

Empreinte carbone et leviers de réduction



**PRODUCTION ANIMALE, FOURRAGÈRE
ET PRODUCTION VÉGÉTALE**

juillet 2024

Ces fiches techniques présentent de façon non exhaustive des leviers agronomiques permettant de réduire l’empreinte carbone à l’échelle d’une exploitation agricole. Certain des leviers d’action proposés ne peuvent actuellement pas être pris en compte dans les outils de calcul de l’empreinte carbone.

Les connaissances liées à la réduction de l’empreinte carbone et les pratiques continueront d’évoluer avec le temps et le contexte agricole. Ainsi, le contenu de ce référentiel est amené à changer et à être enrichi par les expériences acquises.

Réalisation

PRODUCTION ANIMALE ET FOURRAGÈRE

[p.1 Introduction](#)

[p.3 Leviers PA et outil CAP'2ER](#)

[p.4 Leviers gestion de troupeau](#)

[p.5 Leviers alimentation](#)

[p.6 Leviers gestion des engrais](#)

[p.7 Leviers engrais](#)

[p.8 Leviers consommation d'énergie](#)

[p.10 Additifs commerciaux](#)

[p.11 Exemples de 2 leviers testés](#)

PRODUCTION VÉGÉTALE

[p.12 Leviers pour la prod. végétale](#)

[p.13 Cultures intermédiaires](#)

[p.14 Réduction du travail du sol](#)

[p.15 Implantation de prairies
temporaires](#)

[p.16 Apport de MO](#)

[p.17 Agroforesterie et haies](#)

[p.18 Fertilisation azotée](#)

[p.20 Production d'énergie et
équipements alternatifs](#)

[p. 21 Parc machines et conduite](#)

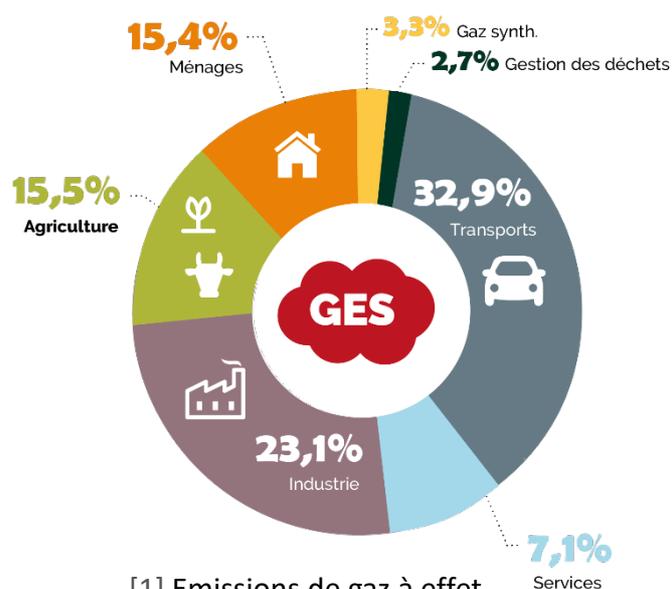
EMPREINTE CARBONE ET LEVIERS DE RÉDUCTION : INTRODUCTION

Impactant désormais toutes les activités humaines de façon fluctuante, le dérèglement climatique est en partie lié au phénomène « d'effet de serre » : l'augmentation de la concentration en gaz à effet de serre (GES) accentue les changements climatiques.

Agriculture et émissions de gaz à effet de serre

L'agriculture est, d'une part, un domaine fortement touché par les variations climatiques actuelles. Les sécheresses estivales prolongées, le gel hors saison et le décalage des périodes de pluie non-anticipés représentent des menaces pour la sécurité de la production.

D'autre part, comme tous les secteurs d'activité, elle est aussi source d'émissions de GES. Le graphique de droite représente la répartition des émissions par secteurs en Suisse :



[1] Emissions de gaz à effet de serre par secteurs en 2022

Stockage du carbone dans les sols agricoles

Bien que l'agriculture soit émettrice de GES, elle détient aussi, et c'est sa particularité, la possibilité de stocker le carbone. En effet, le sol représente un grand réservoir de carbone qui peut augmenter ou diminuer, entre autres selon les pratiques agricoles.

Calcul de l'empreinte carbone

L'empreinte carbone d'une exploitation se définit comme suit.



Elle peut être mesurée à partir des résultats de diagnostics réalisés pour chacune des 2 composantes du calcul.

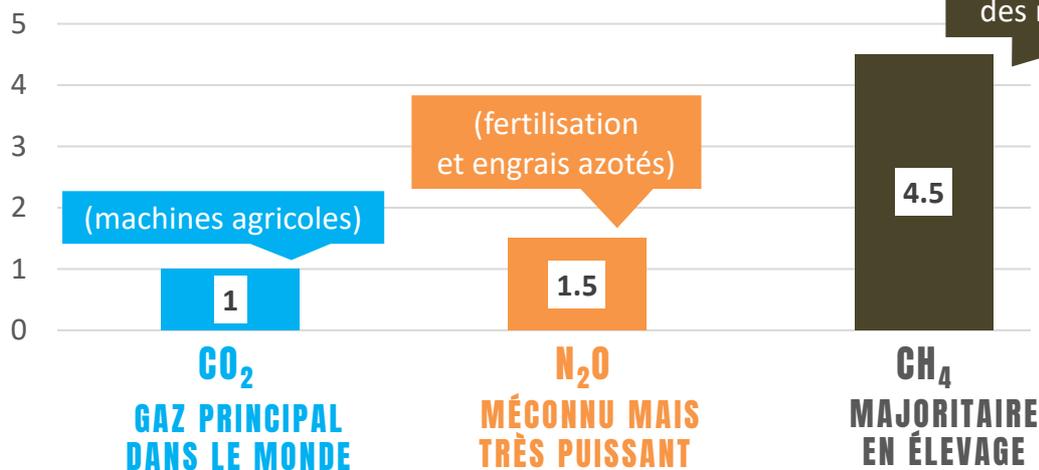
Réduction de son empreinte à l'échelle de l'exploitation

