

2. Services environnementaux et agriculture

L'humanité a tiré d'immenses bienfaits de l'agriculture. L'agriculture nourrit aujourd'hui plus de 6 milliards d'individus, et les dernières décennies ont été marquées par des augmentations de productivité considérables du fait de l'introduction de nouvelles variétés et de nouvelles méthodes de production (Tilman *et al.*, 2002). Toutefois, ces avancées n'ont pas été sans contrepartie. Pour ce qui est des services écosystémiques, l'Évaluation des écosystèmes en début de Millénaire reconnaît à l'agriculture d'avoir développé la production de fibres et d'aliments durant les 50 dernières années mais ce, au détriment de nombreux autres services écosystémiques qui se sont détériorés. Tout comme les rapports d'études plus récentes telles que *Water for food: water for life* (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, 2007) et *Livestock's long shadow: environmental issues and options* (FAO, 2006a), l'Évaluation des écosystèmes en début de Millénaire juge que l'agriculture pourrait et devrait être gérée de manière à favoriser l'ensemble des services écosystémiques, et non seulement l'offre d'aliments et autres denrées.

L'intensification de la production de produits agricoles aux dépens des autres services écosystémiques a provoqué, à l'échelle mondiale et locale, des changements environnementaux lourds de conséquences pour la santé et le bien-être des gens (Foley *et al.*, 2005). Certaines pratiques agricoles provoquent des émissions de gaz à effet de serre et contribuent à une raréfaction des ressources en eau, à la pollution, à la dégradation des terres et à la disparition de la biodiversité. L'agriculture elle-même est l'une des principales victimes de la détérioration des écosystèmes, du fait de la variabilité climatique, de l'appauvrissement des sols, de la pénurie d'eau, de sa moindre qualité et de la sensibilité aux maladies et

aux ravageurs qui entament la productivité agricole. Modifier l'équilibre des services écosystémiques fournis par l'agriculture est un aspect important de l'action engagée pour corriger les répercussions néfastes de certaines formes de production agricole. Ces changements se justifient en outre à un autre titre: ils permettraient de contrebalancer ou de compenser les dégradations environnementales causées par d'autres secteurs de l'économie. La bioénergie, marché nouveau et en plein essor, pourrait aussi entraîner une réorientation majeure des services écosystémiques fournis par l'agriculture (voir également UN-Energy, 2007).

Les modifications à apporter à la gestion des écosystèmes sont fonction du lieu géographique, du niveau actuel de développement économique, de la densité démographique, des conditions agroécologiques et des technologies primaires utilisées dans l'agriculture. Ces facteurs ont tous une incidence sur le rendement des terres et de la main-d'œuvre agricole ainsi que sur les coûts et avantages dont ces changements pourraient être porteurs en ouvrant sur d'autres services environnementaux.

Ce chapitre, comme le reste du rapport, est principalement consacré à trois types de problèmes environnementaux pour lesquels l'agriculture joue un rôle déterminant: les changements climatiques, la dégradation des ressources en eau (pollution et raréfaction) et la disparition de la diversité biologique. On constate déjà dans ces trois domaines une multiplication des subventions aux producteurs agricoles afin de développer l'offre de services environnementaux. Les exploitants sont rémunérés pour assurer le piégeage du carbone et atténuer ainsi les changements climatiques, améliorer la gestion des bassins hydrographiques (et donc le débit et la qualité de l'eau) et préserver

la biodiversité. C'est aussi dans ces domaines que les programmes de subvention sont les plus susceptibles de se développer. Il existe bien sûr nombre d'autres services écosystémiques dont la gestion est largement déterminée par le secteur agricole, comme la formation des sols ou la préservation du cycle des substances nutritives, qui sont essentiels au maintien de la fertilité des sols et à l'inversion de la dégradation des terres.

Ce chapitre passe brièvement en revue les relations d'ordre technique entre l'agriculture et les changements environnementaux, examine comment cette relation détermine les solutions politiques et les actions spécifiques que les exploitants agricoles peuvent engager pour développer l'offre de services environnementaux dans ces trois domaines.

Comment les producteurs agricoles peuvent-ils créer des services environnementaux?

Quelques observations d'ordre général s'imposent avant d'aborder les problèmes spécifiques liés à chacun de ces trois domaines. Pour que les exploitants soient à même de développer l'offre de services environnementaux, il faut généralement modifier le système de production agricole.

Les exploitants désireux de développer les services environnementaux peuvent modifier leurs pratiques de production de plusieurs façons, notamment:

- en transformant les systèmes d'exploitation, les terres demeurant affectées à un usage agricole alors que les activités productives évoluent pour satisfaire les objectifs environnementaux (par exemple en réduisant le travail du sol ou en laissant les résidus de culture au sol);
- par des programmes de conversion des terres qui sont mises hors culture et pâturage, et affectées à d'autres utilisations;
- en s'abstenant de modifier la destination des terres (par exemple en excluant tout défrichage visant la mise en culture des terres).

Ces distinctions sont importantes pour déterminer si l'offre de services environnementaux implique des arbitrages

avec la production agricole, un facteur essentiel pour comprendre les motivations des producteurs et, partant, dans quelle mesure ils seraient susceptibles d'adhérer au changement. Si de vastes superficies sont concernées, les évolutions requises peuvent avoir des retombées à l'échelon macroéconomique du fait de leur incidence sur les approvisionnements alimentaires, la disponibilité de terres et de main-d'œuvre et les prix (Zilberman, Lipper et McCarthy à paraître).

Les conditions déterminant le potentiel d'évolution de l'offre de services écosystémiques par les systèmes de production agricole présentent plusieurs dimensions. Premièrement, tout changement visant à intensifier le rendement d'un service écosystémique aura probablement un impact, positif ou négatif, sur nombre d'autres services. Le changement va très souvent dans le sens d'une réduction de certains approvisionnements – même si ce n'est qu'à titre temporaire – afin de développer l'offre d'autres services d'appui ou de régulation ou de services culturels. Des arbitrages peuvent également s'imposer entre différents types de services écosystémiques d'appui ou de régulation. Ainsi, la création de plantations d'arbres à croissance rapide destinées à fixer le carbone peut amoindrir la diversité biologique. De même, l'expansion de l'habitat d'une espèce peut avoir des effets néfastes sur une autre espèce.

Deuxièmement, les conditions agroécologiques telles que le climat, la qualité des sols, la topographie et la disponibilité d'eau déterminent radicalement la gamme de services écosystémiques pouvant être apportés compte tenu d'un système de gestion donné. Certaines conditions agroécologiques peuvent s'avérer très favorables pour un service et préjudiciables pour un autre; par exemple, un terrain escarpé est particulièrement propice à la protection des bassins versants, mais très désavantageux pour l'agriculture.

Troisièmement, la possibilité d'évolution de la gamme de services fournis par un agroécosystème est étroitement fonction des systèmes de gestion en place et des facteurs politiques et économiques qui les sous-tendent. On peut par exemple produire du blé à grande échelle dans le cadre de

ENCADRÉ 2

Biens publics

Les biens publics sont un cas spécial d'externalités (voir encadré 1). Ce sont des biens ou des services dont la consommation ne peut pas être limitée à un consommateur ou un groupe de consommateurs particuliers; cela étant leur utilisation par un consommateur n'a pas d'impact sur l'utilisation qui en est faite par un autre. L'atténuation de l'impact du changement climatique, par exemple, est un avantage dont chaque personne de la communauté mondiale peut bénéficier de manière identique, et il est impossible d'empêcher quelqu'un de profiter de cet avantage, même s'il ne paye pas le service

rendu. Les biens publics peuvent être de portée mondiale (par exemple atténuation du changement climatique, conservation de la biodiversité) ou locale (par exemple maîtrise des inondations).

Si des services comme l'atténuation du changement climatique sont des biens publics, les ressources qui les fournissent (par exemple les forêts) peuvent être privées. Cette précision importante contribue à motiver le paiement des services environnementaux.

Source: FAO, 2002b.

systemes hautement mécanisés à forte intensité de capitaux, comme en Australie ou au Canada, ou dans de petits systemes à forte intensité de main-d'œuvre et peu, voire aucun intrant chimique, comme en Éthiopie. Dans les deux cas, on a affaire à des systemes de culture du blé, dont la productivité est pourtant fort différente en termes de rendement et de composition des services écosystémiques. Toute modification visant à accroître les services environnementaux dans l'un de ces systemes pourrait être hors de propos dans l'autre.

Quatrième et dernier point, les services écosystémiques prennent des formes diverses qui ne sont pas toutes égales du point de vue des bénéficiaires. La place prépondérante précédemment accordée aux approvisionnements s'explique principalement par le fait que ceux-ci se rapportent à ce que les économistes appellent des «biens privés». À contrario, les services écosystémiques d'appui et de régulation ainsi que les services culturels constituent souvent des «biens publics» (voir l'encadré 2).

Les sections ci-dessous examinent de façon plus détaillée les types de changements que les producteurs agricoles peuvent effectuer pour développer l'offre de services pour l'atténuation des changements climatiques, l'amélioration de la gestion des ressources hydriques et la préservation de la diversité biologique.

Agriculture et atténuation des changements climatiques

La synthèse du Quatrième rapport d'évaluation du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) à l'intention des décideurs confirme sans la moindre équivoque la réalité du réchauffement planétaire, lequel est très probablement causé par les émissions de gaz à effet de serre résultant des activités d'origine anthropique. Le GIEC avertit notamment que:

La poursuite des émissions de gaz à effet de serre au rythme actuel ou à un rythme accéléré aggraverait le réchauffement et provoquerait durant le XXI^e siècle de multiples changements du système climatique mondial, changements qui seraient très probablement de plus grande ampleur que ceux observés au cours du XX^e siècle.

(GIEC, 2007a, p. 13)

Les changements climatiques seront porteurs de coûts considérables dans les pays en développement comme dans les pays développés. Ils tiendront notamment à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des épisodes climatiques extrêmes tels que les inondations, tornades et cyclones; l'aggravation de la sécheresse dans certaines régions; la disparition de zones côtières, les pénuries d'eau; et une

modification de l'incidence des maladies. En toute probabilité, les pays en développement seront les plus durement affectés compte tenu de leur vulnérabilité accrue et de l'ampleur des changements auxquels ils seront vraisemblablement confronté. Les changements climatiques pourraient provoquer des conflits et des migrations à grande échelle qui sont eux aussi porteurs de coûts considérables (Stern, 2007).

