

Diagnostic et déterminants de la pérennité des prairies. Sol et pérennité des prairies : un cercle vertueux

G. Pérès¹, K. Hoeffner², F. Vertès¹, D. Cluzeau²

1 : Institut Agro, INRAe, SAS, 35000 Rennes, France - peres@agrocampus-ouest.fr

2 : Université Rennes 1, CNRS, ECOBIO (Ecosystèmes, biodiversité, évolution), 35000 Rennes France

Résumé

Les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols vont agir sur la croissance des plantes et conditionner la pérennité des prairies. Ainsi, la compaction d'un sol, sous l'action du pâturage ou du trafic d'engins va aboutir à une perte de rendement, les effets étant variables selon la texture (plus marqué sur des sols plus argileux) et la saison. A contrario, la préservation des organismes des sols et des fonctions associées va contribuer à augmenter les rendements. En contrepartie, la gestion des prairies systèmes, va aussi impacter les propriétés des sols. Ainsi, l'introduction de prairie dans la rotation culturale, va permettre rapidement dès la deuxième année de favoriser la biodiversité des sols (faune, microorganismes) et leurs activités. Plus largement, l'introduction des prairies dans une rotation de cultures annuelles influence positivement le maintien de la structure du sol et la conservation de la biodiversité, sans modifier la régulation hydrique. L'effet positif hérité de prairies dans la rotation est observable même trois années après la remise en culture. La pérennité des prairies va être conditionnée par plusieurs facteurs : la durée de prairie dans la rotation, la gestion du pâturage (chargement, période), la fertilisation et la diversité végétale. Des leviers existent pour assurer la durabilité de ces systèmes prairiaux temporaires ou permanents.

Introduction

La pérennité d'une prairie peut être définie par sa capacité à maintenir sur du long terme, des fonctions et des services écosystémiques notamment des services d'approvisionnement (quantité, qualité des fourrages) ainsi que des services de régulation (régulation hydrique, régulation climatique, maintien de la structure du sol, régulation des pathogènes, conservation de la biodiversité). Par le prisme du sol, ce sont donc des boucles de rétroaction qui s'opèrent en permanence et aborder le lien entre sol et pérennité des prairies peut être vu sous deux angles : i) comment le sol, et ses propriétés, impacte-t-il les prairies et leur pérennité ? ii) comment les prairies, et leurs modes de gestion, agissent-ils sur le sol et peuvent contribuer ou non à maintenir sa qualité vue à travers sa multifonctionnalité.

Les sols, systèmes interactifs entre une composante chimique, physique et biologique, abritent une biodiversité très importante, tant en termes d'abondance ou biomasse des organismes qu'en termes de nombre d'espèces et de fonctions associées. Il est maintenant reconnu que ces organismes du sol et leurs interactions jouent un rôle fondamental dans un grand nombre de processus et fonctions du sol, tels que la dégradation de la matière organique, le cycle des nutriments, la structuration des sols, la régulation des pathogènes et la bioremédiation des contaminants, aboutissant *in fine* à différents services écosystémiques de régulation et d'approvisionnement (Lavelle et al., 2006 ; Kibbelwhite et al., 2008 ; Pulleman et al., 2012). La conservation de la biodiversité des sols, des fonctions et des services associés est donc un enjeu clé dans le maintien des agrosystèmes et notamment la pérennité des prairies.

Dans le cadre de ce travail, l'effet du sol sur la pérennité des prairies sera abordé à travers l'effet des propriétés physiques du sol sur les prairies et l'effet des organismes du sol sur les fonctions et services écosystémiques. Dans un second temps, les effets de différents modes de gestion des prairies sur les propriétés des sols et sur différents services écosystémiques seront présentés, avec un focus sur la composante biologique, afin de mettre en exergue les modes de gestion permettant de favoriser la pérennité des prairies.

