

## *Chapitre 2*

### **Rôle de la conservation des sols et de l'eau dans la transition vers une croissance verte**

*Le présent chapitre examine les pratiques de gestion des sols et de l'eau, ainsi que leur impact sur la productivité et l'efficacité d'utilisation des ressources. Les problèmes concernant les sols sont interdépendants et il n'existe pas de solution unique mais plutôt un large éventail de solutions pour répondre à toute la gamme des problèmes rencontrés. La volonté d'institutionnaliser ces solutions et de résoudre les problèmes pédologiques à l'échelon national a cependant conduit beaucoup de pays à rendre obligatoires certaines mesures de conservation des sols, dans le cadre de leurs politiques agricoles et des dispositifs de paiements de soutien. Sont aussi passées en revue plusieurs pratiques de gestion des terres ayant des répercussions sur la conservation de l'eau : préparation des champs en vue de rationaliser l'irrigation et de gérer les excédents d'eau, systèmes et pratiques d'irrigation sur l'exploitation, gestion de la consommation d'eau d'irrigation et protection de l'eau contre la pollution diffuse et la sédimentation. Les problèmes empiriques que pose l'évaluation de ces effets sur la productivité, l'efficacité et l'innovation sont examinés.*

## Principaux messages

- Du point de vue des gains de productivité économique au sens habituel, la comparaison entre les pratiques de conservation des sols ou de l'eau et les méthodes agricoles conventionnelles donne des résultats mitigés.
- Les rendements sont généralement inférieurs dans les exploitations utilisant des pratiques de conservation, mais des écarts de rendements importants sont observés entre pays de l'OCDE, entre produits agricoles et dans le temps. Les pratiques de conservation des sols améliorent les rendements dans les systèmes d'agriculture pluviale sous les climats secs.
- Les effets des pratiques de conservation des sols ou de l'eau sur la productivité des ressources sont globalement clairs. D'une manière générale, les pratiques de conservation des sols réduisent l'utilisation de matières non énergétiques et la production de déchets, et améliorent la gestion des éléments nutritifs sur le plan écologique.
- En ce qui concerne l'impact des pratiques de conservation des sols et de l'eau sur l'emploi, les données sont peu nombreuses et contrastées : les pratiques de conservation des sols semblent diminuer les besoins de main-d'œuvre, mais les mesures de conservation impliquant de déplacer des cultures ont tendance à nécessiter beaucoup de main-d'œuvre.

## Pratiques de conservation de sol

### *Une révolution silencieuse ?*

L'érosion des sols est un problème environnemental planétaire. Une bonne part de cette érosion, et la dégradation des sols plus généralement, résulte de mauvaises pratiques de gestion des sols, notamment de la culture sur brûlis, du déboisement et du surpâturage. Les conditions topographiques et climatiques extrêmes et les changements climatiques observés aujourd'hui ne font qu'accroître l'érosion des sols. Les niveaux actuels de dégradation des terres et des sols sont jugés intenable. Selon le PNUE (2012), la santé et la productivité de 24 % des terres du globe s'est détériorée au cours du dernier quart de siècle du fait d'une utilisation des sols non viable. Depuis le XIXe siècle, les dommages causés à la matière organique par le défrichement de terres pour l'agriculture ou l'aménagement urbain dans le monde représenteraient 60 % des pertes du carbone stocké dans le sol et la végétation.

Malgré cela, de plus en plus de terres sont cultivées selon des méthodes de production intensive, qui soumettent les ressources naturelles dont elles dépendent à de fortes pressions et menacent l'avenir de l'agriculture. D'après une étude cosignée par le Centre commun de recherche de l'Union européenne, l'appauvrissement de la biodiversité des sols dans l'Union européenne est ainsi dû principalement à l'exploitation intensive des terres pour l'agriculture (Gardi, Jeffery et Salteli, 2013).<sup>1</sup>

La plupart des pays de l'OCDE ont mis en place des programmes pour encourager les pratiques agricoles visant particulièrement à réduire le risque d'érosion des sols, notamment par la conversion de terres cultivables en prairies, les pâturages extensifs, l'enherbement (principalement pendant la période hivernale), et la promotion des pratiques de conservation des sols comme les techniques culturales simplifiées, les rotations de cultures favorables à la conservation des sols et les pratiques de gestion des éléments nutritifs.

Le nombre et le type d'interventions de préparation du sol pratiquées dans les systèmes de gestion des résidus de récolte sont des questions essentielles tant pour les exploitants que pour les responsables publics, car le travail du sol a une incidence sur la présence d'éléments nutritifs, la structure du sol et la stabilité des agrégats, la résistance et la température du sol, la relation sol-eau et la couverture de résidus de récolte. En outre, le travail du sol consomme de l'énergie et influe sur la capacité de séquestration du carbone du sol, ce qui a des répercussions sur les émissions de GES. La perte de carbone organique du sol (COS) a été imputée principalement au travail du sol, et les terres labourées sont considérées comme un réservoir de carbone menacé d'épuisement (Reicosky, 2003). De même, les rotations des cultures ont

des conséquences sur le risque d'érosion des sols, le ruissellement de l'eau et les propriétés physico-chimiques des sols.

Les techniques culturales simplifiées constituent aujourd'hui l'une des plus importantes révolutions techniques en matière de conduite des cultures et sont vues comme une alternative viable au travail du sol conventionnel car, en maintenant une couverture faite de résidus, elles peuvent améliorer l'efficacité à la fois agronomique et économique tout en ayant des effets positifs pour l'environnement. En outre, comme les passages dans les champs sont moins nombreux, les économies réalisées sur les dépenses de carburant et de main-d'œuvre peuvent augmenter les bénéfices des exploitations. Ces économies peuvent toutefois être contrebalancées par l'augmentation des coûts de la lutte contre les ravageurs sous certains climats et pour certaines cultures (Ebel, 2012).

Les pratiques de rotation favorables à la conservation des sols réduisent le risque d'érosion des sols, contribuent à éviter le ruissellement de l'eau et améliorent les propriétés physico-chimiques des sols. Elles peuvent également fournir du fourrage supplémentaire et remplacer une partie des intrants agricoles, notamment les engrais, les herbicides et l'eau, du fait de l'importante capacité de stockage de l'azote et de l'amélioration de la fertilité du sol, de la suppression des adventices et de la rétention d'eau des sols.

Les exploitations pratiquant la gestion des résidus de récolte retiennent plus l'eau en piégeant la neige, en réduisant l'évaporation de l'eau de la couche superficielle du sol, et en améliorant l'infiltration d'eau dans les systèmes racinaires des plantes. Ce faisant, elles produisent des avantages environnementaux en diminuant l'érosion des sols et la pollution aquatique (par la réduction des quantités de sédiments, d'engrais et de pesticides entraînés dans les écoulements d'eau), et en améliorant la qualité de l'air (dans la mesure où les particules du sol ne passent pas dans l'atmosphère).

L'agriculture de conservation – apparue au Brésil dans les années 70 – repose sur l'application simultanée des trois principes suivants qui sont au cœur des systèmes de production agricole : i) les perturbations mécaniques du sol sont systématiquement limitées au minimum ; ii) le sol est protégé par le maintien d'une couverture végétale formée de résidus de récolte et d'engrais verts, en particulier de légumineuses ; et iii) les espèces cultivées sont diversifiées par rotation et association (encadré 2.1). L'application de ces trois principes a donné lieu à des pratiques très variées selon les endroits en raison de la grande diversité des conditions de production et des besoins des exploitants.

L'agriculture de conservation, qui intègre gestion écologique et techniques agricoles modernes, correspond plus à une famille de systèmes culturels qu'à une technique ou un système unique. Dans certains cas, les semences sont plantées directement à travers les résidus de récolte (le semoir traverse les chaumes), tandis que dans d'autres, il y a un léger travail de préparation du sol pour faciliter l'implantation. Dans tous les cas, le passage à une agriculture de conservation induit des changements qui vont au-delà d'une simple modification des techniques de travail du sol, et doit être envisagé dans une démarche plus vaste englobant d'autres innovations, par exemple l'utilisation de cultures de couverture et de cultures intercalaires.

L'agriculture de conservation présente certains avantages manifestes, comme l'augmentation constatée de la matière organique dans l'horizon de surface ainsi que l'amélioration d'autres propriétés du sol et de processus intervenant dans la fourniture des services écosystémiques associés. Les pratiques de conservation des sols protègent la surface du sol par les résidus laissés sur place, et augmentent l'infiltration de l'eau et diminuent le ruissellement par l'absence de travail du sol, ce qui réduit l'érosion hydrique et éolienne (Palm et al., 2014 ; Verhulst et al., 2012). La capacité de rétention d'eau et le stockage de l'eau sont également améliorés (atténuant ainsi le risque d'inondations) lorsque les pratiques de conservation protègent les cultures en période de sécheresse (Friedrich et al., 2009 ; Kassam et al., 2009). Enfin, l'agriculture de conservation permet d'intervenir avec une plus grande précision et à des moments plus propices, et d'accroître l'efficacité des intrants. Le tableau 2.1 présente une synthèse des effets et des avantages de l'agriculture de conservation comparée aux techniques culturales simplifiées (Hobbs et al., 2008).

### Encadré 2.1. Qu'est-ce que l'agriculture de conservation ?

La FAO définit l'agriculture de conservation comme étant « une méthode de gestion des agro-écosystèmes qui a pour but une amélioration soutenue de la productivité, une augmentation des profits ainsi que de la sécurité alimentaire tout en préservant et en améliorant les ressources et l'environnement. » ([www.fao.org/ag/ca/fr/1a.html](http://www.fao.org/ag/ca/fr/1a.html) ; FAO, 2001). Elle comprend les pratiques culturales suivantes :

*Les techniques culturales simplifiées* : l'ensemble des méthodes de culture qui laissent les résidus de récolte de l'année précédente (comme les pailles de maïs ou les chaumes de blé) sur les champs avant et après l'implantation de la culture suivante afin d'atténuer l'érosion des sols et le ruissellement. Ces pratiques réduisent au strict minimum (ou suppriment) le travail du sol et maintiennent une couverture végétale constituée par des résidus de récolte (elles comprennent le non-travail du sol, le labour en bande, la culture sur billons et le semis sur paillis) (Ministère de l'Agriculture du Minnesota, 2012). Chacune de ces quatre méthodes nécessite différents types de matériel spécialisé ou modifié et des adaptations du mode de conduite. Avec le non-travail du sol et le labour en bande, les cultures doivent être plantées directement dans les résidus. Dans le cas du non-travail du sol, le sol recouvert de résidus n'est pas travaillé du tout. Dans la méthode du labour en bande, le sol est travaillé sur des bandes étroites tandis que le reste du champ n'est pas labouré. Avec la culture sur billons, les cultures sont implantées sur des plateaux permanents hauts de 10 à 15 cm, débarrassés des résidus du précédent cultural qui sont déblayés dans les sillons adjacents. (Toutefois, il est indispensable d'entretenir les billons, ce qui demande du matériel modifié ou spécialisé.) Le semis sur paillis correspond à tout autre système réduisant le travail du sol, où au moins un tiers de la surface reste couverte de résidus de récolte.

*La rotation des cultures favorable à la conservation des sols* : une pratique culturale dans laquelle plusieurs cultures sont plantées successivement dans le même champ. Ces cultures doivent comprendre au moins une culture de conservation des sols, par exemple une plante fourragère pérenne, ou des espèces végétales fixant l'azote ou enrichissant le sol en éléments nutritifs, comme diverses légumineuses. Ce type de rotation des cultures se rapproche des activités de cultures de couverture et est souvent pratiquée simultanément.

*Les cultures de couverture* : toutes les cultures qui sont plantées pour former un couvert végétal saisonnier sur un sol qui serait autrement à nu. Les cultures de couverture comprennent différentes graminées, légumineuses et plantes herbacées et sont implantées avant que la principale culture de rapport ne lève au printemps ou après la récolte à l'automne. Le terme « cultures de couverture » regroupe différentes pratiques telles que les cultures de couverture d'hiver, les cultures dérobées, les cultures étouffantes, les engrais verts et les plantes fourragères à rotation courte. Les cultures de couverture d'hiver visent à réduire l'érosion hydrique et éolienne du sol pendant la période hivernale. Les cultures dérobées sont plantées immédiatement après la récolte de la culture de rapport afin de réduire le lessivage des éléments nutritifs. Les cultures étouffantes sont utilisées pour lutter contre les adventices d'une manière respectueuse de l'environnement. Ces cultures, comme le sarrasin et le seigle, sont capables de concurrencer efficacement les principales mauvaises herbes. D'autres cultures de couverture sont utilisées comme engrais verts car elles sont incorporées au sol pour améliorer sa fertilité. Enfin, des cultures de couverture peuvent servir de pâturages ou pour l'affouragement en vert et sont appelées cultures fourragères à rotation courte.

