

SÉQUESTRATION DU CARBONE DANS DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE PÂTURAGE

RÉDIGÉ PAR KEITH REID

INTRODUCTION

Le pâturage est une source d'alimentation essentielle depuis les débuts de l'élevage, mais il existe aujourd'hui de nouvelles possibilités de tirer profit des pâturages grâce au potentiel de séquestration du carbone de l'air sous nos terres de pâturage. Les sols des pâturages jouent un rôle considérable dans le stockage du carbone, et l'on estime que jusqu'à trois quarts du carbone stocké dans les écosystèmes terrestres se trouvent dans les prairies (Del Prado et al., 2014).

Le carbone stocké dans le sol sous forme de matière organique est très bénéfique pour le fonctionnement du sol. Les sols riches en matière organique ont:

- Une plus grande capacité à retenir les nutriments sous des formes assimilables par les plantes
- Une plus grande capacité à retenir l'humidité
- Une structure de sol plus stable, qui résiste à l'encroûtement et à l'érosion
- Une croissance plus forte et plus stable des plantes qui poussent dans ce sol, en particulier pendant les années de stress

La gestion des systèmes de pâturage en vue d'accumuler du carbone dans le sol est bénéfique pour l'ensemble du système agricole. Dans cette fiche, nous résumons l'état actuel des connaissances sur l'impact de la gestion des pâturages sur l'accumulation de carbone et sur la manière dont les agriculteurs peuvent l'exploiter pour augmenter la teneur en carbone de leurs exploitations.

LE CYCLE DU CARBONE DANS LES PÂTURAGES

La figure 1 illustre les principales étapes du cycle du carbone dans les pâturages. La photosynthèse est le moteur de l'ensemble du cycle, l'énergie solaire étant utilisée pour combiner le carbone du CO₂ avec l'hydrogène de H₂O afin de former des sucres qui sont à la base de tous les autres composés organiques.

La plus grande partie de ce « soleil stocké » est restituée à

l'atmosphère, d'abord par les plantes elles-mêmes pour soutenir leur croissance, puis par les animaux qui broutent les plantes. D'autres respirations ont lieu dans le cadre de la croissance des bactéries et des champignons du sol, qui utilisent les exsudats des racines et les matières végétales mortes pour se nourrir. Au quotidien, la photosynthèse ne se produit que pendant la journée, lorsque la lumière est suffisante, tandis que la respiration se poursuit vingt-quatre heures sur vingt-quatre.

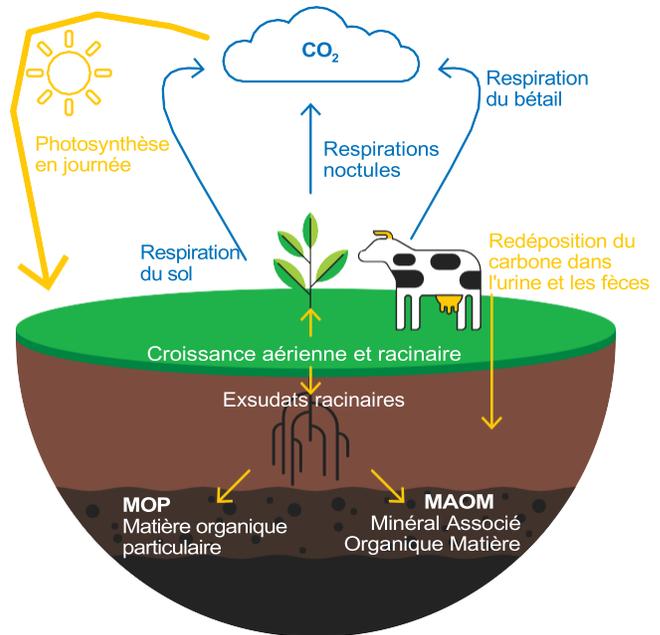


Figure 1. Le cycle du carbone dans les pâturages.