1. Effet du sol sur les prairies

1.1. Effet des propriétés physiques des sols sur les prairies

La structure des sols est reconnue comme étant une des propriétés majeures influençant le développement des plantes, notamment à travers l'intensité de compaction. La compaction des sols, qui correspond à une diminution de la porosité, va réduire la diffusion d'oxygène (Batey, 2009) et réduire les transferts hydriques, que ce soit la conductivité hydraulique dans les sols (Lamandé et al., 2002) ou la capacité de rétention en eau. Les conditions d'habitats étant altérés pour les organismes du sol, cette compaction va aboutir à une réduction des activités biologiques, notamment en termes de minéralisation, ralentissant ainsi la dynamique d'évolution des matières organiques et le cycle des éléments nutritifs (Cui et Holden, 2015). Ces modifications tant structurelles que biochimiques vont *in fine* altérer le développement des plantes que ce soit via l'altération du développement racinaire (Taylor et Brar, 1991 ; Głab, 2013) ou encore la capacité d'absorption des éléments nutritifs par les plantes (Arvidsson, 1999 ; Hargreaves et al., 2019), conduisant ainsi à des pertes de biomasse produite.

En milieu prairial, la compaction des sols est essentiellement conditionnée par deux facteurs, à savoir le piétinement par les animaux au pâturage (chargement, fréquence, période) (Lamandé et al., 2002) et le trafic d'engins, impactant la pérennité des prairies (Cluzeau et al., 1992). Les travaux menés au Royaume Uni (Hargreaves et al., 2019) ont mis en évidence que sur trois années, les dommages de compaction liés au pâturage et au trafic d'engins aboutissaient à des pertes moyennes de rendements de l'ordre de 7.8% et 7.4% respectivement par rapport à des prairies non compactées (densité apparente = 1.2 g. cm⁻³). Ces impacts varient en fonction du type de sol : les pertes moyennes de production liées au pâturage étaient de 8.4% sur un sol limono-argileux *vs* 7.2% sur un sol sablo-limoneux ; l'effet « texture » était encore plus notable lorsqu'il s'agit de l'impact du trafic d'engins : la perte de rendement était en moyenne de 10% sur une texture plus argileuse *vs* 4.8 % sur une texture plus sableuse. L'effet cumulatif de ces impacts est aussi à prendre en considération : ainsi après trois années d'étude, le pâturage conduisait à une perte annuelle de 11.4 – 12 % de rendement sur un sol plutôt argileux et plus sableux respectivement ; les impacts liés au trafic d'engins étaient plus délétères, conduisant à une perte moyenne de 14.5 % sur les deux types de sols. A un grain temporel plus fin, intra-annuel, l'intensité des impacts varie en fonction des saisons, la période printanière (mai) correspondant à la saison où les impacts sont les plus importants, pouvant conduire jusqu'à une perte de 19% des rendements en lien avec le pâturage et jusque 37.7% en lien avec le trafic. Les modes de gestion des prairies, intensité du pâturage (chargement, fréquence, période) et intensité du trafic, conduisant à des intensités de compaction différenciées, vont donc être de vrais leviers pour assurer la pérennité des prairies, en lien avec la portance et la plus ou moins grande fragilité de structure des sols.

1.2. Effet des propriétés biologiques des sols sur les prairies

Les organismes du sol (édaphon) jouent un rôle majeur sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Parmi ces organismes, les microorganismes (bactéries, champignons, archa, algues) et les lombriciens constituent la plus forte biomasse avec en moyenne respectivement 3 T/ha et 1.5 T/ha en milieu tempéré. Au sein de l'édaphon, les lombriciens, qui appartiennent à la macrofaune (>2 mm de diamètre) sont identifiés comme étant les principaux ingénieurs physiques du sol (Pulleman et al., 2012 ; Blouin et al., 2013) par leur capacité à modifier la structure lors i) de leurs activités de forage des galeries et chambres d'estivation (en moyenne 10% du volume porale du sol) aboutissant à une macro-porosité tubulaire, ii) d'ingestion du sol (les lombriciens ingèrent quotidiennement 30 fois leur poids), iii) de production de déjections (en moyenne en milieu tempéré 1 tonne de vers de terre produit annuellement 240 T de déjections par hectare). Ces déjections, qui correspondent à un mélange entre matières organiques et matières minérales, seront déposées dans le sol (définissant une structure grumeleuse) ou à la surface (turricules). Cet effet sur la structure va cependant dépendre de la catégorie écologique (Bouché, 1972) :

