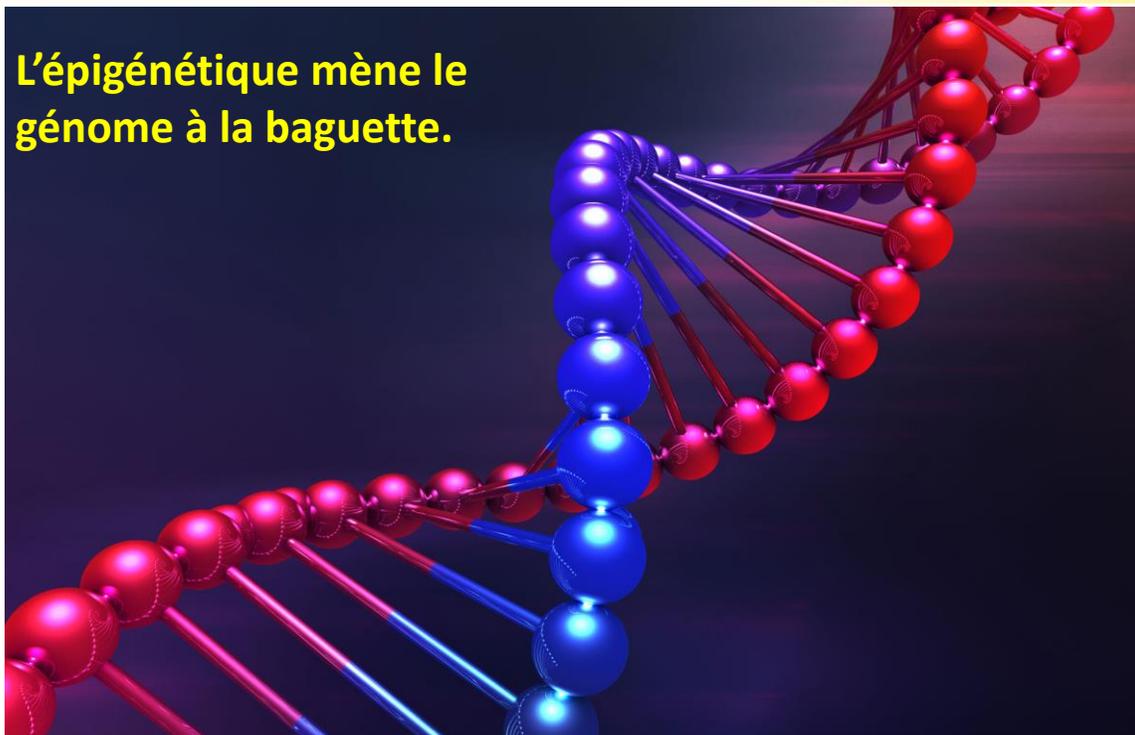


L'épigénétique mène le génome à la baguette.



On a longtemps pensé que le code génétique d'un organisme déterminait ses caractéristiques biologiques, son développement et son adaptation à son milieu. Depuis que l'on est parvenu à cartographier le génome de nombreux organismes dont l'abeille, on s'est rendu compte qu'il existe des différences significatives entre ce que dicte le génome et l'apparence ou le fonctionnement de ce même organisme.

Depuis ~2010, l'épigénétique s'intéresse aux mécanismes de la régulation de l'expression du patrimoine génétique (génome) sans qu'il y ait modification/altération du code génétique lui-même.

Cette branche de la biologie étudie en quelque sorte le rôle du chef d'orchestre qui interprète la partition d'une symphonie concertante en dirigeant les musiciens de son orchestre à la baguette...

Sous l'influence de divers facteurs chimiques ou « extérieurs », l'épigénétique peut non seulement modifier l'apparence ou le comportement d'un organisme, mais également transmettre certaines de ces modifications aux générations suivantes...

L'apiculteur connaît bien le mécanisme de la différenciation des castes ouvrières/reines. Un œuf fécondé, pondu par une reine, donnera naissance soit à une ouvrière, soit une reine, en fonction de l'alimentation à disposition. On sait aussi qu'une ouvrière commence sa vie comme nourrice et la termine comme butineuse. Ces 2 activités sont totalement différentes et engagent des compétences clairement distinctes. L'apiculteur est quand même scotché par les modifications épigénétiques engendrées par la reprise de la ponte royale au printemps ou par un orphelinage. La réversibilité de ces modulations épigénétiques nous fascinent : une butineuse peut redevenir une nourrice en cas de besoin ; une ouvrière peut même se mettre à pondre !

Quelques définitions pour bien commencer :

Patrimoine : Bien qu'on tient par héritage de ses ascendants.

Génétique : science qui étudie les caractères héréditaires des individus, leur transmission au fil des générations et leurs variations (mutations).

Epigénétique : discipline de la biologie qui étudie la nature des mécanismes modifiant de manière réversible, transmissible et adaptative l'expression des gènes sans en changer la séquence nucléotidique.

Chromosome : structure moléculaire complexe composée d'ADN et de protéines.

ADN : molécule de forme hélicoïdale porteuse de la totalité de l'information génétique (génome) contenue dans une cellule.

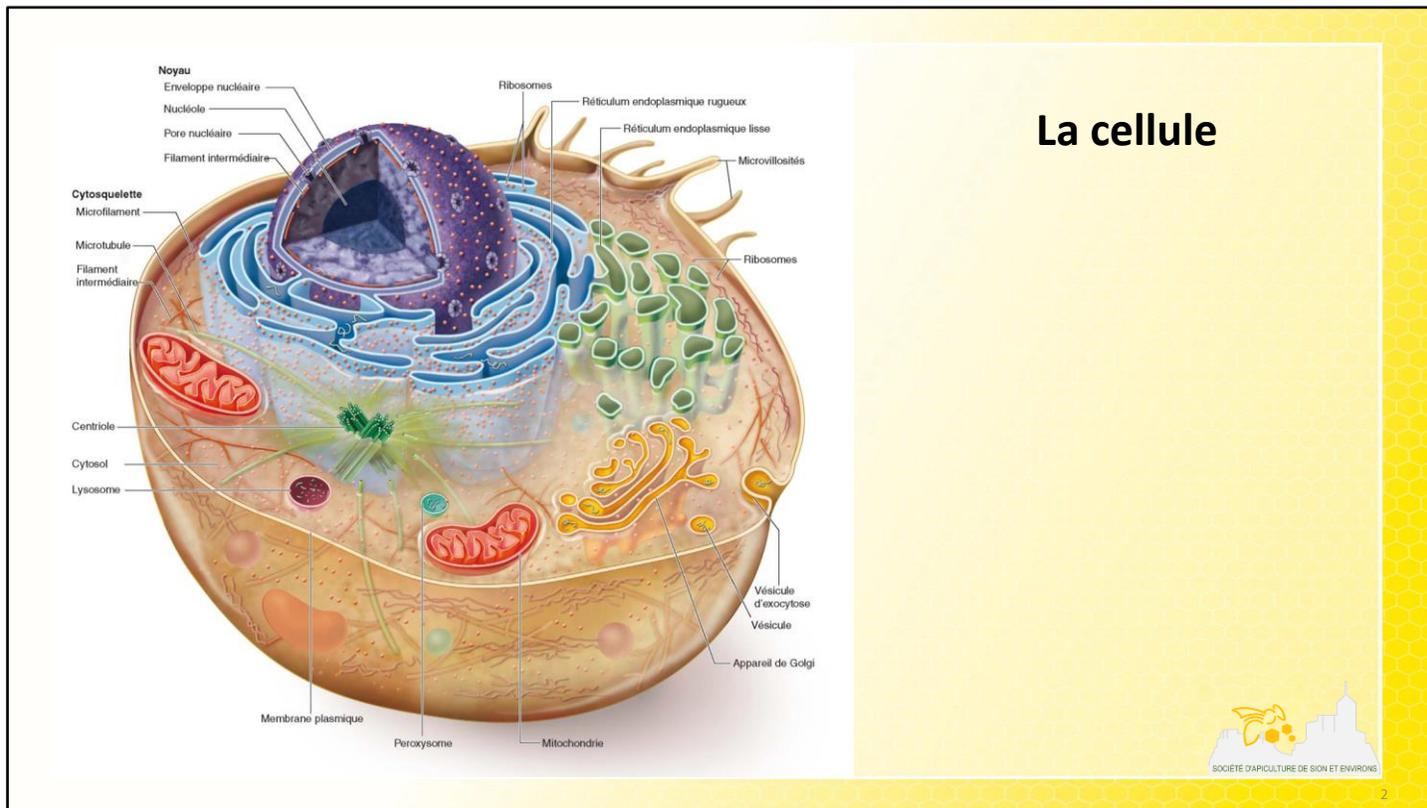
ARN : molécule constituée d'un enchaînement de ribonucléotides dont l'ordre est dicté par les séquences de l'ADN et dont elle recopie la matrice.

Enzyme : protéine capable de catalyser des réactions chimiques dans les cellules

Acide nucléique : assemblage de macromolécules ou polymère, dont l'unité de base ou monomère, est un nucléotide et dont les nucléotides sont reliés entre eux par des liaisons phosphodiester.

Nucléoside : molécule résultant de la liaison d'une base nucléique à un ose.

Nucléotide : molécule organique composée d'une base nucléique, d'un ose à cinq atomes de carbone et enfin de un à trois groupes phosphate.



La cellule



Une cellule est constituée d'une membrane plasmique contenant un cytoplasme, lequel est formé d'une solution aqueuse (cytosol) dans laquelle se trouvent de nombreuses biomolécules telles que des protéines et des acides nucléiques, organisées ou non dans le cadre d'organites. De nombreux êtres vivants ne sont constitués que d'une seule cellule : ce sont les organismes unicellulaires, comme les bactéries, les archées et la plupart des protistes. D'autres sont constitués de plusieurs cellules : ce sont les organismes multicellulaires, comme les plantes et les animaux. Ces derniers contiennent un nombre de cellules très variable d'une espèce à l'autre ; le corps humain en compte environ cent mille milliards (10^{14}), mais est colonisé par un nombre de deux à dix fois plus grand de bactéries, qui font partie de son microbiote et sont bien plus petites que les cellules humaines. La plupart des cellules des animaux ne sont visibles qu'au microscope, avec un diamètre compris entre 10 et 100 μm .

Le noyau est une structure cellulaire présente dans la majorité des cellules eucaryotes et chez tous les organismes eucaryotes, et contenant l'essentiel du matériel génétique de la cellule (ADN). Il a pour fonction principale de stocker le génome nucléaire ainsi que la machinerie nécessaire à la réplication des chromosomes et à l'expression de l'information contenue dans les gènes. Il disparaît temporairement pendant le processus de division cellulaire pour se reconstituer dans les cellules filles. Il a un diamètre variant de 5 à 7 micromètres.

