

**Définir « Lyfe » dans l'univers :
de trois fonctions privilégiées à quatre piliers**

par Stuart Bartlett ^{1,2}, * et Michael L. Wong ^{3,4}

(résumé sommairement traduit de l'anglais)

Document originale : <https://www.mdpi.com/2075-1729/10/4/42/htm>

¹ Division des sciences géologiques et planétaires, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, États-Unis

² Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology, Tokyo 152-8550, Japon

³ Département d'astronomie et programme d'astrobiologie, Université de Washington, Seattle, WA 98195, États-Unis

⁴ NASA Nexus for Exoplanet System Science's Virtual Planetary Laboratory, University of Washington, Seattle, WA 98195, États-Unis

* Auteur à qui la correspondance doit être adressée.

Résumé :

Motivés par la nécessité de brosser un tableau plus général de ce qu'est – et pourrait être – la vie par rapport au reste des phénomènes de l'univers, nous proposons un nouveau vocabulaire pour la recherche astrobiologique. « Lyfe » est défini comme tout système qui accomplit les quatre processus de l'état vivant, à savoir : la **dissipation**, l'**autocatalyse**, l'**homéostasie** et l'**apprentissage**. La vie est définie comme l'instance de « lyfe » que nous connaissons sur Terre, celle qui utilise une boîte à outils moléculaire organométallique spécifique pour enregistrer des informations sur son environnement et atteindre un ordre dynamique en dissipant certains déséquilibres planétaires. Ce nouveau système de classification permet à la communauté astrobiologique de définir plus clairement les questions qui propulsent leur recherche – par exemple, s'ils développent un récit historique pour expliquer l'origine de la vie (sur Terre), ou un récit universel pour l'émergence de la « lyfe », ou qu'ils recherchent des signes de vie spécifiquement, ou qu'ils soient en général à travers l'univers. Si le concept de « la vie telle que nous ne la connaissons pas » n'est pas nouveau, les quatre piliers de la « lyfe » offrent une nouvelle perspective sur l'état vivant, indifférente aux composants particuliers qui pourraient le produire.

Mots-clés : définition de la vie ; origine de la vie ; astrobiologie ; mécanotrophe

1. Dissipation – (consommation d'énergie pour maintenir son organisation) Lyfe ne peut pas exister à l'équilibre. La seconde loi de la thermodynamique, en présence de mécanismes de transduction d'énergie libre, permet le couplage des processus exergoniques aux configurations endergoniques et organisées de la lyfe.

À l'aide d'un réseau de machines moléculaires à l'échelle nanométrique, la vie dissipe les déséquilibres chimiques externes et / ou convertit les photons à faible entropie en chaleur résiduelle à haute entropie, transformant ces déséquilibres en d'autres déséquilibres (par exemple, en créant de manière endergonique des gradients de protons et des gradients de protons élevés et [ATP]/[ADP.]). Pour effectuer un travail utile, la vie convertit $ATP \rightarrow ADP + P_i$, ce qui dissipe le déséquilibre [ATP]/[ADP] [28,29].

2. Autocatalyse - (capacité à proliférer, reproduction sexuée, etc.) Capacité d'un système à présenter une croissance exponentielle de mesures représentatives de la taille ou de la population dans des conditions idéales. La propriété de l'autocatalyse peut apparaître sous différentes formes – y compris l'autocatalyse, la catalyse croisée et l'autocatalyse en réseau – tant que l'effet conduit à une croissance exponentielle d'une métrique appropriée dans des conditions idéales.

Un système cultivé de micro-organismes présente une croissance de la population autocatalytique due à la répllication cellulaire dans des conditions abondantes en ressources.

