

Adapté ou adaptable, une problématique des systèmes vivants

Herbert¹, D'Angelo^{1,2}, Bels³, Ouerdane⁴, Lecoeur⁵, Apertet⁶ & Goupil¹

¹ Laboratoire Interdisciplinaire des Energies de Demain (LIED) UMR 8236 Université Paris Diderot

² Laboratory of Mathematics J.A. Dieudonné, CNRS UMR 7351 University of Nice-Sophia Antipolis, Nice

³ Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN), UMR 7205, Rue Cuvier 57 BP 55 F 75231 Paris France

⁴ Russian Quantum Center, 100 Novaya Street, Skolkovo, Moscow Region 143025, Russia

⁵ Institut d'Electronique Fondamentale, Université Paris Sud CNRS, 91405 Orsay, France, CNRS, UMR 8622

⁶ Lycée Jacques Prévert, 30 Route de Saint Paul, 27500 Pont-Audemer, France

eric.herbert@univ-paris-diderot.fr

Bien que la thermodynamique à l'équilibre soit considérée comme étant une des sciences les plus fondée, ce n'est pas le cas de la thermodynamique hors équilibre et beaucoup de questions restent ouvertes. En effet, alors que l'entropie atteint son maximum dans les systèmes à l'équilibre, aucun principe extremal de ce type n'a été mis en évidence hors équilibre [1,2]. Cependant, sous certaines conditions, certaines lois peuvent être définies, essentiellement sur des arguments entropiques et énergétiques. Il est donc délicat de décrire les systèmes vivants sur la base d'un principe variationnel mais il existe tout de même une discussion de longue durée sur l'optimalité de la consommation d'énergie des systèmes vivants, parfois appuyée sur des arguments évolutionnistes. La pierre angulaire de ces discussions a été posée 50 ans avant Prigogine, par Lotka, qui a considéré la sélection naturelle sur des processus physiques [3] et en remarquant le couplage entre énergie et efficacité. Lotka a développé le principe de puissance maximale (Maximum Power Principle) [4] qui occupe aujourd'hui une place centrale grâce à son extension dans le domaine de l'écologie avec l'influence d'Odum, bien que sur des bases discutables. En particulier, le MPP dérivé par Odum n'est basé que sur des analogies mécaniques sans prendre en compte les phénomènes dissipatifs [5], ce qui est troublant puisque tous les éléments nécessaires de thermodynamique sont présents, notamment la dérivation Novikov-Curzon-Ahlborn [6]. Sans aucune hypothèse d'un principe extremal et dans le cadre de la réponse stationnaire des systèmes thermodynamiques hors équilibres nous proposons un modèle de puissance métabolique. Ce modèle est par la suite applicable à la problématique du bilan de puissance dans la locomotion animale. En particulier, il est montré que les mesures du coût en oxygène pour le déplacement (Cost Oxygen Transport) dont la forme générale présentant un minimum marqué pour une vitesse non nulle est très largement retrouvée dans tous les systèmes vivants, peut être expliquée par une approche où les propriétés mécaniques sont pilotées par les propriétés thermodynamiques de l'animal. Il est montré en particulier que la réponse métabolique peut être efficacement décrite comme une machine thermodynamique avec notamment la définition de la figure de mérite définissant la qualité du fluide de travail. De plus nous démontrons que le principe de puissance maximum (Maximum Power Principle) n'est pas général mais que l'hypothèse de Lotka sur la maximisation du flux d'exergie (énergie utile) dans le système peut être comprise par l'usage, dans un cadre contraint, des trois principes de la thermodynamique.

Références

1. Mallick K., Some recent developments in non-equilibrium statistical physics, *Pramana journal of physics*, Vol 73, 3, 417-451 (2009).
2. Valyi R., About the Energy Concept, Thesis, Ecole Centrale de Lyon (2005).
3. Lotka, A.J., Contribution to the energetics of evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 8, 147–151 (1922).
4. Lotka, A.J., Natural selection as a physical principle. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 8, 151–154 (1922).
5. Sciubba E., What did Lotka really say? A critical reassessment of the "maximum power principle", *Ecological Modelling* 222 1347–1353 (2011).
6. Apertet Y., Ouerdane H., Glavatskaya O., Goupil C., Lecoeur P., Optimal working conditions for thermoelectric generators with realistic thermal coupling, *EPL*, 97 28001 (2012).