



HAL
open science

Atténuation de l'effet de serre d'origine agricole : efficacité en coûts et instruments de régulation

Stephane de Cara, Bruno Vermont

► **To cite this version:**

Stephane de Cara, Bruno Vermont. Atténuation de l'effet de serre d'origine agricole: efficacité en coûts et instruments de régulation. Innovations Agronomiques, 2014, 37, pp.97-112. hal-01173041

HAL Id: hal-01173041

<https://hal.science/hal-01173041>

Submitted on 28 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Atténuation de l'effet de serre d'origine agricole : efficacité en coûts et instruments de régulation

De Cara S.¹, Bruno Vermont B.¹

¹ INRA, UMR0210 Economie Publique INRA-AgroParisTech, Avenue Lucien Brétignières, F-78850 Grignon

Correspondance : stdecara@grignon.inra.fr

Résumé

Du fait de son poids dans les émissions de gaz à effet de serre (GES), l'agriculture peut (et doit) participer significativement à l'effort d'atténuation global. Les politiques publiques peuvent jouer un rôle important pour que les potentiels d'atténuation que peut offrir ce secteur soient mobilisés au meilleur coût pour la société. Ce texte synthétise les concepts qui sous-tendent les travaux d'économie appliquée qui ont examiné cette question. Il précise notamment le concept d'efficacité en coûts et le rôle que peuvent jouer les instruments économiques à cet égard. Les résultats de travaux récents portant sur cette question dans les cas français et européen illustrent l'importance des gains en efficacité permis par les instruments économiques. Ces éléments sont mis en regard de l'évolution récente des politiques climatiques et agricoles dans leur prise en compte de la question des émissions de GES d'origine agricole.

Mots-clés : Émissions de gaz à effet de serre, protoxyde d'azote, méthane, efficacité en coûts, instruments économiques.

Abstract: Mitigation of greenhouse gas emissions from agriculture: Cost-effectiveness and policy instruments

Given its weight in greenhouse gas emissions (GHG), agriculture can (and should) contribute significantly to the global mitigation effort. Public policies may play an important role in realizing the mitigation potential in this sector at the lowest possible cost for the society. This text provides an overview of the concepts used in applied economics research works that have addressed this issue. In particular, it presents the concept of cost-effectiveness and the role that economic instruments can play in this regard. Recent results from studies that have examined this question in the French and European contexts illustrate the efficiency gains that can be expected from the implementation of economic instruments. These results are then used to analyze the recent trends in climate and agricultural policies with respect to the issue of GHG emissions from agriculture.

Keywords: Greenhouse gas emissions, nitrous oxide, methane, cost-effectiveness, economic instruments.

Introduction

Le dernier rapport du Giec sur l'atténuation (Smith *et al.*, 2014) met en évidence le poids des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine agricole dans les émissions totales mondiales (5 à 6 GtCO₂eq par an soit légèrement moins que les transports). Il souligne également les potentiels considérables que peut fournir ce secteur en termes d'atténuation et le rôle clé qu'il est susceptible de jouer dans le maintien des concentrations de GES dans des plages compatibles avec un changement climatique maîtrisé.

Au niveau français, les derniers inventaires établis par le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA, 2014) indiquent qu'en 2012 le secteur agricole a contribué pour environ 20 % aux émissions françaises de GES (voir Figure 1). À lui seul, ce chiffre illustre l'importance de l'agriculture dans la lutte contre l'effet de serre. En effet, si rien n'est fait pour réduire les émissions d'origine agricole, l'effort d'atténuation nécessaire pour respecter l'engagement français de division par quatre des émissions de GES à l'horizon 2050 devra porter exclusivement sur les autres secteurs de l'économie (transports, résidentiel, industrie, fourniture d'énergie, services), les contraignant ainsi à quasiment annuler leurs émissions à cet horizon.

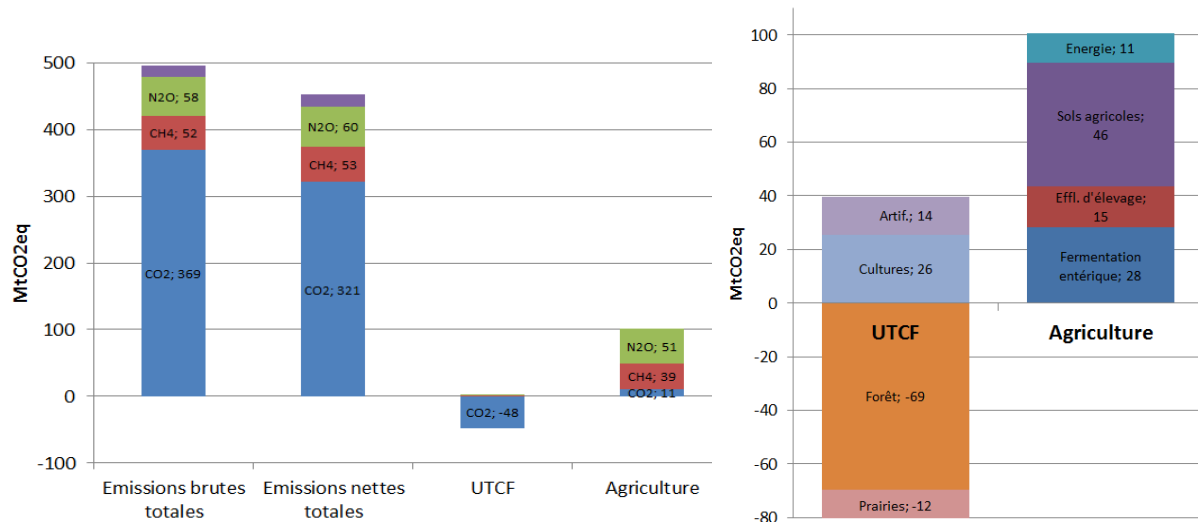


Figure 1 : Gauche : Décomposition des émissions françaises de GES (2012) par gaz pour les émissions totales brutes et nettes, l'Utilisation des Terres, leurs Changements et la Forêt (UTCf) et l'agriculture ; Droite : décomposition par sous-catégories des sources et puits UTCf et agricoles (2012). Source : CITEPA, 2014.

Malgré ce poids important dans les émissions, il est frappant de constater la faible place qu'occupe cette problématique dans les politiques publiques actuellement en place. Dans un rapport récent, la Cour des Comptes souligne que l'agriculture est largement absente de la mise en œuvre par la France du paquet énergie-climat (Cour des Comptes, 2013). Les émissions d'origine agricole sont exclues du périmètre du Système Européen d'Échange de Quotas Carbone (SEEQC), le principal instrument de politique climatique aujourd'hui en place. La perspective d'une « taxe carbone » appliquée aux émissions de GES d'origine agricole semble loin d'être d'actualité. Les mesures rapportées par la France (DGEC, 2013) concernant l'atténuation des émissions agricoles relèvent soit de dispositifs permettant des réductions d'émissions intervenant majoritairement dans d'autres secteurs (transports, production d'énergie), soit de politiques visant initialement d'autres enjeux environnementaux (directive sur l'eau par exemple), soit encore de mesures partielles ne concernant que des sources relativement marginales des émissions d'origine agricole (économie d'énergie pour le matériel agricole par exemple).

Il convient toutefois de noter que la thématique climatique a très largement été mise en avant dans la récente réforme de la Politique Agricole Commune (Commission Européenne, 2013). Si cette évolution est le signe d'une prise de conscience forte par les décideurs publics de l'importance des liens entre agriculture et changement climatique, les aspects pratiques de la mise en œuvre de cette réforme posent question quant à leur efficacité économique et environnementale (Bureau *et al.*, 2012).

La question centrale examinée dans ce texte est celle de l'efficacité économique des politiques publiques en matière d'atténuation de l'effet de serre d'origine agricole. Dit autrement, il s'agit d'analyser comment les instruments de politique publique peuvent permettre que, pour un coût total donné, l'atténuation soit maximale ou, de manière équivalente, que, pour un objectif environnemental donné, le coût total d'atténuation soit minimal.

Nous mobilisons les concepts de l'économie de l'environnement sur le sujet pour illustrer les propriétés des instruments économiques et synthétisons quelques résultats de recherche récents tentant de quantifier les gains potentiels en efficacité que permettrait le recours à ces instruments. A partir de cette analyse, nous discutons les dispositifs actuellement en place et leurs performances au regard du critère d'efficacité économique.

