



Fondation pour l'agriculture
et la ruralité dans le monde
RECONNUE D'UTILITE PUBLIQUE



Fondation pour l'agriculture
et la ruralité dans le monde
RECONNUE D'UTILITE PUBLIQUE

Adresse postale/postal address
Fondation FARM
91-93 boulevard Pasteur
75710 Paris cedex 15

Adresse physique/office location
59-61 rue Pernety
75014 Paris

Rendez-vous sur notre site Internet
More information on our website
www.fondation-farm.org

Courrier/e-mail : contact@fondation-farm.org

Cecilia Bellora
Laure Pollez

L'AGRICULTURE PEUT-ELLE ACCÉDER AUX MARCHÉS DU CARBONE ?

Version provisoire

DÉCEMBRE 2010





Fondation pour l'agriculture
et la ruralité dans le monde
RECONNUE D'UTILITE PUBLIQUE

L'agriculture peut-elle accéder aux marchés du carbone?

Cecilia BELLORA

Laure POLLEZ

Version provisoire - Décembre 2010

SOMMAIRE

RESUME.....	5
INTRODUCTION.....	6
Chapitre I : l’agriculture face au changement climatique	8
I-1 Le secteur agricole, émetteur de gaz à effet de serre.....	8
I-1.1 13,5% des émissions de gaz à effet de serre sont d’origine agricole.....	8
I-1.2 L’agriculture émet surtout des gaz autres le dioxyde de carbone.....	9
I-1.3 La géographie particulière des émissions agricoles	11
I-1.4 Des émissions en hausse.....	11
I-2 L’agriculture, un secteur particulièrement sensible aux conséquences du changement climatique	12
I-2.1 Des impacts globalement négatifs sur l’agriculture.....	12
I-2.2 Les effets du réchauffement climatique seront particulièrement forts en Afrique ..	15
I-2.2.1 Des températures moyennes en hausse et d’importantes variations des précipitations	15
I-2.2.2 Impacts sur les activités agricoles: une baisse de la productivité et des revenus	15
I-3 Le potentiel d’atténuation par l’agriculture est important mais dépend du prix qu’on est prêt à payer	17
Chapitre II : Quelle place pour l’agriculture dans les marchés du carbone ?	20
II-1 Les marchés carbone réglementés, une construction exigeante	21
II-1.1 Le marché international créé par le protocole de Kyoto est encore peu actif	21
II-1.2 Mais les mécanismes de flexibilité MOC et MDP du protocole de Kyoto sont déjà une réalité	23
II-1.3 Le marché européen est le plus important marché du monde et représente une incarnation solide du protocole de Kyoto	25
II-1.3 D’autres marchés règlementaires sont en projet	28
II-1.3.1 Des initiatives en Amérique du Nord.....	28

II-1.3.2 Les initiatives dans la zone Pacifique	29
II-2 Les marchés carbone volontaires sont plus flexibles et inventifs mais sont parfois moins exigeants	30
II-2.1 Le marché de Chicago est le principal marché volontaire organisé.....	31
II-2.2 Le marché japonais.....	32
II-2.3 les marchés de gré-à-gré, des volumes importants, difficiles à suivre	33
II-3 Les différents marchés font émerger un prix du carbone qui est intégré par les acteurs économiques.....	35
II-4 L'agriculture, oubliée des marchés du carbone ?	38
Chapitre III : Le potentiel d'atténuation agricole : qu'en est-il concrètement ? Comment le mettre en oeuvre ?	44
III-1 Les différents potentiels d'atténuation agricole	44
III-1.1 Petit rappel du cycle du carbone : échanges entre l'atmosphère et le sol.....	44
III-1.2 La place de l'agriculture dans le cycle du carbone.....	45
III-1.3 Le stockage du carbone dans les sols, principal potentiel d'atténuation agricole.	46
III-2 Les pratiques agricoles qui pourraient être rémunérées par les marchés carbone	47
III-2.1 Réduire les émissions de méthane et d'oxyde nitreux : revoir les pratiques de riziculture, d'élevage et d'utilisation des engrais.....	47
III-2.1.1 Diminuer les émissions de méthane de la riziculture par une meilleure gestion de l'eau [56]	47
III-2.1.2 Réduire les émissions des activités d'élevage (méthane, oxyde nitreux, dioxyde de carbone)	48
III-2.1.3 Réduire les émissions de protoxyde de d'azote: utiliser les engrais de façon plus efficace.....	49
III-2.2 Enrichir les sols en matière organique pour stocker du carbone.....	51
III-2.2.1 Un potentiel important, avec un intérêt climatique mais également agronomique.....	51
III-2.2.2 La gestion de la matière organique favorise la séquestration du carbone dans le sol	52

Chapitre IV : les difficultés de la séquestration biologique du carbone par les activités agricoles	56
IV-1 Une question de principe : les projets de séquestration carbone sont-ils des projets de compensation comme les autres ?	56
IV-2 Variabilité de la séquestration et difficultés de mesure: quelles sont les quantités de carbone effectivement stockées ?	57
IV-2.1 Les quantités de carbone stockées dans les sols par les pratiques agricoles sont fortement variables	57
IV-2.2 Plusieurs facteurs expliquent cette variabilité	58
IV-2.3 La mesure des quantités de carbone stockées s'impose mais soulève des questions techniques et économiques	58
IV-3 La complexité de la mise sur le marché des crédits de compensation générés par le secteur agricole.....	60
IV-3.1 La question de l'additionnalité	60
IV-3.2 Les coûts de transaction élevés sont dissuasifs.....	61
IV-3.3 La séquestration du carbone en Afrique de l'Ouest : un potentiel considérable mais des contraintes spécifiques	64
Chapitre V : la compensation agricole : une question très politique.....	67
V-1 Des négociateurs dispersés sur la question agricole	67
V-1.1 La compensation par l'agriculture pourrait être une nouvelle opportunité pour l'Afrique.....	67
V-1.2 Certaines puissances agricoles émergentes méfiantes vis-à-vis d'une nouvelle contrainte	69
V-2 Les observateurs ont des avis très divergents	70
V-2.1 La Banque Mondiale, très volontariste, va de l'avant	70
V-2.2 La FAO, intéressée mais attentive aux impacts sur la sécurité alimentaire et aux compromis à faire	71
V-2.3 Les organisations non gouvernementales inquiètes d'éventuels effets pervers	73
CONCLUSION	79
BIBLIOGRAPHIE	80

RESUME

Les liens entre secteur agricole et changement climatique sont complexes. L'agriculture est à l'origine de 13,5% des émissions de gaz à effet de serre mondiales. Elle émet principalement du méthane et du protoxyde d'azote, deux gaz au fort potentiel réchauffant. Mais, elle est aussi un des secteurs les plus touchés par les conséquences du changement climatique. Certains auteurs considèrent que les pertes agricoles pourraient être à l'origine d'une baisse de plus de 2% du PIB mondial à partir de 2030. En revanche, le secteur agricole dispose d'un potentiel d'atténuation du changement climatique important, Ce potentiel pourrait atteindre six milliards de tonnes d'équivalent CO₂ par an, soit environ 13% des émissions mondiales. Il provient principalement de la capacité de séquestrer le carbone atmosphérique dans la biomasse et dans les sols, grâce à la gestion de la photosynthèse et à certaines pratiques agricoles.

Or, les règles du protocole de Kyoto ne sont pas favorables à la valorisation de ce potentiel. En effet, les sols ne sont pas reconnus comme des puits de carbone. Ceci est justifié par la réversibilité de la séquestration : un changement de pratique agricole ou un accident, tel qu'un feu de forêt, peuvent relâcher le carbone stocké. Certes, le mécanisme de développement propre du protocole de Kyoto autorise les pays en développement à générer des crédits carbone qui peuvent être vendus sur les marchés internationaux du carbone. Mais dans ce cadre, seuls les projets d'agroforesterie et de réduction des émissions de méthane ou de protoxyde d'azote agricoles sont autorisés. En outre les procédures de validation sont longues et lourdes.

Les marchés volontaires ne reposent pas sur les règles du protocole de Kyoto, mais les projets agricoles y sont tout de même très peu nombreux. Ils représentent environ 3% des transactions. Ceci peut s'expliquer par différents facteurs. D'une part, les quantités de carbone séquestrées dans le sol varient fortement, dans le temps et dans l'espace, en fonction des pratiques agricoles, du type de sol et du climat. Un lien précis entre une pratique agricole et une quantité de carbone séquestrée est difficile à établir. Les mesures ex-post indispensables pour identifier des crédits carbone valorisables demandent du temps et des moyens importants. D'autre part, les coûts de transaction liés à la dispersion des acteurs et à la réversibilité de la séquestration, sont élevés et limitent le nombre de projets rentables, notamment dans les pays en développement.

La valorisation du potentiel agricole ne viendra pas seulement d'une modification des règles des marchés ou des techniques mais également d'une volonté politique d'inclure le secteur agricole dans les mécanismes de lutte contre le changement climatique. Cette volonté est en train d'émerger mais n'est pas consolidée pour l'instant. Inclure le secteur agricole permettrait de favoriser le développement de systèmes de production plus durables, fournirait une façon de rémunérer les agriculteurs pour un service environnemental et aiderait à intégrer la question du changement climatique dans les trajectoires de développement.

Une attention particulière doit continuer à être accordée aux pays du Sud, notamment aux pays les moins avancés. En effet, la prise en compte de l'agriculture dans le régime climatique ne doit pas être en conflit avec la lutte contre la sécurité alimentaire, avec le développement agricole et le développement économique et social des pays les plus pauvres. Des compromis seront probablement nécessaires.

INTRODUCTION

L'étude présentée ici est dans une version provisoire. Elle sera finalisée en janvier 2010 et intégrera les résultats des échanges qui auront eu lieu lors de la conférence Les agriculteurs du monde et la croissance verte.

La lutte contre le réchauffement climatique est sur le devant de la scène internationale. Les enjeux sont forts: ne pas réduire de façon importante et rapide les émissions de gaz à effet de serre pourrait aboutir à des augmentations de la température atmosphérique dont les conséquences seraient catastrophiques pour les écosystèmes.

192 pays, c'est-à-dire à peu près tous les pays du monde, en ratifiant la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, ont reconnu l'existence du réchauffement climatique et son lien avec les émissions anthropiques de gaz à effet de serre. Ils se sont fixés l'objectif de plafonner la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Le protocole de Kyoto, signé en 1997, dicte les règles concrètes pour atteindre cet objectif, en appliquant le principe de responsabilité commune mais différenciée, selon lequel, au moins dans un premier temps, les engagements de réduction des émissions concernent les pays industrialisés mais non les pays en développement. Ce protocole concerne la période 2008 - 2012. Sa suite devait être négociée en décembre 2009 à Copenhague, au Danemark. Mais ces négociations n'ont pas abouti, les Etats se sont donnés un an de plus, une nouvelle décision devant être prise en décembre 2010, à Cancun, au Mexique.

Le secteur agricole est un secteur qui contribue à l'émission de gaz à effet de serre, à hauteur de 13% des émissions mondiales, mais également un secteur qui peut contribuer de façon importante à la lutte contre le changement climatique, en particulier en séquestrant le carbone atmosphérique dans la biomasse et dans les sols grâce à la photosynthèse. Or, aujourd'hui, les règles internationales ne le soumettent pas à des engagements de réduction de ses émissions, bien que certains pays le fassent, et ne lui permettent pas non plus de valoriser pleinement son potentiel d'atténuation du changement climatique. Pourtant, cette valorisation pourrait constituer une incitation à l'adoption de systèmes de production plus durables et permettre une rémunération des services rendus par les agriculteurs. Cette possibilité offrirait un complément de revenu précieux pour les agriculteurs du Sud, en particulier dans un contexte de baisse de l'aide au développement.

Après avoir réalisé un point clair sur les liens entre agriculture et changement climatique et sur le fonctionnement des marchés du carbone, notre objectif était de comprendre les raisons qui ont conduit à écarter de l'agriculture de la régulation internationale, d'analyser le potentiel d'atténuation du changement climatique de l'agriculture et d'évaluer les possibilités de rémunération des agriculteurs pour leur contribution à la lutte contre le changement climatique. Nous avons fait le choix d'étudier les mécanismes existants, c'est à dire les marchés du carbone, sans analyser d'autres mécanismes possibles. Notre travail s'est appuyé sur une recherche bibliographique et sur de nombreux entretiens avec des experts dans le domaine du changement climatique et de l'agriculture. La mission de FARM concerne les agricultures du Sud, c'est donc sur les pays en développement que notre attention s'est focalisée. Ceci se traduit par une réflexion qui porte principalement sur la valorisation du potentiel de séquestration biologique du carbone, sur une base volontaire, et très peu sur la

réduction des émissions. Une attention particulière est également portée à l'articulation entre la lutte contre le changement climatique et la promotion de la sécurité alimentaire.

Le premier chapitre replace l'agriculture dans le contexte du changement climatique: quelles sont les émissions agricoles ? Quels sont les impacts du changement climatique sur la production agricole ? Quelles conséquences spécifiques pour les pays du Sud ? Le deuxième chapitre fait le point de la régulation internationale des émissions de gaz à effet de serre, le marché de quotas, et sur les autres mécanismes existants. Le chapitre 3 détaille les pratiques agricoles qui pourraient être valorisées dans la lutte contre le réchauffement climatique. Les quatrième et cinquième chapitres explicitent les difficultés de valorisation de ces pratiques et s'efforce de d'esquisser quelques pistes pour lever les contraintes constatées. Le chapitre 4 s'intéresse aux questions techniques et économiques, le chapitre 5 fait le point sur des aspects politiques et revient sur les enjeux des négociations. Enfin, en annexe, nous avons regroupé une dizaine d'études de cas concernant de projets des développement agricole qui commencent, déjà, à s'appuyer sur les marchés carbone, en essayant d'en tirer des enseignements.

Ce rapport a été préparé en deux étapes. La première a été effectuée par Laure Pollez, dans le cadre de la réalisation de son travail de fin d'études pour le Master 2 Economie internationale et développement de l'Université Paris Dauphine. C'est sur cette base que Cecilia Bellora a ensuite travaillé pour aboutir au présent document.

Nous remercions pour le temps qu'ils nous ont accordé au cours de la rédaction de cette étude Nathalie Guesdon, Ministère de l'Agriculture et de la pêche, Mathilde Dupré, CCFD-Coordination Sud, Wilson A. Songa, secrétaire d'Etat à l'Agriculture du Kenya, Eric Penot, Eric Scopel, Olivier Hamel et Alain Karsenty, Cirad, Martial Bernoux et Alain Albrecht, IRD, Christian de Perthuis, Programme PREC, Franck Lecocq, INRA, Romain Pirard, iddri, Jean-François Richard et François Jullien, Agence Française de Développement, Benoit Leguet, CDC Climat, Yves André, CDC, Pierre Guigon, Bluenext, Josselin Andurand, Coop de France Déshydratation, Bo Lager, Swedish Cooperative Center Vi Agroforestry, Linne Kerstin et Eberhard Krain, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Benjamin Pallière et Kemy Fakambi, Geres, Diane Vandaele, Réseau Action Climat France, Angella Costello, Clean Air Action, Dale Enerson, North Dakota Farmers Union, Bernard Giraud, Danone, Alexandre Meybeck, Pierre Radanne. Nous tenons également à remercier Bernard Bachelier pour ses conseils et Bruno Martin pour son appui à la mise en page de l'étude.

Chapitre I : l'agriculture face au changement climatique

L'agriculture est concernée par le changement climatique pour plusieurs raisons :

- elle est à l'origine de 13,5% des émissions mondiales de gaz à effet de serre [1]: le secteur agricole est le principal émetteur des gaz à effet de serre autres que le dioxyde de carbone (CO₂), c'est-à-dire principalement le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O).
- les systèmes agricoles seront fortement impactés par les évolutions climatiques dues au réchauffement
- l'agriculture a un important potentiel d'atténuation : elle peut contribuer à la prévention du changement climatique.

I-1 Le secteur agricole, émetteur de gaz à effet de serre

I-1.1 13,5% des émissions de gaz à effet de serre sont d'origine agricole

Le GIEC attribue 13,5% des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique au secteur agricole (cf. figure 1.1). En 2005, les émissions agricoles représentaient de 5,1 à 6,1 Gt CO₂eq [2], le total des émissions, tous secteurs confondus étant de 44,2 Gt CO₂eq [3]. Il est important de préciser que, selon la terminologie du GIEC, qui fait référence en la matière, les émissions du secteur agricole n'incluent pas :

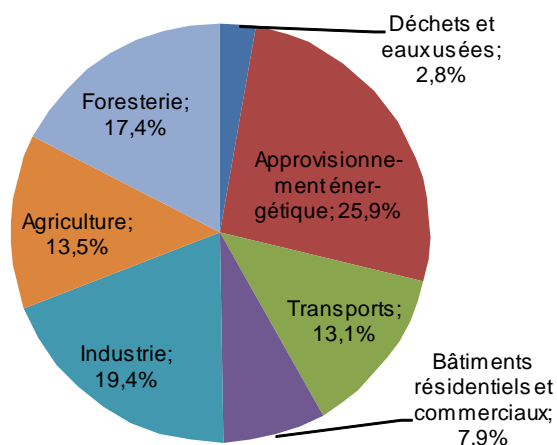


Figure 1.1: Origine sectorielle des émissions globales de gaz à effet de serre - Source: GIEC, 2007

- les émissions générées par l'utilisation d'énergies fossiles, ces émissions étant comptabilisée dans le secteur « énergie » ;
- les émissions dues à la fabrication des engrais, qui incombent au secteur « industrie » et représenteraient 1,2% des émissions mondiales [4];
- les émissions de gaz à effet de serre générées par la déforestation, qui sont comptées à part, dans le secteur « foresterie ». Ces émissions sont importantes, elles constituent 17% des émissions totales. L'expansion agricole est associée à 96% des cas de déforestation [5].

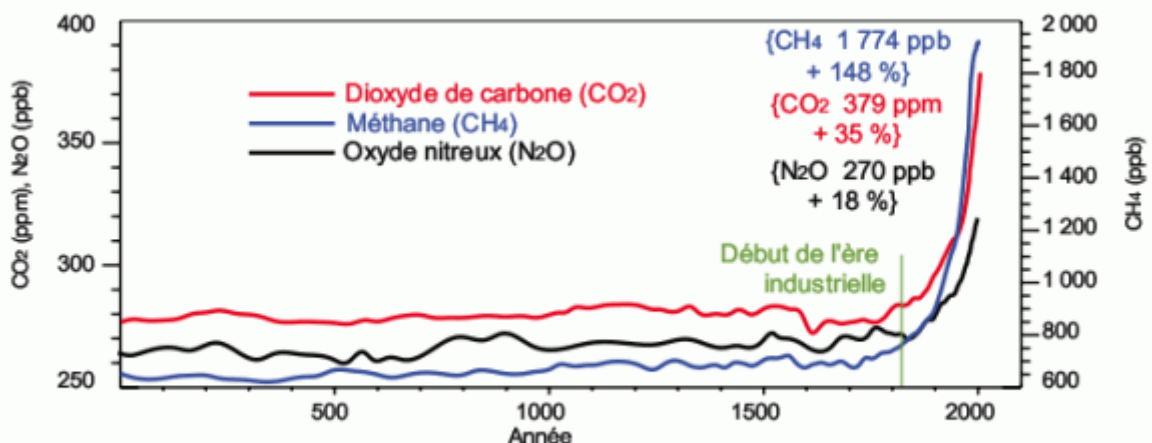
Selon la Banque Mondiale, en réintégrant dans le secteur agricole toutes les émissions liées à ses activités, l'agriculture contribuerait à environ 30% des émissions mondiales de gaz à effet de serre [6].

Réchauffement climatique, petite définition

Le réchauffement climatique est le résultat d'un « emballement » du cycle du carbone et du phénomène naturel de l'effet de serre. L'effet de serre, conséquence de la présence de certains gaz dans l'atmosphère terrestre, permet à la planète terre de ne pas renvoyer tout le rayonnement solaire vers l'espace et de garder une partie de cette énergie sous forme de chaleur. Ce phénomène permet à la planète Terre d'offrir une température moyenne de 15°C, contre -18°C sinon, comme sous une serre. Les gaz participant à cet effet de serre sont notamment la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane et l'oxyde nitreux. Le réchauffement climatique s'enclenche lorsque la concentration de ces gaz dans l'atmosphère augmente au-delà du niveau « naturel ». Or, depuis le début de l'ère industrielle, la concentration des gaz à effet de serre connaît une hausse sans précédent, du fait du développement des activités humaines génératrices de ces gaz. En 2005, les émissions mondiales de gaz à effet de serre étaient de 49 Gt, contre 29 Gt en 1970. L'emballement du cycle du carbone résulte notamment de la consommation moderne des énergies fossiles – la combustion du charbon, du pétrole, entre autres, dégagent dans l'atmosphère des particules de carbone qui étaient piégées dans ces puits de carbone depuis des siècles.

Du fait de cette augmentation des concentrations de ces gaz dans l'atmosphère, le phénomène de l'effet de serre s'accélère : de plus en plus d'énergie solaire est piégée dans l'atmosphère. Cela réchauffe le climat terrestre.

Concentrations atmosphériques de GES de l'An 0 à 2005



Le chiffre entre crochets correspond au pourcentage de croissance des concentrations atmosphériques des gaz représentés entre 1750 et 2005.

Source : GIEC, 4^e rapport du 1^{er} groupe de travail, 2007.

Figure : Évolution historique de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre [7].

I-1.2 L'agriculture émet surtout des gaz autres le dioxyde de carbone

Les activités agricoles sont génératrices de gaz à effet de serre, notamment de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (N₂O) et, dans une moindre mesure, de dioxyde de carbone (CO₂). Cinq principaux éléments sont à l'origine de ces émissions, par ordre d'importance : fertilisation et utilisation d'engrais, digestion des ruminants, riziculture, gestion du fumier, combustion de matières organiques [8] (cf. figure 1.2).

Le cycle de l'azote, par des processus de nitrification et dénitrification indispensables à la biologie des plantes et des sols, est naturellement à l'origine d'émissions de N₂O. L'apport d'engrais azotés ou de fumure organique sur les sols cultivés alimente ces processus et aboutit

à une augmentation des émissions de N₂O. En 2005, ces émissions représentaient 2,3 Gt CO₂eq, sur un total d'environ 6 Gt d'émissions agricoles.

Le deuxième GES le plus émis par l'agriculture est le méthane. Cette molécule est un des produits de la digestion de la cellulose par fermentation microbienne chez les ruminants (bovins, ovins, caprins, camélidés), également connue sous le nom de « fermentation entérique ». Ceci représentait 1,9 Gt CO₂eq en 2005. La culture du riz produit également du méthane, lors de la fermentation anaérobie, sous l'eau, dans le champ inondé. La quantité de méthane émise dépend notamment des techniques d'irrigation employées. Elle représentait 0,7 Gt CO₂eq en 2005. Le fumier dégage du méthane et de l'oxyde nitreux lorsqu'il n'est pas entreposé de manière suffisamment ventilée. Ceci représentait 0,4 Gt CO₂eq en 2005. Enfin, la culture sur brûlis et, en général, toute combustion de matières organiques, génèrent également des dégagements de gaz à effet de serre, à hauteur de 0,7 Gt CO₂eq en 2005.

Au total, l'agriculture émettait, en 2005, un peu plus de méthane (3,3 Gt) que d'oxyde nitreux (2,8 Gt).

Le changement d'usage d'un sol pour sa mise en culture peut provoquer d'importants dégagements de CO₂, notamment dans les cas de déforestation. Mais ces émissions sont comptabilisées dans les émissions d'origine forestière. L'agriculture est également émettrice de CO₂, de manière plus « classique », du fait de son utilisation de carburants d'origine fossile, mais ces émissions sont comptabilisées dans les émissions d'origine énergétique.

Si les émissions de méthane et d'oxyde nitreux sont peu importantes en volume (un peu moins d'un quart des émissions globales de gaz à effet de serre), elles comptent beaucoup dans le phénomène du réchauffement climatique. Leur pouvoir réchauffant est bien supérieur à celui du dioxyde de carbone. En l'espace d'un siècle, une tonne de méthane réchauffe environ 25 fois plus l'atmosphère qu'une tonne de dioxyde de carbone, et une tonne de dioxyde d'azote 300 fois plus. Pour tenir compte de cet ordre de grandeur, les inventaires d'émissions se font en « tonnes équivalent CO₂ » (CO₂eq) où les volumes des différents gaz sont rapportés au pouvoir réchauffant du CO₂. En tout cas, éviter l'émission d'une tonne de méthane ou de dioxyde d'azote est particulièrement efficace pour prévenir le réchauffement climatique.

Il faut noter que la mesure des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole n'est pas aisée. Elle est basée sur des estimations de la production et de la productivité agricole, auxquelles s'appliquent des facteurs d'émission. Mais l'ensemble de ces estimations sont incertaines, en particulier en ce qui concerne les pays en développement [3]. Par exemple, pour évaluer les émissions générées par le fumier, la méthodologie du GIEC consiste à multiplier le nombre de têtes de chaque espèce par un facteur d'émissions moyen calculé pour chaque zone de température (tempérée, chaude, froide). Or, le GIEC précise lui-même que ces facteurs sont estimés avec une marge d'erreur de ±20%¹. De plus, les produits agricoles sont l'objet de nombreux échanges internationaux, ce qui pose la question de l'attribution des émissions générées au seul pays producteur.

¹ Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre – version révisée 1996 : manuel simplifié.

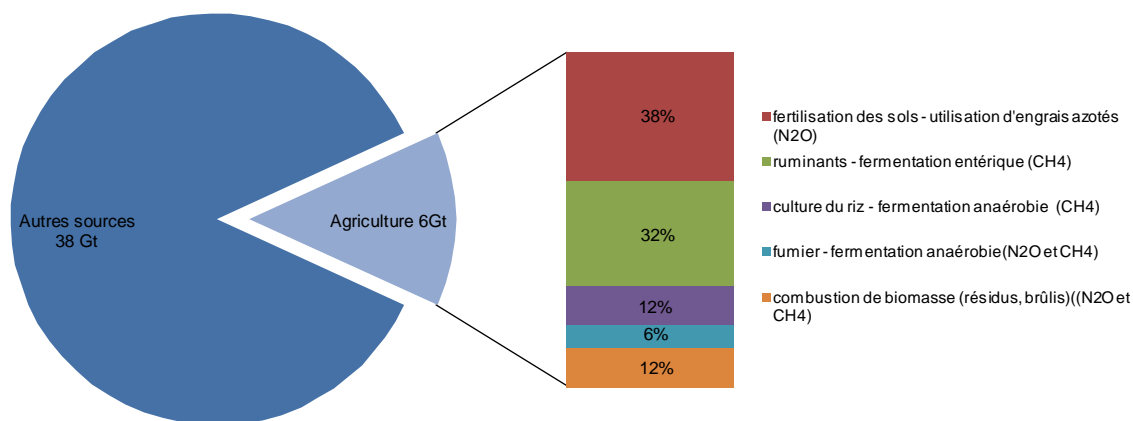


Figure 1.2 Les émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole. Sources [3]; calculs des auteurs

I-1.3 La géographie particulière des émissions agricoles

De façon générale, à l'inverse des émissions d'origine énergétique, les émissions d'origine agricole proviennent majoritairement des pays émergents et en développement (hors annexe 1 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques), à hauteur de près des trois quarts [3].

Les cinq principaux émetteurs agricoles sont la Chine, en tête, puis l'Inde, l'Union Européenne prise dans son ensemble (25 membres), les Etats-Unis, et enfin le Brésil. Ces cinq pays génèrent 55% des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole. En Afrique, le plus gros émetteur est l'Afrique du Sud, qui compte pour seulement 1% des émissions mondiales, tous secteurs confondus.

L'Afrique subsaharienne dans son ensemble est un émetteur agricole relativement important, à hauteur d'environ 1Gt par an (soit environ 15% des émissions agricoles globales) alors qu'elle ne représente que 4% des émissions globales de gaz à effet de serre.

I-1.4 Des émissions en hausse

Entre 1970 et 2004, les émissions de gaz à effet de serre ont augmenté fortement, d'environ 70%. Cette augmentation est d'abord imputable aux secteurs énergétique, industriel et des transports, ces trois secteurs étant fortement émetteurs de CO₂, principal gaz à effet de serre d'origine humaine (75% des GES émis). Mais l'augmentation des deux autres principaux gaz à effet de serre, le méthane et l'oxyde nitreux, est liée principalement à l'agriculture.

La tendance à la hausse des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole va se poursuivre à l'avenir, elle devrait même s'accélérer. Deux raisons à cela. D'une part, la production agricole devrait augmenter en réponse à la hausse de la population : les projections démographiques font état de 9,1 milliards d'hommes à nourrir en 2050. D'autre part, la demande en produits animaux va augmenter plus rapidement que la demande alimentaire globale, du fait de la modification des régimes alimentaires liée au développement économique. A cela devrait s'ajouter la hausse de la demande en produits agricoles pour des usages non alimentaires (production de biocarburants et autres produits de substitution).

Selon le GIEC, qui reprend les données de l'Agence fédérale américaine de Protection de l'Environnement, l'Europe de l'Ouest est la seule région qui parviendra à réduire ses émissions d'origine agricole d'ici 2020, grâce à un ensemble de politiques environnementales. En revanche, le continent africain est celui dont la hausse des émissions sera la plus importante, avec une hausse projetée de +95% entre 1990 et 2020. Cette hausse est à mettre en lien avec la nécessaire augmentation de la production et des rendements agricoles.

