

GENETIQUE... ET GENETIQUE CHEZ *APIS MELLIFERA*

1-Apparition de la vie

Notre planète Terre s'est formée il y a 4,5Ga.

Le bombardement météoritique a provoqué un dégazage de l'eau des roches par la température régnante très élevée.

Puis, le calme revenu, l'eau a eu la particularité de pouvoir passer à l'état liquide car la Terre est à bonne distance du Soleil (ni trop près (=trop chaud), ni trop loin (=trop froid !).

C'est dans cette « soupe primitive » que sont apparues les 2 premières molécules organiques : l'ADN et les protéines

☞ **ADN : Acide Désoxyribonucléique**

L'ADN est une molécule formée de deux brins complémentaires enroulés en double hélice.

Un brin est une séquence aléatoires de 4 acides nucléiques : Adénine, Cytosine, Guanine et Thymine

Les deux brins sont complémentaires, car :

-la Thymine est toujours associée à l'Adénine

-la Cytosine est toujours associée à la Guanine

☞ **Protéine :**

Une protéine est une séquence d'acides aminés.

Vingt acides aminés composent les protéines. Chacun ayant des propriétés physico-chimiques différentes, certains vont s'attirer et former des liaisons, d'autres vont se repousser.

Cela va donner à la protéine une forme particulière et cette forme va déterminer la fonction de la protéine.

Exemples de protéines actuelles :

Transport : hémoglobine...

Hormones : adrénaline, insuline...

Motricité : actine, myosine...

Communication : phéromones...

Enzymes : amylase, invertase...

Les protéines sont les molécules actrices de notre corps, ce sont un peu les « ouvrières » !

☞ **Lien ADN/protéine :**

L'ADN comporte plusieurs gènes (un gène= une succession d'acides nucléiques).

Un gène détermine la formation d'une protéine.

Le gène est tout d'abord transcrit en ARN (un seul brin d'acides nucléiques) par une protéine (!) appelée ARN-polymérase.

Cette transcription se fait par complémentarité, mais en mettant un acide nucléique appelé Uracile face à l'Adénine.

L'ARN est ensuite traduit en protéine en suivant le code génétique : à chaque codon (triplet d'acides nucléiques) correspond un acide aminé.

Une chose merveilleuse en génétique, c'est que toute la vie sur Terre obéit aux mêmes règles.....

Un ribosome lit l'ARN : A la lecture d'un codon, il va associer l'acide aminé correspondant. La lecture des codons successifs va ainsi être traduite en une chaîne d'acides aminés....puis cette chaîne va prendre une forme particulière qui correspondra à une fonction.

Cette fonction est un caractère (Avoir des pigments transporteurs de dioxygène, avoir une enzyme de digestion de l'amidon....)

☞ **L.U.C.A.**

L'ADN et les protéines apparus se sont retrouvés dans la première forme de vie : L.U.C.A.. Il avait l'aspect d'une cellule, la plus petite unité de vie. Cette structure est limitée par une membrane et à l'intérieur, il y a de l'eau dans laquelle se trouvent ADN, protéines, vitamines, minéraux...

Cette première unité de vie a été appelée L.U.C.A., pour l'acronyme (anglais) qui signifie « Dernier ancêtre commun universel ».

☞ **Mitose :**

Les cellules se reproduisent par mitose. Il s'agit d'une multiplication cellulaire.

La cellule doit d'abord répliquer son ADN (=duplication à l'identique), c'est-à-dire en faire une copie.

Les 2 copies vont se séparer et aller aux deux pôles opposés de la cellule.

La cellule va se scinder en 2 et former ainsi 2 nouvelles cellules contenant exactement le même ADN....enfin...la plupart du temps !...

☞ **Mutations**

...En effet, la vitesse de réplication est de 250 acides nucléiques par seconde.

A cette vitesse, il y a forcément des erreurs (appelées mutations) de temps en temps....c'est le début de l'évolution.

2-Evolution

☞ **Arbre de la vie**

Il ressemble à un buisson taillé en boule. Il a été établi sur le principe suivant :

Plus le % d'ADN commun est grand, plus la parenté est élevée.

L.U.C.A. est au centre. Il a donné trois grandes familles de descendants :

-Les Bactéries (toutes formées d'une seule cellule de 0,001mm environ)

-Les Archées (bactéries des milieux extrêmes)

-Les Eucaryotes (certains sont formés d'une seule cellule, mais la plupart sont formés de plusieurs cellules, 10 000 milliards pour l'homme).