1. Efficacité en coûts et instruments économiques : concepts

Les potentiels techniques d'atténuation dans le secteur agricole ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche (Smith *et al.*, 2008 ; Eagle et Olander, 2012 ; Smith *et al.*, 2014). Ces potentiels sont en général évalués sur la base de l'effet de certaines pratiques visant à réduire les apports d'azote ou les pertes sous forme de N₂O (meilleure gestion des apports, inhibiteurs de dénitrification, légumineuses), à modifier l'alimentation animale pour réduire les émissions dues à la fermentation entérique (en jouant par exemple sur le rapport concentrés/fourrages ou en utilisant des additifs), à limiter les émissions de CH₄ liées au stockage des effluents (en les convertissant par exemple en énergie) et à diminuer les quantités d'énergie fossile utilisées dans le secteur. Certaines pratiques peuvent également contribuer à augmenter les quantités de carbone stocké dans les sols et la biomasse (travail du sol, agroforesterie).

Si une connaissance aussi précise que possible des potentiels techniques d'atténuation est essentielle pour l'évaluation des marges de manœuvre disponibles, elle n'est cependant pas suffisante. En effet, l'adoption ou non de pratiques moins émettrices dépendra en grande partie des conséquences sur les revenus des agriculteurs qui, *in fine*, détermineront la réduction effective des émissions. Le potentiel technique doit ainsi être mis en regard des coûts auxquels font face les agriculteurs pour réduire leurs émissions. Ces coûts peuvent être directs, par exemple si l'atténuation nécessite des investissements ou implique des coûts de maintenance et de fonctionnement. Ils peuvent être également indirects si la réduction des émissions passe par des modifications des pratiques, de l'assolement, des effectifs animaux ou des réductions de rendements qui se traduisent par un « manque à gagner » (ou coût d'opportunité) pour l'agriculteur.

Pour prendre en compte ces éléments, il est utile de préciser tout d'abord quelques concepts. Le potentiel économique d'atténuation est défini comme la quantité maximale d'émissions qui peuvent être évitées à un prix donné des émissions (exprimé en €/tCO₂eq). Au niveau microéconomique, le potentiel économique d'atténuation traduit donc de combien l'agriculteur serait prêt à réduire ses émissions pour une valorisation donnée de la tonne de GES évitée. D'un point de vue économique, cette quantité résulte ainsi d'un arbitrage entre le coût de réduire les émissions d'une unité supplémentaire (ou coût marginal) et la valorisation unitaire des émissions. A un niveau plus agrégé, ce prix doit également refléter la valeur sociale des dommages attendus du changement climatique. La quantité d'émissions qui pourra être évitée dépend en effet de la valorisation (implicite ou explicite) que la société dans son ensemble est prête à accorder aux réductions d'émissions de GES. Seules les mesures qui permettent d'atteindre une atténuation des émissions à un coût marginal inférieur ou égal au bénéfice marginal attendu de l'amélioration de l'environnement doivent être mises en œuvre. À moins de considérer un coût marginal d'atténuation nul ou une valeur sociale des émissions infinie, le potentiel économique d'atténuation est donc plus faible que le potentiel technique (Schneider et McCarl, 2006).

Les instruments économiques visent à fournir des incitations aux agents de telle sorte qu'ils modifient leur comportement et intègrent la valorisation sociale des émissions dans leurs décisions économiques de production et/ou de consommation. Quelques propriétés de ces instruments peuvent être illustrées à partir d'un exemple très simple. Considérons trois agents (indiqués par $i=1, \dots, 3$) responsables d'émissions en quantité \bar{e}_i dans la situation initiale. Chaque individu peut réduire ses émissions d'une quantité a_i ($a_i = \bar{e}_i - e_i$) à un coût $C_i(a_i)$.

Les courbes présentées sur la Figure 2 décrivent le coût associé à la dernière unité d'émissions évitée ou coût marginal d'atténuation ($C'_i(a_i)$). Pour les besoins de l'illustration, le coût marginal d'atténuation est supposé être le plus élevé pour l'individu 1 et le plus faible pour l'individu 3, et ce quel que soit le niveau d'atténuation. Pour tous les agents, le coût marginal est supposé croissant, reflétant le fait que la dernière unité de réduction est plus coûteuse à obtenir que les premières unités. Pour un individu qui réduit ses émissions d'une quantité a_i , le coût total d'atténuation $C_i(a_i)$ peut être déduit de la Figure 2 comme la surface sous la courbe de coût marginal de l'agent i jusqu'à a_i .

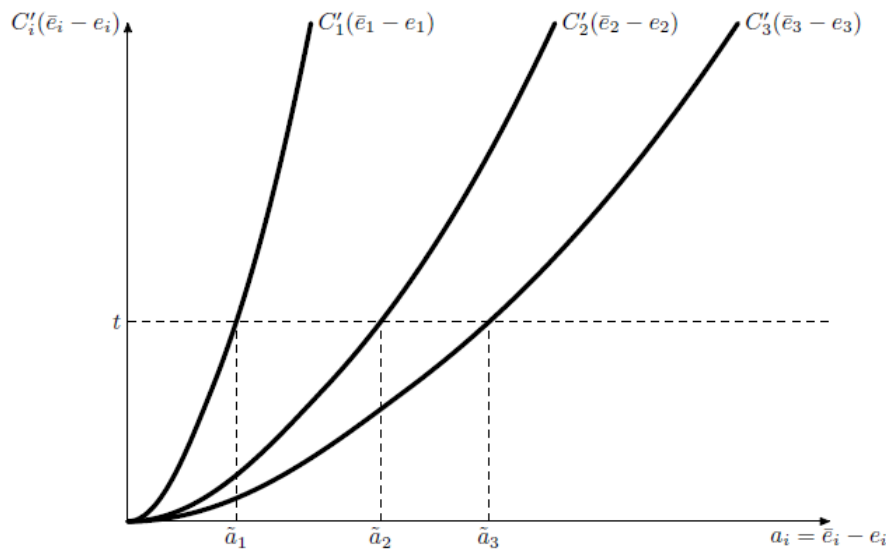


Figure 2 : Coûts marginaux d'atténuation (en €/tCO₂eq, en ordonnées) en fonction du niveau d'atténuation (en tCO₂eq, en abscisses) et instrument en prix.

Deux enseignements importants peuvent être tirés de cet exemple stylisé. Premièrement, la minimisation du coût total d'atténuation requiert l'égalisation des coûts marginaux d'atténuation entre les individus. Une telle configuration est représentée sur la Figure 2. Les quantités d'émissions évitées \tilde{a}_1 , \tilde{a}_2 et \tilde{a}_3 pour les agents 1, 2 et 3, respectivement, sont telles que $C'_1(\tilde{a}_1) = C'_2(\tilde{a}_2) = C'_3(\tilde{a}_3)$. Cette répartition minimise le coût total d'atténuation pour la réduction agrégée $A = \tilde{a}_1 + \tilde{a}_2 + \tilde{a}_3$. Si la répartition de l'atténuation totale entre les individus ne respecte pas la condition d'égalité des coûts marginaux, il est en effet possible de diminuer le coût total en demandant un effort plus grand à l'individu qui a les coûts marginaux d'atténuation les plus faibles tout en permettant à l'individu faisant face aux coûts marginaux les plus élevés d'augmenter ses émissions d'un montant équivalent. En présence d'hétérogénéité des courbes de coût marginal d'atténuation, l'efficacité en coûts requiert donc que les quantités d'émissions évitées soient différenciées, l'effort d'atténuation devant être porté en priorité par les agents faisant face aux coûts les plus faibles.

Deuxièmement, la réduction totale des émissions peut être obtenue de manière efficace si les agents (supposés rationnels au sens de la maximisation du profit) sont incités à valoriser les émissions dans leurs choix économiques. Imaginons, par exemple, que tous les agents soient soumis au paiement d'un même prix t (en €/tCO₂eq) par unité de GES émise. Chacun a alors intérêt à réduire ses émissions jusqu'à ce que le coût de la dernière unité soit égal à t . Au-delà de ce coût, chaque agriculteur a individuellement intérêt à payer t sur chaque unité d'émissions restantes plutôt que de continuer à réduire ses émissions. En deçà, diminuer les émissions d'une unité supplémentaire est profitable pour l'agriculteur. Tous les agents faisant face à un même prix t et chacun raisonnant de manière similaire, l'égalisation des coûts marginaux d'atténuation individuels est assurée de manière décentralisée.