Le monde paysan a l'opportunité d'agir et de rejoindre les actions menées par d'autres acteurs pour atténuer l'impact environnemental et atteindre les objectifs fixés par le Plan Climat Vaudois, ainsi que le « 0 émission nette en 2050 » suisse (balance neutre entre les émissions et le stockage). Plusieurs leviers pour se rapprocher de la neutralité carbone à l'échelle de l'exploitation sont identifiés et présentés dans ce document. Chaque agriculteur peut choisir de les mettre en place.

GAZ À EFFET DE SERRE (GES)

Le dioxyde de carbone (CO_2), le protoxyde d'azote (N_2O) et le méthane (CH_4) sont les 3 GES principalement responsables du réchauffement climatique, dans le secteur agricole.

Quantités de GES émises par le secteur agricole en Suisse [2]
(en Millions de tonnes)



PRG 100*

1 t = 1 éq. CO_2

1 t = 265 éq. CO_2

1 t = 28 éq. CO_2



PRG 100 = Potentiel de réchauffement global sur 100 ans : il permet de comparer les gaz entre eux. C'est le calcul du pouvoir de réchauffement d'un gaz à effet de serre, rapporté au pouvoir réchauffant du CO_2 .

1 tonne éq. CO_2 représenterait :



5 291 km
en voiture

(à essence, individuelle)



19 h de vol
en avion

(1 passager)

Principaux postes d'émissions de GES sur exploitation



Troupeau

CH_4 : Éructations et déjections animales

CO_2 : Fabrication et transport d'aliments, d'intrants et utilisation de machines/ d'électricité



Prairies

CH_4 : Déjections animales (pâturage)

CO_2 : Utilisation de machines et d'intrants

N_2O : Fertilisation azotée minérale et/ou organique



Grandes cultures et vignes

CO_2 : Utilisation de machines et intrants

N_2O : Fertilisation azotée minérale et/ou organique



Bâtiments

CH_4 : Stockage des déjections

CO_2 : Électricité

N_2O : Stockage des déjections

10.05.2024

LEVIERS POUR LA PRODUCTION ANIMALE

Ce document présente les différents leviers permettant de réduire l'empreinte carbone des activités élevages de bovins en Suisse.

Les résultats de diagnostic obtenus grâce à l'outil CAP'2ER® (Calcul Automatisé des Performances Environnementales en Exploitations Responsables, développé par l'idele) aident à se positionner par rapport aux pratiques qu'il est le plus pertinent d'adopter sur sa ferme et ainsi réaliser un plan d'action à l'échelle de l'exploitation.

The logo for CAP'2ER is displayed on a blue rectangular background. The text 'CAP'2ER' is in white, with a stylized white graphic element resembling a leaf or a drop to the right of the 'R'. A small registered trademark symbol (®) is located to the right of the graphic.

Ces leviers concernent les caractéristiques du troupeau et sa conduite, la ration des animaux, la gestion des effluents d'élevage, les surfaces/équipements de l'atelier et le parcours du bétail pendant l'année ainsi que la consommation en énergie.

LEVIERS GESTION DE TROUPEAU LAITIER OU ALLAITANT

Leviers	Modalités et indicateurs	Potentiel de réduction par unité de produit
Longévité et santé du troupeau : Amélioration de la durée de vie par la conduite sanitaire	<ul style="list-style-type: none"> Réduction du nombre de mammites Réduction du nombre de boiteries Optimisation de l'équipement de traite 	2 à 4%
Optimiser la production par vache par l'amélioration des conditions de détention	<ul style="list-style-type: none"> Confort des animaux Ventilation des bâtiments Litres de lait /VL /an, Nombre veaux /VL /an 	1 à 2%
Optimisation de l'âge au 1 ^{er} vêlage	<ul style="list-style-type: none"> UGB génisses /UGB VL UGB génisses /UGB VA 	3 à 4%
Optimisation des effectifs de génisses de renouvellement	<ul style="list-style-type: none"> Allonger la longévité des vaches Sexage des semences d'insémination UGB génisses /UGB V 	2 à 3%
Amélioration des performances des génisses de renouvellement	<ul style="list-style-type: none"> Allongement de longévité des vaches, Sexage des semences d'insémination Litres de lait /VL Kg de viande /UGB 	2 à 3%

EXEMPLE DE LEVIERS DE GESTION DE TROUPEAU COMBINÉS

1/ Avancer l'âge au 1^{er} vêlage de 30 mois à 24 mois permet de réduire les émissions

- en diminuant le nombre d'animaux improductifs.
- cela libère des places en bâtiment ainsi que des surfaces.

 Cette pratique peut nécessiter une augmentation des concentrés utilisés dans la ration (vitesses de croissance plus soutenues).

Ce levier permet de disposer plus rapidement d'animaux en production à court terme mais il doit être réfléchi à long terme.

2/ Augmenter la longévité des vaches entraîne une diminution des émissions : on maximise le temps de productivité d'une vache sur l'exploitation tout en limitant le nombre de génisses de renouvellement. [3]

CHF C'est aussi une potentielle baisse des coûts comme il y a moins d'animaux à alimenter et à suivre.

