus survivants encore plus vulnérables car moins enclins à s'adapter ».

De même le document 2, met en garde sur le fait que « Les activités humaines peuvent affecter la diversité génétique intraspécifique [...] par le biais de mécanismes démographiques et évolutifs. (...) La diversité génétique au sein d'une espèce peut diminuer, augmenter ou rester inchangée au fil du temps [...] La perte de diversité génétique entravera la capacité des populations végétales et animales à s'adapter à l'évolution des environnements ».



## LES CYCLES BIOLOGIQUES

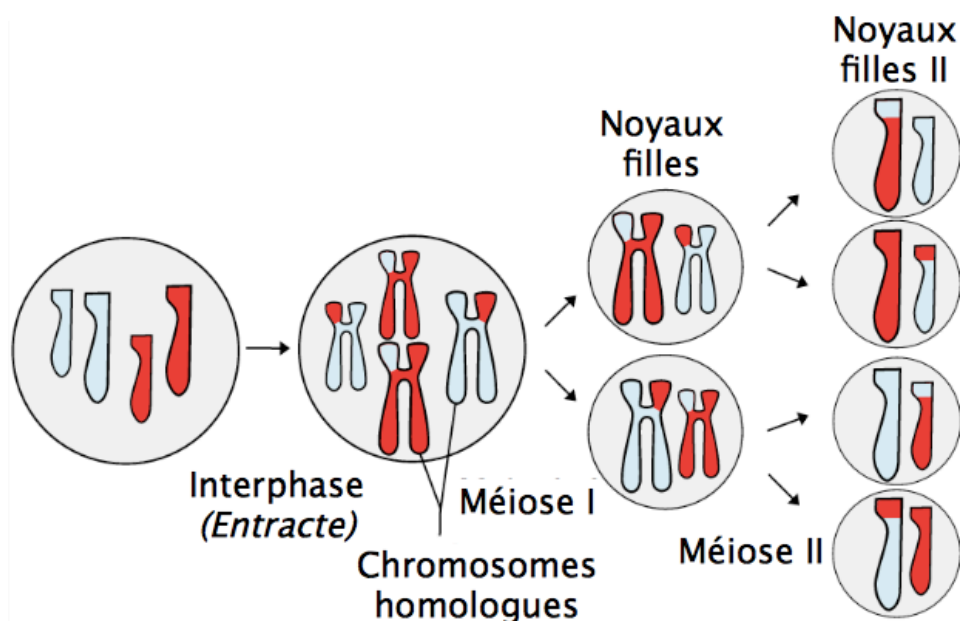
### Les étapes de la méiose et le brassage génétique

La méiose est une division cellulaire mise en évidence par Edouard Van Beneden (1846-1910) et qui permet la division d'une cellule diploïde en quatre cellules haploïdes. Elle se décompose en deux divisions cellulaires successives et inséparables :

- La première division méiotique est dite réductionnelle car elle permet de passer de  $2n$  chromosomes bichromatidiens à  $n$  chromosomes bichromatidiens. C'est donc lors de cette division que se met en place l'haploïdie.
- La seconde est dite équationnelle car elle conserve le nombre de chromosomes : on passe de  $n$  chromosomes doubles à  $n$  chromosomes simples.

Chez la plupart des animaux, la méiose est un processus se déroulant durant la gamétogenèse (spermatogenèse ou ovogenèse), c'est-à-dire durant l'élaboration des gamètes (les spermatozoïdes chez le mâle et les ovules chez la femelle). Chaque cellule va donc séparer son patrimoine génétique (contenu dans des chromosomes) en deux afin de ne transmettre que la moitié de ses gènes aux cellules filles.

La méiose est également source de brassage génétique (mélange des gènes) et ce, grâce à deux mécanismes de brassage : le brassage interchromosomique et le brassage intrachromosomique.



## Je vérifie mes connaissances

Quel est le nom de la première division de méiose ?

---

Quel est le nom de la deuxième division de méiose ?

---

Que permet d'obtenir la méiose ?

---



### COMPLÉMENT D'INFORMATION

Edouard van Beneden est un embryologiste et un cytologiste belge né le 5 mars 1846 à Louvain et mort le 28 avril 1910 à Liège. Professeur de zoologie à l'université catholique de Louvain, Edouard van Beneden est notamment connu pour ses travaux sur les protozoaires, les nématodes et diverses espèces animales.



A partir de 1870, il enseigne à l'université de Liège et mène des recherches d'anatomie comparée qui poseront notamment les bases des travaux du zoologiste russe Aleksandr Kovalevski.

Il va également, en étudiant l'œuf d'un ver intestinal du cheval, démontrer que la fécondation consiste essentiellement en la fusion de deux demi-noyaux cellulaires contenant chacun la moitié du nombre de chromosomes observés dans les autres cellules de l'organisme de cet animal.

De plus, il est également à l'origine de certains des principes fondamentaux de l'embryologie.

## LA MÉIOSE 1 (OU DIVISION RÉDUCTIONNELLE) : LES ÉTAPES



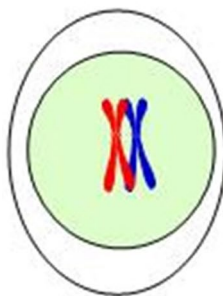
### L'ESSENTIEL

La première division de la méiose permet la réduction chromatique (réduction du nombre de chromosomes : passage de  $2n$  à  $n$ ) par séparation des chromosomes homologues. Elle est constituée de 4 phases d'une division cellulaire avec quelques caractéristiques en plus propres à la méiose 1.

