

Auteur principal : Chaire BEA

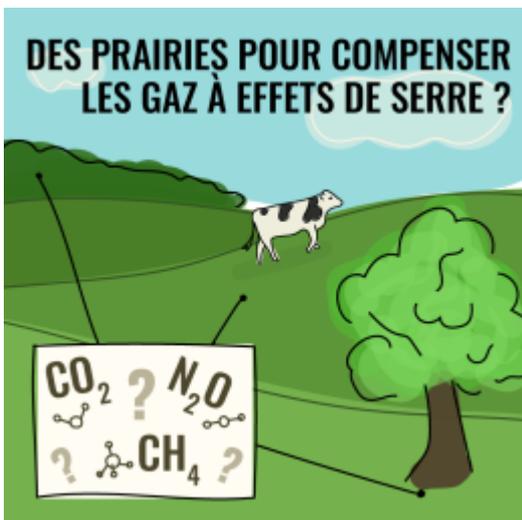
Contributeurs : Amandine Rave, Nathalie Vassal, Paul Villate

Infographies : Noÿa Broise

DOI : 10.5281/zenodo.13936236



<https://chaire-bea.vetagro-sup.fr>



Octobre 2024

Les prairies permettent de compenser une partie des émissions de gaz à effet de serre des vaches, VRAI ou FAUX ?

VRAI

Les prairies constituent des puits de carbone, qui permettent de compenser en partie les émissions de gaz à effet de serre des vaches. De bonnes pratiques de gestion des sols et d'élevage (comme le pâturage tournant par exemple) permettent d'accroître les capacités de stockage de carbone par les prairies. Toutefois, les capacités de stockage de carbone par les prairies décroissent avec le temps.

À RETENIR

-  Les émissions de GES des bovins représentent 62% des émissions de GES attribuées à l'élevage au niveau mondial.
-  Les prairies permettent de compenser une partie des émissions de carbone liées à l'élevage en participant au stockage de carbone.
-  De bonnes pratiques d'élevage et de gestion des sols permettent de conserver voire d'accroître la capacité de stockage de carbone par les prairies.

L'image de l'agriculture s'est progressivement dégradée en raison des diverses crises^[1] et de la mise en cause de certaines pratiques d'élevage ou de culture (comme l'usage excessif d'intrants), mises en place pour répondre à des besoins de production. Si les sondages montrent que la majorité des Français conservent un niveau élevé de soutien aux agriculteurs depuis 1999^[2], certains citoyens se montrent critiques à l'égard des impacts de l'agriculture sur la santé et sur l'environnement, à court, moyen et long terme.

Parmi les critiques, l'élevage des ruminants et des bovins en particulier est souvent pointé du doigt, notamment en ce qui concerne ses émissions de méthane, puissant gaz à effet de serre (GES) qui contribue au dérèglement climatique. En effet, dans son rapport publié en décembre 2023^[3], l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) souligne que l'élevage est à l'origine de 12% des émissions de GES mondiaux (20,5% en France) causées par l'humain ; le méthane représentant un peu plus de la moitié de ces émissions (54%).

Or, dès 2009, la FAO soutenait que « *avec de meilleures pratiques de gestion, le secteur de l'élevage peut aussi contribuer de manière significative à l'atténuation des effets du changement climatique [...]. L'augmentation de l'utilisation des pâturages pour l'alimentation animale et leur bonne gestion en pâturage rotatif sont potentiellement le moyen le plus rentable de réduire et compenser les émissions de gaz à effet de serre. La régénération du couvert végétal et de la teneur des sols en matière organique favorise la séquestration du carbone, tandis que l'incorporation de fourrage de haute qualité dans l'alimentation animale contribue à la réduction des émissions de méthane par unité de produit animal* »^[4].

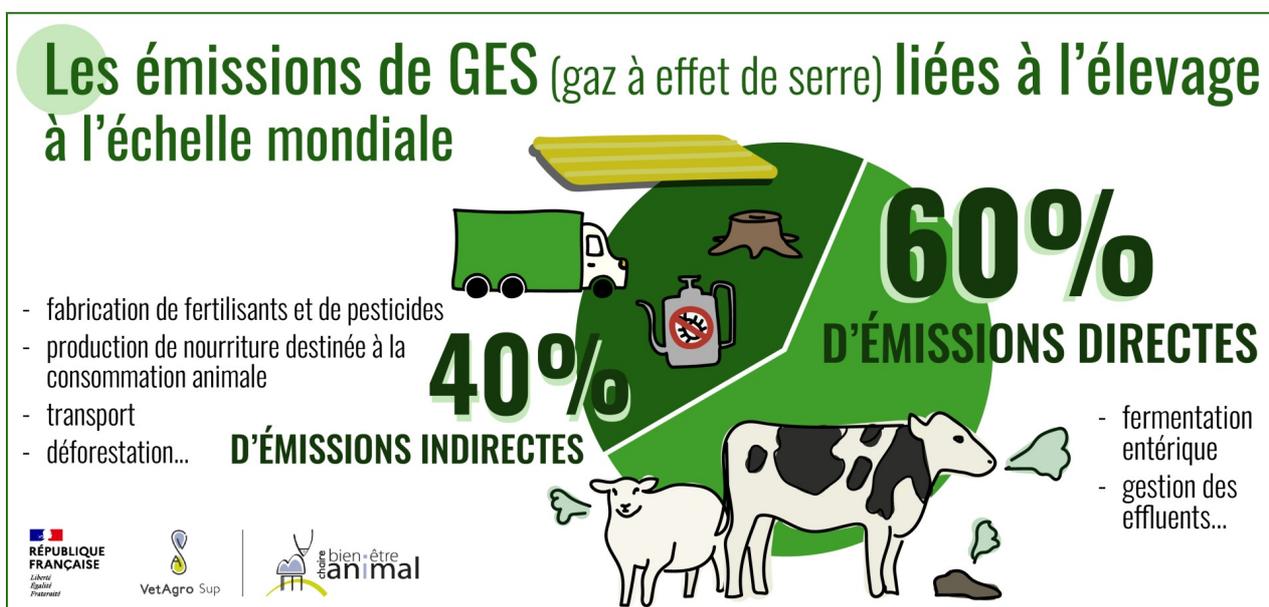
Dès lors, regardons de plus près à partir des données scientifiques actualisées : les prairies permettent-elles de compenser en partie les émissions de gaz à effet de serre des vaches ?

