

## La diversification des systèmes de production agricoles à l'échelle territoriale : un impératif pour concilier production alimentaire et protection de l'environnement

Fiche **QUESTIONS SUR...** n° 07.06.Q01

2022, actualisée en novembre 2025

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

**Mots clés : couplage, découplage, recouplage**

L'intensification de l'agriculture s'est effectuée par la combinaison d'un usage important de ressources non renouvelables et d'une simplification des systèmes de production à toutes les échelles : la parcelle, l'exploitation agricole, les paysages et les territoires.

Dans les pays industrialisés, la forte spécialisation de la production agricole est devenue une réponse aux contraintes socio-économiques, liées à la recherche de compétitivité à travers des coûts de production les plus bas possibles.

Comment cette évolution se manifeste-t-elle envers la sécurité alimentaire et la qualité de l'environnement ? La réponse passe par une forme nouvelle de diversification des systèmes de production.

### **Sécurité alimentaire et qualité de l'environnement : un compromis est-il possible ?**

L'intensification de la production agricole, associée à la spécialisation et l'uniformisation, aboutit à des impacts environnementaux préoccupants : contamination des eaux de surface et souterraines, émissions de gaz à effet de serre, érosion, contamination des sols, et perte de biodiversité.

Il en résulte une forte contradiction entre la nécessité d'augmenter la production agricole mondiale pour nourrir une population croissante, et celle de restaurer un environnement acceptable pour les sociétés humaines. Est-on réellement dans une impasse, ou bien existe-t-il des degrés de libertés pour trouver un compromis entre ces deux exigences ?

Face à ce dilemme, une analyse des systèmes agricoles les plus intensifiés montre que les impacts environnementaux, aujourd'hui constatés, ne sont pas directement la conséquence du niveau de productivité, mais sont liés à la perte de diversité du fait :

- de la simplification,
- de l'homogénéisation,
- et de l'uniformisation

qui ont été imposées à toutes les échelles d'organisation. Un tel constat amène à formuler l'hypothèse de travail suivante : *"La réintroduction d'une certaine diversification des systèmes de production, à l'échelle territoriale, ne devrait-elle pas permettre de maintenir la productivité agricole tout en minimisant les impacts environnementaux ?"*

Dans les faits, l'intensification de la production agricole a été accompagnée par :

- l'accroissement de la taille des parcelles et des exploitations,
- la simplification des rotations et des assolements,
- la réduction de la gamme des espèces cultivées,
- la séparation entre l'élevage et les cultures,
- et le développement des monocultures.

Ces évolutions, non indispensables directement à la productivité, ont conduit à une uniformisation des paysages, des territoires et des régions.

### **Diversification, clé de la maîtrise des cycles bio-géochimique et des impacts environnementaux**

Les impacts négatifs de l'agriculture moderne sur l'environnement sont liés aux émissions :

- dans l'atmosphère : de composés actifs ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) contribuant à l'effet de serre ;
- dans l'hydrosphère : de nitrates, phosphates et pesticides contribuant à l'eutrophisation des milieux et la détérioration de la qualité des eaux.

Ces émissions sont la conséquence d'une rupture d'équilibre entre les processus de couplage des cycles de C-N-P (Carbone-Azote-Phosphore) et de l'eau, avec les processus de découplage.

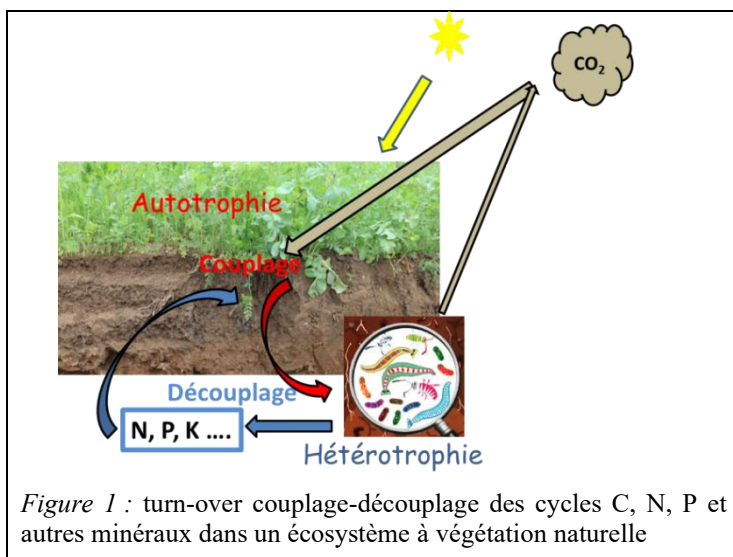
Le couplage correspond à la liaison stœchiométrique des éléments minéraux (avec C au sein de molécules organiques), alors que le découplage correspond à leur minéralisation libérant des formes ioniques libres de N et de P, ainsi que du  $\text{CO}_2$ .

