

LES PROJETS DE COMPENSATION CARBONE DANS LE SECTEUR AGRICOLE

Claudine Foucherot¹ et Valentin Bellassen²

Au niveau mondial, les émissions du secteur agricole représentent 14 % des émissions anthropiques globales de gaz à effet de serre. Lorsque l'on considère également les émissions en amont – fabrication d'engrais, déforestation, ... - et en aval du champ – bioénergies, ... - leur part passe à 30 %. De nombreuses pratiques et innovations permettent de réduire l'impact de l'agriculture sur le réchauffement climatique. D'après plusieurs estimations synthétisées dans cette étude, le potentiel d'atténuation du secteur agricole est du même ordre de grandeur que ses émissions sur un horizon de 30 ans. Modifier les pratiques agricoles a cependant un coût et ces changements ne sont pas mis en œuvre, la plupart du temps, sans incitation économique.

En rémunérant les émissions évitées, les projets de compensation carbone sont l'un des outils économiques disponibles pour réduire les émissions agricoles. Le bilan des réductions d'émissions permises jusqu'à présent par les projets agricoles est présenté dans cette étude. Elle couvre l'essentiel des projets certifiés par des labels de qualité, aussi bien ceux établis par le protocole de Kyoto (Mécanisme pour un Développement Propre et Mise en Œuvre Conjointe) que ceux du marché volontaire (Verified Carbon Standard, Climate Action Reserve, Gold Standard, Chicago Climate Exchange et American Carbon Registry). Le bilan ainsi réalisé montre que les réductions d'émissions permises par le biais de la compensation carbone sont plus de mille fois inférieures aux émissions et au potentiel d'atténuation. Les projets agricoles ont permis d'éviter l'émission de 14 millions de tonnes d'équivalent-CO₂ (tCO₂e) en 2010, soit 7 % des réductions engendrées par l'ensemble des projets de compensation carbone, tous secteurs confondus cette même année.

Les projets sont concentrés sur trois technologies : les bioénergies, issues essentiellement de résidus de récolte ; la méthanisation des effluents d'élevage ; et la séquestration dans le sol par le non-labour. C'est bien peu en comparaison des multiples techniques d'atténuation pouvant être mises en place dans ce secteur. Le caractère diffus des émissions agricoles et le coût des mesures sont les principaux freins au développement de projets agricoles. Cependant, la mise en place d'agrégateurs regroupant plusieurs exploitations agricoles et permettant donc de mutualiser les coûts, ainsi que la recherche sur de nouvelles techniques de mesure des émissions plus efficaces et moins coûteuses sont autant de moyens de lever ces freins et de libérer le potentiel.

¹ Claudine Foucherot est apprentie à CDC Climat Recherche. Ses recherches portent sur les réductions des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur agricole.

² Valentin Bellassen est chef de pôle à CDC Climat Recherche. Ses recherches se focalisent sur la compensation carbone (les projets réducteurs d'émissions développés dans le cadre de l'ONU ou d'autres cadres), le secteur forêt-bois et le secteur agricole. Valentin est par ailleurs accrédité par la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique pour auditer les inventaires nationaux de gaz à effet de serre.

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier tous ceux qui les ont aidés dans la rédaction de ce rapport, en particulier Siddarth Yadav (SGS UK limited), Andrew Prag (OCDE), Simon Kay (European Commission JRC), Olivier Lapiere (directeur du Céréopa), Cecilia Bellora (FARM), Nicolas Chung et Elise Stoffaes (CDC Climat), Stéphane De Cara (INRA), Audrey Trevisiol (ADEME), Fanny Fleuriot (ADEME), Eric Vesine (ADEME), et Pierre Cazeneuve (GCL Développement Durable). Les auteurs sont également redevables à l'ensemble de l'équipe de CDC Climat Recherche pour la stimulation intellectuelle et les multiples commentaires et suggestions tout au long de la réalisation de cette étude.

Directeur de publication : Benoît Leguet - ISSN 2101-4663

Cette publication est intégralement financée par l'établissement public « Caisse des Dépôts ». CDC Climat ne participe pas au financement de ces travaux.

La Caisse des Dépôts n'est en aucun cas responsable de la teneur de cette publication.

Cette publication ne constitue pas une analyse financière au sens de la réglementation.

La diffusion de ce document ne constitue ni (i) la fourniture d'un conseil de quelque nature que ce soit, ni (ii) la prestation d'un service d'investissement ni (iii) une offre visant à la réalisation d'un quelconque investissement.

Les marchés et actifs objets des analyses contenues dans ce document présentent des risques spécifiques. Les destinataires de ce document sont invités à requérir les conseils (notamment financiers, juridiques et/ou fiscaux) utiles avant toute décision d'investissement sur lesdits marchés.

Les travaux objets de la présente publication ont été réalisés à titre indépendant par l'équipe de CDC Climat Recherche. Des mesures organisationnelles en place au sein de CDC Climat renforcent l'indépendance matérielle de cette équipe. Cette publication reflète donc les seules opinions de l'équipe CDC Climat Recherche, à l'exclusion des équipes opérationnelles ou filiales de CDC Climat.

Les conclusions de ces travaux ne lient d'aucune manière l'action des équipes opérationnelles (en charge de l'investissement et du service aux marchés) ou filiales de CDC Climat. CDC Climat n'est pas un prestataire de services d'investissement.

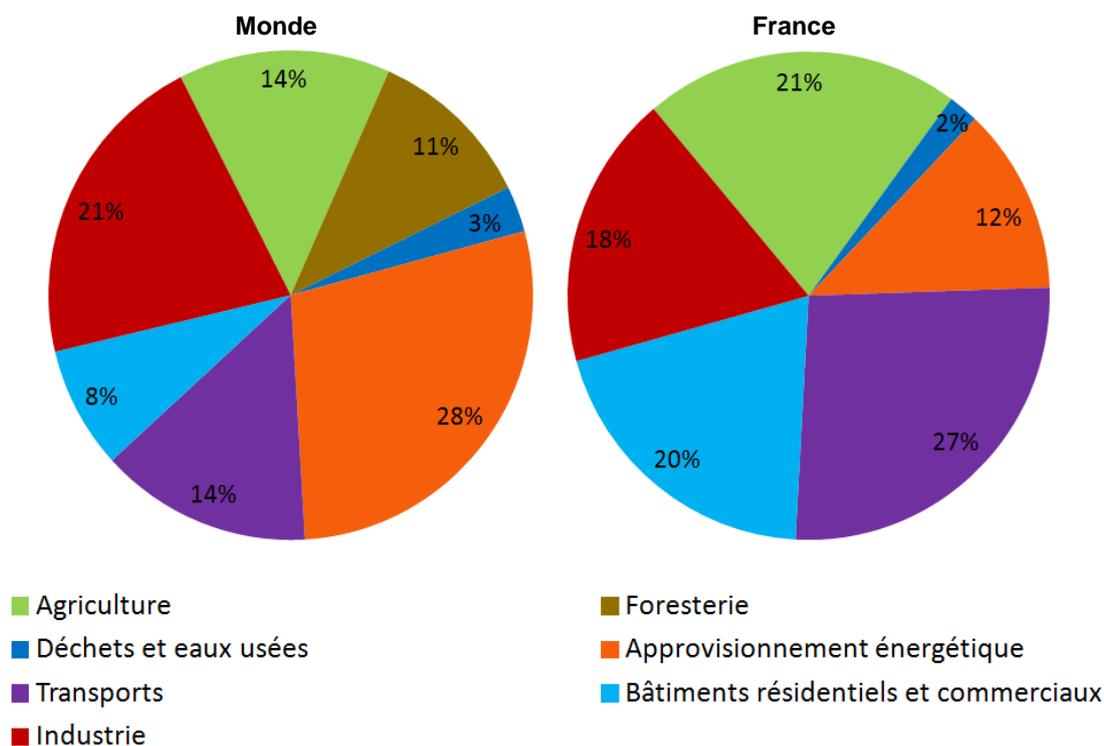
INTRODUCTION	4
I. LE SECTEUR AGRICOLE : UN POTENTIEL D’ATTENUATION A LA HAUTEUR DE SES EMISSIONS	5
A. Classification des sources d’émissions et d’atténuation	5
B. Estimation sous-sectorielle des émissions et potentiels d’atténuation à l’échelle mondiale	8
C. Estimation régionale des émissions et potentiels d’atténuation	13
D. Le cas français	16
II. LES PROJETS DE COMPENSATION CARBONE : UN MOYEN DE VALORISER LES REDUCTIONS D’EMISSIONS	18
A. L’agriculture est intégrée aux marchés du carbone par le biais de la compensation	18
B. Les labels de compensation carbone	20
C. Trois exemples de projets agricoles	22
III. LES LEÇONS TIREES DES 733 PROJETS AGRICOLES	23
A. La précision des mesures est essentielle dans la mise en place des projets agricoles	23
B. Des projets agricoles inégalement répartis entre les régions	27
C. Plusieurs labels pour différents types de projets	28
D. Des émissions diffuses, avec comme conséquence des coûts de transaction élevés	29
E. Adaptabilité au contexte local et caractère pionnier des mécanismes de projets	31
F. Gestion de la réversibilité du stockage : crédits temporaires ou assurance	31
CONCLUSION	32
ANNEXES	33
REFERENCES	41
DERNIERES PARUTIONS DE LA SERIE ‘ETUDES CLIMAT’ DE CDC CLIMAT RECHERCHE	43

INTRODUCTION

Dans le monde, l'agriculture est le quatrième secteur le plus émetteur de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique. Elle représente 14 % des émissions mondiales, soit 6,6 GtCO₂e (voir Figure 1, GIEC 2007). Trois gaz sont concernés : le protoxyde d'azote (N₂O), le méthane (CH₄) et, dans une moindre mesure, le dioxyde de carbone (CO₂). De fait, l'agriculture est le premier secteur émetteur de gaz autres que le dioxyde de carbone avec à son actif, 60 % et 50 % des émissions mondiales de N₂O et de CH₄ respectivement (Smith, Martino, et al. 2007).

En France, le secteur agricole est le deuxième secteur le plus émetteur après le secteur du transport (CITEPA 2011). Sa part est plus importante qu'à l'échelle mondiale puisqu'il représente 21 % des émissions nationales (soit 105 MtCO₂e sur 496 MtCO₂e en 2009). Ceci s'explique par deux facteurs. D'une part, la France est le plus gros producteur agricole d'Europe. D'autre part, le secteur électrique est moins émetteur de gaz à effet de serre en France qu'ailleurs du fait de l'importance de l'énergie nucléaire et hydroélectrique (respectivement 76 % et 11 % de la production d'électricité, MEEDDM 2010). Par ailleurs, le secteur forestier s'avère non émetteur en étant un puits net de carbone en France avec 80 MtCO₂e séquestrées en 2009 (CITEPA 2011).

Figure 1 – Répartition sectorielle des émissions de gaz à effet de serre en 2009



Note : La répartition sectorielle des émissions de gaz à effet de serre pour la France concerne uniquement la métropole. Le secteur forestier n'apparaît pas car il est en France métropolitaine, un puits net ; pour le secteur énergétique, les émissions correspondent à la production et à la transformation nationale d'énergie et pour le secteur des transports, les trafics internationaux ne sont pas comptabilisés

Source Monde : (GIEC 2007) revu d'après (Van der Werf, et al. 2009). Source France : (CITEPA 2011).

La délimitation sectorielle du GIEC utilisée en Figure 1 ne rend pas compte de l'ensemble des émissions sur lesquelles les agriculteurs ont un levier d'action : les émissions « en amont » du secteur agricole correspondant entre autres à la fabrication des engrais, des produits phytosanitaires, de l'alimentation animale et des machines agricoles ; les émissions provoquées par la déforestation destinée à étendre les surfaces agricoles ne sont pas comptées comme des émissions agricoles, pas plus que les émissions liées à la consommation d'énergie fossile au sein des exploitations. En intégrant toutes ces sources d'émissions, la part de l'agriculture dans le bilan mondial des émissions de GES avoisine les 30 % aussi bien à l'échelle mondiale (World Bank 2009) qu'à l'échelle française.

Les émissions agricoles sont donc importantes, mais la possibilité pour ce secteur de contribuer à l'atténuation du changement climatique est toute aussi forte. Cela passe notamment par la mise en place de certaines pratiques et technologies permettant :

- **La réduction des émissions résultant de l'activité agricole** : les changements de pratiques agissent alors directement sur les sources d'émissions. C'est par exemple le cas lorsqu'un agriculteur réduit ses apports en engrais azotés, ce qui diminue les émissions de protoxyde d'azote (N₂O) au niveau des cultures et pâturages.
- **L'augmentation du stockage du carbone** : les sols agricoles peuvent être des sources ou des puits de carbone suivant le type d'agriculture pratiquée. L'agriculture à faible labour ou le semis de cultures intermédiaires (cultures non destinées à la récolte) permettent par exemple de séquestrer davantage de carbone dans le sol.
- **La substitution des énergies fossiles par la biomasse** : la biomasse destinée à la production d'énergie provient des résidus de cultures – balle de riz, bagasse, ... - ou de cultures dédiées comme le miscanthus ou la canne à sucre. Elle peut être directement brûlée ou transformée en biocarburant. L'avantage environnemental des bioénergies est très discuté à l'heure actuelle notamment sur la question des changements d'affectation des sols. Ces considérations seront plus détaillées dans la partie suivante.

La première partie de cette Etude Climat fait le point sur les émissions et les potentiels d'atténuation du secteur agricole en élargissant les frontières aux activités amont et aval de ce secteur. L'objectif est de rendre compte de la répartition sous-sectorielle et régionale des émissions et des potentiels d'atténuation se rattachant à l'activité agricole. En deuxième partie est présentée la place de l'agriculture dans les marchés carbone. La troisième partie tire les leçons des 737 projets inventoriés. Elle explique notamment les raisons du succès relatif de certains types de projets et la difficulté pour d'autres à être mis en œuvre du fait des caractéristiques propres au secteur agricole.

I. LE SECTEUR AGRICOLE : UN POTENTIEL D'ATTENUATION A LA HAUTEUR DE SES EMISSIONS

A. Classification des sources d'émissions et d'atténuation

Dans le cadre de cette étude, les sources d'émissions et d'atténuation du secteur agricole sont entendues au sens large : toutes les émissions affectées directement par les choix de l'agriculteur et tout projet susceptible de générer des crédits carbone pour un agriculteur sont pris en compte, dans la mesure où leurs impacts sur les émissions sont significatifs.

Ainsi, en plus des émissions agricoles définies par le GIEC (fermentation entérique, gestion des déjections, rizicultures, cultures et pâturages, brûlage des savanes et des résidus de cultures), d'autres sous-secteurs sont pris en compte. C'est le cas de la consommation d'énergie des exploitations, habituellement considérée comme relevant du secteur de l'énergie. Certaines émissions amont sont également retenues, comme celles de la production d'engrais, généralement comptée dans le secteur de l'industrie, et la conversion des forêts en terres agricoles, que l'on retrouve habituellement dans le secteur forestier. De même en aval, on s'intéressera au choix de valoriser ou non la biomasse en bioénergie.

En revanche, les émissions liées à la transformation alimentaire ou au transport ne sont pas impactées par un changement de pratiques agricoles et ne seront donc pas prises en compte. D'autre part, les

réductions d'émissions liées à une meilleure efficacité dans le procédé de fabrication des engrais ne dépendant pas de l'agriculteur, elles ne sont pas comptabilisées dans cette étude.

Enfin, certaines sources sont négligées, comme les émissions dues à la production de produits phytosanitaires³ ou à la fabrication de machines agricoles.

Les émissions et potentiels d'atténuation sont ainsi regroupés en neuf sous-secteurs eux-mêmes regroupés en trois groupes, suivant que les sources d'émission ou d'atténuation soient en amont du secteur agricole, au sein de l'exploitation ou en aval de celle-ci. Chacun de ces sous-secteurs est décrit ci-dessous selon le même procédé : le premier paragraphe rappelle le type d'émission concerné, le second développe quelques techniques pouvant être mises en place pour atténuer ces émissions.

En amont

- **Production d'engrais**, qui regroupe les émissions de CO₂ et de N₂O liés aux procédés sur le site de l'usine de fabrication.

Le potentiel d'atténuation lié à la production d'engrais correspond, dans le cadre de cette étude, à une simple diminution de la production, elle-même résultant d'une baisse de la consommation d'engrais par les agriculteurs (cf les leviers d'actions cités ci-dessous dans la partie Cultures et pâturage, et par une substitution d'engrais minéraux par des engrais organiques).

- **Conversion des terres**, qui regroupe les émissions de CO₂ liées à la conversion de forêts et de zones humides en terres agricoles.

La réduction de ces émissions peut passer par trois types d'action : (i) éviter la conversion de forêts et de zones humides en terres agricoles ; (ii) reboiser des terres agricoles dégradées, devenues moins productives ; (iii) mettre en place un système d'agroforesterie en implantant des arbres espacés dans des cultures ou en cultivant des parcelles boisées éclaircies. Seuls les projets d'agroforesterie ont été retenus dans cette étude, les autres étant considérés comme des projets purement forestiers.

On peut également citer une source d'émission amont à l'exploitation agricole qui est la production d'alimentation animale. De la même manière que pour la production d'engrais, la réduction des émissions peut passer par deux voies distinctes dont seule la deuxième est liée à un changement de pratique agricole : la première voie correspond à une amélioration technique de l'efficacité de la production et la deuxième correspond à une diminution de la production résultant d'une baisse de la consommation d'aliments concentrés. Un des leviers d'action pour cette dernière voie est de privilégier les exploitations de type polyculture-élevage où la grande partie de l'alimentation animale est directement produite à la ferme sous forme de cultures fourragères⁴.

Au niveau des exploitations agricoles

- **Cultures et pâturage**, qui correspond aux émissions de N₂O liées à la fertilisation azotée (organique et minérale), aux déjections émises en plein air et aux légumineuses. Les mécanismes mis en jeu sont explicités en annexe 1.

Un moyen de réduire les émissions de protoxyde d'azote est de limiter l'apport en engrais azotés (fertilisation raisonnée, intégration des légumineuses et protéagineux dans la rotation ou en mélange, éviter de laisser un sol découvert comme avec les CIPAN⁵, changer les formes d'engrais azotés...). La gestion de l'eau a également un impact sur le processus de dénitrification qui peut se définir comme un mécanisme de respiration alternatif. Par exemple, le drainage des sols permet une meilleure aération de ces derniers et ainsi une diminution de l'activité dénitrificatrice. Cependant, cet effet est plus complexe à appréhender et n'a pas été pris en compte dans les calculs.

