

# Agronomie

## environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie

## Agronomie et Grenelle de l'environnement

- Grenelle de l'environnement, agriculture, développement durable
- Vers une nouvelle façon d'appréhender et gérer la santé des plantes ?
- Lutte contre l'effet de serre et efficacité énergétique : comment faire converger performance environnementale et performance économique ?
- Gestion durable des ressources en eau et milieux aquatiques : quelle place de l'agronomie dans leur nécessaire gestion territoriale ?
- Agriculture HVE (haute qualité environnementale), slogan ou objectif réaliste ? Une gestion environnementale à cibles multiples est-elle intégrable au niveau des exploitations agricoles et des territoires ?

## Consommation d'énergie et contribution à l'effet de serre de l'agriculture : problématique et perspectives d'amélioration

J. MOUSSET, A. BISPO, I. FEIX, C. GARNIER,  
A. TREVISIOL

ADEME, 20 avenue du Grésillé - BP 90406, 49  
004 ANGERS Cedex 01

### Résumé

Dans le cadre des politiques de lutte contre le changement climatique, de nombreuses études cherchent à évaluer les contributions potentielles de l'agriculture. Les analyses de consommation d'énergie et de bilans de GES montrent de fortes variabilités entre les systèmes de production et des marges de progrès significatives. Les économies d'énergies sont nécessaires pour des raisons environnementales et économiques, surtout dans les systèmes très dépendants des énergies comme les serres. L'amélioration de la fertilisation azotée, la gestion biologique des effluents et la préservation des stocks de carbone dans les sols constituent des voies importantes d'évolution des systèmes agricoles. Par ailleurs, ce secteur d'activité contribue fortement aux objectifs de développement des énergies renouvelables qui s'appuie à 50% sur de la biomasse agricole et forestière... Des outils d'aide à la décision sont en cours de diffusion pour aider à mieux intégrer le changement climatique dans les orientations des exploitations agricoles, des territoires et des filières agro-alimentaires. Des travaux prospectifs sont à présent nécessaires pour mieux évaluer et mettre en perspective la contribution potentielle de l'agriculture et la forêt aux politiques de la lutte contre le changement climatique à l'horizon 2050.

### Mots-clés

Consommation d'énergie, agriculture, effet de serre

### Abstract

In the context of climate change policies, numerous studies were conducted to assess the potential contribution of agriculture to climate change mitigation. Regarding energy consumption and GHG emissions, these studies highlight the large differences between production systems but also scopes for improvement. Hence, agriculture can significantly contribute to climate change mitigation through reduced use of energy, improved nitrogen fertilisation, the biological management of the

livestock effluents and the preservation of soil carbon stocks. For highly energy-dependent systems such as greenhouse farming, saving energy brings economic benefits. In addition, 50% of the French objectives regarding renewable energies rely on agricultural and forest production.

Decision-making tools are now disseminated in order to help farmers, local authorities and agri-food industries in integrating climate change considerations in their activities. In the near future, prospective studies have to be done for a better evaluation of the potential contribution of agriculture and forests to climate change policies within the horizon 2050.

### keywords

Energy consumption, agriculture, greenhouse effect

## Introduction

Le changement climatique n'est aujourd'hui plus contestable et il est admis qu'il est très probablement lié à l'action de l'homme. Le GIEC (Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat) propose l'objectif à l'horizon 2050 de diviser par deux les émissions mondiales de GES (Gaz à Effet de Serre) pour limiter le réchauffement. L'Union Européenne s'est engagée pour 2020 à réduire ses émissions de GES de 20%, à réduire sa consommation d'énergie de 20% et à atteindre 20% d'énergie renouvelable dans la consommation finale. Le projet de loi Grenelle confirme l'engagement de la France à réduire ses émissions de GES d'un facteur 4 à l'horizon 2050. Face à ces objectifs ambitieux, l'agriculture se trouve au centre de multiples enjeux qui font parfois débats. Elle est confrontée à la nécessité d'une part de réduire ses émissions de gaz à effet de serre et sa dépendance aux énergies non renouvelables et d'autre part de produire de la biomasse pour permettre d'atteindre les objectifs nationaux liés aux énergies renouvelables.

Ces objectifs ne doivent cependant pas occulter le rôle premier de l'agriculture au niveau mondial, à savoir l'alimentation, comme le souligne d'ailleurs la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC). Or, les besoins alimentaires mondiaux vont continuer à augmenter : de 7 milliards d'êtres humains actuellement, la population mondiale pourrait atteindre 9 milliards en 2050, avec des besoins alimentaires individuels en augmentation aussi. La sécurité alimentaire reste un enjeu stratégique majeur à prendre en compte dans les scénarios d'atténuation des émissions de GES. L'agriculture est donc probablement à l'aube d'une nouvelle et importante évolution. Les défis



environnementaux, alimentaires et économiques conduisent à rechercher de nouveaux modes de production et de nouveaux équilibres où l'agronomie est au cœur des réflexions. Après le rappel de quelques éléments de contexte, cette communication présente une synthèse des outils et de quelques études conduites récemment sur l'énergie et l'effet de serre.

## Contexte général

### Rappel des enjeux

Le dernier rapport du GIEC publié en 2007 a confirmé sans équivoque le réchauffement climatique observable à l'échelle du globe par la hausse des

températures moyennes, la fonte massive des glaciers et une élévation du niveau de la mer. Le réchauffement moyen atteint 0,74°C. Depuis l'ère industrielle, la concentration de CO<sub>2</sub> a augmenté de 35%, celle du N<sub>2</sub>O de 18%, et celle du CH<sub>4</sub> de 148% (fig 1). Ces courbes illustrent les trajectoires non durables du mode de développement de nos sociétés. Les niveaux de concentration jamais atteints par le passé nous placent dans une situation totalement inconnue et de forte incertitude quant à l'évolution du climat.

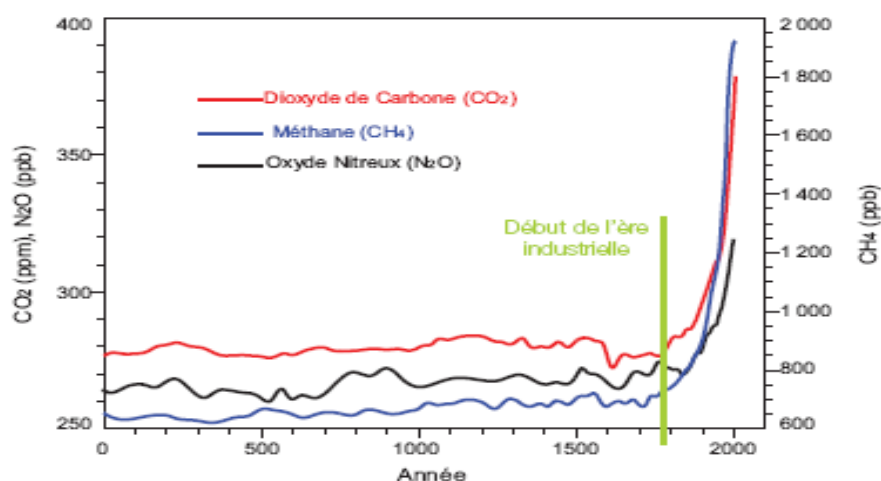


Figure 1 – Evolution des concentrations des principaux gaz à effet de serre (GIEC, 2007)

Le dernier rapport du GIEC présente des scénarios de stabilisation et précise l'évolution des émissions de GES en fonction du niveau de stabilisation des concentrations de CO<sub>2</sub> visé. Deux points importants sont à souligner :

- L'inévitable adaptation. Quels que soient les scénarios, la température moyenne va continuer à augmenter et entraîner des modifications importantes du climat. La fourchette de hausse de la température moyenne varie entre 2 à 6,1°C. Ainsi, il est important de rappeler que les stratégies d'atténuation n'éviteront pas le réchauffement, et qu'il est essentiel de mettre en place des stratégies d'adaptation. Ce dernier point n'est pas développé dans cet article.