Les ribosomes sont des complexes ribonucléoprotéiques (c'est-à-dire composés de protéines et d'ARN) présents dans les cellules eucaryotes et procaryotes. Extrêmement bien conservés au cours de l'évolution, ils ont pour fonction de synthétiser les protéines en décodant l'information contenue dans l'ARN messager. Ils sont constitués d'ARN ribosomiques, qui portent l'activité catalytique, et de protéines ribosomiques. Les ribosomes sont constitués de deux sous-unités, une plus petite qui « lit » l'ARN messager et une plus grosse qui se charge de la polymérisation des acides aminés pour former la protéine correspondante.

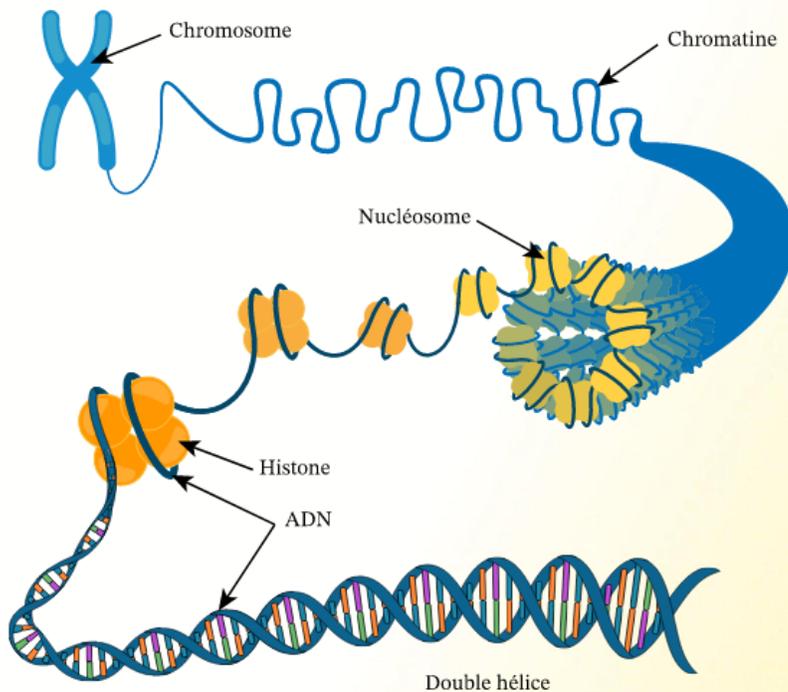
Les mitochondries sont souvent décrites comme les « centrales énergétiques » des cellules, dans la mesure où elles contribuent à l'essentiel de la production d'ATP cellulaire à travers la β -oxydation, le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire dans le cadre de la phosphorylation oxydative, l'ATP étant la molécule énergétique ubiquitaire utilisée dans un très grand nombre de réactions chimiques du métabolisme, et notamment de l'anabolisme (biosynthèses).

L'appareil de Golgi est un organite cellulaire situé à proximité du réticulum endoplasmique et du noyau. Il stocke les protéines et les lipides produits par le réticulum, les modifie grâce à l'action d'enzymes, les trie et les véhicule dans le milieu intra- ou extracellulaire, en fonction de leur destination finale.

Le réticulum endoplasmique lisse, dépourvu de ribosomes, est le lieu de synthèse des lipides et du métabolisme des sucres. Contenant des enzymes spécialisés, le réticulum participe aussi à la détoxification de la cellule.

Le réticulum endoplasmique rugueux assemble et transporte les protéines destinées aux membranes et à la sécrétion cellulaire.

Le génome



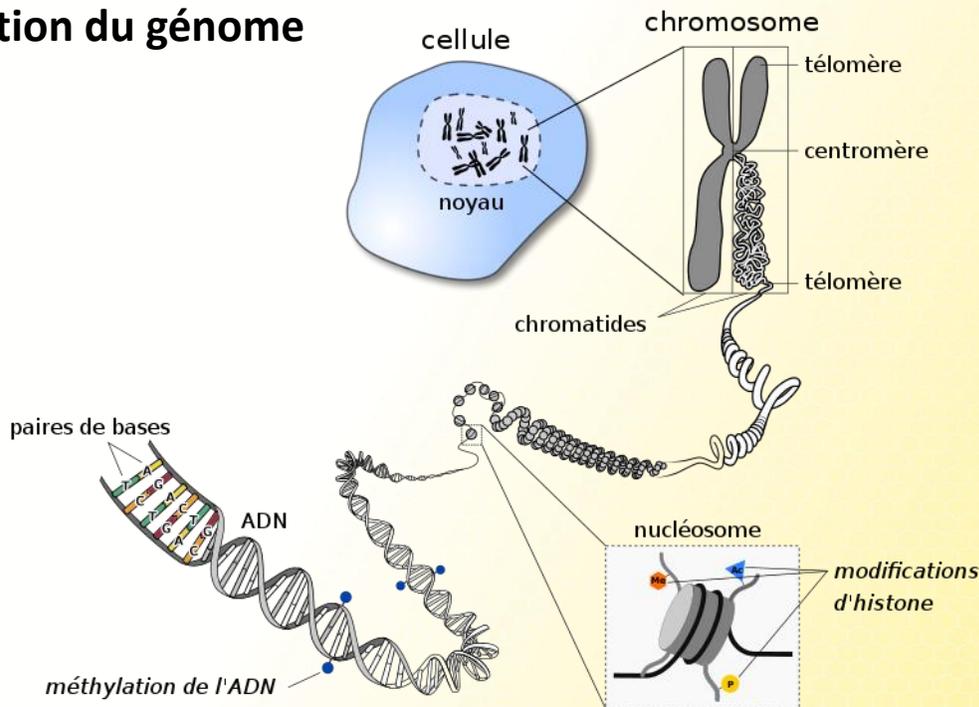
Découverte de l'ADN : 1953 par le Britannique Francis Crick et l'Américain James Watson. La longueur du génome (totalement étiré) de la cellule humaine ($\varnothing \sim 5-50 \mu\text{m}$) atteint 2 mètres pour un diamètre de $2 \mu\text{m}$ ($\mu = 10^{-6}$) et compte plus de 3 milliards de bases codant pour plus de 23'000 protéines différentes.

Le chromosome humain no 1, qui est le plus grand des chromosomes humains, contient environ 220 millions de paires de bases pour une longueur linéaire de plus de 7 cm.

Ni le nombre de chromosomes, ni la taille du génome (quantité d'ADN contenue dans une copie d'un génome), ni le nombre de gènes ne sont corrélés avec la complexité de l'organisme : c'est le paradoxe de la valeur C.

La valeur C représente la taille d'un génome, exprimée en nombre de paires de bases, ou en picogramme.

Modulation du génome



Chaque cellule humaine contient 46 chromosomes (comme l'olivier, le gecko, l'éponge de mer, la chauve-souris) contre 32 pour la cellule de l'abeille et 16 pour le faux-bourdon qui est haploïde. La fourmi australienne en a 2, le moustique en a 6, l'éléphant 56, le poisson rouge 100, le papillon Azuré de l'Atlas 440, l'amibe protégée autour de 1000 !!!

Les télomères des chromosomes sont protégés par des «capuchons» pour ralentir leur vieillissement et éviter leur effilochement qui pourrait conduire à de soudures entre chromosomes et donc des mutations.

Chez l'homme, les télomères raccourcissent avec l'âge, l'inflammation et le stress. Des études ont montré que des télomères courts sont associés à un risque plus élevé de maladies liées à l'âge (tumeurs cancéreuses).

Une étude¹ aurait montré que les apiculteurs ont une durée de vie plus longue que les non-apiculteurs. Il s'avère que la longueur des télomères des apiculteurs testés est significativement plus longue que celle des non-apiculteurs.

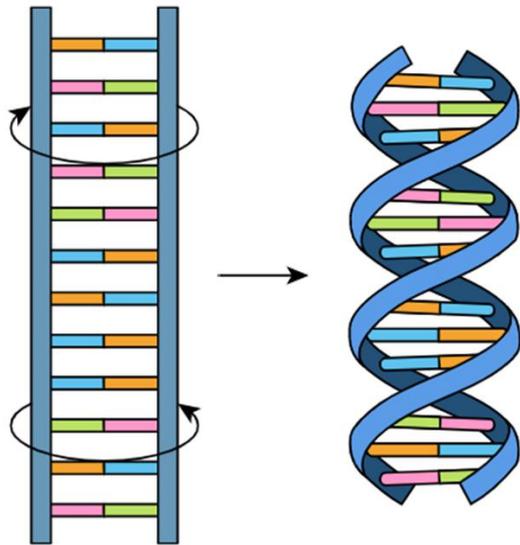
Les phénomènes d'oxydation cellulaires et la production trop importante de radicaux libres contribuent au raccourcissement prématuré des télomères.

Cette oxydation est amplifiée par certains facteurs tels que le tabac, l'alcool, la prise régulière de médicaments, la pollution, les UV, les radiations électromagnétiques, le surmenage physique et intellectuel, le stress, la malnutrition,

etc. La consommation d'antioxydants ralentirait cette usure précoce. Dans le cadre d'une diététique santé, la consommation des produits de la ruche est un atout. Les propriétés anti-oxydantes du miel, du pollen et de la gelée royale, ont été confirmées par plusieurs études récentes mettant en évidence les vertus des polyphénols dans un contexte de prévention.

Chez l'abeille, la télomérase, enzyme qui maintient la longueur des télomères, pourrait être modulée par l'épigénétique, ce qui expliquerait la différence de durée de vie chez les abeilles d'été versus celles d'hiver et chez les reines.

¹) Nasir, N. F. M., Kannan, T. P., Sulaiman, S. A., Shamsuddin, S., Azlina, A., & Stangaciu, S. (2015). The relationship between telomere length and beekeeping among Malaysians. AGE, 37(3), 1-6



La double hélice torsadée de l'ADN



Les montants de l'«échelle» correspondent à des sucres et les barreaux à des bases azotées A-T-C-G. Ce sont les séquences de ces barreaux qui codent pour la fabrication des protéines.

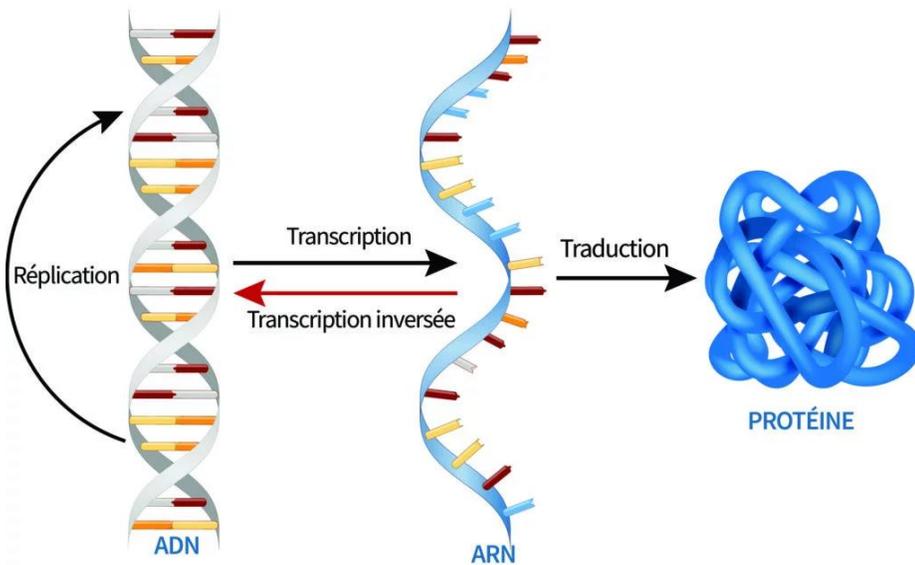
Les barreaux peuvent se dissocier (s'ouvrir comme un zip/fermeture éclair), puis être lus, copiés et exportés vers les usines de production (ribosomes) pour synthétiser toutes les protéines nécessaires à la vie de la cellule.