³ En termes de quantité, la consommation de pesticide représente 0,5 % de la consommation d'engrais (FAOSTAT 2011)

⁴ Les rations alimentaires sont principalement composées de deux types d'aliments, les concentrés qui sont fabriqués industriellement et les fourrages qui peuvent être consommés en pâture ou sous forme ensilée ou de foin par exemple.

⁵ Cultures intermédiaires pièges à nitrates.

- **Élevage**, qui se décompose en deux sources d'émissions : la fermentation entérique et la gestion des déjections. La fermentation entérique émet du méthane (CH₄), formé lors de la digestion de la cellulose par fermentation microbienne chez les ruminants (bovins, ovins, caprins, camélidés). Les déjections animales émettent à la fois du CH₄ lors de la décomposition de la matière organique en milieu anaérobie, ainsi que du N₂O, d'autant plus si la ventilation est mauvaise.

Concernant la gestion des déjections, le choix de leur forme, liquide (lisier) ou solide (fumier) a un impact sur les émissions de CH₄ et N₂O. D'après le ministère de l'agriculture et de l'agroalimentaire du Canada, le lisier produit de 4 à 6 fois plus de gaz que le fumier de compost (qui est retourné pour une meilleure aération); et un tas de fumier émet 1,3 fois plus que le compost. Une autre technique pour diminuer les émissions est de recourir à la méthanisation des effluents d'élevage⁶. Elle réduit de 80 % des émissions au stockage et permet de produire de la chaleur et de l'électricité, tout en conservant la valeur fertilisante des effluents. Concernant la fermentation entérique, il y a peu de moyens à l'heure actuelle pour réduire les émissions sans diminuer la production. Les pistes envisagées correspondent à un changement d'alimentation des bovins avec des aliments plus riches en acides gras polyinsaturés par exemple et à une amélioration de la productivité pour réduire le cheptel.

- **Riziculture** : l'inondation des surfaces cultivées et donc l'absence d'oxygène, favorise le développement des bactéries anaérobies et ainsi la production de CH₄ par fermentation.

Les émissions peuvent être réduites en asséchant les sols entre les périodes de culture, mais cela peut augmenter les émissions de N₂O.

- **Combustion de matière organique hors production d'énergie**, qui comprend majoritairement les cultures sur brûlis et la mise à feu des cultures de canne à sucre pour faciliter la récolte. Les gaz considérés sont le CH₄ et dans une moindre mesure le N₂O ; les émissions de CO₂ ne sont généralement pas prises en compte dans les inventaires car il a été précédemment capté lors de la pousse de la végétation.

De nouvelles machines agricoles permettent de récolter la canne à sucre, sans mise à feu du champ au préalable. L'intensification de la production agricole permettrait de diminuer le recours à la culture sur brûlis.

- **Consommation d'énergie**, qui est essentiellement liée au chauffage des serres et des bâtiments d'élevage, à la conservation du lait ou encore au fonctionnement des tracteurs.

Un meilleur réglage des machines et une moindre utilisation des engins agricoles résultant d'une simplification du travail des sols et/ou d'une simplification des itinéraires techniques permettent de réduire les émissions de CO₂.

- **Flux de carbone entre le sol et l'atmosphère**, qui peut engendrer un bilan net dans le sens d'un stockage dans le sol ou dans le sens d'un déstockage vers l'atmosphère, en fonction de l'évolution du stock de carbone du sol. Le mécanisme d'atténuation est ici particulier puisque il peut aussi bien s'agir d'une réduction d'émissions que d'une augmentation de la séquestration du carbone. Il pose deux enjeux importants :

- *La réversibilité* : tout carbone stocké dans le sol peut retourner dans l'atmosphère si la pratique est arrêtée ou si le climat devient défavorable. A noter que la cinétique de déstockage est plus rapide que la cinétique de stockage, d'où l'importance de veiller à maintenir les stocks de carbone du sol (Arrouays, et al. 2002).

- *La saturation* : une fois le sol saturé, typiquement après une centaine d'années, le stock de carbone séquestré n'augmente plus même si la pratique (non-labour, cultures intermédiaires, ...) se perpétue.

Les principales techniques pour augmenter la quantité de carbone dans les sols sont la simplification du travail des sols (travail superficiel, non-labour...), la conversion des cultures en prairies, l'agroforesterie, l'augmentation des restitutions au sol des résidus de culture ou des déjections animales et les cultures

⁶ La méthanisation des effluents d'élevage correspond à leur fermentation anaérobie au sein d'un digesteur entraînant la formation de biogaz (50-75 % de CH₄ et 25-45 % de CO₂) pouvant être utilisé comme source de chaleur, d'électricité, ou les deux (la cogénération). En plus du biogaz, la méthanisation permet d'obtenir du digestat à haute valeur fertilisante.

non récoltées (engrais vert)... Ces différentes techniques permettent d'augmenter les apports en carbone organique et de protéger les sols contre les phénomènes d'érosion et de minéralisation du carbone à l'origine des émissions de CO₂.

En aval

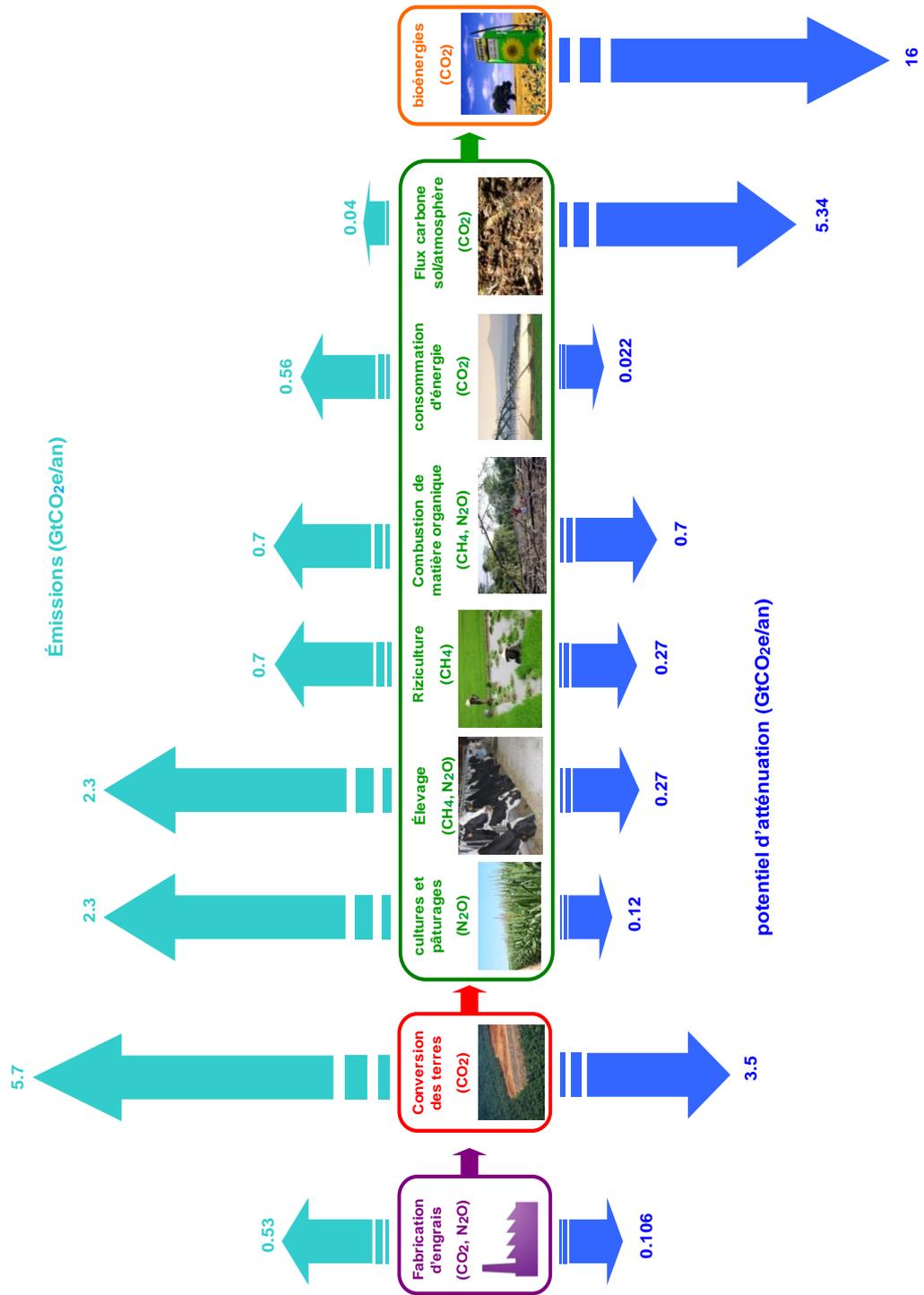
- **Bioénergies**, qui en se substituant aux énergies fossiles, sont un levier d'atténuation des émissions de CO₂. Elles apparaissent à première vue comme un véritable levier de réduction des émissions, mais ont cependant leurs limites. D'une part, elles posent le problème de la compétition pour l'usage des terres. Les cultures énergétiques dédiées peuvent en effet générer des fortes émissions de CO₂ s'il a été nécessaire de défricher une forêt pour les implanter. Elles peuvent également créer des tensions sur les prix agricoles quand elles remplacent des cultures alimentaires. Cet effet de compétition peut être direct ou indirect. L'effet indirect se produit par exemple lorsque la production d'agro-carburants est installée sur une terre au détriment d'une activité agricole, qui est alors déplacée sur une autre zone, au détriment d'une forêt tropicale. L'utilisation des résidus de culture comme biocombustible – qui est quasiment la seule technologie autorisée jusqu'à présent pour un projet de compensation carbone – permet d'éviter ce problème de compétition, mais peut conduire à une diminution de la fertilité et du stock de carbone du sol : la restitution des résidus permet en effet d'enrichir les sols par l'apport en matière organique qu'ils constituent.

Les bioproduits, en se substituant à des matières premières énergivores, représentent également un levier d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.

B. Estimation sous-sectorielle des émissions et potentiels d'atténuation à l'échelle mondiale

Il est important de déterminer quelles sont les principales sources d'émissions afin de mettre en place des techniques de réduction des émissions adaptées, et d'orienter la recherche là où les leviers d'action sont les plus importants. Cependant, il ne faut pas se focaliser seulement sur les sources les plus grandes dans la mesure où les premiers leviers d'action ne sont pas toujours là où les émissions sont les plus fortes. C'est par exemple le cas des flux de CO₂ entre le sol et l'atmosphère où le potentiel de séquestration du carbone dans le sol est plus de 100 fois supérieur aux émissions actuelles. Les émissions et potentiels d'atténuation pour les différents sous-secteurs définis précédemment sont résumés dans la Figure 2.

Figure 2 – Emissions et potentiels d'atténuation dans le monde



Note : les potentiels d'atténuation correspondent ici aux potentiels techniques maximaux par an d'ici 2030 qui tiennent compte de l'augmentation attendue de la demande alimentaire.

Source : CDC Climat à partir d'US-EPA (2006) pour les estimations maximales d'émissions et Smith et al. (2007) pour les potentiels d'atténuation. Le détail des calculs et des sources est fourni en annexe 2 et 3.

Des sources d'émissions variées avec en tête la conversion des terres

La croissance démographique et le changement des habitudes alimentaires des pays émergents comme la Chine et l'Inde, entraînent une augmentation de la demande en denrées alimentaires à l'échelle mondiale. Par ailleurs, la concurrence des cultures énergétiques prend de l'ampleur. Ces deux phénomènes engendrent une hausse tendancielle des prix agricoles exerçant une pression de plus en plus importante sur les terres. La conversion des terres forestières et humides en terres agricoles est à l'origine de 44 % des émissions agricoles, soit 5,7 GtCO₂e par an.

Les cultures et pâturages et l'élevage sont les deux postes les plus émetteurs après la déforestation. Ils représentent chacun 18 % des émissions agricoles. Les émissions liées à l'élevage se divisent en deux sous-catégories : la fermentation entérique qui représente 83 % des émissions de l'élevage et la gestion des déjections comptant les 17 % restants.

La frontière entre les postes cultures et pâturages et élevage telle qu'elle est définie par nos estimations ne rend pas compte du poids réel de l'activité d'élevage sur les émissions. En effet, les émissions au champ, dues à la production fourragère sont comptabilisées dans le secteur cultures et pâturages alors qu'elles sont destinées à l'alimentation animale. Dans une comptabilisation de type « analyse de cycle de vie », prenant en compte toutes les sources se rapportant à cette activité qu'elles soient directes ou indirectes, les émissions (hors conversion de terres liées à l'élevage) ont pu être estimées à 85 % des émissions européennes du secteur agricole tel qu'il est défini par la CCNUCC (Joint Research Centre 2010). Ce pourcentage doit être pris avec précaution dans la mesure où il ne compare pas exactement la même chose : les émissions de l'élevage ont été calculées en faisant une analyse du cycle de vie prenant en compte les importations contrairement aux émissions agricoles européennes inventoriées en suivant les lignes directrices de la CCNUCC.

En amont du secteur agricole, la production d'engrais, dominée par les engrais azotés, est également une source importante d'émissions. Elle rejette 0,53 GtCO₂e par an, soit 4 % des émissions agricoles.

D'autres sources d'émissions apparaissent à l'échelle mondiale, comme celles liées à la riziculture ou à la combustion de matières organiques. Elles émettent toutes les deux 0,7 GtCO₂e, soit 5 % chacune des émissions agricoles. La culture du riz est la deuxième source de méthane au monde derrière la fermentation entérique.

Enfin, les changements d'usage des terres, les pratiques agricoles et le climat, sont autant de facteurs qui affectent le stock de carbone des sols agricoles. Selon Smith et al (2007), certaines régions du monde sont des puits nets de carbone alors que d'autres sont des sources nettes. Le bilan global des émissions de CO₂ par les sols agricoles est estimé, de manière très incertaine, à 0,04 GtCO₂e par an.

Les bioénergies représentent le premier levier d'atténuation

A l'échelle mondiale, les bioénergies apparaissent comme le principal moyen de réduire les émissions. Sur le potentiel d'atténuation de 16 GtCO₂e/an (correspondant à une estimation haute), 12 GtCO₂e/an seraient permis par l'utilisation de cultures dédiées (miscanthus, jatropha) et les 4 GtCO₂e/an restants par les résidus de cultures tels que la paille, la bagasse (sous-produit de la canne à sucre) ou la balle de riz. La fourchette très large de l'estimation (entre 4 et 16 GtCO₂e/an) provient des incertitudes sur les rendements futurs et sur les surfaces disponibles pour les cultures dédiées. Plus les rendements seront élevés, plus il y aura de résidus de cultures et plus il y aura de terres disponibles pour les cultures à vocation énergétique. Ces chiffres sont cependant très contestés dans la mesure où ils n'appréhendent pas les problèmes d'effets indirects évoqués plus haut.

Le deuxième levier d'atténuation correspond à la séquestration de carbone dans le sol. P. Smith et al (2007) estime le potentiel d'atténuation liée au stockage du carbone dans le sol à 5,34 GtCO₂e par an.

Un autre levier d'atténuation est de limiter la conversion des terres forestières en terres agricoles. Les mérites relatifs des différents moyens d'y parvenir – intensification agricole, zones protégées, planification de l'usage des terres, ... - sont encore activement débattus au plan international via le mécanisme REDD+⁷ (Pfaff, et al. 2010).

Sur les deux principaux postes d'émissions au sein de l'exploitation, cultures et pâturages et élevage, le potentiel d'atténuation semble très faible, avec respectivement 0,12 et 0,27 GtCO₂e par an. Diminuer l'apport en engrais azotés peut se faire jusqu'à une certaine limite au-delà de laquelle les rendements pourraient être affectés. Concernant l'élevage, son potentiel d'atténuation est plus important mais reste faible en comparaison de son niveau d'émission. Les moyens pour réduire les émissions liées à la fermentation entérique - représentant 83 % des émissions de l'élevage - sont limités.

Le potentiel d'atténuation des sous-secteurs riziculture et combustion de matière organique est estimé à 0,27 et 0,7 GtCO₂e par an respectivement. S'agissant de potentiels techniques maximaux, l'hypothèse prise pour la combustion de la matière organique correspond à l'arrêt total des pratiques se rapportant à ce sous-secteur.

Au niveau de la production d'engrais azotés, le potentiel d'atténuation donné dans la Figure 1 correspond uniquement à une diminution des émissions liée à une baisse de la demande et non à une amélioration technique de la production qui entrerait alors dans le secteur industriel comme mentionné. Ce sous-secteur est donc directement corrélé à celui des cultures et pâturages. Le potentiel d'atténuation est estimé à 0,106 GtCO₂e par an, ce qui correspond à une diminution de la production d'engrais de 20 % (annexe 3).

Incertitude, potentiel technique, potentiel économique

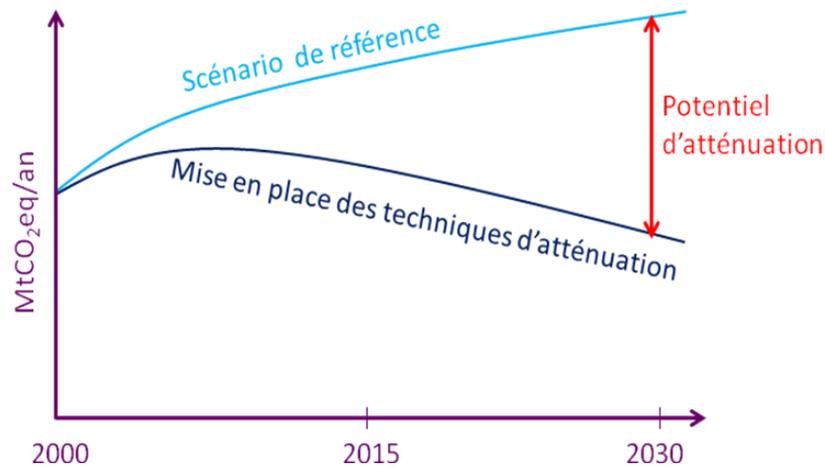
Les estimations des potentiels d'atténuations techniques doivent être prises avec précaution. Selon le rapport du GIEC, le potentiel d'atténuation global (hors amont/aval) se situe autour de 5,8 GtCO₂e/an avec un intervalle de confiance à 95 % compris entre 0,3 et 11,4 MtCO₂e/an. L'incertitude a deux causes principales : d'une part, il est difficile d'estimer les facteurs d'atténuation liés à la mise en place d'une pratique ou d'une technologie donnée. Bien souvent, ce facteur dépend de plusieurs paramètres tels que les conditions climatiques, la nature du sol, le type de culture, l'alimentation, l'âge, le poids vif de l'animal... Le manque de données, notamment dans les pays en développement, oblige à prendre des facteurs par défaut imprécis. D'autre part, il est difficile d'estimer les émissions futures du secteur agricole déterminant le scénario de référence. En effet, le potentiel d'atténuation est calculé à l'échelle mondiale⁸, à partir d'un scénario de référence projeté jusqu'en 2030⁹ comme le résume la Figure 3.