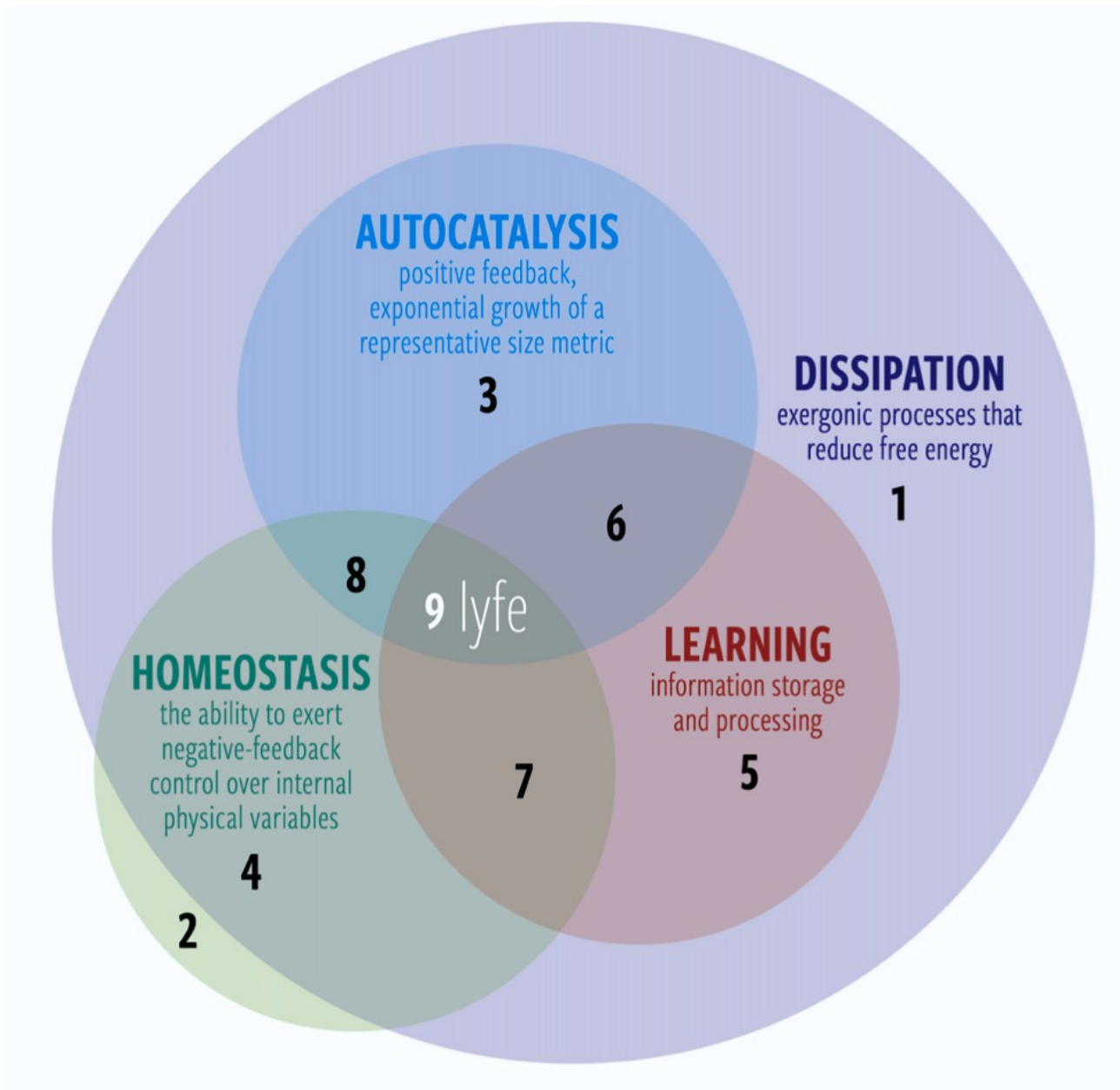
3. Homéostasie – (régulation) La capacité d'un système à maintenir des variables internes clés dans des plages de points de consigne idéaux. Dans un monde dynamique de perturbations, couplé à la croissance exponentielle décrite ci-dessus, un système living doit avoir les moyens de limiter la variation de ses systèmes internes lorsque les conditions externes changent.

La vie effectue l'homéostasie avec des réseaux de capteurs, de récepteurs et d'effecteurs. La substance sous régulation homéostatique (par exemple, les ions calcium) se lie généralement aux récepteurs et favorise la libération d'autres substances (par exemple, les hormones). Ces composés indicateurs stimulent ensuite un mécanisme de réponse approprié pour ramener le niveau de substance dans la fenêtre souhaitée.

4. Apprentissage (learning) – (intégrer des informations, les stockers) La capacité d'un système à enregistrer des informations sur son environnement externe et interne, à traiter ces informations et à effectuer des actions qui ont un impact positif sur sa probabilité de survie/prolifération.