Tableau 2.1. Effets du travail traditionnel du sol, des techniques culturales simplifiées et de l'agriculture de conservation

| Problème                | Travail du sol traditionnel  | Techniques culturales simplifiées   | Agriculture de conservation   |
|-------------------------|--|---|---|
| Pratique                | Perturbe le sol et laisse la surface nue   | Réduit la perturbation du sol par rapport au travail traditionnel et laisse une couverture en surface | Le sol est perturbé au minimum et recouvert en permanence   |
| Érosion                 | Érosion hydrique et éolienne : maximale  | Érosion hydrique et éolienne : sensiblement réduite   | Érosion hydrique et éolienne : la moins importante des trois  |
| Santé physique du sol   | La moins bonne des trois   | Sensiblement améliorée  | La meilleure pratique des trois   |
| Tassement               | Employé pour réduire le tassement et peut aussi le provoquer en détruisant les pores biologiques | Le travail minimum du sol est employé pour réduire le tassement                                       | Le tassement peut être un problème mais il est possible de l'atténuer en utilisant du paillis et en encourageant le travail du sol biologique |
| Santé biologique du sol | La moins bonne des trois à cause des perturbations fréquentes                                    | Meilleure qu'avec un travail du sol traditionnel  | Populations et propriétés biologiques plus variées et en meilleure santé  |

**Tableau 2.1. Effets du travail traditionnel du sol, des techniques culturales simplifiées et de l'agriculture de conservation (suite)**

| Problème                               | Travail du sol traditionnel  | Techniques culturales simplifiées   | Agriculture de conservation  |
|--|--|---|--|
| <b>Infiltration de l'eau</b>           | La plus faible une fois les pores du sol bouchés   | Bonne infiltration de l'eau   | La meilleure des trois   |
| <b>Matière organique du sol</b>        | Oxyde la matière organique du sol et entraîne sa destruction   | Accumulation de matière organique possible dans les horizons de surface   | Accumulation de matière organique dans les horizons de surface encore meilleure  |
| <b>Plantes adventices</b>              | Élimine les adventices et entraîne aussi la germination d'un plus grand nombre de graines d'adventices | Le travail minimum du sol élimine les adventices et expose aussi d'autres graines d'adventices à la germination | Les adventices posent problème surtout dans les premiers stades de l'adoption de l'agriculture de conservation mais les problèmes s'atténuent avec le temps et les résidus peuvent empêcher la croissance des adventices |
| <b>Température du sol</b>              | Température de surface du sol : plus variable  | Température de surface du sol : variabilité intermédiaire   | Température de surface du sol : la plus modérée  |
| <b>Consommation et coûts de gazole</b> | Consommation de gazole : élevée  | Consommation de gazole : intermédiaire  | Consommation de gazole : très réduite  |
| <b>Coûts de production</b>             | Coût les plus élevés   | Coûts intermédiaires  | Coûts les plus faibles   |
| <b>Calage</b>                          | Les interventions peuvent être retardées   | Calage des interventions intermédiaire  | Calendrier des interventions plus optimal  |
| <b>Rendement</b>                       | Peut être inférieur quand l'implantation est retardée  | Rendements identiques au travail du sol traditionnel  | Rendements identiques au travail du sol traditionnel mais peuvent être plus élevés si l'implantation a lieu à un moment plus propice   |

Source : Tableau 2 dans Hobbs, P., K. Sayre et R. Gupta (2008), « The role of conservation agriculture in sustainable agriculture », *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Vol. 363, série B, *Biological Sciences*.

L'agriculture de conservation et les techniques sans travail du sol se développent rapidement dans plusieurs pays. D'après les données rassemblées par la FAO, l'agriculture de conservation s'est étendue au rythme moyen d'environ 7 millions d'hectares par an entre 1999 et 2013 (avec une superficie passée de 45 à 125 millions d'hectares). Depuis 1990, le taux d'adoption dans le monde a progressé de façon exponentielle, principalement en Amérique du Nord et du Sud, en Australie et en Nouvelle-Zélande. Les principaux facteurs expliquant cette évolution sont la stagnation de la productivité due à l'érosion des sols, à leur appauvrissement en matière organique, à la dégradation de leur structure et à leur tassement, l'augmentation des coûts de production, l'action gouvernementale, l'adoption de cultures résistant aux herbicides et les effets possibles du changement climatique (Kassam, Friedrich et Derpsch, 2014).<sup>2</sup>

Des actions concertées sont menées pour promouvoir l'agriculture de conservation dans les petites exploitations agricoles d'Asie du Sud et d'Afrique subsaharienne (Hobbs et al., 2008 ; Valbuena et al., 2012), mais il n'est pas certain qu'elle soit adaptée aux petites exploitations des pays tropicaux et subtropicaux (encadré 2.2).

### Encadré 2.2. Des approches novatrices pour améliorer le potentiel de croissance verte dans les petites exploitations agricoles

Si l'agriculture de conservation a bien pris dans les petites exploitations agricoles à haut rendement et à forte consommation d'intrants de la région riz-blé en Asie du Sud, son introduction est plus problématique dans les petites exploitations peu productives et à faible consommation d'intrants des pays tropicaux et subtropicaux. Les principaux handicaps ici sont le manque de résidus produits et la concurrence d'autres usages plus valorisés.

La quantité de résidus de récolte, soit laissés en surface, soit incorporés au sol, est un facteur déterminant pour l'agriculture de conservation. Contrairement à la plupart des exploitations en zones tempérées et des autres grandes exploitations où le non-travail du sol (ou le travail minimum du sol) génère une quantité importante de résidus de récolte pouvant être laissés sur le sol, de nombreuses petites exploitations en Afrique subsaharienne, dans certaines régions de l'Amérique latine et en Asie du Sud produisent peu de résidus parce que leur productivité est faible (Palm, et al., 2014 ; Paul et al., 2013 ; Thierfelder et al., 2013 ; Dube et al., 2012 ; Lahmar et al., 2012 ; Ngwira et al., 2012 ; Giller et al., 2009).

Les autres usages concurrents des résidus représentent un autre obstacle. La majorité des paysans combinent cultures et élevage et utilisent la plupart de leurs résidus pour nourrir leurs animaux. Dans certaines régions, les résidus de récolte sont brûlés pour défricher des parcelles agricoles, tandis qu'ailleurs, les résidus sont emportés par les termites. Dans beaucoup de régions d'Afrique subsaharienne, il existe également une norme culturelle qui veut que les résidus puissent être broutés par tout animal de la communauté (Wall, 2007). Parce que les résidus constituent une importante source d'alimentation animale, il sera difficile de changer cette norme culturelle.

Ces restrictions montrent la nécessité d'avoir une attitude nuancée quant aux pratiques d'agriculture de conservation à promouvoir. Par exemple, une série d'interventions peut être plus appropriée (Lahmar et al., 2012). La première étape serait d'accroître la production végétale par la gestion des éléments nutritifs, puis par des pratiques de gestion des sols et de l'eau améliorant la qualité des sols et la rétention d'eau, avant d'introduire progressivement des pratiques d'agriculture de conservation là où le sol, le climat et la situation économique s'y prêtent. Ces étapes doivent être fondées sur des preuves que la pratique ou série de pratiques se traduit par un accroissement des services écosystémiques sans compromettre la hausse des rendements.

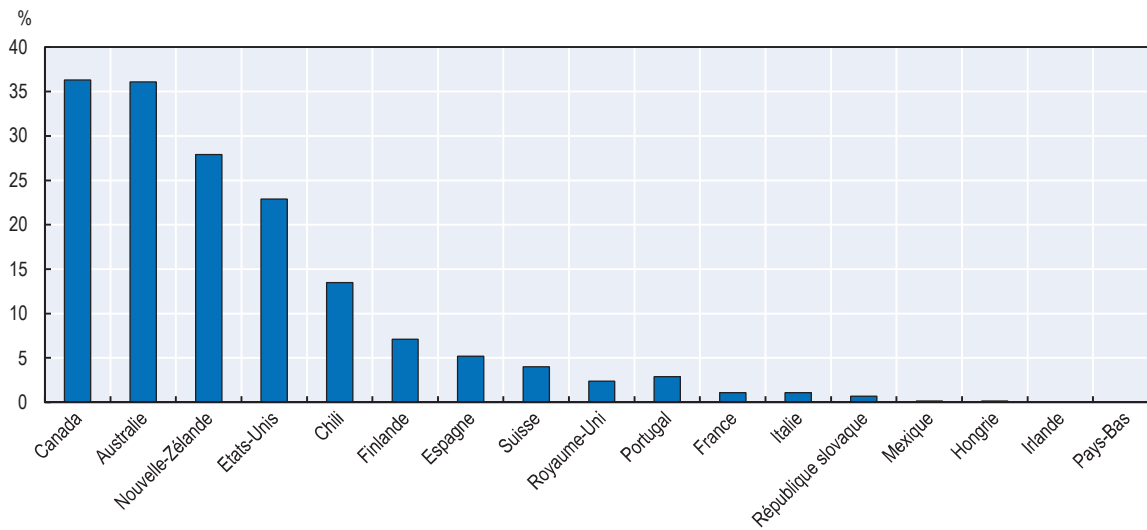
Sources : Pannell, D., R. Llewellyn et M. Corbeels (2014), « The farm-level economics of conservation agriculture for resource-poor farmers », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 187 ; Palm, C., H. Blanco-Canqui, F. DeClerck, L. Gatere et P. Grace (2014), « Conservation agriculture and ecosystem services: An overview », *Ecosystems and Environment*, Vol. 187, n°1 ; Brouder, S. et H. Gomez-Macpherson (2014), « The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 187, n°1.

D'après les estimations, 10 % des surfaces cultivées dans le monde étaient exploitées selon les principes de l'agriculture de conservation en 2013, l'Amérique du Sud arrivant en tête (tableau A2.1). Cinq pays réunissent plus de 80 % du total des terres de la planète cultivées en agriculture de conservation : les États-Unis (23 %) ; l'Argentine et le Brésil (20 %) ; l'Australie (11 %) ; et le Canada (12 %) (tableau A2.1). Dans six pays, le pourcentage des surfaces cultivées en agriculture de conservation est supérieur ou égal à 30 % (Argentine, Brésil, Australie, Canada, Paraguay et Uruguay) (graphique 2.1 et tableau A2.1).

Aux États-Unis, les premières initiatives visant à moins perturber les sols et adopter le non-travail du sol ont fait suite aux dévastations provoquées par la grande sécheresse du milieu des années 1930. Au Canada et en Australie, c'est l'érosion éolienne et hydrique qui a tout d'abord motivé la démarche, mais d'autres facteurs ont ensuite pris de l'importance, comme l'augmentation de la productivité et des bénéfices, la diversification des cultures dans les environnements subtropicaux et tempérés froids, et la réduction des coûts d'engrais, de pesticides, d'énergie et de main-d'œuvre. Dans le cas de pays comme le Brésil, l'Argentine et le Paraguay, où le non-travail du sol a débuté dans les années 1970 et 1980, le principal élément déclenchant a été la dégradation des sols, conséquence des effets érosifs dévastateurs des très fortes tempêtes tropicales et subtropicales et des labours intensifs ayant ameubli et mis à nu les horizons superficiels du sol.



**Graphique 2.1. Adoption de l'agriculture de conservation dans les pays de l'OCDE : pourcentage du total des terres cultivées**



Source : FAO, base de données AQUASTAT, site Internet consulté le 2 juillet 2015.

En dehors de quelques pays (par exemple les États-Unis, le Canada, l'Australie, le Brésil, l'Argentine, le Paraguay et l'Uruguay), l'agriculture de conservation n'est pas « entrée dans les mœurs » des agriculteurs et des responsables publics, et les surfaces arables cultivées en agriculture de conservation dans le monde restent relativement minimes (environ 9 %). Les principaux facteurs qui freinent son adoption à plus grande échelle, tels qu'ils ressortent de la littérature, sont notamment : i) le manque de connaissances (ou de savoir-faire) ; ii) les attitudes et aspirations des agriculteurs ; iii) le manque de machines appropriées ; iv) le manque d'herbicides convenables pouvant faciliter la gestion des adventices ; v) le coût d'opportunité élevé des résidus de récolte pour l'alimentation animale ; et vi) des politiques publiques inadéquates (par exemple les soutiens à des produits de base dans certains pays de l'OCDE) (Kassam, Derpsch et Friedrich, 2014 ; D'Emden, Llewellyn et Burton, 2008 ; Thomas et al., 2007 ; Pannell et al., 2006 ; Prokopy et al., 2008 ; Gedikoglou et McCann, 2010 ; Gedikoglou et al., 2011).<sup>3</sup>

L'Australie est un exemple de pays ayant largement adopté les pratiques agricoles de conservation. Depuis la fin des années 90, elles sont utilisées par la majorité des cultivateurs qui en attendent principalement des rendements plus élevés grâce à la gestion de la teneur en eau du sol et à l'amélioration de la fertilité. En particulier, ces pratiques (qui comprennent un travail minimum du sol et le maintien des résidus de récolte) ont constitué un outil de conduite essentiel pour améliorer la productivité dans les régions céréalières sèches de l'intérieur du pays, qui représentent 80 % des terres cultivées. Les agriculteurs ont commencé d'expérimenter l'agriculture de conservation dans les années 60, et aujourd'hui 80 à 90 % des 23,5 millions d'hectares de cultures d'hiver du pays sont cultivés selon les principes de l'agriculture de conservation (Belloti et Rochecouste, 2014).

Le climat chaud et aride de l'Australie a été pour beaucoup dans le choix de développer la conservation de l'eau contenue dans le sol par des semis directs et le maintien des chaumes après récolte. Le gain de rendement obtenu avec des systèmes de production sans travail du sol dans le secteur des céréales est d'une tonne à l'hectare, avec davantage de possibilités de semis les années de sécheresse prolongée. D'autres secteurs (coton et sucre) ont suivi le mouvement. Selon une enquête nationale réalisée en 2012 par la Conservation Agriculture Alliance of Australia and New Zealand (CAAANZ), la principale raison ayant incité les agriculteurs à modifier leurs pratiques de travail du sol était la crainte que l'érosion des sols et la sécheresse ne mettent en péril la viabilité de leurs exploitations. En outre, les changements apportés aux pratiques culturales de conservation et les succès obtenus en termes de rendement ont motivé de nouvelles recherches sur les gains de productivité et sur

la nécessité de réduire le coût des intrants. Bien que l'objet principal de ces travaux ait été la productivité, ils ont eu d'autres retombées positives importantes pour l'environnement, en particulier la naissance de l'agriculture de précision (chapitre 6).

Aux États-Unis, la superficie de terres agricoles cultivées sans travail du sol a progressé dans toutes les grandes cultures. En 2010, environ 35.5 % des terres implantées en huit grandes cultures aux États-Unis étaient cultivées sans travail du sol (Ebel, 2012 ; Horowitz, Ebel et Ueda, 2010). Les producteurs de soja présentaient le pourcentage le plus élevé de terres cultivées sans travail du sol (près de 50 %), suivis par les producteurs de maïs (autour de 30 %) et de coton (24 %). Du point de vue de la superficie de terres implantées, le maïs est la première culture de plein champ aux États-Unis. De toutes les grandes cultures analysées, c'est le riz qui arrive en dernier pour le pourcentage de terres cultivées sans travail du sol (16.3 %).