Chimie de l'ADN



A = Adénine T = Thymine
C = Cytosine G = Guanine
Désoxyribose = sucre

Transcription et traduction



ADN :

A = Adénine T = Thymine

C = Cytosine G = Guanine

ARN :

A = Adénine U = Uracile

C = Cytosine G = Guanine

Notre génome contient le plan de fabrication de chacune des protéines dont nos cellules peuvent avoir besoin pour exister, fonctionner... et nous faire vivre !

Ces plans – nos gènes – sont donc gardés bien à l'abri, à l'intérieur du noyau cellulaire sous forme d'ADN. Les usines qui synthétisent les protéines – les ribosomes – sont quant à elles situées à l'extérieur de ce noyau.

Dès lors, la fabrication des protéines n'est pas réalisée à partir des plans originaux, mais en s'appuyant sur leur « duplicata » : les ARN messagers (pour acide ribonucléique messenger). Ainsi, lorsqu'une cellule a besoin d'une protéine, le plan de fabrication de cette dernière est « photocopié » ou « transcrit ». La copie ainsi générée – un ARN messenger – est ensuite exportée hors du noyau et rejoint les ribosomes où elle permet la synthèse de la protéine demandée. Très instable et fragile, cette copie est ensuite rapidement détruite.

Le gène

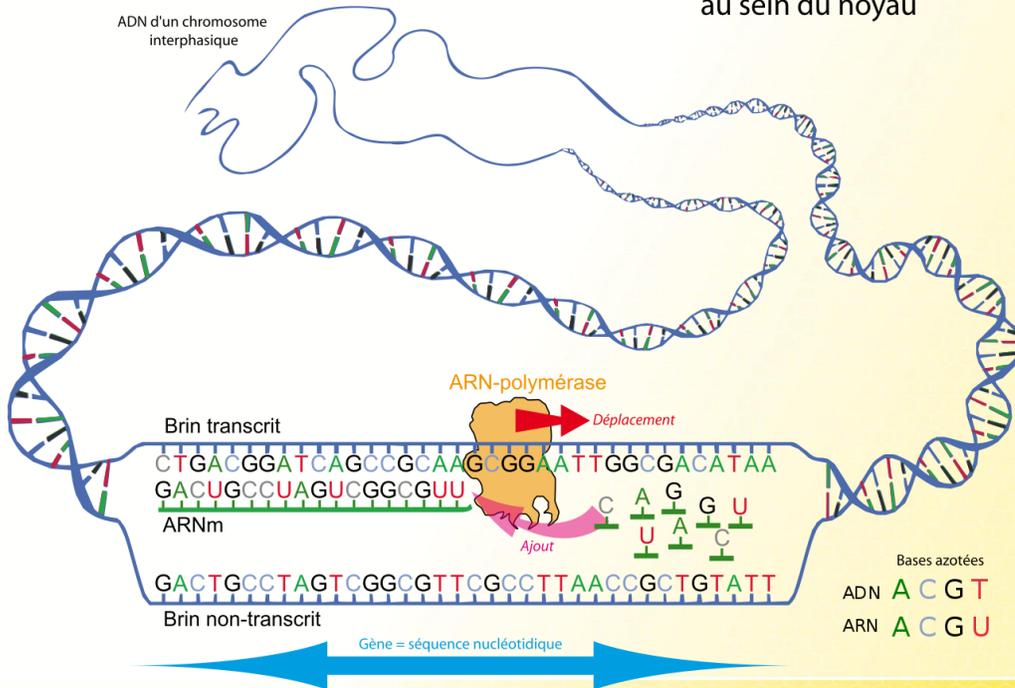


ADN est le support de l'hérédité des organismes vivants

Un gène est un segment d'ADN qui contient les informations nécessaires à la production d'une unité fonctionnelle (par exemple une protéine). C'est l'unité fonctionnelle de l'hérédité.

Un nucléotide est la sous-unité d'une molécule d'ADN. Les nucléotides sont constitués d'un sucre pentose, d'un groupe phosphate et d'une base azotée.

Transcription de l'ADN en ARNm au sein du noyau



L'ADN stocke l'information génétique à long terme.

Par division, il transmet toute l'information génétique aux nouvelles cellules somatiques (et seulement la moitié du génome aux cellules de reproduction, les gamètes).

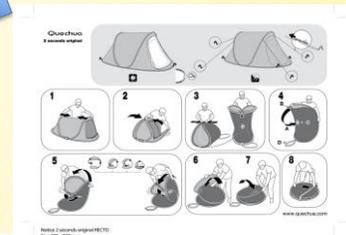
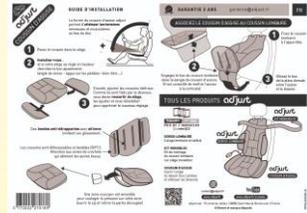
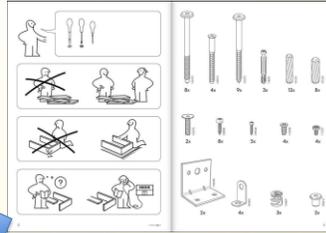
L'ARN est utilisé pour transférer une copie du code génétique du noyau vers les ribosomes, en vue d'assemblage des protéines.

Simplifions :

Manuel d'utilisateur ou code génétique

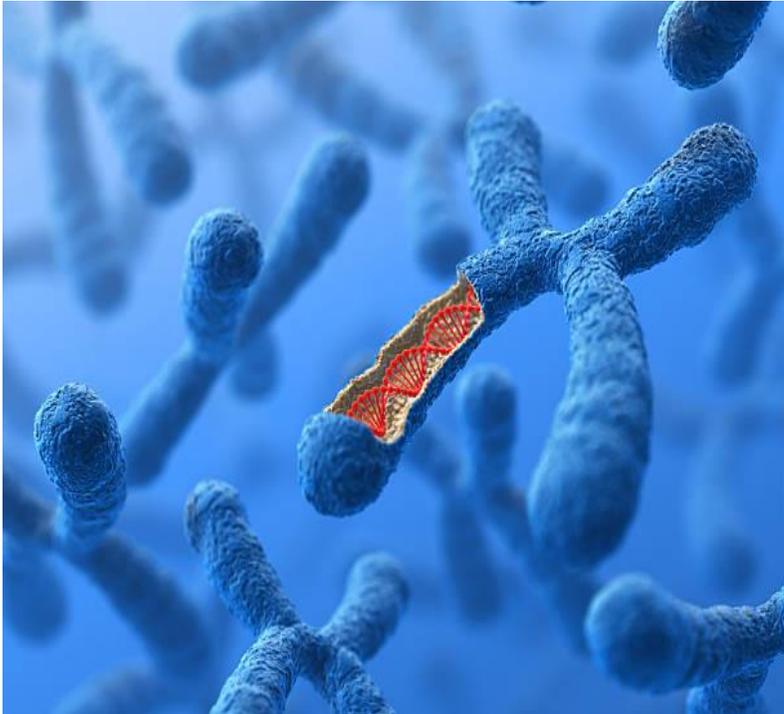


épigénétique



Utilisons comme analogie un manuel d'utilisateur qui décrit comment assembler une voiture sur une chaîne de montage. Si votre responsabilité est de placer les roues, vous n'avez pas besoin d'information concernant l'installation du pare-brise, le montage des sièges, ou l'assemblage du moteur. Afin de faciliter votre tâche, le manuel est divisé en plusieurs parties, chapitres, sections, et paragraphes pour que vous puissiez vous concentrer uniquement sur l'information requise pour installer les roues. Le manuel d'utilisateur est analogue à votre génome – il est composé de toute l'information dont vous avez besoin pour former un humain. Le plan et l'organisation du manuel reflètent la fonction de l'épigénome, c'est à dire la biologie chimique qui indique aux différents types de cellules quelles portions du génome sont à lire. De cette manière, en travaillant sur la même information (votre génome), vos cellules peuvent organiser cette information (en utilisant l'épigénétique) et travailler en concert, chacune ayant leur propre rôle pour former et maintenir tous les tissus et organes de votre corps.

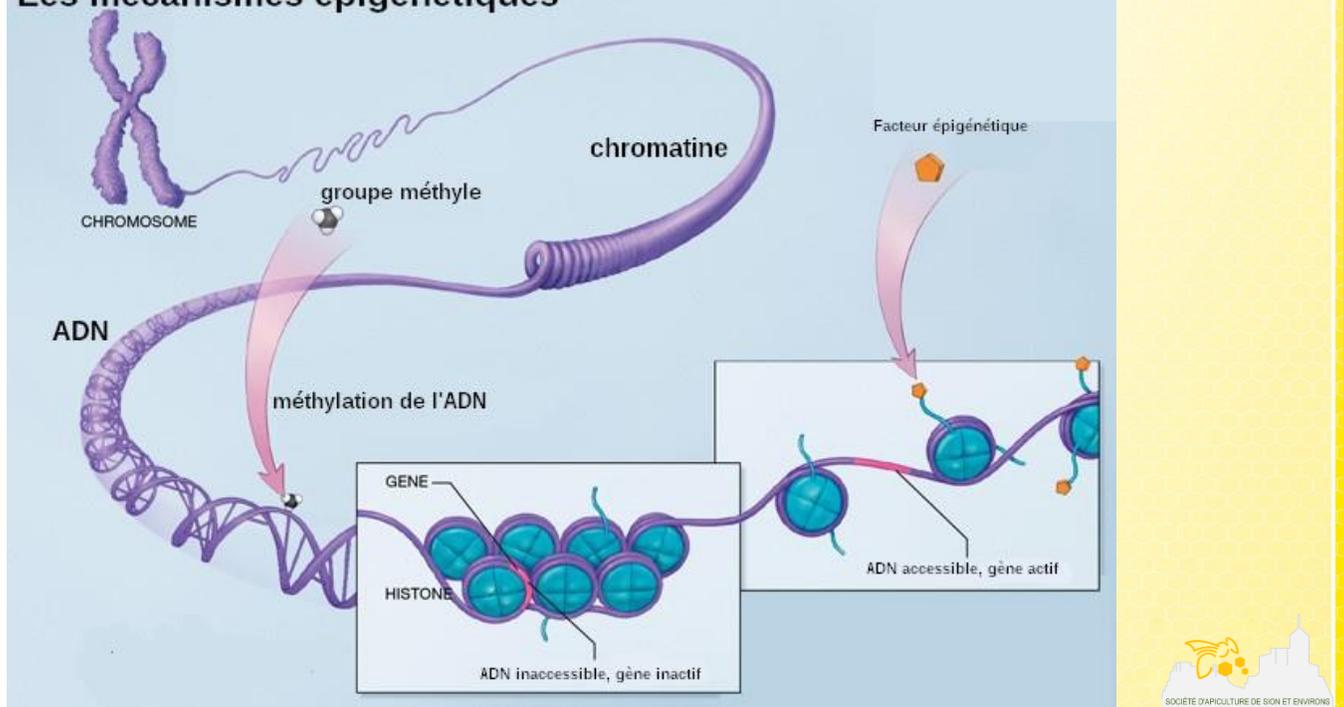
Du schéma à la réalité...