Le Quatrième rapport d'évaluation du GIEC note encore qu'il est impératif de réduire immédiatement et massivement les émissions de gaz à effet de serre. Il précise que «les mesures d'atténuation engagées au cours des deux à trois prochaines décennies détermineront dans une grande mesure l'accroissement moyen des températures mondiales à long terme et les impacts correspondants sur le changement climatique qui pourront être évités (GIEC, 2007b). Au final, il existe deux façons d'atténuer les changements climatiques: en limitant les sources d'émission ou en augmentant le volume de gaz à effet de serre stocké dans les systèmes terrestres (par exemple par

la fixation du carbone). L'agriculture peut donc jouer un double rôle à cet égard: en réduisant ses propres émissions et en développant l'absorption des gaz à effet de serre.

L'agriculture est une source importante d'émission des trois grands gaz à effet de serre: dioxyde de carbone, méthane et oxyde nitreux. Le dioxyde de carbone est le plus important pour le réchauffement planétaire, bien que le méthane et l'oxyde nitreux y contribuent aussi largement. Les activités agricoles et la réaffectation des terres comptent pour environ un tiers des émissions totales de dioxyde de carbone, et elles sont les plus importantes sources de méthane (produit par l'élevage et les rizières inondées) et d'oxyde nitreux (provenant principalement des applications d'engrais azoté minéral).

L'agriculture est par ailleurs un important «puits» à carbone du fait de sa capacité à piéger et à stocker les gaz à effet de serre, en particulier dans les sols, les plantes et les arbres (voir la figure 3). La séquestration du carbone vise à développer les capacités de stockage des systèmes terrestres aériens ou

FIGURE 3
Séquestration du carbone au-dessus et au-dessous du sol

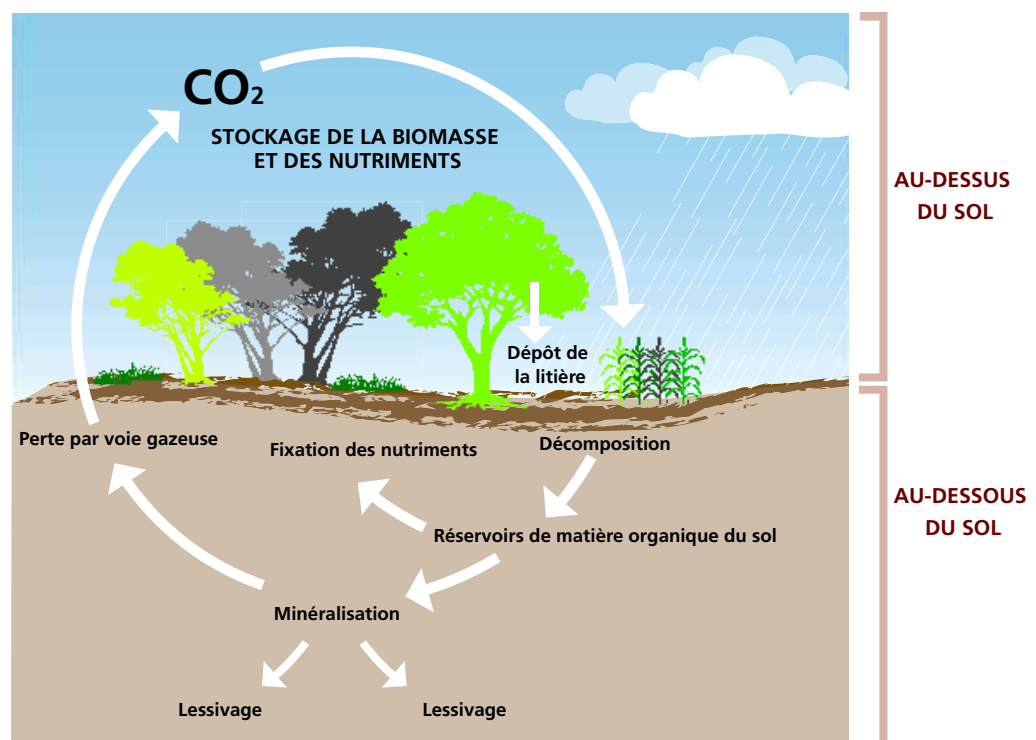


TABLEAU 1
Réduction potentielle du carbone découlant d'une modification de l'utilisation des terres, 2003-12

Région	Déforestation évitée ¹	Agriculture durable ²	Restauration des forêts ³	Total
(en millions de tonnes de carbone)				
Afrique	167,8	69,7	41,7	279,2
Asie	300,5	227,3	96,2	624,0
Amérique latine	1 097,3	93,1	177,9	1 368,3
TOTAL	1 565,6	390,1	315,8	2 271,5

¹ Calculée sur la base des estimations les plus récentes des pertes forestières annuelles multipliées par les stocks de carbone pondérés, en supposant que les taux de déforestation restent constants.

² Sont inclus la séquestration du carbone du sol obtenue par la réduction du labour et l'augmentation du couvert végétal, la conversion des cultures annuelles en forêts agricoles et l'amélioration de la gestion des pâturages.

³ Sont inclus le reboisement des terres dégradées et l'agroforesterie, mais pas les plantations. Sont exclus la séquestration du carbone dans les terres en voie de reboisement.

Source: adaptée de Niles *et al.*, 2002.

souterrains. La modification des pratiques d'utilisation des terres et des sols peut favoriser un processus d'accumulation du carbone dans le sol. Le système finit par atteindre un nouvel équilibre ou un point de saturation à compter duquel il cesse d'absorber le carbone. La fixation du carbone présente à la fois des avantages et des inconvénients du point de vue de l'atténuation des changements climatiques. Son principal avantage réside dans son coût relativement faible et sa facilité d'exécution. Il présente aussi nombre d'avantages annexes liés au fait que l'augmentation de la biomasse racinaire et des matières organiques favorise la rétention d'eau et des substances nutritives, leur biodisponibilité et leur assimilation par les plantes et donc, la productivité des terres. Son principal inconvénient est qu'à la différence des autres mesures d'atténuation, le piégeage du carbone est réversible; en effet, les modifications des pratiques de gestion agricole peuvent accélérer ou inverser le degré de fixation en une période relativement courte.

Le potentiel physique de séquestration du carbone varie considérablement selon la région et le type d'utilisation des terres. Le tableau 1 présente une estimation du potentiel de piégeage du carbone par la réaffectation des terres pour 48 pays en développement sur une période de 10 ans. Les chiffres montrent que l'agriculture pourrait contribuer à une réduction notable des émissions de carbone: quelque 2,3 milliards de tonnes. Exploiter ce potentiel exigerait de modifier la gestion de 50 millions d'hectares de terres en plus

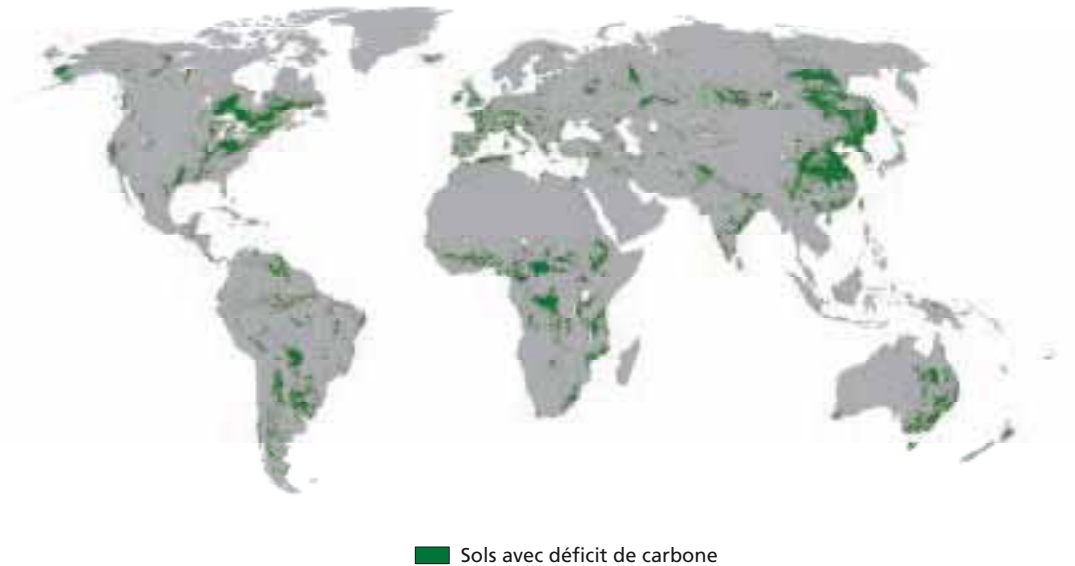
(Niles *et al.*, 2002). À titre de comparaison, 95 millions d'hectares sont actuellement voués à l'agriculture de conservation qui fournit d'importants services de fixation du carbone par les sols (Derpsch, 2005). La faisabilité économique des changements à opérer dans l'utilisation des terres n'est pas encore attestée, en dépit d'éléments croissants qui tendent à établir qu'une modification des systèmes de production en vue de la séquestration du carbone pourrait également être porteuse d'avantages économiques.

Potentiel de séquestration du carbone dans la biomasse aérienne

On favorise la fixation aérienne du carbone en augmentant le volume de biomasse aérienne, à savoir les arbres et les arbustes. Les taux de piégeage varient selon les essences, le type de sol, le climat régional, la topographie et les pratiques de gestion. L'agroforesterie, la remise en état des forêts dégradées, la création de plantations forestières et les systèmes sylvopastoraux comptent parmi les différents types de réaffectation des terres qui favorisent la séquestration aérienne du carbone.

Le potentiel de piégeage d'un mode d'utilisation des sols est déterminé par la quantité moyenne de carbone stockée par ce système pendant la période de rotation des végétaux. Une augmentation de la moyenne des stocks dans le temps atteste une séquestration accrue de carbone. Palm *et al.* (2005) ont estimé le volume annuel moyen de carbone stocké sur une période de 20 ans par différents systèmes d'utilisation des sols sur trois sites de zone tropicale humide. En

CARTE 1 Potentiel de fixation supplémentaire de carbone dans les sols



Note: disponible à l'adresse suivante:
http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31151&layers=potential_sequester_carbon
 Source: FAO.

Indonésie, ils ont constaté que la mise en défens de forêts précédemment aménagées et exploitées permet un accroissement net de 213 tonnes de carbone à l'hectare pendant la durée de vie de la forêt. Au Brésil, le passage de jachères courtes à des jachères améliorées a augmenté la fixation du carbone de 4,6 tonnes par hectare sur une période de huit ans.

