

L'entropie et le vivant

Paolo De Los Rios

Institute of Physics, School of Basic Sciences

École Polytechnique Fédérale de Lausanne - EPFL

Qu'est-ce que c'est l'entropie?

Quand on y pense, on pense au desordre...



Qu'est-ce que c'est l'entropie?

Quand on y pense, on pense au desordre...



Qu'est-ce que c'est l'entropie?

Quand on y pense, on pense au desordre...



Spontané
→

←
Faut bosser



... et au travail qu'il faut pour l'inverser.

L'entropie est une mesure du nombre
d'états accessibles au système

La deuxième loi de la thermodynamique est

$$\Delta S \geq 0$$

tous changements spontanés d'un système
impliquent une augmentation de son entropie S

L'entropie est une mesure du nombre d'états accessibles au système

La deuxième loi de la thermodynamique est

$$\Delta S \geq 0$$

tous changements spontanés d'un système impliquent une augmentation de son entropie S

Elle nous dit que un système a la tendance à visiter plus en plus d'états (positions, configurations etc.) au cours du temps.

L'entropie est une mesure du nombre d'états accessibles au système

La deuxième loi de la thermodynamique est

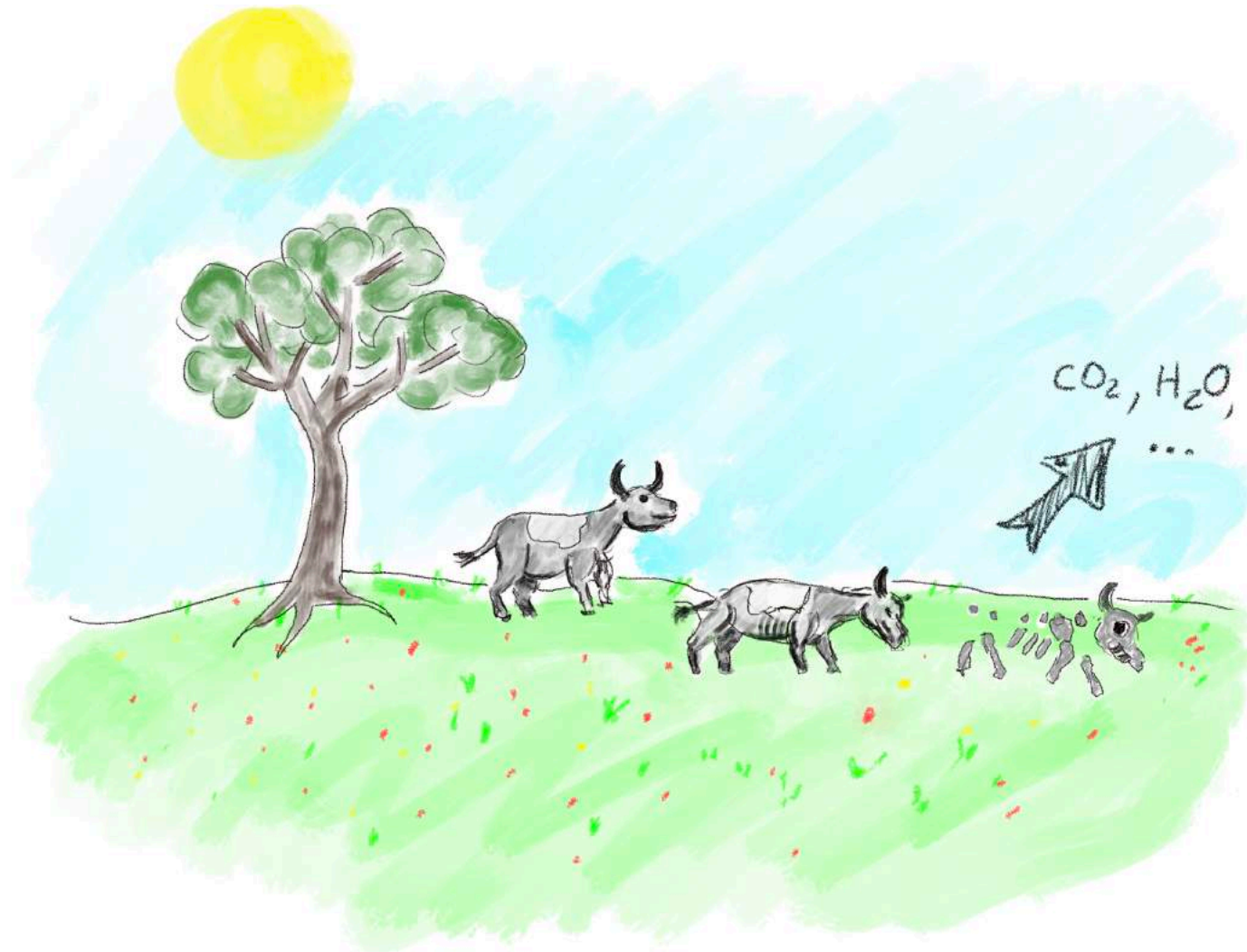
$$\Delta S \geq 0$$

tous changements spontanés d'un système impliquent une augmentation de son entropie S

Elle nous dit que un système a la tendance à visiter plus en plus d'états (positions, configurations etc.) au cours du temps.

... au cours du temps, on perd une chaussette sur deux

La mort augmente l'entropie



Donc on pourrait en tirer que l'entropie, qui veut toujours augmenter, est ennemie de la vie.

Est-ce qu'il est vrais?

D'abord, regardons l'entropie au niveau microscopique



Stress,
urgence,
chaos



D'abord, regardons l'entropie au niveau microscopique



Stress,
urgence,
chaos



enfants



D'abord, regardons l'entropie au niveau microscopique



Stress,
urgence,
chaos



enfants