Comprendre les émissions de gaz à effet de serre liées à l'élevage

Les activités agricoles génèrent principalement trois gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone, le méthane, et le protoxyde d'azote. Leur contribution à l'effet de serre est variable selon les gaz. Par exemple, le méthane, bien qu'ayant une durée de vie moindre, a un pouvoir de réchauffement plus de 80 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone^[5].

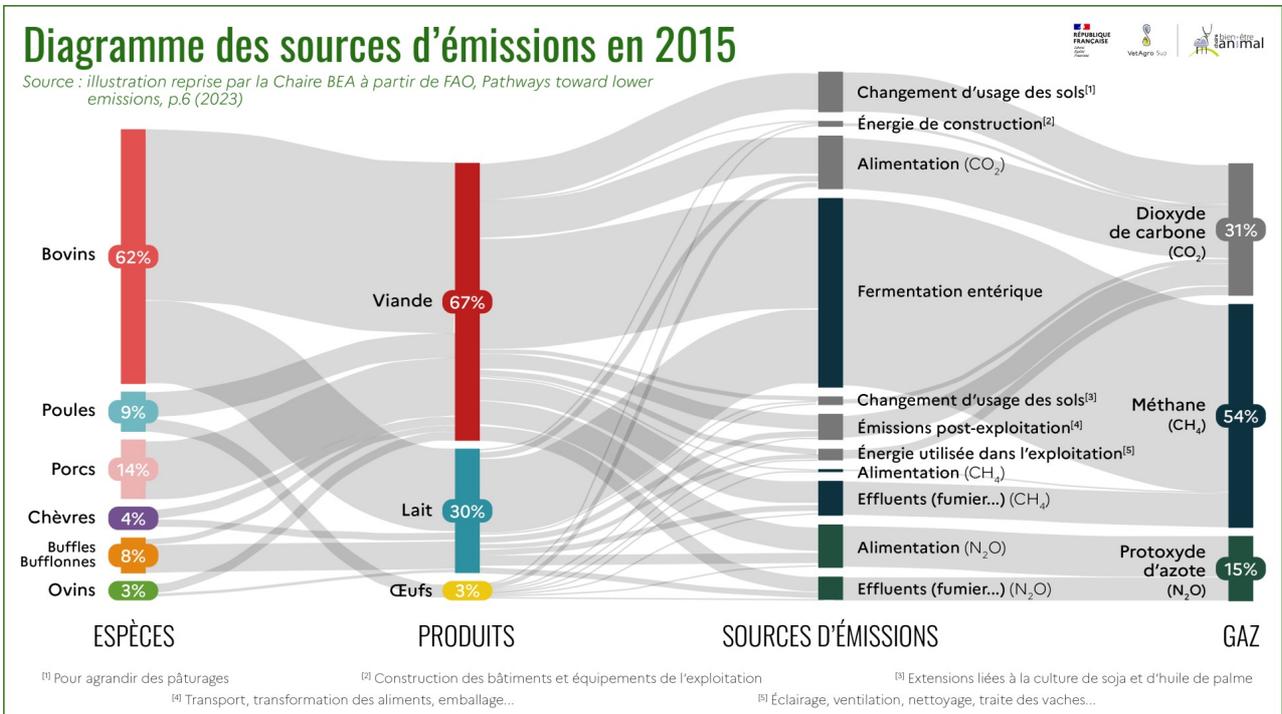
Selon le dernier rapport de la FAO en 2023, les émissions de GES liées à l'élevage à l'échelle mondiale se répartissent ainsi :

- 60% liées à des émissions directes de GES : il s'agit principalement du méthane issu de la fermentation entérique (processus de digestion chez les ruminants) et du protoxyde d'azote généré par la gestion des effluents (fumier, lisier).
- 40% liées à des émissions indirectes qui correspondent à la fabrication de fertilisants et de pesticides, la production de la nourriture destinée à la consommation animale, la fabrication des concentrés alimentaires, le transport et l'emballage des produits animaux ou encore la déforestation pour permettre les cultures nécessaires à l'alimentation animale (comme le soja par exemple).

