

Historique de la génétique de la population

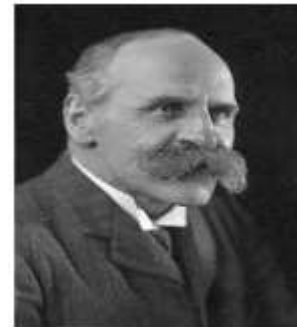
La discipline de la génétique de population est née entre 1920 et 1940, en se basant sur les lois mendéliennes de l'hérédité, et l'étude des fluctuations des fréquences alléliques au cours du temps dans les populations (Théorie synthétique de l'évolution ; Moteurs de l'évolution : sélection et variabilité). La quasi-totalité des grands principes de la génétique des populations a été décrits durant ces vingt années essentiellement par :



Sewall Wright
1889-1988 USA



Ronald Fisher
1890-1962 GB



John Haldane
1892-1964

Génétique : Science de l'hérédité : La génétique initiée par Gregor Mendel, appelée classiquement génétique mendélienne, a pour objectif de comprendre le déterminisme et la transmission des caractères par l'analyse de la descendance d'un croisement contrôlé entre individus de génotypes différents. Après la découverte du support de l'information génétique (ADN), la génétique moléculaire continue à rechercher les mécanismes fins du déterminisme, de l'expression et de la transmission des caractères.

Hérédité : transmission aux descendants des caractères des ascendants

Espèce : ensemble d'individus ayant même caractères morphologiques et physiologiques héréditaires, des chromosomes égaux en nombre et en forme. Ils se ressemblent suffisamment, occupent une aire définie et ils sont interféconds.

Population : ensemble d'individus de même espèce vivant dans un milieu donné, se reproduisant librement entre eux, plus ou moins isolés sexuellement d'une autre population, possédant un « pool génétique » (somme d'allèles communs).

Lignée pure : ensemble d'individus de générations successives semblables pour tous les caractères héréditaires considérés ; les enfants sont donc identiques en tous points aux parents.

Patrimoine héréditaire : ensemble de caractères héréditaires

Caractère génétique : état ou phénomène biologique dont le déterminisme dépend de l'expression d'un ou de plusieurs gènes de l'organisme étudié. Quand il présente une variabilité, on le définit les phénotypes comme ses diverses formes possibles ; une partie des différences phénotypiques résulte des variations alléliques du ou des gènes impliqués dans le déterminisme du caractère.

Gène : facteur héréditaire déterminant l'apparition des différents caractères (forme, couleur, taille...) ; à chaque gène correspond un caractère héréditaire. Les gènes constituent souvent une manifestation visible d'une caractéristique individuelle telle que la couleur des yeux, des cheveux, ou bien encore de la forme des ailes, etc. Dans notre jargon scientifique, nous parlons de phénotype. En outre, un gène est une séquence d'ADN qui contient l'information nécessaire à la production d'une unité fonctionnelle, par exemple une protéine. C'est l'unité fonctionnelle de l'hérédité.

Génome : Ensemble du matériel génétique d'un individu ou d'une espèce (séquences codantes et non-codantes).

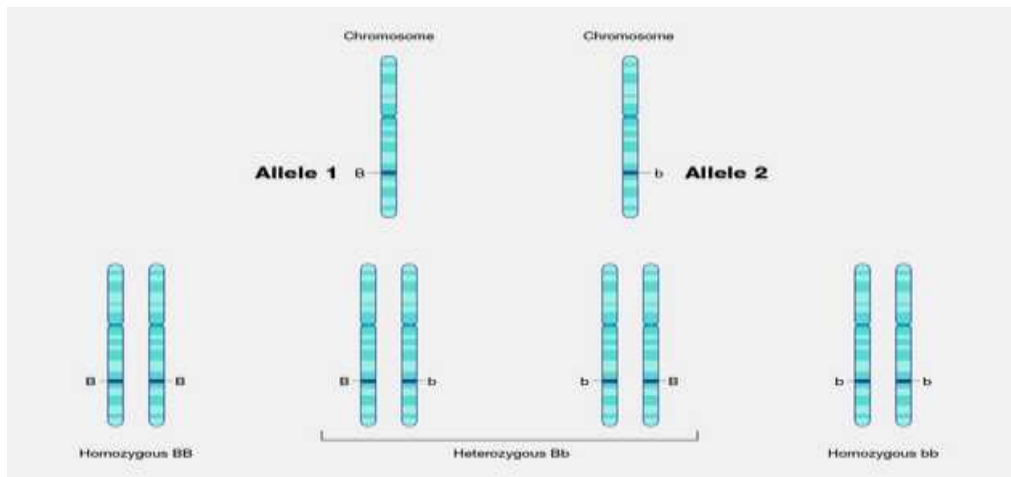
Allèle : état d'existence d'un gène. Une variante de la séquence d'ADN similaire située à un locus donné est appelé un allèle.

Les lettres majuscules et minuscules sont utilisées pour nommer les homozygotes ; ainsi AA est dit homozygote dominant et aa est homozygote récessif :

- **Les allèles dominants**, sont représentés par une lettre en majuscule (comme P pour l'allèle dominant qui produit des fleurs violettes chez les plantes de pois). Lorsqu'un organisme est homozygote dominant pour une caractéristique particulière, le génotype est représenté par une duplication du symbole de ce trait.
- **Les allèles récessifs** sont généralement représentés par la forme minuscule de la lettre utilisée pour le trait dominant correspondant (par rapport à l'exemple précédent, p pour l'allèle récessif qui produit des fleurs blanches sur les pois). Le génotype d'un organisme qui est

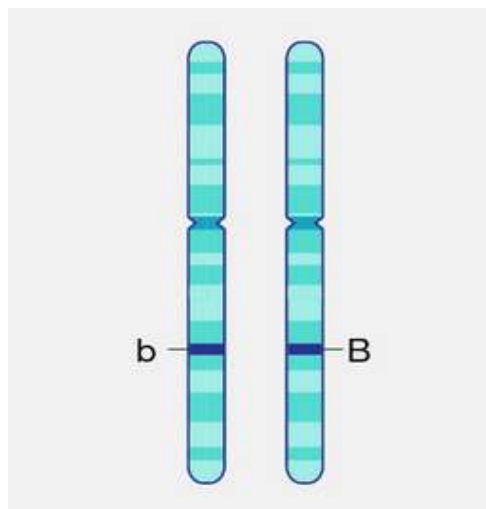
homozygote récessif pour un trait particulier est représenté par une duplication de la lettre appropriée (pp).