Pour les molécules, c'est l'agitation thermique

Qu'est-ce que c'est l'agitation thermique?

Chaque corps bouge de façon aléatoire à cause de la température.

Qu'est-ce que c'est l'agitation thermique?

Chaque corps bouge de façon aleatoire à cause de la temperature.

On ne l'aperçoit pas au niveau macroscopique car on est "gros".

Qu'est-ce que c'est l'agitation thermique?

Chaque corps bouge de façon aleatoire à cause de la temperature.

On ne l'aperçoit pas au niveau macroscopique car on est "gros".

Énergie thermique (à 25°C) $\approx 4 \times 10^{-21}$ Joules

Qu'est-ce que c'est l'agitation thermique?

Chaque corps bouge de façon aleatoire à cause de la temperature.

On ne l'aperçoit pas au niveau macroscopique car on est "gros".

Energie thermique (à 25°C) $\approx 4 \times 10^{-21}$ Joules

$$\text{Énergie cinétique} = \frac{1}{2}mv^2$$

Qu'est-ce que c'est l'agitation thermique?

Chaque corps bouge de façon aleatoire à cause de la temperature.

On ne l'aperçoit pas au niveau macroscopique car on est "gros".

Energie thermique (à 25°C) $\approx 4 \times 10^{-21}$ Joules

$v = 10^{-11}$ m/s avec ma masse de ... Kg (taille 1m)

$$\text{Energie cinetique} = \frac{1}{2}mv^2$$

Qu'est-ce que c'est l'agitation thermique?

Chaque corps bouge de façon aléatoire à cause de la température.

On ne l'aperçoit pas au niveau macroscopique car on est "gros".

Energie thermique (à 25°C) $\approx 4 \times 10^{-21}$ Joules

$$\text{Energie cinétique} = \frac{1}{2}mv^2$$

$v = 10^{-11}$ m/s avec ma masse de ... Kg (taille 1m)

$v = 15$ m/s pour une protéine moyenne (taille 10^{-9} m)

IMPORTANT!

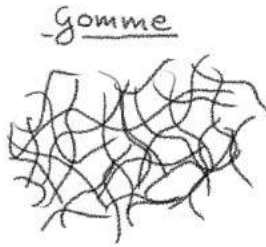
Comment peut l'entropie être utile?

Élasticité de la gomme:



Comment peut l'entropie être utile?

Élasticité de la gomme:



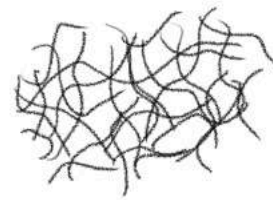
La gomme est un réseau de polymères

Comment peut l'entropie être utile?