Le boisement et le reboisement, qui accroissent les superficies forestières, donnent les meilleurs résultats en termes de séquestration annuelle à l'hectare. Les pâturages et les cultures annuelles n'en stockent qu'une faible proportion. Les stocks de carbone des forêts exploitées, des agroforêts, des cultures arbustives, des plantations de bois d'œuvre et des jachères de forêts secondaires se situent à mi-chemin. Ainsi, des forêts secondaires laissées en jachère pendant 20 à 30 ans permettent de stocker environ 75 tonnes de carbone par hectare, pour un taux annuel de piégeage de l'ordre de 5 tonnes par hectare durant les 10 premières années de recrû (Fearnside et Guimarães, 1996).

Toute mesure qui entrave la réaffectation de terres à des utilisations réduisant le

taux de séquestration ou qui, au contraire, encourage leur conversion à des modes de faire-valoir amplifiant ce taux contribue au stockage net du carbone. Des systèmes forestiers et agroforestiers très divers peuvent s'avérer utiles de ce point de vue. Ainsi, selon Poffenberger *et al.* (2001), la protection et la régénération assistée des forêts sèches de l'Inde centrale pourraient doubler les taux de séquestration à l'hectare qui grimperaient de 27,3 à 55,2 tonnes dans les 10 ans à venir dans les forêts secondaires, et de 18,8 à 88,7 tonnes après 50 ans dans les forêts anciennes et ce, pour un coût extrêmement modeste.

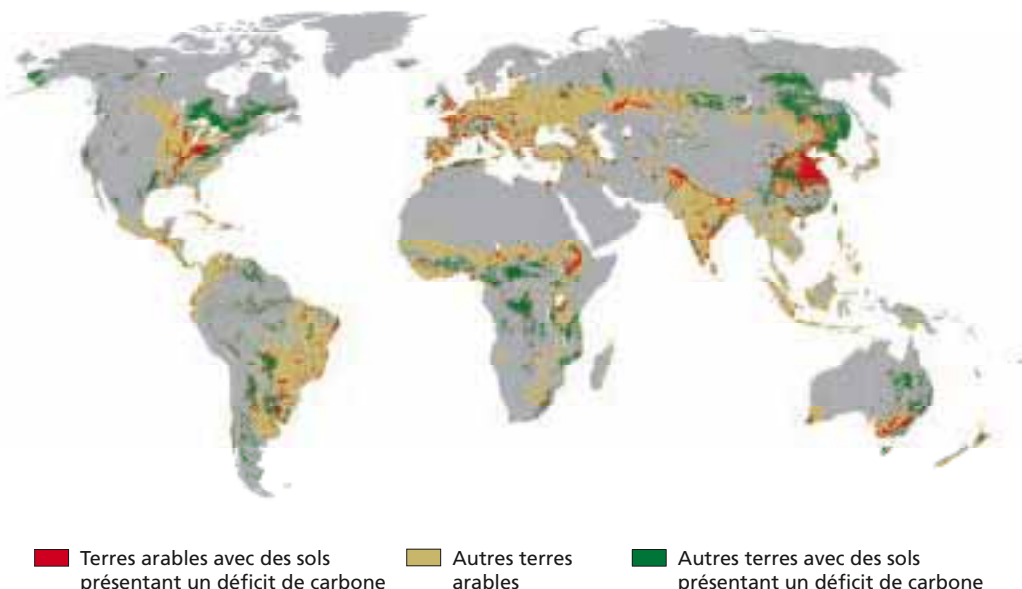
Potentiel de séquestration souterraine du carbone

Tous les sols contiennent du carbone déposé sous forme de matériel végétal mort ou sous des formes minérales telles que le carbonate de calcium ou le dioxyde de carbone dissous dans les eaux souterraines. L'augmentation du taux de séquestration dépend des conditions géophysiques et du système de culture.

La Carte 1 illustre les zones présentant un fort potentiel de séquestration souterraine

CARTE 2

Potentiel de séquestration supplémentaire de carbone dans les sols sur les terres arables



Note: disponible à l'adresse suivante:

http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31152&layers=potential_sequester_carbon_cropland

Source: FAO.

du carbone. Ce potentiel également appelé «déficit de carbone du sol» se rapporte aux endroits où les quantités stockées dans le sol sont actuellement faibles, mais pourraient techniquement devenir moyennes à fortes selon le type de sol, le climat, l'humidité des sols et les conditions de la couverture végétale. Il est intéressant de remarquer que cette carte, comme toutes celles présentées dans ce rapport, est établie à partir de bases de données mondiales d'un faible pouvoir de résolution et d'une fiabilité variable. En conséquence, elle fournit de simples indications quant aux zones présentant un potentiel intéressant du point de vue des différents indicateurs examinés. Des estimations plus précises nécessiteraient des études à l'échelon national et des modèles plus sophistiqués.

La Carte 2 montre l'emplacement des terres cultivées présentant un potentiel de séquestration du carbone moyen à fort. Elle permet de se faire une première idée des endroits où les systèmes d'exploitation pourraient être modifiés pour intensifier le piégeage du carbone dans le sol. Par ailleurs, elle montre par recouvrements les zones

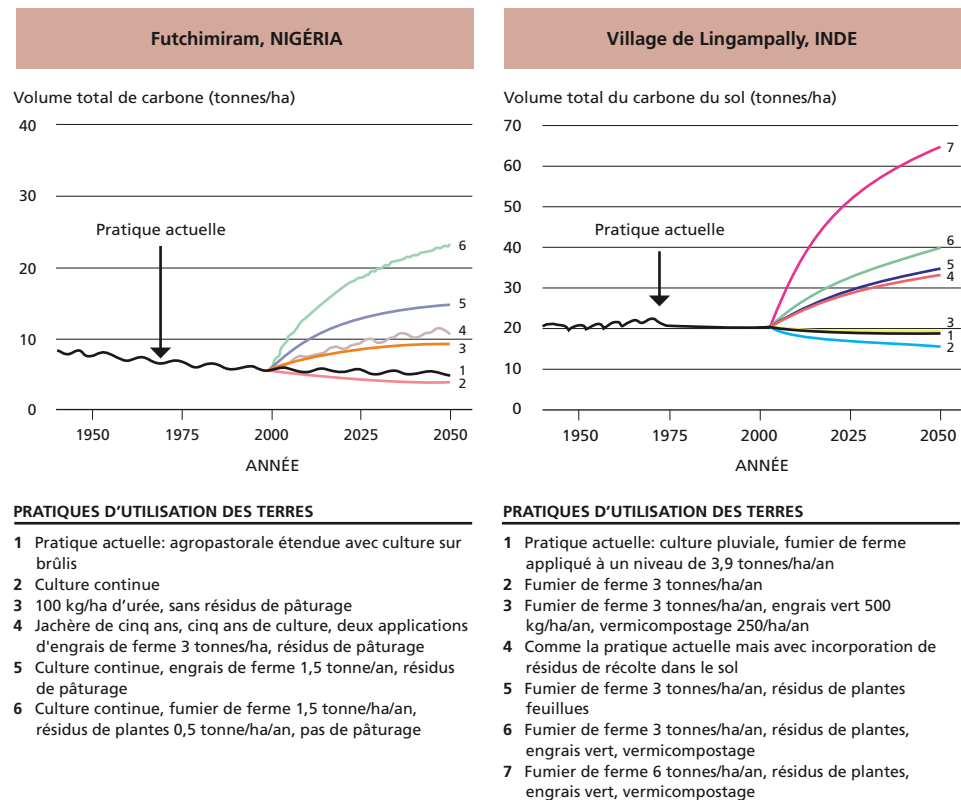
présentant un potentiel de séquestration souterraine moyen à élevé (illustrées dans la Carte 1) et les terres mises en culture de la carte mondiale du couvert végétal, établie à partir de la base de données du projet Global Land Cover (GLC 2000)³.

Près de 30 pour cent (4,7 millions de kilomètres carrés) des terres jugées moyennement ou hautement propices au piégeage du carbone se situent dans des zones vouées à la production agricole, ce qui représente 15 pour cent des terres cultivées totales d'après le projet GLC 2000. Un quart de cette surface se trouve en Asie, et un autre en Afrique.

Comment peut-on modifier les pratiques de production agricole pour accroître la

³ Le projet GLC 2000 est une collaboration entre partenaires de différents pays du monde ayant pour objectif général de produire une base de données harmonisées sur la couverture végétale de l'ensemble de la planète en 2000. Les terres cultivées sont définies par le GLC comme classes terrestres 16 (terres cultivées et aménagées) 17 (formations végétales en mosaïque: terre cultivée/couvert forestier/ autre végétation naturelle) et 18 (formations végétales en mosaïque: terre cultivée/végétation arbustive ou couverture herbacée). De plus amples informations sont disponibles à l'adresse suivante: <http://www-gvm.jrc.it/glc2000/>.

FIGURE 4
Impact sur le carbone du sol de différents systèmes de culture



Source: FAO, 2004a.

séquestration souterraine du carbone? Lasse (2002) recense les techniques de gestion utiles à cet effet, en particulier la plantation de plantes de couverture, les semis directs sous mulch associés au zéro labour et l'agroforesterie. Certaines de ces pratiques contribueraient aussi au stockage aérien du carbone. On a encore peu d'estimations fiables sur les quantités de carbone pouvant être séquestrées par les sols selon différents systèmes d'exploitation et pratiques de gestion dans les pays en développement. Les estimations fournies par Lal *et al.* (1998) pour les zones tropicales sont environ deux fois supérieures à celles concernant les terres arides.

La modification des façons culturales a des effets radicalement différents sur la séquestration du carbone selon les pratiques et les régions considérées. Selon des études localisées réalisées en Inde et au Nigéria pour simuler l'impact d'un

changement d'utilisation des terres sur une période de 50 ans, les stocks de carbone du sol s'amenuiseront progressivement si les pratiques actuelles sont maintenues, mais pourraient s'accroître considérablement à long terme en cas de réaffectation des terres à d'autres usages (figure 4) (FAO, 2004a). Le potentiel de piégeage du carbone varie énormément en fonction des pratiques envisagées; négatif dans le cas d'une mise en culture continue, il peut atteindre 40 tonnes à l'hectare en cas de maintien des résidus de culture au sol et d'applications massives d'engrais de ferme. Pour les pratiques présentant le meilleur potentiel, la séquestration du carbone perdure pendant toute la durée de la simulation sans jamais parvenir au point d'équilibre, ce qui laisse à penser qu'il faut énormément de temps pour atteindre l'effet maximal résultant d'une modification des pratiques agricoles.

