

Note d'étude n°6, septembre 2005

Benoît Leguet

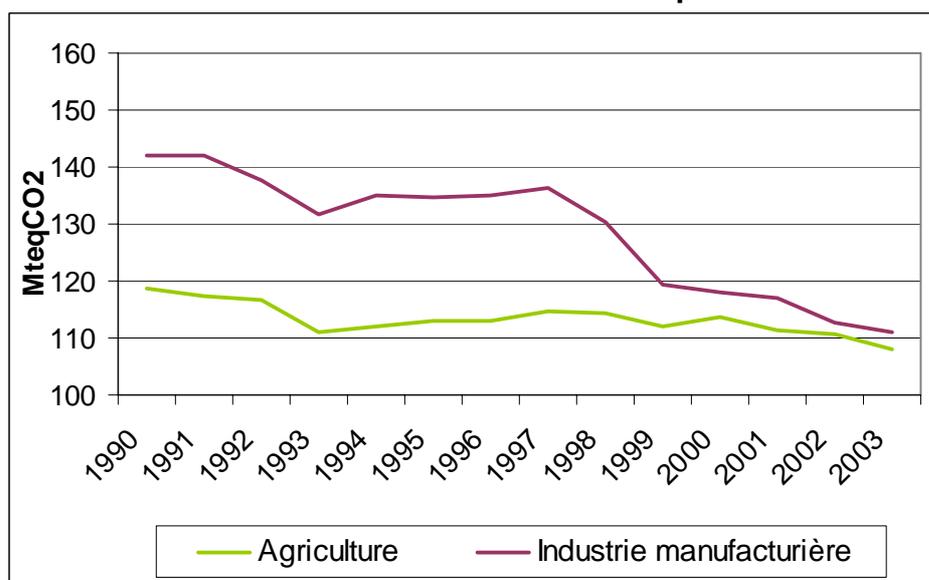
01 58 50 98 18

benoit.leguet@caissedesdepots.fr

Agriculture et réduction des émissions de gaz à effet de serre

L'agriculture est, en France, le troisième secteur émetteur de gaz à effet de serre (GES), derrière le transport et l'industrie manufacturière. Le secteur agricole français a en effet émis, en 2003, 107,9 millions de tonnes d'équivalent CO₂ (MteqCO₂), soit environ un cinquième des émissions françaises de GES, hors « puits de carbone ». Malgré un fort potentiel technique de réduction, le secteur n'a que peu réduit ses émissions de GES depuis 1990, contrairement à d'autres secteurs comme l'industrie manufacturière. Ceci suggère la mise en place d'instruments d'incitation visant à réduire ces émissions. Le profil des sources d'émissions d'origine agricole, diffuses et émettant majoritairement des GES autres que le CO₂, rend peu probable l'inclusion du secteur dans le système européen des quotas. Il faut alors imaginer d'autres mécanismes qui rendent possible la valorisation des réductions d'émissions du secteur agricole. Parmi les systèmes envisageables, les mécanismes de projet mis en place à l'international invitent à réfléchir à la mise en place de « projets domestiques » sur le sol français.

Figure 1 - Evolutions comparées des émissions absolues de GES du secteur agricole et de l'industrie manufacturière en France depuis 1990



Source : CITEPA

Remerciements :

Cette note a largement bénéficié des interventions et des discussions au sein du groupe de travail SAF-CDC « Agriculture et CO₂ ». Plusieurs experts ont par ailleurs fait des observations et suggestions sur des versions préliminaires de cette note, parmi lesquels : Pierre-Alain Jayet (INRA), Guillaume Gaborit (CITEPA), Jérôme Mousset (ADEME), Valéry Elisséeff (SAF). Ils en sont ici remerciés ; l'auteur reste cependant seul responsable des éventuelles erreurs et omissions.

Pour les besoins de la présente note, nous retiendrons comme sources d'émissions de GES du secteur agricole les activités agricoles *stricto sensu* : cultures, élevage, et consommation d'énergie des engins agricoles ou des activités agricoles. Les activités industrielles de transformation des matières premières agricoles ou de production d'intrants (engrais, produits phytosanitaires, etc.)¹ sont donc exclues du périmètre d'étude. Par ailleurs, les questions de coûts et de gisement de réductions d'émissions ne seront pas abordées dans cette note.

I. Le secteur agricole : des émissions pas comme les autres

Cette première partie présente les différentes sources d'émission du secteur agricole, en fournissant quelques ordres de grandeur, ainsi que les particularités de ces émissions.

A. Origine des émissions agricoles

Les cultures et pâturages

Les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) des cultures et pâturages sont liées à l'épandage d'azote sous forme de déjections animales et d'engrais minéraux. Elles contribuent en France à plus de 50 MteqCO₂, soit près de 9 % des émissions nationales de GES² : c'est plus que l'ensemble des émissions liées à la production d'électricité et au chauffage urbain. Au niveau européen, les émissions de N₂O liées aux sols agricoles représentent 192 MteqCO₂, chiffre comparable aux émissions d'un pays comme les Pays-Bas (214 MteqCO₂)³. La France est de loin le premier pays contributeur à ces émissions en Europe, devant l'Allemagne, qui émet un peu plus de 31 MteqCO₂. En outre, la fabrication des intrants génère en amont d'importantes émissions de CO₂ ou de N₂O.

Les rizières émettent des quantités importantes de méthane (CH₄). Ces émissions sont marginales en France, puisqu'elles ne représentent que 0,1 MteqCO₂. En Europe, elles représentent 2,3 MteqCO₂, les deux tiers de ces émissions provenant de l'Italie.

L'élevage

L'élevage engendre en France près de 48 MteqCO₂, soit plus de 8 % des émissions nationales de GES, et émet à la fois du CH₄ et du N₂O.

La première source est la fermentation dans le système digestif des ruminants, dite entérique. Les seules émissions de CH₄ dues aux rots des bovins représentent environ 5 % des émissions nationales, soit environ deux fois les émissions de CO₂ de l'ensemble des 14 raffineries françaises. Deuxième source, la gestion des déjections, responsable d'émissions de CH₄ mais aussi de N₂O, représente de l'ordre de 3 % des émissions françaises⁴.

Les émissions de GES de l'élevage sont directement liées à la taille du cheptel, et donc à la production et la consommation de viande, notamment de ruminants. Au niveau

¹ Dans l'inventaire national, les émissions de GES de ces industries sont imputées au secteur industriel, et non au secteur agricole.

² Source : CITEPA. Les données citées sans autre indication de source que « CITEPA » proviennent des tableaux au format Plan national de lutte contre le changement climatique (PNLCC) établis par le CITEPA pour la MIES, et dont la version mise à jour en décembre 2004 est disponible sur le site Internet de la MIES : <http://www.effet-de-serre.gouv.fr/fr/emissions/inventaire.htm>

³ Source : Agence européenne de l'environnement. Les données citées sans autre indication de source que « Agence européenne de l'environnement » proviennent de la base de données 2002 disponible sur : <http://dataservice.eea.eu.int/dataservice/>

⁴ Les émissions de GES liées à l'épandage des déjections sont en revanche affectées aux sols agricoles.

mondial, la consommation de viande s'élève à 38 kg par habitant et par an⁵. C'est encore peu comparé aux 88 kg consommés chaque année par un Européen et aux 92,5 kg consommés par un Français⁶.

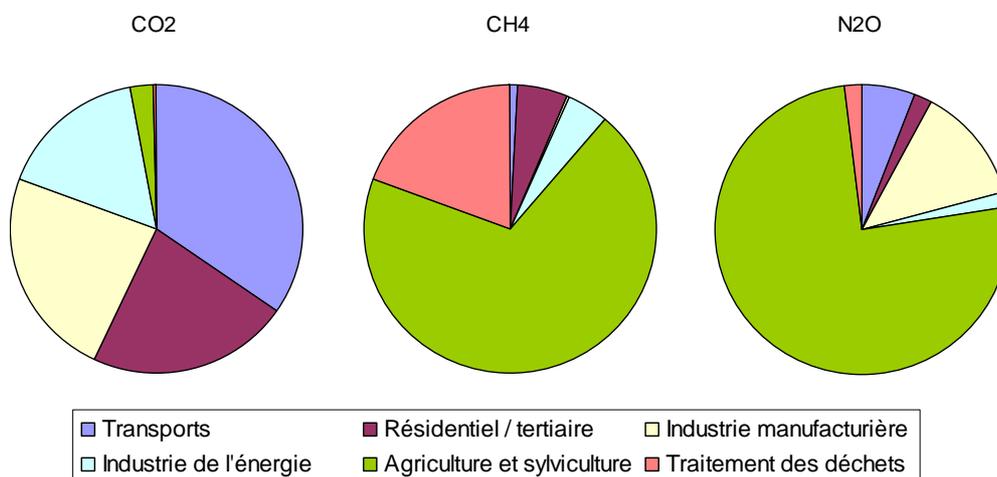
Plus des neuf dixièmes des émissions de CH₄ liées à la fermentation entérique sont engendrées par les 20 millions de têtes du cheptel bovin. Le cheptel non laitier est deux fois plus émetteur que le cheptel laitier en absolu, mais en relatif, la proportion s'inverse : une vache laitière émet en effet deux fois plus de méthane qu'une vache non laitière, du fait d'une alimentation plus abondante. Le cheptel bovin génère par ailleurs près des deux tiers des émissions liées à la gestion des déjections ; la gestion des déjections des porcs ne représente qu'un quart de ces émissions, du fait du mode de traitement par voie liquide, nettement moins émetteur de N₂O. Les émissions de CH₄ par fermentation entérique, les émissions de CH₄ et de N₂O liées à la gestion des déjections, et la part de chacun des cheptels dans les émissions françaises sont présentées dans les tableaux en annexe.