Une partie du carbone retourne donc constamment dans l'atmosphère sous forme de CO₂. Cette respiration fournit l'énergie nécessaire à la survie des plantes et favorise la transformation des sucres simples issus de la photosynthèse en composés plus complexes tels que l'amidon, la cellulose, la lignine ou les protéines. Ces composés sont incorporés dans les nouvelles pousses, à la fois au-dessus et au-dessous du sol. Certains de ces composés sont également libérés dans le sol autour des racines, où ils soutiennent une communauté microbienne active et diversifiée. Ces processus se produisent dans toutes les plantes, mais dans l'agriculture, nous cherchons à récolter une partie de ce matériel végétal pour en faire des produits utiles à l'homme, soit directement, soit pour nourrir le bétail. Dans les systèmes de pâturage, le bétail restitue au sol entre 24 et 40 % du carbone qu'il consomme sous forme d'excréments et d'urine (Whitehead, 2020). Seule une petite fraction du carbone total fixé par la photosynthèse se retrouve sous forme de matière organique stable dans le sol.



Fiche d'information

SEPTEMBRE 2023 | ©Perennia 2023

L'objectif premier d'un système de pâturage est de produire du fourrage qui peut être récolté par le bétail pour produire du lait, de la viande et des fibres, mais l'augmentation de la séquestration du carbone dans le sol est un avantage secondaire. Heureusement, ces objectifs ne s'excluent pas mutuellement et l'amélioration de la productivité des fourrages se traduira par une plus grande disponibilité du carbone pour le stockage dans le sol en augmentant la photosynthèse et en déplaçant plus de carbone dans le sol pour la croissance des racines et les exsudats racinaires. En prime, les pâturages pérennes éliminent presque totalement l'érosion du sol, ce qui contribue automatiquement à maintenir le carbone séquestré en place.

Le cycle du carbone dans les systèmes de pâturage est étroitement lié à la croissance des fourrages dans le pâturage. Il est donc utile de réfléchir au cycle de croissance de votre pâturage. Au début du printemps, lorsque les plantes sortent de la dormance hivernale, il n'y a que peu ou pas de tissu foliaire pour assurer la photosynthèse, de sorte que les réserves sont puisées dans les racines et que le CO₂ est libéré pendant la respiration pour assurer la croissance des nouvelles feuilles. Au fur et à mesure que le tissu se développe, la photosynthèse augmente, de sorte que les plantes passent rapidement d'une source nette de CO₂ à un puits net.

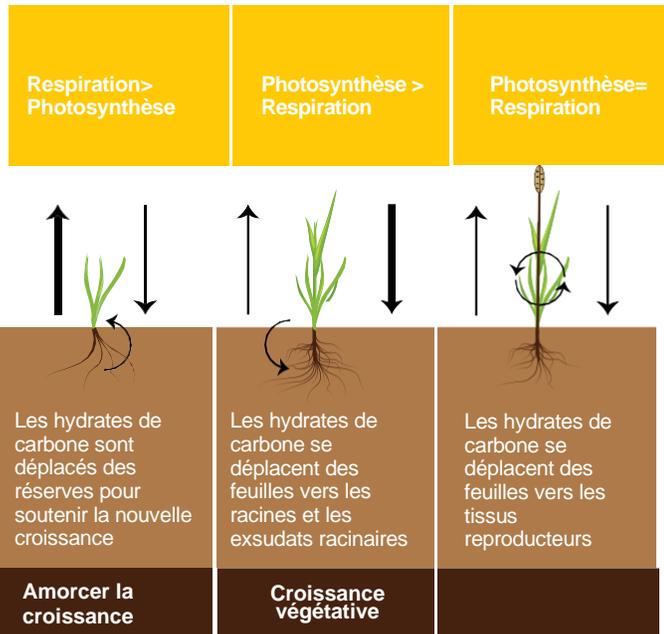


Figure 2. Dynamique du carbone à la maturité des pâturages.

Au fur et à mesure que la saison avance, les plantes croissent rapidement pendant la phase végétative, puis ralentissent considérablement lorsqu'elles entrent dans la phase reproductive, et la quantité d'assimilation du carbone suit un schéma similaire. Le transfert de carbone vers les racines, en particulier, ralentit lorsque les plantes entrent dans la phase de reproduction, ce qui réduit à la fois la croissance de nouveaux tissus racinaires et l'exsudation d'hydrates de carbone dans la

rhizosphère (zone racinaire). Ce ralentissement de la croissance, combiné aux limitations liées au manque d'eau et aux températures élevées, contribue au « marasme estival » dans de nombreux pâturages, où la croissance diminue de manière significative, suivie d'un rebond lorsque le temps se refroidit à l'automne.