Cette propriété augmente les risques de souffrir d'une maladie génétique due à des gènes récessifs, car elle n'a pas d'autre allèle dont le phénotype est dominant sur le récessif, donnant lieu à la maladie. La consanguinité augmente l'homozygotie, d'où la fréquence accrue des maladies génétiques dans les sociétés de consanguinité.



Locus : son pluriel est « **Loci** » (latin locus, lieu)

En génétique, un **locus** désigne la localisation, un emplacement précis, une position fixe, d'un gène particulier ou d'un marqueur génétique (ensemble de nucléotides) sur un chromosome dans le génome. Une variante de la séquence d'ADN similaire située à un locus donné est appelé un allèle.



Pool génétique (somme d'allèles communs) : Ensemble des allèles d'un ou plusieurs gènes de tous les individus de la population. Les lettres majuscules et minuscules sont utilisées pour nommer les homozygotes ; ainsi AA est dit homozygote dominant et aa est homozygote récessif.

En Ecologie, c'est un patrimoine génétique qui caractérise une population, soit la somme des génotypes individuels pour chacun des gènes. Si chaque génotype individuel est fixé définitivement à la naissance et cesse d'exister à la mort de l'individu, le pool génétique d'une population présente une continuité à travers les générations, et peut varier au cours du temps.

Génotype : caractères héréditaires déterminés par les gènes qui se trouvent sur les chromosomes

Phénotype : Aspect extérieur traduisant chaque caractère, aussi est la caractéristique finale des caractères observables chez un individu, résultant de l'interaction entre son génotype et les effets de son environnement.

Le phénotype correspond aux caractéristiques observables d'un organisme, et est déterminé par son génotype.

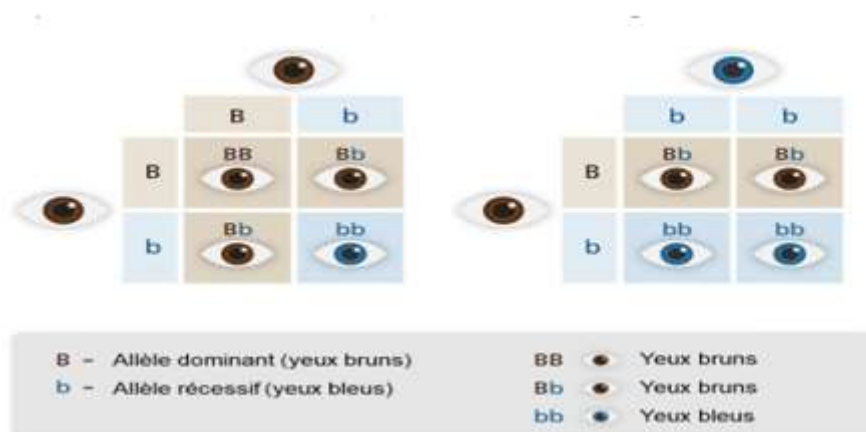


Figure : représentation simplifiée de la dominance et la récessivité de la couleur des yeux bruns et bleus

Hybridisme : croisement des deux races pures différentes aboutissant à la naissance d'une 1^{ère} génération formée d'individus appelés hybrides.

Hybride : en génétique formelle, est un individu issu du croisement de deux parents ne présentant pas les mêmes versions pour un caractère.

Somation : variation d'origine écologique qui n'affecte que le corps ou soma, c'est une variation adaptative non héréditaire, elle est due aux facteurs du milieu affectant les cellules somatiques donc non héréditaire. (Action de se familiariser, de s'adapter à quelque chose de nouveau).

Mutation : variation d'origine génétique qui affecte le matériel génétique donc héréditaire.

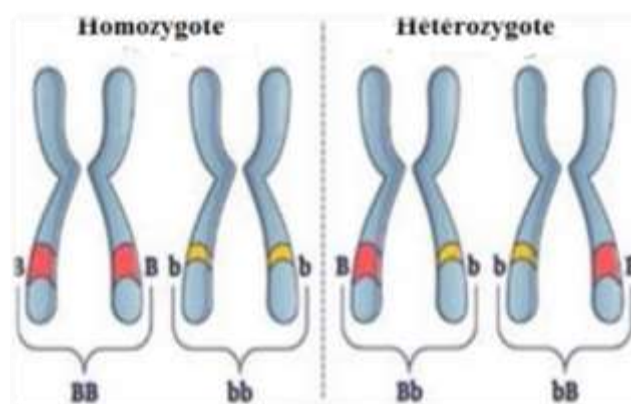
Mutation génique : Modification de la séquence nucléotidique de l'ADN : mutation ponctuelle

Mutation chromosomique : anomalie portant sur le nombre de chromosomes ou changement sur la structure des chromosomes (perte ou déplacement du segment).

Homozygote : Un organisme est homozygote pour un gène lorsque les deux allèles codent la même information pour un caractère. Est homozygote ce qui possède deux allèles identiques pour un gène donné.

Homozygote dominant : L'homozygote dominant est pour une caractéristique particulière qui a deux copies identiques et dominantes de l'allèle qui code pour cette caractéristique dominante.

Homozygote récessif : L'homozygote récessif a pour un trait particulier porte deux copies identiques et récessives de l'allèle qui code pour le trait récessif.



I. Variations des populations naturelles

La variabilité génétique dans les populations naturelles est un concept fondamental en biologie évolutive. Elle se réfère à la diversité des gènes et des allèles présents au sein d'une population d'individus d'une même espèce. La variation permet à certains individus d'une population de s'adapter à un environnement changeant. Étant donné que la sélection naturelle agit directement uniquement sur les phénotypes, une plus grande variation génétique au sein d'une population permet généralement une plus grande variation phénotypique.

I.1 Introduction à la génétique d'une population

La génétique des populations étudie la distribution des gènes dans la population. Elle ne concerne pas la transmission des caractères d'individu à individu, mais s'intéresse à la distribution des caractères à l'intérieur d'une population. La génétique des populations s'intéresse au devenir de cette variabilité héréditaire, à travers les changements ou de composition génétique des populations et des métapopulations. Elle examine la capacité des espèces à s'adapter à leur environnement selon la loi de la sélection naturelle.

