

L'agriculture française face au défi climatique : quelles perspectives d'atténuation de ses émissions de gaz à effet de serre ?

Dans le nécessaire combat contre le changement climatique, l'agriculture peut contribuer à l'amélioration du bilan net des émissions de gaz à effet de serre (GES) en diminuant ses émissions, en stockant du carbone dans les sols ou en produisant des énergies renouvelables qui réduisent les GES par effet de substitution à des énergies fossiles. À l'échelle de la France, cette note met en regard plusieurs travaux récents sur le sujet et dégage les principaux enseignements que l'on peut en tirer en matière de leviers d'action et de coût économique de l'atténuation pour le secteur agricole aux horizons 2030 et 2050.

Le dernier rapport du GIEC¹ a une nouvelle fois alerté sur la non durabilité de la trajectoire climatique actuelle. En dépit des nombreuses politiques publiques et initiatives privées déjà actées et mises en œuvre, les émissions anthropiques de GES n'auront jamais cru aussi vite et n'auront jamais été aussi élevées que sur la dernière décennie. Des efforts supplémentaires sont donc nécessaires, qui sont au cœur de l'agenda politique des prochains mois. Or, dans ces négociations climatiques, marquées en 2014 par l'élaboration du Cadre Énergie Climat 2030 au niveau communautaire et, à l'échelle mondiale, par la préparation de la 21^e conférence des Parties (COP21 qui se tiendra à Paris en 2015), l'agriculture gagne indubitablement en importance, même si son traitement dans ces enceintes reste très délicat. D'une part, elle constitue un des secteurs les plus impactés par le changement climatique, auquel elle devra nécessairement s'adapter², et ce dans un contexte où la croissance de la population mondiale et la hausse des niveaux de vie vont encore augmenter la demande en produits alimentaires d'origine agricole. D'autre part, l'agriculture peut significativement contribuer à l'effort d'atténuation. Il faut toutefois souligner que les émissions d'origines agricole et forestière ont une spécificité : elles sont dues pour l'essentiel à des processus biologiques, à caractère diffus, qui rendent leur évaluation, leur suivi comme leur maîtrise plus difficiles.

Concernant la contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de GES,

plusieurs travaux récents ont exploré, aux horizons 2030 et 2050, des scénarios plus ou moins ambitieux d'atténuation. Six d'entre eux ont été analysés pour la présente note³ :

- la prospective *Agriculture énergie 2030*⁴, menée par le Centre d'études et de prospective en 2011, avec l'appui d'un groupe de travail, dans le but d'apporter un éclairage sur les liens entre **agriculture et énergie** et les évolutions possibles de l'agriculture dans différents contextes énergétiques ;

- l'étude commanditée par le MAAF, le MEDDE et l'ADEME à l'Inra *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de GES*⁵, réalisée en 2013, qui vise à estimer le potentiel d'atténuation et le coût de dix actions portant sur des pratiques agricoles, sans affecter de manière importante les niveaux de production ;

- l'étude sectorielle *Agriculture et facteur 4*, réalisée en 2012 par Solagro, ISL et Oréade-Brèche, sur commande du MAAF et de l'ADEME ; il s'agit d'explorer des trajectoires contrastées, en rupture par rapport aux systèmes actuels et choisies pour leur intérêt pédagogique, afin de réduire fortement les émissions de GES pour atteindre le « **facteur 4** » en 2050 ;

- l'exercice *Afterres*⁷ de Solagro, réalisé en 2013, qui propose un scénario soutenable pour l'agriculture et l'utilisation des terres à l'horizon 2050 (avec une déclinaison à 2030). *Afterres 2050* ambitionne d'étudier quantitativement la capacité du territoire national à

répondre, de manière « soutenable », aux multiples besoins adressés à l'agriculture et à la forêt à cet horizon ;

- l'étude *Visions Énergie-Climat 2030-2050* (ADEME, 2013), qui propose deux **scénarios énergétiques et climatiques** : l'un, volontariste, cherche à dégager de manière réaliste le potentiel maximum d'économies d'énergies et d'énergies renouvelables en 2030 ; l'autre, selon une approche normative, vise l'atteinte du facteur 4 en 2050 ;

- et l'étude *Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone*⁸ réalisée par un

1. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml

2. Voir l'exercice de prospective *Agriculture, Forêt, Climat : vers des stratégies d'adaptation* réalisé en 2013 par le Centre d'études et de prospective. <http://agriculture.gouv.fr/Seminaire-de-restitution-AFCLIM>

3. S'agissant des émissions directes agricoles, le récent rapport du CGAER intitulé *Les contributions possibles de l'agriculture et de la forêt à la lutte contre le changement climatique* s'appuie pour l'essentiel sur l'étude *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de GES* de l'Inra, raison pour laquelle ce rapport n'est pas repris ici.

4. Voir le rapport : <http://agriculture.gouv.fr/rapport-final-agriculture-energie>

5. Voir l'étude : <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Etude-Reduction-des-GES-en-agriculture>

6. La France s'est engagée à diviser par 4 ses émissions de GES à l'horizon 2050 par rapport à 1990.

7. Voir le scénario : <http://www.solagro.org/site/393.html>

8. Voir le rapport : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2011-10_Rapport_Comite_preside_par_M_de_PERTHUIS_Trajectoire_2020-2050.pdf

comité présidé par Christian de Perthuis. Cette étude menée en 2011 souhaite trouver les voies d'une politique climatique qui conjure forte réduction des émissions de GES et impacts économiques positifs.

Après un bilan de la contribution de l'agriculture aux émissions de GES à différentes échelles, cette note présente les chiffres proposés par ces six études en termes de réduction des émissions et d'image future correspondante du secteur agricole français. Les principaux leviers d'atténuation sont ensuite analysés. Enfin, la dimension économique est abordée au travers des courbes de coûts d'abattement comme outil d'aide à la décision.

1 - Contribution de l'agriculture aux émissions de GES

Émissions agricoles en France

En 2012, selon les inventaires⁹ officiels du Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (CITEPA), l'agriculture représente 18 % des émissions françaises directes de GES (hors consommations énergétiques et changements d'usage des terres), soit près de 90 millions de tonnes équivalent carbone (Mt CO₂éq)¹⁰. En ajoutant les émissions liées à l'énergie consommée dans les exploitations, l'agriculture a émis un total de 101 Mt CO₂éq en 2012, soit environ 20 % des émissions françaises de GES.

Le protoxyde d'azote (N₂O) représente environ la moitié de ce total. Les émissions de N₂O résultent de réactions de nitrification et dénitrification en lien avec la fertilisation azotée et la gestion des déjections animales. La part du méthane (CH₄) est de l'ordre de 40 %. Ces émissions sont dues aux fermentations en condition anaérobie : fermentation soit

entérique chez les ruminants, soit des déjections stockées, soit de la matière organique du sol. Les émissions restantes, dues au CO₂, sont d'origine énergétique : combustion d'énergie fossile pour faire fonctionner des moteurs ou chauffer des bâtiments (cf. figure 1).