- les épigés, individus de petite taille (<5 cm), vivant à la surface du sol, ingérant peu de matière minérale et créant peu, voir pas de galerie,
- les endogés, individus de petite à moyenne taille (1-20 cm), vivant principalement dans les 30-40 premiers centimètres du sol, créant des galeries horizontales à sub-horizontales temporaires car rebouchées partiellement par leur déjection,
- les anéciques (épi-anéciques et anéciques-stricts), individus de taille moyenne à grande (5-100 cm), évoluant sur l'ensemble du profil, créant des galeries verticales à sub-verticales permanentes.

Ces bio-structures (galeries, déjections) vont agir directement sur la régulation hydrique du sol, pouvant améliorer l'infiltration de plus de 50% et la capacité de rétention en eau, conditionnant la réserve en eau utile pour les plantes, de 25% (Pérès, 2016). Par ailleurs, les porosités tubulaire et agrégative liées à ces bio-

structures vont physiquement permettre le développement racinaire ; leur importance et distribution dans le sol qui peuvent être cartographiées sur l'ensemble du profil (Piron et al ; 2017), vont rendre compte du potentiel d'exploration racinaire. En parallèle de l'effet de ces bio-structures sur la régulation hydrique, les lombriciens vont aussi agir sur d'autres processus, notamment l'évolution de la matière organique et la stimulation des microorganismes qui vont favoriser la dynamique des éléments nutritifs (Blouin et al., 2013 ; Pérès, 2016).

C'est *via* l'ensemble de ces fonctions et de leurs interactions que les lombriciens vont contribuer au développement des plantes et à la production de biomasse. Ainsi, une méta-analyse (462 données, 58 études menées au laboratoire ou au terrain ; van Groenigen et al., 2016) met en avant que la présence de lombriciens est associée à une augmentation moyenne de 25% des rendements, toutes productions confondues, et de 23% lorsque seule la biomasse aérienne est prise en compte. Se focalisant sur les prairies, les lombriciens sont associés en moyenne à une augmentation de 24% des rendements (*vs* 31% pour les productions céréalières) ; cet effet positif est conditionné par la présence ou non de légumineuse : en absence de légumineuse l'effet positif est en moyenne de 30%, alors qu'elle n'est que de 10% en présence de légumineuses.

Cependant, ces effets positifs des lombriciens sur les rendements sont fonction de plusieurs paramètres. Ainsi, toutes formes de productions confondues, l'effet va varier selon : i) la densité lombricienne : l'intensité de l'effet positif est corrélé à la densité, ii) la structure écologique : les anéciques ont un effet positif supérieur à celui des endogés et des épigés (respectivement >30%, 25%, <20%), iii) la fertilisation azotée : l'effet positif de la présence des lombriciens est plus importante sous une faible fertilisation (< 30 kg N/ha/an) que sous une fertilisation plus importante (respectivement : 20% *vs* <10%), iv) la texture : l'effet positif est d'autant plus important que le sol présente une texture fine (argileuse > limoneuse > sableuse).

L'évaluation de l'effet des lombriciens sur la pérennité des prairies doit donc prendre en compte l'ensemble de ces facteurs abiotiques et biotiques ; la préservation des communautés lombriciennes, et plus largement des organismes des sols, et des fonctions associées semble aussi définir un des leviers de la pérennité des prairies.

2. Effet des prairies et de leurs modes de gestion sur les sols

Les prairies abritent une biodiversité importante que ce soit en termes de diversité des espèces qu'en termes d'abondance ou de biomasse des organismes (Cluzeau et al., 2012). A l'échelle d'un bassin versant (projet ANR-SoilServ, <https://www6.inrae.fr/soilserv/>), il apparaît qu'au-delà des propriétés du sol (pH, hydromorphie, texture, densité apparente), les organismes du sol, notamment les lombriciens et les carabes sont positivement influencés par une des phases prairiales et par une réduction du nombre de travaux profonds du sol dans la rotation,; par ailleurs en sus de l'occupation du sol, l'antériorité du nombre d'années continues de prairie dans la rotation influence de façon prépondérante les réponses biologiques (Pérès et al., 2021).