Son objectif est l'étude de la fréquence des gènes et des génotypes, et des facteurs susceptibles de modifier ces fréquences au cours des générations successives. Certains de ces facteurs comme la sélection, les mutations, la dérive génétique et les migrations peuvent changer la fréquence des gènes et des génotypes. La consanguinité peut modifier la fréquence des génotypes sans influencer la fréquence des gènes.

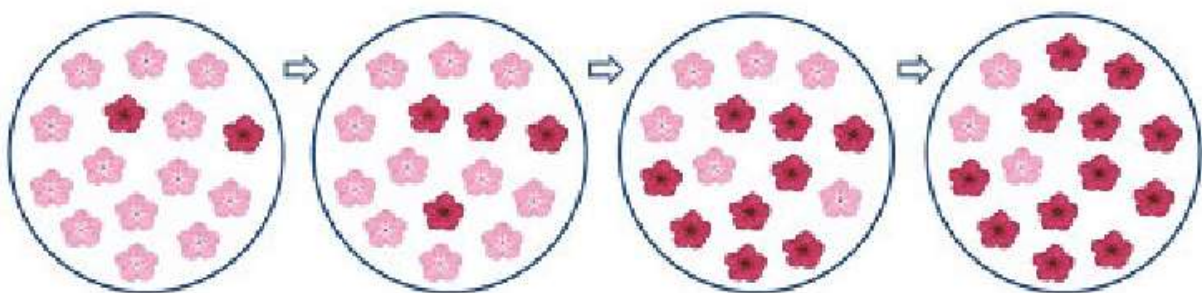


Schéma : modification génétique de la population

Les populations sont constituées d'individus différents les uns des autres par de nombreux caractères, anatomiques, physiologique ou comportementaux. Nombre de ces différences sont héréditaires et se transmettent au fil des générations.

La génétique des populations s'intéresse au devenir de cette variabilité héréditaire, à travers les changements de composition génétique des populations et des métapopulations. Elle examine la capacité des espèces à s'adapter à leur environnement selon la loi de la sélection naturelle. L'évolution des espèces, des populations, résulte des changements au cours des générations de la variabilité génétique, en réponse à la sélection et à d'autres processus, dont nous examinerons les effets. La compréhension du déterminisme et de la transmission des caractères doit aussi étudier les individus dans les conditions naturelles où ils sont génétiquement uniques et libres de se reproduire avec n'importe quel autre individu de la même espèce.

Cette partie de la génétique, qui considère les individus en interactions avec leur environnement, est la génétique des populations.

I.1.1 Notion de variabilité génétique

Une particularité du monde vivant est la variabilité des phénotypes individuels. A l'intérieur d'une espèce, il n'existe pas 2 individus ayant exactement les mêmes caractéristiques phénotypiques : l'individu est unique. Certaines de ces variations s'expriment au niveau phénotypique (morphologie, physiologie, comportement, etc.) mais les autres restent "cachées" et leur mise en évidence nécessite l'utilisation de techniques adaptées (variabilité des protéines ou des séquences d'ADN).

Les variations du phénotype (P) sont dues pour une partie à des facteurs environnementaux (E) (alimentation, climat, interactions avec les autres espèces, etc.) et pour d'autre partie à des différences entre les génotypes individuels, transmissibles à la descendance (G).

1.1.2 La variation génétique au sein des populations

On peut définir la variation génétique comme toutes les différences dans la séquence d'ADN d'un génome entre des organismes. On peut comparer des individus d'une même population, des individus de différentes populations de la même espèce, ou des individus classés comme différentes espèces.

La variation génétique prend plusieurs formes. Elle peut se manifester comme un polymorphisme à un seul nucléotide ou être présente sur une plus grande région d'ADN, ce qu'on appelle des variants structuraux. La variation génétique est très importante à considérer lorsqu'on veut étudier l'évolution des adaptations physiologiques. C'est un concept central lorsqu'on étudie les forces évolutives, la réponse à la sélection et les adaptations.

Cependant, lorsque l'on regarde des individus pris dans la nature, on constate que ceux-ci montrent une variabilité phénotypique. Cette variabilité peut être due à des facteurs environnementaux mais elle peut aussi provenir de la présence d'allèles différents de certains gènes.

C'est la variété qui existe entre les gènes (allèles) ou de la structure chromosomique à l'intérieur ou à l'extérieur de l'espèce (Brahic & Terreaux, 2009). C'est la modification d'un caractère héréditaire, au cours des générations successives. Ex : la taille des individus.

Plus une population ou une espèce est diversifiée sur le plan des gènes, plus elle a de chance que certains de ses membres arrivent à s'adapter aux modifications survenant dans l'environnement. Au contraire, moins la diversité est grande, plus les individus deviennent semblables les uns aux autres et il devient peu probable que l'un d'entre eux ait les capacités de s'ajuster à des conditions de vie différentes.

