

Chapitre 2 - La nature du vivant

Introduction

1- La composition des êtres vivants

2- La biochimie de la vie

2-1- Le monde inerte et le monde vivant

2-2- La richesse en eau du vivant

2-3- les molécules chimiques constitutives des êtres vivants

3- Les cellules sont les unités de bases de tous les êtres vivants

3-1- Les différents types de cellules

3-2- La cellule procaryote

3-3- La cellule eucaryote

A- Quelques exemples d'organismes unicellulaires

B - Quelques exemples de cellules appartenant à des organismes pluricellulaires

4 - Les caractéristiques structurales des cellules eucaryotes

5- L'ADN est le support universel de l'information génétique

5-1- Localisation du support de l'information génétique dans les cellules eucaryotes

5-2- Les expériences de transgénèse confirment l'universalité de la molécule d'ADN

5-3- La nature chimique de la molécule d'ADN

6- La variation génétique repose sur la variabilité de la molécule d'ADN

6-1- Les agents mutagènes

6-2- Transmission des mutations

A- Mutations somatiques

B- Mutations germinales

7- Les caractéristiques fonctionnelles des cellules

7-1- Le contrôle du métabolisme cellulaire par les conditions du milieu

7-2- Le contrôle du métabolisme cellulaire par le patrimoine génétique

7-3- Les nécessaires échanges avec le milieu extérieur

Conclusion

Les éléments avec une bordure continue grise peuvent être trouvés naturellement sur Terre, sous la forme d'un ou plusieurs isotopes stables.

Les éléments avec une bordure en tirets noirs apparaissent naturellement lors de la désintégration d'autres éléments chimiques, mais n'ont pas d'isotopes plus anciens que la Terre.

Les éléments avec une bordure en pointillés bleus sont artificiels (éléments synthétiques), créés par l'Homme.

C'est donc à partir de l'ensemble de ces atomes et des molécules complexes interstellaire (voir introduction) que les molécules de la vie (les briques du vivant) ont émergé.

2- La biochimie de la vie

2-1- Le monde inerte et le monde vivant

Les proportions des éléments chimiques sont différentes dans le monde inerte (qui est sans activité propre ex : les minéraux constitutifs des roches, l'eau de mer...) et dans le monde vivant .

Tableau de comparaison de l'abondance relative des éléments entre le vivant et l'inerte

	ÉLÉMENTS	HOMME	LUZERNE	Écorce terrestre	Eau de mer
ÉLÉMENTS MAJEURS	CARBONE	19,37	11,34	11,03	0,0014
	HYDROGÈNE	9,31	8,72	0,14	66
	AZOTE	5,14	0,825	0,005	-
	OXYGÈNE	62,81	77,35	46,60	33
	PHOSPHORE	0,63	0,71	0,12	0,000002
	SOUFRE	0,64	0,10	0,05	0,017
ÉLÉMENTS BIOGÈNES	CALCIUM	1,38	0,58	3,63	0,006
	SODIUM	0,26	0,03	2,40	0,28
	POTASSIUM	0,22	0,17	2,83	0,006
	MAGNÉSIIUM	0,04	0,08	2,09	0,033
	CHLORE	0,18	0,07	0,02	0,33
OLIGOÉLÉMENTS	FER	0,0050	0,0027	5,00	< 0,1
	SILICIUM	0,0040	0,0093	27,72	
	ZINC	0,0025	0,0004	0,007	
	RUBIDIUM	0,0009	0,0005	-	
	CUIVRE	0,0004	0,0003	0,0045	
	BROME	0,0002	0,0001	-	
	ÉTAIN	0,0001	-	0,10	
	MANGANÈSE	0,0001	0,0004	-	
	IODE	0,0001	-	-	
	ALUMINIUM	0,0001	0,0025	8,13	
	PLOMB	0,0001	-	0,001	

On distingue, en fonction de leur importance chez les êtres vivants, les **éléments majeurs** qui sont en quantité supérieure à 1%, les **éléments biogènes** dont l'importance est moindre, et les **oligoéléments** souvent présents à l'état de traces et dont l'absence entraîne diverses carences.

Le silicium est abondant dans la lithosphère où il forme de très nombreux composés stables tandis que l'azote, rare dans la lithosphère, est un constituant important des êtres vivants.

L'oxygène est un élément commun au monde vivant et au monde minéral.

La liste des éléments les plus abondants de la biosphère peut se résumer symboliquement par la formule CHNOPS (Carbone, Hydrogène, Azote(N), Oxygène, Phosphore, Soufre)

2-2- La richesse en eau du vivant

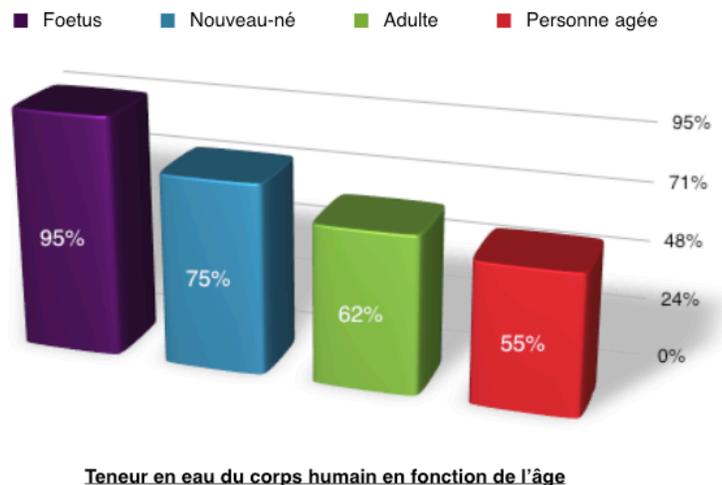
La majorité de l'oxygène et de l'hydrogène contenu dans un organisme vivant est sous la forme d'eau.

Cette eau participe aux réactions chimiques de l'organisme et est un élément stabilisant majeur du monde vivant.

Les êtres vivants sont constitués majoritairement d'eau.

Organisme	% Teneur en eau
Humain	62 %
Méduses	98 %
Escargots	95 %
Grenouilles	78 %
Oiseaux	70-75 %
Insectes	50-80 %
Pommes de Terre	78 %
Tomates	91 %
Œuf	75 %

Pour l'Homme, la quantité d'eau varie en fonction de l'âge



2-3- les molécules chimiques constitutives des êtres vivants

Les éléments chimiques se répartissent dans les diverses molécules chimiques des êtres vivants.

On distingue chez le vivant deux classes de molécules :

- * **Les petites molécules**, matériau de base pour l'édification des macromolécules et du reste des structures cellulaires, qui sont identiques chez tous les êtres vivants.
- * **Les molécules géantes ou macromolécules** dont les types sont relativement peu nombreux, mais dont la structure fine est très variable que ce soit du point de vue de l'individu, de l'organe ou du tissu.

