

## L'univers était-il gros de la vie ?

La vie sur une planète : comment chercher ?

On progresse vite sur l'origine des pièces des molécules de la vie :  
aminoacides, glucides, lipides et bien d'autres espèces chimiques.

La littérature est abondante.

Il n'en est pas de même de la naissance de l'organisation moléculaire de la vie  
(acides nucléiques, protéines, code génétique)  
Alors, est-elle une énigme ou en connaît-on l'explication scientifique ?

Les lois connues de la physique et de la chimie suffisent-elles ?

Ici est présentée une argumentation en faveur de la réponse affirmative.

Est-ce abordable avec des élèves de lycée, et dans quelle mesure ?

Titre	Page
Sur les médias	2
Sur les écoles	2
Une idée sur l'émergence de la vie : le darwinisme chez les molécules	2
Au risque de choquer, le hasard a ses lois	2
L'entropie	2
Un équilibre thermodynamique, c'est quand l'entropie est stable	2
Un deuxième principe peu pratique	3
L'entropie chiffre le désordre corpusculaire : version classique	3
L'entropie chiffre le désordre corpusculaire : version quantique	3
Les réactions chimiques	3
Les copolymères du vivant	3
<i>Un copolymère, qu'est-ce que c'est ?</i>	3
<i>Les copolymères fondamentaux</i>	4
<i>Les codes chimiques</i>	4
<i>Du génotype au phénotype</i>	4
<i>Les enzymes</i>	4
<i>La catalyse</i>	4
<i>Les ribozymes</i>	4
La grande question de la naissance de la vie	4
<i>Comment cette organisation a-t-elle pu s'imposer ?</i>	5
<i>Réponse : Le darwinisme moléculaire</i>	
<i>Un processus répété dans le temps et l'espace : des bulles aux cellules</i>	5
Conclusion	5

## Sur les médias

Chez un média ordinaire tous les acteurs, journalistes, chroniqueurs, présentateurs, rédacteurs et producteurs, sont soumis à la *loi implicite de madame Michu* : un média est sensé s'adresser à un public typique imaginaire non cultivé et incapable de logique.

C'est parce que ces hypothétiques *madame Michu* n'existent pas que cet atelier est proposé.

## Sur les écoles

Dans tous les pays du monde et quelque soit les régimes politiques, un ministère de l'éducation est là pour une autre raison que l'épanouissement culturel des enfants : assurer une statistique optimale des centres d'intérêts des personnes dans la vie active selon les besoins du pays, comme si l'école est d'abord une raffinerie scolaire.

### *Une idée sur l'émergence de la vie : le darwinisme chez les molécules.*

Le darwinisme est fondé sur le hasard. Les spéciations (= apparition d'une nouvelle espèce vivante) n'ont pas de "main cachée qui dirige", mais se font au hasard, et c'est la concurrence pour la reproduction qui fait l'extraordinaire résilience de la vie.

Or le darwinisme n'a pas d'échelle ni dans l'espace ni dans le temps. Il s'applique des molécules de copolymères, aux espèces et à tous les domaines du vivant entre ces deux extrêmes. Les cancers par exemple.

Le problème a deux visages en apparence contradictoire : la reproduction et la survie.

Il y a concurrence pour raisons énergétiques entre les deux.

### *Au risque de choquer, le hasard a ses lois.*

Une fréquence est le quotient du nombre  $n$  d'événements d'une catégorie donnée divisée par le nombre  $N$  d'événements de l'échantillon étudié. Ecrivons la  $f = \frac{n}{N}$ . Ce quotient est toujours compris entre zéro et 1.

On peut démontrer mathématiquement que  $f$  est toujours dans l'intervalle  $I = \left[ -\frac{1}{N+1}, \frac{1}{N+1} \right]$ .

## L'entropie

Clausius avait appris comme tous les étudiants de son époque qu'un dispositif technique (les physiciens disent un système) *isolé* (qui n'échange pas de chaleur avec son environnement) voit les diverses températures de ses parties  $T_i$ , exprimées en kelvins, toujours converger vers une valeur uniforme  $T$ .

Un petit calcul algébrique démontre alors que la somme  $dS$  des  $dS_i = dQ_i/T_i$  est toujours positive. Clausius a donc découvert une nouvelle grandeur physique qu'aucun savant n'avait su imaginer avant lui, donc a eu l'honneur de la baptiser : *l'entropie S*.

Le deuxième principe de la thermodynamique est né.

Le premier principe était l'équivalence entre chaleur et travail, mise en évidence par Joule quelques années auparavant.