⁷ Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation forestière et augmentation des stocks de carbone forestiers.

⁸ Les modèles utilisés pour établir le scénario de référence (entre autres Image v 2.2 pour estimer les surfaces futures de cultures et de prairies et le model IMPACT pour estimer les surfaces dédiées à la culture du riz) tiennent compte en particulier, de l'augmentation de la demande alimentaire et de l'amélioration des rendements.

⁹ Le scénario de référence correspond au scénario B2 du GIEC.

Figure 3 – Calcul du potentiel d'atténuation

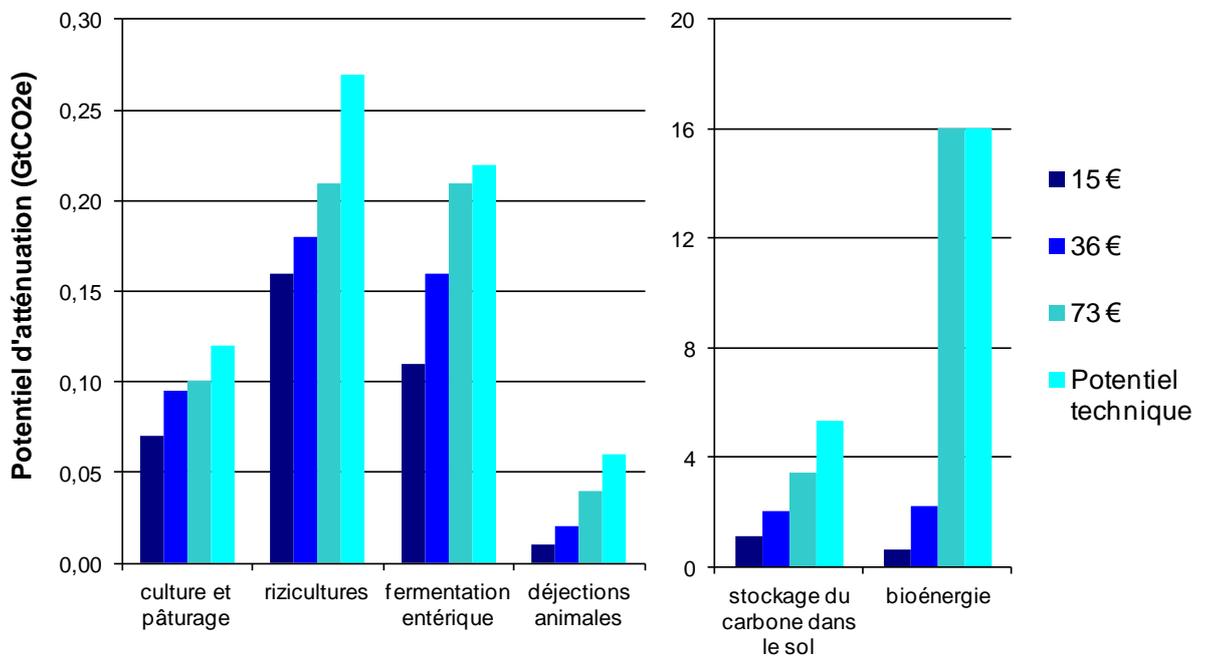


Source : CDC Climat Recherche.

A ces incertitudes s'ajoute le problème de l'incompatibilité entre différentes pratiques qui n'est pas toujours prise en compte. Par exemple, l'utilisation des résidus de cultures a été comptée à la fois dans le sous-secteur « séquestration du carbone dans le sol » et dans le sous-secteur « bioénergie » alors qu'une voie d'utilisation exclut la deuxième.

En outre, le potentiel technique ne prend pas en compte les limites économiques : les potentiels d'atténuation économiques sont très dépendants du prix du carbone pour chacun des sous-secteurs (Figure 4).

Figure 4 – Comparaison sous-sectorielle des potentiels d'atténuation économiques et techniques (GtCO2e/an)



Source : CDC Climat à partir des données de Smith et al (2007).

Les stratégies pouvant être mises en place pour réduire des émissions de GES dépendent du prix du carbone. Pour des prix bas, les stratégies pouvant être mises en place sont celles où la production est maintenue et où il y a uniquement un changement de pratique (non-labour,

réduction de la fertilisation, changement d'alimentation ...). Pour des prix plus élevés, les stratégies impliquant un investissement initial, sans changement de la production, peuvent être envisageables. C'est par exemple le cas de la gestion de l'eau au niveau des parcelles cultivées (irrigation/drainage), ou encore de la mise en place d'un méthaniseur. Cependant, dans ce dernier cas, le gain réalisé grâce à la production d'électricité (lorsqu'elle existe), peut faciliter la mise en place d'une telle installation. En revanche, lorsqu'il y a une perte de la production, ce qui est le cas par exemple lors de la conversion de terres cultivées en prairie, le prix du carbone doit être plus élevé. Hors considération des activités amont et aval du secteur agricole le potentiel d'atténuation est estimé à 1,5, 2,6 et 4,15 GtCO₂e par an, pour des prix respectivement de 15 €/tCO₂e, 36 €/tCO₂e et 73 €/tCO₂e¹⁰.

C. Estimation régionale des émissions et potentiels d'atténuation

Cette partie cherche à rendre compte de la répartition géographique des émissions et des potentiels d'atténuation. Le découpage géographique correspond à celui de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) : Afrique, Asie (contenant la partie Est de la Russie, au-delà des monts Oural, et ne contenant ni l'Indonésie, ni la Malaisie), Amérique du Sud, Amérique du Nord, Amérique centrale et les Caraïbes, Sud-ouest du Pacifique (contenant l'Indonésie et la Malaisie) et Europe (contenant la partie occidentale de la Russie et la Turquie).

L'Asie : la moitié des émissions agricoles mondiales

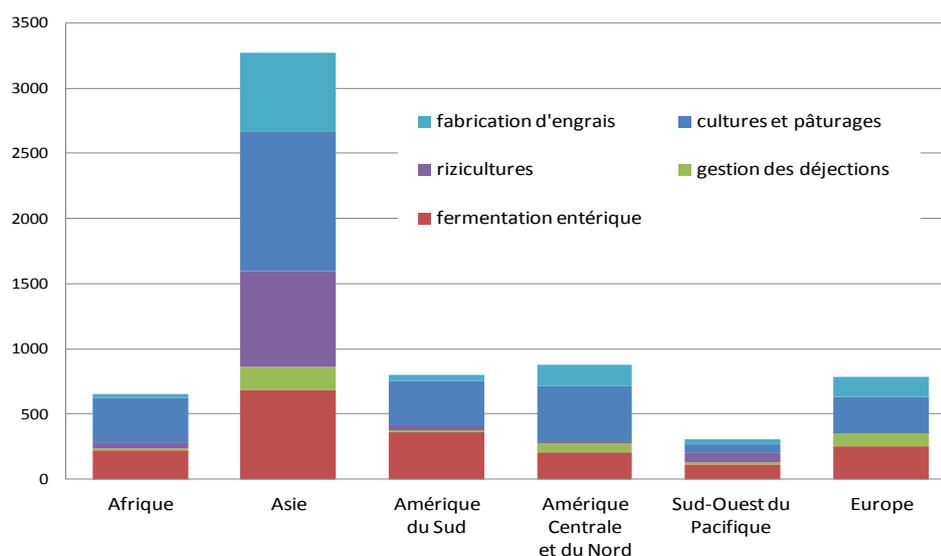
L'Asie est de loin la région la plus émettrice avec 49 % des émissions agricoles mondiales (Figure 5). Cela n'a rien d'étonnant dans la mesure où elle est la plus grande consommatrice d'engrais azotés (60 % de la consommation mondiale), possède 31 % du cheptel bovin, 97 % des buffles et 42 % du cheptel ovin (espèces qui émettent le plus de méthane), et contient 82 % des surfaces récoltées de riz (FAOSTAT 2011).

En Afrique et en Amérique, la part des émissions due à la gestion des déjections est relativement faible par rapport à celles dues à la fermentation entérique. Cela est probablement dû au caractère extensif (plein-air) de l'élevage dans ces régions. En effet, il n'y a d'émissions de N₂O et de CH₄ liées à la gestion des effluents agricoles que lorsque les animaux sont en bâtiment où leurs déjections sont récupérées et stockées avant d'être épandues au champ. Les émissions liées aux déjections des animaux en plein air sont comptabilisées dans le sous-secteur « culture et pâturages ».

Les émissions causées par la déforestation se retrouvent principalement dans deux régions du monde : en Amazonie où la conversion des terres forestières en terres agricoles est liée notamment à l'expansion de l'élevage et au développement des cultures de soja destinées à l'alimentation animale ; et en Indonésie principalement du fait des cultures de palmiers à huile (Bellassen, et al. 2008).

¹⁰ Les prix du carbone (20 US\$, 50 US\$, 100 US\$) ont été converti en euros en utilisant le taux de change moyen de 2007.

Figure 5 – Répartition régionale des émissions du secteur agricole en 2000 (MtCO₂e)



Note : Les données sur les émissions dues à la consommation d'énergie et à la combustion de la matière organique ne sont pas suffisamment précises pour les répartir selon les six régions. Les émissions dues à la combustion de la matière organique se trouvent à 92 % dans les pays en développement, principalement en Afrique sub-saharienne, en Amérique et dans les Caraïbes alors que la consommation d'énergie est plus importante dans les pays industrialisés. D'autre part, les émissions liées à la conversion des terres forestières en terres agricoles se trouvent principalement en Amérique du Sud et dans le Sud-ouest du Pacifique (Indonésie).

Concernant la fabrication des engrais, les émissions correspondent au niveau de consommation régionale et non au niveau de production.

Source : (Vergé, De Kimpe et Desjardins 2006).

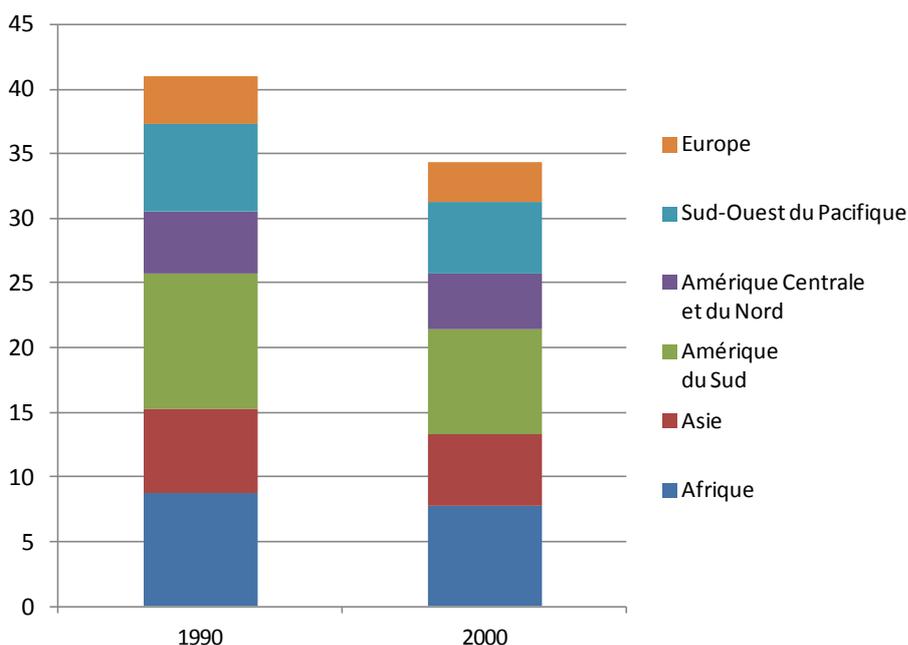
L'ordre de mérite des différents continents change radicalement lorsque les émissions sont ramenées à la production agricole, exprimée en euros (Figure 6)¹¹. L'Afrique et l'Amérique du Sud sont les deux régions qui émettent le plus par denrée produite. L'Asie, bien qu'elle soit la première émettrice, est relativement efficace. Les deux régions les moins émettrices par quantité produite sont l'Europe en tête de liste, suivie de l'Amérique Centrale et du Nord. Les régions où les rendements à l'hectare sont les plus élevés sont donc les moins émettrices à production égale.

Entre 1990 et 2000, l'efficacité en terme d'émission par production s'est améliorée, passant de 41 tCO₂e/€ à 34 tCO₂e/€. La première raison est probablement l'amélioration de la productivité. De manière générale, l'agriculture productiviste est moins émettrice lorsqu'on rapporte les émissions aux quantités produites. Par exemple l'amélioration des rendements pour une culture donnée, liée à une meilleure fertilisation et une meilleure gestion de l'eau permet de réduire les émissions par quantité produite et permet également d'augmenter le stockage du carbone dans le sol en augmentant les résidus de cultures pouvant retourner au sol.

Cependant, là encore les chiffres sont à prendre avec précaution, dans la mesure où les différents types de production (céréales, viande, lait...) ne sont pas différenciés. Certains types de production sont, de fait, plus émetteurs que d'autres ; c'est par exemple le cas de l'élevage bovin comparé à l'aviculture, ou de la riziculture inondée comparée à la culture de blé. Il est donc difficile de comparer les émissions régionales ramenées à la production agricole nette dans la mesure où ces régions n'ont pas les mêmes productions.

¹¹ Le produit agricole net a été calculé de la façon suivante : pour chaque région, la quantité produite de chaque denrée (maïs, riz, lait, œufs...) est pondérée par son prix de référence correspondant au prix moyen de cette denrée sur la période 1999/2000. Ainsi le prix d'une même denrée ne dépend pas de l'endroit où elle a été produite. Ensuite, toutes les productions d'une année, pondérées par leur prix, sont additionnées pour avoir le produit agricole net d'une région. Les productions à destination de l'alimentation animale ne sont pas comptées.

Figure 6 – Emissions régionales ramenées au niveau de production (tCO₂e/€)



Source : FAOSTAT (2011) ; (Vergé, De Kimpe et Desjardins 2006).

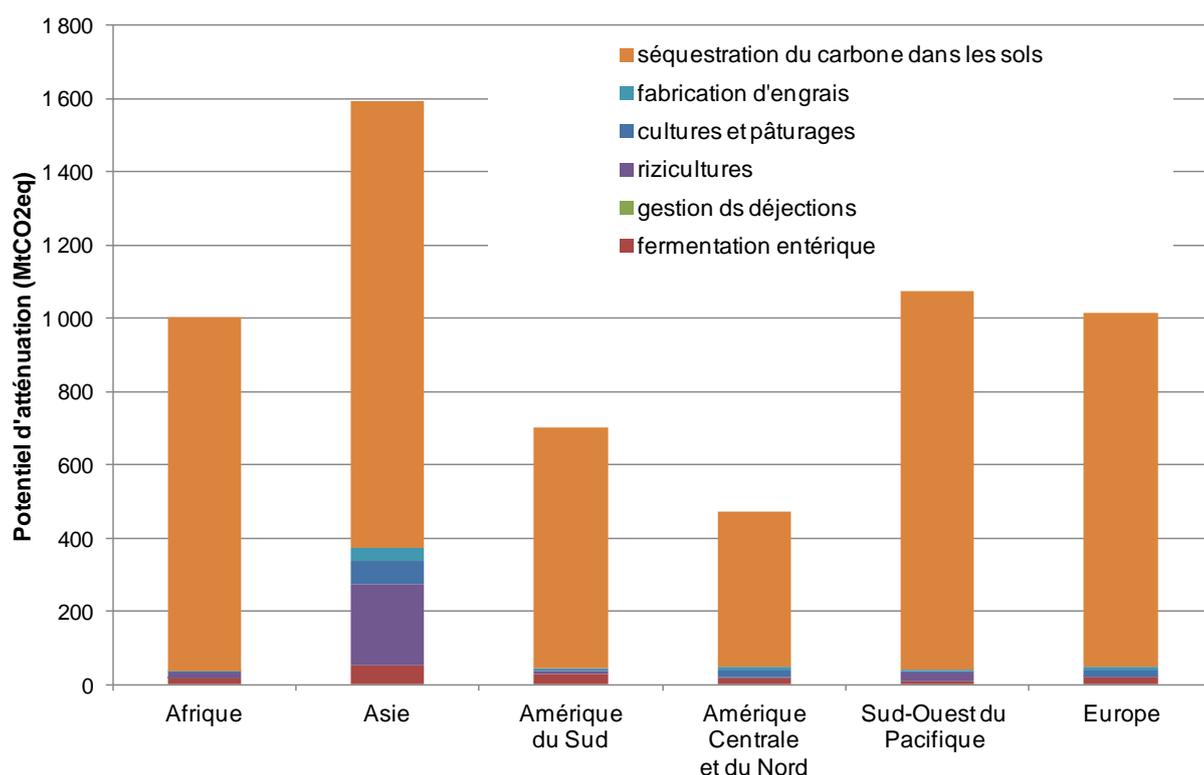
Le plus grand potentiel d'atténuation se trouve donc... en Asie

L'Asie présente le plus grand potentiel d'atténuation (Figure 7). Si l'on ne considère pas le stockage du carbone dans le sol, son premier levier d'atténuation correspond à une meilleure gestion des cultures de riz. Cette meilleure gestion passe, entre autre, par un maintien à sec des sols entre deux cultures, par une meilleure gestion des apports en matière organique, qui doit se faire préférentiellement durant les périodes d'assèchement et par l'utilisation de variétés moins émettrices.

La capacité de stockage du carbone dans les sols est inégalement répartie à travers le monde. L'utilisation des sols, la nature des sols et le climat sont les trois principaux facteurs à prendre en compte pour déterminer le potentiel de stockage du carbone dans les sols. De la même manière qu'une culture de maïs stocke moins de carbone dans le sol qu'une prairie, un vertisol (riche en argile) aura une moins grande capacité de stockage qu'un podzosol (riche en matière organique, principalement situé en Europe) et une zone située sous un climat chaud et sec stockera moins qu'une zone froide et humide. L'utilisation des sols et les pratiques agricoles mises en place déterminent les variations de carbone sur le court terme alors que la nature des sols et le climat expliquent la capacité de stockage de carbone sur le long terme. Il faut également tenir compte de l'état actuel des sols. L'Afrique et l'Asie sont les deux régions où les sols sont les plus dégradés, notamment à cause de l'érosion.

Concernant les bioénergies, le rapport du GIEC estime que les régions les plus prometteuses sont l'Amérique Latine, l'Afrique Sub-saharienne et l'Europe de l'Est puis à plus long terme, l'Océanie et le Nord et l'est de l'Asie.

Figure 7 – Répartition régionale des potentiels d'atténuations (MtCO₂e/an)



Voir annexe 6 pour le détail des calculs.

