

# CLIMAGRI® :

UN OUTIL ET UNE DÉMARCHE POUR CO-CONSTRUIRE DES STRATÉGIES TERRITORIALES D'ATTÉNUATION DES ÉMISSIONS DE POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES ET DE GAZ À EFFET DE SERRE D'ORIGINE AGRICOLE SUR LES TERRITOIRES

# CLIMAGRI®:

A COMPUTER TOOL AND PARTICIPATIVE APPROACH TO DESIGN MITIGATION STRATEGIES OF AIR POLLUTANT AND GHG EMISSIONS DUE TO AGRICULTURE AT A TERRITORIAL LEVEL

Thomas EGLIN  
Édith MARTIN  
Sarah MARTIN  
Audrey TRÉVISIOL  
Jérôme MOUSSET

ADEME, DPED, Service Agriculture et Forêts, F-49000 Angers

Sylvain DOUBLET  
Solagro, F-31000 Toulouse

Laurence GALSOMIÈS  
ADEME, DVTD, Service Evaluation de la Qualité de l'Air, F-75 000 Paris

## Résumé

La réduction des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre (GES) d'origine agricole constitue un enjeu majeur pour l'atteinte des objectifs nationaux, actuels et futurs, d'amélioration de la qualité de l'air et de contribution à l'atténuation du changement climatique. L'échelle des territoires est un maillon intéressant pour le portage de projets et la mobilisation d'acteurs locaux de manière transversale. L'outil ClimAgri®, porté par l'ADEME, permet d'effectuer un diagnostic des émissions de plusieurs polluants atmosphériques (en particulier l'ammoniac), de gaz à effet de serre, des consommations d'énergie de l'agriculture et la forêt, à l'échelle d'un territoire,

au regard de son potentiel nourricier et de production de biomasse. Ce diagnostic constitue un support pour identifier les principaux enjeux et les leviers d'actions, notamment dans le cadre des Plans Climat Air Énergie Territoriaux (PCAET). Sa mise en œuvre s'accompagne d'une démarche de projet, visant à partager ces éléments avec les acteurs du territoire et à co-construire un plan d'actions concret pour favoriser le déploiement de pratiques agricoles vertueuses, adaptées aux contextes locaux. En 2015, l'outil Climagri® a notamment été utilisé au niveau national dans le cadre d'exercices de scénarisation prospective à l'horizon 2035 : les « scénarios prospectifs climat-air énergie » conduits par le ministère en charge de l'Énergie et la mise à jour du volet agricole de la

vision énergétique de l'ADEME. Il a permis d'animer l'élaboration de scénarios pour le secteur agricole français sur la base d'hypothèses d'évolution couplées entre elles et crédibles.

### Mots-clés

ClimAgri®, agriculture, diagnostic, territoire, air, ammoniac, énergie, gaz à effet de serre, atténuation, outil d'aide à la décision.

### Abstract

*Reducing air pollutants and greenhouse gases emissions from agricultural activities is a major issue to improve air quality in France and to achieve national climate change objectives. The territorial level is useful for mobilizing local actors with different interests as a basis for a common project. The Climagri® tool was developed by ADEME to estimate air pollutants and greenhouse gas emissions, and energy consumption*

*from agricultural and forest activities at territorial scale. It also allows estimating food and biomass productions. Climagri® can be used to identify the main issues and the technical measures to be implemented in local Air, Energy, Climate Plans. Climagri® allows to share the diagnosis with local actors, in particular the farming sector, and to build together appropriate action plan aiming at favoring the diffusion of environmentally-friendly agricultural practices and technologies. In 2015, Climagri® was used at the national level to build coherent low GhG emissions scenarios for French agriculture in 2035.*

### Keywords

*ClimAgri®, agriculture, evaluation, territory, air, ammonia, energy consumption, greenhouse gases, mitigation, decision-making tool.*

## Introduction

### Un enjeu national

La France, par son climat favorable et son histoire, est un pays où l'agriculture joue un rôle important. En 2012, l'agriculture occupait 51 % de la surface du territoire métropolitain (Agreste, 2014) et elle se trouve à l'interface de multiples enjeux : produire une alimentation saine et suffisante, préserver les ressources et facteurs naturels de production que sont l'eau, les sols et la biodiversité, contribuer à la lutte contre le changement climatique et s'y adapter, contribuer à l'amélioration de la qualité de l'air et réduire les risques pour la santé des travailleurs agricoles, maintenir voire développer l'activité économique dans les zones rurales... (ADEME, 2015a)

Parmi ces enjeux, le rôle de l'agriculture dans l'atténuation des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) et l'amélioration de la qualité de l'air ambiant fait l'objet d'une prise de conscience encore récente. Au plan national, ce rôle pourrait pourtant être loin d'être négligeable :

- L'agriculture contribue actuellement à près de 20 % des émissions françaises de Gaz à Effet de Serre (GES), notamment en méthane (CH<sub>4</sub>) et en protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) (CITEPA, 2015a). Réduire les émissions de

GES de 40 % à l'horizon 2030, et diviser par quatre (« facteur 4 ») ces émissions, tous secteurs confondus, en 2050 par rapport à 1990, constituent des défis majeurs pour la France (ADEME-MAAPRAT, 2012 et loi pour la transition énergétique). L'implication du secteur agricole dans l'atténuation du changement climatique paraît donc indispensable, d'autant qu'un certain nombre de travaux montrent qu'il est possible de mettre en œuvre des stratégies au niveau de la ferme pour limiter les émissions de GES, tout en favorisant la préservation de la qualité des sols (en particulier, leur teneur en matière organique et leur biodiversité) et en produisant des matériaux et énergies renouvelables (Pellerin *et al.* 2013, ADEME, 2015b) ;

- Le secteur agricole contribue de manière spécifique aux émissions atmosphériques de polluants, en lien avec certaines pratiques agricoles : les émissions de composés azotés, issues de la fertilisation des cultures et de la gestion des effluents d'élevage (avec 97 % des émissions nationales d'ammoniac (NH<sub>3</sub>)), émissions de produits phytosanitaires (91 % des usages sont agricoles), les émissions de particules primaires par les travaux aux champs et par le brûlage à l'air libre des résidus agricoles, et les émissions

de Composés Organiques Volatils d'origine biogénique (COVb) en lien avec les espèces végétales cultivées... (PRIMEQUAL, 2015). Le secteur agricole participe aussi à la formation des polluants atmosphériques, notamment la pollution particulaire, avec une contribution ammoniacale avérée aux pics printaniers de particules fines (Rouil *et al.* 2015), et la pollution à l'ozone, avec une contribution de COVb (émis par les cultures) aux pics estivaux de pollution oxydante. Le couvert végétal favorise une forte réactivité des oxydes d'azote (issus du trafic routier notamment), conduisant à la formation d'acide nitreux (HONO) et de radicaux hydroxyles (OH°) participant également à la recrudescence de la pollution photo-oxydante. Comme pour les émissions de GES, des objectifs de réduction existent pour les émissions d'ammoniac, formalisés dans le protocole de Göteborg (-4 % en 2020 par rapport à 2005) et de la directive NEC « *National Emission Ceilings* » (2001/81/CE, « plafonds nationaux d'émissions », actuellement en cours de révision). Des leviers d'actions sont aujourd'hui proposés pour la réduction de ces émissions (ADEME, 2012a ; Martin et Mathias, 2013), voire recommandés au titre des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) du BREF IRPP (*Intensive Rearing of Poultry and Pigs*) ou dans le cadre du projet de révision de la directive NEC, qui devrait proposer des objectifs de réduction ambitieux à l'horizon 2030 (voir la proposition du parlement et du conseil du 16 décembre 2015).