Le raisonnement ci-dessus s'applique indifféremment à des instruments en prix (par exemple, une taxe sur les émissions) ou en quantité (par exemple un marché de droits tel que le SEECQ).

Dans les deux cas, c'est la prise en compte par l'ensemble des agents de la même valeur des émissions (taxe unitaire ou prix sur le marché de droits) qui permet l'égalisation des coûts marginaux d'atténuation et donc l'efficacité en coûts. Il est intéressant de remarquer que l'atteinte de l'efficacité en coûts ne requiert pas nécessairement que le régulateur connaisse *a priori* les courbes individuelles de coût marginal d'atténuation. L'information véhiculée par la taxe ou par le prix sur le marché de droits suffit à inciter tous les agents à choisir un niveau d'émissions compatible avec la répartition efficace de l'effort d'abattement, et ce de manière décentralisée.

S'ils présentent des similitudes, instruments en prix et en quantité diffèrent néanmoins par plusieurs aspects. Dans le cas d'une taxe t sur les émissions, le coût d'atténuation est maîtrisé puisqu'aucune action de réduction dont le coût est supérieur à t ne sera engagée. En revanche, le résultat environnemental dépend du potentiel économique d'atténuation au prix t , qui est conditionné par les courbes de coût marginal d'atténuation. Si ces dernières ne sont pas connues, la quantité d'émissions évitées *in fine* n'est pas non plus connue. Symétriquement, dans le cas d'un marché de droits, le régulateur a la maîtrise du résultat environnemental puisque celui-ci est défini par la quantité de quotas distribués. En revanche, le coût *in fine* n'est pas maîtrisé, le prix d'équilibre sur le marché dépendant de l'offre d'atténuation par les agents.

Notons enfin que la vocation première des instruments économiques est de corriger l'externalité négative due aux émissions par le biais d'une incitation visant à orienter les choix économiques individuels dans le sens d'une répartition efficace. Elle n'est pas de collecter des recettes fiscales ou d'effectuer une redistribution entre agents. Néanmoins, il est clair que la mise en œuvre de tels instruments économiques a des conséquences importantes à la fois pour les fonds publics et pour la distribution des revenus.

Là encore, instruments en prix et en quantité peuvent avoir des conséquences différentes. La mise en place d'une taxe sur les émissions affecte ainsi plus lourdement les agents qui ont des niveaux d'émissions élevés et/ou des possibilités d'atténuation faibles (ou, de manière équivalente, qui font face à des coûts marginaux d'atténuation élevés). De Cara et Jayet (2000) illustrent par exemple les conséquences redistributives d'une taxe appliquée aux émissions de GES d'origine agricole. Une telle taxe pénaliserait relativement plus les exploitations orientées vers l'élevage, relativement contraintes par le capital animal, que celles orientées vers les grandes cultures disposant de plus grandes marges de manœuvre d'atténuation notamment si elles ont la possibilité de recourir aux actions permettant de stocker du carbone. Dans le cas d'un marché de droits, les effets redistributifs dépendent essentiellement de la manière dont sont distribués les quotas au départ. L'allocation initiale des quotas revient en effet à répartir la rente de rareté entre les agents, les agents les mieux dotés et/ou faisant face aux coûts marginaux les plus faibles pouvant en capter la plus grande partie.

Pour répondre à des considérations redistributives, la puissance publique peut décider d'opérer des transferts. Elle peut par exemple choisir de redistribuer tout ou partie des recettes de la taxe aux agents. Dans le cas d'un marché de droits, elle peut laisser entièrement cette rente aux agents en leur allouant gratuitement les quotas (par exemple sur une base historique), ou, au contraire, la capturer en vendant les quotas aux enchères. Quels que soient l'instrument choisi et la forme des transferts adoptés, ces derniers doivent être indépendants de l'atténuation afin de ne pas interférer avec l'incitation fournie par les instruments économiques et ainsi préserver l'efficacité en coûts. Le « chèque vert » accompagnant la proposition de contribution climat-énergie de 2009, c'est-à-dire une redistribution *forfaitaire* des montants collectés, correspondait à cette idée d'un instrument globalement neutre d'un point de vue budgétaire tout en préservant l'incitation à réduire efficacement les émissions.

2. Évaluations empiriques des coûts d'atténuation dans le secteur agricole

Les courbes stylisées présentées à la Figure 2 ne sont pas directement observables en pratique. Dans la réalité, les coûts d'atténuation recouvrent en effet des coûts directs associés à l'adoption de

nouvelles pratiques, le coût d'opportunité associé à la réallocation des ressources au sein de l'exploitation (du fait par exemple de la modification de l'assolement, des rendements et/ou des effectifs animaux), ainsi que d'éventuels coûts d'ajustement et/ou de transaction (voir Bamière *et al.*, 2014). En outre, les modifications sur l'offre résultant de la réduction des émissions peuvent avoir des conséquences sur les marchés et les prix agricoles, modifiant en retour les coûts d'opportunité associés à certaines activités.

Par conséquent, les coûts marginaux d'atténuation ne peuvent être inférés à partir des seules informations issues de la comptabilité des exploitations. Leur évaluation nécessite de recourir à des modèles. Dans une revue quantitative de la littérature sur le sujet, Vermont et De Cara (2010) identifient trois grandes catégories d'approches qui tentent d'estimer empiriquement les coûts marginaux d'atténuation.

La première correspond à une classe de modèles économiques de l'offre agricole. Ces modèles, de nature micro-économique, décrivent le comportement des exploitants en termes d'assolement, de conduite des cultures, de taille des cheptels et de pratiques d'élevage sous l'hypothèse que les agriculteurs maximisent leur profit compte tenu de paramètres économiques (prix des produits, des intrants, aides, etc...) et sous un certain nombre de contraintes techniques et politiques. Des exemples de ce type d'approche peuvent être trouvés dans Breen (2008), De Cara et Jayet (2000, 2011), De Cara *et al.* (2005), Lengers *et al.* (2013). En intégrant un « prix » des émissions évitées à l'objectif de chaque agriculteur représenté, ces modèles décrivent la réponse efficace en termes de réduction d'émissions. Reposant sur l'hypothèse de maximisation du profit, ils capturent les arbitrages micro-économiques mentionnés plus haut qui conduisent à l'égalisation du coût marginal d'atténuation et du prix des émissions. En faisant varier le prix des émissions et en le mettant en regard des réductions d'émissions obtenues, ces modèles décrivent ainsi les courbes de coût marginal d'atténuation (individuelles et/ou à un niveau plus agrégé) pour un ensemble d'agriculteurs représentatifs. Compte tenu de la structure de ce type de modèle, ces courbes doivent s'interpréter à contextes économique (prix des intrants et des produits) et technologique (reflété par les contraintes techniques) donnés. Du fait de la prise en compte explicite de la diversité des conditions de production pour un ensemble d'agents, ce type d'approche est adapté à l'analyse des conséquences de l'hétérogénéité des potentiels et des coûts d'atténuation individuels sur la définition des instruments de politique d'atténuation (De Cara *et al.*, 2005).

La deuxième catégorie regroupe les modèles d'équilibre partiel ou général. L'évaluation des coûts marginaux d'atténuation dans les modèles de cette catégorie partage certains des principes exposés ci-dessus. En particulier, modèles d'offre et d'équilibre ont en commun l'hypothèse de rationalité des agents qui conduit à l'égalité entre coût marginal d'atténuation et prix des émissions évitées. Néanmoins, à la différence des modèles d'offre, les modèles d'équilibre incluent une description de la demande des produits agricoles ainsi qu'une représentation des ajustements des prix et de l'équilibre sur les marchés. Dès lors, les modèles de cette catégorie intègrent les effets en retour des prix sur les coûts marginaux d'atténuation et sont plus à même d'intégrer les phénomènes de « fuites » (*leakage*). Cette approche a été utilisée par exemple par McCarl et Schneider (2001), Schneider *et al.* (2007), Pérez Dominguez *et al.* (2009), Golub *et al.* (2009). Les modèles d'équilibre sont caractérisés par une couverture géographique plus large (souvent mondiale), mais une résolution généralement plus dégradée et un contenu technique moins détaillé que les modèles d'offre.

