

L'élevage des herbivores domestiques et le maintien de la fertilité des sols agricoles

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 03.08.Q04

juin 2024

Mots clés : herbivore, fertilité sols

Depuis son origine, l'agriculture s'est développée grâce aux transferts d'élément minéraux : l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K) et les autres macro-éléments, calcium (Ca), magnésium (Mg), soufre (S), ainsi que l'ensemble des micro- et oligo-éléments indispensables à la synthèse de la biomasse des plantes. Le couplage des cycles biogéochimiques de ces éléments minéraux avec celui du carbone (C) est assuré grâce à l'autotrophie des végétaux chlorophylliens.

Les herbivores jouent le rôle de niveau trophique secondaire en consommant une partie de la biomasse primaire : par leur digestion et leurs déjections, ils permettent une accélération du recyclage des nutriments minéraux au profit des microbes du sol et des chaînes trophiques hétérotrophes du sol, qui peuvent remettre ces nutriments à disposition des plantes sous une forme assimilable.

Ainsi, la fertilité des sols agricoles a été assurée par l'Homme grâce aux transferts des éléments minéraux liés à l'élevage des herbivores domestiques, depuis les écosystèmes de forêts, de savanes, de steppes ou de prairies naturelles vers les zones mises en culture.

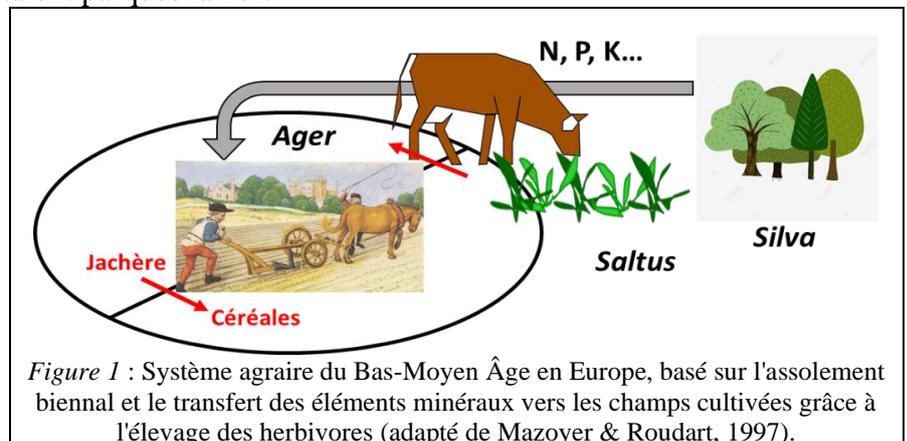
Un peu d'Histoire

Au Moyen Âge, en Europe, l'espace rural se répartissait en trois entités (cf. Figure 1) :

- la forêt, ou *sylva*, propriété du seigneur dans laquelle les herbivores domestiques pouvaient avoir accès dans la journée ;
- les prairies des communs, ou *saltus*, soumises à la vaine pâture¹ ;
- les champs cultivés, ou *ager*, sur lesquels était pratiquée la rotation biennale, avec la jachère sur la surface de laquelle les animaux étaient parqués la nuit.

Ainsi, les herbivores domestiques réalisaient un transfert de nutriments depuis les surfaces de *sylva* et de *saltus* vers l'*ager*, permettant une amélioration progressive de la fertilité des sols cultivés. Ce système s'est intensifié grâce à :

- l'assolement triennal, réduisant la surface en jachère,
- le développement des techniques de fanage, de récolte et de stockage de foin,
- et la pratique de l'élevage hivernal à l'étable, permettant une augmentation du chargement animal et des transferts de fertilité (cf. Figure 2).



