

L'évolution comme grille de lecture du monde

Introduction :

Pourquoi la girafe a-t-elle un long cou ? Cette question a été au centre de grands débats scientifiques à la fin du XVIII^e siècle. Durant ce débat, de nombreuses théories ont vu le jour parmi lesquelles le transformisme de Lamarck ou la théorie de l'évolution de Darwin.

Ces théories abordent des concepts scientifiques qui peuvent paraître réservés aux spécialistes. Cependant, des concepts très simples permettent de faire la lumière sur de nombreux aspects de notre anatomie ou encore sur des enjeux actuels de santé publique.

Nous allons dans ce cours étudier les grands concepts de la théorie de l'évolution, puis nous nous intéresserons à l'évolution des structures anatomiques humaines et à la gestion de la santé publique.

1 | Les grands concepts évolutionnistes

Nous allons voir dans cette partie les grands **concepts évolutionnistes** qui nous permettront de mieux comprendre les liens entre l'évolution, l'anatomie et la santé publique.

a. Le hasard, moteur de l'évolution



Définition

Évolution :

L'évolution est un ensemble de modifications graduelles et accumulées qui affectent les êtres vivants.

Il est important d'avoir en tête que l'évolution agit principalement sur le **génome** des individus.

Les modifications apportées à l'organisme sont des **modifications de la séquence d'ADN**.



Définition

Génome :

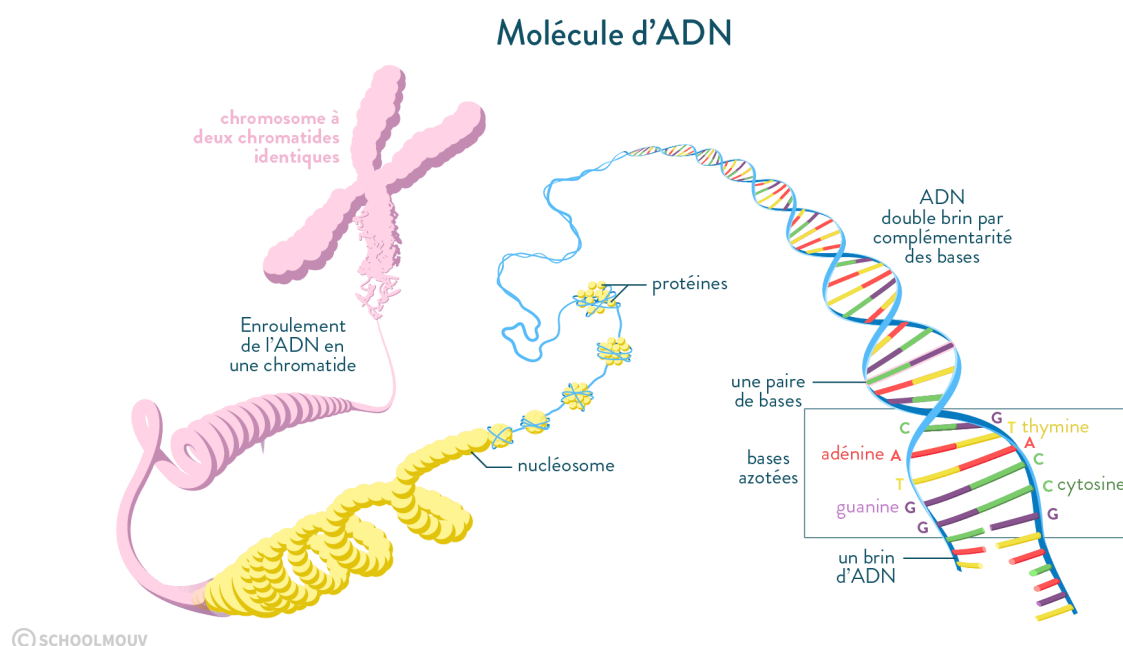
Le génome désigne l'ensemble des chromosomes et des gènes d'un organisme vivant, contenu dans chacune de ses cellules.



Rappel

Pour rappel, l'**ADN** est une molécule contenant l'information génétique. Il y a de l'ADN dans le noyau de toutes les cellules de notre organisme. L'ADN est composé de **nucléotides** dont l'enchaînement représente une **séquence**.

→ C'est la séquence de l'ADN qui donne l'**information génétique**.



L'information génétique portée par l'ADN peut s'exprimer au niveau phénotypique et avoir une conséquence sur l'aspect de l'organisme.

Le **phénotype** désigne l'ensemble des caractères observables d'un individu.