Pour augmenter la longévité, une amélioration de la conduite sanitaire est conseillée, corrélée à une attention particulière au bien-être des animaux (soins aux onglons, parage plus régulier...).

LEVIERS ALIMENTATION DU TROUPEAU

Leviers	Modalités et indicateurs	Potentiel de réduction par unité de produit
Augmentation de la qualité des fourrages	<ul style="list-style-type: none"> • Stade de récolte • Type et moyens de stockage • Tonnes de fourrages 	1 à 2% 
Optimisation de la teneur en azote de la ration des animaux	<ul style="list-style-type: none"> • Kg de MAT 	2 à 4% 
Optimisation de la consommation de concentrés	<ul style="list-style-type: none"> • Valorisation de la ration ajustée aux besoins des animaux, • Qualité des fourrages • Type de fourrages • Kg de concentrés achat et autoconsommés /kg de lait, /kg de viande ou /UGB 	1 à 2% 
Remplacement du tourteau de soja par du tourteau de colza	<ul style="list-style-type: none"> • Kg de soja et colza /kg de lait, viande ou UGB 	3 à 7% 
Augmentation de l'autonomie protéique	<ul style="list-style-type: none"> • % autonomie 	2 à 3% 
Ajout de lipides dans la ration	<ul style="list-style-type: none"> • Taux de lipides /ration 	3 à 6% 

EXEMPLE DE LEVIERS ALIMENTATION ET QUALITÉ DES FOURRAGES

Augmenter son autonomie protéique en diminuant ses achats de concentrés [4]

- Mieux valoriser ses fourrages en fauchant plus tôt : une herbe fauchée plus jeune a une plus haute teneur en protéines. Un fauchage précoce augmente ainsi la part d'azote dans la ration.

 Attention, il faut définir la période optimale en tenant compte des teneurs et de la quantité de matière sèche voulue.

 Si les besoins en termes de quantité de matière sèche sont supérieurs à la production de l'exploitation lorsque l'herbe est fauchée plus jeune, il peut être judicieux d'adapter la taille de son cheptel à la base fourragère de l'exploitation.

CHF Avec une ration plus riche en azote, le besoin en éléments concentrés azotés est donc moindre. On peut alors réduire les achats extérieurs et par conséquent les charges de l'exploitation.

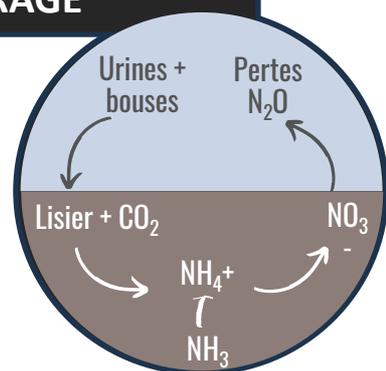
CHF La limitation des achats de concentrés azotés peut aussi être favorisée grâce à une diminution de la part de maïs dans la ration : la présence de maïs devait être compensée par une source d'azote pour équilibrer la ration.

LEVIER GESTION DES ENGRAIS DE FERME (LAIT / ALLAITANT)

Leviers	Modalités et indicateurs	Potentiel de réduction par unité de produit
Augmentation de la durée de pâturage	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de jours 	1 à 2% 
Augmentation de la fréquence de raclage des effluents d'élevage	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de raclages 	< 1% 
Amélioration des modes d'épandage des engrais de ferme	<ul style="list-style-type: none"> • Moment de l'enfouissement • Durée avant enfouissement • Températures 	1 à 2% 
Méthanisation des engrais de ferme	<ul style="list-style-type: none"> • Ferme équipée d'une unité de méthanisation 	2 à 3% 
Compostage des engrais de ferme	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place du compostage 	< 1% 

FOCUS SUR L'AUGMENTATION DE LA DURÉE DE PÂTURAGE

Le stockage des effluents en fosse engendre un contact entre les bouses et les urines (phase solide et phase liquide), ce qui provoque des pertes de N_2O (hydrolyse de l'urée par l'uréase). Lors de périodes de pâturage, les phases ne sont pas en contact, ces réactions sont limitées, de même que les pertes qui en résultent. De plus, les engrais de ferme sont directement apportés par les bovins sur la parcelle, ce qui soustrait les émissions de CO_2 lors du transport.



Cycle de l'azote (urée à N_2O)

FOCUS SUR L'AMÉLIORATION DES MODES D'ÉPANDAGE

Le moment d'épandage joue un rôle dans la limitation des émissions de gaz. Si le lisier épandu est exposé pendant une longue période au soleil, les pertes de NH_3 seront accentuées par une réaction chimique contrôlée par la température (au-dessus de $18^\circ C$, réaction qui dessèche l'herbe). [5]

 Il est conseillé de favoriser un épandage par temps couvert non venteux pour ainsi limiter le rayonnement solaire et donc les pertes gazeuses par nitrification puis dénitrification.

Apport sous forme « ammoniac » = davantage de réactions de nitrification et dénitrification =  N_2O

LEVIER CONSOMMATION DES ENGRAIS DE FERME

Leviers	Modalités et indicateurs	Potentiel de réduction par unité de produit
Optimiser la fertilisation pour réduire l'usage des engrais minéraux azotés (N)	<ul style="list-style-type: none"> Réduction de la quantité (Kg) de N minéral 	<p>1 à 5%</p>
Implantation de légumineuses en mélanges ou en cultures pures	<ul style="list-style-type: none"> Kg de semences de légumineuses Kg de N 	<p>2 à 5%</p>

OPTIMISER LA FERTILISATION

Les apports azotés peuvent présenter un surplus d'azote par rapport aux besoins des plantes, d'où l'intérêt d'optimiser la fertilisation azotée.