- L'urgence de l'action. Les scénarios de stabilisation soulignent l'importance de mettre en œuvre rapidement des actions de réduction des émissions de GES. L'ampleur du réchauffement attendu dépend en effet de la rapidité avec laquelle les Etats arriveront à réduire les émissions pouvant

être caractérisées par l'année du pic d'émission de CO<sub>2</sub>. Ainsi, pour limiter le réchauffement entre 2 et 2,4°C, l'année du pic d'émission doit être atteint en 2000-2015. Si le pic d'émission n'est atteint qu'en 2010-2030, le réchauffement sera alors de l'ordre de 2,8 à 3,2°C. Ainsi, les objectifs fixés à l'horizon 2050 dépendent directement des mesures prises pour ces 10 prochaines années...

La consommation d'énergie non renouvelable pose un problème d'émissions de GES et un problème de coût pouvant fragiliser certains secteurs de l'économie. La consommation et la production d'énergie à l'échelle du monde ne cesse d'augmenter en raison, d'une part, de l'évolution démographique et, d'autre part, de l'évolution des modes de vie de plus en plus consommateurs d'énergie (fig 2). Aussi, il est urgent de favoriser les économies d'énergie et le développement des énergies renouvelables.

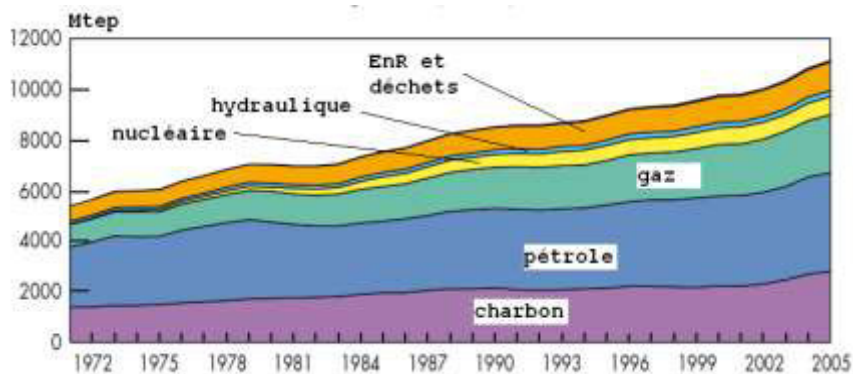


Figure 2 – Evolution de la production d'énergie primaire dans le monde par source d'énergie (AIE)

### Les engagements nationaux et internationaux

À la suite de l'adoption de la Convention Cadre des Nations-Unis sur le Changement Climatique en 1992 (CCNUCC), plusieurs engagements internationaux furent ratifiés. Le plus important fut sans doute le protocole de Kyoto qui impose jusqu'en 2012 aux 38 pays les plus industrialisés des engagements chiffrés, afin que soit réduit d'au moins 5% le total de leurs émissions des 6 gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>) par rapport à leur niveau de 1990.

En Europe, l'outil central de la politique climatique est constitué d'un marché de permis d'émissions de CO<sub>2</sub> (Directive « ETS », Emission Trading Scheme) qui fixe pour chacun des 27 pays de l'Union un plafond d'émissions de CO<sub>2</sub>. Lors du Sommet européen des 8 et 9 mars 2007, les chefs d'Etat et de gouvernement ont par ailleurs adopté un objectif unilatéral de 20 % de réduction des émissions de GES pour l'UE entre 1990 et 2020.

La France enfin, outre ses engagements liés aux protocoles et décisions cités ci-dessus, s'est engagée dans une réduction de 75% en 2050 de ses émissions de GES par rapport à 1990 (« Facteur 4 »). Sachant que l'énergie représente environ 70% de ses émissions, cet engagement est principalement mis en pratique à travers une politique de maîtrise de la demande énergétique, de développement de la recherche et de diversification des sources d'approvisionnement.

L'agriculture reste toutefois au cœur des enjeux car, en France comme dans le monde, elle représente la source majoritaire d'émissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O et un potentiel important de stockage de carbone. Les conclusions du Grenelle de l'Environnement en 2007 ont ainsi rappelé que « l'avenir est à la mise en place d'une agriculture écologiquement productive, qui défend sa compétitivité

par la qualité environnementale de ses modes de production ».

### Quelle est la contribution de l'agriculture ?

#### Agriculture et énergie

L'augmentation du prix des énergies pose la question de la dépendance de l'agriculture par rapport à son énergie consommée et en particulier par rapport au pétrole. L'agriculture est à la fois consommatrice d'énergie non renouvelable et productrice d'énergie. La production agricole, comme tout secteur d'activité, mobilise différents types d'énergie (en dehors de l'énergie solaire captée par les végétaux) :

- De l'énergie « directe » telle que le carburant pour les engins agricoles, l'électricité pour les bâtiments, le gaz pour les chaudières...
- De l'énergie « indirecte » utilisée pour la fabrication des intrants tels que les engrais, ou encore la construction du matériel et des bâtiments.

D'après le Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA), la **consommation d'énergie directe** de l'agriculture française s'élève en 2007 à 3,6 Mtep<sup>1</sup>. Cette consommation représente environ 2% de la consommation nationale, part voisine de sa contribution au PIB. Les dépenses consacrées à l'énergie directe atteignent en moyenne 7800€/exploitation, soit 9% des charges variables (5% en 2004). On observe également de très fortes disparités entre les systèmes de production. En maraîchage et horticulture, le poids du coût moyen de l'énergie directe est de 17%. Il peut monter dans certains systèmes de production sous serre chauffée jusqu'à 30 à 40%.