Il pourrait sembler logique que les pâturages non pâturés séquestrent le plus de carbone, mais ce n'est pas le cas, car les plantes occupent simplement de l'espace sans contribuer beaucoup à la photosynthèse une fois qu'elles sont « montées en graine ». Dans les systèmes de gestion des pâturages, les plantes sont maintenues dans la phase de croissance végétative autant que possible, de sorte qu'elles poussent activement tant qu'il y a suffisamment de chaleur et d'humidité.

Dans le sol, le carbone fixé dans les feuilles est intégré au réservoir stable de matière organique dans le sol par deux voies principales. La première est la matière organique particulaire (MOP), composée de petits morceaux de végétation morte (racines ou fanes), de fumier (matières fécales déposées directement dans le champ ou épandues à partir d'un entrepôt) ou de restes d'organismes du sol qui sont morts (bactéries, champignons, insectes, vers de terre, etc.). Ces particules sont un mélange de composés indigestes et de matériaux qui constituent encore une bonne source de nourriture pour les organismes du sol. La clé de la stabilité des MOP est leur incorporation dans les agrégats du sol, où ils sont physiquement protégés de la consommation. La persistance des MOP a été mesurée dans une fourchette allant de plusieurs années à plusieurs décennies (Derrien et al., 2023).

La deuxième voie est la formation de composés qui sont chimiquement protégés de la dégradation. Les pédologues débattent beaucoup des processus exacts qui se déroulent dans le sol, et il est très probable qu'il y ait plusieurs processus qui varient en fonction du climat, du drainage du sol et de la minéralogie. Il semble que les composés carbonés solubles libérés par les racines suivent cette voie et se lient directement aux minéraux du sol ou sont d'abord consommés par les microbes du sol, qui excrètent ensuite des composés dont la valeur alimentaire est trop faible pour d'autres organismes ou qui se lient aux minéraux du sol d'une manière qui empêche leur consommation. Cette matière organique associée aux minéraux (MAOM) est très persistante dans le sol, de plusieurs décennies à plusieurs siècles, mais la capacité du sol à absorber la MAOM peut être saturée. Des recherches sont actuellement menées pour déterminer si les cultures à racines profondes peuvent séquestrer davantage de carbone en pompant les exsudats des racines dans le sous-sol, où la capacité du sol à absorber la MMAO n'est pas saturée (Derrien et al., 2023). La façon dont les pâturages sont gérés aura un impact considérable sur la quantité de carbone ajoutée à la banque de sol et sur la quantité de carbone convertie en matière organique stable. La section suivante explique plus en détail comment la gestion peut





Fiche d'information

SEPTEMBRE 2023 | ©Perennia 2023

augmenter à la fois le fourrage récoltable et le piégeage du carbone.

GÉRER LES PÂTURAGES POUR SÉQUESTREZ DAVANTAGE DE CARBONE

Les effets des différents systèmes de pâturage sur le piégeage du carbone sont très variables dans la littérature scientifique, mais une tendance est très claire : le carbone est davantage stocké dans les systèmes fourragers pérennes que dans les grandes cultures annuelles. Lorsque les pâturages sont cultivés en rotation avec des grandes cultures, l'accumulation de carbone augmente avec la durée de pâturage (Lin et al., 2020).

L'amélioration de la gestion des pâturages peut être éligible à un financement pour couvrir les coûts des semences, de la plantation et des conseils professionnels d'un conseiller agricole certifié, un agronome ou un agrologue dans le cadre du Fonds d'action à la ferme pour le climat. Pour plus d'informations, veuillez consulter : <https://www.nbscia.ca/fr/aide-memoire-programme-fafc/>

Cela ne signifie pas que tous les systèmes de pâturage sont identiques. Une mauvaise gestion des pâturages, et en particulier le surpâturage, transformera le pâturage en une source de carbone atmosphérique plutôt qu'en un puits. Lorsqu'une trop grande partie de la végétation supérieure a été enlevée, il n'y a plus assez de tissu foliaire pour assurer une photosynthèse efficace, de sorte que les plantes sont en déficit énergétique. Le carbone est extrait des racines pour faire pousser plus de feuilles, ce qui réduit le système racinaire, rend le pâturage vulnérable à tout déficit d'humidité et coupe les exsudats racinaires qui construisent la matière organique. Certaines plantes d'un pâturage stressé meurent, laissant des zones dénudées susceptibles d'être érodées.