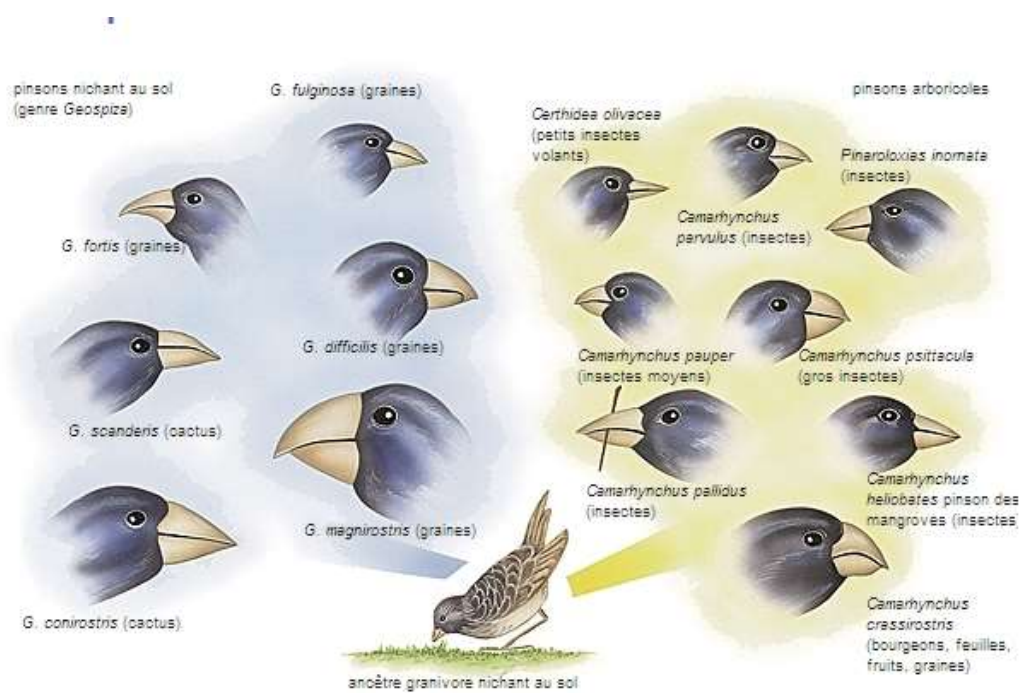
I.1.2.1 La variation morphologique

Les variations morphologiques désignent les changements dans la forme ou la structure des organismes vivants, souvent causés par des facteurs environnementaux ou génétiques. Ces variations jouent un rôle crucial dans l'évolution et l'adaptation des espèces, en aidant à la survie dans des environnements changeants.

Les **variations morphologiques** jouent un rôle crucial dans l'étude de la médecine et de la biologie, car elles aident à comprendre comment les organismes se développent et s'adaptent à leur environnement. Avant de plonger dans les détails, il est essentiel de bien comprendre ce que signifie ce terme.

L'adaptation est un phénomène essentiel chez les êtres vivants, un élément majeur de l'évolution des espèces. Lorsque leur environnement change, seuls peuvent survivre et se maintenir ceux qui possèdent ou développent les caractéristiques morphologiques, physiologiques ou comportementales adéquates, qui leur permettent d'utiliser les ressources de leur milieu, de se reproduire, de se défendre contre leurs prédateurs, de se protéger des aléas climatiques et de toute autre condition néfaste. L'adaptation se fait toujours par rapport à un milieu, à des conditions environnementales données.

Exemples : les différences de taille, de couleur ou de forme des organes entre individus d'une même espèce.



Exemple de radiation adaptative observée par Darwin chez les pinsons des îles Galápagos (surnommés pinsons de Darwin). Darwin a émis l'hypothèse selon laquelle l'ancêtre commun de toutes les espèces actuelles de pinsons des Galápagos est un pinson granivore nichant au sol. Ce pinson a sans doute donné naissance à deux lignées évolutives, l'une de pinsons nichant au sol, l'autre de pinsons arboricoles. La première lignée s'est diversifiée en six espèces granivores et la seconde en sept espèces insectivores et une espèce granivore. On voit ici une femelle de chaque espèce.



Figure 2.5. Variation phénotypique visible chez différentes espèces. A) Salamandres *Hemidactylus paivae* B) Lichens *Rhizoplaca melanophthalma* C) Grenouille venimeuse de Zimmerman (*Ranitomeya variabilis*) D) Mollusque *Donax variabilis* E) Demoiselle *Agriocnemis pieris* F) Limace *Geomalacus maculosus*. Adapté de [13-19].



A-B : Diversité génétique chez la tomate : le gène *fas* et le gène *FS8.1* responsables respectivement du nombre des loges et de la forme carré du fruit, **C-D** : Diversité génétique des carottes et du chou fleurs : couleur des racines conditionée par la présence des pigments (caroténoïdes et anthocyanes), **E** : Diversité génétique du raisin : le gène *VvmybA1* contrôle la couleur des grappes.

1.1.2.2 La variation physiologique

Elles correspondent à des modifications de certaines fonctions ou de l'activité métabolique générale des organismes.

Pour le métabolisme, le phénotype serait la quantité d'oxygène utilisée par minute.

Sa peut aussi observer et mesurer des phénotypes qui ne sont pas visibles à l'œil nu, tel que la forme d'une enzyme dans une cellule ou la quantité d'ARN messagers...etc.

Par exemple, dans les milieux arides :

- ✓ les animaux présentent des adaptations leur permettant d'économiser l'eau (sudation réduite, urine très concentrée, excréments secs) ;
- ✓ voire se passer de boire, se contentant de l'eau contenue dans les aliments (les gerboises ou la gazelle dorcas peuvent se passer de boire pendant de longues périodes) ;

- ✓ Certaines espèces fabriquent de l'eau par oxydation des graisses de réserve comme celles stockées dans la bosse du dromadaire, par exemple (→ réserves nutritives).

Pour les animaux vivant en eau douce, l'essentiel de l'adaptation réside dans une double régulation :

- ✓ limiter l'entrée d'eau dans l'organisme et compenser la perte des substances dissoutes.

Dans les milieux salins, on trouve des plantes – dites halophytes – capables de résister à une teneur en sel trop élevée grâce à divers processus permettant de concentrer et d'éliminer le sel (glandes à sel, poils à sel, mort des feuilles chargées de sel, etc.).

Le ralentissement des fonctions physiologiques pour résister au froid (hibernation) ou à la sécheresse (estivation) est un autre exemple.

I.1.2.3 La variation biochimique et moléculaire : les marqueurs ABO des groupes sanguins.

Les pourcentages des groupes sanguins et les fréquences des gènes du système ABO, dans diverses populations, mettent en évidence une variation discontinue. Elle exprime le polymorphisme biochimique. La répartition géographique de ces caractères prouve qu'il n'y a aucun lien avec d'autres caractères, morphologiques par exemple.

Les marqueurs des principaux groupes sanguins sont des glycolipides présents dans la membrane des hématies. Il existe deux types de marqueurs : des marqueurs de type A et des marqueurs de type B.