Ce déséquilibre engendre l'accumulation des formes actives de ces éléments dans le milieu.

**Dans les écosystèmes naturels** (forêts, prairies), les cycles de C, N et P :

- sont couplés par la photosynthèse et l'assimilation des nutriments minéraux, afin de former la biomasse primaire (autotrophie) ;
- et sont ensuite découplés par l'action de la micro-faune et de la micro-flore du sol (hétérotrophie).

Ces processus sont fortement reliés entre eux au niveau micro-local (rhizosphère) par un turnover important, qui évite l'accumulation des formes ioniques actives de N et P, ainsi que leurs fuites dans l'environnement.



**Dans les écosystèmes cultivés**, il y a rupture temporelle et spatiale entre les phases de couplage (couvert végétal) et les phases de découplage (sol nu). Il s'ensuit une augmentation des risques d'émissions dans l'environnement :  $\text{NO}_3^-$  dans les eaux,  $\text{NH}_3$  et  $\text{N}_2\text{O}$  dans l'atmosphère,  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$  et  $\text{PO}_4\text{H}^-$  particulaire par ruissellement et érosion. La fertilisation minérale des cultures – en augmentant fortement la disponibilité de ces formes ioniques pour les plantes – permet d'augmenter les rendements, mais accroît dans le même temps les risques d'émissions dans l'environnement.



La simplification des rotations et la tendance à la monoculture exacerbent le déséquilibre et accroissent fortement les risques environnementaux.

*A contrario*, la diversification des systèmes de culture, tant au niveau spatial (assolements) que temporel (rotations), permet de réduire l'asynchronie entre couplage et découplage. De plus, la diversification des rotations et des assolements permet en général une baisse de l'usage des pesticides, réduisant ainsi les risques pour l'environnement et la biodiversité.

Introduire des légumineuses dans les systèmes de culture permet d'incorporer d'importantes quantités d'azote dans l'agro-système, sous une forme directement couplée.

L'augmentation de la diversité au sein des cultures – par la pratique des mélanges variétaux, des associations d'espèces, des cultures en bandes alternées, de l'agroforesterie – a pour ambition d'obtenir :

- une utilisation optimisée des ressources du milieu pour la production agricole ;
- et une réduction significative de l'utilisation des pesticides nécessaire à la protection des cultures.

Ceci démontre qu'en accroissant le niveau de diversité au sein des agrosystèmes, on peut maintenir, voire augmenter, la productivité agricole globale, tout en diminuant les risques environnementaux engendrés.

## L'association agriculture-élevage : clé de la diversification agricole des territoires

Autrefois, la diversité des systèmes agricoles était réalisée au sein de l'exploitation de polyculture-élevage, qui pouvait alors être considérée comme une " *unité métabolique* " mettant en œuvre :

- des parcelles cultivées,
- des parcelles de prairies,
- et des troupeaux de diverses espèces,

échangeant entre eux des flux de fourrages et d'aliments, et des flux de matières organiques et minérales fertilisantes, avec des phases de couplage et de découplage bien reliées dans l'espace et dans le temps.

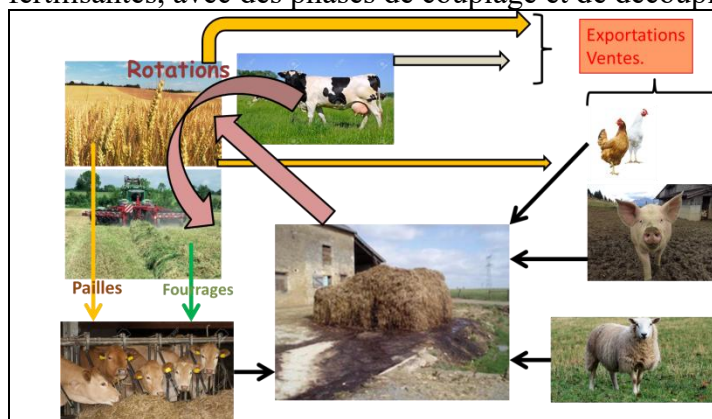


Figure 3 : l'exploitation de polyculture-élevage vue comme une unité métabolique bio-géochimique assurant les fonctions de couplage-découplage-recouplage des cycles C-N-P