Disponibilité et qualité de l'eau

Les services liés à la protection des bassins hydrographiques sont circonscrits par les limites naturelles des bassins. À la différence de la séquestration du carbone et de nombreux services ayant trait à la préservation de la diversité biologique, ils sont principalement importants pour les utilisateurs locaux et régionaux (Landell-Mills et Porras, 2002).

Disponibilités en eau

L'usage de l'eau s'est rapidement intensifié durant le siècle dernier, augmentant plus de sept fois entre 1900 et 2000 alors que la population urbaine a seulement été multipliée par quatre environ (PNUD, 2006). En dépit d'une baisse de la consommation par habitant au cours des années 80, la consommation d'eau mondiale ne cesse de s'accroître (Shiklomanov et Rodda, 2003).

Le tableau 2 présente deux indicateurs relatifs à l'utilisation des ressources d'eau douce. «L'indice de compétition en eau» mesure le nombre de gens par million de mètres cubes d'eau de ruissellement disponible par an. L'utilisation d'eau relative appelée «indice de stress hydrique» est le rapport des prélèvements d'eau aux disponibilités. Au niveau mondial, l'utilisation d'eau actuelle représente environ 13 pour cent des disponibilités annuelles (Évaluation des écosystèmes en début de Millénaire, 2005b) et affiche

globalement une tendance à la hausse révélatrice d'une pression accrue sur les ressources en eau douce.

L'Évaluation des écosystèmes en début de Millénaire (2005b) prévoit une augmentation de 13 pour cent de l'indice mondial de compétition en eau d'ici 2010. D'après les projections publiées dans le *Rapport sur le développement humain 2006* (PNUD, 2006), d'ici 2025, plus de 3 milliards de personnes pourraient être confrontées à un manque d'eau, tandis que 14 pays pourraient figurer au nombre des régions aréiques (c'est-à-dire où les disponibilités sont inférieures à 1 000 mètres cubes par personne et par an).

L'eau utilisée par les populations est principalement prélevée dans les rivières et les eaux souterraines. Cette dernière parvient parfois de nappes renouvelables ou «fossiles». Chaque source présente ses propres difficultés de gestion. Les ressources en eau souterraine renouvelables sont directement rattachées au cycle des eaux douces par leur interaction avec l'atmosphère et le sol, et sont donc reconstituées par les précipitations et par certaines pratiques agricoles. Les eaux souterraines fossiles se trouvent dans des nappes profondes caractérisées par une faible recharge nette à long terme. L'utilisation de ces eaux fossiles s'apparente à l'extraction minière: une fois prélevées, elles ne peuvent être remplacées car leur réalimentation se chiffre en milliers d'années (Margat, 1990)

Outre les prélèvements directs dans les cours d'eau et les aquifères, trois technologies permettent d'accroître les

TABLEAU 2
Indicateurs des services d'approvisionnement en eau douce, 2010

Région géographique/groupe de pays	Indice d'intensité d'utilisation de l'eau	Indice de stress hydrique
	(Population/millions m ³ /an)	(Pourcentage)
Asie	391	19
Amérique latine	67	4
Afrique du Nord/Proche-Orient	2 020	133
Afrique subsaharienne	213	3
Ex-Union des Républiques socialistes soviétiques	161	20
Pays de l'OCDE	178	20
TOTAL MONDIAL	231	13

Note: Ces chiffres sont basés sur des conditions annuelles moyennes. Les valeurs relatives aux statistiques d'utilisation relative présentées augmentent lorsque les distributions subrégionales temporelles et spatiales de l'utilisation et de l'approvisionnement en eau renouvelable sont prises en compte.

Source: Tiré de *Ecosystems and human well-being: current state and trends* par le Millennium Ecosystem Assessment. Copyright © 2003 par l'auteur. Autorisation de reproduction de Island Press, Washington.

disponibilités en eau douce: les barrages et autres retenues d'eau, la désalinisation de l'eau de mer et la collecte de l'eau de pluie. L'eau de désalinisation représente à l'heure actuelle moins de 1 pour cent de la consommation d'eau mondiale. La récolte de l'eau renvoie à plusieurs technologies modernes et traditionnelles visant à recueillir les écoulements de surface ou à favoriser l'infiltration de l'eau. Il s'agit notamment des canaux et retenues d'eau qui permettent la capture et la canalisation de l'eau, des techniques visant à améliorer la teneur en eau du sol, et des réservoirs servant à l'irrigation et aux usages domestiques et à réduire les pointes de crue.

L'agriculture représente environ 70 pour cent de l'utilisation d'eau mondiale, et jusqu'à 95 pour cent dans de nombreux pays en développement, ce qui signifie qu'elle a une incidence sur les disponibilités comme sur la qualité de l'eau disponible pour les autres utilisations humaines (FAO, 2007b). Une modification des pratiques agricoles pourrait conduire à une augmentation des quantités d'eau disponibles en favorisant la reconstitution des nappes phréatiques, mais sa contribution majeure consisterait surtout à gérer plus efficacement ses besoins d'eau, ce qui augmenterait les disponibilités et la qualité des ressources hydriques. On peut également réutiliser les eaux usées pour la production agricole; à l'heure actuelle, quelque 2 millions d'hectares sont irrigués de cette manière (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, 2007), et cette superficie pourrait être considérablement développée.

Pretty *et al.* (2006) ont analysé 144 projets menés dans des pays en développement et reposant sur l'association de pratiques d'exploitation qui économisent les ressources, comme la gestion intégrée des ravageurs et des substances nutritives, le travail de conservation du sol et l'agroforesterie. Ils ont constaté que ces pratiques contribuent parallèlement à une amélioration notable de la productivité hydrique, en particulier dans l'agriculture pluviale. Les gains moyens de productivité hydrique étaient de l'ordre de 16 pour cent pour le riz irrigué, de 29 pour cent pour le coton irrigué, et de 70 pour cent, 102 pour cent et 108 pour cent respectivement pour

les céréales cultivées en sec, les légumineuses et les racines et tubercules.

De nombreuses études ont montré que la culture sans labour a des effets positifs sur l'infiltration de l'eau, la teneur humide du sol, l'érosion des sols et leur capacité de rétention d'eau. Aux États-Unis d'Amérique par exemple, on a constaté que l'abandon de la préparation du sol permettait de réduire les ruissellements de surface de 31 pour cent; favorisait l'infiltration de l'eau dans des proportions de 9 pour cent à 100 pour cent en fonction du type de sol; et réduisait l'érosion des sols jusqu'à 90 pour cent, ce qui avait pour effet de limiter la charge de sédiments et de substances polluantes des cours d'eau et des plans d'eau (Hebblethwaite, 1993). De même, Guo, Choudhary et Rahman (1999) font état d'une meilleure percolation due à l'amélioration de la structure des sols non labourés, et donc d'une moindre érosion. Dans plusieurs régions du Brésil, les pertes de sols ont été réduites jusqu'à 87 pour cent grâce aux pratiques agricoles de conservation, tandis que les ruissellements de surface ont pu être diminués de 66 pour cent dans des rotations de blé-soja (Saturnio et Landers, 1997).

Des recherches complémentaires devront être engagées pour quantifier le taux de recharge des aquifères résultant d'une meilleure infiltration de l'eau. La plupart des éléments attestant une amélioration des services des bassins hydrographiques suite à l'introduction de l'agriculture de conservation et d'autres pratiques de conservation du sol et de l'eau sont globalement non confirmés. Selon certains rapports concernant l'État du Paraná, au Brésil, un étang habituellement asséché pendant la majeure partie de l'année était de nouveau alimenté suite à l'abandon des labours, tandis que la rivière voisine continuait de couler même en saison sèche (FAO, 2003b). En Inde, Agarwal et Narain (2000) signalent que les rivières Avari et Ruparel sont restées alimentées tout au long de l'année suite à l'adoption d'un ensemble de mesures de récolte de l'eau et de conservation des sols dans leurs bassins hydrographiques. Pour ce qui est de l'élevage, on a constaté que la rotation des pâturages, une répartition améliorée du cheptel et une augmentation de la couverture arbustive des pâturages

permettaient d'améliorer le taux de recharge en eau (FAO, 2006a). Quoiqu'il en soit, des recherches supplémentaires s'imposent pour préciser les relations et les délais entre l'introduction de pratiques agricoles améliorées visant à conserver l'eau et l'accroissement des disponibilités hydriques.

Le tableau 3 récapitule en termes qualitatifs les effets qu'une réaffectation majeure des terres à d'autres usages pourrait avoir sur les disponibilités en eau. Les relations hydrologiques entre la destination des terres et la production accrue d'eau

propre sont complexes et spécifiques au site considéré, et on ne peut que déplorer l'insuffisance générale d'études scientifiques (Robertson et Wunder, 2005; FAO, 2004b). La plupart des travaux réalisés dans ce domaine portaient sur l'incidence de la protection des forêts et du reboisement à proximité des sources d'eau; toutefois, même les résultats de ces études sont souvent ambigus. L'expansion de la couverture arbustive peut réduire, tout comme elle peut accroître les disponibilités en eau. Un bassin hydrographique accuse le contrecoup