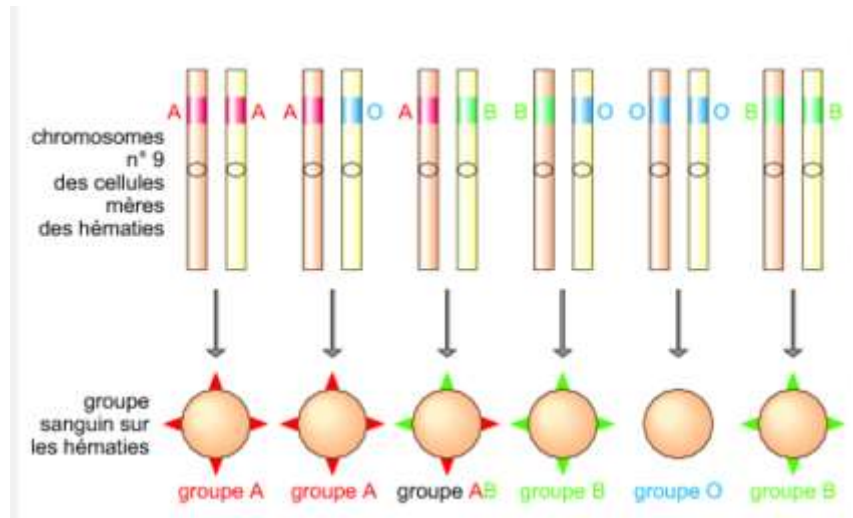
Ces marqueurs déterminent les principaux groupes sanguins :

- présence de marqueurs A seulement : groupe sanguin A
- présence de marqueurs B seulement : groupe sanguin B
- présence de marqueurs A et de marqueurs B : groupe sanguin AB
- absence de marqueurs A et B : groupe sanguin O

Il existe 3 versions du gène : l'allèle A, B et O

A et B sont dominants sur O ; A et B sont codominants et O est récessif ce qui donne AA, AB, AO, BB, BO ou OO comme génotype avec

- Le génotype AA donnera le phénotype [A]
- Le génotype BB donnera le phénotype [B]
- Le génotype AB donnera le phénotype [AB]
- Le génotype AO donnera le phénotype [A]
- Le génotype BO donnera le phénotype [B]
- Le génotype OO donnera le phénotype [O]



Le phénotype groupe sanguin permet d'aborder les notions suivantes :

- le phénotype peut se définir à différents niveaux, et le phénotype moléculaire détermine le phénotype cellulaire et macroscopique ;
- le phénotype moléculaire s'explique par le génotype ;
- un même phénotype peut correspondre à plusieurs génotypes ;
- plusieurs gènes peuvent être impliqués dans la réalisation d'un phénotype.

1.3.4 Variation anatomique

C'est la variété qui existe entre les gènes (allèles) ou de la structure chromosomique à l'intérieur de l'espèce ». La diversité génétique correspond à la diversité qui existe au sein d'une espèce, entre les individus d'une même espèce. Elle peut être apparente ou non. Elle se rapporte à la variété des gènes ou de la structure chromosomique à l'intérieur des espèces et se rencontre aussi bien chez une espèce qu'entre les espèces (Brahic & Terreaux, 2009).

I.2. Les composantes écologique et génétique de la variation : écotype, écophène, écocline.

La diversité génétique est l'étendue de la variabilité génétique mesurée dans un individu, une population, une métapopulation, une espèce ou un groupe d'espèces (Frankham 2002, Freeland 2005). John Avise (2004) élargit le concept de la variabilité génétique et déclare «la biodiversité est la diversité génétique».

1.2.1. Écotype

En écologie évolutive, un écotype, parfois appelé zone écospécifique, décrit une variété génétiquement distincte d'un point de vue géographique, de la population ou de la race au sein des espèces (ou des variétés étroitement liés), qui sont adaptées à des conditions environnementales propre au biotope du lieu. En règle générale, les écotypes présentent différences phénotypiques (comme dans la morphologie ou la physiologie, parfois l'anatomie) découlant de l'hétérogénéité de l'environnement et sont capables de se reproduire avec d'autres écotypes géographiquement adjacents sans perte de fertilité ou de la vigueur.

En biologie, l'écotype est une sous-population génétiquement différenciée qui se limite à un habitat spécifique, à un milieu particulier, à un écosystème défini ou à un régime alimentaire différent, avec des limites de tolérance aux facteurs environnementaux.

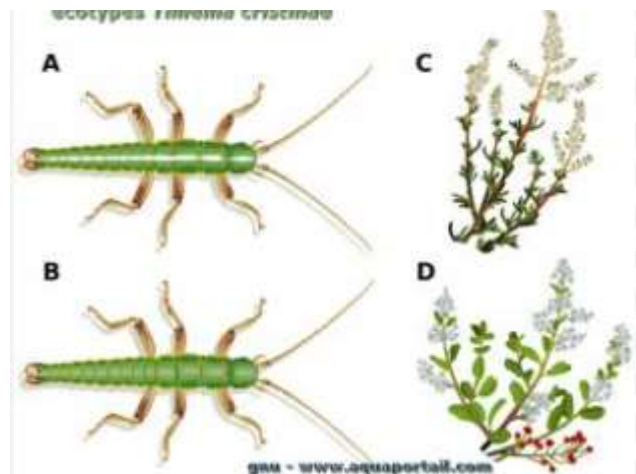
Au sein d'une espèce végétale, la notion d'écotype introduite par Turesson en 1922 englobe des formes plus ou moins distinctes morphologiquement et adaptées à des habitats différents. Bien que, d'un écotype à l'autre, cette adaptation se traduise par des solutions de continuité dans la variation, les écotypes d'une même espèce sont capables d'échanger des gènes.

Par exemple, deux écotypes d'un plantain, le *Plantago coronopus*, occupant sur les côtes de la Manche des stations voisines sur sable ou sur marne, s'hybrident avec beaucoup de facilité.

Pour Turesson, un écotype est « le résultat de la réponse génotypique d'une écoespèce à un habitat particulier », une écoespèce étant, pour le même auteur, un ensemble de populations ou d'écotypes capables d'échanger leurs gènes sans perte de fertilité et de vigueur dans leur descendance. En revanche, ces populations ne peuvent s'hybrider avec d'autres groupes taxonomiquement très voisins, mais localisés à d'autres domaines ou stations.

La mise en évidence des écotypes doit tenir compte de l'*accommodation*, réaction non héréditaire concernant la plasticité phénotypique. Reconnaître, entre les individus de deux stations, des solutions de continuité dans la variation n'autorise pas à définir deux écotypes, cette discontinuité pouvant être en rapport avec l'influence de conditions stationnelles différentes sur un même génotype. C'est pourquoi il est obligatoire de cultiver expérimentalement côte à côte et dans des conditions identiques des individus prélevés dans les deux stations. Si l'on est en présence de deux écotypes, la discontinuité dans la variation est maintenue, malgré des différences avec les individus des populations naturelles par suite d'une accommodation aux conditions expérimentales. Au contraire, s'il ne s'agit que de deux accommodats, les solutions de continuité dans la variation disparaissent en culture. Tous les individus ont alors le même phénotype, quelle que soit leur origine.