La troisième approche utilisée dans la littérature pour évaluer les coûts marginaux d'atténuation s'appuie sur une logique que Vermont et De Cara (2010) qualifient « d'ingénieur ». Les études dans cette dernière catégorie compilent les informations techniques et scientifiques associées à un ensemble d'actions visant à réduire les émissions. Pour chacune d'entre elles, sont ainsi rassemblées les informations sur le potentiel technique d'atténuation unitaire, l'assiette sur laquelle la mesure est applicable, ainsi que le coût total associé (pertes ou gains de revenus associés à la mise en place de l'action, ensemble des coûts en capital, d'exploitation, de maintenance, de transaction). Le coût moyen

d'atténuation associé à chaque action considérée est ensuite calculé comme le rapport entre son coût total et son potentiel d'atténuation. Ce coût unitaire représente la valorisation minimale des émissions (en euros par tCO₂eq) nécessaire pour que l'action soit rentable. Les courbes de coût marginal d'atténuation sont obtenues en classant les actions par coût unitaire d'atténuation croissant et en mettant en regard ce coût et le potentiel cumulé d'atténuation. Il est à noter que, pour une action donnée, le coût marginal est ainsi assimilé au coût moyen de l'action qui est supposé constant, d'où la forme en escalier typique des courbes de coût marginal obtenues par les études de cette catégorie (voir, par exemple, Pellerin *et al.*, 2013). Le terme « marginal » doit donc être ici compris comme se rattachant à l'action elle-même, et non à la dernière unité d'émission évitée. Cette approche a été utilisée par exemple dans McKinsey & Co. (2009), Moran *et al.* (2011), Schulte *et al.* (2012), Pellerin *et al.* (2013).

Cette dernière approche repose sur une logique plus comptable qu'économique. En particulier, à la différence des deux premières approches, elle ne nécessite pas explicitement l'hypothèse de comportement rationnel de la part des agents. Une conséquence importante est que, dans les études de ce type, rien n'empêche d'aboutir à des mesures qui permettent à la fois de réduire les émissions de GES et d'améliorer les revenus des agents. Par construction, les modèles économiques (d'offre ou d'équilibre), fondés sur l'hypothèse que l'utilisation des ressources par les agents est efficace dans la situation initiale, ne font pas apparaître de tels « coûts négatifs ». Ce double gain, à la fois économique et environnemental, pose question. En particulier, si de telles opportunités de profit existent (et qui plus est sont bénéfiques d'un point de vue environnemental), pourquoi ne sont-elles d'ores et déjà saisies par les agriculteurs ? La présence d'inefficacités dans la situation initiale (par exemple, si les agents utilisent déjà plus d'intrants azotés que ne l'exigerait la prise en compte de leurs intérêts propres) peut en partie expliquer ce type de résultats à première vue paradoxaux. Ils peuvent également résulter de la difficulté de comptabiliser et d'intégrer certaines composantes des coûts (coût d'opportunité des ressources finies comme la terre, prime de risque associée à certaines actions, coût liés à l'apprentissage et à la formation, coûts de transaction publics et privés, voir Bamière *et al.*, 2014 pour une discussion de certains de ces aspects).

Afin de clarifier la comparaison entre des résultats reposant sur des approches et des hypothèses différentes, Vermont et De Cara (2010) proposent une méta-analyse des évaluations disponibles dans la littérature. Cette approche statistique permet de contrôler l'effet des principales hypothèses retenues dans les études existantes sur l'évaluation des coûts d'atténuation des émissions d'origine agricole. Le méta-modèle estimé permet ainsi de décrire la relation entre l'offre de réduction d'émissions et le prix des émissions en tenant compte des caractéristiques spécifiques à chaque étude (approche, résolution, couverture spatiale en termes de sources, horizon temporel, date et statut de publication, etc.). La Figure 3 présente la courbe de coût marginal correspondant à cette estimation pour l'Europe à l'horizon 2020. Elle fait apparaître qu'une réduction de 10% des émissions agricoles de CH₄ et de N₂O pourrait être obtenue à un coût marginal de l'ordre de 35 €/tCO₂eq.

Les résultats de cette méta-analyse mettent notamment en évidence l'influence de l'approche adoptée sur l'évaluation des coûts d'atténuation. En particulier, les approches de type « ingénieur » aboutissent, toutes choses égales par ailleurs, aux résultats les plus optimistes, notamment du fait des actions à « coûts négatifs » qui pèsent souvent fortement dans le potentiel d'atténuation total évalué dans ces études (voir par exemple Pellerin *et al.*, 2013). À l'inverse, les modèles micro-économiques de l'offre, qui reposent sur des hypothèses relativement conservatrices (absence de coûts négatifs, stabilité des technologies existantes et des structures agricoles, nombre limité de leviers d'atténuation disponibles) aboutissent généralement à des potentiels plus faibles pour un prix donné des émissions.

Au-delà de ces différences, les résultats de la littérature convergent sur deux points essentiels : (i) des potentiels d'atténuation existent dans le secteur agricole, et ce à des coûts comparables à ceux qui prévalent dans les autres secteurs et (ii) les émissions de ce secteur sont sensibles à l'introduction d'un

signal prix. Ces deux points suggèrent que la participation du secteur agricole à l'effort d'atténuation est importante du point de vue de l'efficacité.

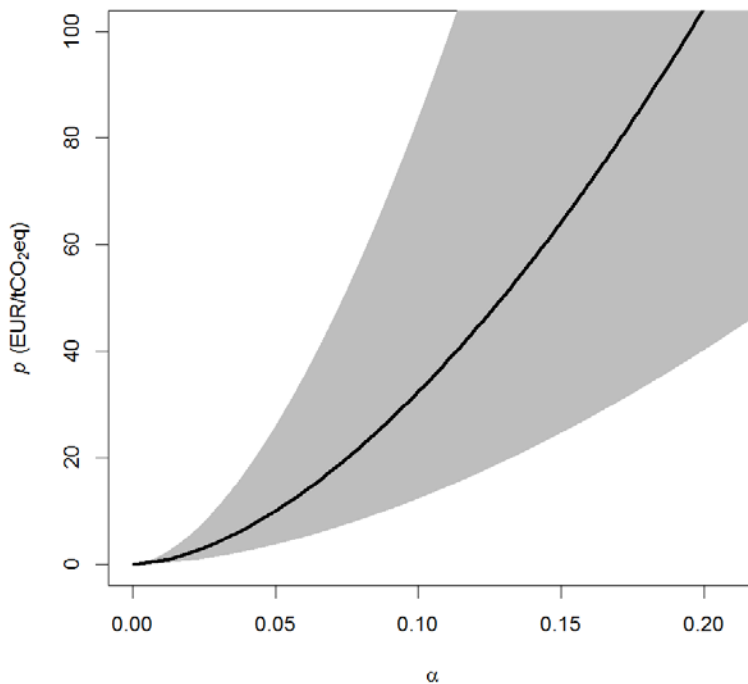


Figure 3 : Coût marginal d'atténuation des émissions de CH₄ et N₂O d'origine agricole (en €/tCO₂eq, en ordonnées) en fonction du niveau d'atténuation (en pourcentage des émissions de référence, en abscisses) à l'horizon 2020 pour l'Europe. *Source :* Calculé à partir de l'estimation du méta-modèle proposé par Vermont et De Cara (2010, modèle 6) en prenant l'ensemble des variables explicatives à leur valeur moyenne sauf celles qui ont trait à localisation (*Europe=1*) et à l'horizon temporel (*BaselineYear=2020*). L'intervalle grisé correspond à +/- 1 écart-type autour de l'estimation centrale.