CHF L'ajustement des apports d'azote est un enjeu économique mais également une réponse aux besoins réels de la plante, avec comme impact direct une réduction des pertes de nitrates vers les eaux et une réduction des émissions de GES :

moins d'azote apporté = moins de CO₂ émis (fabrication et tracteur pour épandage), moins de N₂O émis (moins d'activité microbienne).

La fertilisation raisonnée consiste à apporter la dose optimale d'azote en prenant en compte les apports du sol et les objectifs de production fixés au préalable.

Pour optimiser la fertilisation, il est conseillé de substituer de l'azote minéral de synthèse par de l'azote organique (produit en élevage) pour limiter les quantités d'azote minéral achetées (moins de pertes de N₂O mais pertes de NH₃).

IMPLANTATION DE LÉGUMINEUSES

Les légumineuses sont une famille dont la caractéristique principale est la fixation de l'azote de l'air grâce à des nodosités présentes sur les racines. Ces nodosités sont un regroupement de bactéries *Rhizobium leguminosarum*. Implantées seules ou en association, les légumineuses s'intègrent dans des systèmes de grandes cultures ou prairies. Si elles sont cultivées en pure, c'est-à-dire sans mélange, elles ne nécessitent aucune fertilisation azotée : l'azote atmosphérique est fixé par les nodosités.

Si elles sont cultivées en association dans des prairies, la fertilisation azotée est très réduite. La satisfaction des besoins en azote d'une prairie est généralement assurée lorsque les légumineuses représentent plus de 30% de la biomasse cultivée.

Un de ses autres intérêts est le développement d'un système racinaire qui structure le sol et permet une bonne infiltration de l'eau. [6]

LEVIER CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Leviers	Modalités et indicateurs	Potentiel de réduction
Réduire les consommations d'électricité du bloc traite [7]	<ul style="list-style-type: none"> Ajuster et entretenir son équipement pour être moins demandeur en électricité : <ul style="list-style-type: none"> - pré-refroidisseur de lait - récupérateur de chaleur - ventilation du bloc traite - etc. Surveillance de sa consommation (kWh) 	<p>1 à 5%</p>  <p>→ 35 à 50% d'économie d'électricité</p>
Produire de l'énergie pour l'autoconsommation	<p>NEW</p>	<p>1 à 5%</p> 
Réduire la consommation de carburant	<ul style="list-style-type: none"> Consommation de fioul : <ul style="list-style-type: none"> - Ajustement de la puissance à l'outil - Conduite économe (eco-drive) → - Optimisation du passage des tracteurs au banc d'essai - Lestage du matériel de traction → - Réglage des outils homogène sur toute leur longueur → 	<p>2 à 5%</p>  <p>→ Jusqu'à 10% économie de carburant si régime à 1600-1800 tours/ min.</p> <p>→ Charge >1000 kg = +1 L/h</p> <p>→ Jusqu'à 20% d'économie</p>

RÉDUIRE LES CONSOMMATIONS DU BLOC DE TRAITE

La consommation du bloc de traite représente 20% de la consommation totale d'une exploitation laitière. Le tank à lait est le principal consommateur (50%) suivi de la production d'eau chaude (20%).

CHF Afin de minimiser les consommations énergétiques, du matériel spécifique peut être installé pour réduire les consommations, tel qu'un pré-refroidisseur. En pratique, il s'agit d'un échangeur thermique où l'eau refroidit le lait de -12°C et le lait augmente la température de l'eau de +10°C.

En plus de diminuer la consommation énergétique liée au refroidissement du lait et au chauffage de l'eau par 2 appareils différents, cela permet de réduire le temps de fonctionnement du tank.



LEVIER CONSOMMATION D'ÉNERGIE

RÉDUIRE LA CONSOMMATION DE CARBURANT (CdC)

En Suisse, 32% des besoins en énergie agricole sont couverts par le diesel (150 millions L /an). La réduction de CdC va réduire l'impact environnemental et les charges. Elle n'affecte pas la qualité de travail comme ces postes :

- Entretien du matériel : nettoyage de la grille d'admission d'air et du filtre, remplacement régulier du filtre à carburant.
 - Intensité du travail : lestage suffisant du matériel de traction pour limiter le patinage. Pour des travaux lourds, une masse de 70 kg /kW de puissance moteur est conseillée.
 - Réglage des outils : on estime pour 1 cm de trace de profondeur, une surconsommation de carburant de 10%.
- 

FOCUS SUR LES ADDITIFS COMMERCIAUX

En agriculture, le méthane est majoritairement produit lors de la digestion de la matière organique ingérée par les ruminants (fermentation entérique) au travers d'un processus de méthanogénèse. Au cours de réactions qui ont lieu dans la panse des ruminants, l'hydrogène et une partie du CO₂ résiduels du processus de digestion sont naturellement éliminés par des bactéries archaéméthanogènes, selon la transformation suivante : $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ (Jouany et Thivend, 2008).

Il a été mis en évidence dans certaines études que les additifs alimentaires peuvent avoir un effet réducteur de la quantité de méthane ainsi produite par les ruminants, dont le pouvoir de réchauffement est, pour rappel, 27 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone [1].