L'évolution darwinienne est un processus d'apprentissage biologique couramment cité (par exemple, [30–32]) parmi un ensemble beaucoup plus large de processus d'apprentissage que les systèmes vivants exécutent. Par exemple, il existe des exemples largement étudiés d'apprentissage biologique dans le domaine des neurosciences, permis par une gamme d'interactions neuronales et synaptiques (par exemple, [33–35]). En outre, il existe une liste croissante de systèmes d'apprentissage non neuronaux, y compris des réseaux de régulation génique [36–38], des réseaux d'interaction protéique [39,40] et d'autres mécanismes épigénétiques (par exemple, [41,42]). De nombreux exemples entrent dans le cadre général de l'apprentissage associatif, qui a été présenté par des organismes non neuraux tels que les moisissures visqueuses [43,44]. Le darwinisme se mêle à ces autres processus d'apprentissage (et peut-être à d'autres formes encore inconnues) pour créer l'incroyable diversité et complexité de la biosphère. Par conséquent, « apprentissage » est un terme générique désignant cet ensemble de processus vaste et incomplètement compris.

...



Un diagramme de Venn (ou diagramme logique) des quatre piliers de lyfe. Sublyfe (régions 1 à 8) est tout système qui exécute certains des piliers, mais pas tous, tandis que lyfe (région 9) est tout système qui exécute les quatre. L'autocatalyse et l'apprentissage nécessitent un approvisionnement continu en énergie libre et dépendent donc de la dissipation ; cependant, l'homéostasie peut se produire même dans les systèmes d'équilibre et ne nécessite donc pas toujours une dissipation. Voir le texte pour des exemples de chaque région :

1. Dissipation uniquement : diffusion thermique ou tout processus thermodynamiquement irréversible.

2. Homéostasie uniquement : un gaz idéal à l'équilibre. Un tel système isolé se détend toujours à l'équilibre après une fluctuation interne ou externe.

3. Dissipation et autocatalyse : Le feu est un exemple fréquemment discuté de dissipation et d'autocatalyse. Il présente l'homéostasie de certaines variables (par exemple, la température de combustion reste naturellement dans certaines limites), mais son incapacité à réguler complètement son comportement ou à apprendre de l'expérience le maintient relégué dans le monde non vivant. Un autre

exemple pertinent serait la croissance exponentielle des produits dans des réactions chimiques non linéaires (par exemple, la réaction de formose).

4. Dissipation et homéostasie : un oscillateur harmonique amorti convertit l'énergie cinétique en énergie thermique et revient toujours à sa position d'équilibre.

5. Dissipation et apprentissage : Un réseau neuronal artificiel est un exemple de système qui apprend et est dissipatif, mais qui ne présente pas nécessairement une croissance autocatalytique ou une homéostasie (par exemple, il ne maintient pas par lui-même la température de son propre matériel). On pourrait soutenir que leur utilité nous oblige à les produire à un rythme exponentiel, mais c'est une autre discussion.

6. Dissipation, autocatalyse et apprentissage : un système vivant qui s'efface par la tragédie des communs. Des exemples pourraient inclure des espèces envahissantes introduites sur une île qui détruisent leurs sources de nourriture si rapidement que les sources de nourriture sont endommagées au-delà de la récupération. On pourrait également suggérer le changement climatique anthropique comme autre exemple. Notez que ces cas dépendent de manière critique de l'endroit où l'on trace la limite du système (par exemple, pour inclure les humains ou non). En effet, cette forme de sublyfe ou de sous-vie est moins susceptible de se produire, car si le système est capable d'apprendre, il pourrait en principe apprendre à se réguler de manière homéostatique (à moins qu'il ne puisse apprendre assez vite).

7. Dissipation, homéostasie et apprentissage : Un thermostat domestique « intelligent » qui surveille le comportement des occupants au fil du temps. Ce système ne peut pas se répliquer, mais consomme de l'énergie gratuite, est capable d'apprentissage primitif et peut réguler sa température locale.

8. Dissipation, autocatalyse et homéostasie : points de réaction-diffusion thermique de Gray-Scott. Il a été démontré que certains modèles chimiques hors équilibre se développent de manière exponentielle et régulent également leur température locale [52–55].

9. Tous les quatre : Lyfe (qui comprend la vie).