3. Gains en efficacité permis par les instruments économiques

L'évaluation de courbes de coût marginal d'atténuation, outre les indications qu'elle fournit sur le potentiel économique d'atténuation pour une valeur donnée des émissions de GES, permet d'analyser différents instruments de politique publique à l'aune du critère d'efficacité en coût. Une illustration de ce type d'application peut être trouvée dans De Cara et Jayet (2011). Les auteurs y analysent les conséquences pour l'agriculture des objectifs européens impliqués par le Paquet Énergie Climat. L'objectif européen de réduire de 10% les émissions des secteurs non assujettis au SEEQC (principalement les transports, le résidentiel et l'agriculture) à l'horizon 2020 a en effet été assorti d'un « partage de l'effort » entre les États membres.

La décision européenne fixe ainsi des cibles différenciées, imposant des réductions à certains pays et en autorisant d'autres à augmenter leurs émissions d'ici 2020, le tout aboutissant à une réduction agrégée des émissions au niveau européen de 10 % par rapport au niveau de 2005 (Union Européenne, 2009). Dans le cadre de cet accord, la France (tout comme l'Allemagne) doit réduire ses émissions hors SEEQC de 14 %. Les pays les plus avancés en termes de PIB par habitant au moment de l'accord (Luxembourg, Danemark, Irlande) affichent un objectif de réduction de 20 %, alors que les nouveaux États membres ont la possibilité de continuer à augmenter (jusqu'à 20 % pour certains États) leurs émissions d'ici à 2020. Les engagements de réduction correspondant au partage de l'effort décidé en 2009 sont reportés sur l'axe des abscisses sur la Figure 4.

Si l'efficacité en coûts a été mise en avant dans la décision de partage de l'effort, la décision finale a résulté d'un compromis entre plusieurs autres considérations (équité, rattrapage des nouveaux États Membres, etc.). Dès lors, qu'en est-il de l'efficacité en coût de l'atténuation impliquée par ce partage de l'effort ? Pour répondre à cette question, les auteurs utilisent les courbes de coût marginal d'atténuation établies pour chaque État membre à l'aide d'un modèle micro-économique de l'offre agricole

européenne. L'analyse étant restreinte aux émissions du secteur agricole, les cibles nationales sont directement appliquées aux émissions de ce seul secteur¹.

Pour évaluer le surcoût associé au partage de l'effort décidé en 2009, il faut pouvoir le comparer à la situation efficace en coût. En transposant le raisonnement mené à la Figure 2 au cas de chacun des États membres, le partage de l'effort efficace est déterminé par la répartition qui permet d'égaliser les coûts marginaux d'atténuation tout en assurant une réduction totale de 10% des émissions européennes. La répartition efficace de l'effort d'atténuation qui en résulte est reportée sur l'axe des ordonnées de la Figure 4.

Les résultats indiquent que certains pays, par exemple le Danemark, font face à des coûts marginaux élevés alors qu'ils doivent atteindre des objectifs d'atténuation ambitieux. D'autres, au contraire, font face à des coûts marginaux d'atténuation relativement faibles alors que leur objectif d'atténuation est peu contraignant. C'est le cas par exemple de la Slovaquie. On peut donc s'attendre à ce que l'application stricte et sans flexibilité du partage de l'effort ne permette pas de remplir la condition d'égalisation des coûts marginaux d'atténuation entre les pays. S'il permet bien d'atteindre l'objectif agrégé de 10% de réduction des émissions, le coût total associé serait donc plus élevé que nécessaire.

La mise en place d'un marché de droits au sein du secteur agricole européen permettrait théoriquement d'atteindre la répartition efficace de l'effort total d'atténuation. Imaginons par exemple que soient alloués à chaque État des quotas échangeables correspondant aux cibles impliquées par le partage de l'effort. Dans une telle configuration, les agriculteurs danois auraient intérêt à acheter des quotas d'émissions (ce qui leur reviendrait moins cher que de réduire leurs émissions domestiques pour respecter la cible ambitieuse qui leur a été fixée), alors que l'agriculture slovaque pourrait profitablement réduire ses émissions au-delà de la cible qui lui a été fixée et ainsi vendre ses quotas inutilisés. La répartition efficace de l'effort d'atténuation entre les États Membres est présentée à la Figure 4. Il apparaît clairement sur cette figure que cette répartition diffère nettement de celle dérivée de l'accord de partage de l'effort. Les résultats de De Cara et Jayet (2011) indiquent que la mise en œuvre d'un tel instrument, pour les hypothèses centrales retenues par les auteurs, permettrait de diviser par plus deux le coût total du respect de la cible de 10% pour l'ensemble du secteur agricole européen. Selon les estimations des auteurs, 870 M€ (770 M€ au lieu de 1640 M€) pourraient être ainsi économisés annuellement pour le même résultat en termes d'émissions.

Les résultats présentés jusqu'ici se sont concentrés sur la répartition efficace de l'effort d'atténuation au sein de l'agriculture. La question de l'efficacité dépasse bien entendu les contours de ce seul secteur. La répartition intersectorielle de l'effort d'atténuation est en effet déterminante pour l'efficacité en coût au niveau agrégé. Il s'agit alors de déterminer la contribution efficace du secteur agricole à l'effort global d'atténuation par rapport à celle du reste de l'économie en transposant le raisonnement fait à la Figure 2 au cas multi-sectoriel.

Cette question est étudiée dans De Cara et Vermont (2011). En se basant sur les résultats de l'évaluation de la Commission (Capros *et al.*, 2011), l'objectif de réduction des émissions de GES assigné aux secteurs couverts par le SEEQC (460 MtCO₂eq de moins qu'en 2005 à l'horizon 2020) implique un coût total annuel pour les secteurs concernés d'environ 7900 M€ pour un prix d'équilibre sur le marché du carbone d'environ 47 €/tCO₂eq. Les émissions d'origine agricole étant exclues du SEEQC, elles ne peuvent participer à la réalisation de l'objectif d'atténuation.

¹ Les objectifs concernant l'ensemble des secteurs non couverts par le SEEQC, il est clair que cette hypothèse est relativement forte. Néanmoins, pour la plupart des États membres, l'agriculture est à la source d'une proportion importante des émissions des secteurs concernés (environ 17 % des émissions hors SEEQC dans l'UE-27, environ 25 % en France et jusqu'à 43 % en Irlande).

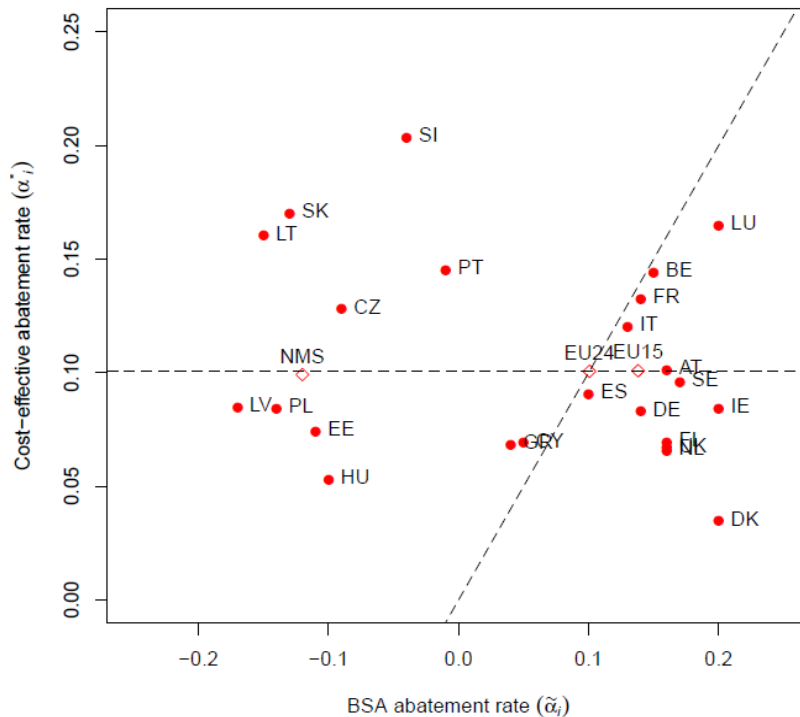


Figure 4 : Comparaison entre les engagements des Etats Membres de réduction des émissions des secteurs non couverts par le SEEQC à l'horizon 2020 par rapport à 2005 (axe des abscisses) et la répartition efficace de l'effort d'atténuation dans le secteur agricole (axe des ordonnées). *Source :* De Cara et Jayet (2011).

