

Analyser les dynamiques temporelles de fertilité chimique des sols de prairie permanente en systèmes laitiers autonomes

Puech, T.¹, Foissy, D.¹, Autret, B.¹

1. INRAE, UR 0055 ASTER, 662 Avenue Louis Buffet, 88500 Mirecourt

Introduction

Durant les dernières décennies, les systèmes agricoles et les territoires se sont spécialisés grâce à une artificialisation croissante des conditions de milieu. Cette artificialisation a été permise par un usage croissant des intrants de synthèse et en particulier les engrais minéraux, entraînant une déconnexion entre productions animales et végétales ainsi que des problématiques environnementales majeures (contamination des ressources en eau...). Dans ce contexte et pour faire face à la raréfaction des ressources, les principes de l'agro-écologie s'appuyant sur les potentialités du milieu (limiter l'usage des intrants exogènes, favoriser les complémentarités animal-végétal...) font partie des voies à explorer pour limiter la dépendance des agrosystèmes aux intrants de synthèse tout en assurant la production de denrées alimentaires pour une population croissante (Altieri *et al.*, 2012). Or, la limitation voire l'absence d'intrants interroge la capacité à maintenir, sur la durée, la fertilité des sols, principale composante de la production dans ces agrosystèmes particulièrement en systèmes biologiques n'ayant pas recours à des fertilisants minéraux exogènes (Stockdale *et al.*, 2002 ; Watson, 2008). Nous présentons dans cet article une méthode originale pour rendre compte des dynamiques temporelles de fertilité chimique des sols en prairies permanentes dans le cadre de systèmes polyculture-élevage très autonomes.

1. Matériel et méthodes

1.1. 12 années d'expérimentation système autonome

Pour ce faire, nous nous appuyons sur le dispositif expérimental INRAE de Mirecourt (Vosges, France). Sur ce dispositif, deux expérimentations systèmes échelle « ferme entière » (235 ha) ont été conduites :

- Une première expérimentation (2006-2015 – Coquil *et al.*, 2009) s'appuie sur (i) un **S**ystème bovin lait exclusivement **H**erbager (78 ha de prairies permanentes, 40 vaches laitières, dit « SH ») et (ii) un **S**ystème **P**oly**C**ulture-**E**levage bovin lait (55 ha de prairies permanentes, 105 ha de rotations culturales principalement à destination fourragère à l'exception du blé meunier dit « SPCE »).
- Une seconde expérimentation (depuis 2016) s'appuie sur un unique système autonome dont l'objectif est de favoriser un usage direct des terres à destination de l'alimentation humaine. Ce système s'appuie notamment sur une diversification des productions tant animales (bovins lait, ovins viande, porcs) que végétales (Coquil *et al.*, 2019).

Ces deux systèmes sont conduits en agriculture biologique dans une logique stricte d'autonomie en vue de « faire au mieux avec le milieu » : seuls les fourrages produits sur la ferme sont consommés par les animaux (aucun achat de fourrages grossiers ou concentrés ; un corolaire étant que les effectifs animaux sont une variable d'ajustement en cas de déficit/excès de production fourragère). La fertilité du système est principalement assurée par les complémentarités cultures-élevage (restitutions au pâturage, épandage d'effluents d'élevage sur les prairies fauchées) et la fixation symbiotique d'azote via la présence de légumineuses.

1.2. Analyse multicritère des dynamiques temporelles de la fertilité chimique des sols

En 2006, 33 points de fertilité ont été définis sur les parcelles en prairies permanentes du dispositif expérimental (21 sur les parcelles du SH, 12 sur les parcelles du SPCE), visant à couvrir une diversité de situations notamment vis-à-vis des types de sols bien que la majorité des sols soient à dominance argileuse. Des campagnes de prélèvement ont été effectuées tous les 4 ans (2006-2010-2014-2018) et ont fait l'objet d'analyses : texture (2006 uniquement), carbone organique, Azote total, pH, calcaire, CEC ainsi que les principaux éléments minéraux (P, K, Mg, Ca, Mn, Al, Na, Fe, H), selon les méthodes préconisées par Fardeau (2015).