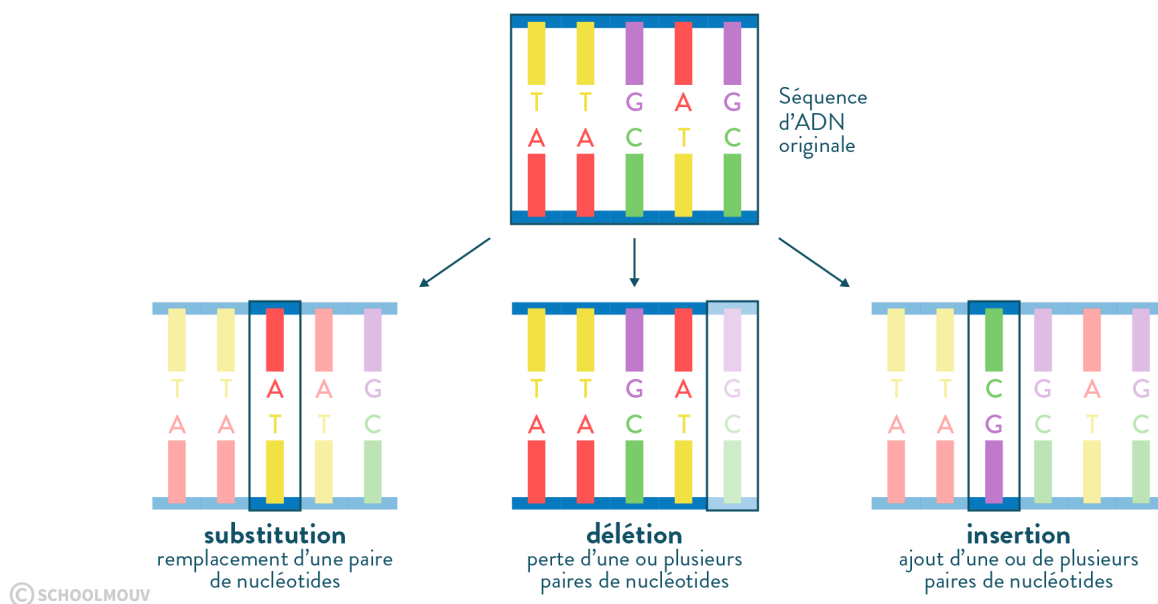
Il est à distinguer du **génotype**, qui désigne l'ensemble de l'information génétique contenue dans un organisme, c'est-à-dire l'ensemble des allèles de tous les gènes.

Le **caryotype** désigne quant à lui plus précisément l'arrangement selon un format standard par paire et par taille de l'ensemble des chromosomes d'une cellule.

Une mutation de l'ADN entraîne un changement de la séquence et donc une modification de l'information génétique.

→ Une **mutation** est un évènement ponctuel et spontané. Elle a lieu de manière **aléatoire** et peut affecter l'ensemble du génome. Il existe des mécanismes de réparation de l'ADN qui permettent de réparer les modifications de l'ADN. Cependant, certaines des modifications ne seront pas réparées et vont donc modifier l'information génétique de la cellule.

Les mutations de l'ADN



Il est important d'avoir en tête que la mutation d'une cellule ne va pas affecter l'ensemble de l'organisme. Cette mutation ne s'exprimera qu'au niveau de la cellule mutée. De plus, si la mutation ne touche pas une **cellule germinale**, elle ne sera pas transmise à la descendance.



Définition

Cellule germinale :

Une cellule germinale est une cellule reproductrice. Elle s'oppose à la cellule somatique qui ne participe pas à la reproduction.



À retenir

Une mutation est une modification de l'ADN.
L'apparition d'une mutation est totalement liée au hasard.
Une mutation ne peut être transmise que si elle touche les cellules germinales.



La sélection naturelle

Nous avons vu que c'est complètement au hasard que les mutations apparaissent chez un individu. Nous allons maintenant étudier quelles sont les conséquences des mutations sur les individus.

Les mutations des cellules germinales, si elles sont transmises à la génération suivante, vont s'exprimer dans l'ensemble de l'organisme. Une mutation acquise par un être humain au niveau d'une cellule germinale s'exprime donc chez son enfant.



À retenir

Ainsi, l'évolution est la modification de l'ADN au fil des générations.

Ces modifications peuvent avoir trois effets :

- la **mutation neutre** n'apporte aucun avantage ou désavantage à l'individu ;
- la **mutation avantageuse** apporte un avantage sélectif à l'individu ;
- la **mutation délétère** est désavantageuse pour l'individu.