Le secteur agricole en France, parmi d'autres secteurs d'activités humaines, est un secteur contributeur de la dégradation de la qualité de l'air, mais il subit aussi les impacts sanitaires de la pollution de l'air dont les conséquences économiques sont loin d'être négligeables, par exemple sur le rendement des cultures agricoles et la qualité des produits commercialisés (*ICP Vegetation*, 2011).

#### **Des démarches territoriales à développer**

Sur de nombreux territoires, aux échelles locale ou régionale, l'agriculture représente des enjeux majeurs : elle peut occuper une surface importante du territoire, elle peut structurer une grande partie de l'activité économique du territoire, elle peut assurer un certain niveau d'autonomie alimentaire pour le territoire, elle peut contribuer

à des émissions majoritaires dans le bilan GES du territoire. Le territoire est aussi aujourd'hui une échelle de décision et de pilotage d'importance : au travers notamment des Schémas Régionaux Climat Air Énergie (SRCAE) et des Plans Climat Air Énergie Territoriaux (PCAET), les collectivités locales sont légitimes à engager des dynamiques territoriales constructives. Ce niveau d'action est renforcé pour l'agriculture, par la régionalisation de la Politique Agricole Commune (PAC) et le renforcement du rôle des conseils régionaux dans la gestion des Fonds Européens Associés au Développement Rural (FEADER). Selon son échelle, chaque collectivité dispose de compétences propres, en lien direct ou indirect avec l'agriculture. Sur le terrain, l'échelle des territoires constitue un niveau pertinent pour gérer les questions environnementales et mettre en œuvre des actions en créant des liens entre les différentes parties prenantes du territoire : une synergie entre les exploitations agricoles au niveau organisationnel notamment, des coopérations avec l'industrie, des interactions avec les habitants, une prise en compte des spécificités locales, etc. Par ailleurs, les territoires disposent de compétences directes qui peuvent avoir des effets sur l'agriculture : l'aménagement du territoire, la conception et la gestion des Plans Régionaux Agriculture Durable, le financement de mesures agro-environnementales, l'approvisionnement des restaurants scolaires et le développement des circuits courts de proximité... (Martin et Doublet, 2014).

Dans ce contexte, la définition de stratégies d'action aux échelles des territoires pour des collectivités locales et régionales pourrait s'appuyer sur des outils de diagnostic des émissions agricoles, sans oublier d'autres enjeux clés pour l'agriculture, comme la production alimentaire et de biomasse ou le bilan des flux d'azote. Cependant, peu d'outils concernent l'échelle des territoires, y compris au niveau international (Colomb *et al.*, 2013). Partant de ce constat, l'ADEME a fait développer en 2009, à l'échelle des territoires pour l'agriculture et la forêt, l'outil ClimAgri® de diagnostic des consommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. Il est désormais diffusé et adossé à une démarche participative, afin d'identifier les principaux enjeux et leviers pour atténuer les émissions de gaz à effet de serre, et est utilisé dans la construction de plans d'actions partagés par les acteurs du terrain, notamment dans le cadre des Plans Climat Énergie Territoriaux (PCET). Il permet aussi d'évaluer

l'impact de ces plans d'actions sur d'autres variables clés comme le bilan azote, l'autonomie fourragère, le potentiel nourricier et le potentiel de production d'énergie à partir de biomasse (bois-énergie, méthanisation). Mais depuis 2016, en cohérence avec les objectifs réglementaires et la mise en place des PCAET dans le cadre de la loi sur la transition énergétique (publiée au *Journal Officiel* du 18 août 2015), il intègre aussi les émissions de polluants atmosphériques, en particulier l'ammoniac.

## 1. L'outil ClimAgri®

### 1.1. Présentation de l'outil

L'outil ClimAgri® est un tableur permettant, à partir de la saisie de données descriptives de l'activité agricole et forestière du territoire (surfaces, itinéraires techniques par culture ; cheptels et leurs modes de conduite ; peuplements forestiers et leur exploitation), d'évaluer ses consommations d'énergies directes et indirectes, ses émissions de gaz à effet de serre et de plusieurs polluants atmosphériques (en particulier l'ammoniac). Excepté pour les polluants atmosphériques, la méthodologie de mise en œuvre de cet outil de diagnostic des émissions est décrite dans le rapport de l'ADEME (2011). Il est à noter que les émissions associées à l'usage de produits phytosanitaires ne sont pas considérées, vu le manque de références fiables (Guiral *et al.*, à paraître). Les calculs, directement accessibles dans le tableur, sont effectués :

- Pour les émissions de GES, selon la méthodologie de l'IPCC<sup>1</sup> 2006 (GIEC 2006, Données Tier 2 lorsque disponibles, les PRG<sup>2</sup> à 100 ans sont actualisables) ou d'autres méthodes plus fines propres à l'échelle métropolitaine. De nombreux paramètres sont proposés par défaut et restent ajustables en fonction des spécificités du territoire.
- Pour les émissions d'ammoniac, selon la méthodologie Tier 2 du guide EMEP/EEA (2013), proposée par l'Agence européenne de l'environnement (EEA).
- Pour les COV non méthaniques, les NO<sub>x</sub> et particules primaires (TSP – Total Suspended Particles, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) associés aux productions végétales (résineux, feuillus, cultures), à la fertilisation azotée, au travail du sol et à la récolte, selon les méthodologies

Tier 1 (NO<sub>x</sub>, COV<sub>NM</sub> biogéniques issus de l'élevage et des cultures) et Tier 2 (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) du guide EMEP 2013 et utilisées par le CITEPA (COV<sub>NM</sub> biogéniques issus des forêts, comm. pers.). Ces calculs sont néanmoins associés à de fortes incertitudes du fait du manque de références expérimentales. Les émissions de poussières associées à la manutention et au séchage des récoltes peuvent être prises en compte selon la méthodologie développée par Services Coop de France, en partenariat avec le CITEPA et l'INERIS (Services Coop de France, 2015).

- Pour les COVs non méthaniques, les NO<sub>x</sub> et particules primaires, issus des engins mobiles agricoles et forestiers, selon les Valeurs Limites d'Émissions (VLE) définies dans la directive 97/62/CE « Directive 97/68/CE du Parlement européen et du Conseil sur le rapprochement des législations des États membres relatives aux mesures contre les émissions de gaz et de particules polluants provenant des moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers » et en fonction des phases de production des engins (Pré-Directive, Phase I et II, Phase III et Phase IV). Cette approche est comparable à celle développée par le CITEPA pour l'inventaire national (CITEPA, 2015b).

L'outil peut être utilisé pour tout territoire, administratif (région, département) ou de projet (parc naturel régional, pays, communauté de communes), situé en France métropolitaine. Une utilisation sur des bassins de production ou sur le périmètre d'une coopérative est également possible. Une adaptation aux territoires ultramarins a été expérimentée sur la Guadeloupe mais non généralisée (Colomb, Martel, 2012 ; Colomb *et al.*, 2014).

Son périmètre intègre l'agriculture et la forêt du territoire ainsi que les activités amont nécessaires à l'activité agricole et forestière (production d'énergie, d'aliments pour les animaux, d'intrants azotés...). Par contre, le calcul des émissions s'arrête à la « sortie de ferme » (ou au bois « bord de route » pour les activités forestières), donc les procédés de transformation, les transports et la commercialisation ne sont pas pris en compte. Il s'agit d'une limite, notamment pour la reterritorialisation de certaines activités ou la mise en œuvre de circuits courts.

Les principaux résultats proposés sont les

consommations d'énergie directes (primaire<sup>3</sup> et finale<sup>4</sup>), le calcul des consommations d'énergie indirectes (ex : énergie nécessaire à la production des intrants azotés), et le calcul des émissions de GES (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>) et des polluants atmosphériques (NH<sub>3</sub>) par poste d'émissions. Le cas, pour la France métropolitaine, présenté dans les figures 1, 2 et 3, permet d'illustrer les sorties de l'outil.