TABEAU 3

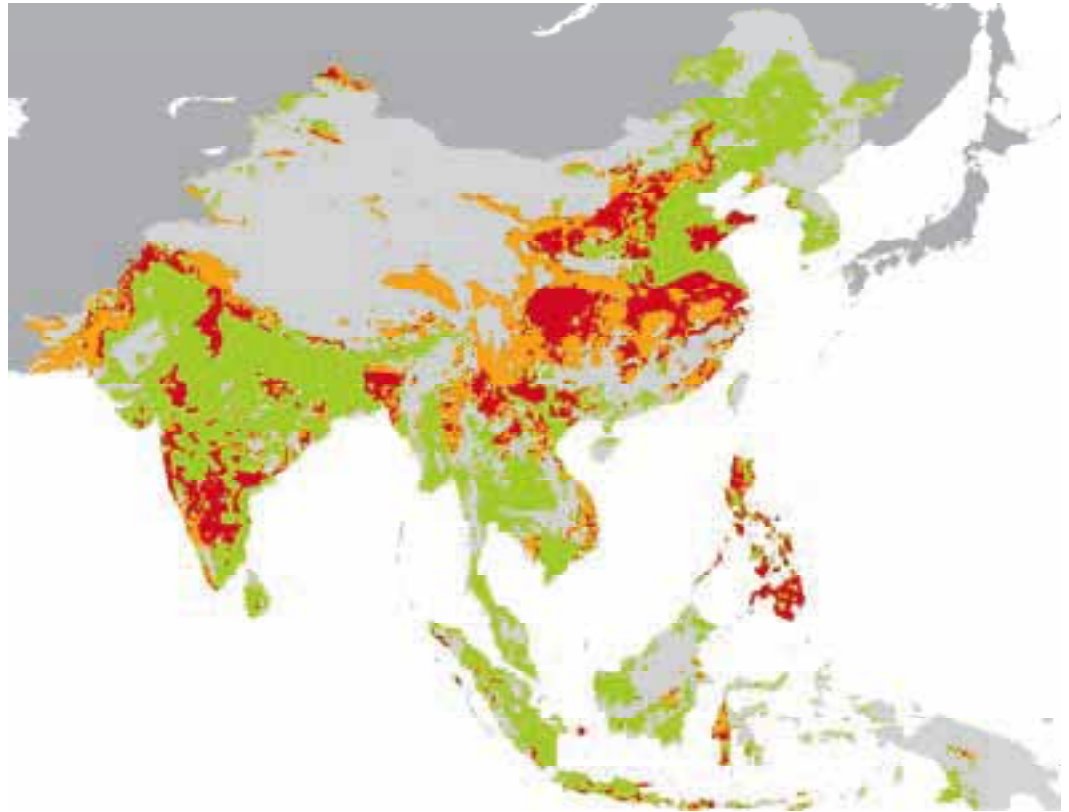
Bref aperçu des conséquences hydrologiques associées aux principales classes de couvert végétal et de changement d'utilisation du sol

TYPE DE CHANGEMENT D'UTILISATION DU SOL	CONSÉQUENCES SUR LE SERVICE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DOUCE	NIVEAU DE CONFIANCE
De la forêt naturelle à la forêt gérée	Légère diminution de l'écoulement d'eau douce et baisse de la fiabilité temporelle (recharge des eaux souterraines plus faible à long terme)	Probable dans les climats tempérés et humides et chauds, mais extrêmement dépendant des espèces arboricoles dominantes Des pratiques de gestion appropriées peuvent réduire les impacts au minimum
De la forêt aux pâturages et à l'agriculture	Forte augmentation du ruissellement, donc des flux de nutriments et de sédiments Diminution de la fiabilité temporelle (inondations, recharge des eaux souterraines moins importante à long terme)	Très probable au niveau mondial; l'impact dépendra du pourcentage du bassin hydrographique converti Les conséquences sont moins graves si la forêt est convertie en pâturages et non en terres agricoles Extrêmement critique pour les zones recevant de fortes précipitations pendant de courtes périodes (par exemple les moussons)
De la forêt à l'environnement urbain	Très forte augmentation du ruissellement associée à une hausse des charges polluantes Diminution importante de la fiabilité temporelle (inondations, recharge des eaux souterraines moins importante à long terme)	Très probable au niveau mondial; l'impact dépendra du pourcentage du bassin hydrographique converti L'impact est plus grand lorsque la partie la plus inférieure du bassin hydrographique est transformée Extrêmement critique pour les zones sujettes à des événements de précipitation intenses
Invasion d'espèces présentant des taux d'évapotranspiration plus élevés	Diminution importante du ruissellement. Diminution importante de la fiabilité temporelle (recharge des eaux souterraines moins importante à long terme).	Très probable, mais extrêmement dépendant des caractéristiques des espèces arboricoles dominantes Très peu de publications à ce sujet, sauf pour l'Afrique du Sud, l'Australie et la rivière du Colorado aux États-Unis d'Amérique

Source: Tiré de *Ecosystems and human well-being: current state and trends* par le Millennium Ecosystem Assessment. Copyright © 2003 par l'auteur. Autorisation de reproduction de Island Press, Washington.

CARTE 3

Terres arables présentant un taux élevé d'érosion causée par l'homme



- Terres arables présentant un taux élevé d'érosion en nappe causée par l'homme
- Autres terres arables
- Autres terres présentant un taux élevé d'érosion en nappe causée par l'homme

Note: disponible à l'adresse suivante:

http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31153&layers=croplands_humaninduced_erosion

Source: FAO.

des activités de nombreux exploitants; c'est pourquoi l'amélioration des pratiques agronomiques doit être généralisée pour avoir un effet mesurable, et il peut être coûteux d'engager un suivi durable afin d'évaluer l'évolution des grands bassins hydrographiques. En dépit de la rareté des éléments de preuve scientifique confirmant l'influence d'une gestion améliorée sur les disponibilités en eau et la recharge des eaux souterraines, l'inverse est clairement attesté scientifiquement, à savoir que la dégradation des sols et le déboisement provoquent une baisse des nappes phréatiques.

La Carte 3 illustre les terres cultivées d'Asie du Sud et d'Asie du Sud-Est

soumises à une forte érosion en nappe, offrant ainsi les impacts possibles, hors des exploitations agricoles, sous forme d'envasement et de sédimentation des cours d'eau. Elle est basée sur les conclusions d'une étude des dégradations d'origine anthropique des terres de ces deux régions, réalisée entre 1994 et 1997 par le Centre international de référence et d'information pédologique et la FAO (van Lynden et Oldeman, 1997). En cas de réaffectation des terres, les zones illustrées ne contribueraient pas nécessairement à améliorer les services fournis par les bassins versants, compte tenu de leur emplacement par rapport aux fonctions hydrologiques; en tout état de

cause, les zones concernées représenteront probablement de vastes superficies et un nombre considérable de producteurs agricoles.

Qualité de l'eau

La Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE-ONU définit la qualité de l'eau comme «les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau nécessaires aux utilisations recherchées de l'eau» (CEE-ONU, 1995, p. 5). La plupart des espèces aquatiques peuvent s'adapter aux changements naturels de la qualité de l'eau, mais les activités humaines ont eu pour effet de la charger de polluants qui menacent de nombreuses espèces et exigent de traiter l'eau pour la rendre potable.

La plupart des impacts humains sur la qualité de l'eau sont survenus au cours du siècle dernier (Évaluation des écosystèmes en début de millénaire, 2005b). Auparavant, la contamination des eaux provenait de la pollution organique et fécale des eaux usées non traitées (ce qui perdure dans de nombreux pays en développement), tandis que sa contamination est aujourd'hui majoritairement imputable à la production agricole et industrielle. Pour ce qui est de l'agriculture, la contamination de l'eau est principalement due à l'érosion des sols, à la perte de substances nutritives par ruissellement et aux pesticides. La production animale est une cause de pollution majeure dans de nombreux pays, et la contamination des matières nutritives par les déchets d'élevage est de plus en plus problématique (FAO, 2006a). Il convient de distinguer pollution ponctuelle (comme un rejet spécifique et bien circonscrit de substances polluantes dans un plan d'eau) et pollution diffuse (provenant de sources éparses). Dans la plupart des cas, l'agriculture est une cause de pollution diffuse en ce sens que la contamination provient de sources diverses qui sont difficiles à déceler. Les grands élevages concentrés constituent une exception, car les impacts peuvent alors être rapportés à une source précise.

Améliorer la qualité de l'eau en modifiant les systèmes de production agricole implique généralement de réduire la salinisation, l'érosion des sols et les ruissellements nocifs dus aux pesticides et autres produits

chimiques agricoles ainsi qu'aux déchets d'élevage. L'une des techniques consiste à favoriser une meilleure utilisation des substances nutritives en adaptant les applications d'engrais à la capacité d'assimilation des substances nutritives par les plantes. Les analyses de sol, l'application d'engrais en temps opportun, le recours aux cultures de couverture et l'abandon du travail du sol sont autant de techniques utiles à cet effet (Tilman *et al.*, 2002). Une meilleure gestion des déchets d'élevage contribue également à améliorer la qualité de l'eau. Il s'agit notamment de modifier le processus de production (gestion des techniques de l'alimentation) ainsi que la collecte, le stockage, le traitement et l'utilisation du fumier (FAO, 2006a).

Un bon exemple de mesures visant à réduire la pollution diffuse imputable à l'élevage est donné par la France. Les eaux minérales Vittel ont passé un accord avec les exploitants agricoles afin de les encourager à modifier leurs pratiques de gestion des terres et à réduire les apports de nitrates (Perrot-Maître, 2006). Les nouvelles mesures prévoient notamment l'élimination de la culture du maïs pour l'alimentation du bétail ainsi que des applications de produits agrochimiques, l'élevage du bétail sur des parcours libres à un taux de charge réduit et la modernisation des bâtiments agricoles pour minimiser les ruissellements de substances nutritives.

Comme le montre cet exemple, les mesures visant à contenir la pollution occasionnée par l'élevage impliquent tout à la fois de modifier les techniques de production de fourrage et les techniques d'élevage. Les substances polluantes incriminées sont notamment l'azote libéré en quantité excessive par les éléments nutritifs, le phosphore et les métaux lourds. Enfin, les déchets d'élevage peuvent contenir toute une gamme de micro-organismes potentiellement néfastes pour la santé humaine.

Conservation de la diversité biologique

La Convention sur la diversité biologique (CDB) définit la diversité biologique comme étant «la variabilité des organismes vivants

de toute origine, y compris ... les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes». (CDB, 1993, Article 2).

La biodiversité est généralement mesurée aux niveaux génétique, spécifique et écosystémique, bien qu'il soit difficile de définir des «unités de biodiversité» aux fins des interventions. Pour chacun de ces trois niveaux, la conservation de la diversité biologique implique la préservation des dimensions ci-dessus (Évaluation des écosystèmes en début de Millénaire, 2005b):

- *la variété*, qui reflète le nombre de types d'écosystèmes différents;
- *la quantité et la qualité*, qui expriment l'importance de chacun des types d'écosystèmes;
- *la répartition*, qui indique à quel endroit se situe cette composante de la biodiversité.

L'Évaluation des écosystèmes en début de Millénaire conclut que les activités humaines ont entraîné au cours des 50 dernières années une déperdition de la diversité biologique plus rapide que jamais auparavant dans l'histoire de l'humanité. Elle définit cinq causes majeures de la disparition de la biodiversité: la modification des habitats, les changements climatiques, les espèces exotiques envahissantes, la surexploitation et la pollution. Selon ses auteurs, le dépérissement des espèces et l'homogénéisation progressive de nombreux écosystèmes demeurent l'une des principales menaces pesant sur la survie des écosystèmes ainsi que sur celle de nos systèmes socioéconomiques (Évaluation des écosystèmes en début de Millénaire, 2005b).