Selon la nature des facteurs en cause dans la ségrégation des écotypes, on distingue des écotypes climatiques, édaphiques, biotiques et géographiques.



1.2.2 Ecophène

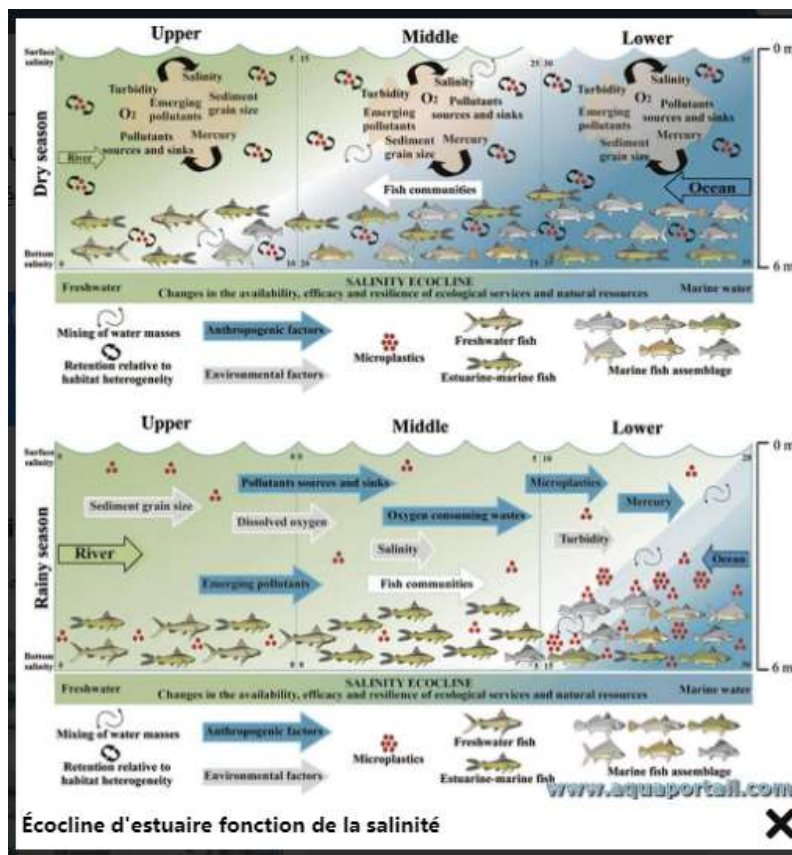
Un écophène détermine un individu qui évolue par réponse physiologique, plutôt que génétique, à l'habitat. Cela inclut une notion de morphologie et de stade de développement. La notion d'écophène est utile en taxonomie. L'écophène est une forme morphologiquement modifiée d'un phénotype.

L'écophène est la variété de phénotypes (caractéristiques physiques ou comportements visibles), à partir d'un seul génotype (combinaisons spécifiques d'allèles dans un gène), qui peuvent être observés dans une population au sein d'un habitat particulier.

L'écotype est un phénotype qui s'adapte en permanence au nouvel habitat. Il s'agit donc d'un phénotype génotypiquement adapté. L'écophène est un phénotype temporairement adapté au nouvel habitat.

1.2.3 Ecocline

L'écocline est un changement graduel et continu de la composition des espèces entre deux écosystèmes ou communautés d'organismes à travers un gradient environnemental. La lisière d'une forêt (ou un ourlet forestier) est une écocline formant une frontière écologique entre deux types d'écosystèmes.



1.3. Origine de la variation génétique

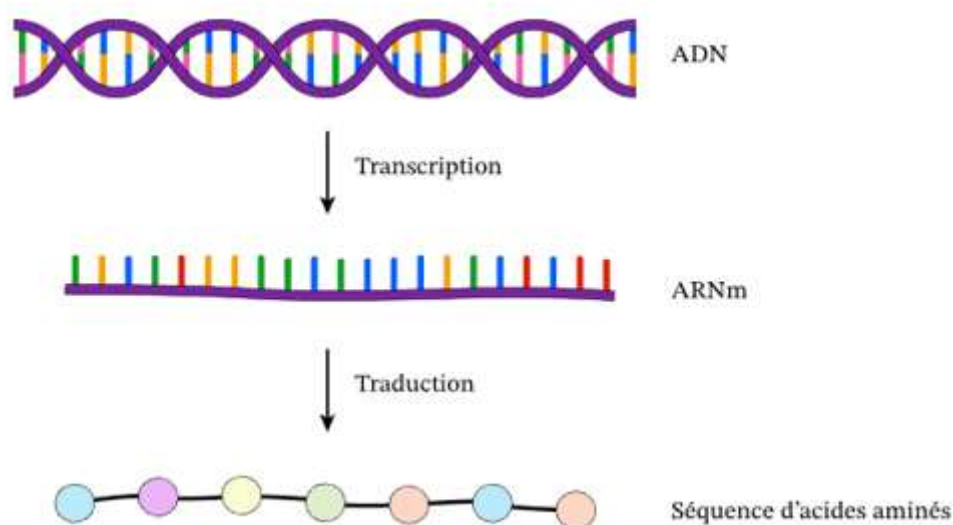
1.3.1 Mutation

Les mutations génétiques sont des changements dans la séquence de base de l'ADN d'un organisme. Elles résultent d'erreurs de copie de l'ADN ou d'une exposition à des conditions environnementales, comme des rayonnements UV ou des produits chimiques nocifs.

Les mutations peuvent altérer les séquences géniques d'un organisme, qui codent pour les instructions de synthèse des protéines. Si un gène d'un organisme est muté, la séquence de la protéine qu'il code peut aussi changer. Comme les protéines influencent les caractéristiques d'un organisme, les mutations peuvent modifier le phénotype de l'organisme (ses caractéristiques physiques).