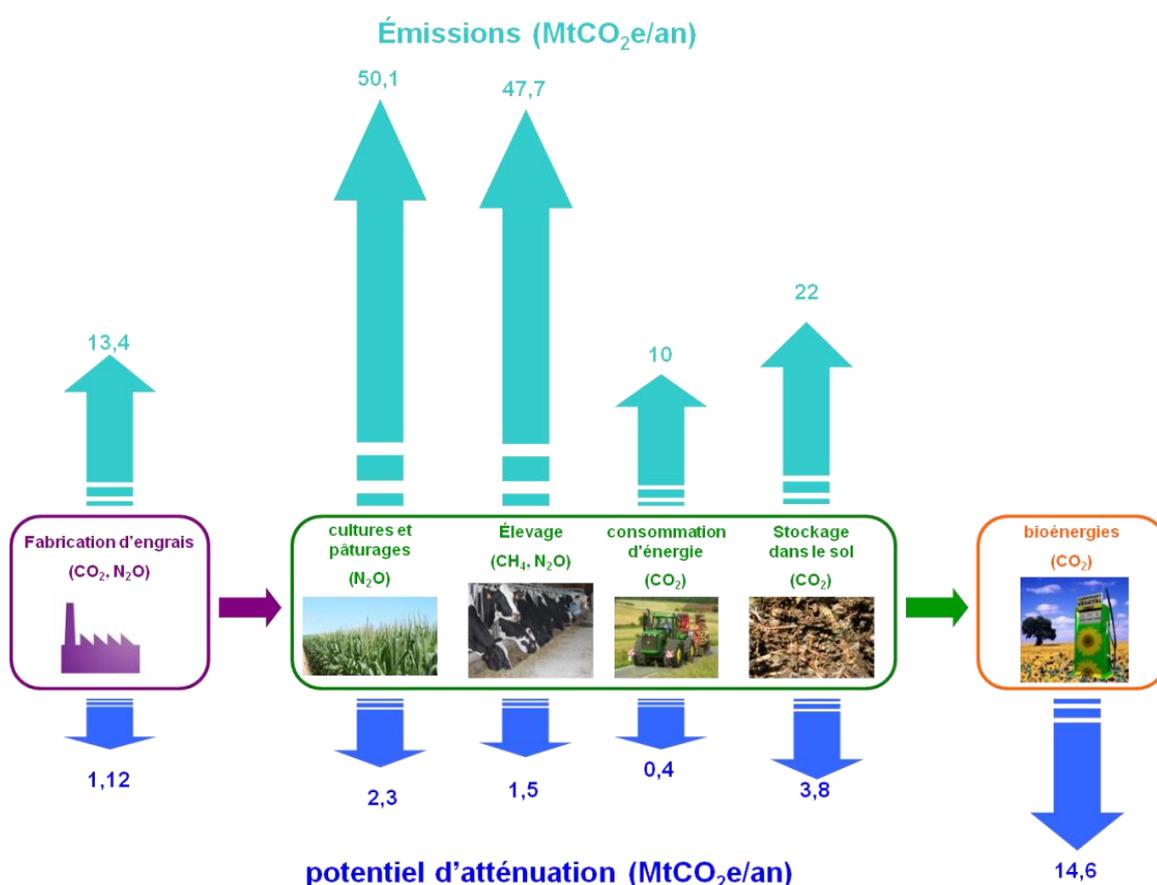
Source : X.P.C Vergé, C. De Kimpe, R.L. Desjardins (2006); P. Smith et a (2007).

D. Le cas français

Les sources d'émissions sont moins nombreuses en France qu'à l'échelle mondiale. En effet, le secteur forestier est un puits net avec des forêts jeunes et en croissance. D'autre part, la culture de riz étant très faible, elle n'a pas été prise en compte dans cette étude, tout comme la combustion de matière organique.

Les potentiels d'atténuation pour les différents sous-secteurs n'ont pas été calculés de la même manière pour le cas français qu'à l'échelle mondiale. Seuls ont été considérés ici les potentiels d'atténuation résultant des changements de pratiques relativement faciles à mettre en place rapidement alors qu'à l'échelle mondiale les chiffres correspondent aux potentiels techniques maximaux. Ainsi, les potentiels d'atténuation français sont sous-estimés par rapport à ceux mondiaux. Les autres différences de calcul sont décrites dans l'annexe 7. Les émissions et potentiels d'atténuation sont donnés par sous-secteur dans la Figure 8.

Figure 8 – Emissions et potentiels d'atténuation techniques en France



Note : Les 13,4 MtCO₂e émises lors de la fabrication des engrais ont été calculées par rapport à la consommation d'engrais en France et non par rapport à sa production. Or, seul 40 % des engrais consommés sont produits sur le territoire national.

Source : CDC Climat à partir des données de l'inventaire UNFCCC pour les émissions et de Leseur (2006) pour les potentiels d'atténuation. Voir annexe 4 et annexe 5 pour le détail des calculs des émissions et des potentiels d'atténuation.

Des sources d'émission moins diversifiées qu'à l'échelle mondiale

Le poste cultures et pâturage représente à lui tout seul 39 % des émissions agricoles (hors amont/aval). Les 50,1 MtCO₂e/an de la Figure 8, prennent en compte à la fois les émissions directes et indirectes de N₂O liées aux apports azotés. La forte contribution de ce sous-secteur aux émissions de GES s'explique à la fois par l'utilisation importante d'engrais minéraux azotés (la France est la plus grande consommatrice de fertilisants azotés de l'Europe¹²) et par une activité d'élevage importante, impliquant l'épandage de gros volumes de déjections animales.

L'élevage est responsable de 37 % des émissions (hors amont/aval). A l'intérieur de ce sous-secteur, la fermentation entérique représente 59 % et la gestion des déjections 41 %. L'écart moins important qu'à l'échelle mondiale s'explique par l'importance relative de l'élevage hors sols en France¹³.

¹² Elle représente 20 % de la consommation européenne (<http://bitagro.imist.ma/spip.php?article112>)

¹³ Les déjections directement émises en plein-air sont uniquement comptabilisées dans le sous-secteur « cultures et pâturage ».

En amont du secteur agricole, la production d'engrais, dominée par les engrais azotés, est également une source importante d'émission. Chaque tonne d'azote épandue sous forme d'engrais est responsable de 10,5 tCO₂e d'émissions au champ (67 %) et 5,1 tCO₂e d'émissions lors de sa production (33 %).

La consommation d'énergie au sein des exploitations agricoles française est à l'origine de l'émission de 10 MtCO₂e/an. Ce chiffre est relativement élevé par rapport à l'échelle mondiale mais est représentatif des pays industrialisés.

Enfin, l'IFEN (Institut Français de l'Environnement) estime que le stock de carbone des sols agricoles diminue à raison de 6 MtC par an ; en d'autres termes, les sols agricoles français émettraient 22 MtCO₂e par an. Ce chiffre est, toutes proportions gardées, beaucoup plus important qu'à l'échelle mondiale (40 MtCO₂/an). Cela s'explique notamment par le fait que certains pays sont, comme la France, des sources de CO₂ alors que d'autres sont des puits de carbone. Ainsi, lorsque l'on fait le bilan global net des émissions de CO₂ par les sols agricoles, le niveau est relativement faible.

Les bioénergies : en France comme dans le monde, premier levier d'atténuation

Une grande part du potentiel d'atténuation vient des bioénergies, dont la moitié correspond aux biocarburants. L'estimation, qui reflète les objectifs du plan climat, sous-estime vraisemblablement le potentiel d'atténuation lié aux bioénergies. En effet, Leseur (2006) prend en compte les objectifs fixés par la directive européenne de 2003 qui visait l'incorporation de 5,75 % de biocarburants dans les carburants pour 2010. Or, cet objectif a été largement atteint et le nouvel objectif est d'en incorporer 10 % d'ici à 2020. L'autre moitié du potentiel d'atténuation correspond à l'utilisation des résidus de culture tels que la paille et des cultures dédiées comme le miscanthus pour produire de la chaleur ou de l'électricité.

Concernant la séquestration du carbone dans les sols, le potentiel d'atténuation est, toutes proportions gardées, beaucoup moins important qu'à l'échelle mondiale. En effet, il est de 14,6 MtCO₂e/an en France contre 5 340 MtCO₂/an au niveau mondial ce qui correspond respectivement à 0,1 tCO₂/ha¹⁴/an et 1,1 tCO₂/ha¹⁵/an). Cela peut s'expliquer de deux manières. D'une part, les régions tropicales, du fait de leur climat, ont un potentiel de séquestration extrêmement important. D'autre part, les sols les plus dégradés se trouvent dans les pays en développement (Afrique subsaharienne, l'Asie centrale et du sud, les Caraïbes, l'Amérique centrale et les régions andines). Or, plus un sol est dégradé et plus il aura la capacité de stocker du carbone.

II. LES PROJETS DE COMPENSATION CARBONE : UN MOYEN DE VALORISER LES REDUCTIONS D'EMISSIONS

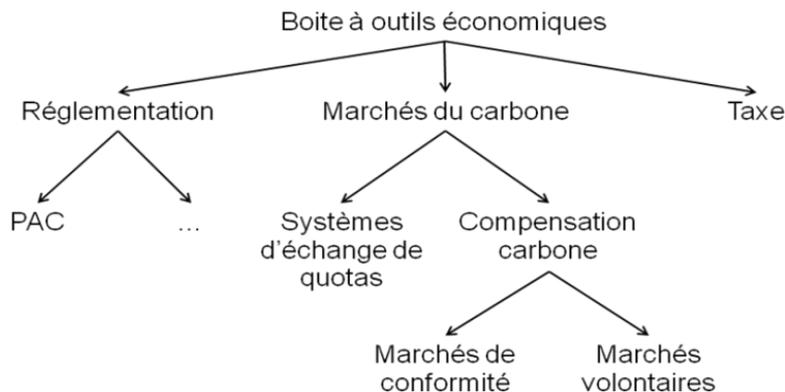
A. L'agriculture est intégrée aux marchés du carbone par le biais de la compensation

Les marchés du carbone sont l'un des trois grands outils économiques permettant de réduire les émissions. Ils se déclinent sous deux modalités : les systèmes d'échange de quotas ou « cap-and-trade » et les mécanismes de compensation carbone qui génèrent des crédits (Figure 9).

¹⁴ Ensemble des surfaces agricoles d'après (FAOSTAT 2011)

¹⁵ Idem

Figure 9 – Les outils économiques de réduction des émissions



Source : CDC Climat Recherche.

Les systèmes d'échange de quotas incluent des secteurs entiers de l'économie, au sein desquels chaque installation doit rendre autant de quotas qu'elle a émis de GES. Pour y parvenir, les installations qui disposent d'un excédent de quotas par rapport à leurs émissions peuvent les vendre aux installations déficitaires. Aucun des systèmes d'échange de quotas existants n'intègre actuellement l'agriculture. Seul le système néo-zélandais prévoit son inclusion, à l'horizon 2015. (Encadré 1).

Encadré 1 – Le système néo-zélandais d'échange de quotas (NZ ETS)

Le secteur agricole devrait rentrer dans NZ ETS en janvier 2015. La Nouvelle-Zélande envisage d'intégrer les deux sous-secteurs suivants :

- élevage (comprenant la fermentation entérique et la gestion du fumier)
- cultures et pâturages (comprenant les émissions directes et indirectes de N₂O résultant de l'utilisation d'engrais azotés)

Le défi est de trouver si les obligations de mise en conformité seront placées au niveau de l'exploitation agricole, au niveau des industries amont et aval (les transformateurs alimentaires pour le sous-secteur « élevage » et les fabricants d'engrais azotés pour le sous-secteur « culture et pâturage ») ou alors combiner les deux.

Placer les obligations au niveau des transformateurs de viande et de produits laitiers leur imposerait de restituer des quotas (NZU) correspondant aux émissions qui ont été émises par les produits qu'ils transforment. La somme des émissions associées au prix des NZU en vigueur, serait alors utilisée par le transformateur pour déterminer le prix qu'il proposerait à l'exploitant. En ce qui concerne les émissions liées aux engrais, le fabricant, l'importateur ou le fournisseur feraient face à des obligations équivalentes.

Le choix de placer les obligations au niveau des transformateurs à l'avantage d'être plus simple à mettre en place et moins onéreux. D'autre part, placer les obligations au niveau de l'exploitation agricole pose un problème majeur : les propriétaires de troupeaux et les propriétaires terriens ne sont pas toujours les mêmes. A ce moment, à qui revient la responsabilité ? Cependant, une obligation au niveau de l'exploitation offre une plus large palette de possibilités de réduction d'émissions. En effet, les mesures sont plus précises (utilisation de facteurs adaptés à l'exploitation et non de facteurs communs à toutes les exploitations) et permettent de rendre compte des réductions d'émissions liée à des pratiques telles l'optimisation du moment d'épandage des engrais ou le changement de l'alimentation du bétail.

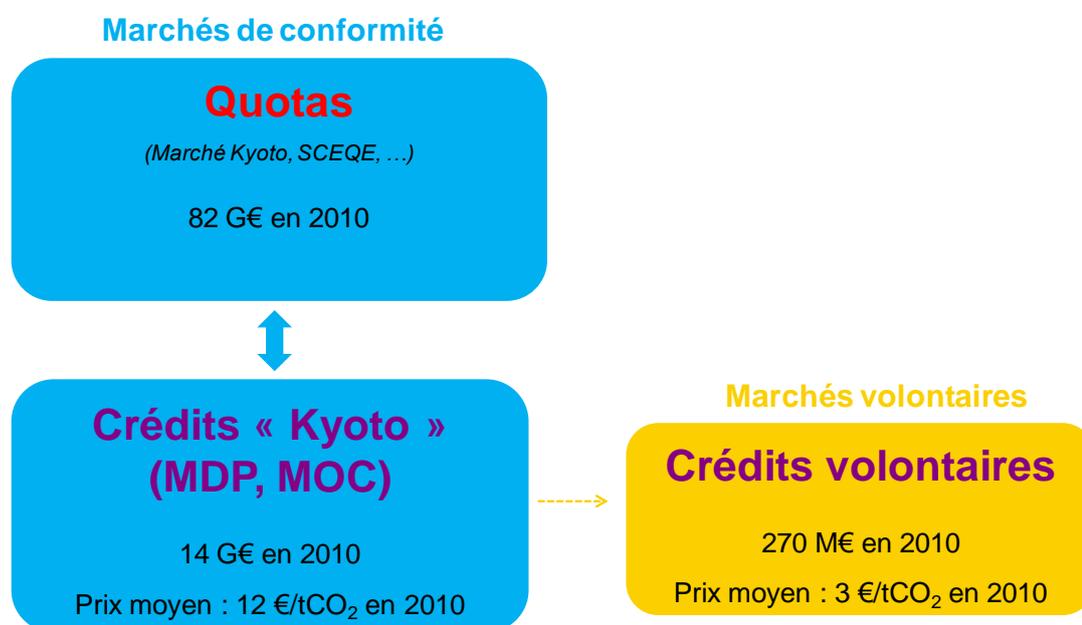
Source : CDC Climat Recherche. Pour en savoir plus, consulter l'Etude Climat n°26 – L'inclusion des émissions forestières et agricoles dans le nouveau marché du carbone néo-zélandais.

La deuxième porte d'entrée sur les marchés du carbone est celle de la compensation. Elle consiste à délimiter de manière *ad hoc* un périmètre de projet sur lequel on va réduire les émissions. Les émissions du périmètre sont comparées à un scénario de référence, et la

différence est valorisable sous forme de crédits carbone. Cette modalité permet aux acteurs d'un secteur non-inclus dans un système d'échange de quotas de valoriser, s'ils le souhaitent, leurs réductions d'émissions. C'est généralement sous cette forme que se valorisent les réductions d'émissions du secteur agricole.

Le label utilisé pour certifier les réductions d'émissions, et donc les crédits carbone, détermine le marché sur lequel ces réductions sont valorisables. Le mécanisme pour un développement propre (MDP) et la mise en œuvre conjointe (MOC) sont les deux labels historiques des marchés de conformité, au premier rang desquels se trouve le marché européen d'échange de quotas (SCEQE). Le Climate Action Reserve (CAR) a été reconnu en 2010 par les autorités californiennes pour son système d'échange de quotas qui devrait démarrer en 2013. Il devrait donc prochainement passer du statut « volontaire » au statut « de conformité ». Les marchés de conformités sont les systèmes d'échange de quotas où le régulateur, qui distribue les quotas aux installations contraintes, autorise aux pollueurs dans une certaine mesure l'utilisation de crédits carbone pour assurer leur conformité. Ces marchés sont de plus grande taille, plus liquides, et les prix y sont plus élevés que sur les marchés volontaires (Figure 10).

Figure 10 – Marchés de conformité et marchés volontaires



Source : CDC Climat Recherche à partir des données de World Bank (2011).

Tous les autres labels ne sont reconnus que par les marchés volontaires, sur lesquels différentes entités – entreprises, établissements publics, particuliers, ... - achètent des crédits pour atteindre un objectif volontaire de réduction d'émissions. Cette diversité de labels fait des marchés volontaires un cadre plus souple, plus réactif et plus innovant que les marchés de conformité.

B. Les labels de compensation carbone

Les cinq critères de qualité que tous ces labels cherchent à garantir sont : (i) l'additionnalité, qui correspond au fait que les réductions d'émissions n'auraient pas pu avoir lieu sans être valorisées sur les marchés du carbone ; (ii) la vérification des réductions d'émissions suivant un cahier des charges établi au préalable ; (iii) la permanence des réductions d'émissions; (iv) le calendrier associé à la compensation, c'est-à-dire que les crédits peuvent être émis qu'une fois que la réduction d'émission a bien été réalisée, (v) la transparence, permettant de garantir que la même tonne de CO₂ réduite n'est pas revendue plusieurs fois.

Huit labels de compensation carbone sont pris en compte ici : Mécanisme pour un Développement Propre (MDP), Mise en Œuvre Conjointe (MOC), Climate Action Reserve (CAR), Verified Carbon Standard (VCS), Gold Standard (GS), Chicago Climate Exchange (CCX), et American Carbon Registry (ACR). Les labels MDP et MOC couvrent 100 % des crédits échangés sur les marchés de conformité et l'ensemble de ces labels couvrent 78 % de ceux échangés sur les marchés volontaires¹⁶.

MDP et MOC pour les marchés de conformité

Mécanisme pour un développement propre (MDP)

Les projets MDP sont homologués par les Nations Unies et implantés dans les pays en développement, qui n'ont pas d'objectif de réduction d'émissions dans le cadre du protocole de Kyoto. Aucun type de projet agricole n'est exclu a priori, sauf les projets de séquestration du carbone dans les sols agricoles.

