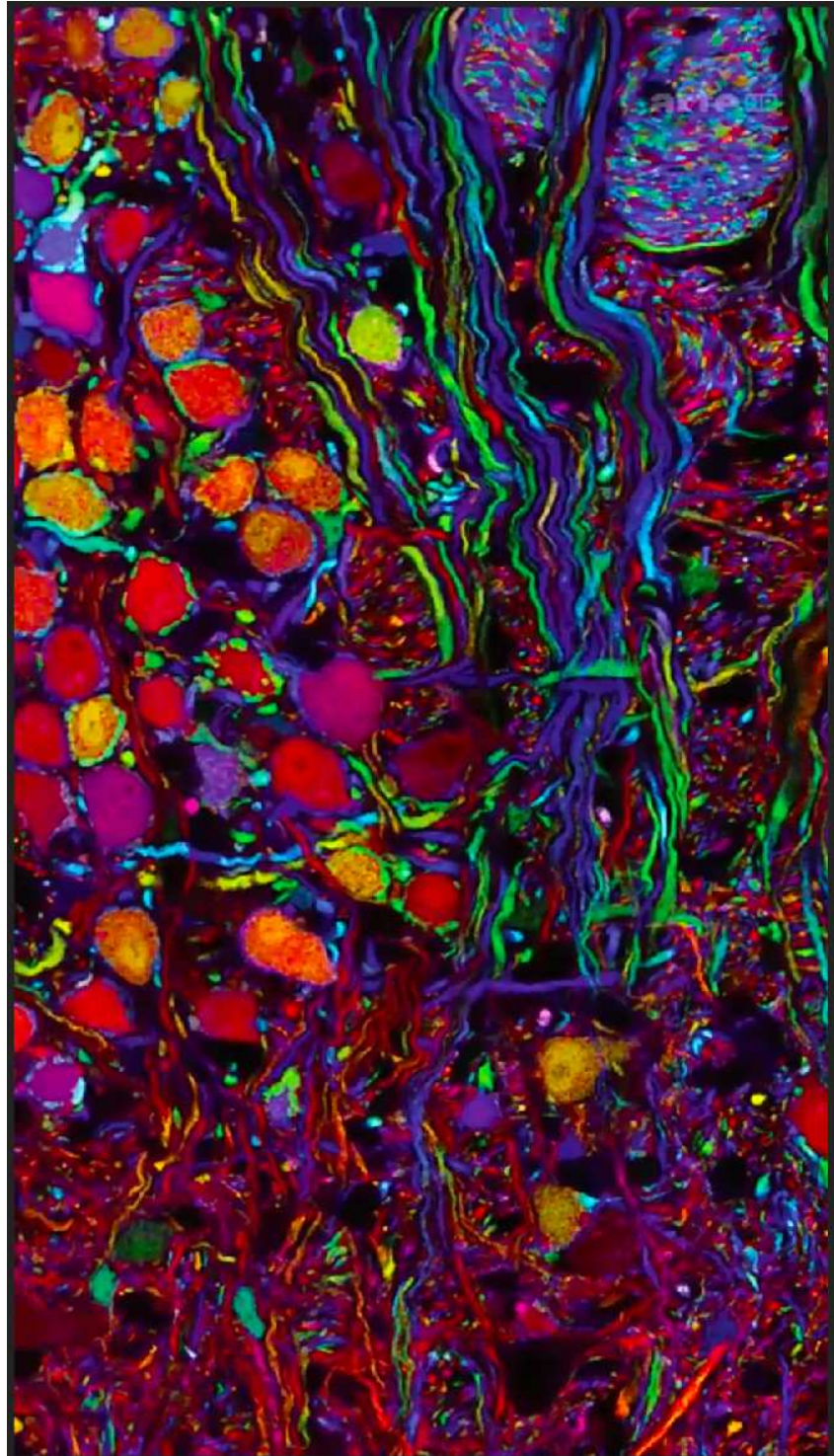
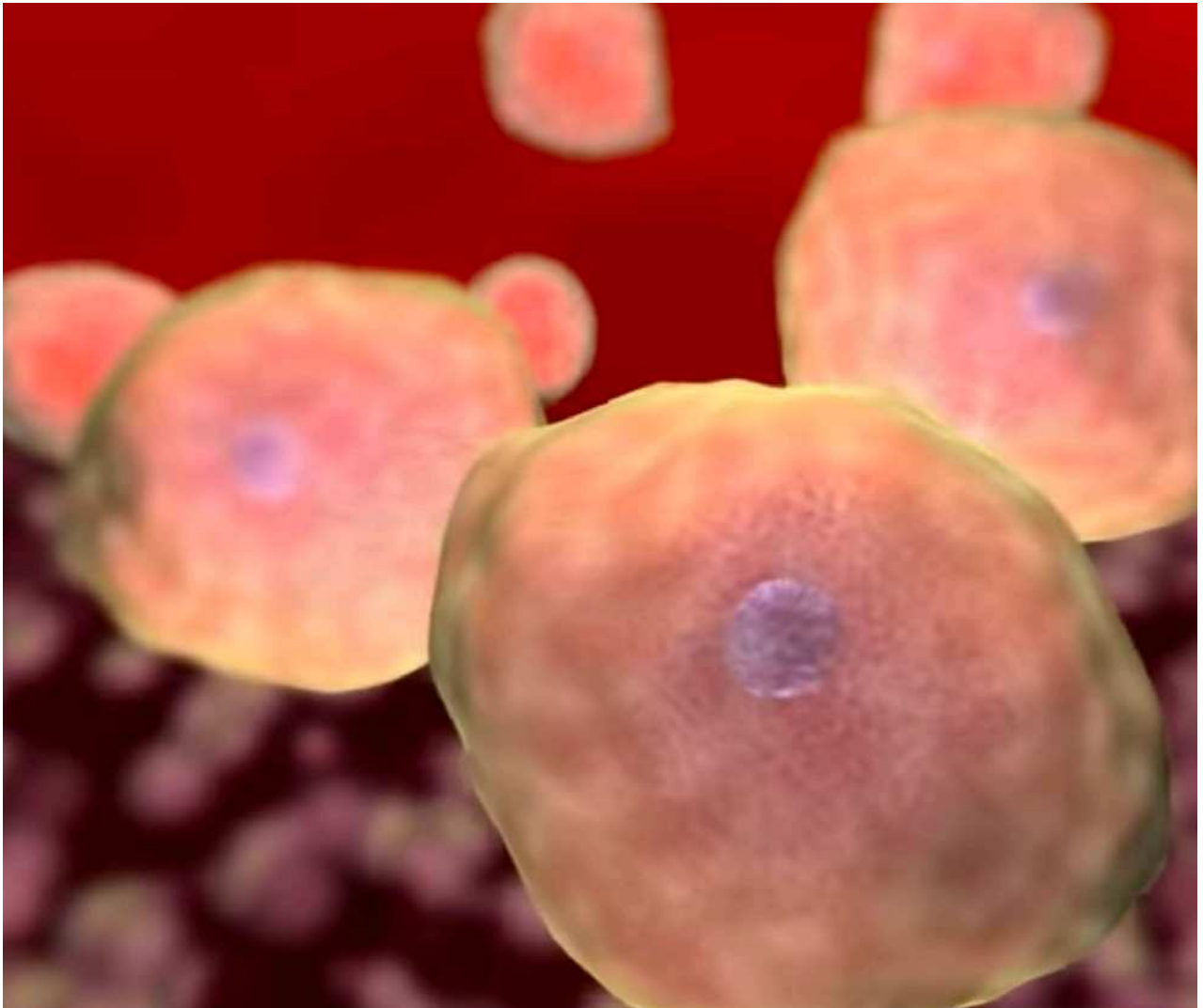


# Chapitre IV : Le fonctionnement interne des êtres vivants



Cerveau génétiquement modifié, afin de produire des neurones colorés et fluorescents

# 1. L'intérieur d'une cellule



Il n'y a rien de plus familier qu'un corps humain et pourtant son fonctionnement est très mal connu par tout un chacun. Si l'on y regarde de plus près, son anatomie est impressionnante et très complexe.

Son mécanisme est une pure merveille, sa gamme de sens exceptionnelle, sa faculté de compréhension prodigieuse. L'être vivant accomplit une succession de miracles avec ses outils, ses moteurs, son infrastructure, ses autoroutes et ses circuits : 200 000 battements de cœur au cours d'une journée, 10 000 clignements de paupières...

La cellule est l'unité biologique fondamentale de tous les êtres vivants connus.

C'est la plus petite entité vivante capable de se reproduire **de façon autonome**.

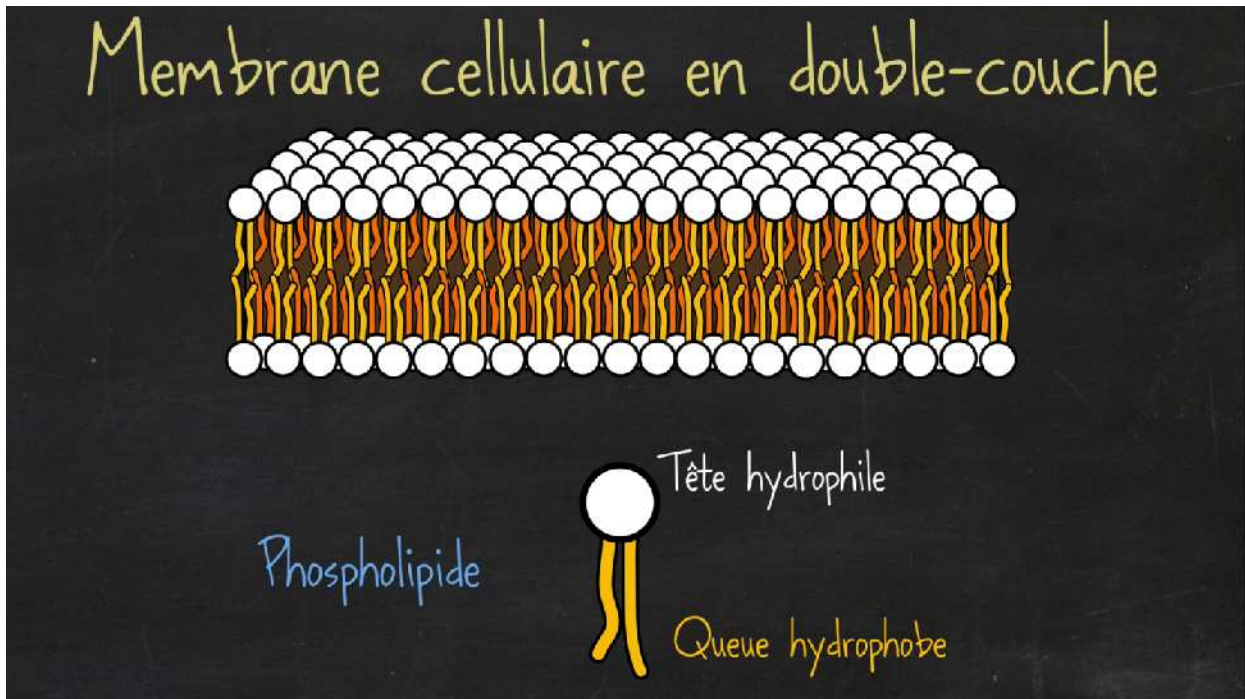
Il en existe plus de 200 sortes : des cellules nerveuses, des cellules de peau, des cellules de muscles ou encore des cellules de cœur.

Pour étudier les cellules, on les met en culture, elles sont isolées à partir d'organismes vivants et maintenues en vie dans un milieu nutritif.

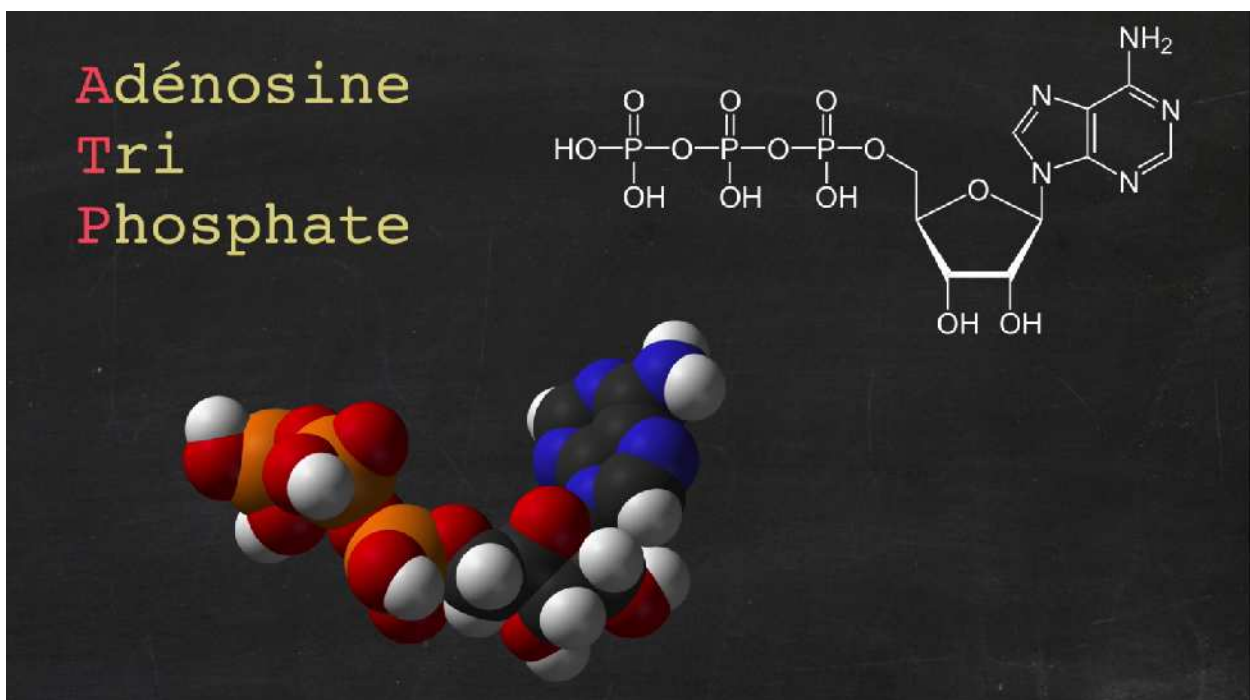
Elles se reproduisent à l'infini et on peut les amener, les contraindre à se différencier.

Dès la mise en culture, après un petit temps de latence, les cellules se reconnaissent et établissent des connexions.

Un chat, un concombre, du corail, de la levure de boulanger, un humain, malgré leur apparence extérieure si différente, tous sont composés de cellules vivantes. Et si l'on était capable de plonger jusqu'à l'intérieur de ces cellules, de nager dedans, on aurait probablement un peu de mal à faire la différence entre ces différents organismes car toutes les cellules vivantes partagent en effet un certain nombre de traits communs. Si leurs tailles peuvent varier d'un organisme à un autre, au sein du même organisme, **toutes les cellules vivantes sont délimitées de la même façon par une membrane faite d'une double couche de lipides.**



Ce qu'on trouve à l'intérieur de ces cellules va évidemment dépendre de l'espèce mais il existe un certain nombre de processus que l'on retrouve à l'identique, que ce soit un humain ou une tomate. Les cellules ont par exemple besoin d'énergie pour fonctionner et dans l'ensemble du monde vivant, cette énergie est stockée par la même molécule, l'ATP.



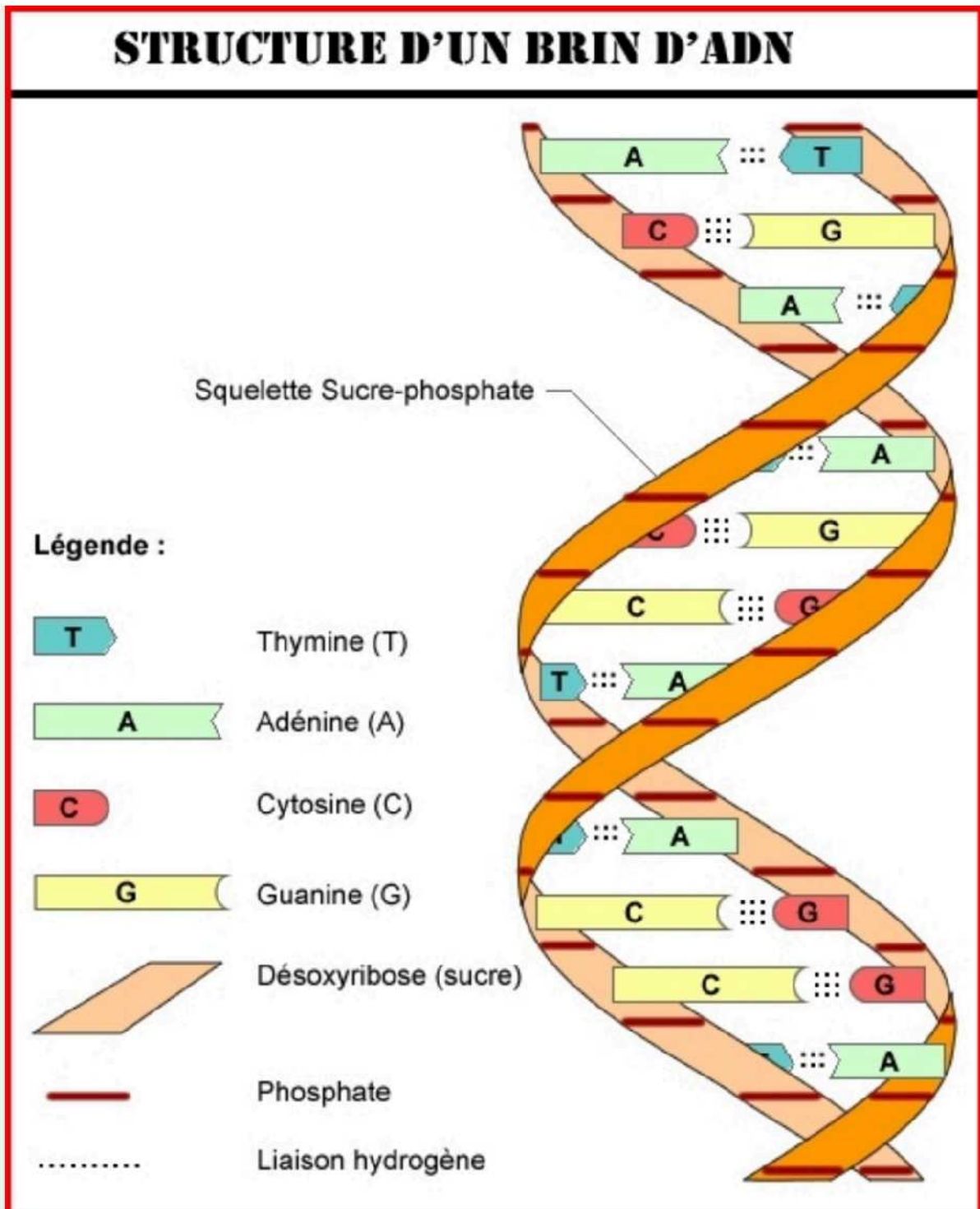
L'ATP, l'adénosine triphosphate, de son petit nom, est une **molécule que l'on appelle la monnaie énergétique de la cellule**. Chez tous les êtres vivants, elle est au cœur du métabolisme en étant sans cesse transportée, consommée et régénérée par les différents processus à l'œuvre dans une cellule.