Additif et action	Modalités	Potentiel de réduction moyen
3-NOP → Bloque les enzymes de la méthanogénèse	Composé organique inclus dans l'aliment <ul style="list-style-type: none"> Dose de 70.5 mg /kg de MS Effet réducteur modifié par la composition de ration 	 30 %
Agolin → Inhibition des microbes de la panse qui produisent du méthane	Mélange d'extraits de plantes et épices <ul style="list-style-type: none"> Dose de 1g /jour et par vache Pas d'effet sur la digestibilité et les performances des vaches 	 11 %
Anavrin → Effet sur la cinétique de croissance des bactéries spécifiques	Mélange d'extraits d'huiles essentielles, de tanins et bioflavonoïdes <ul style="list-style-type: none"> Essai réalisé dans des réacteurs clos à 37°C et en conditions anaérobiques (action non démontrée in vivo) 	 10 à 20 %
Lin extrudé → Modification de l'environnement chimique du rumen	Graine entière ou pellets <ul style="list-style-type: none"> Dose de 22 à 29 g/kg de MS Selon concentration en huile du complément apporté 	 0 à 18 %
Colza → Modification de l'environnement chimique du rumen	Graine moulue ou huile de colza <ul style="list-style-type: none"> Dose de 14% de la MSI (graine) ou 800 g /VL /jour (huile) Entraîne peu de variations de la flore du rumen (peu d'effet) 	 11 %
Tanins → Modification de l'environnement chimique du rumen	Polyphénols naturels des plantes <ul style="list-style-type: none"> Dose de 75 g /VL /jour pour les tanins de châtaigniers, 30 g /kg de MSI pour les tanins d'acacia mearnsii Peu appétant et énergétique 	 20 %
Mootral → Effet sélectif sur les communautés d'archées et leurs quantités	Pellets (composés actifs d'ail et agrumes) <ul style="list-style-type: none"> Dose de 10 ou 20% de la MS totale. Non utilisable pour des laitières Synergie entre les composés (peu d'effet quand utilisés seuls) 	 17 à 26 %
Algues → Bloquent enzymes de la méthanogénèse	Algues déshydratées <ul style="list-style-type: none"> Non homologuées en 2023 Dose de 20% de la MS totale Algue avec le plus fort potentiel : Taxiformis avec 99% de réduction 	Potentiel important Phase de test 

EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE DE 2 LEVIERS

1. CONCENTRÉS

Réduire les achats de concentrés, mieux valoriser les fourrages ingérés. Objectif : Améliorer EBE

MOYENNE

MISE EN PLACE

COURT TERME

DÉLAI D'IMPACT

AMELIORATION

IMPACT SUR
LE TRAVAIL

HYPOTHÈSE

- 1 kg de VL 18% /jour = + 1 kg de MS de fourrage ingérée. Baisse de 558 kg /VL /an (dont 361 kg de correcteur azoté) soit - 65 g /L.

RÉUSSITE

Transition progressive de 300 g tous les 2 jours, produire des fourrages de qualité, faire un suivi régulier des quantités utilisées pour les maîtriser.

IMPACTS

- Baisse des concentrés entraîne une diminution du lait produit donc faible augmentation du CH₄ produit par litre de lait.
→ Baisse des émissions de GES indirectes.

Objectif :
Mieux valoriser les fourrages pour réduire les achats et le gaspillage de concentrés.

- **CHF** : Moins de coûts d'achat de concentrés. En fonction de la quantité de concentrés en moins, il peut y avoir des fortes économies.

△ Pour maximiser l'efficacité alimentaire, il faut vérifier le nombre de couchages, les places à l'auge, les points d'eau et la circulation des animaux.

2. ÂGE VÊLAGE

Réduire le nombre d'animaux improductifs et valoriser les surface libérées. Objectif : Baisse GES

COMPLEXE

MISE EN PLACE

LONG TERME

DÉLAI D'IMPACT

DEGRADATION

IMPACT SUR
LE TRAVAIL

HYPOTHÈSE

Même ration de base (foin en hiver et pâture entre mi-avril et novembre) mais davantage de compléments : minéraux, céréales, azote...

RÉUSSITE

Adapter les apports à la croissance, influencer la ration des veaux femelles pour favoriser la croissance, peser les animaux pour dater les IA.

IMPACTS

- Réduction du nombre d'animaux improductifs, donc moins d'émissions de GES, mais hausse de la complémentation.
→ Donc hausse des GES émis liés à l'achat de concentrés.

Objectif :
Vêlages à 24 mois au lieu de 30 mois pour réduire les animaux improductifs sur la ferme.

- **CHF** : Moins d'animaux donc moins de frais généraux (alimentation, vétérinaire, etc.), mais une hausse de coûts par animal.

△ S'il y a une majorité de prairies permanentes, il est préférable de rester en vêlage plus tardif pour mieux les valoriser.

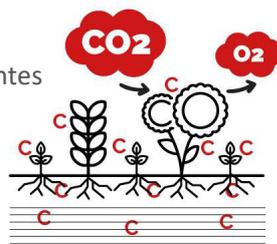
LEVIERS POUR LES PRODUCTIONS VÉGÉTALES

Ce document présente les différents leviers permettant de réduire l'empreinte carbone des activités relatives aux productions végétales.

Les sols contiennent du carbone et les pratiques agricoles font varier ce stock de carbone organique. Ainsi, on travaillera aussi bien sur les axes pouvant réduire la libération du carbone des sols que sur ceux qui vont favoriser son stockage.

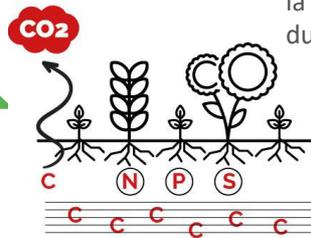
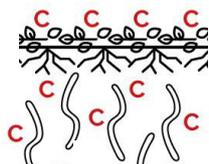
Séquestration du carbone dans les sols agricoles ?