Par ailleurs, l'élevage génère indirectement des émissions importantes. En France par exemple, on peut globalement considérer que sur les 30 millions d'hectares de surface agricole utile, environ les deux tiers sont destinés à l'alimentation animale, soit directement, soit après transformation, souvent par le canal de l'industrie des aliments composés⁷. Or, ces cultures ont été fertilisées, pour un tiers par l'épandage de déjections animales, et pour deux tiers aux engrais minéraux. Une partie substantielle des émissions imputées aux sols agricoles est donc indirectement liée à l'élevage.

B. Les particularités des émissions agricoles

Le secteur agricole se caractérise par des émissions importantes de méthane (CH₄) et de protoxyde d'azote (N₂O), deux GES à fort pouvoir de réchauffement.

Figure 2 – Part des différents secteurs dans les émissions françaises de CO₂, CH₄ et N₂O en 2003



Source : CITEPA

L'agriculture est en France le premier secteur émetteur de ces deux gaz : elle contribue à plus des deux tiers des émissions de CH₄, et à plus des trois quarts des émissions de N₂O.

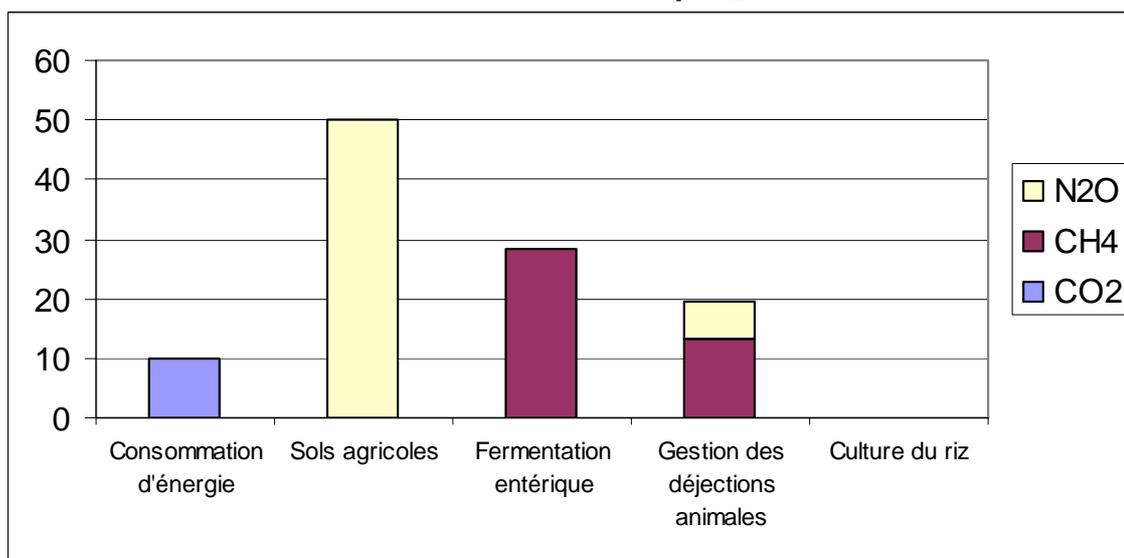
⁵ Source : INRA, Productions animales, 2003.

⁶ Source : OFIVAL, 2004.

⁷ Source : INRA, Productions animales, 2003.

Les émissions de N₂O représentent en France plus de la moitié des émissions du secteur⁸, et celles de CH₄ plus de 40 %. Les émissions de CO₂ ne sont dues qu'aux activités de combustion liée aux activités agricoles (y compris les engins tels que tracteurs, moissonneuses, etc.)⁹, et représentent moins d'un dixième des émissions du secteur en France. Au total, l'élevage est responsable de 99,9% des émissions de CH₄ du secteur agricole. La fermentation entérique y contribue pour les deux tiers, et les déjections animales, pour un tiers. En ce qui concerne le N₂O, les 182 milliers de tonnes émises en France par le secteur agricole le sont à près de 90 % par les sols agricoles, le solde étant dû à la gestion des déjections animales.

Figure 3 – Répartition des émissions des différentes sources agricoles par GES en 2003 en France, en MteqCO₂



Source : CITEPA

Les émissions du secteur agricole présentent de plus la particularité d'être diffuses¹⁰. Elles dépendent de plusieurs paramètres eux-mêmes difficilement observables : type de sol ou de couvert végétal et conditions climatiques locales pour les émissions de N₂O liées aux cultures, alimentation pour les émissions de CH₄ liées à l'élevage. Ceci rend d'autant plus difficile leur estimation, et donc la mise en œuvre de mécanismes permettant leur réduction.

C. Un enjeu spécifiquement français

Les émissions de CH₄ et de N₂O de l'agriculture européenne¹¹ ont représenté en 2002 environ 211 MteqCO₂. Au sein de l'Union européenne à 15 (UE15), la France est le premier contributeur, avec près de 100 MteqCO₂, devant l'Allemagne, et loin devant le Royaume-Uni, l'Espagne et l'Italie. Le sixième pays contributeur, l'Irlande, a émis moins de 19 MteqCO₂.

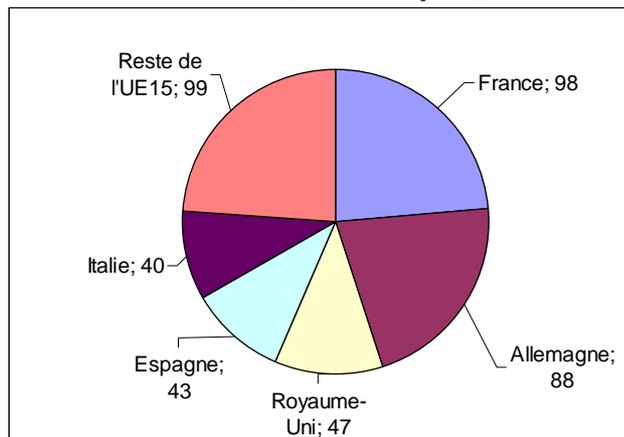
⁸ Source : CITEPA.

⁹ Seuls les usages spécifiques de l'agriculture sont pris en compte : chauffage des serres, conservation du lait, chauffage pour l'élevage, etc. Ce chiffre inclut également les émissions dues à l'utilisation des machines d'exploitation forestière ou halieutique.

¹⁰ Une émission est dite diffuse quand l'on ne peut observer à un coût raisonnable les émissions individuelles.

¹¹ Source : Agence européenne de l'environnement.

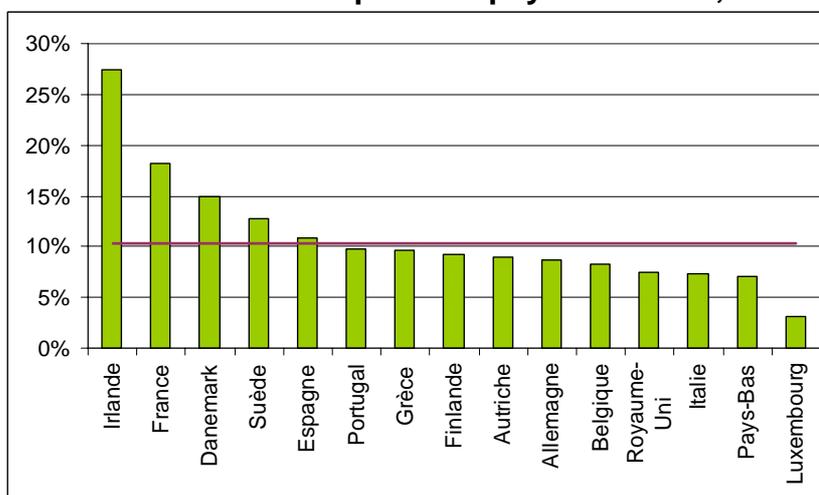
Figure 4 – Emissions de CH₄ et de N₂O d'origine agricole dans les principaux pays de l'UE15 en 2002, en MteqCO₂



Source : Agence européenne de l'environnement

Au niveau européen, tous les pays ne sont pas logés à la même enseigne. Les émissions de CH₄ et de N₂O d'origine agricole représentent en moyenne un peu plus de 10 % des émissions nationales des différents pays de l'UE15. Les trois pays dont les émissions de CH₄ et de N₂O d'origine agricole représentent la proportion la plus importante des émissions nationales sont : l'Irlande, avec 27,4 %, du fait de son agriculture basée sur un élevage ovin et bovin ; la France, avec 18,2 % ; et le Danemark, avec 15,0 %, du fait de l'élevage porcin. A titre de comparaison, les émissions d'origine agricole de la Nouvelle-Zélande, dues principalement à l'élevage ovin, représentent près de la moitié de ses émissions nationales¹².