Les auteurs envisagent donc un élargissement du SEEQC aux émissions d'origine agricole. La courbe de coût marginal d'atténuation du secteur agricole européen est approximée à partir de l'estimation du méta-modèle estimé dans Vermont et De Cara (2010), tel qu'illustré à la Figure 3. Conformément aux mécanismes exposés plus haut, l'extension du périmètre du SEEQC conduirait à l'égalisation des coûts marginaux d'atténuation entre le secteur agricole et ceux actuellement assujettis au SEEQC. Cela aurait ainsi pour conséquence d'augmenter l'offre d'atténuation globale et de faire baisser le prix d'équilibre de la tonne de CO₂eq sur le marché de droits. Les options d'atténuation les moins coûteuses dans le secteur agricole pourraient alors se substituer à celles les plus coûteuses dans les autres secteurs. Sous les hypothèses retenues, les auteurs aboutissent à un prix sur le marché de droits élargi d'environ 38 €/tCO₂eq en 2020 (au lieu de 47 €/tCO₂eq). Le coût supplémentaire pour l'agriculture est évalué à 770 M€ annuels (soit un peu moins de 0,5 % de la valeur ajoutée brute du secteur agricole européen – Eurostat, 2014) pour un effort d'atténuation pour ce secteur légèrement supérieur à 10 % (55 MtCO₂eq).

Ce coût serait plus que compensé par l'économie réalisée dans les autres secteurs (de l'ordre de 2320 M€) dont l'effort d'atténuation serait réduit à 405 MtCO₂eq. L'objectif global de 460 MtCO₂eq pourrait ainsi être atteint avec une économie annuelle de l'ordre de 1550 M€.

4. Quels instruments pour mobiliser efficacement les potentiels d'atténuation de GES dans l'agriculture ?

Un argument parfois évoqué pour justifier que l'agriculture soit laissée en dehors du champ des instruments de régulation de l'effet de serre est celui du coût trop élevé de l'atténuation dans ce secteur. Une variante plus radicale de cet argument est que les agriculteurs seraient tellement contraints sur leurs pratiques que les émissions seraient *in fine* insensibles à l'introduction d'une valeur carbone. La mise en place d'instruments économiques ne reviendrait ainsi qu'à ponctionner le revenu agricole sans véritable effet sur l'environnement.

Les résultats présentés plus haut mettent en défaut ces arguments. Ils indiquent, au contraire, que des potentiels d'atténuation à des coûts raisonnables existent dans ce secteur, et que, en se privant de ces potentiels, le coût total de contenir les émissions de GES serait bien plus élevé que nécessaire.

Les instruments économiques constituent de puissants leviers pour orienter les décisions économiques des agents vers l'adoption des actions d'atténuation les moins coûteuses. Ils peuvent ainsi contribuer à une mobilisation efficace des potentiels d'atténuation. Leur mise en œuvre dans le secteur agricole n'est néanmoins pas exempte de difficultés. Une première difficulté tient aux coûts de contrôle des émissions d'origine agricole. Il est clair que le caractère biologique des mécanismes sous-jacents à ces émissions et la variabilité spatiale et temporelle qui en résulte rendent plus difficile (et donc plus coûteux) le contrôle des émissions. Cette difficulté ne peut être ignorée et doit être prise en compte dans les calculs de coûts. A elle seule, elle ne suffit néanmoins pas à disqualifier les instruments économiques. S'il est effectivement très coûteux de mesurer en chaque point du temps et de l'espace les émissions agricoles réelles, il est en revanche possible de les approximer, si ce n'est parfaitement au moins de manière suffisamment fidèle, à partir d'informations relativement basiques sur les activités agricoles. La plupart de ces informations sont déjà collectées dans le cadre des dispositifs de la PAC (assolement, rendements, taille et composition du cheptel). En outre, les agriculteurs sont tenus de renseigner et de consigner de nombreuses informations complémentaires détaillées sur leurs pratiques (quantités d'engrais azotés de synthèse et organique épandus, mode de gestion des effluents, composition de l'alimentation). L'ensemble de ces informations pourrait être mobilisé pour calculer les émissions sur lesquelles porteraient les instruments économiques.

Une seconde difficulté tient au nombre et à la taille des exploitations concernées par la régulation des émissions d'origine agricole. Alors que le SEEQC ne concerne que quelques 12000 installations au niveau européen qui émettent chacune plusieurs dizaines de milliers de tonnes de CO₂ chaque année, le secteur agricole européen compte plusieurs millions d'exploitations (dont une part importante de très petites exploitations) émettant de quelques dizaines à quelques centaines de tonnes de CO₂eq. Certains auteurs ont suggéré qu'une telle configuration était susceptible d'engendrer des coûts de transaction trop élevés pour que l'intégration de l'agriculture à un marché de droits soit efficace (Ancev, 2011). Là encore, si cette difficulté ne peut être ignorée, elle doit être mise en regard des gains en efficacité permis par l'extension du champ des instruments économiques. De Cara et Vermont (2011) montrent ainsi qu'il faudrait des coûts de transaction bien plus élevés que ceux actuellement documentés dans la littérature pour complètement annuler les gains en efficacité permis par l'extension du SEEQC au secteur agricole.

Au-delà de ces difficultés d'ordre opérationnel qui tiennent pour une large part aux spécificités de l'agriculture, l'intégration des émissions agricoles dans le champ des instruments économiques de régulation de l'effet de serre est également confrontée à des difficultés d'ordre plus conjoncturel.

La première concerne l'état actuel du SEEQC. Le marché du carbone européen est en effet dans une situation difficile. Ces difficultés résultent d'une conjonction de facteurs, au premier rang desquels la crise européenne qui a considérablement affecté la demande de quotas par les secteurs très émetteurs de CO₂ et l'incertitude qui pèse sur le niveau de la contrainte sur les émissions dans la période post-Kyoto. D'un prix sur le marché du carbone avoisinant les 30 €/tCO₂eq dans les premières années de la mise en œuvre du SEEQC, on est ainsi passé à un prix oscillant entre 3 et 7 €/tCO₂eq depuis 2013 (EEX, 2014). On retrouve ici le reflet de la propriété des instruments en quantité qui, s'ils permettent de maîtriser les quantités émises, ne garantissent pas un niveau de prix stable sur le marché. Il est clair que les niveaux de prix actuels n'incitent pas vraiment les agents à engager des actions d'atténuation de leurs émissions ambitieuses. Ce contexte laisse également difficilement présager d'une inclusion à court terme des émissions agricoles dans le SEEQC, dont la première conséquence serait (à moins

d'imaginer une réduction importante de l'allocation totale de quotas qui ne semble pas à l'ordre du jour) de faire encore baisser le prix sur le marché du carbone².

L'adoption à court terme d'un instrument en prix concernant les émissions d'origine agricole, comme par exemple une taxe sur les émissions, semble également peu probable. Les réactions face aux différentes moutures de projets de contribution climat-énergie (qui ne concerne pas les émissions de CH₄ et de N₂O et qui exempte dans une large mesure les émissions liées à l'utilisation d'énergie dans le secteur agricole), ou celles plus récentes face au projet d'écotaxe (qui porte sur les transports) donnent un aperçu des difficultés d'ordre politique associées à une telle mesure. En outre, l'articulation d'un instrument en prix et d'un instrument en quantité (qui plus est lorsque le système est assorti d'exemptions sectorielles) pose de redoutables problèmes juridiques comme en témoigne la décision du Conseil Constitutionnel (2009) invalidant le projet de contribution climat-énergie.

Dans ce contexte, deux voies³ semblent aujourd'hui privilégiées pour intégrer la problématique des émissions de GES d'origine agricole dans les instruments de politique publique. La première consiste à adosser *indirectement* les émissions d'origine agricole au marché du carbone, soit par la régulation des secteurs amont et aval de l'agriculture, soit via des mécanismes de projets susceptibles de fournir des réductions d'émissions pouvant ensuite être vendues à des acteurs contraints sur le marché du carbone. La deuxième voie consiste à intégrer cette problématique plus fortement dans les dispositifs de politique agricole.