Les constituants de la matière organique peuvent se regrouper en quelques types fondamentaux :

- * **Les glucides** formés essentiellement de Carbone, Oxygène et Hydrogène.
- * **Les lipides** formés essentiellement de Carbone et d'Hydrogène.
- * **Les Acides aminés** (au nombre de 20 sur Terre), formés essentiellement de Carbone, Oxygène, Azote et Hydrogène. Les acides aminés liés les uns aux autres constituent les protéines.
- * **Les nucléotides** formés essentiellement d'Azote et de Carbone.

Bilan :

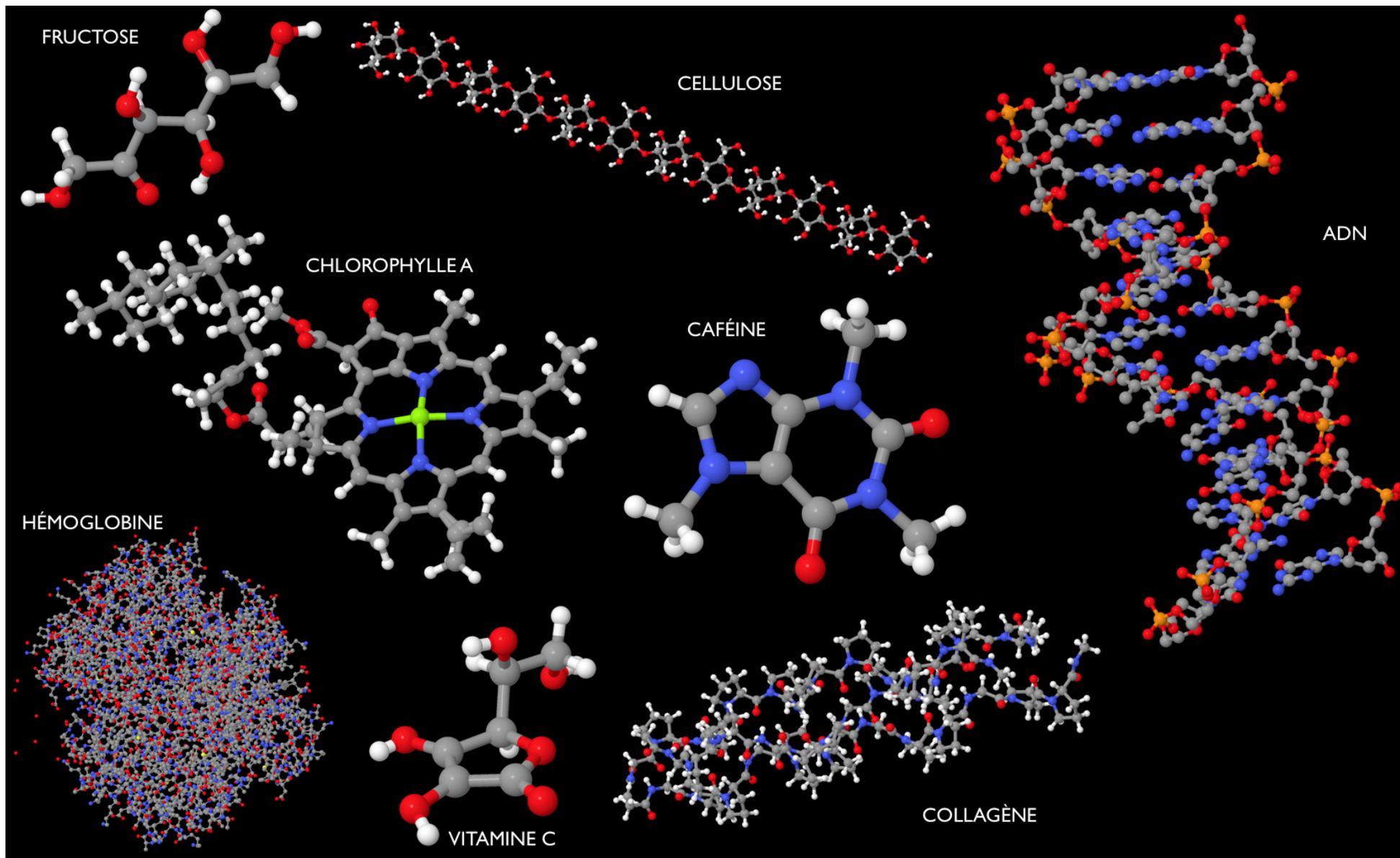
La matière organique caractéristique des êtres vivants est matérialisée par un nombre restreint de catégories moléculaires. Ce constat peut justifier l'idée d'une relative unité chimique du vivant. Cette unité chimique des êtres vivants est un indice de leur parenté.

De nombreux logiciels (Rasmol, Rastop, Jmol, Chime....) permettent de visualiser la structure en 3 dimensions des molécules organiques ou inorganiques.

Un code couleur permettant de reconnaître les différents atomes a été adopté par la plus part des logiciels.

Elément	Couleur
carbone	gris clair
oxygène	rouge
hydrogène	blanc
azote	bleu clair
soufre	jaune
phosphore	orange
chlore	vert
brome, zinc	marron
sodium	bleu
fer	violet
calcium, métaux	gris foncé
inconnu	rose profond

Voici quelques exemples de molécules biologiques produites par les êtres vivants :



3- Les cellules sont les unités de bases de tous les êtres vivants

La cellule (du latin *cellula* qui signifie petite chambre) est l'unité structurale des êtres vivants. Elle constitue l'unité de base de la construction d'un organisme.

Les êtres vivants peuvent être composés :

- D'une seule cellule : **état unicellulaire** (organisme unicellulaire).
- De plusieurs cellules : **état pluricellulaire** (organisme pluricellulaire).

3-1-Les différents types de cellules

Il existe deux types fondamentaux de cellules selon qu'elles possèdent dans le milieu intracellulaire un noyau séparé par une membrane :

- **Les cellules procaryotes** ne possèdent pas de noyau vrai (leur matériel génétique n'est pas individualisé dans un compartiment spécial), ce sont exclusivement des organismes unicellulaires : les bactéries par exemple.
- **Les cellules eucaryotes** : possèdent à l'intérieur du compartiment intracellulaire un noyau délimité par une membrane. Ce sont des organismes qui peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires.

Les cellules sont toutes délimitées par une **membrane plasmique** qui définit deux compartiments :

- Un **compartiment intracellulaire** à l'intérieur de la cellule.
- Un **compartiment extracellulaire** à l'extérieur de la cellule.