Figure 5 – Contribution relative des émissions de CH₄ et de N₂O d'origine agricole aux émissions nationales de GES pour les pays de l'UE15, en 2002

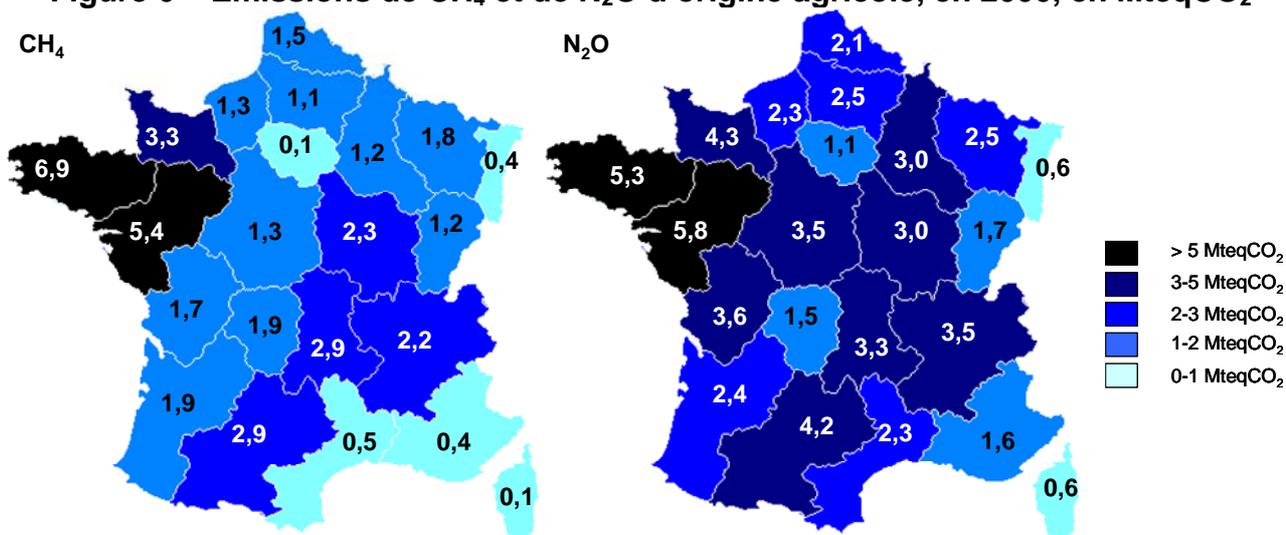


Source : Agence européenne de l'environnement

Enfin, les émissions de GES ne sont pas réparties uniformément en France. On retrouve au niveau de chaque région le rôle prépondérant de l'agriculture dans les émissions de CH₄ et de N₂O. Cependant, les émissions de CH₄ sont nettement plus importantes dans les régions d'élevage, et les émissions de N₂O dans les régions de grande culture, comme le montre la figure ci-dessous. Les schémas en annexe présentent, pour chaque région, la répartition sectorielle des émissions de ces deux gaz.

¹² Source : Climate Change Office, Nouvelle-Zélande.

Figure 6 – Emissions de CH₄ et de N₂O d'origine agricole, en 2000, en MteqCO₂



Source CITEPA / Formats Départements – mise à jour février 2005

Les trois régions du grand Ouest (Bretagne, Pays de la Loire, Basse-Normandie) composent le trio de tête pour les émissions agricoles de CH₄, et figurent dans les quatre premières régions émettrices de N₂O d'origine agricole. La quatrième grande région émettrice de GES agricoles est la région Midi-Pyrénées. Les émissions de CH₄ et N₂O d'origine agricole de ces quatre régions représentent à elles seules plus de 38 MteqCO₂, soit plus du tiers du total national et près de 7 % des émissions françaises de GES.

II. Les leviers de réduction des émissions

Pour participer à l'effort national de réduction des émissions de GES, trois leviers concernent le secteur agricole : la réduction des émissions du secteur agricole proprement dit ; la participation à la réduction des émissions dans d'autres secteurs par la valorisation énergétique de la biomasse, en substitution d'énergies fossiles, et la séquestration du CO₂ atmosphérique sous forme de carbone.

A. Réduire les émissions dans l'agriculture

L'élevage

Les réductions d'émissions de GES peuvent se faire pour l'élevage en diminuant le nombre de têtes de bétail ou en réduisant les émissions par tête, à travers des actions sur l'alimentation des ruminants, ou encore via la gestion des déjections au sens large.

Tableau 1 - Principaux facteurs de réduction des émissions dans l'élevage

Filière	Facteur principal
Lait intensif	Alimentation
Bovins allaitants extensifs	Actions marginales
Viande bovine intensive (taurillons)	Alimentation
Porc standard	Déjections (lisier)
Porc Label Rouge	Déjections (lisier)
Poules pondeuses en batterie	Déjections (fientes)
Pondeuses en plein air	Actions marginales
Volaille de chair standard	Transformation

Deux stratégies non exclusives sont possibles : une stratégie quantitative, et une stratégie qualitative.

La stratégie quantitative vise à réduire les émissions de GES en réduisant le nombre de têtes de bétail, et donc les quantités de déjections. Toutes choses égales par ailleurs, on diminue ainsi les émissions liées à la fermentation entérique, ainsi que les émissions liées à la gestion des déjections. Pour ce faire, on peut par exemple intensifier la production, c'est-à-dire diminuer, à production constante, le cheptel. Cette intensification a déjà eu pour conséquence indirecte de réduire les émissions de GES entre 1990 et 2003, en diminuant le nombre de têtes de bétail.

La stratégie qualitative vise à réduire les émissions de GES par tête, en modifiant les procédés biologiques générant les émissions de GES, lors de la fermentation entérique ou des réactions de décomposition des déjections. Il est par exemple possible de jouer sur l'alimentation. La production de méthane est globalement proportionnelle à la masse d'aliments transformés par les ruminants¹³ : une alimentation comportant moins de fourrage et plus d'aliments concentrés pourrait donc être moins génératrice de CH₄¹⁴. Autre exemple : une alimentation plus digeste, à base de légumineuses, permet de réduire les émissions de CH₄¹⁵. Il est également envisageable d'allonger la carrière des vaches, ce qui permet de diminuer le nombre d'animaux non productifs et donc les émissions de CH₄ à production constante. Dans le domaine de la gestion des déjections, les émissions de N₂O et de CH₄ peuvent être réduites par traitement aérobie¹⁶ ou par méthanisation¹⁷. Le Tableau 2 fournit, pour différents modes de traitement du lisier, des ordres de grandeur des émissions.

Tableau 2 - Emissions de GES de différents modes de traitement du lisier, pour un élevage type de porcs naisseur-engraisseur (en teqCO₂)

	Filière de référence	Traitement aérobie	Méthanisation (a)
Stockage (CH ₄)	410	190	80
Epandage (N ₂ O)	77	17	52
<i>Emissions totales</i>	<i>487</i>	<i>207</i>	<i>132</i>

Source : communication de Fabrice Béline (CEMAGREF), groupe de travail SAF-CDC

(a) Calculé à partir de données SOLAGRO

Le potentiel de réduction des émissions liées à l'élevage semble important, puisqu'il est par exemple techniquement possible de diviser les émissions de GES liées à la gestion du lisier par deux ou trois.

¹³ Source : INRA, Productions animales, 2003.

¹⁴ Cependant, la production d'aliments concentrés industriels induit des consommations énergétiques élevées et donc des émissions de CO₂ en amont.

¹⁵ Source : communication de l'Institut de l'élevage.

¹⁶ Le traitement aérobie consiste à aérer le lisier, afin de dégrader la matière organique. Le but de cette dégradation est de limiter la pollution par les nitrates en éliminant l'azote excédentaire sous forme de gaz.