Mais alors comment mesurer les effets d'une mutation ?
Chaque individu possède une **valeur sélective**.



Définition

Valeur sélective :

La valeur sélective est la capacité de survivre et de transmettre son patrimoine génétique, donc de se reproduire.

→ On donne une valeur à la mutation en fonction de son effet sur la valeur sélective de l'individu.

L'effet de la mutation peut être différent en fonction de l'**environnement** dans lequel vit l'individu.



Exemple

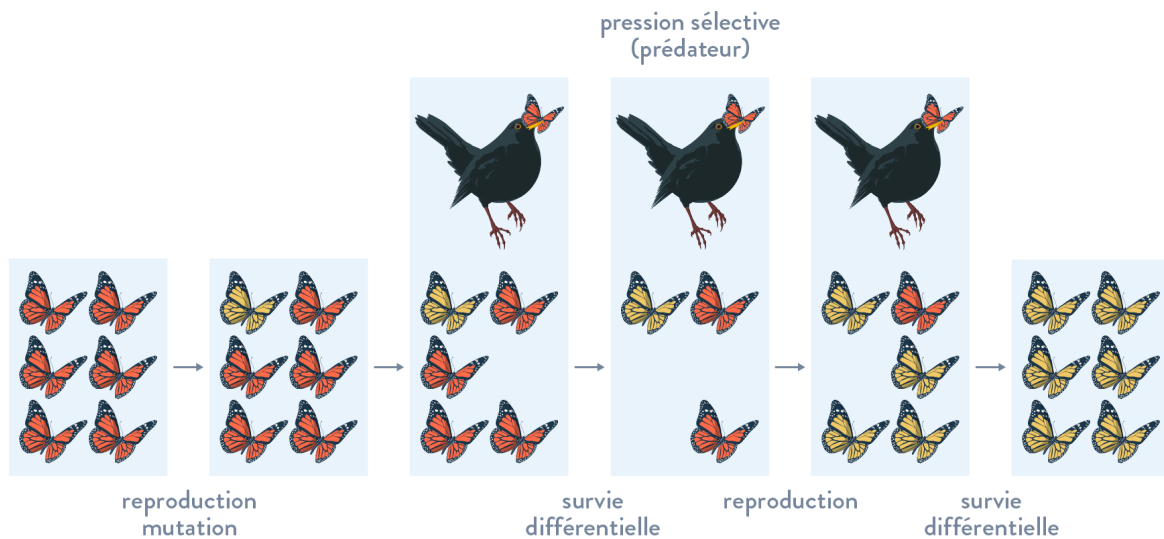
Ainsi, une mutation qui apporte une résistance au froid est neutre dans le Sahara, mais sera avantageuse en Sibérie.

Si vous avez bien compris ce début d'explication, il sera aisé de comprendre la suite du raisonnement.

- Si une mutation est avantageuse, alors la survie et la capacité à se reproduire de l'individu augmentent.
- Si ces paramètres augmentent, alors l'individu va avoir plus de descendants que la moyenne.
- Ses descendants possédant les mêmes gènes avantageux, ils vont également mieux survivre et mieux se reproduire.

- De cette façon, une mutation avantageuse va se répandre dans la population.
- Au contraire, les individus ayant une mutation désavantageuse vont moins se reproduire et la mutation va diminuer en fréquence dans la population.
- Ce phénomène est appelé **sélection naturelle**.

Action de la sélection naturelle avec une pression de prédation



© SCHOOLMOUV

- Une population de papillons foncés subit une pression de prédation par des oiseaux. L'apparition d'une mutation entraînant un changement de couleur confère un avantage sélectif aux individus la possédant. Ces derniers sont mieux camouflés et la pression de prédation est moins importante. Leur survie est plus importante que celle des papillons foncés, ils vont donc plus se reproduire. En conséquence, la fréquence de papillons clairs augmente dans la population, tandis que celle des papillons foncés diminue.



sélection naturelle :

La sélection naturelle est un mécanisme qui permet la propagation des gènes favorables par l'élimination des individus les moins aptes à survivre et à se reproduire.

Il est très important de noter que la mutation apparaît spontanément et que c'est le mécanisme de sélection naturelle qui permet le maintien ou non du caractère lié à la mutation.

Un individu ne s'adapte donc pas génétiquement à son environnement : des événements aléatoires créent des individus plus ou moins adaptés et la sélection naturelle favorise les individus les mieux adaptés à l'environnement dans lequel ils vivent.