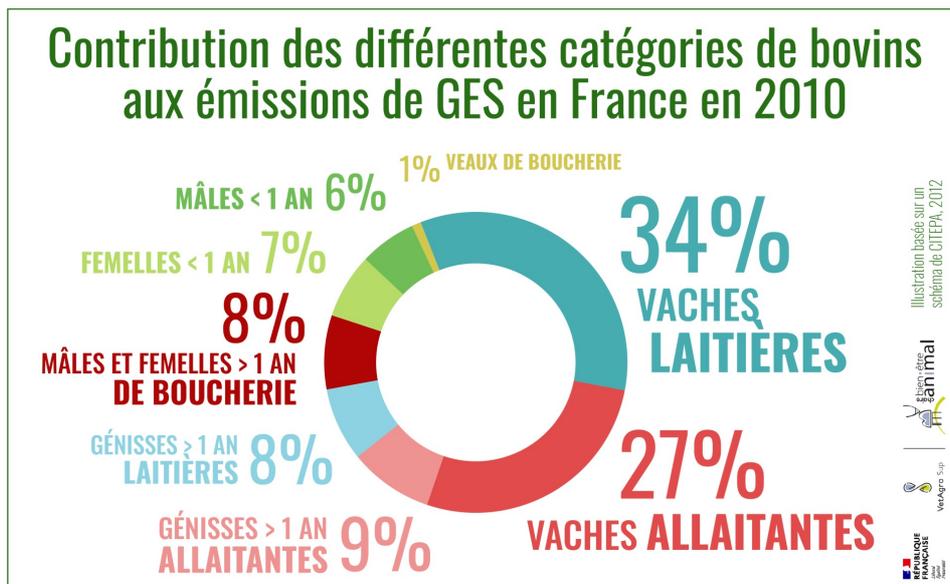


Le poids des émissions de GES n'est pas identique selon les espèces animales. Selon la FAO (2023), l'élevage bovin représenterait 62% des émissions de GES attribuées à l'élevage au niveau mondial, loin devant celles liées à l'élevage d'autres animaux. Cela est dû à leur biomasse totale qui est supérieure à celle des autres animaux d'élevage, mais également à leur processus de digestion spécifique^[6].

L'illustration ci-dessous permet de visualiser la répartition des émissions de GES des différents élevages et des produits animaux (viande, lait, œufs), leur provenance (émissions liées aux extensions de cultures, à l'alimentation, aux fèces, etc) ainsi que leur nature (dioxyde de carbone, méthane ou protoxyde d'azote).



En outre, la contribution aux GES est différente selon l'âge et le type de bovin. Par exemple, le cheptel de vaches laitières en France étant plus grand que celui des vaches allaitantes, il représente logiquement la majeure partie des émissions de GES des bovins.



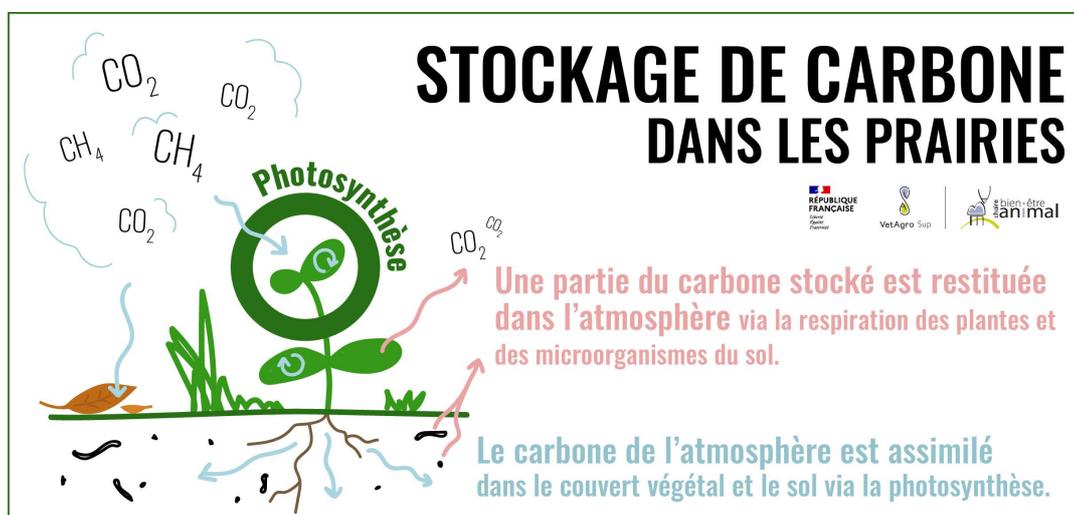
L'élevage n'est pas uniquement émetteur de gaz à effet de serre : les prairies, qui sont, en France tout du moins, à la base de l'alimentation des bovins, permettent de stocker du carbone.

Comment les prairies permettent-elles de stocker du carbone ?

Les prairies non pâturées

La séquestration du carbone par les prairies est un processus naturel. Dans l'atmosphère, le carbone est présent majoritairement sous forme de dioxyde de carbone (CO_2) et de méthane (CH_4).

Grâce à la photosynthèse, le carbone est fixé naturellement par les plantes, leur métabolisme l'incluant dans la constitution de différentes molécules et des tissus végétaux.