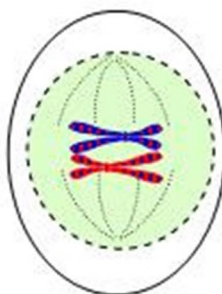
Ces quatre étapes sont la prophase 1, la métaphase 1, l'anaphase 1 et la télophase 1.



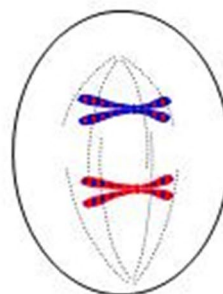
### À VOUS DE JOUER 1



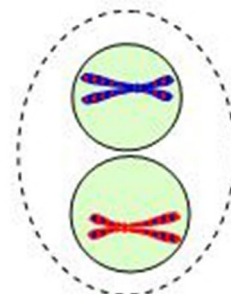
**PROPHASE 1**  
( $2N-4C$ )



**METAPHASE 1**  
( $2N-4C$ )



**ANAPHASE 1**  
( $2N-4C$ )



**TELOPHASE 1**  
( $1N-2C$ )

A l'aide du document ci-dessus décrivez brièvement les différentes étapes de la méiose 1.

a. Prophase 1 :

---

---

---

b. Métaphase 1 :

---

---

---

c. Anaphase 1 :

---

---

---

d. Télophase 1 :

---

---

---

## LA MÉIOSE 1 (OU DIVISION RÉDUCTIONNELLE) : LES BRASSAGES GÉNÉTIQUES



### L'ESSENTIEL

Lors de cette méiose, deux brassages génétiques ont lieu. Le brassage intrachromosomique et le brassage interchromosomique.

Le brassage intrachromosomique permet une recombinaison (c'est-à-dire un échange) des allèles entre chromosomes homologues, c'est-à-dire une répartition nouvelle des allèles sur un chromosome. Les chromatides sœurs ne portent plus les mêmes allèles. On parle de chromosomes recombinés, c'est-à-dire des chromosomes possédant des informations maternelles et paternelles.

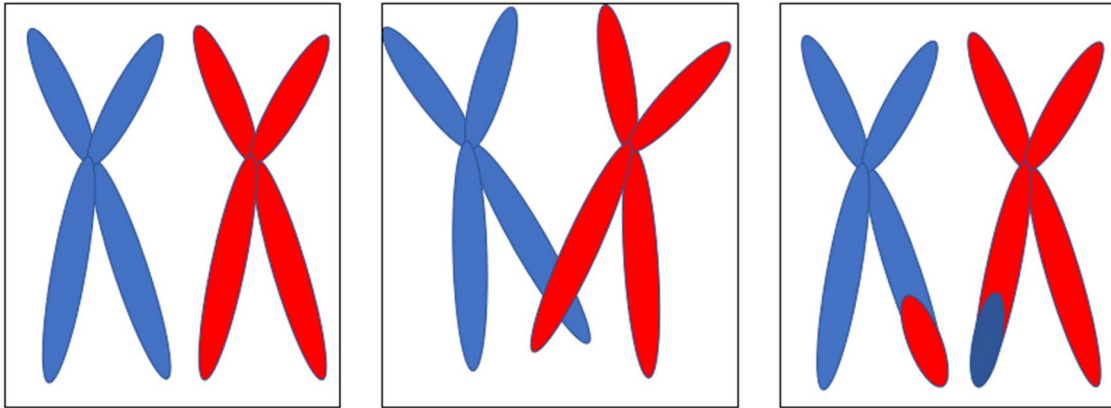
Le brassage interchromosomique est dû à la répartition aléatoire et indépendante des chromosomes, il dépend du positionnement des chromosomes bivalents en métaphase 1. En effet, chaque paire se positionne sur le plan équatorial indépendamment des autres paires. Il se forme à chaque pôle de la cellule un assortiment aléatoire de chromosomes maternels et paternels.



## À VOUS DE JOUER 2

Visualisez ces deux brassages et notez vos observations.

Brassage 1 : brassage intrachromosomique



Exemple de crossing over (ou recombinaison homologue) entre deux chromosomes homologues maternel et paternel

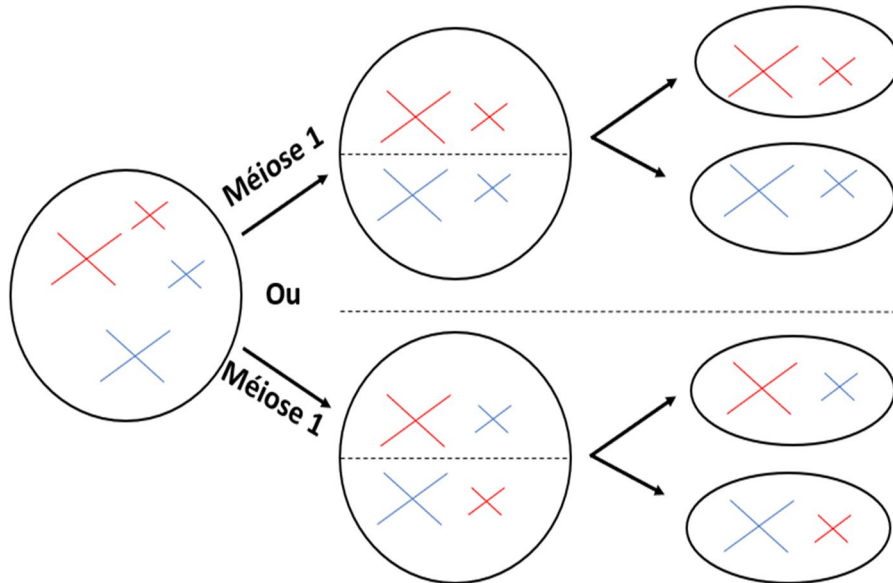
Observations .....