La diversité biologique des écosystèmes agricoles est appelée biodiversité agricole; elle est généralement considérée comme la multitude de plantes, animaux et micro-organismes présents aux niveaux génétique, spécifique et écosystémique qui sont indispensables au maintien des fonctions fondamentales pour la production alimentaire et la sécurité alimentaire (CDB, 2000). Elle constitue la base même de la sécurité alimentaire et de la subsistance de tous (FAO, 1997).

La biodiversité agricole est le produit des interactions entre l'environnement, les ressources génétiques et les systèmes et pratiques de gestion employés par les exploitants agricoles, et résulte d'une inventivité et d'une sélection attentive sur des milliers d'années. Elle comprend la diversité génétique des plantes cultivées et des animaux d'élevage ainsi que la diversité biologique liée aux cultures (par exemple les pollinisateurs inhibiteurs des ravageurs, ou la biodiversité du sol).

Au cours des dernières années, nombre de préoccupations ont été exprimées face à l'épuisement de la diversité biologique agricole provoqué par l'homogénéisation des systèmes d'exploitation (FAO, 1997). S'agissant de la diversité génétique des plantes cultivées et des animaux d'élevage, les inquiétudes sont doubles et tiennent à une vulnérabilité génétique accrue et à une érosion génétique (FAO, 1997). On parle de vulnérabilité génétique dès lors qu'une variété culturale ou espèce d'élevage commune devient sensible à un pathogène ou à un ennemi des cultures au point de risquer des pertes majeures. L'érosion génétique renvoie à l'amenuisement des ressources génétiques du fait de l'extinction d'une variété cultivée ou d'une espèce animale élevée. Elle résulte principalement du remplacement des variétés indigènes par des variétés améliorées. La perte des services écosystémiques utiles pour la sécurité alimentaire constitue une préoccupation supplémentaire. En l'absence d'une gestion avisée de la biodiversité agricole, certaines fonctions vitales des agroécosystèmes pourraient disparaître, par exemple la continuité des cycles nutritif et hydrologique, la régulation des ravageurs et des maladies, la pollinisation et la lutte contre l'érosion des sols.

La préservation de la diversité génétique des cultures et des animaux d'élevage peut se faire *ex situ* ou *in situ*. Au nombre des méthodes *ex situ*, on peut citer les banques de gènes et de semences, tandis que les méthodes de conservation *in situ* s'appliquent au champ, dans les bassins ou les forêts. Les deux approches sont complémentaires; les collections *ex situ* assurent la préservation des ressources génétiques de façon statique, tandis que

les actions *in situ* favorisent un processus d'évolution dynamique dans la mesure où les ressources génétiques s'adaptent à des pressions changeantes du fait de la sélection naturelle et humaine.

Les approches visant à préserver la biodiversité agricole allient conservation et exploitation durable par l'homme. Compte tenu des caractéristiques propres à la biodiversité agricole, les mécanismes et outils garantissant sa gestion durable, y compris la conservation, sont souvent très spécifiques et diffèrent de ceux appliqués à la biodiversité sauvage (par exemple dans les zones protégées).

Comment les producteurs agricoles peuvent-ils préserver la biodiversité? Les mesures dépendent à la fois de la nature de la biodiversité considérée, de son emplacement géographique et des systèmes de production. Les sections suivantes examinent les principaux moyens permettant aux producteurs agricoles de contribuer à la préservation de la biodiversité, à savoir en freinant l'expansion agricole sur les terres abritant une riche diversité biologique, en adoptant des systèmes d'exploitation qui favorisent la conservation de la biodiversité naturelle comme la production agricole, et en préservant la biodiversité agricole.

Limiter l'expansion agricole dans les zones abritant une riche biodiversité naturelle

L'agriculture peut contribuer à la conservation de la diversité biologique naturelle en s'abstenant d'exploiter les ressources en terres et en eau caractérisées par une grande diversité spécifique. Cette approche implique de maintenir en l'état les écosystèmes relativement peu perturbés, mais aussi de soustraire de l'exploitation les terres et les zones aquatiques jouxtant des milieux riches en espèces dès lors que celles-ci ne se prêtent que modérément à l'agriculture. Ces terres et zones aquatiques peuvent dès lors être intégrées à des aires protégées telles que les parcs et réserves nationaux qui constituent le fondement nécessaire à la conservation des espèces de faune et de flore sauvages. Cette approche peut aussi signifier l'élimination, la réduction ou l'amélioration des pratiques d'exploitation agricole ou une gestion

globale dans les zones définies comme d'importants corridors pour la migration des espèces et la connectivité des écosystèmes.

La Carte 4 fait partie d'un ensemble de cartes produites dans le cadre d'une étude sur la réaffectation des terres à d'autres usages dans les néotropiques (Wassenaar *et al.*, 2007); elle représente les zones qui risquent d'être destinées à des usages agricoles dans certaines régions d'Amérique du Sud. L'étude identifie les zones les plus susceptibles d'être transformées en pâturages et en champs cultivés grâce à un modèle qui intègre des dimensions spécifiques telles que la position géographique, l'aptitude des sols et divers autres facteurs ayant une incidence sur la valeur économique relative des utilisations possibles. Les *hot spots* du déboisement sont illustrés en rouge (risque de conversion en pâturages) et en orange (risque de mise en culture). Un grand nombre des écorégions qui pourraient être touchées par le déboisement prévu compte parmi les 200 écorégions prioritaires du WWF (Fonds mondial pour la nature), à savoir les habitats les plus représentatifs et les plus riches du monde au plan biologique; les autres écorégions entrent dans la catégorie des *hot spots* de la biodiversité de Conservation International (Wassenaar *et al.*, 2007; WWF, 2007). Les cultivateurs et les éleveurs pourraient fournir des services considérables pour la conservation de la biodiversité en s'abstenant d'affecter ces écorégions à des usages agricoles ou en facilitant les actions de conservation dans les zones exploitées (par exemple en maintenant des corridors permettant aux espèces sauvages de transiter d'un habitat à l'autre).

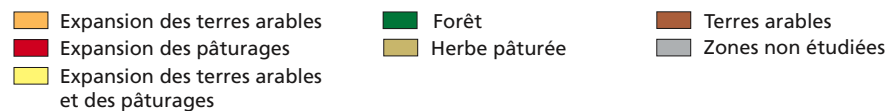
Conservation de la biodiversité naturelle dans les écosystèmes agricoles

Les producteurs peuvent également préserver la biodiversité au sein même des écosystèmes agricoles. McNeely et Scherr (2002) proposent diverses solutions à cet effet:

1. favoriser les habitats de faune et de flore sauvages dans les exploitations agricoles et y créer des corridors reliant les zones non exploitées;
2. reproduire les conditions des habitats naturels au moyen de plantes pérennes productives;

CARTE 4

Projection de l'expansion des terres arables et des pâturages, 2000-2010



Note: disponible à l'adresse suivante:

http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31154&layers=cropland_pasture_expansion

Source: Wassenaar *et al.*, 2007.

3. avoir recours à des systèmes d'exploitation qui permettent de réduire la pollution;
4. modifier les pratiques de gestion des ressources pour améliorer la qualité des habitats au sein des exploitations et dans les zones avoisinantes.

On trouve une illustration de la première mesure au Costa Rica où des coupe-vent composés d'espèces arbustives locales et exotiques ont été plantés sur 150 ha recoupant 19 communautés agricoles. Ces coupe-vent tiennent lieu de corridors

biologiques reliant divers lambeaux de forêts, et servent aussi l'agriculture car ils réduisent les dégâts causés par les vents (McNeely et Scherr, 2002). Les haies et les plantations agroforestières illustrent également ce type de mesures. Selon l'étude approfondie de Schroth *et al.* (2004), l'agroforesterie peut jouer un rôle important pour la conservation de la biodiversité, notamment en offrant des corridors et de nouveaux habitats aux espèces sauvages.

Le café d'ombre est un excellent exemple du deuxième type de stratégie. L'expression

renvoie aux caféiers plantés à l'ombre de couverts forestiers de hauteurs différentes qui fournissent un milieu généralement apprécié des oiseaux migrateurs. À contrario, on ne trouve guère de biodiversité dans les caféières conventionnelles (Pagiola et Ruthenberg, 2002).

De nombreux exemples pourraient illustrer la troisième catégorie de stratégie, à savoir la modification des pratiques d'exploitation visant à réduire la pollution. Au Viet Nam, l'abus de pesticides par les riziculteurs était à l'origine d'une pollution néfaste pour les habitats avoisinants. Une campagne d'information a permis de réduire le recours aux pesticides, ce qui a été bénéfique pour de nombreuses espèces de grenouilles et de poissons vivant dans les rizières de paddy. En Chine, l'usage massif de pesticides pour lutter contre la pyriculariose du riz a pu être notablement réduit en plantant une plus large gamme de variétés de riz. Aux Philippines, l'érosion des sols et la pollution concomitante des cours d'eau ont été écartées en plantant selon les courbes de niveau naturelles (McNeely et Scherr, 2002).

La réintroduction de systèmes de jachère améliorée de courte durée (d'un an à deux ans) dans les petites exploitations agricoles du Kenya et de la Zambie illustre bien le quatrième type de stratégie. Cette mesure

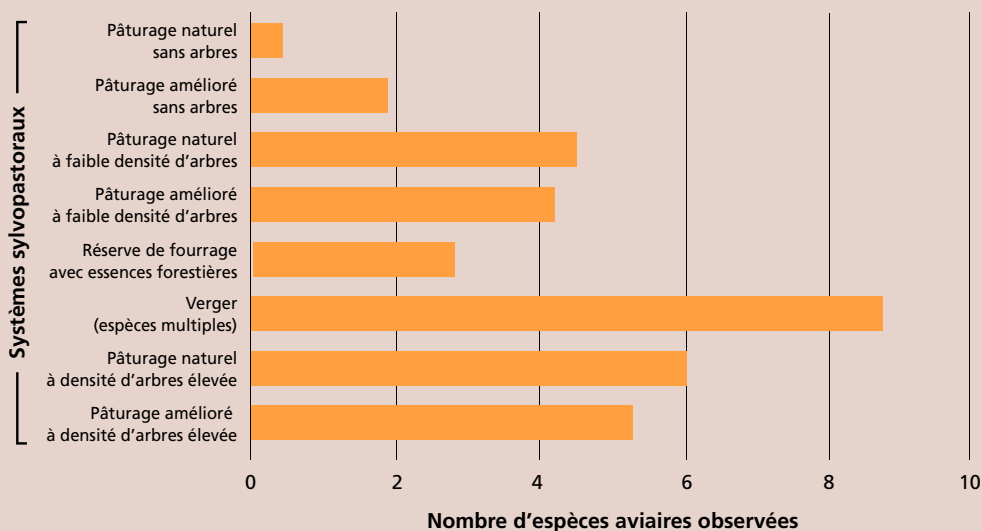
a permis de rendre aux sols leur fertilité tout en fournissant un habitat aux espèces sauvages (McNeely et Scherr, 2002).