Cela s'oppose à la théorie transformiste développée en 1800 par le naturaliste Jean-Baptiste Lamarck : cette théorie de l'évolution met en avant l'idée que l'environnement et l'usage d'un organe déterminent l'évolution de celui-ci, et que les caractères acquis au cours de la vie d'un individu sont transmis à ses descendants. Par exemple, le cou d'une girafe s'allongerait au cours de sa vie à mesure qu'elle tenterait d'atteindre des feuilles de plus en plus hautes, et ses descendants naîtraient donc avec un cou plus long.

Or, contrairement à ce que pensait Lamarck, les girafes n'allongent pas leur cou pendant leur vie.

Cependant, les girafes avec un plus long cou peuvent se nourrir dans les plus hauts feuillages et cet avantage sélectif leur permet d'avoir accès à plus de nourriture, augmentant donc leur valeur sélective.

→ Les girafes ayant un plus long cou se reproduisent mieux que les autres et ce caractère se propage donc dans les populations.

2 | Évolution et anatomie

Nous avons vu les deux grands principes de la théorie de l'évolution (l'apparition de mutations génétiques liée au hasard et le phénomène de sélection naturelle).

Nous allons maintenant essayer de comprendre comment l'évolution a façonné notre anatomie par deux exemples : l'œil et les dents de sagesse.

a. La modification de la structure de l'œil, un avantage sélectif

La vision est un atout considérable dans le règne du vivant, aussi bien pour appréhender son environnement que pour se nourrir ou se défendre.

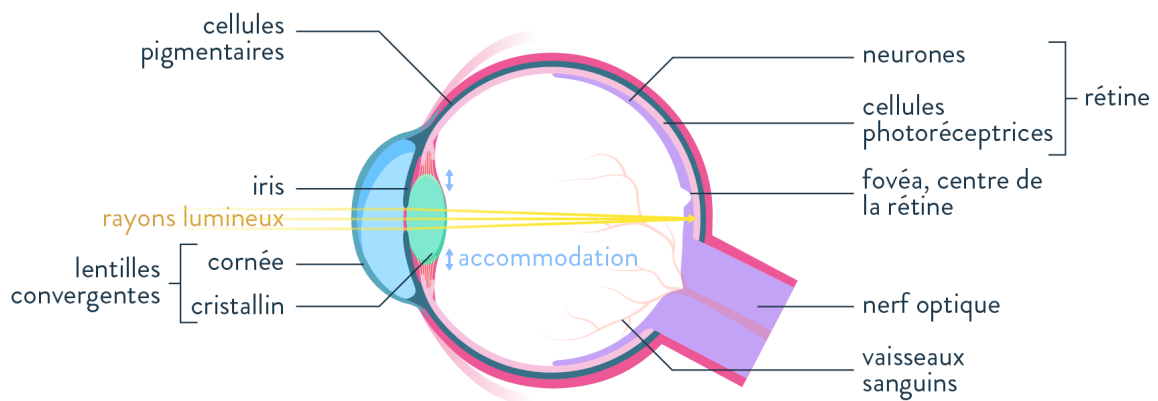
La vue est apparue plusieurs fois de manière indépendante dans le règne du vivant.

Ainsi, la structure des yeux des insectes est différente de celle des mammifères. Les yeux des insectes sont des yeux composés (ommatidies), alors que chez les mammifères ils sont simples.

Nous allons nous attarder sur l'**histoire évolutive de l'œil** pour comprendre comment l'évolution a façonné cette structure remarquable.

Commençons par étudier la structure actuelle de l'œil.