Ce chiffrage des émissions de GES repose sur des inventaires officiels qui s'appuient sur la littérature scientifique et des méthodes rigoureuses. L'exercice demeure néanmoins délicat (cf. encadré 1), et soumis à

d'importantes incertitudes. Il existe d'ailleurs de nombreuses discussions voire controverses au sujet de ces méthodes, et ces dernières sont régulièrement revues et améliorées en fonction des progrès scientifiques.

9. Voir : <http://www.citepa.org/fr/inventaires-etudes-et-formatons/inventaires-des-emissions>

10. Source : CITEPA, 2014.

11. GIEC : http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml

Encadré 1 : la question des modes de comptabilisation

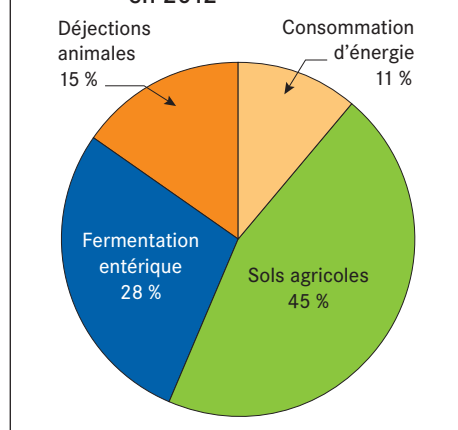
Les émissions agricoles reposent sur des mécanismes biologiques et sont de caractère diffus, ce qui peut expliquer que ce secteur connaisse les incertitudes sur les émissions les plus importantes⁵. La méthode de calcul des inventaires officiels réalisés par le CITEPA, qui suit en cela les directives du GIEC¹¹, consiste à multiplier des facteurs d'émission unitaires, souvent peu contextualisés, par des niveaux d'activités agrégés à l'échelle étudiée (catégories de cheptel, quantité d'azote épanchée, etc.). Le périmètre actuel du secteur agricole dans les inventaires est restreint aux seules émissions de N₂O et CH₄ sur l'exploitation, donc hors stockage de CO₂ dans le sol (comptabilisable dans le secteur UTCF, « Utilisation des Terres, leurs Changements et la Forêt ») et substitutions d'énergie fossile (comptabilisées dans les autres secteurs). Actuellement, notamment faute de données actualisées, certains leviers prometteurs (e.g. méthanisation) ne peuvent être pris en compte. À noter que l'année de référence est également un élément important pour bien appréhender les résultats chiffrés.

Dans les travaux étudiés en deuxième partie de la note, le périmètre et la méthode ne suivent en revanche pas toujours ce cadre officiel et peuvent varier fortement : nature des gaz retenus (CO₂ inclus ou non), prise en compte ou non des émissions indirectes (ex :

production de CO₂ et N₂O due à la fabrication des engrais minéraux ou de l'alimentation animale), des émissions évitées *via* la substitution (d'énergies issues de la biomasse), des stocks et puits de carbone dans les sols agricoles, etc. Par ailleurs, à périmètre constant, la réévaluation des estimations de PRG (pouvoir de réchauffement global) pour le N₂O et le CH₄, et des coefficients d'émission unitaire, peuvent significativement impacter les résultats.

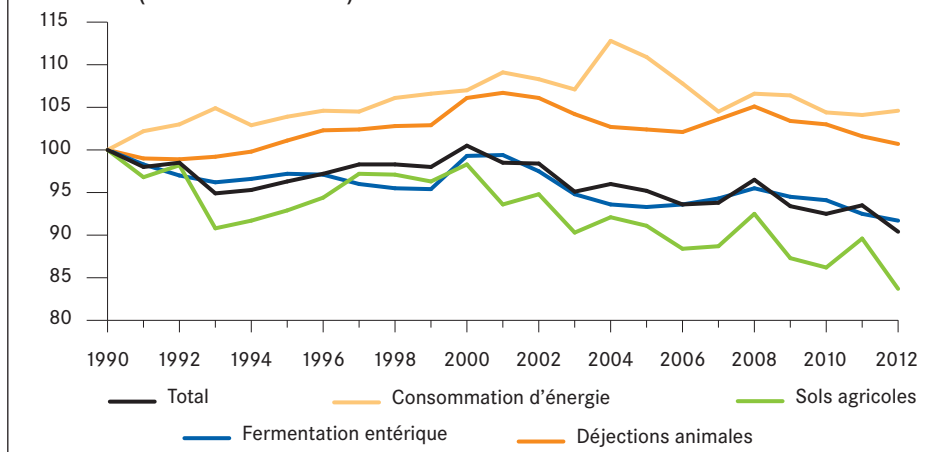
L'étude de l'Inra « potentiel d'atténuation » illustre bien l'importance de ces problématiques : selon les modes de calcul (coefficients d'émission et périmètre) et pour les mêmes actions, déployées de façon identique, les calculs de réduction des GES vont du simple au triple ; et dans le format actuel c'est bien le tiers de ce potentiel total qui serait pris en compte. Cet exemple illustre bien le fait que des progrès sur les méthodes d'inventaires sont un chantier prioritaire pour permettre une meilleure prise en compte donc une meilleure valorisation du potentiel de réduction agricole. Soulignons toutefois que ces incertitudes et divergences d'approches ou de périmètres sont rarement à même de fausser le sens d'un diagnostic : un scénario plus favorable qu'un autre en termes de GES le restera souvent quelle que soit la méthode retenue (ce que tend à confirmer l'encadré 2 ci-dessous).

Figure 1 - Répartition des émissions françaises de GES d'origine agricole par poste d'émission en 2012



Source : auteurs, d'après les données du CITEPA (2014)

Figure 2 - Évolutions des principaux postes d'émissions d'origine agricole (base 100 en 1990)



Source : auteurs, d'après les données du CITEPA (2014)

Éléments de comparaison historique et internationale

Entre 1990 et 2012, les émissions agricoles ont diminué de 9,6 % en France (cf. figure 2), contre un peu plus de 12 % tous secteurs confondus. Cette réduction s'explique par la baisse de la fertilisation azotée, de la surface agricole utile, des effectifs bovins (notamment due à l'intensification laitière) et par le fléchissement de la consommation d'énergie depuis 2004.

La part des émissions agricoles dans les émissions totales est plus importante en France (environ 20 %) qu'au niveau européen (9-10 %). Ceci s'explique entre autres par la part économique plus importante du secteur agricole en France qu'en Europe, et par la part importante du nucléaire, très faiblement émetteur, dans le mix énergétique français. Entre 1990 et 2012, les émissions européennes de GES d'origine agricole (hors combustion d'énergie) sont passées de 617 à 469 Mt CO₂éq, soit une réduction de 24 %¹².

Au niveau mondial, les émissions totales de GES ont atteint 49 Gt CO₂éq en 2010, la plus grande partie provenant de la combustion d'énergies fossiles et de l'industrie. D'après le dernier rapport du GIEC, le secteur « agriculture, foresterie et autres usages des sols » (*agriculture, forestry and other land use, AFOLU*)¹³ a contribué à hauteur de 24 % aux émissions totales de GES, soit environ 10 à 12 Gt CO₂éq, principalement dues à la déforestation, aux fermentations entériques et à la gestion des fertilisants (minéraux ou organiques). Depuis 2000, il est le seul secteur à avoir vu ses émissions par tête baisser. En 2010, l'agriculture seule représentait environ 12 % des émissions mondiales¹⁴.