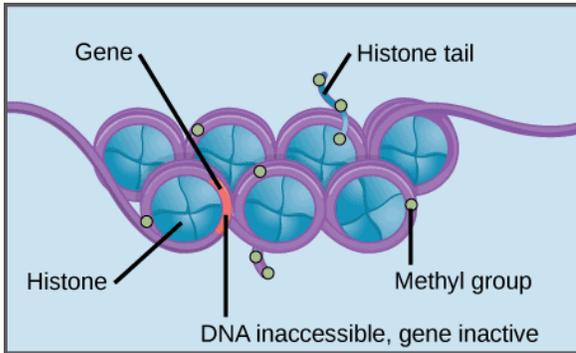
Dans sa définition la plus scientifiquement rigoureuse, un chromosome correspond à une structure totalement condensée de chromatine, avec un aspect fibreux de pelote de laine bien serrée.

Dans cette définition, le chromosome est seulement présent au cours de la mitose (division cellulaire) pendant laquelle il atteint son degré de condensation maximum. Le reste du temps (hors mitose), la chromatine est plus ou moins condensée dans le noyau et ne forme pas de chromosome.

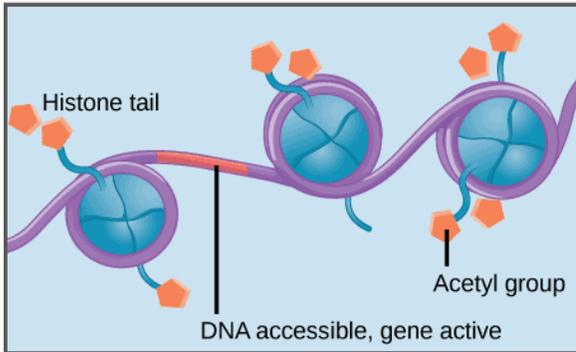
Les mécanismes épigénétiques



On peut comparer les histones à des «poules» sur lesquelles vient s'enrouler l'hélice d'ADN. Si les «poules» sont serrées les unes contre les autres par méthylation, le brin d'ADN n'est pas accessible à la lecture par l'ARN pour la fabrication des protéines. En revanche, si le brin d'ADN est largement déroulé par des facteurs épigénétiques, la lecture des différents gènes devient possible et la fabrication des protéines s'enclenche.



Methylation of DNA and histones causes nucleosomes to pack tightly together. Transcription factors cannot bind the DNA, and genes are not expressed.

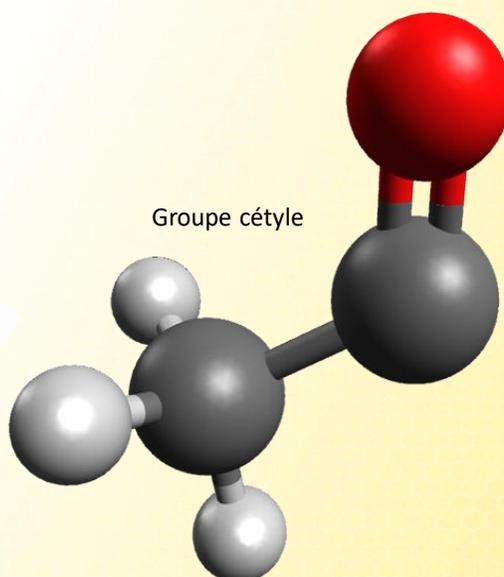
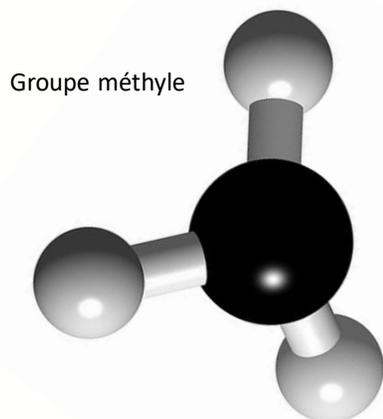


Histone acetylation results in loose packing of nucleosomes. Transcription factors can bind the DNA and genes are expressed.

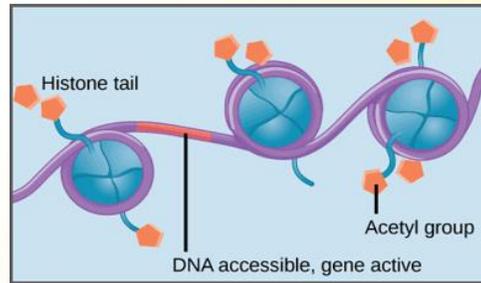
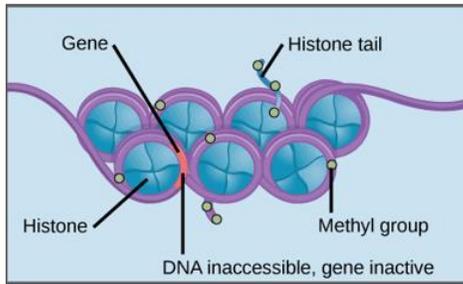
En haut : l'adjonction de groupes méthyle à l'ADN ou aux histones compacte l'enroulement de l'ADN. Les facteurs de transcription ne peuvent pas se lier à l'ADN et les gènes ne sont pas exprimés.

En bas : l'acétylation des histones permet un déroulement de l'ADN. Les facteurs de transcription peuvent se lier à l'ADN et les gènes sont exprimés.

Pour les chimistes :



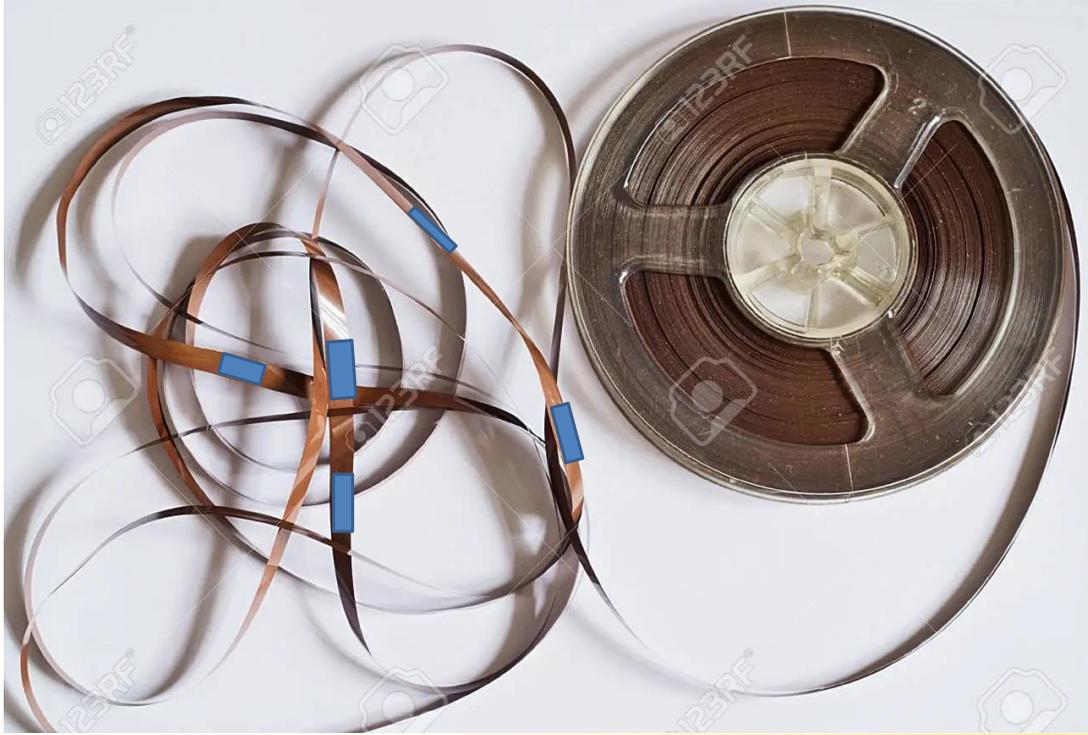
Le groupe méthyle empêche la lecture de l'ADN
Le groupe acétyle permet la lecture de l'ADN



Pour simplifier :

Lorsque les gènes de l'ADN codant par exemple pour la récolte de pollen, ne peuvent être lus, les protéines/enzymes ne sont pas fabriquées et l'ouvrière accomplit ses tâches à l'intérieur de la ruche.

En revanche, lorsque le bout d'ADN, qui code pour booster une butineuse, est bien exposé et lisible, la machinerie se met en marche, modifie le comportement de la nourrice qui devient butineuse et la récolte de pollen bat son plein...



De façon imagée, la bande magnétique (le fil d'ADN) a enregistré toute la «symphonie de Beethoven» ou code génétique entier de la cellule. L'épigénétique permet de **masquer ou de démasquer** certaines mesures de la partition et donc de moduler l'interprétation du morceau de musique.

L'expression d'un gène peut dépendre de :

Génétique

Modification du code génétique.

Mutation génétique par des mutagènes (UV, radiations...), ou spontanée.

Définitive, irréversible.

Transmission à la descendance.

Epigénétique

Pas de modification du code génétique.

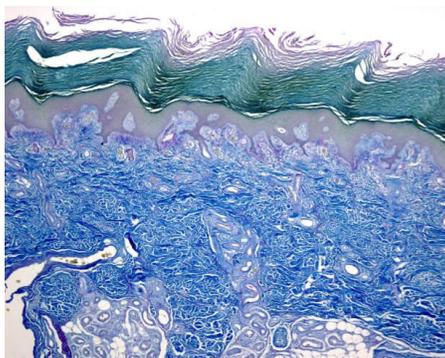
Gène seulement masqué ou exprimé temporairement, induction par l'«environnement».

Totalement réversible.

Peut être transmis à la descendance.

Chez l'être humain

Chaque cellule de l'organisme est dotée du même patrimoine génétique...
et pourtant :



Cellule cutanée : - 46 chromosomes
- 23'000 gènes
- activation des gènes de protection/sécrétion
- inactivation des gènes «inutiles»



Neurone : - 46 chromosomes
- 23'000 gènes
- activation des gènes de transmission neurologique
- inactivation des gènes «inutiles»

Chez l'abeille

Reine
32 chromosomes
10'000 gènes



Ouvrière :
32 chromosomes
10'000 gènes

et pourtant elles sont totalement différentes par leur taille, forme, comportement... certains gènes sont bloqués, d'autres surexprimés par des signalisations chimiques finement interprétées par les cellules.