Structure de l'œil humain



© SCHOOLMOUV

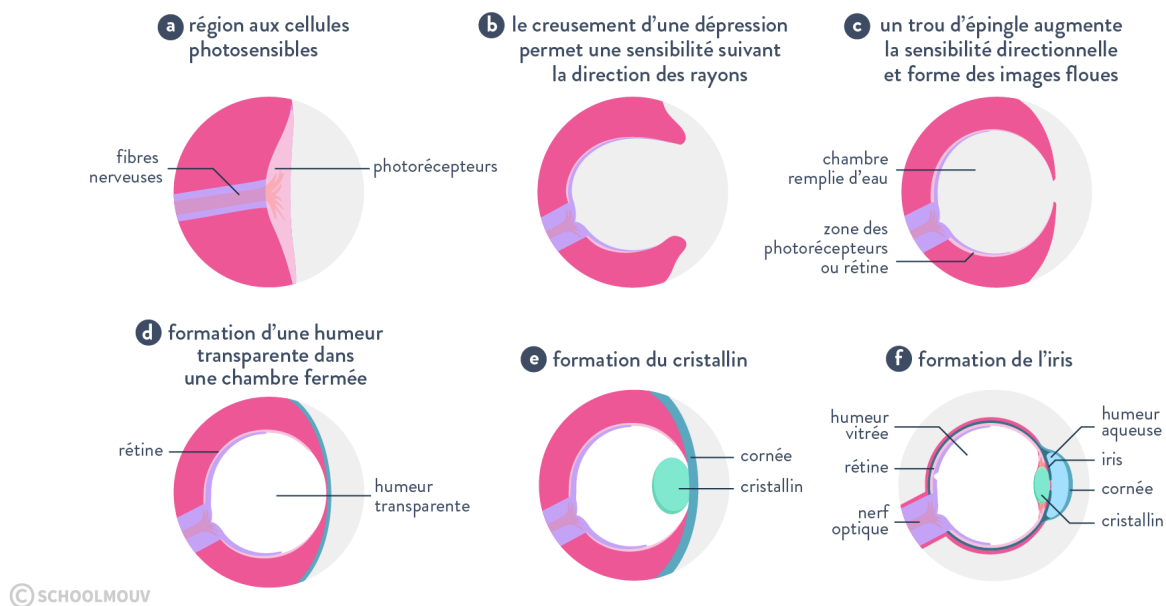
Des photorécepteurs situés dans la rétine captent la lumière arrivant dans l'œil et transmettent l'information au cerveau qui reconstitue une image en trois dimensions.

L'obtention d'une image en 3D est possible grâce à la présence de l'iris et du cristallin qui concentrent les faisceaux lumineux sur la rétine.

→ Cette organisation complexe de l'œil est le résultat de millions d'années d'évolution.

Des chercheurs ont **modélisé l'évolution de la structure de l'œil** grâce à l'étude de différents types d'œil dans le monde vivant actuel et fossile, mais également grâce à l'étude de l'embryologie (mise en place) de l'œil humain. Voici la synthèse de leurs travaux :

Modification de la structure de l'œil au cours de l'évolution



- Les **yeux primitifs** sont composés de cellules photosensibles qui permettent de percevoir la lumière et d'avoir une vision en 2D.
- Le creusement d'une dépression est un atout considérable, car il permet d'avoir une idée de la localisation du mouvement et de commencer à obtenir une image 3D.
- Un trou plus petit et de l'eau dans la cavité ont permis d'affiner l'image 3D, bien que toujours floue. La fermeture de la chambre est ensuite un avantage important dans la protection de cette structure.
- Le cristallin permet de focaliser les rayons sur la rétine et donc d'obtenir une image nette.
- Pour finir, l'iris apporte l'avantage majeur de pouvoir adapter la vision en fonction de la luminosité.



Ces différentes étapes de l'évolution de l'œil simple sont actuellement présentes chez différentes espèces (exemples : nautilus à l'étape *c*, escargot marin à l'étape *d*, poulpe à l'étape *e*) : elles sont les fruits d'histoires évolutives différentes.

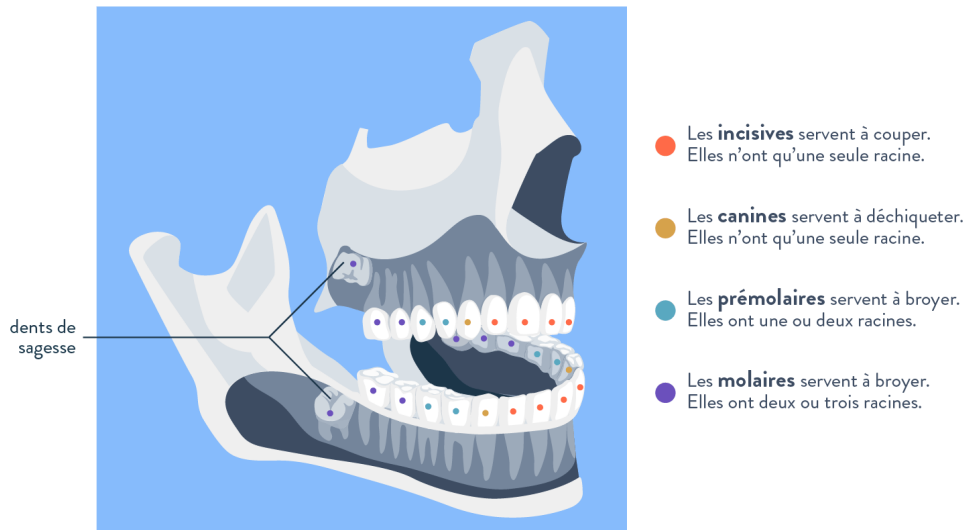
Il est important d'avoir en tête que les yeux actuels sont tous des produits « aboutis » de l'évolution, c'est-à-dire que chaque type d'œil est adapté à chaque espèce.