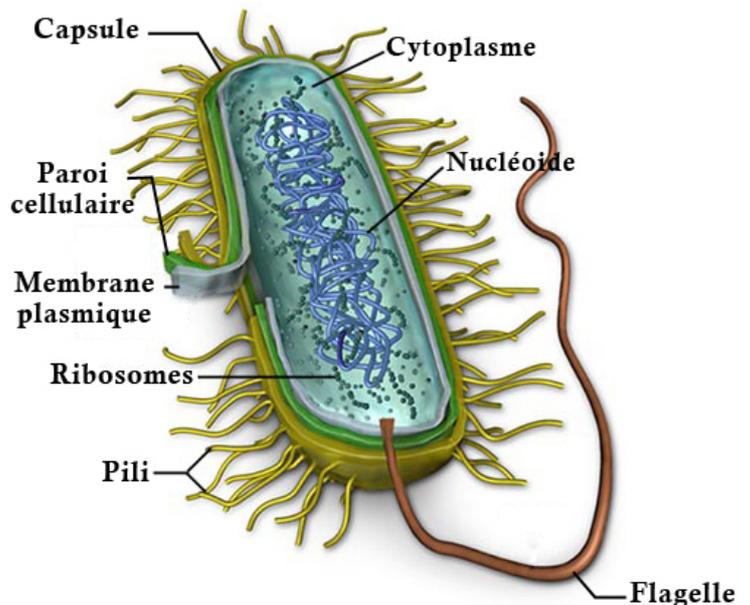
3-2-La cellule procaryote

Un procaryote (du latin pro, «avant» et du grec karuon, «noyau») est un être vivant dont les cellules ne comportent pas de noyau ni d'autres organites.

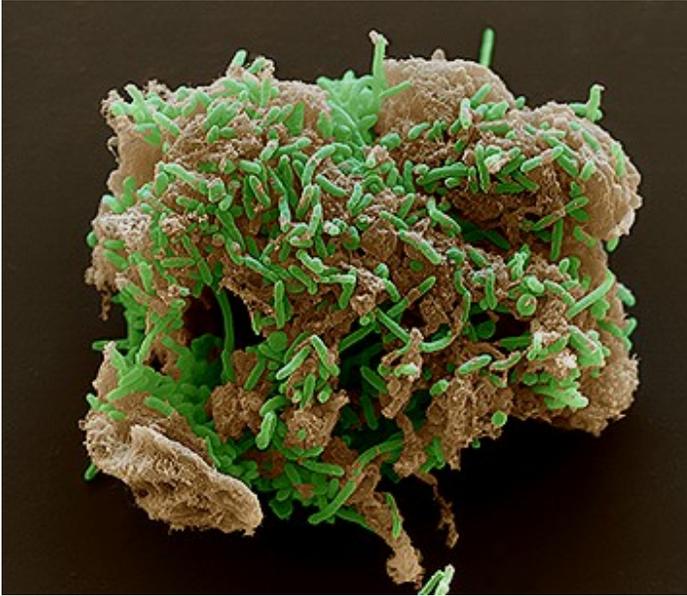
Les premiers procaryotes étaient peut-être déjà présents il y a plus de 3,6 milliards d'années.

Schéma d'une cellule de procaryote type

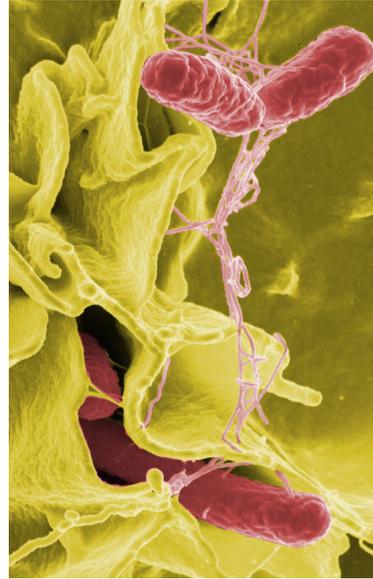
(tous les procaryotes ne possèdent pas l'association de l'ensemble des structures cellulaires présentes sur le schéma)



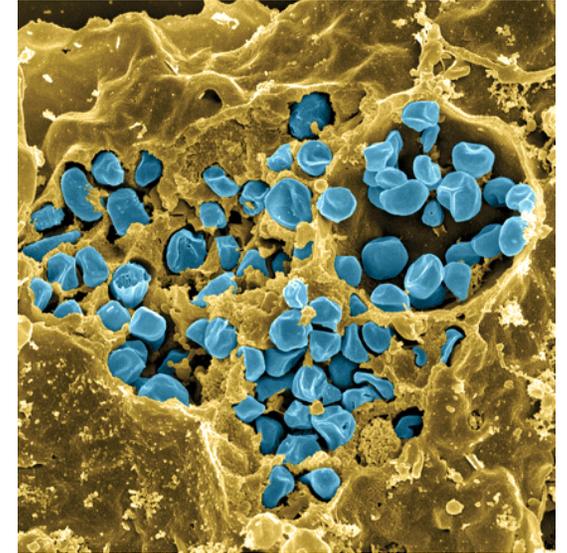
Quelques exemples de cellules procaryotes



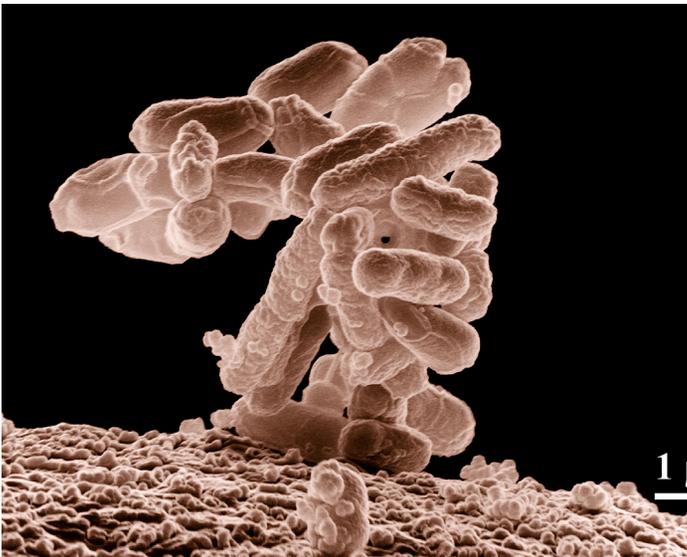
Metallireducens bacteria



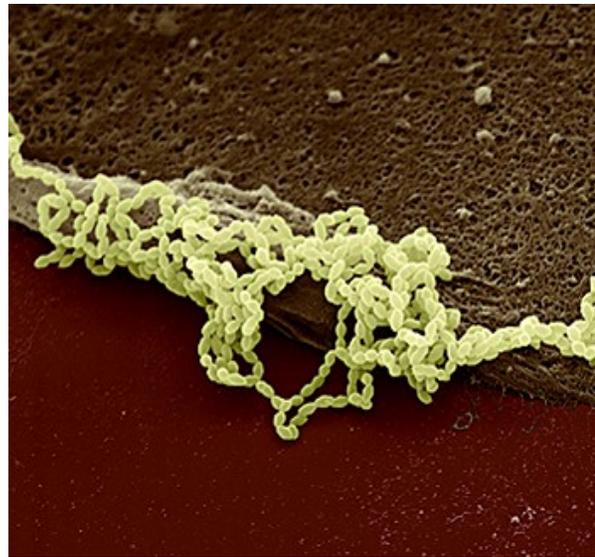
Salmonella sp.