Un pâturage en bonne santé
Photosynthèse > Respiration

Les pâturages surpâturés
retrouvent les mêmes
conditions qu'au début du
printemps.

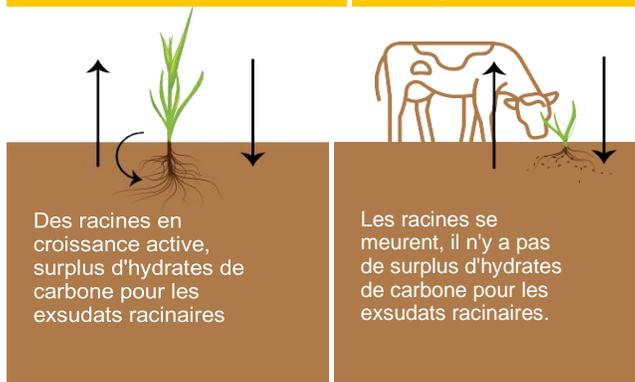


Figure 3. Comment le surpâturage affecte la dynamique des plantes dans les pâturages

Qu'en est-il des autres GES?

Le dioxyde de carbone fait l'objet d'une grande attention en tant que gaz à effet de serre (GES). La séquestration du carbone dans le sol est donc un moyen de réduire le risque de changement climatique. Cependant, le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O) produits par l'agriculture contribuent également à notre empreinte GES.

Les ruminants produisent du (CH₄) dans leur rumen en tant que sous-produit de la digestion. Ce phénomène ne peut être totalement évité, mais la quantité de (CH₄) libérée est beaucoup plus importante lorsque le bétail consomme des aliments de mauvaise qualité, de sorte que le maintien d'un fourrage de haute qualité dans les pâturages contribue à limiter ce phénomène. En outre, le fumier déposé sur les pâturages libère moins de GES que le fumier stocké.

Un excès d'engrais azoté dans les pâturages peut entraîner des émissions de N₂O. L'utilisation de légumineuses pour compléter les besoins en azote de vos pâturages entraînera des émissions de N₂O beaucoup plus faibles que l'utilisation d'engrais.

Le manque de nourriture provenant de ces pâturages, en particulier à la fin de la saison de croissance, entraînera une réduction des performances des animaux, y compris la possibilité de mortalité s'ils commencent à brouter des plantes toxiques qu'ils auraient normalement évitées. La teneur en carbone de ces sols est souvent identique ou inférieure à celle d'une culture annuelle. Cependant, ces champs surpâturés et dégradés bénéficieront davantage d'une gestion améliorée que les pâturages déjà bien gérés (Klump et Fornara, 2018).

Les différences sont moins nettes lorsqu'on compare les pâturages continus aux pâturages tournants, les effets allant de légères diminutions avec le pâturage tournant par rapport au pâturage continu (Sarkar et al., 2020), à aucun changement (Gourlez De La Motte et al., 2018), en passant par des augmentations significatives du carbone du sol avec le pâturage tournant (Conant et al., 2017 ; Whitehead, 2020). Ces divergences peuvent sembler déroutantes, mais le point commun des études montrant une séquestration identique ou supérieure du carbone du sol dans des parcelles pâturées en continu étaient toutes des systèmes de pâturage très étroitement gérés, la croissance de l'herbe étant étroitement surveillée de sorte que la pression de pâturage ne dépasse jamais la production de fourrage et qu'un complément alimentaire soit fourni si nécessaire. On est loin d'une approche de « laisser-faire » où le bétail est mis en pâturage au printemps et y reste jusqu'à l'automne. Ces études ont également été menées dans des régions où la production de pâturages semblait être constante tout au long de la saison, sans que l'on observe de « chute estivale » significative. Aucune de ces études n'a porté sur des situations où les parcelles avaient été surpâturées, ce qui aurait modifié les résultats puisqu'il a été démontré que le surpâturage avait un impact négatif



Fiche d'information

SEPTEMBRE 2023 | ©Perennia 2023

significatif sur le carbone du sol (Zhou et al., 2020). La difficulté de comparer deux systèmes de pâturage bien gérés réside dans le fait que les différences entre les systèmes sont minimales et donc plus difficiles à mesurer. Dans l'ensemble, cependant, il semble que l'adoption d'un pâturage tournant intensif soit bénéfique pour stocker davantage de carbone dans le sol, ce qui a été démontré dans une étude à long terme en Nouvelle-Écosse (Bouman et al., 2018).