Alors que la France et l'Union européenne se penchent à nouveau sur leurs engagements pour limiter le réchauffement climatique (Cadre Énergie Climat 2030), les travaux se multiplient afin de mieux appréhender le potentiel d'atténuation de l'agriculture.

2 - Potentiel d'atténuation de l'agriculture française aux horizons 2030 et 2050

Présentation des travaux analysés

Six études ont été recensées en matière d'évaluation du potentiel de réduction des émissions nationales de GES d'origine agricole, dont deux ont été réalisées spécifiquement à l'horizon 2030 : la prospective *Agriculture énergie 2030* et l'étude de l'Inra « potentiel d'atténuation », de même que le scénario *Vision 2030* de l'ADEME. L'étude sectorielle *Agriculture et facteur 4* a été menée à l'horizon 2050, de même que le scénario

Vision 2050. Le scénario *Afterres* a été pensé à 2050 mais offre également des données à 2030 comme point de passage vers 2050. L'étude de Perthuis *Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone* propose des résultats à la fois pour 2030 et 2050.

Ces exercices diffèrent tant dans leurs intentions (prospective normative ou exploratoire¹⁵, scénarios tendanciels ou ruptures plus fortes) que dans les modalités de quantification des émissions de GES. Ainsi, l'étude Inra est un bilan de type source/puits permettant de quantifier le potentiel d'atténuation – ainsi que le coût pour l'exploitant agricole – de dix actions techniques. Cette quantification a été réalisée d'une part suivant le mode d'inventaire du CITEPA, et d'autre part selon un mode de calcul « expert » à partir de la littérature disponible. L'étude de Perthuis propose trois scénarios normatifs (- 50 % en 2050) avec des points de passage différents à 2020, mais sans expliciter le chiffrage des réductions d'émissions pour le secteur agricole. Parmi les quatre autres études, les scénarios sont exploratoires pour la prospective *Agriculture énergie 2030* (quatre scénarios contrastés) et pour *Vision 2030*¹⁶. Ils sont en revanche plutôt normatifs pour l'étude « facteur 4 » (en dehors du scénario tendanciel), pour *Afterres* et pour *Vision 2050*. Dans ces quatre dernières études, les réductions d'émissions sont calculées avec l'outil *Climagri*[®], qui permet en outre d'estimer une partie des émissions indirectes et le stockage de carbone dans les sols et la biomasse forestière (mais dont les modalités de calcul des émissions directes diffèrent des inventaires CITEPA).

Comme rappelé dans l'encadré 1, ces différences d'approches et de méthodes entre études influent sur les résultats qu'elles affichent, rendant très délicate leur comparaison. Afin de faciliter celle-ci, nous avons cherché à corriger une partie de ces hétérogénéités. Les réductions d'émissions de GES de chaque exercice ont ainsi été recalculées par rapport à une année de référence unique,

2005, année de référence également retenue par la Commission européenne pour le Cadre Énergie Climat 2030. Dans la mesure du possible, un périmètre identique entre les études a aussi été recherché (cf. figure 3) : ont ainsi été comptabilisées les réductions d'émissions directes d'origine agricole (y compris de CO₂), mais pas les émissions indirectes ou induites¹⁷, ni de substitution.

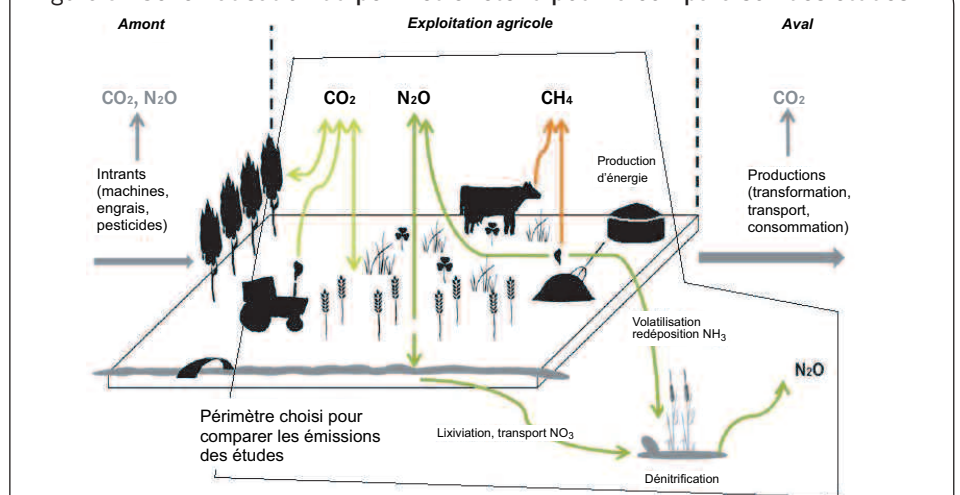
Présentation des résultats

Les tableaux et figures ci-dessous présentent brièvement les résultats des six études, respectivement pour les horizons 2030 (tableau 1, figure 4) et 2050 (tableau 2, figure 5).

En dépit des différences d'approches et de méthodes, nous pouvons retenir quelques ordres de grandeur des tableaux qui suivent : quel que soit l'horizon, les scénarios « tendanciels », pour lesquels les efforts en matière d'atténuation ne sont pas renforcés par rapport à la situation ou aux politiques actuelles,

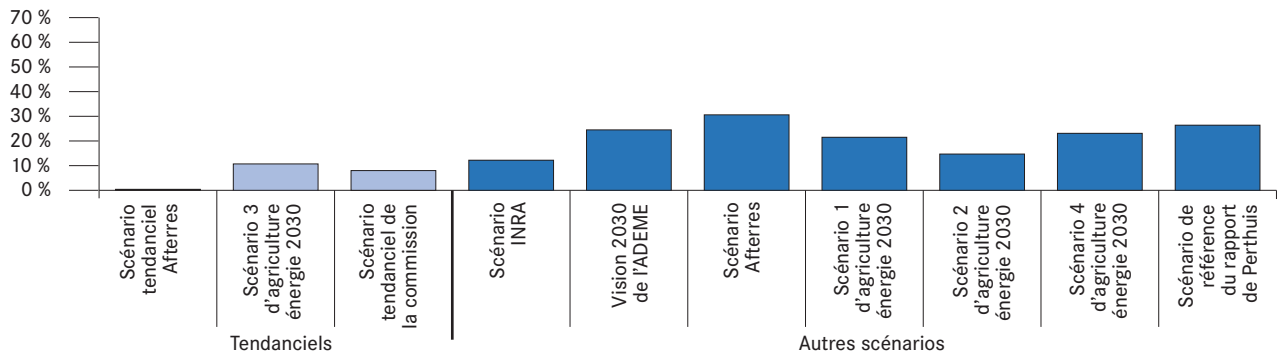
12. Source : Eurostat. Cette baisse est beaucoup plus forte pour les nouveaux adhérents (pays de l'Est). Pour l'UE 15, la baisse est de 16 % sur la même période.
13. Le secteur AFOLU comprend aussi les feux de forêt et de tourbière, et la décomposition de la tourbe.
14. Source : 5^e rapport du GIEC (2014), WGIII « Mitigation of climate change ».
15. Une prospective est dite *normative* lorsqu'elle fixe un objectif à atteindre et imagine les chemins et trajectoires à déployer pour y parvenir ; elle est dite *exploratoire* lorsqu'elle construit des futurs probables sans chercher à atteindre un objectif particulier.
16. Les travaux « Visions ADEME » font actuellement l'objet d'approfondissements, spécifiquement pour l'horizon 2030.
17. Le terme diffère suivant les études et les secteurs (agricole, industriel, etc.). L'Inra distingue les émissions indirectes, intervenant hors périmètre de l'exploitation, du fait d'un transfert physique de molécule, et les émissions induites, liées aux échanges marchands avec l'amont/aval. Ainsi pour l'étude Inra, le périmètre retenu dans cette note comprend les émissions directes et indirectes mais pas les émissions induites. Pour les études qui s'appuient sur l'outil *Climagri*, il comprend uniquement les émissions directes et pas les indirectes.

