

Elevage de ruminants et changement climatique

Bien qu'émetteur de gaz à effet de serre, l'élevage bovin et ovin permet de lutter contre le changement climatique en stockant du carbone dans les sols. Face à ce double rôle joué sur le changement climatique, l'élevage de ruminants se mobilise pour réduire de 15 à 20% l'empreinte carbone de ses produits lait et viande d'ici 10 ans. Pour cela, des outils d'évaluation en ferme, des solutions techniques et des campagnes de sensibilisation des acteurs sont mis en œuvre. Cette brochure fait le bilan de la contribution de l'élevage de ruminants aux émissions de GES et au stockage de carbone, présente les empreintes carbone du lait et de la viande produits en France et détaille les outils mis à disposition des filières pour réduire leurs impacts environnementaux.

L'origine du changement climatique

L'effet de serre est un phénomène naturel qui empêche une partie des rayons infrarouges provenant de la Terre de traverser l'atmosphère pour s'échapper vers l'espace. Bénéfique lorsqu'il maintient à la surface de la Terre une température moyenne de 14°C, il devient facteur de déséquilibre lorsqu'il s'accroît fortement. Les conséquences sont multiples : tempêtes, sécheresses, inondations, augmentation du niveau des mers, impacts sur la production agricole, etc...

Les activités humaines accentuent ce phénomène par des émissions additionnelles de gaz à effet de serre (GES), à l'origine du dérèglement climatique. Si les consommations d'énergies fossiles associées au transport, au logement, à l'industrie,... représentent 71% des émissions françaises (CITEPA, 2014), l'agriculture contribue à hauteur de 18,6 % aux émissions nationales devant le secteur industriel (6 %).

Pour réduire l'effet de l'activité anthropique sur le changement climatique, le protocole de Kyoto, ratifié en 2005, visait une réduction des émissions de GES au niveau international de 5,2% en 2012 par rapport à 1990, soit une baisse de 8 % pour l'Union Européenne et une stabilisation pour la France. Les politiques européennes (Roadmap 2050) emboîtent le pas du protocole de Kyoto avec un objectif affiché de réduction des émissions des GES de 36 à 37 % à l'horizon 2030 par rapport à 1990, et 42 à 49 % en 2050. La France a souhaité, dans le cadre du Grenelle Environnement, montrer l'exemple en



prévoyant de diviser par quatre ses émissions de CO₂ d'ici 2050 par rapport à 1990, soit une réduction de 75 % (Objectif Facteur 4). Compte tenu de ses spécificités et des marges de progrès disponibles, cet objectif ne semble pas réaliste pour le secteur agricole et l'ADEME (2012) a proposé de retenir un Facteur 2, soit une réduction de 50%.

Les émissions de gaz à effet de serre en élevage de ruminants

Les gaz à effet de serre émis par le secteur de l'élevage

L'agriculture émet essentiellement du protoxyde d'azote (N₂O), du méthane (CH₄) et du dioxyde de carbone (CO₂). Les émissions de méthane proviennent de la fermentation des aliments dans le rumen (fermentation entérique) et de la fermentation des déjections (fumiers et lisiers). Les émissions de protoxyde d'azote proviennent du stockage des effluents au bâtiment et dans les ouvrages de stockage, et de l'épandage de l'azote (organique et minéral) sur les sols avec des émissions directes lors de l'épandage et des émissions indirectes dues au processus de nitrification-dénitrification dans les sols. Les émissions de dioxyde de carbone ont pour source la consommation directe de carburant sur la ferme et la consommation indirecte d'énergie nécessaire à la fabrication et au transport des intrants (aliments, électricité, carburant et engrais).

L'ensemble de ces émissions est traduit en équivalent CO₂ (CO₂eq) avec un coefficient fonction du pouvoir de réchauffement global (PRG) et de leur temps de séjour dans l'atmosphère, soit respectivement 25 et 298 pour le CH₄ et le N₂O. Ces émissions agricoles sont majoritairement issues du cycle du carbone et du cycle de l'azote (digestion des ruminants, gestion des déjections animales, fertilisation). Une faible part, correspondant aux émissions de CO₂, est liée à l'utilisation d'énergie fossile en exploitation.

Les différents périmètres d'évaluation des émissions de GES

Établir des bilans d'émissions de gaz à effet de serre et évaluer la contribution d'une activité au changement climatique peut être réalisé selon différents périmètres en fonction des objectifs recherchés. Aujourd'hui trois périmètres distincts sont identifiés (figure 1) :

- **Périmètre 1 - Animaux et déjections** : émissions de méthane et de protoxyde d'azote provenant des animaux et de la gestion des déjections (bâtiment-stockage). Ce Périmètre 1 est mobilisé dans le cadre des inventaires nationaux qui procèdent à une évaluation par secteur d'activité (transport, énergie, élevage, cultures,...).

- **Périmètre 2 - Atelier d'élevage** : émissions du Périmètre 1 auxquelles sont ajoutées les émissions provenant de la consommation d'énergie et des surfaces pâturées et cultivées (y compris l'épandage de fertilisants minéraux et de déjections animales). Ce Périmètre 2 est généralement mobilisé pour évaluer toutes les émissions directes produites sur une exploitation d'élevage ou sur le secteur de l'élevage.

- **Périmètre 3 - Cycle de vie** : émissions du Périmètre 2 auxquelles sont ajoutées les émissions indirectes associées à la production et fabrication des intrants (production et acheminement des aliments achetés, fertilisants,...). Ce Périmètre 3 est généralement mobilisé pour évaluer les émissions totales, directes et indirectes, associées à un système de production ou à la production d'un produit agricole.

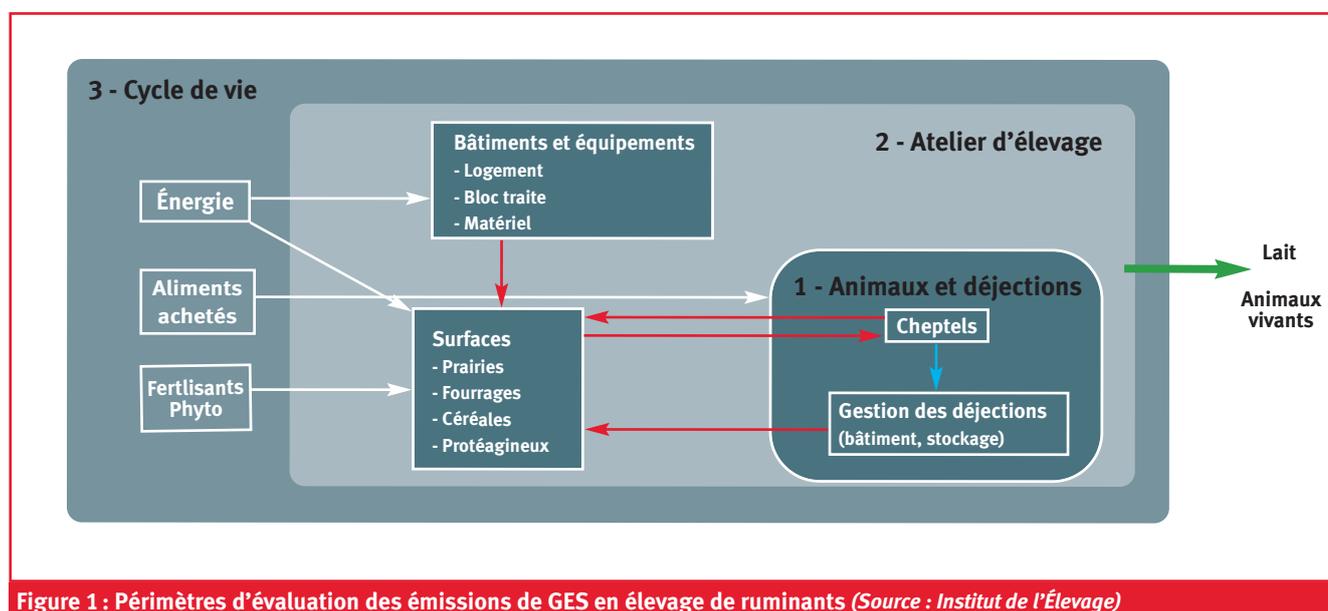


Figure 1 : Périmètres d'évaluation des émissions de GES en élevage de ruminants (Source : Institut de l'Élevage)

La contribution de l'élevage aux émissions mondiales et nationales directes de GES

Au niveau mondial, selon la FAO, les émissions du secteur agricole s'élevaient en 2011 à 5,3 milliards de tonnes d'équivalents CO₂ (Tubiello *et al.*, 2014). En comptabilisant l'ensemble des sources de GES en provenance des élevages (fermentation entérique, gestion des déjections, émissions des sols cultivés pour produire les fourrages et concentrés destinés aux animaux ; **Périmètre 2 - Atelier d'élevage**), la FAO estime que l'élevage contribue à 14,5 % des émissions mondiales de GES (Gerber *et al.*, 2013). L'élevage de ruminants représentant 72 % des émissions de l'élevage, contribue à hauteur de 10,4 % aux émissions mondiales, dont 5,1 % liés à l'élevage bovin allaitant, 4,3 % à l'élevage bovin laitier et 1 % à l'élevage des petits ruminants.

Au niveau français, chaque année, le CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique) réalise un inventaire

national d'émissions de GES, selon une approche par secteur d'activité. En 2013, l'agriculture française a émis 18,6 % des émissions de GES nationales, soit 88 millions de tonnes de CO₂ eq. Au sein du secteur agricole, les inventaires distinguent les activités d'élevage (**Périmètre 1 - Animaux et déjections**), les émissions du sol (sols cultivés, pâtures et parcours), la sylviculture et les autres sources (en particulier liées à l'utilisation d'énergie). Dans le cadre de ce périmètre, le CITEPA évalue la contribution de l'élevage de ruminants (les animaux et leurs déjections) à 8 % des émissions nationales qui s'élèvent à 477,3 millions de tonnes de CO₂ eq.

Pour évaluer la contribution du secteur de l'élevage herbivore dans son ensemble (**Périmètre 2 - Atelier d'élevage**), les différentes sources d'émission ont été réaffectées afin de tenir compte de l'ensemble des activités ayant lieu dans un système d'élevage : fermentation entérique, gestion des déjections, mais aussi sols pâturés et sols cultivés pour l'alimentation des animaux et utilisation de l'énergie (**tableau 1**). Sur ce périmètre 2, la contribution de l'élevage de ruminants aux émissions nationales de GES est portée à 14,7 %, dont 12,6 % pour les bovins et 2,1 % pour les petits ruminants.

Tableau 1 : Emissions de gaz à effet de serre associées à l'élevage de ruminants en millions de tonnes de CO₂ eq en 2013
(Source : Traitement Institut de l'Elevage, d'après CITEPA, 2015 et Recensement Agricole 2010)

	Bovins lait	Bovins viande	Petits ruminants	Total ruminants
Fermentation entérique	14,83	15,53	2,09	32,45
Déjections	3,03	2,21	2,13	7,37
Pâturage	3,21	4,63	0,45	8,30
Sols cultivés	6,70	4,48	3,38	14,56
Énergie	2,95	2,61	1,76	7,32
Total	30,72	29,47	9,8	70,00
En % du PRG* agricole	34,7 %	33,3 %	11,1 %	79 %
En % du PRG* national	6,4 %	6,2 %	2,1 %	14,7 %

* PRG : Pouvoir de Réchauffement Global

Des émissions de GES à l'empreinte carbone de la viande et du lait

La contribution de la production de lait ou de viande au changement climatique (**Périmètre 3**) se traduit par l'empreinte carbone des produits, selon une approche normalisée d'évaluation environnementale (ISO, 2006) appelée Analyse du Cycle de Vie (ACV). Cette méthode considère l'ensemble des étapes liées à la production d'un produit : depuis la fabrication des intrants (fertilisants, concentrés, électricité...) jusqu'à la commercialisation du produit fini (transport, réfrigération...). La phase agricole s'arrête à l'exploitation ; le périmètre inclut donc les étapes "depuis le berceau jusqu'au portail de la ferme".

De nombreuses évaluations ont concerné l'évaluation de l'empreinte carbone du lait (**tableau 2**) selon le mode d'allocation des émissions de GES entre le lait et la viande produite sur les exploitations laitières (*cf. encadré "L'ACV : vers un cadre méthodologique harmonisé"*). Selon le pays d'appartenance et le système de production associé, l'empreinte carbone brute du lait intégrant uniquement les émissions de GES oscille entre 0,85 et 1,3 kg CO₂/kg lait. La prise en compte du stockage de carbone, qui permet une compensation des émissions de GES, aboutit à une empreinte carbone nette comprise entre 0,53 et 0,76 kg CO₂/kg lait.