Absorption de carbone atmosphérique par les plantes via la photosynthèse



Matière organique végétale à la surface du sol :

- résidus de culture (pailles)
- couverts végétaux
- engrais de ferme (fumier)



Minéralisation d'une partie de la matière organique humifiée du sol (déstockage de carbone)

et absorption d'éléments nutritifs par les végétaux

Fixation du carbone dans le sol par les argiles

Enfouissement du carbone par la faune du sol

Pour augmenter le stock de carbone dans les sols agricoles, on peut donc :

- **Accroître les apports de matière organique** en augmentant la production primaire, en favorisant le retour de la biomasse sur les parcelles ou en important de la matière organique sur la parcelle.
- **Ralentir la minéralisation** : l'étape de transformation du carbone organique du sol en carbone gazeux (CO_2) émis dans l'atmosphère. Ce processus naturel actif dans les sols est issu de la dégradation de la matière organique par les organismes vivants du sol.

Il faut toutefois être conscient que les mesures proposées ci-après sont complémentaires du point de vue agronomique et qu'elles peuvent mener à des résultats très différents selon le contexte pédoclimatique. Seule une combinaison de ces différents leviers permet d'obtenir un résultat équilibré sur la rotation. L'enjeu est de trouver l'équilibre propre à vos conditions d'exploitation.

Les mesures présentées dans la suite du document sont celles qui permettent de stocker du carbone dans les sols agricoles ou de réduire les émissions. Toutes ces mesures ne sont pas forcément comptabilisées dans les estimations de stockage et de réduction des émissions dans les différents simulateurs actuellement disponibles sur le marché.

CULTURES INTERMÉDIAIRES DANS SA ROTATION



Augmenter les apports de matière organique

Les cultures intermédiaires permettent d'augmenter la production de biomasse entre deux cultures principales sur la parcelle et donc d'augmenter les apports de matière organique. De plus, la mise en place d'interculture permet aussi l'amélioration de la fertilité des sols, la prévention des risques d'érosion en cas de forte pente et/ou de fortes pluies, l'atténuation des variations de température du sol et la réduction de la pression des adventices.

Levier	Modalités et indicateurs	Potentiel de réduction
Mise en place d'intercultures	<ul style="list-style-type: none"> Optimiser la rotation afin d'insérer des semis d'interculture longue Diversifier les espèces pour maximiser le potentiel de production de biomasse) 	



Exemple de cultures intermédiaire

- Engrais vert gélif : trèfle d'Alexandrie, poisette d'été, féverole, avoine rude, pois fourrager



RÉDUCTION DU TRAVAIL DU SOL



Ralentir la minéralisation

Le travail du sol expose les agrégats à l'air libre et aux conditions qui y sont associées (telle que la pluie) et accélère la minéralisation du carbone organique qu'ils contiennent, cette transformation se produit naturellement dans les sols, à moindre vitesse.

La réduction du travail du sol est une des mesures permettant de limiter la minéralisation du carbone et ainsi les émissions de CO₂.

Une manière de quantifier l'intensité du travail du sol est d'utiliser l'indicateur STIR qui prend en compte la vitesse, la profondeur ainsi que la surface du travail. Ainsi, plus le plus le sol est perturbé, plus le STIR est élevé. Vous pouvez tester l'indicateur sur le site : www.progres-sol.ch.

Levier	Modalités et indicateurs	Potentiel de réduction
Réduction de l'intensité de travail du sol	<ul style="list-style-type: none"> La réduction de l'intensité du travail du sol à l'échelle de la rotation permettra de réduire la minéralisation du carbone organique liée au travail du sol. 	



Exemples de techniques en non-labour

- Semis direct
- Chisel
- Herse à disque
- Autres techniques de travail du sol à moins de 10 cm de profondeur

IMPLANTATION DE PRAIRIES TEMPORAIRES



Augmenter les apports de matière organique

Les prairies temporaires (PT) sont de véritables puits à carbone car elles favorisent l'apport de matière organique dans les sols. Intégrées à la rotation culturale, elles servent également à améliorer la fertilité et la structure du sol. Deux possibilités s'offrent aux agriculteurs qui souhaitent installer cette mesure sur leur exploitation :

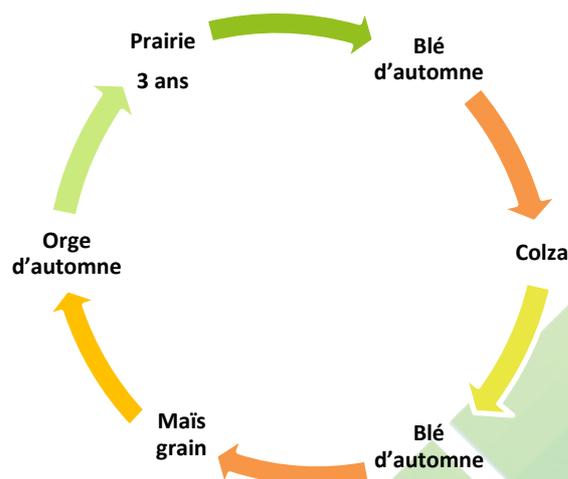
- La première solution consiste à allonger la durée des prairies, ou à accélérer leur retour dans la rotation.
- La deuxième est d'optimiser la production sur les prairies temporaires mises en place et qui sont actuellement peu productives.