→ L'œil humain n'est pas le plus évolué : il est simplement le plus adapté pour notre espèce, mais il ne l'est pas forcément pour les autres.

b. Les dents de sagesse, structures vestigiales

Pour bien comprendre ce dernier point, nous allons maintenant étudier une structure que nous possédons tous mais qui n'a plus « d'utilité » : nous allons parler ici des **dents de sagesse**.

La dentition humaine



© SCHOOLMOUV

→ L'être humain possède 8 incisives, 4 canines, 8 prémolaires, 8 molaires et 4 dents de sagesse.

La plupart du temps, les dents de sagesse restent dans les gencives. Mais il est possible qu'elles sortent à l'âge adulte.

La sortie des dents de sagesse pose un problème d'espace dans la dentition et leur croissance peut engendrer un dérèglement du système dentaire. Ces dents sont donc souvent enlevées de manière préventive, pour éviter toute complication.

Si ces dents ne sont pas utiles, pourquoi sont-elles là ?

L'explication vient de **l'histoire évolutive de la lignée humaine**.

Comme vous le verrez dans le prochain cours, la lignée humaine fait partie des primates. En étudiant les primates actuels, on peut observer que leur alimentation est principalement herbivore. Leur troisième molaire leur permet de mastiquer plus efficacement les feuilles. Les dents de sagesse, chez nos « cousins » primates, sont donc encore un avantage évolutif. Chez l'être humain, en revanche, le régime alimentaire étant omnivore, cette dent perd de son utilité.

→ La présence de cette dent n'étant plus un avantage sélectif, son maintien n'est pas sélectionné. Une **régression** s'est mise en place et cette dent est maintenant un vestige de notre régime herbivore antérieur. C'est un héritage de la lignée primate.



Un caractère qui n'est plus un avantage sélectif peut disparaître ou régresser.

Ce caractère est défini comme **vestigial** : c'est un marqueur de l'évolution passée de l'espèce.

3 | Évolution et santé publique

Nous avons étudié deux exemples morphologiques qui mettent en évidence les effets de l'évolution sur la lignée humaine. Nous allons maintenant nous intéresser à des sujets de santé publique pour comprendre comment les concepts évolutionnistes permettent d'éclairer des décisions sanitaires.

a. Résistance bactérienne et prophylaxie

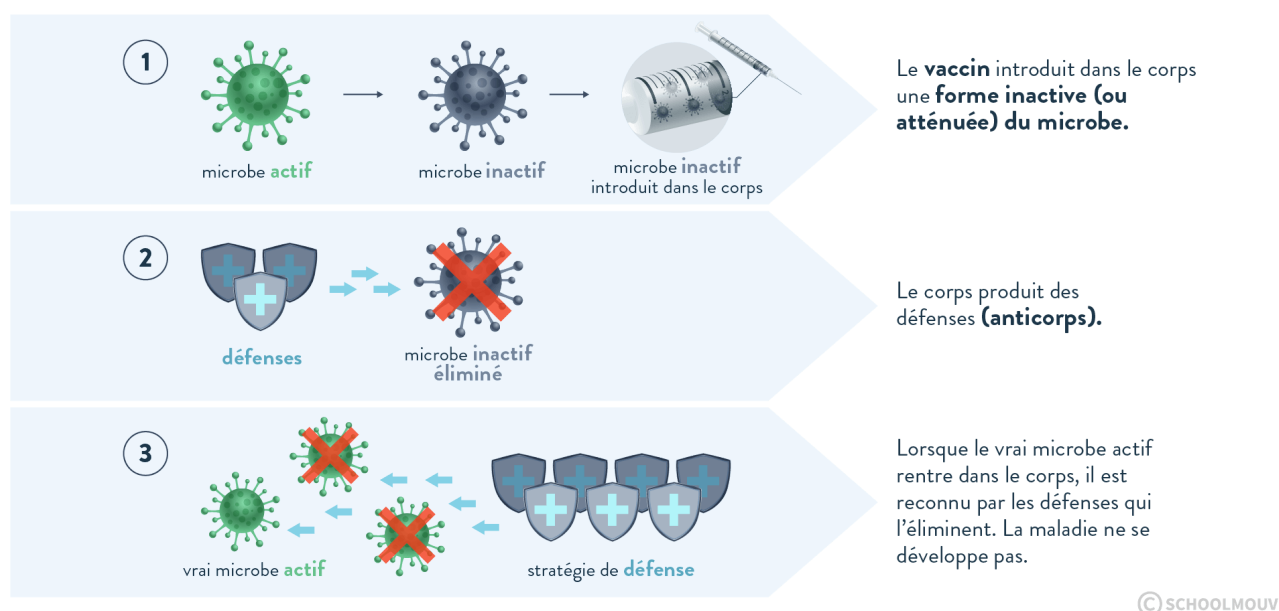
À la fin du XIX^e siècle, la découverte du monde microbien a permis de faire des avancées considérables en médecine. En effet, **Louis Pasteur** a montré que de nombreuses maladies étaient dues à des micro-organismes pathogènes.