Tableau 2 : Empreinte carbone du lait issu de systèmes contrastés - Périmètre 3

Source / Pays	Empreinte carbone brute (kg CO ₂ /kg lait corrigé)	Empreinte carbone nette (kg CO ₂ /kg lait corrigé)	Caractéristiques du système	Allocation lait/viande* (part affectée au lait)
Systèmes mixtes combinant fourrages distribués et pâturage				
Guerci <i>et al.</i> (2013) – Italie	1,30	nd	100 % bâtiment et mixte bâtiment/pâturage	Économique (94 %)
AGRIBALYSE (2015) – France	0,86	nd	Plaine, > 30 % maïs dans la SFP	Par phase de production (76 %)
Dollé <i>et al.</i> (2013c) – France	0,85	0,76	> 30 % maïs dans la SFP	Par phase de production (74 %)
Systèmes pâturants				
AGRIBALYSE (2015) – France	0,98	nd	Plaine, < 10 % maïs dans la SFP	Par phase de production (69 %)
Dollé <i>et al.</i> (2013c) – France	0,89	0,53	< 10 % maïs dans la SFP	Par phase de production (74 %)
Basset-Mens <i>et al.</i> (2009) – Nouvelle Zélande	0,93	nd	Système moyen – 114 kg N/ha	Biophysique FIL (85 %)

nd : non déterminé

* Les modalités d'allocation des impacts entre les produits lait et viande sont explicitées dans l'encadré " L'ACV : vers un cadre méthodologique harmonisé "

En production de viande bovine, l'empreinte carbone brute se situe entre 11,9 et 19,2 kg CO₂/kg de poids vif selon les systèmes de production et le type de viande produite

(tableau 3). Considérant le stockage de carbone associé à la production de viande, l'empreinte carbone nette est comprise entre 4,5 et 13 kg CO₂/kg de poids vif.

Tableau 3 : Empreinte carbone de la viande bovine issue de systèmes contrastés - Périmètre 3

Source / Pays	Empreinte carbone brute (kg CO ₂ /kg poids vif)	Empreinte carbone nette (kg CO ₂ /kg poids vif)	Caractéristiques du système
Veysset <i>et al.</i> (2014) – France	12,8	10,1	Naisseur - engraisseurs Charolais
Pelletier <i>et al.</i> (2010) – USA	19,2	11	Engraisseurs Système pâturant
	14,8	13	Engraisseurs Feedlot
AGRIBALYSE (2015) – France	11,9	-	Viande moyenne France
Moreau <i>et al.</i> (2013a) – France	14,5	7,1	Naisseur
	13,1	9,7	Naisseur - engraisseurs JB



Photo 1 : L'empreinte carbone de la viande ovine est variable d'un système d'élevage à l'autre en fonction du niveau de recours aux intrants.

En ce qui concerne la viande ovine, les empreintes carbone présentées dans le tableau 4 couvrent une large gamme de valeurs, de moins de 8 à plus de 17 kg eq CO₂/kg de poids vif, entre la Nouvelle-Zélande et la valeur AGRIBALYSE pour la France. Les écarts sont en particulier liés aux caractéristiques techniques, avec une différenciation forte des systèmes très herbagers et très autonomes en Océanie et des systèmes ayant recours aux intrants et avec des périodes passées en bâtiment en Europe. Le stockage de carbone permet une compensation de 25 à 50 % des émissions de GES.

Tableau 4 : Empreinte carbone de la viande ovine issue de systèmes contrastés - Périmètre 3

Source / Pays	Empreinte carbone brute (kg CO ₂ /kg poids vif)	Empreinte carbone nette (kg CO ₂ /kg poids vif)	Caractéristiques du système
Gac <i>et al.</i> (2015) – France	13,0	8,4	Agneau d’herbe
	13,1	10,0	Agneau de bergerie
AGRIBALYSE (2015) – France	17,5	-	Agneau de bergerie
Benoit <i>et al.</i> (2010) – France	13,8	6,9	Moyenne de 10 systèmes de plaine et montagne
Williams <i>et al.</i> (2012) – Royaume-Uni	11,1	-	Moyenne nationale
Ledgard <i>et al.</i> (2011) – Nouvelle-Zélande	7,8	-	Moyenne nationale

D’autres travaux s’intéressent également à l’échelle du produit alimentaire, en intégrant les phases agro-industrielles et de distribution, voire d’utilisation par le consommateur. Quels que soient le produit et le degré de transformation, la phase de production en élevage domine en terme de contribution à l’empreinte carbone. Sur un

ensemble de produits laitiers mis à disposition du consommateur (beurre, crème, fromage, lactosérum), Flysjö *et al.* (2014) estiment que 80 à 90 % de leur empreinte carbone résulte de la phase d’élevage. De même, dans une étude sur la viande bovine française abattue, découpée et distribuée en France (Gac *et al.*, 2015), la phase d’élevage représente en moyenne 96 % de l’empreinte carbone.

L’ACV : vers un cadre méthodologique harmonisé

Les normes internationales ISO 14040 et ISO 14044 (ISO, 2006) définissent les principes, le cadre méthodologique et la communication liés à l’Analyse du Cycle de Vie. La méthode consiste à dresser des bilans exhaustifs des flux entrants (consommation de ressources naturelles et d’énergie) et des flux sortants (émissions vers l’air, l’eau et les sols, déchets) puis à associer ces flux à des impacts environnementaux potentiels. Les normes ne fournissent pas de détails concernant le calcul des émissions et impacts mais permettant de donner un cadre méthodologique à l’ACV et ainsi définir les étapes à réaliser.

Ces dernières années, les initiatives se sont multipliées au niveau national et international pour assurer une conformité méthodologique dans l’évaluation des impacts environnementaux. A l’échelle française, le projet GESTIM¹ a rassemblé les instituts techniques agricoles sur la définition d’une méthodologie et la constitution de référentiels pour réaliser des bilans de gaz à effet de serre et d’énergie des activités agricoles. Les travaux d’harmonisation du cadre méthodologique et des modes de calcul se sont poursuivis à la faveur du projet AGRIBALYSE² qui a produit une base de données d’ACV des produits agricoles français. Au niveau international, des groupes de travail ont été constitués, à l’initiative des secteurs du lait et de la viande, afin d’harmoniser les pratiques en matières d’analyse du cycle de vie des produits d’élevage. C’est notamment le cas de la Fédération Internationale Laitière qui a publié un guide méthodologique d’évaluation de l’empreinte carbone du lait (FIL, 2010). De son côté, la FAO a lancé l’initiative LEAP (2015), Partenariat pour l’évaluation et la performance environnementale de l’élevage, rassemblant chercheurs et représentants de filières de plusieurs pays et qui donne lieu à la publication de lignes directrices pour la réalisation d’ACV dans le secteur de l’élevage (alimentation animale, gros ruminants, petits ruminants).

Un point important dans la réalisation des ACV sur les systèmes d’élevage, en particulier sur les systèmes laitiers, est l’allocation des impacts environnementaux entre les produits et co-produits générés par le système (Figure 1), en l’occurrence le lait, les veaux et autres animaux vendus vivants (génisses pleines, vaches en production) et les animaux destinés à la production de viande (vaches de réforme finies) (Dollé *et al.*, 2012). Actuellement, les différents cadres méthodologiques tendent à converger vers l’application d’une allocation dite biophysique, ou par phase de production. Expliquée succinctement, la phase d’élevage de la génisse est affectée à la production de viande, tandis que sur la phase de vie de la vache laitière, on attribue les impacts au lait et au veau *au prorata* des besoins énergétiques pour la lactation et la gestation (Gac *et al.*, 2014 a). Les autres options sont de faire appel à une allocation économique basée sur la valeur économique générée par les produits, ou une allocation protéique basée sur leur contenu respectif en protéines.

Même si chaque pays peut réaliser des choix qui lui sont propres, en particulier en matière de quantification des émissions, afin de traduire au mieux ses spécificités pédoclimatiques ou de fonctionnement des systèmes, les ACV agricoles sont aujourd’hui réalisées dans un cadre méthodologique harmonisé.

¹ Financement CASDAR, pilotage Institut de l’Élevage

² Financement ADEME, pilotage INRA et Agroscope

De l'intérêt de passer de l'empreinte carbone à l'analyse multicritère : exemple du lait français et néo-zélandais

Au-delà des émissions de GES, l'ACV permet également de traiter les autres enjeux environnementaux que sont la qualité de l'air (acidification), la qualité de l'eau (eutrophisation) et la consommation de ressources (énergie fossile, eau, surfaces). Pour fournir une vision complète des interactions entre la production et l'environnement, il est nécessaire que l'évaluation de l'impact de l'élevage sur l'environnement soit multicritère et non uniquement centrée sur un seul indicateur GES.

Une analyse comparative mobilisant les mêmes outils a été conduite entre les systèmes laitiers français et néo-zélandais (Dollé *et al.*, à paraître). Reposant sur une part très importante de pâturage dans la ration (> 85 %), les exploitations laitières néo-zélandaises, qui comptent en moyenne 400 vaches, sont caractérisées par un chargement élevé et une production laitière moyenne de 4 400 kg/vache (tableau 5). Les systèmes français basés sur la valorisation de l'herbe pâturée et des fourrages récoltés possèdent des exploitations de plus petite taille (70 vaches) pour une production moyenne de 6 500 kg de lait/vache. Mobilisant les outils CAP'2ER et OVERSEER développés respectivement par l'Institut de l'Élevage et AgResearch, l'évaluation des performances environnementales concerne les impacts carbone sur le cycle de vie du lait jusqu'au portail de la ferme et la pression azotée exercée sur les surfaces valorisées par les vaches laitières.

L'empreinte carbone brute du lait produit en Nouvelle-Zélande est en moyenne de 0,8 kg CO₂/kg de lait contre 1 kg CO₂/kg de lait pour les systèmes français. La productivité par vache supérieure pour les systèmes français ne compense pas les émissions gazeuses liées à la gestion des déjections en bâtiment d'élevage, au stockage et à l'épandage (méthane et protoxyde d'azote), aux consommations d'énergie directe pour la récolte et la distribution des fourrages (gaz carbonique),... Les systèmes laitiers néo-zélandais, caractérisés par un fort chargement et des apports d'azote minéral plus élevés qu'en France, exercent en conséquence une plus forte pression azotée avec un excédent du bilan azoté compris entre + 170 et + 220 kg N/ha, contre + 50 et + 110 kg N/ha pour les systèmes d'élevage français pour lesquels les pertes par lixiviation sont comprises entre 5 et 50 kg N-NO₃/ha.

Cette analyse montre l'importance de l'analyse environnementale multicritère. Des systèmes performants sur un indicateur comme l'empreinte carbone peuvent ainsi présenter des risques sur d'autres compartiments environnementaux comme la qualité de l'eau du fait de la pression azotée exercée sur le milieu.

Tableau 5 : Résultats comparés des performances des systèmes d'élevage laitiers en France et en Nouvelle-Zélande
(Source : Dollé *et al.*, à paraître)

	Systèmes d'élevage laitiers français	Systèmes d'élevage laitiers Néo-Zélandais
Taille du troupeau (vaches/exploitation)	70	400
Production laitière (kg lait/vache/an)	6 500	4 400
Empreinte carbone brute (kg CO ₂ /kg de lait)	1,0	0,8
Chargement animal (vaches/ha)	1,4	2,8
Apport d'azote minéral (kg N/ha)	100	50 à 700
Bilan azoté (kg N/ha)	+ 50 à + 110	+ 170 à + 220
Pertes par lixiviation (kg N-NO ₃ /ha)	5 à 50	non calculé



Photo 2 : Troupeau laitier près du lac Coleridge en Nouvelle-Zélande

Le stockage/déstockage de carbone associé à l'élevage de ruminants

Au-delà des émissions de GES provenant de l'élevage, il convient de rappeler que l'activité d'élevage contribue au stockage et au déstockage de carbone dans les sols, selon les assolements pratiqués et les pratiques associées. Les lignes directrices du GIEC (IPCC, 2006), qui régissent l'établissement des inventaires nationaux d'émissions et d'absorptions des GES, ont identifié comme principales causes de stockage/déstockage :

- le changement d'affectation des sols ;
- les pratiques mises en œuvre (labour, fertilisation, etc.).

Le stockage/déstockage de carbone lié au changement d'affectation des sols

Alors que le passage d'un sol cultivé à une prairie se traduit par une séquestration du carbone dans les sols, la conversion d'une prairie en culture se traduit par une perte de carbone de 950 kg C/ha/an. Au regard de l'évolution des surfaces entre 1988 et 2010 en France, le

changement d'usage des sols en élevage bovin concerne essentiellement le passage des prairies permanentes en prairies temporaires et en cultures.

En considérant la dernière période de 20 ans et les surfaces nationales de prairies permanentes converties en prairies temporaires et en cultures, les facteurs moyens de déstockage (tableau 6) sont respectivement de 150 kg C/ha/an et de 160 kg C/ha/an (Dollé *et al.*, 2013b, d'après Arrouays *et al.*, 2002).

Le stockage/déstockage de carbone lié au changement de pratiques

Le cas des prairies permanentes

Dans des situations sans changement notable d'utilisation des sols, des expérimentations récentes sur le stockage de carbone sous prairies ont mis en évidence que les prairies constituent des puits nets de carbone stockant de 500 à 1 200 kg C/ha/an (Soussana *et al.*, 2007 ; Schulze *et al.*, 2009). Les flux de carbone sont liés au contexte pédoclimatique et aux modalités de gestion de la prairie (tableau 7).