I-2 L'agriculture, un secteur particulièrement sensible aux conséquences du changement climatique

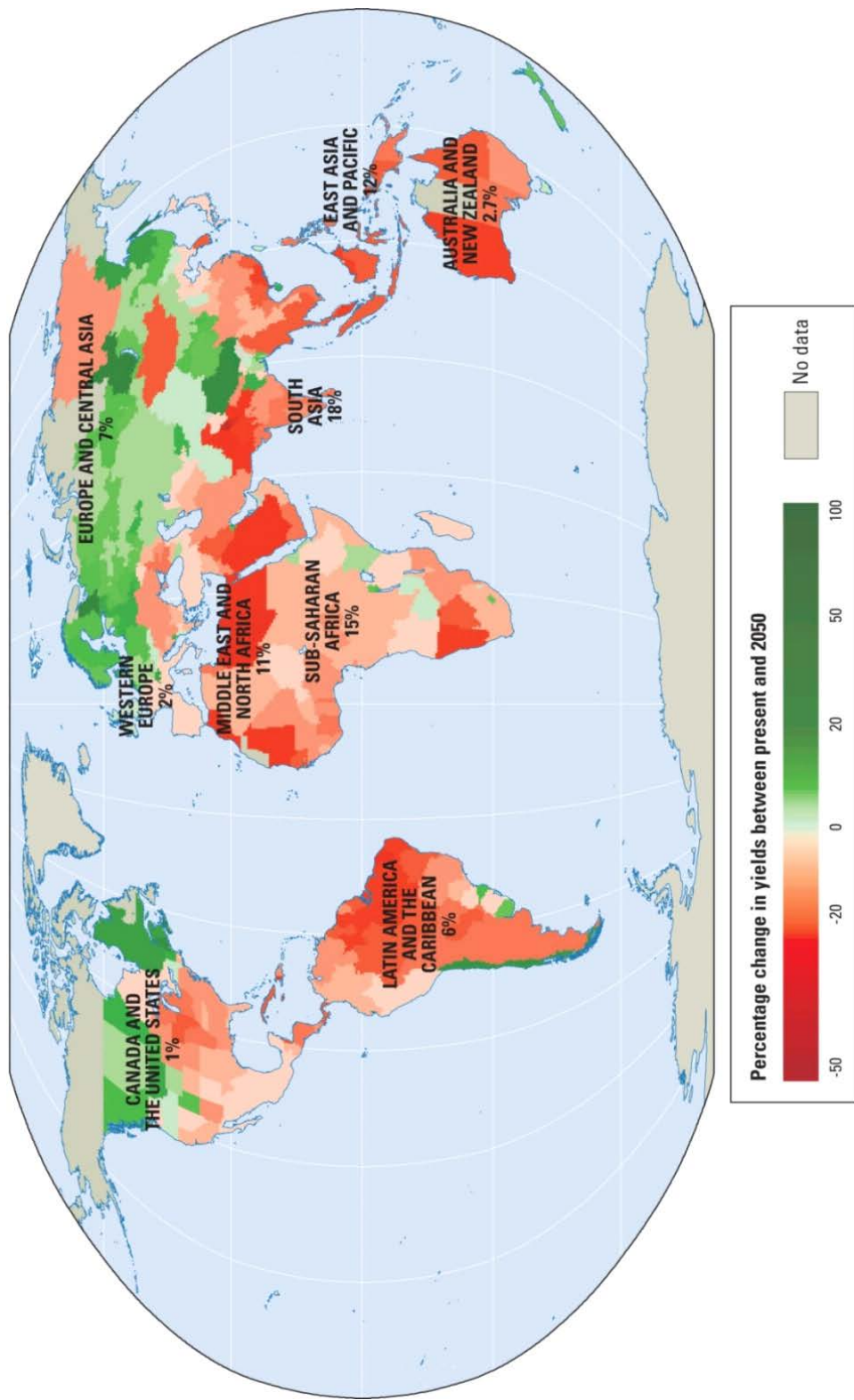
I-2.1 Des impacts globalement négatifs sur l'agriculture

Les conséquences du réchauffement climatique seront variables d'une région à l'autre. Les impacts seront très divers, concernant en même temps la fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes, les ressources en eau, les écosystèmes, les rendements agricoles et la productivité, les systèmes côtiers et les installations en basses-terres ou encore la santé des populations.

L'agriculture est un des secteurs économiques les plus sensibles au climat. En effet, la production agricole est le résultat de processus biologiques directement soumis aux aléas météorologiques. L'agriculture sera donc vraisemblablement impactée fortement par le réchauffement climatique. Le rapport Stern souligne par ailleurs que les activités agricoles représentent environ un quart du PIB mondial et sont particulièrement importantes pour les pays en développement : le secteur agricole contribue à hauteur de 21% au PIB de l'Inde, 39% du PIB du Malawi, 61 et 64% des gens sont employés dans ce secteur en Asie du Sud et en Afrique sub-saharienne, respectivement [9]. A travers l'agriculture, l'impact du changement climatique sur l'économie de certains pays sera donc considérable.

Le GIEC constate, dans son dernier rapport, publié en 2007, que certains effets du changement climatique se font déjà sentir. Ainsi, des effets sur la gestion agricole et sylvicole dans les hautes latitudes de l'hémisphère Nord ont déjà été relevés, comme la plantation précoce des cultures au printemps ou des difficultés dans la gestion des forêts dues aux incendies plus fréquents. Plus au sud, dans la partie sahélienne de l'Afrique, il a été constaté que des conditions plus chaudes et plus sèches ont conduit à un raccourcissement des saisons de culture, avec des effets néfastes sur les récoltes [10]. Au Bénin et au Niger, les agriculteurs constateraient déjà des perturbations du calendrier agricole, avec notamment des pluies plus incertaines et raccourcies [11].

A court terme, cependant, d'ici 2050, les modifications du climat devraient rester limitées, l'augmentation des températures se faisant assez lentement. Les impacts sur l'agriculture seront donc minimes. On pourrait même observer une augmentation des rendements dus à l'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère, par le biais de la « CO₂ fertilization » [12] (cf. encadré 1.4).



Note : la figure indique le pourcentage de variation des rendements indiqué par les projections pour 11 grandes cultures (blé, riz, maïs, mil, pois fourrager, betterave à sucre, patate douce, soja, arachides, tournesol et colza) pour la période 2046-2055, par rapport à la période 1996-2005. Les valeurs retenues sont les moyennes des valeurs provenant de l'application de cinq modèles climatiques à trois scénarios d'émissions, en posant en hypothèse l'absence de tout effet de fertilisation du CO2 (l'augmentation des concentrations ambiantes de CO2 peut stimuler, dans une mesure qui reste indéterminée, la croissance des plantes et l'efficacité de l'utilisation de l'eau). Les projections font état d'impacts négatifs importants sur les rendements dans de nombreuses régions fortement tributaires de l'agriculture.

Figure 1.5 : Évolution des rendements agricoles du fait du réchauffement climatique à l'horizon 2050 - source : World Bank – WDR 2010 [13]

A partir de 2050, les effets du réchauffement climatique seront contrastés d'une région à l'autre (cf. figure 1.5). Pour des augmentations moyennes de température de 1 à 3°C, les rendements devraient légèrement augmenter dans les régions de moyenne et haute latitudes, selon les plantes cultivées [14]. Au-delà de cette fourchette d'augmentation des températures, les rendements risquent de diminuer dans ces régions. Par contre, sous des latitudes plus basses, c'est-à-dire à partir du Sud de l'Europe, les rendements agricoles risquent de diminuer dès une augmentation de 1 à 2°C des températures, en particulier dans les régions saisonnièrement sèches et les régions tropicales [1]. Cette diminution des rendements pourrait s'amorcer dès 2030 dans les régions les plus fragiles, telles que l'Afrique subsaharienne et le Sud asiatique [15]. Ainsi, les pays en développement seront parmi les plus affectés par les baisses de rendement causées par le changement climatique.

Malgré ces effets contrastés d'une région du monde à l'autre et entre les différentes latitudes, le changement climatique aura à terme un impact globalement négatif sur l'agriculture. Plusieurs chiffres sont avancés. Selon la FAO, la production agricole mondiale pourrait diminuer de 6 à 16% d'ici 2080, dans le cas d'une augmentation de température de 4,4°C [16]. En termes économiques, Fischer et al (2002) [17] considèrent que l'impact du changement climatique sur l'agriculture va être une baisse de 1,5 à 2,6% du PIB mondial dès l'horizon 2030.

Des efforts d'adaptation pourront permettre de limiter partiellement les impacts négatifs du réchauffement climatique. Le GIEC estime par exemple que des changements de variétés et de calendriers de culture permettraient d'éviter 10 à 15% des pertes de rendement causées par une hausse de 1 à 2°C de la température. L'IFPRI (*International Food Policy Research Institute*), pour sa part, souligne que ces adaptations ont un coût important, chiffré à 7 milliards de dollars d'investissements supplémentaires par an pour financer les investissements en matière de recherche, d'infrastructures rurales et d'irrigation.

I-2.2 Les effets du réchauffement climatique seront particulièrement forts en Afrique

D'après le GIEC, l'Afrique est l'un des continents les plus vulnérables face aux changements et à la variabilité climatique.

I-2.2.1 Des températures moyennes en hausse et d'importantes variations des précipitations

Tout d'abord, il est important de noter que les projections climatiques sont les plus incertaines pour le continent africain car très peu de modèles spécifiques à cette région du monde ont été développés, par manque de ressources. Cela étant dit, les projections dont on dispose indiquent que, sur ce continent, les hausses de température seront plus importantes que la moyenne mondiale. Par exemple, le scénario d'émissions moyennes du GIEC (cf. annexe) prévoit une hausse de la température moyenne annuelle du continent africain comprise entre 3 et 4°C à la fin du XXI^{ème} siècle, alors qu'au niveau mondial cette hausse devrait être de 2,8°C.

L'évolution des précipitations est encore plus difficile à prévoir que celle des températures. Néanmoins, si on reste dans le cadre du scénario moyen du GIEC, nommé A1B, les précipitations annuelles devraient subir une baisse de l'ordre de 20% sur la côte méditerranéenne et dans le Nord du Sahara, mais elles devraient augmenter (+4%) autour des Tropiques et en Afrique de l'Est. Les précipitations hivernales devraient également décroître dans une grande partie du Sud de l'Afrique, avec des baisses qui pourraient atteindre les -40%. Par contre, la plus grande incertitude pèse sur l'Ouest du Sahel, car, pour cette région, les modèles se contredisent: certains prévoient une augmentation des précipitations, d'autres une diminution. Enfin, globalement, les sécheresses devraient être plus fréquentes et plus longues pendant la seconde moitié du XXI^{ème} siècle. Le GIEC prévoit que, d'ici 2080, la proportion des terres arides et semi arides en Afrique augmentera de 5 à 8% (60-90 millions hectares).

I-2.2.2 Impacts sur les activités agricoles: une baisse de la productivité et des revenus

Ces évolutions du climat impacteront fortement les niveaux de production agricole et donc la sécurité alimentaire de beaucoup de régions africaines. Certaines projections font état d'une baisse des rendements pouvant atteindre 50% d'ici 2020, ce qui causerait une baisse des revenus nets après récolte allant jusqu'à 90%, en particulier en Afrique du Sud [18]. Les experts de la FAO, quant à eux, prévoient plutôt des baisses de la productivité agricole de l'ordre de 15 à 35% en Afrique subsaharienne [12]. Ces baisses auront un impact sur la croissance économique, estimé à des pertes de 2 à 7% du PIB, selon les estimations de Mendelsohn et al (2006).

Bien entendu, les changements climatiques auront des impacts variables selon les systèmes de production touchés, les espèces végétales cultivées et les espèces animales élevées. En outre, certains auteurs soulignent que les paysans du Sahel ont adapté depuis plusieurs années leurs systèmes de production aux risques climatiques, en particulier à la variabilité de la pluviométrie. Leurs stratégies de diminution des risques impliquent l'utilisation de variétés à cycles courts, le semis précoce, l'association et la diversification des cultures ainsi que

l'association entre cultures et élevage [19]. Néanmoins, le GIEC souligne que ces solutions ne seront pas suffisantes face aux changements à venir [18].

Encadré 1.2 : Les effets biologiques incertains du changement climatique sur les plantes [13]

Au delà de ses effets sur le climat, l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ a des conséquences sur le métabolisme des végétaux, en particulier sur la photosynthèse. La photosynthèse est le processus biologique complexe grâce auquel les plantes chlorophylliennes (vertes) fixent le carbone atmosphérique et le transforment en matière organique. C'est grâce à ce processus que les plantes peuvent se comporter comme des "puits" de carbone (cf. chapitre 3).

L'impact du changement climatique dépend, entre autres, de la réponse des métabolismes végétaux à une augmentation des quantités de carbone disponibles dans l'air. Une équipe de recherche de Postdam a tenté d'évaluer les effets du changement climatique sur les rendements en fonction du niveau d'utilisation du carbone atmosphérique par les végétaux. Les résultats sont synthétisés dans la carte ci-dessous. A gauche, les différentiels de rendements d'ici 2050 avec une parfaite utilisation du CO₂, à droite les différentiels de rendements avec une utilisation partielle.

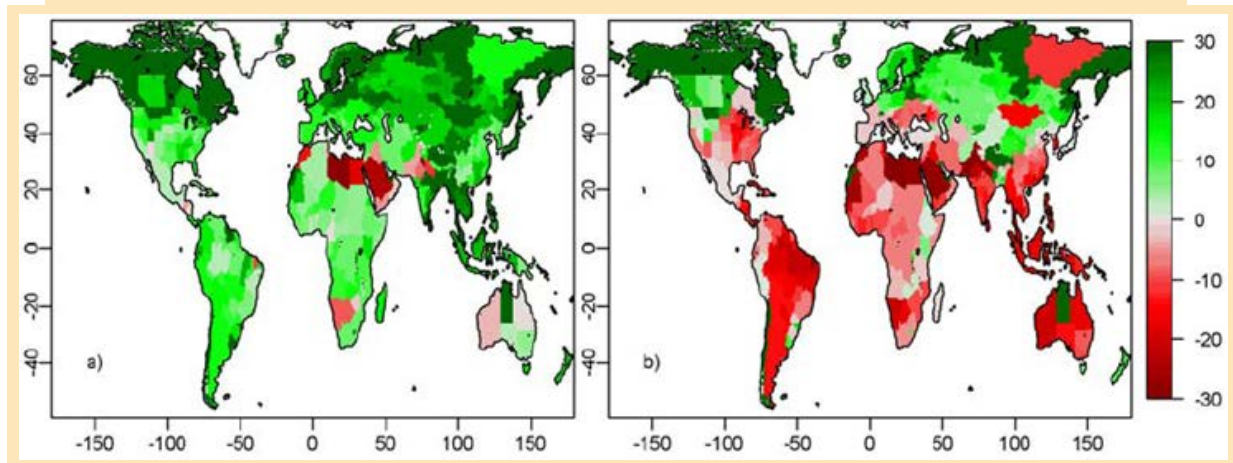


Figure 2.2.2 : Impacts du changement climatique sur les rendements agricoles à l'horizon 2050 (les pourcentages indiquent une différence entre les rendements moyens de la période 2046 – 2055 et la période 1996 - 2005).

Dans le premier cas, avec une bonne utilisation du CO₂, les différentiels de rendement sont globalement positifs, dans le second cas, les résultats sont quasiment inverses. Les résultats vont ainsi d'une baisse générale des rendements de 13% à une hausse générale de 22% d'ici 2050.

Néanmoins, de façon générale, on considère que les végétaux tireront très peu profit de la plus forte concentration de CO₂ dans l'atmosphère pour plusieurs raisons. D'une part, la photosynthèse se heurtera à l'absence de nutriments dans les sols, d'autre part, la qualité des sols diminuera car la matière organique générée dans ces nouvelles conditions sera de moins bonne qualité et enfin la hausse des rendements sera limitée par le développement accru des parasites et d'autres fléaux dûs au changement climatique.

I-3 Le potentiel d'atténuation par l'agriculture est important mais dépend du prix qu'on est prêt à payer

L'agriculture peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre de trois façons [20]:

- Les cultures végétales représentent des puits de carbone (cf. encadré 1.2) : elles peuvent capter plus ou moins de CO₂ atmosphérique et le transformer en matière organique. Cette matière organique peut être stockée dans le sol, de façon plus ou moins importante selon les méthodes de culture. Ce stockage du CO₂ atmosphérique sous forme de matière organique est appelé "séquestration du carbone".
- Des modifications techniques peuvent permettre de réduire le volume des émissions d'origine agricole, qui représentent 13,5% des émissions globales (cf. plus haut).
- L'agriculture fournit de la biomasse qui peut venir se substituer à une partie des énergies fossiles.

Selon la FAO, le potentiel d'atténuation de l'agriculture face au changement climatique est élevé et 70% de ce potentiel se trouve dans les pays en développement [12]. Cette question du potentiel d'atténuation de l'agriculture va être traitée plus longuement dans le chapitre 4 mais il nous semble important de l'évoquer dès à présent, pendant que nous faisons le point sur les relations entre agriculture et changement climatique.

La séquestration de carbone dans les sols représente 89% du potentiel d'atténuation total de l'agriculture (GIEC 2007). Les réductions d'émissions ne viennent qu'ensuite : 9% du potentiel réside dans les efforts de réduction des émissions de méthane, 2% dans la réduction des émissions d'oxyde nitreux. Cette « distribution des tâches » est valable à moyen terme car, à long terme, la capacité de séquestrer du carbone dans le sol arrivera à saturation. Ainsi, en particulier avec la séquestration du carbone dans les sols, l'agriculture peut fournir, à moyen terme, un important service environnemental, qui devrait justifier une rémunération adéquate.

Selon Pete Smith et al (2008), d'ici 2030, l'agriculture peut techniquement permettre de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 5,5 à 6 milliards de tonnes CO₂eq chaque année, ce chiffre ne tenant pas compte de l'effet de la substitution des énergies fossiles par des biocarburants. Ces six milliards de tonnes sont à comparer aux 49 milliards de tonnes émises annuellement² : le potentiel d'atténuation du secteur agricole représente donc plus du dixième des émissions totales.

Cependant, le potentiel réel dépend du prix que l'on est prêt à y mettre : selon les estimations fournies, 1,5 à 1,6 milliards de tonnes de carbone par an pourront être stockées par l'agriculture pour un prix de 20 dollars la tonne de CO₂, 2,5 à 2,7 milliards de tonnes par an

² Ce chiffre est en fait celui de l'année 2004, dernière année pour laquelle le GIEC a effectué le recensement des émissions

pour un prix de 50 dollars la tonne, 4 à 4,3 milliards de tonnes par an pour un prix de 100 dollars la tonne [21].

Les techniques les moins coûteuses seraient celles qui permettraient d'augmenter la concentration du carbone dans les sols (gestion des labours et des apports fertilisants, gestion des résidus, etc). Viennent ensuite les pratiques qui visent à réduire les émissions des gaz autres que le CO₂ générées par l'agriculture. Ces diminutions concernent notamment la culture du riz, la gestion du, la modification de l'alimentation du bétail et l'augmentation de l'efficacité énergétique dans l'agriculture [22].

Il est également primordial d'apprécier ces pratiques en fonction de leur impact éventuel sur la production alimentaire et les rendements. Sur cette question, des points de vue différents existent. Pour sa part, la FAO considère que les pratiques qui permettent l'atténuation du changement climatique par l'agriculture sont les mêmes que celles qui permettent l'adaptation à ses conséquences et l'amélioration de la sécurité alimentaire. Par exemple, la séquestration de carbone dans les sols représente à la fois le plus fort potentiel d'atténuation agricole et un moyen d'augmenter la qualité des sols (leur fertilité, leur structure et leur capacité à retenir l'eau), ce qui permet une augmentation des rendements. La séquestration du carbone dans les sols cultivés pourrait donc être tout à la fois avantageuse pour le climat, la productivité de ces sols et pour la gestion de l'eau. D'une façon générale, les avancées agronomiques qui permettent une intensification raisonnée de la production comptent dans le potentiel d'atténuation dans la mesure où elles peuvent permettre de diminuer l'impact climatique de l'agriculture [23] (la réduction de la déforestation, par exemple, passe notamment par une meilleure exploitation des terres en culture). Cependant, la FAO reconnaît quelques « trade-offs », des situations où les objectifs d'atténuation et de sécurité alimentaire peuvent se heurter, notamment à court terme. Ainsi, elle reconnaît que la restauration des sols dégradés peut entraîner une perte de productions à court terme, même si à long terme la meilleure qualité des sols permet d'allier atténuation du changement climatique et plus grande sécurité alimentaire.

De son côté, le GIEC semble plus réservé sur le nombre de stratégies « gagnant-gagnant » qui permettraient de progresser en même temps sur les deux plans, atténuation et sécurité alimentaire [2]. Le GIEC rappelle par exemple les questions posées par l'utilisation de la biomasse comme substitut aux énergies fossiles, en pointant les risques de compétition entre les deux usages. De même, il rappelle que la restauration de certains sols dégradés risque de se heurter aux besoins de nouvelles mises en culture. Le GIEC prévoit de même de possibles arbitrages quant à l'utilisation de l'eau, la préservation de la biodiversité, etc. Ainsi, la plupart des modifications de pratiques impliquent de faire des choix. On ne peut pas trancher ces arbitrages à un niveau global car leurs impacts varient en fonction de nombreux facteurs locaux, tels que la qualité des sols, les conditions climatiques... Il est donc vain de chercher un protocole universel de réduction des émissions agricoles, c'est une recherche par système de production qui devra être menée [2]. En outre, le GIEC rappelle que ces protocoles devront être évalués pour vérifier que le bilan global ne soit pas négatif [22]. En d'autres termes, la mise en valeur du potentiel d'atténuation de l'agriculture ne va pas se faire sans volontarisme.

CE QU'ON PEUT RETENIR DE CE CHAPITRE:

1. Au niveau mondial, 13,5 % des émissions de gaz à effet de serre sont d'origine agricole. L'agriculture émet avant tout du méthane et de l'oxyde nitreux, bien plus que du dioxyde de carbone.
2. L'impact du changement climatique ne sera pas homogène au niveau mondial mais variera d'une région à l'autre. Mais malgré cette diversité des situations, l'impact sera globalement négatif sur les activités agricoles à moyen terme, c'est-à-dire à partir de 2050. L'Afrique subsaharienne sera une des régions du monde les plus fortement touchées. Les conséquences économiques de ces impacts sur l'agriculture seront importantes, certains auteurs leur imputant une baisse du PIB mondial pouvant aller jusqu'à 2,6% dès l'horizon 2030.
3. L'agriculture dispose d'un potentiel d'atténuation très important, qui peut représenter un sixième des émissions annuelles mondiales de gaz à effet de serre. Néanmoins la valorisation de ce potentiel nécessite un fort volontarisme, des financements importants et impliquera des arbitrages.

Chapitre II : Quelle place pour l'agriculture dans les marchés du carbone ?

D'un point de vue économique, l'accélération incontrôlée des émissions des gaz à effet de serre, à l'origine du changement climatique, peut être considérée comme le résultat d'une imperfection de marché : les acteurs économiques prennent individuellement des décisions qui leur paraissent rationnelles mais qui, au final, coûtent très cher à la collectivité car elles génèrent un dégât collatéral, l'émission de gaz à effet de serre. En économie, on parle d'externalités négatives³. Une des façons pour tenter de résoudre cette imperfection de marché est de donner un prix à l'externalité : l'agent qui cause l'externalité négative devrait payer pour les dégâts dont il est à l'origine. Ainsi, il est amené à prendre en compte la nuisance qu'il génère dans ses décisions. C'est sur ce principe du pollueur payeur que repose la régulation économique du réchauffement climatique. Il s'agit de donner un prix aux émissions de gaz à effet de serre, afin d'encourager les acteurs à les réduire.

Parmi les différents mécanismes possibles pour donner un prix aux émissions de gaz à effet de serre (cf. encadré 2.1.), le protocole de Kyoto s'appuie des « marchés du carbone ». Aujourd'hui deux types de marchés existent :

- les marchés règlementés : les acteurs sont contraints par l'autorité publique à participer à ces marchés
- les marchés volontaires : les acteurs qui le souhaitent y participent

Encadré 2.1 : Les différents mécanismes pour donner un prix aux émissions les taxes ou les marchés [23]

Différentes méthodes ont été envisagées pour donner un prix aux émissions, notamment la mise en place d'une taxe et la création d'un marché pour fixer ce prix. C'est cette deuxième option qui a été retenue. Le protocole de Kyoto, qui engage les pays développés à réduire leurs émissions, est fondé sur un système de « *cap and trade* ». Il s'agit en premier lieu de créer une rareté en plafonnant les émissions autorisées, ce qui constitue un *cap*. Ensuite, les droits à émettre peuvent être échangés, un prix se fixera en fonction de la rareté des droits due à la contrainte fixée par le plafonnement. Ce système permet de réaliser les réductions d'émissions là où elles sont les moins coûteuses à réaliser. Plutôt que de taxer uniformément tous les émetteurs, on les laisse choisir entre l'achat de permis et la réduction de leurs émissions : les émetteurs pour qui les réductions d'émission sont les plus coûteuses vont choisir l'achat de permis, ceux pour qui les réductions d'émission sont les moins coûteuses vont réaliser ces réductions, et dégager des permis surnuméraires qu'ils pourront vendre sur le marché. Ainsi, au final, les émetteurs se répartissent l'effort de manière théoriquement optimale.

Contrairement à un système *cap and trade*, dans le cas d'une taxe carbone, l'administration joue sur le prix, et c'est le marché qui décide des volumes. En effet, la taxe fixe le prix à payer pour une émission, les agents décident ensuite de réaliser ou pas des réductions d'émission en fonction de ce prix : les réductions qui coûtent moins que la taxe sont réalisées, alors que pour les réductions plus coûteuses, on paie la taxe. D'un point de vue environnemental, l'intérêt du système *cap and trade* réside dans la fixation du plafond d'émissions. La taxation, quant à elle, ne peut donner aucune garantie sur le volume des

³ Notons qu'une externalité peut également être positive. C'est le cas des « aménités » en agriculture, ces services environnementaux rendus par l'activité agricole.

émissions qui seront effectivement réalisées par les agents économiques : en jouant sur le prix plutôt que sur les quantités, le *cap* visé peut être manqué.

II-1 Les marchés carbone réglementés, une construction exigeante

Le protocole de Kyoto est la traduction, sous forme d'engagements contraignants, des principes énoncés par la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, signée en 1992. Le protocole a été adopté en 1997 et est entré en vigueur en 2005. Concrètement, il fixe un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre (cf. encadré 2.2) pour 38 pays développés, listés dans son annexe B. Pour la période 2008-2012, leurs émissions annuelles de gaz à effet de serre devront être inférieures de 5% au niveau de 1990. Dans le détail, cet effort est différemment réparti entre les pays : certains s'engagent à réduire leurs émissions de façon plus importante que d'autres. Pour faciliter cet effort de réduction des émissions, le protocole met en place trois « mécanismes de flexibilité » qui permettent aux pays d'échanger une partie de leurs droits d'émission : le marché international du carbone, la mise en œuvre conjointe (MOC) et le mécanisme de développement propre (MDP). Ces mécanismes sont à l'origine des marchés réglementés.

Encadré 2.2 : Le protocole de Kyoto limite les émissions de six gaz à effet de serre

Six gaz à effet de serre sont concernés par le protocole de Kyoto : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), les hydrofluorocarbones (HFC), les hydrocarbures perfluorés (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆). Les émissions de ces gaz sont calculées en équivalent CO₂. Pour cela, on calcule le pouvoir réchauffant de chaque gaz et on le ramène à celui du CO₂. Ainsi, par exemple, une tonne de méthane émise a le même pouvoir réchauffant sur cent ans que 25 tonnes de CO₂, elle vaudra donc 25 tonnes d'équivalent CO₂.

II-1.1 Le marché international créé par le protocole de Kyoto est encore peu actif

Concrètement, pour chaque pays de l'annexe B, l'engagement pris à Kyoto se traduit par une quantité de gaz à effet de serre, exprimée en tonnes d'équivalent CO₂ (cf. encadré 2.2), pouvant être émise chaque année, pendant la période 2008-2012. Ces droits à émettre sont quantifiés en *Assigned Amount Units* (AAU, en français parfois traduit par « unités de quantités attribuées ») : la détention d'une AAU donne le droit d'émettre une tonne de CO₂. Les droits à émettre de chaque pays sont inscrits sur un registre électronique des Nations Unies. Sur la période 2008 – 2012, les pays dont les émissions effectives seront inférieures au total de leurs droits d'émission pourront vendre leurs droits en excès à un autre pays de l'Annexe I. En d'autres termes, un Etat qui ne parviendrait pas à son objectif de réduction pourra racheter les permis d'un autre Etat de l'annexe B, à condition d'y mettre le prix. Le prix de chaque AAU sera fixé en fonction de l'offre et de la demande. Ce mécanisme d'échange de permis carbone, autorisé par l'article 17 du protocole, constitue de fait un marché international du carbone, ouvert aux gouvernements des 38 pays de l'annexe B.

Toutefois, ce marché est pour l'instant peu actif. Ceci peut s'expliquer par différentes raisons. D'une part, le bilan des émissions de chaque Etat ne sera réalisé qu'en 2015, date à laquelle on vérifiera que les émissions correspondent bien au nombre de permis carbone détenus. D'autre part, le nombre d'AAU pour la période 2008-2012 avait été calculé en considérant que les Etats Unis ratifieraient le protocole, ce qui n'a finalement pas été le cas. Les Etats

Unis devaient être un des plus gros acheteurs de permis carbone ; ainsi, aujourd'hui le nombre total d'AAU distribuées est suffisant pour couvrir les besoins, d'autant plus que ces besoins se sont réduits du fait de la crise économique. En outre, l'avenir du marché international est conditionné par les négociations climat en cours, dont l'issue est incertaine. Ainsi, les Etats déficitaires en permis carbone gardent pour l'instant des positions d'attente et ne se dépêchent pas d'acheter aux Etats excédentaires des permis carbone. Les pays déficitaires sont aujourd'hui l'Union européenne à 15, le Canada et le Japon ; les pays qui pourraient vendre des AAU sont principalement l'Ukraine et la Russie [24].