A cet instant dans votre corps, l'ensemble de vos cellules contiennent au total quelques centaines de grammes d'ATP mais au cours d'une journée, c'est l'équivalent de votre poids en ATP qui sera consommé et produit par votre corps.

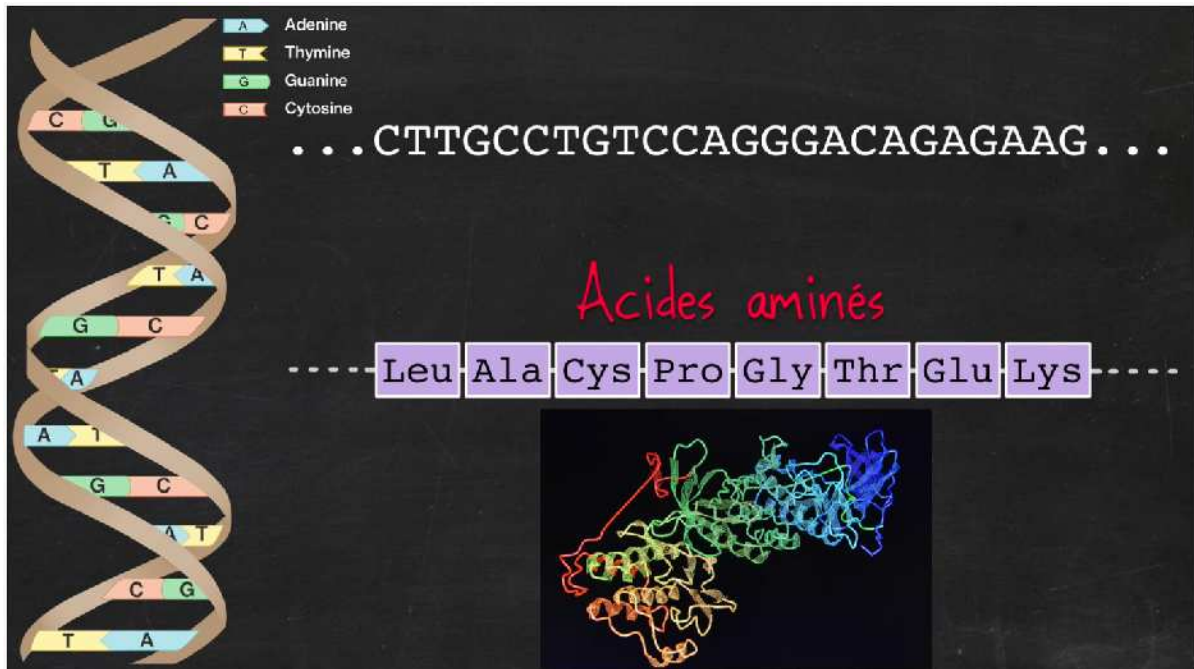
Voilà un trait que l'on retrouve chez tous les êtres vivants que l'on connaît.

Bien sûr, un autre point commun à l'ensemble du monde vivant est évidemment l'ADN.

Cette longue molécule sert de support pour les gènes, grâce à la séquence de ses bases : les ACGT.

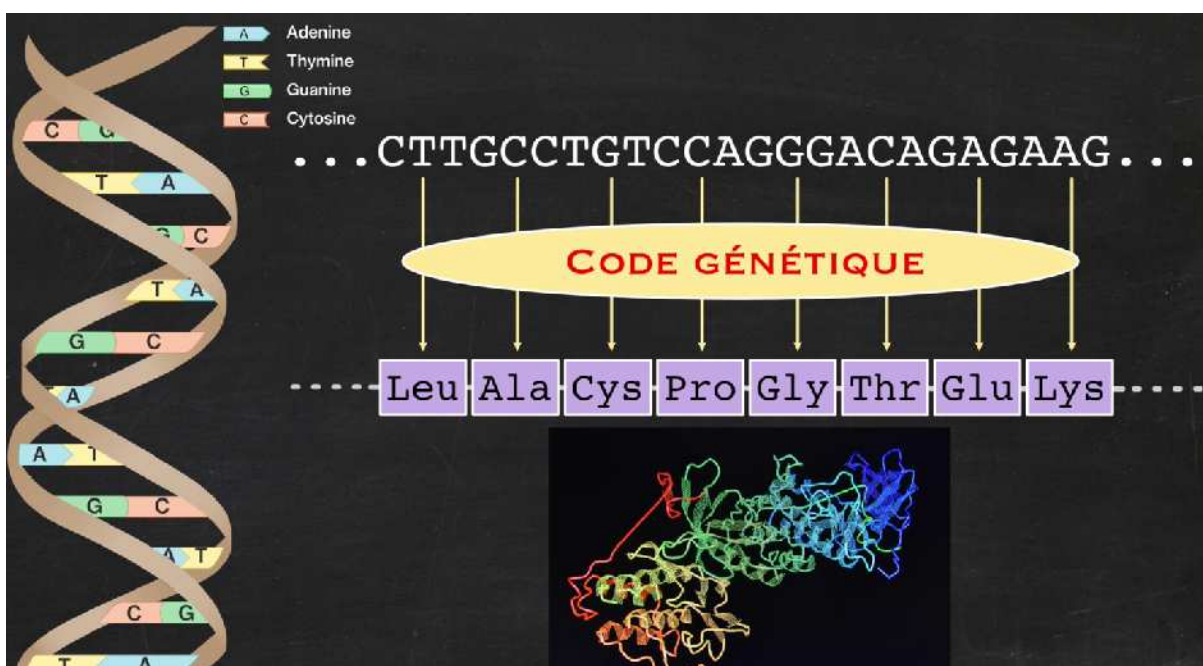


Dans une cellule de cactus comme dans une cellule d'homme, encore une fois, l'ADN est organisé exactement de la même manière et l'on retrouve la même machinerie cellulaire permettant notamment sa réplication et son utilisation pour la fabrication des protéines. En effet, dans une cellule, il existe des milliers de protéines différentes ayant chacune une fonction spécifique, chaque cellule doit donc savoir comment fabriquer précisément les protéines qui lui sont utiles et c'est là que l'ADN sert en quelque sorte de plan de montage. Une protéine est toujours fabriquée comme une chaîne de briques élémentaires qu'on appelle les acides aminés. Il en existe vingt différents.



Le plan de montage d'une protéine donnée, c'est donc simplement la liste des acides aminés qu'il faut enchaîner pour la fabriquer.

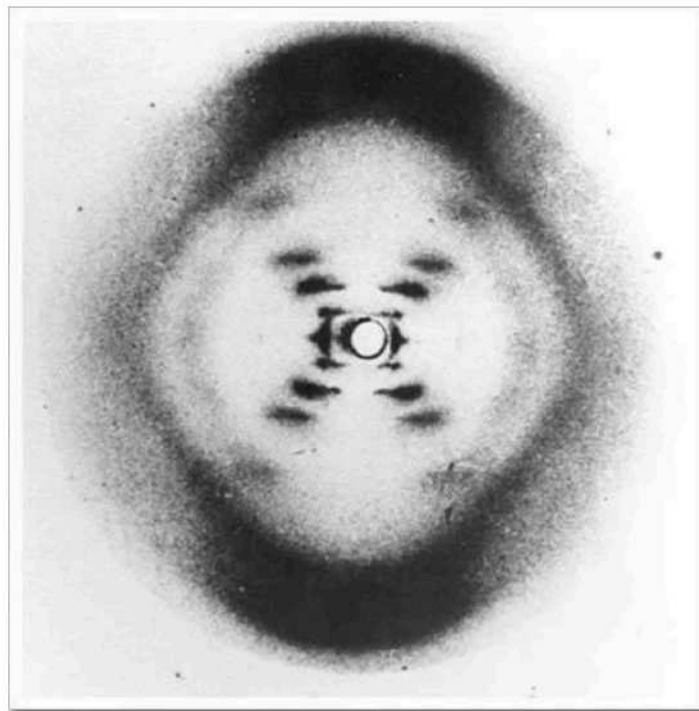
Pour faire le lien entre l'ADN et la liste d'acides aminés qui composent une protéine, il y a un ensemble remarquable de règles qu'on appelle le code génétique.



TTT } Phe TTC } TTA } Leu TTG }	TCT } TCC } Ser TCA } TCG }	TAT } Tyr TAC } TAA } Stop TAG } Stop	TGT } Cys TGC } TGA } Stop TGG } Trp
CTT } CTC } Leu CTA } CTG }	CCT } CCC } Pro CCA } CCG }	CAT } His CAC } CAA } Gln CAG }	CGT } CGC } Arg CGA } CGG }
ATT } ATC } Ile ATA } ATG } Met	ACT } ACC } Thr ACA } ACG }	AAT } Asn AAC } AAA } Lys AAG }	AGT } Ser AGC } AGA } Arg AGG }
GTT } GTC } Val GTA } GTG }	GCT } GCC } Ala GCA } GCG }	GAT } Asp GAC } GAA } Glu GAG }	GGT } GGC } Gly GGA } GGG }

Le code génétique, c'est ce tableau qui indique comment, à partir de la lecture de la suite des bases de l'ADN, on peut connaître la liste des acides aminés à enchaîner pour faire une protéine donnée.

On lit les bases de l'ADN par groupes de trois et chaque groupe indique quel acide aminé ajouter à la chaîne et ce tableau de conversion est le même chez tous les êtres vivants de la levure jusqu'à nous.

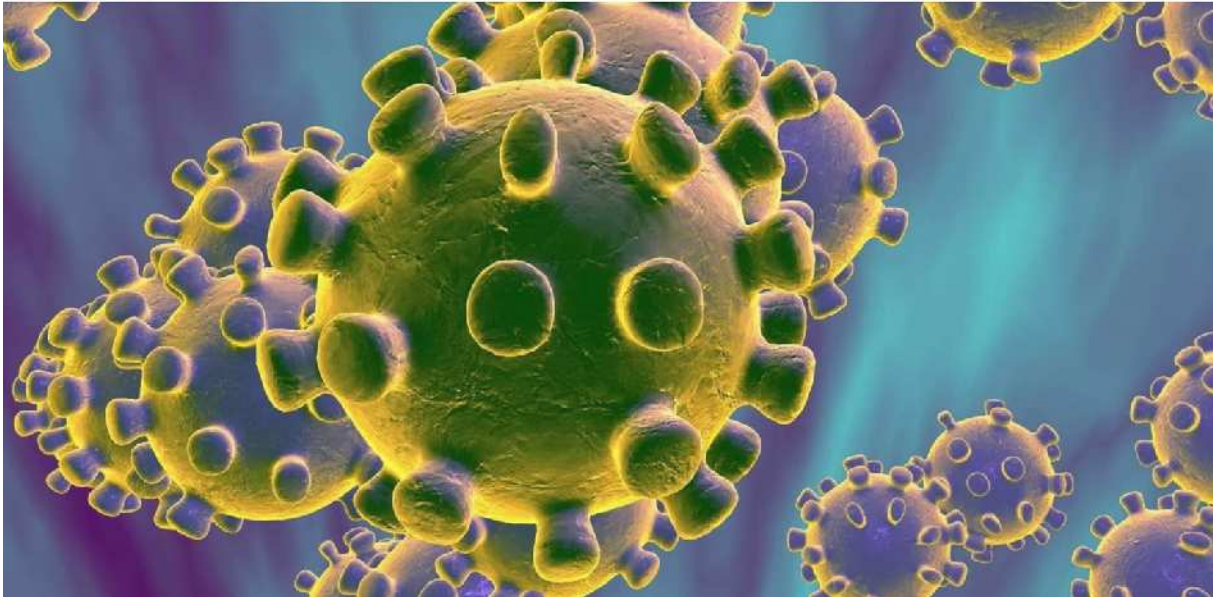


Avec sa croix noire au centre, l'image obtenue par diffraction X de Rosalind Franklin révèle pour la première fois la structure en double hélice de l'ADN.

Avec tous ces points communs, on peut dire que nous avons notre définition de la vie, c'est tout ce qui est fait de cellules dans lesquelles on trouve de l'ADN et pour lesquelles le métabolisme utilise l'ATP.

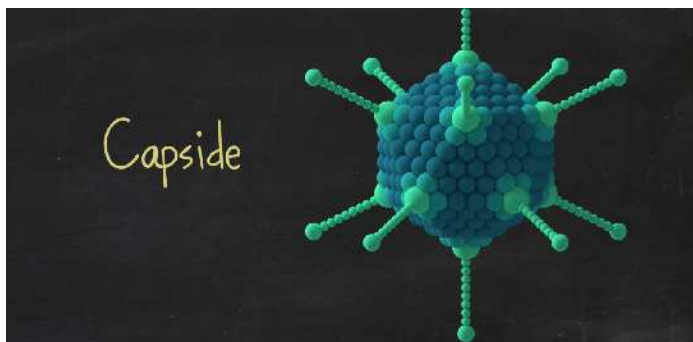
Sauf que, comme toujours, quand on essaye de formaliser une définition d'un phénomène naturel, on finit par trouver des choses qui sont à la frontière.

Prenons les virus.



Contrairement à ce que l'on pourrait penser, en regardant une de ses représentations graphiques, les virus ne sont pas des cellules.

La structure que l'on voit sur les images de ce genre est ce qu'on appelle une capsid et elle est faite de protéines.



Et à l'intérieur des virus, on trouve uniquement de l'ADN ou de l'ARN, pas de machinerie cellulaire, pas de métabolisme. Le principe d'un virus c'est justement qu'il va devoir infecter une cellule d'un autre organisme et emprunter sa machinerie pour y faire passer son ADN.

Alors est-ce que les virus doivent être considérés comme vivant ? Et bien la question fait débat parmi les spécialistes.

On pourrait dire que oui car ils ont de l'information génétique sous forme d'ADN ou d'ARN.

Mais on pourrait dire non car ils n'ont pas de métabolisme et de capacité autonome à se reproduire, ils parasitent une cellule pour vivre.

Dans le fond, pourquoi aurait-on besoin d'une définition précise de la vie ?

La définition de la vie peut avoir un impact sur la façon dont on approche la question des origines de la vie.

En effet, aujourd'hui on ne peut toujours pas affirmer comment la vie est apparue sur terre, il y a trois ou quatre milliards d'années.

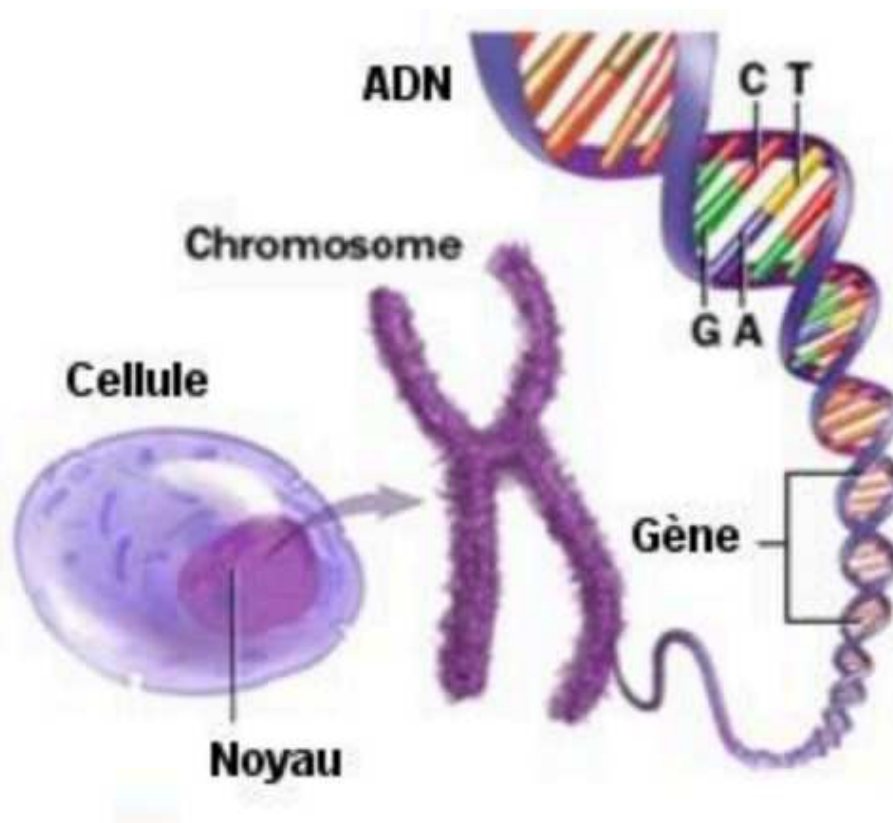
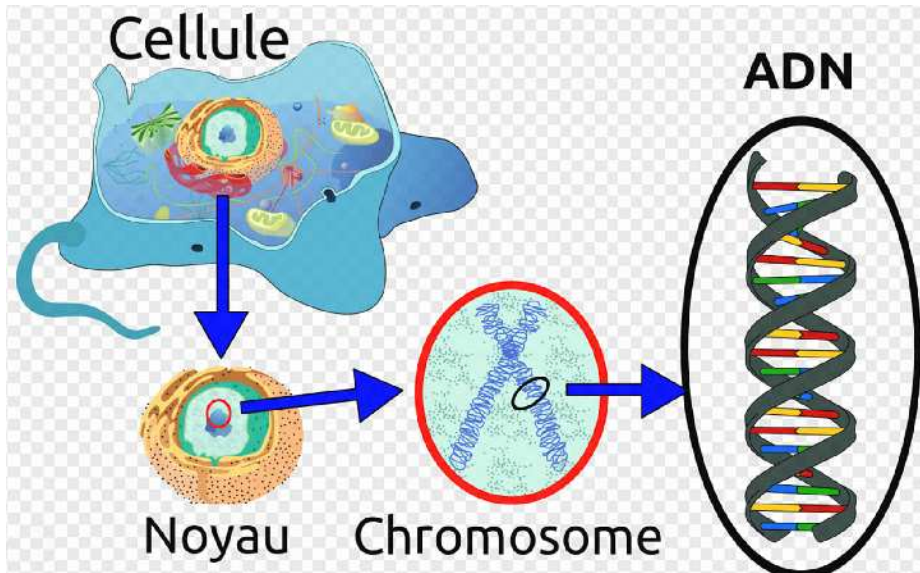
Qu'est-ce qui est le plus essentiel : la présence d'ADN et d'ARN ?