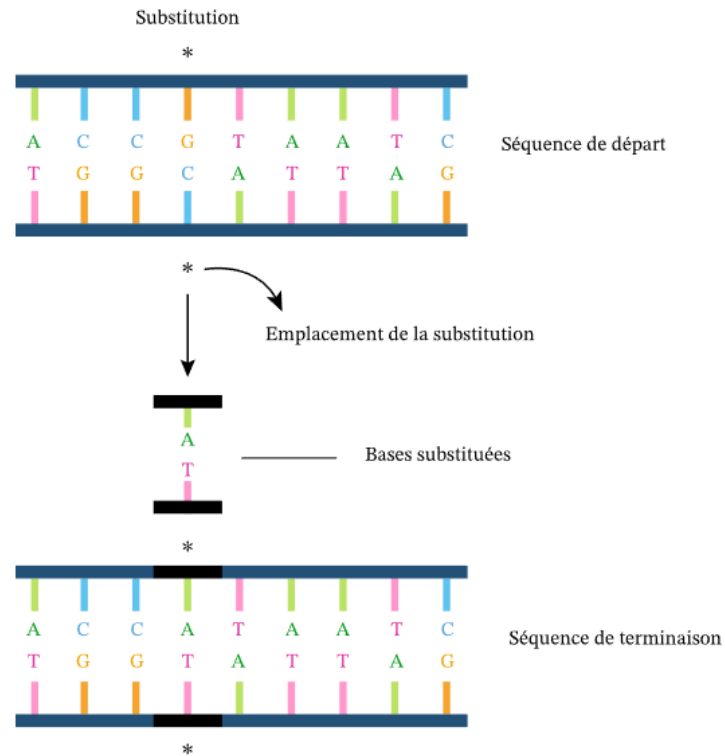
Supposons qu'une mutation modifie une séquence génique de sorte que la protéine correspondante soit altérée. Dans ce cas, l'organisme pourra être endommagé par le phénotype muté. Par exemple, des mutations dans le domaine de liaison au récepteur de l'insuline peuvent entraîner un diabète, car les récepteurs de l'insuline ne fonctionnent plus correctement.

Des mutations peuvent survenir n'importe où dans le génome. Supposons qu'une modification de l'ADN ait lieu hors d'une séquence génique, dans l'ADN non codant. Dans ce cas, la mutation aura probablement peu ou pas d'effet phénotypique, car la mutation ne modifie pas un gène codant une protéine. Une telle mutation est « neutre », car l'organisme n'a pas de changement phénotypique. Par contre, si la mutation a lieu dans la séquence d'un gène, elle peut affecter le phénotype de l'organisme.



➤ Mutation par substitution

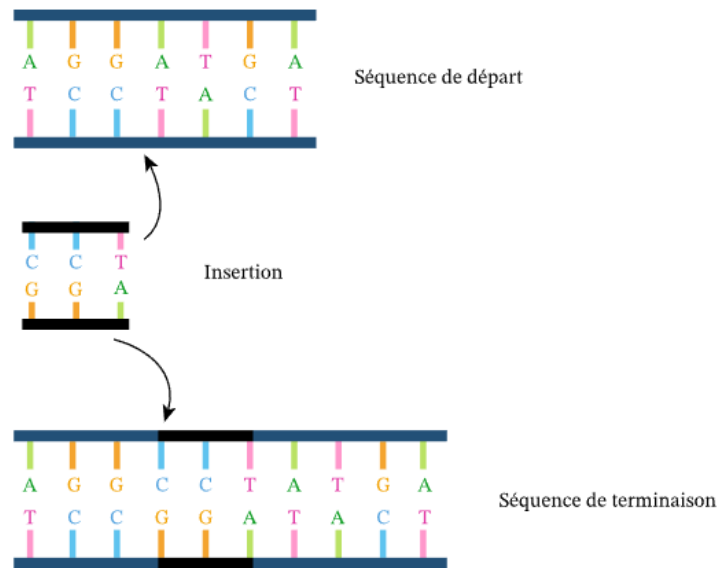
Lors d'une mutation par substitution, une base d'ADN est remplacée par une autre base d'ADN à une position spécifique dans la séquence d'ADN d'un organisme.



Cependant, si une substitution remplace une base de telle sorte que le nouveau codon donne un acide aminé différent dans la protéine, elle peut avoir des effets phénotypiques bénéfiques ou néfastes. Cette substitution de base peut même donner un codon stop, provoquant l'arrêt prématuré de la traduction des protéines, ce qui peut donner une protéine non fonctionnelle. Cela a généralement des effets néfastes sur l'organisme.

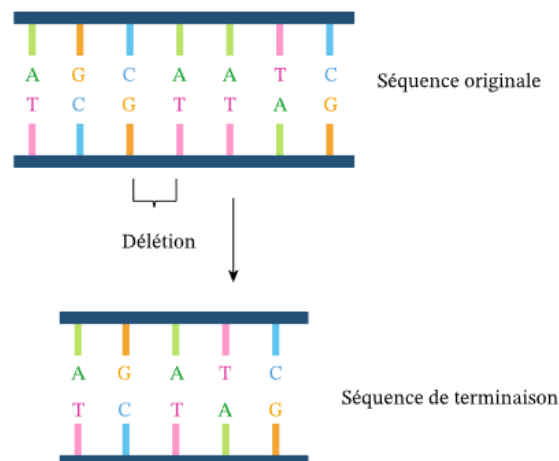
➤ Mutation par insertion

Lors d'une mutation par insertion, une ou plusieurs nouvelles bases sont ajoutées à un emplacement de la séquence d'ADN d'un organisme.



➤ Mutation par délétion

Lors d'une mutation par délétion, une ou plusieurs paires de bases existantes sont supprimées de la séquence d'ADN d'un organisme.



1.3.2 Les recombinaisons génétiques

La recombinaison génétique est un événement moléculaire impliquant un **échange de matériel entre deux molécules d'ADN double brin**. Elle se produit généralement entre des séquences correspondantes afin d'assurer la conservation exacte du matériel génétique dans les filaments recombinés. Sa fréquence est affectée par des effets globaux et locaux au sein du génome et n'est donc pas constante.

Historiquement, la recombinaison génétique définit tous phénomènes conduisant à la formation, dans une cellule fille, de fragments issus du clivage de chromosomes qui sont ensuite reliés pour donner de nouvelles combinaisons, différentes de celles observées dans les cellules parentales (Lodish et al., 2000)

La recombinaison génétique est le processus par lequel un nouvel ADN est formé à partir de la **combinaison de deux séquences génétiques**. Le nouvel ADN sera unique et contiendra des informations combinées des séquences parentales.