Néanmoins, quelques échanges de permis carbone ont eu lieu de façon bilatérale. Les quantités échangées sont restées confidentielles, les transactions ont pris la forme de « Programmes d'investissement verts » (*Green Investment Schemes, GIS*). Le pays acheteur s'engage le plus souvent à investir les profits générés grâce aux permis achetés dans des programmes d'atténuation ou d'adaptation. Malgré ce manque de visibilité, la Banque mondiale estime que 155 millions de tonnes d'équivalent CO₂ ont été échangées sur le marché international en 2009 pour un total de 1,4 milliards de dollars. Le volume échangé en 2009 est sept fois supérieur à celui échangé en 2008 [25]. A titre de comparaison, les échanges sur le marché européen du carbone, le plus important marché du carbone au monde, représentaient en 2009 118,5 milliards de dollars (cf. II-1.2).

II-1.2 Mais les mécanismes de flexibilité MOC et MDP du protocole de Kyoto sont déjà une réalité

En plus du marché international du carbone, le protocole de Kyoto offre deux autres mécanismes de flexibilité aux pays engagés, les mécanismes de projets: la mise en œuvre conjointe (MOC, JI en anglais pour *Joint Implementation*, instaurée par l'article 6 du protocole de Kyoto) et le mécanisme de développement propre (MDP, CDM en anglais pour *Clean Development Mechanism*, instauré par l'article 12 du protocole de Kyoto).

Dans les deux cas, il s'agit pour un Etat donné de l'annexe B de pouvoir réaliser des réductions d'émission en dehors de ses propres frontières, afin de compenser ses émissions (cf. encadré 2.3). Dans le cas du MOC, le projet de réduction a lieu dans un autre pays de l'annexe B ; dans le cas du MDP, le projet de réduction a lieu dans un pays hors annexe B, pays émergent ou en développement, dont les émissions ne sont soumises à aucune contrainte. La logique de ces deux mécanismes de projet reste de donner la possibilité aux pays sous contrainte de réduire leurs émissions au moindre coût. Le mécanisme MOC peut concerner des pays qui sont déjà soumis à des systèmes de quotas, comme c'est le cas pour les Etats membres de l'Union européenne. Dans ce cas, il autorise les réductions d'émissions dans les secteurs qui ne sont pas concernés par le système de quotas. Les projets MDP, quant à eux, d'une part permettent d'étendre indirectement le champ géographique du marché construit par le protocole de Kyoto hors des pays de l'annexe B. D'autre part, ils favorisent des investissements dans les pays du Sud et le transfert de technologies faiblement émettrices.

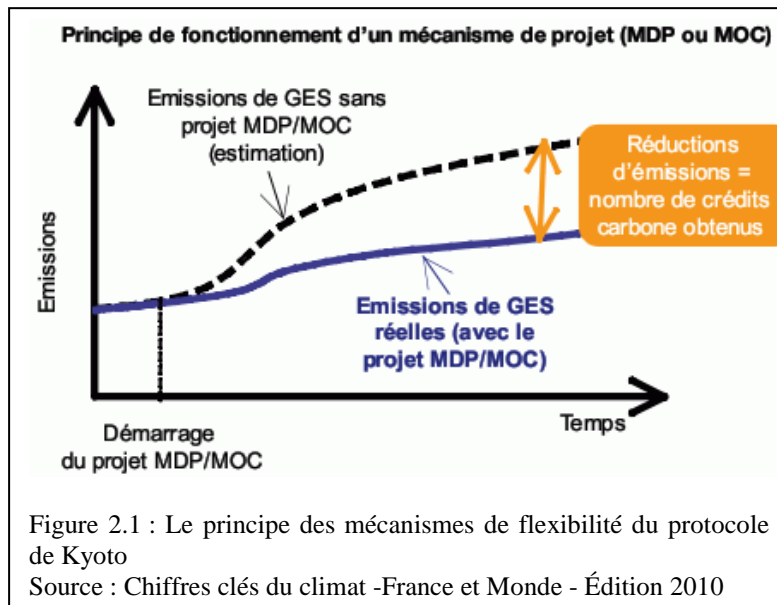
Au final, pour respecter ses engagements au titre du protocole de Kyoto, un pays de l'annexe B devra disposer en 2015 d'un nombre de crédits carbone (UQA, URCE et URE cumulés) équivalent à ses émissions cumulées sur la période 2008 – 2012. Une partie des crédits issus des mécanismes de projet pourront-être mis en réserve pour la phase post-Kyoto.

Encadré 2.3 : le mécanisme de compensation, définition et limites

Les mécanismes de projet instaurés par le protocole de Kyoto sont des mécanismes de compensation. Il s'agit de mécanismes de financement qui permettent à un acteur de substituer à la réduction de ses propres émissions l'achat de crédits carbone, en quantité équivalente, auprès d'un acteur tiers.

Le principe sous jacent est ce lui de la « neutralité géographique » : une tonne de CO₂ émise ou évitée a un effet sur le changement climatique identique, quel que soit le lieu où elle est émise ou évitée. Ainsi, une quantité donnée de gaz à effet de serre émise dans un endroit peut être compensée par la réduction de la même quantité d'émissions dans un autre endroit. (Source : ADEME, <http://www.compensationco2.fr/>)

Aujourd'hui, le mécanisme de compensation est remis en question par certains acteurs. En effet, la compensation ne doit pas devenir un alibi pour modifier des modèles économiques trop gourmands en carbone. (Source : Augustin Fragnière, « La compensation carbone : illusion ou solution ? », PUF, 2009) C'est dans cette optique que le marché européen limite le recours des Etats membres aux crédits générés par les mécanismes de projet.



Tout projet, lié à la mise en œuvre conjointe ou au mécanisme de développement propre, doit d'abord être validé par les instances des Nations Unies, respectivement le Comité de supervision (MOC) et le Conseil exécutif (MDP). L'additionnalité des projets est une condition sine qua non pour la validation : il faut prouver que les projets contribuent réellement à la réduction des émissions de GES. Pour cela, on mesure d'abord ce qu'auraient été les émissions si le projet n'avait

pas lieu. Ensuite, on vérifie quelles sont les émissions réelles, en présence du projet. Les crédits de compensation alloués correspondent à la différence entre ces deux mesures (cf. figure 2.1). Dans le cas d'un projet MOC, les crédits carbone délivrés sont des unités de réduction d'émission (URE ou ERU en anglais pour *emission reduction unit*). Il ne s'agit pas de nouveaux crédits mais de permis qui sont simplement transférés du compte UQA du pays hôte vers celui du pays financeur. Dans le cas d'un MDP, les crédits carbone délivrés sont des unités de réduction certifiée d'émissions (URCE ou CER en anglais pour *certified emission reduction*). Dans ce cas, il s'agit de nouveaux crédits, qui s'ajoutent aux UQA initialement alloués au pays de l'annexe B porteur du projet [24].

Aujourd'hui, 347 projets de type MOC ont été validés [26]. Les projets MOC sont principalement développés dans les pays de l'Est, les principaux pays hôtes étant la Russie, l'Ukraine et la République Tchèque. Quelques projets sont également développés en France et en Allemagne. Ces projets concernent notamment le développement d'énergies renouvelables, la capture du méthane de décharges ou de mines et de l'oxyde nitreux industriel.

Côté MDP, 2450 projets ont été validés jusqu'ici [27]. D'après les calculs de la Banque mondiale, ils représentent un flux total d'investissement de 150 milliards de dollars (122 milliards d'euros) vers les pays émergents et en développement sur la période 2002-2009 [25]. Toutefois, la répartition entre pays du Sud est loin d'être homogène. 78% des projets sont en Asie et uniquement 2% en Afrique, soit 48 projets en tout et 7% des crédits de compensation générés (cf. figure 2.2). Globalement, les deux tiers des projets du mécanisme de développement propre concernent le secteur énergétique (énergies renouvelables et efficacité énergétique) et 17% d'entre eux sont des projets de gestion des déchets. Les projets agricoles représentent un peu moins de 4,5% des projets du MDP, soit 128 projets au total [28].

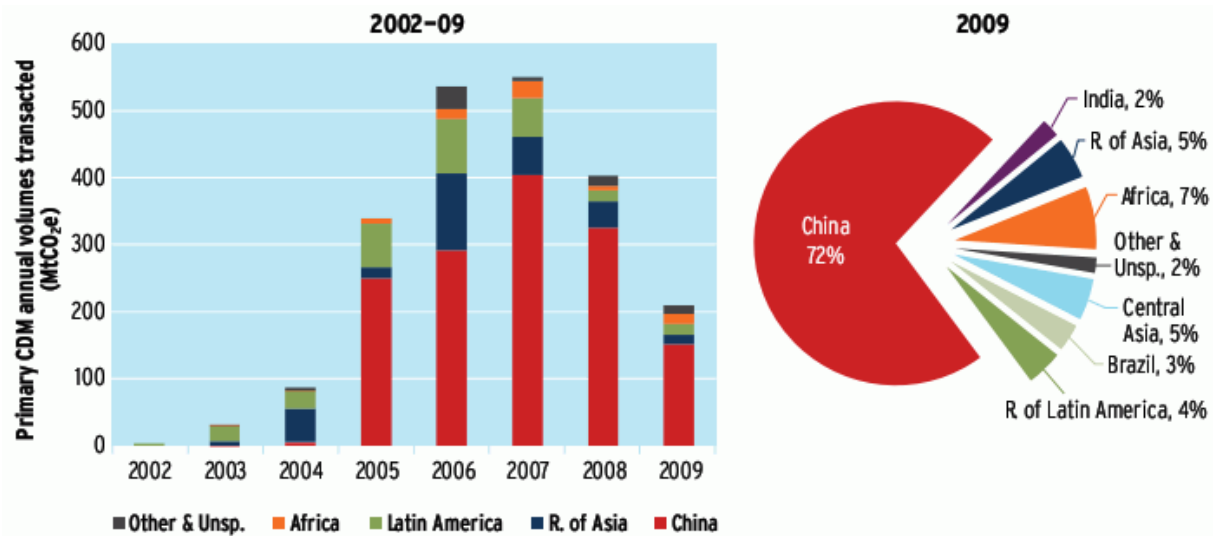


Figure 2.2 : Origine géographique des projets MDP – Source : World Bank

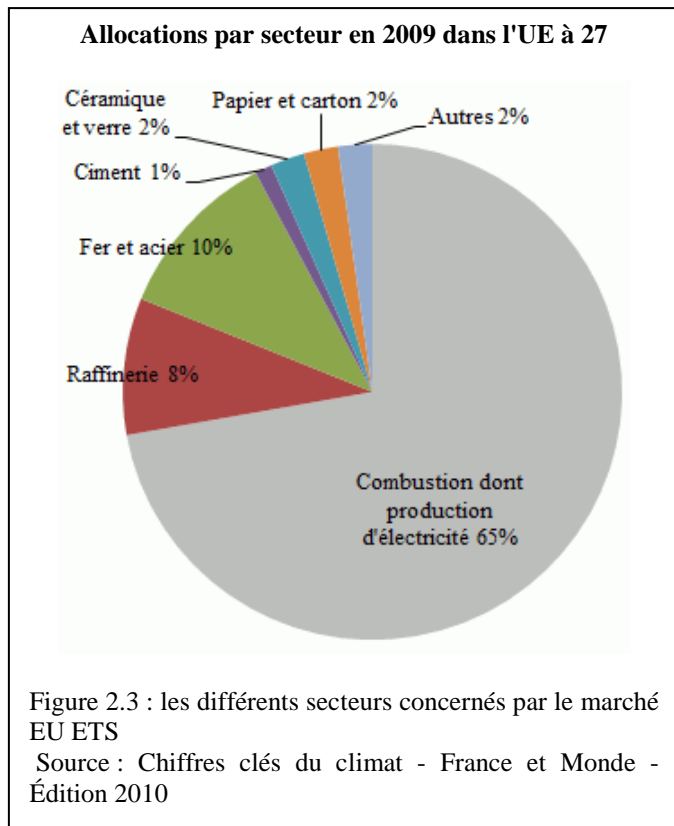
La plus grosse partie des crédits issus des mécanismes de projet (80% environ) est achetée par des pays européens, puisque ces derniers peuvent valoriser les URE et URCE sur le marché européen du carbone (cf. II-1.2)

II-1.3 Le marché européen est le plus important marché du monde et représente une incarnation solide du protocole de Kyoto

En 1997, dans le cadre du protocole de Kyoto, les quinze États qui constituaient l'Union européenne se sont engagés à réduire de 8% l'ensemble de leurs émissions. Cet effort a ensuite été réparti entre les différents pays. Pour atteindre l'objectif fixé, ces derniers ont mis en place un instrument au niveau communautaire, le marché européen d'échange de quotas de CO₂ (*European Union Greenhouse Gas Emission Trading System, EU ETS*).

La volonté de l'UE de mettre en place un instrument pour limiter ses émissions est ancienne. Ainsi, en 1992, la commission européenne avait proposé de mettre en place une taxe carbone et énergie. Le principe d'un marché d'échange de permis d'émission a dans un premier temps été écarté et ne s'est imposé qu'en 1997, après la rédaction du protocole de Kyoto. La directive sur l'échange de quotas d'émissions a été finalement adoptée par l'Union Européenne le 13 octobre 2003.

Ainsi, depuis 2005, l'EU ETS plafonne les émissions de CO₂ (et pas d'autres GES) des



entreprises les plus émettrices des 25, puis 27, États membres de l'UE. Cinq secteurs sont concernés : la combustion, la production de métal, de verre, de ciment et de papiers (cf. figure 2.3). Il faut noter que les émissions sont limitées au niveau des installations industrielles et non pas du secteur ou des sociétés propriétaires des installations. Environ 11 400 installations sont concernées, dans 27 États auxquels s'ajoutent la Norvège, l'Islande et le Liechtenstein [7], leurs émissions atteignent les 2Gt de CO₂ par an, soit 40% des émissions annuelles européennes [29]. Un plafond d'émissions annuelles est défini pour chaque installation, au niveau national, dans le cadre des plans nationaux d'allocation des quotas (PNAQ). Ainsi, chaque site se voit allouer le nombre de quotas échangeables correspondant à ses émissions autorisées, chaque quota

donnant le droit d'émettre une tonne de CO₂. La conformité est contrôlée chaque année, les installations concernées devant fournir à la commission le nombre de quotas requis pour couvrir les émissions de l'année précédente. Si les émissions effectives d'une installation sont supérieures aux quotas initialement alloués, l'installation doit acheter les permis manquants sur le marché européen des crédits carbone. Si au contraire, les émissions effectives sont inférieures aux quotas alloués, elle peut vendre les quotas en surplus. Les installations qui cherchent à acheter des quotas peuvent également recourir, dans une certaine mesure, à des permis issus de projets MOC/MDP [24]. Cette possibilité constitue le seul lien formel entre le marché EU ETS et le marché international du carbone résultant du protocole de Kyoto.

L'EU ETS a été mis en œuvre en deux phases. La première, de 2005 à 2007, a été une phase de test. La deuxième, de 2008 à 2012, correspond aux engagements pris à Kyoto. En 2008, avec le Paquet énergie climat, les États membres de l'Union européenne ont pris des engagements jusqu'en 2020, et ont décidé d'une troisième phase pour l'EU ETS, plus contraignante que la deuxième :

- Le secteur aérien sera inclus dans le marché EU ETS pour les vols en partance et à destination des États membres. Ce secteur représente 3% des émissions de l'Union Européenne mais ses émissions augmentent rapidement [30].
- Le plafond d'allocation des permis sera encore réduit de 11,3% à périmètre constant [29].

- Les permis ne seront plus alloués gratuitement aux installations : à partir de 2013, celles-ci devront les acquérir aux enchères, seules les installations hors production d'électricité bénéficieront encore d'une part d'allocation gratuite jusqu'en 2020. Cette modification est très importante car l'allocation jusqu'ici gratuite des permis, actifs valorisables sur le marché EU ETS, a pu générer des rentes pour les entreprises. Les États, qui vendront les quotas, bénéficieront d'un revenu important, qu'ils auront l'obligation de consacrer à des programmes d'atténuation et d'adaptation du changement climatique.
- L'admission des CER comme permis carbone sur le marché EU ETS sera progressivement limitée : les CER issus de projets MDP développés avant le 31 décembre 2012 seront totalement valorisables sur le marché EU ETS mais, après cette date, seuls les CER issus de projets situés dans un des pays les moins avancés (PMA) seront admis. Toutefois, si jamais un accord international faisant suite au protocole de Kyoto n'est pas trouvé, cette dernière règle pourrait être un peu assouplie [25]. En tout cas, cette évolution du marché EU ETS pourrait constituer une impulsion importante pour la mise en œuvre de projets MDP dans les PMA, pour l'instant encore très rares.

Il est important de noter qu'aujourd'hui EU ETS est le seul cadre qui fixe des objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre après 2012.

À la différence du protocole de Kyoto, le marché EU ETS soumet les acteurs à une pénalité en cas de non-conformité aux objectifs. Une amende de 40 euros par tonne de CO₂ non couverte par un permis était prévue en phase I (2005-2007). En phase II (2008-2012), cette amende s'élève à 100 euros par tonne de CO₂. Le protocole de Kyoto, pour sa part, ne prévoit pas d'autre sanction à l'encontre des États non conformes qu'une réduction des quotas alloués pour la phase suivante.

Le marché EU ETS est actif depuis cinq ans. Il est aujourd'hui le plus important marché carbone au monde. En 2009, le volume d'échange a atteint 118,5 milliards de dollars (88,7 milliards d'euros), en hausse de 18% par rapport à l'année précédente, malgré une baisse importante du prix des crédits carbone échangés sur ce marché, due au contexte économique défavorable. En moyenne, le prix du quota est passé de 22 euros en 2008 à 14 euros en 2009, soit une baisse de 42%.

Ellerman, Convery et Perthuis, auteurs de *Le prix du carbone – les enseignements du marché européen du CO₂* [29], tirent un bilan positif des cinq premières années de fonctionnement du marché européen. Grâce à lui, un prix du carbone a émergé en Europe et semble être intégré dans les décisions stratégiques des entreprises, y compris à long terme. Ce prix fluctue d'une façon semblable à celle des prix des autres actifs énergétiques. Les auteurs soulignent en outre que les émissions de CO₂ des secteurs concernés ont cessé d'augmenter suite au lancement d'EU ETS, malgré une conjoncture économique favorable, au moins au début des cinq années considérées. Il semblerait que la baisse des émissions soit de l'ordre de 2 à 5%, soit 120 à 300 millions de tonnes de CO₂ au cours des trois ans de la période d'essai (2005-2007).

II-1.3 D'autres marchés réglementaires sont en projet

D'autres marchés réglementaires que ceux instaurés par le protocole de Kyoto et l'Union européenne existent ou sont en cours de construction mais ils sont beaucoup plus récents et leur étendue géographique est beaucoup plus faible. En voici un rapide aperçu.

II-1.3.1 Des initiatives en Amérique du Nord

Regional Greenhouse Gas Initiative (RGGI) : À travers cette initiative, dix États du nord-est des États-Unis (Connecticut, Delaware, Maine, Maryland, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, New York, Rhode Island, et Vermont) soumettent les installations de production d'électricité à des permis pour leurs émissions de CO₂. Ces permis peuvent être échangés sur un marché commun aux 10 États. L'objectif est de réduire les émissions liées à la production d'énergie de 10% entre 2009 et 2019⁴. La quasi-totalité des quotas, soit 95% est allouée par ventes aux enchères [30]. Ensuite, les installations soumises à quotas peuvent se fournir jusqu'à 3,3% de leurs permis à travers des projets dans des secteurs non couverts par le marché mais qui doivent être situés dans les dix États participants. Cinq types de projets de réduction d'émissions ou de séquestration de CO₂ sont éligibles pour fournir des permis :

- la capture de méthane de décharges,
- la réduction des émissions hexafluorure de soufre (SF₆) dans le secteur de l'électricité,
- la séquestration de carbone par boisement,
- les économies d'énergie fossile dans le secteur du bâtiment,
- la réduction des émissions agricoles de méthane dans la gestion du fumier.

Les échanges de la RGGI atteignent une valeur annuelle d'environ 200 millions de dollars.

La Western Climate Initiative va rassembler deux États des États-Unis (Californie, Nouveau-Mexique) et trois provinces canadiennes (Québec, Ontario et Colombie Britannique) en vue du lancement d'un marché « cap and trade » à partir de 2012 [31]. Ce marché couvrirait, à terme, 90% des émissions de gaz à effet de serre de la zone géographique concernée. L'ambition est de réduire ces émissions de 15% à l'horizon 2020, par rapport à 2005. Les permis d'émission seraient alloués en conséquence, pour une période de trois ans, par vente aux enchères. Les entreprises en déficit de permis pourront se procurer des permis auprès de membres excédentaires ou bien en recourant à des projets extérieurs pour des crédits compensatoires, à hauteur au plus de 50% des réductions d'émission requises. Il pourra s'agir de projets domestiques, en priorité

- des projets dans le secteur de l'agriculture : séquestration de carbone dans le sol, gestion du fumier,

⁴ <http://www.rggi.org/design>

- des projets forestiers : déboisement-reboisement, gestion forestière, préservation et conservation des forêts, produits forestiers
- la gestion des déchets : émissions des lieux d'enfouissement, traitement des eaux usées,
- des projets issus de pays en développement, via le MDP instauré par le protocole de Kyoto [32].

En outre, il ne faut pas oublier que le Congrès des États-Unis travaille depuis 2009 à un projet de marché du carbone fédéral qui serait d'une toute autre ampleur. Cet *American Clean Energy and Security Act* prévoit de couvrir 85% des émissions de gaz à effet de serre des États-Unis, impliquant les grosses industries mais aussi la consommation de carburants fossiles. L'objectif serait d'obtenir une réduction de ces émissions de gaz à effet de serre de 17% à l'horizon 2020 par rapport au niveau de 2005, soit une baisse de 4% par rapport à 1990. De larges possibilités de recourir à des projets hors du périmètre, domestiques et internationaux, pour des crédits compensatoires existeront.

II-1.3.2 Les initiatives dans la zone Pacifique

La Nouvelle-Zélande est d'ores et déjà en train de mettre en place un marché du carbone, auquel ont d'abord été soumis les propriétaires forestiers. Ce NZCX (*New Zealand Carbon Exchange*) a démarré en 2008. Depuis juillet 2010, il est étendu aux secteurs de l'énergie et à l'industrie, aux transports et aux carburants. Ainsi, plus de 50% des émissions du pays sont couvertes. A partir de 2013, le secteur des déchets sera à son tour sous contrainte carbone, puis l'agriculture à partir du 1er janvier 2015 [33]. Le NZCX couvrira alors 90% des émissions du pays [34]. Ce marché prévoit l'allocation de crédits en fonction de la production de chaque installation, et non pas selon un plafond d'émission, en valeur absolue, comme le requiert le protocole de Kyoto [35]. Il admet le recours à des crédits Kyoto, même les CER forestiers.

New South Wales Greenhouse Gas Reduction Scheme (GGAS) Dès 2003, l'État de Nouvelle-Galles du Sud, en Australie, a soumis ses producteurs d'électricité, ainsi que certains de ses gros consommateurs, à un marché carbone. L'intensité en CO₂ de la production d'électricité est limitée à 7,27 tonnes de CO₂ émises par tête, ce qui correspond à une réduction de 5% des émissions par rapport à 1990. Le cap est fixé ainsi pour chaque producteur en proportion de sa part du marché électrique. En cas de dépassement des émissions autorisées, le producteur doit se fournir des « certificats de réduction d'émissions » auprès d'autres producteurs du marché qui seraient au-dessous de leur propre cap ou bien auprès de consommateurs d'électricité qui pourraient justifier de réductions d'émissions de gaz à effet de serre par ailleurs. La séquestration de carbone dans les forêts est également génératrice de certificats.

Au niveau national, l'Australie prévoit également le lancement d'un marché *cap and trade* qui couvrirait 75% de ses émissions, dans des secteurs tels que l'industrie, l'énergie, les transports, les déchets et aussi, peut-être, l'agriculture, dans un second temps. L'objectif est de réduire les émissions de 5% d'ici 2020, par rapport au niveau de 2000. Cependant, le lancement de ce marché, initialement prévu pour 2010, a déjà été reporté deux fois. Il est maintenant annoncé pour la fin de l'année 2012.

Le Japon a mis en place à partir de 2005 un marché du carbone volontaire (cf. II.2), mais la ville de Tokyo a voulu aller plus loin et vient de soumettre ses 1 400 bâtiments (industries et bureaux) les plus polluants à une contrainte carbone. Il s'agit pour eux de réduire leurs émissions de gaz à effet de serre de 6% pour les installations industrielles et de 8% pour les installations non industrielles d'ici à 2014, par rapport au trois années d'émissions les plus élevées entre 2002 et 2007 [36]. Cette différence dans les objectifs de réduction des deux secteurs concernés s'explique par le fait que les émissions industrielles ont déjà baissé de 47% entre 1990 et 2006 alors que celles du secteur commercial ont augmenté de 31% sur la même période [37]. Les entreprises en déficit de permis doivent s'en procurer auprès d'entreprises vertueuses, ou bien en finançant des projets de réduction d'émissions au Japon. L'objectif est de réduire les émissions de l'ensemble de 25% d'ici 2020 par rapport à 1990.

II-2 Les marchés carbone volontaires sont plus flexibles et inventifs mais sont parfois moins exigeants

Aux côtés des marchés réglementés, à travers lesquels un certain nombre d'acteurs sont contraints de réduire leurs émissions selon des critères établis par les pouvoirs publics, d'autres initiatives se développent, sur la base du volontariat.

La compensation volontaire peut se faire soit par des échanges de gré à gré, soit en utilisant des marchés formalisés. Aujourd'hui, uniquement deux marchés volontaires organisés existent, le très connu *Chicago Climate Exchange* (CCX) et le marché japonais.

En 2009, alors que les marchés règlementés ont généré des échanges d'une valeur totale de 134 milliards de dollars (près de 5 milliards de tonnes de carbone échangées), les marchés volontaires ont représenté environ 387 millions de dollars d'échanges, soit un volume de 93 millions de tonnes de carbone échangées, ce qui représente un peu plus de 1% des volumes mondiaux [38]. La moitié de ces crédits carbone ont été échangés sur le marché CCX, l'autre moitié a fait l'objet de transactions de gré à gré (cf. figure 2.7). Il est à noter que les chiffres de 2009 sont de 26% plus faibles que ceux de l'année 2008 (126,6 millions de tonnes échangées), du fait de la crise économique internationale.

Malgré la faible part des volumes qui y sont échangés, les marchés volontaires sont des laboratoires d'innovation et d'expérimentation très intéressants, qui contribuent au développement des marchés réglementaires.

Dans les paragraphes suivants, nous essayons de donner un aperçu du fonctionnement de ces marchés et de cerner quelles sont les tendances dans les transactions de gré à gré, qui, par définition, sont difficiles à observer et recenser, en nous appuyant en particulier sur les travaux du projet Ecosystem Marketplace.

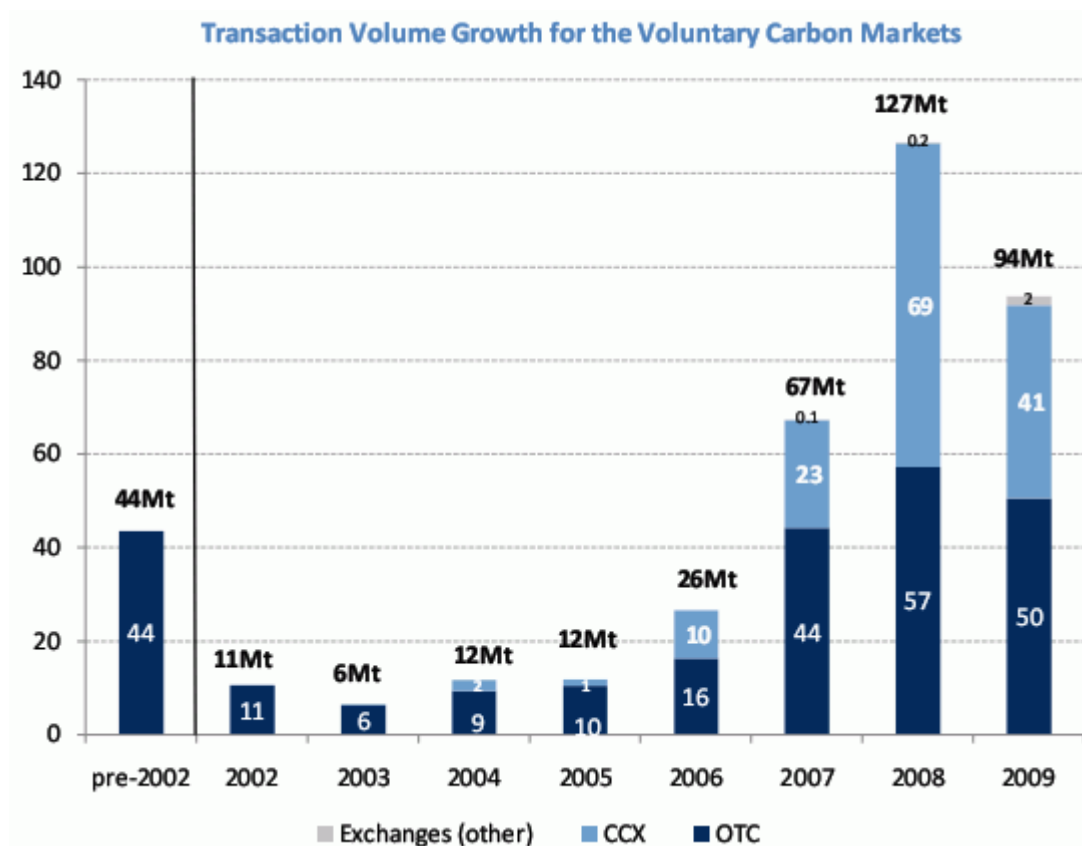


Figure 2.4 : Evolution des volumes d'échanges sur les marchés carbone volontaires
 Source : Ecosystem Marketplace [38] - Note : CCX bilateral trades included in the OTC volume.