Le métabolisme avec de l'ATP ?

Les cellules délimitées par une membrane de lipides ?

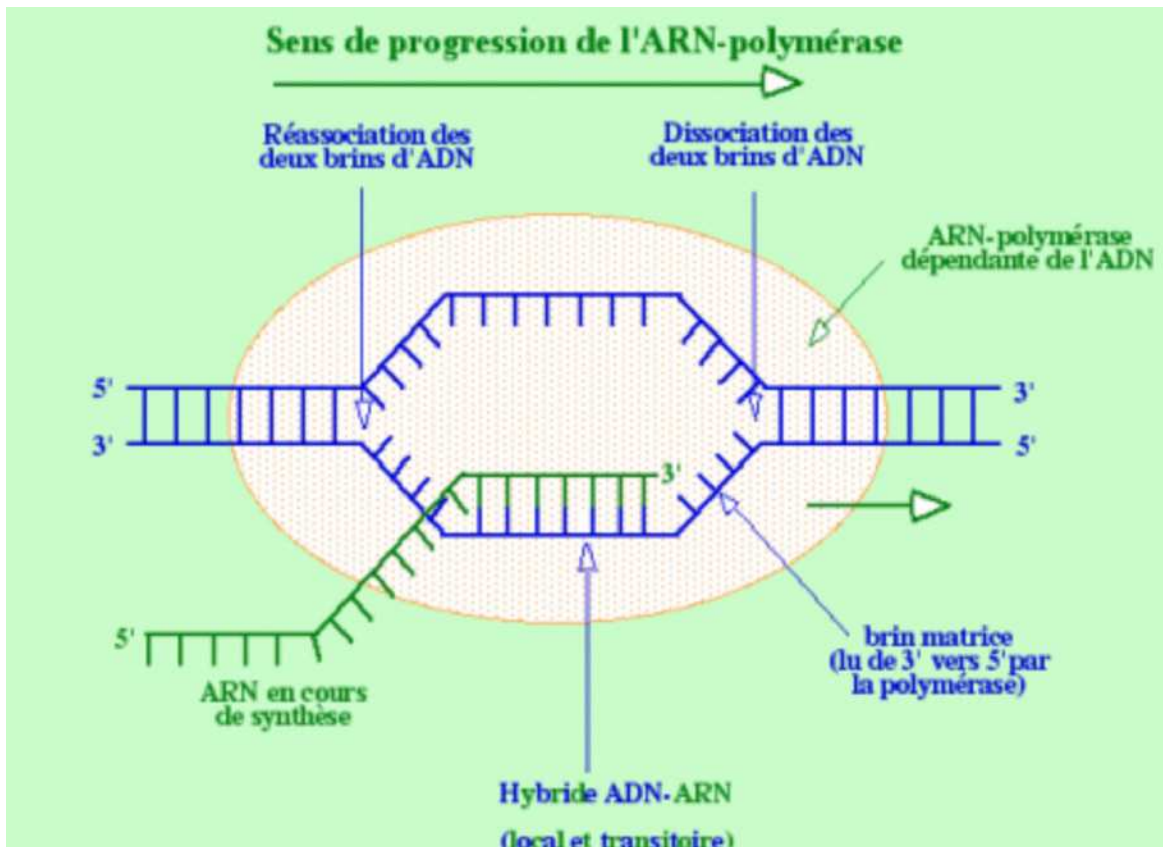
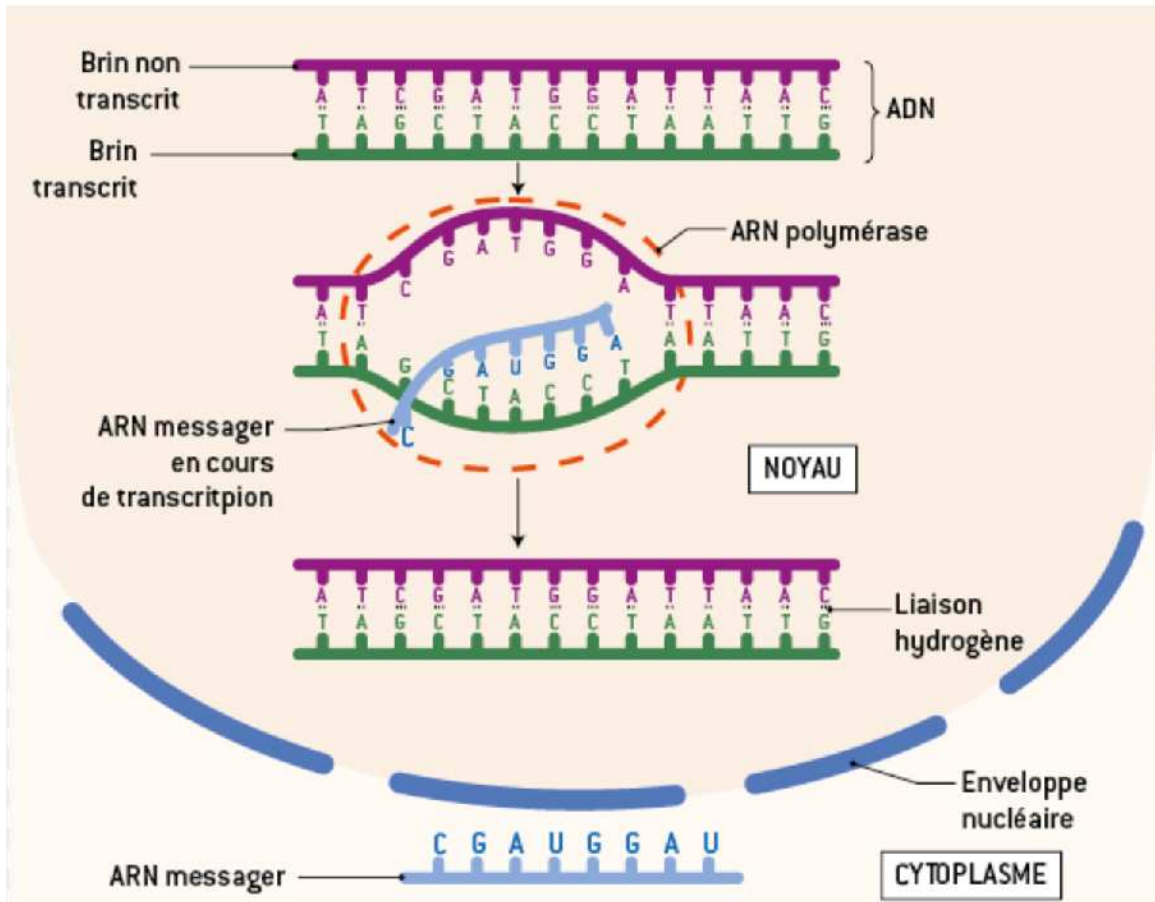
Suivant l'importance que l'on donne à ces critères, on n'envisagera pas la question des origines de la vie de la même façon.

**L'ADN stocke l'information génétique à long terme.** Il transmet l'information génétique pour faire de nouvelles cellules.





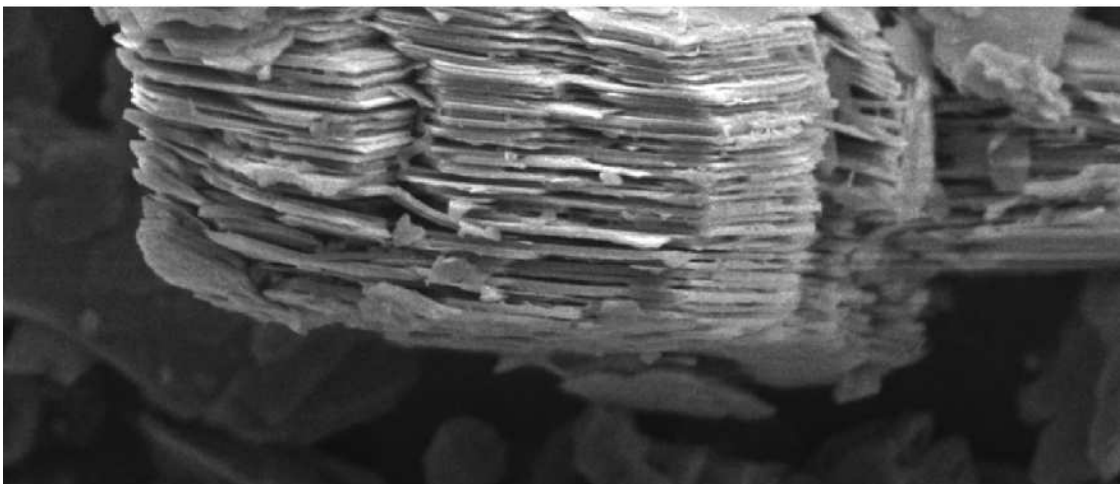
**L'ARN est la molécule utilisée pour transférer des informations génétiques dans certains organismes, pour transférer le code génétique du noyau aux ribosomes, en vue de concevoir des protéines.**



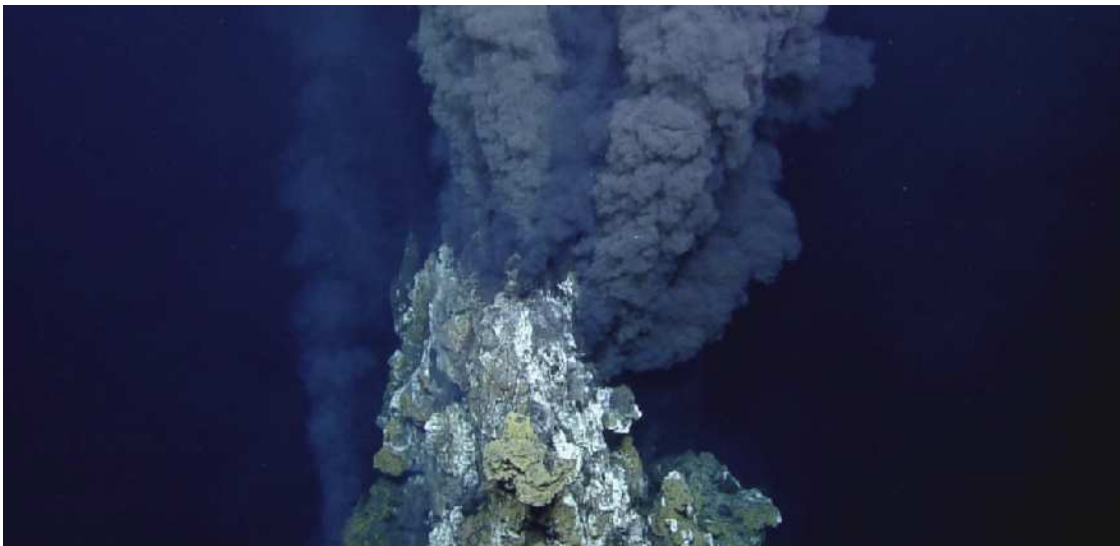
La vie est-elle d'abord apparue dans de l'eau douce qui semblerait plus propice à la formation de vésicules de lipides ?



Ou bien dans des argiles qui sont mieux adaptés pour catalyser certaines réactions biochimiques ?



Ou encore au fond de l'océan, dans des sources hydrothermales, idéales pour le métabolisme ?



Chacune de ces hypothèses tend à mettre plus l'accent sur l'un ou l'autre des aspects qui caractérise la vie telle qu'on la connaît.

Mais au-delà de la recherche des origines de la vie sur Terre, il existe bien sûr un autre domaine pour lequel une définition de la vie est absolument essentielle : il s'agit de l'astrobiologie, la discipline qui cherche à savoir si la vie existe ailleurs que sur Terre et comment on pourrait la détecter.

Quand on essaye d'imaginer à quoi pourrait ressembler une forme de vie extraterrestre, on tombe assez vite dans un travers classique, on se la représente comme une version un peu modifiée de la vie telle qu'on la connaît sur Terre. C'est, en gros, la vie sur Terre qui aurait juste évolué un peu différemment. Et pourtant, rien ne nous oblige à imaginer la vie ailleurs comme un simple copier-coller de la vie terrienne.

D'ailleurs si on s'intéresse à ce qui est listé comme les essentiels de la vie telle qu'on la connaît, on peut facilement imaginer des variations biochimiques importantes.

Les acides aminés qui apparaissent dans le code génétique et qui sont utilisés pour synthétiser des protéines, dans le monde vivant, sont au nombre de 20, nous l'avons vu.

Mais chimiquement on peut en imaginer plein d'autres. Alors pourquoi ne pas imaginer des formes de vie qui se baseraient sur certains de ces autres acides aminés.

C'est d'autant plus attirant comme hypothèse que l'on sait que beaucoup de ces acides aminés sont assez faciles à produire dans des conditions naturelles.

Peut-être sommes-nous encore trop conservateurs, trop influencés par la seule vie que nous connaissons, pour imaginer utiliser carrément des réactions chimiques différentes ?

Nous savons que la vie sur Terre est basée sur l'eau, l'eau sert de solvant dans lequel peuvent se dissoudre les différentes molécules ce qui leur permet de se rencontrer et de réagir. Mais on pourrait imaginer d'autres solvants. Par exemple, les observations de la sonde spatiale New Horizons ont révélé que la surface de Pluton était couverte de glaces d'azote et de méthane, et présentait des montagnes de ces glaces atteignant jusqu'à 3 500 mètres de hauteur.

De plus, on a remarqué une chose étonnante : la quasi-totalité des molécules qui interviennent dans la vie sur Terre sont constituées de seulement six de ces 20 éléments : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le phosphore et le soufre et pour fabriquer tout ce dont on a parlé, cinq éléments suffisent : les protéines, l'ADN, l'ARN, les glucides et les lipides.

Parmi tous les gens qui se sont amusés à essayer de définir la vie, de la façon la plus large possible, il y a évidemment la NASA et ce, tout particulièrement depuis le début des missions en direction de Mars. On comprend l'importance de la question, si l'ambition de ces missions est de rechercher la présence de vie, on a plutôt intérêt à avoir une bonne définition de ce qu'on appelle la vie car évidemment cela va conditionner les instruments que l'on doit embarquer, les analyses que l'on veut faire. Et c'est dans les années 90 qu'un groupe de travail de la NASA a proposé une nouvelle définition de la vie qui a le mérite d'être à la fois suffisamment large et tout de même utilisable :

**La vie serait un système chimique auto-entretenu, capable d'évolution darwinienne.**

Depuis Darwin, on a compris que l'évolution de la vie sur Terre est rendue possible par l'ADN, c'est lui qui porte les gènes c'est-à-dire l'information indispensable à la notion d'évolution.

Mais la définition de la NASA laisse la porte largement ouverte et permet d'autres mécanismes que celui basé sur l'ADN. C'est d'ailleurs un exercice intéressant de se demander de quoi aurait-on besoin chimiquement pour avoir quelque chose de similaire à du stockage d'informations génétiques ?

Pour qu'il y ait une évolution darwinienne, le support chimique de l'information doit posséder deux propriétés : la réplication et les erreurs.

Prenez l'ADN : la raison pour laquelle cette molécule permet les mécanismes d'hérédité est qu'elle est répliquable, il est chimiquement possible de recopier un brin d'ADN pour le passer à sa descendance par exemple, mais paradoxalement pour que l'évolution darwinienne puisse avoir lieu, il ne faut pas que cette copie soit absolument parfaite. Il faut aussi des erreurs, sinon

l'information serait toujours copiée à l'identique et les organismes n'évolueraient jamais. Ce qui permet l'évolution darwinienne, ce sont justement ces erreurs de copie, les mutations qui, de temps en temps, donneront des descendants mieux adaptés à leur environnement et qui seront donc favorisés par la sélection naturelle.

Pour stocker comme cela une grande quantité d'informations sur un support chimique, il faut évidemment des molécules très grandes, c'est ce qui se passe avec l'ADN et l'ARN. Elles sont constituées d'un assemblage répété de blocs élémentaires.

Il y a une chose remarquable avec la molécule d'ADN : si vous prenez votre ADN et celui d'un concombre, on l'a dit, la structure globale est la même mais le détail est évidemment très différent. La suite des bases ACGT qui les constitue ne va pas du tout être identique, sinon vous seriez un concombre. Et pourtant sur le plan physico-chimique, votre ADN et celui d'un concombre se comportent de manière parfaitement similaire, ils sont traités dans les mêmes conditions, par la même machinerie cellulaire !

En gros, cela veut dire que l'ADN est une molécule dont on peut carrément changer des atomes sans pour autant affecter ses propriétés physico-chimiques globales.

Comment se fait-il que, quelle que soit la séquence des bases, il se comporte à l'identique ?

Comment se fait cette stabilité de l'ADN ?

D'après le biologiste Stephen Venner, l'ingrédient clé, ce sont les groupes phosphates que l'on retrouve dans le squelette de l'ADN et en particulier le fait que ces phosphates sont chargés négativement.