Leviers	Modalités et indicateurs	Potentiel de réduction
Augmentation de la part de prairies temporaires dans la rotation	<ul style="list-style-type: none"> • Allonger la durée des PT ou insérer des PT dans la rotation 	
Intensification des prairies temporaires	<ul style="list-style-type: none"> • Travailler sur l'optimisation de la mise en place, de la composition et de la fertilisation des PT 	

NB : Les fourchettes de stockage de carbone sont estimées selon des prélèvements sur le canton de Vaud et sont fortement dépendantes du stock initial du carbone dans vos sols et de la teneur en argile. Un rendez-vous avec votre conseiller permettra de préciser les leviers à mettre en place de manière cohérente sur le domaine.



Exemple de rotation avec prairies temporaires



APPORT DE NOUVELLES RESSOURCES ORGANIQUES



Augmenter la production de biomasse

Les apports de matière organique (MO) au sol permettent de nourrir la biologie du sol et à terme (selon le type de sol et le type de MO apportée) d'augmenter la part de MO dans le sol. Sur le même raisonnement, on rajoutera dans cette section la restitution des pailles.

Il faut savoir que plus le produit organique a un rapport C/N faible, plus vite il sera digéré par les microorganismes du sol (c'est à dire minéralisé) et moins il favorisera l'augmentation du taux de MO dans le sol. C'est par exemple le cas des engrais verts, lisiers, fumiers de volailles, qui représentent un faible apport de carbone et un apport d'azote élevé.

En plus de prendre en compte la vitesse de dégradation de la matière organique (rapport C/N), il faut prendre en compte le coefficient ISMO propre à chaque apport. En effet, ce coefficient permet, de déterminer quelle est la proportion de l'apport organique qui va être transformé en humus stable. Cette donnée combinée à la vitesse de minéralisation (C/N) permet de déterminer quelle sera la quantité de carbone qui sera stockée dans le sol agricole.

Une attention particulière doit être portée aux sols dont la biologie microbienne est faible. Un apport de produits organiques avec un C/N élevé peut engendrer des blocages d'azote.

Leviers	Modalités et indicateurs	Potentiel de réduction
Adapter les besoins actuels de mon sol en ressources organiques	Selon le type de sol, la part actuelle en MO du sol et le type d'engrais organiques régulièrement utilisés, il est possible d'établir un rapide diagnostic des besoins du sol. Les pratiques à mettre en place sont spécifique à chaque exploitation.	
Nouvelles ressources organiques*	<ul style="list-style-type: none"> • compost • fumier • lisier • digestats • déchets verts 	<p>Bien à l'échelle de la parcelle, veiller à ne pas réduire la fertilité sur une autre surface du domaine</p>
Restitution des pailles		

* Attention, à l'échelle de la parcelle, épandre de la matière organique exogène est bénéfique pour le stockage de carbone de celle-ci mais il faut veillez à ne pas retirer des apports organiques dédiés à d'autres parcelles.

AGROFORESTERIE ET HAIES



Augmenter les apports de matière organique

L'agroforesterie est un terme qui désigne l'association d'arbres avec des cultures ou des pâturages sur une même parcelle. Cette association intraparcellaire, comme la mise en place de haies en bord de parcelle, présente de nombreux avantages pour le climat :

- Stockage de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine des arbres,
- Augmentation de la biomasse produite (celle de la culture/ de la prairie et celle des arbres),
- Restitutions au sol (racines mortes, feuilles d'arbres, ...),
- Absence de labour (sur la zone plantée des ligneux),
- Absence de fertilisation sur la zone plantée des ligneux (et donc réduction des émissions de N_2O liées à la fertilisation azotée).

De plus en cas d'utilisation du bois pour le chauffage, on considère que cela permet de substituer la biomasse des arbres à des combustibles fossiles. Cela réduisant d'autant plus les émissions de CO_2 .

En plus des avantages pour le climat, la pratique de l'agroforesterie et la mise en place de haies présentent de nombreux avantages : amélioration de la biodiversité, lutte contre des sols, amélioration de la structure du paysage et brise-vent. Malgré tous les avantages que l'agroforesterie et les haies représentent, leur mise en place et leur entretien restent entachés par de nombreux freins : coûts d'implantation, d'entretien et de récolte, perte de surfaces de cultures/de prairies et difficultés de mécanisation. L'érosion

Leviers	Modalités et indicateurs	Modalités et indicateurs
Agroforesterie	Mise en place d'alignements d'arbres au sein d'une parcelle cultivée	
Haies	Arbres alignés en périphérie de parcelle	



OPTIMISATION DE LA FERTILISATION AZOTÉE

Ce document présente les différents leviers permettant de réduire l'empreinte carbone des activités relatives aux productions végétales, par la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Ces leviers agronomiques sont bien sûr à compléter avec ceux de la production animale lorsque cela est possible.

1. Epandage des engrais de ferme

L'utilisation de certains outils limite la propagation de l'ammoniac dans l'air. Ainsi, les interactions avec l'environnement, et par conséquent, la production de protoxyde d'azote est réduite. Il y par exemple :

- Le pendillard, qui, grâce à son utilisation permet de réduire les émissions d'ammoniac de 30 à 35% au moment de l'épandage.
- La rampe d'épandage à soc, qui permet de limiter les pertes d'azote dans l'air de 30% à 60% de manière analogue au pendillard
- L'enfouisseur à lisier qui permet de limiter le risque d'évaporation de l'azote jusqu'à 70%.

Leviers	Modalités et indicateurs
Epandage des engrais de ferme [10]	<ul style="list-style-type: none"> • Epandage au pendillard • Rampe d'épandage à soc • Enfouisseur à lisier
Agriculture de précision	<ul style="list-style-type: none"> • Epandage assisté avec des capteurs
Couverture des fosses de stockage des engrais des fermes*	<ul style="list-style-type: none"> • Toit rigide • Couverture flottante • Hexa-Cover® possible pour du lisier séparé

*La couverture des fosses est obligatoire depuis 2022. Les exploitations ont jusqu'à 2028 pour effectuer une mise aux normes, si nécessaire.