La gestion des éléments nutritifs est une importante stratégie de conservation qui a une incidence sur les coûts de production. Elle englobe le type, la quantité et le calendrier d'épandage des principaux éléments nutritifs. Les agriculteurs ne savent souvent pas de quels éléments fertilisants leurs sols ont besoin ; l'épandage régulier d'engrais n'accroît pas les rendements mais augmente la contamination et les coûts de production. D'après les estimations, le surépandage d'engrais minéraux et organiques a accru la teneur des sols en azote, phosphore et potassium (de 2 000, 700 et 1 000 kg, respectivement par hectare de terres labourables) en Europe et en Amérique du Nord au cours des 30 dernières années (Banque mondiale, 1996). La gestion intégrée des éléments nutritifs est liée à l'agriculture de précision et abordée au chapitre 6.

Il est évident que tous les problèmes relatifs aux sols sont imbriqués et qu'il n'existe pas de solution unique – ou plutôt, il existe un large éventail de solutions pour remédier aux problèmes multidimensionnels du sol. La volonté d'institutionnaliser ces solutions et de résoudre les problèmes pédologiques à l'échelon national a conduit beaucoup de pays à adopter des mesures de conservation des sols obligatoires, liées ou non à leurs politiques agricoles.

Dans l'Union européenne, une directive relative à l'intégration de la conservation des sols a été proposée en 2006 mais n'a pas progressé depuis. Les règles d'écoconditionnalité de l'Union européenne comportent néanmoins une politique cohérente de conservation des sols pour l'agriculture. Ces règles sont un ensemble de conditions que doivent respecter les agriculteurs sollicitant des paiements directs au titre de la Politique agricole commune (par exemple le système de paiement unique par exploitation). Ces conditions constituent les exigences minimales imposées à l'exploitation et pour lesquelles l'agriculteur n'est pas dédommagé. Des exigences supplémentaires et les paiements associés peuvent être couverts par des dispositifs agro-environnementaux. Les bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE) sont des obligations légales relevant soit de lois en vigueur, soit de bonnes pratiques existantes dans les pays membres de l'UE avant l'introduction des règles d'écoconditionnalité. En ce qui concerne la conservation des sols, les exigences des BCAE portent sur l'érosion des sols, leur teneur en matière organique et leur structure, et sur un niveau minimum d'entretien à assurer.

S'agissant de l'érosion des sols, les BCAE imposent une couverture minimale des sols, une gestion minimale des terres en fonction des spécificités du site, et le maintien des terrasses dans la mesure du possible. Concernant la matière organique du sol, des normes sont définies en matière de rotation des cultures et de gestion des chaumes. Les recommandations relatives à la structure des sols portent notamment sur l'utilisation de machines appropriées et sur des densités minimales de bétail. Enfin, les règles d'écoconditionnalité dans l'Union européenne garantissent que la superficie de pâturages permanents rapportée à la surface agricole totale soit maintenue au niveau de 2003. Les pâturages permanents sont définis comme étant les terres ensemencées en plantes herbacées depuis au moins cinq ans et n'ayant pas été labourées pour l'implantation d'autres cultures durant cette période. Il existe aussi de nombreux programmes agro-environnementaux qui dédommagent les agriculteurs acceptant de fournir d'autres avantages publics en matière d'environnement et de conservation, en plus de ceux prévus dans le cadre de l'écoconditionnalité.



Aux États-Unis, le Food Security Act (1985 Farm Bill) a introduit deux importantes pratiques de conservation des sols et des ressources hydriques (collectivement appelées « *conservation compliance* »). Ces deux dispositions, toujours en vigueur aujourd'hui, imposent aux producteurs, en échange de certaines prestations accordées au titre de programmes du ministère de l'Agriculture des États-Unis (USDA), de maintenir un niveau minimal de conservation sur les terres très sensibles à l'érosion et de ne pas convertir de zones humides en terres cultivées. Il existe également de nombreux programmes facultatifs de conservation des sols et de l'eau.

Le programme Agricultural Management Assistance apporte une aide financière et technique aux exploitants qui souhaitent adopter des pratiques de gestion de l'eau, de qualité de l'eau et de lutte contre l'érosion en intégrant des principes de conservation dans leurs activités agricoles. L'Environmental Quality Incentives Program est un programme facultatif qui fournit une assistance financière et technique aux producteurs agricoles par le biais de contrats pouvant durer jusqu'à dix ans. L'objectif est de les aider à prévoir et mettre en œuvre des pratiques de conservation permettant de remédier à des problèmes de ressources naturelles et à exploiter les possibilités d'améliorer les ressources pédologiques, hydriques, végétales, animales, atmosphériques et autres, sur les terres agricoles et les zones boisées privées non industrielles.

Le programme de gestion de la conservation (Conservation Stewardship Program – CSP) est un programme de conservation facultatif qui encourage les producteurs à prendre en compte de manière globale les préoccupations en matière de ressources en entreprenant des activités supplémentaires de conservation et en améliorant, préservant et gérant les activités existantes de conservation. Deux types de paiements sont accordés au moyen de contrats sur cinq ans : des paiements annuels pour installer de nouvelles activités de conservation et maintenir les pratiques existantes ; et des paiements supplémentaires pour l'adoption de la rotation des cultures respectueuse des ressources. Les participants sont payés pour leurs performances en matière de conservation : plus celles-ci sont élevées, plus les paiements qu'ils reçoivent sont élevés.<sup>4</sup>

### ***Des gains de productivité et d'efficacité, mais le bilan global varie selon les types de sol et les cultures***

#### *Les résultats économiques dépendent du contexte*

Le sol est un actif dont la rentabilité est composée de trois éléments : i) la valeur du sol en tant qu'intrant agricole ; ii) la valeur du sol en tant qu'élément de capital susceptible d'influer – en fonction de son montant et de sa productivité – sur la valeur de revente potentielle du terrain ; et iii) la valeur attachée au sol en dehors de la production (c'est-à-dire la fourniture de services écosystémiques). Ces éléments déterminent la valeur de revente potentielle des terres agricoles.

La rentabilité des pratiques de conservation des sols et leur incidence sur la productivité et l'efficacité agricoles ont fait l'objet de nombreuses études en économie agraire.<sup>5</sup> Au niveau des exploitations, l'impact économique de l'érosion de sols et de leur dégradation est souvent lié à la diminution de la productivité et des rendements observée dans certains pays.

L'évolution des prix (des intrants ou des extrants) peut avoir des effets contradictoires sur l'érosion des sols. Une hausse des prix à la production incite à augmenter l'érosion des sols du fait qu'elle pourrait encourager les agriculteurs à développer la production sur des terres moins productives ou à consacrer les terres agricoles moins productives à d'autres usages. Les politiques qui augmentent les incitations à stimuler la production sur les terres économiquement marginales peuvent avoir des conséquences disproportionnées et non intentionnelles sur l'environnement (OCDE, 2009). Lubowski et al. (2006) constatent qu'aux États-Unis les terres mises ou retenues en culture du fait des politiques d'assurance récolte sont en moyenne moins productives, plus exposées à l'érosion, et davantage susceptibles d'inclure des terres humides et des habitats d'espèces menacées que les terres arables cultivées.

Les coûts des intrants ont de fortes chances de varier entre pratiques de conservation du sol et pratiques conventionnelles. Sur le plan des coûts, les techniques culturales simplifiées sont un peu plus

avantageuses que le travail du sol conventionnel, bien que les spécificités de chaque site puissent modifier cette situation de différentes manières. L'adoption de techniques culturales simplifiées (ou du non-travail du sol) suppose que les agriculteurs puissent utiliser des tracteurs plus petits et fassent moins de passages dans les champs, d'où une diminution des coûts de carburant et de réparation. De même, la plupart des études confirment que, comme on s'y attendait, les coûts de carburant sont inférieurs à ceux encourus avec un travail du sol conventionnel.

Toutefois, il est possible que les coûts des intrants ne soient pas toujours diminués car réduire le travail du sol peut amener à utiliser davantage de produits phytosanitaires pour lutter contre les adventices, les ravageurs et les maladies. Les coûts de ces produits peuvent augmenter, tout du moins au début, et compenser ainsi les éventuelles économies de coûts de main-d'œuvre, de carburant, de réparations mécaniques et de frais généraux. La plupart des études menées dans les pays développés concluent néanmoins que l'agriculture de conservation se traduit au moins par quelques économies de coûts (FAO, 2001).

Uri (1999) constate qu'aux États-Unis, si le prix réel du pétrole brut n'a pas de répercussions sur le taux d'adoption des techniques culturales simplifiées, il en a sur le degré d'utilisation de ces pratiques. En règle générale, elles sont plus rentables dans les régions tropicales escarpées à forte pluviosité (par exemple en Amérique latine) que dans les zones tempérées plus plates (par exemple au Canada et aux États-Unis), car les premières seraient soumises à un risque d'érosion plus important avec un travail du sol conventionnel (FAO, 2001).

Une étude comparative de l'agriculture de conservation et des techniques culturales simplifiées réalisée dans le Wisconsin (États-Unis) a conclu que les coûts moyens à court terme en agriculture de conservation étaient supérieurs d'environ 7 % aux coûts moyens à long terme (Mueller et al., 1985). Les coûts moyens à court terme à l'hectare pour les techniques culturales simplifiées étaient supérieurs à ceux du travail du sol conventionnel. Cependant, après prise en compte du facteur capital, les coûts des techniques culturales simplifiées sont tombés en dessous de ceux du travail du sol conventionnel sur le long terme.

En ce qui concerne les effets sur la consommation d'engrais, Uri (1997) constate une légère hausse de celle-ci par les producteurs de maïs adoptant des techniques culturales simplifiées aux États-Unis. En outre, si l'épandage d'engrais demande davantage de compétences de conduite pour un agriculteur appliquant ces techniques, les coûts d'épandage pourraient augmenter même si la consommation d'engrais reste identique.

La FAO (2001) a analysé 40 études mesurant les valeurs actuelles nettes (VAN) financières pour l'agriculture de conservation et les méthodes agronomiques corrélées (cultures intercalaires, cultures en courbes de niveau, engrais vert), presque toutes réalisées dans des pays développés. Sur ce nombre, 34 indiquent que la VAN de l'agriculture de conservation serait positive. D'après Knowler et Bradshaw (2007), sur 11 études consacrées à l'économie de l'agriculture de conservation en Afrique subsaharienne, 10 ont abouti à une VAN positive.

Erenstein et Laxmi (2008) ont passé en revue plusieurs études (un mélange d'essais en exploitations, d'essais en stations agricoles et d'enquêtes auprès d'agriculteurs) sur les aspects économiques du non-travail du sol dans la plaine indo-gangétique. Les auteurs signalent que « les comparaisons de coût et de rentabilité sont parfois compliquées par les spécificités des sites et des différences de méthodologie ». Cependant, les résultats montrent systématiquement des améliorations, tant sous la forme d'économies de coûts que de hausses de rendement. En moyenne, un peu plus de la moitié des gains étaient imputables à des économies de coûts et un peu moins de la moitié à des hausses de rendement.

Globalement, les résultats des publications semblent montrer que, dans la plupart des cas, il serait rentable d'adopter les principes de l'agriculture de conservation ou certains d'entre eux (Pannell, et al., 2014). Il y aurait un léger avantage de coût par rapport aux pratiques culturales conventionnelles (entre 5 et 10 %), bien que les résultats varient beaucoup d'un site à l'autre, de nombreuses études

concluant à une moindre rentabilité des pratiques de conservation des sols. Des différences apparaissent également entre pays développés et pays en développement (Pannell et al., 2014 ; FAO, 2001 ; Uri, 1999).

La diversité des résultats peut avoir différentes explications. Les méthodes adoptées peuvent être trop simplistes ou partielles, et les coûts d'opportunité des ressources utilisées dans l'agriculture de conservation ne sont pas pris en considération. À titre d'exemple, l'analyse comprend seulement le coût financier direct des intrants, sans tenir compte des facteurs agronomiques et de conduite tels que le coût d'opportunité de l'utilisation des résidus de récolte comme pailis – résidus pouvant avoir une certaine valeur non monétaire lorsque l'on s'en sert pour nourrir des animaux ou qu'on les brûle pour améliorer la lutte contre les ravageurs, une valeur perdue en cas d'utilisation des résidus comme couverture du sol – ou le coût d'opportunité de la main-d'œuvre employée au désherbage. Deuxièmement, les hypothèses sur les incidences agronomiques sont peut-être trop optimistes. Par exemple, les données ne viennent pas directement des exploitations mais de stations locales dans des conditions bien contrôlées. Enfin, les risques et les incertitudes ne sont pas suffisamment pris en compte (Pannell et al., 2014). La littérature publiée souligne la grande hétérogénéité observée et la nécessité d'une analyse au cas par cas (Pannell et al., 2014).

#### *Les meilleurs rendements sont obtenus en agriculture pluviale sous climats secs*

Il est difficile de répondre avec certitude à la question de savoir si l'agriculture de conservation peut maintenir les rendements agricoles et être appliquée valablement dans des contextes agricoles extrêmement variés. Par exemple, bien que l'agriculture de conservation puisse améliorer la rétention d'eau des sols, entraînant des rendements supérieurs et plus stables pendant les saisons sèches, on ne connaît toujours pas les quantités de résidus et les teneurs en matière organique du sol nécessaires pour augmenter le taux d'humidité des sols. Les observations tendent à montrer que, dans l'ensemble, les effets sur les rendements sont mitigés, qu'ils dépendent des conditions environnementales ambiantes, notamment des types de sols et de cultures, et qu'ils pourraient varier dans le temps.

Les données existantes sur l'impact du non-travail du sol sur les rendements sont extrêmement variables (Giller et al., 2009). Quand il est associé à un paillage, on constate souvent une baisse initiale des rendements suivie d'une hausse sur la dizaine d'années suivante, pour finalement dépasser les rendements obtenus avec l'agriculture conventionnelle reposant sur le travail du sol (Pittelkow et al., 2015 ; Giller et al., 2009 ; Rusinamhodzi et al., 2011). Il arrive aussi que, dans certains essais, les rendements ne soient quasiment pas modifiés, ou que l'on obtienne des augmentations ou des diminutions selon le cas.