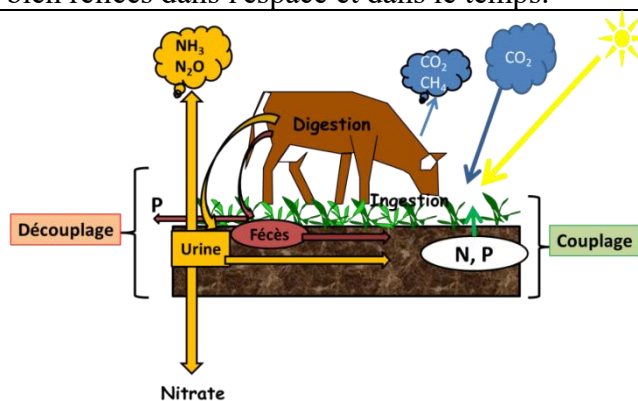


Figure 4 : limites à l'intensification des systèmes herbagers liées au seuil de chargement à partir duquel le découplage par l'animal excède les capacités de recouplage de la végétation.

Les systèmes hyperspécialisés en production herbagère (Irlande, Pays-Bas, Danemark, Nouvelle Zélande) ne peuvent être intensifiés au-delà d'un certain chargement animal ; la raison est l'excès de découplage par les animaux au pâturage (restitutions par les urines et fèces), par rapport à la capacité de recouplage de la végétation prairiale. Le recours aux légumineuses prairiales (trèfle), en remplacement de la fertilisation azotée, n'y change rien, puisque c'est la densité animale qui est en cause. Ainsi les régions laitières herbagères hautement spécialisées cherchent à diversifier leurs systèmes en introduisant des cultures fourragères et céréalières avec des périodes d'affouragement à l'étable, afin de :

- recoupler les déjections animales avec des pailles et résidus de culture,
- et confectionner des fumiers et des composts assurant une meilleure circulation et conservation des éléments minéraux fertilisants, dans des systèmes mixtes pâturage-affouragement.

Lorsqu'outre l'intensification herbagère, il y a hyper-concentration locale et régionale des élevages hors-sol de monogastriques (porcs et volailles)<sup>1</sup>, la capacité de recouplage de l'ensemble des surfaces cultivées reste trop faible vis-à-vis de la capacité de découplage liée au chargement animal global. L'eutrophisation des eaux continentales et des écosystèmes marins côtiers devient alors inéluctable.

À l'opposé, les régions spécialisées dans la production céréalière intensive<sup>2</sup> ont totalement abandonné la production animale, et donc les cultures fourragères (notamment la luzerne) qui leur permettaient d'avoir des rotations diversifiées. Cette intensification-simplification n'est possible que grâce à l'utilisation importante d'engrais azotés de synthèse et de pesticides, se traduisant par des émissions environnementales qui ne sont plus tolérées.

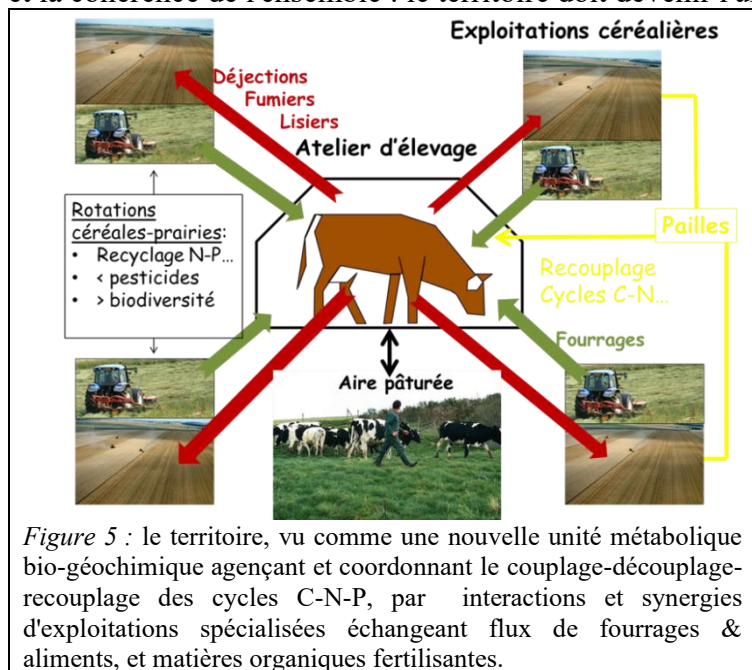
## Que faire face à ce constat ?