Même si le lien n'est pas aussi direct qu'il pourrait l'être avec une inclusion complète du secteur agricole dans le SEEQC, la première voie permet de transmettre en partie les incitations fournies par le marché. Foucherot et Bellassen (2014) recensent ainsi près de 800 installations assujetties au SEEQC qui appartiennent à la filière agricole et agroalimentaire au sens large. Le secteur de la production d'engrais (dont le processus est à la fois gourmand en énergie et émetteur de N₂O) est celui dont les émissions moyennes par installation sont les plus importantes (de l'ordre de 140 ktCO₂eq par an pour 32 installations assujetties sur la période 2008-12). Le secteur aval est également concerné avec plus de 700 installations assujetties au SEEQC, parmi lesquelles figurent en bonne place les sucreries, les laiteries, le secteur de transformation des fruits et légumes et les brasseries.

Les implications de l'inclusion des secteurs amont et aval dans le SEEQC sur les prix des intrants et des produits agricoles sont difficiles à appréhender. A notre connaissance, cette question n'a pas fait l'objet de travaux quantitatifs. Les conséquences pour les émissions de N₂O et de CH₄ d'origine strictement agricole restent ainsi à évaluer empiriquement. L'adossement des émissions agricoles au SEEQC peut également passer par des mécanismes de compensation qui permettent de générer des crédits carbone valorisables sur les marchés du carbone. Cette compensation peut être de « conformité », c'est-à-dire s'appuyer sur les mécanismes de flexibilité prévus par le Protocole de Kyoto (mécanismes de développement propre ou MDP, mise en œuvre conjointe ou MOC) ou « volontaire », répondant alors à une demande d'entreprises qui ne sont pas nécessairement contraintes mais qui souhaitent compenser leurs émissions pour des objectifs par exemple d'affichage.

Les projets qui s'inscrivent dans le cadre des mécanismes Kyoto consistent en la mise en œuvre de pratiques soit dans des pays en développement non contraints par le Protocole de Kyoto (MDP), soit

² Pour être complet, il faut néanmoins noter qu'une partie des émissions des exploitations agricoles sont déjà couvertes par le SEEQC. Il s'agit de celles liées aux émissions des serres chauffées. La plupart des installations couvertes (68 dans la phase 2008-12 selon Foucherot et Bellassen, 2014) sont situées aux Pays-Bas. Les émissions concernées demeurent relativement faibles (de l'ordre de 1 MtCO₂ au niveau européen).

³ La contribution de l'agriculture à l'effort d'atténuation peut également passer par la fourniture de biomasse en substitution d'énergie fossile. Cet aspect soulève des questions délicates, notamment liées aux impacts sur les émissions dues aux changements d'allocation des sols, qui font l'objet de débats scientifiques intenses (Searchinger *et al.*, 2008 ; De Cara *et al.*, 2012 ; De Cara, 2013). Ne concernant pas directement les émissions de l'agriculture, cette dimension n'est pas abordée ici.

par le financement conjoint de mesure de réduction dans un autre pays de l'Annexe B⁴ (MOC). Ils doivent s'appuyer sur une méthodologie certifiée par les Nations Unies et reposer sur des actions d'atténuation dont les résultats en termes d'émissions sont additionnels, suivis, vérifiables et traçables et ne peuvent faire l'objet d'un double compte (Foucherot et Bellassen, 2014). La plupart des projets MDP ou MOC concernent des projets de types biomasse, méthanisation ou production d'engrais azotés. En France, deux méthodologies concernant plus directement les émissions agricoles ont été reconnues par les autorités : (i) l'introduction de graines de lin dans l'alimentation des vaches laitières afin de réduire les émissions de CH₄ entérique et (ii) l'introduction de légumineuses dans les rotations agricoles afin de réduire le recours aux engrais azotés et les émissions de N₂O qui en résultent. Si de tels instruments permettent de mobiliser certains des potentiels d'atténuation en valorisant les réductions d'émissions au prix du marché, ils ne concernent qu'une part encore très faible des émissions agricoles et que quelques options techniques.

L'intégration de la problématique « émissions de gaz à effet de serre » dans les dispositifs de politique agricole constitue un marqueur important de la réforme récente de la PAC (Bureau *et al.*, 2012 ; Commission Européenne, 2013). Cette dimension a notamment été mise en avant dans les mesures d'éco-conditionnalité et le verdissement des paiements du premier pilier, qui ont un caractère obligatoire et conditionnent le paiement des aides de la PAC au respect d'un certain nombre d'exigences environnementales minimales. Parmi ces mesures figure notamment l'interdiction de retournement des prairies permanentes, dont les sols abritent des stocks de carbone importants. Les détails de la mise en œuvre laissent toutefois apparaître qu'une telle mesure risque de ne pas être vraiment contraignante du fait des exemptions retenues dans la version finale de la réforme et du choix de la période de référence (IEEP, 2013). En outre, au regard des concepts présentés plus haut et compte tenu de son caractère général, il est peu probable qu'elle favorise l'égalisation des coûts d'opportunité des prairies entre les exploitations. On peut donc s'attendre à ce qu'elle ne permette pas d'allouer efficacement les ressources pour atténuer les émissions de GES.

Le second élément important de la réforme de la PAC est la mise en place de Mesures Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC). Il s'agit ainsi de favoriser l'adoption de pratiques permettant d'aller plus loin en termes environnementaux que ce qu'exigent les bonnes conditions agricoles et environnementales. Ces mesures sont définies à un niveau national et/ou infra-national et font l'objet de financements du 2^{ème} pilier visant à compenser les coûts et les manques à gagner associés à ces pratiques. Là encore, on est en droit de s'interroger sur leurs performances en matière d'efficacité en coûts.

Basés sur l'adoption de pratiques données et non sur les résultats effectifs en termes d'émissions, ces instruments sont caractérisés par une logique de *moyens* qui contraste avec les instruments économiques qui reposent sur une logique de *résultats*. Compte tenu de la diversité des conditions de production et de l'hétérogénéité des coûts marginaux d'atténuation au sein de l'Union Européenne, cette logique peut être source d'importantes pertes en efficacité (De Cara *et al.*, 2005). Si un niveau de gouvernance relativement restreint d'un point de vue géographique permet de mieux tenir compte des spécificités locales, il soulève des questions tenant à la collusion et/ou au coût de délégation au niveau local (Canton *et al.*, 2009). En outre, il permet difficilement de mettre en place les conditions d'une égalisation des coûts marginaux d'atténuation que ce soit entre les exploitations, entre les différentes options d'atténuation au sein de chaque exploitation, entre les pays ou entre les secteurs.

⁴ Les pays de l'Annexe B sont les pays qui se sont engagés à réduire leurs émissions dans le cadre du Protocole de Kyoto, c'est-à-dire principalement les Etats Membres de l'Union Européenne, le Japon, la Fédération de Russie, l'Ukraine, l'Australie et la Nouvelle-Zélande.

Conclusion

Le message principal porté par ce texte est double. D'une part, des potentiels d'atténuation existent dans le secteur agricole et leur mobilisation efficace peut permettre de réduire considérablement le coût total de l'effort de réduction des émissions de GES. D'autre part, les politiques publiques actuellement en place ne favorisent pas la mobilisation efficace de ces potentiels. En poursuivant dans cette voie, le risque est que, l'atténuation apparaissant comme plus coûteuse qu'elle ne devrait l'être, l'effort global consenti par nos sociétés ne soit pas à la hauteur des enjeux climatiques.

Au niveau français et européen, une des évolutions marquantes de ces cinq dernières années a été le glissement de la thématique « effet de serre d'origine agricole » de la politique climatique vers la politique agricole. Cette évolution a été favorisée à la fois par les difficultés que connaît le marché du carbone et le besoin croissant de justification environnementale des soutiens accordés à l'agriculture dans le cadre de la PAC. Compte tenu des autres objectifs des politiques agricoles (soutien au revenu, développement rural, sécurité alimentaire), des conditions politiques des négociations au niveau européen et des outils qui sont traditionnellement ceux des politiques agricoles, une telle évolution ne permet pas que soient réunies les conditions de l'efficacité.

La mise en œuvre d'instruments économiques (qui passe par leur acceptation) permettrait d'atteindre les objectifs d'atténuation au moindre coût. Cela nécessite que les enjeux liés à l'efficacité soient mieux compris et mesurés par le grand public. Enfin, la poursuite des recherches en économie appliquée sur ces questions est nécessaire afin notamment de mieux appréhender les spécificités du secteur agricole en termes d'atténuation de l'effet de serre : variabilité spatiale et temporelle, articulation avec la sécurité alimentaire et les usages des sols, prise en compte de l'incertitude, interactions avec l'adaptation au changement climatique.