Si les prairies abritent une biodiversité importante, il existe cependant une très grande variabilité de réponses biologiques en termes de densité et biodiversité d'organismes des sols entre systèmes prairiaux. Ainsi à l'échelle régionale bretonne, les valeurs d'abondance lombricienne dans les prairies varient entre 32 et 1332 individus par m² (valeur moyenne 350 individus/m²), de même les abondances de nématodes varient entre 3.7 et 52.7 individus/g sol sec (moyenne 20.6 i/g), et les biomasses microbiennes présentent des valeurs de 1^{ers} et 3^{èmes} quartiles respectivement de 326.5 et 446.0 mg C/kg de sol (Cluzeau et al., 2012). Ces fortes variabilités sont liées à la place des prairies dans les rotations et aux différents usages et modes de gestion des prairies.

2.1. Effet de l'introduction de prairie dans une rotation culturale

Les travaux menés sur le dispositif du SOERE-ACBB Lusignan (INRAe, AllEnvi) ont permis d'évaluer les effets sur les communautés lombriciennes et sur la production de fourrage i) de l'introduction de prairie non pâturée dans une rotation Maïs grain-orge-blé, ii) de la durée des prairies (3 ans *vs* 6 ans) et iii) du niveau de fertilisation azotée (230 kg/ha/an *vs* 30 kg/ha/an) (Hoeffner et al., 2021a). Ainsi, après 6 années d'expérimentation, il apparaît que l'introduction de 3 années de prairie faisant suite à 3 années de culture permet d'augmenter significativement l'abondance et la biomasse lombricienne (respectivement d'un facteur 4.8 et 8.3) comparé à la rotation sans prairie). Cela améliore la structure fonctionnelle en permettant le développement d'espèces épi-anéciques (facteur 150), anéciques stricts (facteur 15) et endogées (facteur 3). Enfin, cela améliore la richesse spécifique par le développement de cinq nouvelles espèces lombriciennes. La durée de la prairie est un point aussi très important : comparées à trois années de prairies, six années de

prairies permettent d'augmenter significativement l'abondance et la biomasse lombricienne (facteur 1.5). Cela n'influence pas la richesse spécifique, mais cela améliore la structure fonctionnelle par le développement d'une espèce anécique stricte (*Aporrectodea longa longa*). En ce qui concerne la production fourragère, l'allongement de la durée de prairie n'influence pas de manière significative les rendements (5.3 T/ha vs 5.5 T/ha), ni la qualité des fourrages (respectivement 434 vs 432 mg C/g, 27 vs 25 mg N/g). La fertilisation azotée est quant à elle associée à une augmentation significative de l'abondance et de la biomasse lombricienne (facteur 1.6 et 1.4) en lien avec développement d'une espèce anécique stricte améliorant ainsi la structure fonctionnelle. Elle est aussi accompagnée d'une augmentation de la production fourragère (respectivement 1.7 t/ha pour une fertilisation azotée annuelle de 30 kg/ha vs 5.5 t/ha pour une fertilisation de 230 kg/ha/an) sans pour autant être associée à des modifications de la qualité des fourrages. Ces résultats soulignent par ailleurs la rapidité de la réponse biologique puisque les différences sont observées dès la fin de la 1^{ère} rotation complète.