Figure 3 - Schématisation du périmètre retenu pour la comparaison des études



Source : Inra, modifié par les auteurs

Figure 4 - Réductions des émissions de GES agricoles en 2030 pour différents scénarios par rapport à 2005



Source : auteurs

Tableau 1 - Résultats des études pour l'horizon 2030 (« E » pour scénario de type exploratoire et « N » pour normatif)

Scénario	Évolution des GES/2005 ¹⁸	Quelques traits principaux de l'agriculture et de l'alimentation en 2030
Commission européenne : scénario tendanciel (E)	- 8 %*	Les activités diminuent ou stagnent, mises à part les filières porc et lait pour lesquelles la production tend à s'accroître. Le cheptel bovin lait diminue, alors que l'intensification laitière augmente. La fertilisation azotée minérale poursuit sa baisse.
Étude Inra « potentiel d'atténuation » (E)	- 12 %**	Les systèmes de production ne subissent pas de modification majeure et les niveaux de production ne diminuent pas de plus de 10 %, conformément au cahier des charges de l'étude. La vocation exportatrice de la France est maintenue. Le scénario à 2030 consiste en fait au déploiement de leviers techniques et agronomiques visant à réduire les émissions de GES.
Agriculture énergie 2030 : scénario 1, « Territorialisation et sobriété face à la crise » (E)	- 21 %	Les systèmes de production se diversifient et sont relocalisés. Les rendements diminuent (- 20 %) ainsi que les productions végétales. Les surfaces en herbe s'accroissent au détriment des grandes cultures et les protéagineux se développent fortement.
Agriculture énergie 2030 : scénario 2, « Agriculture duale et réalisme énergétique » (E)	- 15 %	Deux modèles d'agriculture coexistent : d'un côté, une « agriculture d'entreprise », de précision et à fort niveau d'intrants, positionnée à l'export (avec développement des OGM pour les biocarburants) ; de l'autre côté, une « agriculture multifonctionnelle », avec diversification des activités et rémunération des services environnementaux.
Agriculture énergie 2030 : scénario 3, « Agriculture-santé sans contrainte énergétique forte » (E)	- 11 %	Les assolements et les rendements restent stables. Le cheptel bovin est réduit (- 10 %) mais les rendements en lait augmentent. Les biocarburants de deuxième génération se développent fortement. L'usage des phytosanitaires est largement réduit et les livraisons d'azote diminuent modérément.
Agriculture énergie 2030 : scénario 4, « Agriculture écologique et maîtrise de l'énergie » (E)	- 23 %	Les productions végétales et animales diminuent légèrement malgré une relative stabilité des rendements et des cheptels. La production de protéagineux se développe et les apports en azote minéral sont très réduits.
Visions ADEME : 2030 (E)	- 24 %	La SAU nécessaire pour l'alimentation humaine directe est stable grâce à une réduction drastique des pertes évitables (- 50 %). L'assiette des Français évolue peu sauf en matière protéique. Les pratiques agroécologiques se développent (10 % de production « intégrée », 20 % de SAU en agriculture biologique, AB). Le cheptel bovin diminue modérément (- 11 %) et les importations de tourteaux sont réduites. Le rythme d'artificialisation des terres est divisé par deux. La consommation d'azote baisse de 22 % et les rendements moyens diminuent.
Afterres : scénario tendanciel (E)	0 %	La SAU est stable, avec une progression limitée des grandes cultures (+ 5 % en surface), et une légère baisse de la surface en herbe (- 3,5 %). Le recours à l'irrigation est important (+ 80 %). L'utilisation des produits phytosanitaires diminue peu (- 13 %) et le bilan azoté ne s'améliore pas. Le cheptel se maintient mais avec une bascule de la viande vers le lait. Les infrastructures agroécologiques progressent un petit peu.
Afterres : scénario soutenable (point de passage à 2030) (N)	- 31 %	L'agriculture conventionnelle recule au profit de l'agriculture biologique, l'agriculture intégrée et l'agroforesterie. Le cheptel bovin commence à être fortement réduit (- 36 % ; - 53 % en allaitants). Les systèmes d'élevage s'extensifient. Les surfaces en grandes cultures augmentent légèrement mais les surfaces fourragères diminuent de 15 %. L'utilisation de produits phytosanitaires et d'azote minéral chute (- 42 % et - 33 %). Les exportations de céréales et de produits laitiers baissent de 14 % et 10 % respectivement, les importations d'huiles et tourteaux (oléoprotéagineux) chutent. Les régimes alimentaires sont modifiés (- 17 % de consommation de protéines animales, - 21 % pour le lait notamment).

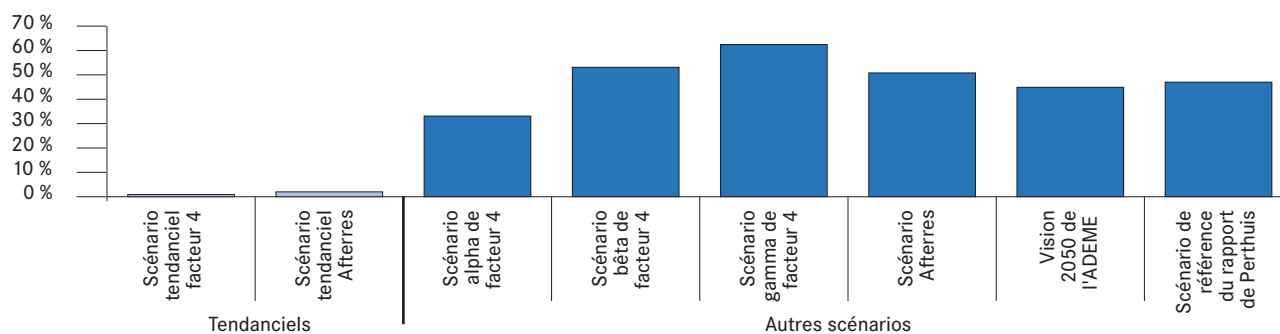
* Hors CO₂

** Émissions selon le mode de calcul CITEPA, inventaire 2012

Source : auteurs, d'après les études analysées

18. Dans ce tableau, les valeurs de réduction ont été calculées par le CEP, sur la base des résultats disponibles dans les différentes études.