¹⁷ La méthanisation consiste non pas à réduire mais à augmenter la production de méthane lors du traitement des déjections. Ce méthane est ensuite capturé et transformé intégralement en CO₂ par combustion, ce qui permet au global de réduire les émissions de GES, le CO₂ ayant un pouvoir réchauffant inférieur à celui du méthane.

Les sols agricoles

Comme dans le cas de l'élevage, une stratégie quantitative et une stratégie qualitative, non exclusives l'une de l'autre, sont possibles.

La stratégie quantitative vise à réduire les émissions de N₂O en réduisant les apports azotés. La quantité d'azote apportée est en effet le paramètre qui détermine en premier lieu la quantité d'émissions de N₂O. La réduction des émissions nationales de N₂O de 10,5 % observée entre 1990 et 2003¹⁸ provient par exemple de deux phénomènes : l'intensification de la production laitière, qui réduit d'autant le volume de déjections à épandre, et la réduction des quantités d'apports minéraux. La consommation d'engrais minéraux azotés est ainsi passée en France de 2,5 millions de tonnes en 1990 à 2,3 en 2002, soit une diminution de 8,5 %¹⁹.

La stratégie qualitative vise à optimiser les apports d'azote, pour pouvoir, à apport constant, émettre moins de N₂O. Les variations spatiales et temporelles des émissions de N₂O sont très élevées, mais les principaux paramètres²⁰ qui déterminent ces variations sont la température (les émissions augmentant avec la température du sol) et le taux d'humidité du sol (un sol humide aura tendance à émettre plus de N₂O). D'autres paramètres sont de second ordre : la forme de l'engrais azoté apporté (minéral ou organique), et le choix des cultures. Ce choix peut cependant avoir un impact sur les quantités d'azote apportées. Le Plan Climat retient ainsi comme mesure de réduction des émissions de N₂O des actions pilotes sur de nouvelles cultures, comme les légumineuses qui induisent des apports d'azote moindres.

Le potentiel technique de réduction des émissions de N₂O semble important. Au niveau d'une exploitation agricole, il convient cependant de souligner que la mesure des émissions de N₂O est peu aisée : la mesure se fait par des appareillages (dispositifs de mesures micrométéorologiques, enceintes statiques automatisées, tunnels de ventilation...) complexes à mettre en œuvre et coûteux. On pourrait, à moyen terme, en revanche utiliser des résultats de modélisation appuyés sur les paramètres déterminants pour établir un bilan des émissions de N₂O à l'échelle de la parcelle.

B. Réduire les émissions d'autres secteurs : un rôle pour la biomasse

La deuxième piste à explorer est la substitution de matériaux d'origine fossile par des matériaux d'origine agricole. Certes, des émissions de CO₂ ont bien lieu lors de la combustion de ces derniers, mais elles ne font que restituer à l'atmosphère le CO₂ prélevé par photosynthèse lors de la croissance des plantes. Le bilan global, en termes de CO₂, est donc nul, et la valorisation énergétique des produits agricoles permet d'éviter des émissions de CO₂ d'origine fossile.

Les biocarburants

Les deux principaux types de filières de production de biocarburants sont les filières type essence et les filières type gazole. Les filières de type essence comprennent l'éthanol, produit en France à partir de blé ou de betterave, et l'éthyl-tertio-butyl éther (ETBE), produit à partir d'éthanol de blé ou de betterave, et qui incorpore un produit pétrolier, le méthyl-tertio-butyl éther (MTBE), dans sa fabrication. Les filières de type gazole comprennent les huiles

¹⁸ Source : CITEPA.

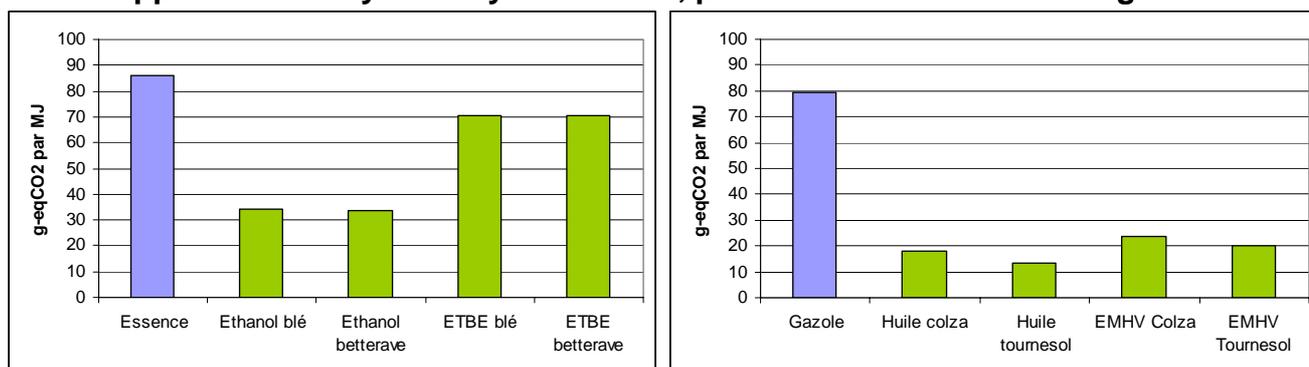
¹⁹ Source : Agence européenne de l'environnement.

²⁰ Source : communication de l'INRA/EGC, groupe de travail SAF-CDC.

pures de colza ou de tournesol, obtenues directement par pressage, et les esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV), composés obtenus par adjonction à ces huiles végétales de méthanol.

Selon les filières retenues, la fabrication et l'utilisation de biocarburants permet globalement une division des émissions de GES par un facteur compris entre 2 et 4 par rapport à l'utilisation de carburants classiques. L'exception à cette règle est l'ETBE : ses émissions de GES ne sont que de 20 % inférieures aux émissions de l'essence standard, du fait de l'incorporation du MTBE d'origine fossile.

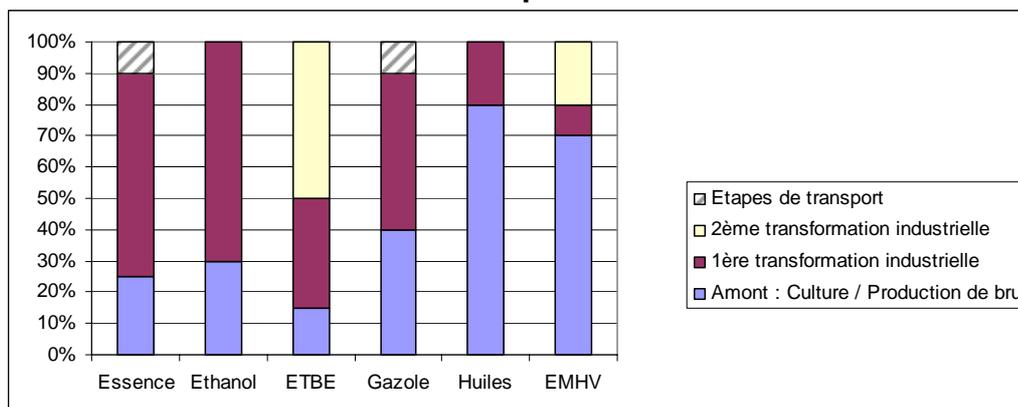
Figure 7 – Bilan d'émissions de GES des biocarburants par unité énergétique, en approche « analyse de cycle de vie », pour les filières essence et gazole



Source : ADEME/DIREM, 2002

Les émissions de GES ne se font pas aux mêmes étapes, selon la filière choisie. La majeure partie des émissions des filières essence se font lors de l'étape industrielle de transformation, alors que pour les filières gazole, c'est l'étape culturale qui est prédominante. Le bilan en termes d'émissions de GES peut donc encore être fortement amélioré en agissant sur ces étapes déterminantes.

Figure 8 – Contribution des différentes étapes au bilan GES des biocarburants



Source : d'après ADEME/DIREM, 2002

La part des émissions liées au transport pour les biocarburants n'est pas représentée, mais est inférieure à 5 %.

Les biocombustibles

La valorisation énergétique de la biomasse peut également avoir lieu dans des unités de production de chaleur ou d'électricité.

Premier exemple, la méthanisation des déjections permet déjà de réduire les émissions de GES liées à leur gestion, et autorise en outre une valorisation énergétique du biogaz, typiquement composé de 50 à 70 % de CH₄, et donc d'éviter les émissions de GES

liées à la combustion du combustible auquel il se substitue. Des ordres de grandeur de production de biogaz lors de la méthanisation de lisiers sont fournis dans le Tableau 3.