Mise en œuvre conjointe (MOC)

Les projets MOC sont ceux mis en place dans les pays industrialisés qui ont des objectifs quantifiés de réduction d'émissions dans le cadre du protocole de Kyoto (pays de l'annexe B). Ces pays sont contraints de fournir des inventaires nationaux de leurs émissions. Les émissions agricoles y sont comptabilisées au même titre que celles des autres secteurs (énergie, industries, transport...).

Les types de projets agricoles ne sont autorisés dans le cadre de la MOC que pour autant qu'ils réduisent les émissions comptabilisées dans l'inventaire national. Cela exclut de facto la séquestration du carbone dans les sols agricoles pour les pays qui, comme la France, ont choisi de ne pas comptabiliser ce type de puits dans leurs inventaires¹⁷. Par ailleurs, les facteurs d'émission utilisés dans les inventaires ne sont pas toujours suffisamment précis pour rendre compte des réductions d'émissions dues à un changement de pratique. Par exemple, un changement d'alimentation dans un élevage bovin visant à réduire les émissions de méthane issues de la fermentation entérique, n'aura aucun impact sur l'inventaire si le facteur d'émission utilisé ne prend pas en compte ce changement d'alimentation¹⁸. Les lignes directrices du GIEC sur les inventaires d'émissions donnent une certaine latitude aux pays dans le choix des méthodes et des facteurs d'émissions. Les types de projet MOC possibles peuvent donc légèrement varier d'un pays à l'autre, selon le degré de précision de l'inventaire national.

Les marchés volontaires : VCS, CAR, GS, CCX, ACR

Les labels volontaires ont historiquement calqué leurs procédures sur le MDP, en les assortissant peu à peu d'innovations pour (i) diminuer les coûts et les délais liés à la certification et (ii) étendre les types de projets autorisés. Ils sont de fait moins contraignant que les labels Kyoto ce qui a pour conséquence un prix du carbone plus faible.

Verified Carbon Standard (VCS)

Le VCS est développé depuis mars 2006 par l'association Climate Group, l'International Emissions Trading Association et le World Economic Forum Global Greenhouse Register. Le

¹⁶ D'après les données de Peters-Stanley et al. (2011), en excluant le CCB qui s'ajoute le plus souvent à un autre label.

¹⁷ Au titre de l'article 3.4 du protocole de Kyoto, le stockage du carbone dans les sols agricoles lié à la gestion des terres cultivées, des pâturages et à la restauration du couvert végétal peut être comptabilisé dans les inventaires nationaux de manière optionnelle.

¹⁸ Il faut pour cela que la précision de l'inventaire aille jusqu'à la représentativité des systèmes et leurs évolutions (systèmes d'alimentation et de gestion des déjections, état des pratiques de réduction des émissions).

label a créé une unité de crédit carbone : la Verified Carbon Unit (VCU). 42 %¹⁹ des crédits volontaires échangés en 2010 étaient des VCU. Tous les types de projets agricoles sont a priori autorisés par le VCS.

Climate Action Reserve (CAR)

Le CAR succède au California Climate Action Registry (CCAR) créé par l'état de Californie en 2001. Il labélise des projets mis en place en Amérique du Nord et a également créé son unité de crédit carbone : les Climate Reserve Tonnes (CRT). 16 % des crédits volontaires échangés en 2010 étaient des CRT. Seules des méthodologies sur la méthanisation des effluents agricoles existent pour le secteur agricole.

Gold Standard (GS)

The Gold Standard a été mis en place en 2003 par WWF et plusieurs autres organisations non-gouvernementales et est maintenant approuvé par 70 ONG à travers le monde. Il représente 10 % des crédits volontaires échangés en 2010. Les projets certifiés par ce label sont des projets d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique.

Chicago Climate Exchange (CCX)

Le Chicago Climate Exchange, créé en 2003, était avant tout, jusqu'en 2010, un système original d'échange de quotas volontaires. Le système a fermé en 2010, mais son volet « compensation » se perpétue sous la forme du Chicago Climate Exchange Offset Registry Program. L'unité de crédit carbone est ici le Carbon Financial Instrument (CFI), équivalant à 100 tCO₂eq. Les crédits de compensation CFI représentaient 4 % des crédits volontaires échangés en 2010. Les protocoles du CCX présentent l'originalité, par rapport à tous les autres labels, de délivrer des crédits sur la base de la vérification d'une pratique – à laquelle est attribuée une quantité de réduction d'émissions par défaut – et non sur la base d'une mesure, spécifique à chaque projet. Il existe deux types de projets agricoles autorisés dans le CCX : les projets de méthanisation des effluents d'élevage et les projets de séquestration de carbone dans le sol passant notamment par l'arrêt du labour et la conversion des cultures en prairies.

American Carbon Registry (ACR)

L'ACR a été créé en 1997 par deux organisations environnementales : Environmental Resource Trust et Environmental Defense Fund. L'unité de crédit carbone créé par ce standard est l'Emission Reduction Ton (ERT). Peu de projets agricoles existent sous ce label pour le moment, cependant plusieurs méthodologies novatrices ont été validées pour le secteur agricole en 2010 : meilleure gestion de la fertilisation, amélioration des systèmes de culture du riz, 2 % des crédits volontaires échangés en 2010 étaient des ERT.

Nous pouvons noter qu'un nouveau label existe en Australie, certifiant les projets agricoles et forestiers : le Carbon Farming Initiative (CFI).

C. Trois exemples de projets agricoles

Projet de substitution de l'énergie fossile par de la bagasse en Inde²⁰

L'usine sucrière « Rajshree Sugar & Chemicals » a lancé en 2005 un projet de cogénération à partir de la combustion de bagasse qui a été enregistré sous le standard MDP le 15 janvier 2006. L'installation d'une turbine à vapeur haute pression, fonctionnant grâce à la combustion de bagasse, permet à l'usine d'exporter de l'électricité neutre en carbone dans sa région, en plus de sa propre utilisation. La bagasse utilisée est un sous-produit de la canne à sucre provenant de 20 000 agriculteurs de la région, couvrant 10 000 ha et 655 villages. L'un des objectifs du projet

¹⁹ D'après les données de Peters-Stanley et al. (2011), en excluant le CCB qui s'ajoute le plus souvent à un autre label. La même source est utilisée pour les autres labels.

²⁰ Titre : RSCL cogeneration expansion project

de cogénération est d'assurer un accès fiable à l'électricité pour les villages de la région. Le projet prévoit une réduction d'émission de 80 ktCO₂/an. Lors de la première

période de comptabilisation allant du 20 février 2007 au 27 octobre 2010, 408 ktCO₂e ont été évitées, soit 100 % de ce qui était prévu.

Les projets de méthanisation développés par AgCert au Mexique²¹ :

Le développeur de projet AgCert, a mis en place 88 projets de méthanisation des effluents d'élevage (porcins/bovins), dans plusieurs régions du Mexique, sous le standard MDP. Des digesteurs ont été mis en place permettant d'augmenter la fermentation anaérobie. Le méthane ainsi formé est ensuite capté et brûlé pour produire de l'électricité. Ces projets interviennent dans un contexte de forte croissance des émissions liées aux déjections animales puisque la production porcine a augmenté de 28 % au Mexique ces 10 dernières années. D'autre part, ils s'inscrivent dans les objectifs pour l'agriculture, fixés par le gouvernement mexicain dans le cadre du *plan national de développement, 2001-2006*.

Sur les 88 projets enregistrés, 27 ont commencé à émettre des crédits. Le premier projet a été enregistré le 5 décembre 2005 et couvre 5 sites à lui seul. Le PDD prévoit des réductions d'émissions de 122 ktCO₂e par an. Sur sa première période de comptabilisation, allant du 31 mars 2006 au 31 octobre 2009, il a émis 172 kCER soit 32 % de ce qui était prévu.

Projet d'arrêt du labour

Aux Etats-Unis et au Canada, des agrégateurs, entreprises spécialisées, « Farm Bureau », ou autres structures, rassemblent plusieurs agriculteurs pour mettre en place des projets de séquestration du carbone dans le sol, sous le standard CCX. Toute surface sous contrat qui respecte ses engagements (arrêt ou réduction du labour) permet de générer une quantité prédéfinie de CFI. Au Canada, le premier agrégateur est C-Green Carbon Management Solutions Inc. Il a commencé son activité en 2006 et regroupe maintenant 2,2 Mha de terres cultivées recourant au labour minimum, regroupés en trois projets. La comptabilisation des réductions d'émission est rétroactive, ainsi, bien que les projets aient été enregistrés respectivement en octobre 2006, janvier 2007 et mai 2008, la période de comptabilisation a commencé en 2003. Les trois projets ont permis de générer 7 700 ktCO₂ de réductions. Il existe 13 agrégateurs de ce genre aux Etats-Unis.

III. LES LEÇONS TIREES DES 733 PROJETS AGRICOLES

A. La précision des mesures est essentielle dans la mise en place des projets agricoles

Peu d'émissions agricoles réduites et seulement trois sous-secteurs concernés

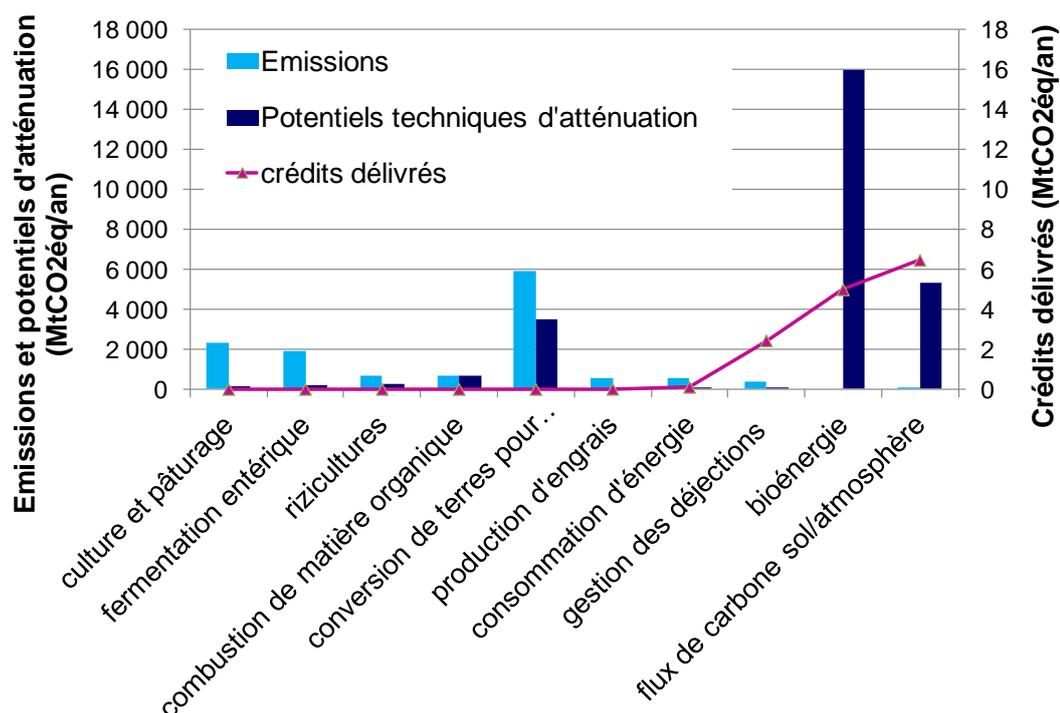
733 projets touchant le secteur agricole avaient été enregistrés par un label de compensation carbone au 1^{er} juillet 2011, soit 14 % des projets tous secteurs confondus. Leur part en termes de crédits délivrés par an²² est plus faible : 14 MtCO₂e, soit 7 % du total.

Plus inquiétant, un facteur 1 000 sépare les émissions et potentiels d'atténuation des réductions d'émissions réalisées par les projets de compensation. Seuls trois sous-secteurs sont concernés : la séquestration de carbone dans les sols, les bioénergies, et l'élevage à travers la méthanisation des effluents (Figure 11). La réalisation de projets carbone dans un sous-secteur ne semble par ailleurs ni liée à l'importance des émissions de ce sous-secteur, ni à la taille de son « gisement » de réduction – le potentiel d'atténuation.

²¹ Titre : AWMS GHG Mitigation Project, MX05-B-02, Sonora, México

²² Les crédits délivrés pour chaque projet ont été ramenés à une période de un an puis additionnés.

Figure 11 – Répartition sous-sectorielle des émissions / potentiels d'atténuations / crédits délivrés (MtCO₂e par an)



Notes : Les valeurs des émissions et des potentiels d'atténuation sont données par l'axe de gauche et les valeurs des crédits délivrés sont données par l'axe de droite.

Source: CDC Climat Recherche à partir de P. Smith et al (2007); FAOSTAT; (UNEP RISOE 2011).

Le type de projets le plus représenté en termes de réductions d'émissions est la séquestration dans le sol sous le seul label CCX. Il s'agit de projets de non-labour²³ et de conversion de cultures en prairies, qui représentent le deuxième potentiel d'atténuation agricole. Le nombre de crédits attribués par hectare vérifié dépend de la région où est localisé le projet, sans mesure de stock de carbone dans le sol avant et après mise en œuvre du projet. Pour les projets de non-labour, la quantité de crédits délivrés va de 0,5 à 1,5 tCO₂e par hectare et par an. Elle varie de 1 à 2,5 tCO₂e par hectare et par an pour les projets de conversion des terres en prairies. Un projet de séquestration dans le sol est en cours de validation par le VCS : la méthodologie requiert cette fois une mesure de la quantité de carbone dans le sol au cas par cas pour chaque projet. La pratique considérée est ici la gestion des prairies et intègre l'objectif de limiter le surpâturage.

Le sous-secteur des bioénergies arrive juste après avec 5 MtCO₂e délivrées par an en moyenne²⁴, essentiellement par des projets MDP (4,1 MtCO₂e par an). Il comprend notamment l'utilisation des résidus de culture comme la bagasse (sous-produit de la canne à sucre), la balle de riz et les résidus des cultures de moutarde, mais également les sous-produits de l'huile de palme. Un projet MDP de cultures dédiées aux biocarburants existe également au Paraguay mais demeure anecdotique. Ce type de projet présente un risque de fuites de carbone dans la mesure où les cultures mises en place - tournesol, jatropha, ... - pour produire les biocarburants peuvent entrer en compétition avec l'alimentation et entraîner le déplacement des cultures préexistantes. Dans le pire des cas, le déplacement des cultures peut entraîner la déforestation d'autres terres

²³ Notons que cette pratique est facilitée aux Etats-Unis par la possibilité de mettre en place des cultures résistantes aux herbicides. Cela facilite le maintien des rendements au même niveau qu'avant le l'arrêt du labour. Le risque de fuite par déplacement de la production sur d'autres terres est alors négligé.

²⁴ Les crédits délivrés pour chaque projet ont été ramenés à une période de un an puis additionnés.

et ainsi engendrer des émissions de GES importantes. Ces fuites doivent être prises en compte lors du calcul des émissions du projet²⁵.

Le dernier sous-secteur représenté de manière non négligeable dans l'obtention de crédits carbone est la gestion des déjections. Les crédits délivrés se partagent entre les labels MDP, CCX, CAR et VCS (76 %, 16 %, 5 % et 3 % respectivement). Il s'agit principalement de projets de méthanisation des déjections animales. Il existe également quelques projets de compostage du fumier.

Deux projets de réduction de la consommation d'énergie ont été enregistrés à ce jour, mais n'ont pas encore délivré de crédits (Tableau 1). L'un sous le standard « MOC » et l'autre sous le standard « VCS ». Le projet MOC est un projet français de préfanage de la luzerne au champ qui a permis de générer 75 ktCO₂e à l'heure actuelle (Encadré 2). Le projet VCS est quant à lui un projet de micro-irrigation impliquant le passage d'une pompe diesel à une pompe mécanique. On note également un projet d'agroforesterie enregistré dans le MDP. Enfin, il existe deux projets de réduction des émissions liées à la fabrication des engrais sous le label GS. Ces projets correspondent à la substitution d'engrais minéraux par du vermi-compost fabriqué directement sur place. Les réductions d'émissions qui en résultent correspondent aux émissions évitées au niveau de la production industrielle d'engrais minéraux.

Toutes les sous-catégories ne sont pas représentées. C'est le cas des cultures et pâturages, de la fermentation entérique, de la riziculture et de la combustion de matières organiques. Il existe pourtant des méthodologies concernant ces sous-secteurs. Certaines semblent avoir été développées pour des projets qui ne verront jamais le jour. C'est le cas par exemple, de la méthodologie MDP *AMS-III-A*, dont le principe est d'introduire des inoculants²⁶ dans les rotations légumineuses/herbe pendant la phase légumineuse en remplacement des engrais azotés synthétiques ; ou encore de la méthodologie MOC en France visant à réduire les émissions de méthane en ajoutant des graines de lin dans l'alimentation bovine. D'autres méthodologies préfigurent des projets à venir, comme celles concernant la fertilisation raisonnée dans le label ACR.

²⁵ D'après le document *General Guidance on Leakage in Biomass Project Activities (Version 3)* émis par le Conseil exécutif du MDP, s'il y a déplacement des activités existantes avant le projet, le porteur de projet doit fournir les deux indicateurs suivants :

- le pourcentage de personnes concerné par le déplacement de l'activité préexistante à cause du projet
- le pourcentage de la production préexistante (ex : viande, maïs...) déplacée à cause du projet

Si ces deux indicateurs sont en dessous de 10 %, alors les fuites sont négligées. Si l'un de ces deux indicateurs est compris entre 10 et 50%, alors la fuite est supposée égale à 15% de la différence entre les émissions du scénario de référence et les émissions du projet. Si l'un des deux indicateurs est supérieur à 50%, alors le projet est refusé.

²⁶ Le procédé d'inoculation est l'application de bactéries rhizobium sur des semences de légumineuses ou dans le sol dans lequel une légumineuse va être plantée. La présence de rhizobiums est nécessaire à une légumineuse pour pouvoir convertir l'azote atmosphérique en une forme absorbable par la plante. Ce procédé est couramment appelé « fixation de l'azote ».