<sup>1</sup> Mtep : Million de tonnes d'équivalent pétrole, 1 tep = 11 630 kWh

L'analyse de la dépendance globale de l'agriculture aux énergies fossiles doit également tenir compte de **la consommation d'énergie indirecte** utilisée pour la fabrication des intrants. L'estimation est plus difficile à réaliser. Il faut en effet calculer les quantités d'intrants consommées et estimer la consommation d'énergie utilisée pour leur fabrication. Ce sont les principes méthodologiques utilisés dans les ACV<sup>2</sup>. La consommation d'énergie est alors ramenée en « énergie primaire », intégrant la consommation d'énergie des phases amont (transport, raffinage...). Ces principes méthodologiques ont été utilisés dans les diagnostics énergétiques d'exploitation agricole (PLANETE, Dia'terre®...) et dans les approches territoriales (Climagri®). Les résultats à l'échelle de la France montrent que la consommation d'énergie indirecte représente plus de 50% de la consommation totale d'énergie. 80% de la consommation d'énergie totale de l'agriculture repose sur quatre points : les fertilisants, le carburant des tracteurs, l'électricité, l'alimentation du bétail. Les synthèses des diagnostics montrent par ailleurs de très fortes variabilités entre les exploitations agricoles.

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) permet notamment d'évaluer la consommation d'énergie primaire des productions agricoles. Une synthèse bibliographique des principales études disponibles sur les productions agricoles a été réalisée en 2008. Les études analysées confirment la forte variabilité des niveaux de consommation d'énergie primaire. Sur les productions animales (Fig. 3a), la consommation d'énergie primaire est principalement liée à l'alimentation des animaux. Cette part peut, dans certains cas, dépasser 50% de la consommation d'énergie totale. Elle est en partie attribuée à la production des engrais nécessaires à la culture des matières premières des aliments. Pour la production de céréales (Fig. 3b), l'analyse met en évidence l'importance des engrais, des carburants et du séchage des grains. Notons que la phase de séchage des grains est dominante pour les productions de maïs.

---

<sup>2</sup> ACV : Analyse de Cycle de vie

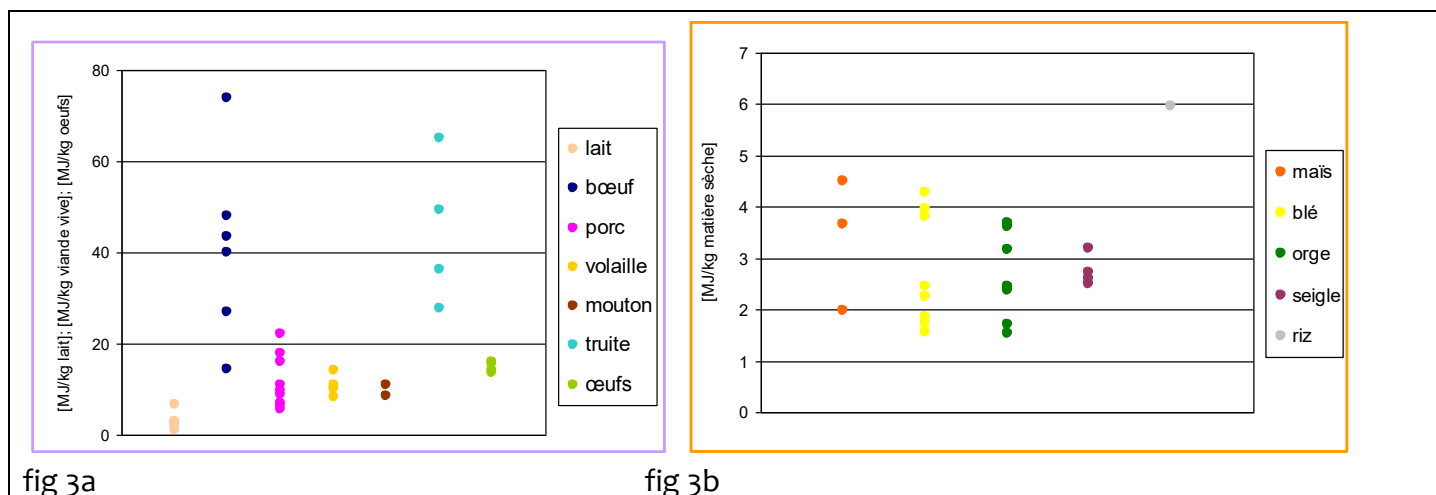


Figure 3 - Consommation d'énergie primaire non renouvelable de produits agricoles (ADEME 2008)

Il faut toutefois noter que les résultats de ces ACV, issues de la bibliographie internationale, ne sont pas directement extrapolables à la situation française.

Malgré la forte variabilité des résultats, la comparaison des productions montre des tendances fortes, avec des niveaux de consommation d'énergie très variables selon la catégorie de produit. Ainsi, la consommation d'énergie des céréales se situe sur une plage variant de 1,5 à 5 MJ/kg, les productions de viande ont des niveaux de consommation d'énergie de 5 à 70 MJ/kg. La production de tomates sous serre chauffée peut consommer de 30 à 380 MJ/kg pour certaines productions particulières.

### Les émissions de GES de l'agriculture

Il est reconnu que le rôle de l'agriculture dans les stratégies de lutte contre le changement climatique est potentiellement majeur. En 2004, la part d'émission de l'agriculture à l'échelle du monde était de 13,5% et les émissions liées à l'utilisation des terres et la foresterie de 17,4% intégrant le déboisement. Sur cette même année, les émissions de l'agriculture en France ont une part plus importante, de l'ordre de 19%, soit 107 Mt eq CO<sub>2</sub> (source CITEPA). Le poids des émissions agricoles de GES dans les inventaires nationaux est très significatif. Il n'y a pas en France d'émission liée au déboisement. Au contraire, compte tenu de son accroissement et de son augmentation de surface, la forêt française stocke annuellement du carbone.

Les émissions directes de l'agriculture française viennent pour (année 2007, Figure 4) :

- 9% de la consommation d'énergie fossile (8,8 Mt eq CO<sub>2</sub>)
- 45% des sols (47,4 Mt eq CO<sub>2</sub>)<sup>3</sup> (émissions de N<sub>2</sub>O)
- 27% de la fermentation entérique (28,3 Mt eq CO<sub>2</sub>)
- 19% de la gestion des déjections animales (19,9 Mt eq CO<sub>2</sub>).

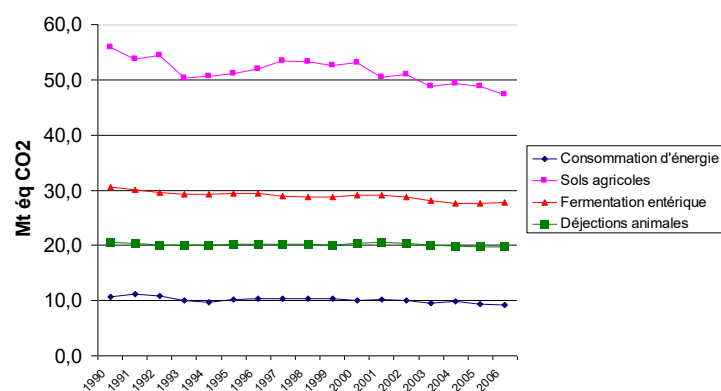


Figure 4 - Emissions de GES du secteur agriculture/sylviculture en France (CITEPA, 2007) (hors stockage / déstockage de carbone des sols)

Depuis 1990, les émissions de l'agriculture ont globalement diminué de 11,6%. Cette évolution provient essentiellement d'une utilisation moindre d'engrais azotés et d'une diminution du nombre d'animaux.