II-2.1 Le marché de Chicago est le principal marché volontaire organisé

Les membres du *Chicago Climate Exchange* sont des entités économiques, des entreprises mais également des villes et des universités, qui s'engagent à réduire leurs émissions selon des plafonds qu'elles se fixent volontairement. L'objectif est une diminution progressive de leurs émissions, jusqu'à atteindre, en 2010, une baisse de 6% par rapport à leurs émissions sur la période 1998 – 2001. Ce niveau doit ensuite être maintenu, sauf nouvelle décision. Les émissions prises en comptes sont celles des six gaz à effet de serre concernés par le protocole de Kyoto (cf. encadré 2.2). Lors de son lancement, en 2003, le *Chicago Climate Exchange* (CCX) comptait 13 membres: American Electric Power, Baxter International Inc., City of Chicago, DuPont, Ford Motor Co., International Paper, Manitoba Hydro Corp., MeadWestvaco Corp., Motorola Inc., STMicroelectronics, Stora Enso North America, Temple-Inland Inc., Waste Management Inc. Aujourd'hui, le CCX compte plus d'une centaine de membres, dans des secteurs comme la chimie, la production électrique, les transports ou encore l'électronique.

Les membres se voient attribuer chaque année des permis d'émission à hauteur de l'objectif de réduction fixé. Ils doivent rendre les permis correspondant à leurs émissions effectives en fin d'année. Les membres qui seraient en déficit de permis peuvent en racheter auprès de membres plus vertueux ou bien se procurer des permis de compensation extérieurs (*offsets*) auprès de développeurs agréés de projets de réduction d'émissions ou de séquestration de

carbone. Ces développeurs agréés peuvent se situer aux États-Unis ou à l'étranger. Le Beijing Shenwu Thermal Energy Technology Co., Ltd. (BSTET) est un exemple de développeur situé à l'étranger: agréé depuis 2006, il réalise des projets d'efficacité énergétique dans l'industrie chinoise. Il peut également s'agir d'entités qui regroupent (*aggregators*) plusieurs petits fournisseurs de projets, comme le fait l'AgraGate Climate Credits Corp, qui rassemble plus de 400 000 hectares d'exploitations agricoles et de propriétés forestières américaines.

En 2008, ce marché CCX aurait donné lieu à des échanges d'une valeur totale de 307 millions de dollars, soit 70 millions de tonnes d'équivalent CO₂ échangées [39].

II-2.2 Le marché japonais

En 2005, le Japon a également lancé un marché volontaire, mais d'ampleur beaucoup plus modeste. Environ 200 entreprises y participaient, qui représentaient moins de 1% des émissions de CO₂ du secteur industriel. Elles doivent s'engager sur un objectif de réduction d'émissions et bénéficient d'une subvention gouvernementale à hauteur d'un tiers des coûts engagés pour l'atteindre. Les entreprises qui ne parviennent pas à leur objectif doivent acheter des crédits carbone auprès d'autres entreprises ou rembourser ces subventions. En 2008, ce marché volontaire a été élargi sur le modèle du marché européen EU ETS : les crédits carbone issus des mécanismes de projets Kyoto y sont dorénavant admis, ainsi que des crédits issus de projets de réduction d'émissions au Japon. Aujourd'hui, ce marché volontaire compte plus de 700 entreprises parmi ses membres et couvre plus des deux tiers des émissions d'origine industrielle du pays [40].

II-2.3 les marchés de gré-à-gré, des volumes importants, difficiles à suivre

Un marché informel du carbone tend par ailleurs à se développer au fil de transactions de gré à gré. Les acteurs qui achètent de manière totalement autonome des crédits carbone peuvent agir avec des motivations diverses, comme un souci d'image, dans ce cas il s'agit de compenser des dommages environnementaux présumés réalisés par ailleurs, ou bien l'anticipation d'une réglementation à venir mais également avec une approche spéculative, en achetant des crédits carbone pour les revendre ensuite (cf. encadré 2.4). Il existe également des programmes, tel que le programme de l'Agence américaine de Protection de l'Environnement *Climate leaders*, qui encouragent les entreprises à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à financer des projets d'atténuation via des crédits carbone. Les entreprises à but lucratif constituent la grande majorité de la demande, les achats de la part d'ONG ou de particuliers devenant tout à fait marginaux (1 et 2% de la demande en 2008). En 2008, ce type d'échange a représenté au niveau global près de 400 millions de dollars (54 millions de tonnes de carbone).

Encadré 2.4 : Quelques exemples d'acteurs français engagés dans des échanges de crédit carbone de gré à gré

Plusieurs entreprises françaises participent à des échanges de crédits carbone sur une base volontaire. Par exemple, Club Méditerranée, Fram, Prisma Presse ou encore Sfr compensent par l'achat de crédits volontaires partie ou totalité des émissions générées par les déplacements de leurs collaborateurs. Pour cela, ils utilisent le programme Action Carbone, non lucratif, qui finance des projets d'efficacité énergétique, d'énergie renouvelable et de puits de carbone développés par des ONG. Club Med, Air France et SNCF proposent également l'achat de crédits carbone à leurs clients pour compenser les émissions causées par leur voyage. En 2008 et 2009, Bouygues Telecom s'est adressé à la société EcoAct pour compenser les émissions de sa caravane publicitaire sur le Tour de France cycliste, tout comme la société Areva pour compenser l'ensemble de ses émissions. Le Crédit Coopératif recourt au programme CO₂ Solidaire pour compenser les émissions générées par l'organisation de ses assemblées générales. En 2008, ce type d'échange a représenté au niveau global près de 400 millions de dollars (54 millions de tonnes de carbone).

La démarche des acheteurs est volontaire, ils ne sont pas soumis à des obligations par les pouvoirs publics. Pour compenser leurs émissions, ils achètent des permis

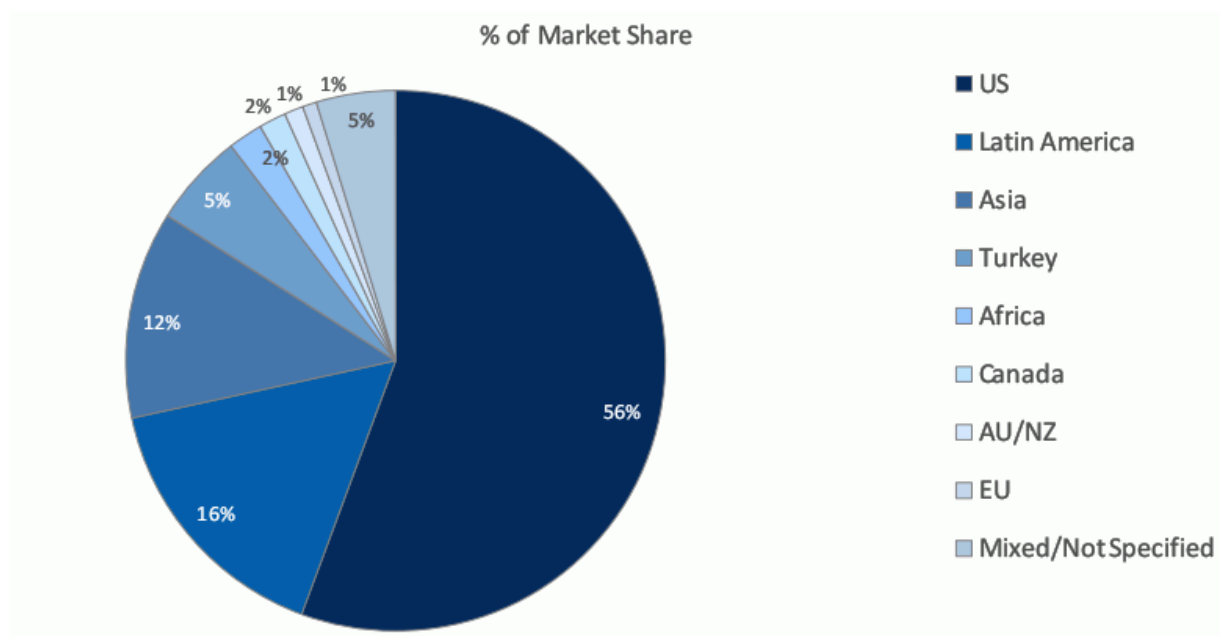
carbone qui proviennent de développeurs de projets. Aujourd'hui ces développeurs sont en majorité des entreprises privées à but lucratif, alors que les débuts de ce marché avaient été le fait d'organisations à but non-lucratif. Cette redistribution des rôles laisse penser que les opportunités pour tirer profit des marchés volontaires sont de plus en plus nombreuses et intéressantes.

Les marchés volontaires sont beaucoup moins stricts que les marchés réglementés en matière de projets autorisés. Les projets de réduction des émissions y sont donc beaucoup plus variés. Dans ce sens, les marchés volontaires peuvent servir de laboratoire pour tester des méthodes qui pourront ensuite être transférées aux marchés réglementés. Néanmoins, cette liberté a parfois donné origine à des dérives, certains projets étant attaqués quant à la réalité et à la durabilité des réductions réalisées. En réponse aux doutes sur l'efficacité des marchés volontaires, la labellisation des projets de réduction d'émission à l'origine des crédits vendus a connu un réel essor. Ainsi, en 2009, plus de 90% des crédits échangés sur ces marchés volontaires de gré à gré sont issus de projets labellisés. La labellisation peut être effectuée par les Nations Unies, selon les critères du Mécanisme de développement propre (MDP) ou ceux de la Mise en œuvre conjointe (MOC), mais également par des labels privés. Parmi ces derniers, le plus influent est le *Voluntary Carbon Standard (VCS)* qui concerne 35% des

crédits vendus de gré à gré, suivi du label *Climate Action Reserve* (CAR) qui concerne 31% des volumes échangés [38]. Actuellement 18 labels différents sur le marché volontaire sont recensés, ce qui parfois ne facilite pas la lisibilité.

Sur le marché de gré à gré, la majorité des projets financés sont des projets de capture de méthane, en décharge mais aussi dans les mines de charbon et dans les élevages, ces projets génèrent 41% des volumes échangés. Les projets forestiers et touchant à l'usage des sols représentent 24% des volumes échangés et les énergies renouvelables 17%. Les projets sont principalement développés aux États-Unis, en Amérique latine et en Asie. Les États-Unis ont pris une importance inédite en 2009, certainement du fait de la volonté de l'administration fédérale de créer un marché carbone réglementé.

Depuis 2009, les États-Unis sont devenus les principaux acteurs des échanges de crédits carbone de gré à gré, aussi bien pour l'offre de crédits que pour la demande (cf. figure 2.5). L'Afrique, quant à elle, est très peu concernée par le développement de projets pour échanges (2% des projets), contrairement à ce qui était initialement attendu. Les porteurs de projet citent le manque de capacités, d'industrialisation et de structures financières comme les trois obstacles majeurs au développement de projets en Afrique [38]. Cependant, en 2009, un intérêt nouveau pour cette région semble émerger, à mesure que les acheteurs de crédits veulent voir intégrée des critères liés au développement durable dans les projets qu'ils financent et que les projets forestiers sont de plus en plus appréciés, du fait de l'ébullition des négociations internationale sur ce thème. Et, en lien avec ces spécificités, les crédits d'origine africaines ont vu leur prix augmenter cette année: leur prix moyen passe de 5,1\$ en 2008 à 8\$ en 2009. Enfin, en 2009, 90% des crédits volontaires générés en Afrique étaient issus de projets forestiers, développés dans 8 pays (Mozambique, Ouganda, Mali, Malawi, Madagascar, Ghana, Afrique du Sud et République démocratique du Congo).



Source: Ecosystem Marketplace, Bloomberg New Energy Finance. Note: Based on 394 observations.

Figure 2.5 : Origine géographique des crédits carbone échangés de gré à gré en 2009

II-3 Les différents marchés font émerger un prix du carbone qui est intégré par les acteurs économiques

Les différents mécanismes de marché décrits font émerger un prix pour les émissions de gaz à effet de serre. Ceci permet de faire intégrer aux agents économiques le coût social de ses émissions. D'une façon générale, le prix de la tonne de carbone dépend de l'offre et de la demande, c'est-à-dire, d'une part, de la rareté attendue des quotas, qui dépend elle-même du plafond d'émission fixé par les autorités publiques, et, d'autre part, des émissions effectives déclarées chaque année par les entreprises sous quotas [41]. Mais aujourd'hui, il est impossible de parler d'un prix du carbone unique. En effet, les différents marchés étant peu, ou pas du tout, intégrés les uns aux autres, le prix du carbone n'est pas harmonisé au niveau mondial mais il est pour l'instant différent d'un marché à l'autre.

Néanmoins, un mouvement commun à tous les marchés s'observe depuis 2008 : le prix du carbone baisse. Les experts expliquent cette évolution par plusieurs facteurs. D'une part, la récession économique a eu un impact fort. En effet, l'activité économique a diminué, ce qui entraîne mécaniquement une baisse des émissions. La contrainte carbone a donc été moins forte sur les entreprises, qui ont eu moins de difficultés à respecter leurs plafonds d'émission. En outre, comme tous les actifs, les permis carbone ont été vendus lors de la crise par les entreprises qui souhaitaient disposer de liquidités [42]. Les crédits carbone sont donc devenus moins rares, leurs prix ont atteint des minimums. D'autre part, des incertitudes réglementaires pèsent sur les différents marchés. Tant qu'un nouvel accord international pour la période post-Kyoto n'est pas décidé, les entreprises et Etats engagés sur le marché international préfèrent souvent garder des positions d'attente et investissent peu dans les marchés du carbone. Notons que, par contre, l'avenir du marché européen est bien connu jusqu'en 2020 au moins. Enfin, les crédits issus des projets MDP sont faiblement valorisés car le processus de validation des projets, et donc des crédits qui en découlent, est extrêmement long : il faut attendre en moyenne 572 jours pour voir un projet validé, et encore 607 jours pour voir les premiers permis délivrés - soit plus de trois ans de délais, et d'incertitude, au total (cf. encadré 2).

Encadré 2.5 : Un début de réforme du mécanisme de développement propre pour simplifier ses procédures et inclure davantage certains pays

Autant la baisse des prix du carbone liée à la crise économique ou incertitudes pesant sur les négociations peut être considérée comme conjoncturelle, autant celle due aux temps de mise en route des projets MDP est structurelle. D'autant plus que certains auteurs considèrent qu'elle ne fera que s'aggraver puisque les projets les plus aisés à mettre en oeuvre, en particulier ceux énergétiques de grande échelle, ont maintenant été valorisés. Ainsi, dans le cadre des négociations qui ont eu lieu à Copenhague, une partie des discussions a porté sur les réformes à lancer pour améliorer le fonctionnement du mécanisme de développement propre. Trois pistes sont envisagées: la simplification des éléments à fournir pour définir les émissions de référence, la redéfinition de la notion d'additionnalité selon des critères plus environnementaux et moins financiers, et enfin, la mise en place de mécanismes plus simples pour les pays qui bénéficient peu du MDP, tels que les pays africains. Pour cette dernière catégorie de pays, et en particulier pour ceux d'Afrique, une formule dite « programmatique » du MDP existe déjà depuis trois ans : elle permet de valider un modèle de projet et de le reproduire ensuite sans besoins de longues procédures en plus. Toutefois, aujourd'hui seuls quatre projets sous cette formule simplifiée ont été validés (cf <http://cdm.unfccc.int/ProgrammeOfActivities/registered.html>), probablement à cause des délais d'appropriation de cette nouvelle procédure par les acteurs ainsi que d'une certaine méfiance de la part des organismes de validation et de vérification des projets.

Mais le mouvement de baisse commun à tous les marchés ne gomme pas les différences dans les niveaux de prix pour les crédits carbone.

Sur le marché international du carbone mis en place par le protocole de Kyoto, le prix du CER primaire, c'est-à-dire directement issu d'un projet MDP validé par l'ONU, représentant une tonne CO₂eq économisée, s'établissait en 2009, en moyenne, à 12,7 \$ la tonne (9,1€), en baisse de 21% par rapport à 2008 [25]. Notons que cette baisse du prix des crédits générés par les mécanismes de projet, s'il elle se poursuivait, pourrait menacer les transferts financiers Nord-Sud qui se font au travers du développement des projets MDP.

Sur le marché EU ETS, le prix du carbone est aujourd'hui stabilisé autour de 15 euros la tonne (cf. figure 2.6). Néanmoins, il a démarré à 8 euros la tonne en janvier 2005 et a pu monter jusqu'à 30 euros la tonne en phase I (2005-2007). Sur le marché RGGI, les enchères aboutissent en général à un prix d'un peu plus de 3 dollars la tonne.

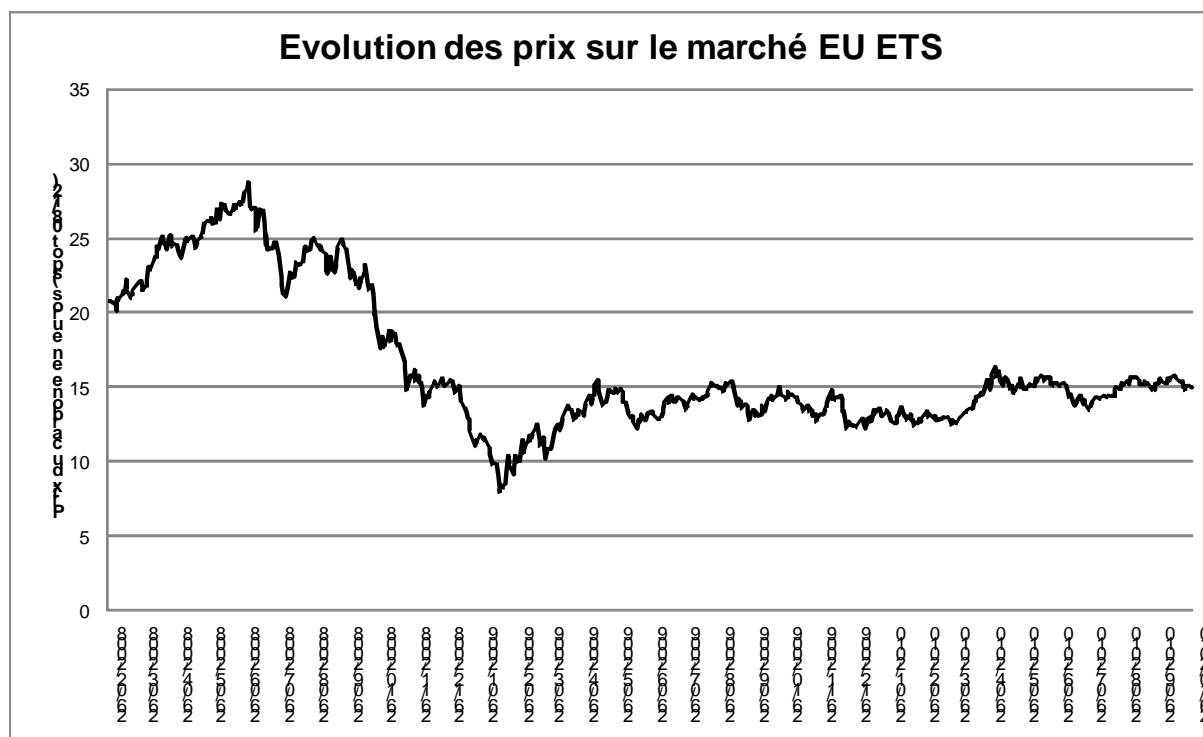


Figure 2.6 : Evolution des prix sur le marché EU ETS (source : Bluenext, 28/10/2010)

Sur les marchés volontaires, le prix de la tonne de carbone est également variable dans le temps et d'un marché à l'autre. Le prix moyen était de 6,5 dollars (5,3 euros) par tonne en 2009, en baisse de 12% par rapport à 2008 [38]. Cette moyenne recouvre de larges disparités, le prix de la tonne de carbone pouvant en fait aller de 0,3 dollar (0,24 euro) à 111 dollars (90,5 euros) la tonne. Ces différences s'expliquent par les différents types de projets que ces crédits recouvrent. Sur le marché de Chicago CCX, la tonne de carbone était cotée en moyenne à 1,2 dollar (0,98 euro) en 2009, en baisse de 73% par rapport à 2008 (cf. figure 2.7). Le bas prix du carbone sur ce marché s'explique par la prépondérance de crédits de compensation (offsets en anglais) considérés comme peu coûteux. C'est le cas des crédits générés par le secteur agricole, en particulier par le stockage du carbone dans le sol. Selon la Banque Mondiale, la faiblesse du prix des crédits sur ce marché de Chicago serait également

liée à une demande faible. Ceci serait dû au fait que la discussion sur la mise en place d'un marché réglementaire aux Etats-Unis est encore loin d'être aboutie. De ce fait, les entreprises volontaires seraient plus intéressées par des projets de compensation ponctuels, sur le marché de gré à gré, plutôt que par un engagement formel sur une telle place [30]. Enfin, le marché CCX souffre de la faiblesse des méthodologies autorisées pour générer des crédits de compensation. Ces méthodes ont eu, par exemple, le mérite de lancer l'idée d'une valorisation de la séquestration du carbone dans les sols, mais elles ne sont pas à la hauteur des exigences fondées par le protocole de Kyoto. En effet, la démonstration systématique de l'additionnalité des projets et la mesure effective des émissions évitées ne sont pas demandées. Ainsi, le CCX perd la confiance des investisseurs, alors qu'il apparaît de moins en moins probable que ses crédits carbone soient admis, à terme, au sein d'un futur marché carbone réglementé aux Etats-Unis.

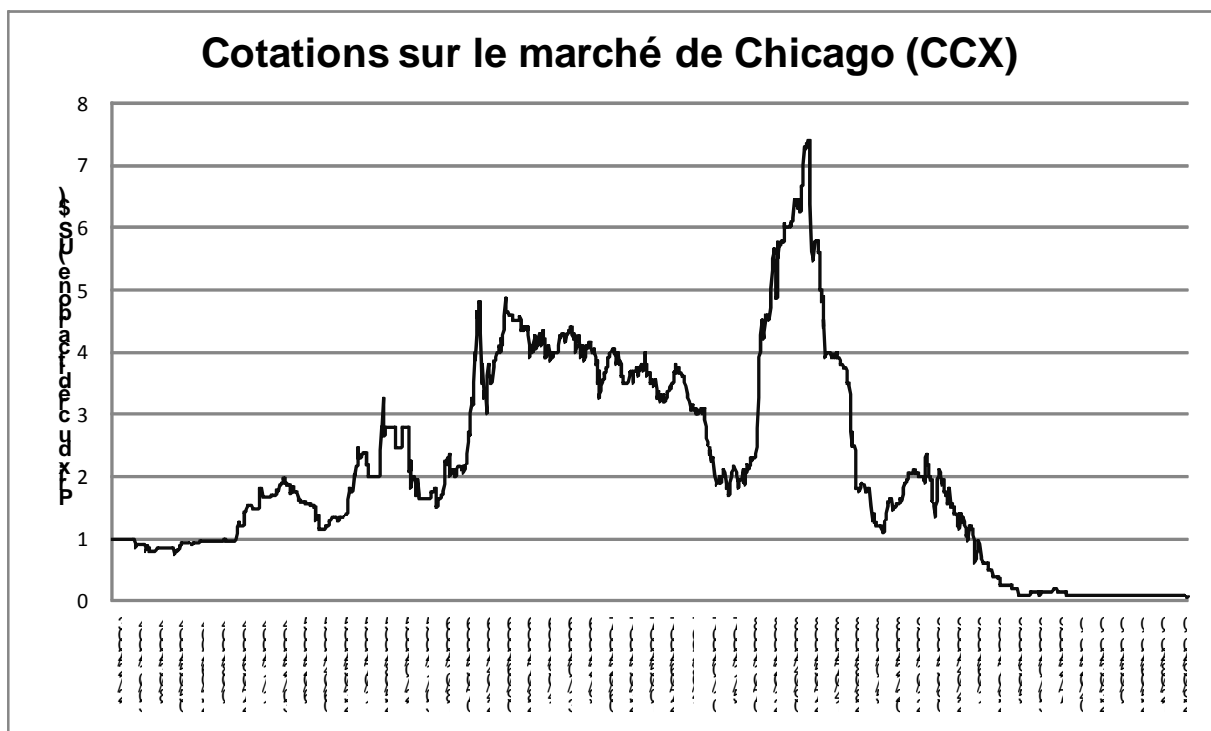


Figure 2.7: cotations sur le Chicago Climate Exchange pour des crédits vintage 2003 (année de réalisation de la réduction) – les cours ne diffèrent pas fortement d'un vintage à l'autre (Source: CCX au 29/10/2010 – graphe des auteurs)

Sur les marchés volontaires de gré à gré, le prix du crédit carbone varie selon le type de projet qu'il recouvre. Les projets les plus cotés sont les projets de développement d'énergies renouvelables : en moyenne 33,8 dollars (27,5 euros) la tonne pour un projet solaire, 12,3 dollars (10 euros) la tonne pour un projet de biomasse et 8,7 dollars (7,1 euros) la tonne pour un projet éolien. Les projets de capture des émissions de méthane agricole sont également bien cotés. A l'autre bout du classement : la séquestration dans les sols agricoles, à 1,2 dollar (0,97 euro) la tonne, en moyenne [38]. La valorisation des projets peut également varier selon le pays de localisation et surtout selon le label obtenu : les projets les plus cotés sont ceux qui

ont obtenu la validation ONU (MDP et MOC), viennent ensuite les labels Greenhouse Friendly, puis Gold Standard, CarbonFix, Gold Standard et Plan Vivo. D'une manière générale, encore trop peu d'investigations ont été menées pour pouvoir expliquer correctement l'évolution des prix du carbone sur les marchés volontaires⁵.

II-4 L'agriculture, oubliée des marchés du carbone ?

Dans les questions climatiques, l'agriculture peut intervenir à deux niveaux: d'une part, elle constitue un émetteur de gaz à effet de serre, et, d'autre part, elle peut fournir des crédits carbone, en stockant du carbone ou en réduisant ses émissions. Nous faisons état dans le paragraphe suivant de la situation actuelle de l'agriculture dans les marchés du carbone; dans un deuxième temps nous donnons un aperçu de comment pourrait, et devrait, évoluer cette participation.

a) Aujourd'hui l'agriculture est un petit fournisseur de crédits carbone

Aujourd'hui, le secteur agricole n'est soumis à aucune contrainte de réduction de ses émissions. Par contre, il est bien présent sur les marchés carbone, en tant que fournisseur de crédits : un agriculteur qui réduit ses émissions de gaz à effet de serre ou qui parvient à générer de la séquestration de carbone fournit des crédits carbone échangeables sur ces marchés. L'agriculture intervient comme source de crédits de compensation pour les acteurs sous contraintes (encore appelés *offsets*).

Mais en réalité, cette possibilité de compensation agricole est encore peu développée. Les mécanismes de projet de Kyoto (MOC/MDP) autorisent la valorisation d'un petit nombre de méthodologies pour séquestrer du carbone ou éviter des émissions dans le domaine agricole. Voici les types de projets agricoles qui peuvent être développés au titre du mécanisme de développement propre ou de la mise en œuvre commune [43]:

- dans le domaine de la gestion des déchets agricoles: capture et torchage du biogaz issu des déchets, capture et production d'énergie à partir du biogaz, digestion aérobie des déchets. Dans tous ces cas, il s'agit de réduire les émissions de méthane (CH₄)
- pour la production d'énergie à partir de la biomasse, qu'il s'agisse de la valorisation de déchets agricoles ou des plantes entières⁶. Il s'agit ici de réduire les émissions de CO₂. Il faut noter que les crédits carbone issus de ces projets sont valorisés par le consommateur de cette énergie de substitution et non pas par l'agriculteur. Cependant, les exploitants agricoles bénéficient via ce type de projet de nouveaux débouchés pour leurs produits et donc d'éventuels revenus complémentaires.

⁵ A l'exception notable de cette étude : Guigon P, Bellasen V, Ambrosi P. « *Voluntary carbon markets: What the Standards Say...* »; Mission Climat CDC, 2009

⁶ Une seule méthodologie « biocarburant » a été validée par le Conseil exécutif des MDP : la méthodologie ACM0017 est réservée à la production de biodiesel à partir d'huiles usagées ou d'huile végétale issue de plantes cultivées sur des terrains dégradés – aucun projet enregistré jusqu'ici.

- il existe également une méthodologie MDP Small Scale, c'est à dire des MDP éligibles à des procédures simplifiées, qui valorise les réductions d'utilisation d'engrais azotés [44]. Il s'agit d'encourager l'introduction de légumineuses fixatrices d'azote dans les rotations culturales. Cependant, pour l'instant, aucun projet utilisant cette méthodologie n'a été validé.

Lors de la Conférence des parties qui s'est tenue à Marrakech (*Conference of Parties 7*), il a été décidé que la séquestration du carbone dans les sols agricoles ne pouvait pas être éligible au titre des projets de MDP, au moins pour la première phase d'engagement (2008-2012). Au cours de cette période, les seuls puits de carbone reconnus par le MDP sont le boisement et le reboisement [45]. Mais la question reste ouverte pour les périodes d'engagement suivantes. Le stockage de carbone dans les sols par l'agriculture a été considéré comme trop facilement réversible pour permettre une action efficace contre le changement climatique, au moins dans un premier temps. En effet, par exemple, il suffit d'un seul labour pour libérer le carbone atmosphérique stocké pendant de nombreuses années. Pourtant, la séquestration du carbone dans les sols représente pourtant près de 90% du potentiel d'atténuation de l'agriculture. Ainsi, il est important de militer pour sa reconnaissance au sein des accords climatiques pour espérer insérer le secteur agricole dans les nouvelles économies décarbonées de demain.

Les projets d'agroforesterie sont éligibles aux mécanismes de Kyoto. Les agriculteurs peuvent ainsi être rémunérés pour le carbone fixé dans les arbres plantés, sous forme de CER forestier, ou tCER, qui sont des CER temporaires. Ce type particulier de CER a été créé pour prendre en compte le caractère réversible de la séquestration de carbone. Il est plus faiblement valorisé qu'un CER classique. Des projets de reboisement sont également autorisés mais peu d'entre eux sont portés par des agriculteurs.

Jusqu'ici, l'ONU a enregistré 15 projets forestiers et 128 projets agricoles sur les 2238 projets MDP validés. Notons que la très grande majorité de ces projets est développée en Amérique latine et en Asie. L'Afrique accueille pour l'instant un projet de boisement en Ethiopie et un projet de capture des gaz dans une porcherie en Afrique du Sud ⁷.