Bien que la fertilité des sols soit un concept complexe avec différentes composantes (chimiques, physiques, biologiques) en interactions, nous limiterons l'étude de la fertilité des sols à travers sa seule dimension de fertilité chimique, compte tenu du jeu de données à disposition. Si l'étude de la fertilité chimique des sols est souvent réduite à l'étude d'une composante (matières organiques, azote...), nous suggérons dans cet article une approche multifactorielle de la fertilité chimique. Pour ce faire, nous mobilisons une analyse statistique multivariée de type Analyse en Composantes Principales à partir des principales propriétés chimiques des sols (Shen et al, 2019) : le carbone organique, la CEC, le pH ainsi que les trois principaux éléments (N tot, P et K) sont mobilisés en tant que variables principales (Fardeau, 2015), les autres éléments minéraux disponibles (Al, Ca, Mn, Mg, Fe, Calcaire total, Na) sont mobilisés en tant que variables complémentaires. Le jeu de données est composé de 132 individus (4 années pour chaque point de fertilité). Nous étudions les dynamiques temporelles de la fertilité des sols à partir de la trajectoire des points de fertilité sur le plan factoriel (1 trajectoire par point de fertilité, soit 33 trajectoires). L'analyse de la sensibilité (significativité) des évolutions est établie à partir de tests de wilcoxon (sans hypothèse de normalité).

2. Résultats – Discussion

2.1. Le premier axe factoriel de l'analyse en composante principale : un proxy pour étudier les dynamiques de fertilité chimique du sol

L'analyse en composante principale présente des résultats satisfaisants dans la mesure où le premier axe factoriel représente près de 70% de l'inertie du nuage de points. Ce premier axe factoriel est positivement corrélé (i) à plus de 85% avec le pH, le carbone organique et la CEC et (ii) à plus de 70% pour les autres variables principales (N, P et K). Par conséquent, nous considérons que la lecture de la trajectoire d'un point de fertilité sur le seul premier axe factoriel est un proxy satisfaisant pour caractériser l'évolution de la dynamique de fertilité chimique des sols en prairies permanentes. Par exemple, un déplacement relatif positif des coordonnées de chaque point de fertilité dans le temps sur cet axe constitue une évolution positive de la fertilité chimique du sol (augmentation de la valeur des variables principales, sans pour autant que l'ensemble des variables évoluent vers une augmentation de leurs valeurs). Inversement, une évolution négative des coordonnées d'un point de fertilité sur cet axe indique une globale dégradation de la fertilité chimique (acidification, perte de matières organiques, présence de certains éléments potentiellement toxiques type Al, Mn, en cohérence avec Rout *et al.*, 2001). Par ailleurs, nous observons que la texture du sol est un élément très structurant du premier axe factoriel : la majorité des prélèvements sur sols à dominance argileuse sont présents dans les deux premiers quadrants du plan factoriel (Dim1>0, 77% des observations sur sols à dominance argileuse), alors que les sols à dominance limoneuse sont présents dans les deux derniers quadrants (Dim1<0, 100% des observations sur sols à dominance limoneuse). Ces observations sont en accord les travaux de Piutti *et al.* (2015) qui montrent que la teneur en carbone organique dépend de la texture des sols.

2.2. Une amélioration globale de la fertilité chimique des sols, plus marquée sur les sols à dominance limoneuse

Par conséquent, si une comparaison de la fertilité chimique entre les différents points de fertilité présente relativement peu d'intérêt dans ce travail (car liée principalement à la texture du sol), l'analyse des trajectoires relatives des points de fertilité (sous hypothèse d'une composition granulométrique constante) renseigne sur l'évolution de la fertilité chimique des sols. On observe sur l'ensemble de la période (2006-2018) une augmentation significative de la fertilité chimique des sols, toutes parcelles

POSTER

confondues (trajectoire moyenne positive sur le premier axe factoriel, $p.value=2.10^{-3}$). A l'échelle de l'ensemble de l'échantillon, cette trajectoire se traduit (i) une stabilité du carbone organique ($41.2 \rightarrow 38.5g/kg$, baisse non significative), (ii) une baisse du phosphore ($8.5 \rightarrow 7.7 10^{-2}g/kg$), et (iii) une augmentation du pH ($6.8 \rightarrow 6.9$), de la CEC ($21.9 \rightarrow 23.9 cmol+/kg$), de l'azote total ($3.4 \rightarrow 3.7g/kg$) et du potassium ($5.3 \rightarrow 6.4 10^{-1}cmol+/kg$). On constate que cette trajectoire n'est pas linéaire avec une alternance de phases d'amélioration (2006-2010 et 2014-2018) et de dégradation (2010-2014), sans toutefois qu'il y ait eu des évolutions majeures dans nos conduites de prairies. Ces tendances observées à l'échelle de l'échantillon n'excluent pas des tendances contraires à l'échelle de quelques points de fertilité.