.....

.....

.....

Brassage 2 : brassage interchromosomique



Exemple de brassage interchromosomique avec une cellule à  $2n=4$  chromosomes

Observations .....

.....

.....

.....

# LA MÉIOSE 2 OU DIVISION ÉQUATIONNELLE



## L'ESSENTIEL

La deuxième division de la méiose permet la séparation des chromatides sœurs.

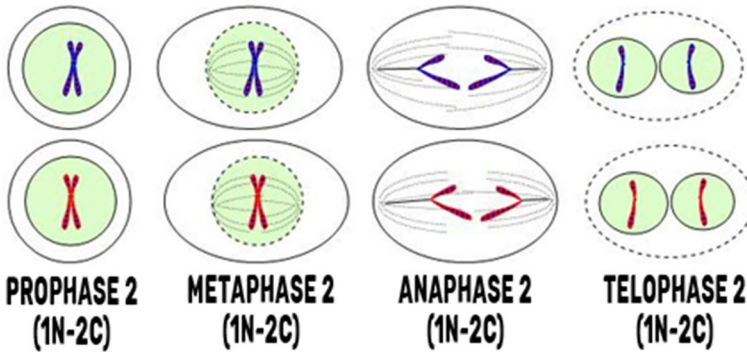
Elle est semblable à une mitose mais n'est pas précédée d'une réplication de l'ADN et les chromatides sœurs ne sont pas génétiquement identiques à cause du brassage intrachromosomique.

Cette deuxième division est qualifiée d'équationnelle et divise ainsi par deux le nombre d'allèles et la quantité d'ADN par cellule.

Lors de cette méiose, seul le brassage interchromosomique a lieu



## À VOUS DE JOUER 3



A l'aide du schéma ci-dessus, dérivez brièvement les différentes étapes de la méiose 2.

a. Prophase 2 :

.....

.....

.....

b. Métaphase 2 :

.....

.....

.....

c. Anaphase 2 :

.....

.....

.....

d. Télaphase 2 :

.....

.....

.....

Abordons maintenant une série d'exercices, afin de vérifier vos connaissances. Les exercices ont été classés dans un ordre d'approfondissement croissant. Les réponses aux exercices se trouvent en fin de manuel.

EXERCICE

01

QCM (choisir la ou les bonnes réponses).

## 1. La méiose 1 :

- a. Est une division réductionnelle.
- b. Est une division équationnelle.
- c. Est comparable à la mitose.
- d. Met en place l'haploïdie.

## 2. La deuxième division de méiose :

- a. Est une division réductionnelle.
- b. Est une division équationnelle.
- c. Est comparable à la mitose.
- d. Met en place la diploïdie.

## 3. Le brassage intrachromosomique :

- a. Se produit entre chromatides sœurs.
- b. Se réalise au moment de la fécondation.
- c. Permet la formation de chromosomes recombinés.
- d. Se produit en anaphase de méiose 1.

## 4. Les crossing-over :

- a. Sont source de diversité génétique.
- b. Se produit en prophase de méiose 1.
- c. Sont systématiques.
- d. Sont des erreurs de méiose.

## 5. Le brassage interchromosomique :

- a. Se produit en prophase 1.
- b. Est systématique.
- c. Est source de diversité génétique.
- d. Permet une répartition aléatoire des chromosomes paternels et maternels dans chaque cellule fille.

## 6. Le brassage interchromosomique :

- a. N'a lieu qu'en méiose 1.
- b. Précède le brassage intrachromosomique.
- c. Ne se produit pas chez les organismes haploïdes.
- d. Est dû au positionnement aléatoire des chromosomes en métaphase.

EXERCICE

02

Définir le brassage intrachromosomique.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## EXERCICE

03

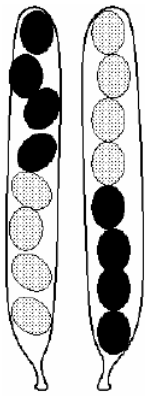
Définir le brassage interchromosomique.

## EXERCICE

04

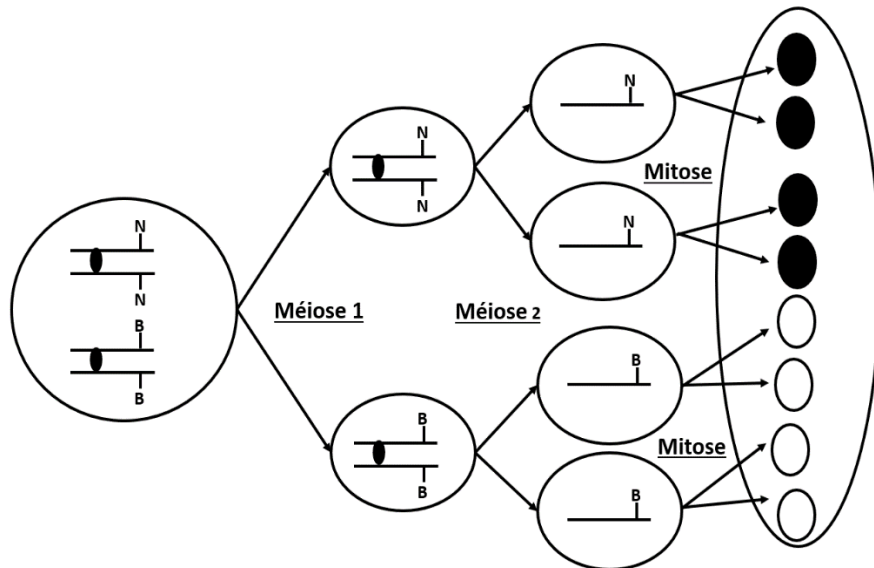
Sordaria et le brassage chromosomique.