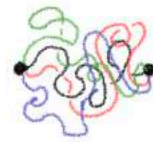
Élasticité de la gomme:



gomme



La gomme est un réseau de polymères



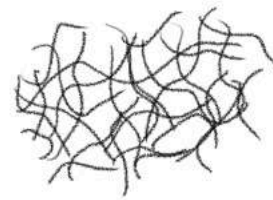
Grande entropie

Comment peut l'entropie être utile?

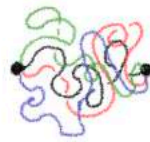
Élasticité de la gomme:



gomme



La gomme est un réseau de polymères



Grande entropie

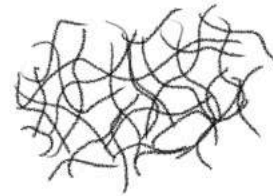


Comment peut l'entropie être utile?

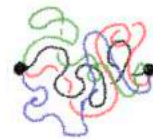
Élasticité de la gomme:



gomme



La gomme est un réseau de polymères



Grande entropie



Petite entropie

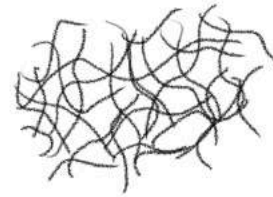
Comment peut l'entropie être utile?

Élasticité de la gomme:



“Rubber band shrinks when heated”
<https://www.youtube.com/watch?v=eB4B2xZ177A>

gomme



La gomme est un réseau de polymères



Grande entropie

L'agitation
thermique
fait contracter

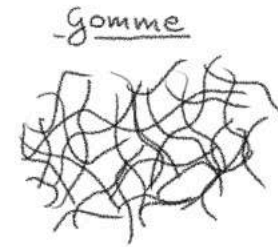


Petite entropie

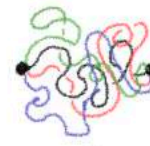
Comment peut l'entropie être utile?

Élasticité de la gomme:

"Rubber band shrinks when heated"
<https://www.youtube.com/watch?v=eB4B2xZ177A>



La gomme est un réseau de polymères



Grande entropie

L'agitation
thermique
fait contracter



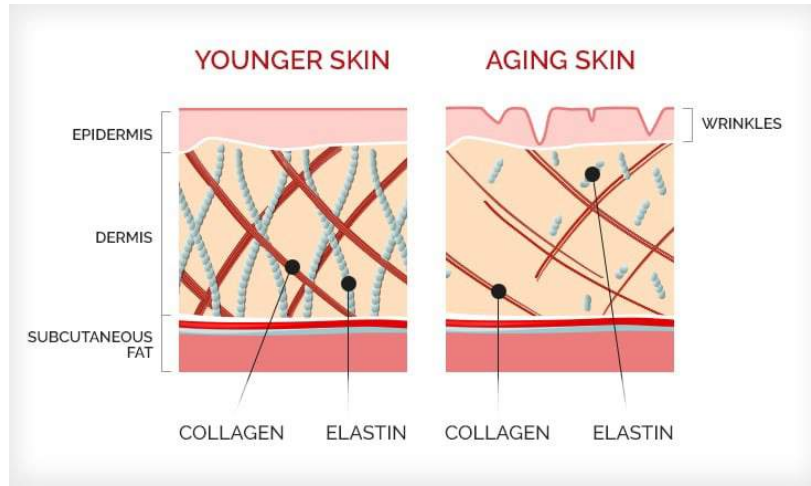
Petite entropie

Un polymère se comporte comme un ressort dont la force est entropique

L'élasticité entropique des polymères on la
trouve partout dans le vivant

L'élasticité entropique des polymères on la trouve partout dans le vivant

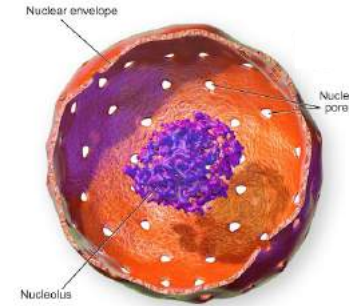
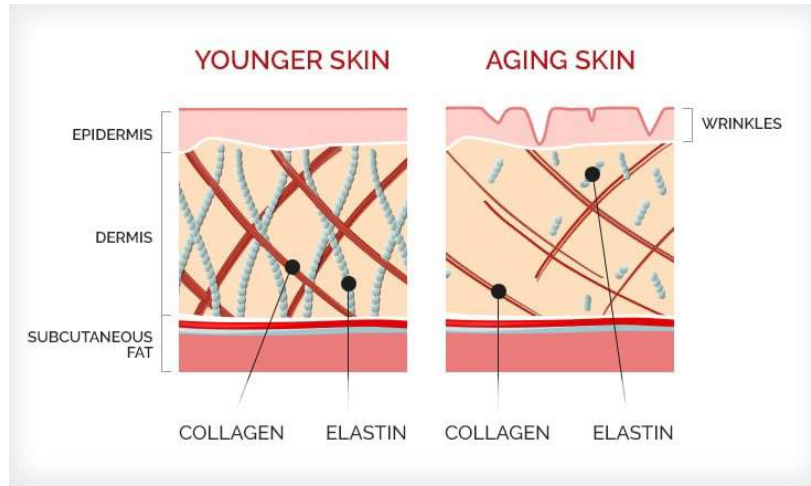
<https://healthmatters.nyp.org/>



L'élasticité de la peau et de certains cartilages

L'élasticité entropique des polymères on la trouve partout dans le vivant

<https://healthmatters.nyp.org/>

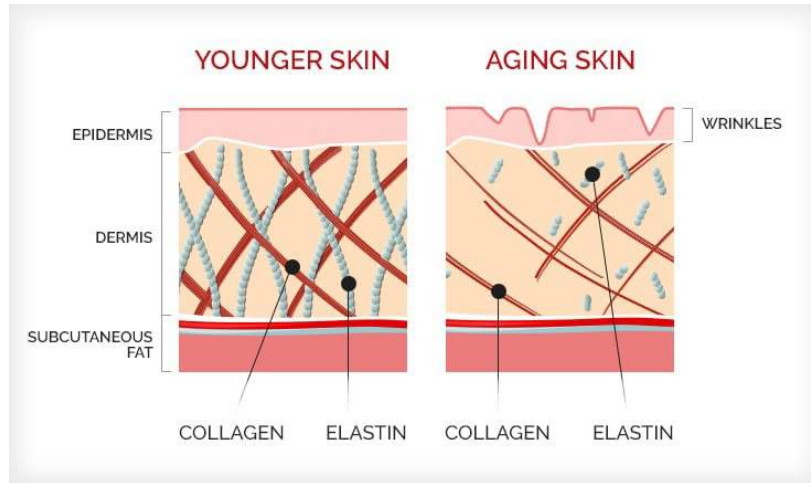


Le noyau de la cellule est un lieu protégé. On y accède par des “portes”:
le “nuclear pore complex”
qui est très sélectif

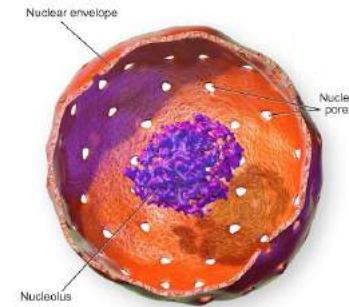
L'élasticité de la peau et de certaines cartilages

L'élasticité entropique des polymères on la trouve partout dans le vivant

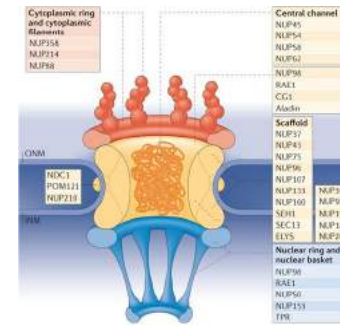
<https://healthmatters.nyp.org/>



L'élasticité de la peau et de certains cartilages



Le noyau de la cellule est un lieu protégé. On y accède par des "portes":
le "nuclear pore complex" qui est très sélectif