Tableau 1 – Crédits générés en moyenne par an et nombre de projets agricoles enregistrés par sous-secteur et par label au 1^{er} juillet 2011

	Fabrication des engrais	Gestion des déjections	bioénergies	agroforesterie	Consommation d'énergie	Séquestration du carbone dans le sol	Totaux labels
MDP		1836 ktCO ₂ e (215)	4067 ktCO ₂ e (310)	0 ktCO ₂ e (1)			5903 ktCO ₂ e (526)
MOC		0 ktCO ₂ e (2)	24 ktCO ₂ e (4)		75 ktCO ₂ e (1)		99 ktCO ₂ e (7)
CCX		388 ktCO ₂ e (58)	245 ktCO ₂ e (15)			6455 ktCO ₂ e (65)	7087 ktCO ₂ e (138)
VCS		75 ktCO ₂ e (19)	651 ktCO ₂ e (20)		27 ktCO ₂ e (1)		752 ktCO ₂ e (15)
CAR		127 ktCO ₂ e (15)					127 ktCO ₂ e (15)
ACR		5 ktCO ₂ e (1)					5 ktCO ₂ e (1)
GS	5 ktCO ₂ e (2)	0 ktCO ₂ e (2)	0 ktCO ₂ e (2)				5 ktCO ₂ e (6)
Totaux sous-secteurs	5 ktCO₂e (2)	2431 ktCO₂e (312)	4987 ktCO₂e (351)	0 ktCO₂e (1)	102 ktCO₂e (2)	6455 ktCO₂e (65)	13979 ktCO₂e (733)

Note : les nombres entre parenthèses correspondent au nombre de projets enregistrés. L'information sur le nombre de projets en cours de validation pour les standard CCX et VCS n'est pas accessible.

Source : CDC Climat Recherche à partir de l' (UNEP RISOE), le registre des projets (CCX registry), le registre des projets (VCS registry), le registre des projets (ACR), le registre des projets (CAR), le registre des projets GS (The Gold Standard)

Les projets touchent les sous-secteurs où la mesure est facile

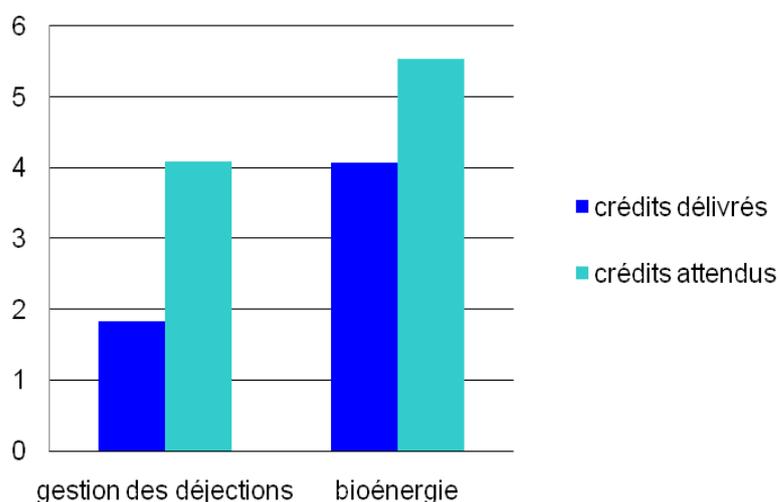
A l'exception notable du CCX qui vérifie la pratique, les réductions d'émission ne sont valorisables dans un label de compensation carbone que lorsqu'on peut mesurer les émissions ou la séquestration. Or les émissions du secteur agricole sont en général difficiles à mesurer. Les mécanismes biochimiques à l'origine de ces émissions ne sont pas encore tous bien connus et dépendent de plusieurs paramètres (alimentation, race, âge, poids des animaux ; humidité, température, texture des sols ; ...). D'autre part, un changement de pratique agricole peut affecter plusieurs gaz (N₂O, CH₄, CO₂) et impliquer différents mécanismes de façon opposée. Par exemple, l'irrigation d'une culture permet d'améliorer le rendement et donc le retour de résidus au sol. Du carbone est ainsi stocké dans le sol. En revanche, l'eau, en s'infiltrant dans les espaces lacunaires du sol, favorise la formation de protoxyde d'azote (N₂O) et de méthane (CH₄). À cela s'ajoute les émissions de CO₂ liées à la consommation d'énergie utilisée pour l'irrigation.

Heureusement, toutes les sources d'émissions ne présentent pas la même difficulté. Il est possible de calculer de façon relativement précise la réduction d'émission de CH₄ et de N₂O dans un projet de méthanisation des effluents agricoles : les émissions évitées correspondent à la quantité de gaz capté par le méthaniseur. L'incertitude est également faible lorsqu'il s'agit de calculer les réductions d'émissions de CO₂ dues au remplacement d'énergie fossile par de la biomasse : il suffit de connaître le combustible qui était utilisé précédemment, et d'évaluer la quantité de ce combustible nécessaire pour produire l'énergie obtenue par la combustion de biomasse. Il en va de même pour les projets visant à réduire la consommation énergétique au sein de l'exploitation. En revanche, le stockage de carbone dans le sol par l'arrêt du labour ou encore les émissions de N₂O provenant de la fertilisation azotée sont beaucoup plus compliqués à calculer. Les niveaux d'incertitude sur leurs facteurs de séquestration et d'émission sont respectivement 50% et 200% (source : CITEPA).

Les projets ayant pu être mis en place sont ceux pour lesquels le calcul des émissions du scénario de référence et du projet, n'implique pas de trop grandes incertitudes. Lors de

l'élaboration du document descriptif du projet, l'estimation des émissions du scénario de référence et du projet doit mettre en évidence les incertitudes. Elles doivent être explicitées pour chaque paramètre et dans la mesure du possible, un intervalle de confiance à 95 % doit être fourni. D'autre part, le scénario de référence doit être calculé de manière conservatrice. Le porteur de projet doit prendre ses précautions pour éviter que la projection de ce scénario ne conduise à une surestimation des réductions d'émissions du projet. En cas de doute, les valeurs permettant d'obtenir la référence la plus basse doivent être utilisées. Plus l'incertitude est grande, plus le porteur de projet va devoir amputer ses droits aux crédits pour respecter le principe de conservation. Cela explique la faible diversité des projets agricoles. En effet, pour les standards MDP, MOC et VCS, on trouve uniquement des projets de type « méthanisation des effluents d'élevage » et « bioénergie ». Cependant, dans la pratique, la quantité de crédits délivrés pour un projet agricole est généralement inférieure à la prévision qui était faite. Pour les projets MDP, les réductions d'émissions effectivement réalisées représentent 61 % de ce que l'on peut trouver dans le document descriptif du projet (Figure 12). C'est mieux que les projets de type « gaz de décharge », qui ne délivrent que 41 % des crédits attendus, mais moins bien que les projets de gaz industriels, qui surperforment de 108 % à 115 % suivant les gaz considérés.

Figure 12 – Comparaison entre les crédits délivrés et les crédits qui étaient attendus pour les projets MDP (MtCO₂/an)



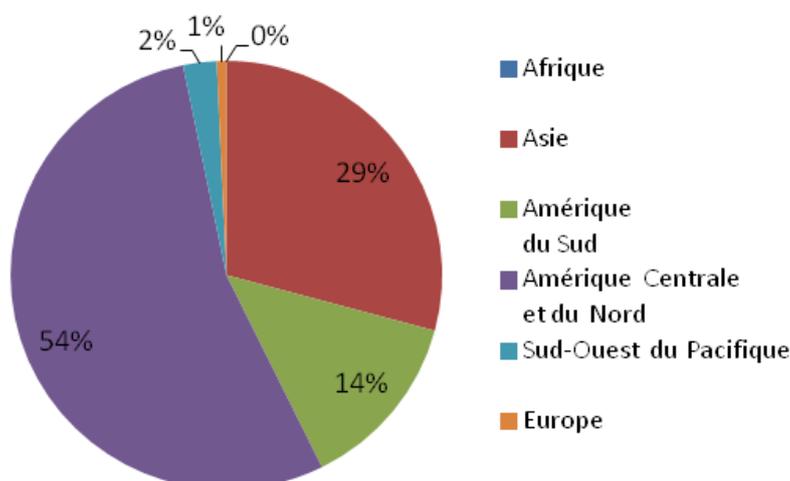
Source : (UNEP RISOE 2011).

Le cas du standard CCX est un peu à part. Il a opté pour un suivi basé sur les pratiques et non sur la réduction réelle des émissions et a des exigences plus modestes en termes d'additionnalité. Ce qui explique l'importance des projets « séquestration du carbone dans les sols ». Cette approche a permis le développement de nombreux projets agricoles, mais elle n'est pas sans conséquence. En effet, ces moindres exigences ont un impact sur la confiance des acheteurs et donc sur le prix des crédits CCX qui est plus faible.

B. Des projets agricoles inégalement répartis entre les régions

La quantité de crédits délivrés n'est pas liée géographiquement au potentiel d'atténuation et aux émissions. L'Amérique Centrale et du Nord a généré le plus de crédits carbone alors qu'elle présente le plus faible potentiel d'atténuation. A l'inverse, l'Afrique, dont le potentiel d'atténuation correspond au double de celui de l'Amérique Centrale et du Nord, n'a pas généré de crédit carbone pour le moment (Figure 13).

Figure 13 – Répartition régionale des crédits délivrés, tous standards confondus



Total des crédits délivrés : 14 MtCO₂e/an

Note : l'information sur le nombre de projets en cours de validation pour les standard CCX et VCS n'est pas accessible.

Source: CDC Climat Recherche à partir de l' (UNEP RISOE), le registre des projets (CCX registry), le registre des projets (VCS registry), le registre des projets (ACR), le registre des projets (CAR), le registre des projets GS (The Gold Standard).

L'Amérique du Nord est surreprésentée, plus grâce aux très nombreux crédits délivrés par le CCX, basé à Chicago, que du fait d'un gisement important de réduction. L'Asie a réussi à attirer la majorité des projets, principalement enregistrés auprès du MDP, en agriculture comme dans les autres secteurs, alors que la part de l'Afrique est nulle. Contrairement aux secteurs industriels et énergétiques où ses émissions sont faibles, l'Afrique présente un réel potentiel d'atténuation sur son secteur agricole. L'absence de crédits africains semble indiquer que les barrières à l'investissement créées par un contexte géopolitique difficile ont prévalu, notamment pour les bioénergies. Les projets de méthanisation sont quant à eux difficiles à réaliser sur les systèmes nomades ou extensifs, qui sont importants en Afrique. En Europe, les projets MOC touchant le secteur agricole sont encore peu nombreux. Cependant, ce secteur semble difficile à intégrer dans un système de « cap-and-trade » tel que le système européen d'échange de quotas et de ce fait, les projets agricoles de type MOC devraient se développer.

C. Plusieurs labels pour différents types de projets

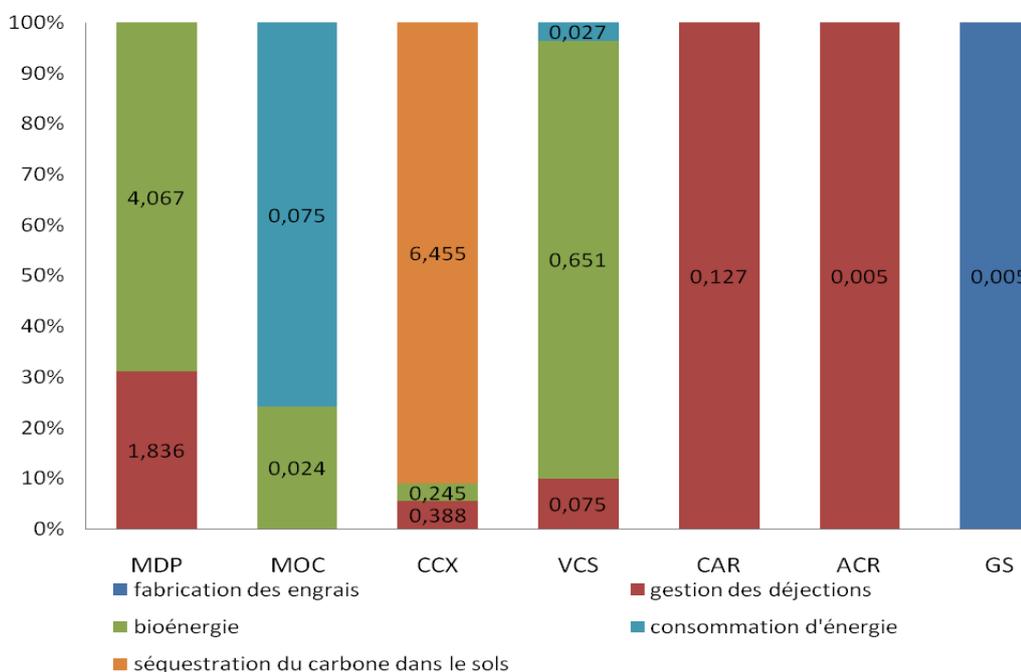
La grande majorité des projets carbone agricoles sont des projets MDP. Le label CCX arrive en première position en termes de crédits délivrés par an et en deuxième position en termes de nombre de projets enregistrés. Il apporte de la diversité avec ses projets de séquestration du carbone dans le sol. Concernant le standard VCS, sur les 40 projets enregistrés, la moitié sont des projets pré-MDP²⁷. Les autres standards sont pour le moment très peu développés dans le secteur agricole.

Les standards MDP et VCS ont un profil relativement proche (Figure 14). Cela s'explique en partie par le fait que la moitié des projets VCS sont des projets pré-MDP. Le standard CCX a un profil différent du fait de méthodes de suivi simplifiées. Le standard CCX impose la vérification de la bonne application des pratiques, mais ne mesure pas les réductions réelles des émissions.

²⁷ Depuis le 31 mars 2007, le « retro-crediting » n'est plus autorisé pour les projets MDP : seules les réductions d'émissions réalisées après l'enregistrement du projet peuvent être valorisées. Certains porteurs de projet font rapidement enregistrer leur projet sous un standard volontaire tel que le VCS pour générer des crédits carbone en attendant l'enregistrement par le Conseil exécutif du MDP. Cette démarche est appelée « pré-MDP »

Cela explique la part importante de projets de type « arrêt du labour » entrant dans le sous-secteur « séquestration du carbone dans le sol ». Concernant les projets MOC, aucune leçon ne peut être tirée pour le moment, dans la mesure où seulement deux projets ont émis des crédits.

Figure 14 – Répartition sous-sectorielle des crédits délivrés par an pour chacun des standards (MtCO₂e par an)



Note : le calcul des crédits délivrés à été fait de la manière suivante :

- Pour les projets MDP et MOC: les crédits délivrés par projet ont été ramenés à une période de un an en divisant par la période de comptabilisation. Les crédits moyens délivrés par an ainsi obtenus pour chaque projet ont été additionnés pour obtenir les crédits totaux délivrés par an.

- Pour les projets VCS, CCX et CAR, ACR et GS : les crédits délivrés par an correspondent à la somme des moyennes des crédits délivrés chaque année par projet.

Source : CDC Climat Recherche.

La délivrance des crédits par standard et dans le temps est figurée en annexe 8.

D. Des émissions diffuses, avec comme conséquence des coûts de transaction élevés

Une des caractéristiques essentielles du secteur agricole est le caractère diffus de ses émissions. Les émissions du secteur agricole sont certes importantes (c'est le troisième contributeur mondial de gaz à effet de serre), mais elles se répartissent relativement équitablement sur des milliards d'exploitants et d'hectares de terres cultivées. Les crédits dégagés à l'échelle de l'exploitation ne permettent pas forcément de compenser les coûts de transaction – développement méthodologique, montage de projet, audit, enregistrement, suivi des émissions, commercialisation des crédits – associés à la valorisation des réductions d'émissions.

Deux stratégies se dégagent pour rendre viables des projets agricoles en dépit de ces coûts de transaction : l'agrégation et la répliquabilité.

L'agrégation consiste à partager les coûts de transactions, en grande part fixes, sur une masse plus importante de réduction d'émissions. C'est le cas du projet domestique CO₂ – déclinaison française de la MOC – de déshydratation de la luzerne où le développeur de projet est la coopérative Luzéal, Coop de France Déshydratation, et non chaque producteur de luzerne individuellement. La coopérative promeut la pratique de déshydratation en plein champ auprès de ses adhérents, assure elle-même le montage administratif du projet et la première étape de la commercialisation des crédits (Encadré 2).

Encadré 2 – Projet domestique de déshydratation de la luzerne

La luzerne déshydratée est un aliment de qualité pour les animaux mais sa fabrication est consommatrice d'énergie.

Deux types de projets ont été mis en place en France dans cette filière :

- un projet d'économie d'énergie : le préfanage à plat consiste à étaler la luzerne fauchée pour un premier séchage au soleil pendant quelques heures. Près de 20% d'économies d'énergie sont ainsi obtenus.
- Un projet de substitution de l'énergie fossile par de la biomasse : le four de séchage de la luzerne fonctionnait au combustible fossile. Des plaquettes forestières issues du broyage de bois y sont désormais incorporées.

Le nombre de crédits attendus pour ces deux projets est de 800 000 tonnes de CO₂ entre 2008 et 2012, dont 194 000 ont déjà été délivrés en mars 2011.

La répliquabilité consiste à mettre en place de nombreux projets sur le même modèle : cela n'affecte pas les coûts de mesure liés au caractère diffus des émissions, mais permet de réaliser des économies sur d'autres postes comme le développement de la méthodologie – de l'ordre de 100 000 € (Chenost, et al. 2010) – ou du document descriptif de projet (PDD)²⁸ – 40 000 € (Guigon, Bellassen et Ambrosi 2009) (2009).

Cette stratégie a été largement adoptée dans le cas du MDP où un même développeur de projets va répliquer plusieurs fois le même projet, souvent dans une région donnée :

- **AgCert**, a développé 170 projets de méthanisation des déjections animales répartis entre le Brésil et le Mexique.
- **Agrinergy**, est à l'origine du 1^{er} projet « bagasse ». Il possède un portefeuille diversifié de projets, principalement spécialisé dans les bioénergies (notamment dans les projets bagasse, mais aussi balles de riz et résidus de palme). Ses projets sont situés uniquement en Inde, à part un projet situé en Thaïlande. En plus de mettre en place des projets, Agrinergy développe de nouvelles méthodologies.
- **Ecosecurities**, aide à la mise en place de projets MDP et volontaires principalement de méthanisation des déjections et de biomasse (bagasse) localisés en Asie. Il a également développé un projet de bagasse au Maroc. Tout comme Agrinergy, il développe de nouvelles méthodologies.
- **Bunge Emission group** investit dans les projets MDP et en développe d'autres : plusieurs projets biomasse (balle de riz) en Inde ainsi que deux projets de méthanisation des déjections animales au Mexique.
- **Trading Emissions PLC** est un fond d'investissement carbone qui a acheté des crédits carbonés issus de plusieurs projets identiques de méthanisation des effluents d'élevage aux Philippines

²⁸ Le PDD est le document qui décrit toutes les modalités du projet et notamment les méthodes de calcul des réductions d'émissions.

Les projets sont d'autant plus faciles à mettre en place et à répliquer qu'ils s'inscrivent dans une filière structurée où les différents acteurs sont bien identifiés (balles de riz en Inde, bagasse au Brésil, ...)