Tableau 6 : Niveaux de stockage/déstockage de carbone liés aux changements d'affectation des sols ou de pratiques mises en œuvre sur les surfaces (Source : Dollé *et al.*, 2013b)

	Changement d'affectation des sols (kg C/ha/an sur 20 ans)		Pratiques mises en œuvre sur les surfaces (kg C/ha/an)		
	Prairies permanentes converties en prairies temporaires	Prairies permanentes converties en cultures annuelles	Prairies permanentes	Prairies temporaires	Haies
Stockage de carbone	-	-	570	80	125
Déstockage de carbone	150	160	-	-	-

Tableau 7 : Liste des pratiques ou conditions favorables au stockage ou au déstockage du carbone (Source : Dollé *et al.*, 2013b)

	Pratiques ou conditions favorables	
	au stockage de carbone	au déstockage de carbone
Conditions météorologiques	Forte pluviosité + températures modérées (car favorables à la production primaire) (Klumpp <i>et al.</i> , 2011)	Temps sec + températures élevées (car défavorables à la production primaire)
Niveau de fertilisation (azote, déjections)	Apport modéré d'azote (Klumpp <i>et al.</i> , 2009) et présence de légumineuses	Carence en azote (qui oblige les micro-organismes à puiser dans les réserves humiques du sol)
Valorisation de l'herbe	Pâturage (car apport direct de matière organique par les déjections et moindre exportation de carbone du fait de l'herbe résiduelle) (Soussana <i>et al.</i> , 2010)	Fauche exclusive et fréquente (car prélèvement élevé) (Klumpp <i>et al.</i> , 2007)
Intensité du pâturage	Pâturage peu intensif (car laissant des organes sénescents, sources de litière puis de carbone) (Louault <i>et al.</i> , 2005)	Pâturage intensif très ras (car laissant peu d'organes aériens)

Au regard de l'incidence des pratiques sur le stockage/déstockage de carbone, des flux annuels de carbone peuvent être proposés selon le niveau d'intensification (*via* le niveau de fertilisation) et le degré de défoliation du couvert (figure 2).

Cette typologie met en évidence trois situations contrastées :

- un niveau de stockage de carbone **faible (moins de 250 kg C/ha/an)** : dans les milieux à contraintes, extensifs et à faible rendement ;
- un niveau de stockage de carbone **moyen (de 250 à 500 kg C/ha/an)** : dans les milieux gérés de façon intensive avec un niveau de fertilisation plus élevé, en fauche *quasi* exclusive et/ou en pâturage à fort chargement provoquant une dégradation du couvert herbacé ;
- un niveau de stockage de carbone **élevé (de 250 à 1200 kg C/ha/an)** : dans les milieux à intensification modérée, dont le mode d'exploitation dominant est le pâturage ou la combinaison pâturage/fauche et dont le couvert herbacé est préservé.

Compte tenu des niveaux de stockage et de la part de prairies dans chacune des classes typologiques, **un niveau moyen de stockage national de 570kgC/ha/an peut être proposé pour les systèmes prairiaux** (Dollé *et al.*, 2013b).

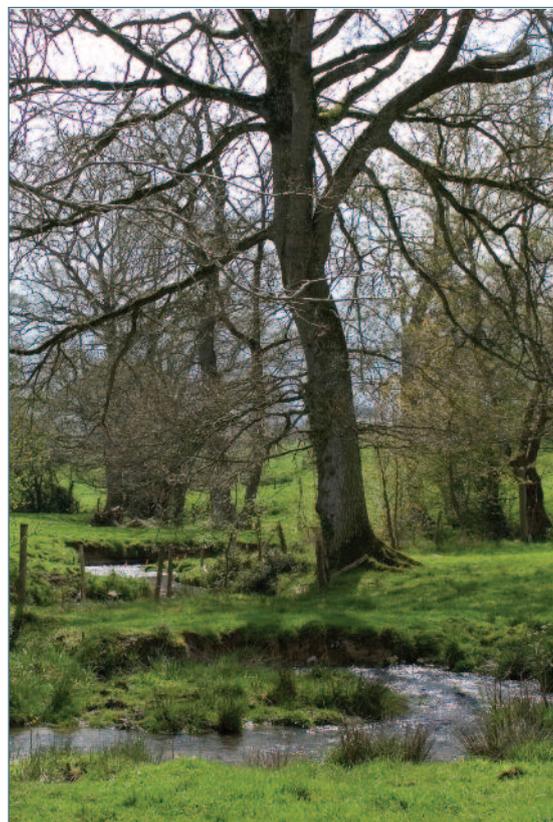


Photo 3 : Les prairies permanentes et les haies constituent des puits de carbone qui permettent de stocker respectivement 570 kg C/ha/an et 125 kg C/ha/an sur la base de 100 mètres linéaires/ha (données moyennes).

De nouvelles avancées sur les niveaux de stockage de carbone

Dans le cadre des projets européens GreenGrass (Soussana *et al.*, 2007), CarboEurope (Schulze *et al.*, 2009) et Animal Change, 40 sites européens ont fait l'objet d'un suivi des émissions de GES et de stockage de carbone pendant plusieurs années. Combinant différents types de prairies et différents modes de gestion (fertilisation, fauche, pâturage, apport de déjections,...), les suivis mettent en évidence un stockage moyen de 760 kg de carbone/ha/an. Selon cette valeur et comparativement aux 570 kg C/ha/an utilisés jusqu'à maintenant, cela porterait la compensation des émissions du secteur à 37 % contre 28 % actuellement. Ces travaux ont également abouti à la mise au point d'un modèle de détermination du stockage de carbone, qui devra permettre l'évaluation du potentiel de stockage des régions climatiques croisées aux systèmes de production. Les données que produira ce modèle pourront ainsi être intégrées aux futurs bilans carbone des systèmes de production.

Le cas des prairies temporaires

Les prairies temporaires en rotation avec des cultures sont également des puits de carbone. Selon l'IPCC (2006), en considérant l'âge, la fertilité et l'intensité d'utilisation de ces prairies, il est possible de déterminer un flux de carbone compris entre 177kgC/ha/an (pour une prairie temporaire de 1 an) et 460kgC/ha/an (pour une prairie temporaire de 5 ans). En appliquant ces valeurs aux durées de vie des prairies temporaires en France et en considérant un stock initial de 70 t C/ha, le **stockage moyen national est de 80 kgC/ha/an sur les prairies temporaires et cultures en rotation avec ces prairies.**

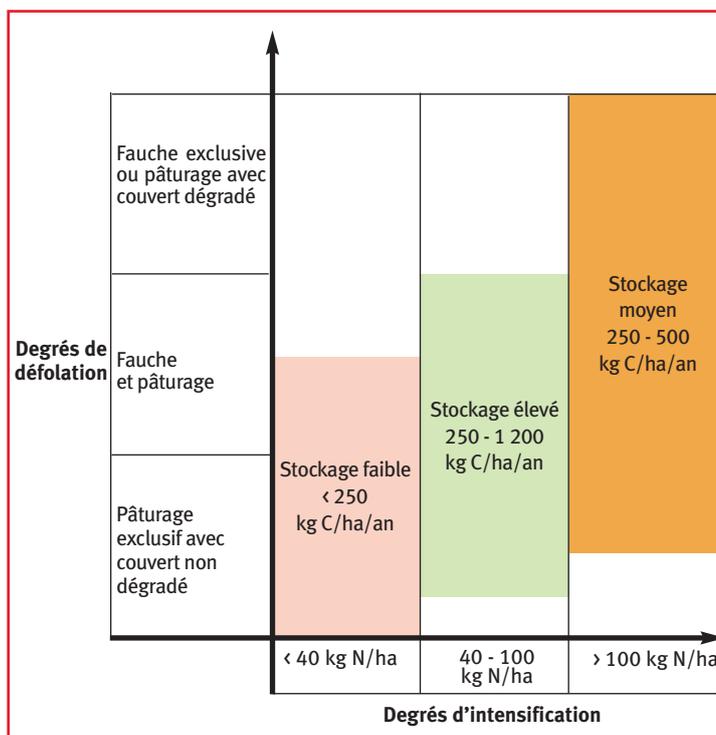


Figure 2 : Niveau de stockage de carbone des prairies permanentes en fonction des pratiques (Dollé *et al.*, 2013 b, adapté de Arrouays *et al.*, 2002 ; Soussana *et al.*, 2004, 2007 et 2010 ; Klumpp *et al.*, 2011 ; Mudge *et al.*, 2011 ; Farrugia *et al.*, 2012).

Le cas des haies et bosquets

Les haies et les bosquets se rencontrent très fréquemment dans les exploitations d'élevage : ils représentent entre 10 et 15 % de la SAU de l'exploitation. Du fait de l'augmentation des restitutions et de l'absence de travail du sol, le potentiel de stockage annuel de carbone est de 125 kg C/ha/an sur la base de 100 m linéaire par hectare (Arrouays *et al.*, 2002).

Sur la base des émissions de GES du secteur bovin (Périmètre 2) et niveau de stockage/déstockage de carbone des surfaces de cultures, de prairies et de haies associées à l'élevage bovin, **le taux de compensation des émissions de GES par le potentiel de stockage de carbone est de 28 % à l'échelle nationale.**

Les pratiques d'élevage agissent également sur la biodiversité

Au-delà du lien qui existe entre stockage de carbone et élevage de ruminants, les travaux scientifiques sur les effets de l'élevage sur la biodiversité des écosystèmes concluent avec certitude au rôle important de l'élevage herbivore (Dollé *et al.*, 2013c). Le pâturage, par l'intermédiaire de plusieurs processus tels que la déposition d'urines et de fèces, la défoliation, le piétinement..., a un impact sur la dissémination des graines et des organismes ainsi que sur le dérangement ou la destruction d'espèces animales (oiseaux nicheurs des prairies). L'augmentation forte de la pression de pâturage a un effet généralement défavorable sur la richesse en espèces végétales. En revanche, des effets inverses sont constatés pour des niveaux plus réduits de pression, en raison de la création d'une hétérogénéité structurale au sein du couvert végétal prairial favorable aux habitats de nombre d'espèces floristiques ou faunistiques (insectes, micromammifères et oiseaux). Alors que certaines pratiques, tel que l'usage des anthelminthiques utilisés pour le traitement antiparasitaire des animaux, peuvent affecter les insectes associés aux déjections des herbivores, les décisions de l'éleveur en matière d'assolement, de répartition des parcelles, de mode de récolte (pâturage, fauche, type de troupeau) influent de façon positive sur la biodiversité. Par conséquent, l'utilisation et la valorisation par les ruminants de la biodiversité des prairies permanentes favorables à une plus grande souplesse d'exploitation, à l'introduction de légumineuses qui permet de réduire les intrants azotés..., est un gage de préservation de la biodiversité (Amiaud *et al.*, 2014). La mosaïque paysagère, basée, entre autres, sur la proportion des différents éléments agro-écologiques, influe également fortement sur la composition des communautés faunistique et floristique (Manneville *et al.*, 2014). Cette structure du paysage se mesure par des éléments définis a priori comme les éléments fixes (arbres, haies, bosquets...) dont dépendent souvent les communautés végétales ou animales. Un certain nombre de critères, comme l'importance des éléments agro-écologiques et la connectivité des corridors écologiques, permet de quantifier et comparer les paysages entre eux. Il ressort ainsi que la complexité paysagère liée à l'importance des éléments agro-écologiques tels les haies, les fossés, les bordures de route, les îlots de végétation non agricoles et les bandes enherbées des zones d'élevage, est favorable à la biodiversité.



Photo 4 : La mosaïque paysagère qu'induit l'élevage herbivore a un impact favorable sur la biodiversité faunistique et floristique.

L’empreinte carbone du lait et de la viande bovine produits en France

L’empreinte carbone du lait

Des émissions brutes qui diffèrent peu entre systèmes de production

L’empreinte carbone du lait des différents groupes typologiques de fermes laitières, définis selon la part de maïs dans la SFP (Surface Fourragère Principale) et la localisation des exploitations en zone de plaine ou de montagne, a été évaluée à l’aide de l’outil CAP’2ER sur 493 fermes du réseau Inosys (année 2012).

Les émissions brutes de GES (sans prise en compte du stockage/déstockage de carbone) s’élèvent en moyenne à 0,93 kg CO₂ eq/litre de lait corrigé. Les empreintes carbone brutes diffèrent peu entre systèmes avec des résultats qui varient de 0,9 à 0,97 kg CO₂ eq/litre de lait corrigé (tableau 8).



Photo 5 : L’empreinte carbone nette moyenne du lait produit en France s’établit à 0,71 kg CO₂ eq par litre de lait corrigé.

Les principaux postes d’émissions sont la fermentation entérique (52 %), la gestion des effluents et les apports d’azote au sol (23 %) et les intrants (19 %) (figure 3).

La prise en compte du stockage de carbone des prairies et des haies et du déstockage sur cultures permet de compenser entre 8 % et 51 % des émissions brutes de GES selon le système. L’empreinte carbone nette moyenne du lait est de 0,71 kg CO₂ eq par litre de lait corrigé. Ce sont les systèmes herbagers qui compensent le plus leurs émissions (tableau 8).