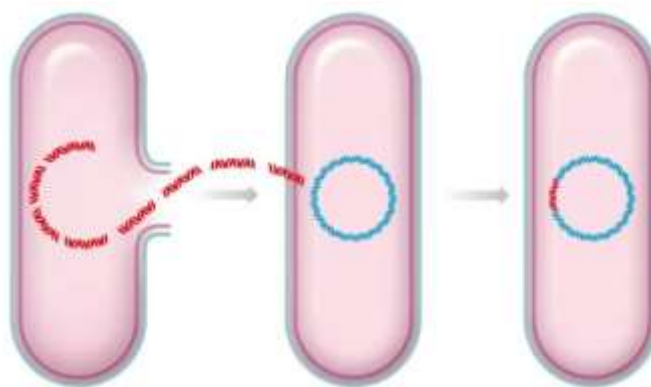


ILLUSTRATION DE LA RECOMBINAISON GÉNÉTIQUE EN BACTÉRIES

La recombinaison génétique est l'un des processus les plus importants pour la continuité du matériel génétique. Nous allons donc présenter certaines des raisons pour lesquelles la recombinaison génétique est si importante.

- Il **permet de créer de nouvelles combinaisons** à partir de deux séquences initiales. Dans ce processus de sélection naturelle, des centaines de combinaisons différentes peuvent même être créées à partir de deux ADN de départ, comme c'est le cas chez les frères et sœurs humains de parents identiques.
- **Essentiel à la diversité génétique** : attribut extrêmement important qui permet de remplacer les organismes inaptes par des organismes aptes. Sans diversité, le choix serait réduit et la survie des espèces serait menacée. L'absence de variation entre les espèces entraîne une maladie prolongée, un manque d'adaptation à l'environnement et un manque de résilience face aux changements environnementaux brusques.
- Elle **empêche la divergence des séquences répétées**, c'est-à-dire des gènes récessifs qui peuvent avoir des conséquences néfastes ou létales pour les organismes. Lors de la divergence génétique, il n'y a plus d'échange génétique ni de recombinaison et celle-ci est réduite par la recombinaison.

- **Il empêche la formation du cliquet de Müller** : il s'agit d'un phénomène qui se produit chez les organismes asexués dont la progéniture est identique à la descendance initiale. En tant qu'organismes identiques, les gènes mutés et délétères s'accumulent.
- **Il représente un régulateur génétique** : il peut activer ou désactiver des gènes. Cela se produit souvent lors de la transposition, où la continuité du gène dans lequel le transposon a été inséré est interrompue. La coloration variée des grains de maïs en est un exemple. Ce mécanisme est également important pour la maintenance et la réparation du génome. Elle se produit principalement lors de la recombinaison homologe, car des cassures dans les femelles de l'ADN, appelées cassures double-brin, sont souvent réalisées au cours du processus, et le mécanisme d'homologie de séquence répare ces sections.
- **Aide les chromosomes à se séparer** : cela a lieu pendant la méiose. C'est là que se produit le crossover, où les chromosomes homologues peuvent se séparer et s'assembler de manière complémentaire.

1.3.3 La polyploïdie et l'hybridation

La polyploïdie joue un rôle fondamental dans l'évolution des plantes. En effet, elle est considérée comme un facteur majeur de spéciation, de diversification et d'adaptation écologique des plantes. En particulier au sein des allopolyploïdes, l'expression des gènes dupliqués (gènes homéologues) permettrait une plasticité fonctionnelle et serait à l'origine de capacités adaptatives. Parmi les espèces polyploïdes, la contribution relative des gènes homéologues au transcriptome peut varier selon les organes de la plante et selon les conditions de culture.

Au cours de leur cycle de reproduction sexuée, les espèces passent d'un stade haploïde (n chromosomes) à un stade diploïde ($2n$ chromosomes). Dans le cas d'une espèce polyploïde, le nombre de chromosomes est le multiple d'un nombre supérieur à 2 ($3n$ triploïdie ; $4n$ tétraploïdie, $6n$ hexaploïdie, ...).

La polyploïdie est plus fréquente chez les végétaux que les animaux. Chez les animaux, il est possible de créer artificiellement des cellules polyploïdes. Le rat *Pipanacoctomys aureus* est un mammifère tétraploïde ; l'écrevisse marbrée est triploïde. En aquaculture, l'huître triploïde présente un intérêt commercial ; comme elle produit peu de gamètes, elle concentre son énergie sur la croissance.

La polyploïdie a joué un rôle important dans l'évolution de nombreuses espèces végétales.

Beaucoup de plantes cultivées sont polyploïdes : pomme de terre, soja, coton, blé, colza, caféier, citronnier, concombre, arachide, banane, clémentine...

La polyploïdie se présente sous deux modalités :

- Un même lot chromosomique peut-être répété plusieurs fois (autopolyploïdie), suite à des mitoses inachevées dans un individu.
- Il peut se produire des fusions de gamètes entre deux espèces voisines, on obtient alors des individus possédant les génomes de ces deux espèces (allopolyploïdie).

Chez les animaux, la polyploïdie est exceptionnelle (sauf chez certains crustacés et insectes parthénogénétiques qui peuvent être autopolyploïdes), ou limitée à certains tissus somatiques.

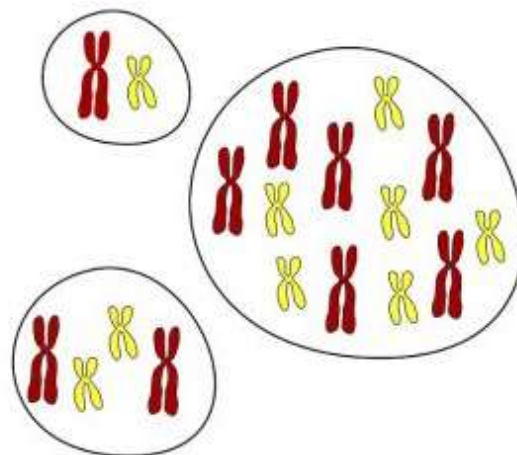


Figure A. Cellules haploïde (n chromosome...)