<sup>3</sup> Seules les émissions de N<sub>2</sub>O sont comptabilisées, il n'est en effet pas tenu compte du stockage / déstockage de carbone des sols.

Notons que les seules émissions de N<sub>2</sub>O des sols agricoles ont diminué depuis 1990 de 8,6 Mt eq. CO<sub>2</sub>. Un potentiel important de réduction de ces émissions réside donc dans la maîtrise de la fertilisation azotée et l'amélioration des modes de gestion des effluents d'élevage.

Les principales spécificités du secteur agricole sur les émissions de GES portent sur :

- le poids largement majoritaire des émissions d'origine non énergétique,
  - les incertitudes fortes sur les facteurs d'émission en raison des processus biologiques,
  - le caractère très diffus des sources d'émissions.
- Elles proviennent de l'ensemble des pratiques agricoles pouvant générer des émissions directes ou indirectes, et cela sur de multiples exploitations disséminées sur le territoire,
- de multiples interactions entre les différentes sources et puits liés entre eux par des relations complexes,
  - des liens importants entre les agricultures des différents pays. Les changements d'orientation agricole peuvent en effet générer des déplacements de productions agricoles à l'échelle du monde avec des changements d'affectation indirecte des sols.

Les émissions « amont » de GES dues à la fabrication des intrants et la fabrication du matériel ne sont pas comptabilisées sur le secteur agricole dans les inventaires nationaux. Une étude ADEME a permis d'estimer à environ 27 Mt eq CO<sub>2</sub> les émissions amont de GES dues à l'utilisation des intrants des exploitations françaises. Ces émissions sont produites en partie en France mais aussi dans d'autres pays lors de l'importation d'intrants.

Les ACV confirment le poids prépondérant des émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O dans l'impact des

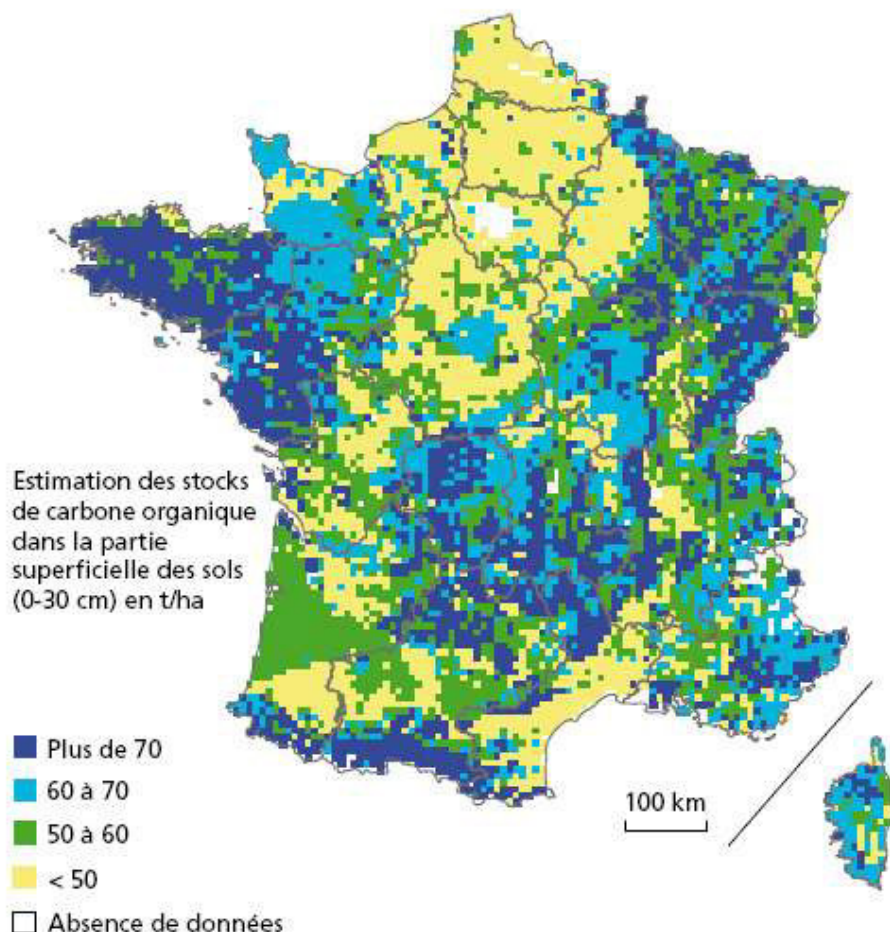
productions agricoles sur l'effet de serre. Elles montrent une variabilité des résultats sur l'effet de serre encore plus importante que sur l'énergie. À titre d'exemple, pour les productions céréalières, les impacts varient entre 0,28 et 0,80 kg eq CO<sub>2</sub> par kg de matière sèche (ADEME 2008). Les variations observées sur une même production proviennent des différents modes de production (scénarios) et d'écart méthodologiques entre les études. On notera que les ACV ne prennent pas toujours en compte le (dé)stockage de carbone dans les sols et appréhendent mal les changements d'affectation des sols, ce qui constitue une limite à leur utilisation pour l'agriculture et les produits agricoles.

### **Stockage et variation des stocks de carbone**

Les sols interviennent dans le cycle du carbone en agissant comme source ou comme puits vis-à-vis de deux gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et le méthane (CH<sub>4</sub>).

La quantité de carbone organique contenue dans les sols du monde est évaluée à 1 500 milliards de tonnes, soit deux fois plus que dans l'atmosphère et trois fois plus que dans la végétation. L'agriculture apporte une capacité de stockage importante de carbone dans la biomasse et dans les sols. L'expertise de l'INRA (Arrouays *et al.*, 2002) indique un stock de carbone dans les sols français d'environ 3,1 milliards de tonnes pour la couche 0-30 cm. La forêt stocke par ailleurs une quantité importante de carbone dans la biomasse aérienne.





Arrouays et al. 2001

Figure 5 : Estimation des stocks de carbone organique dans la partie superficielle des sols

L'occupation des sols, les conditions climatiques et le type de sol influent sur les stocks de carbone organique dans les sols. Les stocks les plus faibles (<40 t C/ha, soit <147 t eq CO<sub>2</sub>/ha) sont observés dans les sols peu profonds des sols viticoles (Languedoc-Roussillon, Bordelais, vallées de la Saône et du Rhône), et également dans certaines zones de culture très intensive (Nord, Beauce Chartraine). Les stocks faibles (40 à 50 t C/ha, soit 147 à 183 t eq CO<sub>2</sub>/ha) sont caractéristiques des grandes plaines de culture intensive ainsi que des sols limoneux plus ou moins dégradés (Bassin Parisien, Bassin Aquitain en partie, Toulousain, Languedoc et Sillon Rhodanien). Les stocks moyennement élevés (50 à 70 t C/ha, soit 183 à 257 t eq CO<sub>2</sub>/ha) se situent dans les régions forestières et fourragères ou les zones montagneuses (Ardenne, Jura, Pyrénées, Alpes, Massif Central, Lorraine, Bretagne et Normandie). Les stocks les plus élevés correspondent à des sols situés en altitude et à des situations hydriques extrêmes (marais de l'Ouest, delta du Rhône, sols tourbeux des Landes).