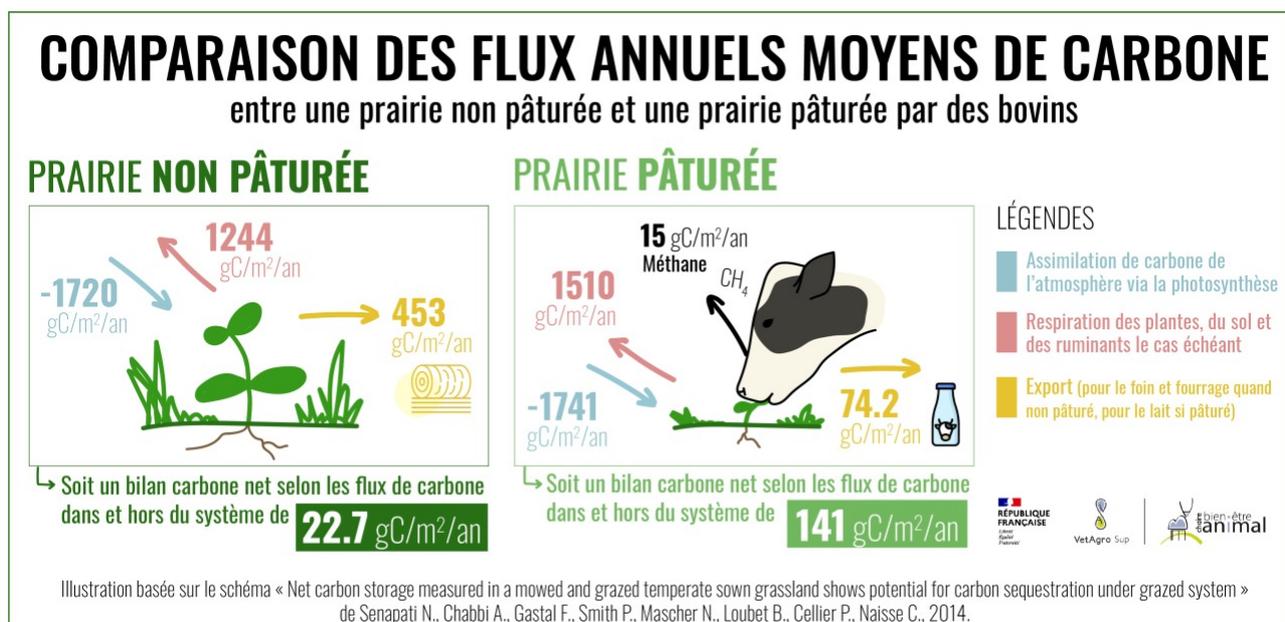
Ce carbone sera alloué au sol via les résidus de parties aériennes (feuilles, tiges) et les racines, mais aussi via les exsudats racinaires^[7], et sera intégré dans le stock de matière organique. Une partie du carbone est donc stockée dans la matière organique du sol ainsi que dans le couvert végétal, et sera possiblement restituée à l'atmosphère sous forme de CO_2 via la respiration des plantes et des microorganismes du sol.

Plusieurs études scientifiques ont montré que les prairies tempérées d'Europe sont des « puits de carbone » : elles captent et stockent plus de carbone qu'elles n'en restituent dans l'atmosphère^[8].

Les prairies pâturées

Une étude de Senapati et al. (2014) a comparé les capacités de stockage de carbone d'une jeune prairie semée et fauchée (sans pâturage d'animaux) et d'une jeune prairie semée et pâturée, en France. Cette étude a permis de mesurer tous les flux de carbone entre les différents compartiments du système.

Lorsque la prairie est pâturée par des ruminants, les mêmes processus s'appliquent qu'avec la fauche : le carbone présent dans l'atmosphère sous forme de CO₂ et CH₄ est fixé par les plantes sous forme de carbone organique. Une partie du carbone est stockée dans la matière organique du sol et dans les plantes. Une partie est restituée à l'atmosphère via la respiration des plantes et des microorganismes du sol, mais aussi via la respiration des ruminants. Les bovins rejettent en plus du CH₄ dans l'atmosphère suite au processus de fermentation entérique lors de leur digestion. Les bovins rejettent donc à la fois dans l'atmosphère du CO₂ et du CH₄. Ainsi, la respiration globale du système (1510 gCm⁻²année⁻¹) est supérieure par rapport à une prairie sans animaux (1244 gCm⁻²année⁻¹).



Toutefois, l'étude de Senapati et al. (2014) montre que le bilan carbone net d'une prairie pâturée est supérieur à celui d'une prairie non pâturée. Cela est principalement dû au fait que dans le cas d'une prairie pâturée, une grande partie du fourrage est directement recyclée sur place par les animaux qui s'alimentent (permettant au carbone organique contenu dans l'herbe d'être alloué au sol de la prairie), alors que dans une prairie non pâturée, la majeure partie du carbone organique contenu dans l'herbe (95%) sort du système via le foin/fourrage et n'est pas recyclée sur place. Dans une prairie pâturée, environ 25-40% du carbone organique contenu dans l'herbe ingérée par les animaux retourne dans le sol via les fèces des animaux. Une petite partie carbone organique contenu dans l'herbe ingérée est exportée en dehors du système via le lait/la viande produit par les animaux.



Le saviez-vous ?

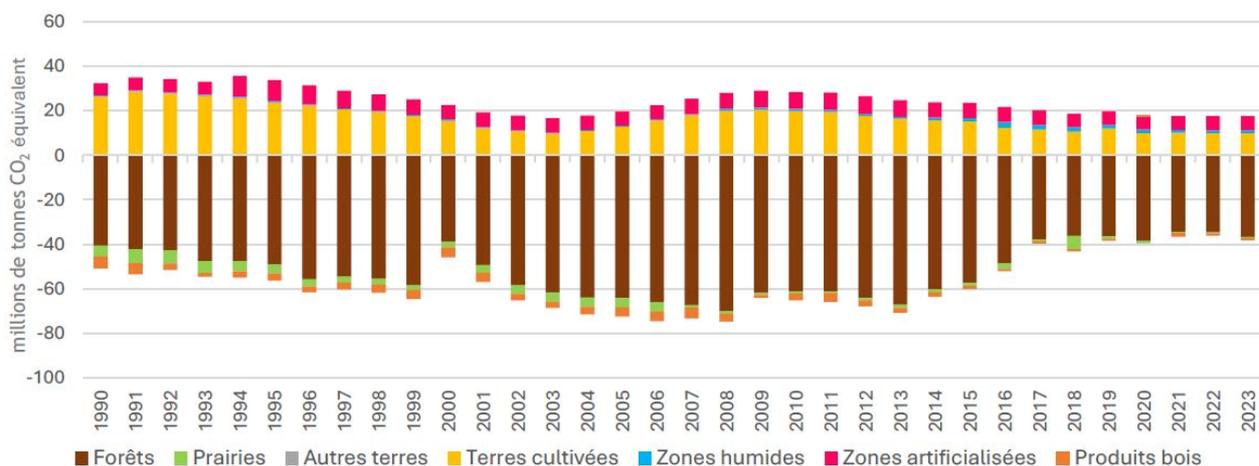
Les sols représentent le puits de carbone naturel le plus important sur les surfaces continentales. Les sols contiennent, sous forme de carbone organique, approximativement trois fois plus de carbone que l'atmosphère^[9].