Concernant l'énergie, les consommations d'énergie directes et indirectes sont à peu près équivalentes (figure 1). Les postes majeurs de consommation d'énergie directe sont la consommation de fioul (pour les tracteurs principalement), et de consommation d'énergie indirecte sont la production d'engrais azotés.

Pour les émissions de GES, les principales émissions sont liées à la fermentation entérique des animaux (CH<sub>4</sub>) et aux émissions des sols (N<sub>2</sub>O) en lien avec la fertilisation azotée (figure 2). Ces deux postes représentent près de 80 % des émissions directes et 64 % du total des émissions en Mteq CO<sub>2</sub> en 2010. Les autres postes significatifs sont la consommation d'énergie (CO<sub>2</sub>), le stockage des effluents, la fabrication des engrais azotés et l'alimentation animale (6 à 10 % des émissions totales pour chacun de ces postes en 2010). L'intégration des émissions indirectes renforce la part du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Pour les émissions de polluants, en ammoniac par exemple, les émissions sont liées pour plus des 2/3 à la gestion des effluents d'élevage, et un peu moins du 1/3 à la fertilisation minérale des cultures. On peut noter que près de 50 % des émissions nationales ont lieu lors des apports organiques et minéraux au champ (figure 3).

La comparaison avec l'inventaire national sur le seul périmètre des émissions directes de GES (figure 4) et d'ammoniac (figure 5) est possible, avec toutefois des écarts liés à une méthodologie de calcul différente (dont le choix des valeurs de Pouvoir de Réchauffement Global, qui s'appuient sur GIEC (2006) pour l'inventaire, et GIEC (2013) pour Climagri®) et de données d'entrée. Par exemple, les apports d'engrais minéraux sont estimés à partir de surfaces en cultures et des niveaux de fertilisation associés (enquêtes pratiques culturales du ministère en charge de l'agriculture) tandis que pour l'inventaire national, ce sont les données de ventes moyennées sur 3 ans.

L'outil évalue également le stock de carbone dans les sols à partir de données moyennes de stock de carbone (Arrouays *et al.*, 2002) et de biomasse forestière pérenne, et propose des indicateurs du potentiel nourricier du territoire (en énergie, protéines totales et protéines animales). Deux feuilles intermédiaires du tableur présentent également le bilan azote du territoire et le bilan alimentaire des animaux. En 2013, le calcul de plusieurs indicateurs environnementaux complémentaires a été ajouté (par exemple : pression azotée, volumes d'eau prélevés) afin d'alimenter les réflexions multicritères.

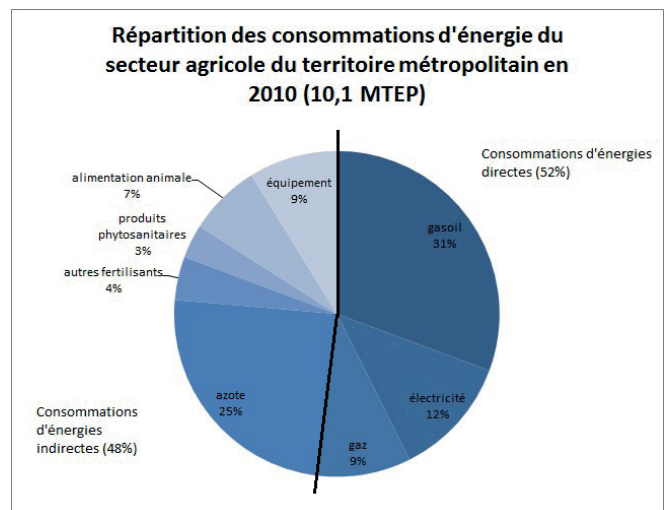


Figure 1. Répartition des consommations d'énergie (directes et indirectes) de l'agriculture et la forêt en France métropolitaine, d'après ADEME, ClimAgri®. La ferme France en 2010.

*Direct and indirect energy consumptions in French agriculture and forestry (metropolitan France), according to ADEME, ClimAgri®. La ferme France en 2010.*

Enfin, un certain nombre de leviers d'action sont déjà activables par défaut dans l'outil (tableau I). Leur sélection et leur paramétrage se basent sur les études réalisées par l'ADEME avec ses partenaires, en particulier :

- L'étude « Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de GES ? », réalisée par l'INRA pour le compte de l'ADEME et les ministères en charge de l'Agriculture et de l'Écologie (Pellerin *et al.*, 2013).
- L'étude « Analyse du potentiel de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages français aux horizons 2020 et



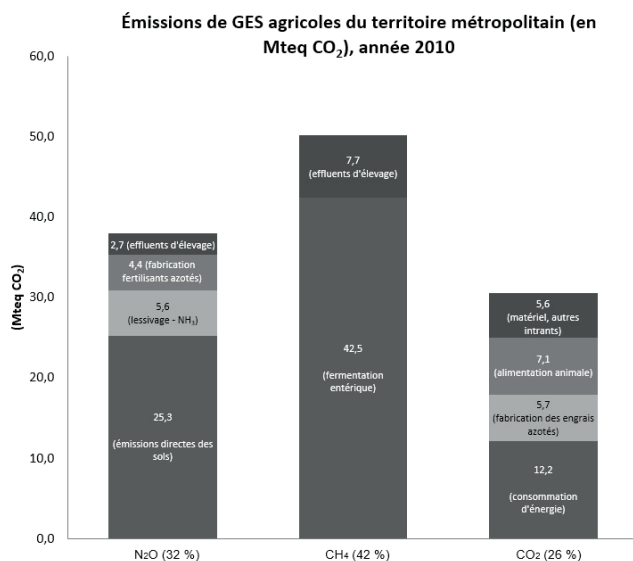


Figure 2. Répartition des émissions de gaz à effet de serre (directes et indirectes) de l'agriculture et la forêt en France, d'après ClimAgri®, Cas France 2010. PRG retenus (GIEC 2006) : 1 (CO<sub>2</sub>), 25 (CH<sub>4</sub>), 298 (N<sub>2</sub>O).

*GhG emissions (direct and indirect) from agricultural and forest activities in France. Source: ClimAgri®, Cas France 2010. Global Warming Potential from GIEC 2006: 1 (CO<sub>2</sub>), 25 (CH<sub>4</sub>), 298 (N<sub>2</sub>O).*

2030 », réalisée par le CITEPA en partenariat avec les instituts techniques animaux et l'INRA pour le compte de l'ADEME (Martin et Mathias, 2013).

### 1.2. Atouts et perspectives d'amélioration

Les atouts de l'outil Climagri® sont principalement *i*) son approche détaillée permettant une photographie approfondie de l'agriculture du territoire et *ii*) sa transparence, puisque l'ensemble des calculs est visible des utilisateurs. Les résultats pour différents territoires ne peuvent s'additionner comme dans les approches de type « inventaire », étant donné que le périmètre élargi de Climagri® englobe les impacts induits par les activités agricoles, tels que ceux liés à la production d'intrants. L'ajout de plusieurs indicateurs environnementaux a aussi été réalisé pour sensibiliser les utilisateurs sur la nécessité de prendre du recul par rapport aux seuls enjeux énergie-GES, mais avec la contrainte de ne pas alourdir la collecte de données : par conséquent, Climagri® ne saurait se substituer à un diagnostic environnemental complet

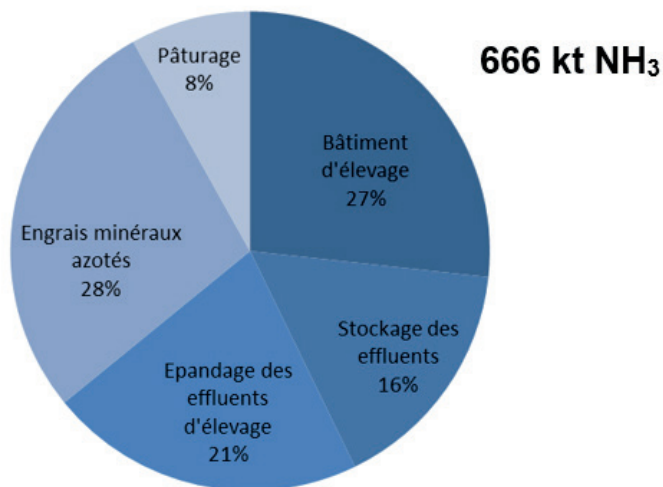


Figure 3. Répartition des émissions d'ammoniac de l'agriculture en France métropolitaine, d'après ClimAgri®, Cas France 2010.