Chez Sordaria, champignon microscopique haploïde, la couleur des spores entrant dans la composition d'un asque est gouvernée par un gène que nous nommerons C. Il existe sous deux versions alléliques, un allèle noir noté N et un allèle blanc noté B.



Dans un premier temps, l'observation d'asques dans le périthèce de Sordaria nous montre ces deux types d'asques (les asques étant des cellules allongées contenant les spores).

Un schéma montrant les différentes étapes du cycle de Sordaria aboutissant à un de ces deux types d'asques est présenté ci-dessous.



Il est à noter que ces asques proviennent d'un croisement entre deux parents portant chacun soit l'allèle B soit l'allèle N.

1. Quel est le mécanisme génétique qui conduit à ce type d'asque ?

2. Proposez à votre tour un schéma des différentes étapes du cycle de Sordaria aboutissant au type d'asque ci-dessous. Vous préciserez quel est le mécanisme génétique qui conduit à ce type d'asque ?

## EXERCICE

05

Génétique combinatoire.

1. En ne considérant que le brassage interchromosomique, combien de combinaisons peut-on obtenir suite à la méiose d'une cellule à  $2n= 4$  chromosomes ? (Vous pouvez vous aider d'un schéma).

---

---

2. En ne considérant que le brassage interchromosomique, combien de combinaisons peut-on obtenir suite à la méiose d'une cellule à  $2n= 6$  chromosomes ? (Vous pouvez vous aider d'un schéma).

---

---

3. En ne considérant que le brassage interchromosomique, combien de combinaisons peut-on obtenir suite à la méiose d'une cellule à  $2n= 8$  chromosomes ? (Vous pouvez vous aider d'un schéma).

---

---

4. En ne considérant que le brassage interchromosomique, combien de combinaisons peut-on obtenir suite à la méiose d'une cellule à  $2n= 46$  chromosomes ? (Sans vous aider d'un schéma).

---

---

5. En déduire la formule permettant de déterminer, en ne considérant que le brassage interchromosomique, combien de combinaisons on peut obtenir suite à la méiose d'une cellule à  $2n= Y$  chromosomes ?

---

---

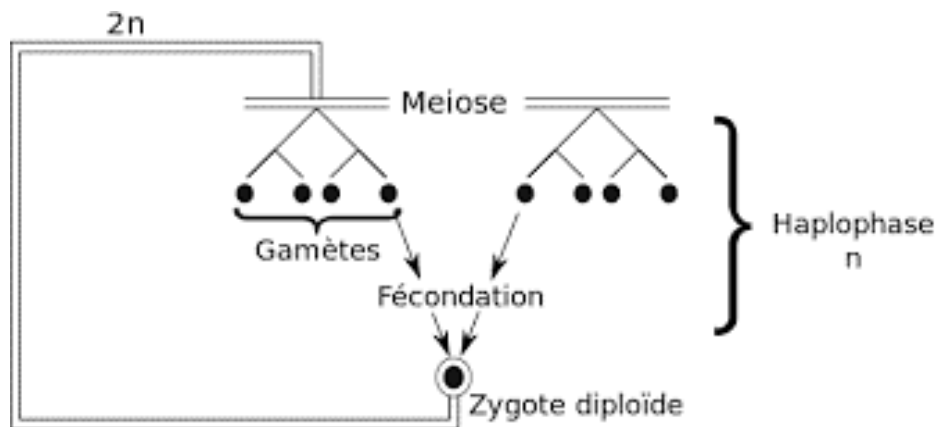


02

## LES CYCLES BIOLOGIQUES

### La fécondation rétablit la diploïdie et assure un nouveau brassage allélique

Si la méiose se traduit par la génération de noyaux haploïdes, la fécondation permet le phénomène inverse. Ainsi la fécondation est universellement l'union des deux noyaux haploïdes de deux gamètes pour former un noyau diploïde d'une cellule œuf. Cette fécondation contribue également au brassage génétique et donc à la diversité du vivant.



### Je vérifie mes connaissances

En quoi consiste la fécondation ?

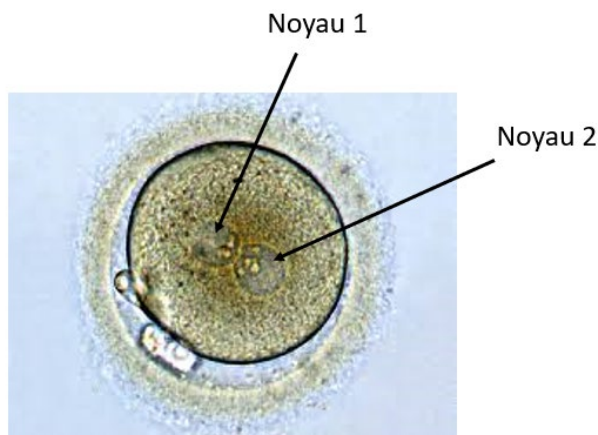
Que rétablit-elle ?