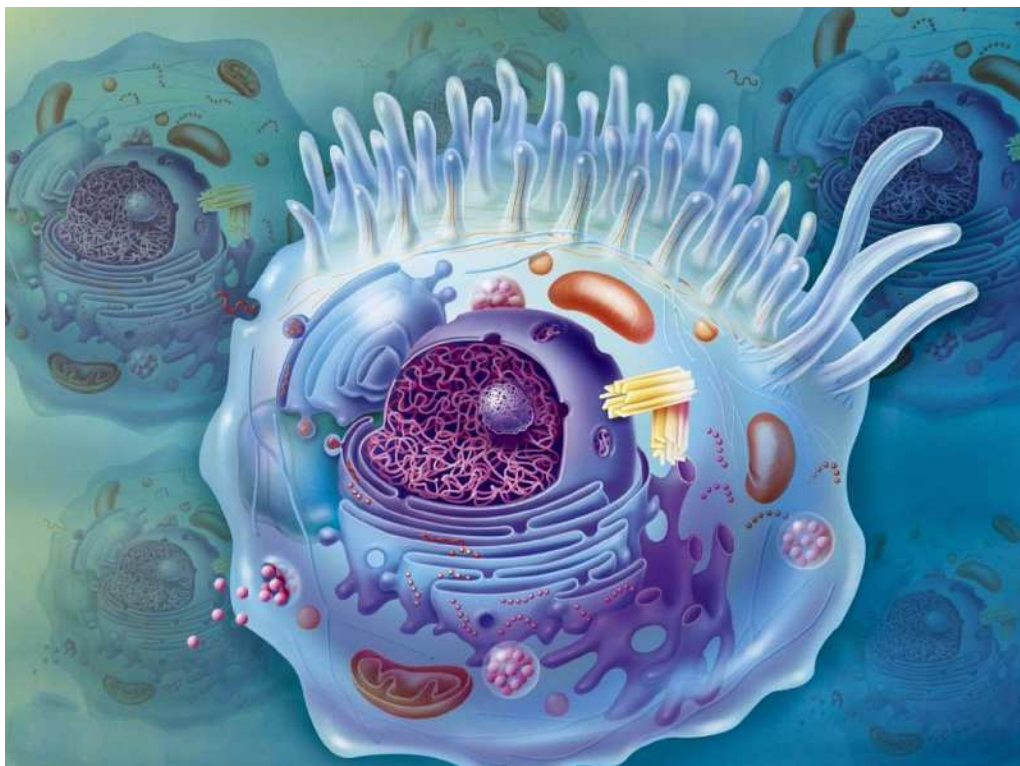
Pour lui, pour identifier de la vie ailleurs, il faut un système capable d'évolution darwinienne et pour avoir cela, il faut chercher des traces de poly électrolytes c'est-à-dire des **polymères chargés électriquement**.

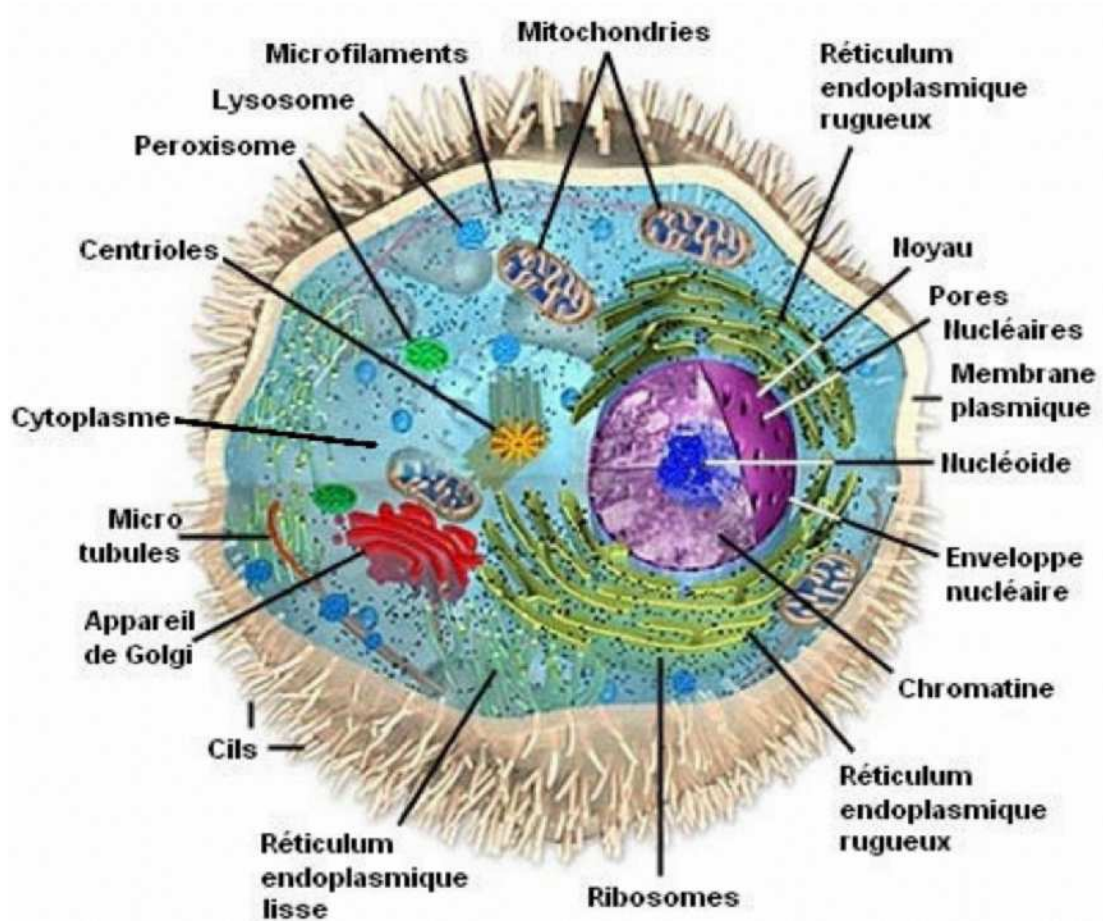
De quoi est faite une cellule ?

Nous savons que tout organisme vivant est constitué de cellules mais, en visualisant le fonctionnement d'une seule d'entre elles, on se rend compte de son incroyable complexité.

Et chaque corps en est composé par milliards.

Tout ceci est l'intérieur d'une seule minuscule cellule :



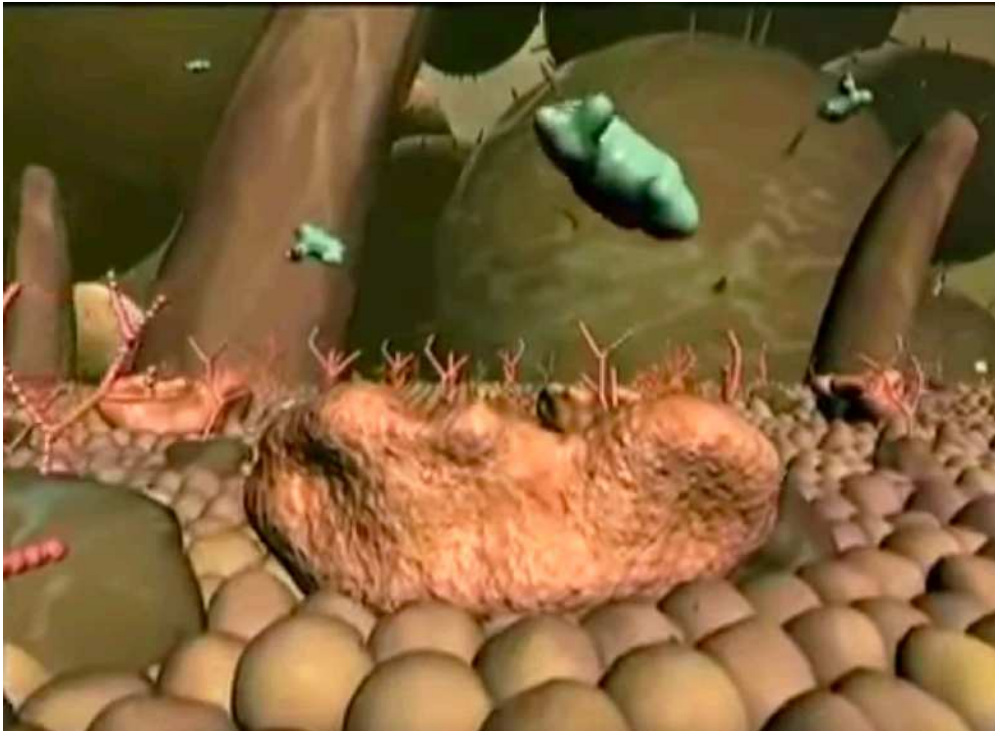


Analysons, plus en détails, son incroyable fonctionnement :

La membrane de la cellule est comme une fine peau de molécules de graisse.



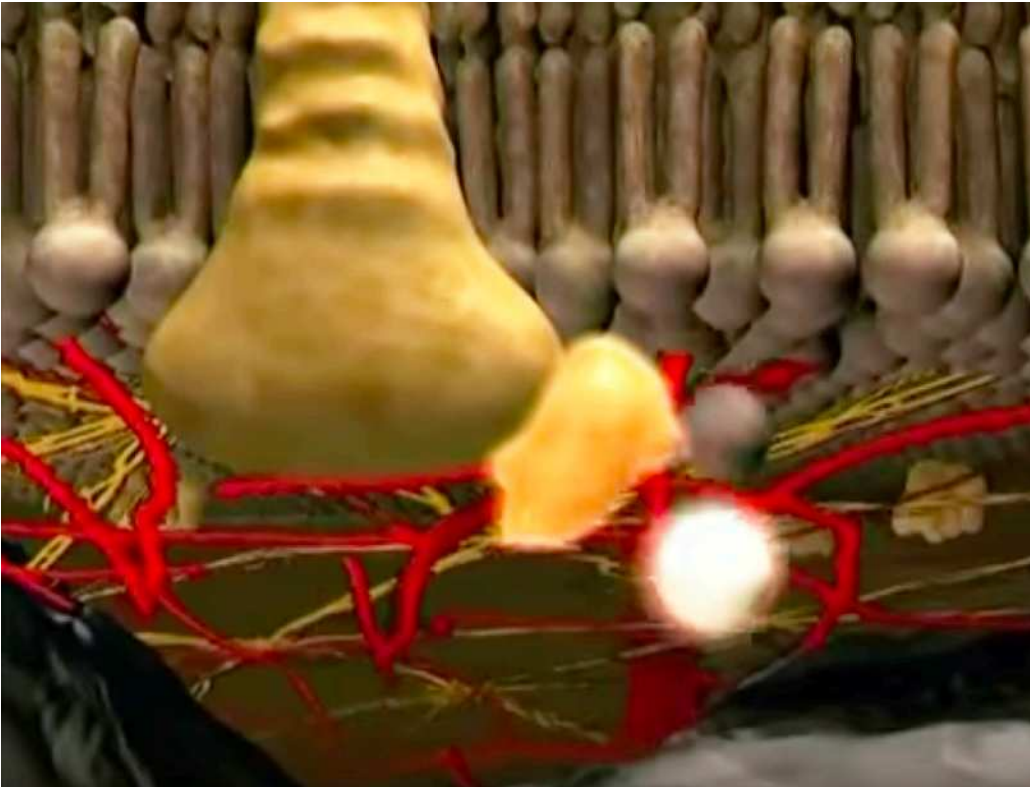
Des protéines dressées comme des petites mains ou des crochets (couleur saumon) captent, filtrent et pompent minéraux, sucres et autres nourritures.



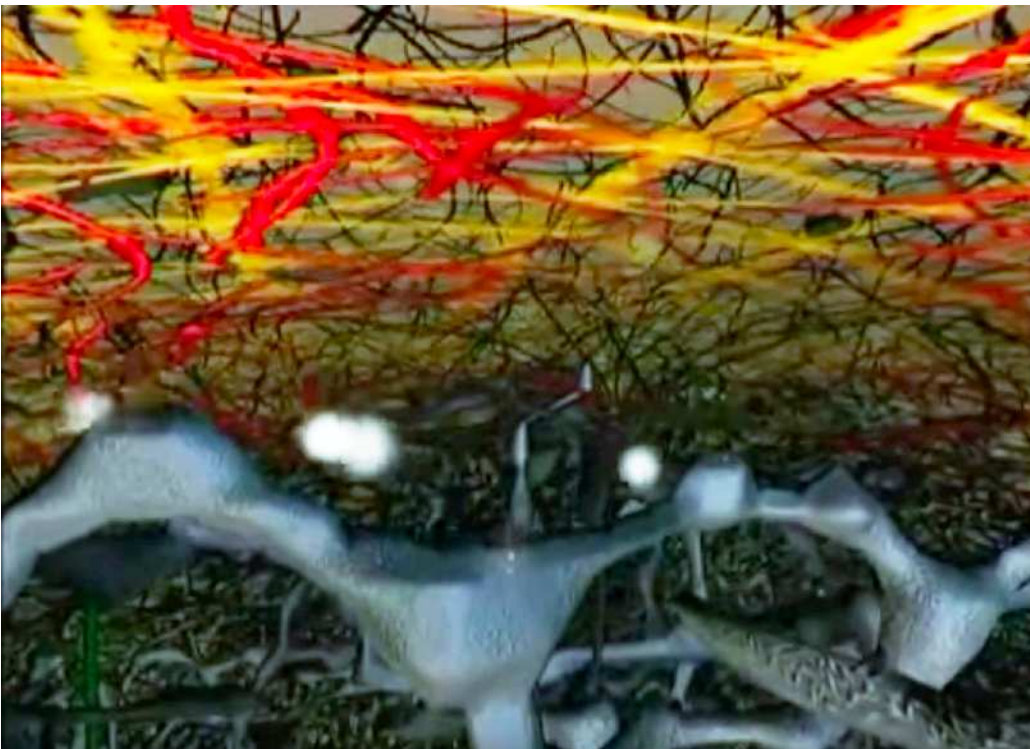
Dans cette membrane cellulaire faite d'une double couche de molécules de lipides (de la graisse en beige-rose), d'autres protéines (beige-jaune) réceptionnent des messages (vert) sous forme d'hormones et de macromolécules.



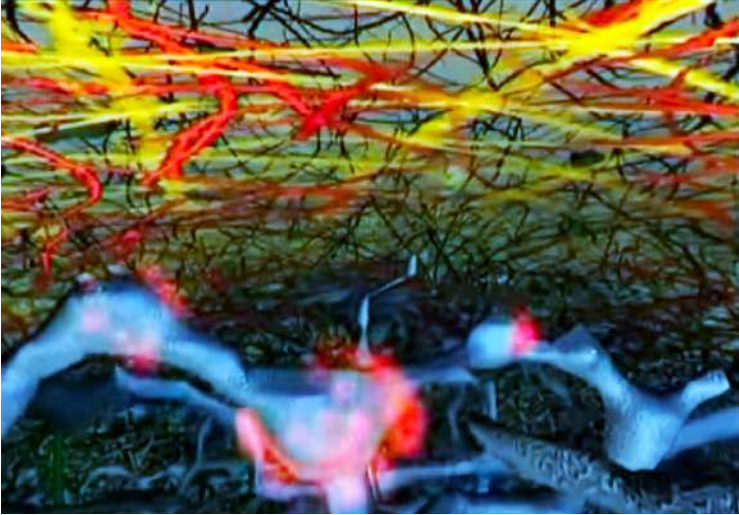
Ces récepteurs (beige-jaune) transmettent un signal électrique (couleur blanche) aux messagers (jaune et rouge) à l'intérieur de la cellule.



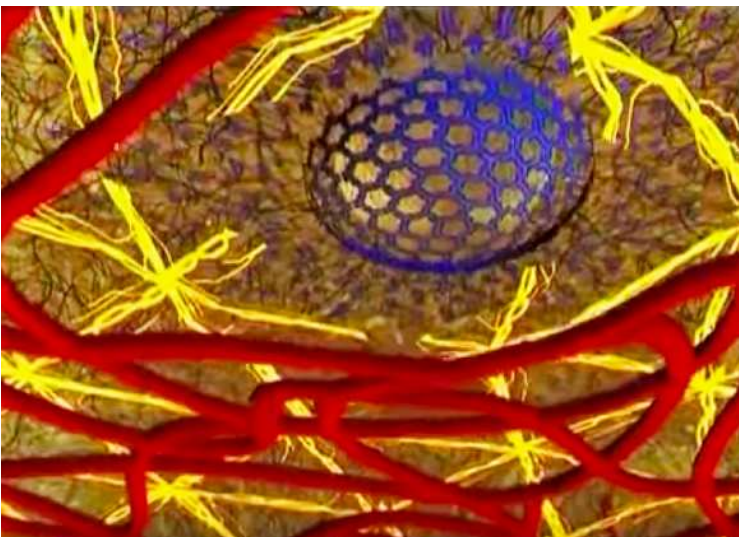
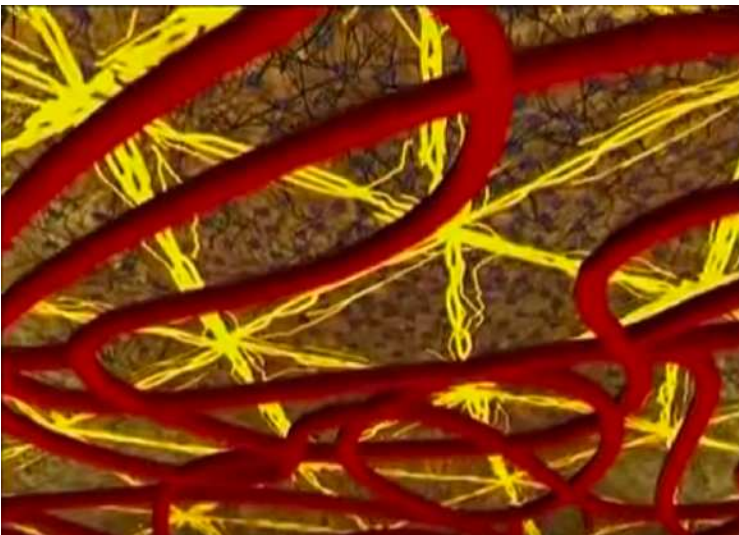
Certains messagers atteignent le réseau du réticulum endoplasmique (gris clair).



Au signal, le calcium (rouge) jaillit du réticulum, il stimule et module l'activité de la cellule.