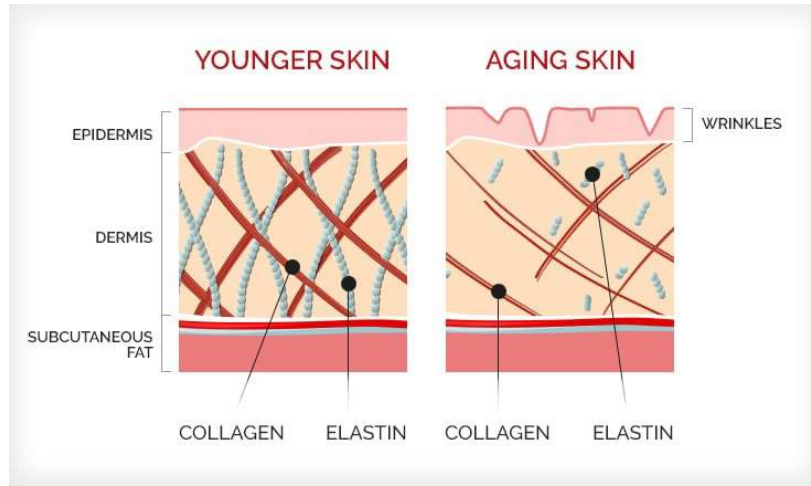


Un "filtre entropique" pour choisir quelles molécules peuvent entrer dans le noyau de la cellule

M. Raices & M.A. D'Angelo
Nat Rev Mol Cell Biol **13**, 687–699 (2012)

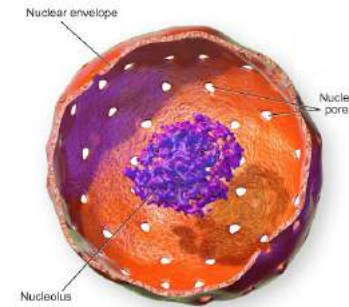
L'élasticité entropique des polymères on la trouve partout dans le vivant

<https://healthmatters.nyp.org/>

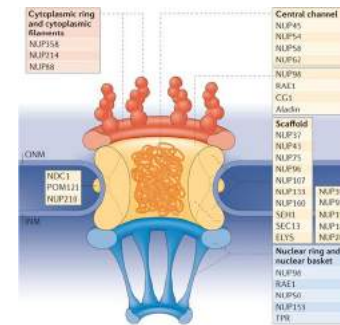


L'élasticité de la peau et de certains cartilages

La vie maîtrise la physique et a appris à exploiter l'entropie



Le noyau de la cellule est un lieu protégé. On y accède par des "portes":
le "nuclear pore complex" qui est très sélectif