Dans certaines régions, les pratiques sylvopastorales peuvent constituer une solution de rechange à l'élevage basé sur le seul pâturage. Elles consistent notamment à réaliser des plantations serrées d'arbres et d'arbustes dans les pâturages, à créer des systèmes de sylviculture fourragère où le bétail se nourrit d'espèces plantées à cette fin dans des zones précédemment affectées à d'autres usages agricoles, et à se servir d'arbres et arbustes à croissance rapide pour la plantation de haies vives et de coupevent (Pagiola *et al.*, 2007). Les pratiques sylvopastorales sont avantageuses pour les utilisateurs des terres du fait du complément de production provenant des arbres – fruits, bois de feu, fourrage et bois d'œuvre – de la préservation ou de l'amélioration de la productivité des pâturages résultant du recyclage accru des éléments nutritifs et de la diversification de la production (Dagang et Nair, 2003).

Comme le montre la figure 5, les pratiques sylvopastorales sont aussi très bénéfiques pour la biodiversité. On a pu constater qu'elles jouaient un rôle essentiel dans la survie des espèces de faune et de flore sauvages en offrant un refuge à des

FIGURE 5

Impact de l'adoption de systèmes sylvopastoraux sur la biodiversité à Esparza, Costa Rica



Source: Pagiola, 2006.

ressources rares; elles accélèrent en outre la propagation des plantes forestières et donnent un abri aux oiseaux sauvages. Elles permettent aussi de relier les aires protégées entre elles (Dennis, Shellard et Agnew, 1996; Harvey et Haber, 1999). Enfin, les pratiques sylvopastorales peuvent piéger d'importantes quantités de carbone dans le sol et dans la biomasse aérienne (Fisher *et al.*, 1994; Pfaff *et al.*, 2000) et ont un effet bénéfique sur les services hydrologiques (Bruijnzeel, 2004).

Conservation de la biodiversité agricole

Selon la composante de la biodiversité agricole à conserver, des méthodes très diverses sont envisageables. Elles se différencient par le degré d'intervention sur le système naturel, et vont des banques de gènes et de semences *ex situ* exigeant une gestion avertie, au maintien de parents sauvages

d'espèces cultivées dans les espaces protégés. Ce sont aussi les mesures de conservation dans les exploitations et le recours aux espèces dites primitives, à savoir les variétés naturelles de plantes cultivées et d'espèces d'élevage qui sont souvent parfaitement bien adaptées aux conditions locales. On peut également promouvoir la diversité biologique au moyen de mesures d'incitation visant à poursuivre l'exploitation d'un éventail hétérogène de variétés culturelles, en particulier les cultivars traditionnels, ou en plantant des pollinisateurs ou des ennemis naturels des ravageurs sur le pourtour des champs. Jarvis, Padoch et Cooper (2007) ont réalisé une étude exhaustive des techniques utilisées par les exploitants pour préserver et développer la biodiversité dans leurs champs.

Étant donné la relation directe entre biodiversité agricole et production agricole,

ENCADRÉ 3 Esthétique du paysage

La gestion de l'esthétique du paysage est un autre service écologique pour lequel des marchés se développent, mais ce rapport n'a pas pour objet de l'étudier en profondeur. L'esthétique du paysage, ou «aménités rurales» désigne le plaisir que des personnes retirent en voyant, en visitant, voire en connaissant l'existence de certains paysages. Le plaisir peut venir de la nouveauté (voir l'éruption d'un geyser), de la diversité (un coteau cultivé selon diverses pratiques), de la beauté naturelle (les vues de l'Himalaya), de la culture (visites d'un lieu sacré) ou de l'existence d'une espèce menacée dans un lieu éloigné.

Les paysages ont donc diverses valeurs intrinsèques. On peut par exemple éprouver une certaine satisfaction à l'idée que certains paysages, habitats ou écosystèmes continuent d'exister même si l'on n'en profite pas directement. Les paysages peuvent avoir aussi des valeurs d'usage plus directes, exploitées dans le cadre d'activités comme le tourisme naturel, l'écotourisme ou l'agritourisme. Le tourisme naturel consiste à visiter un lieu en vue d'apprécier l'un de ses éléments naturels. Le terme d'écotourisme est, dans ce contexte, utilisé pour décrire la visite d'un lieu dont la flore et la faune

sont uniques, comme le bassin versant amazonien ou les plaines du Serengeti. L'agritourisme (ou agrotourisme) consiste à visiter des lieux dans lesquels les êtres humains ont pratiqué une agriculture ayant embelli le paysage et à l'origine de produits et d'une cuisine de qualité.

La fourniture de services d'esthétique paysagère a souvent d'importantes synergies avec la fourniture d'autres services environnementaux, notamment en matière de conservation de la biodiversité. Certaines destinations sont proposées afin de permettre aux visiteurs de voir des collections uniques d'espèces les plus diverses. Beaucoup de ces destinations sont protégées, ce qui accroît la probabilité de conserver des espèces disparues dans les régions avoisinantes ou de réguler la qualité et la quantité d'eau. Le tourisme naturel peut améliorer la conservation de la biodiversité biologique, surtout lorsque les communautés locales sont en contact direct avec les tour-opérateurs. Les communautés locales qui reçoivent leurs revenus directement d'une entreprise touristique sont davantage en mesure de fournir une protection et une conservation accrues des ressources locales.

il est important d'intervenir sur les marchés agricoles pour offrir des incitations aux agriculteurs en vue de la conservation de la biodiversité agricole. Au cours des dernières années, la communauté internationale leur a apporté son soutien pour assurer ce travail de conservation *in situ*. Les programmes engagés ont pour but d'accroître la disponibilité et la productivité de la biodiversité dans les systèmes d'exploitation ou de rendre l'effort de conservation plus lucratif. Une autre stratégie consiste à accroître la demande de certains produits en créant des régimes de labellisation, de certification et de détermination de l'origine (Bioversity International, 2006). Une autre encore est de diversifier les systèmes d'approvisionnement en semences (FAO, 2006b). À noter, par exemple, les paiements directs aux agriculteurs en contrepartie

du maintien de certaines variétés cultivées prévus au titre du projet FEM «Conservation du patrimoine phytogénétique africain par l'adoption d'une approche dynamique impliquant les paysans» qui a été mené en Éthiopie de 1992 à 2000 (FEM, 2007a).

Autres services environnementaux pouvant être fournis par les producteurs agricoles

Les sections précédentes étaient consacrées à trois services environnementaux particulièrement importants. Toutefois, les producteurs agricoles peuvent en fournir beaucoup d'autres, et certains le font déjà. La préservation de l'esthétique des paysages est déjà une source de gains importants pour les agriculteurs pratiquant l'écotourisme et l'agrotourisme (encadré 3). Certains d'entre eux sont également rémunérés en

L'agriculture peut avoir des rôles distincts, mais divergents, dans la fourniture de services d'esthétique paysagère. Ces rôles vont du maintien de certaines zones ou paysages jusqu'à la gestion des terres dans le cadre d'une production agricole. Les agriculteurs ne savent pas nécessairement que leurs terres peuvent fournir des aménités rurales lorsqu'ils les gèrent ou décident de les développer. En fait, dans certains pays développés, la fourniture d'aménités rurales est souvent l'une des causes premières de la mise en œuvre de divers programmes de protection des terres agricoles financés par des fonds publics (Nickerson et Hellerstein, 2003).

Les services d'esthétique paysagère sont désormais un marché privé dont le potentiel est croissant. L'écotourisme augmente rapidement, tiré par les revenus plus élevés des populations mondiales, la baisse des coûts du transport et l'accès généralisé à l'information. Le chiffre d'affaires généré par le tourisme mondial devrait croître de plus de 6 pour cent par an (OMT, 1998, cité dans Hawkins et Lamoureux, 2001). Ce tourisme est de plus en plus axé sur les environnements naturels.

La taille globale du marché de l'esthétique paysagère et des services de loisirs que les paysages agricoles fournissent devrait rester plus petite. Les paiements aux communautés agricoles devraient être limités à ceux qui vivent dans, ou près, des zones très touristiques. Dans de nombreux pays développés, un secteur de l'industrie du tourisme s'est formé autour de paysages agraires, pastoraux, et de l'esthétique et des activités qu'ils offrent. Ce type d'industrie n'existe pas encore dans les pays en développement.

Les acheteurs les plus importants d'esthétique paysagère et de services de loisirs sont vraisemblablement les tour-opérateurs privés et autres activités connexes, soit directement soit en groupes travaillant dans un domaine particulier de l'esthétique paysagère. Les chasseurs et les pêcheurs amateurs ainsi que les visiteurs de parcs naturels pourraient également devenir des acheteurs d'esthétique paysagère et de services de loisirs. Il existe désormais de nombreux moyens de faire bénéficier les groupes communautaires des recettes des parcs publics afin qu'ils protègent le paysage et les valeurs récréatives. Certains de ces modèles pourraient devenir importants à l'avenir.

contrepartie de services liés à la pollinisation ou à la lutte contre la propagation des maladies animales et végétales et des espèces envahissantes. Ainsi, des exploitants ont été dédommagés à raison des volailles sacrifiées pour prévenir la propagation de la grippe aviaire depuis les zones touchées.

Importance de l'échelle, du lieu et de la coordination pour l'offre de services environnementaux

Comme l'a montré l'analyse ci-dessus, les producteurs peuvent introduire de nombreux changements dans leurs exploitations afin d'améliorer l'équilibre des services offerts par les écosystèmes agricoles. L'accent a notamment été mis sur les modifications qu'ils peuvent individuellement apporter pour accroître l'offre des trois catégories de services environnementaux. Dans certains cas, notamment la gestion des bassins versants et la conservation de la biodiversité, l'échelle et le lieu considérés sont toutefois des facteurs essentiels pour l'efficacité des changements envisagés, et ont aussi une incidence sur les besoins de coordination. En effet, les changements introduits par un producteur pour améliorer un habitat ou limiter l'érosion dans un bassin hydrographique ne seront probablement pas suffisants en eux-mêmes, à moins que ce dernier ne contrôle la grande majorité des terres et des ressources en eau. Par conséquent, il est tout aussi important d'envisager des changements à l'échelle des paysages qu'au niveau de l'unité de production. Cela signifie en outre que l'efficacité d'un changement peut être totalement dépendante de la coordination des actions menées par plusieurs producteurs.