Références bibliographiques

Ancev T., 2011. Policy Considerations for Mandating Agriculture in a Greenhouse Gas Emissions Trading Scheme. *Applied Economic Perspectives and Policy* 33(1), 99-115.

Bamière L., De Cara S., Pardon L., Pellerin S., Samson E., Dupraz P., 2014. Les coûts de transaction privés sont-ils un obstacle à l'adoption de mesures techniques d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur agricole ? *Notes et Etudes Socio-Economiques* 38.

Breen J., 2008. Simulating a Market for Tradable Greenhouse Gas Emissions Permits amongst Irish Farmers. Paper presented at the 82nd Annual Conference of the Agricultural Economics Society conference, Dublin, Ireland.

Bureau J., Tangermann S., Matthews A., Viaggi D., Crombez C., Knops L., Swinnen J., 2012. The Common Agricultural Policy after 2013. *Intereconomics, Review of European Economic Policy* 47(6), 316-342.

Canton J., De Cara S., Jayet P.-A., 2009. Agri-environmental schemes: adverse selection, information structure and delegation. *Ecological Economics* 68(7), 2114-2121.

Capros P., Mantzos L., Parousos L., Tasios N., Klaassen G., Van Ierland T., 2011. Analysis of the EU policy package on climate change and renewables. *Energy Policy* 39(3), 1476-1485.

CITEPA, 2014. Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France au titre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, CITEPA - Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Paris, France.

Commission Européenne, 2013. Overview of CAP Reform 2014-2020(5), DG Agriculture and Rural Development, Unit for Agricultural Policy Analysis and Perspectives.

Cour des Comptes, 2013. La mise en œuvre par la France du paquet énergie-climat. Communication au Président de l'Assemblée Nationale pour le Comité d'évaluation et de contrôle des politiques publiques, Cour des Comptes, Paris, France.

- De Cara S., 2013. Environnement, usage des sols et carbone renouvelable: Illustration à partir du cas des biocarburants et perspectives pour la biomasse, *Innovations Agronomiques* 26, 101-116.
- De Cara S., Gabrielle B., Goussebaille A., Grateau R., Levert F., Quemener J., 2012. Revue critique des études évaluant l'effet des changements d'affectation des sols sur les bilans environnementaux des biocarburants. Rapport final pour l'ADEME, INRA UMR Economie Publique, Grignon, France, 96 p.
- De Cara S., Jayet P.-A., 2000. Emissions of greenhouse gases from agriculture: The heterogeneity of abatement costs in France. *European Review of Agricultural Economics* 27(3), 281-303.
- De Cara S., Houzé M., Jayet P.-A., 2005. Methane and nitrous oxide emissions from agriculture in the EU: A spatial assessment of sources and abatement costs. *Environmental and Resource Economics* 32(4), 551-583.
- De Cara S., Jayet P.-A., 2011. Marginal abatement costs of greenhouse gas emissions from European agriculture, cost-effectiveness, and the EU non-ETS Burden Sharing Agreement. *Ecological Economics* 70(9), 1680-1690.
- De Cara S., Vermont B., 2011. Policy Considerations for Mandating Agriculture in a Greenhouse Gas Emissions Trading Scheme: A Comment. *Applied Economic Perspectives and Policy* 33(4), 661-667.
- Direction Générale de l'Energie et du Climat – DGEC, 2013. Rapport de la France au titre du paragraphe 2 de l'article 3 de la décision n°280/2004/CE du Parlement européen et du Conseil du 11 février 2004. Actualisation 2013. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Paris, France, 178p.
- Eagle A.J., Olander L.P., 2012. Greenhouse Gas Mitigation with Agricultural Land Management Activities in the United States: A Side-by-Side Comparison of Biophysical Potential. *Advances in Agronomy* 115, 79-179.
- EEX, 2014. European Emission Allowances : <http://www.eex.com/en/market-data/emission-allowances/spot-market/>. Accédé le 01/05/2014.
- Eurostat, 2014. Comptes nationaux, agrégats et emploi par branche d'activité (10 branches, NACE Rév. 2). http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/national_accounts/. Accédé : 14/02/2014.
- Foucherot C., Bellassen V., 2014. Protocole de Kyoto et marché européen d'échange de quotas : Quelle place pour les émissions agricoles ? *Notes et Etudes Socio-Economiques* 38.
- Golub A., Hertel T., Lee H.-L., Rose S., Sohngen B., 2009. The opportunity cost of land use and the global potential for greenhouse gas mitigation in agriculture and forestry. *Resource and Energy Economics* 31(4), 299-319.
- IEEP, 2013. Political Agreement on the CAP – is this really a paradigm shift for the environment? The Institute for European Environmental Policy (IEEP). <http://cap2020.ieep.eu/2013/7/3/political-agreement-on-the-cap-is-this-really-a-paradigm-shift-for-the-environment>. Accédé le 07/05/2014.
- Lengers B., Britz W., Holm-Müller K., 2013. Comparison of GHG-Emission Indicators for Dairy Farms with Respect to Induced Abatement Costs, Accuracy and Feasibility. *Applied Economic Perspectives and Policy* 35(3), 451-475.
- McCarl B.A., Schneider U.A., 2001. Greenhouse gas mitigation in U.S. agriculture and forestry, *Science* 294, 2481-2482.
- McKinsey & Co., 2009. Pathways to a low-carbon economy. Technical report, McKinsey & Co., 192 p.
- Moran D., MacLeod M., Wall E., Eory V., McVittie A., Barnes A., Rees R., Topp C., Pajot G., Matthews R., Smith P., Moxey A., 2011. Developing carbon budgets for UK agriculture, land-use, land-use change and forestry out to 2022. *Climatic Change* 105(3-4), 529-553.
- Pellerin S., Bamière L., Angers D., Béline F., Benoît M., Butault J.-P., Chenu C., Colnenne-David C., De Cara S., Delame N., Doreau M., Dupraz P., Faverdin P., Garcia-Launay F., Hassouna M., Hénault C., Jeuffroy M.-H., Klumpp K., Metay A., Moran D., Recous S., Samson E., Savini I., Pardon L., 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. INRA, Direction de l'expertise, de la prospective et des études (DEPE), Paris, France, 94 p.

- Pérez Domínguez I., Britz W., Holm-Mueller K., 2009. Trading schemes for greenhouse gas emissions from European agriculture: A comparative analysis based on different implementation options. *Review of Agricultural and Environmental Studies* 90(3), 287-308.
- Schneider U.A., McCarl B.A., Schmid E., 2007. Agricultural sector analysis on greenhouse gas mitigation in US agriculture and forestry. *Agricultural Systems* 94(2), 128-140.
- Schulte R., Crosson P., Donnellan T., Farrelly N., Finnan J., Lalor S., Lanigan G., O'Brien D., Shalloo L., Thorne F., 2012. A Marginal Abatement Cost Curve for Irish Agriculture. Technical report, Teagasc, Oak Park, Carlow.
- Searchinger T., Heimlich R., Houghton R.A., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Tokgoz S., Hayes D., Yu T.-H., 2008. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science* 319(5867), 1238-1240.
- Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes B., Sirotenko O., Howden M., McAllister T., Pan G., Romanenkov V., Schneider U., Towprayoon S., Wattenbach M., Smith J., 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363(1492), 789-813.
- Smith P., Bustamante M., Ahammad H., Clark H., Dong, H., Elsiddig E., Haberl H., Harper R., House, J., Jafari M., Masera O., Mbow C., Ravindranath N., Rice C.W., Robledo C.A., Romanovskaya C., Sperling F., Tubiello F.N., 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU), in: IPCC, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, chapter 11, pp. 497-540.
- Union Européenne, 2009. Decision on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020 (406/2009/EC), *Official Journal of the European Union*, Brussels, Belgium, L140: 136–148.
- Vermont B., De Cara S., 2010. How costly is mitigation of non-CO₂ greenhouse gas emissions from agriculture? A meta-analysis. *Ecological Economics* 69 (7), 1373-1386.