L'impact économique de la gestion des résidus de récolte dépend aussi fortement du contexte, notamment de facteurs comme la densité démographique et la densité du bétail, l'intensité de culture, l'accès à d'autres sources d'alimentation animale, terres et marchés, et les revenus non agricoles. En dehors des effets à long terme du paillage sans travail du sol sur les rendements, le paillage peut accroître le taux d'humidité des sols l'année suivante, entraînant une hausse des rendements, en particulier les années sèches. Cependant, certaines données montrent que si le paillage est important pour obtenir des rendements élevés dans les zones arides, les rendements après paillage peuvent diminuer dans un contexte de fortes précipitations. Il est clair que les conditions agro-écologiques entrent beaucoup en ligne de compte pour déterminer les avantages de l'agriculture de conservation.

Pittelkow et al. (2015) ont synthétisé les informations de plus de 5 000 observations issues de 610 études. Elles montrent que les exploitations qui utilisent plusieurs techniques d'agriculture de conservation peuvent obtenir des rendements équivalents ou supérieurs à ceux des exploitations travaillant en agriculture conventionnelle dans certaines conditions. En particulier, les principaux constats sont les suivants : i) le non-travail du sol utilisé seul a un impact négatif sur les rendements (-11.9 %) <sup>6</sup> ; ii) la baisse des rendements est moindre lorsque les trois principes sont utilisés, par rapport à une situation où un seul principe est appliqué ; iii) le non-travail du sol augmente sensiblement les rendements (7.3 %) en agriculture pluviale sous climat sec lorsque les deux autres principes sont aussi

mis en œuvre, du fait d'une amélioration de l'infiltration de l'eau et d'une meilleure conservation de l'eau dans le sol ; iv) le non-travail du sol diminue les rendements les premières années suivant son adoption, que les deux autres principes de l'agriculture de conservation soient appliqués ou non ; v) les baisses des rendements dues au non-travail du sol ont tendance à diminuer avec le temps, même s'ils ne rattrapent pas ceux obtenus avec un travail du sol conventionnel après dix ans ; et vi) rien n'indique que l'un des principes donne des résultats supérieurs à un autre.<sup>7</sup>

Les résultats présentés par Pittelkow et al. (2015) ont des incidences importantes sur le plan de la politique publique. Tout d'abord, pour maximiser les rendements, les techniques culturales simplifiées doivent être appliquées dans des systèmes de culture utilisant le maintien des résidus et la rotation des cultures. Le passage au non-travail du sol associé aux deux autres principes de l'agriculture de conservation est difficile car il représente un changement de conduite global qui demande une certaine adaptation au niveau des exploitations individuelles, et les résidus de récolte peuvent avoir une grande valeur fourragère. En second lieu, l'agriculture de conservation peut devenir une importante stratégie d'adaptation au changement climatique dans les régions du monde de plus en plus arides. Cependant, le développement de l'agriculture de conservation dans ces zones doit se faire avec précaution, car les deux autres principes sont souvent complexes à appliquer dans les petites exploitations vulnérables et pauvres en moyens, ce qui augmente le risque que les rendements baissent au lieu de progresser.

Van den Puttea et al. (2010) présentent une analyse économétrique de 47 études européennes, comprenant 563 observations qui comparent les rendements des cultures dans le cas du travail du sol conventionnel, du travail minimum du sol et du non-travail du sol. Ils arrivent à la conclusion surprenante que le non-travail du sol donne de moins bons résultats dans des conditions climatiques plus sèches, et font valoir que dans un contexte climatique plus humide, les effets négatifs – par exemple la multiplication des ravageurs – semblent compenser les éventuels gains retirés de plus grandes disponibilités en eau. Sur les sols argileux et sablonneux toutefois, cet effet négatif du non-travail du sol est contrebalancé, et toutes les techniques culturales simplifiées donnent de meilleurs résultats dans des conditions climatiques plus sèches. Un autre constat important concerne les rotations constituées uniquement de céréales, où les rendements relatifs avec des techniques culturales simplifiées ont tendance à diminuer avec le temps. Les auteurs pensent que les techniques culturales simplifiées peuvent représenter une solution viable pour l'agriculture européenne du point de vue de la productivité agricole. Il est possible de réduire fortement les éventuels effets négatifs sur la productivité agricole par un travail du sol suffisamment profond et en pratiquant la rotation des cultures, y compris avec des cultures non céréalières.

deVita et al. (2007) a examiné l'effet du non-travail du sol et du travail du sol conventionnel sur du blé dur cultivé en agriculture pluviale méditerranéenne sur une période de trois ans (2000-02) dans deux lieux différents du Sud de l'Italie (Foggia et Vasto). Les deux premières années, les rendements ont augmenté à Foggia après le passage au non-travail du sol. En revanche, les paramètres de rendement et de qualité moyens à Vasto ont été similaires pour les deux traitements au cours des deux premières années, et supérieurs pour le travail du sol conventionnel la troisième année. Ce résultat a été attribué à la forte corrélation entre précipitations et rendements, avec un système de non-travail du sol favorisant des taux plus élevés d'humidité des sols. Dans ce cas, les pratiques de conservation des sols sont plus productives (davantage d'extrants et moins d'intrants) que les pratiques conventionnelles. À l'inverse, une étude réalisée sur le blé et le maïs dans la Pampa, en Argentine, a conclu que, même si l'adoption de systèmes de travail minimum du sol se traduisait par une amélioration des sols, elle nécessitait aussi d'accroître la consommation d'engrais azotés pour maintenir les rendements (Alvarez et Steinbach, 2009).

Li et al. (2007) présentent une expérience au champ menée sur 15 ans dans la province chinoise de Shanxi, qui compare les effets à long terme du non-travail du sol avec une couverture de résidus et le travail du sol conventionnel dans une monoculture de blé d'hiver. Les rendements et l'efficacité d'utilisation de l'eau ont eu tendance à être plus élevés en non-travail du sol qu'en travail du sol conventionnel, en particulier les années à faibles précipitations, ce qui laisse penser que la modification de la structure du sol avait été plus favorable au développement des cultures. Ainsi, le non-travail du sol

est un système de production plus viable qui peut améliorer la structure du sol et accroître la productivité avec des conséquences positives sur l'environnement dans les zones sèches du Nord de la Chine où l'on pratique une agriculture pluviale.

Farooq et al. (2011) ont tracé la courbe de l'écart de rendements constaté entre l'agriculture de conservation et l'agriculture conventionnelle en fonction des précipitations à partir des résultats de 25 études et ont constaté que l'avantage de l'agriculture de conservation en termes de rendement diminuait lorsque les précipitations augmentaient, les rendements de l'agriculture de conservation étant pour la plupart supérieurs à ceux des systèmes conventionnels quand les précipitations annuelles descendaient en dessous de 560 mm. Dans leur méta-analyse de la production de maïs en agriculture de conservation, Rusinamhodzi et al. (2011) ont conclu que l'agriculture de conservation ne faisait aucune différence sur le plan de la stabilité des rendements en situation de sécheresse ou d'excès de précipitations.

Dans leur revue de la littérature, Brouder's et Gomez-Macpherson's (2014) constatent également que les très rares études fournissant des métadonnées ou des données critiques complètes montrent qu'à court terme, le non-travail du sol entraîne généralement des rendements plus faibles que le travail du sol conventionnel. Ces diminutions pourraient occasionnellement être liées à des effets directs (par exemple un tassement accru du sol dans le cas du riz), mais l'incapacité à adapter d'autres outils de conduite (par exemple la lutte contre les adventices) au système d'agriculture de conservation était un effet indirect fréquent et surprenant. Les auteurs estiment qu'il n'est pas possible de tirer des conclusions générales évidentes sur les avantages de l'agriculture de conservation et du non-travail du sol sur les rendements et l'efficacité d'utilisation des ressources dans les petites exploitations en raison du nombre trop restreint d'études au champ disponibles.

*L'amélioration de la précision et du calage des interventions culturales se traduit par une plus grande efficacité d'utilisation des intrants*

Les pratiques de conservation des sols permettent aux grandes exploitations de combiner la circulation raisonnée et l'agriculture de précision utilisant la géolocalisation (GPS), qui améliorent l'efficacité d'utilisation de l'énergie et des intrants. Ces gains d'efficacité ont amené certains pays à prendre des mesures telles que le dispositif de compensation des émissions de carbone en vigueur dans l'Alberta (Canada) depuis plusieurs années. Ce dispositif, fondé sur l'agriculture de conservation, est en passe d'intégrer la circulation raisonnée et l'agriculture de précision à géolocalisation (Lindwall et Sonntag, 2010).

Les pratiques de conservation des sols, qui augmentent la teneur des sols en eau en favorisant l'infiltration et en réduisant le ruissellement et l'évaporation, améliorent l'efficacité d'utilisation de l'eau et protègent les cultures des sécheresses. Le paillage protège aussi les sols contre les extrêmes de température. Au Mexique par exemple, dans les hautes terres semi-arides non irriguées, la teneur en eau des sols pendant les périodes sèches était supérieure de 10 à 20 mm dans les champs de maïs cultivés en agriculture de conservation par rapport à ceux cultivés avec un travail du sol conventionnel sans maintien des résidus. Les données montrent clairement que le paillage réduit l'érosion des sols (Giller et al., 2009).

Concernant la productivité des éléments nutritifs, l'étude réalisée par Moussa-Machraouia et al. (2010) en Tunisie indique que le non-travail du sol améliore sensiblement la composition des sols, plus particulièrement leur teneur en K, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et N, tandis que la matière organique du sol (MOS) et le carbone organique du sol (COS) sont améliorés mais pas de manière sensible. Moussa-Machraouia et al. (2009) ont conclu que l'emploi prolongé de techniques culturales simplifiées augmentait de 21.4 % la matière organique du sol sur les 20 premiers centimètres, de 31.8 % l'azote total et de 34.5 % le phosphore sur les 5 premiers centimètres, par rapport au travail du sol traditionnel. Les auteurs ont également constaté que les gains de rendement les plus élevés avec la plus grande efficacité d'utilisation de l'eau étaient obtenus par un non-travail du sol avec une couverture de paille.



Dans une étude de longue durée (sur 32 ans) de la production de blé en zone semi-aride en Afrique du Sud, Loke et al. (2012) ont constaté que le non-travail du sol aboutissait à des COS supérieurs à ceux obtenus avec un paillis de chaume et un labour dans l'horizon 0–50 mm, mais les parcelles labourées présentaient des niveaux de COS plus élevés au-delà de 100 mm de profondeur. Le non-travail du sol et le paillis de chaume augmentent l'azote total du sol sur tout le profil du sol, par rapport au labour. Les auteurs estiment que, pour maintenir ou améliorer la MOS dans certains types de sols (plinthosols), la priorité doit être donnée aux pratiques de non-travail du sol avec paillis de chaume.

Hobbs et al. (2008) analysent le rôle de l'agriculture de conservation dans l'agriculture durable et présentent les avantages de l'agriculture de conservation par rapport aux techniques culturales simplifiées. Leur étude conclut que l'agriculture de conservation constitue un système de conduite plus viable et respectueux de l'environnement pour les cultures. Des études de cas en Asie et au Mexique montrent que les pratiques agricoles de conservation dans ces deux environnements différents ont permis d'augmenter la production d'une manière à la fois viable et rentable.

### ***La capacité des pratiques agricoles de conservation des sols à atténuer le changement climatique n'est pas claire***

Les pratiques de conservation des sols, en particulier le non-travail du sol, ont été encouragées en tant que moyen potentiel d'atténuer le changement climatique en séquestrant le carbone (West et Post, 2002 ; Lal, 2004). Cette vision optimiste a néanmoins été mise en doute, et il est aujourd'hui admis que le stockage du carbone du sol avec les pratiques de conservation des sols et les pratiques conventionnelles présente de très grandes variations (Govaerts et al., 2009 ; Luo et al., 2010). La capacité potentielle des pratiques agricoles de conservation des sols à favoriser le stockage du carbone dépend de tout un ensemble de facteurs, dont la teneur en carbone du sol préexistante, le système cultural, la conduite de l'exploitation, le type de sol et le climat.

De nombreuses incertitudes demeurent sur les relations entre le travail du sol, le carbone du sol et les autres gaz à effet de serre (Vanden Bygaert et al., 2003). Le travail minimum du sol ou le non-travail du sol peuvent augmenter le carbone du sol par rapport au travail conventionnel, mais ces hausses sont souvent limitées aux horizons très superficiels (les 10 premiers centimètres) et, par conséquent, l'augmentation observée représente une redistribution du carbone organique et non pas une accumulation nette.

Baker et al. (2007) estiment qu'il n'est pas avéré que le travail minimum du sol entraîne une hausse systématique du carbone organique du sol. Boddey et al. (2010) et Franzluebbers (2009), en revanche, contredisent Baker et al. Blanco-Canqui et Lal (2008) concluent que les effets du non-travail du sol sur le carbone organique du sol et l'hémioxyde d'azote dépendent des sols : le non-travail augmente les concentrations en carbone organique du sol dans les horizons supérieurs de certains sols, mais il n'induit pas un stockage de carbone organique dans le sol plus élevé sur tout le profil du sol.

Pour Palm et al. (2014), la littérature mondiale passée en revue montre clairement que la matière organique des horizons supérieurs augmente en agriculture de conservation, et avec, d'autres processus et propriétés du sol qui réduisent l'érosion et le ruissellement et améliorent la qualité des eaux. Toutefois, les effets sur les autres services écosystémiques sont moins clairs. Seulement la moitié environ de la bonne centaine d'études qui comparent la séquestration du carbone du sol entre non-travail du sol et travail conventionnel indiquent une augmentation de la séquestration avec le non-travail du sol. L'association du non-travail et du maintien des résidus de récolte accroît le potentiel de séquestration du carbone en augmentant les apports de biomasse dans le sol. L'étude de Govaerts et al. (2009) constate que sur 100 comparaisons, le stock de carbone du sol en non-travail du sol était inférieur dans 7 cas, supérieur dans 54 cas, et égal dans 39 cas par rapport au travail conventionnel sur les 30 premiers centimètres après cinq ans ou plus de non-travail du sol. Ces études ont été menées principalement au Canada et aux États-Unis, et dans une moindre mesure au Brésil, au Mexique, en Espagne, en Suisse, en Australie et en Chine.