19

La plasticité de l'épigénome de l'ouvrière est nettement plus important que celui des reines : les ouvrières alternent plusieurs rôles/métiers au cours de leur courte vie : nettoyeuses, nourrices, dames d'honneur, cirières, ventileuses, magasinieres, gardiennes, éclaireuses, butineuses; la reine ne fait que manger et pondre... 😊!

La séquence de ces tâches est aisément modulable si bien qu'une butineuse peut redevenir une nourrice en cas de besoin (!), par exemple lorsque la reine reprend sa ponte après les mois d'hiver. De même, une nourrice peut devenir rapidement butineuse (!) après la division d'une colonie (les butineuses des 2 ruches revenant à la souche...).

<https://www.dropbox.com/sh/rubemeti05sld6/AAoTm6bmqq3wTXFsegU1Zg0a?dl=0&preview=Commutation+r%C3%A9versible+entre+les+%C3%A9tats+%C3%A9pig%C3%A9n%C3%A9tiques+dans+les+sous.docx>

Quelques facteurs épigénétiques :

Gelée royale
Phéromones
Hormone juvénile
Vitellogénine
Oléate d'éthyle
Abondance de la nourriture
Température
Stress
Pesticides
Toxines, infections
Parasites
Polyéthisme d'âge
Démographie des sous-castes...



L'hormone juvénile est une hormone qui contrôle le développement post-embryonnaire chez les insectes. Elle doit son nom au fait qu'elle maintient les caractères juvéniles, en favorisant les mues larvaires et en retardant la métamorphose.

Toutefois, elle n'intervient pas que chez les larves, puisqu'elle a aussi un rôle très important chez l'insecte adulte, où elle régule la reproduction, en particulier la vitellogénèse et l'ovogenèse.

La vitellogénine est une protéine très présente chez les abeilles d'hiver; elle est stockée dans leur corps gras surdéveloppé; cette molécule stimule leur système immunitaire.

Par ailleurs, il existe une corrélation entre le taux de vitellogénine et les chances de survie hivernale de colonies d'abeilles.

Le taux de vitellogénine va également déterminer le type de butinage. Ainsi, de fortes teneurs en vitellogénine chez les jeunes abeilles vont privilégier un butinage tardif et orienté vers la collecte de pollen, et des teneurs plus faibles vont permettre un butinage plus précoce et orienté vers la collecte de nectar. Par ailleurs, la vitellogénine réduit le stress oxydatif chez l'abeille en piégeant les radicaux libres, prolongeant de ce fait la durée de vie des ouvrières et de la reine.

L'oléate d'éthyle (OE), véritable phéromone produite par les butineuses, est une molécule qui joue un rôle essentiel dans la maturation et la transformation des plus jeunes abeilles : elle agit comme un inhibiteur chimique qui retarde l'âge du butinage.

Cette phéromone inhibe donc la transformation des jeunes abeilles en butineuses de la manière suivante :

- En cas de grosse miellée et par beau temps, les butineuses sont à l'extérieur, au «travail» et donc les jeunes abeilles restées à la

ruche, ne sont pas exposées à l'éthyle oléate. Elles se transforment alors plus vite en butineuses, car une colonie sait mobiliser ses forces pour profiter d'une grosse miellée.

Ce qui a pour conséquence un sous-effectif de nourrices dans la ruche, et incite la reine à augmenter la ponte.

- En cas de mauvais temps, au contraire, les butineuses sont confinées dans la ruche et diffusent de l'éthyle oléate aux jeunes abeilles

et celles-ci restent alors plus longtemps au stade de nourrice. Il y a alors une forte population cloîtrée dans la ruche, dont un très

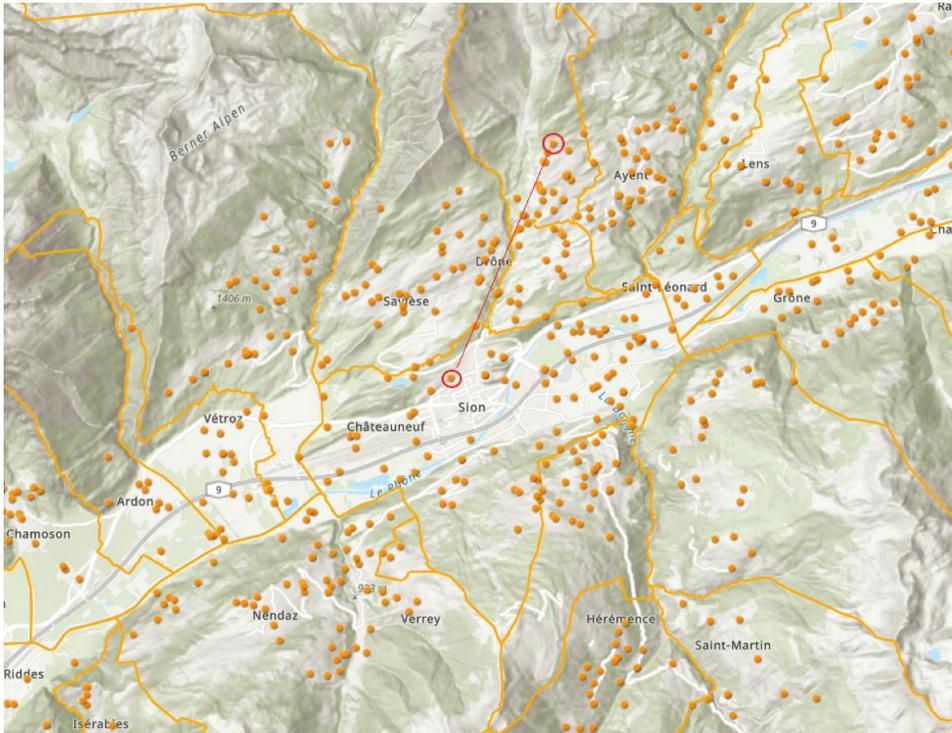
grand nombre de jeunes nourrices. Ce déséquilibre dans les castes d'abeilles déclenche très souvent la fièvre d'essaimage et très

fréquemment, dès le retour du beau temps, c'est l'essaimage.

L'ARN interférent est un acide ribonucléique dont l'interférence avec un ARN messager spécifique conduit à sa dégradation et à la diminution de sa traduction en protéine.

Dans la mesure où l'ARN joue un rôle crucial dans l'expression des gènes, l'ARN interférent permet de bloquer celle-ci en rendant « silencieux » tel ou tel gène.

Il serait vraisemblablement un produit de l'évolution permettant aux organismes de se défendre contre l'introduction de génomes étrangers, notamment viraux, ou encore permettant de moduler l'expression des gènes.



Le saviez-vous ?

La zone géographique du rucher d'élevage peut influencer le développement ultérieur de la colonie.



21

Bien que non vérifié expérimentalement, on peut observer que lorsqu'on prélève des larves pour le greffage à partir d'une colonie acclimatée en altitude (environ 1'500 m), les reines déplacées en plaine (à 500 m) auront un retard dans leur processus de ponte au printemps suivant (jusqu'à 2 cadres de couvain de différence à la même date avec les autres reines issues de la plaine).

On peut émettre l'hypothèse qu'une information sous forme d'un marquage épigénétique présent dans la larve pourrait conditionner son devenir de reine (en l'occurrence le développement tardif de la colonie); ce marquage étant potentiellement labile sous l'effet du nouvel environnement, le trait de caractère n'est plus observé la deuxième année. L'effet du milieu géographique pourrait avoir des conséquences sur les performances d'une reine achetée à un éleveur situé dans un environnement différent. En conséquence, il pourrait être risqué de juger des performances d'une reine sans tenir compte de l'origine géographique de sa mère. En suivant ce raisonnement, on pourrait penser que les

écotypes adaptés aux différentes régions puissent correspondre à des colonies génétiquement très proches mais marquées de manière différentielle par leur habitat naturel. Ces formes d'adaptation, faisant appel à des phénomènes épigénétiques, seraient de ce fait potentiellement réversibles.

Take home message

Le génome est l'ensemble du matériel génétique d'une espèce codé dans son ADN, au sein de chacune de ses cellules.

Il correspond, de façon imagée, à une partition de musique dont l'interprétation est subtilement nuancée par l'épigénétique, véritable chef d'orchestre qui donne le tempo, au doigt et à la baguette !



Les mécanismes épigénétiques confèrent aux êtres vivants une plasticité à l'égard des changements de l'environnement et ont certainement contribué à l'évolution des espèces au cours des âges. Chez l'abeille, ces phénomènes existent aussi et interviennent largement dans les changements comportementaux. Dès lors, il est également possible que les caractères que l'on observe sur les colonies d'abeilles ne soient pas uniquement liés à la présence de certains allèles mais aussi à des empreintes épigénétiques positionnées sur le génome des parents; dans ce cas, les traits observés par l'apiculteur au niveau de la colonie seraient potentiellement réversibles.



Merci pour
votre attention



www.apiSion.ch
www.abeille.ch
www.miel.ch



Sources

<https://www.docteur-eric-sebban.fr/cancer-du-sein/diagnostic-cancer-sein/implication-des-modifications-epigenetiques-sur-le-cancer-du-sein/>

<https://www.encyclopedie-environnement.org/sante/epigenome-facteurs-environnementaux/>

<https://lejournal.cnrs.fr/articles/lepigenetique-mene-le-genome-a-la-baguette>

<https://thisisepigenetics.ca/fr/blogs/quest-ce-que-lepigenetique>

<https://lejournal.cnrs.fr/articles/edith-heard-ou-la-revolution-epigenetique>

<https://aide-a-la-procreation.fr/au-sujet-de-la-fertilite/epigenetique/>

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_\(biologie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_(biologie))

<https://thisisepigenetics.ca/fr/blogs/quest-ce-que-lepigenetique>

<http://www.astrosurf.com/luxorion/Bio/cellule-3d-dwg-raven.jpg>

<https://www.dropbox.com/s/vbvr8fxkg6cofxs/1461823611-Epigenetique.pdf?dl=0>

<https://www.2imanager.ch/fr/divers/liens/wwwapisavoirch/lepigenetique>

https://www.dropbox.com/s/5ilg7vs9kdvjerj/Arold%20P._%20epigenetique%20wikipedia.pdf?dl=0

<https://www.dropbox.com/sh/rubemeti05sld6/AAAoTm6bmqq3wTXFsegU1Zg0a?dl=0>

<https://www.rtf.fr/epigenetique-comment-atteindre-genes-inaccessibles/article>

<https://www.nature.com/articles/nn.3218>



Annexes



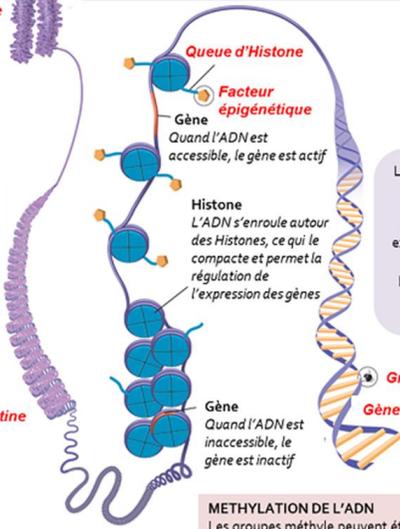
Toutes les cellules de notre corps ont le même code génétique, mais elles diffèrent fonctionnellement selon le tissu considéré (par exemple les globules du sang ou une cellule rétinienne dans l'œil). Les mécanismes épigénétiques permettent d'expliquer pourquoi des cellules ayant le même code génétique vont l'utiliser de manière différente – différentes réactions enzymatiques changent la manière dont l'ADN est associé aux protéines histones, ce qui va affecter (ou pas) l'exposition des gènes d'un fragment d'ADN donné aux divers facteurs qui vont permettre la transcription ainsi qu'à la machinerie impliquée.