Travail et chaleur sont par définition des énergies. Ce mot "énergie" a été tiré du grec "en" et "ergos" = mouvement.

Un travail est la multiplication d'une force par un déplacement. Quand ils bougent, les êtres vivants travaillent.

Une force est un pouvoir de faire varier une vitesse, un pouvoir d'accélérer. Newton l'avait défini en multipliant la masse accélérée par son accélération.

### *Un équilibre thermodynamique, c'est quand l'entropie est stable.*

Maxwell avait démontré que l'énergie possédée par un dispositif varie entre les deux états selon la formule  $dE = T dS - P dV +$  la somme des  $X dx$ .

Interprétons :

$dE$  est la variation de l'énergie interne.

$P$  est la pression subie par la matière de la part de son environnement.

$dV$  est la variation de son volume.

Les  $dx$  sont les variations de toute les grandeurs susceptibles de modifier l'énergie interne.

Par exemple les changements de composition chimique, les changements d'état (solide, liquide, gazeux ...), l'aire de la surface, l'aimantation, etc.

Les  $X$  sont les grandeurs intensives (elles ne s'additionnent pas) associées (concentrations chimiques, tension superficielle ...), qui sont ce que la pression est pour le volume.

### *Un deuxième principe peu pratique*

Gibbs avait résolu un problème bien embarrassant pour les physiciens, techniciens et ingénieurs : l'entropie de Clausius est très difficile à évaluer.

Parce qu'aucun dispositif réel n'est isolé.

Même les plus performants des calorimètres sont pour la chaleur des passoires, à tel point qu'avant toute expérience il faut mesurer et quantifier leurs fuites.

Gibbs a démontré que pour un corps à la même température et sous la même pression que son environnement, ces deux grandeurs étant stables, la quantité  $dG = d(E - TS + PV)$  est toujours négative. L'intérêt de ce théorème est que les grandeurs impliquées sont celles du corps étudié et de lui seul.

La grandeur  $G$  est appelée énergie de Gibbs ou *enthalpie libre*.

Maxwell a démontré la formule  $G =$  somme des  $\mu_i n_i$  où  $n_i$  est le nombre de moles de corpuscules (molécule ou ions) composant un mélange gazeux parfait (pas d'interaction mécanique entre corpuscules) et  $\mu_i$  est un coefficient constant nommé potentiel chimique de l'espèce  $i$ . Nernst a démontré aussi la loi  $\mu_i = \mu_{i_0} + R T \ln c_i$  où  $T$  est la température absolue en kelvins,  $R$  la constante des gaz parfaits,  $c_i$  la concentration (le nombre de moles par unité de volume) de l'espèce  $i$  et  $\mu_{i_0}$  une constante caractéristique de l'espèce  $i$  et de son environnement.

### *L'entropie chiffre le désordre corpusculaire : version classique*

Pour  $N$  corps ponctuels ayant chacun 3 coordonnées  $x_i, y_i$  et  $z_i$  de position et 3 coordonnées de quantité de mouvement  $m v_{i,x}, y$  ou  $z$  on a  $\Omega =$  multiplication des  $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i, \Delta(m v_{i,x}), \Delta(m v_{i,y}), \Delta(m v_{i,z})$  où le signe  $\Delta$  veut dire "amplitude de variation de".

### *L'entropie chiffre le désordre corpusculaire : version quantique*

Heisenberg en a déduit deux lois d'incertitudes  $\Delta E \Delta t \geq h$  et  $\Delta(x, y \text{ ou } z) \Delta p_{x, y \text{ ou } z} \geq h$  si bien que le  $\Omega$  de Maxwell et Boltzmann est numériquement proche de  $h^{6N}$ .

### *Les réactions chimiques*

Nernst a démontré à partir de son expression des potentiels chimiques la loi

$\Delta G = \Delta G_0 + R T$  (somme des  $\alpha_i \ln c_i$ ) où  $\Delta$  est le signe de Gibbs qui veut dire "variation pour une mole de réaction chimique élémentaire",  $\Delta G_0$  est une constante caractéristique des substances concernées par la réaction et de leur environnement physique et chimique et  $\ln$  la fonction mathématique logarithme.

Guldberg et Waage en ont déduit la loi d'action de masse

$\Delta G_0 = R T$  (somme des  $\alpha_i \ln c_i$ ).