La rapidité de réponse observée en prairie fauchée a aussi été observée en prairie pâturée. Ainsi, dans le cadre du projet ADEME Bioindicateur (<https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/> ; Legras et al., 2011), le dispositif d'Yvetot (Lycée agricole Yvetot) a permis de mettre en évidence que des prairies de restauration de 1 an ½ faisant suite à 4 ou 6 années de cultures, présentaient : i) des abondances et des biomasses lombriciennes significativement plus importantes que les parcelles en grandes cultures (respectivement 66 i/m² et 57 i/m² vs 25 i/m², 67 g/m² et 66 g/m² vs 20 g/m²), ii) une meilleure structure fonctionnelle liée au développement d'espèces anéciques, et une plus grande richesse spécifique (5 vs 3 espèces). Ces prairies de restauration présentaient aussi des activités enzymatiques de type uréases et déshydrogénases de plus grande intensité que sous la grande culture. L'intérêt de 5 ans de prairie dans une rotation culturale a aussi été mis en évidence pour les lombriciens ainsi pour que la biomasse microbienne, l'abondance fongique et certaines activités enzymatiques (cellulase, phosphatase acide, beta-glucosidase, bêta-galactosidase, uréase, arylsulfatase), alors qu'aucun effet significatif n'a été mis en évidence concernant la biomasse ou densité bactérienne. Il est important de noter que la prairie permanente (40 ans) s'est avérée offrir un habitat moins favorable que la prairie temporaire de 5 ans pour le développement de certains taxons : les abondances des communautés lombriciennes et des micro-arthropodes (collembolles et acariens) étaient significativement plus faibles dans la prairie permanente, et cela s'expliquait par une sur-exploitation de la prairie permanente car proche des bâtiments.

Plus largement, concernant un ensemble de paramètres du sol, le projet européen Biodiversa-Soilman (<https://soilman.eu>) a permis de renforcer ces résultats et de les traduire en services écosystémiques en mobilisant des indicateurs proxy de ces services : (i) maintien de la structure du sol (stabilité structurale), (ii) régulation hydrique (conductivité hydraulique), (iii) conservation de la biodiversité (biomasse et activité métabolique microbienne, champignons mycorrhiziens arbusculaires « AMF », communautés d'invertébrés : enchytraeid, collembolles, lombriciens, (iv) régulation d'agent pathogène (*Verticillium dahliae*) et (v) production fourragère (Hoeffner et al., 2021b). Ainsi, sur le dispositif du SOERE ACBB Lusignan, il apparaît qu'après 12 années d'expérimentation, comparée à une culture annuelle, l'intégration d'une prairie (3 années ou 6 années de prairies continues, représentant respectivement 50 % de prairie ou 75% de prairie dans la rotation) permet :

- Une augmentation de la stabilité structurale dans les 10 premiers centimètres, de 38% et 22% respectivement sous humectation lente et humectation rapide,
- Améliore la biomasse microbienne (de 29%) dans l'horizon 10-20 cm,
- Modifie la composition des communautés bactériennes, fongiques et champignons mycorrhiziens AMF,
- Permet le développement de collembolles eu-édaphiques (79 %)
- Et augmente l'abondance lombricienne (34%) et la richesse spécifique.
- *A contrario*, cela réduit le développement d'enchytraeid opportunistes et n'a pas d'effet sur la diversité bactérienne ou fongique, ni sur la capacité d'infiltration.

2.2. Effet hérité de l'introduction d'une prairie dans une rotation sur les propriétés du sol

Au-delà de l'effet positif de l'introduction d'une prairie dans le fonctionnement du sol, quelle est la pérennité de cet effet ? Autrement dit, peut-on observer un effet hérité de la prairie dans la rotation. Le dispositif SOERE ACBB Lusignan (Hoeffner et al., 2021b) a permis de mettre en évidence qu'après trois années de remise en culture d'une prairie, l'effet positif hérité de la prairie pouvait être observé pour certains paramètres et que cet effet variait selon l'historique prairial. Ainsi, l'effet positif de 75% de prairie dans la rotation (6 années de prairies continues) vs 50% (3 années de prairies continues) s'observe sur la stabilité

structurale (+16%) et sur des paramètres de certains taxons (biomasse microbienne, équitabilité et structure spécifique des champignons mycorrhiziens, abondance des collemboles épi-édaphiques, abondance des enchytréides). A contrario, aucun héritage du passif prairial n'est observé sur les communautés lombriciennes, ni sur la régulation hydrique, la régulation du pathogène étudié ou la production fourragère de la prairie.