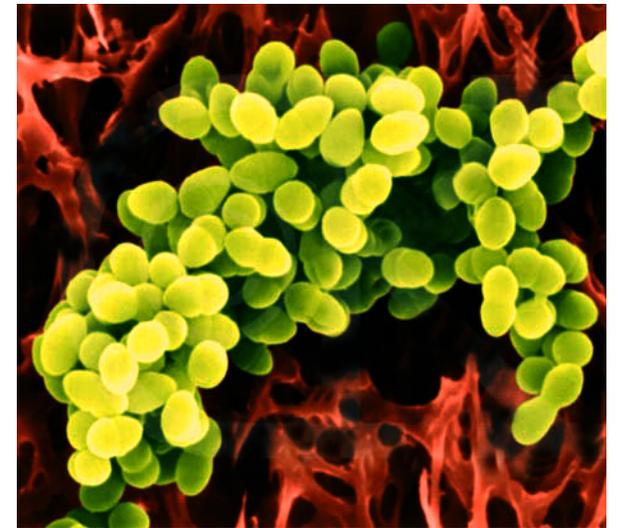
Francisella tularensis



Escherichia coli



Streptococcus pneumoniae



Staphylococcus sp.

3-3- La cellule eucaryote

La majorité des organismes vivants actuellement répertoriés sont des eucaryotes. Leurs tailles et leurs complexités sont très variables, allant de l'organisme unicellulaire à des pluricellulaires hautement organisé, comme le séquoia ou une baleine.

Par souci de simplification, nous regrouperons les organismes eucaryotes en 4 grandes « familles » : les animaux, les végétaux, les champignons et les protistes. (Remarque : cette classification est arbitraire et ne correspond pas à la classification phylogénétique actuelle, que vous apprendrez plus tard)

A- Quelques exemples d'organismes unicellulaires



Spirogyra sp.



Amoeba proteus



Arcella sp

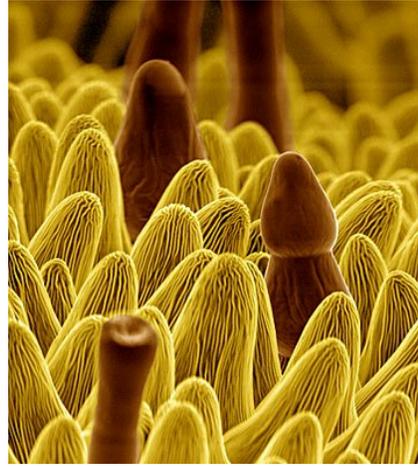


Euglena clavata

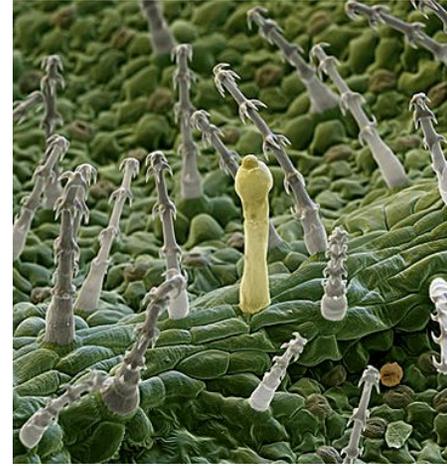
B - Quelques exemples de cellules appartenant à des organismes pluricellulaires



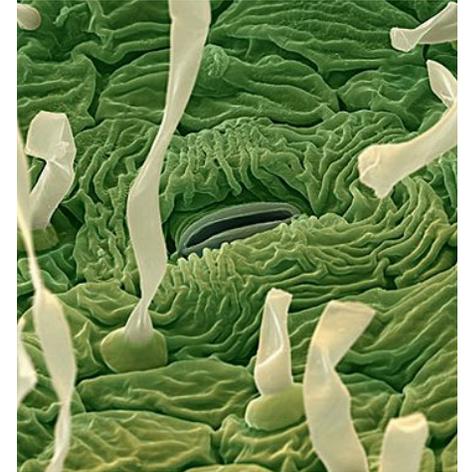
Daphnia sp.



Cellules épidermiques
Primula veris



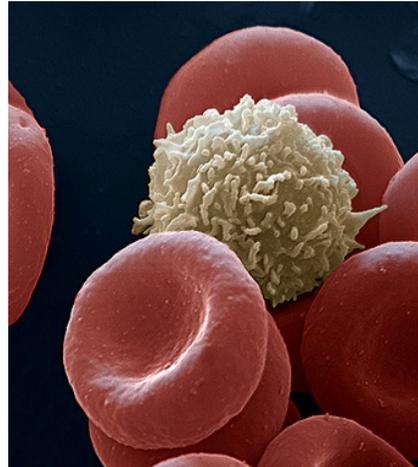
Cellule épidermique
Loasacea sp.



Cellules épidermiques de
Kleina tomentosa



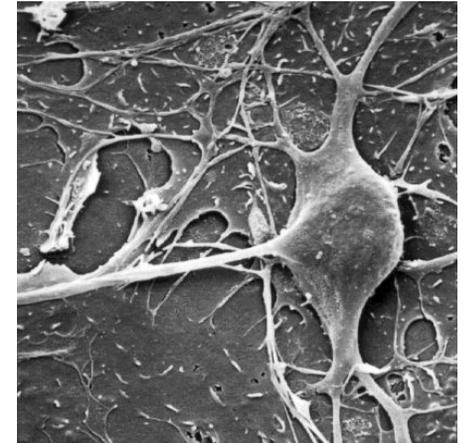
Macrophages humains
attaquant un parasite



Hématies et lymphocyte
humain



Aspergillus fumigatus



Neurone de rat

4 - Les caractéristiques structurales des cellules eucaryotes

Les organismes eucaryotes (du grec eu, «vrai», et du grec karuon, «noyau») sont caractérisés principalement par des cellules séparées du milieu extérieur par une membrane : la **membrane plasmique** ou **membrane cellulaire**.

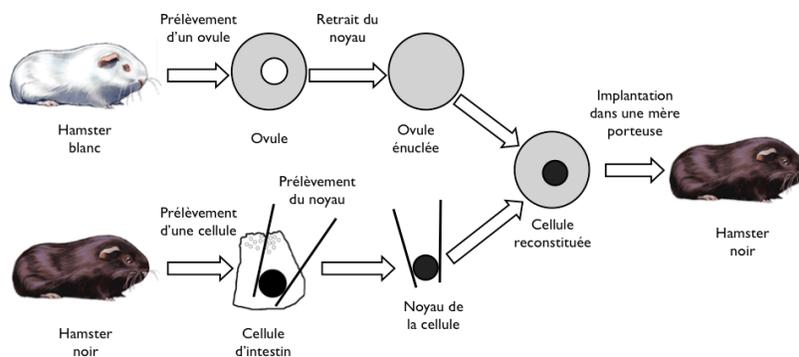
Elles possèdent également un **noyau** délimité par une membrane, la **membrane nucléaire**.