Les travaux menés dans le cadre du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol<sup>4</sup> (Antoni et Arrouays, 2007) montrent que les sols agricoles français ont émis 6 MtC/an, tandis que les sols forestiers ont stocké 0,7 MtC/an seulement (grâce à l'accroissement des surfaces boisées) entre la période 1990 - 1995 et la période 1999 - 2004. Le bilan global est donc négatif : les sols de France auraient perdu 53 Mt C sur 10 ans (194 Mt eq CO<sub>2</sub>), soit 1,7% de leur stock estimé.

### Les outils d'analyse

On observe actuellement un foisonnement d'outils d'aide à la décision sur l'énergie et l'effet de serre pour le secteur agricole. Ils se différencient par leurs indicateurs, leurs périmètres, les objectifs et leurs utilisations. Parmi les outils disponibles, il est possible de les classer en trois catégories correspondant à trois échelles d'action différentes :

<sup>4</sup> Le GIS Sol, qui regroupe le MEEDDM, le MAAP, l'INRA, l'ADEME, l'IRD et l'IFN, a pour objectif de constituer et de gérer un système d'information sur les sols de France ([www.gissol.fr](http://www.gissol.fr)).



- Les outils d'aide à la décision pour les agriculteurs. Ce premier niveau d'analyse rassemble les démarches visant à aider les agriculteurs à améliorer l'efficacité énergétique de leurs exploitations et leur bilan sur l'effet de serre. Ils sont destinés aux agriculteurs et aux conseillers agricoles. A titre d'exemple, l'outil DECIBEL permet de réaliser un diagnostic énergétique des bâtiments d'élevage des filières porcine, volaille de chair et bovin laitier. L'outil AMETHYST<sup>5</sup> permet le diagnostic des consommations d'énergie et d'eau des chais viticoles. Enfin, d'autres outils permettent le diagnostic des moteurs de tracteurs ou la mise en œuvre de projets d'énergie renouvelable ou de méthanisation des effluents d'élevage. D'autres outils visent encore l'analyse à l'échelle du système de production : ils permettent d'étudier son évolution et de mieux prendre en compte les interactions entre les ateliers. Basés sur une approche globale, ces outils prennent en compte des impacts indirects (émissions de GES indirectes). Plusieurs outils de ce type sont actuellement utilisés en France comme Dia'terre® ou le Bilan Carbone® (pour les entreprises).

- Les démarches d'analyse des filières et des produits. La dimension filière a pris une place plus importante au cours de ces dernières années avec le développement des cahiers des charges de production et l'objectif d'affichage environnemental des produits de grande consommation dans le cadre du Grenelle de l'Environnement. Elle constitue un levier important d'évolution de l'agriculture et de l'ensemble du processus d'élaboration d'un produit permettant notamment de prendre en compte l'impact des transports des matières premières agricoles. Les analyses de cycles de vie (ACV) répondent à cette dimension filière. Elles permettent d'analyser les impacts environnementaux de chaque étape du processus de production. L'harmonisation des méthodes et des protocoles d'acquisition des données d'inventaire, est nécessaire pour faciliter l'interprétation et la comparaison des résultats entre études. Dans cet objectif, le projet AgriBalyse (mettre une référence) vise la constitution et la structuration de bases de données des ACV agricoles.

- Construction de stratégie agricole à l'échelle des territoires. Cette échelle d'analyse est probablement la moins développée actuellement.

L'analyse à l'échelle des territoires vise à construire une stratégie agricole locale de lutte contre le changement climatique en tenant compte de la spécificité du milieu considéré. Ce niveau d'analyse est particulièrement pertinent pour définir les priorités d'action sur un territoire et prendre en compte la complémentarité des systèmes de production. Ce type de démarche est en particulier nécessaire dans la mise en œuvre des plans climat énergie territoriaux avec les collectivités locales. La démarche Climagri®, complémentaire du « Bilan Carbone® Territoire » est actuellement en phase de développement. L'outil est conçu pour aider à construire des scénarios agricoles en mettant en relation trois types d'indicateurs : bilan énergétique, émissions de GES, production agricole.

---

<sup>5</sup> [www.amethyst-project.eu/](http://www.amethyst-project.eu/)

	Echelles de l'analyse		
	Exploitation agricole	Territoire	Filière
<b>Acteurs concernés</b>	Agriculteurs (individuels et groupes) et conseillers agricoles	Collectivités, bassin de production	IAA <sup>6</sup> , coopératives
<b>Principes</b>	Analyse du système de production, d'un atelier ou d'un équipement	Analyse de l'impact de l'agriculture sur un territoire	Analyse des impacts environnementaux d'une filière.
<b>Exemples d'utilisation</b>	Amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment, d'un atelier d'élevage, d'une parcelle... Aide à l'orientation stratégique de l'exploitation	Aide à la construction de stratégies agricoles locales (Plans Climat territoriaux)	Réduire les impacts de la filière
<b>Exemples d'outils</b>	DIGES (méthanisation) DECIBEL (bâtiments d'élevage) Dia'terre® Bilan Carbone® Entreprises	Bilan Carbone® Territoire. Climatagri®	Analyse de cycle de vie (ACV) Projet AgriBalyse

Tableau 1 : Outils d'analyse

Soulignons qu'aucun des outils disponibles ne permet seul d'embrasser l'ensemble des problématiques énergétique et climatique de l'agriculture, ce qui est pourtant nécessaire dans la construction de stratégies agricoles locales. Il semble préférable de s'orienter vers l'utilisation harmonieuse de la combinaison de ces méthodes aux différentes échelles pour aborder la complexité des systèmes de production agricole, répondre à la diversité des acteurs et donner des orientations cohérentes agricoles.

## Quelques pistes d'améliorations

Les pistes présentées ci-dessous ne sont pas exhaustives. Elles donnent une idée des principales voies actuellement étudiées.

### Les économies d'énergie directe

La consommation d'énergie directe de l'agriculture est de 3,6 Mtep (9% des émissions de GES). On estime le gisement d'économie de l'ordre de 10 à 20% sans remettre en cause les systèmes de production.

