



**HAL**  
open science

## Entropie, sylviculture et écologie

L. Roussel

► **To cite this version:**

L. Roussel. Entropie, sylviculture et écologie. Revue forestière française, 1978, 30 (1), pp.18-20. <10.4267/2042/21199>. <hal-03396351>

**HAL Id: hal-03396351**

**<https://hal.science/hal-03396351v1>**

Submitted on 22 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# ENTROPIE, SYLVICULTURE ET ÉCOLOGIE\*

L. ROUSSEL

*L'attribution, en 1977, d'un Prix Nobel au professeur Ilya Prigogine, pour ses travaux sur la thermodynamique des systèmes vivants, réactualise en quelque sorte les recherches faites par le professeur A. Galoux (Station de recherches forestières de Belgique) sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers, envisagés également du point de vue thermodynamique. En effet, cet auteur avait travaillé en liaison avec le « Groupe Prigogine » de la Faculté de Bruxelles pour rédiger son étude, présentée sous une forme très mathématique et assez difficile à interpréter pour les « non initiés ».*

*C'est un essai d'analyse plus « littéraire » de cette étude qui est présenté ici ; la rédaction en a été approuvée par le professeur Galoux qui l'a considérée comme conforme à sa pensée et à la démarche de son esprit. En complément sont mentionnées quelques publications sur le même sujet dont l'auteur principal est le professeur Florov (Bulgarie).*

La notion d'entropie peut aussi être utilisée, en écologie, pour analyser les processus énergétiques qui aboutissent à la production nette des écosystèmes (ou accroissement annuel de leur biomasse). C'est A. Galoux qui, parmi les écologistes et forestiers de langue française, semble avoir élaboré l'une des études les plus poussées dans cette direction, en utilisant, partiellement du reste, les travaux purement théoriques de I. Prigogine sur la thermodynamique des processus irréversibles.

En effet, si une bonne partie de la thermodynamique classique envisage surtout le cas des processus « réversibles » (en comprimant un gaz, on produit de la chaleur ; une fois cette chaleur dissipée, si on réchauffe à nouveau ce gaz, on retrouve à *peu près* le travail dépensé pour cette compression), la thermodynamique des processus « irréversibles », actuellement en plein développement, étudie des phénomènes plus complexes qui ne se déroulent que dans un seul sens (dans un calorimètre de Joule, par exemple, le travail mécanique se transforme facilement en chaleur, mais le processus inverse n'est pas réalisable). Or, les systèmes vivants obéissent, en général, aux règles de cette thermodynamique spéciale.

Voici donc, exposée d'une façon schématique, la démonstration très originale faite par A. Galoux, dans le cas de l'écosystème forestier que constitue la chênaie-hêtraie à charme de Virelles-Blaimont, dans les Ardennes belges, et où des mesures très précises ont été effectuées ces dernières années, tant en ce qui concerne les échanges de matière que les échanges d'énergie qui s'y déroulent.

Un écosystème forestier peut être assimilé, du point de vue de la thermodynamique, à un 1° système « ouvert » (c'est-à-dire pouvant échanger, avec le milieu extérieur, de la matière et de

\* Complément à l'article « Entropie, sylviculture et écologie » du même auteur, paru dans le n° 2, 1974 de la *Revue forestière française*, pp. 130-134.

l'énergie) et constitué par le matériel vivant limité par ses membranes extérieures poreuses. Ce I° système est inclus dans un II° système, également « ouvert » (l'air et le sol). Les I° et II° systèmes, ainsi définis, constituent, ensemble, un nouveau système, « fermé » (qui ne peut échanger que de l'énergie avec l'espace), limité en théorie par la haute atmosphère, mais que pour des raisons expérimentales pratiques (nécessité d'installer et de relever des appareils de mesure), A. Galoux arrête arbitrairement à un plan situé un peu au-dessus de la surface supérieure du peuplement forestier.