Le compartiment intracellulaire comprend de nombreux **organites**, des éléments intracellulaires spécialisés qui sont délimités par une ou deux membranes qui « baignent » dans un liquide appelé **cytosol**. L'ensemble des organites plus le cytosol constitue le **cytoplasme**.

La plupart des organites sont présents chez les cellules eucaryotes animales et végétales, certains cependant sont spécifiques des cellules végétales.

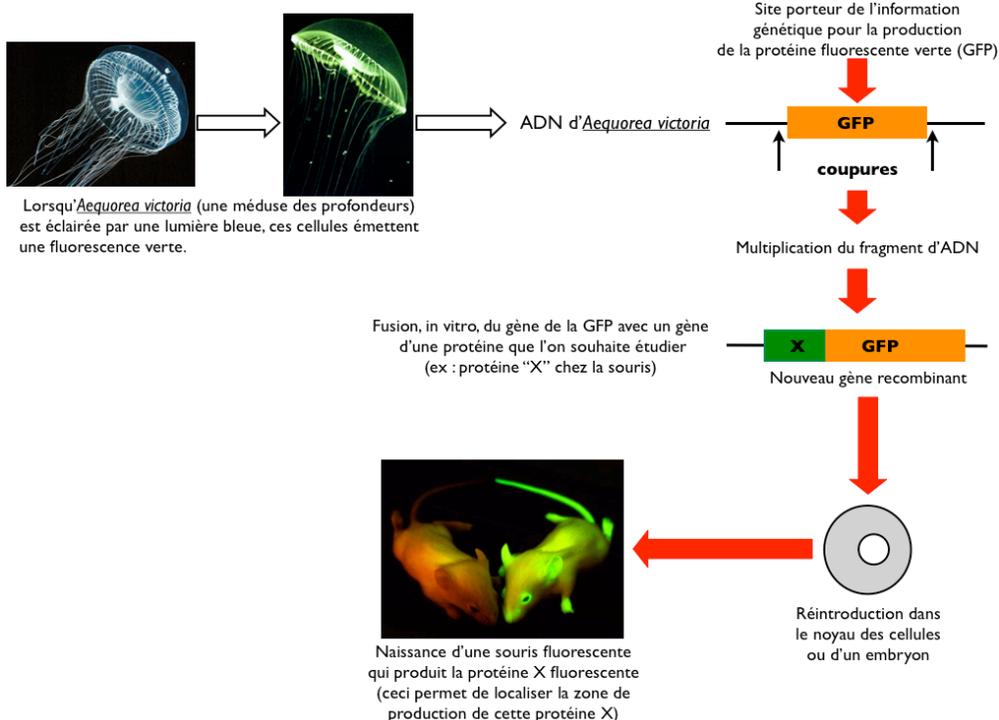
5- L'ADN est le support universel de l'information génétique

5-1- Localisation du support de l'information génétique dans les cellules eucaryotes



Le **programme génétique** d'un individu (caractéristiques physiques, métaboliques, etc.) est contenu dans le **noyau des cellules eucaryotes**.

5-2- Les expériences de transgènèse confirment l'universalité de la molécule d'ADN



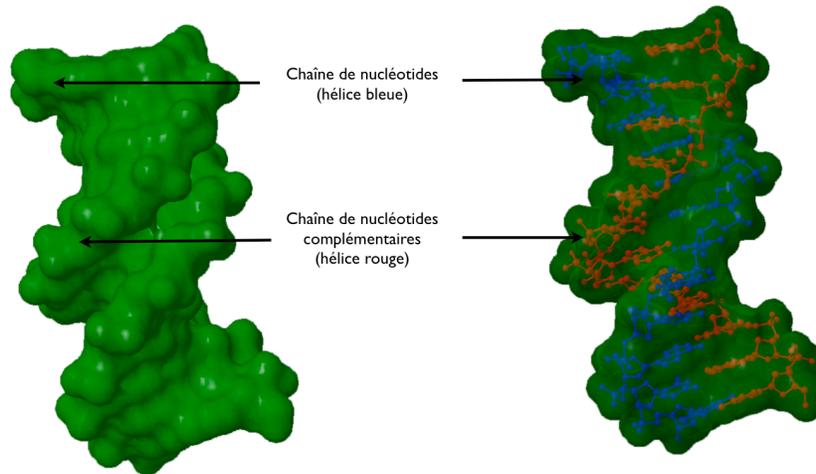
La transgènèse consiste à transférer un gène d'une espèce à une autre.

Le gène transféré s'exprime normalement, ce qui démontre l'universalité de la **molécule d'ADN** en tant que **support de l'information génétique**.

5-3-La nature chimique de la molécule d'ADN

Une molécule d'ADN est formée de deux chaînes (ou brins) enroulées l'une autour de l'autre en double hélice.

Structure en double hélice de la molécule d'ADN

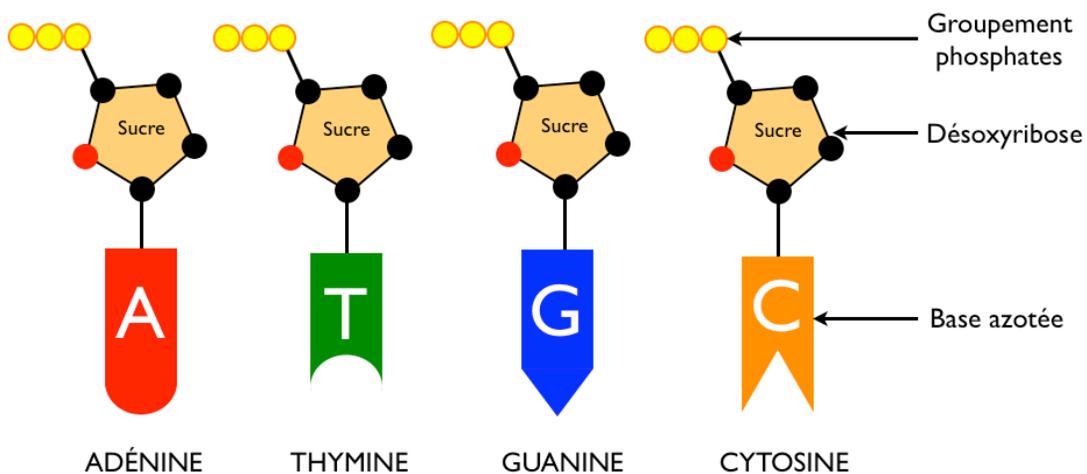


Chaque brin est constitué de l'assemblage d'unités élémentaires appelées **nucléotides**.