Tableau 3 – Production de biogaz lors de la méthanisation des lisiers

Production de biogaz (m ³)	
Par tonne entrante	5 à 140
Par tonne de matière sèche entrante	150 à 480

Source : communication de Claire Lhoutellier (Véolia/CREED), groupe de travail SAF-CDC

Le Tableau 4 présente, à partir de l'exemple utilisé pour l'élevage, les réductions d'émissions supplémentaires qui peuvent être générées par la valorisation énergétique du biogaz en remplacement de gaz naturel.

Tableau 4 - Réductions d'émissions de GES liées à la valorisation énergétique du biogaz, pour un élevage type de porcs naisseur-engraisseur (en teqCO₂)

	Filière de référence	Traitement aérobic	Méthanisation
Emissions totales (rappel du Tableau 2)	487	207	132
Energie substituée (CO ₂)	0	0	- 60 ^(a)
Emissions du projet	487	207	72

Source : communication de Fabrice Béline (CEMAGREF), groupe de travail SAF-CDC
(a) Correspond aux émissions évitées de combustion de gaz naturel

Le potentiel de la méthanisation, en termes de lutte contre le changement climatique, apparaît donc encore plus intéressant si le biogaz est valorisé pour produire de la chaleur et/ou de l'électricité : les émissions d'une filière de méthanisation avec valorisation énergétique du biogaz sont sept fois moindres que celles de la filière de référence.

Deuxième exemple, la valorisation énergétique de bois comme la plaquette forestière ou les déchets de bois, de déchets agricoles comme la paille, et même la valorisation de cultures agricoles dédiées (grain ou plante entière), permet, par l'alimentation de chaudières industrielles, de chaufferies collectives reliées à des réseaux de chaleur, ou encore à des chaudières domestiques, des réductions d'émissions substantielles. Le Tableau 5 fournit, à titre indicatif, des ordres de grandeur d'émissions de CO₂ pour les différents combustibles.

Tableau 5 - Réductions d'émissions de GES liées à la valorisation énergétique de biomasse (en teqCO₂)

Combustible	Pouvoir calorifique inférieur (PCI, en GJ/t)	kg CO ₂ / GJ PCI	kg CO ₂ / t de combustible ^(b)
Bois	19 ^(a)	0	0
Gaz naturel	40 [GJ/1000 m ³]	55	2 200 [kg CO ₂ / 1000 m ³]
Fuels	41	75	3 100
Charbons	23	95	2 200

Source : calculs Mission Climat, à partir de données GHG Protocol

^(a) Chiffre moyen. Le PCI dépend fortement du taux d'humidité

^(b) Emissions directes, hors émissions liées au transport, conditionnement, ou fuites

La substitution, à quantité d'énergie entrante équivalente, d'une tonne de fioul par deux tonnes de bois permet donc d'éviter l'émission d'environ 3 tonnes de CO₂. Le potentiel de réduction des émissions par valorisation énergétique de la biomasse apparaît donc extrêmement important. Cette valorisation se heurte cependant actuellement d'une part à des coûts élevés à l'investissement, et d'autre part à des problèmes d'organisation des filières d'approvisionnement.

Les biomatériaux

L'utilisation de matières premières agricoles en substitution de produits dérivés d'hydrocarbures peut également intéresser le secteur des matériaux. Nombre de plastiques sont en effet actuellement fabriqués à partir d'hydrocarbures. Il est cependant possible de se servir de matières carbonées végétales comme base, et notamment d'amidon extrait des céréales ou des pommes de terre, pour fabriquer des bioplastiques.

Les émissions liées à la fabrication de ces bioplastiques ne sont pas nulles : l'extraction d'amidon nécessite de l'énergie et rejette donc du CO₂ ; la culture des céréales ou des pommes de terre nécessite un apport d'engrais et émet donc du N₂O. Si l'on prend en compte l'ensemble de ces émissions, dans une analyse de cycle de vie, l'impact sur l'effet de serre des bioplastiques est cependant moindre que celui des plastiques conventionnels, comme le montre le Tableau 6. A titre de comparaison, le cycle de vie des plastiques conventionnels génère des émissions qui vont de 1,8 kg eqCO₂ par kilogramme de polyéthylène haute densité ou de PVC neufs à 4,4 kg eqCO₂ par kilogramme de PET neuf ou de composites²¹. Des gains environnementaux encore plus importants sont envisageables à l'avenir, du fait de la production de masse et de l'optimisation des filières.

Tableau 6 – Gain net d'émissions de CO₂ pour les bioplastiques, par rapport aux plastiques conventionnels

Bioplastique	Gain net d'émissions	Source
Granulé de polymère	3,5 kg eqCO ₂ /kg	ADEME/AGRICE
Sac cabas	2,1 kg eqCO ₂ /unité	Bio Intelligence Service
Polymère naturel	3,7 kg eqCO ₂ /kg	PRO-BIP
Composites	1,2 à 3,1 kg eqCO ₂ /kg	PRO-BIP
PLA (acide polylactique)	0,8 à 3,0 kg eqCO ₂ /kg	PRO-BIP
Particules de calage	3,6 kg-eqCO ₂ /m ³	Institut Fraunhofer

Source : communication de Jean-Luc Pelletier (USIPA), groupe de travail SAF-CDC

De même, l'utilisation de bois comme matériau de construction permet d'éviter les émissions engendrées par la fabrication d'autres matériaux. L'ADEME estime qu'en moyenne, l'utilisation d'un m³ de bois dans la construction permet d'éviter l'émission de 0,8 teqCO₂. La mise en œuvre d'un matériau bois ne génère en effet que de très faibles émissions de CO₂, liées à sa transformation et à son transport. Le Tableau 7 présente les émissions, pour les principaux matériaux de construction, en termes d'analyse de cycle de vie.

Tableau 7 – Emissions des principaux matériaux de construction, en analyse de cycle de vie, en teqCO₂

Matériau	Emissions (teqCO ₂) par tonne de matériau mis en oeuvre
Acier neuf	3,2
Acier recyclé	1,1
Aluminium neuf	10,6
Aluminium recyclé	2,5
Ciment	0,9
Béton armé	0,4

Source : ADEME, Bilan Carbone

²¹ Source : ADEME, Bilan Carbone.

C. Séquestrer le carbone

La troisième piste à explorer, certainement la plus médiatisée, est la séquestration biologique par les « puits » de carbone. Si les plantations d'arbres ont la faveur des médias, les sols et la biomasse agricoles permettent également de stocker du carbone. Ce carbone est prélevé dans l'atmosphère, sous forme de CO₂, lors de la croissance de la plante, et est stocké non seulement dans la biomasse aérienne, mais également dans la biomasse souterraine, et dans les sols sous forme de matière organique. On parle alors de puits de carbone. Il faut cependant noter deux caractéristiques de la séquestration biologique. D'une part, l'absorption de CO₂ d'un puits est un phénomène transitoire : une fois le puits saturé, le stock de carbone séquestré n'augmente plus, et l'absorption devient nulle. Le problème de la maîtrise des émissions n'est pas résolu, mais différé dans le temps. D'autre part, le stockage de CO₂ est temporaire et réversible : son effet peut être renversé à tout moment par une perturbation naturelle ou anthropique, comme par exemple un feu de forêt, ce qui constitue un risque.

Par exemple, des pratiques de cultures sans labour permettent de stocker des quantités plus importantes de carbone dans les sols. La littérature internationale fournit un ordre de grandeur de 0,7 t_{eq}CO₂/ha/an pour l'abandon du labour. Ce stockage est temporaire, et ne s'effectue pas à la même vitesse qu'un déstockage, qui est lui deux fois plus rapide. Le stockage, et donc l'engagement des agriculteurs à adopter les pratiques, se fait en effet sur une durée de l'ordre de 20 ans. Cependant, on estime qu'un labour tous les 4 ans fait perdre près de la moitié du carbone stocké en non labour définitif²². Ces résultats posent, du point de vue de la faisabilité pratique, la question de l'engagement des agriculteurs sur une longue période. Il existe par ailleurs encore des incertitudes sur les conditions de stockage du carbone. L'effort de recherche doit donc être poursuivi.

Autre exemple, le stockage en forêt : un hectare de forêt tempérée mature contient environ 150 tonnes de carbone, soit l'équivalent de 550 tonnes de CO₂, dont un peu moins de la moitié dans la végétation et un peu plus de la moitié dans les sols²³. Une fois le bois coupé, ce CO₂ est toujours séquestré, 1 m³ de bois séquestrant environ une tonne de CO₂.

III. Des projets de réduction en France et à l'étranger

L'objectif de cette troisième partie est de présenter les principales voies de valorisation des réductions d'émissions de GES dans le secteur agricole à travers le monde, et d'évoquer les voies possibles en France. Ces voies de valorisation prennent le plus souvent la forme de mécanismes économiques incitatifs appelés « mécanismes de projet ».