Les engins agricoles (consommation d'environ 2 Mtep, Bochu 2005)

Ils constituent le poste le plus consommateur d'énergie directe dans les exploitations agricoles. Le travail du sol est l'activité la plus consommatrice d'énergie. Aussi, la sobriété énergétique renvoie en particulier aux problématiques agronomiques de simplification du travail du sol, de modification des itinéraires techniques, d'organisation de chantiers et de réorganisation du parcellaire. A titre d'exemple, la suppression du labour peut générer des économies de fioul de l'ordre de 40% sur l'itinéraire technique. La formation des agriculteurs et chauffeurs à la conduite économe en énergie permet également de réduire de façon significative la consommation de fioul. On estime qu'une bonne utilisation du matériel agricole (conduite, entretien, réglage) génère jusqu'à 20% d'économie d'énergie. D'autres voies actuellement étudiées portent sur l'amélioration du rendement des moteurs (classification énergétique des tracteurs, diagnostic des moteurs...).

Les bâtiments d'élevage (consommation de 376 ktep)

Les élevages consomment de l'énergie globalement pour le chauffage de l'eau, celui des bâtiments, la ventilation, l'éclairage et le refroidissement du lait. Un bilan a été réalisé avec les instituts techniques et les chambres d'agriculture sur la consommation d'énergie des bâtiments d'élevage (ADEME 2007). Les principaux leviers d'action portent sur l'amélioration du bâtiment, l'optimisation du couplage chauffage-ventilation et l'entretien des équipements. Les échangeurs thermiques air-air semblent par exemple une piste d'action à privilégier sur les bâtiments hors-sol. Ils permettent en effet un gain significatif sur l'énergie utilisée pour le chauffage du bâtiment tout en améliorant le confort des animaux. En production laitière, la consommation d'énergie directe est à 53% en électricité. Les pistes d'économie d'énergie sur la laiterie portent par exemple sur l'aération du local où est installé le tank, l'utilisation d'un pré-refroidisseur de lait (gain de 40 à 50% de la consommation énergé-

<sup>6</sup> Industrie agro-alimentaire.

tique du tank) ou encore l'installation d'un récupérateur de chaleur du tank qui peut fournir 60 à 70 % de l'énergie nécessaire au chauffage de l'eau. Les serres (458 ktep).

Les exploitations maraîchères et horticoles sont très dépendantes des énergies fossiles. Le CTIFL (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes), l'ASTREDHOR (Association nationale des structures d'expérimentation et de démonstration en horticulture) et l'INH (Institut National d'Horticulture) ont réalisé en 2007 pour l'ADEME une étude pour connaître la consommation énergétique de ce secteur, le niveau d'équipement et les leviers d'actions. L'étude met en évidence l'importance de la maîtrise de la consommation d'énergie qui représente en moyenne pour les maraîchers 22% des coûts de production. La consommation énergétique est très variable selon les régions, avec une consommation moyenne de 240 kWh/m<sup>2</sup> dans le bassin Rhône-Méditerranée et 400 kWh/m<sup>2</sup> en Bretagne. Des actions simples et peu coûteuses ont été soulignées (contrôle des installations de chauffage, vérification des sondes climatiques, calorifugeage du réseau primaire...). Les actions identifiées portent sur les structures des serres (matériaux, écrans thermiques, isolation des parois), la distribution et la production d'eau chaude (stockage d'eau chaude, condenseur sur la chaudière...) et la gestion climatique de la serre (ordinateur climatique avec intégration de température...). A moyen terme, des évolutions plus profondes sont étudiées. Elles portent sur le choix de systèmes de culture moins exigeants en température, de nouvelles générations de serres capables de stocker l'excédent d'énergie dans les aquifères ou encore la réorganisation du parc de serres autour de sources d'énergie thermique disponible et moins onéreuse, comme les sources dites « fatales » (centrales thermiques, sites industriels, sources géothermiques, sites d'incinération des déchets, etc.), permettant de valoriser la chaleur auparavant perdue.

### **Gestion de la fertilisation azotée**

Les émissions des GES des sols agricoles sont estimées à 47 Mt eq CO<sub>2</sub> (CITEPA 2006), soit 45 % des émissions comptabilisées dans le secteur agricole (hors variation des stocks de carbone).

Tant pour l'énergie que pour les émissions de GES, la maîtrise de la fertilisation azotée est un élément clé de l'évolution des pratiques agricoles. Là en-

core, les défis énergétiques et climatiques mettent l'agronomie au cœur de l'évolution des systèmes de production agricole. On peut considérer en première approximation que chaque tonne d'azote minéral utilisée est responsable en moyenne de l'émission de 10 à 12 t eq CO<sub>2</sub> sur l'ensemble du processus de production et d'épandage de l'azote minéral. Rappelons qu'il existe de fortes incertitudes sur les facteurs d'émission utilisés. Selon les sources, le facteur d'émission du protoxyde d'azote peut varier entre moins de 1% jusqu'à 5%. Compte tenu des enjeux, il est donc important de poursuivre la recherche pour affiner et améliorer les bilans et réduire l'incertitude autour de ces facteurs.

Parmi les voies d'amélioration, la maîtrise des apports d'azote à l'échelle de la parcelle est prioritaire. Le CORPEN a estimé les excédents azotés sur l'année 2001 à environ 721 000 tonnes d'azote au niveau national (Agreste 2005). L'utilisation par les agriculteurs des outils de pilotage est toujours à encourager.

Les émissions de GES au stade de la fabrication des engrais sont importantes. Les industries des engrais sont soumises à des quotas d'émission incitant à une amélioration des processus de fabrication. Pour les agriculteurs et les fournisseurs, le choix de la forme des engrais et de l'origine (type d'usine) peut modifier considérablement les bilans GES. La part des émissions au stade de la fabrication des engrais est du même ordre de grandeur que la part des émissions au champ.

La valorisation agronomique de la matière organique et l'introduction de légumineuses sont des orientations importantes à promouvoir pour substituer les apports d'engrais de synthèse. L'Institut de l'Élevage a conduit avec l'appui de l'ADEME une étude sur les émissions de GES des élevages bovins (Hacala, S, 2006). L'introduction de légumineuses en mélange dans les prairies réduit les émissions globales de l'élevage de 3 à 7 % aussi bien en lait qu'en viande. Rappelons que la surface de légumineuses a diminué de 3,3 M ha depuis 40 ans. Le développement de 1,1 M ha de prairies comportant du trèfle permettrait de réduire les émissions de GES de 1,2 M teq CO<sub>2</sub> et la consommation d'énergie de 0,15 Mtep (Solagro, 2004).

### **Gestion et traitement des effluents d'élevage**

Les élevages émettent au niveau national 47 Mt eq CO<sub>2</sub> (CITEPA 2006) par la fermentation entérique et la gestion des déjections animales. La part



des émissions de la fermentation entérique dans le total des émissions de l'agriculture et sylviculture s'élève à 27%. La part concernant la gestion des déjections animales est de 19% des émissions du secteur.

La méthanisation est un mode de traitement des effluents qui permet de réduire d'environ 80 % les émissions de GES lors de leur stockage. Cette technique a également les avantages suivants :

- Production d'une énergie renouvelable sous forme thermique et/ou électrique par valorisation du biogaz,
- Réduction des nuisances liées à l'épandage des déjections animales,
- Amélioration de la valeur fertilisante des effluents permettant une valorisation agronomique des substrats.