Le système « fermé » (le peuplement forestier et son environnement naturel terrestre) reçoit, du soleil, à sa limite supérieure, de l'énergie « noble » (radiations de 300 à 3 000 nm de longueur d'onde, le symbole *nm* désignant le millième de micron). Cette énergie est partiellement réfléchie, et le surplus pénètre dans l'écosystème, en se dégradant en énergie chimique et calorifique. Il en résulte un réchauffement de l'écosystème qui rayonne, à son tour, vers l'espace ; mais l'énergie de ces radiations est plus « roturière » (leur longueur d'onde va de 3 000 à 10 000 nm environ). Par ailleurs, des radiations de grande longueur d'onde également, en provenance de l'atmosphère terrestre, pénètrent aussi dans l'écosystème. Comme, chaque année vers la même époque (au printemps et à l'automne), l'écosystème retrouve, à peu près, les mêmes caractéristiques thermiques, le flux total des photons absorbés pendant la période de végétation (symbole = *per*) est équivalent, du point de vue thermique, au flux total des photons réémis pendant la même période, auxquels s'ajoutent les transports de chaleur par convection (air échauffé dont l'agitation thermique est augmentée) et ceux résultant des phénomènes d'évapotranspiration, les deux sortant du système fermé (I + II) pour abandonner leur chaleur dans l'atmosphère qui rayonne également vers l'espace. En fait, les mesures de longue durée qui ont été effectuées à Virelles-Blaimont montrent que le bilan thermique est à peu près nul : en gros, les rayons de courte longueur d'onde apportent à l'écosystème environ 47 000 cal/cm<sup>2</sup>/per. Les rayons de grande longueur d'onde évacuent 21 000 cal/cm<sup>2</sup>/per et les phénomènes de convection et d'évapotranspiration, environ 26 000 cal/cm<sup>2</sup>/per. La photosynthèse proprement dite n'en utilise que 5 à 600.

Mais, si le bilan thermique est à peu près nul (compte tenu des mesures précises effectuées et des évaluations complémentaires, sérieusement étayées), il n'en est pas de même du « bilan entropique » et ceci se comprend facilement : l'entropie, d'une façon générale, étant définie comme le rapport entre une quantité de chaleur (ou d'énergie) et une température absolue, le rayonnement qui pénètre dans l'écosystème, provenant d'une source d'énergie dont la température est élevée (6 000 °K pour le soleil), possède une entropie relativement faible. Par contre, le rayonnement réémis par l'écosystème (dont la température absolue est en général inférieure à 300 °K) a une entropie nettement plus élevée. Le système « fermé » (I + II) émet donc vers l'espace plus d'entropie qu'il n'en reçoit et, selon les conventions de signes, le bilan entropique de l'écosystème vers l'espace (le flux entropique) est *négatif*. C'est ce déséquilibre qui traduit la dégradation de l'énergie solaire en énergie chimique, notamment, laquelle assure le fonctionnement de l'écosystème.

Pour procéder à un examen plus détaillé du bilan entropique complet entre les systèmes I, II, et l'espace, il faut faire appel à la notion « d'état stationnaire de non équilibre » ou état des systèmes qui échangent, en permanence, de la matière ou de l'énergie ou les deux à la fois. Cet état est celui des systèmes vivants, en général, et quand ces échanges continus cessent, la vie s'arrête. A. Galoux cite, comme bon exemple d'état stationnaire, l'absorption de l'eau par les racines des arbres du système I dans le sol du système II, et le rejet de cette même eau, par les stomates des feuilles du système I, dans l'air du système II, tout en maintenant un certain stock d'eau dans le système I. Si les échanges s'arrêtent, la mort des feuillages survient assez rapidement par fanaison. La relation simple qui permet de calculer les éléments des échanges d'entropie, dans le cas envisagé, s'énonce ainsi :  $d_e S + d_i S = 0$ .

$d_e s$  = flux entropique qui se produit entre les systèmes I + II, considérés ensemble, et l'espace.

$d_i S$  = production interne d'entropie, accompagnant divers processus se déroulant dans les systèmes I et II, notamment les transferts de chaleur, d'eau, de matières minérales, les réactions chimiques endothermiques comme la photosynthèse, ou exothermiques comme la respiration, etc.

Pour que la relation ci-dessus soit satisfaite, il faut que la production interne d'entropie soit égale et de signe contraire au flux entropique vers l'espace. Cette production doit donc être *positive*.