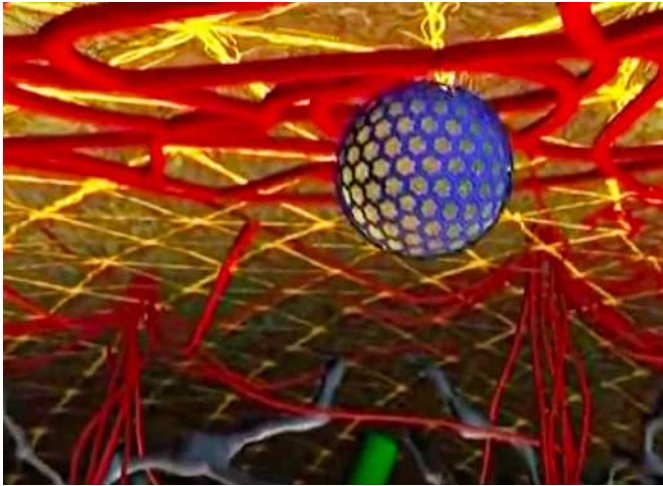


Ensemble, calcium et messenger, peuvent ordonner au réseau de microfilaments (rouge et jaune) sous la membrane, de se contracter, de se relâcher ou de se fragmenter.

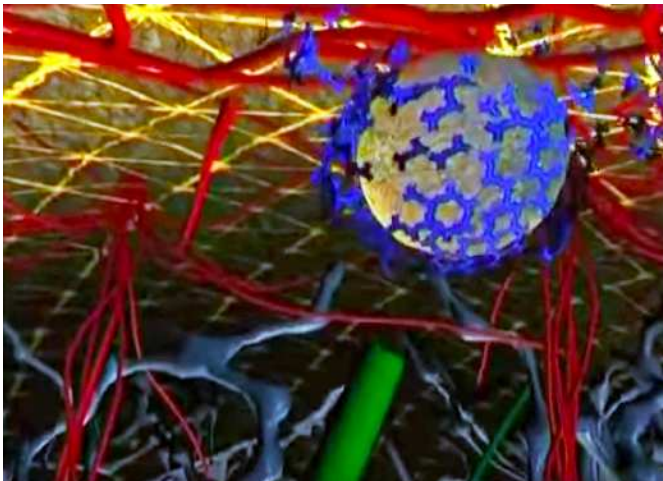




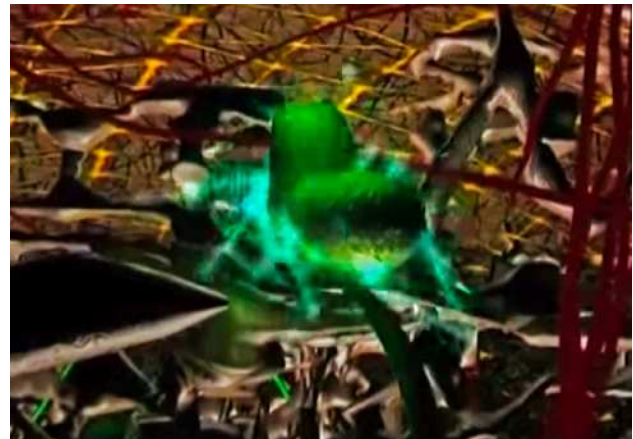
Les protéines assemblées en nids d'abeille avalent des morceaux de membranes chargés d'hormones, de récepteurs et parfois de virus.



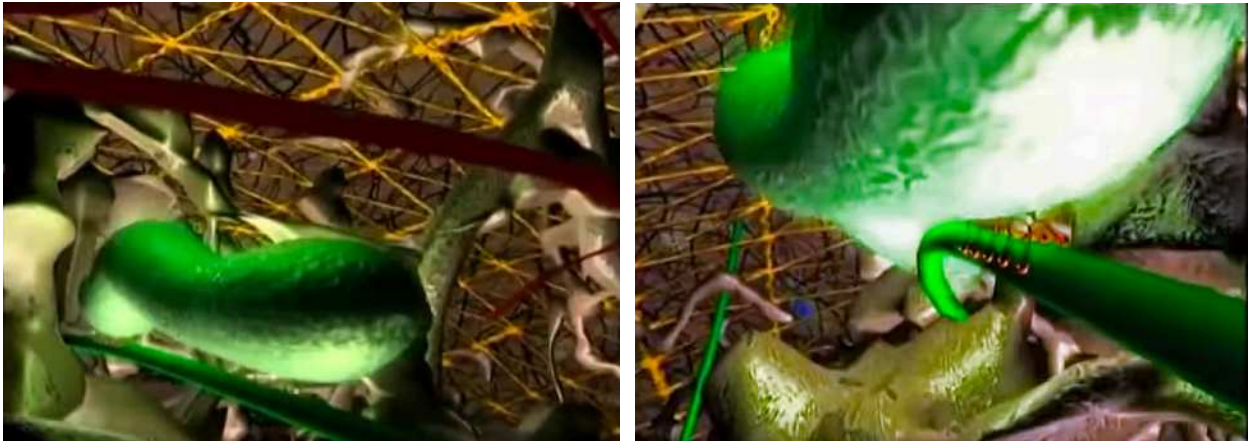
Dans le cytoplasme, la structure protéique se disloque libérant une vésicule de membrane avec son chargement.



La mitochondrie (vert) est l'organelle qui fournit l'énergie dont la cellule a besoin pour actionner ses pompes, ses moteurs et ses micro machines.



Cette usine électrique miniature, la mitochondrie, voyage le long de microtubules grâce à des protéines motrices.



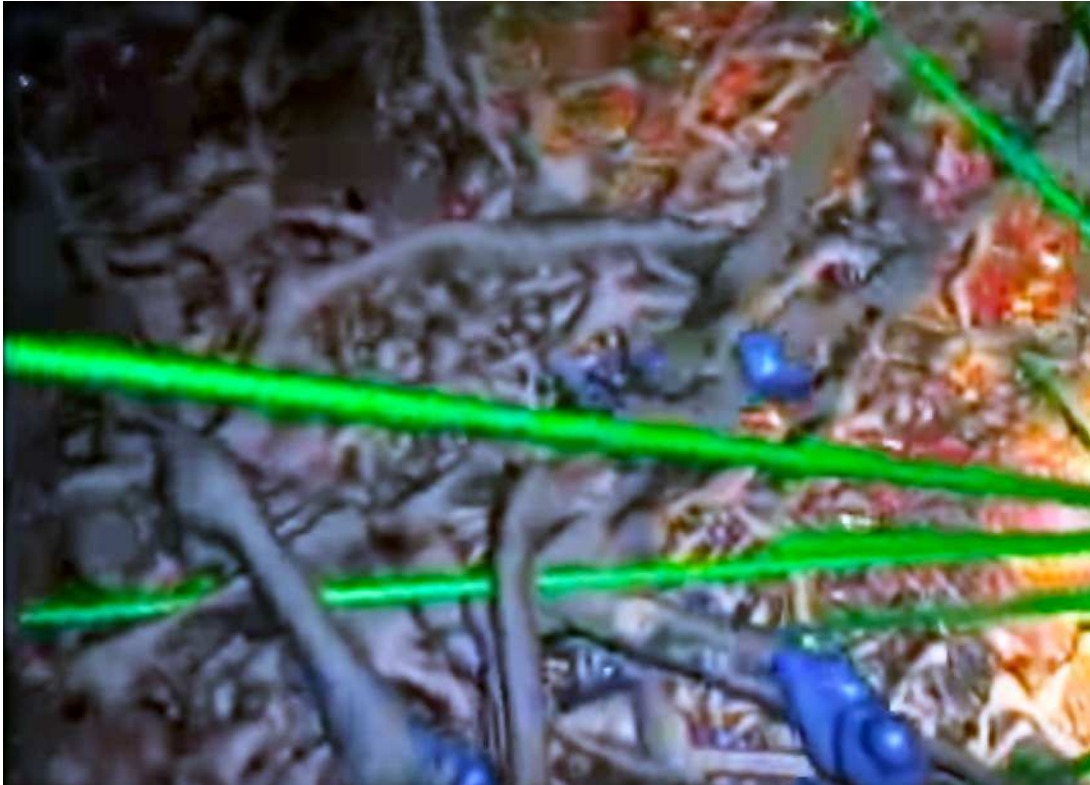
Les mitochondries (vert) sillonnent ainsi le cytoplasme, véritable soupe d'enzymes, de micro machines et d'organelles en constants états de flux.



Des hormones (bleu) s'enfoncent dans le cytoplasme et se fauillent entre les tubes de réticulum endoplasmique, lieu de synthèse des protéines.



Des microtubules (vert) en grand nombre annoncent la présence du centrosome (orange).

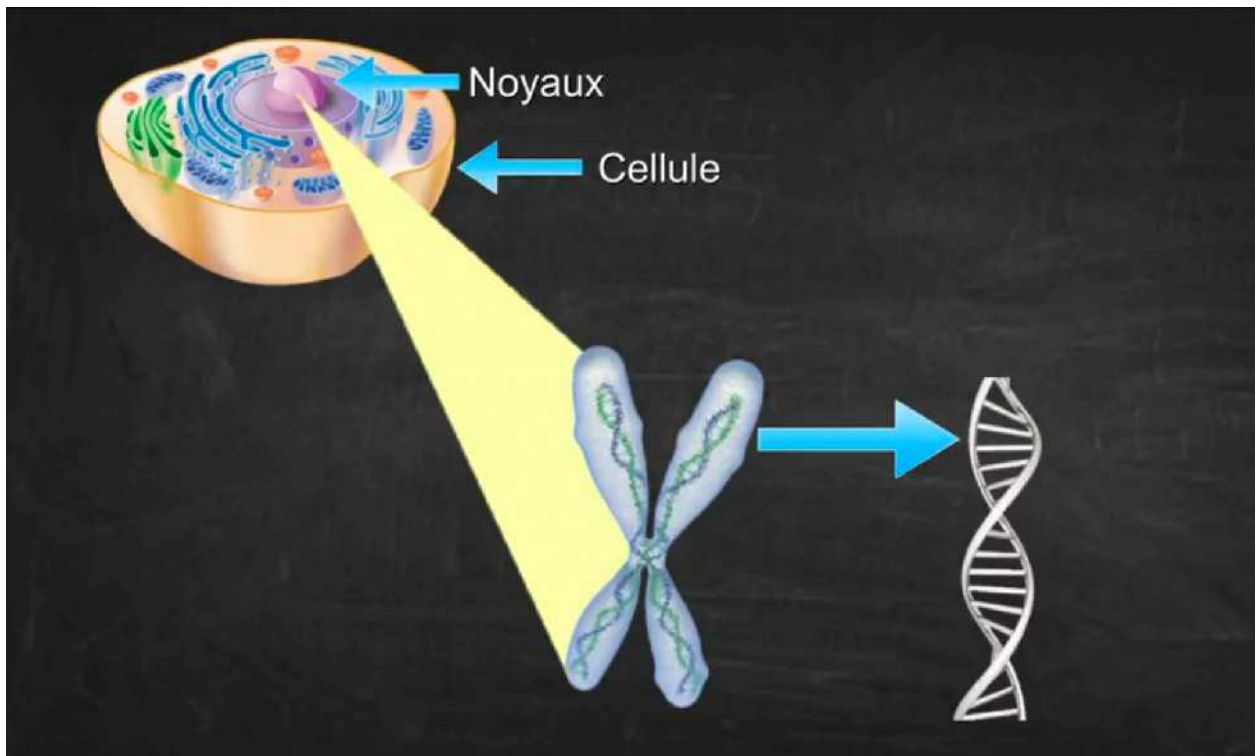


Le centrosome (orange) est le centre organisateur des microtubules dans les cellules. Cette organelle cellulaire unique joue un rôle prépondérant dans de nombreux processus cellulaires, comme la division, la migration et la prolifération. Tel une pieuvre, il explore le cytoplasme environnant, y positionne les organelles (bleu) à l'aide d'une multitude de microtubules (vert) qui s'allongent et se rétractent.



Au fond, se trouve le noyau (en jaune).

Abordons maintenant cette organelle, la plus complexe et la plus volumineuse de la cellule : le noyau.



Pour pénétrer dans ce noyau, il faut passer par des pores nucléaires (jaune) qui trient protéines et messages.



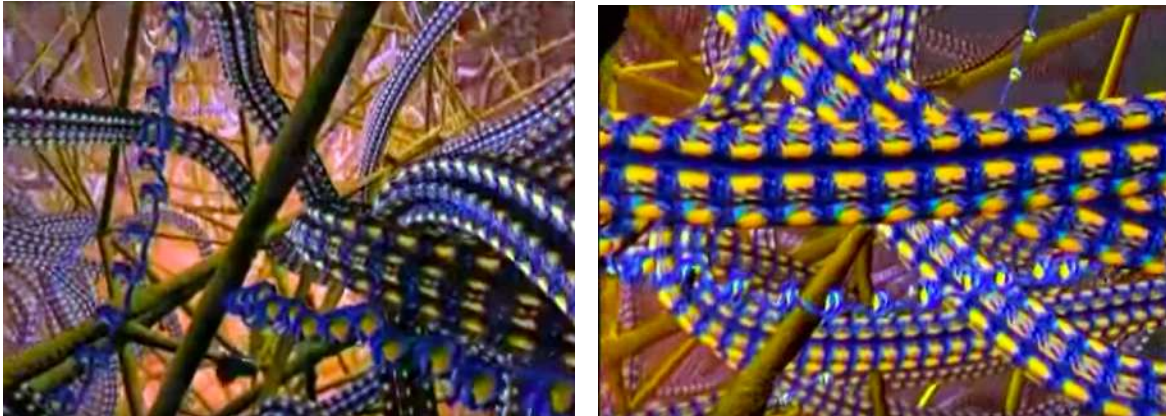


Entrons dans le noyau par un de ces pores nucléaires.

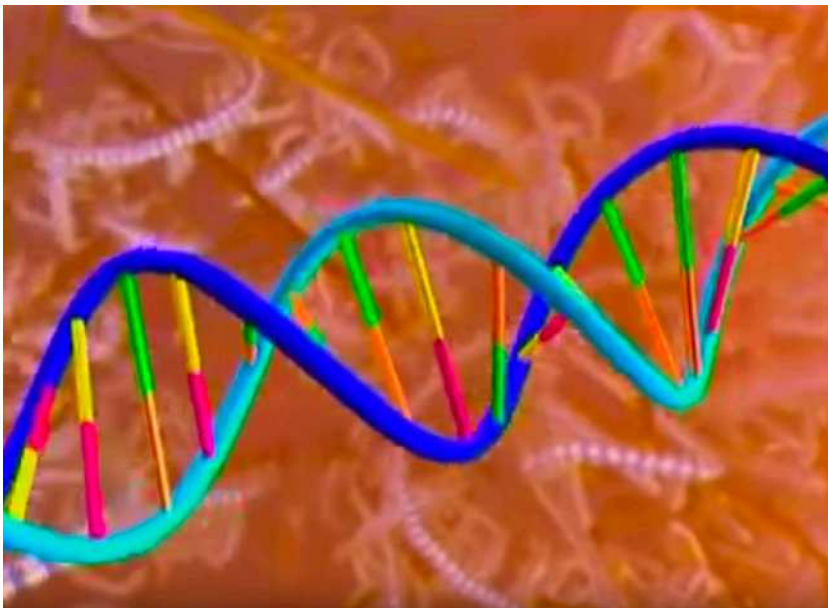


C'est dans le noyau que résident les gènes, précieux dépositaires de notre patrimoine héréditaire.

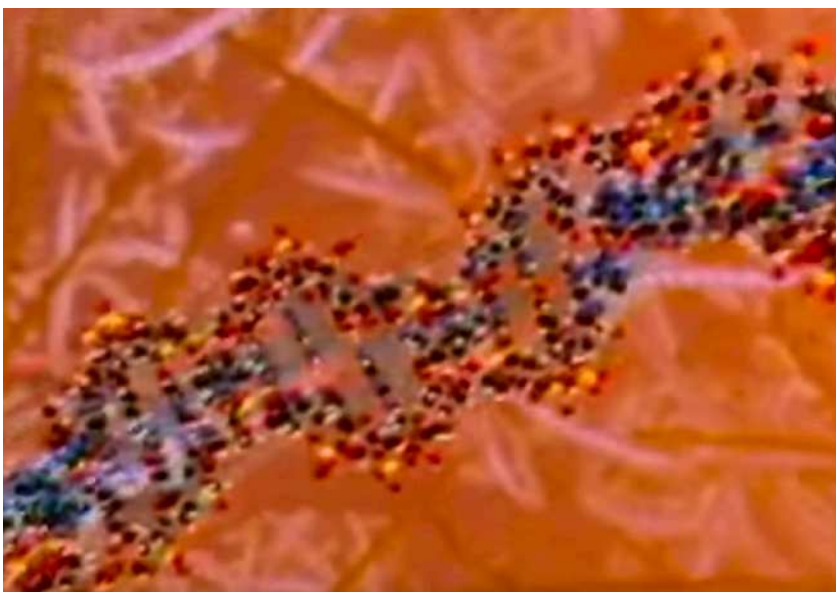
Les gènes sont alignés sur un long fil d'ADN s'enroulant en collier autour de perles de protéines.

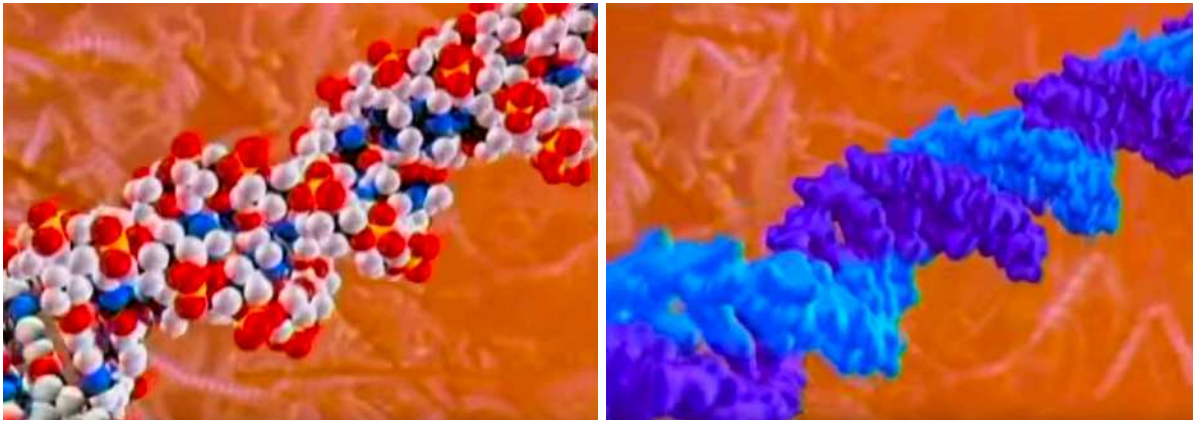


L'ADN est une molécule géante organisée en double hélice.