L'association entre agriculture et élevage atteint sa pleine efficacité lors de la première révolution agricole du XVI^e siècle. La généralisation de la rotation triennale des cultures – consistant à introduire des prairies temporaires (avec des légumineuses) pâturées par des herbivores domestiques dans les assolements céréaliers

¹ Droit d'usage qui permettait de faire paître son bétail (le plus souvent gratuitement) en dehors de ses propres terres : bords des chemins, friches, terres nues de cultures, bois de haute futaie, taillis de plus de 4 ou 5 ans, terres après la récolte.

en remplacement de la jachère traditionnelle – a fait passer le rendement moyen du blé de 10 quintaux par hectare à des rendements de 20 quintaux par hectare, conduisant à l'essor économique de la Renaissance dans toute l'Europe. Ainsi l'adage de Sully "*Labourages et pâturages sont les deux mamelles de la France*" fut en son temps un mot d'ordre porteur de progrès agronomique.

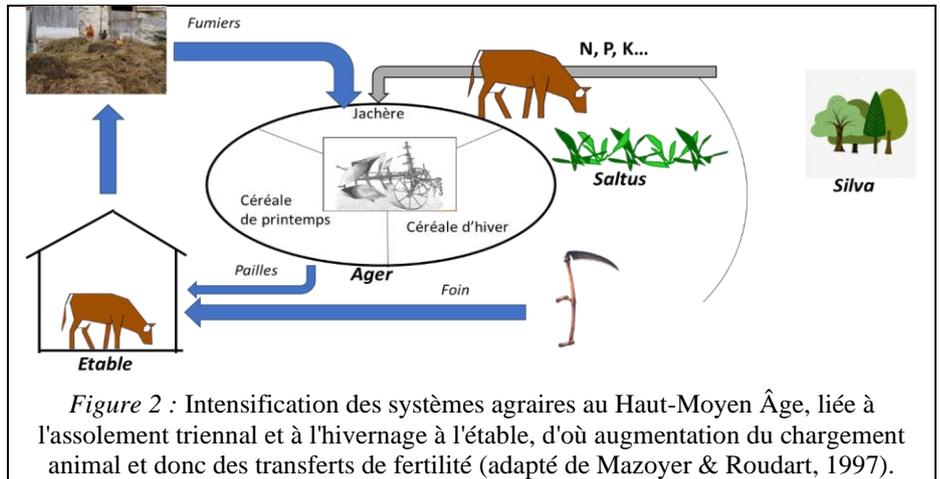


Figure 2 : Intensification des systèmes agricoles au Haut-Moyen Âge, liée à l'assolement triennal et à l'hivernage à l'étable, d'où augmentation du chargement animal et donc des transferts de fertilité (adapté de Mazoyer & Roudart, 1997).

Rôle des herbivores et des prairies pour le contrôle des cycles biogéochimiques

Les cycles du carbone, de l'azote, du phosphore et des autres éléments minéraux indispensables aux êtres vivants, sont à la base du fonctionnement des écosystèmes terrestres. Appelés *cycles biogéochimiques*, afin de montrer que ces éléments passent d'une forme biologique (où ils sont couplés avec C au sein de molécules organiques) à des formes minérales dans lesquelles ils sont dissociés et peuvent alors circuler dans les sols en solution avec l'eau, ou dans l'atmosphère sous forme de gaz.

Les prairies pâturées par les herbivores ont une forte valeur environnementale...

Les prairies – comme l'ensemble des écosystèmes terrestres à base de végétations pérennes – permettent un couplage constant des cycles de C, de N et de P (ainsi que des autres minéraux) grâce à la photosynthèse qui absorbe le CO₂ atmosphérique et à l'absorption et l'assimilation de N et P pour synthétiser la biomasse végétale. Le découplage de C-N et P se réalise lors de la minéralisation de la matière organique du sol, par les microbes qui libèrent du CO₂ dans l'atmosphère, ainsi que des formes de N et P à nouveau assimilables par les plantes. Se réalise alors une succession de couplages-découplages-recouplages de C-N-P : en pâturant, l'herbivore contribue à accélérer le découplage C-N et P, et, par ses déjections, la remise de N et P à disposition de la végétation. La productivité de la prairie est liée à la vitesse du flux de couplage-recouplage C-N-P, elle-même liée à l'entrée de N dans le système qui – en absence d'intervention de l'Homme par la fertilisation – dépend avant tout de la présence des légumineuses fixatrices de l'azote atmosphérique. Cet écosystème prairie-herbivore reste donc parfaitement résilient du fait des interactions entre la végétation et les communautés microbiennes du sol : les flux de N dans l'écosystème sont liés aux flux de C, ce qui évite l'accumulation des formes minérales de N (nitrate, NO₃⁻, et ammoniac, NH₄⁺) réduisant les risques d'émissions de N₂O vers l'atmosphère, et de nitrate (responsable de la détérioration de la qualité des eaux) vers l'hydrosphère.