*Ammonia emissions of French metropolitan agriculture, from Climagri®, Cas France 2010.*

intégrant notamment des enjeux essentiels pour l'agriculture, tels que la biodiversité ou la qualité de l'eau.

Plusieurs points d'amélioration sont actuellement à l'étude :

- Sur la question des polluants atmosphériques, des travaux sur l'amélioration des références d'émissions sont aujourd'hui initiés au niveau national. Ainsi, les partenaires du Réseau Mixte Technologique (RMT) Elevage et Environnement capitalisent les données d'émissions existantes et publiées (GES, ammoniac, particules primaires, COVs, odeurs liées aux activités d'élevage) dans une base de données commune « ELFE », afin de produire et diffuser de nouvelles références d'émissions plus représentatives des productions nationales (voir sur [www6.inra.fr/animal\\_emissions](http://www6.inra.fr/animal_emissions), Hassouna et Eglin, 2015). Des références d'émissions d'ammoniac au champ pour les principales formes d'apport d'azote ont aussi récemment été produites pour toute la France métropolitaine à l'échelle régionale à l'aide du modèle mécaniste Volt'Air (Gilliot et Générmont 2016, Ramananantenasao *et al.*, à paraître).
- Sur la question des stocks de carbone, il manque aujourd'hui des références pour

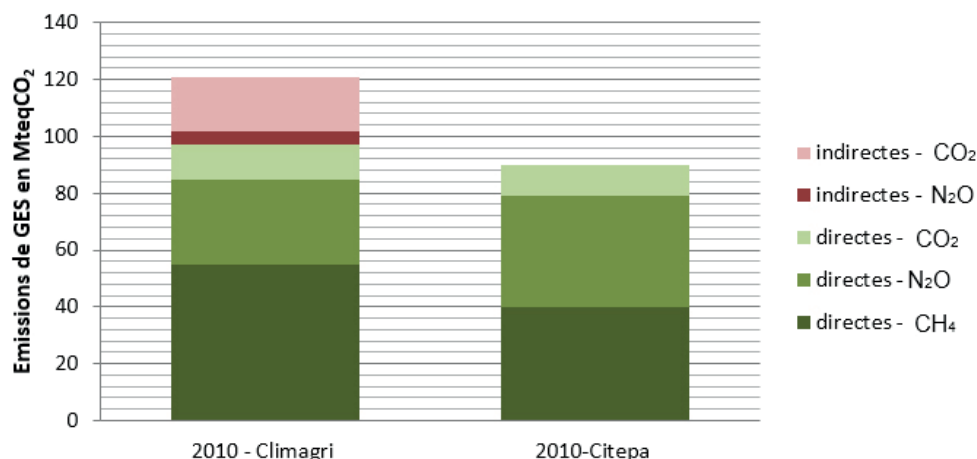


Figure 4. Comparaison des émissions de GES (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) issues de Climagri® avec l’inventaire national réalisé par le CITEPA (CITEPA, 2015a) pour le cas France 2010. Les différences s’expliquent notamment par les valeurs de PRG utilisées qui renforcent le poids du CH<sub>4</sub> dans Climagri® (25 pour l’inventaire en accord avec GIEC, 2006 et 28 pour Climagri® en accord avec GIEC, 2013) et réduisent le poids du N<sub>2</sub>O (298 pour l’inventaire et 265 pour Climagri®). À noter les niveaux importants d’incertitude estimés par le CITEPA sur les résultats de l’inventaire : par exemple ~140 % sur les émissions directes de N<sub>2</sub>O des sols, ~16 % sur les émissions de méthane entérique, ~30 % sur les émissions directes de méthane liées à la gestion des effluents d’élevage.

*Comparison between French GhG emissions (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) as estimated with Climagri® and by CITEPA (CITEPA, 2015a) for France 2010. Differences might be explained by the GWP<sup>5</sup> values used (GWP from GIEC (2006) for CITEPA and GWP from GIEC (2013) for Climagri®). It is important to note the high uncertainties associated with these estimates. For example, CITEPA calculates uncertainty of about 140 % for N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils, 16 % for enteric methane emissions and 30 % for methane emissions associated with manure management.*

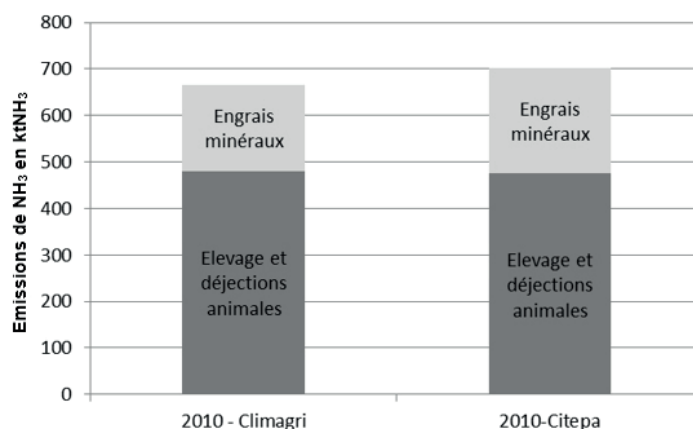


Figure 5. Comparaison des émissions d’ammoniac (NH<sub>3</sub>) issues de Climagri® avec l’inventaire national réalisé par le CITEPA (CITEPA, 2015a) pour le cas France 2010. À noter que les résultats de Climagri® ne sont pas significativement différents de ceux de l’inventaire, étant donné que les niveaux d’incertitude estimés par le CITEPA sur les résultats de l’inventaire sont d’environ ~50 % pour les émissions liées aux engrais minéraux et de ~30 % pour les émissions liées à la gestion des déjections animales.

*Comparison of French ammonia (NH<sub>3</sub>) emissions in 2010 estimated with Climagri® and estimated by CITEPA national assesment (CITEPA, 2015a). It is important to note that the results are not significantly different: CITEPA calculates uncertainties of about 50 % for emissions associated with mineral fertilizers and 30 % for emissions associated with manure management.*

représenter l'effet des évolutions de pratiques agricoles dans les différentes situations nationales (Arrouays *et al.* 2002 ; ADEME-GIS Sol, 2014). Des projets de recherche soutenus par l'ADEME dans le cadre du programme REACTIF visent à améliorer les références disponibles (Martin *et al.* 2015 ; Vandewalle *et al.* 2015), en s'appuyant notamment sur les bases de données « sol » du Groupement d'Intérêt Scientifique Sol

(www.gissol.fr).

- ClimAgri® ne permet pas aujourd'hui d'évaluer l'effet d'un programme d'action sur la forêt : un travail est engagé depuis 2015 avec les acteurs forestiers pour développer un module forêt en adéquation avec les enjeux spécifiques de ce secteur.