La quantification globale du stock de carbone dans le sol est difficile à évaluer car il fluctue au cours du temps. En effet, le processus de stockage du carbone suit une croissance exponentielle pendant les 30-40 premières années (si les pratiques restent les mêmes, ce qui est rare), puis ralentit et tend vers un équilibre où les entrées et sorties de carbone dans le sol se compensent au bout d'un certain temps^[10]. Une fois séquestré, le carbone peut rester dans le sol jusqu'à plusieurs milliers d'années, surtout dans les horizons profonds du sol.

Quoi qu'il en soit, la production de biomasse par les couverts végétaux permet de stocker du carbone et d'augmenter la teneur en carbone du sol (ainsi que son potentiel à le stocker). Ainsi les forêts, les tourbières ou encore les prairies sont particulièrement intéressantes pour stocker du carbone.

Comme pour les autres types de sols, la capacité de stockage du carbone par les prairies évolue en fonction du temps : elle suit une croissance exponentielle les 30-40 premières années, puis ralentit et tend vers un équilibre où les entrées et sorties de carbone tendent à s'annuler. Au-delà des 30-40 premières années, le stock de carbone contenu par le sol de la prairie est important mais les émissions liées aux animaux qui valorisent la prairie (flux de carbone) ne sont donc plus compensées via ce mécanisme.

Dans son dernier rapport 2024, le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique) montre l'évolution du rôle des prairies en France en terme d'absorption du CO₂ équivalent au cours des trente dernières années : ce rôle, décroissant, s'explique notamment par le « vieillissement » des prairies françaises^[11].



Répartition des émissions et absorptions de CO₂ en France (Métropole et Outre-mer UE)
Source : CITEPA 2024

Les facteurs influençant la capacité de stockage de carbone par les sols

La capacité de stockage de carbone par le sol dépend de multiples critères, comme les caractéristiques pédologiques, les conditions climatiques mais aussi des facteurs humains comme les pratiques de gestion des couverts végétaux, les pratiques de fertilisation ou encore d'élevage.

L'usage des terres

Comme vu précédemment, une prairie fauchée non pâturée et une prairie pâturée ne présentent pas le même bilan carbone net annuel. De la même façon, tous les sols ne présentent pas les mêmes caractéristiques et stocks de carbone en fonction de leur couverture végétale. Les études scientifiques montrent qu'un sol sous cultures annuelles a un stock bien moindre qu'une prairie ou qu'une forêt par exemple.



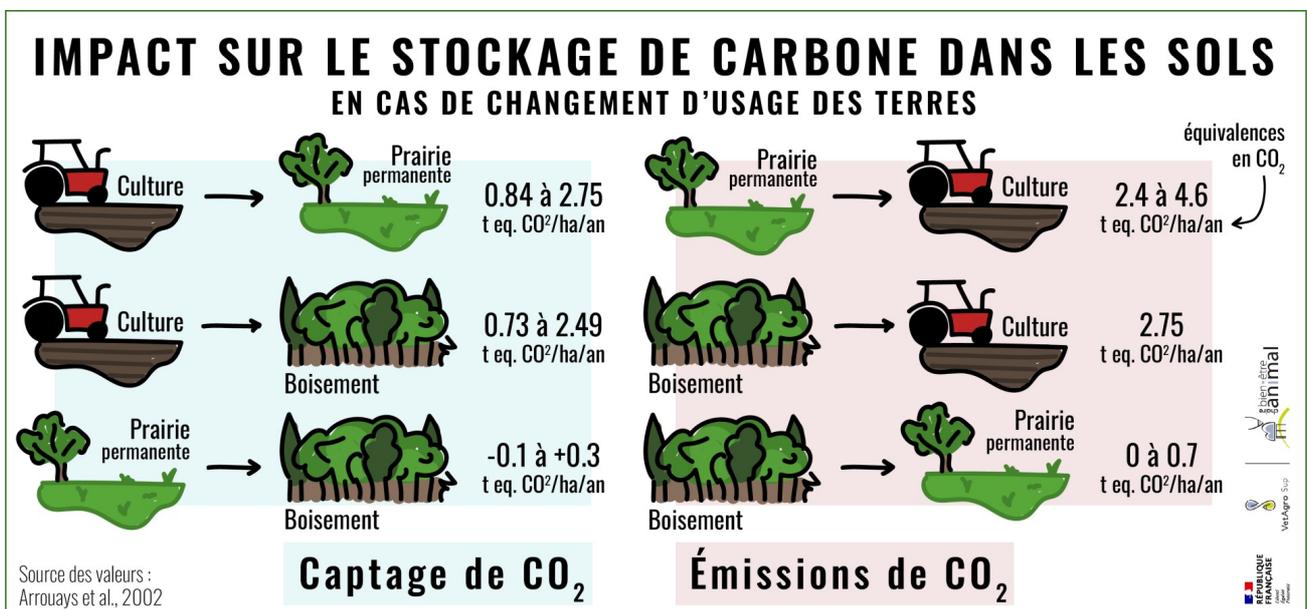
Selon le rapport 2023 de la FAO, les terres consacrées au pâturage représentent 26% de la surface mondiale terrestre, les forêts 30,3% et les terres arables 10,8%. On comprend dès lors l'intérêt, non seulement de protéger les zones de prairies et de forêts pour stocker du carbone, mais aussi d'étendre ces zones.