Les élevages français produisent annuellement 150 Mt d'effluents ou de déchets (les autres 150 Mt de déjections animales étant directement émises au pâturage). D'autres déchets organiques provenant de l'industrie agroalimentaire sont disponibles pour la méthanisation en milieu agricole (38 Mt), des collectivités (27 Mt) ou certains résidus de culture, également utilisables en codigestion avec les déjections des élevages. Le potentiel total (théorique) des déchets et sous-produits valorisables en méthanisation agricole s'élève à environ 250 Mt de matière brute organique. Le traitement par méthanisation de 10 % des effluents d'élevage produirait 0,2 Mtep d'énergie et réduirait les émissions de GES de 1,7 Mt éq CO<sub>2</sub>.

D'autres modes de traitement des effluents sont également utilisables pour réduire les émissions de GES au stockage. Le CEMAGREF (Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement) a réalisé, avec l'appui de l'ADEME, une synthèse des flux de GES liés à la gestion des déjections animales (Gac A. *et al.* 2006). Parmi les technologies étudiées ayant un impact significatif sur les émissions de GES, on peut noter le traitement aérobie du lisier (baisse de 70% des émissions de CH<sub>4</sub> au stockage) ou la modification d'alimentation des animaux (alimentation biphasé des porcs, diminution du taux protéique).

### **Leviers d'actions sur le stockage du carbone dans les sols**

Diverses actions permettent d'augmenter les stocks de carbone dans les sols de façon significative à l'échelle du territoire (Arrouays *et al.*, 2002).

Les conversions de terres labourées en prairies permanentes, ainsi que l'enherbement des vignes et des vergers présentent un potentiel très important, de l'ordre de 0,5 tC/ha/an sur 20 ans. Les changements de pratiques retenus (suppression du labour, implantation de cultures intermédiaires) permettent des stockages additionnels plus faibles, de l'ordre de 0,15 à 0,3 tC/ha/an. Le potentiel de stockage de C par les herbages apparaît également important : diverses modifications des systèmes de cultures fourragères pourraient permettre un flux de 0,3 à 0,5 t C/ha/an. Enfin, l'implantation de haies induit bien un stockage additionnel de C, mais celui-ci est très variable selon les caractéristiques de la haie (largeur, hauteur...). L'ordre de grandeur serait de 0,1 tC/ha/an pour 100 m linéaires de haie par hectare.

La simplification du travail du sol est souvent mise en avant pour augmenter le stock de carbone dans les sols. Une synthèse bibliographique des impacts environnementaux des techniques sans labour a été réalisée en 2007 par les organismes suivants : ADEME, ARVALIS - Institut du végétal, INRA, APCA, CETIOM, AREAS, ITB, CETIOM, IFVV. Concernant l'impact des techniques sans labour sur l'effet de serre, l'étude souligne le manque de références issues d'essais longue durée en France. Sous nos climats, les TCSL (techniques culturales sans labour) induisent des mécanismes favorables au stockage de carbone dans le sol, résultat des effets conjugués sur la minéralisation ralentie de la matière organique stable du sol et sur l'évolution des matières organiques apportées. Ce stockage a été évalué dans l'étude à partir des données tirées de l'expérimentation de longue durée de Boigneville (91). Sous nos climats, les capacités de stockage de carbone dans le sol sous l'effet des TCSL sur une vingtaine d'années n'excèderaient pas 200 kg C org/ha/an, valeur sensiblement inférieure aux valeurs de 300 à 500 kg C org /ha/an relevées dans la littérature anglo-saxonne.

L'étude montre aussi que les résultats les plus nombreux indiquent des émissions de N<sub>2</sub>O plus importantes en TCSL qu'en système avec labour ; d'autres résultats ne montrant pas de différence ou présentant même des résultats inversés. Un récent travail de synthèse (Nicolardot et Germon, 2008) suggère que les conditions favorables s'atténuent avec la durée de mise en techniques simplifiées et qu'après plusieurs années, les émissions de N<sub>2</sub>O tendent à devenir comparables en

système labouré et en TCSL. L'intérêt de cette technique réside surtout dans l'économie d'énergie des tracteurs de 20 à 40 %. Le bilan global des techniques culturales sans labour sur l'effet de serre est positif de 300 kg CO<sub>2</sub>/ha/an.

Parmi les scénarios de gestion des sols, ayant un impact sur le stockage du carbone largement établi, on peut citer également le changement de l'utilisation des sols (Soussana *et al.*, 2006). L'augmentation annuelle du stock de carbone de terres cultivées converties en prairies permanentes est estimée en moyenne de l'ordre de 0,5 t C/ha/an pendant les vingt premières années (Arrouays *et al.*, 2002). Puis la vitesse d'augmentation des stocks se ralentit. A l'inverse, le retournement d'une prairie va générer un déstockage rapide du carbone contenu dans le sol. Ce constat nous amène à souligner l'importance de la part des prairies dans les systèmes d'élevage. Un élevage basé sur une alimentation à base de maïs qui repasse à un système à base de prairies va ainsi augmenter progressivement les stocks de carbone des sols et améliorer son bilan global sur l'effet de serre pendant 20 ans. L'étude de l'Institut de l'Élevage et de l'ADEME sur l'évaluation des émissions de GES et stockage de carbone dans les exploitations bovines (S. Hacala *et al.*, 2006), montre, avec une hypothèse de stockage de 0,5 t C/ha/an sur une prairie, que le carbone dans les prairies compense les émissions de GES de 40 à 70 % pour des systèmes très herbagers et de 10 à 14 % pour des systèmes à plus de 30 % de maïs.

### **Produire des énergies renouvelables**

L'utilisation de la biomasse en énergie et bioproduits constitue une voie importante de substitution des produits pétroliers. L'objectif national de production de 23% d'énergie renouvelable en 2020 repose à 50% sur la biomasse agricole et forestière. Les principales questions du développement de la filière biomasse énergie (chaleur, électricité ou biocarburant) et de la filière chimie du végétal et matériaux renouvelables concernent la disponibilité de la ressource, la pérennité de l'approvisionnement, la gestion durable de la ressource, ainsi que les concurrences d'usage...

D'importants enjeux pèsent sur la mobilisation supplémentaire de biomasse en forêt afin de pouvoir alimenter de façon durable l'ensemble des acteurs du marché de l'énergie, des matériaux et de la chimie. Ainsi, les acteurs doivent se préparer

à un changement d'échelle qui a déjà démarré puisque entre 2009 et 2012, la consommation prévisionnelle de plaquettes forestières va être multipliée par 10 (passage de 300 000 tonnes à 3 millions de tonnes/an).