Du fait de leur éligibilité aux mécanismes de projets Kyoto, ces projets agricoles d'atténuation peuvent accéder à tous les marchés carbones qui acceptent les crédits de compensation MOC/MDP. En particulier, ils peuvent donc accéder au marché EU ETS, le plus ample marché carbone existant, et y trouver une source de financement. A travers ce marché, les agriculteurs mettant en place des projets MDP peuvent théoriquement vendre la compensation carbone qu'ils génèrent aux acteurs européens sous contrainte. Cependant, le marché EU ETS n'autorise pas l'utilisation de crédits carbone temporaires, ce qui empêche les projets forestiers et agroforestiers d'accéder à ces financements. Cette limitation explique d'ailleurs en partie le peu d'engouement démontré, jusqu'ici, pour les MDP forestiers.

Aux Etats-Unis, sur le marché volontaire de Chicago, une large place est déjà accordée aux crédits de compensation générés par le secteur agricole. Ce marché est de loin le plus audacieux en la matière. Par contre, il n'admet pas formellement les crédits de compensation Kyoto. Il développe plutôt ses propres modalités d'agrément, basées notamment sur les

⁷ <http://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>

critères d'éligibilité ONU, mais pas seulement. Ainsi il admet notamment les projets agricoles du type [46]:

- capture de méthane ;
- amélioration des pratiques agricoles aboutissant à la séquestration du carbone atmosphérique dans les sols.

En outre, le projet actuellement en discussions aux Etats-Unis de constitution d'un marché carbone réglementé au niveau fédéral admettrait également les CER MDP/MOC. Il ouvrirait également des possibilités d'offsets agricoles beaucoup plus larges, au-delà des seuls projets validés par l'ONU : les agriculteurs pourraient se présenter sur ce marché avec des crédits carbone issus de la séquestration de carbone dans les sols. Un rapport récent souligne que cette perspective pourrait être très intéressante pour les agriculteurs et en particuliers les céréaliers des Etats-Unis [47]. En effet, bien que ce nouveau marché puisse être à l'origine d'une hausse des prix des intrants, en particulier l'énergie, le carburant et les engrais, il pourrait également créer de nouvelles opportunités de revenu, à travers la rémunération des projets agricoles de réduction des émissions et de séquestration du carbone, sans compter la vente de biomasse énergétique. Le rapport souligne que ces nouveaux débouchés pourraient fournir des revenus plus importants que les revenus générés par les céréales actuellement cultivées. Et, selon ce qui sera finalement admis comme option, les agriculteurs pourraient être des bénéficiaires nets, les gains pouvant excéder les coûts.

Enfin, sur les autres marchés volontaires, dans les échanges de gré-à-gré, les crédits de compensation agricoles sont présents, mais en petite quantité: ils représentaient 3% des crédits échangés en 2008 [39]. Il s'agit notamment de projets de captation de méthane. Il s'agit aussi, parfois, de projets de séquestration du carbone dans les sols, pour lesquels certains labels commencent à développer des méthodologies d'agrément. Ce mouvement pourrait d'ailleurs être vite relancé par la construction d'un marché carbone aux Etats-Unis admettant ces crédits de compensation. Ainsi, le standard VCS propose d'ores et déjà une méthodologie intitulée *Agricultural land management*.

b) L'agriculture, fortement impliquée dans les politiques climatiques dans les années à venir ?

Tout d'abord, il est d'ores et déjà prévu que l'agriculture réduise et compense ses émissions de méthane et d'oxyde nitreux à partir de 2015 en Nouvelle Zélande. En outre, le marché réglementé australien, qui devrait être mis en place dans un futur proche, devrait inclure aussi le secteur agricole.

Au niveau international, l'agriculture devrait occuper une place plus importante dans le nouveau régime climatique qui suivra celui mis en place en 1995 par le protocole de Kyoto. Les détails du nouveau régime devaient être décidés lors de la quinzième conférence des parties de la convention cadre des Nations Unies, qui s'est tenue à Copenhague en décembre 2009. Mais cette convention n'a pas abouti à un texte contraignant (cf. encadré 2.5). Néanmoins, elle a esquissé quelques une des directions qui seront probablement prises, et qui seront discutées à Cancun à la fin de l'année 2010.

Encadré 2.6 : l'Accord de Copenhague, une déclaration politique mais pas un accord contraignant

La quinzième conférence des parties, qui s'est réunie à Copenhague à la fin de l'année 2009, avait pour objectif la signature d'un accord qui prendrait la suite du protocole de Kyoto, à partir de 2012. Mais elle n'a pas abouti à un nouveau texte contraignant. Elle a produit un texte appelé « Accord de Copenhague ». Cet accord est dans les faits un texte rédigé par trente chefs d'États, ces États représentant 80% des émissions mondiales de gaz à effet de serre. A titre de comparaison, les émissions des États actuellement engagés dans le protocole de Kyoto représentent 40% des émissions mondiales. D'un point de vue politique, l'Accord de Copenhague constitue une avancée, peut-être la meilleure qui pouvait avoir lieu dans les conditions de la réunion de Copenhague, même si pas satisfaisante dans l'absolu. Par contre, il s'agit d'un texte faible d'un point de vue légal. En effet, la conférence des parties ne fait qu'en prendre acte, l'accord n'a donc aucun statut contraignant, puisqu'il n'est pas approuvé par l'ensemble des parties. [48]

Voici un rapide aperçu de ses contenus. L'Accord de Copenhague, en 12 articles, reconnaît la nécessité de limiter le réchauffement climatique à +2°C (art 1), sans préciser toutefois la base de référence. Il engage les pays de l'annexe I de la Convention Cadre à annoncer les objectifs de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2020 (article 4) pour atteindre l'objectif global fixé. Les pays hors annexe I, quant à eux, s'engagent à appliquer des mesures d'atténuation (article 5). L'importance des mesures d'atténuation impliquant la forêt, telles la réduction du déboisement et le renforcement de la séquestration carbone, est rappelée. Ainsi, la mise en place immédiate d'un mécanisme de financement de ce type de mesure est demandée, sur la base du programme REDD+ (article 6). Les pays développés s'engagent également à apporter de nouveaux financements pour l'atténuation et l'adaptation dans les pays en développement (article 8). Ces nouveaux financements devraient être « de l'ordre de 30 milliards de dollars pour la période 2010-2012 » et de « 100 milliards de dollars par an d'ici à 2020 ». Enfin, le transfert technologique doit être accéléré pour appuyer les efforts d'atténuation et d'adaptation (article 11).

D'une part, l'Accord de Copenhague [49] rappelle l'importance du rôle de la forêt dans l'atténuation du changement climatique. Dans l'article 6, les parties demandent ainsi l'estimation des émissions/absorptions de gaz à effet de serre liées à la forêt. Le rôle de la forêt dans les actions d'atténuation est reconnu depuis décembre 2007 (cf. encadré 2.6). En particulier, à cette date, la réduction des émissions issues de la déforestation et de la dégradation (REDD) des forêts a été désignée comme un des mécanismes à inclure dans le traité qui devra faire suite au protocole de Kyoto. Cette décision aura des impacts sur le secteur agricole. En effet, les experts considèrent que l'agriculture est la cause immédiate de déforestation la plus fréquente. Ainsi le financement de la REDD pourrait passer par des mesures incitant les agriculteurs à réduire la mise en culture de nouvelles surfaces.

D'autre part, au delà de ces effets indirects des décisions concernant la forêt, la question agricole prend une ampleur certaine au sein des négociations. Bien que l'agriculture ne soit pas directement citée dans l'accord de Copenhague, certains auteurs [50] estiment qu'elle constitue l'un des domaines dans lesquels le plus de progrès ont été accomplis au cours des négociations de décembre 2009. En fait, l'année 2009 pourrait avoir constitué le point de basculement des sujets agricoles dans la négociation climatique. Jusque là, ces questions étaient discutées de façon informelle, dans le cadre d'une initiative lancée par la Nouvelle-Zélande ou lors de discussions entre organisations internationales ou non gouvernementales, en marge des négociations climatiques.

Mais en 2009, l'agriculture semble être entrée dans l'agenda des négociations. D'une part, à Bangkok, en octobre, lors de la préparation des textes pour Copenhague, un « groupe de

drafting » sur l'agriculture a été mis en place, du jamais-vu jusque là. La proposition de texte a été examinée par le groupe AWG-LCA (*Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action*, le Groupe de travail sur l'action concertée à long terme), en charge, depuis la COP de Bali, en 2007, de la négociation du texte d'application de la Convention de l'ONU après 2012. D'autre part, le texte rédigé lors des négociations qui ont eu lieu à Copenhague est très bref mais met en avant quelques idées. Il propose que les États s'engagent à financer en priorité les mesures de réduction d'émission qui permettent en même temps d'améliorer la productivité des systèmes de production agricole [51]. Pour cela, il demande que l'organe scientifique de la conférence des parties bâtisse un programme de travail sur l'agriculture, afin de fournir une évaluation de ces mesures. Il rappelle également l'importance de veiller à ce que les mesures d'atténuation du changement climatique ne nuisent pas à la sécurité alimentaire. Ainsi, les sujets agricoles ont de grandes chances d'être présents dans le futur texte d'engagement, même si on en reste pour l'instant à une reconnaissance de principe de l'importance de ce sujet.

Encadré 2.7 : les forêts dans les négociations sur le climat

Tout d'abord un chiffre pour rappeler les enjeux: 17% des émissions mondiales de gaz à effet de serre en 2004, soit 8,7 Gt de CO₂eq, étaient dues à la déforestation, selon le GIEC.

En 2001, la conférence des parties décide des règles qui régiront les projets du mécanisme de développement propre. Elle autorise les projets de reforestation mais pas ceux de déforestation évitée. La principale raison de cette décision est d'ordre technique, il s'agit d'éviter les "fuites de carbone", c'est à dire que la protection de certaines forêts ne fasse que déplacer la déforestation ailleurs. Mais, sous l'impulsion de la *Coalition for Rainforest Nations*, organisation internationale composée de pays en développement forestiers, à partir de 2005, la question de la déforestation évitée revient sur le devant de la scène. Ainsi, la conférence des parties adopte en 2007 une feuille de route qui désigne la réduction de la déforestation et de la dégradation (REDD) des forêts comme un des mécanismes d'atténuation du changement climatique à intégrer dans le régime qui suivra celui de Kyoto, à partir de 2012. En outre, elle encourage l'investissement dans des actions pilotes de REDD permettant de préparer les négociations à suivre. Cet appel a permis la mobilisation de fonds importants et de nombreux projets, parmi lesquels le projet UN-REDD, par les organisations des Nations Unies, le Fonds de partenariat pour la réduction des émissions de carbone forestier de la Banque mondiale et bien d'autres. [52]

Des débats restent néanmoins ouverts, en particulier sur deux points: le financement et le cadre institutionnel. Le premier point consiste à déterminer si la REDD doit être financée par les marchés du carbone réglementés ou par des fonds volontaires (aide publique pour le développement, contributions volontaires du secteur privé, taxes sur certains produits pétroliers ou transactions financières...). La deuxième question concerne la place de ce mécanisme: doit-il être intégré au sein du protocole qui suivra celui de Kyoto ou bien doit-il être placé dans un protocole ou convention à part ? [53] Sans oublier une question plus en aval: une partie importante de la déforestation est imputée à l'activité agricole. Comment les fonds mobilisés pour la REDD parviendront-ils jusqu'aux petits agriculteurs ?

Malgré ces questions de taille, l'Accord de Copenhague, en rappelant l'importance de la REDD, donne une caution politique à cette démarche et appuie la poursuite des investissements et des projets pilotes.

Le point précis de la reconnaissance des puits de carbone agricoles est discuté au sein d'un autre groupe de négociation, le groupe AWG-KP chargé des engagements post-2012 des pays développés sous contrainte du protocole de Kyoto. Il y est maintenant question de demander à l'organe scientifique lié à la Convention Climat de développer des modalités et procédures pour étendre le mécanisme de développement propre à la gestion des forêts comme à la gestion du carbone dans les sols agricoles (art 8 du projet de texte « Land use, land-use change and forestry » [54]). A défaut d'une mise en route immédiate de ces mécanismes, il

s'agit d'un signal fort pour la recherche de solutions concrètes permettant de valoriser le carbone des sols agricoles.

Il faut néanmoins noter que le ralentissement des marchés carbone pourrait être un obstacle à cette valorisation. En effet, le potentiel agricole d'atténuation étant important, il pourrait générer des volumes considérables de crédits carbone. Il faut donc que les marchés soient en mesure de les absorber, c'est à dire que la demande de crédit soit importante, sous peine d'un effondrement des cours du carbone et donc un affaiblissement des marchés en tant qu'outil de réduction des émissions. La question de la valorisation de l'agriculture est donc aussi une question politique, qui doit passer par une relance des négociations et de la volonté des Etats d'aboutir à un nouvel accord contraignant.

Ainsi, à terme, le secteur agricole devrait être soumis à des mesures d'atténuation, en d'autres termes à un plafonnement de ses émissions, et son potentiel de stockage du carbone devrait être davantage reconnu.

CE QU'ON PEUT RETENIR DE CE CHAPITRE:

1. Dans le cadre du protocole de Kyoto, 38 pays ont pris des engagements de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre. Pour faciliter la réalisation de ces engagements, des mécanismes de flexibilité ont été mis en place et sont à l'origine du marché international du carbone. Il s'agit d'un marché dit *règlementé*, c'est-à-dire dont les acteurs sont contraints d'y participer, selon les règles édictées par des pouvoirs publics. L'union européenne, pour atteindre ses engagements, a également construit un marché réglementé, qui est aujourd'hui le plus important au monde. En parallèle, des marchés volontaires ont également émergé, qui s'appuient sur le principe de compensation des émissions de gaz à effet de serre.
2. Ces différents marchés ont fait émerger un prix du carbone, qui permet aux acteurs économiques d'intégrer dans leurs stratégies le coût de l'externalité négative que représentent les émissions de gaz à effet de serre. A titre d'exemple, une tonne de carbone vaut environ 15 euros sur le marché européen, le plus important au niveau mondial. Par ailleurs, les marchés du carbone étant peu intégrés les uns aux autres, plusieurs prix, assez différents, existent.
3. L'agriculture participe peu à ces marchés, pour l'instant. D'une part, actuellement ses émissions ne sont pas sous contrainte. D'autre part, une partie des crédits carbone commercialisés sur les marchés volontaires et dans le cadre des mécanismes de projet prévus par le protocole de Kyoto sont issus de projets agricoles. Mais toutes les pratiques agricoles participant à l'atténuation du changement climatique ne sont pas valorisables. En particulier, le protocole de Kyoto ne reconnaît pas le stockage du carbone dans le sol, qui représente pourtant 90% du potentiel agricole d'atténuation.
4. La place de l'agriculture dans les marchés carbone et, plus largement, dans les négociations climatiques, peut encore évoluer, c'est un des enjeux majeurs des négociations pour la période post-Kyoto, actuellement en cours. La place de la lutte contre la déforestation et la dégradation y est d'ores et déjà reconnue.

Chapitre III : Le potentiel d'atténuation agricole : qu'en est-il concrètement ? Comment le mettre en oeuvre ?

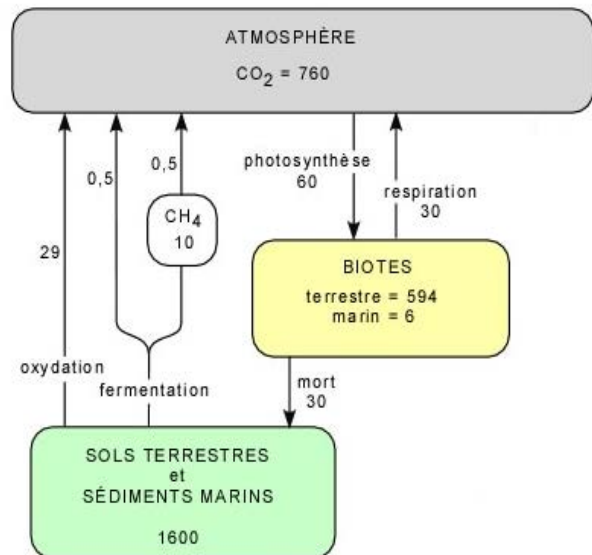
L'agriculture peut participer à l'atténuation du changement climatique de deux façons : en réduisant ses émissions et en capturant du carbone présent dans l'atmosphère. C'est pour ces deux potentiels d'atténuation que l'agriculture est susceptible d'être rémunérée par les marchés du carbone.

III-1 Les différents potentiels d'atténuation agricole

III-1.1 Petit rappel du cycle du carbone : échanges entre l'atmosphère et le sol

L'atmosphère échange du carbone avec d'autres stocks de carbone existants. Les réservoirs et les échanges sont variés. En particulier, entre les écosystèmes continentaux et l'atmosphère, il existe en gros deux flux, l'un montant, l'autre descendant (cf. schéma, d'après [55]):

- le flux descendant résulte de la photosynthèse, réaction qui utilise l'énergie solaire pour synthétiser de la matière organique en fixant le carbone atmosphérique.
- le flux montant est principalement le fait de la respiration, qui, en utilisant de l'oxygène, transforme la matière organique en CO₂, par oxydation. La matière organique est respirée par les plantes, les animaux mais également des micro-organismes aérobies qui, entre autre, décomposent les végétaux morts. En absence d'oxygène, la matière organique est décomposée par fermentation, réaction qui produit du dioxyde de carbone et du méthane.



À ces flux s'ajoutent ceux liés à la combustion d'énergie fossile et à la déforestation.

III-1.2 La place de l'agriculture dans le cycle du carbone

Au vu des ces flux de carbone, quelle peut être la contribution de l'agriculture à la lutte contre le changement climatique ? Quelle partie de cette contribution peut être rémunérée par un marché du carbone ?

L'agriculture peut participer à l'atténuation du changement climatique d'une part en réduisant ses émissions et d'autre part en contribuant à augmenter le flux de carbone descendant, c'est-à-dire en stockant du carbone atmosphérique dans le sol.

La réduction d'émission peut concerner la combustion de carburants fossiles et la diminution de l'utilisation des intrants, dont la production génère des émissions. Toutefois, les marchés du carbone ne rémunèrent pas ces efforts aux agriculteurs. En effet, les émissions liées à la combustion de carburants fossiles sont comptabilisées dans le secteur énergétique et celles liées à la production des intrants sont imputées au secteur industriel.

La réduction d'émission de GES pour laquelle le secteur agricole peut être rémunéré est celle liée strictement à la production agricole. Les émissions concernées sont celles de méthane par l'élevage et par la riziculture ainsi que celles de N_2O par les cultures. L'agriculture peut également avoir un rôle dans la réduction des émissions de carbone dues à la minéralisation de la matière organique des sols puisque différentes pratiques culturales impactent directement cette minéralisation.

Enfin, l'agriculture peut participer à la lutte contre le changement climatique en favorisant le stockage du carbone atmosphérique dans le sol, c'est-à-dire en augmentant le flux descendant décrit précédemment. Ce stockage se fait par l'augmentation des apports de matière organique au sol. Pour cela, il s'agit d'augmenter, sur une surface donnée, le ratio « biomasse laissée sur le champ / biomasse totale produite ». La biomasse laissée sur le champ étant en outre fonction de la biomasse produite, il s'agit in fine d'augmenter la biomasse produite par unité de surface.

Il est également intéressant de noter que l'agriculture peut participer à l'atténuation du changement climatique de manière indirecte, une partie de la biomasse qu'elle produit pouvant être un substitut de l'énergie fossile. Les émissions liées à la combustion de l'énergie fossile étant imputées au secteur énergétique, le secteur agricole ne sera pas directement rémunéré par le marché du carbone pour cette production de biocarburants. Par contre, le marché du carbone rémunère les utilisateurs finaux de biomasse, ce qui en stimule la demande et est donc bénéfique pour les agriculteurs. Le potentiel d'atténuation du changement climatique des biocarburants est sujet à polémique dans la mesure où leur production peut venir concurrencer la production alimentaire. La pression sur la production alimentaire pourrait à la fois entraîner une hausse des prix sur les marchés alimentaires et favoriser la mise en culture de nouvelles surfaces auparavant non cultivées. Les conséquences de ces changements d'utilisation des sols peuvent être négatives en termes d'émissions de carbone et de préservation de la biodiversité. Ainsi, pour minimiser ces effets non souhaités, les pistes validées dans le mécanisme de développement propre (MDP) sont exclusivement l'utilisation de sous-produits agricoles pour la production de biocarburants ou les cultures énergétiques sur terrains dégradés (plantation de *Jatropha*). Ce potentiel d'atténuation indirecte de l'agriculture pourrait atteindre 4 à 16 Gt CO_2eq par an [21].

En résumant, les marchés du carbone peuvent potentiellement rémunérer le secteur agricole pour :

- la réduction des émissions de méthane et de dioxyde d'azote ;
- la réduction des émissions de carbone dues à la minéralisation de la matière organique présente dans le sol ;
- le stockage de carbone atmosphérique dans le sol.

III-1.3 Le stockage du carbone dans les sols, principal potentiel d'atténuation agricole

Quels sont les potentiels relatifs de chacune de ces pistes en termes d'effets sur le changement climatique ?

Aujourd'hui, l'agriculture n'exprime qu'une toute petite partie de son potentiel d'atténuation. En outre, seule une faible part de ce potentiel exprimé est rémunérée. En effet, très peu de méthodologies sont adaptées à l'agriculture, que ce soit sur les marchés carbone réglementés (MDP) ou volontaires (standards divers). Celles-ci concernent certains systèmes d'agroforesterie et surtout la gestion des déjections animales, en particulier lorsqu'elle limite les émissions de méthane. Ainsi, il existe une marge de progression importante pour rémunérer pleinement l'atténuation du changement climatique par l'agriculture.

On estime que si la totalité de son potentiel d'atténuation était mis en œuvre, l'agriculture pourrait permettre de réduire, d'ici 2030, les émissions globales de gaz à effet de serre de 5,5 à 6 Gt CO₂eq chaque année, en comptant les émissions de méthane, oxyde nitreux et dioxyde de carbone. La réduction des émissions de méthane ne représente que 9% de ce potentiel, dont la moitié environ concernerait les émissions des activités d'élevage (déjections animales et fermentation entérique) et l'autre moitié concernerait la culture du riz (gestion de l'eau pour éviter l'inondation des rizières). La réduction des émissions de l'autre gaz à effet de serre émis massivement par l'agriculture, l'oxyde nitreux, ne représente que 2% du potentiel total. Le plus gros potentiel d'atténuation agricole concerne le dioxyde de carbone, du fait de la capacité de l'agriculture, d'une part, à capter le carbone présent dans l'atmosphère et le stocker dans le sol sous forme de matière organique et, d'autre part, à limiter son émission due à la minéralisation de la matière organique des sols. Cette fonction « puits de carbone » des sols agricoles représente 89% du potentiel d'atténuation agricole.

Concrètement, quelles sont les pratiques agricoles qui existent aujourd'hui ou qui peuvent être mises en place pour exprimer ce potentiel d'atténuation de l'agriculture ? Parmi celles-ci, quelles sont celles aujourd'hui rémunérées et celles qui pourront probablement l'être dans un futur proche ? Quelles sont les volumes d'émissions évités ?

III-2 Les pratiques agricoles qui pourraient être rémunérées par les marchés carbone

III-2.1 Réduire les émissions de méthane et d'oxyde nitreux : revoir les pratiques de riziculture, d'élevage et d'utilisation des engrais

III-2.1.1 Diminuer les émissions de méthane de la riziculture par une meilleure gestion de l'eau [56]

La culture de riz irrigué générerait 625 millions de tonnes CO₂eq chaque année. Rappelons que le riz irrigué représente 55% de la surface mondiale de culture du riz et 75% de la production globale. Le riz inondé (25% de la surface récoltée et 17% de la production mondiale) génère également des émissions de méthane alors que le riz pluvial (13% de la surface récoltée au monde et 4% de la production mondiale) en dégage moins. Les cultures de riz émettent également de l'oxyde nitreux.

Les émissions de méthane d'origine rizicole sont très largement concentrées dans les pays en développement (97%), notamment en Asie de l'Est et du Sud (82% du total de ces émissions), car ces pays sont les principaux producteurs de riz. Elles représentent 12% du total des émissions d'origine agricole. Mais elles devraient augmenter dans les années à venir (+16% prévus entre 2005 et 2020), du fait de l'augmentation des surfaces irriguées [2].

Ces émissions de méthane sont dues à la présence de bactéries anaérobies qui se développent sous la couverture d'eau. Ainsi, la modification de la gestion de l'eau est l'option la plus souvent envisagée pour réduire les émissions d'origine rizicole. Les drainages de mi-saison et l'irrigation intermittente pourraient permettre de réduire les émissions jusqu'à 40%.

Mais la couverture d'eau n'agit pas uniquement sur la production de méthane. Elle favoriserait aussi la constitution de matière organique dans le sol. Ainsi, le bilan global en termes d'effet de serre d'une modification des pratiques qui réduirait la couverture d'eau est incertain : les émissions de méthane seraient réduites mais le carbone présent dans les sols de rizières anciennement inondées pourrait également retourner dans l'atmosphère, par minéralisation. Des questions se posent également quant aux conséquences de telles modifications des pratiques culturales sur les émissions d'oxyde nitreux, ces émissions pouvant compenser une partie de la réduction des émissions de méthane, surtout en cas d'application importante d'engrais azoté. Sans oublier que des taux de matière organique plus faibles dans les sols sont synonymes de rendements alimentaires plus faibles et qu'aujourd'hui les meilleurs rendements en riz sont obtenus en riziculture irriguée. Ainsi, un équilibre est à rechercher dans chaque contexte entre les rendements alimentaires et la réduction des émissions de GES.

Selon une estimation de Nelson et al., à partir de données indiennes, la réduction des émissions rizicoles de méthane coûterait 1,20\$ par tonne CO₂eq [57]. Selon l'IFPRI, la réduction de ces émissions pourrait être valorisée comme crédit de compensation (*offset*) sur les marchés du carbone. Pour être valorisées, les quantités de gaz à effet de serre non émises devraient être mesurées avec précision. L'IFPRI propose l'utilisation de modèles de production couplés à des mesures de terrain ; la mesure serait ensuite rapportée à la production alimentaire obtenue. Le fait de rapporter la rémunération à la quantité de riz

produite, et non pas aux surfaces plantées, est un moyen d'éviter les « fuites de carbone » : si la réduction des émissions s'accompagne d'une baisse des rendements, elle risque d'être à l'origine d'une pression accrue sur la mise en culture de nouvelles surfaces et donc de générer de nouvelles émissions de CO₂, les fuites de carbone si redoutées dans la conception des projets d'atténuation.

Selon Smith et al., l'atténuation dans le domaine rizicole présente un potentiel de réduction de 300 millions de tonnes CO₂eq par an – soit un peu plus d'un vingtième du potentiel d'atténuation agricole global [21].

III-2.1.2 Réduire les émissions des activités d'élevage (méthane, oxyde nitreux, dioxyde de carbone)

Les activités d'élevage sont à l'origine principalement d'émissions de méthane provenant de la fermentation entérique (processus digestif des ruminants) et de la décomposition anaérobie des déjections animales, ainsi que d'émissions d'oxyde nitreux, liées à la gestion des déjections. Le volume des émissions de méthane dues à la fermentation entérique est estimé à 86 millions de tonnes par an et celui lié aux déjections animales entre 10 et 18 millions de tonnes par an [58] (soit, respectivement, 2,15 milliards de tonnes CO₂eq et entre 250 et 450 millions de tonnes CO₂eq, cf. encadré 2.2). Les activités d'élevage ont en outre des liens importants avec d'autres sources d'émissions, qui ne sont toutefois pas comptabilisées dans le secteur agricole par le GIEC. En particulier, on peut citer le changement d'utilisation des sols et l'émission ou le stockage de carbone dans les prairies et terres de pâture (cf. IV.2.2. En matière de changement d'utilisation des sols, bien qu'il soit difficile d'attribuer la responsabilité de la déforestation à une seule activité, dans certaines zones du monde telles que l'Amérique latine, une part importante des zones déforestées deviennent des pâturages. La FAO, dans son rapport *Livestock long shadow* [58] va plus loin et évalue les émissions de la déforestation induite par l'élevage à 2,4 milliards de tonnes de CO₂ par an.

Ainsi, la modification des pratiques dans le secteur de l'élevage peuvent avoir des bénéfices importants, et pas uniquement pour le secteur agricole. Concrètement, quelles sont les pratiques qui permettent de diminuer les émissions et qui pourraient donc être rémunérées ?

La diminution des émissions de méthane dues à la fermentation entérique peut se faire en agissant sur l'alimentation animale ou en modifiant la flore bactérienne du système digestif des ruminants. Il a été constaté que plus l'alimentation animale est riche en nutriments, plus le dégagement de méthane est faible. Autre piste explorée, l'enrichissement des rations animales en carbohydrates qui peuvent être rapidement fermentés au cours de la digestion permettrait de diminuer les émissions de méthane. D'importantes marges de manœuvre existent dans les pays en développement, et en particulier en Afrique, où l'alimentation animale est très riche en fibres mais assez pauvre en nutriments. Un enrichissement des rations et leur complémentation par des produits spécifiques pourraient diminuer rapidement et significativement la fermentation entérique. Toutefois, malgré le fait que les solutions soient connues et les compléments alimentaires disponibles, ces changements de pratiques se heurtent à deux problèmes majeurs, le manque de capital et le manque de formation des éleveurs. Des actions en amont, appuyées par des politiques publiques plus globales sont ainsi nécessaires. Par ailleurs, la FAO souligne également que la modification des rations animales peut engendrer des coûts qui, même s'ils ne sont pas extrêmement importants, peuvent être

dissuasifs dans les systèmes d'élevage extensif à bas cout. Dans ce cadre, des incitations devraient également être mises en place : une extension du système de marché de carbone, ou plus généralement de paiement du service environnemental, qui rémunérerait la réduction des émissions pourrait ainsi avoir toute son importance d'un point de vue climatique. En effet, les marchés règlementaires n'autorisent pas la rémunération de ces réductions d'émission, et peu de projets portés sur les marchés volontaires s'y intéressent. D'autres pistes explorées concernent directement le processus digestif, en particulier l'élimination ou la favorisation de certaines bactéries du système digestif. L'intérêt de ces techniques réside dans le fait qu'elles peuvent être appliquées aussi aux animaux qui ne sont pas en stabulation. De façon générale, l'émission de méthane au cours du processus digestif est une forme de déperdition de carbone et d'énergie. Ainsi, la fermentation entérique diminuera au fur et à mesure que la sélection se fera sur des critères de performance des animaux.