Deux projets européens (GreenGrass et CarboEurope) ont permis d'étudier la capacité de stockage en carbone de 28 prairies européennes et d'établir une moyenne de capacité de stockage net de carbone comparable à celle des forêts européennes. Toutefois, une grande variabilité entre les prairies a été trouvée au cours de ces études, et ces premiers résultats doivent être interprétés avec prudence. En outre, si les capacités de stockage en carbone étaient comparables entre le sol d'une prairie permanente^[12] et celui d'une forêt, les services écosystémiques^[13] ne le seraient pas nécessairement, chaque système jouant un rôle spécifique en termes de biodiversité, impact dans le cycle de l'eau, etc.

La conversion de l'usage des sols

Le stockage du carbone organique dans le sol n'est pas irréversible. Ainsi, la conversion des terres à d'autres usages peut favoriser la libération des stocks de carbone du sol : en d'autres termes, le sol peut être un puits ou une source de carbone. Par exemple, lorsque l'on convertit une forêt en prairie ou en culture (ou vice versa), cela s'accompagne d'une modification des caractéristiques du sol et des processus agissant sur l'évolution des matières organiques, ce qui bouleverse les capacités de stockage du carbone du sol^[14].

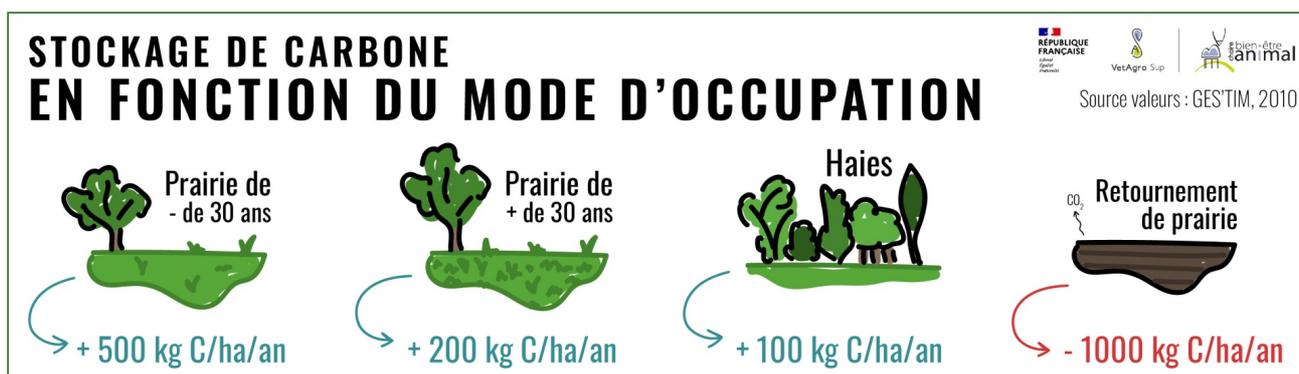
Une étude menée par Arrouays et al. (2002) a montré que le potentiel de stockage de carbone des sols demeure quasiment identique lorsque l'on transforme une forêt en prairie permanente alors que le passage d'une forêt à une culture ou d'une prairie permanente à une culture s'accompagne d'importantes émissions de CO₂ (+2.4 à 4,6 t eq. CO₂/hectare/an) et donc de pertes de carbone. Ainsi, si on remplaçait les prairies permanentes par des zones cultivées (là où cela est possible, en dehors des zones montagneuses par exemple), cela se traduirait par un déstockage de carbone et une augmentation des émissions.



Les bonnes pratiques de gestion des sols

D'autres facteurs peuvent influencer la capacité de stockage de carbone par les sols, indépendamment de leur usage : c'est notamment les pratiques de gestion des sols.

Différentes pratiques de gestion du sol permettent d'accroître les capacités de stockage du carbone de ces derniers. Pour les prairies, une prairie permanente stocke plus de carbone qu'une prairie temporaire^[15]. Cela est dû à l'absence de travail du sol, à la production et la restitution accrue de biomasse, qui permettent au processus de stockage du carbone du sol de suivre une croissance exponentielle pendant les 30-40 premières années. Ainsi, une prairie temporaire soumise à une succession de cultures et dont le sol est travaillé n'offre pas les mêmes capacités de stockage qu'une prairie permanente. Par ailleurs, l'apport équilibré d'azote organique via des déjections animales ou via un couvert végétal riche en azote comme les légumineuses accroît la séquestration de carbone. A l'inverse, un déficit en azote peut provoquer un déstockage de carbone^[16].



L'intensité du pâturage est également un facteur impactant : le surpâturage, qui consiste en une exploitation excessive de la végétation d'une surface fourragère par les bovins et autres ruminants, peut dégrader le couvert végétal et diminuer les capacités de stockage du carbone par le sol, par une moindre restitution de litières (débris végétaux en décomposition) au sol. A l'inverse, une pratique de pâturage tournant (avec des rotations courtes) permet d'éviter le surpâturage, de stimuler la production de biomasse tout en réduisant la consommation d'aliments concentrés (céréales, soja, etc.). Cela permet aussi de réduire les émissions de GES liées à la gestion et au stockage des effluents, avec une répartition uniforme des nutriments sur les parcelles^[17].