Figure 5 - Réductions des émissions de GES agricoles en 2050 pour différents scénarios par rapport à 2005



Source : auteurs

Tableau 2 - Résultats des études pour l'horizon 2050 (« E » pour scénario de type exploratoire et « N » pour normatif)

Scénario	Évolution des GES/2005 ¹⁹	Quelques traits principaux de l'agriculture et de l'alimentation en 2050
Facteur 4 : scénario tendanciel (E)	- 1 %	Globalement, les productions sont relativement stables par rapport à 2006 : stables en grandes cultures et lait ; en hausse en cultures industrielles et arboriculture ; en baisse de 7 % en viticulture, œufs et prairies naturelles, et de 9 % en bovin viande.
Facteur 4 : scénario alpha « intensification écologique » (N)	- 33 %	L'innovation agronomique et technologique est au cœur de ce scénario : l'agriculture conventionnelle recule au profit de modes de production plus écologiques (production intégrée, agroforesterie, cultures intermédiaires, etc.). La production de grandes cultures baisse de 12 %, celles des prairies de 27 %, celle de lait de 18 % et celle de viande de 26 % (52 % pour les bovins viande). Inversement, la production arboricole est en hausse de 15 %. Les régimes alimentaires évoluent peu et les importations et exportations sont maintenues au niveau actuel. Les pertes et gaspillages sont très réduits. L'exploitation des ressources en biomasse est maximisée.
Facteur 4 : scénario bêta « alimentation, autonomie et sobriété » (N)	- 53 %	Ce scénario est tiré par une profonde évolution des régimes alimentaires. La proportion de protéines animales diminue au profit des protéines végétales. La production intégrée et l'AB deviennent majoritaires en production végétale. L'agroforesterie se développe. En élevage, la production se fait sous signe de qualité et en systèmes herbagers. Suite à ces changements, le cheptel bovin allaitant disparaît. La production de grandes cultures est réduite de 29 %, celle des cultures industrielles et de la viticulture de 15 %. La production de lait chute de 57 % et celle de viande de 48 %. Les pertes et gaspillages diminuent. Les exportations aussi et les importations, elles, sont ajustées au besoin du cheptel. Les terres agricoles libérées par ces changements alimentaires permettent la production de biomasse, en substitution aux ressources fossiles dont le prix a fortement grimpé.
Facteur 4 : scénario gamma « alimentation, efficacité et stockage » (N)	- 62 %	Le stockage de carbone et la production de carbone renouvelable sont les moteurs de ce scénario qui conduit à concilier changements alimentaires et intensification écologique. L'agriculture intégrée, l'agroforesterie et l'AB deviennent majoritaires. Les régimes alimentaires sont fortement modifiés, avec une moindre demande alimentaire et une chute de consommation des produits animaux. Les productions de grandes cultures et de prairies naturelles reculent de 41 %, celles des cultures industrielles et de la viticulture de plus de 20 %. La production de lait et de viande est en baisse de près de 60 % et le cheptel bovin allaitant disparaît quasiment. Les exportations diminuent de 50 %. Les pertes sont drastiquement réduites. Les surfaces libérées sont boisées, stockant du carbone et produisant de la biomasse.
Afterres : scénario tendanciel (E)	- 2 %	La SAU est stable. Les grandes cultures progressent de façon limitée, avec un fort recours à l'irrigation et peu de progrès sur le bilan azoté et l'utilisation des produits phytosanitaires. Le cheptel, surtout laitier, est maintenu au détriment de la viande, et les surfaces en herbe subissent une légère baisse.
Afterres : scénario soutenable (N)	- 51 %	Le scénario s'inscrit dans une « triple transition » : nutritionnelle (consommation raisonnée, sobriété), agricole (transition agroécologique) et énergétique (moins consommation d'énergie fossile et production d'énergie biosourcée). L'agriculture conventionnelle disparaît progressivement au profit de l'AB, l'agriculture intégrée et l'agroforesterie. Le cheptel bovin est massivement réduit (- 70 % ; - 85 % en allaitants), de même que les cheptels porcins et de volailles. Les systèmes d'élevage s'extensifient. Les surfaces en grandes cultures diminuent peu mais les surfaces fourragères chutent de 40 %. Les coefficients de rendements équivalents par unité de surface s'accroissent. Les exportations de céréales et de produits laitiers chutent de 28 % et 20 % respectivement, ainsi que les importations d'huiles, tourteaux et oléoprotéagineux. Les régimes alimentaires sont fortement modifiés avec une division par 2 de la consommation de viande et par 2,5 de celle de lait. Les pertes et surconsommations sont fortement réduites.
Vision ADEME : 2050 (N)	- 45 %	En 2050, les régimes alimentaires évoluent vers une réduction des surconsommations et un rééquilibrage entre protéines animales et végétales. La consommation de produits animaux (lait, viande bovine) diminue. La réduction des pertes évitables atteint un plafond. Les pratiques agricoles évoluent vers des systèmes agroécologiques, en production intégrée ou en agriculture biologique. Les pratiques telles que la simplification du travail du sol, l'agroforesterie ou les cultures associées se généralisent. Les élevages bovins misent sur l'herbe et l'autonomie protéique. L'utilisation des engrais azotés est réduite de 37 %, les besoins en irrigation s'accroissent de 30 % (moins que les besoins tendanciels attendus), et l'artificialisation des terres s'arrête en 2030. Les importations de tourteaux chutent ; la capacité exportatrice de la France, en équivalent énergie, est maintenue.
Étude de Perthuis : scénario de référence (N)	- 47 %	La R&D et la diffusion de méthodes « écologiquement intensives » sont soutenues par les pouvoirs publics. L'image future de l'agriculture demeure néanmoins très peu précise dans cette étude.

Source : auteurs, d'après les études analysées

19. Dans ce tableau, les valeurs de réduction ont été calculées par le CEP, sur la base des résultats disponibles dans les différentes études.

Encadré 2 : comparaison des émissions de GES agricoles pour différents périmètres

Pour les quatre études dans lesquelles les émissions ont été chiffrées avec l'outil Climagri® (*Visions ADEME, Facteur 4, Afterres et Agriculture énergie 2030*), il est possible de comparer ces émissions selon différents périmètres, plus ou moins englobants. De ce travail ressortent les enseignements suivants : les hiérarchies dans les émissions des scénarios (du plus au moins émetteur) sont assez robustes aux changements de périmètre. Quand les émissions directes d'un scénario donné sont inférieures à celles d'un autre scénario, alors il en est de même si l'on inclut les émissions indirectes (cf. supra) et/ou les variations de stocks de carbone agricoles et forestiers²⁰. La réduction d'émissions (en %) est même en général supérieure si l'on considère ces périmètres élargis : on pourrait parler « d'effet synergique » dans le sens où l'atténuation des émissions directes « potentialise » celle des émissions indirectes et le stockage de car-

bone. La diminution des apports azotés et des cheptels, qui accompagne de nombreux scénarios, conduit en effet à une moindre consommation d'intrants, donc d'émissions indirectes, liées à leur fabrication. De la même façon, dans les scénarios les plus ambitieux (bêta, gamma et *Afterres*), où la demande alimentaire est réduite ainsi que la pression d'artificialisation, certaines surfaces agricoles sont converties en surfaces forestières, ce qui permet de stocker du carbone et de réduire d'autant plus les émissions.