2.3. Effet du pâturage

La réponse des organismes du sol à la gestion du pâturage est toujours une balance entre les effets positifs des retours de matière organique par les déjections conduisant à améliorer la ressource trophique (de manière directe : les déjections animales sont une ressource pour les décomposeurs, et de manière indirecte : les déjections contribuent à la fertilité du sol) et les effets négatifs liés au matraquage du sol sous fort chargement ou conditions non portantes des sols.

◆ Effet du sur-pâturage

Il est toujours difficile de séparer les effets directs (mortalité due au piétinement) des effets indirects (effets sub-léthaux dus aux changements de qualité d'habitat), mais un pâturage intensif peut être très délétère pour les organismes du sol, notamment les communautés lombriciennes, et cet effet varie selon le type de prairie. Ainsi étudiant l'effet du pâturage intensif par des bovins d'une prairie mono-spécifique (ray-grass anglais) vs bi-spécifique (trèfle blanc + ray-grass anglais), Cluzeau et *al.* (1992) mettent en évidence que le piétinement intensif induit une diminution significative de l'abondance et de la biomasse des lombriciens, cet effet étant d'autant plus important dans la prairie mixte (respectivement -70% et 50% sous graminée pure et -85% et -77% sous le mix trèfle blanc-ray gras). L'effet est particulièrement observé sur les espèces épigées (*L. castaneus*) mais aussi, bien que dans une moindre mesure, sur les espèces anéciques et endogées. Par ailleurs, les juvéniles apparaissent plus sensibles.

Les travaux menés en Australie (King et Hutchinson, 1983), sur l'effet du pâturage par des ovins (10 moutons/ha vs 20 moutons/ha vs 30 moutons/ha) sur la biodiversité des sols mettent en évidence que l'intensification du pâturage a des effets différents selon les taxons étudiés : l'intensification conduit à une diminution de l'abondance et biomasse des invertébrés totaux, spécifiquement des micro-arthropodes épi et hémi-édaphiques, des nématodes et des enchytréides, cela conduit aussi à la réduction de l'activité des petits décomposeurs (collemboles, acariens). A contrario, cette intensification favorise le développement des fourmis. Concernant les larves de scarabées et les lombriciens, leur densité est optimale pour des chargements moyens. Le changement des communautés d'invertébrés est lié aux modifications de la qualité de leur habitat : espace de vie (gîte) et ressource trophique (couvert). Ces travaux mettent en exergue cet équilibre entre effet positif et négatif qui est taxon dépend, relatif à la niche écologique des différents taxa.

◆ Des leviers permettent-ils de limiter les impacts d'une fréquentation intensive ?

Les travaux menés en Irlande (Curry et al., 2008), démontrent qu'une fertilisation azotée élevée (390 kg N/ha) d'une prairie soumise à un pâturage intensif de bovins (1.75-2.5 bovin/ha), en favorisant le développement de la végétation, permet d'augmenter de manière significative l'abondance lombricienne (+50%) et d'en doubler la biomasse. Cet effet est espèce dépendante, les espèces épigées et anéciques étant les plus favorisées. Les effets négatifs liés au piétinement sur les communautés lombriciennes semblent donc pouvoir être compensés par l'amélioration de la ressource trophique sous forme de restitution des déjections animales et la fertilisation conduisant au développement végétal.

2.4. Effet du type de gestion : pâturage, fauchage, abandon

Dans un contexte de pâturage extensif en montagne, les travaux menés sur le dispositif du SOERE-ACBB Theix ont permis d'évaluer les effets sur du moyen terme de (i) l'utilisation de l'herbage, (ii) la présence d'animaux, (iii) l'intensité du pâturage des animaux et (vi) les types d'animaux (ovins ou bovins) sur les communautés de vers de terre dans les prairies permanentes mésophiles. Des prairies abandonnées ou fauchées ont été comparées à des prairies pâturées (à intensités faibles ou plus élevées), pâturées par des bovins ou des ovins. Les résultats mettent en avant qu'au bout de 15 années, comparés à la prairie abandonnée, les prairies pâturées ou fauchées favorisent significativement la biomasse lombricienne ainsi que la diversité lombricienne (richesse totale et l'indice de Shannon) et ce malgré une biomasse végétale au moins 1.7 fois moins importante. Par ailleurs, à l'exception des prairies pâturées par les bovins à intensité plus élevée, l'abondance lombricienne est à *mimima* 2 fois plus élevée dans les prairies pâturées ou fauchées qu'abandonnées. Aucun effet de l'intensité du pâturage, ni du type d'animal n'est mis en évidence sur cet observatoire (Hoeffner et *al.*, 2022).