### *Les copolymères du vivant*

#### *Un copolymère, qu'est-ce que c'est ?*

Quand deux molécules H-A-OH et H-B-OH (ici, H est un atome d'hydrogène, O un d'oxygène, OH un couple de ces atomes, un tiret est une liaison chimique entre atomes, A et B sont des grappes d'atomes divers) réagissent entre elles, elles cassent et les morceaux se rassemblent autrement pour donner une molécule de dimère H-A-B-OH et une molécule d'eau H-OH.

La molécule du dimère réagit à son tour avec une molécule de monomère H-C-OH (ici C est une grappe d'atomes) donnant une molécule de trimère H-A-B-C-OH et une molécule d'eau.

Et ainsi de suite, la molécule de polymère continue de pousser ...

On en arrive à un copolymère H-A-B-C-...-U-OH. Les grappes d'atomes -A-, -B-, -C- ... -X- du copolymère s'appellent des restes. Un polymère est fait de  $N$  restes enchaînés avec à un bout un H- et à l'autre bout un -OH.

Les copolymères du vivant sont donc des chaînes orientées.

Quand aux molécules de départ H-A-OH, H-B-OH, H-C-OH ... , H-X-OH on les appelle des monomères.

## Les copolymères fondamentaux<sup>4</sup>

Un acide nucléique (ADN ou ARN) contient quatre types de restes qu'on appelle nucléosyle, A, C, T ou G pour les ADN et A, C, U et G pour les ARN. Les monomères sont appelés nucléotides.

Une protéine contient 20 types de restes qu'on appelle aminoacyle. Les monomères sont appelés aminoacides.

## Les codes chimiques

Il existe une relation biunivoque entre la formule chimique d'un composé donné et l'ensemble de ses propriétés physiques et chimiques.

Une chaîne de copolymère peut donc être regardée comme un texte codé porteur d'informations sur ce qu'elle fait dans la matière vivante.

Dans le vocabulaire des chimistes, le mot "texte" est remplacé par le mot "séquence".

Pour comprendre comment fonctionnent les copolymères du vivant, il suffit de penser à la machine de Turing : un assemblage moléculaire joue le rôle de la tête de lecture et d'écriture qui circule dessus. Les informations portées codées sur le copolymère sont des causes potentielles, des effets potentiels et des relations de cause à effet.

## Du génotype au phénotype

Selon sa séquence, un polypeptide est contraint d'adopter une forme particulière, en particulier de se met en pelote sous l'influence de son environnement immédiat. Et cet environnement c'est pour les trois quart des molécules d'eau liquide, le reste étant une très riche variété de molécules et d'ions.

Une partie des restes aminoacyl est hydrophobe (= qui évitent l'eau) et une autre partie hydrophile (= attirée par l'eau). C'est pourquoi la forme de pelote de la chaîne protéique a ses restes hydrophobes à l'intérieur et les restes hydrophiles à l'extérieur.

## Les enzymes

De nombreuses pelotes protéiques ont à la surface un creux, ce qui les fait ressembler de loin à un grain de café.

Dans ce creux se collent et se décollent à très grande vitesse divers corpuscules (molécules ou ions) de l'environnement. Une fois collés, ces corpuscules peuvent être déformés, rendant fragiles quelques liaisons chimiques entre atomes à l'intérieur, ce qui augmente leur réactivité : c'est la catalyse.

## La catalyse

En chimie, Eyring<sup>8</sup> a démontré expérimentalement un équilibre entre les réactifs, le catalyseur et une combinaison des deux (un produit de transition) selon la loi d'action de masse de Guldberg et Waage avec un  $\Delta G_o$  particulier, écrit  $\Delta G_o^\ddagger$ , plus bas que le  $\Delta G_o^\ddagger$  sans catalyseur, qui se décompose avec une vitesse donnée par la loi de Planck  $E = h \nu$  où  $E$  est l'énergie possédée par une particule en général selon la loi de Maxwell et Boltzmann  $k_B T$ .

Cette affaire de catalyse est fondamentale pour comprendre un jour la naissance de la vie.

## Les ribozymes<sup>9</sup>

Il existe des ARN qui se comportent comme des protéines (mise en pelote, creux catalytique), des ribozymes.

## La grande question de la naissance de la vie

Dans le vivant, un réseau très riche de réactions chimiques catalysées par des enzymes ou de ribozymes – ce qu'on appelle le métabolisme – font que les cellules vivent, se reproduisent, résistent ou s'adaptent à l'environnement.

Les molécules du vivant semblent très bien organisées entre elles. On appelle les êtres vivants des *organismes* et leurs parties des *organes* : ce vocabulaire n'a pas d'échelle entre les molécules et les individus végétaux ou animaux.