E. Adaptabilité au contexte local et caractère pionnier des mécanismes de projets

En théorie, les mécanismes de projets présentent deux avantages par rapport aux politiques publiques de plus grande échelle comme la politique agricole commune (PAC) : ils peuvent s'adapter facilement au contexte d'un territoire – l'adaptation n'a pas à être prévue dans la politique puisque les porteurs de projets locaux élaborent eux-mêmes les méthodes de réductions d'émissions – et ils peuvent servir de test avant la généralisation d'une pratique, par exemple au moyen d'une réglementation.

Cette théorie est partiellement corroborée par les exemples étudiés : les penseurs du MDP n'avaient sans doute pas prévu que les Indiens s'en serviraient sur la balle de riz dont ils disposent et que les Brésiliens l'adapteraient à la bagasse qui est abondante chez eux.

F. Gestion de la réversibilité du stockage : crédits temporaires ou assurance

Le stockage du carbone dans le sol est le premier levier d'action pour réduire l'impact du secteur agricole sur les émissions de gaz à effet de serre. Un exemple de pratique allant dans ce sens, est le travail simplifié des sols (travail superficiel, non-labour...). Cependant, le stockage est réversible : s'il y a reprise du labour, le carbone accumulé peut être perdu en quelques années.

Ce problème de non-permanence existe également dans le secteur forestier. En effet, la plantation d'arbres, permet de stocker du carbone tant que les arbres restent en place. Si un incendie se déclare ou si une tempête ravage la forêt, le stock de carbone accumulé se retourne alors dans l'atmosphère. Des solutions ont été mises en place pour pallier ce risque :

- Les projets MDP de plantation – le stockage dans les sols agricoles ne peut faire l'objet d'un projet MDP – génèrent des CER temporaires. Ces crédits temporaires ont une durée de validité de 5 ans (pour les tCER, les plus couramment utilisés) au bout de laquelle ils doivent être remplacés par d'autres crédits temporaires ou permanents. Ce mécanisme est très contraignant pour les acheteurs de crédits carbone et les régulateurs des marchés – l'EU ETS ne permet ainsi pas l'utilisation des crédits forestiers – et de ce fait, les projets forestiers rencontrent un succès très limité dans le MDP.

- Pour la plupart des labels volontaires, un système de mutualisation du risque a été mis en place. Une partie des crédits générés est mis en réserve dans un fond d'assurance commun à l'ensemble des projets présentant un risque de non-permanence (projet de séquestration dans le sol et projets forestiers). Ainsi, dans le cas où le carbone séquestré est réémis à cause d'un événement extrême non gérable par le porteur du projet, les crédits carbone déjà vendus sont remplacés par les crédits accumulés dans le fond d'assurance par les projets toujours en place. Ce mécanisme permet de garantir aux acheteurs de crédits carbone la permanence de leur compensation sans avoir à se préoccuper eux-mêmes du remplacement des crédits. Il semble de ce fait remporter plus de succès que le système des crédits temporaires.

- Le label ACR propose une troisième voie sous la forme d'une assurance pour pallier au risque de réversibilité. Les porteurs de projet doivent verser une somme initiale dans un fond commun. Le montant dépend de la région où est implanté le projet, du type de forêt, de sa gestion... et doit permettre de racheter un nombre d'ERT suffisant pour compenser un éventuel retour du carbone stocké vers l'atmosphère. Aucun projet ACR n'a pour l'instant opté pour ce schéma.

CONCLUSION

L'agriculture étant à la fois une grande contributrice aux émissions de gaz à effet de serre et un gisement important de réduction d'émissions, il est nécessaire de mettre en place des solutions visant à diminuer son impact sur le changement climatique. Les projets de « compensation carbone » sont une solution parmi d'autres qui a permis jusque là de réduire les émissions du secteur agricole de 14 MtCO₂e par an en moyenne. Ce chiffre est très faible par rapport au potentiel d'atténuation de ce secteur et concerne un nombre de sous-secteurs restreint (séquestration du carbone dans les sols, bioénergies et gestion des déjections). Le faible développement des projets agricoles s'explique par les caractéristiques intrinsèques au secteur agricole : les émissions sont diffuses, ce qui engendre des coûts élevés. D'autre part, les mécanismes physicochimiques impliqués dans les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas toujours bien connus et les facteurs d'émissions associés sont parfois très imprécis. Les types de projets qui ont vu le jour sont justement ceux où les incertitudes sont les moins grandes (substitution de l'énergie fossile par les bioénergies, méthanisation des effluents d'élevage). Le troisième type de projet s'étant particulièrement développé ne répond pas à cette règle : ce sont les projets d'arrêt du labour sous le standard CCX. Cela s'explique par le fait que ce label vérifie les pratiques et non les réductions d'émissions.

Toutefois, même si les projets agricoles sont encore peu développés, leur nombre augmente chaque année et de nouvelles méthodologies innovantes apparaissent. Il existe plusieurs raisons à cela :

- L'épuisement des gisements de réduction des émissions à faibles coûts pour les premiers secteurs à avoir mis en place des projets de compensation carbone, tel que le secteur industriel. Les investisseurs sont donc amenés à se tourner de plus en plus vers les projets agricoles.
- La restriction qualitative sur les crédits carbone générés par le secteur des gaz industriels de type HFC-23 et N₂O acide adipique dans le cadre de la phase III du système européen d'échange de quotas.
- Le secteur agricole est perçu comme l'un des plus difficiles à intégrer dans un système de quotas échangeables. Il risque donc de demeurer longtemps sous le régime de la compensation carbone dans de nombreux endroits.

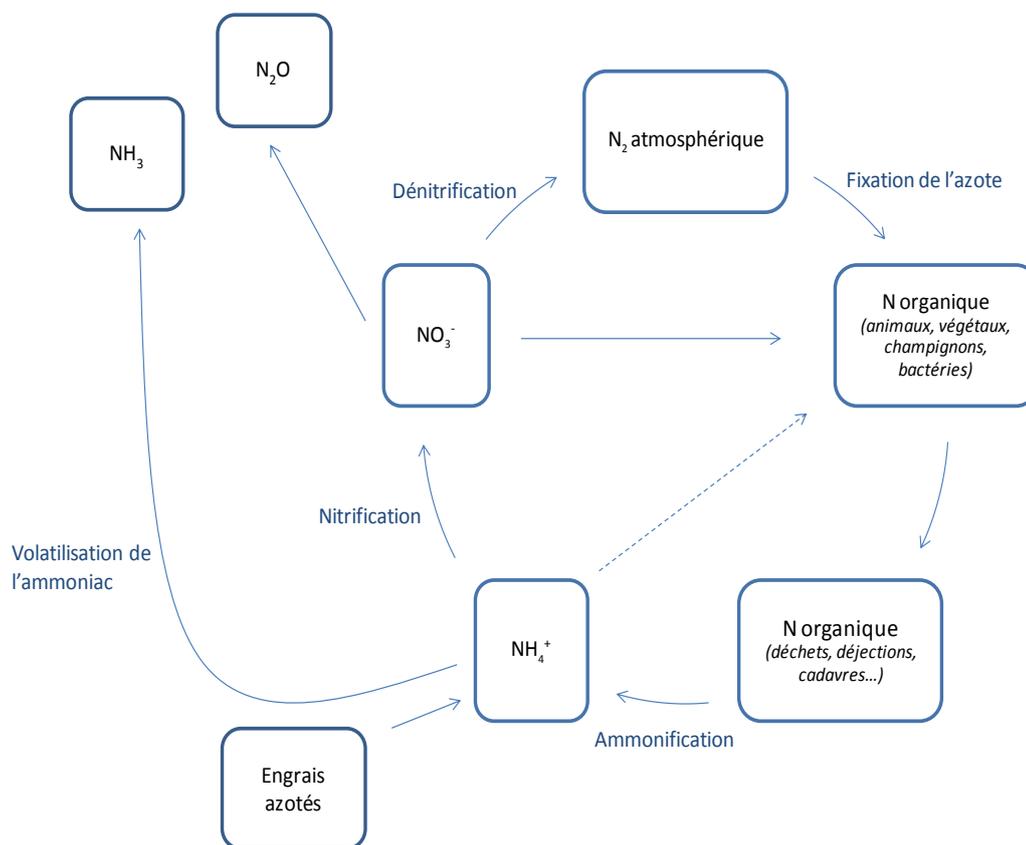
Cet outil a cependant ses limites et d'autres options pourraient être envisagées. A l'échelle européenne, la Politique Agricole Commune, qui va être révisée en 2013, réfléchit à l'intégration de la problématique des émissions de gaz à effet de serre (ce qui n'est pas le cas de façon directe à l'heure actuelle). Une autre solution serait d'inclure le secteur agricole dans le système européen d'échange de quotas, à l'instar du marché carbone néo-zélandais.

ANNEXES

Annexe 1 – Les cycles de l’azote et du carbone

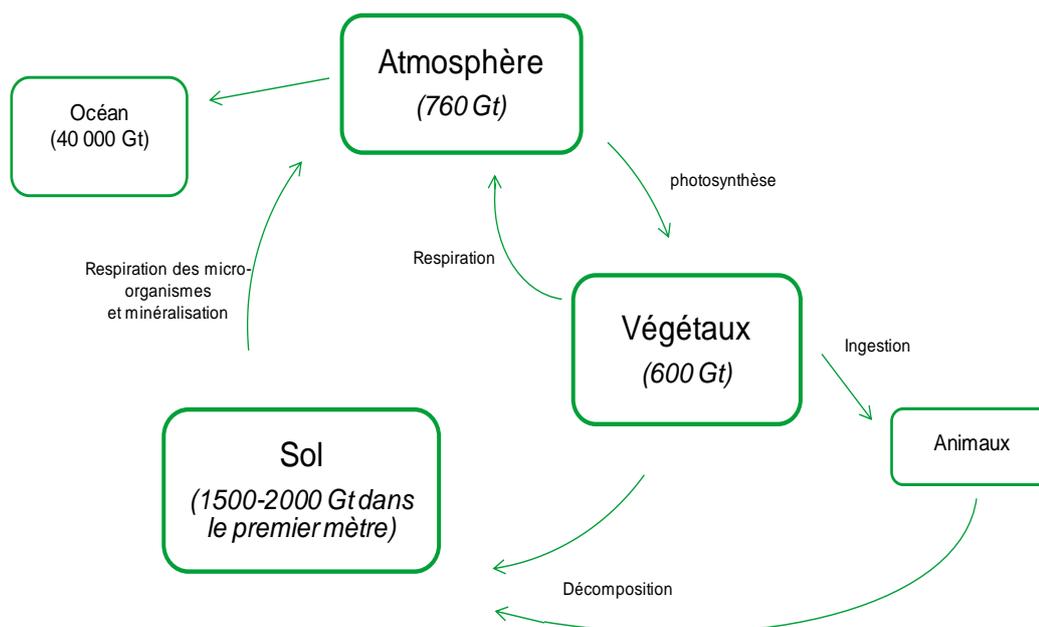
Le cycle de l’azote

L’apport d’engrais azotés et la décomposition de la matière organique permettent d’enrichir le sol en azote sous sa forme ammoniacale (NH_4^+). Les bactéries nitrifiantes du sol permettent la transformation du NH_4^+ en nitrate (NO_3^-) correspondant à la forme absorbable de l’azote par les plantes. Une partie du nitrate ainsi formé, est transformée directement sur place en N_2O par les bactéries dénitrifiantes, on parle alors d’émissions directes. Une autre partie, lessivée, se retrouve dans les cours d’eau et engendrera des émissions indirectes de N_2O ailleurs que sur la surface fertilisée. D’autres émissions indirectes sont dues à la volatilisation des composés azotés tels que le NH_3 et les NO_x lors de l’épandage d’engrais qui se redéposent par la suite et engendrent à leur tour des émissions de N_2O . Les légumineuses, quant à elles, ont la particularité de pouvoir absorber l’azote de l’air grâce à la formation de symbioses avec des bactéries aérobies du sol : les rhizobiums. Cela permet d’enrichir le sol en azote et est à l’origine d’émissions de N_2O par dénitrification, comme exposé précédemment.



Le cycle du carbone

Les végétaux sont capables d’absorber le carbone atmosphérique (CO_2) et de le transformer en carbone organique, en présence de lumière. Ce phénomène est appelé la photosynthèse. Une partie de la biomasse sera ingérée par d’autres organismes vivants et une autre partie sera décomposée par les micro-organismes du sol à l’origine des émissions de CO_2 par les sols. Le cycle du carbone est résumé dans le graphique suivant. Les chiffres représentent la quantité de carbone présent dans les différents compartiments.



Annexe 2 – Estimation des émissions dans le monde

Production d'engrais

Les émissions dues à la production d'engrais représentent 1,2 % des émissions mondiales (Kongshaug 1998). Les émissions totales étaient en 2005 de 44,2 GtCO₂eq.

$$1,2 \% \times 44,2 = 0,53 \text{ GtCO}_2\text{e}$$

Conversion des terres

Les émissions prises en compte pour ce sous-secteur correspondent à l'ensemble des émissions liées à la conversion des terres forestières, des zones humides et des prairies en terres cultivées. L'utilisation du bois commercial et de chauffage comme cause de déforestation a donc été négligée dans cette étude.

Consommation d'énergie

D'après *Baumert et al* (2005), les émissions de GES en 2000, tous secteurs confondus, étaient de 41 755 MtCO₂e. 15 % de ces émissions proviennent du secteur agricole en prenant en compte les émissions dues à la consommation d'énergies fossiles et d'électricité. Les émissions du secteur agricole en 2000 sont donc de $0,15 \times 41,755 = 6,26 \text{ GtCO}_2\text{e}$. Sur ces émissions, 9 % sont dues à la consommation d'énergies fossiles et d'électricité, soit $0,09 \times 6,26 = 0,564 \text{ GtCO}_2\text{e}$.

Irrigation

Plusieurs sources d'émissions pourraient être prises en compte :

- Les émissions de CO₂ dues à la consommation d'énergie
- Les émissions de méthane dues à la fermentation de la Matière Organique dans les sols saturés en eau
- Les émissions de N₂O dues au manque d'aération des sols

Il faut également noter que l'irrigation permet un meilleur rendement et donc une plus grande quantité de résidus de culture susceptibles de retourner au sol.

Les deux derniers points étant difficiles à appréhender (ils dépendent des sols, du climat, du type de culture...), on s'intéresse ici uniquement aux émissions de CO₂ dues à la consommation énergétique.

On distingue deux types d'irrigation :

- L'irrigation gravitaire qui ne nécessite pas d'énergie pour pomper l'eau et n'émet donc pas de CO₂.
- L'irrigation par pompage.

Seule l'eau souterraine nécessite un pompage. Sur les 300,9 millions d'hectares irrigués, 112,9 millions utilisent de l'eau souterraine, soit 37,5 % de la surface totale irriguée (FAO, AQUASTAT 2010).

La source d'énergie utilisée pour les pompes est soit le diesel, soit l'électricité. L'électricité présentant un certain nombre d'avantages, elle sera favorisée par les agriculteurs dès que possible sur les petites exploitations. D'autre part, le développement de l'électrification rurale peut se représenter par l'évolution de la proportion de villages raccordés au réseau électrique.

Pour l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Australie/Nouvelle-Zélande, nous faisons l'hypothèse que les proportions des différentes sources d'énergies sont similaires à celles des Etats-Unis, données dans le tableau 4. Les superficies irriguées par pompage pour ces régions sont respectivement 19,1, 7,3 et 0,9 Mha. L'estimation qui en résulte est de 5 350 kC/an.

→ $196 \times (19,1 + 7,3 + 0,9) = 5\,350$ ktC/an pour l'irrigation pour les zones Amérique du Nord, Europe et Australie/Nouvelle-Zélande cumulées.

Pour l'Asie, l'Amérique du Sud et centrale et les Caraïbes nous considérons que les sources d'énergie pour l'irrigation sont pour moitié l'électricité et pour autre moitié le diesel. Le facteur d'émissions par surface est $171 + 236 = 203,5$ kC/ha/an (voir tableau 4). Les superficies irriguées par pompage pour ces régions sont respectivement 80,6 et 2,4 Mha. L'estimation qui en résulte est de 16 890 kC/an.

→ $203,5 \times (80,6 + 2,4) = 16\,890$ ktC/an pour l'irrigation pour les zones Asie, Amérique centrale et du Sud et Caraïbes cumulées.

Pour l'Afrique nous considérons que les sources d'énergie pour l'irrigation sont pour 25 % l'électricité et pour 75 % le diesel. Le facteur d'émissions par surface est $171 \times 0,25 + 236 \times 0,75 = 219,75$ kC/ha/an (voir tableau 4). Les superficies irriguées par pompage pour cette région sont de 2,5 Mha. L'estimation qui en résulte est de 549 kC/an.

→ $219,75 \times 2,5 = 549$ ktC/an pour l'irrigation pour les zones Asie, Amérique centrale et du Sud et Caraïbes cumulées. Pour avoir les émissions de CO₂ on multiplie le résultat par 44/12 :

$(5\,350 + 16\,890 + 549) \times 44 / 12 = 83\,560$ M kg CO₂/an = 83,56 MtCO₂/an

Table 4
Energy sources, area, and C emissions for irrigated cropland in the United States

Energy source	Area irrigated ^a		CO ₂ -C	
	By pumping (ha)	Energy use (Quads yr ⁻¹)	C-emission (MMTC yr ⁻¹)	Emission (kg C ha ⁻¹ yr ⁻¹)
Electricity ^b	8157210	0.1216	1.39	171
Natural gas	2463418	0.0406	0.59	239
Propane	660139	0.0032	0.06	85
Diesel	4160861	0.0491	0.98	236
Gasoline	64356	0.0011	0.02	334
Pumping (total)	15505994		3.04	196
All irrigated (total)	20246509			150

^a USDA, 1997b.

^b Electricity for irrigation in the US was estimated to be generated by 45% from coal, 40% from hydro-electric, and 15% from nuclear power.

Source : (Follett 2001)

Pour le reste des émissions, les chiffres proviennent directement du rapport FARM (2010).

Annexe 3 – Estimation du potentiel d'atténuation dans le monde

Conversion des terres forestières en terres agricoles

Le potentiel d'atténuation est issu de Bellassen et al. (2008).

Cultures et pâturages, élevage et riziculture

D'après Smith et al (2007), le potentiel d'atténuation global dans le secteur agricole est de 6 GtCO₂e avec 2 % pour les cultures et pâturages, 4,5 % pour l'élevage et 4,5 % pour la riziculture. Les 89 % restant correspondent à la séquestration du carbone dans le sol. On obtient donc les valeurs d'atténuation suivantes :

- Cultures et pâturages : 2 % × 6 = 0.12 GtCO₂e
- Elevage : 4,5 % × 6 = 0.27 GtCO₂e
- Riziculture : 4,5 % × 6 = 0.27 GtCO₂e

(Note : la capacité de stockage est donc de 89 % × 6 = 5,34 GtCO₂e)

Production d'engrais

Le potentiel d'atténuation repose sur l'hypothèse qu'une réduction de 20% de la consommation en engrais azotés est réalisable dans les pays industrialisés. La même hypothèse est utilisée par Smith et al (2007) pour estimer le potentiel d'atténuation du sous-secteur « cultures et pâturages ». On considère donc que le potentiel d'atténuation lié à la production d'engrais correspond à 20 % des émissions actuelles soit :

$$20 \% \times 530 = 106 \text{ MtCO}_2\text{e.}$$

Irrigation

Les 100 MtCO₂e de potentiel d'atténuation proviennent du rapport de Smith et al (2007). Ils prennent en considération le fait qu'une meilleure gestion de l'eau entraîne une meilleure séquestration du carbone dans le sol.