Des recherches ont alors commencé afin de lutter contre ces maladies mortelles de l'époque, comme le choléra, le streptocoque ou la rage.

Pasteur a également découvert le mécanisme du **vaccin**, le principe étant d'inoculer un organisme pathogène atténué ou mort à une personne non malade.

Cette inoculation stimule la **défense immunitaire** de l'individu afin qu'il réponde plus rapidement en cas d'infection.

Principe de fonctionnement d'un vaccin



Au début du XX^e siècle, une seconde avancée majeure dans la lutte contre les microbes a eu lieu : **Alexander Fleming** découvre que le champignon *Penicillium notatum* produit une molécule capable d'empêcher la prolifération de bactéries.

Il nomme cette molécule la **pénicilline**. C'est le premier **antibiotique**.



Antibiotique :

Un antibiotique (du grec *anti* qui signifie « contre », et *bios* qui signifie « vie ») est une molécule empêchant la prolifération des micro-organismes.

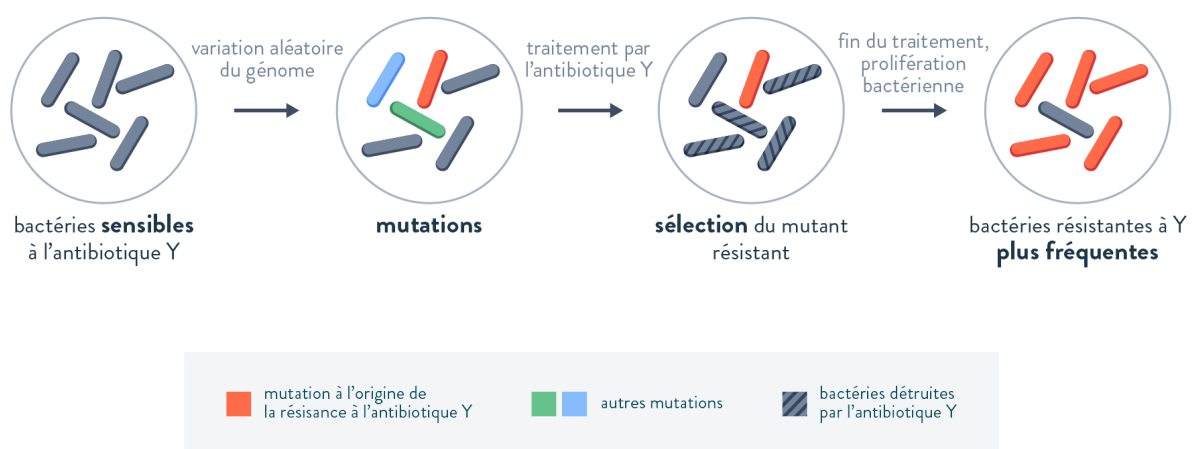
D'autres molécules antibiotiques ont ensuite été découvertes. Ces molécules sont depuis produites par l'industrie pharmaceutique et ont été massivement utilisées.

Cependant, les conséquences évolutives sur les populations de bactéries ont un impact très fort sur l'efficacité des antibiotiques.

En effet, certaines mutations chez les bactéries peuvent entraîner une insensibilité aux antibiotiques. Cette insensibilité est souvent désavantageuse en absence d'antibiotique. C'est donc une mutation qui va être **contre sélectionnée** en l'absence d'antibiotique.