Enfin, quel que soit le périmètre considéré, on n'obtient ici aucun scénario à « émissions négatives », avec stockage net de carbone : pour espérer y parvenir, il faudrait pouvoir tenir compte également des émissions économisées du fait des substitutions avec les autres secteurs, ce que ne permet pas l'outil Climagri®.

ne permettent pas (ou peu) de réduction des émissions agricoles (moins de 10 %). À l'horizon 2030, les scénarios qui s'appuient essentiellement sur des leviers techniques (par exemple l'étude Inra « potentiel d'atténuation » pour le mode de calcul CITEPA), sans modification importante des orientations productives, permettent une réduction des émissions de l'ordre de 10 à 20 %. Pour aller au-delà, il faut passer à des scénarios davantage en rupture : ils aboutissent à des niveaux de réduction le plus souvent compris entre 20 et 35 % à horizon 2030, et entre 30 et 60 % à horizon 2050 (par exemple les scénarios de rupture alpha, bêta et gamma ou encore *Afterres*).

Pour atteindre ou s'approcher de ce « facteur 2 » en 2050, les leviers utilisés combinent diverses actions techniques (meilleure gestion de l'azote, méthanisation) mais aussi des changements plus profonds : modes de production, taille du cheptel et sole cultivée, balance commerciale, régimes alimentaires, réduction des pertes et gaspillages, etc. Dans tous les cas, aucun scénario, même très volontariste, ne permet d'atteindre le facteur 4 pour le secteur agricole en 2050 ou de dépasser 35 % en 2030.

3 - Les leviers disponibles pour réduire les émissions de GES agricoles

Au-delà des représentations de l'agriculture associées à des niveaux de réductions de GES aux horizons 2030 et 2050, les six études présentées ci-dessus proposent des leviers techniques, souvent analogues. On peut distinguer trois approches :

a) diminuer les émissions, soit en améliorant l'efficacité des modes de production

existants, sans changement important de l'activité, soit en développant des pratiques nouvelles, soit en diminuant les niveaux de productions ;

b) recourir à la substitution (e.g. production d'énergie à partir de biomasse, réduisant les émissions en remplacement des énergies fossiles) ;

c) stocker du carbone dans les sols et la biomasse (e.g. changement d'usage des terres en passant d'une activité agricole à une forêt).

Ces actions d'atténuation peuvent aussi être distinguées en fonction de leur cible : demande ou offre alimentaires. Concernant la demande, cela signifie des évolutions en termes de régimes alimentaires, i.e. limiter la surconsommation et rééquilibrer les apports entre protéines animales et végétales, ou encore lutter contre le gaspillage et les pertes. Ainsi, dans les scénarios bêta et gamma de l'étude « facteur 4 », la part des protéines d'origine animale et les apports journaliers de calcium par le lait seraient réduits, parfois de moitié (pour atteindre respectivement 33 % et 200 mg par jour et par personne). Les pertes évitables chuteraient quant à elles de 50 % voire 60 %. D'autres leviers agissent sur l'offre alimentaire, au niveau des modes de production. Ces modifications peuvent alors être réalisées à la marge, e.g. réduire la consommation d'énergie fossile des engins agricoles via l'éco-conduite (efficacité), ou bien représenter des changements plus profonds, e.g. développement de l'agroforesterie (reconception des systèmes), le plus souvent dans une logique agroécologique. Une multitude de pratiques peuvent contribuer à diminuer les émissions de GES : réduire le travail du sol, introduire des légumineuses ou des

cultures intermédiaires, allonger les périodes de pâturage, etc. De nouvelles opportunités sont aussi susceptibles d'apparaître conséquemment aux changements impactant la demande et l'offre alimentaires. Par exemple dans *Afterres*, les terres agricoles libérées sont mobilisées pour la production de biomasse, y compris la plantation de forêts.

Au total, l'Inra décrit quatre grandes familles de leviers techniques pour améliorer le bilan net des émissions de GES à l'échelle de l'exploitation agricole et qui n'impactent pas de manière importante les niveaux de production : diminuer les apports de fertilisants minéraux azotés²¹ ; stocker du carbone dans le sol et la biomasse²² ; modifier la ration des animaux²³ ; valoriser les effluents pour produire de l'énergie et réduire la consommation d'énergie fossile²⁴. D'après cette étude et le mode de calcul « expert », l'action qui possède le plus fort potentiel d'atténuation est la méthanisation. Or, bien que ce levier soit présent dans la plupart des exercices cités, il n'est actuellement pas pris en compte dans les inventaires d'émissions, même si sa comptabilisation est tout à fait envisageable à terme. Les autres actions à fort potentiel d'atténuation sont la couverture des fosses de stockage d'effluents et l'installation de torchères, le passage au labour occasionnel (1 an sur 5) et la réduction de la dose d'engrais minéral en ajustant mieux l'objectif de rendement.

Bien que certains scénarios des six études analysées puissent amener à des changements importants de l'activité agricole, les leviers techniques considérés sont relativement « conservateurs »²⁵, s'appuyant sur des systèmes et techniques existants. À l'inverse, d'autres options, non abordées dans les travaux cités, mais traitées dans des études internationales (e.g. vaccination anti-méthano-gènes, transgénèse), soulèvent la question de leur acceptabilité et de leur potentielle application sur le territoire français.

20. Ce calcul des stocks suppose des hypothèses d'évolution de l'agriculture, mais aussi de la forêt et des filières bois. Ici les variations de stocks sont uniquement dues aux changements d'usage des sols.

21. Réduire le recours aux engrais minéraux de synthèse, en les utilisant mieux et en valorisant plus les ressources organiques ; et accroître la part de légumineuses en grande culture et dans les prairies temporaires.

22. Développer les techniques culturales sans labour ; introduire davantage de cultures intermédiaires, de cultures intercalaires et de bandes enherbées ; développer l'agroforesterie et les haies ; optimiser la gestion des prairies.

23. Remplacer des glucides par des lipides insaturés et utiliser un additif dans les rations des ruminants ; réduire les apports protéiques dans les rations animales.

24. Développer la méthanisation et installer des torchères ; réduire, sur l'exploitation, la consommation d'énergie fossile des bâtiments et équipements agricoles.

25. Source : Étude Inra « potentiel d'atténuation ».

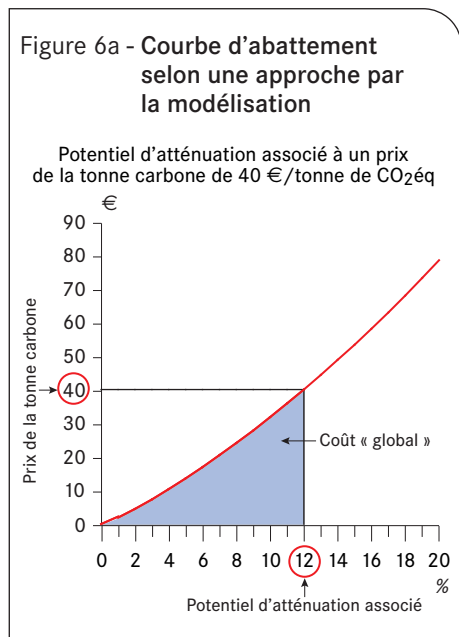
4 - Coût des actions d'atténuation et efficacité économique

Les travaux présentés jusqu'ici recourent à une évaluation du potentiel d'atténuation des GES agricoles *via* l'utilisation de données techniques et scientifiques pour chaque levier étudié. Cependant, leurs approches laissent souvent la question des impacts économiques en suspens : estimation des coûts de chaque scénario, répartition de ces coûts entre acteurs, effet sur le revenu des agriculteurs ou sur les filières, etc.