Un nucléotide est formé par l'association de trois types de molécules différentes :

- Un sucre : **le désoxyribose**
- **Un acide phosphorique**
- **Une base azotée.**

Il existe 4 bases azotées différentes, donc 4 nucléotides différents : Adénine, Thymine, Guanine, Cytosine



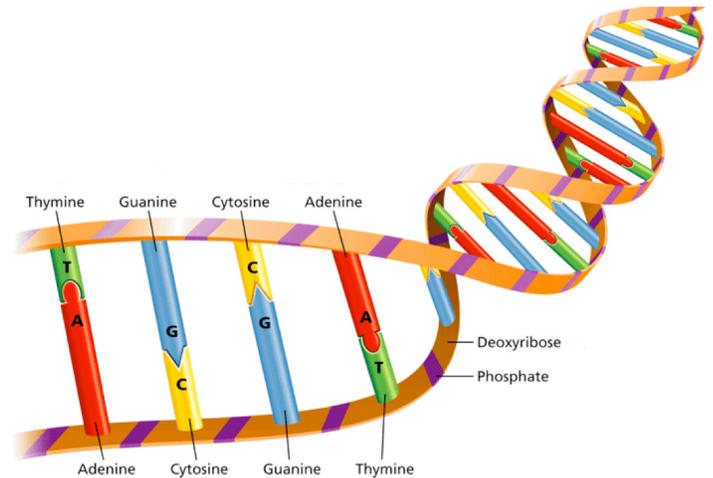
Pour former la double hélice, les nucléotides s'associent deux à deux (par complémentarités de bases).

- L'**Adénine** s'associe à la **Thymine** par 2 liaisons hydrogènes (liaisons faibles)
- La **Cytosine** s'associe à la **Guanine** par 3 liaisons hydrogènes.

La molécule d'ADN est donc formée de deux chaînes complémentaires de nucléotides enroulées en double hélice.

Schéma de la double hélice d'ADN.

La succession des nucléotides au sein de chaque chaîne est liée au hasard et ne dépend pas des nucléotides qui l'encadrent.



6- La variation génétique repose sur la variabilité de la molécule d'ADN

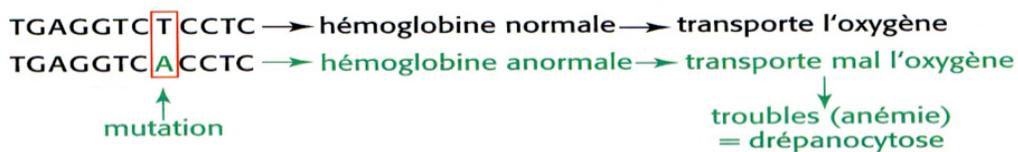
Chaque enchaînement de nucléotides ou séquences d'ADN constitue une **version du gène**, aussi appelée **allèle**.

L'information génétique est contenue dans la **séquence des nucléotides de l'ADN** (la suite des nucléotides au sein d'un brin de la molécule d'ADN).

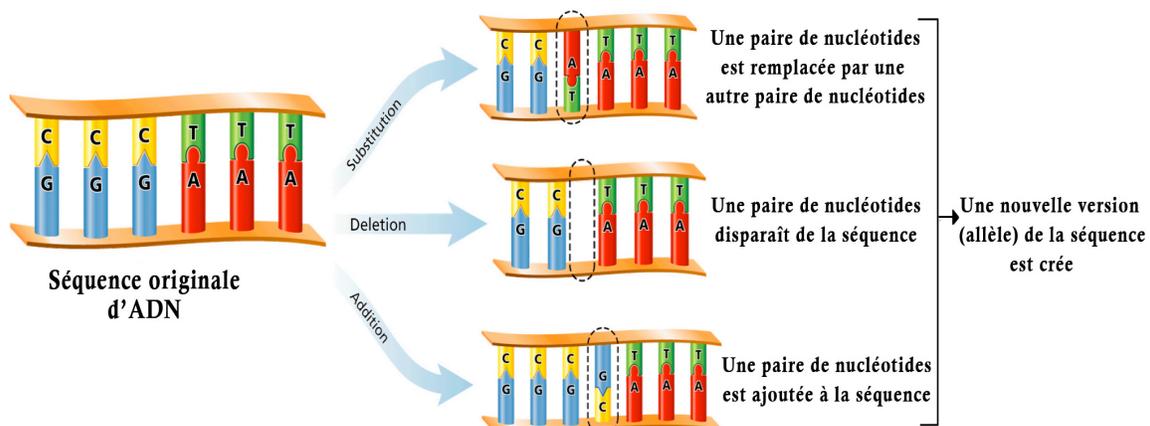
Le changement d'un seul nucléotide de l'ADN peut entraîner la modification d'un acide aminé de la protéine correspondante.

Ce changement d'un seul acide aminé modifie la structure de la protéine et altère son fonctionnement.

Deux portions du gène de l'hémoglobine



L'enchaînement des nucléotides de l'ADN peut être modifié : on parle alors de **mutation**. Les mutations sont à l'origine des nouveaux allèles des gènes. Les mutations sont donc à l'origine de la variabilité génétique au sein des espèces (par exemple : couleur des cheveux noir, blond, brun...).



6-1-Les agents mutagènes

Les mutations sont des évènements qui se produisent naturellement et continuellement au sein de la molécule d'ADN. Certains agents de l'environnement appelés **agents mutagènes** augmentent les fréquences des mutations.

Il existe :

- *Des agents physiques* : rayons X, radioactivités, rayons ultra-violet, rayons cosmiques,
- *Des agents chimiques* : benzène, nitrosamine, toluène, amiante...
- *Des agents biologiques* : les virus...

6-2- Transmission des mutations

Un gène s'exprime par une protéine. À chaque allèle (versions d'un gène) correspond donc une version de la protéine. Ce caractère est héréditaire, il se transmet de génération en génération.

La séquence des nucléotides au sein d'un gène constitue **un message** qui contrôle **un caractère** héréditaire.

Une cellule mutée transmet son patrimoine génétique à ses cellules filles : on obtient alors un clone de cellules mutées.