En revanche, lors de l'utilisation de molécules antibiotiques, ces bactéries sont plus résistantes et vont survivre et donc se développer.

Prolifération des bactéries résistantes en présence d'antibiotique



© SCHOOLMOUV

La prolifération de ces **bactéries résistantes** pose des problèmes de **santé publique**, car les antibiotiques ne sont plus efficaces contre ces souches.

→ Ainsi il a été nécessaire de limiter l'utilisation d'antibiotiques.

La nouvelle doctrine de santé publique est donc la **prophylaxie** : prévenir l'apparition des maladies et limiter leur propagation afin de réduire

l'utilisation des antibiotiques.

La prophylaxie consiste en l'utilisation de **probiotiques** pour renforcer nos défenses immunitaires ou encore de la mise en quarantaine des individus malades, comme ça a été le cas pendant l'épidémie du COVID-19, et le port du masque pour limiter la diffusion des agents pathogènes.



Définition

Probiotiques :

Les probiotiques sont des micro-organismes vivants (bactéries, levures...) qui ont un effet bénéfique sur l'organisme lorsqu'on les ingère.

- Cette réduction d'utilisation des antibiotiques entraîne une diminution de la **pression de sélection** sur les bactéries et donc une diminution de la fréquence de bactéries résistantes dans la population.



À retenir

La découverte des antibiotiques et leur utilisation massive ont entraîné l'augmentation du nombre de bactéries résistantes par sélection naturelle.

- Cette augmentation pose des problèmes de santé publique, car il est difficile de soigner les patients atteints par ces pathogènes.

La doctrine actuelle est de limiter l'utilisation des antibiotiques et de tenter de réduire les risques d'infections préalables (probiotiques, quarantaine, campagne de prévention et mise en place de gestes barrières).

b. Produits phytosanitaires et agriculture



Définition

produit phytosanitaire :

Un produit phytosanitaire est un produit utilisé pour garantir la santé des plantes. Il s'agit de produits comme les engrais qui favorisent la croissance ou encore les insecticides qui protègent les plantes contre les insectes qui mangent leurs feuilles.

L'utilisation des antibiotiques pour la santé humaine est un enjeu considérable de santé publique.

Cependant, l'**industrie agro-alimentaire** est également responsable de l'augmentation des souches résistantes, à cause de l'utilisation massive des antibiotiques dans les **élevages intensifs**.

Mais le modèle d'élevage actuel n'est pas le seul à poser des problèmes au niveau santé publique.

En effet, le **modèle agricole** actuel repose essentiellement sur des **monocultures de plantes domestiquées**. Dans ces monocultures, on retrouve souvent des clones d'individus issus d'un long processus de sélection. Les plantes cultivées sont sélectionnées pour leur qualité nutritive et leur rendement. En revanche, les méthodes de sélection appauvrissent la diversité génétique des cultures et leur résistance aux ravageurs est diminuée.

→ Pour pallier ce manque de défenses immunitaires chez les plantes cultivées, les agriculteurs recourent souvent à l'utilisation de **pesticides**.

Sans ces pesticides, la présence de ravageurs peut anéantir une récolte. L'utilisation des insecticides entraîne donc une sélection en faveur des ravageurs résistants. Les ravageurs résistants vont donc augmenter en fréquence dans la population et l'efficacité des insecticides va diminuer.

→ L'augmentation des résistances dans les populations naturelles met en danger le système agricole actuel et impose une réflexion profonde sur les pratiques agricoles.



L'élevage et l'agriculture intensive actuels entraînent une modification de la biodiversité et augmentent la présence d'individus résistants dans les populations naturelles.

Cette modification de la biodiversité est un enjeu majeur pour la santé publique et l'alimentation humaine.

La prise en compte des concepts évolutionnistes est donc nécessaire pour repenser le système alimentaire de demain.

Conclusion :

Les notions de la théorie de l'évolution permettent de comprendre comment certains caractères morphologiques sont apparus. Le hasard et la sélection naturelle sont des éléments clés de l'évolution des espèces et des caractères morphologiques.

Les concepts évolutionnistes ont également un impact sur la gestion de la santé publique et de l'alimentation mondiale. Les humains ont longtemps eu une gestion à court terme des pathogènes et ravageurs, et l'utilisation des antibiotiques et des insecticides a été efficace un temps. Cependant, l'évolution des populations sur le long terme et l'apparition de résistances nous obligent à changer de stratégie contre les microbes et les ravageurs.