Coûts d'atténuation, les différentes approches

La littérature met en évidence deux catégories de travaux permettant d'aborder, au moins pour partie, cette dimension économique²⁶. Les premiers recourent à des modèles qui reposent sur la théorie micro-économique : l'exploitant arbitre entre différentes stratégies d'atténuation et maximise son profit en tenant compte des coûts, eux-mêmes fonction d'un « prix de la tonne carbone » intégré dans le modèle, par exemple par le biais d'une taxe ou subvention. On peut distinguer deux types de modèle : des modèles d'offre et des modèles d'équilibre (général ou partiel). La différence entre les deux tient à la finesse de la description du secteur agricole, à la représentation de la demande et à l'endogénéité ou non des prix agricoles (*i.e.* prix calculés par le modèle ou, au contraire, fixés en entrée par le modélisateur). Aucune des études présentées ci-dessus ne s'appuie sur une telle méthode.

La deuxième catégorie de travaux recouvre, les approches dites « ingénieurs »²⁷, qui proposent une estimation des coûts de mises en œuvre des différents leviers d'atténuation



Source : auteurs, d'après De Cara et Jayet, 2011

étudiés (manques à gagner, charges opérationnelles, investissements, etc.). Cette méthode, qui tient plus de la logique comptable, est celle proposée dans l'étude Inra. Contrairement à la modélisation, elle permet de considérer des actions, en apparence, à « coûts négatifs »²⁸, c'est-à-dire qui se traduiraient par un gain au niveau de l'exploitation. Elle facilite aussi l'introduction des innovations dans les pratiques d'atténuation²⁹. Avec cette méthode, cependant, l'analyse des interactions entre les différents leviers est moins aisée qu'avec les modèles, et les effets indirects (effet prix de la baisse de production consécutive à la mise en œuvre d'un levier donné) ne sont pas pris en compte.

Quelle que soit l'approche retenue, ces travaux ne sont pas exempts de limites. Ainsi, les modèles économiques ne permettent pas de représenter finement le détail des technologies d'abattement et sont souvent modifiés à la marge pour intégrer les GES. Inversement, le recours à l'expertise pour les approches « ingénieurs » rend chaque exercice unique, ce qui ne facilite pas la comparaison avec d'autres travaux. Ces deux méthodes (modélisation vs « ingénieurs ») sont des représentations stylisées de la réalité. L'objectif scientifique n'étant pas de décrire cette dernière fidèlement, la connaissance des hypothèses et des limites de ces outils est nécessaire à leur bonne utilisation et les résultats produits doivent être considérés comme des ordres de grandeur.

Courbes de coûts d'atténuation, construction et lecture²⁷

Les deux types d'approches permettent la réalisation de courbes de coûts d'atténuation, appelés également coûts d'abattement. Celles-ci retracent le coût associé à la dernière unité d'émission évitée. Il s'agit donc d'un « *potentiel économique* » d'atténuation, soit la quan-

tité maximale d'émissions de GES pouvant être réduite à un prix donné (en euros par tonne de CO₂eq).

Dans le cas des modèles, la courbe de coûts d'atténuation est construite en reliant les réductions d'émissions obtenues pour chaque niveau de prix simulé (cf. figure 6a). Pour l'approche « ingénieurs », la représentation graphique découle du classement des actions par coût unitaire croissant d'atténuation (cf. figure 6b). Dans tous les cas, pour estimer le coût « global » engendré par un objectif d'atténuation donné, il faut se référer à l'aire sous la courbe d'abattement. Ce coût ne peut pas être qualifié de total puisqu'il n'intègre pas les externalités négatives évitées par les réductions d'émissions ; autrement dit, il n'intègre pas le coût du changement climatique (*e.g.* : inondations, maladies émergentes) et les bénéfices associés à la lutte contre celui-ci.

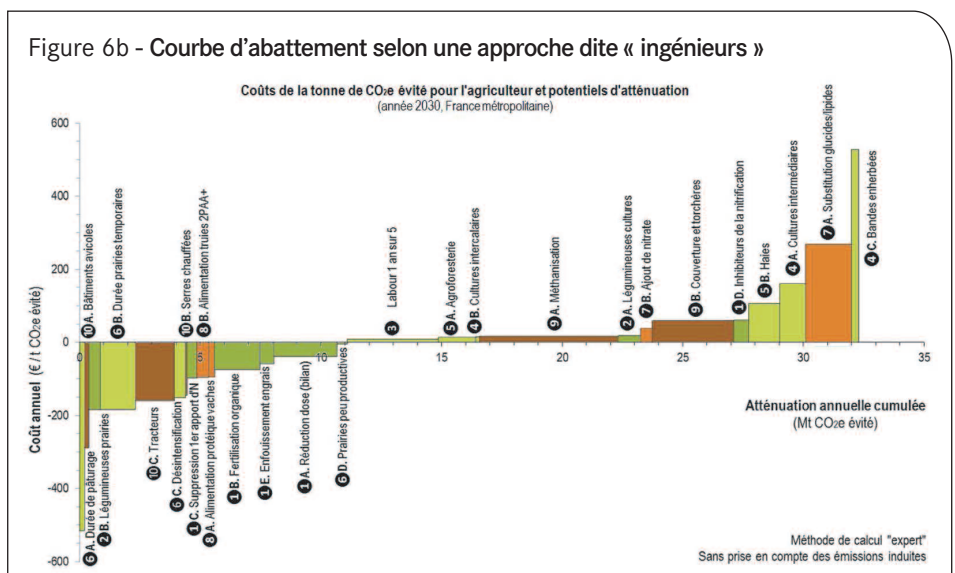
Le tableau 3 compile une sélection de résultats mettant en regard le potentiel d'atténuation pour un « prix » donné du carbone.

26. Kesicki F., 2011, *Marginal abatement cost curves for policy making - expert-based vs. model-derived curves*, IAEE International Conference, 6-9 June 2010, Rio de Janeiro.

27. De Cara S., Vermont B., 2014, « *Émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole : coûts et potentiels d'atténuation, instruments de régulation et efficacité* », Notes et études socio-économiques n° 38. La partie sur les courbes de coûts d'atténuation s'inspire de cet article.

28. Par exemple : allonger la durée des prairies temporaires, réduire la dose d'engrais minéral en ajustant l'objectif de rendement, mieux remplacer l'azote minéral de synthèse par l'azote des produits organiques, réduire la consommation d'énergie fossile pour le chauffage des serres ou des engins agricoles, etc.

29. Comme des technologies nouvelles encore non déployées mais avec des références techniques (De Cara *et al.*, 2014). Cf. par exemple les vaccins antiméthanoènes déjà cités.