2.5. Effet de la diversité végétale

La diversité végétale va jouer un rôle sur les propriétés du sol. Au-delà de l'effet structurant des différents types de systèmes racinaires (pivotant, fasciculé, ramifié etc...) sur la macro et méso-porosité des sols, les plantes vont aussi agir de manière directe ou indirecte sur la stabilisation des agrégats. Ainsi les travaux menés en Allemagne sur le dispositif de Jena, permettent de comparer l'effet d'un gradient de diversité végétale (1, 4, 16 espèces) et de diversité fonctionnelle (1,2,3,4 groupes fonctionnels) sur la stabilité structurale et d'identifier les mécanismes contrôlant ce processus de stabilisation. Il apparaît que la diversité spécifique végétale (4 ou 16 espèces) favorise la stabilité structurale des agrégats, alors que la diversité fonctionnelle n'influence pas ; la présence de graminées favorise la stabilité, à l'inverse de la présence de légumineuses. Les mécanismes de structuration, liée à la diversité végétale, sont à relier avec les variations de biomasse racinaire, de biomasse microbienne et de concentrations en carbone organique des sols (Pérès et al., 2013).

Conclusion

La pérennité des prairies ne peut être évaluée qu'en tenant compte d'une part i) des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols qui conditionnent le développement des plantes, ii) des variabilités spatiales et temporelles de ces propriétés et des fonctions associées, et d'autre part des modes de gestions (prairies incluent dans des rotations culturales, pâturage, fertilisation, diversité végétale) qui vont impacter ces mêmes propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Le développement d'une vision holistique (multi-compartiments, multifonctions, multi-services écosystémiques) et rétroactive du fonctionnement des prairies sera nécessaire pour la conception d'agrosystèmes pérennes.