## LA FÉCONDATION RÉTABLIT LA DIPLOÏDIE



### L'ESSENTIEL

Lors de la fécondation, deux cellules haploïdes vont s'associer et réaliser la fusion de leurs noyaux donnant naissance à une cellule œuf appelé zygote. On parle alors de caryogamie. On passe alors deux cellules haploïdes possédant des chromosomes monochromatidiens (issus de la méiose) à une cellule diploïde possédant des paires de chromosomes monochromatidiens. Suite à cette fécondation une réplication de l'ADN peut avoir lieu et permettre alors l'obtention de chromosomes bichromatidiens.

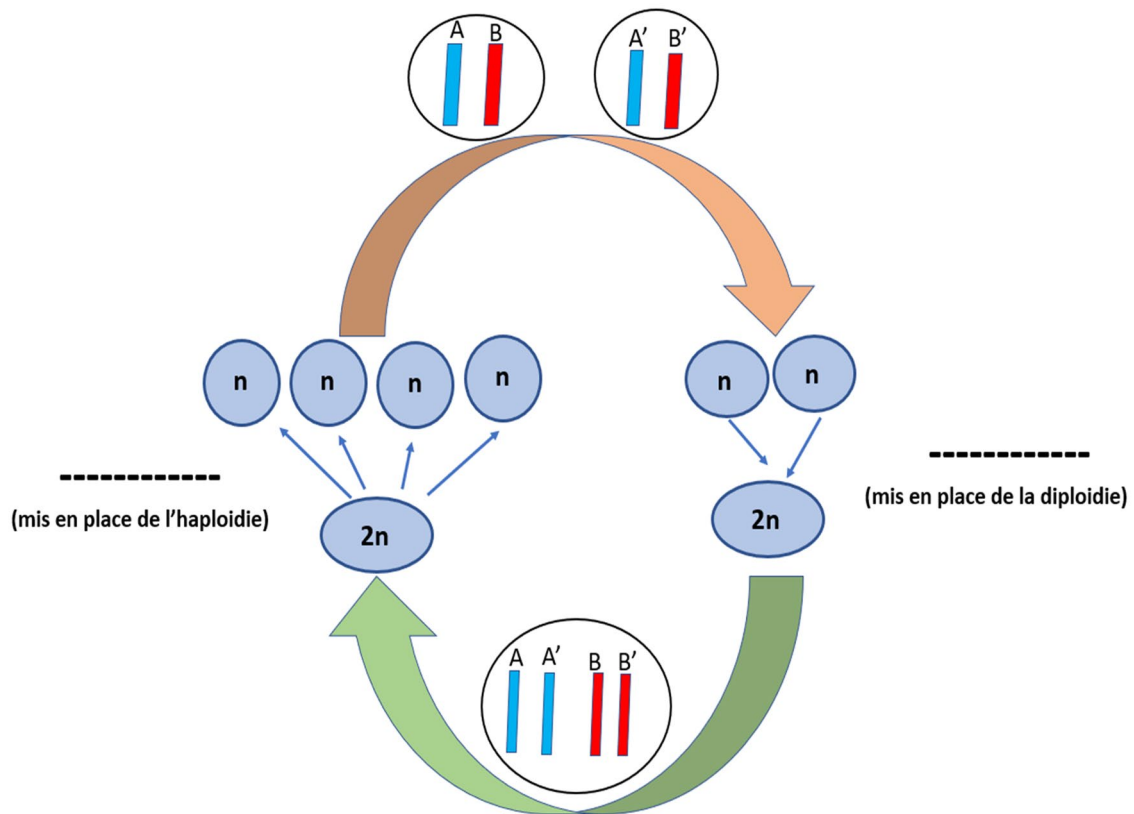


Microphotographie d'un zygote en cours de formation (les deux noyaux n'ont pas encore fusionné)



## À VOUS DE JOUER 4

Complétez le schéma ci-dessous en vous basant sur la définition de la fécondation énoncée ci-dessus.



## LA FÉCONDATION ASSURE UN NOUVEU BRASSAGE ALLÉLIQUE



### L'ESSENTIEL

Comme cela vient d'être défini, la fécondation est donc le résultat de l'union du matériel génétique de deux cellules reproductrices (celles-ci ayant subi des brassages génétiques lors des méioses précédentes). Ainsi, de même que les associations alléliques obtenues à l'issue de chaque méiose sont uniques, le résultat de la fusion de ces noyaux gamétiques lors de la fécondation sera unique.