Enfin, l'outil ne permet pas d'estimer de

EFFETS DIRECTS des GES et polluant sur les actions agricoles	Gaz à Effet de Serre (GES) et stockage de C	Ammoniac (NH <sub>3</sub> )
<b>Réduire la fertilisation minérale des cultures</b>		
Diminuer les apports de fertilisants minéraux azotés	↓ (N <sub>2</sub> O et énergie indirecte)	↓
Améliorer la valorisation des engrais organiques	↓ (N <sub>2</sub> O et énergie indirecte)	↓
Améliorer l'efficacité des apports minéraux (date d'apport, inhibiteurs, enfouissement)	↓ (N <sub>2</sub> O et énergie indirecte)	↓ (enfouissement)
<b>Développement des légumineuses</b>		
Augmenter la part des légumineuses dans les rotations et dans les prairies	↓ (N <sub>2</sub> O et énergie indirecte)	↓
<b>Couverture du sol</b>		
Développer les cultures intermédiaires	↓ (stockage de C : +0,1 à 0,35 tC/ha/an)	
Développer l'enherbement des cultures pérennes	↓ (stockage de C : +0,16 à 0,5 tC/ha/an)	
<b>Travail du sol</b>		
Développer les techniques culturales simplifiées	↓ (énergie directe : -20 à -40 %)	
<b>Haies et Agroforesterie</b>		
Développer l'agroforesterie	↓ (stockage de carbone : 0,1 à 1,35 tC/ha/an)	
Développer les haies	↓ (stockage de carbone : 0,14 à 0,25 tC/ha/an)	
<b>Gestion des prairies</b>		
Optimiser la gestion des prairies	↓ (stockage de carbone)	
Accroître la durée des prairies temporaires	↓ (stockage de carbone : 0,15 tC/ha/an, N <sub>2</sub> O, énergie indirecte)	
<b>Alimentation animale</b>		
Allonger les durées de pâturage	↓ (stockage de carbone, N <sub>2</sub> O, énergie indirecte)	↓
Substituer des glucides par des lipides insaturés dans l'alimentation des ruminants	↓ (CH <sub>4</sub> : -14 %)	
Réduire les apports protéiques dans l'alimentation animale	↓ (N <sub>2</sub> O, énergie indirecte)	↓
<b>Gestion des effluents d'élevage</b>		
Développer la méthanisation	↓ (CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O) si les éventuelles fuites au niveau du méthaniseur sont maîtrisées	Risque accru de volatilisation de l'ammoniac sans mise en œuvre de technique de réduction au stockage et à l'épandage
Couvrir les fosses à lisier (couverture artificielle ou naturelle)		↓ (-50 à -80 %)
Bâcher les tas de fumier		↓ (-60 %)
Utiliser du matériel d'épandage des effluents d'élevage peu émissifs (pendillards, injecteurs)		↓ (-40 à -90 %)
Enfouir rapidement les effluents d'élevage (< 24 h)		↓ (-30 à -90 %)
Installer un laveur d'air en bâtiment porcin ou volaille		↓ (-70 %)
Évacuer rapidement les effluents d'élevage du bâtiment (procédé gravitaire, raclage en V)		↓ (-25 à -40 %)
<b>Économies d'énergie</b>		
Réduire les consommations d'énergie (engins agricoles, chauffage des bâtiments...)	↓ (énergie directe)	

Tableau I. Leviers d'action en agriculture pouvant être activés facilement dans l'outil Climagri® et leurs effets directs sur les émissions de GES et d'ammoniac (NH<sub>3</sub>). (↓ signifie réduction des émissions de GES ou captation de CO<sub>2</sub>). Certains leviers sont quantifiés sur la base de Pellerin *et al.* (2013) repris dans ADEME-GIS Sol (2014), et de Martin et Mathias (2013). Ces valeurs peuvent être adaptées aux situations locales selon les références disponibles.

*Technical measures that can be activated in Climagri® and their effects on the results (↓ stands for emission reduction or CO<sub>2</sub> sequestration) according to Pellerin et al. (2013) and ADEME et al. (2014) and Martin et Mathias (2013). These values can be modified directly in Climagri®, according to available references.*



manière automatique les incertitudes sur les résultats. Ces incertitudes résultent à la fois des incertitudes sur les facteurs d'émissions (référéncées dans les méthodologies utilisées) et des incertitudes sur les données caractérisant les activités agricoles et sylvicoles (nombre d'animaux, excréation azotée...). Pour un exercice donné, il est donc recommandé d'identifier les facteurs ayant le plus de poids dans les résultats pour ensuite en analyser la sensibilité par plusieurs simulations explorant la gamme des possibles.

### 1.3. Utilisation et accompagnement

L'utilisation adéquate de l'outil Climagri® nécessite des compétences agronomiques et une bonne maîtrise des enjeux air-énergie-GES en agriculture. Par ailleurs, la complexité de l'outil engendre un temps d'appropriation lors des premières utilisations. L'outil ne peut donc être utilisé que par un « expert Climagri® », détenteur d'un contrat de licence d'utilisation à jour. Une cinquantaine d'experts, provenant de différentes structures (chambres d'agriculture, coopératives, bureaux d'études, associations, instituts techniques, enseignement agricole...) et répartis sur l'ensemble du territoire national ont suivi la formation initiale préalable à l'obtention de la licence. L'ADEME assure par ailleurs l'animation de ce réseau d'experts et l'accompagne dans sa montée en compétences autour des sujets air-énergie-GES de l'agriculture et la forêt sur les territoires.

## 2. La démarche Climagri® sur les territoires

### 2.1. Un outil qui s'inscrit dans une démarche d'animation à l'échelle du territoire

Climagri® est un outil de calcul mais aussi un outil d'animation visant à rassembler les acteurs locaux, issus ou non du monde agricole et forestier, avec comme objectif de créer une dynamique de territoire (ADEME, 2011 et 2013). Après l'étape de programmation, l'implication des partenaires pour la collecte des données est importante pour produire un diagnostic partagé permettant la compréhension des enjeux du territoire. Cela

permet de mettre les acteurs agricoles et les autres acteurs autour d'une table, et de faire de la pédagogie sur les enjeux air/énergie/GES de l'agriculture. Ce diagnostic constitue la base des échanges pour l'identification des priorités d'actions dont le potentiel, en termes d'atténuation GES et d'ammoniac, pourra être évalué par l'outil Climagri®, par le test d'hypothèses techniques. Dans certains cas, des scénarios prospectifs pourront être construits et évalués avec Climagri® également. L'outil permet aussi d'aborder de nouvelles thématiques. Au travers de l'Indicateur de Performance Nourricière (IPN), les questions de l'alimentation et des régimes alimentaires, qui constituent des leviers importants dans les scénarios de réduction des impacts de la consommation alimentaire, peuvent être introduites, et des réflexions sur le niveau d'intensification/extensification souhaitable émergent au travers des indicateurs de GES/produit. Cette thématique alimentaire remet au centre des débats la fonction nourricière de l'agriculture et apporte un regard positif sur l'activité agricole dans le cadre du diagnostic.

Par ailleurs, dans beaucoup de démarches relatives aux GES, la notion d'atténuation est associée à la notion d'adaptation aux changements climatiques. Transversale, fédératrice et à la base de beaucoup d'innovations dans le monde agricole, la thématique de l'adaptation est difficile à aborder par manque d'outils, de références, de données climatiques et agro-climatiques locales pour décrire les changements observés et attendus à l'échelle du territoire étudié de manière objective. La bibliographie existante (par exemple Brisson *et al.*, 2012) décrit toutefois les grandes modifications attendues, ce qui permet de dresser une image de la sensibilité du territoire aux changements climatiques (s'adapter aux grandes tendances, gagner en résilience pour mieux résister aux événements extrêmes). Une démarche Climagri® peut permettre d'introduire le sujet de l'adaptation, au travers, par exemple, d'un temps d'information sur les conséquences attendues du changement climatique sur le territoire. Il est également possible d'intégrer dans les scénarios prospectifs les effets du changement climatique (évolution des rendements, des besoins en irrigation) pour y associer des stratégies d'adaptation (modification des variétés ou espèces cultivées).

*In fine*, l'objectif est de déboucher sur la co-construction d'un plan d'action local à différentes échelles de temps et d'engager sa

mise en œuvre par l'ensemble des acteurs, en mobilisant les moyens humains et financiers nécessaires.