Cet ordre n'est pas total : On connaît un *désordre rémanent*. Un désordre sous forme de *mutations* et dans la biochimie des ARN messagers : à partir de l'ADN des chromosomes ils sont transcrits trop longs, épissés<sup>11</sup> on ne sait pas comment, des segments sont éliminés (les introns) et d'autres traduits en polypeptides.

Ordre et désordre semblent être dosés par la nature pour optimiser la résilience de la vie.

Mais aux débuts de la vie, organisés par quoi ? Optimisé par quoi ?

## *Comment cette organisation a-t-elle pu s'imposer ?*

### *Réponse : Le darwinisme moléculaire*

Le darwinisme est fondé sur le hasard. Les spéciations (= apparition d'une nouvelle espèce vivante) ne sont pas le fait d'une "main cachée qui dirige", mais résulte du hasard, rien que du hasard.

Kolmogorov<sup>13</sup> et Levin<sup>14</sup> ont ouvert une piste de recherche. Le premier a inventé un chiffrement de la complexité, le deuxième a chiffré sa probabilité.

Un processus est complexe si son exécution exige beaucoup d'instructions.

Mais on a vu que le hasard préside les processus dans le vivant.

Or plus un processus est complexe, plus sa probabilité est faible.

Parce que la probabilité du processus est en gros la multiplication des probabilités de ses étapes.

Un exemple : un processus exige la présence d'une séquence de 100 restes nucléosyles d'une chaîne d'ARN.

Comme il existe quatre sortes de nucléosyles, la probabilité de création de cette séquence est  $1/4^{100}$ . Mais  $4^{100}$  est plus grand que le nombre d'atomes du système solaire ! La probabilité d'émergence du processus serait quasi nulle.

Mais ...

Imaginons une chaîne pré existante de 100 nucléosyles, la séquence étant montée au hasard en un processus à une seule étape.

Cette chaîne est copiée (réplication) en de nombreux exemplaires, mais avec avec quelques ERREURS DE COPIE qui ne sont pas toutes corrigées. C'est ce qu'on appelle des mutations. Les copies engendrent chacune un polypeptide qui se met en pelote avec un creux comme un grain de café et dans ce creux actif interviennent un tout petit nombre d'aminoacyles : la probabilité n'est plus  $1/4^{100}$ , mais  $1/4^{\text{ce petit nombre divisé par } 3}$ .

Les plus courtes sont donc les plus probables.

On obtient un mélange de pelotes.

Alternativement, les pelotes sont synthétisées et hydrolysées (des monomères au polymère pour la sythèse, du polymère aux monomères pour l'hydrolyse). La variété des pelotes est maximale et évolue au hasard.

Mais dans le mélange d'autres molécules ou ions sont présents (appelons-les des témoins) : alors de deux choses l'une.

- Soit la pelote est indifférente à son environnement chimique : elle sera rapidement hydrolysée. Ce processus ne fait pas varier l'enthalpie libre du dispositif de façon significative. La probabilité de disparition est donc maximale.
- Soit une pelote a une affinité chimique avec un témoin et alors une réaction chimique démarre, ce qui protège de l'hydrolyse (concurrencée par la réaction) et diminue sensiblement l'enthalpie libre du mélange, car cette diminution est toujours plus probable qu'une augmentation. La probabilité de survie est donc non négligeable.

L'ordre moléculaire a donc paradoxalement de fortes chances d'avoir émergé du désordre originel à cause des lois du hasard !

### *Un processus répété dans le temps et l'espace : des bulles aux cellules*

Quand on se verse une bière c'est par milliards que de petites bulles de quelques  $\text{mm}^3$  se forment. La mer fait de même sur les plages. C'est le processus de la vinaigrette : les substances hydrophiles et leur contraire, les hydrophobes ne se mélangent pas.

Le volcanisme, des météores violents suffisent pour créer de nombreuses espèces chimiques dont les monomères du vivant.

## **Conclusion**

Voici des faits théoriques presque jamais évoqués dans un discours sur la vie devant un public, qu'il soit scolaire ou non. Ils sont nombreux. Tous ne pourront pas être évoqués le temps limité d'un atelier. C'est pourquoi ce document est distribué à l'assistance pour permettre de se concentrer sur le sujet de la vie.

Ces faits peuvent suffire pour un jour comprendre comment la vie a pu naître sans faire appel à un apport organisationnel quelconque : pas de divinité ni de "main cachée qui dirige", pas d'organisation importée ou engendrée par similitude. Les lois du hasard, celles de la physique et de la chimie, et la perspicacité des scientifiques sont suffisamment riches et performants pour résoudre le problème.