Un facteur des systèmes de pâturage tournant qui semble influencer la séquestration du carbone est la durée de la période de repos entre les pâturages, l'accumulation de carbone dans le sol étant plus importante lorsque les périodes de repos sont plus longues (Jordon et al., 2022). Chaque cycle de pâturage devrait également être géré de manière à ce qu'il reste au moins 50 % du fourrage lorsque le bétail est retiré. Cela permettra d'obtenir un tissu foliaire suffisant pour favoriser une repousse rapide qui, à son tour, fournira suffisamment de photosynthèse pour acheminer les hydrates de carbone vers les racines.

La fertilisation azotée est rarement mentionnée comme une variable dans les analyses de l'impact de la gestion des pâturages, en particulier lorsqu'elles sont menées à l'échelle mondiale. Le nitrogène est l'une des principales limites à la croissance de l'herbe, et un apport insuffisant en nitrogène limitera à la fois l'alimentation du bétail et le piégeage du carbone. Cependant, l'ajout d'engrais azotés, en particulier à des niveaux excessifs, augmentera la libération d'oxyde nitreux (N_2O), un gaz à effet de serre encore plus puissant que le (CO_2) (voir l'encadré). L'inclusion de légumineuses pérennes dans le mélange fourrager, comme le lotier corniculé ou le trèfle blanc, peut répondre aux besoins en nitrogène du pâturage sans augmenter les émissions de gaz à effet de serre (Barneze et al., 2020).

L'ajout d'espèces au mélange de pâturages pourrait augmenter à la fois la productivité des pâturages et le piégeage du carbone. Une étude menée en Pennsylvanie a montré qu'un mélange de cinq espèces accumulait plus de carbone dans le sol sur cinq ans qu'une seule espèce (Skinner et Dell, 2016). On ne sait pas exactement dans quelle mesure l'effet provenait de l'ajout d'espèces plus productives au mélange ou de l'inclusion de légumineuses, qui ont amélioré le statut en nitrogène de la prairie, plutôt que d'une simple réponse à l'augmentation de la diversité des espèces. Il existe certainement des preuves que les plantes qui utilisent la voie de la photosynthèse en C4 (c'est-à-dire les graminées de saison chaude) sont plus efficaces pour constituer des réserves de carbone dans le sol que les plantes en C3 (graminées de saison froide, légumineuses) et qu'elles maintiennent leur croissance pendant l'été, même si elles ne commencent pas à pousser aussi rapidement au printemps. Les plantes à racines profondes peuvent déplacer le carbone des exsudats racinaires vers le sous-sol, où les minéraux du sol ont une plus grande capacité à se lier à ces composés

et à les stabiliser. Dans les pâturages de longue durée sur des sols variables, un mélange diversifié d'espèces peut permettre aux plantes les mieux adaptées de dominer dans des conditions différentes, de sorte que la productivité globale du pâturage est accrue, y compris la quantité de carbone transférée dans le sol. Il a été suggéré que l'inclusion de dicotylédones non légumineuses dans les mélanges de pâturages augmenterait le piégeage du carbone grâce à une activité microbienne accrue, mais il existe peu de preuves pour étayer ou infirmer cette hypothèse (Jordon et al., 2022). Il est nécessaire de poursuivre les recherches sur l'impact de la diversité des espèces, ou de l'inclusion de plantes ayant des fonctions spécifiques dans le mélange, à la fois sur le rendement et la qualité du fourrage et sur le piégeage du carbone.

RÉSUMÉ

Des pâturages bien gérés peuvent constituer une partie très rentable d'une exploitation d'élevage, et la gestion visant à soutenir une forte croissance des fourrages augmentera également le stockage du carbone dans le sol. Cet objectif pourrait être atteint dans un système de pâturage continu, mais le niveau de gestion nécessaire pour faire correspondre l'offre de fourrage à la pression de pâturage, lorsque les taux de croissance des fourrages varient au cours de la saison, est très élevé. Pour la plupart des exploitations, il est plus facile d'adapter la croissance des fourrages aux besoins alimentaires dans un système de pâturage tournant.