Chromosome

Chromatine

MODIFICATION DES HISTONES

La fixation des enzymes et des protéines (facteurs épigénétiques) sur la « queue » des histones altère le niveau d'interactions de l'ADN avec les histones et l'accessibilité des gènes qui doivent être activés.



Facteur épigénétique
Gène
Quand l'ADN est accessible, le gène est actif

Histone
L'ADN s'enroule autour des Histones, ce qui le compacte et permet la régulation de l'expression des gènes

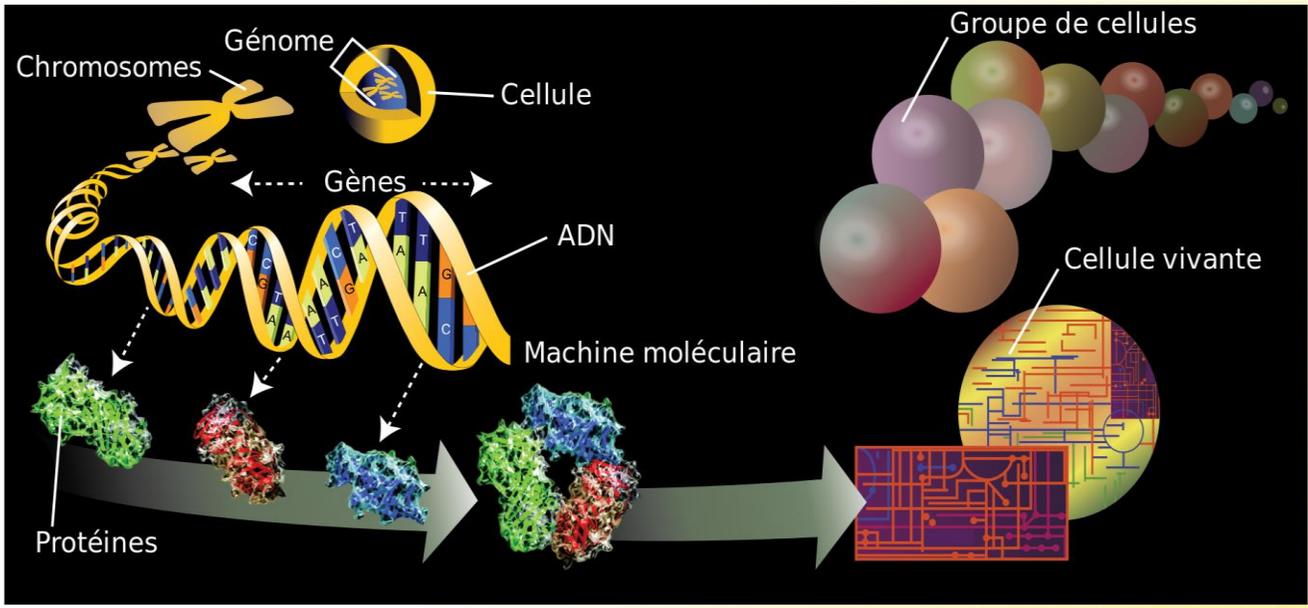
Gène
Quand l'ADN est inaccessible, le gène est inactif

La **méthylation**, ou l'attachement d'un groupe méthyle sur l'ADN au niveau de régions où la cytosine et la guanine sont appariées (« sites CpG »), a reçu le plus d'attention dans les recherches sur l'épigénétique. Il existe d'autres processus épigénétiques connus, comme l'acétylation, la sumoylation, l'ubiquitination et la phosphorylation qui impliquent des modifications des histones, ce qui détermine en partie si des gènes particuliers peuvent être exprimés.

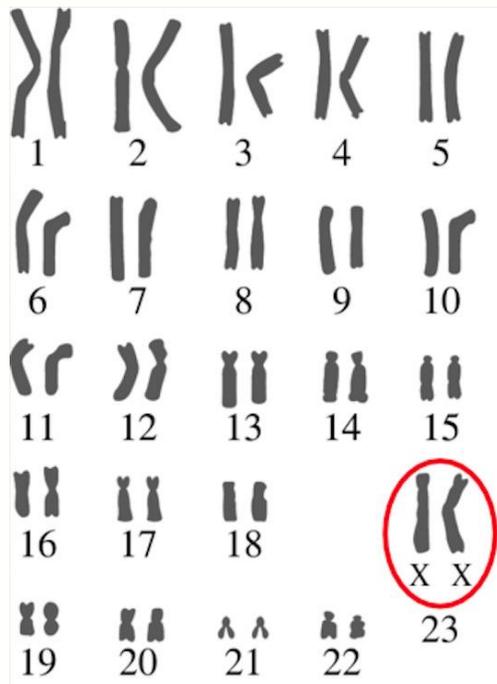
METHYLATION DE L'ADN

Les groupes méthyle peuvent étiqueter l'ADN et activer ou réprimer les gènes. Ce processus affecte la manière dont les facteurs, qui normalement induisent l'expression des gènes, interviennent effectivement.

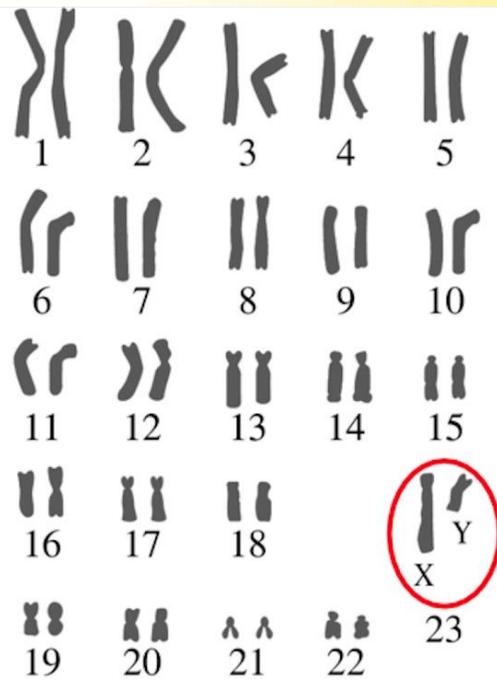




Du génome à la nouvelle cellule, en passant par la fabrication des protéines.



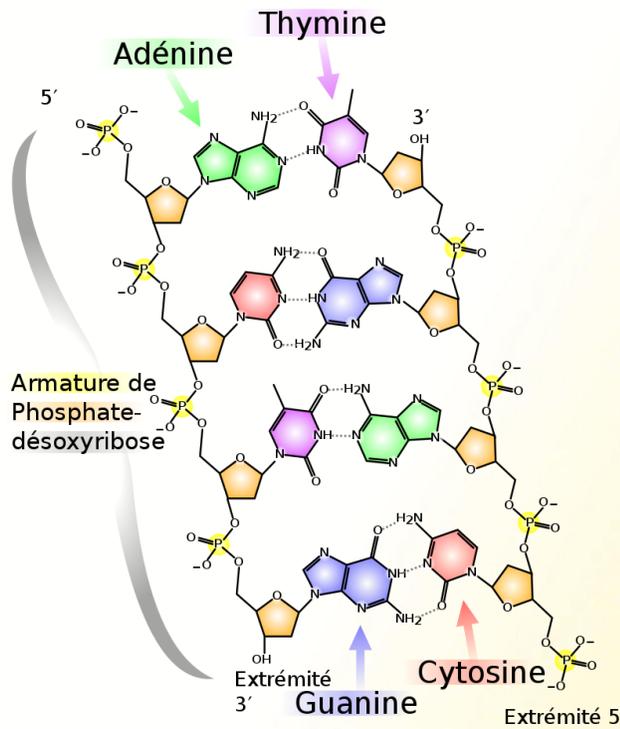
Caryotype d'une femme



Caryotype d'un homme



Les chromosomes de la cellule humaine.

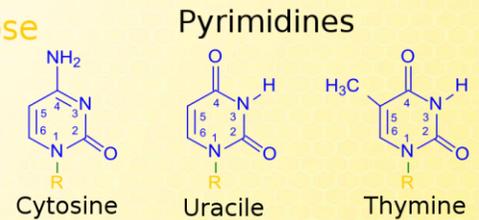
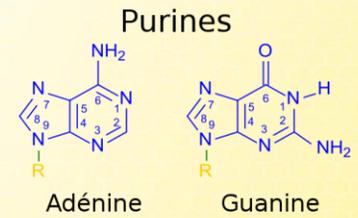
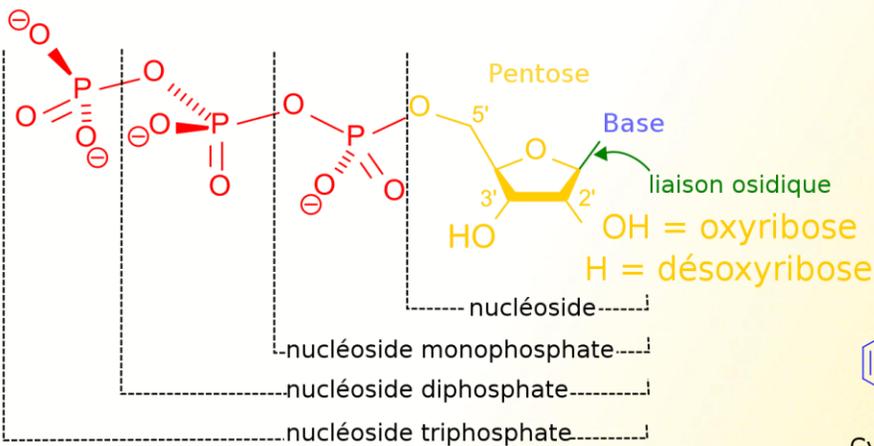


Structure chimique de l'ADN illustrant les quatre configurations des paires AT et GC entre les deux armatures de la double hélice, constituées d'une alternance de phosphate et de désoxyribose.