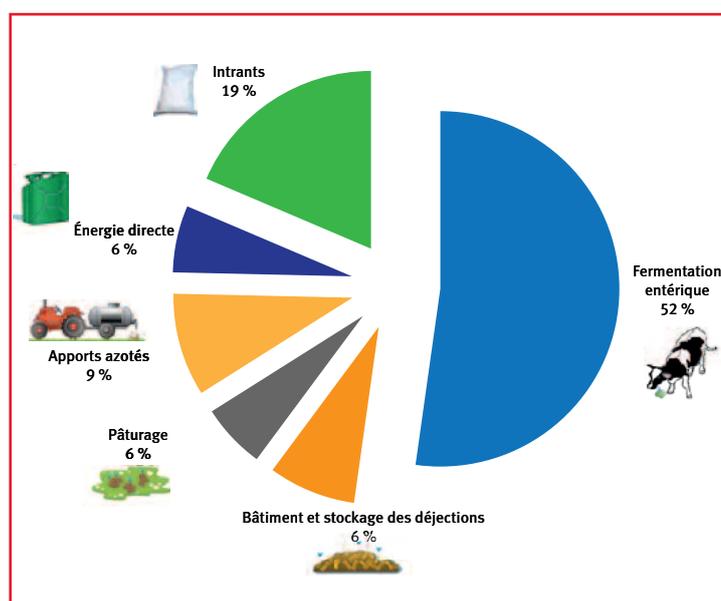


Figure 3 : Répartition des émissions de GES en élevage laitier (Source : Institut de l’Élevage - Traitement base de données Réseau d’élevage Inosys)

Tableau 8 : Empreinte carbone du lait pour différents systèmes de production en France (Source : Institut de l’Élevage . Traitement base de données Réseau d’élevage Inosys)

Système de production	Nombre d’exploitations	Empreinte carbone brute (kg CO ₂ eq/ litre lait corrigé)	Empreinte carbone nette (kg CO ₂ eq/litre lait corrigé)	Compensation carbone
Montagne herbager	76	0,97	0,47	51 %
Montagne maïs	59	0,95	0,75	21 %
Plaine < 10 % de maïs	61	0,90	0,53	42 %
Plaine 10-30 % de maïs	131	0,90	0,73	19 %
Plaine > 30 % de maïs	166	0,94	0,86	8 %
Total	493	0,93	0,71	24 %

L’empreinte carbone de la viande bovine

Des émissions brutes qui diffèrent selon les systèmes de production

L’empreinte carbone de la viande des différents groupes typologiques de fermes bovines, définis selon le type d’animaux produits, a été évaluée à l’aide de CAP’2ER sur 486 fermes du réseau Inosys (année 2012).

Les émissions brutes de GES (sans prise en compte du stockage/déstockage de carbone) s’élèvent en moyenne à 14,3 kg CO₂ eq/kg de poids vif. Les écarts observés entre types de systèmes, sur les émissions brutes et nettes de GES, dépendent des pratiques en lien avec les types d’animaux commercialisés et leur âge (tableau 9).

Les principaux postes d’émissions sont la fermentation entérique (59 %), la gestion des effluents et les apports d’azote au sol (27 %) et les intrants (11 %), (figure 4).

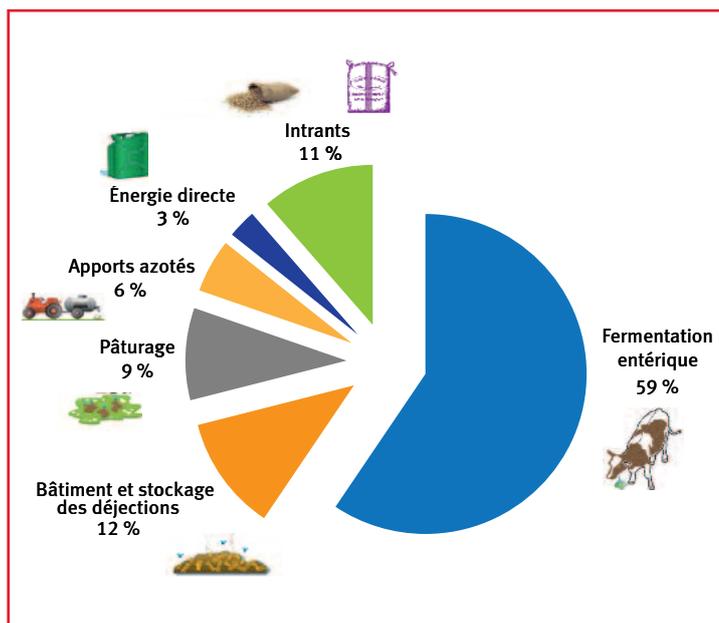


Figure 4 : Répartition des émissions de GES en élevage bovin viande (Source : Institut de l’Élevage . Traitement base de données Réseau d’élevage Inosys)



Photo 6 : L’empreinte carbone nette moyenne de la viande bovine produite en France est de 8,7 kg CO₂ eq par kg de poids vif.

La prise en compte du stockage de carbone des prairies et des haies et du déstockage sur cultures permet de compenser de 26 % à 46 % des émissions brutes de GES selon le système.

L’empreinte carbone nette moyenne de la viande est de 8,7 kg CO₂ eq/kg de poids vif.

La variabilité entre système est importante avec une empreinte carbone nette de la viande qui varie de 8,3 à 9,2 kg CO₂ eq /kg de poids vif. Ce sont les systèmes herbagers (Naisseurs et NE de bœufs) qui compensent le plus leurs émissions, du fait du stockage de carbone associé (tableau 9). Néanmoins, compte tenu de la variété des viandes produites dans ces ateliers (broutards, vaches de réforme, génisses, bœufs, jeunes bovins), ces données chiffrées ne peuvent être comparées. L’empreinte carbone des produits au portail de la ferme doit être analysée en fonction de la durée de vie de l’animal, du type d’animal (maigre, fini) quittant l’exploitation.

Tableau 9 : Empreinte carbone de la viande bovine pour différents systèmes d’élevage en France (Source : Institut de l’Élevage . Traitement base de données Réseau d’élevage Inosys)

Systèmes d’élevage	Nombre d’exploitations	Empreinte carbone brute (kg CO ₂ eq/kg de poids vif)	Empreinte carbone nette (kg CO ₂ eq/kg de poids vif)	Compensation carbone
Naisseurs purs	199	15,2	8,3	46 %
NE de femelles	111	15,1	9,2	39 %
NE de jeunes bovins	144	12,2	9,0	26 %
NE de bœufs	32	15,1	8,4	44 %
Total	486	14,3	8,7	39 %

Les facteurs d'explication de la variabilité de l'empreinte carbone entre exploitations d'élevage

Qu'il s'agisse de systèmes laitiers ou viande, une très forte variabilité de l'empreinte carbone du lait et de la viande est observée entre les exploitations d'un même système de production (figures 5 et 6). Cette variabilité entre exploitations dépend de plusieurs facteurs structurels ou de fonctionnement :

- **la conduite du troupeau** qui impacte sur le nombre d'animaux improductifs (âge au vêlage, santé des animaux, reproduction, mortalité des veaux, réforme des vaches, ...) et la productivité (lait/vache, gain de poids vif).
- **les pratiques d'alimentation du troupeau** avec l'optimisation des apports de concentrés le type, de concentrés achetés, la place du pâturage, la qualité des fourrages en lien avec le stade de récolte, la part de légumineuses, l'efficacité de l'azote (azote ingéré et excrété)...
- **les pratiques mises en œuvre sur les cultures et les prairies** : rotation, optimisation de la fertilisation azotée, présence de légumineuses, cultures intermédiaires pièges à nitrates, semis de culture sous couvert, réduction du travail du sol, présence de prairies temporaires, ...
- **le mode de gestion des effluents** : les émissions de GES sont dues principalement à la phase de stockage et varient en fonction du type de déjections (fumier ou lisier) et de leur gestion.
- **la structure des fermes** (parcellaire, type de bâtiment, mécanisation, ...), leur potentiel de production et les conditions pédoclimatiques .



Photo 7 : La maîtrise de plusieurs pratiques d'élevage, dont la fertilisation azotée organique et minérale des cultures et prairies, permet de réduire l'empreinte environnementale des exploitations.

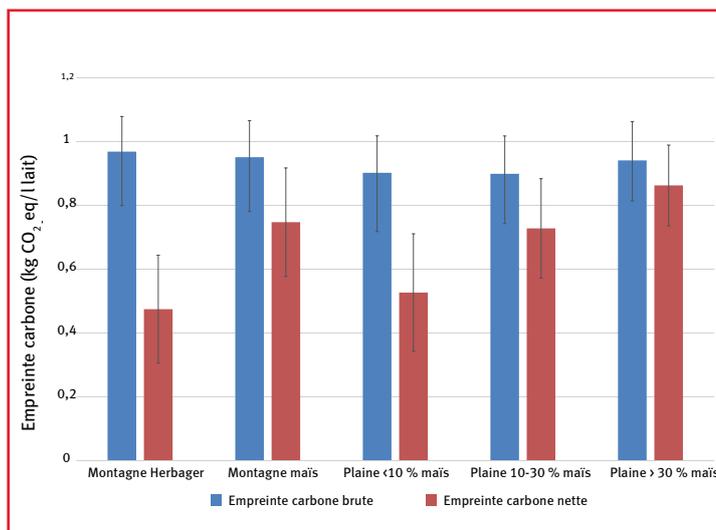


Figure 5 : Empreinte carbone brute et nette du lait de 5 systèmes laitiers français (Source : Institut de l'Élevage . Traitement base de données Réseau d'élevage Inosys - 2012)

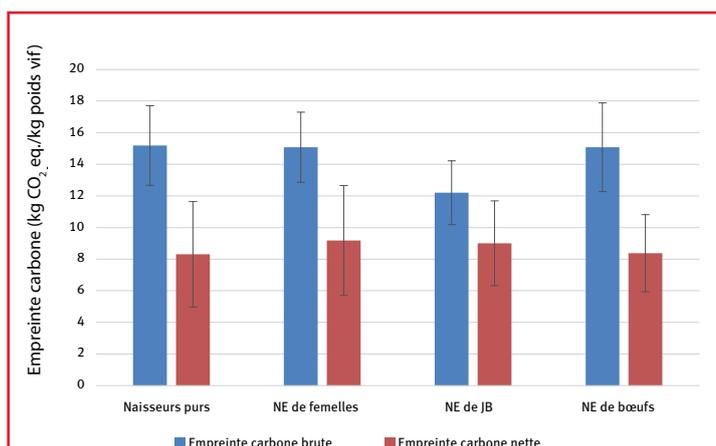


Figure 6 : Empreinte carbone brute et nette de la viande de 4 systèmes viande bovine français (Source : Institut de l'Élevage . Traitement base de données Réseau d'élevage Inosys - 2012)

Cette variabilité met en évidence le lien entre les pratiques d'élevage, les performances environnementales et les gains potentiels atteignables par un nombre important d'éleveurs. Cela signifie également qu'une amélioration de l'efficacité technique des exploitations permettra de réduire l'empreinte environnementale avec une incidence favorable sur les résultats économiques.

Les pistes de réduction des émissions de GES en élevage

Réduction des émissions de GES : le chemin déjà parcouru

En suivant une approche cycle de vie (Périmètre 3), le bilan des émissions de GES du secteur bovin a été évalué entre 1990 et 2010 en mobilisant l'outil Climagri développé par l'ADEME. Passant de 80 à 67,5 millions de tonnes d'équivalent CO₂, **les émissions de l'élevage bovin ont été réduites de 15 %** (Gac et al., à paraître) (figure 7).

Entre ces deux dates, les réductions de GES ont été permises par des évolutions majeures :

- **L'augmentation de la productivité par vache laitière**, de + 600 à + 1 900 kg lait/vache, s'est traduite par une réduction des effectifs laitiers pour un même volume de lait produit. L'augmentation de la productivité laitières et la spécialisation des exploitations laitières a conduit à produire moins de viande par le troupeau laitier. Cette diminution a été compensée par un accroissement de la production de viande par le troupeau allaitant (développement des races spécialisées, augmentation des effectifs nationaux). Cette évolution explique le léger accroissement des GES des bovins viande (tableau 10). Globalement, cette évolution contribue à la baisse des émissions de méthane entérique, des émissions des surfaces cultivées et des GES provenant des effluents.