Selon les calculs effectués par A. Galoux, dans le cas envisagé,  $d_e S = - 3,55 \text{ cal } ^\circ\text{K}/\text{cm}^2/\text{per}$  et  $d_i S = + 3,55 \text{ cal } ^\circ\text{K}/\text{cm}^2/\text{per}$ . Une étude minutieuse des divers postes intervenant dans ce bilan conduit à évaluer l'accroissement d'entropie caractérisant la *production nette de l'écosystème* (PNE = photosynthèse nette moins respiration des organismes hétérotrophes, surtout du sol) à  $2,09 \text{ cal } ^\circ\text{K}/\text{cm}^2/\text{per}$ . La température observée des feuillages, pendant cette période, étant de  $288 \text{ }^\circ\text{K}$ , l'énergie affectée à la PNE est de  $2,09 \times 288 = 603 \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{per}$ . On calcule simplement la PNE en considérant que la synthèse de  $180 \text{ g}$  de substances hydrocarbonées nécessite  $674 \text{ Kcal}$ . On obtient ainsi le chiffre de  $0,16 \text{ g}/\text{cm}^2/\text{per}$ , soit environ  $16 \text{ tonnes}$  par hectare et par an. Si l'on veut obtenir la *production primaire nette* (soit la production brute des végétaux autotrophes, moins leur propre respiration), il faut ajouter à  $603 \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{per}$  le chiffre représentant la respiration des organismes hétérotrophes ( $119 \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{per}$ ). On évalue ainsi la production primaire nette à  $18 \text{ tonnes}$  environ par hectare et par an. Ce chiffre est voisin de celui obtenu par une méthode directe (évaluation pondérale, au début et à la fin d'une période de végétation) et cette concordance montre la valeur de la méthode très originale de A. Galoux. Il est évident, cependant, que les calculs doivent être très précis car à une variation de la production d'entropie de  $1 \text{ cal } ^\circ\text{K}/\text{cm}^2/\text{per}$  correspond une variation de la production de l'écosystème de  $8 \text{ tonnes}$  par hectare et par an. Par ailleurs, à côté de cette production *générale* d'entropie réalisée par l'écosystème (énergie solaire  $\rightarrow$  énergie chimique), il existe bien, dans la photosynthèse, une réduction *locale* d'entropie, effectuée par les feuilles, et correspondant aux réarrangements moléculaires ( $62 \text{ cal } ^\circ\text{K}$  pour  $180 \text{ g}$  de matières hydrocarbonées synthétisées, soit, pour reprendre la notation générale adoptée,  $- 0,06 \text{ cal } ^\circ\text{K}/\text{cm}^2/\text{per}$ ). C'est cette faible mais irremplaçable diminution d'entropie qui caractérise l'activité organisatrice de ce système vivant que constitue une forêt.

<p>Louis ROUSSEL          Conservateur des Eaux et Forêts          en retraite          48, rue Courtalon          10000 TROYES</p>
---

## BIBLIOGRAPHIE

- FLOROV (R.J.). — Un index bioclimatique complexe pour l'accumulation de la biomasse végétale. — UNESCO. Actes du colloque d'Uppsala, 1973, pp. 423-426.
- FLOROV (R.J.). — Approche thermodynamique pour évaluer l'utilisation de l'énergie solaire par les plantes. — UNESCO V-14. Congrès international « Le soleil au service de l'homme ». Paris, 1973.
- GALOUX (A.). — L'écosystème, système thermodynamique à processus irréversible. 1973, 27 p. dactylogr., non publié.
- GALOUX (A.). — Ecosystem, open thermodynamic system. The oak forest of Virelles-Blaimont. *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, n° 30, 1974, pp. 131-149 (publication en anglais du texte français de 1973 non publié).
- PRIGOGINE (I.). — Introduction à la thermodynamique des processus irréversibles. — Paris, Dunod, 1968. — 160 p. (réimprimé en 1974).
- STOJANOV (Z.), FLOROV (R.J.). Influence globale de la lumière de la température et de l'humidité sur la photosynthèse et la respiration. — UNESCO. Actes du colloque d'Uppsala, 1973, pp. 137-139.
- STOJANOV (Z.), FLOROV (R.J.). — Recherches sur la diminution de l'énergie de dissipation et l'augmentation de l'utilisation de la radiation. — UNESCO V-13. Congrès international « Le soleil au service de l'homme ». Paris, 1973.