Les pratiques permettant de diminuer les émissions liées aux déjections animales touchent les processus de fermentation, aérobie ou non, qui sont à l'origine de la dégradation de la matière organique présente dans le fumier ou le lisier et donc de l'émission de gaz à effet de serre, produits de cette fermentation. Globalement, il s'agit d'adopter des formes de stockage permettant soit une meilleure aération des déjections, ce qui diminue les émissions de méthane (mais risque dans certains cas d'augmenter celles d'oxyde nitreux, selon la composition des déjections), soit dans le cadre de dispositifs permettant de produire du biogaz (65% de méthane et 35% de dioxyde de carbone). Le biogaz est ensuite collecté et utilisé comme source d'énergie. Cette deuxième solution est néanmoins coûteuse : le retour sur investissement est souvent intéressant dans les systèmes de production des pays développés ou émergents grâce à l'économie de carburant résultante mais dans les pays en développement la production de biogaz nécessite le plus souvent des incitations. Il faut noter que dès à présent le mécanisme de développement propre (MDP) du protocole de Kyoto permet de valoriser la réduction des émissions réalisée grâce à la production de biogaz. Ces crédits de compensation peuvent donc être produits dans les pays en développement et être valorisés auprès des pays ayant des contraintes au titre du protocole de Kyoto.

Notons qu'une part importante des pauvres de la planète tirent leurs revenus des activités d'élevage. Dans certaines situations, l'élevage est pratiqué par les plus pauvres par manque d'alternatives. Il est important que les décideurs tiennent compte de ces éléments lors de la construction de politiques concernant l'élevage. La FAO note également que les prises de décisions peuvent aussi être rendues difficiles et complexes par les différentes fonctions que remplit l'élevage dans certaines sociétés : il peut être une marque de prestige, constituer un mode de paiement ou une forme de gestion des risques par diversification des activités agricoles, sans compter les préférences ou les tabous alimentaires qui le concernent.

III-2.1.3 Réduire les émissions de protoxyde de d'azote: utiliser les engrais de façon plus efficace

L'azote est naturellement présent, pour sa plus grande part, sous forme de diazote (N_2), stable, dans l'atmosphère, dont il est le constituant majoritaire, à hauteur de 78%. Le cycle de l'azote dans le sol, par des réactions de nitrification et dénitrification, émet, tout aussi naturellement, du protoxyde d'azote (également appelé oxyde nitreux, N_2O) dans l'atmosphère. L'apport d'engrais azotés ou de fumure organique, en enrichissant les sols en azote, alimente ces réactions et augmente donc les émissions de protoxyde d'azote. Rappelons que ce gaz a un

effet de serre particulièrement puissant, environ 300 fois plus réchauffant que le CO₂, sur une période de 100 ans [7].

Les émissions de protoxyde d'azote ont augmenté de 50% environ depuis 1970. Ainsi, la concentration de N₂O est aujourd'hui de 16% plus élevée qu'en 1750 [58], lors de la période préindustrielle. Le GIEC [22] estime que cette augmentation importante des émissions est principalement liée à l'augmentation de l'utilisation des engrais et à la croissance du secteur agricole. Rappelons que cette augmentation est un des facteurs qui a permis la croissance significative des rendements alimentaires. Depuis la fin des années 1950, la consommation globale annuelle d'engrais azoté synthétique est passée d'environ 10 à 100 millions de tonnes [59]. Or, selon le GIEC, environ 1,25% de l'azote appliqué sur un sol retourne à l'atmosphère sous forme d'oxyde nitreux.

Ainsi, les émissions de N₂O dépendent directement de la quantité d'azote présente dans les sols, et de la forme chimique sous laquelle il est présent. Il n'est pas question d'arrêter les apports d'azote dans les sols car sans azote les rendements vont chuter. Sans oublier que l'intensification de la production agricole est aussi manière d'éviter la mise en culture de nouvelles terres, très coûteuse en termes d'émissions de CO₂. Les pistes suivies aujourd'hui pour diminuer les émissions de protoxyde d'azote sont plutôt du côté de l'optimisation des apports d'azote, car on estime qu'actuellement environ 50% des volumes d'azote déposés sont perdus [60]. Les experts préconisent ainsi la réalisation systématique de bilans azotés permettant d'optimiser les apports d'engrais azotés en quantité et dans le temps, et l'utilisation des légumineuses, qui permettent de fixer dans le sol l'azote de l'air, notamment dans les prairies [61]. Des travaux de recherche et de sélection sont également en cours pour obtenir des variétés cultivées dont l'assimilation et l'utilisation de l'azote sont plus efficaces. Des recherches portent également sur des inhibiteurs de nitrification, des molécules qui permettent de limiter la transformation de l'azote présent dans le sol en N₂O libéré dans l'atmosphère. Ces molécules peuvent être soit produites par des plantes cultivées, c'est le cas de *Brachiaria humidicola*, plante fourragère dont les racines libèrent des inhibiteurs de nitrification dans le sol, soit de façon industrielle et être ensuite épandues sur les champs ou les pâturages. D'importants programmes de recherche sont en cours, en particulier en Nouvelle Zélande grâce à des partenariats publics privés [62].

III-2.2 Enrichir les sols en matière organique pour stocker du carbone

III-2.2.1 Un potentiel important, avec un intérêt climatique mais également agronomique

Les mesures du carbone stocké dans les arbres et le sol montrent que les écosystèmes naturels, en particulier forestiers, sont plus riches en carbone que ceux cultivés. En effet, dans ces derniers, une partie de la matière organique des sols est exportée sous forme de produits agricoles. C'est en partie en se basant sur ce constat que se développent aujourd'hui dans le cadre des négociations sur le climat les initiatives visant à réduire la déforestation.

Aujourd'hui, au niveau global, les sols cultivés contiennent moins de carbone que ce que leur capacité de stockage permettrait. Le potentiel global de séquestration de carbone dans les sols serait de 2 à 3 Gt de carbone par an, soit environ 5% des émissions mondiales annuelles, pendant les 50 prochaines années [63], période au bout de laquelle les sols atteindraient leur capacité de stockage maximale. De ce potentiel, entre 0,4 et 1,2 Gt par an pourraient être stockées par une meilleure gestion de la matière organique dans les sols cultivés. La séquestration de carbone par l'agriculture, qui concerne des volumes considérables, ne constituerait en valeur relative qu'une variation minime, de l'ordre de 1‰ chaque année, du stock de carbone contenu dans les sols, évalué à 2,5 téra-tonnes⁸.

La capacité de stockage d'un sol résulte de la différence entre la quantité de carbone présente dans le sol et la capacité de stockage maximale. On considère que cette capacité est comprise entre 20 et 50 tonnes par hectare pour la plupart des sols. Ainsi, le plus gros potentiel de séquestration réside dans les régions où les sols ont perdu le plus de carbone, en d'autres termes où les sols sont les plus dégradés. Dans les pays en développement, ces régions incluent l'Afrique subsaharienne, l'Asie centrale et du Sud, les Caraïbes, l'Amérique centrale et les régions andines.

Le stockage de carbone dans le sol ne présente pas uniquement un intérêt climatique mais également agronomique. En effet, la matière organique du sol a plusieurs effets bénéfiques sur les cultures :

- elle permet de stocker des éléments minéraux, qui restent ainsi dans le sol et peuvent être utilisés par les végétaux pour leur croissance ;
- elle permet également la rétention de l'eau dans le sol, ce qui constitue une réserve utilisable pour les cultures ;
- elle joue un rôle sur la structure du sol. Elle alimente la faune du sol qui, en creusant des galeries, en maintient la porosité. Les sols riches en matière organique sont donc des sols poreux, perméables à l'eau et permettant un bon enracinement des plantes.

⁸ Une téra-tonne correspond à mille milliards de tonnes, soit 10¹² tonnes

La séquestration de carbone dans le sol apparaît donc comme une stratégie gagnant – gagnant. Néanmoins, des arbitrages seront à faire puisque l’intégration de certaines pratiques maximisant la séquestration de carbone dans un système de culture peut réduire ou limiter les rendements alimentaires. Cela peut donc poser des problèmes en termes de sécurité alimentaire, en particulier dans des régions telles que l’Afrique subsaharienne.

III-2.2.2 La gestion de la matière organique favorise la séquestration du carbone dans le sol

La séquestration de carbone se fait par des apports de matière organique dans le sol. Pour cela, on peut augmenter les apports nets de matière organique dans le sol et/ou ralentir sa décomposition. Il faut toutefois noter que la minéralisation de la matière organique dégage certes du carbone dans l’atmosphère mais fournit également les éléments minéraux nécessaires à la croissance des végétaux. Un équilibre est donc à trouver.

L’augmentation des apports de matière organique dans le sol se fait par l’augmentation de la biomasse produite et par l’augmentation des résidus de culture ou des déjections animales laissés sur le champ, enfouis ou pas. L’augmentation de la biomasse produite passe par une intensification de la production agricole et/ou forestière. Mais, l’objectif étant la diminution des émissions de carbone, les voies d’intensification doivent être raisonnées pour que leur bilan carbone global soit positif. Il est à noter que dans certains systèmes de production, les résidus végétaux ou les déjections animales ont un coût d’opportunité élevé. Par exemple dans de nombreux systèmes combinant agriculture et élevage, les résidus de culture constituent un aliment du bétail. Ainsi, laisser les résidus sur les champs demande de mettre en place des systèmes d’alimentation animale nouveaux, ce qui représente un coût [64].

Dans les sols dédiés à la pâture, la diminution des exports de matière organique peut être favorisée par des modifications des pratiques d’élevage. Il s’agit en particulier d’améliorer la gestion des prairies, en ajustant les charges de bétail et en améliorant les rotations. La situation des prairies pâturées n’est pas à négliger. En effet, la FAO rappelle que les pâturages représentent la principale utilisation des sols par des activités humaines en termes de surface et considère par exemple que les prairies africaines pourraient stocker 1,3 milliards de tonnes de dioxyde de carbone par an pendant 25 ans, si les pratiques d’élevage étaient améliorées [58].

La décomposition de la matière organique se fait principalement en milieu aérobie. Ainsi, une des techniques permettant le ralentissement de la décomposition réside dans la diminution de l’oxygénation du sol. Or, l’un des principaux moyens d’aérer le sol est de le labourer, c’est à dire de retourner ses couches superficielles. Ce retournement met en contact avec l’air des parties de sol auparavant enfouies et permet ainsi une respiration de la matière organique par des micro-organismes aérobies. Ainsi, une diminution, pouvant aller jusqu’à la suppression, du labour permet de diminuer la perte en carbone des sols. Les techniques de labour réduit permettent également de limiter l’érosion des sols, en particulier ceux arides ou semi-arides. Néanmoins, le labour présente d’autres intérêts qui peuvent être perdus s’il est réduit, en particulier l’ameublissement du sol, l’enfouissement des résidus végétaux (y compris les mauvaises herbes et leurs semences), des engrais et des amendements. L’arbitrage entre avantages et inconvénients du labour est à faire en fonction des cultures, des types de sols, des climats et des systèmes de production, au cas par cas

La température a également un effet sur la vitesse de décomposition de la matière organique, une température élevée l'accélérateur. Ainsi des techniques permettant de maintenir en permanence une couverture du sol, vivante ou morte (mulch), peuvent ralentir la perte de carbone du sol, d'autant plus qu'elles constituent en elles-mêmes un apport de matière organique.

Ces différentes techniques peuvent être combinées en fonction de leurs impacts dans différents contextes. Leurs effets dépendent des conditions climatiques, pédologiques, économiques et sociales. La combinaison idéale, à valeur globale, de ces différentes pratiques culturales n'existe pas. Des « paquets techniques » rassemblant plusieurs des pratiques abordées ci-dessus ont été mis en place, comme par exemple les systèmes de semis sous couvert végétal. Les résultats à la fois agronomiques, climatiques et économiques de ces systèmes sont positifs dans certaines zones de production, l'Amérique latine notamment, alors que les modes de leur transposition à d'autres régions du monde, comme par exemple l'Afrique subsaharienne, sont encore débattus. Parmi les systèmes de production associant plusieurs des pratiques citées ci-dessus, citons également ceux agroforestiers (cf encadré 4.1) qui ajoutent à l'enrichissement des sols la séquestration du carbone dans les arbres. L'agroforesterie permet ainsi des taux de séquestration du carbone nettement plus élevés.

Les techniques de séquestration du carbone atmosphérique dans le sol par l'agriculture sont peu reconnues par les marchés du carbone pour l'instant. Le mécanisme de développement propre (MDP) du protocole de Kyoto permet de rémunérer le stockage de carbone dans les systèmes agroforestiers des pays en développement mais pas dans des systèmes agricoles autres. Les crédits de compensation générés ne peuvent ensuite que partiellement être intégrés au marché européen. Les marchés volontaires rémunèrent plus facilement le stockage de carbone dans le sol, en particulier celui qui résulte de la limitation du labour. Ainsi, une part importante des crédits de compensation vendus sur le marché de Chicago sont d'origine agricole. Rappelons aussi que le MDP n'est pas figé. De nouvelles méthodologies peuvent être soumises à l'analyse et à la validation. Néanmoins, de nombreux experts considèrent que certaines questions techniques doivent encore être résolues (cf chapitre suivant) pour que les projets de stockage de carbone dans le sol par l'agriculture soient suffisamment robustes pour pouvoir être validés dans le cadre du MDP.

Encadré 3.1 : Définition et quelques chiffres concernant l'agroforesterie

Selon la définition de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), l'agroforesterie associe sur les mêmes parcelles une production agricole annuelle (cultures, pâture) et une production différée à long terme par les arbres (bois, services) [65]. Elle peut être obtenue soit par plantation sur des parcelles agricoles, soit par intervention (éclaircie notamment) sur des parcelles boisées. Les parcelles cultivables portant des cultures agricoles intercalaires et des arbres forestiers correspondent à l'agrosylviculture, les parcelles boisées avec de l'herbe et un sous bois pâturés au sylvopastoralisme.

Dans un système agroforestier, les arbres et les cultures annuelles bénéficient d'avantages réciproques, ce qui explique que la somme de la production de bois et de la production agricole d'une parcelle agroforestière est supérieure à la production séparée obtenue par un assolement agriculture-forêt sur la même surface. Ainsi, les quantités de carbone stockées sont très importantes. Le calcul de ces quantités se fait en combinant la moyenne, sur une période donnée, du stock de carbone dans les parties aériennes et de celui contenu dans le sol. Une récente revue de littérature sur cette question conclut que la séquestration totale de carbone dans une exploitation agroforestière peut aller de 0.29 à 15.21 tonnes de carbone par hectare et par an, en fonction des types de sol et du climat. Pour les petits exploitants en zone tropicale, le taux de séquestration attendu est de 1,5 à 3,5 tonnes par hectare et par an [66]. Enfin, le potentiel de stockage de carbone par conversion de parcelles agricoles en parcelles agroforestières est très élevé à l'échelle mondiale : les systèmes agroforestiers pourraient stocker dans leur biomasse aérienne 2,1 Gt C/an en zone tropicale et 1,9 Gt C/an en zone tempérée. [67].

CE QU'ON PEUT RETENIR DE CE CHAPITRE:

1. Le principal potentiel d'atténuation du changement climatique par l'agriculture réside dans le stockage du carbone atmosphérique dans le sol. Cette séquestration pourrait atteindre trois milliards de tonnes de carbone par an, soit environ six milliards de tonnes d'équivalent CO₂.
2. Le stockage de carbone dans le sol serait favorisé par une modification des pratiques agricoles : augmentation des apports en matière organique, réduction des labours, maintien d'une couverture végétale... Toutes ces techniques sont connues et disponibles dès aujourd'hui.
3. Les effets de ces techniques varient en fonction des contextes et dépendent des conditions climatiques, pédologiques, socio-économiques... La combinaison idéale des techniques, à valeur universelle, n'existe pas. Les paquets techniques doivent être définis dans chaque contexte, ce qui nécessite des investissements importants en recherche et développement. En outre, ces techniques peuvent avoir des impacts, qu'ils soient positifs ou négatifs, sur les rendements agricoles et la sécurité alimentaire. Des analyses précises et un accompagnement par des politiques publiques sont nécessaires, en particulier lorsque des compromis doivent être trouvés.
4. Une autre source d'atténuation par l'agriculture résulte de la diminution des émissions directement liées au processus de production agricole, en particulier des émissions dues aux activités d'élevage et celles liées à la riziculture. La plupart des techniques agronomiques sont connues d'ores et déjà, elles nécessitent parfois une adaptation aux conditions locales et, souvent dans les pays en développement, un appui par les politiques publiques.

5. Les mécanismes de marché valorisent peu l'atténuation agricole, en partie pour des questions réglementaires, qui pourront donc évoluer dans les années à venir. Pourtant, des incitations économiques, le paiement d'un service environnemental, permettrait une plus grande participation de l'agriculture, dont le potentiel est important, dans l'effort d'atténuation du changement climatique.

Chapitre IV : les difficultés de la séquestration biologique du carbone par les activités agricoles

Près de 90% du potentiel d'atténuation du changement climatique par l'agriculture réside dans la séquestration biologique du carbone, dans les sols et les arbres. Ce potentiel est très peu valorisé. Actuellement, le principal obstacle à sa valorisation sur les marchés du carbone est de nature règlementaire. En effet, le mécanisme de développement propre ne valorise que les projets de capture du méthane issu des déjections animales, les projets de production de biomasse énergétique et les projets d'agroforesterie. Dans ce dernier cas, les crédits carbone générés sont temporaires, et ne sont pas admis sur le marché européen.

Cependant, rien n'empêche a priori la valorisation des projets de séquestration du carbone dans les sols sur les marchés volontaires. Mais, même avec des règlements favorables à la valorisation de l'atténuation par l'agriculture, le nombre de projets agricoles reste faible: en 2009, ils ne représentaient que 3% des transactions sur les marchés du carbone volontaires. Notons par contre que les projets de séquestration dans les arbres (afforestation/reforestation, gestion forestière et agroforesterie) représentent déjà près de 15% des transactions sur ces marchés [38].

Ce chapitre essaye d'éclaircir les raisons de cette faible valorisation à partir de la littérature scientifique. Les obstacles semblent être de trois ordres : questions de principe, difficultés pratiques et complexité de mise sur le marché des crédits carbone générés. Les études de cas placées en annexe permettent d'avoir un aperçu des difficultés rencontrées et des solutions apportées dans le cadre de projets agricoles actuellement en cours, et de les rapprocher des éléments mis en avant dans ce chapitre.

IV-1 Une question de principe : les projets de séquestration carbone sont-ils des projets de compensation comme les autres ?

Depuis le début des négociations sur le changement climatique, les projets de séquestration du carbone ont été différenciés des projets d'abattement d'émissions. D'une part, la séquestration biologique du carbone a été considérée comme un mode d'atténuation peu fiable, car facilement réversible et difficilement mesurable, et, d'autre part, il a été préféré donner la priorité à la réduction des émissions de gaz à effet de serre à la source, plutôt que de compter sur l'extraction du dioxyde de carbone de l'atmosphère, après émission.

Cette distinction entre séquestration et réduction des émissions est-elle justifiée ? C'est la question posée en 2000 par Kenneth M. Chomitz dans un article qui fait date [68]. Les motifs d'interrogation sont nombreux mais, finalement, un seul élément distinctif résiste à l'examen de cet économiste de la Banque Mondiale : les projets de séquestration du carbone diffèrent effectivement des autres projets de compensation par leur caractère non permanent. En effet, le carbone stocké dans une forêt, une plantation ou un sol peut être libéré de façon accidentelle, par un incendie par exemple, ou de façon volontaire, en coupant les arbres ou en pratiquant un labour du sol. Par contre, une réduction des émissions par une diminution de la consommation d'énergie fossile, une fois qu'elle est réalisée aboutit, quoi qu'il se passe, à une réduction des quantités de dioxyde de carbone émises dans l'atmosphère.

Cependant, selon Chomitz, cette réversibilité n'annule pas l'intérêt de la séquestration carbone. En effet, la séquestration, tant qu'elle a lieu, réduit, toutes choses égales par ailleurs, la teneur en carbone de l'atmosphère. Elle permet ainsi de temporiser en attendant qu'interviennent les progrès techniques nécessaires à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En outre, elle peut s'avérer permanente si les nouvelles pratiques adoptées sont pérennisées. Au final, la séquestration carbone, même si réversible, rend bien un service environnemental. Elle peut et mérite donc d'être valorisée sur les marchés du carbone, avec un dispositif spécial tenant compte de sa réversibilité. Chomitz propose que le contrat précise une durée d'engagement (5 à 30 ans, par exemple). Il s'agit alors du paiement de « tonnes annuelles » de réduction des gaz à effet de serre plutôt que de « tonnes perpétuelles », le prix des premières étant inférieur à celui des secondes. C'est effectivement cette solution qui est aujourd'hui utilisée pour les projets forestiers dans le cadre du mécanisme de développement propre (MDP) du protocole de Kyoto.

Se pose également la question de la gestion de la fin d'un projet de séquestration. Différentes solutions sont possibles. Chomitz envisage par exemple que soit exigé le remplacement des CER temporaires détruits par de nouveaux crédits carbone. Ou alors qu'une taxe soit appliquée sur la vente des CER temporaires pour alimenter un fonds de recherche pour les technologies décarbonées. D'autres auteurs suggèrent de mettre en réserve un certain nombre des crédits générés par le projet de séquestration, qui ne sont donc pas vendus, pour compenser l'éventuelle libération d'une partie du carbone séquestré.

L'article de Chomitz reste le fondement de la réflexion sur l'admission des crédits issus de projets de séquestration biologique du carbone dans l'architecture mondiale de prévention du changement climatique. Cependant, un certain nombre d'acteurs, (cf chapitre 5) restent sceptiques quant à la possibilité de maîtriser efficacement cette réversibilité.

IV-2 Variabilité de la séquestration et difficultés de mesure: quelles sont les quantités de carbone effectivement stockées ?

IV-2.1 Les quantités de carbone stockées dans les sols par les pratiques agricoles sont fortement variables

L'impact des pratiques agricoles sur la quantité de carbone présente dans les sols commence à être étudié dans la littérature agronomique. Il ressort de ces études une grande variabilité des résultats, qui varient en fonction des types de sol, du climat et des pratiques agricoles. Ainsi, aujourd'hui il est très difficile de prédire exactement la quantité de carbone qui va être séquestrée par telle ou telle pratique agricole. Voici une rapide illustration de cette variabilité.

Une revue de 67 expériences de long terme de suppression du labour, menées majoritairement sur des sols américains et européens, conclut que la séquestration moyenne atteint annuellement 0,57 tonne de carbone par hectare (soit un peu plus de 2 tonnes CO₂eq⁹)

⁹ 1 tonne de carbone dans le sol correspond à 3,66 tonnes CO₂eq dans l'atmosphère

pendant 15 à 20 ans. Mais l'écart type atteint $\pm 0,14$ tonne, soit une variation pouvant atteindre 25% autour de la moyenne, ce qui est considérable [69].

Une revue générale d'expériences des sols brésiliens cultivés en semis direct avec couverture végétale (SCV) relève des taux de séquestration annuelle allant de 0,4 à 1,7 tonne de carbone par hectare [70] (soit 1,5 à 6 tonnes CO₂eq). La moyenne s'établit à un peu moins de 0,7 tonne de carbone séquestré par hectare et par an. Là encore, l'auteur insiste sur la grande variabilité des résultats obtenus, qui peuvent être très différents d'une région à l'autre du Brésil.

En Afrique sub-saharienne, les taux de séquestration du carbone relevés sont beaucoup plus faibles. Vagen et al. [71] font état de niveaux de séquestration de carbone allant de 0,05 à 0,36 tonnes de carbone par hectare et par an (soit 0,2 à 1,3 tonne CO₂eq), pour un ajout de fumier en plus de l'utilisation des résidus de culture et du semis direct. Selon la même étude, pour la zone, le plus haut potentiel de séquestration carbone résiderait dans l'agroforesterie et la restauration de terres dégradées, qui permettraient une séquestration allant de 0,1 à 5,3 tonnes de carbone par hectare et par an (soit 0,4 à 19 tonnes de CO₂eq par hectare et par an).

IV-2.2 Plusieurs facteurs expliquent cette variabilité

Plusieurs facteurs permettent d'expliquer les variations importantes constatées. D'une part, la séquestration varie en fonction des itinéraires de culture et des paquets techniques choisis par l'agriculteur. D'autre part, la quantité de carbone séquestrée peut varier entre deux parcelles sur lesquelles les pratiques agricoles sont pourtant identiques. En effet, le type de sol mais également la température et l'humidité, ont un impact sur le cycle du carbone. De façon générale, les sols des régions tropicales peuvent stocker mais également libérer du carbone plus rapidement que les sols des régions tempérées, pour une même pratique agricole. Le GIEC essaye de tenir compte de cette variabilité en indiquant des valeurs de référence par zone géoclimatique. En zone sèche et froide, la séquestration moyenne à attendre d'une réduction du labour associée à une couverture végétale serait de 0,17 tonne CO₂eq par hectare et par an, contre 0,35 en zone chaude et sèche, 0,53 en zone froide et humide et 0,72 en zone chaude et humide (valeur moyenne sur 20 ans à chaque fois) [2]. Enfin, l'état du sol, et donc l'histoire de la parcelle, rentrent en compte. Un sol très loin de sa capacité de stockage de carbone maximale aura tendance à séquestrer plus de carbone qu'un sol proche de sa capacité maximale de stockage.

IV-2.3 La mesure des quantités de carbone stockées s'impose mais soulève des questions techniques et économiques

La forte variabilité décrite ci-dessus rend très délicate toute forme d'anticipation des quantités de carbone stockées par un agriculteur sur son exploitation, même si ses pratiques sont connues.

Des modèles existent pour tenter de prévoir *ex-ante* la séquestration carbone qui résultera de tel ou tel projet de séquestration. C'est le cas du modèle mathématique de cycle du carbone

Century¹⁰, qui simule la dynamique du carbone et d'autres éléments dans différents types de sols, en fonction de différentes variables, dont les pratiques agricoles. La FAO est également en train de développer un modèle spécifique pour prévoir l'impact en termes d'émission de gaz à effet de serre des projets agricoles et forestiers : Ex-ACT [72]. Ces modèles restent des outils d'évaluation et non de prédiction, la vérification sur le terrain est indispensable.

Plusieurs méthodes de mesure directe existent. Toutes demandent la préparation d'un plan d'échantillonnage minutieux et précis, sous peine d'avoir des mesures imparfaites. La question de la précision est importante. En effet, les variations du carbone dans le sol liées aux modifications des pratiques agricoles sont très faibles par rapport à la quantité de carbone totale contenue dans un sol. Ainsi, les marges d'erreur des systèmes de mesure doivent être très faibles, sous peine de ne pas percevoir la séquestration produite par les pratiques développées. Une fois l'échantillonnage réalisé avec attention, la mesure de la teneur en carbone d'un sol se fait en laboratoire. Plusieurs méthodes existent mais elles demandent le plus souvent des temps de préparation et de mesure non négligeables, pour aboutir à des mesures parfois imprécises. Des techniques plus fiables et demandant moins de temps sont en cours de développement. C'est le cas par exemple des méthodes de spectrophotométrie développées par l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), qui permettent une mesure avec un appareil portable, directement dans les champs, à l'endroit où l'échantillon est prélevé.

Au vu des coûts engendrés et des temps nécessaires pour des mesures systématiques de la teneur de carbone dans un sol, il n'est pas envisageable d'effectuer le suivi de la séquestration du carbone sur un territoire donné uniquement par des mesures directes. La méthode la plus généralement envisagée est celle d'un couplage entre des estimations d'un modèle, calibré spécifiquement pour la région étudiée, et des mesures sur le terrain. Notons que cela implique que, en cas de rémunération de la séquestration, l'agriculteur n'est pas en mesure d'anticiper avec précision son revenu carbone, au moins au début du changement de pratique.

Encadré 4.2.: De la complexité de mesurer la quantité de carbone séquestrée dans un sol

En 2007, John Baker et al. jetaient un petit pavé dans la mare sous le titre *Labour et séquestration carbone dans le sol : que savons-nous vraiment ?*. [73]

Ils remarquaient que, dans la très grande majorité des publications, les échantillons de sols destinés à la mesure du carbone se limitent à la surface du sol (30 cm ou moins). Les résultats concluant à l'augmentation du carbone dans le sol à la suite de la réduction du labour pourraient ainsi être biaisés, en ignorant une éventuelle redistribution du carbone à une plus grande profondeur. Sans compter qu'au sein d'une même parcelle, à cette variabilité verticale s'ajoute une variabilité horizontale. [74]

En 2008, Rattan Lal, l'une des références mondiales en la matière, a signé un article avec Humberto Blanco-Canqui qui confirme ce problème de méthodologie [75]. Leurs relevés d'échantillons aux Etats-Unis, sur onze terrains différents et sur une profondeur de 60 cm, tendaient en effet à montrer que si la matière organique était plus riche dans les 10 cm de surface des sols sans labour, la tendance était inverse en dessous.

¹⁰ Pour une description plus précise du modèle, voir <http://www.nrel.colostate.edu/projects/century/>

Ceci montre à quel point les modalités de mesure de carbone dans les sols doivent être précisément posées et tend à démontrer que la variable « labour » n'est pas suffisante pour permettre une séquestration significative de carbone.