... mais qui s'amenuise lorsque le niveau d'intensification devient trop élevé

Ceci confère aux prairies une forte valeur environnementale. De plus, la biodiversité hébergée par les prairies (dans la végétation herbacée et dans les communautés microbiennes et animales du sol) contribue à la régulation et à la stabilité des couplages C-N et à leurs conséquences environnementales bénéfiques. Celles-ci peuvent cependant s'amenuiser avec l'intensification des prairies, qui résulte de deux processus :

- une augmentation de la production d'herbe par les apports de fertilisants, notamment de N ;
- une augmentation du chargement animal pour utiliser efficacement le supplément d'herbe.

L'augmentation de la production d'herbe par des apports de fertilisation azotée ou de phosphore permet d'accroître la photosynthèse, donc l'entrée de C dans le système. Tant que les apports de N ne sont pas excédentaires par rapport aux besoins liés aux capacités de croissance de la prairie, le système reste très conservatif grâce à ce couplage C-N-P. Toutefois, l'augmentation de chargement animal consécutive à la montée de la production d'herbe a deux conséquences majeures :

- le découplage de C-N-P par l'animal (digestion), avec émissions de CO₂ et de méthane (CH₄), et la concentration de N sur les pissats (urines) ;
- une réduction du flux de C vers le sol, en provenance des litières foliaires consécutives à l'augmentation de la défoliation par le pâturage.

Il en résulte qu'au-delà d'un certain chargement, la prairie n'assure plus le couplage total de C-N, et les

formes minérales de N peuvent s'accumuler dans le sol : les risques de lixiviation de nitrate augmentent exponentiellement avec le chargement animal, et il en est de même pour les risques d'émissions de N₂O. Il faut donc déterminer, par prairie, le niveau d'intensification optimum, au-delà duquel les suppléments de production animale accroissent les risques environnementaux. Tant que ce niveau n'est pas atteint, les prairies pâturées sont des systèmes relativement performants pour l'équilibre entre production et environnement.

L'élevage à l'étable et l'usage des fumiers permettent un niveau d'intensification plus élevé

Avec l'objectif de maximisation, la production de produits animaux par prairie peut être une exploitation en fauche et un élevage des animaux à l'étable avec l'herbe récoltée et stockée (cf. *Figure 2*) ; cela permet de maximiser la production d'herbe tout en minimisant les impacts environnementaux à l'unité de surface de sol, puisque le découplage C-N-P (par l'animal) se produit à l'étable. Ceci implique une bonne maîtrise de la chaîne de récolte, de fanage et de conservation du fourrage, permettant de conserver sa valeur alimentaire ; mais le problème est alors reporté sur les bâtiments d'élevage et la chaîne de traitement des déjections animales. Cette solution permet néanmoins une réintroduction de C (par l'intermédiaire des pailles de céréales) pour résorber les excédents de N dans les déjections animales produites à l'étable. Ainsi un re-couplage C-N – grâce à une chaîne de traitement des fumiers et une réincorporation dans les sols cultivés de matières organiques sous des formes relativement stabilisées – permet une meilleure valorisation de l'azote, une diminution des risques d'émissions de N et un plus long temps de résidence de C dans les sols. Mais un tel système implique une association étroite entre un atelier d'élevage et un système de cultures annuelles fournissant à la fois les ressources en paille et les surfaces d'épandage des déjections animales. Sa valeur environnementale doit donc s'évaluer globalement, en prenant en compte l'ensemble des impacts indirects induits par l'utilisation des intrants ; les contraintes en termes de temps et de pénibilité du travail doivent aussi être prises en compte.

Les systèmes de cultures arables découplent les cycles C-N et P...