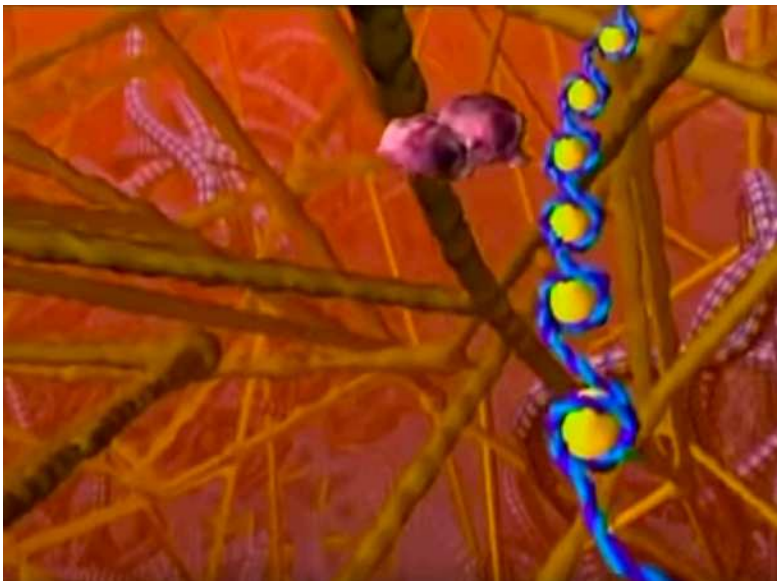


Deux paires de petites molécules : les nucléotides joignent les deux brins de cette double hélice constituée d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'autres éléments.

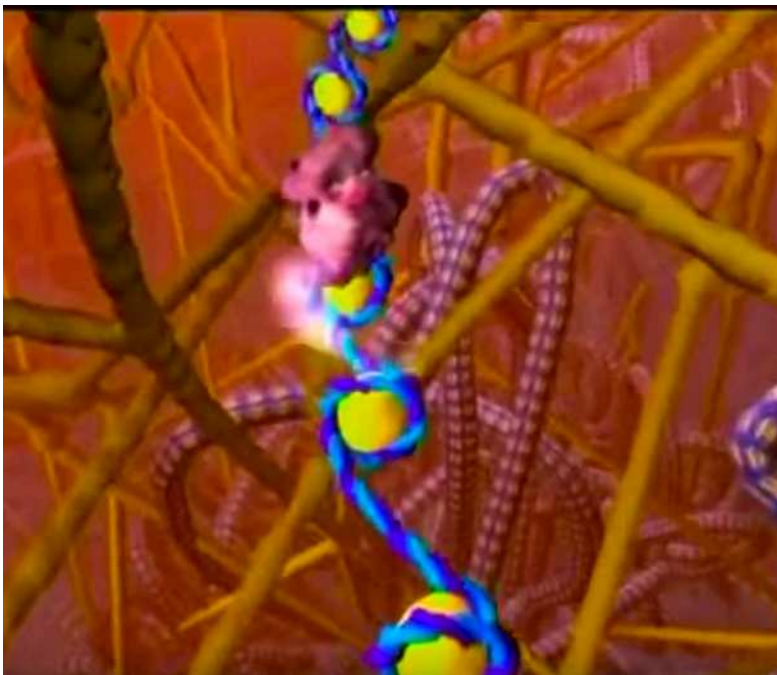




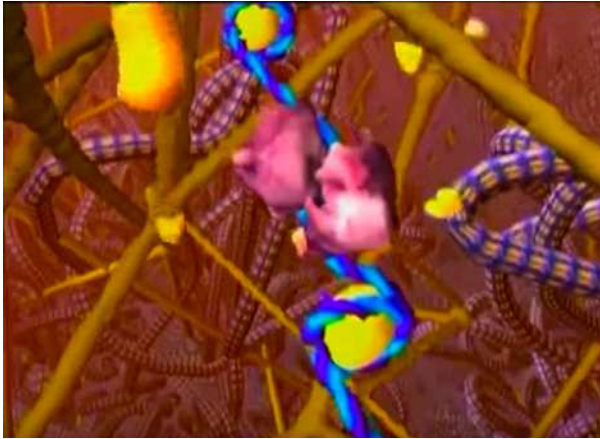
Une hormone (rose) liée à une protéine réceptrice rejoint d'autres couples identiques.



Ensemble ils vont repérer un gène particulier, exécuteur des ordres de l'hormone.



Une armada de protéines s'assemble (rose) et forme une micro machine (l'éclair)



Elle (orange) est capable de lire et de transcrire le gène choisi sous une forme nouvelle : l'ARN. La copie terminée, l'ARN messenger (bleu) se détache de son support d'ADN.



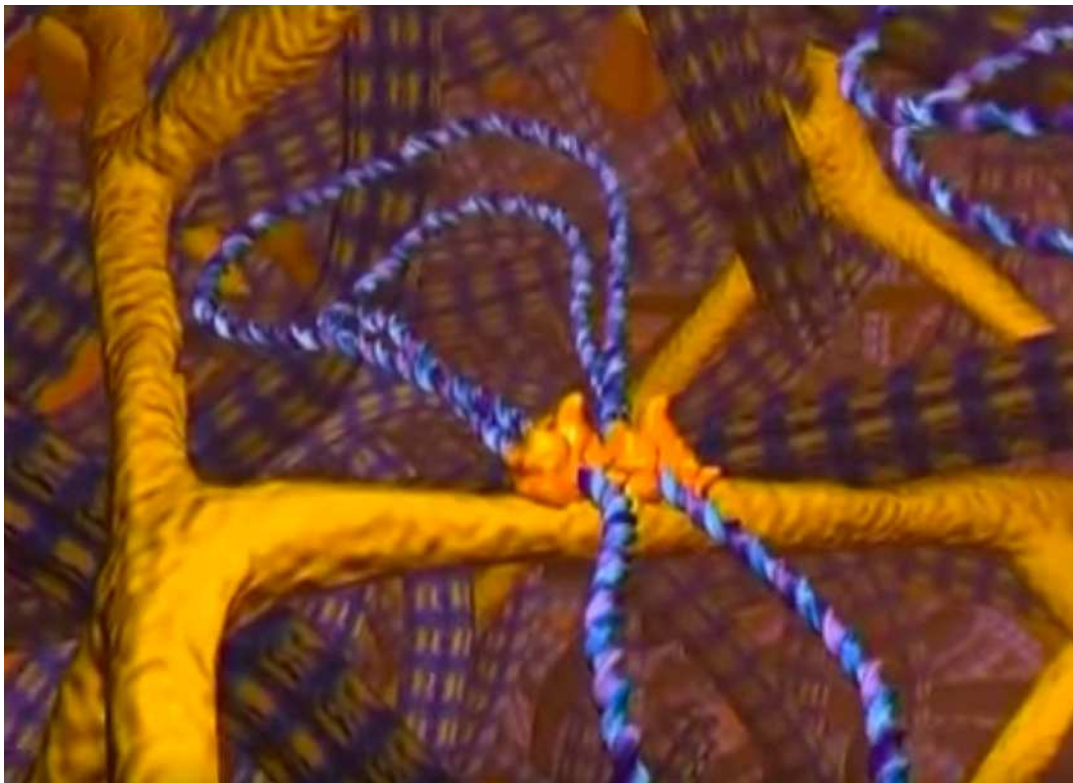


L'ARN chargé d'informations ressort du noyau à travers, à nouveau, d'un pore nucléaire



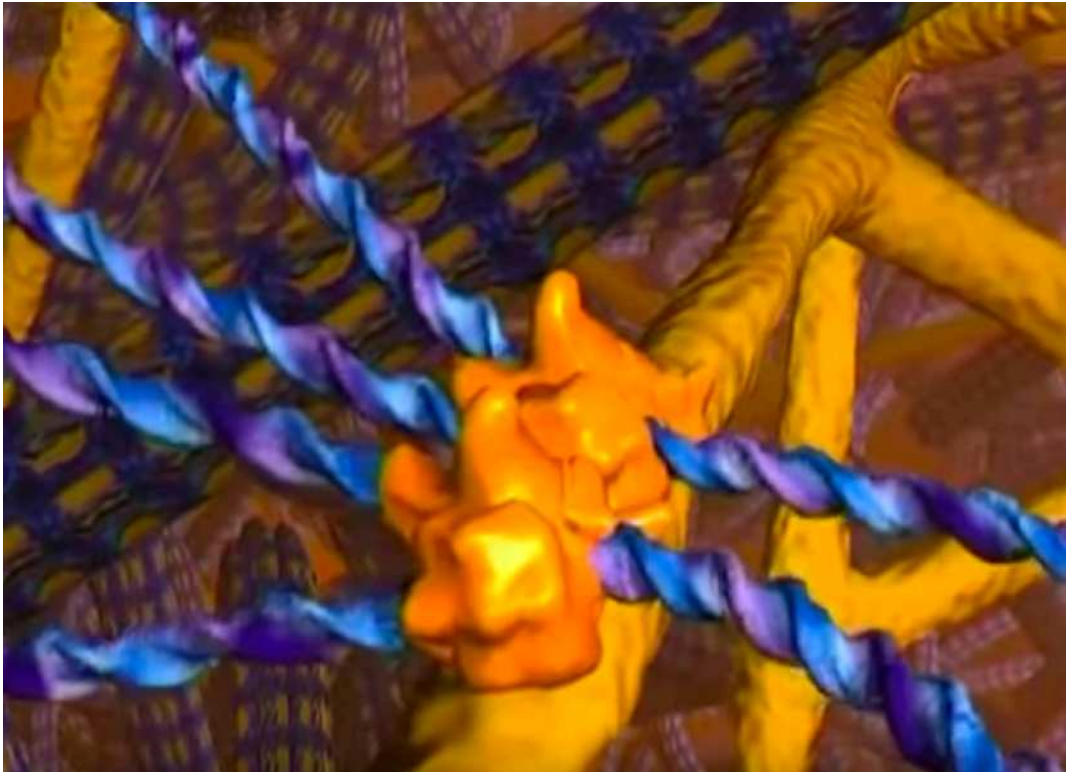
Il passe dans le cytoplasme (rouge) pour y être traduit en protéines.

Dans cet exemple ci-dessous, la cellule a reçu l'ordre de se diviser, elle doit dupliquer son ADN.

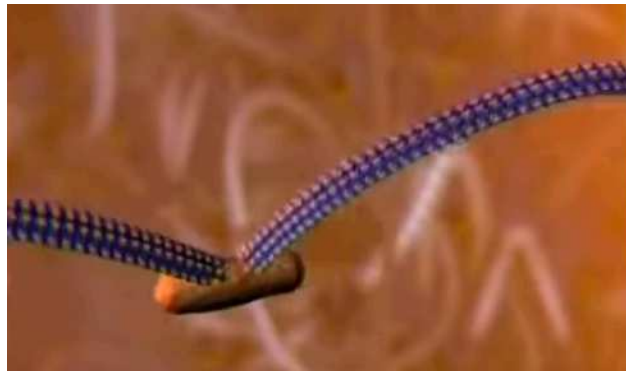
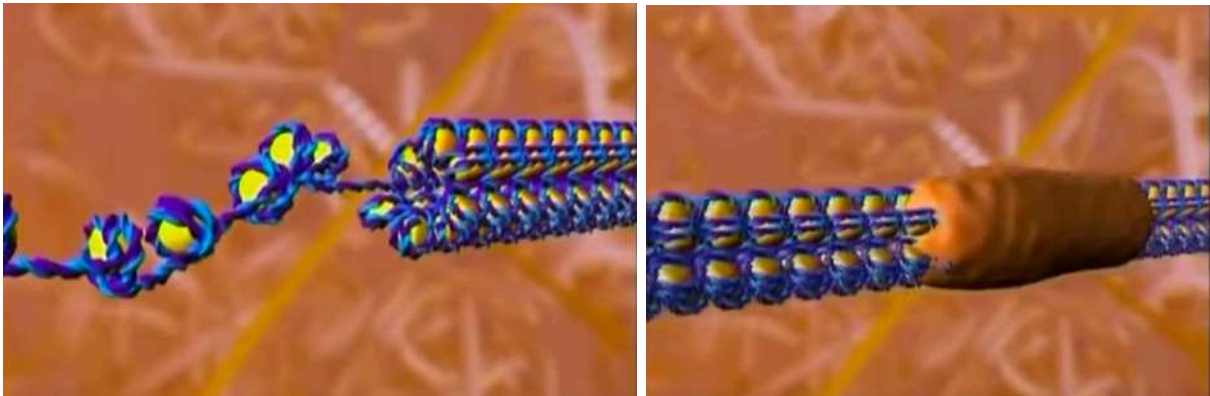


Il s'agit donc de faire deux copies identiques du brin original.

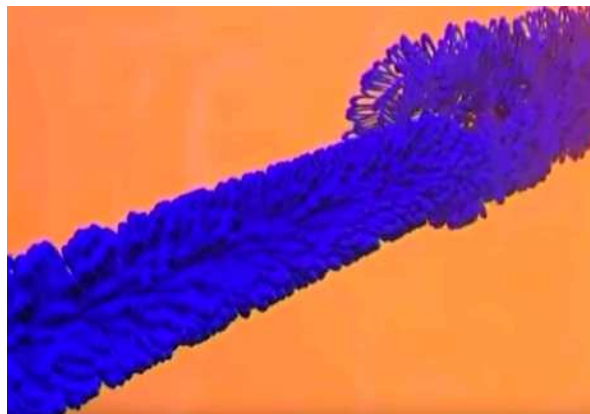
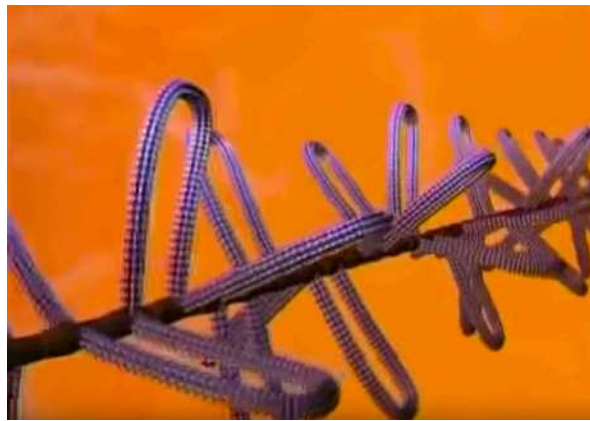
Les micro machines (orange) et leurs enzymes travaillent en de multiples sites le long des brins d'ADN.



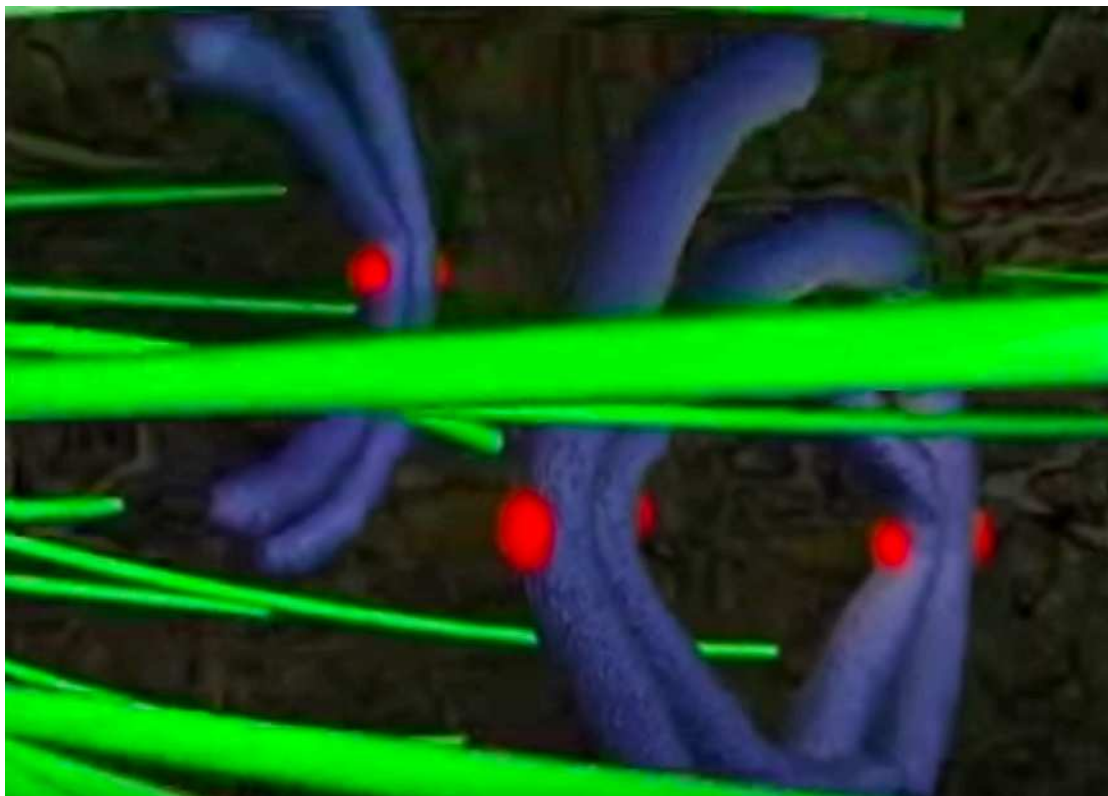
Les brins doivent ensuite se condenser pour être répartis équitablement lors de la division.