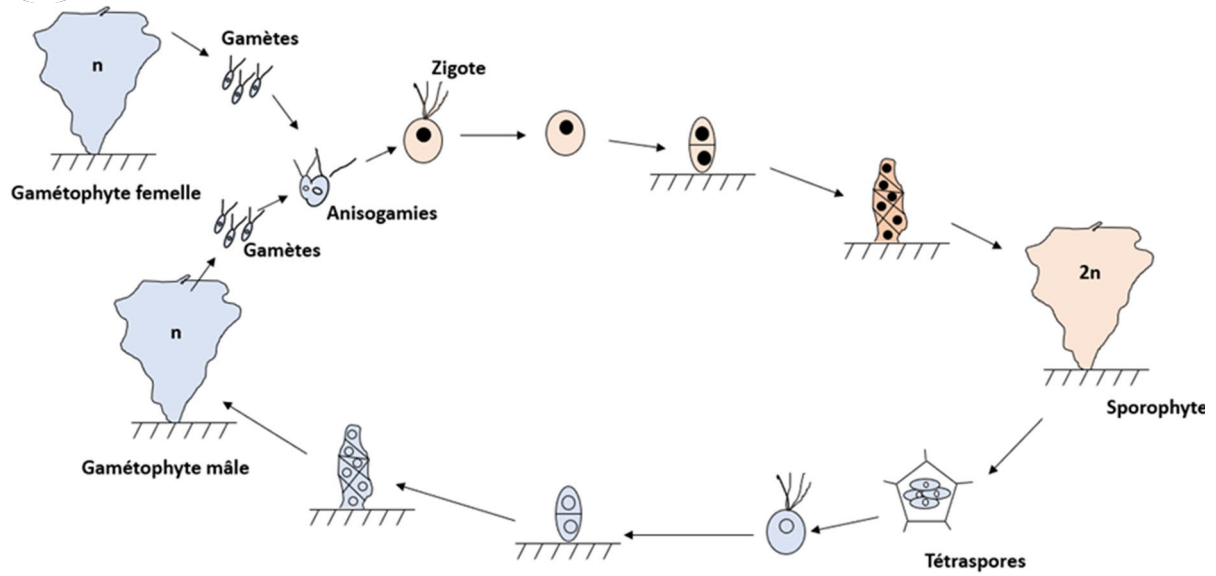
Chaque être vivant obtenu par fécondation entre deux individus donnés est donc le résultat de deux méioses uniques et d'une fécondation également unique d'un point de vue statistique.

Remarque : Attention, l'existence de deux êtres vivants d'un génotype identique obtenus par des mécanismes de reproduction sexuée chez les deux mêmes parents est donc un événement théoriquement possible mais statistiquement d'une probabilité infiniment faible.



## À VOUS DE JOUER 5

Etude de l'intérêt du brassage génétique engendré par la reproduction sexuée.



En vous basant sur les conséquences génétiques des deux types de reproductions (sexuée et asexuée), proposez une hypothèse expliquant pourquoi ce type d'organisme privilégiera la reproduction sexuée quand les conditions de vie deviennent difficiles ? (Indice : les conditions de vie difficiles impliquent souvent un besoin d'adaptation).

A series of horizontal dashed lines provided for writing an answer to the question above.



## COMPLÉMENT D'INFORMATION

Quand l'homme remplace l'abeille pour réaliser la fécondation manuelle de la vanille. Une fois que l'homme a eu compris le principe de la fécondation, il a pu mettre en place des protocoles de fécondations artificielles (ou manuelles), notamment utilisés dans le domaine de l'agriculture.

Comment polliniser la fleur de vanille ? <https://youtu.be/I42TA8aI24o>



QCM (plusieurs réponses possibles).

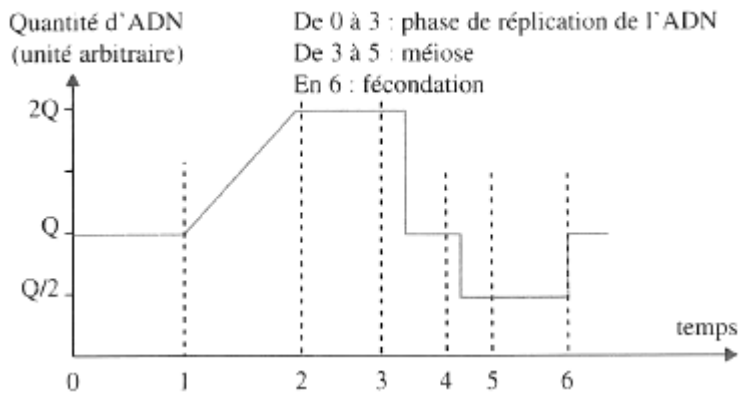
### 1. La fécondation

- Permet la formation d'une cellule œuf.
- Réunit deux noyaux haploïdes.
- Amplifie le brassage génétique de la méiose.
- Réunit deux noyaux diploïdes.

### 2. Quelles sont les propositions exactes concernant le cycle biologique de développement humain ?

- La méiose et la fécondation assurent une alternance des phases haploïdes, diploïdes.
- La méiose et la fécondation assurent la stabilité du caryotype de l'espèce.
- La fécondation permet de rétablir la diploïdie.
- La fécondation permet de rétablir l'haploïdie.

### 3. Le document ci-dessous présente l'évolution de la quantité d'ADN au sein d'une cellule qui à T<sub>0</sub> présente 6 chromosomes à une seule chromatide. Chaque chromatide est composée d'une molécule d'ADN.



L'étude du document montre que :

- La méiose permet de passer d'une cellule à 6 chromosomes à 2 chromatides à 4 cellules à 3 chromosomes à 1 chromatide.
- La méiose permet de passer d'une cellule à 6 chromosomes à 2 chromatides à 4 cellules à 6 chromosomes à 1 chromatide.
- La fécondation est la fusion de 2 cellules donnant une cellule œuf contenant une quantité d'ADN égale à 2Q.
- De 1 à 2 il y a une phase de croissance de la cellule.

### 4. Quand on dit qu'un organisme est $2n=6$ , cela signifie :

- Qu'il possède 3 paires de chromosomes.
- Qu'il a 3 chromosomes.
- Qu'il possède 6 paires de chromosomes.
- Qu'il est diploïde.