La mesure de la séquestration carbone doit également prendre en compte le bilan complet des opérations en termes de gaz à effet de serre. Certaines pratiques de séquestration carbone peuvent augmenter les émissions de N₂O, par exemple, qui doivent être comptabilisées dans le bilan global (voir par exemple [70] ou bien [76])

Il est également important de noter que la fiabilité de la mesure du carbone séquestré et la crédibilité et la robustesse des techniques de mesures sont des points fondamentaux pour la mise sur le marché d'un crédit de compensation. En effet, les marchés du carbone se basent uniquement sur des critères climatiques. Si les acheteurs considèrent un crédit de compensation comme peu fiable, la demande sera très faible et donc le prix aussi. Ce manque de confiance est d'ailleurs un des éléments d'explication de la faiblesse des cours du carbone sur le *Chicago Climate Exchange* [38].

IV-3 La complexité de la mise sur le marché des crédits de compensation générés par le secteur agricole

Aux questions soulevées par la variabilité des quantités de carbone séquestrées s'ajoutent celles liées à la mise sur le marché des crédits générés. Pour être efficaces d'un point de vue climatique, les crédits de compensation doivent être additionnels et mesurables strictement. Ces principes sont lourds à respecter mais ils permettent d'assurer la crédibilité des réductions d'émission échangées.

IV-3.1 La question de l'additionnalité

Le principe d'additionnalité garantit que le projet de compensation carbone considéré génère une réduction des émissions qui n'aurait pas eu lieu en son absence, par rapport à un scénario de référence appelé *business as usual*. Un projet additionnel est par définition un projet qui ne serait pas entrepris en l'absence de la valorisation carbone, soit parce que les rendements escomptés sont trop faibles ou bien parce que les risques sont trop élevés [68]. Dans les faits, la démonstration de l'additionnalité et le choix du scénario de référence sont toujours un moment délicat dans le montage des projets. Ils demandent un investissement lourd, en temps et en expertise, qui est en partie à l'origine des très importants coûts de transaction [25].

Les questions de l'additionnalité et de la définition de la *baseline* se poseront particulièrement dans le cas des projets de séquestration carbone : comment définir le développement agricole de référence ? Faut-il se situer dans un contexte dans lequel la production agricole est constante ou bien dans un contexte de hausse tendancielle de la production, justifié par la hausse prévue de la demande ? Si c'est la deuxième option qui est retenue, le scénario de référence sera plus important et autorisera la valorisation d'une quantité plus importante d'émissions évitées, pour un même projet. La question du choix du scénario de référence est d'autant plus forte pour les pays en développement: le scénario de référence doit-il prendre en compte la croissance économique et agricole nécessaire à l'émergence des PED ?

A cette difficulté commune à l'ensemble des projets MDP s'ajoute une question davantage spécifique aux projets agricoles, celle de l'importance des coûts de transaction.

IV-3.2 Les coûts de transaction élevés sont dissuasifs

Les coûts de transaction liés à la création et à la mise en vente de crédits de compensation issus des projets agricoles, y compris agroforestiers, sont importants. Assez peu d'études les évaluent précisément alors qu'ils influencent la faisabilité et la viabilité des projets. Cacho et al. [77], dans leur article de 2006, rappellent que les coûts de transaction sont les coûts liés au transfert d'un droit de propriété entre deux parties. Dans le cas d'un projet de séquestration du carbone par l'agriculture, ces coûts sont élevés car le droit de propriété à échanger est difficile à mesurer et sa taille exacte est incertaine.

Nous proposons de prendre la cas fictif d'un projet du mécanisme de développement propre comme base de raisonnement pour faire la liste des coûts de transaction qui peuvent exister, de leur nature et de leur impact sur le bilan global du projet. En général, un projet de compensation agricole est monté par un organisme, souvent une organisation non gouvernementale, qui vendra les crédits de compensation sur un marché du carbone. Cet organisme contractualise avec des exploitants agricoles, qu'il rétribue, pour qu'ils modifient leurs pratiques et séquestrent du carbone. Ces exploitants sont les vendeurs du droit de propriété dont nous parlions plus haut, qu'ils vendent à l'organisme porteur du projet. Le cycle d'un projet du MDP commence par la préparation d'un document de projet (en anglais *Project Design Document - PDD*), qui doit être approuvé par le pays hôte pour ensuite être validé par un organisme de contrôle accrédité par le secrétariat exécutif du MDP (en anglais cet organisme est appelé *Designed Operational Entity - DOE*). Le projet pourra alors être enregistré auprès des Nations Unies. A partir de là, les quantités de carbone stockées devront être surveillées et suivies, faire l'objet d'une certification pour qu'enfin les crédits carbone puissent être émis. Chacune de ces étapes génère des coûts de transaction, que Cacho et al. regroupent en cinq catégories :

- Les coûts de recherche et de négociation. La construction d'un PDD demande d'identifier une région où développer le projet ; recueillir les données agricoles, sociales et économiques pour définir un scénario de référence à partir duquel calculer les quantités de carbone stockées ; négocier les contrats avec les agriculteurs qui séquestreront le carbone et réaliser des études d'impact. Pour de petits projets du MDP, une revue de la littérature fait état de coûts compris entre 22 000 et 160 000 dollars par projet.
- Les coûts de validation du projet. Il s'agit de faire valider le projet par les autorités nationales, la DOE et enfin le secrétariat exécutif du MDP. Les coûts générés par ces étapes sont fortement influencés par la structure institutionnelle du pays hôte et la présence ou non d'une DOE locale, car en son absence il est nécessaire d'avoir recours à des consultants internationaux très coûteux. La faiblesse des institutions en Afrique est une des raisons mises en avant pour expliquer le petit nombre de projets du MDP qui y sont développés. Cacho et al. parlent des coûts de validation compris entre 12 000 et 120 000 dollars par projet.

- Les coûts de suivi et de contrôle. Il s'agit des coûts de mesure de la quantité de carbone effectivement séquestrée et de validation des ces mesures par la DOE. Ces coûts dépendent en partie des méthodes de mesure utilisées. Une revue de la littérature récente [78] note que les coûts de mesure par échantillon peuvent varier entre 10 et 30 dollars.
- Les coûts de gestion du projet. Ces coûts incluent le suivi administratif, la rémunération des salariés du projet, les coûts de transport, le coût des formations des agriculteurs... Il s'agit de coûts à la fois pour le porteur de projet et pour les agriculteurs. Pour ces derniers, il s'agira surtout de mobiliser du temps de travail pour les formations et les informations liées à la participation au projet.
- Les coûts d'assurance. Les risques de fuite carbone ne sont pas nuls dans le cadre d'un projet agricole (incendie, tempête, changement de pratiques...). La gestion de ces risques peut passer par la souscription d'un contrat d'assurance mais également par la constitution d'un stock de crédit de réserve pour compenser les fuites ou la déduction d'une partie du prix du crédit de compensation en tant que prime de risque.

Les quelques fourchettes de coûts indiquées plus haut sont très larges. En effet, les coûts de transaction varient fortement d'un projet à l'autre, en fonction du type de projet et de sa taille.

Une fois ces coûts listés et évalués, ce qui n'est d'ailleurs pas simple, quels sont leurs impacts sur le projet ? A travers leur travail de modélisation, Cacho et al. mettent en avant deux conclusions majeures. D'une part, la baisse des coûts de transaction permet, pour un même prix du crédit de compensation, de rendre viables de plus petits projets. Ou, de faire diminuer le prix du carbone à partir duquel un projet donné est réalisable. La question de la taille du projet est importante, surtout en Afrique. Faisons un calcul rapide : les taux de séquestration carbone relevés en Afrique Subsaharienne correspondent au mieux à une tonne de carbone par hectare et par an, soit $3,66 \text{ tCO}_2\text{eq}^{11}$. La taille moyenne des exploitations en Afrique subsaharienne est de 0,4 hectare [79]. Ainsi, en moyenne, un petit agriculteur d'Afrique subsaharienne pourra vendre au mieux un crédit et demi par an... Normalement, les porteurs de projet prévoient de vendre quelques centaines de milliers de crédits de compensation sur la durée du projet (20 ou 25 ans), soit plus d'une dizaine de milliers de crédits par an. Notons que l'organisation des filières agricoles aujourd'hui en cours en Afrique subsaharienne pourrait avoir un impact sur les coûts de transaction si les organisations locales de producteurs devenaient des interlocuteurs pour les porteurs de projets, acheteurs de crédit de compensation.

Deuxième conclusion de Cacho et al., les coûts de transaction qui touchent l'acheteur des crédits (l'ONG qui porte le projet dans notre exemple) ont plus d'impact sur le niveau de viabilité du projet que ceux supportés par les vendeurs (les agriculteurs). Ainsi, la baisse des coûts de transaction au niveau des acheteurs devrait être une priorité de la réforme des mécanismes de développement propre et plus généralement des politiques publiques qui appuient la mise en place de projets de compensation agricoles ou agroforestiers.

¹¹ Une tonne de carbone dans le sol équivaut à 3,66t de CO₂ dans l'atmosphère

Capon et al. notent dans leur étude [78] que l'objet du contrat avec l'agriculteur peut aussi avoir un effet sur les coûts de transaction. En effet, aux Etats-Unis, des contrats portant sur la pratique agricole utilisée par l'agriculteur (par exemple le semis direct), et non pas sur la quantité de carbone séquestrée, ont été développés. Les coûts de suivi et de contrôle du projet sont donc nettement moins importants. Néanmoins, les contrats liés aux pratiques agricoles et non pas à la séquestration du carbone proprement dite sont moins efficace car il est aujourd'hui difficile de lier avec précision et fiabilité une pratique à une quantité de carbone séquestrée, surtout en cas d'hétérogénéité spatiale. Ainsi, au final, un projet basé sur une approche par pratique serait jusqu'à cinq fois plus couteux qu'un projet basé sur des contrats de quantité de carbone à séquestrer, malgré des couts de transaction plus élevés. Ceci s'expliquerait par le fait qu'un contrat sur la quantité de carbone laisse l'agriculteur libre de choisir la technique la plus efficace pour la séquestration, en fonction des sols et de la situation de son exploitation. Néanmoins, un contrat sur les quantités de carbone fait porter la totalité du risque lié à la variabilité de la séquestration à l'agriculteur, qui, dans les PED, est déjà confronté à un environnement complexe. Ainsi, les projets de compensation en Afrique subsaharienne que nous avons pu étudier reposent tous sur la rémunération des agriculteurs pour l'utilisation d'une pratique agricole donnée.

Enfin, la baisse des coûts de transaction pourra venir d'une modification des règles de validation des projets, d'un renforcement des institutions des pays hôtes et de la mise en place de politiques publiques d'appui à ce type de projet. Cette baisse est nécessaire si l'on souhaite que les petits producteurs des pays en développement puissent générer des crédits de compensation. Ces crédits constitueront un revenu supplémentaire une incitation à adopter des pratiques agricoles durables. En effet, dans certains cas, les pratiques sont connues depuis longtemps mais peu adoptées car trop coûteuses à mettre en place et peu rentables dans un premier temps. Une rémunération de la séquestration du carbone permettrait de diminuer ces coûts d'adoption.

IV-3.3 La séquestration du carbone en Afrique de l'Ouest : un potentiel considérable mais des contraintes spécifiques

Le contexte agricole africain, et notamment ouest-africain, est particulier. En plus des questions et difficultés techniques évoquées ci-dessus, de nombreux auteurs soulèvent des questionnements supplémentaires, spécifiques à la région ouest-africaine.

Tout d'abord, il faut rappeler que le potentiel de séquestration des régions tropicales est extrêmement important. En effet, dans ces régions, du fait du climat, le cycle du carbone est rapide. Les sols peuvent stocker, mais également libérer, rapidement du carbone, en fonction des pratiques agricoles adoptées. Travaillés, ces sols perdent leur matière organique 5 à 10 fois plus vite que les sols des régions tempérées [80]. Mais ils la retrouvent aussi plus vite en cas de conversion vers des pratiques plus conservatrices. Les sols tropicaux présentent donc, toutes choses égales par ailleurs, des taux de séquestration plus élevés. En revanche, cette séquestration du carbone se fera sur des durées plus courtes, le sol arrivant plus vite à saturation en matière organique. En outre, on constate qu'aujourd'hui, la quantité de carbone présente dans les sols tropicaux est loin du niveau de saturation. Dans le cas de l'Afrique subsaharienne, la FAO estime que la surface totale des sols sévèrement dégradés, donc très appauvris en matière organique, atteint environ 3,5 millions de km², soit environ 20 à 25% de la surface totale. Avec l'utilisation de pratiques adaptées, des quantités considérables de carbone peuvent donc être séquestrées dans ces régions dans les années à venir.

Tout l'enjeu de la valorisation de ce potentiel réside dans l'identification des techniques à promouvoir, d'autant plus qu'elles devront s'adapter à une situation aux multiples contraintes. L'agriculture de l'Afrique de l'Ouest est principalement le fait de petits agriculteurs, dont les exploitations sont de surface réduite, et qui produisent principalement pour la satisfaction des besoins alimentaires de leur famille, la production pour un marché étant une priorité de second ordre. La région ouest-africaine dispose d'un réel potentiel agricole qui lui a permis d'augmenter sa production au cours des trente dernières années. Mais cette augmentation s'est faite principalement par une augmentation des surfaces cultivées et très peu par une augmentation des rendements agricoles, contrairement à ce qui s'est passé dans le reste du monde au cours de la même période [81]. Cette évolution s'explique en grande partie par le fait que les agriculteurs manquent de capital. La mécanisation est très faible en Afrique de l'Ouest, tout comme l'utilisation des engrais. Le contexte ouest-africain est également caractérisé par des tensions fortes en matière de sécurité alimentaire, qui appellent donc à une augmentation de la production agricole. Ainsi, dans ce contexte, la séquestration du carbone dans les sols passe très peu par une utilisation des techniques de labour réduit, puisque le labour est déjà très peu développé [82]. Elle se fera plutôt par un enrichissement des sols les plus dégradés, notamment les pâturages, en matière organique et par une intensification de l'agriculture. En effet, l'intensification est le seul moyen d'éviter de nouveaux changements d'utilisation des sols (déforestation). Toutefois, les voies de cette intensification devront être raisonnées afin de limiter leur impact climatique. En outre, toute modification des pratiques agricoles devra tenir compte des contraintes qui pèsent sur les agriculteurs africains :

- une des premières façons d'enrichir le sol en matière organique est de laisser les résidus de culture sur le champ. Néanmoins, dans un contexte contraint, des concurrences fortes pour l'utilisation de ces résidus, en particulier avec les activités

d'élevage, peuvent exister et augmenter ainsi considérablement le coût, réel ou d'opportunité, des nouvelles pratiques favorisant la séquestration du carbone [83] ;

- la séquestration du carbone, mais également de l'azote, peut se faire par la mise en place de rotations incluant des légumineuses. Dans de nombreux systèmes de production, la vente des produits de ces cultures peut générer des revenus supplémentaires qui améliorent le bilan économique de la nouvelle pratique. Dans un contexte africain, il est important de tenir compte du fait que l'accès aux marchés est limité et peut empêcher la valorisation des cultures intercalaires [84] ;
- l'adoption de certaines pratiques agricoles peut induire, au moins dans les premières années, une diminution des rendements agricoles. C'est ce que Giller et al. [64] montrent dans certaines régions avec l'adoption des techniques de l'agriculture de conservation. Un petit agriculteur ouest-africain sans appui ne pourra pas faire face à cette baisse de sa production. Des mécanismes incitatifs spécifiques doivent donc être mis en place. Une partie de ces incitations pourrait venir de la rémunération de la séquestration du carbone ;
- la mobilisation de facteurs de production supplémentaires peut s'avérer délicate. Les contraintes en capital sont fortes, et s'ajoutent aux difficultés d'accès aux marchés. Ainsi, l'accès à de nouveaux matériels et à des intrants sera difficile et pourra être limitant. La mobilisation de main d'œuvre supplémentaire doit être réfléchie en termes de coûts d'opportunité puisqu'elle se fait dans un contexte dans lequel l'agriculture est en concurrence avec d'autres activités économiques ;
- les aspects institutionnels sont également à prendre en compte. L'affaiblissement des structures d'appui aux agriculteurs rend leur formation aux nouvelles techniques plus difficile à organiser ou en tout cas peut en limiter l'impact. En outre, un renforcement des institutions qui vérifient et contrôlent les projets et de celles qui appuient les mécanismes de rémunération des agriculteurs est un des éléments clés pour le versement des paiements pour les réductions d'émissions [85] ;
- les pratiques permettant une séquestration du carbone se résument souvent à un investissement dans la qualité des sols, qui au delà des bénéfices climatiques présente aussi un intérêt pour le propriétaire de la parcelle. Or la plupart des petits agriculteurs ne sont pas certains de pouvoir bénéficier des retours de leurs investissements, leurs droits sur les parcelles cultivées n'étant pas assurés.

Comme nous le soulignons dans le chapitre précédent, il n'existe pas de combinaison de pratiques agricoles favorisant la séquestration du carbone qui soit à valeur universelle. Les paquets techniques doivent être adaptés à chaque région. Ceci est d'autant plus vrai pour l'Afrique subsaharienne. Dans cette région, c'est un appui plus global à l'agriculture et au développement qui sera nécessaire pour que les agriculteurs puissent prendre en compte les questions climatiques mais également pour qu'ils soient dans des conditions leur permettant de valoriser la séquestration sur des marchés ou dans le cadre de politiques publiques.

CE QU'ON PEUT RETENIR DE CE CHAPITRE:

La valorisation du potentiel d'atténuation du changement climatique par l'agriculture se heurte à différentes difficultés:

1. La séquestration du carbone dans les sols diffère de la réduction d'émissions par le fait qu'elle peut être réversible. Un changement de pratiques ou des phénomènes naturels, tels que des feux de forêt, peuvent libérer dans l'atmosphère le carbone séquestré par les agriculteurs. Dans le cadre du mécanisme de développement propre du protocole de Kyoto, pour tenir compte de cette réversibilité, les crédits carbone générés par la séquestration de carbone sont temporaires, et subissent donc une décote par rapport à des crédits carbone classiques.
2. Les quantités de carbone séquestrées par l'agriculture sont difficiles à mesurer. Ces quantités varient en fonction des sols, du climat et des pratiques agricoles adoptées. Elles varient dans l'espace mais également dans le temps. Cette variabilité empêche d'établir un lien entre une pratique agricole et une quantité de carbone séquestrée. Dans la plupart des projets agricoles développés dans les pays en développement, les agriculteurs sont rémunérés pour la mise en oeuvre d'une pratique agricole, et non pas pour une quantité de carbone séquestrée. Ainsi, le risque de la variabilité de la séquestration est assumé par le porteur de projet.
3. Il existe des difficultés de mise sur le marché des crédits de compensation obtenus par la séquestration biologique du carbone. Au delà de la démonstration de l'additionnalité, qui peut être délicate et controversée les coûts de transaction générés par la création d'un crédit de compensation agricole sont très élevés . Les coûts de suivi sont dus aux difficultés de mesure ; les coûts de gestion sont liés au grand nombre d'agriculteurs impliqués dans chaque projet; et enfin les coûts d'assurance proviennent de la nécessité de faire face à la réversibilité de la séquestration. Il est important qu'aujourd'hui les processus institutionnels soient renforcés dans les pays hôtes et que des politiques publiques appuient le développement des projets agricoles afin de diminuer ces coûts si l'on souhaite une plus grande implication de l'agriculture dans les marchés du carbone.

Chapitre V : la compensation agricole : une question très politique

Au sein des négociations climatiques, la question agricole est fortement débattue, à la fois sur ses aspects techniques mais également sur des questions plus de fonds. L'objectif de ce chapitre est de présenter la diversité des points de vue et des approches des acteurs impliqués dans les négociations, qui nous a frappés dans le cadre de la préparation de ce rapport. Nous avons choisi d'ordonner cette présentation selon les catégories d'acteurs en présence, telles que définies et reconnues dans la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Ainsi, les positions des États impliqués dans la négociation (les "Parties") sont présentées dans un premier temps, et celles des observateurs (organisations non gouvernementales, institutions internationales, représentants du secteur privé...) dans un second temps.

Pour mémoire, l'agriculture a été laissée hors du périmètre des négociations jusqu'à la conférence des parties qui s'est tenue à Copenhague à la fin de l'année 2009. En outre, elle n'était pas concernée par les engagements pris dans le cadre du protocole de Kyoto. Par contre, à Copenhague, le sujet agricole a été mis à l'ordre du jour de deux groupes de travail spécifiques, qui travaillent respectivement sur les engagements de réduction d'émission et le protocole à mettre en place après 2012.

V-1 Des négociateurs dispersés sur la question agricole

Au total, 196 États sont impliqués dans la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques ¹². Sur la question agricole, nous distinguons ci-dessous la position des États africains, particulièrement intéressés au vu de leur sensibilité aux questions de sécurité alimentaire, de celle de certains grands pays agricoles.

V-1.1 La compensation par l'agriculture pourrait être une nouvelle opportunité pour l'Afrique

En mai 2009, pour préparer la conférence de Copenhague, une trentaine de ministres africains de l'environnement se sont réunis et ont défini une position commune pour les négociations climatiques, reprise dans la *Déclaration de Nairobi sur le processus africain pour combattre le changement climatique* [86].

Cette déclaration permet, entre autre, d'une part de retrouver la position globale de l'Afrique concernant la lutte contre le changement climatique et, d'autre part, d'identifier sa position spécifique concernant le secteur agricole.

La position africaine au sein des négociations sur le climat se base sur deux éléments principaux. Le premier est le principe de responsabilité commune mais différenciée: chaque

¹² La liste à jour est disponible sur le site officiel de la CCNUCC:
http://unfccc.int/parties_and_observers/parties/items/2352.php

pays en signant la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques reconnaît sa part de responsabilité collective sur les questions climatiques ("responsabilité commune"). Mais le degré de responsabilité est différent selon les pays, en fonction de leur niveau de développement. Les pays développés, qui figurent dans l'annexe I de la convention, portent une part prépondérante de la responsabilité et ont pris des engagements de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre. Les pays en développement ne portent pas les mêmes responsabilités historiques et leur priorité est de mobiliser des ressources pour leur développement. Le deuxième élément est le constat suivant, basé sur les analyses du GIEC: l'Afrique est le continent le plus touché par le changement climatique, alors que c'est le continent qui y a le moins contribué et qui a le moins de moyens pour s'y adapter.

A partir de ces deux éléments, les ministres africains appellent à un effort plus important de la part des pays développés pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et souhaitent que les engagements pris deviennent davantage contraignants. Ils rappellent que, en matière de changement climatique, la priorité de l'Afrique reste l'adaptation et pas l'atténuation, c'est-à-dire la réduction de ses émissions. Si atténuation il y a, ce sera sur une base volontaire et elle devra être rémunérée. Qu'il s'agisse d'adaptation ou d'atténuation du changement climatique, la déclaration de Nairobi rappelle les besoins importants des pays africains en financements. Ces financements devront être mobilisés aussi bien au niveau du secteur privé qu'au niveau de celui public.

A partir de cette position globale, les ministres de l'environnement abordent la question agricole. Ils ne se positionnent pas sur la question concernant la mise sous contrainte ou non des émissions d'origine agricole, d'autant plus que si cette contrainte était décidée, elle ne devrait pas toucher les pays africains, conformément à la position explicitée ci-dessus, selon laquelle la limitation des émissions africaines ne devra se faire que sur une base volontaire. Par contre, la déclaration de Nairobi est claire quant à la génération de crédits de compensation par l'agriculture. Les ministres de l'environnement appellent à une meilleure intégration de l'agriculture dans les mécanismes de développement propre, en particulier à travers la séquestration du carbone dans les sols. Ils demandent ainsi la mise en place et la validation de méthodologies de projet permettant cette séquestration. Concernant le MDP, ils demandent son élargissement afin que l'Afrique puisse héberger plus de projets. Pour mémoire, seul 2% des projets MDP sont développés en Afrique. Enfin, la déclaration de Nairobi est en faveur de l'intégration des mécanismes de réduction de la déforestation et de la dégradation (REDD) des forêts dans les accords pour la période post-Kyoto, ces mécanismes devant bénéficier de financements publics et privés. Elle mentionne également l'importance de rémunérer les populations locales, et donc aussi les agriculteurs, qui fournissent des services environnementaux dans le cadre de la REDD.

En résumé, la position africaine est clairement en faveur de l'intégration du secteur agricole dans les négociations climatiques, en tant que fournisseur de crédits de compensation. Elle appelle également à l'articulation entre des financements privés, dont elle reconnaît l'intérêt et l'opportunité, et des financements publics, qu'elle veut innovants, nouveaux et additionnels. Cette intégration de l'agriculture est faite au nom du financement d'un développement durable et doit apporter une amélioration de la productivité. Elle reste dans tous les cas subordonnée à l'atteinte des objectifs du millénaire, c'est à dire aux impératifs de développement. Enfin, il est intéressant de noter, que la déclaration de Nairobi, par son existence mais également au travers de plusieurs de ses points, met en avant la volonté des ministres africains d'avoir un

rôle actif dans la négociation climatique, dans laquelle ils voient un enjeu important pour leur développement futur.

Plusieurs États africains ont également rappelé leur souhait d'avoir la possibilité de valoriser le potentiel agricole d'atténuation du changement climatique à travers la séquestration du carbone atmosphérique dans les sols dans le cadre d'une proposition faite au Secrétariat de la Convention Climat en préparation de la conférence de Copenhague [87].

V-1.2 Certaines puissances agricoles émergentes méfiantes vis-à-vis d'une nouvelle contrainte

Quelques autres États se sont clairement positionnés sur la question agricole. Parmi les États de l'Annexe I de la Convention (qui regroupe les pays développés et les économies en transition) figurant également dans l'annexe B du protocole de Kyoto (États ayant pris des engagements de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre), la position de la Nouvelle Zélande et de l'Australie sont bien connues. Dans une contribution de février 2009, la Nouvelle-Zélande demande clairement que, dans le cadre du nouveau protocole qui fera suite à celui de Kyoto, la séquestration du carbone atmosphérique dans les sols soit éligible au titre du mécanisme de développement propre. Elle reconnaît toutefois que des méthodes restent à développer en particulier pour mesurer précisément les quantités de carbone stockées et pour limiter la réversibilité de ce type de stockage [88]. L'Australie, pour sa part, se dit favorable à la prise en compte générale des émissions d'origine agricoles dans le prochain protocole climatique, dans la mesure où celles-ci sont le résultat d'actions humaines et non l'effet de phénomènes naturels (feux de forêts ou sécheresse). Elle se prononce également pour une évolution du traitement de la question des sols dans les mécanismes de flexibilité (MDP notamment) mais avec le souci que des méthodologies rigoureuses soient trouvées [89].

Au même moment, l'Argentine, pays qui ne figure ni dans l'annexe I ni dans l'annexe B du protocole de Kyoto, et qui donc n'est soumise à aucun engagement de réduction de ses émissions, souligne plutôt les difficultés posées par la réalisation de l'atténuation du changement climatique dans le domaine agricole. Elle cite notamment les risques de pression sur l'offre alimentaire, les menaces pour la sécurité alimentaire, les difficultés posées par la grande diversité socio-économique des systèmes agricoles d'un pays à l'autre, les problèmes de mesure ou encore les coûts de transaction importants [90].

Ainsi, ce qui ressort de ce rapide tour d'horizon est une grande diversité des positions sur la question agricole mais la reconnaissance par toutes les parties de la nécessité de résoudre certaines questions techniques posées par la valorisation du stockage du carbone atmosphérique dans les sols au travers de la photosynthèse végétale.

V-2 Les observateurs ont des avis très divergents

V-2.1 La Banque Mondiale, très volontariste, va de l'avant

Depuis longtemps, la Banque Mondiale est en faveur du développement des marchés du carbone et l'appuie à travers différents fonds. Le premier des fonds dédiés à ces marchés, le *Prototype Carbon Fund*¹³, est opérationnel depuis avril 2000, avant même l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto. La Banque mondiale milite également en faveur d'une meilleure valorisation de potentiel d'atténuation de l'agriculture sur les marchés carbone. Il ne s'agit pas de mettre les émissions agricoles sous contrainte mais de générer des crédits de compensation à partir du stockage biologique du carbone dans les plantes ou dans les sols. En particulier, la Banque souhaite que ce type de crédits soit reconnu dans le cadre du mécanisme de développement propre (MDP) instauré par le protocole de Kyoto.

Encadré 5.1 : Le BioCarbonFund de la Banque mondiale défend la place de l'agriculture par l'action

La Banque mondiale a concrétisé sa position en faveur de l'intégration de l'agriculture dans les marchés carbone au travers, entre autre, du BioCarbonFund. Ce fonds est opérationnel depuis mai 2004, il comporte deux tranches, pour un montant global de 90,4 millions de dollars. Il fournit des capitaux pour des projets qui séquestrent ou conservent des gaz à effet de serre dans les forêts ou dans des systèmes agricoles. Son objectif est de tester et de démontrer comment l'agriculture et la foresterie peuvent permettre des réductions de gaz à effet de serre tout en fournissant des bénéfices environnementaux et sociaux. Il s'agit aussi de permettre aux zones rurales des pays en développement de bénéficier de la finance carbone. Concrètement, le fonds achète des réductions d'émissions qui sont ensuite revendues sur les marchés en tant que crédits carbonés labellisés sous le MDP. Il finance également des projets pilotes dont le but est de faire émerger des méthodologies qui pourront ensuite être valorisées dans le cadre d'un nouveau régime climatique intégrant mieux l'agriculture et la foresterie. [91]

La Banque mondiale défend sa position en faveur de l'agriculture en s'appuyant sur différents arguments [30]. D'une part, l'intégration du stockage du carbone par l'agriculture dans le MDP permettrait d'impliquer davantage les pays en développement dans les marchés du carbone. Cela générerait des flux financiers importants vers les agricultures de ces pays, ce qui aurait pour conséquence d'aider leur développement agricole, selon des voies économes en carbone et donc davantage durables. En d'autres termes, l'intégration de l'agriculture dans le MDP serait un levier d'action pour engager les agriculteurs des pays en développement à adopter de meilleures pratiques agricoles et à gérer les ressources naturelles de façon plus durable. En outre, exclure le stockage de carbone par l'agriculture des marchés du carbone empêche les agriculteurs des pays en développement, y compris les plus pauvres, de bénéficier de revenus qui peuvent être importants. D'autre part, l'atténuation du changement climatique par l'agriculture peut être faite, au moins en partie, à technologie constante : les techniques de stockage de carbone dans le sol sont connues et peuvent être appliquées immédiatement, à des coûts qui seraient faibles selon les sources citées par la Banque mondiale. Cette dernière considère que les questions de mesure des émissions évitées et du changement d'échelle (*scaling up*) des techniques actuellement utilisées sont surmontables [92]. En particulier, elle considère que les techniques de mesure du carbone dans les sols et de

¹³ Pour plus de détails sur ce fonds : <http://go.worldbank.org/734QNOM2F0>

modélisation sont au point aujourd'hui. Ce qu'il manque est plutôt leur mise en œuvre dans le cadre d'un système de mesure et de suivi « intégré et robuste ». Ce système devrait être hybride et utiliser à la fois des mesures directes dans le sol et des modèles simulant l'évolution du carbone dans les sols à partir de quelques échantillons, cette deuxième technique étant moins coûteuse que des mesures systématiques. En résumé, exclure l'atténuation agricole des marchés serait se priver d'un outil puissant et bon marché de lutte contre le changement climatique. Enfin, dernier argument en faveur du soutien d'une meilleure valorisation du potentiel agricole, la Banque mondiale rappelle que la séquestration du carbone dans les sols par l'agriculture se fait en améliorant la gestion des sols, qu'il s'agisse de sols cultivés, de pâturages et en restaurant les sols dégradés. La séquestration a donc des effets positifs à la fois sur le changement climatique, la productivité agricole, par l'augmentation des rendements, et sur la capacité des agriculteurs à s'adapter au changement climatique. Sur ce dernier point, elle est rejointe par la FAO, même si avec quelques nuances supplémentaires (cf. III.2-2).