## 2.2. Des territoires déjà engagés dans la démarche

Environ 50 territoires ont aujourd'hui réalisé ou engagé une démarche ClimAgri® pour les GES (figure 6). Ces travaux pourraient aisément être repris pour intégrer la question des émissions ammoniacales.

Sur un plan strictement technique, l'outil a démontré sa pertinence et son adaptabilité aux différents territoires et à leurs spécificités, et a su évoluer au fil des progrès de la recherche, même si quelques faiblesses méthodologiques persistent sur la forêt ou le stockage de carbone, par exemple. La démarche a également remporté l'adhésion des acteurs de terrain (collectivités, organismes agricoles), avec généralement une meilleure mobilisation des partenaires sur les territoires de projets. Avec un budget généralement compris entre 15 000 et 40 000 euros pour une démarche complète de diagnostic des émissions, il est important de prévoir de la souplesse dans la conduite du projet et un budget suffisant pour aller jusqu'à l'élaboration d'un plan d'action. Le réel enjeu d'une démarche ClimAgri® est de parvenir à s'appuyer sur le diagnostic pour engager les actions et maintenir une dynamique participative sur le moyen et long terme.

À titre d'exemple, le Pays du Ternois a conclu son diagnostic par la signature d'une charte de territoire constituée d'un cadre stratégique pour quatre ans (Chambre d'Agriculture Région Nord Pas-de-Calais, 2014). Ce cadre comprend cinq orientations stratégiques, qui se déclinent notamment au travers de onze actions concrètes, chacune pilotée par un acteur du territoire et elles-mêmes déclinées en sous-actions. Ces orientations sont les suivantes :

- Agir sur les consommations énergétiques directes agricoles et développer les énergies renouvelables. Exemples d'actions : créer un évènement autour de la venue d'un banc d'essai moteur, organiser des sessions de formation à l'éco-conduite ;
- Adopter des pratiques culturales moins énergivores et plus respectueuses de l'environnement. Exemples d'actions : mettre en place des parcelles expérimentales,

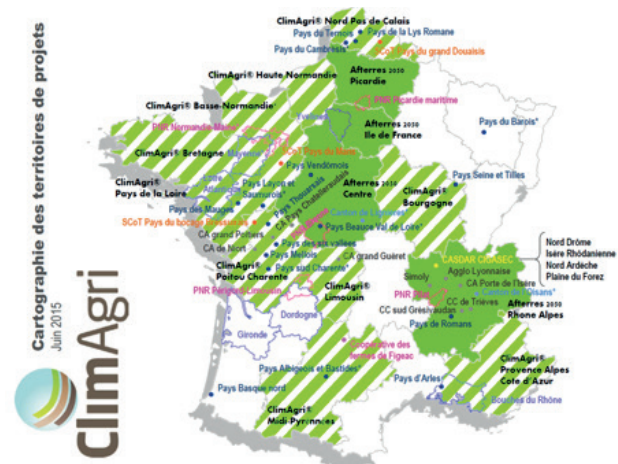


Figure 6. Carte des territoires ayant réalisé un diagnostic ClimAgri® (territoires rayés : diagnostics régionaux ; territoires pleins : diagnostics régionaux conduits dans le cadre d'Afterres 2050 (Solagro, 2013) ; les territoires infrarégionaux sont entourés ou localisés par un point).

*Map of the French territories which have undergone a ClimAgri® assessment. (Striped areas: regional diagnostics; full areas: regional diagnostics conducted under Afterres 2050 (Solagro, 2013), infra-regional territories are surrounded by or located by a dot).*

organiser des journées de démonstration au champ autour des techniques culturales simplifiées ;

- Baisser les consommations d'énergie directes/indirectes et réduire l'impact de tous les postes d'émission en développant les pratiques d'autonomie alimentaire en alimentation animale. Exemple d'action : développer et valoriser une filière de trituration du colza ;
- Développer les puits de carbone et les réseaux bocagers agricoles ;
- Établir une stratégie de communication autour de la démarche climat de l'agriculture ternésienne.

Cette démarche est soutenue par l'ADEME, la Région Nord - Pas-de-Calais et l'Union européenne. L'engagement de l'ensemble des acteurs du territoire (collectivité, services de l'État, chambre d'agriculture, groupements d'agriculteurs, coopérative, industriels) a permis l'élaboration et le démarrage de ce programme concret.

### 3. Scénarios prospectifs à l'échelle nationale

À l'échelle nationale, ClimAgri® a été utilisé pour évaluer les impacts énergie/GES de scénarios prospectifs. ClimAgri® facilite une approche globale et permet, au travers de plusieurs indicateurs de contrôle (bilan fourrager, bilan azote, distribution de l'occupation du sol, production de biomasse vs. alimentaire), de contribuer à construire des scénarios complets et cohérents du point de vue de l'activité agricole et de l'occupation des terres. L'outil permet notamment ainsi de prendre en compte des approches « systèmes » (notamment en travaillant sur la cohérence des assolements et la disponibilité des sources d'azote organique dans le cadre d'un développement important de l'agriculture biologique) et des scénarios de rupture comme le scénario Afterres 2050 (<http://afterres2050.solagro.org/>). Il a notamment été utilisé pour :

- Appuyer la réflexion et évaluer le volet agricole des prospectives air-énergie-climat de l'ADEME : les visions 2030 (actualisées à 2035) et 2050 (ADEME, 2012b; ADEME, 2015c) ;
- Animer la construction des scénarios qui ont servi de base à la Stratégie Nationale Bas Carbone (ADEME, 2015c ; CEP, 2016, dont Le scénario « AMS 2 – Avec Mesures Supplémentaires » élaboré par le groupe de travail « Agriculture », qui reflète des propositions ambitieuses pour la maîtrise de l'énergie et les émissions de GES de la France pour son agriculture à l'horizon 2035.

Dans ce cadre, l'utilisation de l'outil ClimAgri® a permis d'évaluer le potentiel d'atténuation de différentes actions techniques d'abattement des émissions de GES et de polluants atmosphériques (ici, l'ammoniac), y compris combinées entre elles et en tenant compte de l'évolution de l'activité agricole (figures 7 et 8 pour les scénarios ADEME à l'horizon 2035). Les principales hypothèses utilisées sont décrites dans ADEME, 2015c pour les scénarios « tendanciels » et « Énergie-GES », et dans Martin et Mathias, 2013 pour les techniques de réduction des émissions d'ammoniac (scénario TA MAX+ du rapport). À noter que le scénario tendanciel s'inscrit dans une poursuite de la réduction de la taille du cheptel

bovin (laitier et allaitant), et une perte de surface agricole en lien avec l'artificialisation des sols (50 000 ha par an) alors que la chute du cheptel est moins importante dans le scénario « énergie-GES » et que l'artificialisation est maîtrisée à l'horizon 2035 (rythme d'artificialisation nette quasi-nul).

Un enseignement fort des différents travaux de prospective concerne le poids des données d'activité agricole sur les résultats. En effet, l'évolution de l'artificialisation (et donc de la surface disponible pour les cultures), du retournement des prairies, des cheptels et de leur conduite (alimentation, productivité) peut avoir un effet (positif ou négatif) sur les émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac de l'agriculture plus important que l'ensemble des mesures d'atténuation mises en œuvre (ADEME, 2015c, Pellerin *et al.* 2013). Il est donc important de toujours comparer un scénario d'atténuation à un scénario tendanciel, pour évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation seules.