La méta-analyse de Luo et al. (2010) fait ressortir une augmentation du carbone du sol dans l'horizon de surface (10 premiers centimètres) avec le passage du travail conventionnel au non-travail, mais aucune différence significative sur l'intervalle 0-40 cm en raison d'une redistribution du carbone dans le profil du sol (Luo et al., 2010). Selon Eve et al. (2002), en moyenne, un agriculteur de la « Corn Belt » des États-Unis qui passe du travail conventionnel au travail minimum du sol ne piègerait que 0.33 tonne de CO<sub>2</sub> de plus par acre et par an sur une période de 20 ans, tandis qu'en passant du travail conventionnel à l'absence totale de travail du sol, la quantité supplémentaire de CO<sub>2</sub> piégée par acre et par an s'établirait à 0.64 tonne.

En dehors de la perturbation minimum du sol, le niveau de séquestration du carbone dépend des bonnes rotations ou associations de cultures, et de la quantité de la biomasse du système de production qui est maintenue en surface comme paillis et qui est aussi incorporée ou piégée dans le sol. Les effets des rotations des cultures sur le carbone du sol sont souvent mitigés (Corsi et al., 2012). Les cultures produisant un grand volume de résidus peuvent piéger davantage de carbone que celles qui produisent peu de résidus. L'intensification des systèmes de culture, par exemple l'augmentation du nombre de récoltes par an, les doubles cultures et l'ajout de cultures de couverture, peut entraîner une augmentation du carbone stocké dans le sol en non-travail du sol (West et Post, 2002 ; Luo et al., 2010). West et Post (2002) ont trouvé des interactions avec les rotations de cultures et les pratiques de travail du sol ; en règle générale, les rotations de cultures piégeaient plus de carbone que les monocultures après passage en non-travail, même s'ils ont mis en évidence des exceptions notables avec les rotations maïs-soja abaissant la teneur du sol en carbone par rapport à une monoculture de maïs.

Une étude de la FAO a passé en revue la littérature scientifique s'intéressant aux effets positifs et négatifs des deux types d'agriculture les plus courants – « l'agriculture traditionnelle fondée sur le travail du sol » et « l'agriculture de conservation, un système sans travail du sol » – en ce qui concerne leurs conséquences sur les stocks de carbone du sol (Corsi et al., 2012). Les résultats tirés de l'analyse de la littérature sur la séquestration du carbone en agriculture traditionnelle ont été comparés à ceux de l'agriculture de conservation. Il ressort que cette dernière permet des niveaux de séquestration du carbone dans le sol plus élevés qu'en agriculture traditionnelle. Lorsqu'aucune séquestration de carbone n'est enregistrée ou qu'une perte de carbone est constatée dans un système agricole, cela est dû le plus souvent à l'une ou plusieurs des raisons suivantes : i) perturbation du sol ; ii) monoculture ; iii) rotation de cultures particulières ; iv) mauvaise gestion des résidus de récolte ; et v) échantillons de sol prélevés au-delà de 30 cm de profondeur.

Bien que les résidus laissés dans le système constituent un élément essentiel de la quantité de carbone stockée dans le sol, on a peu d'indications sur la quantité de résidus nécessaire pour maintenir ou accroître le carbone du sol. En pratique, des niveaux insuffisants de résidus en surface conjugués à un non-travail du sol n'entraînent pas d'augmentation de la matière organique du sol, de la teneur en eau du sol ou des services écosystémiques associés et peuvent même aboutir à une baisse de rendement (Palm et al., 2014). La quantité de résidus requise pour augmenter le carbone du sol et les effets bénéfiques associés dépend des types de sol, des rendements obtenus et de l'équilibre entre les apports de carbone et la décomposition du carbone qui varient avec les sols et le climat.

Les effets de ces trois types de pratiques sur les stocks de carbone du sol sont d'habitude analysés séparément dans la littérature. Pourtant, ces composantes de l'agriculture de conservation sont interdépendantes. Par exemple, les types de végétaux cultivés, l'intensité et la durée des cultures déterminent la quantité des apports et donc la capacité de l'agriculture de conservation à stocker davantage de carbone que le travail du sol conventionnel. L'intensification de systèmes cultureux fournissant une quantité importante de biomasse aérienne et souterraine (c'est-à-dire des espèces végétales à racines profondes) peut permettre aux systèmes d'agriculture de conservation de stocker davantage de carbone dans le sol que le travail du sol conventionnel (Luo et al., 2010).

L'agriculture de conservation réduit également les besoins en électricité et en énergie. Le non-travail du sol diminue la consommation de carburant, demande moins d'heures de travail et ralentit la dépréciation du matériel par unité produite. Ces facteurs contribuent à réduire les émissions non

seulement des exploitations agricoles mais aussi des usines de fabrication des machines. En outre, les résidus de récolte laissés dans les champs restituent au sol le carbone fixé dans les plantes cultivées par le biais de la photosynthèse, améliorant ainsi la santé et la fertilité des sols. Cela abaisse à son tour la consommation d'engrais et les émissions de CO<sub>2</sub>.

Plusieurs études font état d'émissions de GES (hémioxyde d'azote et méthane) plus élevées en agriculture de conservation qu'en agriculture conventionnelle, tandis que d'autres font le constat inverse. Dans le cas du non-travail du sol, les résidus sont restitués au sol sous la forme de paillis superficiel susceptible de diminuer les taux d'évaporation, et donc d'augmenter le taux d'humidité du sol et sa teneur en carbone organique labile (Galbally et al., 2005), d'où une hausse des émissions de N<sub>2</sub>O par rapport au travail du sol conventionnel. L'augmentation de la densité apparente du sol observée en agriculture de conservation par rapport au travail du sol conventionnel peut aussi accroître les émissions.

Toutefois, l'abaissement des températures des sols et l'amélioration de leur structure associée au non-travail du sol peuvent diminuer la fréquence de la saturation des sols et réduire les émissions de N<sub>2</sub>O. En ce qui concerne ces émissions, la comparaison de l'agriculture de conservation et des pratiques conventionnelles ne permet pas de tirer de conclusions définitives et donne au contraire des résultats contradictoires. L'hétérogénéité des données sur les émissions de N<sub>2</sub>O en agriculture de conservation pourrait s'expliquer par le manque de comparabilité des études et par des problèmes méthodologiques relatifs à la mesure du N<sub>2</sub>O au champ (Palm, et al., 2014).

Il existe très peu d'études analysant l'impact des différentes pratiques d'agriculture de conservation sur tous les GES concernés, notamment la séquestration du carbone du sol et le potentiel de réchauffement global net résultant. L'une des rares études détaillées menées sur plusieurs années n'a trouvé aucune différence entre l'agriculture de conservation et le travail du sol conventionnel, que ce soit pour les émissions de N<sub>2</sub>O ou de CH<sub>4</sub>, dans un essai cultural de longue durée en zone non irriguée dans le centre du Mexique (Dendooven et al., 2012a et Dendooven et al., 2012b). Elle a conclu que le potentiel de réchauffement global était sensiblement moindre en agriculture de conservation qu'en travail du sol conventionnel, uniquement du fait des modifications du stock de carbone du sol.

West et Marland (2002) estiment les émissions de dioxyde de carbone dues à l'utilisation de machines et d'autres intrants agricoles (engrais, pesticides, semences, etc.) pour trois types de travail du sol dans les zones non irriguées des États-Unis. Les auteurs procèdent à une analyse complète du cycle du carbone dans l'agriculture des États-Unis. Ils concluent que le passage du travail du sol conventionnel au non-travail du sol n'augmente pas les émissions de CO<sub>2</sub>, et dans la plupart des cas contribue à les réduire, et aussi que cette conversion offre un moyen à la fois d'augmenter la séquestration du carbone et de réduire simultanément les émissions de carbone de l'agriculture.

### ***Diminution des besoins de main-d'œuvre, mais la disponibilité de main-d'œuvre est cruciale pour l'adoption des pratiques***

On s'est beaucoup intéressé à la réduction apparente des besoins de main-d'œuvre en agriculture de conservation, dans la mesure où la préparation des sols demande moins de travail au début de la campagne de culture. Pour certains, la réduction s'établirait entre 50 et 60 % durant cette période. Dans le cas de petites exploitations, les façons culturales anti-érosives ont plus de probabilités de générer des économies de main-d'œuvre lorsque des herbicides sont utilisés contre les adventices, mais moins de probabilités là où le désherbage est manuel. Dans ce dernier cas, les façons culturales anti-érosives pourraient même nécessiter plus de main-d'œuvre que l'agriculture conventionnelle.

Herren et al. (2012) indiquent que la plupart des interventions culturales en non-travail du sol demandent moins de main-d'œuvre par unité produite et par unité de surface. Globalement, compte tenu du fait que les rendements des exploitations en non-travail du sol étaient systématiquement supérieurs à ceux des exploitations conventionnelles, la rentabilité économique du travail agricole était sensiblement plus élevée en non-travail du sol.

Le niveau des revenus non agricoles des ménages agricoles est un facteur qui intervient dans leur décision d'adopter de nouvelles techniques. La littérature semble toutefois montrer qu'il peut jouer dans les deux sens, à savoir favorablement pour certaines pratiques et défavorablement pour d'autres. On peut penser que l'emploi non agricole rétrécit le réservoir de main-d'œuvre disponible et pourrait donc freiner l'adoption de pratiques agricoles de conservation à forte intensité de main-d'œuvre.

Selon une étude de Gedikoglu et al. (2011) se fondant sur une enquête menée auprès de 3 104 éleveurs de l'Iowa et du Missouri (États-Unis), le fait que les agriculteurs aient un emploi en dehors de l'exploitation a un impact très net sur l'adoption de pratiques à forte intensité de capital, au détriment des pratiques à plus forte intensité de main-d'œuvre. En particulier, la pratique de l'injection de fumier dans le sol, qui est une intervention à haute intensité capitalistique (et qui contribue à tasser la couche superficielle du sol en raison du passage d'engins lourds) est privilégiée par rapport à l'épandage non mécanique (et plus favorable à la conservation des sols) parce qu'elle représente un gain de temps. Ces résultats vont dans le sens de précédentes études selon lesquelles, dans les régions où l'emploi non agricole occupe une grande place, les agriculteurs sont moins susceptibles de prélever de la main-d'œuvre pour des interventions favorisant la conservation des sols si la rentabilité économique de l'activité non agricole est supérieure aux avantages qu'ils voient dans le fait d'investir dans la conservation des sols une main-d'œuvre rare (Neill et Lee, 2001 ; Moser et Barrett, 2003 ; Jansen et al., 2006 ; Lee et al., 2006 ; Wollni et al., 2010).

À l'échelle d'un bassin versant ou même à un niveau spatial plus élevé, l'application de pratiques de conservation des sols et de l'eau peut être très bénéfique à l'économie rurale et à la création d'emploi. Pincus et Moseley (2013) analysent l'impact de pratiques de restauration des bassins versants sur l'économie de l'Oregon (États-Unis) au moyen d'une analyse entrées-sorties. Ils constatent que le programme suivi de travaux de restauration mis en œuvre dans l'Oregon a eu des retombées positives sensibles sur l'économie. Ils notent également que ces effets profitent pour une grande part aux zones rurales où les perspectives de développement économique sont faibles du fait du déclin des activités de gestion des ressources traditionnelles. D'après leurs estimations, en plus des quelque 16 emplois soutenus par million de dollars investi dans la restauration écologique, un investissement prolongé dans la restauration a créé à la fois de nouvelles capacités d'organisation locales dans les conseils de bassins versants et dans d'autres structures de proximité partenaires, et des ouvertures économiques, en particulier dans les zones rurales.

Dans leur analyse plus globale, Herren et al. (2012) appliquent une méthode de modélisation dynamique intégrée à l'échelle mondiale pour évaluer la capacité de création d'emploi de l'agriculture verte. Les auteurs caractérisent l'adoption de mesures telles que les pratiques de gestion durable (par exemple le non-travail du sol, la fertilisation naturelle), la recherche-développement, la lutte intégrée contre les ennemis des cultures et la production rurale de produits alimentaires transformés à valeur ajoutée, et prennent comme hypothèse que des investissements de 100 milliards USD par an, puis de 180 milliards USD par an, sont réalisés pour appuyer ces actions. Les investissements, financés par des subventions et des modifications de la fiscalité, allaient soit à l'agriculture verte, soit à l'agriculture conventionnelle. Les projections montrent que le choix de l'agriculture verte se traduit par 3 % d'emplois en plus dans les secteurs agricole et agro-alimentaire en 2050 par rapport à l'agriculture conventionnelle.

### **Pratiques de conservation de l'eau**

L'agriculture représente environ 70 % de la consommation d'eau dans le monde aujourd'hui (45 % dans la zone OCDE). La demande d'eau croissante des villes, des industries et des fournisseurs d'énergie, et les effets du changement climatique réduiront les quantités d'eau disponibles pour l'irrigation dans le futur. Il est important que les agriculteurs reçoivent les bons signaux pour accroître l'efficacité d'utilisation de l'eau et améliorer la gestion de l'eau agricole, tout en préservant les écosystèmes aquatiques.

Le champ de la gestion durable des ressources en eau dans l'agriculture est délimité par la responsabilité des gestionnaires et des usagers de l'eau, qui consiste à faire en sorte que ces ressources

soient allouées de façon rationnelle et équitable, et utilisées de manière à obtenir des résultats bénéfiques sur le plan social, écologique et économique. Elle englobe l'irrigation qui permet de lisser les approvisionnements en eau durant toutes les saisons de production, la gestion de l'eau en agriculture pluviale, la gestion des inondations, des sécheresses et du drainage, et la préservation des écosystèmes et de leurs valeurs culturelles et récréatives.