Les clés de la gestion du pâturage tournant pour la séquestration du carbone sont les suivantes:

1. Maintenir la fertilité et le pH du sol à un niveau adéquat
2. Planter un mélange de graminées et de légumineuses adaptées à votre sol et à votre climat.
3. Maintenir le couvert végétal. Cela peut se faire en gérant le pâturage de manière que le fourrage soit récolté uniformément jusqu'à environ la moitié du volume total à chaque pâturage, et en laissant une longue période de récupération entre chaque pâturage.



Fiche d'information

SEPTEMBRE 2023 | ©Perennia 2023

RÉFÉRENCES

Barneze A.S., Whitaker J., McNamara N.P., Ostle N.J. (2020) Legumes increase grassland productivity with no effect on nitrous oxide emissions. *Plant and Soil* 446:163-177. DOI: [10.1007/s11104-019-04338-w](https://doi.org/10.1007/s11104-019-04338-w).

Bouman O.T., Fredeen A.H., Mazzocca A.M. (2018) Soil organic matter storage in a perennial rotation pasture in north-central Nova Scotia from 2007 to 2015. *Revue canadienne de la science du sol* 98:385-388. DOI: [10.1139/cjss-2017-0122](https://doi.org/10.1139/cjss-2017-0122).

Conant R.T., Cerri C.E.P., Osborne B.B., Paustian K. (2017) Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Applications écologiques* 27:662-668. DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.1473>.

Del Prado A., Van den Pol-van Dasselaar A., Chadwick D., Misselbrook T., Sandars D., Audsley E., Mosquera-Losada M.R. (2014) Synergies entre l'atténuation et l'adaptation au changement climatique dans les systèmes agricoles basés sur les prairies, in : A. Hopkins, et al. (Eds.), *EGF at 50: the Future of European Grasslands*, Aberystwyth, Wales. pp. 61-74.

Derrien D., Barré P., Basile-Doelsch I., Cécillon L., Chabbi A., Crème A., Fontaine S., Henneron L., Janot N., Lashermes G., Quénéa K., Rees F., Dignac M.-F. (2023) Controverses actuelles sur les mécanismes de contrôle du stockage du carbone dans le sol : implications pour les interactions avec les praticiens et les décideurs. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 43. DOI: [10.1007/s13593-023-00876-x](https://doi.org/10.1007/s13593-023-00876-x).

Gourlez De La Motte L., Mamadou O., Beckers Y., Bodson B., Heinesch B., Aubinet M. (2018) Rotational and continuous grazing does not affect the total net ecosystem exchange of a pasture grazed by cattle but modifies CO₂ exchange dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 253:157-165. DOI: [10.1016/j.agee.2017.11.011](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.011).

Jordon M.W., Willis K.J., Bürkner P.-C., Petrokofsky G. (2022) Rotational grazing and multispecies herbal leys increase productivity in temperate pastoral systems - A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 337:108075. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108075>.

Klump, K. et Fornara, D. A. (2018). La séquestration du carbone dans les sols des prairies - changement climatique et stratégies d'atténuation. In B. Horan, D. Hennessy, M. O'Donovan, E. Kennedy, B. McCarthy, J. A. Finn, & B. O'Brien (Eds.), *Sustainable meat and milk production from grasslands* (pp. 509). European Grassland Federation.

Lin D., McCulley R.L., Nelson J.A., Jacobsen K.L., Zhang D. (2020) Time in pasture rotation alters soil microbial community composition and function and increases carbon sequestration potential in a temperate agroecosystem. *Science of The Total Environment*

698:134233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134233>.

Sarkar R., Corriher-Olson V., Long C., Somenahally A. (2020) Challenges and Potentials for Soil Organic Carbon Sequestration in Forage and Grazing Systems. *Rangeland Ecology & Management* 73:786-795. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.04.002>.

Skinner R.H., Dell C.J. (2016) Yield and Soil Carbon Sequestration in Grazed Pastures Sown with Two or Five Forage Species. *Crop Science* 56:2035-2044. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.11.0711>.

Whitehead D. (2020) Management of Grazed Landscapes to Increase Soil Carbon Stocks in Temperate, Dryland Grasslands. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4. DOI: [10.3389/fsufs.2020.585913](https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.585913).

Zhou, G., Zhou, L. et Zhou, X. (2020). Effets de l'intensité du pâturage sur le carbone souterrain et le cycle de l'azote. In *Grasses and Grassland Aspects*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90416>.