Références Bibliographiques

- Arvidsson, J., 1999. Nutrient uptake and growth of barley as affected by soil compaction. *Plant Soil* 208, 9–19.
- Batey, T., 2009. Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use Manage.* 25, 335–345.
- Blouin, M., Hodson, M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau, D., Brun, J.-J., 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services: earthworm impact on ecosystem services. *Eur. J. Soil Sci.* 64, 161–182. Bouché, 1972
- Cluzeau, D., Binet, F., Vertes, F., Simon, J.C., Riviere, J.M., Trehen, P., 1992. Effects of intensive cattle trampling on soil-plant-earthworms system in two grassland types. *Soil Biol. Biochem.* 24, 1661–1665
- Cluzeau, D., Guernion, M., Chaussod, R., Martin-Laurent, F., Villenave, C., Cortet, J., Ruiz-Camacho, N., Pernin, C., Mateille, T., Philippot, L., Bellido, A., Rougé, L., Arrouays, D., Bispo, A., Pérès, G., 2012. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. *Eur. J. Soil Biol., Bioind. Soil Ecosyst.* 49, 63–72.
- Cui, J., Holden, N.M., 2015. The relationship between soil microbial activity and microbial biomass, soil structure and grassland management. *Soil Tillage Res.* 146, 32–38.
- Curry, J.P., Doherty, P., Purvis, G., Schmidt, O., 2008. Relationships between earthworm populations and management intensity in cattle-grazed pastures in Ireland. *Appl. Soil Ecol.* 39, 58–64.
- Głąb, T., 2013. Effect of tractor traffic and N fertilization on the root morphology of grass/red clover mixture. *Soil Tillage Res.* 134, 163–171.
- Hargreaves P.R., Baker K.L., Graceson A., Bonnett S., Ball B.C., Cloy J.M., 2019. Soil compaction effects on grassland silage yields and soil structure under different levels of compaction over three years. *European Journal of Agronomy* <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125916>
- Hoeffner, K., Hotte, H., Cluzeau, D., Charrier, X., Gastal, F., Pérès, G., 2021. Effects of temporary grassland introduction into annual crop rotations and nitrogen fertilisation on earthworm communities and forage production. *Applied Soil Ecology* 162 (2021) 103893. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103893>
- Hoeffner, K., Beylich, A., Chabbid, A., Cluzeau, D., Dascalu, D., Graefe, U., Guzmán, G., Hallaire, V., Hanisch, J., Landa, B.B., Linsler, D., Menasseri, S., Öpik, M., Potthoff, M., Sandor, M., Scheu, S., Schmelz, R.M., Engell, I., Schrader, S., Vahter, T., Banse, M., Nicolaï, A., Plaas, E., Runge, T., Roslin, T., Decau, M.L., Sepp, S.K., Arias-Giraldo, L.F., Busnot, S., Roucaute, M., Pérès, G., 2021b. Legacy effects of temporary grassland in annual crop rotation on soil ecosystem services. *STOTEN. Science of the Total Environment*- 780 (2021) 46140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146140>Hoeffner et al., 2022
- Kibblewhite MG, Ritz K, Swift MJ: Soil health in agricultural systems. *Philos Trans R Soc B* 2008, 363:685-701
- King, K.L., Hutchinson, K.J., 1983. The effect of sheep grazing on invertebrate numbers and biomass in unfertilized natural pasture of the New England Tablelands (NSX). *Austral Ecology.* 8 (3) 245-255.
- Lamandé, M., Hallaire, V., Curmi, P., Pérès, G., Cluzeau, D., 2003. Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements. *CATENA, Achieve. Micromorphol.* 54, 637–649. Lavelle et al., 2006 ;
- Legras, M., Trap, J., Guerout, D., 2011. Campagne 2010. Site expérimentation d'Yvetot. Programme Bioindicateur – Phase II. ADEME. Rapport d'activité. 108 p
- Pérès, G., Cluzeau, D., Menasseri, S., Soussana, J.F., Bessler, H., Engels, C., Habekost, M., Gleixner, G., Weigelt, A., Weisser, W.W., Scheu, S., Eisenhauer, N., 2013. Mechanisms linking plant community properties to soil aggregate stability in an experimental grassland plant diversity gradient. *Plant Soil* 373, 285–299.
- Pérès G., 2016. Vingt mille yeux sous la terre. In "Le sol, une merveille sous nos pieds" Feller C., de Marsily G., Mouglin C., Pérès G. Poss R., Winiarski T (Eds), Eds Belin Pour la science, 256 pages, 110-147 p

- Pérès G., Benard Y., Fossey M., Plantegenest M., Walter C. 2021. Key drivers of earthworm community distribution at landscape scale and ecosystem service associated. ICSZ conference, 16-21 August, Italy. Poster presentation
- Piron, D., Boizard, H., Heddadj, D., Pérès, G., Hallaire, V., Cluzeau, D. 2017. Indicators of earthworm bioturbation to improve visual assessment of soil structure. *Soil and Tillage Research*, (Volume 173) 53-63. DOI : 10.1016/j.still.2016.10.013
- Pulleman, M., Creamer, R., Hamer, U., Helder, J., Pelosi, C., Pérès, G., Rutgers, M., 2012. Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services-an overview of European approaches, *Curr Opin Environ Sustain*, 4, 1-10.
- Stirzaker R.J., Passioura J.B., Wilms Y., 1996. Soil structure and plant growth: Impact of bulk density and biopores. *Plant and Soil* 185, 151-162.
- Taylor H.M., Brar G.S., 1991. Effect of soil compaction on root development. *Soil and Tillage Research* 19, 111-119.
- van Groenigen, J.W., Lubbers, I.M., Vos, H.M.J., Brown, G.G., De Deyn, G.B., van Groenigen, K.J., 2014. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. *Sci. Rep.* 4.