En outre, la pratique d'agroforesterie ou la présence de haies dans une prairie permet aussi d'augmenter les stocks de carbone de cette dernière.

Tendances et perspectives à l'échelle mondiale

Dans son rapport 2023 *Global assessment of soil carbon in grasslands: From current stock estimates to sequestration potential*, la FAO souligne que 54% des sols des prairies à l'échelle mondiale affichent des capacités de stockage du carbone stables, grâce à des apports organiques suffisants. Cela est d'autant plus vrai pour les milieux peu ou pas exploités par les humains^[18].

Toutefois, les sols des prairies de certaines zones géographiques présentent un bilan carbone négatif en raison de la dégradation des sols (en lien avec l'activité humaine et des événements climatiques extrêmes comme des stress hydriques, des incendies intenses et fréquents...) : c'est le cas de l'Asie de l'Est, l'Amérique du Sud et centrale, et des zones africaines situées au sud de l'équateur. Dans ces régions, les stocks actuels de carbone dans les sols des prairies sont également susceptibles de diminuer en raison d'une pression anthropogénique croissante et des conditions climatiques. La FAO a d'ailleurs publié une carte mondiale des sols qui permet de suivre l'état de séquestration du carbone dans les sols.

De meilleures pratiques de gestion des sols comme l'apport de fumier (qui permet, en apportant de la matière organique, de stimuler les micro-organismes du sol), l'agroforesterie, ou le pâturage tournant offrent des possibilités d'accroître la capacité de stockage de carbone des sols des prairies à court terme. Limiter les changements d'usage (comme par exemple en convertissant les prairies permanentes en zones de culture) et lutter contre les mauvaises pratiques de gestion des sols (surpâturage, labour systématique et profond, retournement, fertilisation excessive) participent également à cet effort. Enfin, maintenir les stocks de carbone déjà présents dans les sols est nécessaire en protégeant les forêts primaires ou anciennes, les tourbières et les prairies permanentes qui sont des puits de carbone et permettent de compenser une partie des émissions de carbone liées à l'élevage bovin.

BONNES PRATIQUES DE GESTION DES SOLS

Pâturage tournant

Apport de fumier

Agroforesterie

Protéger les forêts, les tourbières, les prairies permanentes

Sur-pâturage

Retournement

Fertilisation excessive

Limiter les changements d'usage

Lutter contre les mauvaises pratiques

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Alimentation

VetAgro Sup

le bien-être animal

De telles pratiques appellent des politiques agricoles nationales et internationales ambitieuses, comme par exemple l'initiative française « 4 pour 1000 » lancée en 2015 lors de la COP21 préconisant de maintenir les sols vivants.



Le saviez-vous ?

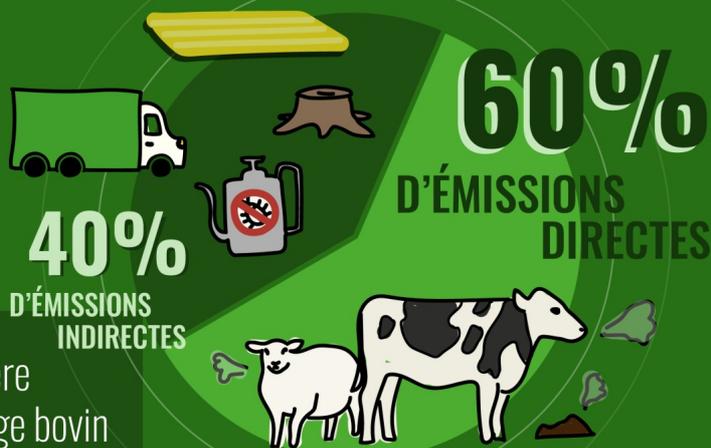
L'initiative « 4 pour 1000 » se base sur le constat suivant : si le niveau de carbone stocké par les sols dans les 30 à 40 premiers centimètres augmentait de 0,4% (soit 4‰) par an, l'augmentation annuelle de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère serait presque compensée.

Toutefois, de telles initiatives ne permettent pas de répondre à tous les enjeux de GES liés à l'élevage. Concernant les émissions de carbone, les prairies, et leur marge de progrès en termes de stockage du carbone n'est pas suffisante. D'autres problèmes tels que les émissions de protoxyde d'azote et d'ammoniac (NH₃) liés à l'élevage sont étudiés et différentes pistes pour leur réduction sont envisagées (comme par exemple, l'enfouissement dans les sols des effluents)^[19]. En outre, les impératifs de rentabilité économique, de productivité et de sécurité alimentaire sont également à prendre en compte. Toutefois, d'autres leviers d'action permettent également de réduire les GES liées à l'élevage bovin, tout en ayant à cœur de préserver le bien-être animal : sélection génétique, gestion des effluents, alimentation, etc^[20]. Autant de pistes à explorer pour concilier élevage de bovins et enjeux environnementaux...

Pour résumer

Les activités agricoles génèrent principalement 3 gaz à effet de serre :

dioxyde de carbone (CO_2)
méthane (CH_4)
protoxyde d'azote (N_2O)



LE SAVIEZ-VOUS ?

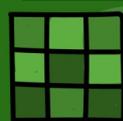
Le poids des émissions de GES diffère selon les espèces animales : l'élevage bovin représenterait 62% des émissions !

LES PRAIRIES PERMETTENT DE COMPENSER UNE PARTIE DES ÉMISSIONS EN PARTICIPANT AU STOCKAGE DE CARBONE !

↳ Mais tous les sols n'ont pas les mêmes capacités de stockage.