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DNA_animation.gif#/media/Fichier:DNA_animation.gif

https://fr.wikipedia.org/wiki/ADN_B#/media/Fichier:Bdna_cropped.gif

Structure des nucléotides



Un nucléotide est composé de trois parties :

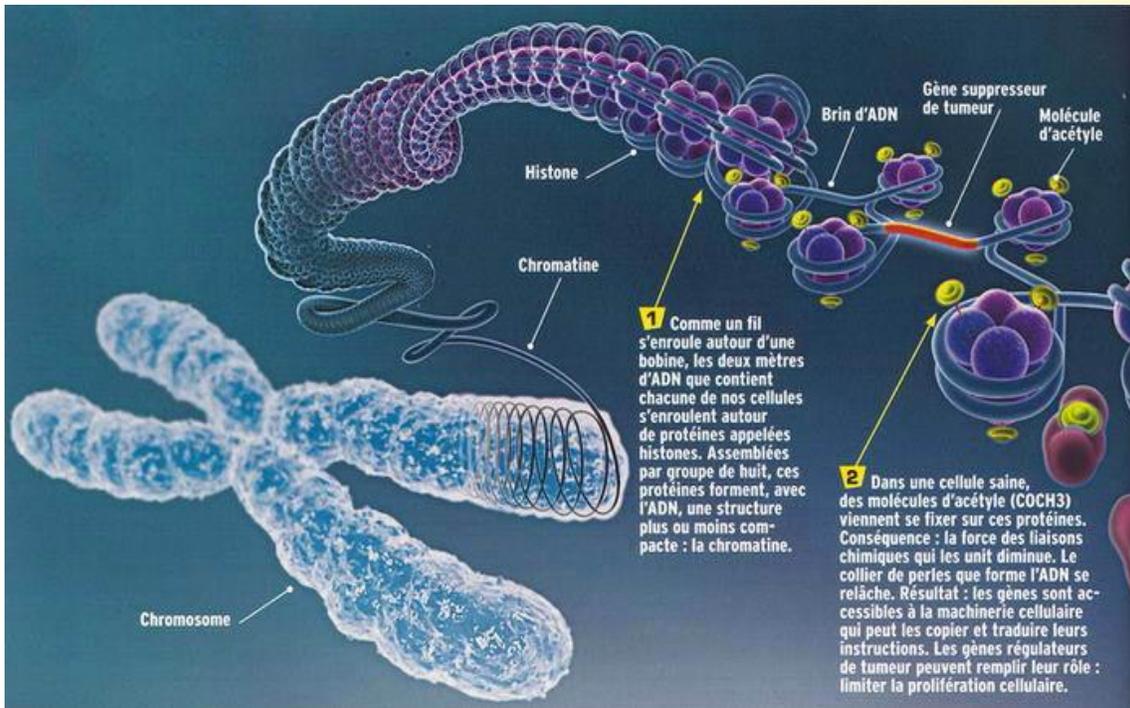
- 1- Une base nucléique variable en fonction du type de nucléotide (purine ou pyrimidine) fixé à l'atome de carbone 1' du (désoxy)ribose ;
- 2- Un sucre à cinq atomes de carbone (pentose) ;
- 3- Un groupement phosphate (ou acide phosphorique), identique pour les nucléotides de l'ADN et de l'ARN, fixé sur l'atome de carbone 5' du désoxyribose, (et à l'atome de carbone 3' du désoxyribose du nucléotide suivant).

Ils sont appelés ribonucléotides si le sucre est du ribose, ou des désoxyribonucléotides si le sucre est du désoxyribose.



Les marques épigénétiques varient d'un individu à l'autre. Même les jumelles monozygotes (issues du même œuf) ne sont pas identiques de ce point de vue. Les jumeaux monozygotes sont souvent très ressemblants physiquement. En prenant de l'âge, les jumeaux monozygotes se différencient à la suite des choix personnels comme la nourriture, les activités physiques et intellectuelles... ainsi que des expériences de vie. La scolarité constitue également un pas important dans ce domaine de différenciation.

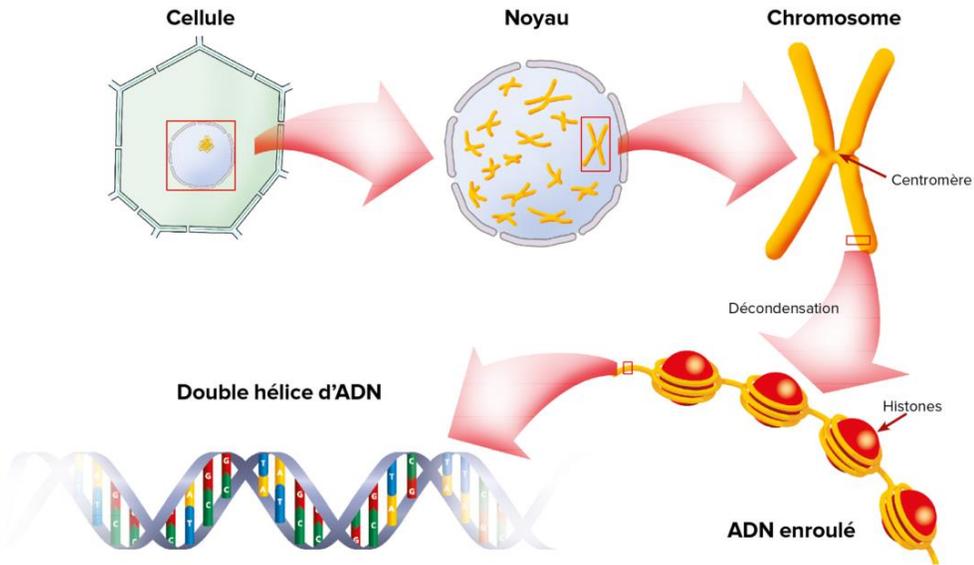
Dans la recherche scientifique, l'étude comparée de deux individus jumeaux monozygotes permet de mettre en évidence des mécanismes épigénétiques qui jouent un rôle important dans la régulation de l'expression des gènes au cours de l'ontogenèse. Ainsi, bien qu'il s'agisse de clones au sens biologique du terme, ils ont des empreintes digitales et des constantes biologiques différentes, dès les premières semaines de gestation. Au cours de leur existence, la modulation de l'expression de leurs gènes est influencée par l'environnement au sens large (hygiène de vie, alimentation, profession, localisation géographique, etc.) et leur phénotype permet de les différencier plus aisément (Cf. les frères Bogdanoff).



1 Comme un fil s'enroule autour d'une bobine, les deux mètres d'ADN que contient chacune de nos cellules s'enroulent autour de protéines appelées histones. Assemblées par groupe de huit, ces protéines forment, avec l'ADN, une structure plus ou moins compacte : la chromatine.

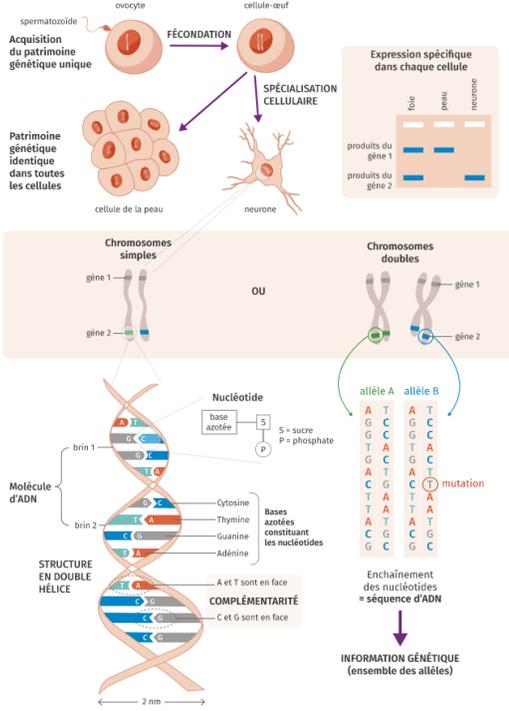
2 Dans une cellule saine, des molécules d'acétyle (COCH₃) viennent se fixer sur ces protéines. Conséquence : la force des liaisons chimiques qui les unit diminue. Le collier de perles que forme l'ADN se relâche. Résultat : les gènes sont accessibles à la machinerie cellulaire qui peut les copier et traduire leurs instructions. Les gènes régulateurs de tumeur peuvent remplir leur rôle : limiter la prolifération cellulaire.

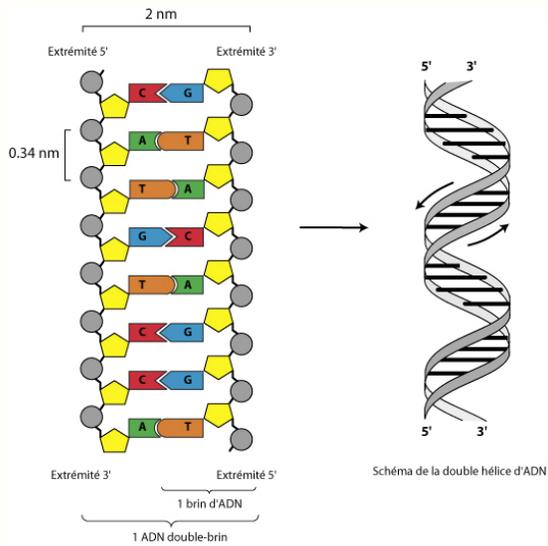
L'ADN : support de l'information génétique



© GNIS-PEDAGOGIE.ORG



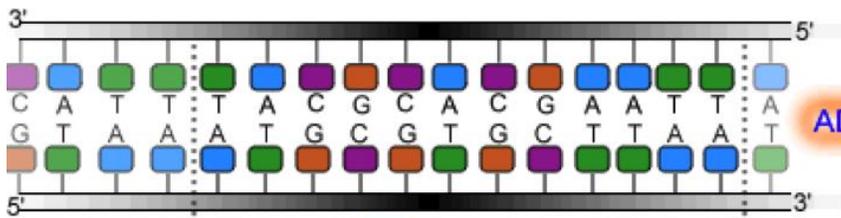




bases azotées:

	adénine		phosphate
	cytosine		sucre
	guanine		nucléotide
	thymine		

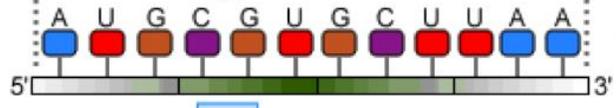
L'adénine ne s'apparie qu'avec la thymine
la cytosine ne s'apparie qu'avec la guanine



couples de nucléotides possibles :

- T A -
- C G -

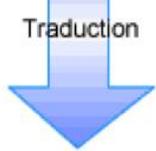
ADN



couples de nucléotides possibles :