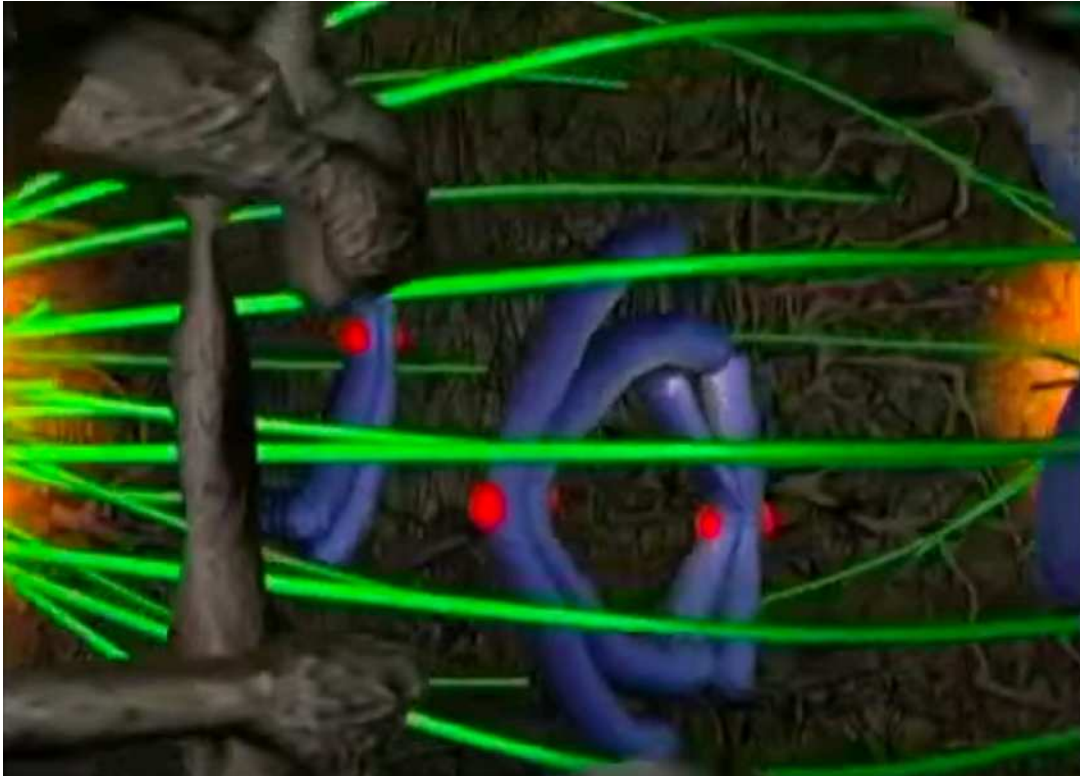
Des protéines de structure et des enzymes orchestrent les phases de condensation, de repliement et d'enroulement du brin d'ADN et de sa cohorte de protéines.



Ils vont former les chromosomes (bleu) dont la taille se mesure en microns.

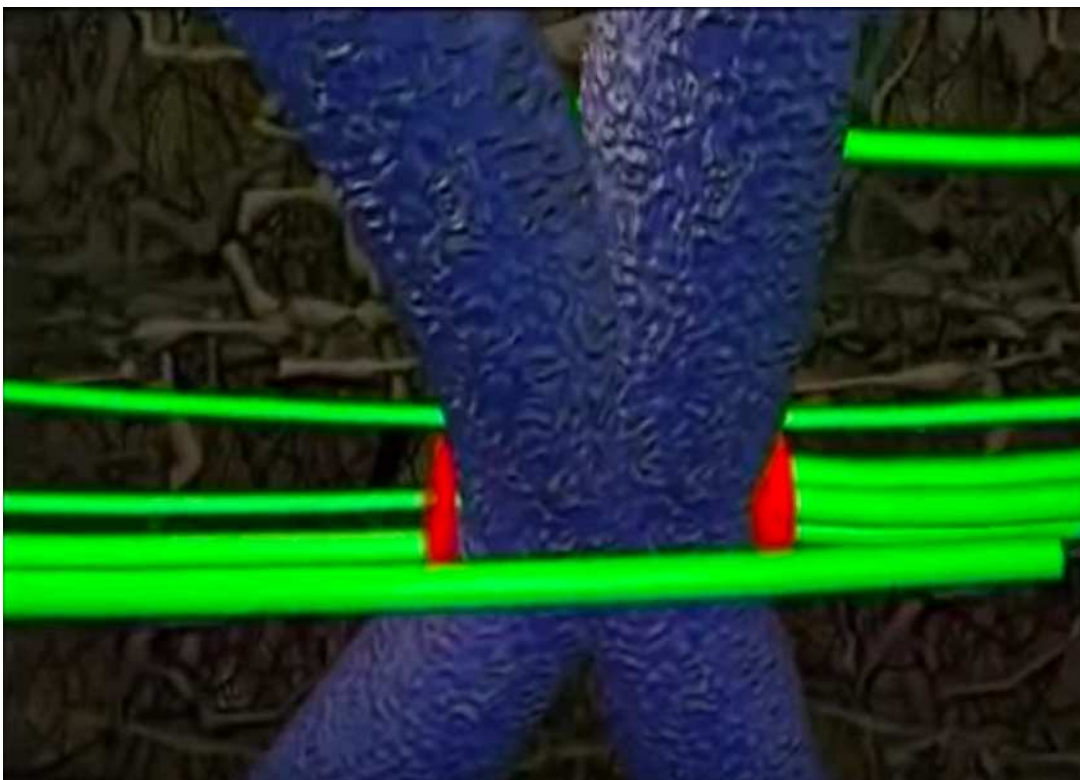


Une multitude de microtubules (vert) connectent les deux centrosomes (orange) qui, comme les chromosomes, se sont dupliqués, c'est la mitose, l'événement le plus spectaculaire dans la vie de la cellule.

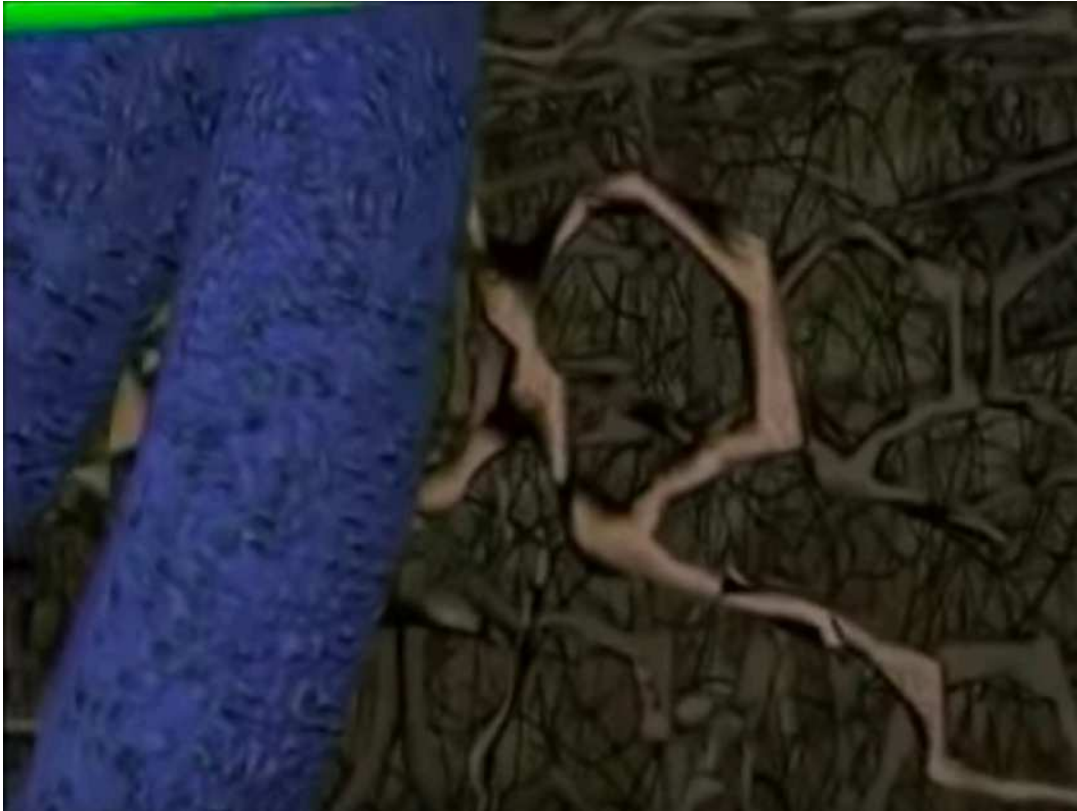


Désormais les paires de chromosomes et les arceaux de microtubules, organisés en fuseaux, architecturent le centre de la cellule. Dans un premier temps, les paires de chromosomes (bleu) glissent le long des microtubules.

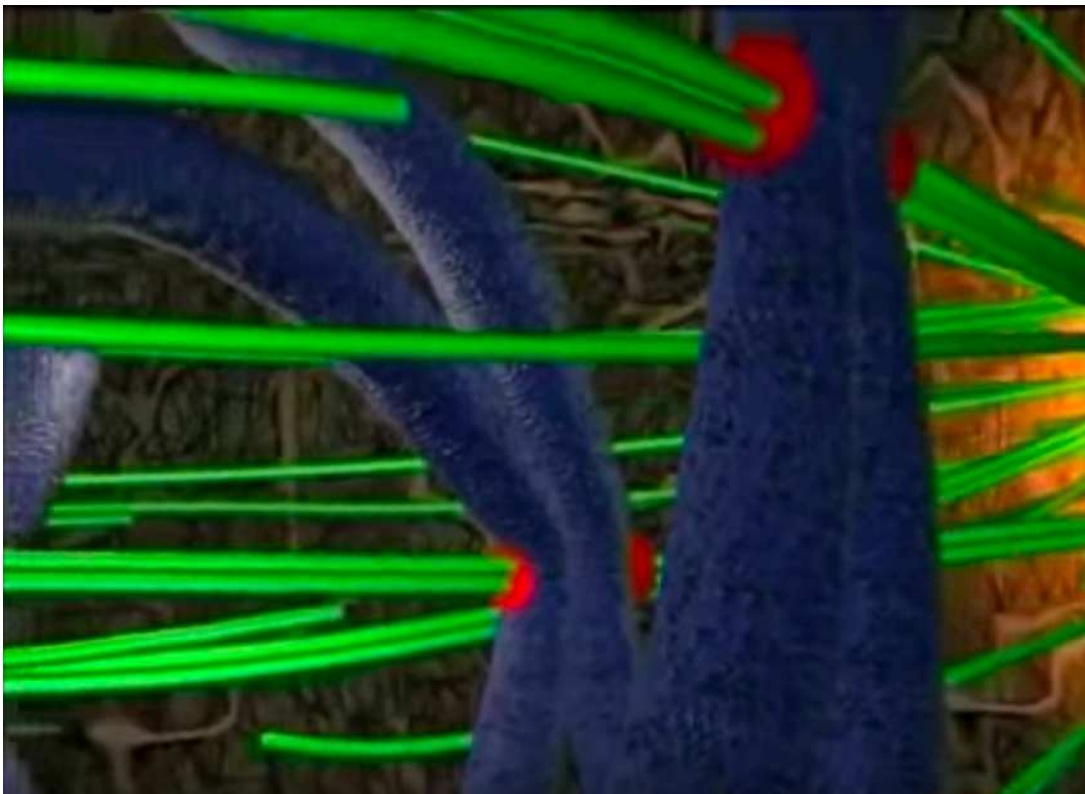
Puis les microtubules capturent les chromosomes en leur centre, au niveau d'une structure en forme de disque : le kinétochore. (En rouge)



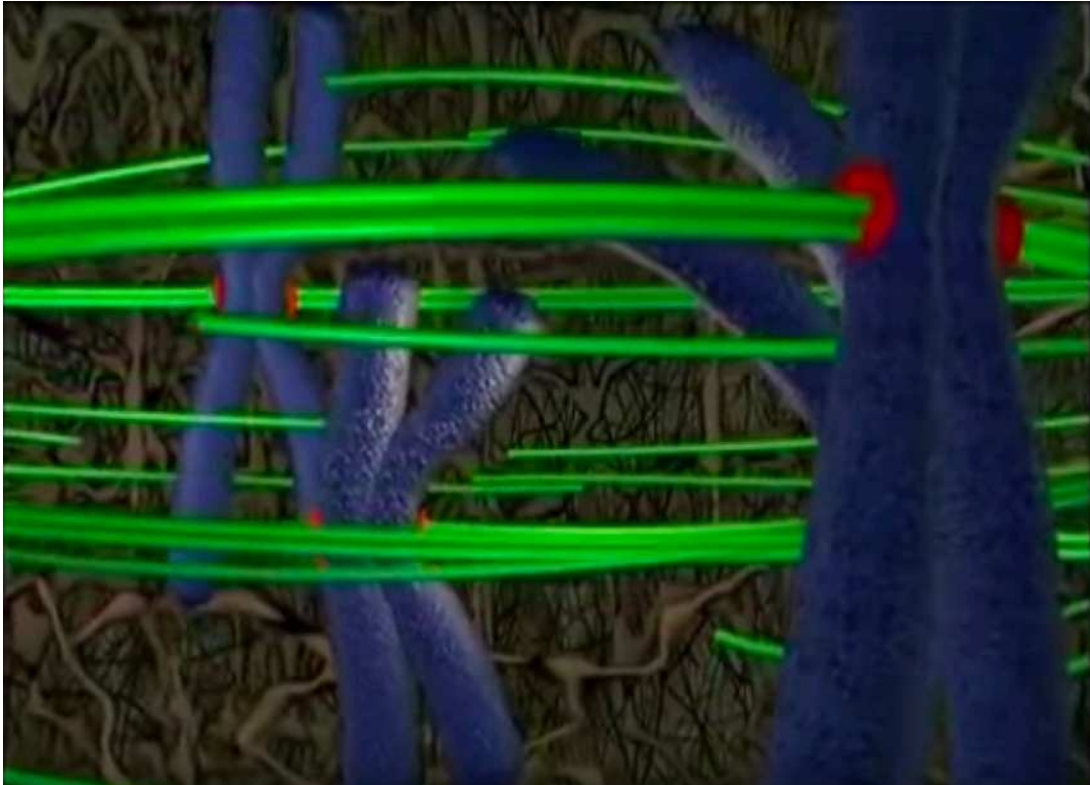
Cette danse de la mitose est orchestrée par une troupe d'enzymes et de protéines motrices (brun).



Les paires de chromosomes s'alignent à égale distance des deux pôles.

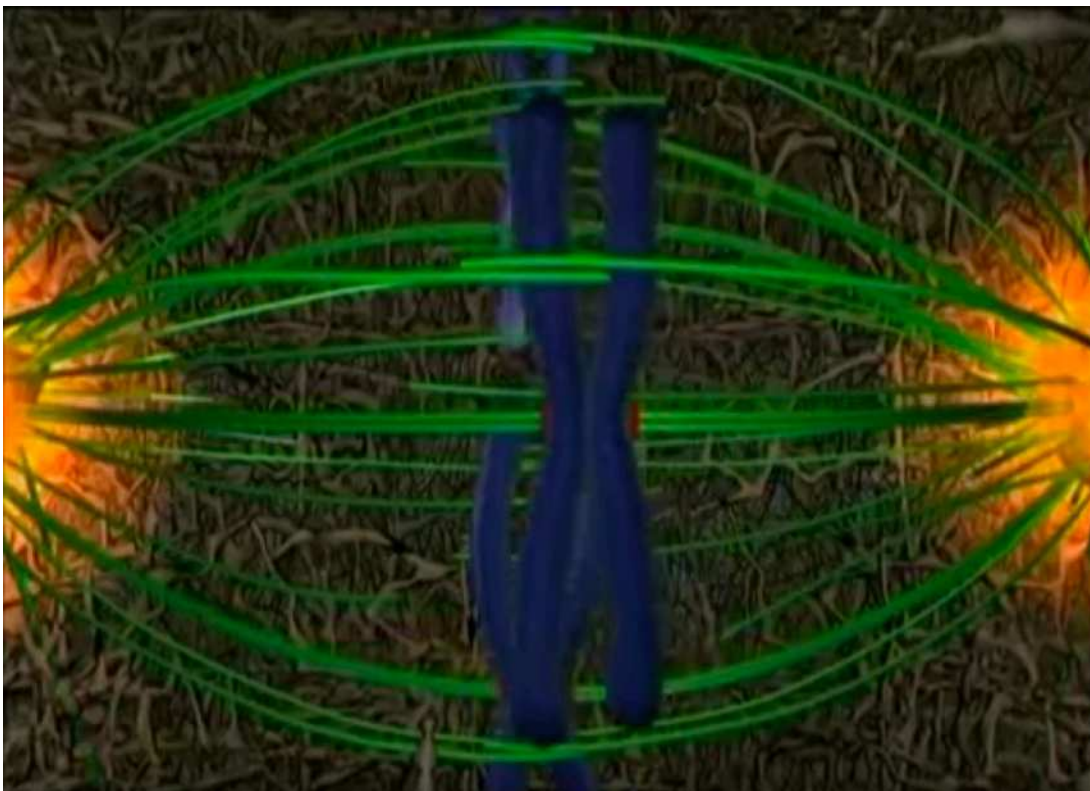


Soudain les microtubules (vert) séparent les chromosomes en deux lots égaux.