A. Quelques exemples de réalisations à l'étranger

Via les mécanismes de projet du protocole de Kyoto

La première voie de valorisation des réductions d'émissions de GES est constituée par les mécanismes de projet du protocole de Kyoto : le mécanisme pour un développement propre (MDP)²⁴ et la mise en œuvre conjointe (MOC)²⁵. Ces mécanismes permettent à un

²² Source : INRA.

²³ Source : GIEC.

²⁴ Le MDP concerne les projets mis en œuvre dans les pays dits « hors annexe B » : ce sont les pays du Sud, pays sans engagement de réduction de leurs émissions.

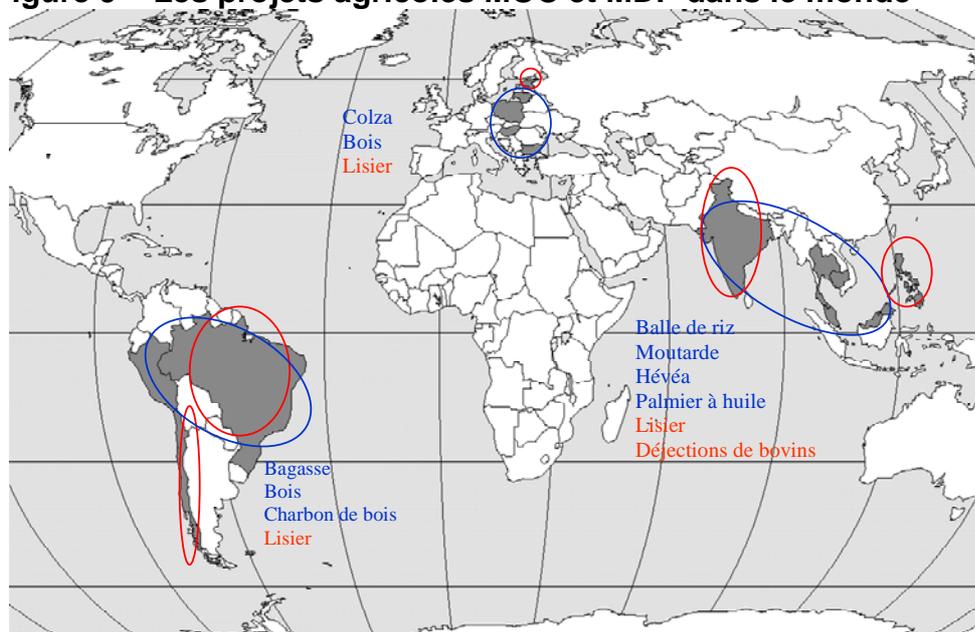
²⁵ La MOC concerne les projets mis en œuvre dans les pays dits « de l'Annexe B » : ce sont les pays ayant un engagement de leurs émissions dans le cadre du protocole de Kyoto.

opérateur de valoriser des réductions d'émissions par rapport à un scénario tendanciel, appelé scénario de référence.

Ces mécanismes de projet incitent déjà le secteur agricole à participer à la lutte contre le changement climatique : ainsi, dans les pays en développement, deux méthodologies concernant les activités agricoles et quatre concernant la biomasse ont été approuvées au titre du MDP ; et certains pays proposent déjà des projets agricoles dans le cadre de la MOC. Au total, plus de cinquante projets étaient en cours de validation à fin juin 2005. La majorité de ces projets concerne la gestion des déjections et la valorisation énergétique de biomasse.

La carte ci-dessous fournit pour les principaux pays promoteurs les types de projets agricoles les plus fréquemment mis en œuvre. La plupart des projets concernent des réductions d'émissions soit de CO₂ par production de chaleur ou d'électricité à partir de biomasse (en bleu), soit de CH₄ ou de N₂O liées à la gestion des effluents d'élevage (en rouge).

Figure 9 – Les projets agricoles MOC et MDP dans le monde



Source : Mission Climat, juin 2005

Via d'autres mécanismes

Par ailleurs, certaines initiatives publiques ou privées visent à valoriser, via des projets, les réductions d'émissions ou la séquestration de carbone dans les sols agricoles. Ainsi, une association canadienne, la *Saskatchewan Soil Conservation Association*, a mis sur pied un projet pilote visant à valoriser la séquestration de carbone dans les sols par des pratiques de non labour. Les crédits générés par ce type de projets pourront ensuite être injectés dans le futur système canadien d'échange de quotas. Dans le même esprit, le *Chicago Climate Exchange (CCX)* envisage de valoriser les réductions d'émissions réalisées dans le cadre de projets mettant en œuvre le labour réduit, la gestion des déjections, ou encore la réduction des quantités d'azote épandues²⁶. Dernier exemple, le gouvernement néo-zélandais a sélectionné deux projets biomasse sur les quinze retenus en 2003, dans son premier appel d'offre à projets. Ces projets recevront des crédits valorisables sur le marché international.

²⁶ Source : Iowa Farm Bureau.

B. Quels mécanismes de valorisation en France et dans l'Union européenne ?

Un cadre strict : la conformité Kyoto

La directive européenne instituant le système d'échange de quotas ne concerne que les émissions industrielles : le secteur agricole n'est donc pas financièrement incité à réduire ses émissions. Se pose alors une question double : quels peuvent être les mécanismes de valorisation envisageables, et quelles sont les conditions de mise en œuvre associées ? Ces conditions de mise en œuvre sont encadrées par les contraintes d'établissement de l'inventaire national. C'est en effet sur la base de cet inventaire, établi en France par le CITEPA, qu'est établie la conformité de la France au titre du protocole de Kyoto. Les mesures visant à lutter contre le changement climatique doivent donc s'accompagner, pour être efficaces, non seulement de réductions physiques d'émissions de GES, mais surtout de réductions d'émissions dans l'inventaire national.

Emissions agricoles et inventaire national

Dans l'inventaire national, les émissions de GES sont estimées à partir de données d'activité et de facteurs d'émission. L'inventaire des émissions françaises est ainsi estimé en 2003 avec une incertitude de plus de $\pm 21\%$. Mais la fiabilité des émissions n'est pas la même suivant les sources d'émission.

Dans le cas des émissions d'origine énergétique, comme celles des grandes installations de combustion incluses dans le plan national d'allocation de quotas, la méthodologie retenue comporte une incertitude peu élevée, typiquement de l'ordre de quelques pour cent. Par exemple, les émissions de CO₂ liées à la combustion de charbon des sites du secteur de l'énergie sont estimées, au niveau national, avec une incertitude de $\pm 2\%$: elles contribuent de ce fait à $\pm 0,1\%$ d'incertitudes sur les émissions nationales.

Dans le cas des émissions diffuses d'origine agricole en revanche, la mesure est complexe à mettre en œuvre. Celles-ci sont donc estimées à partir de données d'activité à un niveau macro et de facteurs homogènes au niveau national. Par exemple, les émissions de CH₄ des ruminants sont estimées en France à partir du nombre de têtes de bétail et d'un facteur d'émission par tête ; les émissions de N₂O des épandages d'engrais minéral ou organiques sont calculées à partir des quantités d'azote épandues et de facteurs par défaut tirés de la littérature internationale et préconisés par le GIEC. L'estimation de ces émissions comporte une incertitude nettement plus élevée. Ainsi, les émissions de N₂O des sols agricoles sont estimées avec une incertitude de $\pm 200\%$, principalement liée au facteur d'émission : elles contribuent donc en 2003 à près de $\pm 20\%$ d'incertitudes sur les émissions nationales. Les quatre premières sources d'incertitude de l'inventaire français sont toutes liées à l'agriculture.

Tableau 8 – Principales sources d'incertitudes des émissions de GES en 2003

Source	GES	Emissions 2003 (Mteq CO ₂)	Incertitude sur activité A	Incertitude sur facteur d'émissions B	Incertitude combinée $\sqrt{A^2 + B^2}$	Incertitude combinée en % des émissions totales
Sols agricoles	N ₂ O	50,1	10 %	200 %	200 %	19,9 %
UTCF ^(a)	CO ₂	- 53,1	30 %	50 %	58 %	6,1 %
Fermentation entérique	CH ₄	28,3	5 %	40 %	40 %	2,3 %
Gestion des déjections	CH ₄	13,1	5 %	50 %	50 %	1,3 %

Source : CITEPA / CORALIE format CCNUCC – mise à jour décembre 2004

(a) Utilisation des terres, leur changement d'affectation et la foresterie : il s'agit des activités de gestion des terres agricoles ou de boisement.