- U A -
- C G -

ARNm



Protéine

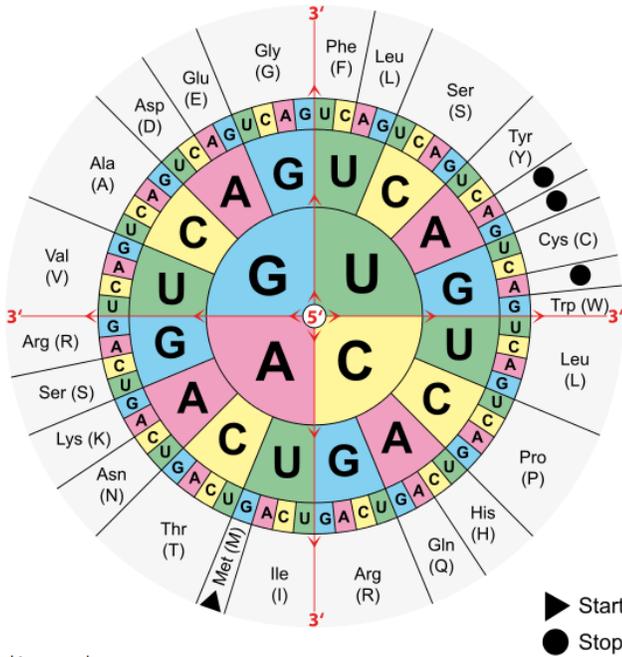
20 acides aminés possibles



LE CODE GENETIQUE

		ARN messenger				
		Codon : deuxième base azotée				
		U	C	A	G	
ARN messenger Codon : première base azotée	U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
		Phe	Ser	Tyr	Cys	C
		Leu	Ser	STOP	STOP	A
		Leu	Ser	STOP	Trp	G
	C	Leu	Pro	His	Arg	U
		Leu	Pro	His	Arg	C
		Leu	Pro	Gln	Arg	A
		Leu	Pro	Gln	Arg	G
	A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
		Ile	Thr	Asn	Ser	C
		Ile	Thr	Lys	Arg	A
		Met	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U	
	Val	Ala	Asp	Gly	C	
	Val	Ala	Glu	Gly	A	
	Val	Ala	Glu	Gly	G	
		ARN messenger				
		Codon : troisième base azotée				

Le code génétique et les codons

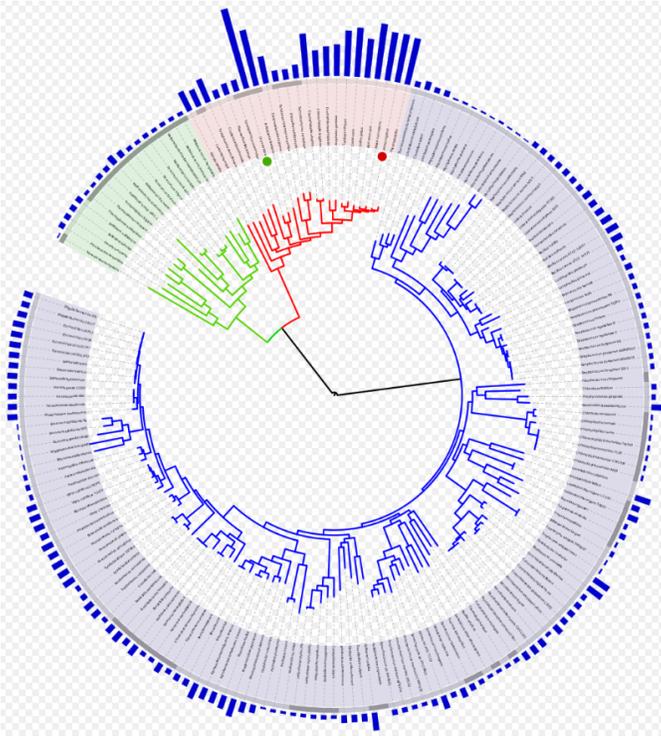


JeRetiens.net

▶ Start
● Stop



Taille du génome



Le point rouge correspond à l'Homme

Le point vert correspond au riz...

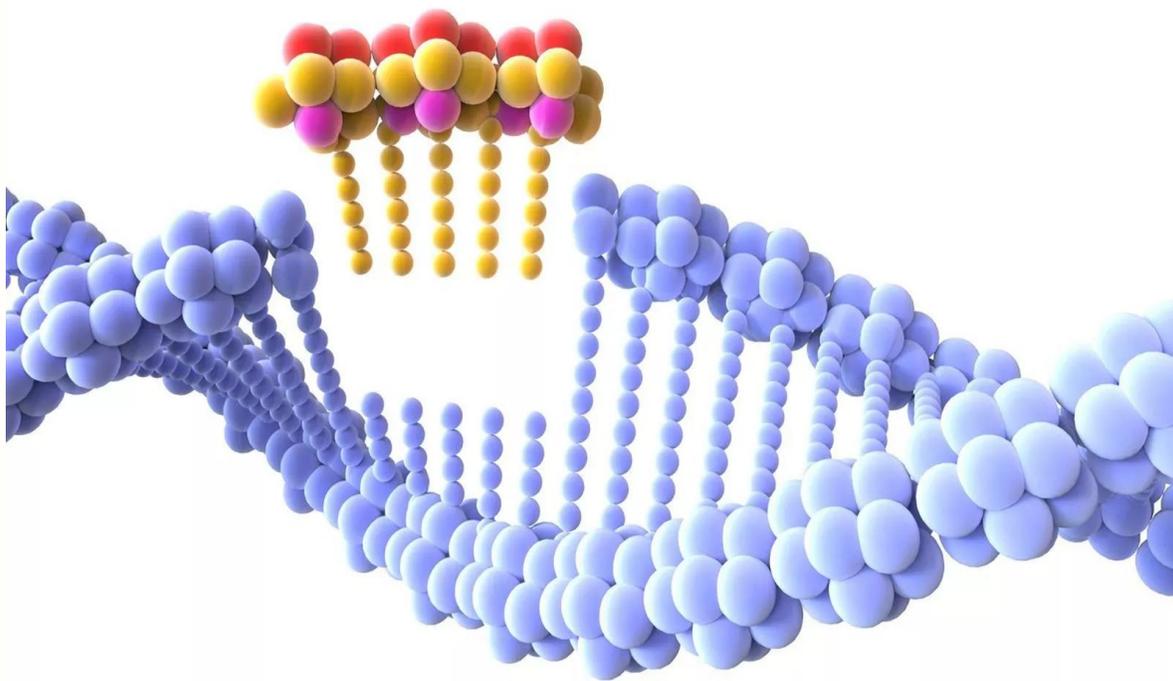
En bleu : les bactéries

En vert : les archées

En rouge : les eucaryotes

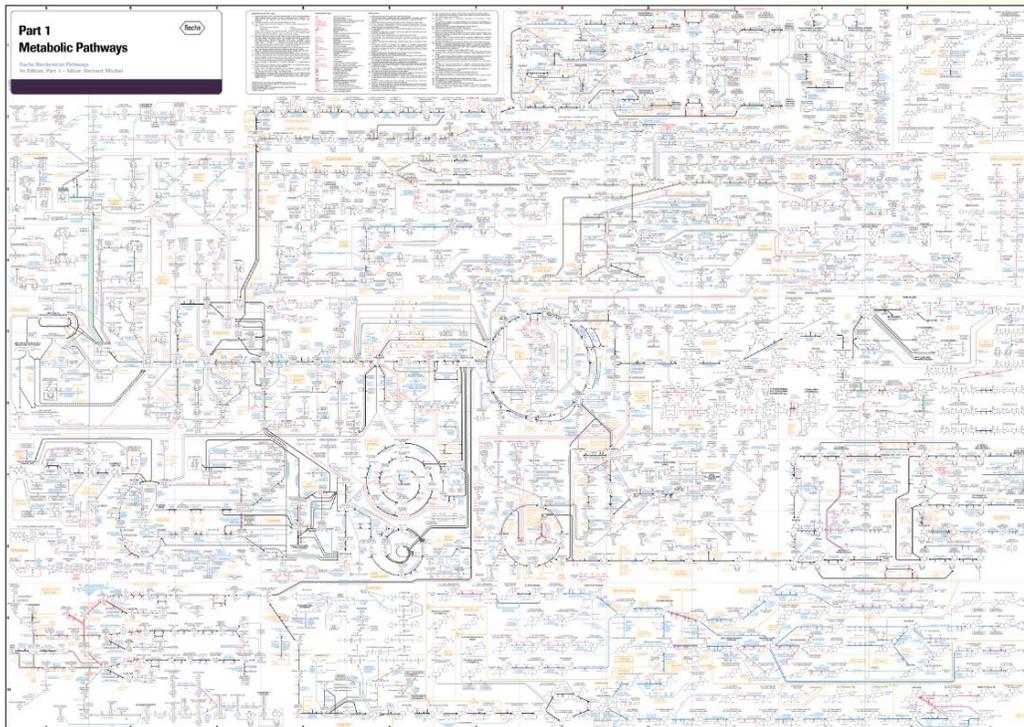
Les archées sont êtres vivants constitués d'une cellule unique qui ne comprend ni noyau ni organites, à cheval entre les bactéries et les eucaryotes

https://fr.wikipedia.org/wiki/Taille_du_g%C3%A9nome#/media/Fichier:Tree_of_life_with_genome_size.svg

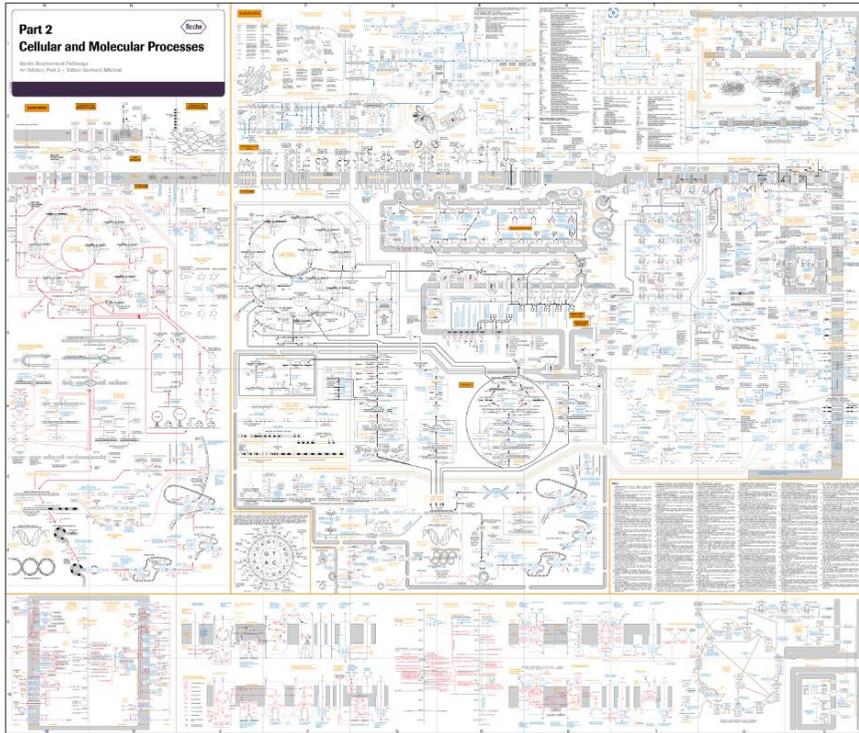


SOCIÉTÉ D'APICULTURE DE SION ET ENVIRONS





Voies métaboliques (Roche©) <http://biochemical-pathways.com/#/map/1>



Processus cellulaires et moléculaires (Roche©) <http://biochemical-pathways.com/#/map/2>