### 5. La fécondation

- Crée des allèles (version de gène) nouveaux.
- Crée des phénotypes nouveaux.
- Contribue à la diversité allélique.
- Permet le passage d'une phase diploïde à une phase haploïde.

Evolution de la quantité d'ADN durant un cycle biologique.

Sur le document ci-dessous, retrouvez les phénomènes suivants : Fécondation, Méiose I, Méiose II, Mitose, Duplication de l'ADN.

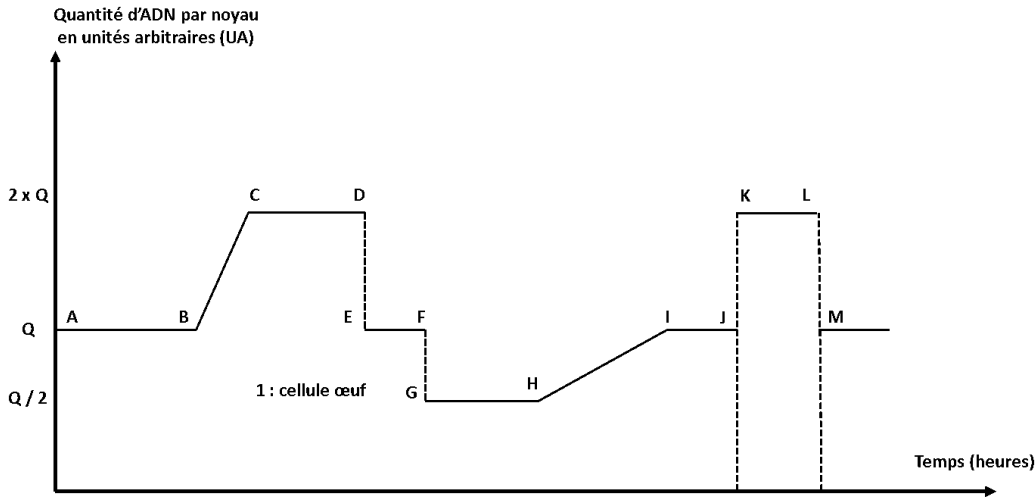
B → C : .....

D → E : .....

F → G : .....

J → K : .....

L → M : .....



EXERCICE 08

Quelle est la différence fondamentale entre la reproduction sexuée et la reproduction asexuée ?

.....

.....

.....

.....

.....

EXERCICE 09

Pourquoi les « vrais » jumeaux sont génétiquement identiques contrairement aux « faux » jumeaux.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



### L'ESSENTIEL

Il existe des anomalies de répartition de chromosomes c'est-à-dire que les cellules obtenues après division (méiose ou mitose) n'ont pas le bon nombre de chromosomes.

Cas de la méiose : Une erreur lors de méiose peut entraîner l'absence de séparation des chromosomes homologues en anaphase de méiose 1 ou à la non séparation des chromatides sœurs en méiose 2.

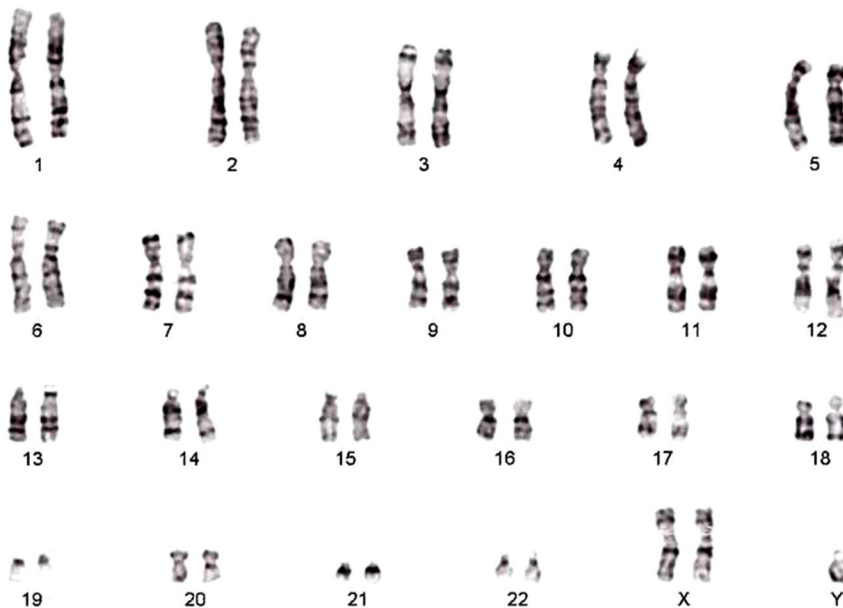
Cette anomalie de fonctionnement crée soit des gamètes avec un chromosome surnuméraire (trisomie), soit des chromosomes absents (monosomie). Ce sont des cellules avec une anomalie du nombre de chromosomes appelées cellules aneuploïdes.

Suite à la fécondation : Il se peut également qu'il y ait une erreur lors la première mitose de la cellule œuf. Ainsi, un des deux chromosomes d'une paire ne se sépare pas au niveau du centromère lors de l'anaphase et se retrouve complètement (les deux chromatides) dans une des deux cellules filles.



### À VOUS DE JOUER 6

Etude de l'intérêt du brassage génétique engendré par la reproduction sexuée.



1. Quelle anomalie présente ce caryotype humain ?

.....