Consommation d'énergie

L'hypothèse utilisée est la même que pour la France (Leseur 2006), soit un potentiel d'atténuation de 4 % par rapport aux émissions annuelles dues à la consommation d'énergie, soit :

$$560 \times 0,04 = 22 \text{ MtCO}_2\text{e}$$

Combustion de MO

La combustion de MO correspond principalement à la culture sur brûlis et à la mise à feu de certaines cultures (notamment la canne à sucre) pour faciliter la récolte. Il existe maintenant des machines agricoles permettant de récolter la canne à sucre sans mettre le champ en feu au préalable.

Les émissions comptabilisées concernant la combustion de MO prennent en compte uniquement le CH₄ et N₂O. Il est difficile de prévoir le potentiel d'atténuation pour ce sous-secteur car, outre la réduction des émissions de N₂O et CH₄, l'arrêt de cette pratique peut également avoir un impact sur la séquestration du carbone dans le sol.

On considère dans cette étude que le potentiel technique d'atténuation correspond à l'arrêt total de ces pratiques, soit les émissions actuelles de 700 MtCO₂e/an.

Bioénergies

Les 16 GtCO₂e correspondent au potentiel économique pour un prix du carbone à 137 €/tCO₂e d'après Smith et al (2007).

Annexe 4 – Estimation des émissions en France

Cultures et pâturages, fermentation entérique, déjections animales, riziculture et consommation d'énergie

Les données sont issues de l'inventaire national soumis à l'UNFCCC (CITEPA 2011).

Production d'engrais

La valeur a été trouvée de la manière suivante :

Emissions dues à l'utilisation d'engrais = Q × EEP

Q : quantité d'azote utilisée en France

EEP : émissions en tCO₂/t d'azote produit

Avec :

EEP = 5,1 tCO₂ par tonne d'azote (Leseur 2006)

Q = 2 100 000 t pour la campagne 2009/2010 (UNIFA)

Emissions dues à la production d'engrais azotés en France = 2,1 × 5,1 = 10,7 MteqCO₂e par an

D'autre part, la production d'engrais azotés représente 80 % des émissions liées à la production d'engrais. Les émissions liées à la production d'engrais sont donc de 13,4 MtCO₂e par an.

Annexe 5 – Estimation du potentiel d'atténuation en France

Tous sous-secteurs (hors production d'engrais)

Les hypothèses et données sont reprises directement de Leseur, 2006.

Production d'engrais

Le potentiel de réduction des émissions a été calculé de la manière suivante : on considère que l'on peut réduire de 10 % les émissions de N₂O liées à la fertilisation azotée minérale en France (Leseur 2006), soit une réduction de 2,3 MteqCO₂/an, en mettant en place différentes techniques (limiter la surfertilisation, mise en place de CIPAN...). Sachant que l'inventaire national considère qu'une tonne d'azote sous forme d'engrais minéral émet environ 10,5 tCO₂e par des émissions directes et indirectes, on peut potentiellement réduire l'apport en engrais azotés de 2,3 / 10,5 = 0,22 MtN/an.

Or, nous considérons que la fabrication d'une tonne d'engrais entraîne l'émission de 5,1t de CO₂e lors de sa fabrication. Le potentiel de réduction concernant la production d'engrais est donc de 0,22 x 5,1 = 1,12 MtN/an.

Notons que le potentiel d'atténuation de la France à été calculé en considérant uniquement les changements de pratiques qui semblent facilement et rapidement réalisables alors que le potentiel d'atténuation à l'échelle mondiale correspond au potentiel technique maximal. Cela explique que les mêmes hypothèses n'ont pas été prises pour la France et le monde. Autrement dit, le potentiel mondial est surestimé par rapport au potentiel français et vice versa.

Annexe 6 – Calcul de la répartition mondiale des potentiels d'atténuation

Cultures et pâturages, rizicultures, fermentation entérique et gestion des déjections, engrais

Les potentiels d'atténuation ont été calculés en multipliant le potentiel d'atténuation de chaque sous-secteur à l'échelle mondiale par la part que représentent les émissions de chacune des régions pour le même sous-secteur :

$$A_{ij} = A_i \times E_{ij} / E_i$$

Avec :

i : le sous-secteur i

j : la région j

A : potentiel d'atténuation

E : émissions

Sources : Smith et al (2007) et Vergé et al (2006)

Séquestration du carbone dans les sols

Le potentiel régional d'atténuation pour les 4 premiers sous-secteurs ainsi que pour la séquestration du carbone dans le sol est donné par Smith et al (2007). Une simple soustraction a donc été réalisée.

Annexe 7 – Différence France/Monde pour le calcul des potentiels d'atténuation techniques

Toutes les pratiques retenues ne sont pas les mêmes entre La France et le monde (ex: Non prise en compte des Additifs alimentaires en France)

Monde: appliqué à toutes les surfaces, tous les cheptels concernés
France: appliqué aux surfaces sur lesquelles on pense qu'il est envisageable de mettre en place la pratique et aux élevages suffisamment grands .

Monde: non prise en compte de l'incompatibilité de certaines pratiques (ex: utilisation des résidus de cultures comme biocombustibles vs Restitution au sol.)

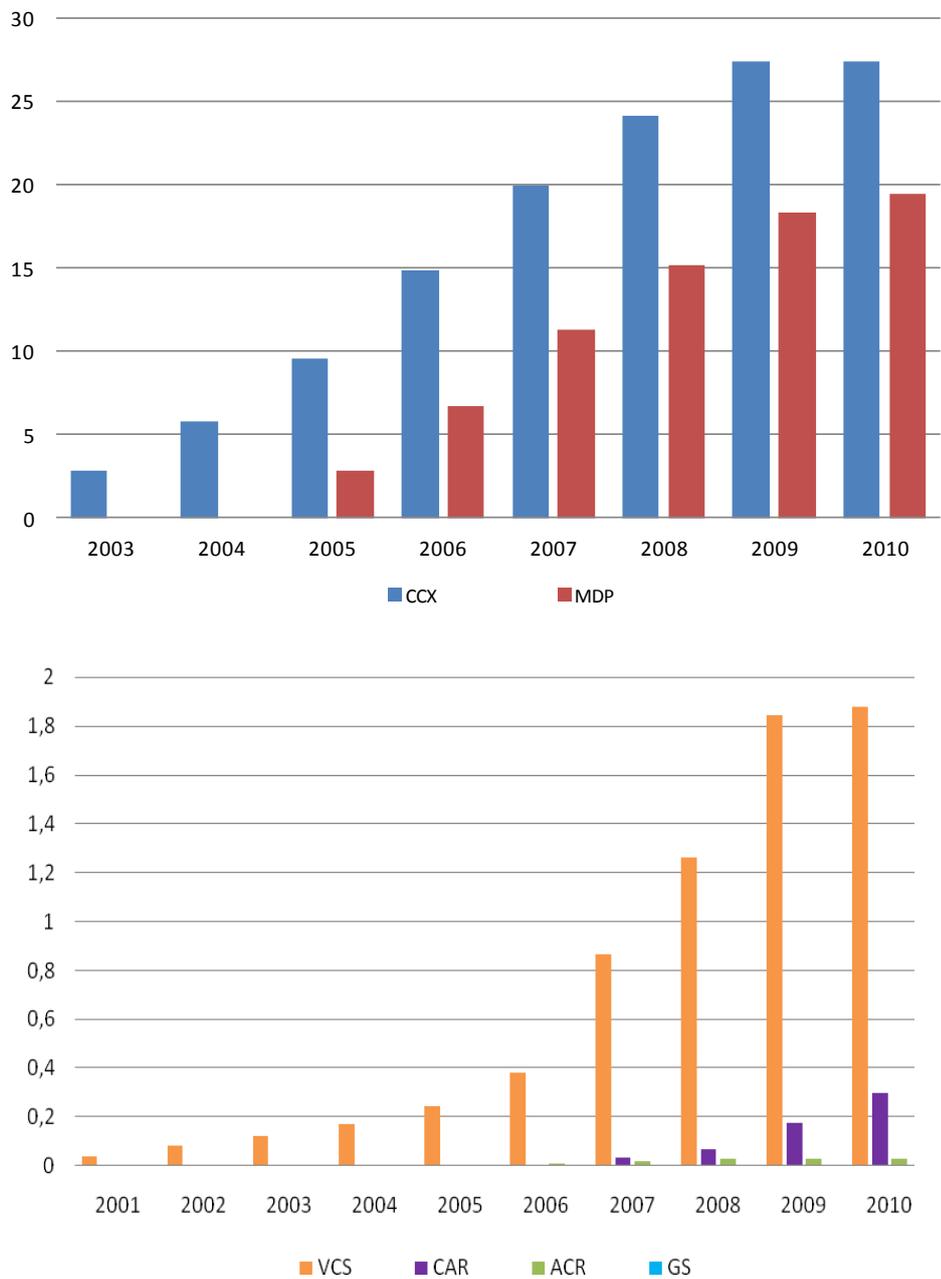
$$\sum_i \text{Facteur d'atténuation pour la pratique } i \times \text{Niveau d'application de la pratique } i \times \text{Facteur de correction} = \text{Potentiel d'atténuation global}$$

Monde: facteurs déclinés sous 4 zones climatiques (fortes imprécisions)
France: facteurs fournis par l'INRA, CEMAGREF...; adaptés au cas français (moins fortes imprécisions)

Monde: pondération uniquement pour les pratiques d'élevage. (tient compte de l'avancement technique des pays, des réglementations régionales et de la non-additionnalité des effets)
France: pas de facteur de pondération

Annexe 8 – Evolution de la quantité de crédits délivrés

Figure 15 – Délivrance cumulée de crédits « agricoles » par standard (MtCO₂)



Source : CDC climat recherche.

REFERENCES

- ACR. *American Carbon Registry*. <http://www.americancarbonregistry.org/carbon-registry/projects> (accès le aout 2011).
- Arrouays, Balesdent, Germon, Jayet, Soussana, & Stengel, Stocker du carbone dans les sols de France ? INRA, 2002
- Baumert, K. A., T. Herzog, et J. Pershing. *Navigating the Numbers Greenhouse Gas Data and International Climate Policy*. World Ressources Institute, 2005.
- Bellassen, V., R. Crassous, L. Dietzch, and S. Schwartzmann. "Reducing Emissions from Deforestation and Degradation: what Contribution from Carbon Markets?" *Climate Report n°14*, CDC Climat Research, Paris, France, 2008, 44.
- Bellora, Cecilia, et Laure Pollez. *L'agriculture peut-elle accéder aux marchés du carbone?* Fondation pour l'Agriculture et la Ruralité dans le Monde, 2010.
- CAR. *Climate Action Reserve registry*. <https://thereserve1.apx.com/myModule/rpt/myrpt.asp?r=111> (accès le aout 2011).
- Cartillier, Michel. «la révolution verte en Inde et le rôle des petites industries : le cas des pompes d'irrigation.» *Tiers-Monde*, 1977: 397-412.
- Cazeneuve, Pierre, Thuriane Mahé, et Julien Vert. «Le marché des engrais minéraux: état des lieux, perspectives et pistes d'action.» *Analyse n°15*. Centre d'Etudes et de Prospective, avril 2010.
- CCX registry. *CCX Offset Project Public Registry*. <https://registry.chicagoclimatex.com/public/projectsReport.jsp> (accès le aout 2011).
- Chenost, Clément, Yves-Marie Gardette, Julien Demenois, Nicolas Grondard, Martin Perrier, et Matthieu Wemaëre. *Les marchés du carbone forestier*. 2010.
- CITEPA. «Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France Séries sectorielles et analyses étendues.» Paris, 2011.
- CITEPA. «rapport national d'inventaire pour la France au titre de la convention cadre de nation unies sur les changements climatique et le protocole de Kyoto.» 2011.
- EPRI. «Aof Greenhouse Gas Emission Offsets Project Development and Approval Processes Comparison .» 2010.
- FAO. «AQUASTAT.» 2010. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/dbase/AquastatWorldDataFra_20101129.pdf.
- FAOSTAT. <http://faostat.fao.org/default.aspx>.
- FAOSTAT. 2011. <http://faostat.fao.org/> (accessed 07 27, 2011).
- Follett, R.F. «soil managment concepts and carbon sequestration in cropland soils.» *Soil and Tillage Research*, aout 2001: 77-92.
- GIEC. «2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use.» 2006.
- GIEC. *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport*. Genève, Suisse: GIEC, 2007.
- Guigon, Pierre, Valentin Bellassen, et Philippe Ambrosi. «Voluntary Carbon Markets: What the standards Say...» *Mission Climat Working Paper*, 2009.
- International Energy Agency. «comparative study on rural electrification policies in emerging economies keys to successful policies.» 2010.
- Joint Research Centre. «evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions.» 2010.
- Kongshaug, G. *Energy consumption and greenhouse gas emission in fertiliser production*. International Fertilizer Industry Association, 1998.
- Lal, R. «Carbon emission from farm operation.» *Environment International*, 24 mars 2004: 981-990.
- Leseur, Alexia. «Les marchés du carbone: quelle place pour l'agriculture française?» 2006.

- McCarl, Bruce A., and Uwe A. Schneider. "U.S. Agriculture's Role in a Greenhouse Gas Emission Mitigation World: An Economic Perspective." *review of agricultural economics*, 2000: 134-159.
- MEDDTL. *La forêt à l'international*. 2 mars 2011. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Quelles-sont-les-causes-de-la.html>.
- MEEDDM. «chiffres clés de l'énergie.» Paris, 2010.
- Netherlands Water Partnership. «l'Eau: des Solutions Simples et Économiques.» 2006.
- Peters-Stanley, M., K. Hamilton, T. Marcello, and M. Sjardin. *Back to the future - State of the Voluntary Carbon Markets 2011*. Washington, D.C.: Ecosystem Marketplace and Bloomberg New Energy Finance, 2011, 93 p.
- Pfaff, A., E.O. Sills, G.S. Amacher, M.J. Coren, K. Lawlor, and Streck C. *Policy Impacts on Deforestation - Lessons Learned from Past Experiences to Inform New Initiatives*. Duke University, USA: Nicholas Institute, 2010.
- Smith, P., et al. *Agriculture. In Climate Change 2007: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- «Greenhouse gas mitigation in agriculture.» *philosophical transactions of the royal society, biological sciences*, 6 septembre 2007: 789-813.
- Streck, Charlotte, Michael Coren, Sara J. Scherr, Seth Shames, Michael Jenkins, et Sissel Waage. «An African Agricultural Carbon Facility - Feasibility Assessment and Design recommendations.» 2010.
- The Gold Standard. <https://gs1.apx.com/myModule/rpt/myrpt.asp?r=111> (accès le aout 2011).
- UNEP RISOE. *UNEP RISOE CENTRE*. aout 2011. <http://uneprisoe.org/>.
- UNIFA. *la fertilisation en France*. <http://www.unifa.fr/le-marche-en-chiffres/la-fertilisation-en-france.html> (accès le aout 2011).
- US-EPA. «Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas emissions 1990-2020.» washington, 2006.
- Valentin Bellassen, Benoît Leguet,. *Comprendre la compensation carbone*. Paris: Pearson, 2008.
- VCS registry. *The VCS project database*. <https://vcsprojectdatabase1.apx.com/myModule/Interactive.asp?Tab=Projects&a=1> (accès le aout 2011).
- Vergé, X.P.C., C. De Kimpe, et R.L. Desjardins. «Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential.» *elsevier - agricultural and forest meteorology*, 21 juin 2006: 255-269.
- World Bank. «reduced emissions and enhanced adaptation in agricultural landscapes.» octobre 2009.
- World Bank. "State and Trends of the Carbon Market 2010." Washington D.C., 2011, 84 p.

DERNIERES PARUTIONS DE LA SERIE 'ETUDES CLIMAT' DE CDC CLIMAT RECHERCHE

- N° 30 **Le rôle des collectivités territoriales dans le soutien public aux énergies renouvelables**
M. JEULIN & A. DELBOSC - Novembre 2011
- N° 29 **La compensation carbone volontaire des collectivités : pratiques et leçons**
A. KEBE, V. BELLASSEN & A. LESEUR - Septembre 2011
- N° 28 **Design de systèmes d'échange de quotas d'émissions multisectoriels : une comparaison des expériences européennes et américaines**
C. GOUBET & A. DELBOSC - Mai 2011
- N° 27 **L'élaboration d'une politique nationale d'adaptation au changement climatique : retour sur cinq cas européens**
G. DUMOLLARD & A. LESEUR - Février 2011
- N° 26 **L'inclusion des émissions forestières et agricoles dans le nouveau marché carbone néo-zélandais**
O. SARTOR, M. DEHEZA, M. BELTON - Novembre 2010
- N° 25 **Emissions de gaz à effet de serre aux Etats-Unis : vers une réglementation par l'agence fédérale pour la protection de l'environnement**
C. GOUBET - Novembre 2010
- N°24 **Cancún : l'an un de l'après Copenhague**
H. CASELLA, A. DELBOSC & C. DE PERTHUIS - Octobre 2010
- N°23 **Les structure dédiée carbone en 2010 : investissements dans les crédits Kyoto et réductions d'émissions**
E. ALBEROLA & N. STEPHAN - Mai 2010
- N°22 **Infrastructures face aux changements climatiques : la réponse des investisseurs de long terme**
A. HOLM - Mai 2010
- N°21 **Les enjeux de l'adaptation au changement climatique**
M. MANSANET-BATALLER - Avril 2010
- N°20 **Valorisation carbone de la filière forêt-bois en France**
M. DEHEZA & V. BELLASSEN - Avril 2010
- N°19 **La politique climatique australienne**
O. SARTOR - Février 2010
- N°18 **Infrastructures de transport en France : vulnérabilité au changement climatique et possibilités d'adaptation**
I. T. COCHRAN - Septembre 2009
- N°17 **Financer l'adaptation aux Changements Climatiques**
A. DROUET - Avril 2009
- N°16 **Développement des énergies renouvelables : quelle contribution du marché carbone ?**
C. BORDIER - Décembre 2008

Toutes les publications de CDC Climat Recherche sont disponibles sur :

<http://www.cdcclimat.com>