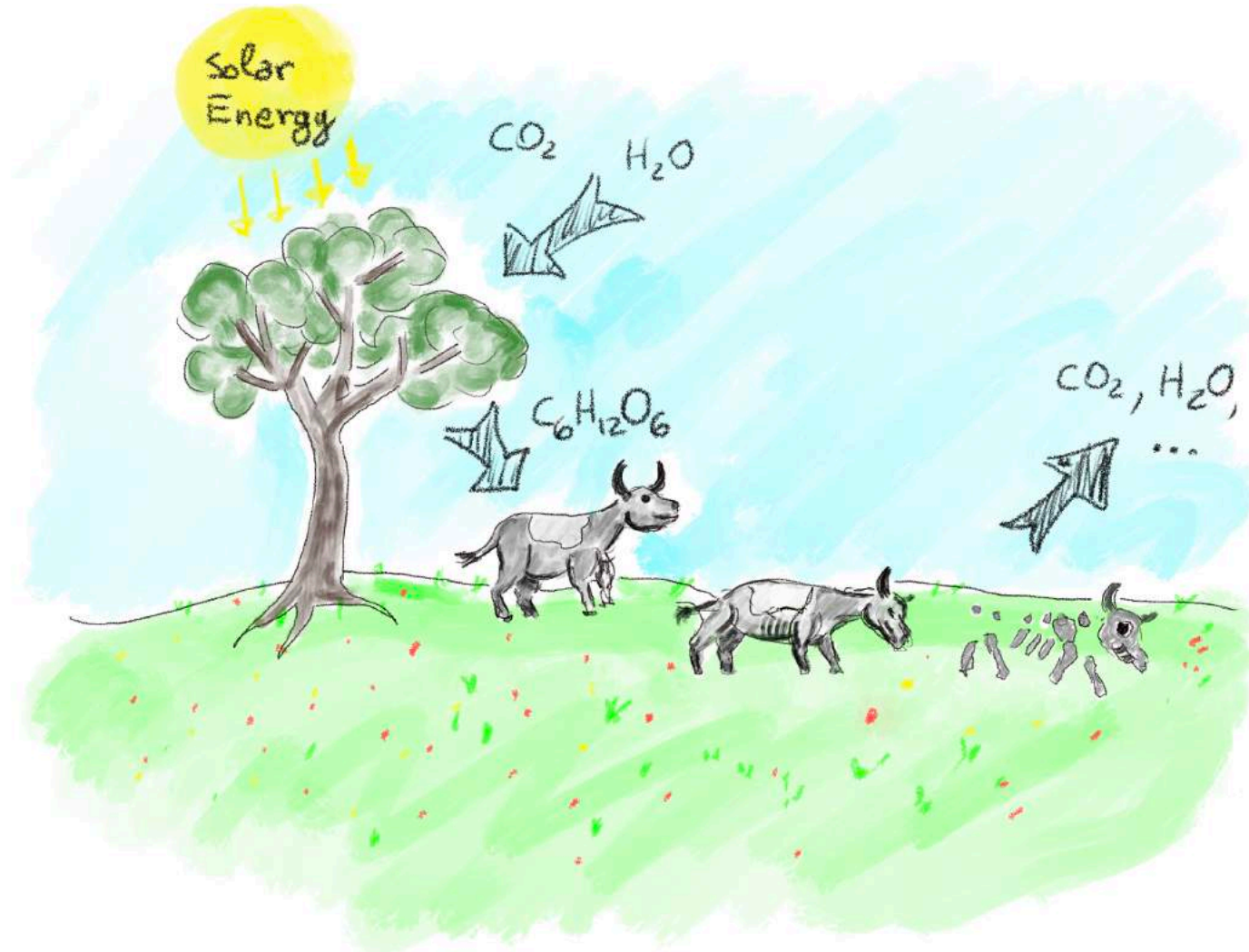


Nature Reviews | Molecular Cell Biology

M. Raices & M.A. D'Angelo
Nat Rev Mol Cell Biol 13, 687–699 (2012)

Un "filtre entropique" pour choisir quelles molécules peuvent entrer dans le noyau de la cellule

C'est grâce à une source d'énergie que le vivant se organise



Est-ce que il a toujours été vrai?

Est-ce que il a toujours été vrai?

Même la creation biblique de l'homme fait reference à du "travail exterieur" pour donner forme à la matiere vivante

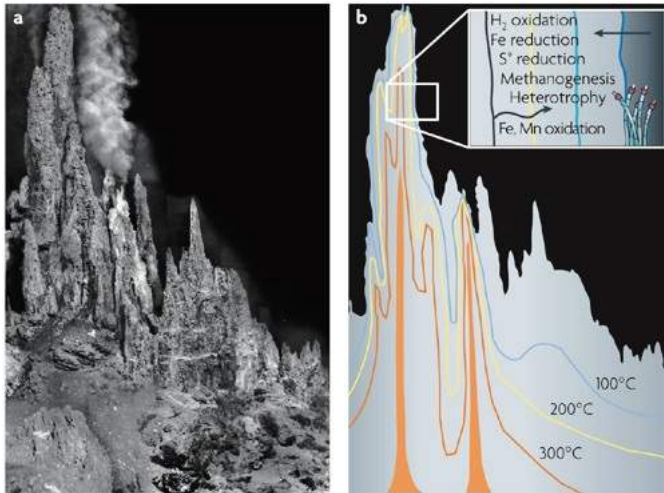
« Alors Yahvé Dieu **modela** l'homme avec la glaise du sol,
il **insuffla** dans ses narines une haleine de vie et l'homme devint un être vivant. » (Genèse 2,7)

Est-ce que il a toujours été vrai?

Même la creation biblique de l'homme fait reference à du "travail exterieur" pour donner forme à la matiere vivante

« Alors Yahvé Dieu **modela** l'homme avec la glaise du sol,
il **insuffla** dans ses narines une haleine de vie et l'homme devint un être vivant. » (Genèse 2,7)

Martin et al., Nat Rev Microbiol 6, 805–814 (2008).



La source d'énergie pourrait être la chaleur d'un "hydrothermal vent", des endroits dans la profondeur des océans où la chaleur de l'intérieur de la terre arrive à la surface.