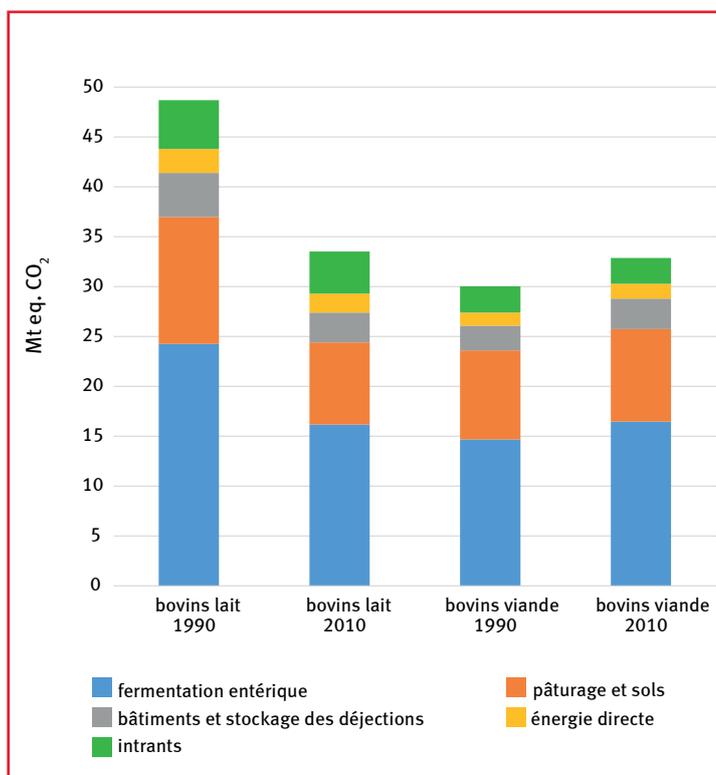


Figure 7 : Emissions de GES des exploitations bovines par poste en 1990 et 2010 (Source : Gac et al., à paraître)

Tableau 10 : Évolution du cheptel bovin (lait et viande) et des surfaces associées entre 1990 et 2010 au niveau national (Source : Agreste Recensements agricoles - Traitement Institut de l'Élevage)

	Année 1990	Année 2010	Évolution 1990/2010
UGB Lait	8 339 000	5 602 000	- 33%
<i>dont vaches laitières</i>	5 700 000	3 716 000	- 35 %
UGB Viande	6 712 000	7 516 000	+ 12 %
<i>dont vaches allaitantes</i>	3 475 000	4 100 000	+ 18 %
Total UGB Bovins	15 051 000	13 118 000	- 13 %



Photo 8 : L'augmentation de la productivité laitière par vache constatée entre 1990 et 2010 en France a participé à la réduction des émissions des GES du secteur bovin enregistrée sur la même période.

• la diminution de l'utilisation des engrais minéraux, grâce à une meilleure valorisation agronomique des déjections animales (notamment dans le cadre du PMPOA – Plan de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole) et à un meilleur raisonnement de la fertilisation minérale qui ont permis de réduire les excédents d'azote ;

• les réductions de consommations d'énergie directe ou indirecte, de 8 % en raison des contextes économique et réglementaire qui ont incité les éleveurs à réduire leurs consommations.

Toutefois, dans le même temps, le poste des achats d'aliments a augmenté de 32 % (moindre autonomie alimentaire des exploitations), mais ce poste contribue relativement peu au bilan global (3 % en 2010).

GESEBOV : quelles émissions de GES en 2035 ?

Afin de faire le bilan des émissions de GES en 1990 et 2010 de l'élevage bovin et d'apprécier les évolutions possibles des émissions de GES entre 1990 et 2035, l'Institut de l'Élevage conduit actuellement le projet GESEBOV (financé par l'ADEME et les interprofessions lait et viande) avec pour partenaire l'INRA. Une analyse de l'évolution des systèmes de production, des effectifs animaux par catégorie animale et des pratiques d'élevage permet de suivre l'évolution des émissions de GES de 1990 à 2035 pour plusieurs scénarii mais également de voir quels objectifs de réduction des émissions peut atteindre la filière bovine.

Les différents scénarii en cours d'élaboration visent à appréhender l'évolution la plus probable de la production de lait et de viande à l'horizon 2035 (scénarii tendanciel) mais aussi à explorer des hypothèses plus prospectives et contrastées vis-à-vis de l'enjeu du changement climatique. Les scénarii évalués sont au nombre de 5 :

- **Scénario 1** : évolution tendancielle (basée sur les projections économiques actuelles en matière d'évolution de la consommation, du marché extérieur et de la production nationale) ;
- **Scénario 1 bis** : évolution tendancielle, avec mesures renforcées de réduction des GES ;
- **Scénario 2** : les filières françaises répondent à une forte demande mondiale en produits alimentaires ;
- **Scénario 3** : repli sur un marché intérieur couplé à une montée en gamme ;
- **Scénario 4** : sur la route du Facteur 4 : quelles conséquences pour l'élevage ?

Un potentiel de réduction de l'empreinte carbone compris entre 15 et 20 % d'ici 10 ans

Compte tenu de la forte variabilité des résultats environnementaux entre exploitations appartenant à un même système et du lien qui existe entre pratiques d'élevage et émissions de GES, de nombreux leviers sont identifiés aujourd'hui en vue de réduire les émissions de

GES (figure 8). Deux voies complémentaires permettent l'atténuation des émissions : l'optimisation des systèmes et l'amélioration de leur l'efficacité d'une part, et l'introduction de pratiques et techniques spécifiques pour la réduction des GES, d'autre part (Béguin *et al.*, 2012, Gerber *et al.*, 2013, Gac *et al.*, 2014b). La première voie peut rencontrer plus facilement l'adhésion des éleveurs car elle va également dans le sens de meilleures performances techniques et économiques, alors que la deuxième peut nécessiter de la technicité particulière et être parfois coûteuse.

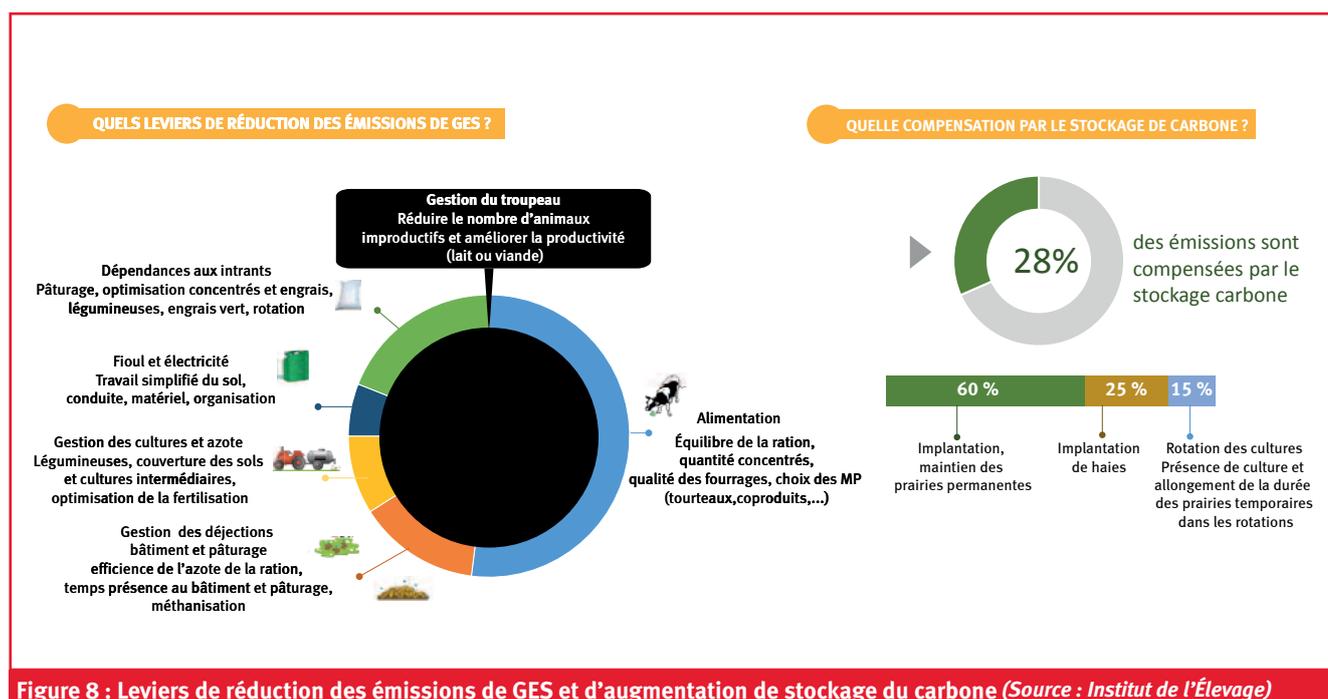


Photo 9: En élevages de ruminants, de nombreux leviers peuvent être actionnés en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Parmi eux figure l'optimisation de l'alimentation du troupeau via le choix des concentrés et la plus grande valorisation des surfaces en herbe.

Il ressort ainsi que les principales pistes de réduction des impacts vont concerner 6 facteurs principaux :

- **l'alimentation du troupeau.** Les systèmes optimisés (équilibre de la ration alimentaire) valorisant les surfaces en herbe réduiront les impacts environnementaux renforçant le lien entre performances technico-économiques et environnementales. Les moyens développés pour augmenter l'autonomie alimentaire des exploitations en jouant sur les concentrés (type et optimisation) et/ou les fourrages (qualité, type, stade de récolte, conservation...) représentent ainsi une alternative pour améliorer les bilans environnementaux.
- **la gestion des déjections** au bâtiment, au stockage et à l'épandage, en lien avec le type de déjections (lisier/fumier) permet par des pratiques adéquates (couverture des stockages, enfouissement des déjections,...) de réduire les émissions sur les différents segments. À la couverture d'ouvrages de stockage peuvent être associés des procédés de brûlages des gaz (torchères) ou de méthanisation (qui permet de produire de l'énergie renouvelable). Par ailleurs, les systèmes qui assurent une meilleure valorisation de l'herbe (temps au pâturage supérieur) réduisent les impacts environnementaux du fait du moindre recours aux intrants et de la réduction des émissions sur les segments bâtiment-stockage-épandage.

- **la conduite des cultures et des prairies en lien avec la fertilisation.** Le recyclage de l'azote des effluents de l'élevage permet à la fois de réduire les pertes environnementales et les achats d'engrais minéraux, sous réserve d'appliquer les bonnes pratiques (doses, périodes,...) pour réduire les apports. Développer les légumineuses permet de réduire la fertilisation des cultures mais aussi de remplacer une partie des intrants azotés pour l'alimentation du troupeau. La consommation de carburant peut être réduite par la réduction du travail du sol et par l'entretien, le choix et la conduite adaptée du matériel. La présence de prairies et l'implantation de haies permettent de séquestrer du carbone et de compenser les émissions.
- **les consommations d'énergie sous forme de fioul et d'électricité** peuvent être réduites grâce à la mise en place d'équipements spécifiques (pré-refroidisseur de lait, récupérateur de chaleur,...) ou à la mise en œuvre de pratiques économes telles que la conduite des engins, les techniques culturales simplifiées...
- **le niveau de dépendance aux intrants (concentrés, engrais minéraux...).** Le recours aux intrants influe sur les impacts environnementaux directs et indirects du processus de production. L'amélioration du bilan environnemental passe par une réduction/optimisation du recours aux intrants (concentrés, fertilisants azotés et phosphatés). L'ajustement des apports aux besoins réduit la dépendance énergétique, les excédents azotés..., le tout permettant de réduire les impacts environnementaux.
- **la gestion du troupeau** est essentielle et concerne tous les postes d'émission de GES. Les effectifs de renouvellement, les vaches présentant des problèmes sanitaires (boiteries, mammites, mortalité,...) influent sur le nombre d'animaux



improductifs, le chargement animal et les performances environnementales. C'est ainsi que les exploitations réduisant la part d'animaux improductifs réduiront le chargement animal et les impacts environnementaux (Moreau *et al.*, 2013). Le temps passé en bâtiment, influe également sur les résultats environnementaux. Par ailleurs, à même niveau d'intrants et mêmes effectifs..., une productivité laitière par vache et/ou un gain de poids vif supérieurs sont des gages de réduction de l'empreinte carbone au litre de lait et au kg de viande. Cette tendance est toutefois à relativiser en fonction du potentiel génétique. Certains gains de productivité, associés à un recours plus important aux

intrants, un temps de présence des animaux en bâtiment plus long, des risques sanitaires accrus, une part plus faible de prairies..., peuvent en effet se traduire, dans de nombreuses situations, par des impacts environnementaux supérieurs ramenés au kg de produit ; et dans tous les cas, par une pression plus forte sur le milieu.

Appliqués à différents systèmes de production lait et viande, le potentiel de réduction par levier est compris entre 0,8 et 9 % (tableau 11). Pour réduire significativement les émissions de GES, il faut donc activer plusieurs leviers. Le potentiel de réduction est dépendant du niveau d'efficacité de l'exploitation et de son contexte. Un levier efficace sur une ferme n'est pas obligatoirement applicable dans toutes les situations, et il convient d'écarter les solutions standards.