Les pratiques de gestion économe de l'eau comprennent les pratiques de gestion des terres permettant de préparer les champs en vue de rationaliser l'irrigation et de gérer les excédents d'eau, les systèmes d'irrigation sur l'exploitation et les pratiques d'irrigation, la gestion de la consommation de l'eau d'irrigation, et la protection de l'eau contre la pollution diffuse et la sédimentation. La pollution diffuse est due à des constituants tels que les éléments nutritifs, et à des substances organiques et toxiques provenant de sources diffuses, comme le ruissellement causé par l'utilisation et l'aménagement des terres agricoles. Les pratiques de conservation des sols, en particulier les techniques culturales simplifiées et les rotations des cultures favorables à la conservation des sols, sont aussi considérées comme des pratiques de conservation de l'eau car elles améliorent la teneur du sol en eau du fait de la perturbation minimum du sol et du maintien d'une couverture sur le sol, de la réduction du ruissellement et de l'amélioration de l'infiltration.

Le bon nivellement initial des terrains conserve l'eau en réduisant le ruissellement et en permettant une distribution uniforme des eaux pluviales et des eaux d'irrigation. Au Texas (États-Unis) par exemple, un nivellement correct peut réduire la consommation d'eau de 20 à 30 % et accroître les rendements des cultures de 10 à 20 % (Texas Water Development Board). Il est possible de former de petites cuvettes dans les sillons pour retenir l'eau de pluie et l'eau d'irrigation. La connaissance des conditions météorologiques, de la capacité du sol à absorber et retenir l'eau, et de la capacité des plantes cultivées à utiliser l'eau, en fonction de la profondeur des racines et des propriétés du sol à différentes profondeurs, peut être déterminante pour conserver les ressources en eau.

Il existe trois grands types d'irrigation : l'irrigation de surface (ou gravitaire), l'irrigation par aspersion et l'irrigation au goutte à goutte. Cette dernière permet d'obtenir les économies d'eau les plus importantes. Elle peut être très efficace avec certaines cultures et en terrains accidentés. Les systèmes d'aspersion, en particulier ceux utilisant la technique ancienne de la haute pression, ne sont pas efficaces, surtout par temps chaud et venteux. C'est pourquoi des systèmes à faible pression et à faible hauteur ont été mis au point. Israël offre un exemple remarquable de système concret de gestion intégrée de l'eau, apporte des enseignements utiles pour gérer de manière efficace une ressource rare (encadré 2.3).

Pour minimiser la pollution diffuse et la sédimentation, certaines pratiques culturales consistent à créer différents types de zones tampons : bandes filtrantes enherbées, chenaux enherbés, zones tampons boisées implantées le long des cours d'eau, terrasses, fossés de dérivation, bassins de sédimentation et de rétention, etc. Une zone tampon est une aire de végétation naturelle ou plantée gérée pour protéger des sites abritant des ressources essentielles, tels que zones humides, plans d'eau, cours d'eau ou même puits, d'une dégradation importante provoquée par la perturbation des sols et le ruissellement chimique d'éléments nutritifs.

Les bandes filtrantes enherbées sont plantées entre un champ et des eaux de surface (rivières, ruisseaux, lacs et fossés de drainage) pour protéger la qualité de l'eau. Elles ralentissent le ruissellement des champs en piégeant et en filtrant les sédiments, les éléments nutritifs, les pesticides et d'autres polluants potentiels avant qu'ils n'atteignent les eaux superficielles. Des bandes filtrantes sont aussi plantées aux abords des drains agricoles. Les chenaux enherbés sont un type de zone tampon large et peu profonde conçue pour prévenir l'érosion des sols tout en drainant les ruissellements des terres cultivées adjacentes. Ils contribuent aussi à éviter le ravinement dans les zones d'écoulement concentré.

### Encadré 2.3. Israël : une gestion efficace des ressources hydriques

L'agriculture israélienne s'est distinguée par sa capacité à améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau agricole. Cette amélioration a concerné l'efficacité physique (technique) de la consommation d'eau par tonne de production (ou par hectare irrigué), l'efficacité économique d'utilisation de l'eau (hausse de valeur de la production par unité d'eau utilisée et réduction de la consommation d'eau potable, remplacée en partie par de l'eau recyclée pour irriguer).

Le succès de l'agriculture israélienne dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches du pays repose en grande partie sur une gestion efficace des ressources hydriques. L'invention et le développement de l'irrigation au goutte à goutte en Israël à partir des années 60 a joué un rôle essentiel dans l'amélioration de l'efficacité technique de l'utilisation de l'eau, ainsi que dans l'évolution vers d'autres systèmes d'irrigation sous pression (asperseurs, micro-asperseurs, microjets) et l'abandon de l'irrigation par submersion. Le principe consiste à augmenter le rendement hydraulique en limitant les pertes par ruissellement et par évaporation et en réduisant l'infiltration de contaminants sous la rhizosphère. Si l'irrigation est aussi performante, c'est qu'elle fournit aux plantes des conditions optimales d'absorption de l'eau et des éléments nutritifs. Les systèmes d'irrigation localisée permettent aussi d'utiliser plus efficacement des eaux salines, saumâtres et marginales.

L'irrigation au goutte à goutte a d'abord suscité un intérêt limité et n'était pas dépourvue d'inconvénients, tels que le bouchage et la rupture des canalisations. La situation a changé dans les années 80 grâce au perfectionnement du système et à l'évolution vers une nouvelle génération de techniques d'irrigation localisée passant notamment par des systèmes informatisés et des goutteurs à pression qui assurent une distribution de l'eau. En Israël, plus de la moitié de la superficie irriguée est désormais couverte par des dispositifs au goutte à goutte.

Le goutte à goutte enterré, de conception plus récente, est aujourd'hui utilisé sur 5 à 10 % de la superficie irriguée. L'enfouissement du système répond aux besoins suivants : économiser l'eau ; lutter contre les mauvaises herbes ; limiter le plus possible le ruissellement et l'évaporation (qui peut être réduite de 20 %) ; augmenter la durée de vie des canalisations et des buses ; faciliter l'utilisation de matériel lourd dans les champs ; et éviter les contacts avec de l'eau de mauvaise qualité. Autre avantage, ce système économise de la main-d'œuvre, par rapport aux effectifs nécessaires pour installer et enlever chaque saison les dispositifs d'irrigation localisée de surface. Enfin, le goutte à goutte enterré permet de jouer sur la distribution des racines et les conditions pédologiques dans les zones arides de manière à mieux maîtriser les variables environnementales, notamment les quantités d'éléments nutritifs, la salinité, la concentration en oxygène et la température.

Source : OCDE (2010), *Review of Agricultural Policies: Israel*, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264079397-en>.

Les zones tampons boisées ripariennes sont des rangées d'arbres, d'arbustes ou d'herbacées implantées le long de rivières, ruisseaux, lacs ou zones humides et sont destinées principalement à protéger la qualité des eaux et à offrir des habitats naturels. Elles empêchent les polluants pouvant être contenus dans les ruissellements agricoles (sédiments, éléments nutritifs, pesticides, agents pathogènes) d'atteindre les eaux de surface. Les terrasses sont formées par des remblais en terre ou en pierre, des fossés ou des ensembles talus-fossés construits dans la pente d'un champ (USEPA, 1993). Elles peuvent réduire la vitesse d'érosion de l'horizon superficiel du sol et diminuer la teneur en sédiments et en polluants des ruissellements superficiels. Aux États-Unis, les terrasses auraient permis de réduire les pertes de sol de 94 à 95 %, les pertes d'éléments nutritifs de 56 à 92 %, et le ruissellement de 73 à 88 % (Cestti, Srivastava et Jung, 2003).

Un fossé de dérivation a pour but de diriger les ruissellements superficiels ou de les détourner d'une zone, ou de recueillir et diriger l'eau vers un bassin. Les fossés de dérivation sont surmontés de bandes filtrantes destinées à piéger les sédiments et protéger le fossé, et le talus est végétalisé. Un bassin de sédimentation et de rétention est un petit remblai en terre ou un ensemble talus-fossé construit dans un petit cours d'eau ou dans une zone d'écoulement concentré à l'intérieur d'un champ.

Un bon exemple de politique intégrée de conservation de l'eau ayant des conséquences directes sur l'agriculture est la Directive-cadre sur l'eau (DCE) de l'Union européenne introduite par la « Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau ». La classification utilisée par la DCE pour caractériser l'état écologique des eaux de surface comprend cinq catégories : très bon, bon, moyen, médiocre et mauvais. La DCE impose que les cours d'eau, les lacs, les eaux souterraines et les eaux côtières atteignent un bon état écologique et chimique d'ici 2015. La DCE a donc des conséquences majeures sur les pratiques agricoles et la gestion des terres ainsi que sur la gestion de l'eau en ce qui concerne la pollution diffuse et la consommation d'eau. L'une des mesures les plus importantes pour parvenir à cet objectif consiste



notamment à réduire les émissions d'azote (N) et de phosphates (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) provenant des effluents d'élevage et des engrais minéraux dans l'environnement. Cette mesure occasionne des coûts considérables pour le secteur agricole et, dans certains cas, ces coûts vont bien au-delà de ce qu'il est possible d'obtenir dans le cadre du budget des mesures agro-environnementales (OCDE, 2012).

***Des effets importants sur le plan de la productivité, de l'efficience et de l'innovation, mais difficiles à évaluer concrètement***

Les pratiques de conservation de l'eau portent sur la quantité et la qualité des ressources hydriques et peuvent être mises en œuvre à tous les stades du stockage, de la distribution et de l'utilisation de l'eau, aussi bien dans les exploitations qu'en dehors. En principe, les mesures de conservation de l'eau optimisent l'utilisation des ressources parce qu'elles agissent sur la capacité de rétention d'eau des sols. Les pratiques de conservation de l'eau donnent les meilleurs résultats dans les cultures pluviales. Presque tous les types de zones tampons permettent d'atteindre une réduction sensible des concentrations de pesticides et d'éléments nutritifs dans l'eau et sont donc efficaces sur le plan écologique.

Les techniques de conservation de l'eau sont également économes en énergie car les pratiques qui économisent l'eau diminuent les émissions et les besoins énergétiques. Ces pratiques contribuent à la production de biens publics. Elles réduisent les externalités négatives principalement en réduisant la sédimentation ainsi qu'en atténuant par là même les risques d'inondation, en protégeant les cours d'eau et en améliorant la qualité de l'eau.

Les pratiques de conservation de l'eau comportent des innovations vertes bien connues en matière d'irrigation, telles que l'irrigation au goutte à goutte. Elles s'appuient aussi sur un vaste fonds de connaissances pour mettre au point de nouveaux systèmes prometteurs de gestion de l'eau en agriculture pluviale, notamment un large éventail de pratiques de collecte de l'eau, de systèmes agricoles de conservation, de techniques de conservation de l'eau et de pratiques de gestion intégrée de la fertilité des sols.

Malgré ces évolutions positives, il est difficile d'évaluer concrètement les gains de productivité économique engendrés par les pratiques de conservation de l'eau en termes de rendements. La littérature souligne les problèmes complexes rencontrés pour établir des prédictions simples des économies d'eau (au niveau du champ) et des hausses des rendements, ainsi que l'illustrent Burt et O'Neill (2007, cités par Perry et al., 2009). Se fondant sur les données d'une vaste étude entreprise par le Centre de recherche et de formation en irrigation de l'Université polytechnique de Californie (États-Unis), les auteurs analysent les méthodes de culture de la tomate (et les rendements obtenus) dans 187 champs irrigués par des rigoles et 164 champs irrigués au goutte à goutte, avec une dimension de champ typiquement de 50 ha. Après comparaison des rendements et des quantités d'eau utilisées, les auteurs estiment qu'il serait risqué de présumer que l'irrigation au goutte à goutte confère systématiquement d'importants avantages immédiats.

Warda et Pulido-Velazquez (2008) étudient les pratiques d'irrigation économes en eau au niveau des bassins et arrivent à une conclusion controversée. Ils avancent l'idée que « lorsque les écoulements restitués constituent une source importante d'approvisionnement en eau en aval, la diminution des apports d'eau due à l'adoption de mesures d'irrigation plus efficaces va redistribuer l'approvisionnement en eau au sein du bassin, ce qui pourrait porter préjudice aux actuels détenteurs de droits sur l'eau qui dépendent de ces écoulement restitués ».

Cela indiquerait que, du point de vue économique, les subventions aux mesures de conservation de l'eau n'inciteront pas les agriculteurs à freiner le déclin des ressources en eau, et il est donc peu probable que des quantités d'eau supplémentaires deviennent disponibles pour d'autres usages. En réalité, les subventions risquent d'accélérer ce déclin. Par exemple, l'irrigation au goutte à goutte est importante pour de nombreuses raisons, notamment parce qu'elle améliore la productivité de l'eau et la sécurité alimentaire, mais elle ne permet pas nécessairement d'économiser l'eau à l'échelle d'un bassin versant. Il est apparu que les subventions favorisant l'efficacité de l'irrigation augmentent l'utilisation



de l'eau dans la mesure où des rendements plus élevés des cultures conduisent à l'augmentation de l'évapotranspiration sans restitution d'eau ou recharge des aquifères (OCDE, 2015).

Au niveau des exploitations, les méthodes d'irrigation perfectionnées diminuent la consommation d'eau par surface cultivée et donc les besoins énergétiques, ce qui entraîne une réduction des émissions.<sup>8</sup> Par rapport aux méthodes d'irrigation traditionnelles, les méthodes d'irrigation perfectionnées augmentent la productivité des ressources (eau), de l'environnement et de l'énergie. Mais une productivité de l'eau en hausse peut générer un effet de déplacement, à savoir que l'eau économisée peut être utilisée pour arroser des terres précédemment non irriguées. Par exemple, bien qu'il soit généralement admis que des infrastructures d'irrigation perfectionnées puissent apporter à l'agriculteur des économies d'eau importantes, l'adoption d'« innovations vertes » comme les goutte à goutte n'a pas forcément un effet net positif sur l'environnement si l'agriculteur choisit d'utiliser ces économies d'eau pour produire plus ou pour vendre l'eau économisée à d'autres producteurs (dans le cas où il existe un système de commerce de l'eau).