En interrompant le flux entrant de C du fait de périodes plus ou moins longues de sol nu, la mise en culture des sols de prairies (avec ou sans labour) provoque un fort découplage C-N, accompagné d'une émission accrue de CO₂ dans l'atmosphère et d'une accumulation d'azote minéral dans le sol. Ceci accroît les risques de pertes gazeuses (émissions de NH₃, dénitrification et émissions de N₂O) et de lessivage de nitrate. De plus, l'intensification de la production dans les systèmes de cultures arables nécessite d'importants apports d'azote sous forme d'engrais de synthèse qui, étant découplés de C, viennent accroître l'accumulation de formes réactives de N (NH₄⁺ et NO₃⁻) dans les sols et les risques d'émissions polluantes.

Pour contrecarrer ces risques, deux actions peuvent être mises en œuvre :

- utiliser davantage de légumineuses pour que l'azote, qui rentre dans l'agrosystème par la fixation biologique, soit directement couplé à une quantité correspondante de C ;
- réduire au maximum les périodes de sol nu sans végétation, en utilisant des plantes d'interculture.

Les effets bénéfiques de l'interculture peuvent être amplifiés par l'adoption de méthodes simplifiées de travail du sol, visant à mieux conserver le couplage C-N. En ce sens, les pratiques de l'agriculture de conservation – par la réduction du travail mécanique du sol (pas de labour) et de la période de sol nu entre deux cultures, en utilisant des plantes de couverture ou des cultures intermédiaires – sont des moyens pour réduire le découplage C-N et favoriser un fonctionnement des sols minimisant les pertes de N vers l'environnement. La pratique visant à conserver le plus possible une couverture végétale imite le rôle de la prairie, en maintenant un apport de C le plus constant possible et en favorisant le couplage avec N et P ; elle contribue à entretenir la biomasse microbienne du sol, permettant, en retour, une meilleure nutrition minérale des plantes.

... il convient donc de les associer aux prairies et cultures fourragères dans des systèmes mixtes

La biomasse produite par les cultures intermédiaires insérées peut être avantageusement valorisée pour l'alimentation d'herbivores domestiques produisant du lait ou de la viande, avant de retourner au sol sous formes de déjections pour fournir des éléments N et P aux cultures suivantes. L'introduction de séquences de prairies temporaires (pâturées ou fauchées) dans les rotations de cultures annuelles représente une possibilité importante pour l'intégration agriculture-élevage. De telles rotations peuvent en effet bénéficier soit directement des avantages de la prairie pendant la phase de prairie elle-même, soit indirectement des arrière-effets positifs de la prairie sur les cultures suivantes. Ces arrière-effets peuvent être multiples :

- amélioration de la structure des sols,
- recyclage de N et P, économies d'engrais azotés et phosphatés,
- contrôle des adventices et économies d'herbicides,

- contrôle des prédateurs et des maladies et économies de pesticides.

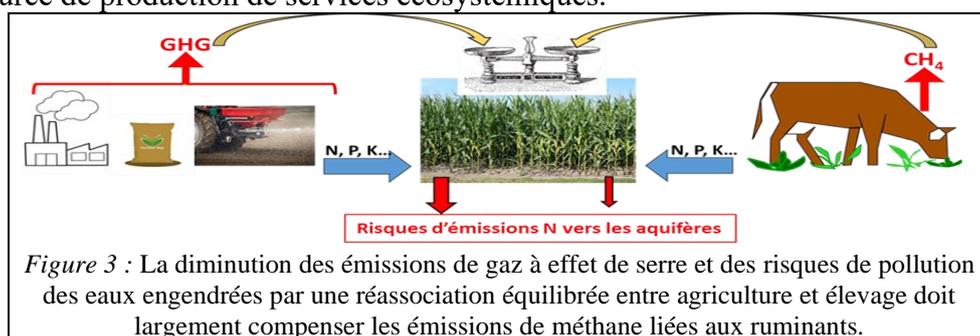
L'ensemble de ces effets est assez bien identifié dans la littérature, mais ils sont mal quantifiés du fait du poids important des conditions locales de sol et de climat dans l'amplitude des effets constatés ; ils sont donc rarement pris en compte dans les évaluations économiques des systèmes de culture. Un enjeu important demeure donc pour l'agronomie : se doter des outils d'évaluation de ces systèmes de production intégrés incluant l'élevage, sur les plans tant des performances productives que des performances environnementales.