Aujourd'hui, cette organisation – initialement cohérente à l'échelle d'une seule et même exploitation agricole – est révolue. Les raisons qui ont amené les exploitations agricoles à se spécialiser (soit vers la céréaliculture, soit vers l'élevage) sont suffisamment fortes et permanentes pour ne pas rêver à un retour "comme avant" : cette spécialisation est un fait. Il convient donc d'imaginer d'autres formes d'organisation, pour réaliser l'indispensable intégration culture-élevage à une échelle territoriale.

<sup>1</sup> comme en Bretagne

<sup>2</sup> comme le bassin Parisien

Maintenant, les diverses fonctions de couplage-découplage-recouplage – autrefois exercées grâce à la diversité du système de production au sein de chaque exploitation – doivent être assurées à l'échelle d'un territoire par la complémentarité et la cohérence de l'activité d'un ensemble d'exploitations, elles-mêmes peu ou prou spécialisées. Cette spécialisation pourrait s'opérer à condition qu'elle soit contrebalancée par une complémentarité et une coordination entre exploitations. Ainsi à l'échelle d'un territoire, les fonctions traditionnellement assurées par une seule et même exploitation, devront être prises en charge par l'organisation et la cohérence de l'ensemble : le territoire doit devenir l'unité métabolique bio-géochimique.



Cette nouvelle fonction à l'échelle territoriale implique que :

- les flux de fourrages et d'aliments du bétail, dans un sens,
  - les retours de matières organiques et fertilisantes, dans l'autre sens,
- soient organisés entre les exploitations céréalières et les ateliers d'élevage.

Au-delà de ces échanges, on peut concevoir des rotations et des assolements communs ou coordonnés, des échanges de services entre exploitations voisines, ainsi qu'une plus grande intégration avec les entreprises d'aval de transformation (permettant d'inclure les recyclages de certains déchets et de valoriser les co-produits).

Ainsi le développement agricole régional – jusqu'ici régi par le concept de filières sous la

contrainte des économies d'échelles – devrait s'orienter vers la recherche des économies de gamme, en favorisant les plus-values liées aux interactions entre filières.

Une telle vision, implique que des formes de gouvernance territoriale se mettent en place afin de coordonner les différents acteurs. Il s'agit là d'un défi majeur dont les sciences socio-économiques et politiques devraient s'emparer pour rendre ce souhaitable enfin possible.

### Ce qu'il faut retenir :

Les impacts environnementaux négatifs de l'agriculture moderne ne sont pas directement liés au niveau de productivité atteint par les agrosystèmes, mais sont plus fondamentalement la conséquence de leur simplification et de leur uniformisation à l'échelle de territoires entiers.

Une diversification de ces systèmes permettrait de concilier un niveau de productivité nécessaire pour assurer la sécurité alimentaire et un respect de la qualité de l'environnement.

Une des bases de la diversité des systèmes de production agricoles est l'association entre agriculture et élevage, qu'il convient alors d'organiser, non plus à l'échelle de l'exploitation individuelle mais à celle des paysages et des territoires.

### Pour en savoir plus :

- LEMAIRE G., de FACCIO CARVALHO P.-C., KRONBERG S. & RECOUS S. : *Agroecosystem diversity : reconciling contemporary agriculture and environment quality*, Academic Press <https://www.elsevier.com/books-and-journals>, ISBN: 978-0-12-811050-8
- LEMAIRE G., FRANZLUEBBERS A., CARVALHO P.-C., DEDIEU B. : *Integrated Crop-Livestock Systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality*, Agriculture, Ecosystem & Environment, 2014, 190, 4-8.
- SOUSSANA J.-F., LEMAIRE G. : *Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems*, Agriculture, Ecosystem & Environment, 2014, 190, 9-17.
- LEMAIRE G., RYSHAWY J., de FACCIO CARVALHO P.-C., GASTAL F. : *Agricultural intensification and diversity for reconciling production and environment: Role of integrated crop-livestock systems*, in Iain Gordon, Geoff Squire & Herbert Prins (Eds) "Food Security and Nature Conservation: Conflicts and Solutions", Earthscan Book, Taylor and Francis, London, 2015, 113-132.