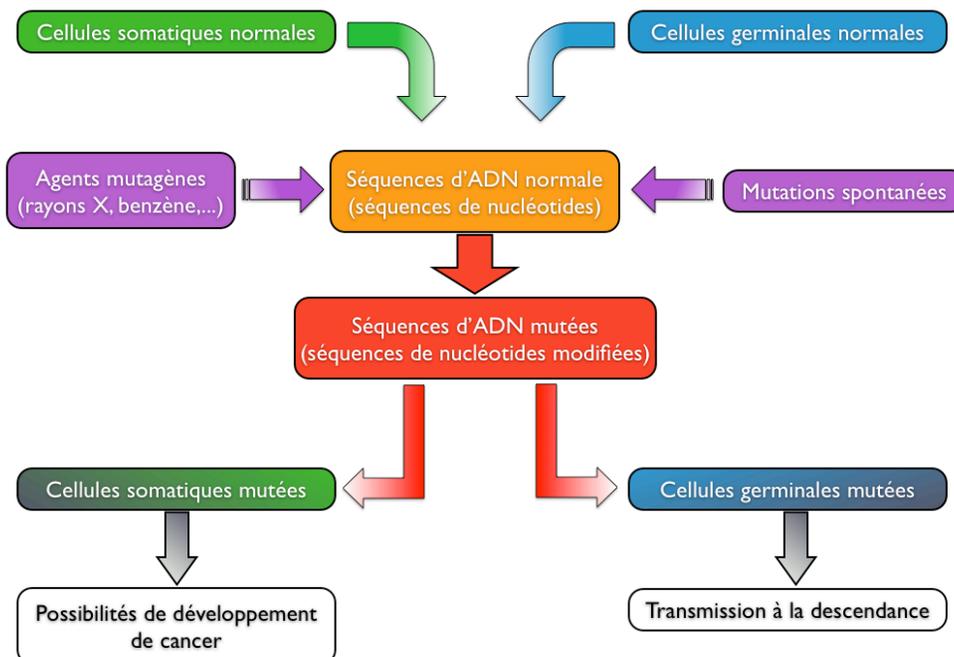
La conséquence d'une mutation est différente selon le type de cellules qu'elle affecte :

A- Mutations somatiques

Les cellules somatiques (*soma*, « corps ») sont les cellules de l'ensemble du corps. Les mutations somatiques n'ont de conséquences qu'au niveau de l'organisme porteur de la mutation.

B- Mutations germinales

Les cellules germinales ou germes, sont issues des cellules souches et peuvent former les spermatozoïdes et ovules). Les mutations germinales peuvent donc se retrouver portée par une cellule œuf à l'origine d'un nouvel individu. Cette mutation va alors se transmettre de génération en génération.



Aujourd'hui, la plupart des gènes possèdent plusieurs allèles : ces allèles sont nés par mutation au cours de l'évolution des espèces.

7- Les caractéristiques fonctionnelles des cellules

Les cellules sont également des unités de vie.

Le **métabolisme** regroupe l'ensemble des réactions biochimiques qui se déroulent dans le milieu intracellulaire.

Deux types de réactions sont à distinguer :

- **Les réactions de synthèses (anabolisme)** par exemple la synthèse d'une protéine
- **Les réactions de dégradation (catabolisme)** par exemple la dégradation du glucose en CO₂ et H₂O avec production d'énergie.

7-1-Le contrôle du métabolisme cellulaire par les conditions du milieu

Exemple d'une Expérience historique :

Pasteur en 1857 a montré que la Levure de Bière (*Saccharomyces cerevisiae*), un Ascomycète (famille de « champignons »), cultivée à la surface d'une solution de glucose bien aérée, se développe abondamment en se multipliant (prolifère) en absorbant de l'oxygène et en rejetant du dioxyde de carbone. On dit que la Levure est en aérobiose, elle **respire**.

Lorsque l'on place ces mêmes Levures (*Saccharomyces cerevisiae*), dans un flacon clos, la Levure après avoir épuisé le peu de dioxygène laissé à sa disposition, **fermente**. Cette fermentation se traduit par une consommation de glucose et un dégagement de CO₂ avec apparition d'alcool éthylique (éthanol) aisément reconnaissable à son odeur.

Le passage de la respiration à la fermentation est réversible : la Levure remise en présence d'air respire de nouveau. Cette alternance possible constitue l'**effet Pasteur**.

(La fermentation est une fonction générale présente chez tous les tissus végétaux placés en conditions sans oxygène. Mais contrairement à la Levure cette fonction ne permet pas la croissance, mais simplement la survie temporaire du tissu végétal).

Organisme concerné	Conditions du milieu	Métabolisme
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Glucose + Dioxygène (O ₂)	RESPIRATION Consommation O ₂ et glucose et production de CO ₂ et de matières organiques
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Glucose et absence de dioxygène	FERMENTATION Consommation de glucose et production de CO ₂ et d'alcool (éthanol)

Bilan :

Les conditions du milieu (ici présence ou absence de dioxygène) contrôlent le déroulement des activités métaboliques (respiration ou fermentation) chez la Levure (*Saccharomyces cerevisiae*)

7-2- Le contrôle du métabolisme cellulaire par le patrimoine génétique

Exemple chez la Levure :

Chez la Levure (*Saccharomyces cerevisiae*), on connaît des souches qui diffèrent par la couleur des colonies qu'elles forment sur milieu solide, colonies blanc crème pour la souche sauvage, colonies rose-rouge pour une souche mutante.

Cette différence au niveau du **phénotype** (ensemble des caractères observables d'un individu) macroscopique entre les deux souches de Levures est due à une différence biochimique en rapport avec la capacité à synthétiser ou non de l'adénine (un acide aminé) à partir de précurseurs (éléments de bases servant à la production d'adénine) présents dans le milieu.

La chaîne de biosynthèse (« fabrication ») de l'adénine est très complexe et comprend de très nombreuses étapes.

Chez la souche mutante à colonies rouges, elle est interrompue à une étape où le produit intermédiaire formé (AIR) est de teinte rose (en milieu aérobie). C'est son accumulation dans une cellule de Levure qui confère à celle-ci une couleur légèrement rose (la couleur rouge de la colonie est due à un effet de masse).

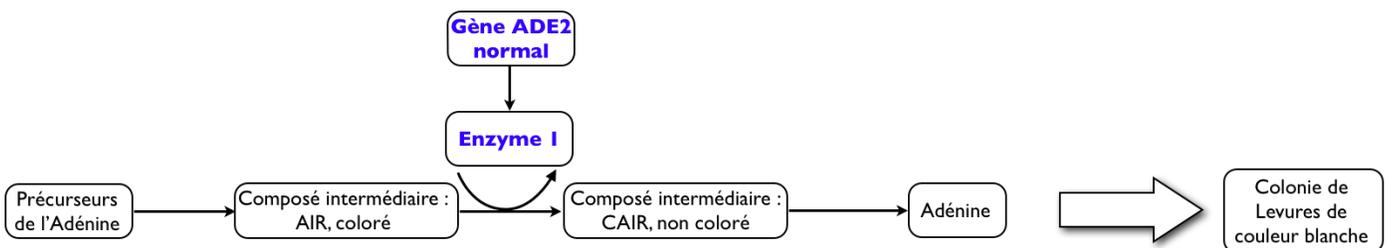
N. B. L'adénine (constituant fondamental de l'ATP, des ARN et de l'ADN) est indispensable pour la croissance des Levures, et donc la formation de colonies.

Dans le cas d'un milieu de culture où la quantité d'adénine et la quantité d'éléments précurseurs sont modérés, la formation de colonies de Levures mutantes est possible. En conséquence, les Levures mutantes croissent, se multiplient tout en accumulant le produit intermédiaire, d'où la couleur rouge.