En outre, certaines méthodes de conservation de l'eau génèrent des coûts en ressources, notamment des hausses (parfois prohibitives) de la demande énergétique. Selon des observations réalisées en Australie, si l'adoption d'un système sous pression conduirait sans aucun doute à réduire les déperditions, par exemple par évaporation et infiltration, le passage à un nouveau système entraînerait une hausse de la demande énergétique par rapport aux systèmes actuels d'irrigation gravitaire par rigoles. Les données montrent que certains irrigants australiens choisissent de ne pas moderniser leurs systèmes d'irrigation et de distribution d'eau en raison des coûts énergétiques plus élevés des systèmes sous pression.

### **Conservation de l'eau en dehors des exploitations**

Les mesures de conservation de l'eau ne concernant pas l'irrigation, comme les zones tampons et les terrasses, ont des effets sensibles sur la productivité des ressources car elles augmentent l'infiltration et diminuent le ruissellement tout en protégeant l'environnement proche contre la pollution diffuse et la sédimentation. De plus, les zones tampons et les chenaux enherbés favorisent les habitats et la biodiversité.

Kay et al. (2009) passent en revue l'ensemble de la littérature et mesurent la capacité des bandes tampons et des zones humides à éliminer les éléments nutritifs (azote total, nitrates, phosphore total et phosphore soluble) contenus dans les ruissellements agricoles. Les pourcentages communiqués montrent des écarts importants, allant de 5 % à 100 %. Les mêmes résultats, avec des variations moindres, sont présentés pour les substances actives de pesticides et reproduits au tableau 2.2 (Kay et al., 2009).

**Tableau 2.2. Évolution des concentrations en pesticides dans les eaux de ruissellement suite à la création de zones tampons**

| <b>Pesticide</b> | <b>Effet de la zone tampon</b> | <b>Référence</b>    |
|------------------|--------------------------------|---------------------|
| Atrazine         | 53 % de réduction              | Arora et al. (2003) |
|                  | 25–49 % de réduction           | Popov et al. (2006) |
| Chlorpyrifos     | 83 % de réduction              | Arora et al. (2003) |
| Metolachlore     | 54 % réduction                 | Arora et al. (2003) |
|                  | 30–61 % réduction              | Popov et al. (2006) |

Source : Tableau 4 in Kay, P., A. Edwards et M. Foulger (2009), « A review of the efficacy of contemporary agricultural stewardship measures for ameliorating water pollution problems of key concern to the UK water industry », *Agricultural Systems*, Vol. 99, n 2/3.

Ces résultats mettent en évidence la nécessité de modifier la manière dont des zones tampons enherbées sont implantées le long des cours d'eau canalisés de tête de bassin. Il semblerait intéressant de combiner l'utilisation de ces zones tampons à des pratiques de gestion des zones de montagne, à la création de zones humides ripariennes, et/ou à des pratiques favorisant les habitats ripicoles qui soient capables de remédier à la dégradation physico-chimique des habitats dans les cours d'eau agricoles canalisés de tête de bassin. L'étude souligne les risques inhérents aux approches fragmentaires par rapport à une gestion intégrée des bassins versants.

### Notes

1. L'étude indique que sur 56 % du territoire de l'UE, il existe un degré variable de menaces potentielles, l'exploitation intensive des sols étant considérée comme la principale pression sur la biodiversité des sols. Plus précisément, en utilisant les informations du Centre européen de données sur les sols (ESDAC) et d'autres bases de données européennes, l'étude est arrivée à la conclusion que 1 % des terres de l'UE étaient exposées à des menaces « extrêmement élevées », 4 % à des menaces « très élevées » et 9 % à des menaces « élevées ». L'agriculture intensive, fondée sur la charge en azote, est pointée comme étant la menace la plus grave, suivie de l'appauvrissement en carbone organique, des espèces envahissantes, du tassement, de l'érosion et de la contamination. Les pressions potentielles ont été jugées particulièrement fortes au Royaume-Uni et en Europe centrale en raison du degré élevé d'intensivité de l'agriculture conjugué au nombre important d'espèces envahissantes et à un risque accru de perte de carbone organique.
2. Par ailleurs, certaines des trois composantes de l'agriculture de conservation ont été adoptées plus souvent, en particulier les techniques culturales simplifiées, mais sans être associées aux deux autres composantes (Friedrich, Derpsch et Kassam, 2014).
3. De nombreux travaux, tant théoriques et qu'empiriques, ont été publiés sur l'adoption des pratiques et techniques agricoles. Parmi les analyses récentes portant sur l'adoption de pratiques de conservation, citons Pannell, et al. 2006, Prokopy et al., 2008 ; Gedikoglou et McCann, 2010.
4. Voir : [www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/financial/ama/](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/financial/ama/)
5. Par exemple, Ciriacy-Wantrup a étudié en 1947 la rentabilité financière des pratiques de conservation.
6. D'après Pittelkow et al. (2015), les rendements baissent le plus lorsque le non-travail du sol est appliqué seul (-9.9 %) ou avec un seul autre principe de l'agriculture de conservation (-5.2 et -6.2% pour le maintien des résidus de récolte et la rotation des cultures, respectivement).
7. En moyenne, les effets individuels du maintien des résidus de récolte et de la rotation des cultures réduisent les impacts négatifs du non-travail du sol de 4.8 % et 3.8 %, respectivement. Toutefois, sous les climats secs, ces principes ont chacun une incidence beaucoup plus importante sur les rendements des cultures pluviales, réduisant les pertes de rendement de 10 % et 11 %, respectivement.
8. Une étude expérimentale détaillée utilisant des modèles mathématiques afin d'analyser les effets des pratiques de culture sur les variables du bilan hydrique en Californie (États-Unis) a conclu que les pratiques de culture n'avaient pas d'impact sensible sur la teneur en eau du sol ; en revanche, la rotation des cultures et la variabilité spatiale des sols influent fortement sur la répartition des ressources en eau et leur disponibilité dans le système souterrain (Islam et al. 2006).

### *Bibliographie*

- Affholder, F., D. Jourdain, D. Quang, T. Tuong, M. Morize et A. Ricome (2010), « Constraints to farmers' adoption of direct-seeding mulch-based cropping systems: A farm scale modeling approach applied to the mountainous slopes of Vietnam », *Agricultural Systems*, vol. 103.
- Al-Kaisi, M.M. et X. Yin (2004), « Stepwise time response of corn yield and economic return to no tillage », *Soil Tillage Research*, vol. 78, pp. 91-101.
- Alvarez, R. et H.S. Steinbach (2009), « A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas », *Soil and Tillage Research*, vol. 104, n° 1, pp. 1-15.
- Anderson, G. (2009), *The Impact of tillage practices and crop residue (stubble) retention in the cropping system of Western Australia*, Bulletin Number 4786, Western Australian Government.
- Armstrong, R.D., G. Millar, N. Halpin, D. Reid et J. Standley (2003), « Using zero tillage, fertilisers and legume rotations to maintain productivity and soil fertility in opportunity cropping systems on a shallow vertosol », *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 43, n° 2, pp. 141-53.
- Arora, K., S.K. Mickelson et J.L. Baker (2003), « Effectiveness of vegetated buffer strips in reducing pesticide transport in simulated runoff », *Transactions of the ASAE*, vol. 46, n° 3, pp. 635-44.
- Bailey, K.L. (1996), « Diseases under conservation tillage systems », *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 76, n° 4.
- Baker, J., T. Ochsner, R. Venterea et T. Griffin (2007), « Tillage and soil carbon sequestration—What do we really know? », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 118, pp. 1-5.
- Barbier, E.B. (1990), « The Farm-Level Economics of Soil Conservation: The Uplands of Java », *Land Economics*, vol. 66, n° 2, pp. 199-211.
- Bayer, C., J. Gomes, F. Vieira, J. Zanatta, M. De Cássia Piccolo et J. Dieckow (2012), « Methane emission from soil under long-term no-till cropping systems », *Soil and Tillage Research*, vol. 124, pp. 1-7.
- Bellotti, B. et J. Rochecoste (2014), « The development of conservation agriculture in Australia – Farmers as innovators », *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 2, n° 1.
- Berck, P., S. Robinson et G. Goldman (1991), « The use of computable general equilibrium models to assess water policies », dans A. Dinar et D. Zilberman (dir. pub.), *The Economics and Management of Water and Drainage in Agriculture*, pp. 489-509, Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Blanco-Canqui, H. et R. Lal (2008), « No-tillage and soil-profile carbon sequestration: An on-farm assessment », *Soil Science Society of America Journal*, vol. 72, n° 3.
- Blevins, R.L., G.W. Thomas, M.S. Smith, W.W. Frye et P.L. Cornelius (1983), « Changes in soil properties after 10 years of continuous no-tilled and conventionally tilled corn », *Soil and Tillage Research*, vol. 3, pp. 135-46.
- Bloomer, D. et J. Powrie (2011), « Precision agriculture: Doing the right thing in the right place at the right time », dans D. Bloomer et J. Powrie (dir. pub.), *A Guide to Smart Farming*, Landwise, Feilding, Nouvelle-Zélande.

- Boddey, R.M., C.P. Jantalia, B. Alves et S. Urquiaga (2010), « Comments on 'No-tillage and soil-profile carbon sequestration: An on-farm assessment' », *Soil Science Society of America Journal*, vol. 73, n° 2.
- Branson, M. (2011), « Using conservation agriculture to improve water use efficiency in wheat crops on the Branson farm in South Australia », 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference - Resilient Food Systems for a Changing World, Brisbane.
- Brouder, S. et H. Gomez-Macpherson (2014), « The impact of conservation agriculture on smallholder agricultural yields: A scoping review of the evidence », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 187, n° 1.
- Burt, C. et B. O'Neill (2007), « Drip and furrow on processing tomato-field performance », 28th Annual Irrigation Association, Technical Conference, San Diego, CA, 9 décembre.
- Butler, G. (dir. pub.) (2008), *Conservation Agriculture: Moving Beyond Adoption*, SANTFA, Clare, South Australia.
- Chan, K.Y., D. Heenan et H.B. So (2003), « Sequestration of carbon and changes in soil quality under conservation tillage on light-textured soils in Australia: A review », *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 43, n° 4.
- Ciriacy-Wantrup, S.V. (1947), « Capital returns to soil conservation practices », *Journal of Farm Economics*, vol. 29, n° 4, pp. 1.181-96.
- Commission des Communautés européennes (2006), « Proposition de Directive du Parlement européen et du Conseil définissant un cadre pour la protection des sols et modifiant la directive 2004/35/CE (présentée par la Commission) », COM(2006) 232 final.
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) (2009), *Identification of Areas within Australia with the Potential to Enhance Soil Carbon Content*, by J. Baldock, M. Grundy, P. Wilson, D. Jacquier, T. Griffin, G. Chapman, J. Hall, D. Machmet, D. Crawford, J. Hill et J. Kidd, CSIRO.
- Corsi, S., T. Friedrich, A. Kassam, M. Pisante et J. de Moraes Sà (2012), « Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture: A literature review », *Integrated Crop Management*, vol. 16, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.
- D'Emden, F.H., R.S. Llewellyn et M.P. Burton (2008), « Factors influencing adoption of conservation tillage in Australian cropping regions », *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, vol. 52, n° 2, pp. 169-82.
- Das, R. et S. Bauer (2012), « Bio-economic analysis of soil conservation technologies in the mid-hill region of Nepal », *Soil and Tillage Research*, vol. 121, pp. 38-48.
- de Vita, P., E. di Paolo, G. Fecondo, N. di Fonzo et M. Pisante (2007), « No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy », *Soil and Tillage Research*, vol. 92, n° 1-2.
- Dendooven, L., L. Patiño-Zúñiga, N. Verhulst, M. Luna-Guido, R. Marsch et B. Govaerts (2012b), « Global warming potential of agricultural systems with contrasting tillage and residue management in the central highlands of Mexico », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 152, n° 50-58.
- Dendooven, L., V. Gutiérrez-Oliva, L. Patiño-Zúñiga, D. Ramírez-Villanueva, N. Verhulst, M. Luna-Guido, R. Marsch, J. Montes-Molina, A. Gutiérrez-Miceli, S. Vásquez-Murrieta et B. Govaerts (2012a), « Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico », *Science of the Total Environment*, vol. 31, pp. 237-44.
- Dumanski, J. et R. Peiretti (2013), « Modern concepts of soil conservation », *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 1, n° 1.