Tableau 11 : Exemples de leviers de réduction de l'empreinte carbone du lait et de la viande
(Source : Institut de l'Élevage)

	Système Lait de plaine		Système Lait de montagne	Système Viande naisseur
	Maïs	Herbe	(Herbe)	
Gestion du troupeau				
Augmentation de la productivité (lait/VL ou du nombre de veaux vendus/VA)	- 3,7 %	- 4,8 %	- 2,8 %	- 11 %
Réduction du taux de renouvellement	- 1,4 %	- 1,9 %	-	-
Réduction de l'âge au 1 ^{er} vêlage	- 2 % à - 6,9 %	- 6,4 %	- 3 %	- 7 %
Alimentation du troupeau				
Utilisation de concentrés à faible impact carbone	- 6,9 % à - 7,6 %	- 5,3 %	- 0,3 %	- 4 %
Ajout de lipides dans la ration	- 2,6 % à - 3 %	- 2,2 %	- 1,3 %	-
Gestion des cultures et azote				
Ajustement de la fertilisation	- 3,6 % à - 5,7 %	- 1 %	- 7 %	- 8 %
Utilisation de légumineuses	- 4,4 %	- 2,9 %	-	- 2 % à - 3 %
Gestion des déjections				
Allongement de la période de pâturage	- 1,4 %	-	-	-
Méthanisation	- 6,2 % à - 8,9 %	-	-	-
Gestion de l'énergie				
Réduction des consommations d'électricité et de fioul	- 1,1 %	- 0,8 %	- 1,1 %	- 1 %
Gestion des prairies et des haies				
Allongement de la durée des prairies temporaires	- 4 %	-	-	- 4 %
Implantation de haies	- 3 % à - 5 %	- 3 % à - 4 %	- 3 % à - 4 %	- 3 % à - 4 %

La combinaison d'un ou plusieurs leviers se traduit ainsi par un potentiel de réduction de l'empreinte carbone des produits lait et viande comprise entre 15 et 20 %.

De son côté, la FAO (Gerber et al, 2013) évalue les réductions potentielles de GES entre 18 et 30% si les producteurs d'un système, une région et un climat donnés adoptaient des pratiques aujourd'hui appliquées par les

10-25% des producteurs avec les plus faibles intensités d'émissions. En France, l'INRA précise qu'il est possible de réduire entre 10 et 30% (selon la méthodologie de comptabilisation) les émissions de gaz à effet de serre agricoles d'ici 2030 (Pellerin *et al.*, 2013).

D'autres techniques peu explorées tels que les additifs, les vaccins, la génétique nécessitent des recherches complémentaires, mais constituent également une voie prometteuse pour la réduction des émissions de GES du secteur bovin dans le futur proche.

Exemple d'un plan carbone construit en cohérence avec les objectifs de l'éleveur

Au-delà des gains permis par les leviers identifiés dans le **tableau 11**, toute construction de plan d'action carbone doit intégrer les autres impacts environnementaux mais également les aspects économiques et sociaux. Les évolutions sur la ferme doivent faire l'objet d'une réflexion avec l'éleveur vis-à-vis des coûts de fonctionnement et des investissements mais également du travail.

Lors de la construction d'un plan carbone, différents scénarii sont explorés afin de trouver une cohérence globale au niveau de la ferme en fonction des objectifs de l'éleveur et des contraintes structurelles de la ferme. La deuxième phase est une phase d'aide à la décision permettant à l'éleveur d'appréhender concrètement les tenants et aboutissants de la mise en œuvre d'un plan carbone compte tenu de la trajectoire de l'exploitation (**tableau 12**). Les impacts du plan carbone sur les résultats environnementaux, la performance et les conditions de travail permettent de déterminer les gains potentiels sur l'exploitation (**tableau 13**).

Dans une troisième phase, il s'agira d'accompagner l'éleveur dans la mise en œuvre de ce plan carbone et de le faire évoluer en fonction des résultats techniques obtenus et de l'évolution du contexte de la ferme. C'est un processus d'amélioration continue qui s'engage.

Tableau 12 : Construction d'un plan carbone intégrant la trajectoire de l'exploitation (Source : Institut de l'Élevage)

Évolutions retenues	Situation initiale	Objectif à atteindre
Production de l'atelier lait (litres/an)	580 000	700 000
Effectifs vaches laitières	73	85
Production de lait standard (litres/an/VL)	8 100	8 800
Âge au 1 ^{er} vêlage (mois)	27	25
Fermeture du silo de maïs ensilage (jours)	90	Silo ouvert toute l'année
Pâturage et gestion de l'herbe : conserver en partie la part de pâturage et améliorer la qualité protéique des fourrages	43 ha de prairies et 3 ha de méteil	50 ha de prairies complétés par l'achat de 5 ha de maïs ensilage + ensilage méteil + luzerne. Récolte précoce des fourrages
Remplacement du tourteau de colza par le tourteau de soja	50% colza-50% soja	100% tourteau de colza
Optimisation de la fertilisation azotée	132 kg N/ha lait	106 kg N/ha lait

Tableau 13 : Gains technico-économiques et environnementaux du plan d'action (Source : Institut de l'Élevage)

Indicateurs	Évolution	Commentaires
Empreinte carbone nette du lait (kg CO ₂ eq/l)	- 6 %	<ul style="list-style-type: none"> Remplacement du tourteau de soja par le tourteau de colza Réduction du nombre d'animaux improductifs (gain de 2 mois d'âge au vêlage) Optimisation de la production laitière par vache sans impact sur les achats de concentrés Réduction du stockage de carbone
Eutrophisation (kg PO ₄ eq/ha)	- 4 %	Amélioration du bilan azote de 95 kg N/ha lait à 82 kg N/ha lait
Consommation d'énergie (MJ/litre de lait)	- 2 %	Réduction des achats d'azote minéral
Biodiversité (m ² /ha)	+ 10 %	Implantation de prairies supplémentaires
Performance nourricière (nombre de personnes nourries)	+ 21 %	Production laitière et production de viande en augmentation
Impact économique - Budget partiel	+ 17 000 €	Revenu supplémentaire de vente de lait et viande intégrant charges en plus (concentrés et fourrages)

Réduire les émissions de GES : à quel coût ?

Une analyse de la performance économique d'un échantillon d'exploitations comptant plus de 30% de maïs dans la SFP a été conduite à l'aide de deux indicateurs économiques que sont la productivité de la main d'œuvre exprimée en l/UMO et l'efficacité au travers de l'EBE/produit brut. Le calcul de l'empreinte carbone du lait de ces mêmes exploitations permet de mettre en évidence le lien entre performances économiques et environnementales. Les exploitations performantes sur le plan économique présentent l'impact carbone le plus faible et les exploitations les moins performantes l'impact carbone le plus élevé (figure 9).

Les exploitations aux résultats économiques moyens possèdent soit une faible productivité de la main d'œuvre soit une moindre efficacité. L'amélioration des résultats économiques, qui passera pour les premières par une amélioration de la productivité du troupeau et pour les secondes par une optimisation des pratiques sans baisse de production laitière, permettra également de converger vers une réduction des émissions de GES au litre de lait.

Compte tenu du lien entre les performances technique, économique et environnementale, la réduction des émissions de GES s'accompagne généralement d'une amélioration de la productivité technique et économique des systèmes. C'est pourquoi préalablement à la mise en œuvre de nouvelles techniques complexes et parfois onéreuses, nombre de solutions techniques sont d'ores et déjà disponibles et applicables en élevage à moindre coût, voire avec un intérêt économique certain pour l'éleveur. C'est ainsi que les éleveurs laitiers qui ont diminué les achats d'engrais et amélioré la productivité par vache entre 1990 et 2010 ont d'une part, réduit de 15 à 25 % leur empreinte carbone et de 10 à 66 % l'impact eutrophisation et, d'autre part, abaissé les coûts de production (Dollé *et al.*, 2013a).

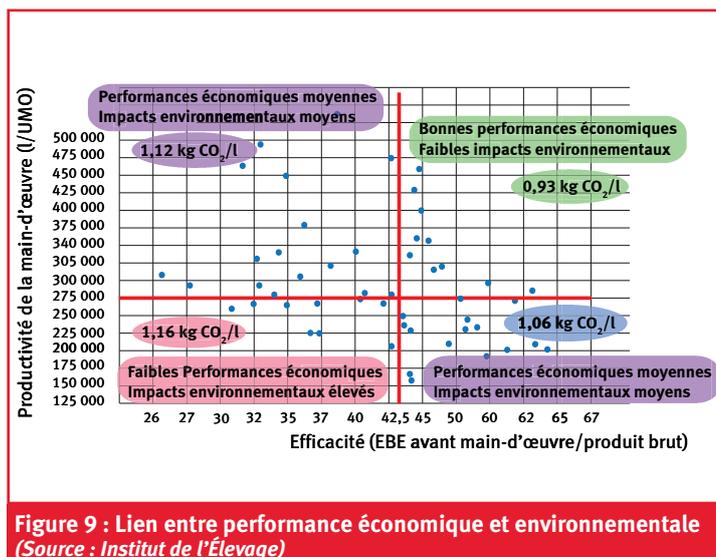


Figure 9 : Lien entre performance économique et environnementale (Source : Institut de l'Élevage)

D'après les travaux de l'INRA sur le chiffrage des mesures d'atténuation des émissions de GES à l'échelle nationale (Pellerin *et al.*, 2013), trois catégories de leviers à l'impact économique distinct peuvent ainsi être identifiés (figure 10) :

- **les leviers économiquement rentables** pour les agriculteurs qui se traduisent par des économies. Les pratiques concernent les économies d'énergie, l'alimentation, la maîtrise de la fertilisation, la gestion des prairies et l'utilisation des légumineuses.
- **les leviers d'un coût neutre ou faible** inférieur à 50 €/tonne de CO₂ concernent les techniques culturales simplifiées et la mise en œuvre de la méthanisation ou de torchères associées à la couverture des ouvrages de stockage.
- **les leviers au coût de mise en œuvre élevé**, supérieur à 50 €/tonne de CO₂ concernent l'implantation de couverts (cultures intermédiaires, haies, bandes enherbées,...) et l'ajout de lipides dans les rations.

À l'échelle française, il convient de noter que les pratiques de réduction des émissions de GES positives pour l'économie représentent 40 % du potentiel de réduction des émissions du secteur agricole. C'est pourquoi nombre d'actions pourront être mises en œuvre en exploitation de manière à engager des démarches vertueuses sur le plan du climat et favorables à la durabilité des élevages.

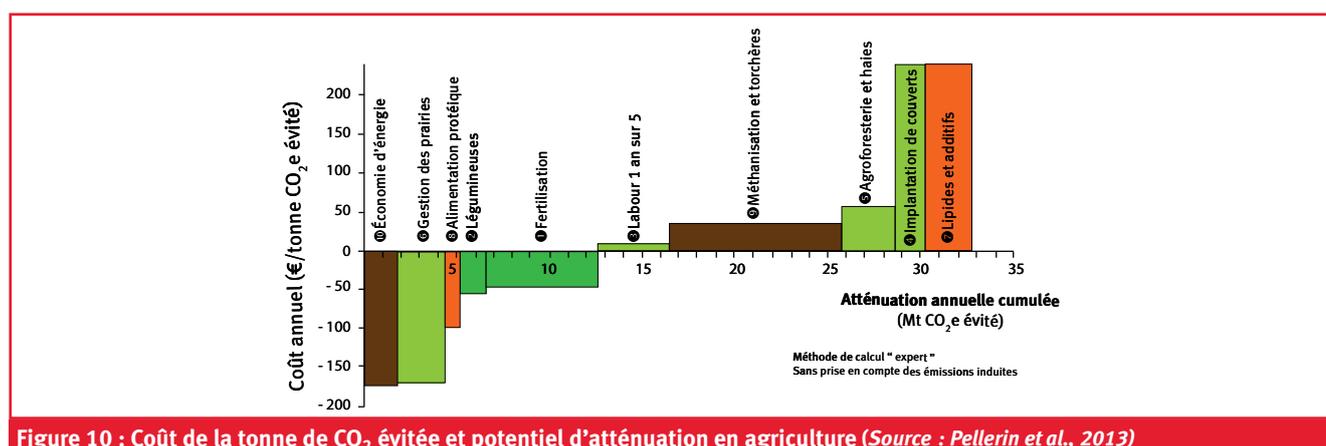


Figure 10 : Coût de la tonne de CO₂ évitée et potentiel d'atténuation en agriculture (Source : Pellerin *et al.*, 2013)

Les outils d'appui technique et d'amélioration des performances environnementales des élevages de ruminants

Selon la FAO, la lutte contre le changement climatique passe par la mise en place de démarches vertueuses rassemblant l'ensemble des acteurs des filières. Les organisations collectives sont citées comme ayant un rôle essentiel à jouer dans la prise de conscience, la dissémination des leviers d'actions et la communication sur les progrès réalisés. Il semble ainsi crucial de transférer les connaissances sur le terrain en menant des projets d'envergure qui impliquent tous les acteurs de la filière de manière coordonnée. L'approche doit être collective, structurée, harmonisée et suivre une stratégie si l'on veut assurer une réelle mise en application des leviers. Les réseaux de fermes de démonstration, les réseaux collaboratifs, les actions concertées,... jouent ainsi un rôle essentiel dans la diffusion des bonnes pratiques et la réduction de la contribution de l'élevage aux émissions de GES.

Dans ce cadre, 3 outils ont été développés en France :

- **CAP'2ER** pour évaluer les performances environnementales des exploitations d'élevage et aider à la mise en œuvre de plans d'action;
- deux plans carbone **CARBON DAIRY** (pour la production laitière) et **BEEF CARBON** (pour la production de viande), avec pour objectif annoncé de réduire de 15 à 20 % l'empreinte carbone du lait et de la viande bovine produite en France d'ici 10 ans.