Face à la baisse d'activité des marchés du carbone qui a commencé en 2008, la Banque mondiale considère qu'il est d'autant plus important de jouer son rôle de soutien à des initiatives innovantes. Sa position reste l'une des plus favorables à une approche par les marchés de la question climatique et à l'intégration de l'agriculture dans ces marchés.

V-2.2 La FAO, intéressée mais attentive aux impacts sur la sécurité alimentaire et aux compromis à faire

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) est favorable à la valorisation du potentiel d'atténuation agricole mais adopte une position plus nuancée que celle de la Banque mondiale et soutient une approche davantage progressive. En juin 2010, dans le cadre d'une contribution aux négociations climatiques auprès d'un des groupes de travail [93], elle défend la position selon laquelle pour limiter la hausse des températures à deux degrés, tous les secteurs doivent être mobilisés dans le cadre du futur régime climatique, y compris l'agriculture. Par ailleurs, la FAO souligne qu'à long terme, les stratégies d'atténuation par l'agriculture bénéficient à la fois à la lutte contre le changement climatique et au développement agricole, en particulier dans les pays du Sud. Toutefois, à court terme, ces stratégies peuvent avoir des conséquences négatives pour la sécurité alimentaire et le développement. Dans ces cas, des compromis sont donc nécessaires, ainsi que des politiques publiques pour limiter et compenser les effets négatifs. Ainsi, dans son rapport *Food Security and Agricultural Mitigation in Developing Countries: Options for Capturing Synergies* [12], la FAO cite quelques points qui pourront nécessiter des arbitrages :

- la production de biocarburants peut être une alternative aux carburants fossiles mais des risques de compétition avec les productions alimentaires existent ;
- la restauration des sols dégradés permet de stocker des quantités importantes de carbone dans le sol mais elle peut entraîner une diminution des surfaces disponibles pour la production alimentaire ;
- la restauration des parcours, qui permet une importante séquestration de carbone, se fait par la diminution des têtes de bétail, ce qui limite le revenu des bergers.

La FAO rappelle également que ces stratégies peuvent être mises en place rapidement mais nécessitent des financements importants. Dans ce cadre, les marchés du carbone sont un outil parmi d'autres, tels que des financements publics ou publics-privés. En faisant l'hypothèse d'une tonne d'équivalent CO₂ valorisée à 20 dollars, la FAO considère que l'atténuation agricole pourrait générer environ 30 milliards de dollars par an [12]. Cette somme équivaut à 15% des besoins globaux en investissements agricoles dans les pays en développement, estimés par la FAO à 200 milliards de dollars par an jusqu'en 2050.

Enfin, la FAO est en faveur de l'intégration et de la valorisation du potentiel d'atténuation agricole dans le cadre du nouveau régime climatique à définir. Elle considère que cela sera possible à travers l'examen des questions techniques que cette intégration pose par l'Organe subsidiaire de conseil technique et scientifique de la Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Cet examen pourra en outre être facilité par les enseignements qui pourront être tirés de projets pilotes.

C'est donc dans cet esprit que la FAO a lancé en 2010 le programme MICCA (*Mitigation of Climate Change in Agriculture - Atténuation du changement climatique dans l'agriculture*) [94] dont l'objectif est à la fois de préciser les sources d'émissions du secteur agricole et d'évaluer le potentiel d'atténuation de ce secteur (réduction des émissions mais aussi séquestration du carbone). Il s'agit également de développer des projets pilotes permettant progresser dans la mise au point de méthodologies de mesure et de vérification efficaces de cette atténuation, qui soient fiables mais également simples et peu coûteuses. Ce projet est jeune, il n'en est qu'à ses débuts. Son point de départ est une suite de questions actuellement sans réponse claire. En voici quelques unes:

- Comment appréhender la diversité des situations en matière de séquestration carbone ? En effet, le taux et la durée de séquestration d'un sol dépend autant de sa nature, de sa situation, de son histoire que de la pratique mise en œuvre.
- Quelles sont les conséquences des changements de pratique agricole permettant de stocker du carbone dans les sols ? Quelles sont les répercussions sur les rendements alimentaires, sur l'organisation du travail, sur les marchés agricoles ? Ces changements de pratiques engendrent-ils d'autres coûts indirects ?
- Comment résoudre le problème de la réversibilité de la séquestration carbone ? Quel sera l'effet du réchauffement climatique, à long terme, sur le carbone stocké dans les sols ? Y a-t-il un risque de déstockage massif ?
- Pour la mesure de l'atténuation, faut-il absolument des relevés et échantillonnages systématiques, ou bien peut-on se satisfaire d'approximations, à partir de modélisations et de valeurs moyennes ?
- Comment définir la ligne de référence (baseline) et l'additionnalité de ce type de projets ? Faut-il prendre pour référence la tendance historique ou bien y ajouter le développement agricole qui est de toute façon nécessaire dans ces pays (et donc prendre une ligne de référence en hausse, toutes choses égales par ailleurs) ?

- Comment garantir des protocoles qui doivent s'inscrire dans la durée alors qu'ils prennent souvent place dans des contextes caractérisés par l'insécurité (foncière, économique, etc) ?

L'objectif du programme MICCA est d'apporter des réponses à ces questions, au bout de ces cinq ans de fonctionnement, sous la forme de données précises, par le développement de bases de données sur les émissions agricoles, les potentiels d'atténuation et leurs coûts ainsi que des données précises sur les arbitrages qui seront nécessaires entre atténuation agricole et sécurité alimentaire. Le projet MICCA aborde ces questions en veillant à valoriser les apports des petits agriculteurs du Sud.

On le voit, la FAO est plutôt en faveur de l'intégration du secteur agricole dans le futur régime climatique et de sa valorisation, y compris dans le cadre des marchés carbone. Néanmoins, elle considère que des questions d'ordre technique restent à résoudre et développe donc des projets permettant d'apporter des éléments de réponse. Elle reste en outre vigilante sur les retombées que les discussions climatiques peuvent avoir sur la sécurité alimentaire et plus généralement sur le développement agricole des pays du Sud.

V-2.3 Les organisations non gouvernementales inquiètes d'éventuels effets pervers

Les liens entre développement agricole et les questions climatiques sont récents dans l'agenda politique à la fois des négociations et des organisations non gouvernementales (ONG). Au delà des travaux de réflexion et de positionnement sur ces questions, certaines ONG commencent à expérimenter le financement carbone dans leurs projets de développement agricole avec l'objectif de mieux en cerner, concrètement, les effets.

La prise de position peut parfois aller au delà de la question de la prise en compte des questions agricoles dans le futur régime climatique, jusqu'à remettre en question le principe de compensation, qui est un des piliers de la Convention des Nations Unies sur les changements climatiques. La question qui est posée est la suivante : faut-il encourager les pays du Sud à vendre leur potentiel d'atténuation bon marché aux Etats du Nord ? Certaines ONG dénoncent ainsi le fait que la compensation carbone peut donner aux pays développés les moyens de retarder leurs efforts de réduction d'émissions alors que les pays en développement « bradent » leur potentiel d'atténuation, qui ne sera ainsi plus disponible le jour où les obligations de réduction des émissions les concerneront aussi.

Mais, si on se place dans le cadre actuel des négociations et des principes sur lesquels elle repose, les acteurs non gouvernementaux soulèvent plusieurs autres questions. D'une part, les acteurs du monde du développement sont très vigilants sur la distinction entre adaptation et atténuation du changement climatique. Ainsi, la coordination nationale des ONG françaises de solidarité internationale, Coordination Sud souligne qu'une approche qui ne considérerait le secteur agricole que sous l'angle de l'atténuation et pas sous celui de l'adaptation serait improductive. Elle fait ainsi le lien entre les questions climatiques et les enjeux en matière de sécurité alimentaire et de durabilité sociale et environnementale que comporte l'agriculture dans les pays du Sud [95]. Cette crainte de voir uniquement les questions d'atténuation mises en avant est en partie liée au fait que jusqu'à présent la question agricole au sein des négociations internationales était surtout portée par quelques grandes puissances agricoles

telles que la Nouvelle-Zélande, les Etats-Unis ou les puissances agricoles d'Amérique Latine, et assez peu par les pays du Sud. La déclaration de Nairobi et le positionnement des Etats africains ont en partie changé cette géographie.

D'autre part, l'utilisation des marchés carbone est une autre source d'interrogations. En effet, selon certaines ONG, elle constitue un mode de rémunération qui est mal adapté aux agricultures paysannes, caractérisées par des exploitations de très petite surface et ayant des rendements faibles. Le risque serait que les petits producteurs ne puissent pas être compétitifs en termes d'offre carbone, ne serait-ce qu'en raison des coûts de certification des projets – ce qui ne ferait qu'accroître leur écart de revenus avec les grands producteurs. La « rente carbone » serait plus favorable aux grosses structures.

En outre, dans un contexte général d'incertitude des marchés, notamment de fluctuations fortes des prix agricoles, certains s'interrogent sur l'opportunité d'ajouter le prix du carbone, lui aussi fluctuant (cf. chap. 2), à l'équation. Les plus petits producteurs sont particulièrement vulnérables à ce type de risque. Selon certaines ONG, il serait plus intéressant de mettre en place des financements permettant de sécuriser leurs revenus.

Enfin, les ONG de développement s'inquiètent de l'utilisation des marchés carbone comme alibi pour négliger une aide publique au développement agricole qui s'assèche (6 milliards de dollars par an contre les 20 nécessaires, d'après les calculs de l'ONG Oxfam France). Selon elles, le financement du développement agricole doit d'abord et avant tout venir d'une aide publique suffisante, la finance carbone ne saurait la remplacer. Rappelons que sur la période 2002-2009, les projets du MDP dans leur ensemble, ont représenté des flux globaux de transactions inférieurs à 20 milliards de dollars en moyenne annuelle, dont une infime partie est consacrée à des projets agricoles (qui ne représentent que 4,5% des projets ¹⁴). Les ONG soulignent par ailleurs qu'il est a priori difficile d'intéresser les acteurs privés, acteurs du marché carbone, aux thématiques que prend en charge l'aide publique. Aide publique et finance carbone leur apparaissent comme n'étant que complémentaires, en quantité et en qualité, mais non substituables.

Du côté des ONG environnementales, on s'inquiète surtout des problèmes de mesures et de réversibilité des modifications de pratiques agricoles et de la séquestration biologique du carbone – l'enjeu étant pour elles que si ces questions ne sont pas résolues sérieusement, l'atténuation financée soit en fait une fausse atténuation, sans effet réel sur le réchauffement climatique.

¹⁴ <http://cdm.unfccc.int/Statistics/Registration/RegisteredProjByScopePieChart.html>

CE QU'ON PEUT RETENIR DE CE CHAPITRE:

1. A la suite des discussions qui ont eu lieu à Copenhague, il est certain que l'agriculture fait maintenant partie des sujets qui seront à l'ordre du jour des négociations sur le nouveau régime climatique. Par contre, au vu de la diversité des positions en présence, il est difficile de prévoir l'issue de ces négociations concernant le secteur agricole.
2. Le potentiel d'atténuation agricole est considérable, il serait dommage de s'en priver. Néanmoins, sa valorisation pose des questions techniques. Celles-ci concernent notamment sa réversibilité et sa mesure, mais également les interférences avec d'autres problématiques, en particulier dans les pays du Sud. En effet, dans ces pays, l'agriculture est à la croisée des enjeux de développement économique, de changement climatique, à la fois en termes d'adaptation et d'atténuation, et de sécurité alimentaire. Le vrai défi est de définir des priorités et des compromis pour répondre au mieux à ces enjeux, sans n'en laisser aucun de côté.
3. Se pose enfin la question des outils permettant la valorisation du potentiel agricole, mais cette question est subordonnée à celle de la valorisation même. Tout comme pour le mécanisme REDD, les points de vue des acteurs divergent sur l'utilité des outils de marché. Probablement, la solution viendra ici aussi d'un système hybride, combinant différents outils.

CONCLUSION

L'agriculture dispose d'un potentiel d'atténuation du changement climatique, estimé à 6 milliards de tonnes de CO₂eq par an. Ce potentiel réside pour 10% dans la diminution des émissions de méthane et de protoxyde d'azote mais surtout, à hauteur de 90%, dans la séquestration du carbone atmosphérique dans la biomasse et les sols. Cette séquestration se fait en utilisant des pratiques agricoles connues, telles que l'agroforesterie, la réduction du travail du sol ou le maintien d'une couverture végétale. Elle peut donc être mise en œuvre dès aujourd'hui. Il faut toutefois adapter les paquets techniques à chaque système de production.

Et pourtant, la séquestration du carbone est très peu valorisée sur les marchés du carbone. La séquestration dans les sols n'est pas reconnue comme un puits de carbone par le protocole de Kyoto. A cet obstacle réglementaire s'ajoutent des obstacles techniques (difficulté de la mesure des quantités de carbone stockées dans le sol) et économiques (coûts de transaction dissuasifs).

La prochaine étape pour un meilleur accès de l'agriculture aux marchés du carbone est l'implication claire de ce secteur dans le régime climatique international. Pour que cette implication soit effective, des avancées sur plusieurs fronts sont nécessaires. D'une part, en s'appuyant sur une volonté politique forte, les règles du régime international doivent être modifiées pour prendre en compte le potentiel d'atténuation de l'agriculture et faciliter sa valorisation, y compris dans les pays du Sud, à travers le mécanisme de développement propre. Il faut néanmoins rester attentifs à ce que les bases scientifiques sur lesquelles se fait cette prise en compte soient solides, sous peine de générer des crédits de compensation peu reconnus et donc très mal valorisés. D'autre part, des investissements dans le domaine de la recherche et du développement sont nécessaires pour lever les obstacles liés à la mesure du carbone dans le sol et pour définir avec précision des paquets techniques adaptés aux systèmes de production. En particulier, dans les pays en développement ces ensembles de pratiques agricoles doivent permettre la nécessaire augmentation des rendements et veiller à assurer la sécurité alimentaire des populations.

Si on considère les cours actuels du carbone, la rémunération des agriculteurs restera faible en Afrique subsaharienne, atteignant au mieux quelques dizaines d'euros par an. Toutefois, l'intégration du secteur agricole dans le régime climatique international, et donc dans les marchés du carbone qui en sont le principal outil de mise en œuvre, permettra de promouvoir des systèmes de production plus durables et la définition de nouvelles trajectoires de développement, en particulier dans les pays du Sud, intégrant les problématiques de la lutte contre le changement climatique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] R. K. Pachauri et A. Reisinger, *Climate Change 2007 - Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007.
- [2] P. Smith et al., *Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change - Chapter 8: Agriculture*. 2007.
- [3] K. Baumert, T. Herzog, et J. Pershing, *Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy*. World Resource Institute, 2005.
- [4] G. Kongshaug, "Energy consumption and greenhouse gas emissions in fertilizer production," *International Fertilizer Industry Association*, 1998.
- [5] H. J. Geist et E. F. Lambin, "Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation," *BioScience*, vol. 52, n°. 2, p. 143, 2002.
- [6] E. Fernandes, *Reduced emissions and enhanced adaptation in agricultural landscapes - Issue 50*. World Bank, 2009.
- [7] "Chiffres clés du climat," *France et Monde*, 2010.
- [8] Mike Gallaher, Deborah Ottinger, Dave Godwin, et Benjamin DeAngelo, *Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions : 1990-2020*. Washington DC: US EPA, 2006.
- [9] N. Stern, *The Impacts of Climate Change on Growth and Development*. Stern Review, final report, PART II, 2006.
- [10] M. Parry, *Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaption and Vulnerability*. 2007.
- [11] F. Grandval, *Aléas climatiques : quelles réalités, quelles évolutions ?* 2010.
- [12] W. L. Mann, *Food Security and Agricultural Mitigation in Developing Countries: Options for Capturing Synergies*. FAO, 2009.
- [13] C. Müller, A. Bondeau, A. Popp, K. Waha, et M. Fader, *Development and climate change : climate change impacts on agricultural yields*. World Development Report, 2009.
- [14] William Easterling et Pramod Aggarwal, *Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaption and Vulnerability - Chapter 5: Food, Fibre, and Forest Products*. 2007.
- [15] D. B. Lobell, M.B. Burke, C. Tebaldi, M.D. Mastrandrea, W.P. Falcon, et R.L. Naylor, "Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030," *Science*, 2008.
- [16] W. R. Cline, "Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country," *Center for Global Development*, 2007.
- [17] G. Fischer et M. Shah, *Climate change and agricultural vulnerability, IIASA Special Report commissioned by the UN for the World Summit on Sustainable Development*. Laxenburg, Austria: , 2002.
- [18] M Boko, I Niang, et A Nyong, *Climate Change 2007: Working Group II: Impacts, Adaption and Vulnerability - Chapter 9: Africa*. 2007.
- [19] P. Jouve, "Pratiques et stratégies d'adaptation des agriculteurs aux aléas climatiques en Afrique Subsaharienne," *Grain de Sel - n°49*, 2010.
- [20] A. Leseur et B. Leguet, "Les marchés du carbone et le secteur agricole : quelles possibilités ?," *Fourrages*, 2006.
- [21] P. Smith et al., "Greenhouse gas mitigation in agriculture.," *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, vol. 363, n°. 1492, p. 789–

- 813, 2008.
- [22] T. Barker et al., “Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change - Technical Summary,” *IPCC*, 2007.
- [23] C. De Perthuis, *Et pour quelques degrés de plus*. Pearson France, 2009.
- [24] A. Delbosq et C. Perthuis, “Les marchés du carbone expliqués,” *Climate Care Series du Bureau du Pacte Mondial de l’ONU*, 2009.
- [25] A. Kossoy et P. Ambrosi, “State and Trends of the Carbon Market 2010,” *World Bank*, 2010.
- [26] “JI projects,” *UNEP Risoe Centre on Energy, Climate and Sustainable Development*.
- [27] “Registered projects by region,” *United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- [28] “Distribution of registered project activities by scope,” *United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- [29] A. D. Ellerman, F. J. Convery, et C. D. Perthuis, “Le prix du carbone - les enseignements du marché européen du CO₂,” *Pearson- Chap 1*, 2010.
- [30] K. Capoor et P. Ambrosi, “State and Trends of the Carbon Market 2009,” *The World Bank*, 2009.
- [31] Peter Henderson, “Western U.S., Canada go own way on carbon trading,” *Reuters - 11 mars 2010*, 2010.
- [32] “Modèle recommandé pour le programme régional de plafonds-échanges de la Western Climate Initiative (WCI),” *Western Climate Initiative*, 2008.
- [33] “NZ Emissions Trading Scheme,” *NZ Carbon Exchange*.
- [34] Oliver Sartor, “Tendances Carbone, N°42, décembre 2009,” *Club Tendances Carbone*, 2009.
- [35] Adrian Bathgate et David Fogarty, “Main points of New Zealand's carbon scheme,” *Reuters – 25 novembre 2009*, 2009.
- [36] Jonathan Soble, “Tokyo starts scheme for carbon trading,” *Financial Times*, Avr. 2010.
- [37] P. Laurent, “Marché du carbone : Tokyo inaugure le premier système de cap & trade d’Asie,” *GreenUnivers*, Avr. 2006.
- [38] K. Hamilton, M. Sjardin, M. Peters-Stanley, et T. Marcello, “Building Bridges : State of the Voluntary Carbon markets 2010,” *Ecosystem Marketplace – Bloomberg*, 2010.
- [39] K. Hamilton, M. Sjardin, A. Shapiro, et T. Marcello, “Fortifying the foundation - State of the voluntary carbon markets 2009,” *Ecosystem Marketplace & New Carbon Finance*, 2009.
- [40] R. S. Jones et B. Yoo, “Improving the Policy Framework in Japan to Address Climate Change,” *Economics Department Working Papers, No. 740, OECD Publishing*, 2009.
- [41] E. Alberola et J. Chevallier, “Les déterminants du prix du carbone sur le marché européen des quotas.”
- [42] Morgan Hervé-Mignucci, “Tendances Carbone, N°44, février 2010,” *Club Tendances Carbone*, 2010.
- [43] “Réaliser un projet MDP ou MOC,” *Ministère de l’économie, de l’industrie et de l’emploi*, 2008.
- [44] “Urea offset by inoculant application in soybean-corn rotations on acidic soils on existing cropland,” *United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- [45] “Convention-cadre sur les changements climatiques, 21 jan 2002,” *UNFCCC*.
- [46] “CCX General Offset Program Provisions,” *Chicago Climate Exchange*, 2009.
- [47] “Potential Impacts of Cap-and-Trade Policy on U.S. Agricultural Producers - Prepared For National Association of Wheat Growers & American Farmland Trust,” *Informa*

Economics, avril 2010, 2010.

- [48] Pierre Radanne, Emmanuel Guérin, Emeline Diaz, et Xing Fu-Bertaux, “Note de décryptage de l’état des négociations sur le climat,” *OIF / IEPPF*, Mai. 2010.
- [49] “Convention-cadre sur les changements climatiques, 30 mars 2010,” *UNFCCC*.
- [50] P.A. Minang et D. Murphy, “Redd après Copenhague: la voie à suivre,” *Institut international du développement durable (IIDD)*, février 2010, 2010.
- [51] “Démarches sectorielles et mesures par secteur concertées dans l’agriculture,” *Groupe de travail spécial de l’action concertée à long terme au titre de la Convention*, 2010.
- [52] V. Bellassen, R. Crassous, L. Dietzsch, et S. Schwartzman, “Réduction des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts : quelle contribution de la part des marchés carbone ?,” *Etude Climat n°14, Mission Climat de la Caisse des dépôts*, 2008.
- [53] S. Wertz-Kanounnikoff et L. Tubiana, “Intégrer la déforestation évitée dans un nouvel accord sur le climat,” *Synthèses n°5, Institut du développement durable et des relations internationales*, 2007.
- [54] “Convention-cadre sur les changements climatiques, 11 fev 2010,” *UNFCCC*.
- [55] L.R. Kump, J. Kasting, et R.G. Crane, “The Earth System,” *Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 351p.et Bourque PA, Université de Laval*, 1999.
- [56] R. Wassmann, Y. Hosen, et K. Sumfleth, “Reducing methane emissions from irrigated rice,” *IFPRI Policy Brief, Focus 16*, Mai. 2009.
- [57] G. C. Nelson, R. Robertson, S. Msangi, T. Zhu, X. Liao, et P. Jawajar, “India Greenhouse Gas Mitigation: Issues for Indian Agriculture,” *IFPRI discussion Paper*, 2009.
- [58] H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, et C. D. Haan, “Livestock's long shadow - environmental issues and options,” *FAO*, 2006.
- [59] N. Millar, G. P. Robertson, P. R. Grace, R. J. Gehl, et J. H. JP, “Nitrogen fertilizer management for nitrous oxide mitigation in intensive corn (Maize) production: an emissions reduction protocol for US Midwest agriculture,” *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2010.
- [60] A. R. Mosier, “Environmental challenges associated with needed increases in global nitrogen fixation,” *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002.
- [61] “Agriculture, effet de serre et changements climatiques en France,” *Réseau Action Climat*, 2005.
- [62] Deborah Gray, “Significant Boost for Nitrification Inhibitor Research Announced,” *Ministry of Agriculture and Forestry, New Zealand*, 2009.
- [63] R. LAL, “The potential for Soil Carbon Sequestration,” *Agriculture and Climate Change : an agenda for negotiation in Copenhagen, IFPRI*, Mai. 2009.
- [64] K.E. Giller, E. Witter, M. Corbeels, et P. Tittonell, “Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view,” *Field Crops Research*, 114, 23-34, 2009.
- [65] “Qu’est ce que l’agroforesterie ?,” *INRA Montpellier*.
- [66] S. Syampungani, P. Chirwa, F. Akinnifesi, et O. Ajayi, “The potential of using agroforestry as a win-win solution to climate change mitigation and adaptation and meeting food security challenges in southern Africa,” *Agricultural Journal*, 2010.
- [67] X Hamon, C Dupraz, et F Liagre, “L’agroforesterie, outil de séquestration du carbone en agriculture,” *Déc. 2009*.
- [68] K. Chomitz, “Evaluating carbon offsets from forestry and energy projects: How do they compare?,” *World Bank, Development Research Group, Infrastructure and Environment*, 2000.

- [69] T. West et W. Post, "Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation : A Global Data Analysis," *Soil Science Society of America Journal*, 2002.
- [70] M. Bernoux, C. Cerri, et C. E. Cerri, "Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil , a review," *Agronomy for Sustainable Development*, 2006.
- [71] T. Vagen, R. Lal, et B. R. Singh, "Soil carbon sequestration in sub-Saharan Africa: a review," *Land Degradation & Development*, 2005.
- [72] "The Ex Ante Carbon-balance Tool," *FAO*.
- [73] J. M. Baker, T. E. Ochsner, R. T. Venterea, et T. J. Griffis, "Tillage and soil carbon sequestration - What do we really know?," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006.
- [74] D. Arrouays et al., "Estimation des stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps," *Etude et Gestion des Sols, Volume 10, 4 - pages 347 à 355*, 2003.
- [75] H. Blanco-Canqui et R. Lal, "No-Tillage and Soil-Profile Carbon Sequestration: An On-Farm Assessment," *Soil Science Society of America Journal*. 72(3):693-701, 2008.
- [76] C. S. Snyder, TWBruulsema, T. L. Jensen, et P. E. Fixen, "Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects," *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 133:247-266, 2009.
- [77] O. Cacho et L. Lipper, "Abatement and transaction costs of carbon-sink projects involving smallholders," *Paper to Climate Change Mitigation Measures in the Agro-Forestry Sector and Biodiversity Futures. Trieste, Italy*, 2006.
- [78] T. Capon, M. Harris, et A. Reeson, "Soils Carbon Sequestration Market-Based Instruments (MBIs): A Literature Review," *Faculty of Agriculture, Food and Natural Resources, The University of Sydney*, 2010.
- [79] J. Devèze, "Défis agricoles africains," *Karthala/AFD*, 2008.
- [80] J. C. de Moraes Sá et al., "O plantio Direto como base do sistema de produção visando o seqüestro de carbono," *Revista Plantio Direto*. n.84, 2004.
- [81] R. Blein, B. Soulé, B. F. Dupaigne, et B. Yérima, "Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest," *FARM*, 2008.
- [82] R. Mrabet, "Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa," *Soil and Tillage Research - 66(2):119-128*, 2002.
- [83] G. Freschet, D. Masse, E. Hien, S. Sall, et J. Chotte, "Long-term changes in organic matter and microbial properties resulting from manuring practices in an arid cultivated soil in Burkina Faso," *Agriculture, Ecosystems & Environment - 123(1-3):175-184*, 2008.
- [84] "Investing in Sustainable Agricultural Intensification. The Role of Conservation Agriculture. A Framework for Action."
- [85] L. Lipper, C. Dutilly-Diane, et N. McCarthy, "Supplying Carbon Sequestration From West African Rangelands: Opportunities and Barriers," *Rangeland Ecology & Management - 63(1):155-166*, 2010.
- [86] "Nairobi Declaration on the African Process for Combating Climate Change," Mai. 2009.
- [87] "Submission of African Governments to the 5th Session of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention (AWG-LCA 5)," *UNFCCC*, Avr. 2009.
- [88] "New Zealand - A Submission to the Ad-Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol (AWG-KP) - Land Use, Land Use Change and Forestry," *UNFCCC*, Fév. 2009.

- [89] “Australia - Land Use, Land-Use Change and Forestry (LULUCF) Sector - Submission to the AWG-KP and AWG-LCA,” *UNFCCC*, Avr. 2009.
- [90] “Republic of Argentina Submission for the AWG-LCA,” *UNFCCC*, Fév. 2009.
- [91] “Carbon Finance for Sustainable Development – Annual report,” *World Bank* - p.37 à 44, 2009.
- [92] E. Fernandes et D. Thapa, “Reduced emissions and enhanced adaptation in agricultural landscapes,” *Agricultural and Rural Development Notes, Issue 50, World Bank*, Oct. 2009.
- [93] “Towards a work programme on agriculture - a submission to the AWG-LCA by the Food and Agriculture Organization of the United States,” *FAO*, Juin. 2010.
- [94] “Mitigation of Climate Change in Agriculture (MICCA) Project,” *FAO*.
- [95] A. Chetaille, M. Créach, et S. Fauveaud, “Copenhague : face à l’immobilisme politique, l’élan citoyen ?,” *Coordination Sud*, Fév. 2010.