Les émissions du secteur agricole étant estimées par filière à l'aide de données d'activité à un niveau macro et de facteurs homogènes au niveau national, l'impact sur l'inventaire national d'un projet individuel est nul. En revanche, si une filière agricole engageait une démarche significative de réduction de ses émissions, l'inventaire pourrait être adapté à ces nouvelles pratiques en intégrant un facteur correctif, voire un facteur d'émission spécifique. Le problème posé est donc double : un problème de statistiques car il faut que les pratiques soient suffisamment représentatives pour que les statistiques les prennent en compte, et un problème de recherche, car il faut pouvoir caractériser les émissions de ces nouvelles pratiques.

La prise en compte de la séquestration du carbone

Les « puits » de carbone français ont absorbé 53,1 MteqCO₂ en 2003, soit plus que les émissions liées à la production d'électricité et au chauffage urbain. La prise en compte de ces absorptions dans le cadre du protocole de Kyoto est cependant soumise à des règles comptables particulières.

La France pourrait prendre en compte la séquestration de carbone par ses activités agricoles pour sa conformité au titre du protocole de Kyoto. Les activités qui pourraient être retenues seraient la restauration du couvert végétal, la gestion des terres cultivées et la gestion des pâturages. Les quantités de droits d'émissions supplémentaires octroyées, ou au contraire, débitées, seraient égales, chaque année, à la variation annuelle de stock de carbone de l'ensemble des terres concernées par ces activités, moins la variation de stock de carbone de l'ensemble des terres concernées par ces activités en 1990. L'idée est en effet de ne créditer que les activités supplémentaires visant à accroître la séquestration pour lutter contre le changement climatique, et non pas la séquestration « naturelle ».

La prise en compte de cette séquestration additionnelle présenterait cependant un risque double : d'une part, les crédits sont octroyés par comparaison entre la situation actuelle et la situation en 1990. Si les terres françaises, dans leur globalité, absorbaient déjà une quantité significative de carbone, les crédits pourraient fort bien devenir des débits à moyen terme, une fois le puits saturé ; et d'autre part, le maintien du stock de carbone ainsi constitué n'est pas assuré.

La séquestration de carbone par la forêt est également prise en compte dans le cadre du protocole de Kyoto. Sont comptabilisées les absorptions de CO₂ liées au boisement, les émissions liées au déboisement, et les absorptions et émissions de CO₂ liées à la gestion forestière. Pour ce dernier point, la quantité prise en compte au titre du protocole de Kyoto est plafonnée : la France peut ainsi créditer au plus 3,2 MteqCO₂ au titre de la gestion forestière, alors que les forêts françaises absorbent environ 38,5 MteqCO₂ chaque année²⁷.

Des mécanismes de projet en France ?

L'expérience accumulée dans les projets agricoles internationaux conduit à formuler trois types de recommandations pour élargir les leviers d'action dans le secteur en France ou dans l'Union européenne.

La première recommandation est d'agir sur des points de regroupement des agriculteurs, afin d'assurer aux projets une taille intéressante en termes de réductions d'émissions. Par exemple, l'exploitation agricole moyenne pour l'élevage laitier compte en France 32 vaches laitières²⁸ : avec une émission d'environ 3 teqCO₂ par vache laitière, comprenant la fermentation entérique et la gestion des déjections, les émissions de GES

²⁷ Source : Plan Climat.

²⁸ Source : Recensement agricole Agreste, 2000.

liées à l'élevage sur cette exploitation sont d'environ 100 teqCO₂ par an. A titre de comparaison, les projets agricoles développés dans le cadre du MDP sont dits « petits » et bénéficient de procédures simplifiées si leurs réductions d'émissions sont inférieures à 15 000 teqCO₂ par an.

Il convient également de normaliser et d'affiner les méthodologies de calcul des émissions au niveau des projets, les estimations pouvant varier de façon significative selon les hypothèses retenues : par exemple, selon la nature du sol, du couvert végétal et les conditions météorologiques, les émissions de N₂O liées à un même apport d'engrais peuvent varier d'un facteur 1 à 10 !

Il incombe enfin de s'assurer que les réductions d'émissions générées par les projets sont bien comptabilisées dans l'inventaire national. Certains projets pourraient réduire les émissions de GES tout en n'ayant aucun impact sur l'inventaire national, et ne permettraient donc pas à la France de se rapprocher de son objectif assigné dans le cadre du protocole de Kyoto. Par exemple, un projet qui, à production égale, réduirait les émissions de CH₄ des ruminants sans modifier le nombre de têtes, ou encore un projet qui viserait, à apport d'azote égal, à minimiser les émissions de N₂O en prenant en compte les conditions climatiques locales au moment de l'épandage n'auraient aucun impact sur l'inventaire national. Les méthodes d'estimation des émissions de GES au niveau des projets devront donc être compatibles avec les méthodes d'estimation des émissions dans l'inventaire national pour que les réductions d'émissions générées par les projets puissent être prises en compte.

IV. Conclusion

Le secteur agricole contribue autant aux émissions de GES de la France que le secteur de l'industrie manufacturière, hors production d'énergie externalisée. Cependant, il n'a que faiblement réduit ses émissions depuis 1990, au regard des possibilités techniques de réduction. Ceci s'explique en partie par le fait que, malgré un fort potentiel technique de réductions d'émissions dans le secteur agricole, les efforts de réduction ne sont à ce jour pas valorisables.

La grande dispersion des sources d'émission d'origine agricole, et le fait que ces sources émettent majoritairement des GES autres que le CO₂, rendent peu probable à moyen terme l'inclusion du secteur agricole *stricto sensu* dans le système européen de quotas. Il faut donc imaginer un système permettant d'inciter financièrement les acteurs du monde agricole à réduire leurs émissions. Parmi les solutions envisageables, les mécanismes de projet mis en place à l'international invitent à réfléchir à la mise en place de « projets domestiques » sur le sol français.

Pour rendre opérationnel un tel système, il importe cependant à court terme d'examiner l'impact des réductions d'émissions sur l'inventaire national, et le cas échéant de permettre une prise en compte de ces réductions d'émissions, même pour des projets de petite taille en termes de réductions d'émissions. Des projets de grande ampleur seraient pris en compte dans l'inventaire national, alors que les projets individuels n'auraient pas d'impact sur cet inventaire. Il serait donc difficile à l'Etat français d'octroyer des crédits à ces derniers. Cela ne favoriserait pas la mise en œuvre à grande échelle de tels projets individuels, condition utile pour permettre leur prise en compte dans l'inventaire.

Il convient de plus à moyen terme de favoriser la recherche, pour affiner les méthodologies de calcul des émissions au niveau des projets, confirmer et améliorer les potentiels techniques de réduction, et développer des études nationales sur les émissions agricoles des pratiques mises en œuvre dans les projets potentiels.

V.

Annexes

A. Pouvoir de réchauffement global des GES d'origine agricole

Tableau 9 - Pouvoir de réchauffement global à 100 ans

GES	Pouvoir de réchauffement global
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

Source : Deuxième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), 1996.

B. Répartition des émissions de GES liées à l'élevage par cheptel

Tableau 10 - Emissions de CH₄ par fermentation entérique en France en 2003

	Milliers de têtes	Emissions par tête et par an (kg eqCO ₂)	Total (kteqCO ₂)	% des émissions
Bovins	19 913	1 311	26 111	92 %
<i>(dont vaches laitières)</i>	<i>(4 156)</i>	<i>(2 171)</i>	<i>(9 021)</i>	<i>(32 %)</i>
<i>(dont autres bovins)</i>	<i>(15 757)</i>	<i>(1 085)</i>	<i>(17 091)</i>	<i>(60 %)</i>
Moutons	9 283	168	1 560	6 %
Chèvres	1 389	105	146	1 %
Chevaux	431	378	163	1 %
Mules et baudets	32	210	7	0 %
Porcs	10 237	32	322	1 %
Volailles	284 542	0	0	0 %
TOTAL			28 308	100 %