La cellule eucaryote se distingue des cellules bactériennes (procaryote) par leur taille 10 fois plus élevée. Elle contient aussi plus d'ADN et celui-ci est enfermé dans un noyau à l'intérieur de la cellule.

☞ Mécanisme de l'évolution

Il est basé sur la sélection naturelle, soit 4 étapes en gros :

1-Mutation au hasard chez un individu, qui donne un nouveau caractère.

Exemple : Résistance à l'apitraz chez le Varroa destructor.

2-Modification de l'environnement

Exemple : Introduction d'apitraz dans l'environnement

3-Survie des individus avantaés, morts des autres.

Exemple : Survie des varroas résistants, mort des sensibles.

4-Reproduction et transmission aux descendants.

Exemple : Transmission de la résistance aux descendants.

☞ Systématique (classification)

Les abeilles sont regroupées dans les Anthophiles (le plus vieux fossile a été trouvé en Birmanie et datae de 100 Ma).

Les Apidées regroupent les abeilles sociales.

Dans le genre *Apis*, on trouve plusieurs espèces dont *Apis mellifera*, que l'on rencontre en Europe, en Asie, en Afrique. Elle a été introduite au XVIIème siècle en Amérique et en Océanie par l'homme.

Les autres espèces du genre *Apis* vivent dans le sud-est de l'Asie.

L'espèce *Apis mellifera* regroupe plusieurs races qui se sont différenciées selon les territoires (climats, interactions avec les êtres vivants) :

-*Apis mellifera cerana* (est / sud-est des Alpes) se distingue par sa douceur, mais un essaimage très prononcé.

-*Apis mellifera mellifera* (ouest et nord de l'Europe) n'est pas réputée pour sa douceur (!), mais pour sa longévité, son ardeur à butiner.

-*Apis mellifera Buckfast* a été « créée » par sélection par le frère Adam dans le sud-ouest de l'Angleterre. Cette race porte le nom de l'abbaye de Buckfast.

-Et bien d'autres encore....

3-Reproduction et transmission des gènes (bases)

☞ Chromosomes

Un chromosome est une « pelote » d'ADN. Il se forme lors de la mitose. Après la réplication, l'ADN se condense en chromosomes à 2 bras (les deux bras étant strictement identiques).

Ces chromosomes permettent une répartition des copies de l'ADN plus facile !

☞ Caryotypes

Caryotype = chromosomes rangés et classés.

L'étude des chromosomes permet d'observer que :

-Chaque espèce a ses propres chromosomes (nombre, forme)

-Les individus d'une même espèce ont les mêmes chromosomes.

-Les chromosomes sont par paire, les deux chromosomes d'une même paire portant les mêmes gènes. On les appelle chromosomes homologues.

☞ Cycle de reproduction et méiose

Le mâle et la femelle doivent d'abord produire des cellules reproductrices.

Cela se fait par méiose : lors de la méiose, les deux chromosomes de chaque paire sont séparés. Ainsi les cellules reproductrices (ovules et spermatozoïdes) ont un chromosome de chaque paire.

Lors de la fécondation, les paires de chromosomes sont reformées, chacune comportant un chromosome venant du père et un de la mère.

Les deux chromosomes d'une même paire portent des mêmes gènes.

Tous les individus d'une même espèce ont les mêmes gènes.

Pourtant, tous les individus sont différents !!

En effet, tous les individus ont les mêmes gènes mais pas forcément les mêmes versions de ces gènes (version d'un gène= allèle).

Si on a deux allèles identiques pour un gène, on est homozygote pour ce gène.

Si on a deux allèles différents pour un gène, on est hétérozygote pour ce gène.

Un allèle peut être dominant par rapport à un autre qui sera récessif. Seul le dominant s'exprimera. Les allèles peuvent aussi être codominants (les deux s'expriment).

Le génome de l'abeille a été décodé en 2006 (travail de 4 ans).

Il comporte 10 157 gènes, sûrement plus, pour une longueur d'ADN de 16 cm soit 236 millions d'acides nucléiques (25 000 pour l'homme, 2m, 3400 millions d'acides nucléiques)

Exemples de gènes :

*170 gènes récepteurs odorat/phéromones

*10 gènes seulement pour le goût (pas besoin de détecter les toxines des feuilles car pas de grignottage).

*Peu de gènes de détoxification par rapport autres insectes, donc sensibles aux pesticides.

*Moins de gènes de chitine (car, vie abritée)

* Gènes HYG (comportement hygiénique)

Très efficace contre couvain plâtré, loque américaine et varroa.

Au moins 7 gènes impliqués dont 2 avec allèles récessifs : il faut donc que les ouvrières aient 2 allèles pour développer ce caractère.