OPTIMISATION DE LA FERTILISATION AZOTÉE



GES

2. Diminution de l'utilisation des engrais azotés du commerce

Les engrais azotés pèsent lourd dans le bilan des émissions de GES des grandes cultures, principalement à cause des besoins importants en énergie pour leur production et leur transport. De plus, un surplus d'azote peut engendrer des pertes par lessivage, qui peuvent conduire à la pollution des eaux. Il est par conséquent essentiel de limiter les apports d'engrais azotés commerciaux. Une des solutions est d'intégrer des légumineuses dans la rotation, plantes capables de fixer l'azote de l'air, ou d'épandre des engrais de ferme.

Leviers	Modalités et indicateurs
Diminution des engrais minéraux [11]	<ul style="list-style-type: none"> • Engrais vert avec légumineuses • Utilisation favorisée des engrais de ferme • Culture associée avec des légumineuses
Diminution de la dose d'engrais apportée	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de 10% de la dose d'azote • Fertilisation localisée sur la ligne de semis
Utilisation de complément réduisant la nitrification	<ul style="list-style-type: none"> • Entec



PRODUCTION D'ÉNERGIE ET ÉQUIPEMENTS ALTERNATIFS

1. Production d'énergie

La production d'énergie alternative permet d'offrir une certaine indépendance énergétique pour les producteurs tout en limitant les émissions des gaz à effet de serre.

Leviers	Modalités et indicateurs
Production d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Photovoltaïque • Biogaz • Solaire thermique • Chaudière bois • Mini hydraulique

2. Equipements alternatifs

Grâce à l'utilisation de véhicules électriques, la consommation de carburant diminue sur les exploitations. Par conséquent, il est possible de limiter les émissions.

Leviers	Modalités et indicateurs
Equipement alternatifs	<ul style="list-style-type: none"> • Véhicules électriques Electrification des outils de travail • Véhicules au biométhane
Effizienz des bâtiments d'un point de vue énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • Isolation des bâtiments • Récupérateur de chaleur • Ventilateur • Luminaires LED

NB : Il existe une multitude de mesures possibles pour améliorer l'efficacité énergétique, en fonction du profil de l'exploitation. Un document de synthèse AgroCleanTech est disponible en ligne : [L'efficacité énergétique dans les nouvelles constructions agricoles \(prometerre.ch\)](http://prometerre.ch).



OPTIMISATION DU PARC MACHINES ET DE LA CONDUITE

1. Optimisation du parc machines

Leviers	Modalités et indicateurs
Optimisation du parc machines	<ul style="list-style-type: none"> • Matériel en partage • Location • Adapté à l'exploitation
Entretien des tracteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorations techniques sur les tracteurs
Alternative à l'irrigation	Conservation de l'eau sur le terrain : <ul style="list-style-type: none"> • Paillage • Couverture des sols permanente
Gestion de l'irrigation [14]	<ul style="list-style-type: none"> • Précision et efficacité des installations utilisées

2. Optimisation de la conduite

Leviers	Modalités et indicateurs
Ecodrive	<ul style="list-style-type: none"> • Conduite plus écologique lors des trajets
Substitution au travail du sol	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution du labour

Bibliographie

- [1] Office Fédéral de l'Environnement, 2022. OFEV - Indicateurs de l'évolution des émissions de gaz à effet de serre en Suisse 1990–2022
- [2] Rapport du GIEC 2021, PRG CH4 (non-fossile) : 27 et PRG N2O : 273. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA4)
- [3] Institut de l'Elevage - Âge Vêlage
- [4] Réseaux d'Elevage - Valoriser les fourrages et Institut de l'Elevage - Complémentarité fourrages
- [5] ADEME - Effluents d'élevage et ARVALIS - Ressources en azote
- [6] ADEME - Fertilisation et ARVALIS – Légumineuses
- [7] GIE Bretagne - Pré refroidisseur et AgroCleanTech - Economiser du Carburant
- [8] Agri71 - Additifs anti-méthane et Jouany - Production de méthane d'origine digestive (CAIRN)
- [9] PELLERIN, Sylvain et al., 2013. *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques*. Inra - DEPE. Other convention n° 11-60-C0021, convention n° 11-60-C0021,. DOI 10.15454/rgfm-wh23. Backup Publisher: INRA
- [10] AGRIDEA, [sans date]. Méthodes d'épandage réduisant les émissions.
RECOUS, Sylvie et al., 2014. Réduire le recours aux engrais azotés de synthèse : quel potentiel et quel impact sur les émissions de N2O à l'échelle France ? Innovations Agronomiques. Vol. 37, pp. 11-22.
- [11] SANDRI, Julie, 2022. Un bilan carbone largement positif pour les légumineuses à graines | Cultivar. [en ligne]. 7 octobre 2022. Disponible à l'adresse : <https://www.cultivar.fr/technique/un-bilan-carbone-largement-positif-pour-les-legumineuses-graines> [consulté le 13 octobre 2023].
- [12] PELLERIN, Sylvain et al., 2013. *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques*. Inra - DEPE. Other convention n° 11-60-C0021, convention n° 11-60-C0021. DOI 10.15454/rgfm-wh23. Backup Publisher: INRA
- [13] AGROCLEANTECH ASSOCIATION, 2021. Bonnes pratiques énergétiques dans les constructions agricoles.
- [14] HUNGER, Ruedi, 2024. Si la pluie se fait désirer, on panique ou on irrigue ? Technique Agricole. p. 24 à 37.