La production et l'utilisation des biocarburants suscitent des débats sur le plan scientifique quant aux bilans GES, en terme de durabilité (sols, déforestation, développement social et économique), et également en termes de concurrence sur l'usage des terres (cultures alimentaires). L'ACV des biocarburants de première génération publié en 2010 affiche, sans tenir compte des effets de changement d'affectation des sols, des bilans énergétiques et d'émissions de GES plus favorables que ceux des carburants fossiles. L'analyse montre la sensibilité importante des résultats aux hypothèses de changement d'affectation indirecte des sols. L'analyse de l'impact d'une filière sur le changement d'affectation des sols (donc les variations des stocks de carbone) est complexe car nécessite une modélisation de mécanismes économiques générant des évolutions de prix et des déplacements de productions... Afin d'améliorer la connaissance de l'évaluation environnementale des biocarburants, l'ADEME et l'INRA ont engagé des études visant à mieux évaluer les effets potentiels des biocarburants sur le changement d'usage des sols. Soulignons que la question du changement d'affectation des sols ne se pose pas uniquement aux biocarburants, mais aussi aux usages non agricoles d'espace.

### **Conclusions**

Les études conduites sur la contribution de l'agriculture à la lutte contre le changement climatique mettent en évidence de multiples leviers d'action. Certaines évolutions sont envisageables à court terme (économies d'énergie directe, méthanisation...) alors que d'autres, plus complexes mais très impactantes en terme de réduction des émissions (assolement, mode d'élevage...), sont à mettre en place progressivement. Les solutions recherchées doivent nécessairement prendre en compte ces deux échelles de temps. Aucun des modes de production agricole actuels ne peut prétendre répondre aux objectifs ambitieux de lutte contre le changement climatique. La recherche de solutions « standard » ou de modèles ne semble pas adaptée à la complexité des problèmes à résoudre. Aussi, face à cette complexité,

efforçons-nous de proposer et mettre en place des démarches d'innovation qui génèrent de la diversité de solutions adaptées aux spécificités locales. Les outils d'aide à la décision sont à concevoir dans ce sens, comme des outils d'aide à la co-construction entre les différents acteurs.

Comme nous avons cherché à l'illustrer dans cet article, les voies d'amélioration des bilans énergétique et de GES sont très nombreuses et complexes, avec des interactions fortes entre les pratiques agricoles. Il nous est aujourd'hui difficile de faire une véritable mise en perspective permettant d'analyser le potentiel de contribution globale de l'agriculture à la lutte contre le changement climatique. Cette analyse doit en effet tenir compte des effets croisés entre les émissions de GES, les variations de stockage du carbone, la production de biomasse à usage énergétique ou les risques de transfert de pollution. La construction de scénarii environnementaux doit aussi prendre en compte l'accroissement des besoins alimentaires mondiaux ainsi que les effets du changement climatique sur les productions. L'un de nos objectifs est à présent de poursuivre et renforcer les études prospectives et travaux de recherche sur ce sujet pour mieux évaluer le rôle potentiel que pourrait assurer, à l'horizon 2050, l'agriculture et de la forêt dans la lutte contre le changement climatique.

#### Remerciements :

*Les auteurs remercient Lucie Deltour, Caroline Rantien, Thomas Eglin et Julien Thual de l'ADEME pour leur contribution.*

#### Bibliographie

Arrouays D., Deslais W., Badeau V., 2001 - The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. *Soil Use and Management* 17, pp. 7-11.

Arrouays D., J, Balesdent, J.C. Germon, P.A. Jayet, J.F. Soussana, P. Stengel, 2002. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France Expertise collective. Synthèse du rapport d'expertise réalisé par l'INRA. Octobre 2002 Résumé 31 pages INRA Paris (Rapport de base. 332 pages).

ADEME-ARVALIS Institut du végétal-INRA-APCA-AREAS-ITB-CETIOM-IFVV, 2007. Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans Labour (TCSL) en France. Juillet 2007.

ADEME, 2007. Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments d'élevage : situation technico-économique et leviers d'action actuels et futurs, ITAVI, Institut de l'Elevage, IFIP, Chambres d'Agriculture Bretagne et Pays de Loire, mars 2007, 566 p.

ADEME, 2007. Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres : situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs, ADEME, mars 2007.

ADEME – SOLAGRO (BOCHU J-L) 2007, synthèse 2006 des bilans PLANETE : consommation d'énergie et émissions de gaz à effet de serre des exploitations agricoles ayant réalisé un bilan PLANETE, ADEME, 238 p.

ADEME, 2007. Etude de l'impact environnemental du transport des fruits et légumes frais importés et consommés en France métropolitaine. Bio Intelligence Service. Octobre 2007. 160p

ADEME, 2008. Analyse du cycle de vie des produits agricoles. Ecoinvent. Novembre 2008.

Antoni V, Arrouays D, novembre 2007. Le stock de carbone dans les sols agricole diminue. Le 4 pages de l'IFEN, n° 121

Basset-Mens C., Van Der Werf H., 2004. Evaluation environnementale de systèmes de production de porc contrastés. In : Journées Recherche Porcine, 36, 47-52.

Bochu JL, Couturier C, Pointereau Ph, Charru M, Chantre E, 2005. Maîtrise de l'énergie et autonomie énergétique des exploitations agricoles françaises : état des lieux et perspectives d'actions pour les pouvoirs publics, décembre 2005, Solagro - MAP, 85 p.

Deltour L., Cariolle M., Dollé J-B., Espagnol S., Flénet F., Guigand N., Lagadec S., Le Gall A., Lellahi A., Malaval C., Ponchant P., 2009. GES'TIM, Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre, Version 1.1. Mai 2009, Institut de l'Elevage, Paris.

Gac A, Béline F, Boiteau T, 2006. Flux de gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) liés à la gestion des déjections animales : synthèse bibliographique et élaboration d'une base de données. CEMAGREF-ADEME, 98p.

GIEC 2007. « Changement climatique 2007. Rapport de synthèse ». GIAC 114 P.

Hacala S, 2006. Evaluation des émissions de gaz à effet de serre et stockage de carbone dans les exploitations bovines, 2006, ADEME, Institut de l'Elevage, Hacala S., 139 p.

Nicolardot B., Germon J.-C., 2008. Emissions de méthane (CH<sub>4</sub>) et d'oxydes d'azote (N<sub>2</sub>O et NO<sub>x</sub>) par les sols cultivés. Aspects généraux et effet du non travail du sol. Etude et Gestion des Sols, vol. 15,3, pp. 171-182.

Riedacker A, Mousset J, Bodineau L, Racapé J, Theobald O, 2006. Energie et effet de serre : quelles évolutions pour l'agriculture ? Actes des journées de l'AFPF Mars 2006, pp 21-34

SOLAGRO 2004 : « Lutter contre le changement climatique en agriculture » 7 pages, Les nouvelles de SOLAGRO N°32

Soussana JF, Laville P, Hénault C, Allard V, Fiorelli JL, Cellier P, 2006. Bilans de gaz à effet de serre en prairies et cultures : méthodologies et résultats. Actes des journées de l'AFPF Mars 2006, pp 59-68

Les études ADEME sont disponibles sur le site Internet de l'ADEME.