Quelques bonnes pratiques de gestion des sols :



Pâturage tournant



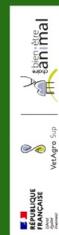
Apport de fumier



Agroforesterie



Protéger les forêts, tourbières, prairies permanentes



Merci à **Nathalie Vassal** (maître de conférences en agronomie à VetAgro Sup – Unité mixte de Recherche sur l'Ecosystème Prairial) et **Paul Villate** (enseignant en sciences animales et végétales à VetAgro Sup) pour leur contribution et relecture de cet article.

Cet article a été modifié le 14 octobre 2024 pour tenir compte de données scientifiques plus récentes.

Références

- [1] Par exemple, la hausse des coûts de production, les problèmes environnementaux liés à l'intensification des pratiques, une crise de la vocation en lien avec des incertitudes croissantes telles que les aléas climatiques ou la volatilité des prix...
- [2] En moyenne, depuis 1999, 74.7% des Français interrogés par l'Ifop estiment que les consommateurs peuvent avoir confiance dans les agriculteurs. Fougier, Eddy. 2019, L'hostilité des acteurs de la transition écologique à l'encontre des agriculteurs, Paysans & société, vol. 375, no. 3, pp. 32-38.
- [3] FAO. 2023. Pathways towards lower emissions – A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. Rome
- [4] FAO, 2009, La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture, pp.58 et 82
- [5] Le méthane rejeté dans l'atmosphère est 80 fois plus puissant que le CO₂ sur une durée de 20 ans. La durée de vie dans l'atmosphère du méthane est de 10 à 12 ans alors que celle du dioxyde de carbone est d'une centaine d'années. Source : Programme des Nations unies pour l'environnement, 2021.
- [6] Llonch, P., Haskell, M.J., Dewhurst, R.J. & Turner, S.P. 2017, Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. *Animal*, 11(2): 274–284. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001440>
- [7] Substances sécrétées par les racines des plantes dans le sol. Ces substances comprennent une variété de composés chimiques qui jouent des rôles essentiels dans l'interaction des plantes avec leur environnement (Pinton 2007).
- [8] Senapati N., Chabbi A., Gastal F., Smith P., Mascher N., Loubet B., Cellier P., Naisse C., 2014. Net carbon storage measured in a mowed and grazed temperate sown grassland shows potential for carbon sequestration under grazed system. *Carbon Management*, 5:2, 131-144.
- [9] Dignac, Marie-France & Derrien, Delphine & Barré, Pierre & Barot, Sébastien & Cécillon, Lauric & Chenu, Claire & Chevallier, Tiphaine & Freschet, Grégoire & Garnier, Patricia & Guenet, Bertrand & Hedde, Mickaël & Klumpp, Katja & Lashermes, Gwenaëlle & Maron, Pierre-Alain & Nunan, Naoise & Roumet, Catherine & Basile-Doelsch, Isabelle, 2017. Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 37. [10.1007/s13593-017-0421-2](https://doi.org/10.1007/s13593-017-0421-2).
- [10] Armelle Gac, Jean-Baptiste Dollé, André Le Gall, Katja Klumpp, Tiphaine Tallec, et al. 2010, Le stockage de carbone par les prairies : Une voie d'atténuation de l'impact de l'élevage herbivore sur l'effet de serre. Institut de l'Élevage – INRA, 12 p., Collection l'Essentiel. hal-02824535

[11] Rapport CITEPA 2024 accessible sur : <https://www.citepa.org/fr/secten/>

[12] Selon l'étude de Arrouays et al. (2002), une prairie permanente est une prairie naturelle ou semée depuis plus de 6 ans et destinée à rester en place.

[13] Les services écosystémiques sont généralement définis comme les contributions directes et indirectes des écosystèmes au profit de la vie humaine. Voir <https://www.millenniumassessment.org>

[14] Dans une forêt, une importante partie du stock de carbone est située au niveau du bois des arbres, en plus du carbone du sol. Lorsque la conversion d'une forêt en prairie ou culture se traduit par le brûlis d'arbres, le déstockage de carbone est ainsi considérable.

[15] Selon l'étude de Arrouays et al. (2002), une prairie permanente est une prairie naturelle ou semée depuis plus de 6 ans et destinée à rester en place ; une prairie temporaire est une prairie renouvelée depuis moins de 6 ans et en alternance avec des cultures.

[16] Gac et al. (2010)

[17] Mukherji, A., Arndt, C., Arango, J., Flintan, F., Derera, J., Francesconi, W., Jones, S., Loboguerrero, A.M., Merrey, D., Mockshell, J., Quintero, M., Mulat, D.G., Ringler, C., Ronchi, L., Sanchez, M, Sapkota, T. and Thilsted, S. 2023. Achieving agricultural breakthrough: A deep dive into seven technological areas. Montpellier, France: CGIAR System Organization

[18] Inversement, les prairies exploitées par l'humain ont besoin d'apports organiques plus importants pour maintenir leur capacité de stockage du carbone. Voir Marta Dondini, Manuel Martin, Camillo De Camillis, Aimable Uwizeye, Jean-Francois Soussana, et al. 2023, Global assessment of soil carbon in grasslands: From current stock estimates to sequestration potential. FAO Animal Production and Health Paper. 187, 978-92-5-137550-1

[19] Voir notre article « Le CowToilet : des WC pour vaches pour réduire les émissions d'ammoniac et mieux valoriser l'azote ? » et ADEME, Guide des bonnes pratiques agricoles pour l'amélioration de la qualité de l'air, 2020, accessible <https://librairie.ademe.fr/produire-autrement/4044-guide-des-bonnes-pratiques-agricoles-pour-l-amelioration-de-la-qualite-de-l-air.html>

[20] Llonch et al. (2017)