Il ne faut pas bannir les ruminants parce qu'ils émettent du méthane !

Dans les pays les plus industrialisés, un rééquilibrage de l'alimentation humaine vers des régimes moins carnés est probable, alors que les produits animaux restent une nécessité dans les pays en développement.

Les herbivores n'entrent pas en compétition avec les humains pour les ressources alimentaires, tant qu'ils valorisent les prairies et les ressources fourragères par leur digestion de la cellulose. Ces surfaces de prairies doivent alors être considérées comme produisant des ressources fourragères pour la production animale, mais aussi (et surtout) comme une source de production de services écosystémiques.

Une compensation existe entre l'émission de méthane (CH₄) par les ruminants et les services écosystémiques produits par les surfaces fourragères. Bannir l'élevage des herbivores sous le prétexte que la digestion de la cellulose produit du CH₄ reviendrait à ne



plus bénéficier des fonctions essentielles des prairies pâturées qui représentent près de 40 % des surfaces continentales. Par ailleurs, l'option de nourrir des ruminants à base de monocultures de maïs et de soja importé, pour produire du lait ou de la viande, n'est plus admissible. Il convient donc de trouver le juste équilibre entre élevage des herbivores et agriculture à l'échelle des territoires. Cela implique le maintien ou le retour d'élevages et de prairies dans les régions spécialisées en production céréalière, afin de bénéficier du couplage entre les cycles du C, de N et de P, et avec celui de l'eau. De manière symétrique, on peut aussi introduire des îlots d'agriculture dans les zones purement pastorales où la pression démographique entraîne un excès de chargement animal. Cette diversification permettrait d'obtenir un équilibre écologique plus durable, en enravant la dégradation de la végétation et des milieux, dans l'Afrique subsaharienne, les steppes de l'Asie et les parcours pastoraux méditerranéens.

Gilles LEMAIRE, membre de l'Académie d'Agriculture de France

Ce qu'il faut retenir :

Il est impératif de retrouver un équilibre local et régional entre production animale à base d'herbivores et production céréalière. Cela peut être réalisé en associant territorialement des unités de productions qui resteraient relativement spécialisées, mais qui devraient coopérer, afin d'assurer localement le couplage des cycles de C, N, et P pour éviter les pollutions des eaux et les émissions de gaz à effet de serre, et assurer une forme de résilience globale de l'agriculture face aux changements climatiques. Il s'agit ainsi d'instituer une approche intégrée du *métabolisme* d'un territoire, où *anabolisme* et *catabolisme* seraient reliés et équilibrés grâce à des connections entre des unités elles-mêmes relativement spécialisées. C'est donc bien l'équilibre entre *anabolisme* (couplage C-N-P) et *catabolisme* (découplage C-N-P) qu'il convient d'organiser et de gérer à l'échelle d'un territoire agricole.

Pour en savoir plus :

- M. MAZOYER & L. ROUDARD : *Histoire des agricultures du Monde, du néolithique à la crise contemporaine*. Edition du Seuil, Paris, 705 p. ISBN: 978-2-02-053061-3, 1997
- G. MARTIN & al. : *Role of ley pastures in tomorrow's cropping systems. A review*, Agronomy for Sustainable Development, 40:17. DOI: 10.1007/s13593-020-00620-9, 2020
- G. LEMAIRE & al. : *Integrated Crop-Livestock Systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality*, Agriculture, Ecosystem & Environment, 190, 4-8, 2014.
- G. LEMAIRE & al.: *Domestic herbivores, the crucial trophic level for sustainable agriculture: Avenues for reconnecting livestock to cropping systems*, MDPI Agronomy, 13, 982. <https://doi.org/10.3390/agronomy13040982>. 2023

page 4 Fiche consultable sur le site internet www.academie-agriculture.fr onglet "**Publications**" puis "**Table des matières des documents de l'Encyclopédie**".

Reproduction autorisée sous réserve d'en citer la provenance