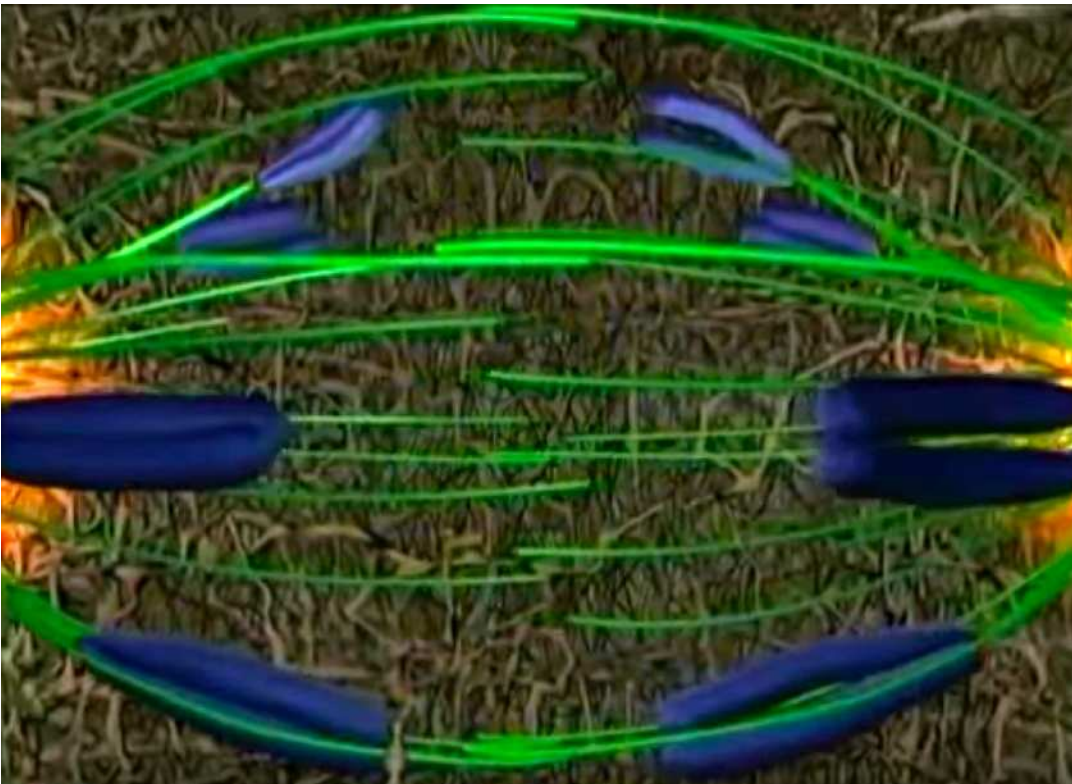
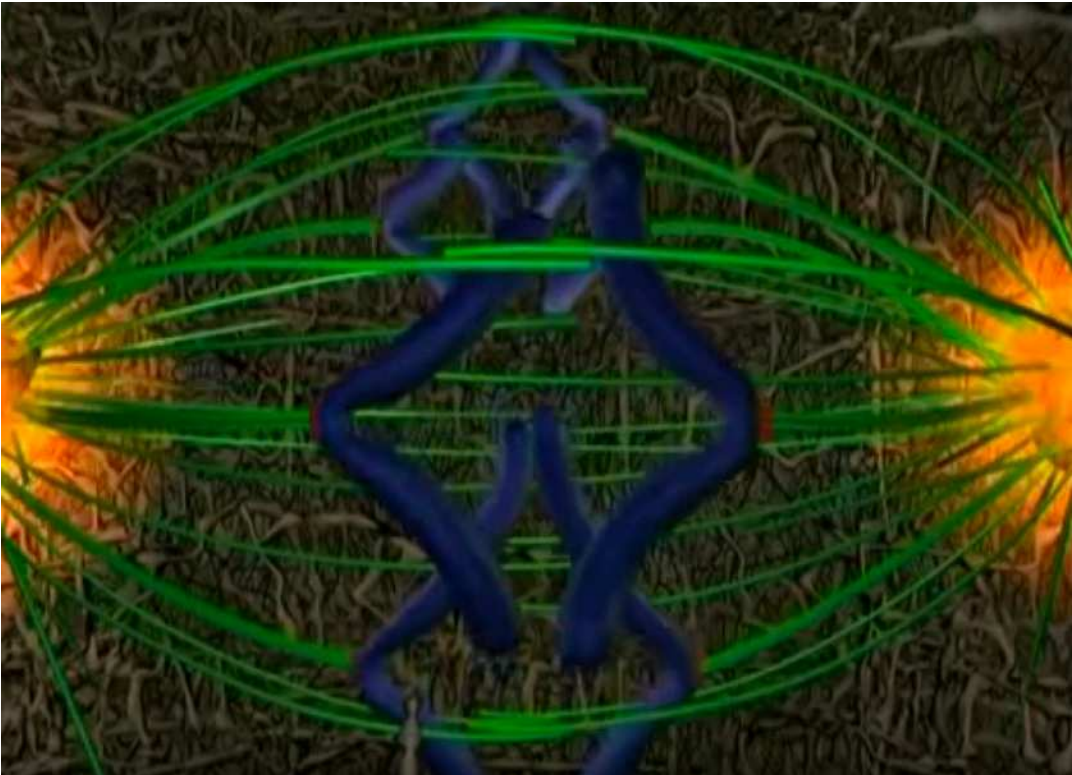


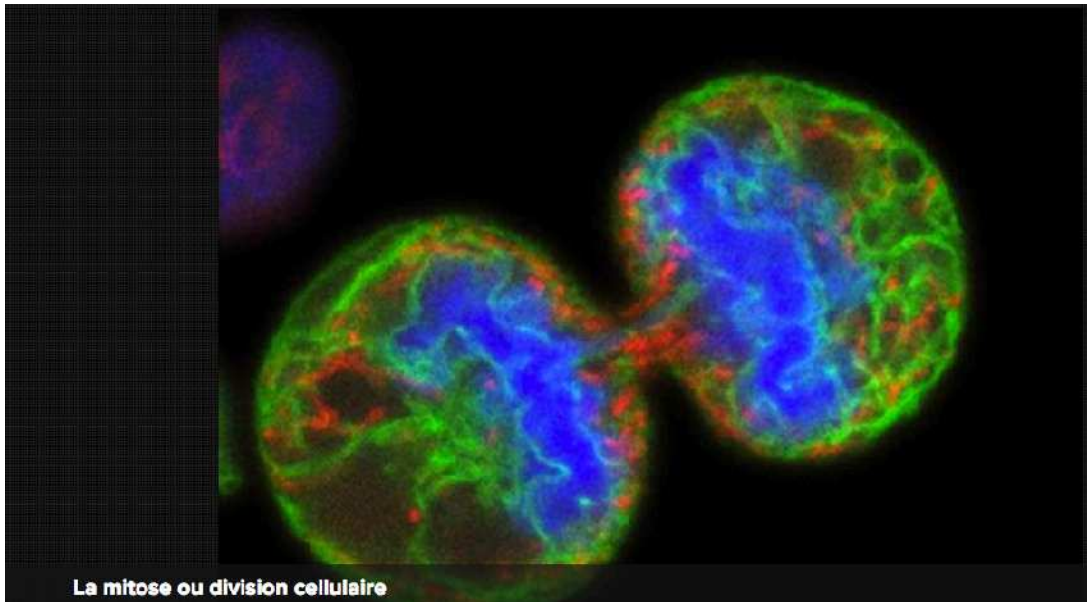
Et ramènent chaque lot vers chaque pôle du fuseau.

La mitose s'accomplit : elle sépare deux jeux de chromosomes (bleu) et de centrosomes (orange) identiques.



Un anneau de contraction, fait de microfilaments, scinde alors la cellule en son milieu en deux cellules filles.





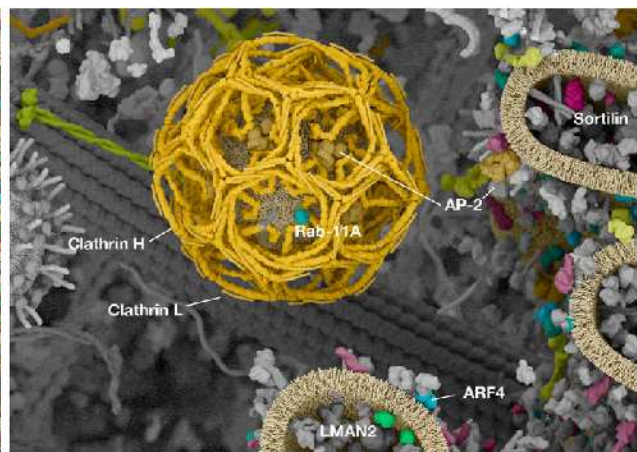
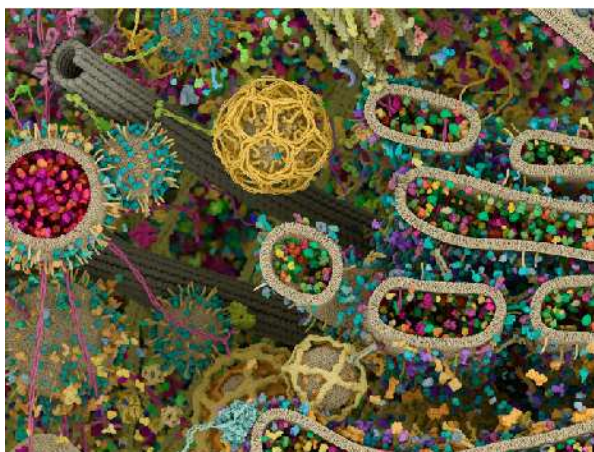
Ces deux cellules filles vont grandir puis se diviser à leur tour.

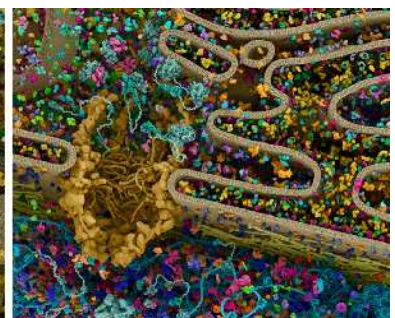
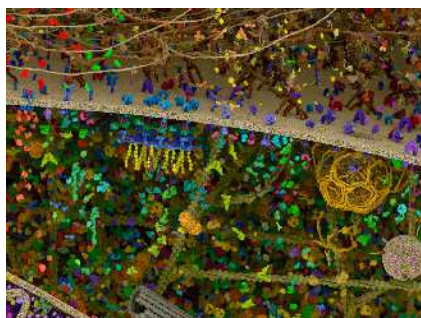
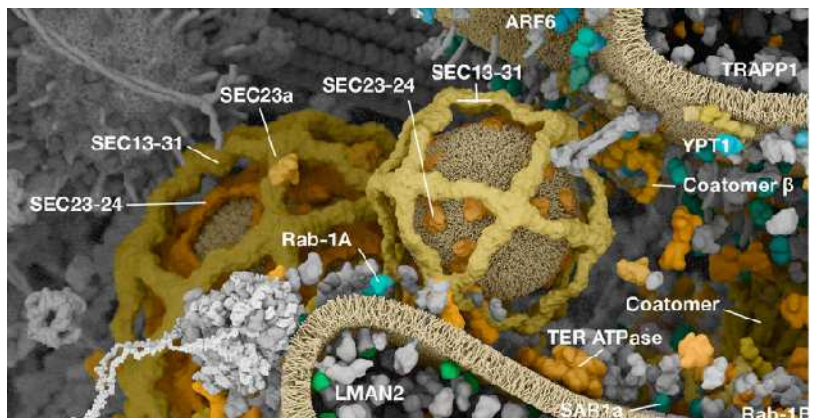
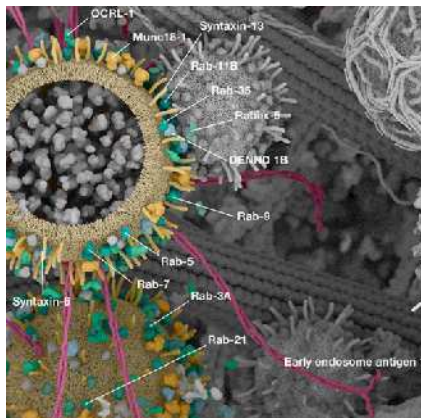
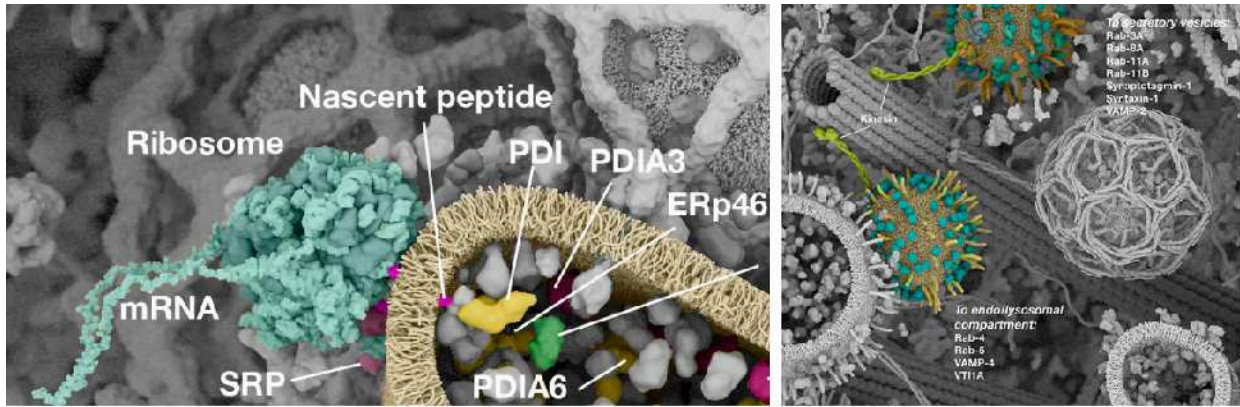


Ainsi va le cycle de la cellule, source de toute vie !



Voici l'image composite et colorée la plus détaillée, à ce jour, d'une seule cellule humaine obtenue par radiographie, résonance magnétique nucléaire et par microscopie cryo-électronique.





Pourquoi avoir décrit toute cette machinerie de la cellule ?

C'est trop compliqué à comprendre, je l'avoue.

Et tout ceci ne concerne que le fonctionnement interne d'une cellule qui se mesure en micromètres !

Imaginez celui d'un organe complet et les transmissions de tous les organes entre eux, dans un corps entier !

Il n'y a aucun doute : un univers est en nous.

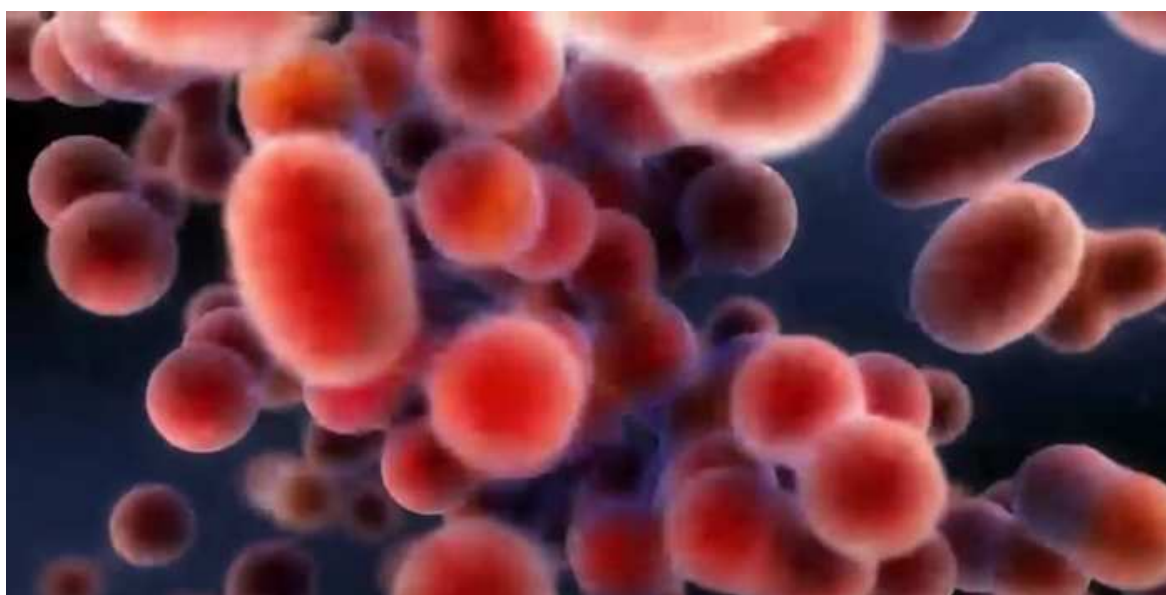
Chaque cellule est un monde en soi, composée d'une multitude de sujets qui ont, chacun, une tâche bien définie.

Et tous ces mondes ont besoin de coopérer pour vivre et se reproduire.

L'unité n'existerait pas sans la communauté...



« La plupart des gens pensent que les choses sont soit vivantes, soit mortes mais cette transition d'un état inanimé à un état animé, est-elle possible en une seule étape ou par une série d'étapes ? Si elle est possible par une série d'étapes, alors l'état intermédiaire serait partiellement vivant ! Vous me direz : c'est vivant ou cela ne l'est pas ! Moi, je dirais : vivant signifie qu'il y a des cellules, qu'elles se reproduisent, qu'elles font ceci ou cela et qu'il faut tout ça pour être complètement vivant.



Mais les chances que tout cela se soit produit d'un seul coup semble pourtant infime. On a donc peut-être eu un certain stade en premier puis un autre et encore un autre, jusqu'à atteindre le stade où le vivant a été complet. Comment est-ce possible ? »

« Bien entendu, **la cellule est bien plus que les éléments chimiques qui la composent**, une cellule qui vient de mourir, les contient toujours. Il y a donc quelque chose qui l'énergise ou pas, qui la coordonne. Et on ne sait pas encore comment parvenir à cela. Mais c'est notre objectif.

La chimie cellulaire est unique dans le sens où elle est auto-organisée, c'est-à-dire qu'une partie de la chimie à l'œuvre, en contrôle une autre qui, d'une certaine façon, contrôle la première. C'est à cela que nous nous intéressons. »

Alors le concours de toutes les circonstances favorables à l'apparition de la vie sur Terre, tant au niveau de la formation de la Terre elle-même (nous l'avons analysé dans le premier chapitre) qu'au niveau de la biologie de tous les êtres vivants sur celle-ci, est-ce un cas unique ? Il y a de quoi se poser la question.

Tout ce qui est vivant est, en fait, basé sur des polymères qui sont bien connus.

L'ADN, l'acide nucléique, est l'un de ces polymères.

Les protéines, qui sont des acides aminés, en sont un autre.

Ces deux polymères sont à la base de toute forme de vie chez nous.

Ce même phénomène sur d'autres planètes pourrait-il réunir les conditions essentielles pour que des éléments chimiques s'organisent de manière autonome ?

C'est une des questions les plus importantes en sciences et en philosophie.

En 2015, le télescope Alma, situé au Chili, a détecté la présence de **molécules organiques** dans un disque protoplanétaire d'une jeune **étoile située à 455 années-lumière de la Terre**.

La chimie constitutive de la formation des étoiles et des planètes n'est donc pas propre à notre système solaire. Les molécules organiques sont partout dans l'univers.

La communauté scientifique s'accorde à dire que la vie peut avoir surgi ailleurs dans l'univers, bien avant ou bien après nous.

Voilà les indices que nous avons jusqu'à présent : tout est affaire de périodicités, de rythmes, d'énergie et de modèles qui se chevauchent, jusqu'à parvenir à une certaine harmonie... dans l'univers, sur Terre et les êtres vivants.

Et si on a introduit le bon cycle et le bon modèle dans un système, il s'auto-organise.

Grâce à quoi et pourquoi ?

La vie continue inlassablement de suivre des modèles rythmiques du macro au microcosme.

Tout comme les cellules suivent le même schéma de fonctionnement, tous les systèmes solaires et galactiques en font de même.

Nous verrons, à la fin de ce chapitre, que ces deux mondes peuvent se comparer.

**C'est donc peut-être une sorte d'harmonie universelle qui crée la vie.**