Le tableau 4 (p. 34-35) récapitule les mesures de gestion que les producteurs agricoles peuvent adopter pour développer l'offre de services environnementaux des trois types précités. Par ailleurs, il replace ces changements dans le contexte des mesures connexes de gestion des paysages et de l'ampleur de la coordination requise pour assurer une offre de services adéquate.

L'offre de services environnementaux: potentiel technique ou économique

Les sections qui précèdent traitent du potentiel technique de l'agriculture pour l'apport de services environnementaux. Ils visaient à préciser l'ampleur des services que les agriculteurs *seraient à même* de fournir, ce qui est de toute évidence fort différent de ce qu'ils *seraient susceptibles* de faire en l'absence de mesures d'incitation. Cette distinction correspond à la différence entre le potentiel technique et le potentiel économique de l'offre de services environnementaux.

Ainsi, d'un point de vue purement technique, une meilleure gestion des terres au cours des 50 à 100 prochaines années pourrait, en théorie, contribuer très largement à la séquestration du carbone à l'échelle mondiale. Selon les estimations de Lal (2000), l'accroissement annuel des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone *pourrait* être compensé par la régénération de 2 milliards d'hectares de terres dégradées, ce qui permettrait d'augmenter la teneur moyenne en carbone des sols et de la végétation de 1,5 tonne par hectare au moyen de meilleures pratiques de gestion des sols comme la fertilisation et la réduction des façons culturales (voir également Rasmussen, Albrecht et Smiley, 1998; Sa *et al.*, 2001). Or, la quantité de carbone effectivement piégée du fait de l'action des agriculteurs *sera* fonction des dédommagements qu'ils toucheront et des coûts qu'ils devront assumer à cet effet. D'après diverses études économiques réalisées aux États-Unis d'Amérique et basées sur un prix du carbone de l'ordre de 50 à 100 dollars EU la tonne, le potentiel économique chute très en deçà du potentiel technique (Lewandowski *et al.*, 2004; Paustian *et al.*, 2006).

Ce potentiel économique est un élément capital pour évaluer l'efficacité des paiements rémunérant les services environnementaux destinés à accroître les retombées économiques et environnementales des agroécosystèmes. Comme on l'a signalé dans les premiers paragraphes de ce chapitre, ce potentiel

est fonction des conditions prévalant dans l'économie agricole considérée. La densité démographique, les conditions agroécologiques, le degré d'intégration des marchés et les techniques employées dans le secteur agricole sont d'importants déterminants des revenus et de la main-d'oeuvre agricoles et des coûts et avantages qui pourraient découler des changements visant à accroître l'offre de services environnementaux. Ces mêmes facteurs ont une incidence sur le niveau de développement économique, et donc sur la demande de services environnementaux et la volonté de les prendre en charge localement.

Conclusions

L'agriculture pourrait accroître considérablement l'offre de services environnementaux tels que l'atténuation des changements climatiques, la conservation de la diversité biologique et la protection des bassins versants; pour ce faire, il faudra toutefois modifier la manière dont les agroécosystèmes sont gérés. L'apport de services environnementaux est fonction du service envisagé, du système de production et du contexte agroécologique. Les changements requis pour développer l'offre de services écosystémiques vont de la conversion des terres à la réaffectation des ressources en eau (par exemple en les détournant des cultures ou de la pêche au profit d'utilisations moins intensives comme les prairies ou les forêts) aux modifications apportées aux systèmes de production (comme l'adoption de systèmes d'exploitation développant l'offre de services environnementaux).

Les processus biophysiques qui entrent en jeu dans les différents services écosystémiques sont importants pour la détermination des interventions. Ainsi, il n'y a pas de limite géographique à la réduction ou à l'atténuation des émissions de carbone; une tonne de carbone fixée par un agriculteur pauvre à des centaines de kilomètres de la route a exactement la même valeur que celle piégée par une plantation commerciale à proximité d'une capitale. À l'inverse, la conservation de la diversité biologique et la protection

des bassins versants sont spécifiques à la région considérée; toutefois, la première est porteuse de retombées bénéfiques pour l'environnement mondial, tandis que la seconde est principalement avantageuse pour les utilisateurs locaux et régionaux.

Des synergies se présentent souvent entre les différents services écosystémiques offerts. Les pratiques de production visant à développer un service en particulier peuvent parallèlement avoir le même effet sur d'autres services. Ainsi, une séquestration accrue de carbone dans le sol grâce à l'agriculture de conservation peut avoir des retombées bénéfiques en termes d'atténuation du changement climatique et d'amélioration de la qualité de l'eau, et peut aussi renforcer les approvisionnements par une production alimentaire accrue. Il faut toutefois bien comprendre les arbitrages qui doivent souvent être trouvés entre les différents services écosystémiques.

Ce chapitre était consacré au potentiel technique du secteur agricole pour le développement de l'offre de services environnementaux. Il faut impérativement préciser dans quelle mesure les changements nécessaires sont économiquement réalisables – et pourront donc être engagés – ainsi que l'ampleur des paiements qu'ils nécessiteront. Le chapitre suivant porte sur la demande de services environnementaux: qui les prendrait en charge, pourquoi en assumerait-on le coût et combien serait-on prêt à payer en échange?

TABLEAU 4
Options de gestion et exigences de coordination pour les trois services environnementaux

	SERVICE ENVIRONNEMENTAL	OPTIONS DE GESTION AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION	OPTIONS DE GESTION AU NIVEAU DU PAYSAGE	DEGRÉ DE COORDINATION REQUIS ¹
Séquestration du carbone et réductions des gaz à effets de serre	Séquestration du carbone dans les sols	Enrichissement et gestion de la matière organique du sol, réduction de la fréquence de culture, adoption de l'agriculture de conservation, pratiques de conservation du sol, gestion améliorée des pâturages		Faible
	Séquestration du carbone dans les plantes vivaces	Augmentation des surfaces cultivées ou de l'utilisation des plantes vivaces, gestion des fermes forestières, agroforesterie, régénération naturelle, allongement des périodes de jachère, systèmes sylvopastoraux	Boisement, régénération naturelle des arbres et des forêts	Faible
	Réduction des émissions de carbone	Gestion des émissions des équipements agricoles, déforestation évitée	Réduction des cultures sur brûlis	Faible
	Réduction des émissions de méthane	Amélioration de la nourriture animale, gestion des sols tourbeux	Protection des zones tourbeuses	Faible
Protection des bassins versants	Maîtrise de l'écoulement d'eau	Renforcement de l'efficacité de l'irrigation, protection des zones humides, drainage, gestion des parcours	Meilleure conception des routes et des voies, revégétation des terres dénudées	Faible
	Préservation de la qualité de l'eau	Réduction de l'usage des produits agrochimiques, filtrage des eaux agricoles, amélioration de l'utilisation des nutriments	Préservation des filtres végétatifs protégeant les bassins versants	Elevé
	Lutte contre l'érosion et la sédimentation	Conservation des sols et gestion du ruissellement, continuité de la couverture du sol, adoption de l'agriculture de conservation, gestion des parcours	Construction des routes, des voies et des implantations; replantation des berges	Modéré
	Maîtrise de la salinisation et du niveau des nappes phréatiques	Plantation d'arbres	Plantation d'arbres dans des endroits stratégiques du paysage	Modéré
	Recharge des nappes aquifères	Collecte de l'eau au niveau de la parcelle et de l'exploitation	Collecte de l'eau au niveau du sous-bassin versant et de la communauté	Modéré
	Lutte contre les inondations	Fossés de diversion et retenues d'eau	Voies de drainage et retenues d'eau; préservation des inondations naturelles	Elevé

TABLEAU 4 (fin)

Options de gestion et exigences de coordination pour les trois services environnementaux

	SERVICE ENVIRONNEMENTAL	OPTIONS DE GESTION AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION	OPTIONS DE GESTION AU NIVEAU DU PAYSAGE	DEGRÉ DE COORDINATION REQUIS ¹
Conservation de la biodiversité sauvage	Protection de l'habitat des espèces terrestres sauvages	Protection des zones de reproduction, préservation des sources d'eau pure, des sources d'aliments sauvages dans les parcelles exploitées et autour de celles-ci, périodes de culture, augmentation de la diversité variétale et des espèces de plantes cultivées	Réseaux de parcelles naturelles au sein de l'exploitation et autour de celle-ci, zones protégées privées et publiques	Modéré
Conservation de la biodiversité sauvage	Connectivité pour les espèces mobiles	Haies, coupe-vent, suppression des obstacles impénétrables	Réseaux de parcelles naturelles au sein de l'exploitation et autour de celle-ci	De modéré à élevé
	Protection des communautés écologiques menacées	Restauration ou protection des parcelles naturelles dans l'exploitation	Préservation des couloirs connectant des fragments d'habitat naturel en s'appuyant sur les exploitations agricoles et d'autres terres	De modéré à élevé
	Protection des espèces sauvages	Élimination des menaces causées par des produits chimiques toxiques, protection des zones de reproduction, pratiques non létales de lutte contre les parasites	Obstacles isolant la vie sauvage des terres exploitées, compensations versées aux agriculteurs pour les dégâts causés par la vie sauvage aux stocks et aux cultures	De faible à modéré
	Protection de l'habitat des espèces aquatiques	Prévention de la pollution des voies fluviales par les déchets issus des cultures, de l'élevage et des produits agrochimiques, protection ou restauration des zones humides dans l'exploitation	Revégétation naturelle des berges, protection ou restauration des zones humides	De faible à modéré

¹ Les motifs d'une action coordonnée peuvent inclure le besoin d'investissements collectifs (par exemple mettre en place un coupe-vent pour l'ensemble de la communauté), l'indivisibilité des investissements (par exemple restaurer un grand ravin), ou le besoin d'une coordination spatiale pour atteindre le résultat désiré (par exemple la réimplantation d'une végétation riparienne pourrait produire une eau de meilleure qualité si tous les propriétaires des berges participent au projet).

Source: adapté de FAO, 2007c.