Le comportement hygiénique consiste en :

-La détection des alvéoles avec larves atteintes

-La désoperculation de ces alvéoles

-La sortie des larves malades.

*Gènes de résistance à l'acariose (*Acarapsis woodi*)

Caractère de toilettage des trachées (organes respiratoires des insectes) par les pattes centrales, limitant le développement de l'acarien.

Plusieurs gènes sont impliqués.

*Gène VSH (Varroa Sensitive Hygienic) appelé avant Gène SMR (Suppressed Mite Reproduction)

Plusieurs gènes supprimant la reproduction du *Varroa destructor* par détection des alvéoles avec varroas reproductifs....mais laissent les autres !!!

Possibilité d'acheter des reines VSH aux USA.

Partie bonus : pour pouvoir aller plus loin

L'étude du caryotype de l'abeille montre que les femelles ont 32 chromosomes (16 paires). Les mâles ont 16 chromosomes : un seul de chaque paire.
C'est une particularité des insectes sociaux.

Un ovule fécondé par un spermatozoïde donne naissance à une femelle : ouvrière ou reine selon la nourriture.

Un ovule non fécondé donne naissance à un mâle.

Intérêt de l'haploïdie (= fait de n'avoir qu'un chromosome de chaque paire) du mâle : permet de supprimer de la population d'éventuels allèles létaux.

Consanguinité=dérive génétique : fait que le nombre d'allèles dans une population est réduit. Augmente la probabilité de maladies liées aux gènes, car la probabilité d'être homozygote pour des allèles défavorables augmente.

Diversité génétique : Augmentation de la diversité des allèles. Augmente la capacité d'adaptation à l'environnement.

4-Reproduction et transmission allèles

☞ **Brassage génétique**

Lors de la méiose, la répartition des chromosomes se fait au hasard. De ce fait, il existe un très grand nombre de cellules reproductrices différentes qui sont formées.

Une reine femelle qui a 16 paires de chromosomes peut former 2^{16} ovules différents soit 65 536. Une reine produit 4 millions d'ovules de 65 536 sortes différentes.

Les mâles sont haploïdes, ils n'ont qu'un chromosome de chaque paire. La méiose n'est donc pas utile pour produire des spermatozoïdes.

De ce fait, tous les spermatozoïdes d'un mâle sont identiques.

☞ **Conséquence : Dépression consanguinité**

Le cas du déterminisme du sexe.

Il existe 73 allèles sexuels différents. Une reine en a 2 : un sur chacun des deux chromosomes. Un mâle a un seul chromosome, donc un seul allèle.

Si une reine n'est fécondée que par un seul mâle, voire un de ses frères...le risque est que l'allèle du mâle soit identique à l'un des deux allèles de la reine. 50% du couvain sera alors détruit. En effet, si deux allèles sexuels sont identiques, l'individu deviendra un mâle. Mais, les ouvrières détectent très rapidement ces mâles diploïdes (entre le 1er et le 3ème jour), et les tuent. Pour un couvain solide, il faut donc de la diversité.

Attention : La consanguinité pour l'allèle sexuel amène forcément à un couvain lacunaire. Mais un couvain lacunaire peut avoir une autre origine : un comportement hygiénique par exemple. Dans ce cas-là, les alvéoles sont vidées plus tardivement.

L'haploïdie du mâle réduit donc la diversité : en effet, sans méiose, tous les spermatozoïdes d'un mâle sont identiques.

☞ **D'autres comportements/mécanismes compensent les conséquences de l'haploïdie du mâle :**

Polyandrie

La reine est fécondée par plusieurs mâles : 10-25 mâles en 1/2 vols sur 2/3 jours.
Les spermatozoïdes sont mélangés dans l'oviducte : cela augmente la diversité des allèles.
Il y a ainsi des familles de super-sœurs (qui le même père) ayant des qualités différentes venant de leur père : défense, collecte propolis ou pollen...

Essaimage :

Phénomène permettant d'augmenter la diversité, par diversification des mâles dans un environnement donné... implique que si l'on récupère un essaim de son rucher, il vaut mieux le déplacer dans un autre rucher si l'on veut suivre l'instinct naturel de l'abeille.
En effet, la nouvelle reine aura sinon plus de risques d'être fécondée par des frères... consanguinité !!

☞ **Altruisme**

Acte altruiste = comportements favorisant les plus proches parents (car plus d'allèles en commun)...