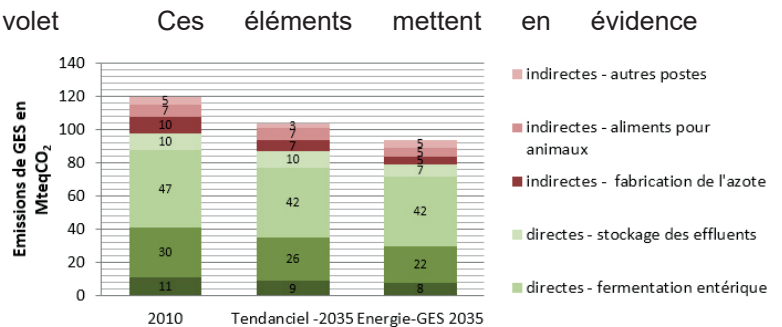


Figure 7. Émissions de GES en 2010 et à l'horizon 2035 pour le scénario tendanciel et le scénario « Énergie-GES » construits dans le cadre de la vision ADEME (ADEME, 2015c). PRG retenus (GIEC 2013): 1 (CO<sub>2</sub>), 28 (CH<sub>4</sub>), 268 (N<sub>2</sub>O).

*French GhG emissions in 2010 and in 2035 for business as usual and « energy-GHG » scenarios (ADEME, 2015c). GWP (GIEC 2013): 1 (CO<sub>2</sub>), 28 (CH<sub>4</sub>), 268 (N<sub>2</sub>O).*

la nécessité, pour atteindre les objectifs d'atténuation ambitieux mais indispensables à moyen terme (réduction par deux des émissions des GES agricoles en 2050 par rapport à 1990, Commission européenne, 2011 ou réduction significative des émissions d'ammoniac à l'horizon 2030), de considérer le système agricole et alimentaire dans son ensemble, ce que ClimAgri® permet d'esquisser au travers du bilan fourrager, de l'indicateur de performance

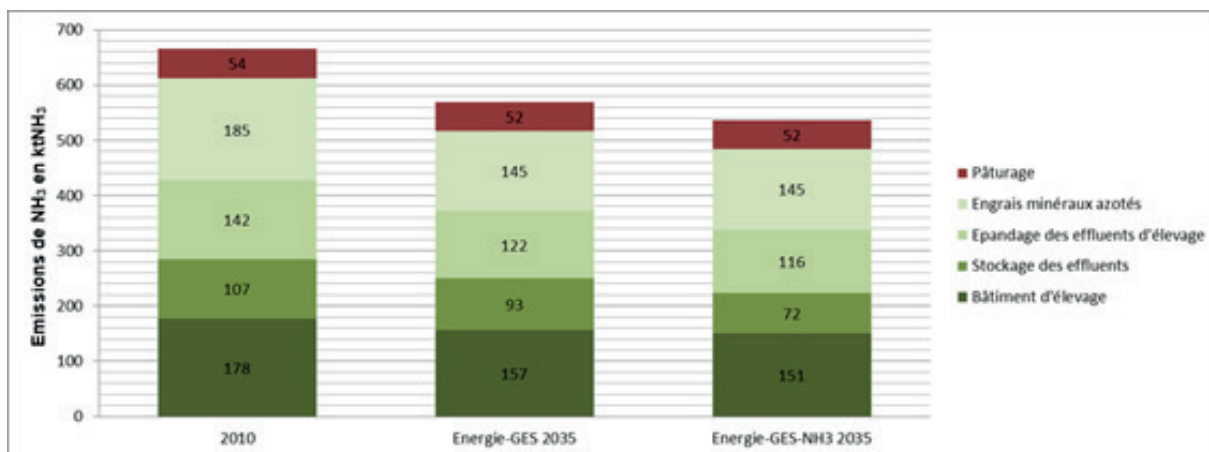


Figure 8. Émissions d'ammoniac en 2010 et à l'horizon 2035 pour le scénario « Énergie-GES » construits dans le cadre de la vision ADEME (ADEME, 2015c) et le scénario « Énergie-GES » complété des mesures de réduction d'identifiées dans le scénario TA-MAX+ de l'étude de Martin et Mathias, 2013.

NB : Les mesures d'atténuation des émissions de NH<sub>3</sub> sont appliquées au bâtiment d'élevage (lavage d'air, évacuation des effluents), au stockage des effluents (couverture des fosses de stockage et bâchage des tas de fumier) et lors de leur épandage (pendillards, injection, incorporation rapide). Il est à noter que le scénario « Énergie-GES » a un effet sur les émissions de NH<sub>3</sub> de l'élevage plus important que celui de la mise en œuvre des techniques de réduction des émissions dans les élevages définies dans Martin et Mathias, 2013. Ceci s'explique par le poids de l'évolution des variables d'activité, en particulier le cheptel bovin, et le transfert d'émissions vers l'épandage lors de la mise en œuvre de techniques de réduction au niveau des bâtiments et des structures de stockage.

*Ammonia (NH<sub>3</sub>) emissions in 2010 and in 2035 for « energy-GhG » (ADEME, 2015c), and « energy-GhG-NH<sub>3</sub> » scenarios. Technical measures for mitigating NH<sub>3</sub> emissions according to Martin et Mathias, 2013.*

*NB: NH<sub>3</sub> mitigation measures are implemented at livestock building, storage of manure, and field application. It is important to note that the « energy-GhG » scenario has a more important impact on the emissions than the implementation of the NH<sub>3</sub> mitigation measures. This is mainly due to: (1) the high impact of the evolution of the livestock herd, and (2) the transfer of NH<sub>3</sub> emissions from livestock building to field application.*

nourricière (figure 9) et de l'obligation, en amont de toute simulation, de déterminer avec précision l'occupation du territoire (surface disponible pour les différentes cultures et l'élevage, assolements). Aborder des questions telles que l'alimentation, la demande en biomasse non alimentaire ou les stratégies d'importation et exportation du territoire est nécessaire pour connecter la production à la consommation et envisager des évolutions plus profondes des systèmes dans des conditions socio-économiques acceptables pour l'ensemble des acteurs de la chaîne alimentaire. ClimAgri® se positionne dès lors comme un simple outil d'évaluation de différents actions/scénarios pour les consommations d'énergie et les émissions de GES et d'ammoniac, qui s'intègre dans des réflexions ou travaux beaucoup plus vastes de scénarisation, et doit être complété d'autres approches (études socio-économiques, par exemple).

## Conclusions

L'échelle des territoires est aujourd'hui reconnue pour sa pertinence dans la réduction des consommations d'énergies et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques. Permettant de prendre du recul par rapport à l'échelle de l'exploitation et aux enjeux économiques liés aux filières, elle se situe au croisement des enjeux locaux et nationaux. Outil associé à une démarche, l'outil ClimAgri® permet notamment de dresser un bilan des enjeux à l'échelle du territoire et d'associer les acteurs à la construction d'un programme d'actions, sur la base des connaissances développées au niveau national (facteurs d'émissions, leviers d'actions). De plus, la transparence des choix méthodologiques et la possibilité de modifier les facteurs d'émissions laissent la liberté aux utilisateurs, si l'informatin est disponible, de distinguer des catégories de



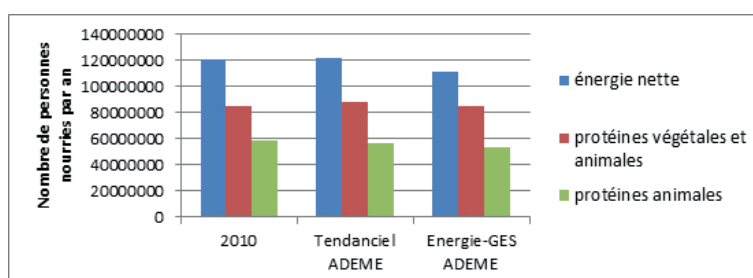


Figure 9. Potentiel nourricier net (énergie nette, protéines, végétales et animales) en 2010 et pour les scénarios tendanciels et « énergie-GES » de la vision ADEME à l'horizon 2035.

NB : Le calcul est réalisé sur la base de la demande alimentaire d'un Français moyen en 2010 (source : <http://faostat3.fao.org/>).