CAP'2ER, l'outil d'évaluation environnementale et d'aide à la décision en élevage de ruminants

Afin de préciser les interactions entre un élevage et l'environnement et d'engager des démarches de progrès avec les éleveurs, les filières d'élevage de ruminants ont développé un d'outil d'évaluation et d'appui technique : CAP'2ER.

Les objectifs de CAP'2ER

CAP'2ER (Calcul Automatisé des Performances Environnementales en Elevage de ruminants) a pour objectif d'évaluer les impacts environnementaux à l'échelle d'une exploitation d'élevage de ruminants et par atelier (bovin lait, bovin viande, ovin viande).

CAP'2ER, accessible sur www.cap2er.idele.fr, vise à :

- sensibiliser les éleveurs et les conseillers à la prise en compte des enjeux environnementaux (positifs et négatifs) mais également économiques et sociaux ;
- évaluer l'empreinte environnementale des produits des élevages de ruminants (lait, viande) ;

- situer les exploitations par rapport à des références ou à un groupe d'exploitations, et créer un observatoire national ;
- faire le lien entre les performances environnementales, techniques et économiques ;
- identifier les marges de progrès et mettre en place des actions pour améliorer l'empreinte environnementale des exploitations tout en assurant leur pérennité.

CAP'2ER, un outil à deux niveaux

• **CAP'2ER Niveau 1 pour sensibiliser** : un outil pédagogique à destination du grand public, des étudiants, des éleveurs et des conseillers dont l'objectif est de sensibiliser et de réaliser une première évaluation rapide des performances environnementales.



Figure 11 : Exemples d'écrans de l'outil CAP'2ER

• **CAP'2ER Niveau 2 pour agir** : un outil d'aide à la décision destiné aux conseillers/techniciens dont l'objectif est de réaliser une évaluation fine de l'empreinte environnementale, d'identifier des marges de progrès et de construire un plan d'actions.



La conformité de CAP'2ER aux standards méthodologiques

L'évaluation des émissions de gaz à effet de serre dans CAP'2ER s'effectue sur le **Périmètre 3** défini dans la **figure 1**. CAP'2ER est fidèle aux recommandations du GIEC (Groupement Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat), qui propose trois niveaux d'évaluation (Tiers 1, 2, 3) distincts selon le niveau de finesse de l'évaluation. CAP'2ER est également fidèle aux principes méthodologiques décrits par la FIL (2010) et la FAO (LEAP, 2015), à l'exception de l'allocation lait/viande.

• Quantification des émissions de GES :

- Emissions de CH₄ issu de la fermentation entérique (Tier 3) : évaluées à partir de la matière organique digestible (MOD) selon Sauvart *et al.* (2011),
- Emissions de CH₄ issue de la fermentation des déjections (Tier 2) : évaluées à partir de la matière organique non digestible (MOND). La matière organique de la ration des animaux constitue ainsi le fil rouge pour l'évaluation des émissions de méthane issues de la rumination et des déjections.
- Emissions de N₂O issue des déjections (Tier 2) : le protoxyde d'azote est évalué à partir de l'azote excrété par les animaux (= azote ingéré *via* la ration - azote fixé par le lait et la viande). Les émissions sont ensuite déterminées selon le type de gestion des déjections et la température annuelle moyenne.
- Emissions de N₂O issues du sol (Tier 1) : cultures, pâturage.
- Emissions de CO₂ : émissions directes (carburants) et émissions indirectes (intrants : aliments, engrais, paille, animaux achetés...).

• Quantification du stockage/déstockage de carbone :

- Les prairies et les haies : respectivement + 570 kg C/ha/an et + 125 kg C/100 ml/an,
- Les prairies temporaires en rotation avec des cultures : + 80 kg C/ha/an sur la base d'une rotation de 5 ans de prairies et 3 ans de cultures,
- Les cultures annuelles non en rotation avec des prairies temporaires : - 160 kg C/ha/an.

• Allocation et unité fonctionnelle :

- Application de l'allocation par phase de production (en moyenne 75 % affecté au lait et 25 % à la viande),
- Les impacts sont rapportés par litre de lait corrigé et par kg de poids vif.

CAP'2ER, un outil multicritère pour évaluer la durabilité des exploitations d'élevage de ruminants

indicateurs environnementaux afin de mieux cerner les autres impacts potentiels sur l'environnement (**tableau 14**) et la durabilité des exploitations.

Au-delà de l'enjeu représenté par le changement climatique, CAP'2ER intègre les autres

Tableau 14 : Impacts environnementaux évalués dans CAP'2ER

			
Changement climatique	Qualité de l'eau (eutrophisation)	Qualité de l'air (acidification)	Épuisement des ressources fossiles
kg CH ₄ , N ₂ O, kg CO ₂ ⇒ kg CO ₂ eq	kg N lessivé, kg P ruisselé ⇒ kg PO ₄	kg NH ₃ volatilisé ⇒ kg SO ₂	Énergie directe et indirecte ⇒ MJ

L'évaluation environnementale est complétée par des indicateurs traduisant les contributions positives de l'activité d'élevage sur la biodiversité et le stockage de carbone, mais également par un indicateur de performance nourricière traduisant la fonction première de l'activité agricole (**tableau 15**).

De manière à apprécier la durabilité des exploitations, des indicateurs économiques et de conditions de travail viennent compléter le jeu des indicateurs. Cette dimension vise à intégrer l'évaluation de la triple performance économique, sociale et environnementale, de manière à construire des plans d'action en cohérence avec la durabilité des exploitations d'élevage de ruminants à moyen et long terme.

Tableau 15 : Contributions positives et durabilité des exploitations évaluées dans CAP'2ER

Maintien de la biodiversité	Stockage de carbone	Performance nouricière	Performance économique	Conditions de travail
ha eq de biodiversité	kg carbone/an	Nombre de personnes nourries/an	Coût de production, EBE /produit brut,...	Quantité de travail, pénibilité

CAP'2ER, des indicateurs de pratiques pour construire des plans d'action

Aussi indispensables soient-ils pour qualifier les performances d'un élevage, les indicateurs environnementaux et de durabilité doivent être reliés à des indicateurs de pratiques utilisés quotidiennement par les éleveurs et les techniciens.

En évaluant en parallèle les deux types d'indicateurs, CAP'2ER permet ainsi de mettre en avant les pratiques qui doivent évoluer de manière à améliorer les performances techniques d'un élevage et les performances environnementales (figure 12).

Ces indicateurs, qui concernent la gestion du troupeau, l'alimentation, la fertilisation et valorisation des déjections, sont communément mobilisés dans le cadre des missions de conseil assurées auprès des éleveurs.

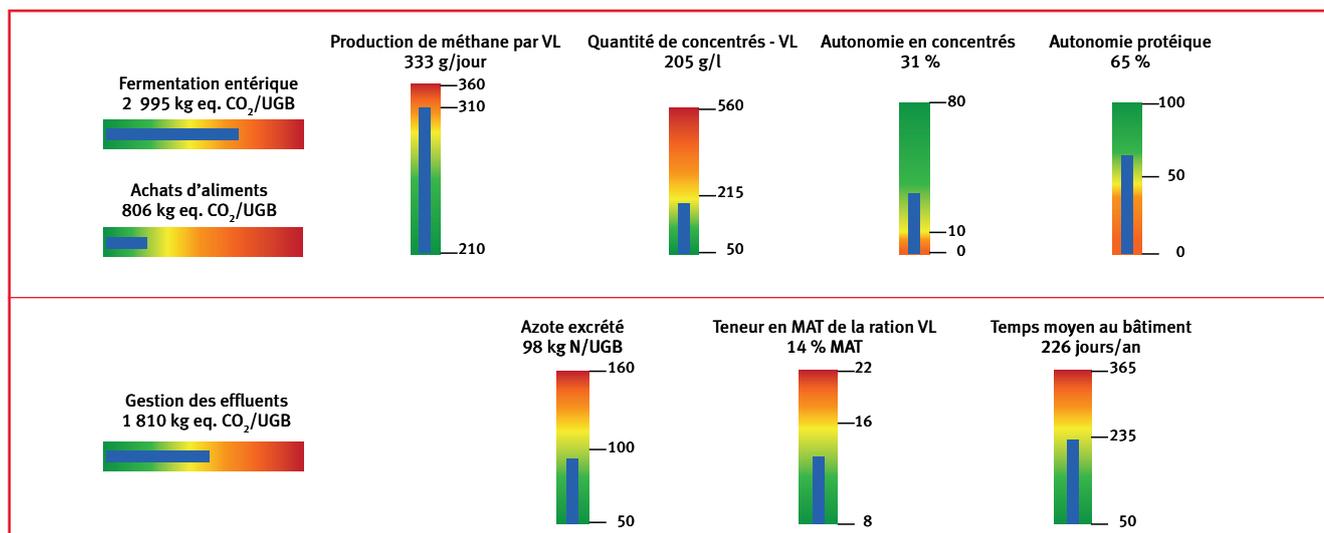


Figure 12 : Liens entre environnement et pratiques. Exemples de la fermentation entérique/achats d'aliments et de la gestion des effluents d'une exploitation laitière

CARBON DAIRY et BEEF CARBON : 2 outils pour la mise en œuvre de plans carbone en exploitations bovines

L'Institut de l'Élevage en partenariat avec les interprofessions lait (CNIEL) et viande (INTERBEV) et les acteurs du développement (Chambres d'Agriculture, Entreprises de conseil en élevage, Coopératives) ont initié CARBON DAIRY et BEEF CARBON, deux plans carbone d'envergure destinés à enclencher la dynamique de réduction de l'empreinte carbone du lait et de la viande produits en France.

Carbon Dairy et Beef Carbon : les filières lait et viande passent à l'action

Carbon Dairy et Beef Carbon, qui visent à réduire les empreintes carbone du lait et de la viande

bovine et 15 à 20 % d'ici 10 ans, sont deux programmes aux objectifs communs :

- sensibiliser les professionnels à la réduction des émissions des GES en élevages bovins ;
- fédérer les acteurs de l'élevage bovin autour de ces sujets ;
- lancer une démarche collective, pour avoir un réel impact sur le terrain ;
- élaborer des outils harmonisés mis en œuvre par les conseillers d'élevage ;
- ajouter au conseil les préoccupations environnementales.

Au-delà des partenaires nationaux et régionaux, plus de 6 000 éleveurs sont impliqués dans la démarche (tableau 16). De portée européenne, Beef Carbon ambitionne également de construire une stratégie bas carbone avec les partenaires irlandais, italiens et espagnols. Ces programmes sont déployés dans des régions aux contextes pédoclimatiques variés et représentatifs de la production bovine nationale.

Les 5 points forts des programmes Carbon Dairy et Beef Carbon

1) Partager un cadre commun centré sur les méthodologies d'évaluation, les outils mobilisés et les leviers d'action.

2) Promouvoir des systèmes d'élevage bas carbone par le biais de fermes pilotes afin de démontrer la faisabilité de la démarche et évaluer la triple performance environnementale, économique et sociale (aspect travail).

3) Créer un observatoire de fermes de démonstration et un réseau d'éleveurs et de techniciens pour lancer une dynamique nationale.

4) Construire et promouvoir une démarche collective transparente et certifiée pour renforcer la confiance des acteurs, des clients et des consommateurs.

5) Mettre en œuvre les plans d'action carbone et construire les partenariats nécessaires à leur déploiement. Cette action devra permettre de démontrer à toute la chaîne de production, l'intérêt et la faisabilité d'une telle démarche.

Ces deux programmes fédèrent les principaux acteurs des filières lait et viande. Ils constituent le point de départ des plans carbone lait et viande nationaux, qui visent un déploiement dans d'autres régions, d'autres exploitations avec l'ensemble des partenaires du conseil et les transformateurs (coopératives et industriels).

Tableau 16 : Les chiffres-clés des programmes Carbon Dairy et Beef Carbon

CARBON DAIRY, plus d'information sur www.carbon-dairy.fr/



BEEF CARBON



Ces dernières années, un investissement important de la part des acteurs de la Recherche-Développement a contribué à de réelles avancées méthodologiques permettant la production d'outils et de référentiels opérationnels. Alors que ces outils continueront à évoluer et à s'affiner au fil des années, il est important d'ores et déjà de lancer des actions de terrain en réponse aux objectifs de réduction des impacts environnementaux. Autour d'un cadre commun et harmonisé au niveau national, les projets Carbon Dairy et Beef Carbon répondent à cette volonté de diffusion et d'implications des acteurs des filières. Ils mettent en évidence l'implication des filières lait et viande pour la prise en compte des enjeux environnementaux dans le fonctionnement des exploitations d'élevage à moyen et long terme.