Source : CITEPA / CORALIE format CCNUCC – mise à jour décembre 2004

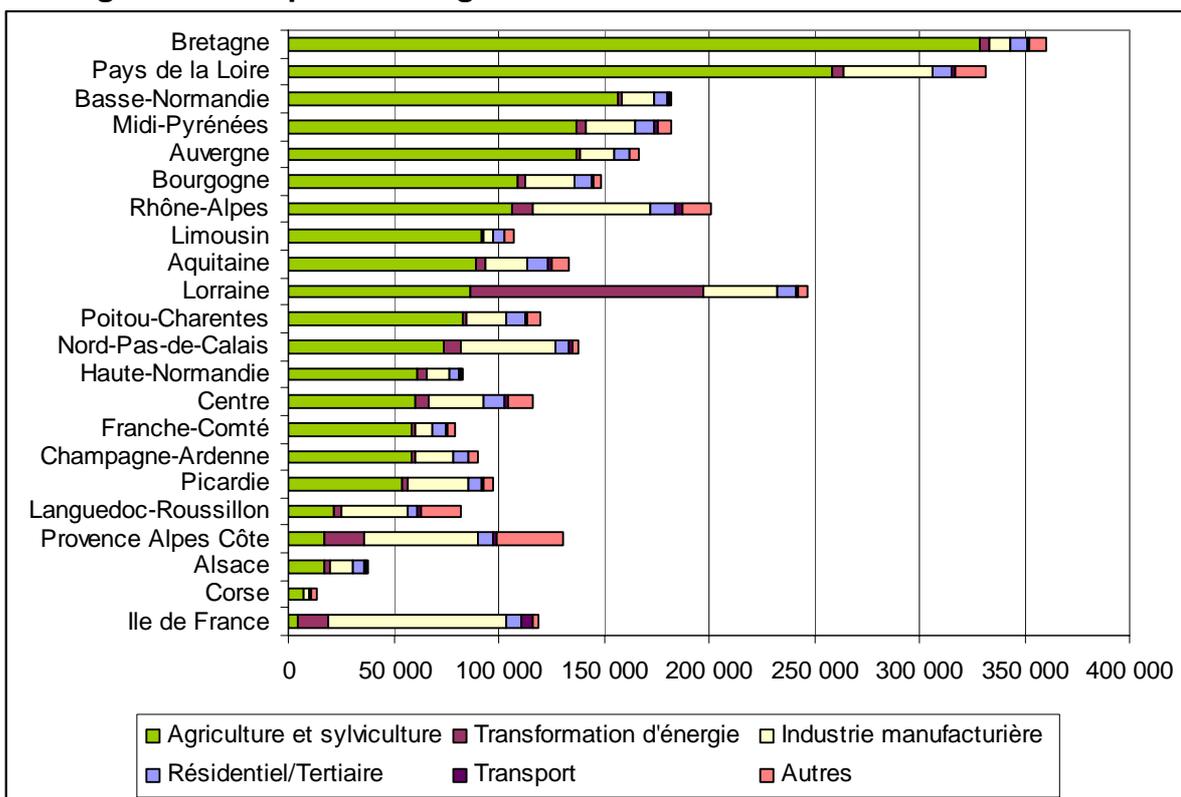
Tableau 11 - Emissions de CH₄ et de N₂O liées à la gestion des déjections en France en 2003

	Milliers de têtes	Emissions par tête et par an (kg eqCO ₂)	Total (kteqCO ₂)	% des émissions
Bovins	19 913	618	12 313	63%
<i>(dont vaches laitières)</i>	<i>(4 156)</i>	<i>(806)</i>	<i>(3349)</i>	<i>(17%)</i>
<i>(dont autres bovins)</i>	<i>(15 757)</i>	<i>(569)</i>	<i>(8964)</i>	<i>(46%)</i>
Moutons	9 283	59	552	3%
Chèvres	1 389	196	273	1%
Chevaux	431	236	102	1%
Mules et baudets	32	219	7	0%
Porcs	10 237	475	4 860	25%
Volailles	284 542	5	1 298	7%
TOTAL			19 406	100%

Source : calculs Mission Climat d'après CITEPA / CORALIE format CCNUCC – mise à jour décembre 2004

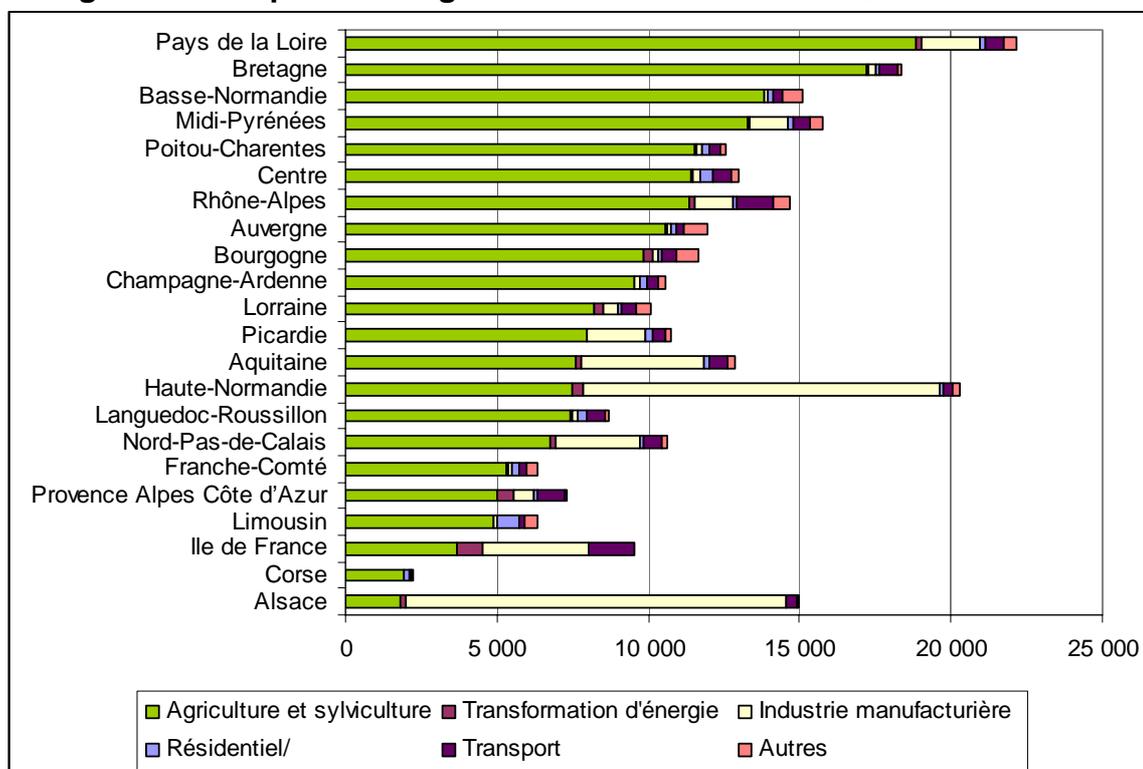
C. Répartition sectorielle régionale des émissions de CH₄ et de N₂O

Figure 10 – Répartition régionale des émissions de CH₄ en 2000



Source CITEPA / inventaire régional France, mise à jour février 2005

Figure 11 – Répartition régionale des émissions de N₂O en 2000



Source CITEPA / inventaire régional France, mise à jour février 2005

Publications de la Mission climat de la Caisse des dépôts

Note d'étude N°1 : « *Les fonds d'investissement dans les actifs carbone : état des lieux* ».
Ariane de Dominicis, 10 janvier 2005

Note d'étude N°2 : « *Plan National d'Allocation des Quotas et territoires* ».
Emmanuel Arnaud, 30 mars 2005

Note d'étude N°3 : « *Les plateformes de marché et le fonctionnement du système de quotas CO₂* ».
Romain Frémont, 20 juin 2005

Note d'étude N°4 : « *Les enjeux de la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le bâtiment* »
Emmanuel Arnaud, septembre 2005

Note d'étude N°5 : « *Les expériences de projets domestiques CO₂ dans le monde* »
Ariane de Dominicis, septembre 2005

Note d'étude N°6 : « *Agriculture et réduction des émissions de gaz à effet de serre* »
Benoît Leguet, septembre 2005

Les notes d'étude et la lettre trimestrielle de la Mission climat sont disponibles en français :
http://www.caissedesdepots.fr/FR/espace_presse/fiche3.3.php
et en anglais (lettre trimestrielle seulement):
http://www.caissedesdepots.fr/GB/espace_presse/fiche3.3.php.

Cette note d'étude a été réalisée dans le cadre de la Mission Climat de la Caisse des Dépôts. Les analyses et opinions exprimées n'engagent pas la Caisse des Dépôts.

La Mission Climat de la Caisse des Dépôts est une structure transversale qui anime et coordonne les travaux de recherche et de développement dans le champ de l'action contre le changement climatique.

Directeur de la Publication : Christian de Perthuis

Contacts Mission Climat :

- ***Emmanuel Arnaud :*** 01 58 50 98 19
- ***Ariane de Dominicis :*** 01 58 50 98 20
- ***Romain Frémont :*** 01 58 50 79 52
- ***Céline Lauverjat :*** 01 58 50 73 96
- ***Benoît Leguet :*** 01 58 50 98 18
- ***Lê anh Pham :*** 01 58 50 41 86
- ***Christian de Perthuis :*** 01 58 50 22 62

Caisse des dépôts et consignations
Département développement durable
56, rue de Lille
75356 – PARIS 07 SP
www.caissedesdepots.fr - Tel : 01 58 50 00 00