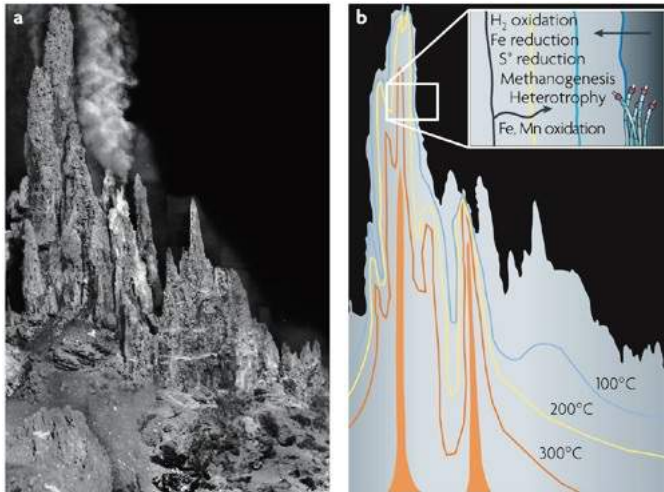
La chaleur facilite les réactions chimiques qui donnent lieu à des molécules complexes...

Est-ce que il a toujours été vrai?

Même la creation biblique de l'homme fait reference à du "travail exterieur" pour donner forme à la matiere vivante

« Alors Yahvé Dieu **modela** l'homme avec la glaise du sol,
il **insuffla** dans ses narines une haleine de vie et l'homme devint un être vivant. » (Genèse 2,7)

Martin et al., Nat Rev Microbiol 6, 805–814 (2008).



La source d'énergie pourrait être la chaleur d'un "hydrothermal vent", des endroits dans la profondeur des océans où la chaleur de l'intérieur de la terre arrive à la surface.

La chaleur facilite les réactions chimiques qui donnent lieu à des molécules complexes...

...et même si le pas conceptuel est grande, on peut entrevoir une route pour expliquer les origines de la vie

Qu'est-ce que l'entropie a à faire?

Qu'est-ce que l'entropie a à faire?

Il y a très peu de molécules simples composées par les éléments à la base du vivant: CO, CO₂, H₂O, NO, NO₂, ...

Qu'est-ce que l'entropie a à faire?

Il y a très peu de molécules simples composées par les éléments à la base du vivant: CO, CO₂, H₂O, NO, NO₂, ...

Par contre, il y a énormément de molécules complexes basées sur les mêmes éléments

Mais il faut de l'énergie pour explorer cet espace chimique

Qu'est-ce que l'entropie a à faire?

Il y a très peu de molécules simples composées par les éléments à la base du vivant: CO, CO₂, H₂O, NO, NO₂, ...

Par contre, il y a énormément de molécules complexes basées sur les mêmes éléments

Mais il faut de l'énergie pour explorer cet espace chimique

Donc le nombre d'états possibles (entropie!!!) est grande et, avec un peu de chance, on tombe sur les molécules du vivant.

Qu'est-ce que l'entropie a à faire?

Il y a très peu de molécules simples composées par les éléments à la base du vivant: CO, CO₂, H₂O, NO, NO₂, ...

Par contre, il y a énormément de molécules complexes basées sur les mêmes éléments

Mais il faut de l'énergie pour explorer cet espace chimique

Donc le nombre d'états possibles (entropie!!!) est grande et, avec un peu de chance, on tombe sur les molécules du vivant.

Il s'agit d'une recherche de grande actualité:
l'ETHZ vient de fonder le "Institute for the Origin and Prevalence of Life"
créé par le prix Nobel suisse Didier Queloz

Pour résumer

Pour résumer

La tendance de l'entropie à augmenter est un défi pour la vie:

Pour résumer

La tendance de l'entropie à augmenter est un défi pour la vie:

Si on ne fait rien, l'entropie augmente et on meurt

Pour résumer

La tendance de l'entropie à augmenter est un défi pour la vie:

Si on ne fait rien, l'entropie augmente et on meurt

Si on est malin, on peut l'exploiter pour qu'elle nous rend service

Pour résumer

La tendance de l'entropie à augmenter est un défi pour la vie:

Si on ne fait rien, l'entropie augmente et on meurt

Si on est malin, on peut l'exploiter pour qu'elle nous rend service

Si on la dirige bien, on peut même l'utiliser comme "force créatrice"

Pour résumer

La tendance de l'entropie à augmenter est un défi pour la vie:

Si on ne fait rien, l'entropie augmente et on meurt

Si **on est malin**, on peut l'exploiter pour qu'elle nous rend service

Si **on la dirige** bien, on peut même l'utiliser comme "force créatrice"

Faut travailler!!!



Merci beaucoup
pour votre attention