2. Le problème peut-il venir du gamète apporté par son père ? Par sa mère ?

.....

.....

3. Qu'a-t-il pu se produire, durant la méiose de l'un ou l'autre des parents, qui explique cette anomalie ? Illustrez à l'aide d'un schéma.



### COMPLÉMENT D'INFORMATION

Quand la souris vient au secours de l'homme.

**Du sperme sain a été créé par des souris souffrant d'infertilité en Grande-Bretagne. L'étude menée par une équipe britannique suscite un espoir de nouveaux traitements pour les hommes possédant un troisième chromosome sexuel.**

Un garçon sur 500 naît avec un chromosome X ou Y supplémentaire ce qui peut conduire à la stérilité. Des chercheurs de l'Institut londonien Francis Crick et de l'université de Kyoto au Japon, ont proposé une solution innovante et surprenante à cette infertilité. Leurs résultats ont été publiés dans la revue Science.

Ils ont prélevé des bouts de tissus d'oreilles de souris mâles infertiles et en ont prélevé des cellules. Les souris avaient toutes un chromosome sexuel supplémentaire X (masculin) ou Y (féminin) en plus de la traditionnelle paire XX ou XY.

Ils ont ensuite transformé ces cellules en cellules souches et ont observé que lors de ce protocole certaines cellules souches avaient perdu leur chromosome sexuel supplémentaire.

Les chercheurs ont sélectionné ces cellules souches et les ont transformées en cellules capables de devenir des spermatozoïdes immatures. Une fois injectés dans les testicules des souris, les spermatozoïdes sont arrivés à maturité. Ils ont ensuite été utilisés et ont produit une progéniture saine et fertile.

Quid de l'homme ?

Ces mêmes chercheurs ont découvert que des cellules souches d'hommes présentant le syndrome de Klinefelter avaient aussi perdu leur chromosome sexuel supplémentaire. La question est désormais donc de savoir si le protocole qui a été efficace chez la souris pourrait l'être chez l'homme.

[www.francetvinfo.fr](http://www.francetvinfo.fr)



QCM (plusieurs réponses possibles).

1. Le caryotype dans l'espèce humaine :

- a. Ne contient que des paires de chromosomes homologues.
- b. Est identique dans les deux sexes.
- c. Est constitué de 44 autosomes et 2 chromosomes sexuels.
- d. Est constitué de 23 paires d'autosomes et 1 paire de chromosomes sexuels.

2. Quand on dit qu'un organisme est  $2n=6$ , cela signifie :

- a. Qu'il possède 3 paires de chromosomes.
- b. Qu'il a 3 chromosomes.
- c. Qu'il possède 6 paires de chromosomes.
- d. Qu'il est diploïde.

3. La trisomie 21 :

- a. Est le syndrome de Down.
- b. Est la seule trisomie rencontrée chez l'homme.
- c. Est généralement due à des anomalies de fonctionnement lors de la gamétogenèse chez l'un des parents.
- d. Peut s'expliquer par une anomalie lors de la première mitose du zygote.

4. Les anomalies de la méiose :

- a. Ne peuvent se produire que pendant la prophase 1.
- b. Conduisent toujours à des zygotes triploïdes.
- c. Peuvent être dues à la non disjonction des chromatides en anaphase 2.
- d. Conduisent toujours à des zygotes non viables.
- e. Peuvent être dues à la non séparation des tétrades de chromatides en anaphase 1.

5. Quelles anomalies de ségrégation du matériel génétique peuvent expliquer le phénotype trisomie 21 libre chez un être humain ? :

- a. Une ségrégation inégale des deux chromosomes homologues de la paire 21 pendant la première division de méiose chez la mère.
- b. Une ségrégation inégale des deux chromatides sœurs d'un chromosome de la paire 21 pendant la deuxième division de méiose chez la mère.
- c. Une ségrégation inégale des deux chromosomes homologues de la paire 21 pendant la première division de méiose chez le père.
- d. Une ségrégation inégale des deux chromatides sœurs d'un chromosome de la paire 21 pendant la deuxième division de méiose chez le père.
- e. Une ségrégation inégale des deux chromatides sœurs d'un chromosome de la paire 21 pendant la première mitose de segmentation de l'œuf normal.

Donnez la définition de notions suivantes.

Métaphase I

.....

Fécondation

.....

.....

Syndrome de Down

.....

.....





Handwriting practice area consisting of 25 horizontal dashed green lines.

## LE TEMPS DU BILAN

- Ainsi, via la réalisation de brassages génétiques interchromosomiques (répartition aléatoire des chromosomes maternels et paternels lors des métaphase I et II) et intrachromosomiques (échange de matériels génétiques entre chromosomes homologues lors de la prophase I), la méiose contribue à la mise en place d'une diversité génétique des gamètes.
- Puis, la fécondation, tout en assurant la stabilité des caryotypes, permettra d'amplifier ce phénomène de brassage génétique.
- Contrairement à la reproduction asexuée (mitose), la reproduction sexuée (méiose + fécondation) sera responsable de diversification génomique, garantissant ainsi l'émergence de nouveaux génomes chez les êtres vivants.
- Cependant ce brassage peut également être source d'anomalies chromosomiques qui peuvent alors entraver le bon développement de l'individu. Toutefois, comme nous le verrons par la suite, ces erreurs peuvent être aussi sources d'innovations.



Vous pouvez maintenant  
faire et envoyer le **devoir n°1**