Concernant les points de fertilité ayant la plus faible fertilité chimique en 2006 ($Dim1_{2006} < 0$, principalement des sols à dominance limoneuse), on note une amélioration significative de leur fertilité chimique sur la période d'étude ($p.value < 10^{-5}$). Inversement, il n'y a pas d'évolution notable de la fertilité chimique des points à plus forte fertilité initiale ($Dim1_{2006} > 0$, principalement des sols à dominance argileuse). Ces derniers présentant par ailleurs une plus forte variabilité au cours de la période d'étude (le « chemin parcouru » sur le plan factoriel est de l'ordre de deux fois supérieur, $p.value=2.10^{-4}$). Enfin, on observe une augmentation plus marquée de la fertilité chimique des prairies permanentes du SPCE que celles du SH.

Une analyse similaire appliquée aux terres labourables de l'expérimentation système montre une diminution de la fertilité chimique sur la période 2006-2014 (non présenté ici), laissant penser à un transfert de fertilité depuis les terres labourables vers les prairies permanentes du SPCE sur cette période ; le changement d'expérimentation système en 2016 semble avoir ré-équilibré les dynamiques de fertilité sur prairies permanentes et terres labourables (résultats à conforter par la suite).

Conclusion

A partir d'une analyse multivariée, nous montrons dans ce travail que la fertilité chimique des sols en prairies permanentes augmente significativement en systèmes très autonome (pas d'importation de fourrages ou fertilisants organiques sur le système), malgré la diminution de certains indicateurs (matière organique notamment). A partir d'une approche originale (étude de la trajectoire temporelle de fertilité sur le plan factoriel), nous montrons une alternance de phases d'amélioration et de dégradation de la fertilité chimique des sols. Les premiers croisements de ces résultats avec des données de pratiques (chargement animal au pâturage, fertilisation organique, rendement des prairies) ne permettent pas d'identifier les facteurs clés de ces dynamiques, vraisemblablement multifactorielles (évolution de l'expérimentation système en 2016, interactions avec les fertilités physiques et biologiques, conditions climatiques...). Les déterminants de ces dynamiques restent largement à explorer.

Références bibliographiques

- Altieri MA, Funes-Monzote FR, Petersen P (2012) Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agron Sustain Dev* 32:1–13. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6>
- Coquil X., Anglade J., Barataud F., Brunet L., Durpoix A., Godfroy M (2019). TEASER-lab : concevoir un territoire pour une alimentation saine, localisée et créatrice d'emplois à partir de la polyculture - polyélevage autonome et économe. La diversification des productions sur le dispositif expérimental ASTER-Mirecourt. *Innovations Agronomiques* 72 (2019), 61-75
- Coquil, X., Blouet, A., Fiorelli, J.-L., Bazard, C., Trommschlagel, J.-M. (2009). Conception de systèmes laitiers en agriculture biologique : une entrée agronomique. *Inra Prod. Anim.*, 2009, 22 (3), 221-234
- Fardeau, J.-C. (2015). Des indicateurs de la fertilité des sols. *Étude et Gestion des Sols*, Volume 22, 2015 - pages 77 à 100
- Piutti, S., Romillac, N., Chanseaume, A., Slezack-Deschaumes, S., Manneville, V., Amiaud, B. (2015). Enjeux et contributions des prairies temporaires pour améliorer la fertilité des sols. Journées AFPP – La fertilité des sols dans les systèmes fourragers – avril 2015.
- Rout, G.R., Samantary, S., Das, P. (2001). Aluminium toxicity in plants: a review. *Aluminium toxicity in plants: a review*
- Shen, Y., Gilbert, G., Li, W., Fang, M., Lu, H., Yu, S. (2019). Linking Aboveground Traits to Root Traits and Local Environment: Implications of the Plant Economics Spectrum. *Frontiers in plant science* (10). Article 1412. Doi: 10.3389/fpls.2019.01412
- Stockdale, E.A., Shepherd, M.A., Fortune, S., Cuttle, S.P. (2002). Soil fertility in organic farming systems fundamentally different? *Soil Use and Management* (2002) 18, 301-308 DOI: 10.1079/SUM2002143
- Watson, C., Stockdale, E., Rees, R. (2008). Assessment and maintenance of soil fertility in temperate organic agriculture. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2008 3, No. 021