Source : Inra, 2013

Les résultats obtenus *via* les courbes d'abattement sont à interpréter en fonction de l'échelle étudiée (Monde, Europe, France), de l'horizon choisi (2020, 2030, 2050), de l'année de référence (1990, 2005, etc.) et du mode de comptabilisation (cf. encadré 1). En effet, ces travaux varient quant à l'intégration, ou non, des émissions de CO₂ (souvent N₂O et CH₄ seulement), ainsi qu'en fonction de la prise en compte des émissions directes et/ou indirectes. De la même façon, les méthodes d'inventaire peuvent différer : par exemple, pour une même action d'atténuation, la référence du coefficient d'émission peut être celle du GIEC ou provenir d'une autre expertise scientifique. Enfin les leviers techniques considérés peuvent différer, ainsi que leur vitesse de diffusion. Par exemple, la méthanisation n'est pas prise en considération dans De Cara et Jayet³¹, contrairement à Höglund-Isaksson *et al*³². La méta-analyse réalisée par Vermont et De Cara souligne l'importance d'une telle précaution pour comparer différents travaux.

Compte tenu des ordres de grandeur de réduction de GES présentés en partie 2, il est cependant possible tirer des études listées dans le tableau 3 quelques estimations de « prix » de la tonne carbone pour différents potentiels d'atténuation :

- pour un potentiel d'atténuation d'environ 10 %, le « prix » de la tonne de CO₂éq serait d'environ 35 euros pour la France et de 40-45 euros à l'échelle européenne³¹ ;

- pour une réduction des émissions de 20 %, le « prix » serait d'environ 70 euros la tonne de CO₂éq pour la France²⁷,

- pour une réduction des émissions de 30 %, la tonne de CO₂éq s'élèverait autour de 300 euros à l'échelle européenne dans l'étude de l'IIASA³².

En dehors des limites déjà citées pour chacune des méthodes employées, d'autres limites sont régulièrement évoquées à propos des courbes de coûts d'abattement, à savoir : la non intégration des coûts de transaction (*e.g.* coûts administratifs, d'information), le traitement limité des incertitudes, l'absence de dynamique inter-temporelle (déformation de la courbe d'abattement dans le temps), la non prise en compte de l'interaction avec d'autres secteurs, etc. Malgré ces limites, la représen-

tation simple du potentiel d'atténuation en fonction du « prix carbone », que sont les courbes de coûts d'abattement, explique leur utilisation récurrente dans les politiques publiques, pour définir des stratégies d'atténuation ou les évaluer, même s'il faut ne considérer ces résultats que comme des ordres de grandeur.

**
*

L'analyse des travaux disponibles sur le potentiel d'atténuation de l'agriculture française aux horizons 2030 et 2050 permet de retenir quelques ordres de grandeur significatifs, au-delà des incertitudes propres à tout exercice de chiffrage : sans efforts supplémentaires par rapport à la situation actuelle, les scénarios « tendanciels » amèneraient à des réductions limitées des émissions (moins de 10 % à 2030). En améliorant « l'efficacité carbone » des pratiques agricoles et en s'appuyant sur des leviers techniques (*e.g.* gestion de l'azote), la réduction des émissions pourrait être de l'ordre de 10-20 % en 2030. À noter que ce potentiel technique dépend beaucoup des modes de comptabilisation (coefficients et périmètres des émissions) ce qui fait de ce sujet, d'apparence technique, un chantier majeur des prochaines années.

Pour dépasser 20 % en 2030 et s'approcher du facteur 2 en 2050, il faut envisager des scénarios plus en rupture avec les modes de production et de consommation actuels. Ainsi, les scénarios les plus volontaristes

(- 50 à - 60 %) proposent un changement assez radical du visage de l'agriculture et de l'alimentation (réduction des pertes, du cheptel bovin, des exportations, de la consommation de protéines animales, etc.), sans toutefois atteindre le facteur 4 en 2050.

Ces scénarios nous offrent des images probables ou souhaitables du futur, mais moins les chemins ou les trajectoires pour y parvenir. En particulier, les moteurs et facteurs de changement faisant passer d'un scénario tendanciel (avec une réduction des GES assez limitée) à des réductions de l'ordre de 25 % - 30 %, en 2030, sont peu explicites. En outre, ces scénarios sont souvent fondés sur une cohérence technique, agronomique et physique (bilans ressources/emplois), mais ils ne permettent pas de s'assurer d'une véritable cohérence économique, ni d'estimer les impacts de tel ou tel scénario en termes d'emploi ou de valeur ajoutée créée. De ce point de vue, les courbes de coûts d'atténuation, issues d'outils de modélisation ou d'approches expert, présentent l'intérêt pour les pouvoirs publics de disposer d'estimations du coût associé à un niveau donné d'effort d'atténuation. Si ces travaux fournissent des ordres de grandeur utiles, les résultats produits restent toutefois, là aussi, très sensibles aux hypothèses qui les sous-tendent.

Au-delà des incertitudes qui les entourent, les résultats des travaux présentés dans ce document montrent l'importance d'accompagner le secteur agricole vers une réduction des émissions, la production d'énergies renouvelables (dont les émissions substituées sont actuellement comptabilisées dans les autres secteurs) et un stockage accru de carbone. Un autre défi majeur sera de concilier atténuation et adaptation de l'agriculture et de ses filières à de nouvelles conditions climatiques, notamment en favorisant la conception de systèmes de production plus résilients aux aléas. Autant de défis qui sont inscrits à l'agenda politique national, européen et mondial.

**Élise Delgoulet, Noémie Schaller,
Pierre Claquin**
Centre d'études et de prospective

Tableau 3 - Potentiel d'atténuation et « prix carbone »

Échelle	Études	Horizon	Potentiel de réduction des émissions agricoles
France	Potentiel Inra, 2013 ⁵	2030	Environ 10 % à 40 euros la tonne ³⁰
France	De Cara et Jayet, 2011 ³¹	2020	Environ 12 % à 40 euros la tonne
Europe	De Cara et Jayet, 2011	2020	Environ 10 % à 40 euros la tonne
Europe	Höglund-Isaksson <i>et al.</i> , 2012 ³²	2050	Environ 13 % à 40 euros la tonne
Europe	Commission européenne, 2014 ³³	2030	28 % à 40 euros la tonne
Europe	Vermont et De Cara, 2010 ³⁴	2030	Entre 8 et 26 % à 40 euros la tonne (estimation centrale : 15 %)
Monde	Vermont et De Cara, 2010	2030	Entre 7 et 22 % à 40 euros la tonne (estimation centrale : 12 %)
Monde	GIEC, AR5, 2014 ¹⁴	2030	Entre 10 et 50 % à 50 USD la tonne, soit environ 37 euros (taux du 7/08/2014)

Source : choix des auteurs, au sein de la littérature disponible

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt
Secrétariat Général
Service de la statistique et de la prospective
Centre d'études et de prospective
12 rue Henri Rol-Tanguy
TSA 70007
93555 MONTREUIL SOUS BOIS Cedex
Sites Internet : www.agreste.agriculture.gouv.fr
www.agriculture.gouv.fr

Directrice de la publication : Béatrice Sédillot

Redacteur en chef : Bruno Héroult
Mel : bruno.herault@agriculture.gouv.fr
Tél. : 01 49 55 85 75

Composition : SSP Beauvais
Dépôt légal : À parution © 2014