Une ouvrière a 100% des allèles de son père et 50% de sa mère. Les ouvrières qui ont le même père ont donc 75% d'allèles en commun. Elles sont super-sœurs.
L'intérêt génétique est d'aider leur mère à engendrer des super-sœurs. (Car elles, ne transmettraient que 50% de leurs allèles).
Plus il y a de parenté, plus l'altruisme est développé .
C'est peut être cela qui aurait rendu les abeilles sociales... l'haploïdie des mâles !

Dans une ruche bourdonneuse, les ouvrières, avec l'absence de reines, pondent des œufs... sans fécondation, il y aura donc naissance de mâles uniquement !! Cela permet la transmission des gènes de leurs parents.

Le mâle pourrait donc n'être considéré que comme un inséminateur des allèles contenus dans l'ovule dont il est sorti. Il ne serait donc, avec ses frères, que l'un des éléments copulateurs de la reine qui les a conçus.
C'est pour cela qu'on peut lire parfois qu'une abeille est issue d'une mère (la reine) et d'une grand-mère (la mère du mâle qui transmet l'intégralité des allèles de l'ovule dont il est issu).

5-Epigénétique

Ensemble des mécanismes étudiant l'influence de l'environnement sur l'expression des gènes.

En effet, la génétique est transmise et irréversible, mais des mécanismes influencent l'expression de ces gènes...heureusement !!

☞ **Par exemple, un œuf selon s'il est nourri avec de la gelée royale ou du pain d'abeille deviendra une reine ou une ouvrière.**

En effet, la composition de la gelée royale et du pain d'abeilles sont différentes.

*Il y a dans la gelée royale, des acides gras qui inhibent les HDAC (Histones Désacétyl Transférases), des molécules qui compactent l'ADN et donc empêchent sa transcription.

*Se trouve également dans la gelée royale, la DNMT3, méthyltransférases sur Cytosine
Entre une reine et une ouvrière, 550 gènes ont une méthylation différente : les protéines formées seront donc différentes.

*Dans le pain d'abeille (pollen + nectar fermenté), la quantité de microARN est plus importante que dans la gelée royale.

Les microARN se fixent sur ARN et empêchent leur traduction.

Les microARN peuvent venir des plantes, et sont donc ingérés par les larves d'ouvrières. Ils peuvent aussi venir des abeilles elles-mêmes.

Il a été remarqué que chez les reines, ce sont les protéines des voies énergétiques qui sont favorisées, chez les ouvrières, celles de la digestion, de l'orientation, des voies synaptiques.

☞ **Autres exemples :**

*Les glandes hypopharyngiennes des nourrices produisent de la gelée royale, celles des magasinères de l'invertase.

*Equilibre des castes : si on supprime les nourrices, la moitié des butineuses redeviennent nourrices.

*Des ouvrières douces élevées dans une colonie agressive deviennent 15% plus agressives.

*Le nourrissage au miel stimule le corps gras et active ainsi certains gènes de résistance aux toxiques.

*Nourriture :

Le microbiote (microbes intestinaux) des abeilles est important.

Le mycélium de certains champignons exude un miellat fongique qui enrichit le pain d'abeille en acide paracoumarique, qui est impliqué dans la détermination des castes d'abeilles.

Le sirop de maïs, l'acide oxalique ou formique sont néfastes pour les champignons du microbiote.

Conséquence :

Une reine efficace dans un environnement peut ne pas avoir les mêmes performances dans un autre environnement !

6-Amélioration génétique

Le but est de fixer un caractère intéressant observé dans une population, dans une autre population par sélection.

☞ **Sélection naturelle**

Méthode : laisser faire les abeilles !

Des colonies abandonnées en Suède sont devenues résistantes au Varroa.

☞ **Sélection conservatrice**

Visé à conserver les qualités d'une race par isolement des autres.

Permet de conserver des pools de diversité pour l'avenir...car les scientifiques considèrent qu'il y a trop d'éleveurs de reines actuellement pour que cette sélection par l'homme crée suffisamment de diversité.

☞ **Sélection massale**

Essaimage artificiel...autre cours disponible aussi en ligne sur le site du rucher-école.

☞ **Sélection de métis** (=croisement de deux races)

*Au hasard...peu de contrôle dessus.

En 1956 : Introduction de *Apis mellifera scutellata* (africaine) en Amérique. Elle s'est hybridée avec *Apis mellifera ligustica* et a formé l'abeille tueuse.

*Contrôlée par l'apiculteur : très difficile...

Quelle que soit la technique utilisée, le coup d'oeil de l'apiculteur reste important.

Chaque famille de super-soeurs a ses qualités et ses défauts.

Et le rôle de l'environnement sera toujours très difficile à anticiper...