*Net food capacity for French inhabitants (net energy, plant and animal proteins) in 2010, and in 2035 for « business as usual » and « energy-GhG » scenarios (ADEME, 2015c).*

*NB: Calculations are done on the basis of the mean French food demand in 2010 (source: <http://faostat3.fao.org/>).*

production et d'intégrer des références d'émissions plus adaptées aux systèmes de production du territoire d'étude.

La démarche ClimAgri® peut apparaître complexe mais les éléments de diagnostics peuvent ensuite être valorisés à différentes échelles (par exemple à des échelles infrarégionales lorsque le diagnostic est conduit à l'échelle régionale). L'outil ClimAgri® contribue à la généralisation des bonnes pratiques, de manière adaptée à chaque territoire, grâce à la capitalisation des retours d'expériences et des

plans d'actions élaborés, au suivi de leur mise en œuvre et à une évaluation des moyens utilisés pour mobiliser les agriculteurs et les accompagner dans le changement en faveur du climat et de la qualité de l'air.

*Nous remercions Étienne Mathias du CITEPA pour les conseils et échanges lors des développements méthodologiques. Nous remercions aussi le comité éditorial de la revue Pollution Atmosphérique pour la relecture attentive.*

## Références

- ADEME. (2011). Présentation et guide de mise en œuvre de ClimAgri, 51 p.
- ADEME. (2012a). Les émissions agricoles de particules dans l'air – État des lieux et leviers d'actions. [En ligne] : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- ADEME. (2012b). L'exercice de prospective de l'ADEME : vision 2030-2050, document technique, p. 71-104 ; p. 131-141 ; p. 243-252.
- ADEME-MAAPRAT. (2012). Agriculture et facteur 4. Synthèse de l'étude, 13 p. et rapport final, 153 p.
- ADEME, GIS SOL. (2014). Carbone organique des sols : l'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat. [En ligne] : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- ADEME. (2015a). Quelle transition écologique pour l'agriculture ? Des défis multiples à relever. ADEME & Vous, février 2015.
- ADEME. (2015b). Agriculture & Environnement. Des pratiques clés pour la préservation du climat, des sols et de l'air, et les économies d'énergie. Collection « Connaître pour agir ». [En ligne] : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- ADEME. (2015c). Analyse comparative de scénarios de lutte contre le changement climatique pour l'agriculture à l'horizon 2035 – Rapport final, ADEME. 38 p.
- Agreste. (2014). Graphagri : l'agriculture, la forêt et les industries agro-alimentaires.



- Arrouays D, Balescent J, Germon JC *et al.* (2002). Stocker du carbone dans les sols agricoles en France ? Synthèse du rapport d'expertise collective, INRA, 32 p.
- BREF IRPP. (2003). Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs, Commission européenne.
- Brisson N, Levrault F (dir.). (2012). *Livre Vert du projet Climator*, INRA.
- Chambre d'Agriculture Région Nord Pas-de-Calais. (2014). Agriculture Durable Territoriale du Pays Ternois, Cadre stratégique ClimAgri® 2013-2017. Pays du Ternois, 30 p.
- CEP. (2016). Centre d'Économie et Prospectives. Des scénarios prospectifs au service de l'élaboration d'une stratégie nationale : l'exemple du volet agricole des scénarios Énergie-Climat-Air, avril.
- CITEPA (2015a). Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France : séries sectorielles et analyses étendues.
- CITEPA. (2015b). Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France. Rapport OMINEA.
- Commission européenne. (2011). Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050. COM(2011)112, final, 18 p.
- Colomb V, Touchemoulin O, Bockel L *et al.* (2013). Selection of appropriate calculators for landscape-scale greenhouse gas assessment for agriculture and forestry. *Environmental Research Letters*, n° 8 (1), 015029.
- Colomb V, Martel M. (2012). Bilan des émissions de GES pour l'agriculture et la forêt pour le territoire de la Guadeloupe, IRD-ADEME-FAO, 34 p.
- Colomb V, Martel M, Bockel L *et al.* (2014). Promoting GHG mitigation policies for agriculture and forestry: A case study in Guadeloupe, French West Indies. *Land Use Policy*, n° 39, p. 1-11.
- EMEP/EEA. (2013). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. Technical guidance to prepare national emission inventories. No 12/2013. [En ligne] : <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>
- GIEC. (2006). Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, Eggleston HS, Buendia L, Miwa K *et al.* (dir.), Japon, IGES.
- GIEC. (2013). Cinquième rapport d'évaluation (AR5) - Contribution du Groupe de travail I « Les éléments scientifiques ».
- Gilliot JM, Générumont S. (2016). Ammonia volatilization after agricultural N fertilization: potential of using a national emission inventory mapping tool for upgrading emission factors in France. Poster présenté au European Geophysical Union.
- Guiral C, Bedos C, Ruelle B *et al.* (à paraître). Synthèse bibliographiques sur les émissions de produits phytopharmaceutiques dans l'air : facteurs et outils d'estimation des émissions, évaluations environnementales et perspectives de recherche. Rapport ADEME.
- Hassouna M, Eglin T. *et al.*, Mesurer les émissions gazeuses en élevage – Gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. Diffusion INRA-ADEME. 314 p.
- ICP Vegetation. (2011). Ozone Pollution: A hidden threat to food security. Rapport ICP Vegetation. Gina Mills and Harry Harmens (dir.), Center for Ecology & Hydrology, 116 p.
- Martin E, Mathias E. (2013). Analyse du potentiel de réduction de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages français aux horizons 2020 et 2030. Rapport final. Ed. ADEME, Angers, France, 238 p.
- Martin S, Doublet S. (2014). Stratégies d'atténuation mises en œuvre sur les territoires : l'outil et la démarche ClimAgri®. *Innovations agronomiques*, n° 37, p. 83-95.
- Martin M, Eglin T, Bardy M. (2015). Stockage de carbone dans les sols de grandes cultures : méthodes de comptabilisation à différentes échelles. Dans Bourges B, Broc JS, Gourdon T (dir.), *Empreinte carbone : évaluer et agir*, Paris, Presses des MINES, collection Développement durable.
- Pellerin S, Bamière L, Angers D *et al.* (2013). Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 92 p.
- PRIMEQUAL. (2015). Agriculture et pollution de l'air – Impacts, contributions, perspectives : état de l'art des connaissances. MEDDE-ADEME-INRA, 8 p.
- Ramanantenasao MMJ, Générumont S, Gilliot JM *et al.* (à paraître). A process-based framework to estimate spatio-temporal ammonia emission due to nitrogen fertilization management.

- Rouil L, Bessagnet B, Favez O *et al.* (2015). Épisodes de pollution particulaire en France : quels enseignements tirer des récents épisodes ? *Pollution atmosphérique*, numéro spécial, mars 2015.
- Services Coop de France. (2015). Mesure et contrôle des émissions de poussières lors de la manutention et du séchage des céréales. Projet EMICER réalisé dans le cadre du programme de recherche CORTEA de l'ADEME.
- Solagro. (2013). *Afterres : quelle utilisation des terres en 2050 ?*, 70 p.
- Vandewalle F, Duparque A, van Dijk P *et al.* (2015). Associer des informations sur les pratiques agricoles aux assolements de rotations pour évaluer l'impact des systèmes de culture dans un territoire. Poster. Journées du COMIFER-GEMAS, Lyon, 18-19 novembre.

## Notes

1. *Intergovernmental Panel of Climate Change*.
2. Pouvoirs de Réchauffement Globaux.
3. Énergie primaire : quantité d'énergie totale nécessaire à la mise à disposition d'une quantité d'énergie finale au consommateur (énergie finale + pertes + consommations d'énergie des producteurs d'énergie).
4. Énergie finale : énergie directement consommée par l'utilisateur (« facturée »).
5. GWP Global Warning Potential.