Ils se sont engagés et témoignent

Normandie - Ferme bovin lait : “ M’engager dans une démarche de réduction des GES m’a permis de mieux comprendre les émissions de GES associées à mon activité et de me positionner par rapport à des repères. Pouvoir expliquer et comprendre notre impact est le premier pas vers l’amélioration. L’évaluation environnementale permet une analyse globale de l’atelier et les leviers d’action identifiés (optimisation de la quantité de concentrés et l’efficacité de l’azote de la ration) ont un lien direct avec le compte de résultat de la ferme. L’analyse comptable a abouti à une conclusion identique. ”

Bretagne - Lycée agricole – Ferme pilote Carbon Dairy : “ L’un des rôles des exploitations des lycées agricoles est l’engagement dans l’expérimentation et l’innovation. Et au-delà des objectifs économiques et pédagogiques, l’exploitation du lycée a pour objectif la réduction de son impact sur l’environnement. Le programme plan carbone s’inscrit donc naturellement dans le projet de l’exploitation. Depuis de nombreuses années, les BTS ont des projets de communication autour de l’environnement et de l’énergie. ”

Nord pas de Calais – Ferme bovin lait et viande : “ Mon système fourrager est essentiellement constitué de maïs et d’herbe pâturée et j’éleve également des bœufs. Mon empreinte carbone a donc été évaluée par comparaison à une référence moyenne correspondant à ce type de système. Les résultats sont positifs, cela confirme que je vais dans le bon sens et je sais désormais sur quoi je dois travailler. Le premier point concerne l’alimentation du troupeau. On vérifiera les niveaux d’azote des rations dans le but de réduire l’azote excrété. Côté autonomie alimentaire, j’utilise déjà en partie des concentrés de l’exploitation : du blé, de la féverole et je corrige mes rations avec du tourteau de colza qui a un impact GES moins élevé que le soja ”.

Lorraine – Ferme bovin lait et ovins : “ L’approche n’est pas seulement environnementale. Sont évaluées la performance économique, les émissions de gaz à effet de serre et la dimension sociale de l’élevage. Les associés considèrent que l’économie et l’environnement sont tout à fait compatibles : la non-performance économique est souvent liée à une non-performance environnementale. Ce premier diagnostic a permis de mettre en évidence les points à améliorer sur l’exploitation, comme l’élevage des génisses et la gestion de la fertilisation N, P et K.

Bibliographie

- ADEME, Solagro, Oréade-Brèche, ISL, 2012.** *Agriculture et Facteur 4*. Synthèse d'étude. 16 p.
- AGRIBALYSE® version 1.2, mars 2015.** www.ademe.fr/agribalyse
- Amiaud *et al.*, 2014.** Un espace de biodiversité au service des productions herbivores : la prairie permanente : Institut de l'Élevage, 24 p.
- Arrouays D., Balesdent J., Germon J.C., Jayet P.A., Soussana J.F., Stengel P., 2002.** Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Expertise scientifique collective, INRA report, 332 p.
- Basset-Mens C., Ledgard S., Boyes M., 2009.** Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological economics*, 68, 1615-1625.
- Beguïn E., Lorinquer E., Pavie J., Ferrand M., Réseau d'Élevage Bovin lait de Normandie, 2012.** Analyse environnementale multicritères et voies d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES) des systèmes d'exploitation bovins lait. *Renc. Rech. Ruminants*, 19, 25-28.
- Benoit M, Laignel G. Roulenc M., 2010.** Emissions de GES et consommations d'énergie en élevage ovin viande. *Renc. Rech. Ruminants*, 17.
- CITEPA, 2014.** Rapport national d'inventaire. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Séries sectorielles et analyses étendues. Format SECTEN. Avril 2014. Citepa, Paris.
- CITEPA 2015, Rapport SECTEN - Edition 2015 portant sur l'année, 2013a.**
- Dollé J.B., Moreau S., Foray S, 2013a.** Combiner production et environnement, un défi pour la filière laitière. Institut de l'Élevage, 16 p.
- Dollé J.-B., Faverdin P., Agabriel J., Sauvart D., Klumpp K., 2013b.** Contribution de l'élevage bovin aux émissions de GES et au stockage de carbone selon les systèmes de production : *Fourrages*, 215, 181-191.
- Dollé J.-B., Delaby L., Plantureux S., Moreau S., Amiaud B., Charpiot A., Manneville V., Chanséaume A., Chambaut H., Le Gall A., 2013 c.** Impact environnemental des systèmes bovins laitiers français. In : Numéro spécial, La vache et le lait. Faverdin P., Leroux C., Baumont R. *INRA Prod. Anim.*, 26, 2, 207-220.
- Dollé J.-B., Agabriel J., Peyraud J.-L., Faverdin P., Manneville V., Raison C., Gac, A., Le Gall A., 2012.** Les gaz à effet de serre en élevage bovin : évaluation et leviers d'action. In : *Gaz à effet de serre en élevage bovin : le méthane*. Doreau M., Baumont R., Perez J.M. (Eds). Dossier, *INRA Prod. Anim.* 24, 415-432.
- Farruggia A., Lacour C., Zapata J., Piquet M., Baumont B., Carrère P., Hulin S., 2012.** DIAM, un diagnostic innovant déclinant les équilibres, production, environnement et qualité des fromages au sein des systèmes fourragers des zones AOP du Massif Central. *Renc. Rech. Ruminants*, 19, 13-16.
- FIL, 2010.** Approche commune au calcul de l'empreinte carbone pour l'industrie laitière. Guide de la FIL sur la méthodologie standard d'analyse du cycle de vie appliquée à l'industrie laitière. Bulletin 445. FIL, Bruxelles, 47 p.
- Flysjö A., Thrane M., Hermansen J-E., 2014.** Method to assess the carbon footprint at product level in the dairy industry. *International Dairy Journal*, 34, 86-92.
- Gac A., Lorinquer E., Moreau S., Manneville V., Dollé J.B., Château L., Devillers P.H., 2015.** Empreinte environnementale des viandes bovines et ovines françaises et étrangères : revue bibliographique et évaluations des impacts environnementaux potentiels. Institut de l'Élevage, Collection Résultats.
- Gac A., Salou T., Espagnol S., Ponchant P., Dollé J.-B., van der Werf H.M.G., 2014.** An original way of handling co-products with a biophysical approach in LCAs of livestock systems. Proceedings of the 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014, 7 p.
- Gac A., Agabriel J., Dollé J.-B., Faverdin P., van der Werf H., 2014.** Le potentiel d'atténuation des gaz à effet de serre en productions bovines. *Innovations Agronomiques*, 37, 67-81.
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson, B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci A., Tempio G, 2013.** Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Guerci M., Bava L., Zucali M., Tamburini A., Sandrucci A., 2013.** Effect of summer grazing on carbon footprint of milk in Italian Alps: a sensitivity approach. *Journal of Cleaner Production*, 1-9.
- IPCC, 2006.** IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental panel on climate change. Nat. Greenhouse Gas Inv. Ref. Manual, vol. 4.
- ISO, 2006.** NF EN ISO 14044 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices. Ed AFNOR, La Plaine Saint-Denis, France. 49 p.
- Klumpp K., Talleg T., Guix N., Soussana JF., 2011.** Long-term impacts of agricultural practices and climatic variability on carbon storage in a permanent pasture. *Global Change Biology*, 17, 3534–3545.
- LEAP, 2015.** Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment – Draft for public review. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. FAO, Rome, Italy.
- Ledgard S.F., 2011.** Carbon footprinting of New Zealand lamb from the perspective of an exporting nation, *Animal Frontiers*.
- Manneville V. *et al.*, 2014.** La vache, la haie et la chauve-souris : les acteurs d'un agroécosystème à bonne valeur écologique. Institut de l'Élevage, 27 p.
- Moreau S., Manneville V., Morel K., Agabriel J., Devun J., 2013.** Le compromis performances de production et impacts environnementaux : méthode et analyse des résultats dans les élevages bovin allaitants. *Renc. Rech. Ruminants*, 20, 311-314.
- Moreau S., Devun J., Manneville V., 2013.** Concilier production et environnement en systèmes bovins allaitants : état des lieux et pistes de progrès, Institut de l'Élevage, 12 p.
- Mudge P.L., Wallace D.F., Rutledge S., Campbell D.I., Schipper L.A., Hosking C.L., 2011.** Carbon balance of an intensively grazed temperate pasture in two climatically contrasting years, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144, 271-280.

Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.P., Chenu C., Colenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., 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. Rapport d'étude, INRA (France), 454 p.

Pelletier N., Pirog R., Rasmussen R., 2010. Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*.

Schulze E.D., Luysaert S., Ciais P., Freibauer A., Janssens I.A., Soussana J.F., Smith P., Grace J., Levin I., Thiruchittampalam B., Heimann M., Dolman A.J., Valentini R., Bousquet P., Peylin P., Peters W., Rodenbeck C., Etiope G., Vuichard N., Wattenbach M., Nabuurs G.J., Poussi Z., Nieschulze J., Gash J.H., 2009. Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse-gas balance, *Nature Geoscience*, 2, 842-850.

Soussana J.F., Lüscher A., 2007. Temperate grasslands and global atmospheric change: a review. *Grass Forage Sci*, 62,127-134.

Soussana J.F., Loiseau P., Vuichard N., Ceschia E., Balesdent J., Chevallier T., Arrouays D., 2004. Carbon cycling and sequestration opportunities in temperate grasslands. *Soil Use and Management* 20, 219-230.

Soussana J.F., Tallec T., Blanfort V., 2010. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grassland, *Animal*, 4, 334-350.

Tubiello F.N., Salvatore M., Córdor Golec R.D., Ferrara A., Rossi S., Biancalani R., Federici S., Jacobs H., Flammini A., 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks. 1990 – 2011 Analysis. ESS Working Paper No. 2, Mar 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Veysset P., Lherm M., Bébin D., Roulen M., Benoît M., 2014. Variability in greenhouse gas emissions, fossil energy consumption and farm economics in suckler beef production in 59 French farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 188, 180-191.

Williams A., Audsley E., Sandars D., 2012. A systems-LCA model of the stratified UK sheep industry. 8th Int. Conference on LCA in the Agri-Food Sector, 1-4 Oct 2012, 304-309.

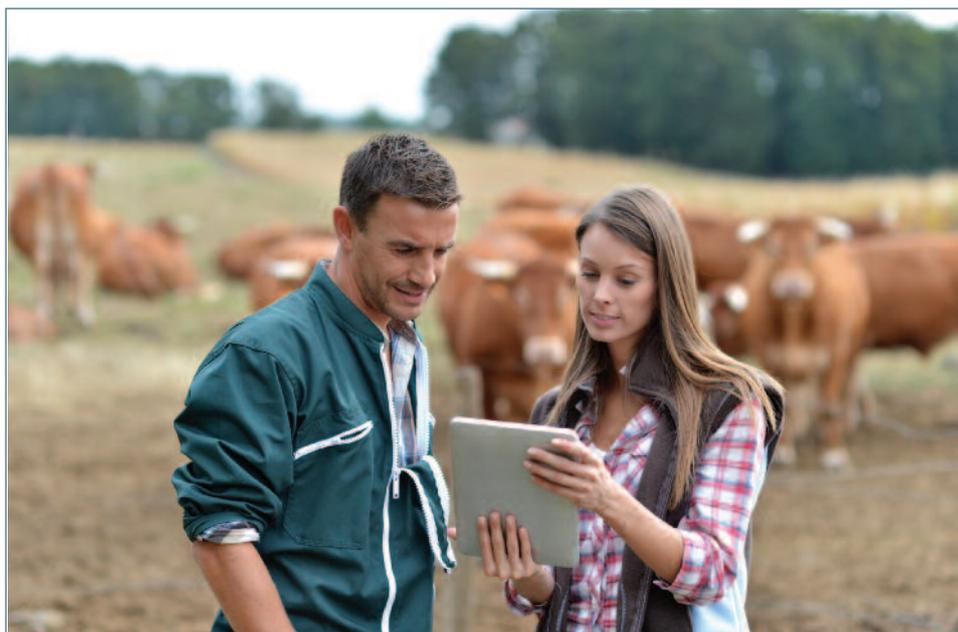


Photo 10 : Pour atteindre l'objectif de réduction des empreintes carbone du lait et de la viande de 15 à 20 % d'ici 10 ans, les acteurs des filières se mobilisent, en lançant des actions auprès des éleveurs, notamment via les projets Carbon Dairy et Beef Carbon.

Collection : L'Essentiel

Rédaction : Jean-Baptiste Dollé, Sindy Moreau, Catherine Brocas, Armelle Gac, Jean Raynal et Anne Duclos (Institut de l'Élevage)

Conception graphique : Bêta Pictoris - Mise en page : Marie-Thérèse Gomez (Institut de l'Élevage)

Crédit photos : MC. L'hôpital, Jacques Baudry, Christian Dupraz et Philippe Pointereau (INRA), C. Hesly et Zaninotto (Cniel), Ben Hillion et Philippe3 (FlickrR), Aleksas Kvedoras (Fotolia.com), Fotolia

Édité par :

Institut de l'Élevage - 149 rue de Bercy - 75595 Paris cedex 12 - www.idеле.fr

Dépôt légal :

Juillet 2015 - © Tous droits réservés à l'Institut de l'Élevage

Réf: 00 15 304 014 - ISBN : 978-2-36343-625-2

Impression : Imprimerie Centrale de Lens



Les résultats présentés dans cette brochure sont issus de travaux financés par :