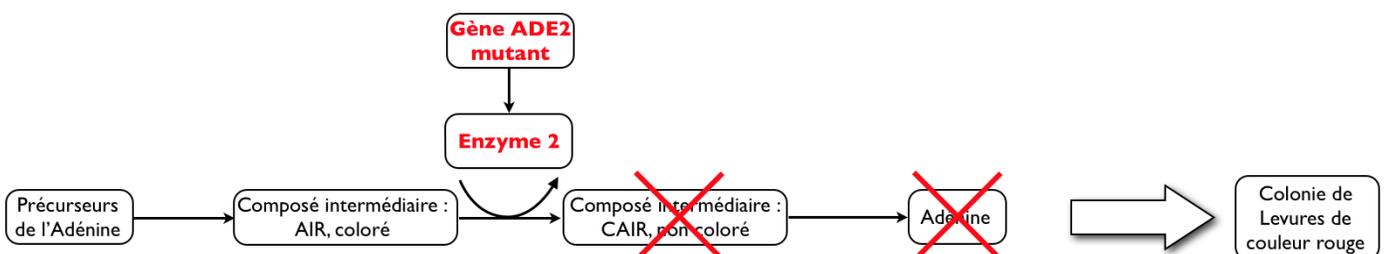
Le gène ADE2 code pour une enzyme (une protéine active) qui transforme le produit intermédiaire coloré (AIR) en un composé CAIR non coloré.

Le blocage de cette étape est dû à une mutation dans le gène ADE2.

Mécanismes en jeu lors de la production d'une colonie de Levures de couleur blanche (Phénotype sauvage)



Mécanismes en jeu lors de la production d'une colonie de Levures de couleur rouge (Phénotype mutant)



Les séquences de l'allèle sauvage et d'allèles mutés du gène ADE2 ont été établies.

Organisme concerné	Couleur de la colonie	Séquence du gène ADE2	Position et nature du changement
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	BLANCHE	GGTAATACTAGATGCTGAAAATTCTCTCC	Le nucléotide numéro 102 est un G
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	ROUGE	GGTAATACTAGATGCTTAAAATTCTCTCC	Le nucléotide numéro 102 est un T

Bilan :

La capacité à utiliser ou non les précurseurs de l'Adénine disponible dans le milieu est donc chez la Levure (*Saccharomyces cerevisiae*) une propriété liée au patrimoine génétique.

7-3- Les nécessaires échanges avec le milieu extérieur

La cellule constitue une unité spatiale, délimitée par une membrane. Celle-ci, loin d'être hermétique, constitue une surface d'échanges permettant la mise en place de flux.

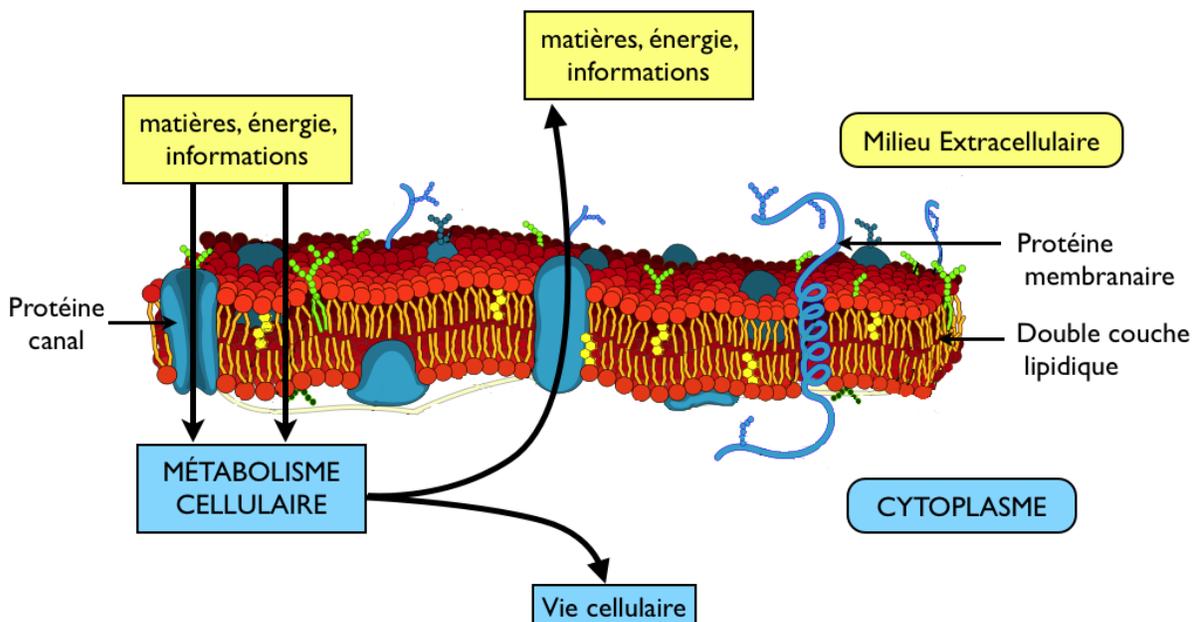
Les membranes plasmiques malgré leur diversité possèdent, sauf exceptions, une structure identique :

- **une double couche de lipides**, qui constitue un filtre de base permettant le passage des substances hydrophobes (qui n'aime pas l'eau), freinant celui des hydrophiles (qui aime l'eau).
- **Des protéines membranaires** aux rôles divers (transferts, transport...)

En tant que surface de contact avec l'extérieur (air, eau, milieu extracellulaire...), elle assure aussi la transmission d'informations nécessaires à la réactivité de la cellule aux changements de l'environnement et à la coordination avec d'autres cellules. Elle permet aussi le passage de la lumière, de la chaleur...

Cette structure de base (une membrane organisant les échanges entourant un compartiment, lieu de réactions chimiques spécifiques) va permettre la mise en place et le maintien de flux de matière, d'énergie, d'information... traversant la cellule.

Schéma simplifié des flux de part et d'autre d'une membrane cellulaire de cellule eucaryote animale



Conclusion

Les êtres vivants sont constitués d'éléments chimiques disponibles sur le globe terrestre. Leurs proportions sont différentes dans le monde inerte et dans le monde vivant. Ces éléments chimiques se répartissent dans les diverses molécules constitutives des êtres vivants.

Les êtres vivants se caractérisent par leur matière carbonée et leur richesse en eau. L'unité chimique des êtres vivants est un indice de leur parenté.

De nombreuses transformations chimiques se déroulent à l'intérieur de la cellule : elles constituent le métabolisme. Il est contrôlé par les conditions du milieu et par le patrimoine génétique.

La cellule est un espace limité par une membrane qui échange de la matière et de l'énergie avec son environnement. Cette unité structurale et fonctionnelle commune à tous les êtres vivants est un indice de leur parenté.

La transgénèse montre que l'information génétique est contenue dans la molécule d'ADN et qu'elle y est inscrite dans un langage universel. La variation génétique repose sur la variabilité de la molécule d'ADN (mutation).

L'universalité du rôle de l'ADN est un indice de la parenté des êtres vivants.