- Eaton, D. (1996), « The economics of soil erosion: a model of farm decision-making », Environmental Economics Programme, Pennsylvania State University, *Discussion Paper* DP 96-01.
- Ebel, R. (2012), « Soil management and conservation », in C. Osteen, J. Gottlieb et U. Vasavada (dir. pub.), « Agricultural resources and environmental indicators, 2012 edition », U.S. Department of Agriculture (USDA), Economic Research Service (ERS), *Economic Information Bulletin*, n° 98, Washington, D.C.
- Erenstein, O. et V. Laxmi (2008), « Zero tillage impacts in India's rice-wheat systems: a review », *Soil and Tillage Research*, vol. 100, n° 1-2.
- Eve, M., M. Sperow, K. Howerton, K. Paustian et R. Follett (2002), « Predicted impact of management changes on soil carbon storage for each cropland region of the coterminous United States, » *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 57.
- FAO (2011), *Save and Grow: A Policymaker's Guide to the Sustainable Intensification of Smallholder Crop Production*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, [www.fao.org/3/a-i2215e.pdf](http://www.fao.org/3/a-i2215e.pdf).
- FAO (2001), *The Economics of Conservation Agriculture*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, [www.fao.org/docrep/004/y2781e/y2781e04.htm#P5\\_763](http://www.fao.org/docrep/004/y2781e/y2781e04.htm#P5_763).
- Farooq, M., K. Flower, K. Jabran, A. Wahid et K. Siddique (2011), « Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture », *Soil Tillage Research*, vol. 11.
- Foley, J. et al. (2010), « Solutions for a cultivated planet », *Nature*, vol. 478, pp. 337-42, <http://doi:10.1038/nature10452>.
- Fox, G., A. Weersink, G. Sarwar S. Duff et B. Deen (1991), « Comparative economics of alternative agricultural production systems: a review », *Northeast Journal of Agricultural Resource Economics*, vol. 20, n° 1.
- Franzluebbers, A.J. (2009), « Comments on 'No-tillage and soil-profile carbon sequestration: an on-farm assessment' », *Soil Science Society of America Journal*, vol. 73, n° 2.
- Fuss, R., B. Ruth, R. Schilling, H. Scherb et J. Munch (2011), « Pulse emissions of N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> from an arable field depending on fertilization and tillage practice », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 144, pp. 61-68.
- Galbally, I., M. Meyer, S. Bently, I. Weeks, R. Leuning, K. Kelly, F. Phillips, F. Barker-Reid, W. Gates, R. Baigent, R. Eckard et P. Grace (2005), « A study of environmental and management drivers of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gas emissions in Australian agro-ecosystems », dans E.A. Van Amstel (dir. pub.), *Non-CO<sub>2</sub> Green-house Gases: Science, Control, Policy and Implementation: Proceedings of the 4th International Symposium on Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases*, Millpress, pp. 47-55.
- Gardi, C., S. Jeffery et A. Salteli (2013), « An estimate of potential threat levels to soil biodiversity in the EU », *Global Change Biology*, vol. 19, <http://doi:10.1111/gcb.12159>.
- Gedikoglu, H. et L. McCann (2010), « What causes farmers to adopt agricultural and conservation technologies and how can we use that knowledge to improve policies, programs and technologies? », dans T.L. Napier (dir. pub.), *Human Dimensions of Soil and Water Conservation: A Global Perspective*, Hauppauge, Nova Science Publishers, Inc., New York.
- Gedikoglu, H., L. McCann et G. Artz (2011), « Off-farm employment effects on adoption of nutrient management practices », *Agricultural and Resource Economics Review*, vol. 40, n° 2.
- Giller, E., E. Witter, M. Corbeels et P. Tittonell (2009), « Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view », *Field Crops Research*, vol. 114.
- Govaerts, B., N. Verhulst, A. Castellanos-Navarrete, K. Sayre, J. Dixon et L. Dendooven (2009), « Conservation agriculture and soil carbon sequestration: between myth and farmer reality », *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 28, n° 3.



- Gruhn, P., F. Goletti et M. Yudelman (2000), *Integrated Nutrient Management, Soil Fertility, and Sustainable Agriculture: Current Issues and Future Challenges*, International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Hassall, G. (2010), *The Implication of Greenhouse Mitigation Policies on the Demand for Agricultural land - Research Report*, Australian Farm Institute, Surry Hills, Australie.
- He, J., N. Kuhn, X.M. Zhang, X.R. Zhang et H. Li (2009), « Effects of 10 years of conservation tillage on soil properties and productivity in the farming-pastoral ecotone of Inner Mongolia, China », *Soil Use and Management*, vol. 25, n° 2, pp. 201–09, <http://doi:10.1111/j.1475-2743.2009.00210.x>.
- Hiitsch, B. (2011), « Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production », *European Journal of Agronomy*, vol. 14, pp. 237-260.
- Hobbs, P., K. Sayre et R. Gupta (2008), « The role of conservation agriculture in sustainable agriculture », *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 363, pp. 543-55, series B, Biological Sciences.
- Hobbs, P.R. et R.K. Gupta (2004), « Problems and challenges of no-till farming for the rice-wheat systems of the Indo-Gangetic Plains in South Asia », dans R. Lal, P. Hobbs, N. Uphoff et D.O. Hansen (dir. pub.), *Sustainable Agriculture and the Rice-wheat System*, Paper 6, pp. 101-19, Marcel Dekker, Inc.
- Horowitz, J., R. Ebel et K. Ueda (2010), « 'No-till' farming is a growing practice », USDA, ERS, *Economic Information Bulletin*, n° 70, Washington, D.C.
- Huggins, D. et J. Reganold (2008), « No-till: The quiet revolution », *Scientific American*, vol. 299, n° 1.
- Islam, N., W. Wallender, J. Mitchell, S. Wicks et R. Howitt (2006), « A comprehensive experimental study with mathematical modelling to investigate the effects of cropping practices on water balance variables », *Agricultural Water Management*, vol. 82.
- Jaleta, M., M. Kassie et B. Shiferaw (2012), « Tradeoffs in crop residue utilization in mixed crop-livestock systems and implications for conservation agriculture and sustainable land management », communication destinée à la triennale de l'Association internationale des économistes agronomiques (AIEA), Foz do Iguacu, Brésil, 18-24 août, <http://ageconsearch.umn.edu/handle/126282>.
- Jansen, H.G.P., J. Pender, A. Damon, W. Wielemaker et R. Schipper (2006), « Policies for sustainable development in the hillside areas of Honduras: A quantitative livelihoods approach », *Agricultural Economics*, vol. 34, n° 2.
- Kassam, A. (2014), « Overview of the Global Spread of Conservation Agriculture », *Field Actions Science Reports*, vol. 7, <http://factsreports.revues.org/3720>.
- Kassam, A., R. Derpsch et T. Friedrich (2014), « Global achievements in soil and water conservation: The case of Conservation Agriculture », *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 2, n° 1.
- Kassam, A., T. Friedrich, T. Shaxon et J. Pretty (2009), « The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake », *International Journal of Agriculture Sustainability*, vol. 7, pp. 292-320.
- Kassam, A., T. Friedrich, T. Shaxson, T. Reeves, J. Pretty et J. de Moraes Sà (2011), « Production systems for sustainable intensification: Integrated productivity with ecosystem services », *Technikfolgenabschätzung-Theorie und Praxis*, vol. 2, pp. 39-45.
- Kay, P., A. Edwards et M. Foulger (2009), « A review of the efficacy of contemporary agricultural stewardship measures for ameliorating water pollution problems of key concern to the UK water industry », *Agricultural Systems*, vol. 99, n° 2-3.
- Kirby, G., V. Hristova et S. Murti (1996), « Conservation tillage and ley farming in the semi-arid tropics of Northern Australia: Some economic aspects », *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 36, n° 8.
- Knowler D. et B. Bradshaw (2007), « Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research », *Food Policy*, vol. 32, pp. 25-48.



- Lahmar, R. (2010), « Adoption of conservation agriculture in Europe: Lessons of the KASSA project », *Land Use Policy*, vol. 27, n° 1, pp. 4-10.
- Lal, R. (2004), « Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security », *Science*, vol. 304, pp. 1 623-27.
- Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett et C.V. Cole (1998), *The Potential of U.S. Croplands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*, Ann Arbor Press, Ann Arbor, Michigan.
- Lee, D.R., C.B. Barrett et J.G. McPeak (2006), « Policy, technology, and management strategies for achieving sustainable agricultural intensification », *Agricultural Economics*, vol. 34, pp. 123-27.
- Li, H., H. Gao, H. Wu, W. Li, X. Wang et J. He (2007), « Effects of 15 years of conservation tillage on soil structure and productivity of wheat cultivation in northern China », *Soil Research*, vol. 45, n° 5, pp. 344-50, <http://doi:10.1071/SR07003>.
- Li, Y.X., J.N. Tullberg et D.M. Freebairn (2007), « Wheel traffic and tillage effects on runoff and crop yield », *Soil and Tillage Research*, vol. 97, n° 2.
- Lindwall, C. et B. Sonntag (dir. pub.) (2010), *Landscape Transformed: The History of Conservation Tillage and Direct Seeding, Knowledge Impact in Society*, Saskatoon, University of Saskatchewan, Canada.
- Liu, D.L., K.Y. Chan et M. Conyers (2009), « Simulation of soil organic carbon under different tillage and stubble management practices using the Rothamsted carbon model », *Soil and Tillage Research*, vol. 104.
- Llewellyn, R., F. Demden et D. Gobbett (2009), *Adoption of No-till and Conservation Farming Practices in Australian Grain Growing Regions: Current Status and Trends*, CSIRO, Glen Osmond SA.
- Loke, P.F., E. Kotzé et C.C. DuPreez (2012), « Changes in soil organic matter indices following 32 years of different wheat production management practices in semi-arid South Africa », *Nutrient Cycle Agroecosystems*, vol. 94, pp. 97-109, <http://doi:10.1007/s10705-012-9529-6>.
- Lubowski, R., S. Bucholtz, R. Claassen, M. Roberts, J. Cooper, A. Gueorguieva and R. Johansson (2006), *Environmental Effects of Agricultural Land-Use Change The Role of Economics and Policy*, USDA, Economic Research Service (ERS), Economic Research Report Number 25, [www.ers.usda.gov/media/469928/err25\\_1\\_.pdf](http://www.ers.usda.gov/media/469928/err25_1_.pdf).
- Luo, Z.K., E.L. Wang et O.J. Sun (2010), « Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis », *Geoderma*, vol. 155, n° 3-4.
- Malinda, D.K. (1995), « Factors in conservation farming that reduce erosion », *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 35, n° 7.
- McConnell, K.E. (1983), « An economic model of soil conservation », *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 65, n° 1.
- Minnesota Department of Agriculture (2012), « Definitions and information on conservation tillage practices », [www.mda.state.mn.us/home.aspx](http://www.mda.state.mn.us/home.aspx).
- Moser, C.M. et C.B. Barrett (2003), « The disappointing adoption dynamics of a yield-increasing, low external-input technology: The case of SRI in Madagascar », *Agricultural Systems*, vol. 76, n° 3.
- Moss, B. (2008), « Water pollution by agriculture », *Philosophical Transactions of the Royal Society, Londres, Series B*, n° 363, pp. 659-66, <http://doi:10.1098/rstb.2007.2176>.
- Moussa-Machraoui, S., F. Errouissi, M. Ben-Hammouda et S. Nouira (2010), « Comparative effects of conventional and no-tillage management on some soil properties under Mediterranean semi-arid conditions in northwestern Tunisia », *Soil and Tillage Research*, vol. 106, n° 2.
- Mueller, D., R. Klemme et T. Daniel (1985), Short- and long-term cost comparisons of conventional and conservation tillage systems in corn production », *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 40, n°5.

- Neill, S.P. et D.R. Lee (2001), « Explaining the adoption and dis-adoption of sustainable agriculture: The case of cover crops in Northern Honduras », *Economic Development and Cultural Change*, vol. 49, n° 4.
- OCDE (2015), *Les périls du tarissement : Vers une utilisation durable des eaux souterraines en agriculture*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264248427-fr>
- OCDE (2012), *Qualité de l'eau et agriculture: Un défi pour les politiques publiques*, Études de l'OCDE sur l'eau, Éditions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264121119-fr>
- OCDE (2010), *OECD Review of Agricultural Policies: Israel 2010*, Éditions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264079397-en>
- OCDE (2009), *Farmland Conversion: The spatial dimension of agricultural and land-use policies*, Éditions OCDE, Paris, [www.oecd.org/agriculture/44535648.pdf](http://www.oecd.org/agriculture/44535648.pdf)
- OCDE (2006), *Water and Agriculture: Sustainability, Markets and Policies*, Éditions OCDE, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264022577-en>
- Palm, C., H. Blanco-Canqui, F. DeClerck, L. Gatere et P. Grace (2014), « Conservation agriculture and ecosystem services: An overview », *Ecosystems and Environment*, vol. 187, n° 1.
- Pannell, D., R. Llewellyn et M. Corbeels (2014), « The farm-level economics of conservation agriculture for resource-poor farmers », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 187.
- Pannell, D., G. Marshall, N. Barr, A. Curtis, F. Vanclay et R. Wilkinson (2006), « Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders », *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 46, n° 11.
- Pannell, D. (1995), « Economic aspects of legume management and legume research in dryland farming systems of southern Australia », *Agricultural Systems*, vol. 49, n° 3.
- Paul, B., B. Vanlauwe, F. Ayuke, A. Gassner, M. Hoogmoed, T. Hurisso, S. Koala, D. Lelei, T. Ndabamenye, J. Six et M. Pulleman (2013), « Medium-term impact of tillage and residue management on soil aggregate stability, soil carbon, and crop productivity », *Agriculture Ecosystems and Environment*, vol. 164.
- Perry, C., P. Stedut, P. Allen et C. Burt (2009), « Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities », *Agricultural Water Management*, vol. 96, n° 11.
- Pincus, M.N. et C. Moseley (2013), « The economic and employment impacts of forest and watershed restoration », *Restoration Ecology*, published on-line, vol. 21, n° 2.
- Pink, B. (2009), *Land Management and Farming in Australia 2007-08*, Australian Government, Hobart, Tasmanie.
- Pittelkow, C., X. Liang, B. Linqvist, K. Groenigen, J. Lee, M. Lundy, N. Gestel, J. Six, R. Venterea et C. Kessel (2015), « Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture », *Nature*, vol. 517.
- Powelson, D., C. Stirling, M. Jat, B. Gerard, C. Palm, P. Sanchez and K. Cassman (2014), « Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation », *Nature Climate Change*, vol. 4, août.
- Pretty J., C. Toulmin et S. Williams (2011), « Sustainable intensification in African agriculture », *International Journal of Agricultural Sustainability*, vol. 9, n° 1.
- Pretty, J. (2008), « Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence », *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, Series B, *Biological Sciences*, vol. 363, n° 1 491.
- Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) (2012), *Year Book 2012: Emerging Issues in our Global Environment*, Nairobi, Kenya, [www.unep.org/yearbook/2012](http://www.unep.org/yearbook/2012).

- Prokopy, L., K. Floress, D. Klotthor-Weinkauff et A. Baumgart-Getz (2008), « Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature », *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 3, n° 5.
- Reicosky, D. (2003), « Tillage-induced CO<sub>2</sub> emissions and carbon sequestration: Effect of secondary tillage and compaction », dans L. Garcia-Torres, J. Benites, A. Martinez-Vilela et A. Holgado-Cabrera (dir. pub.), *Conservation Agriculture*, Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, Pays-Bas.
- Rowlings, D., P. Grace, C. Scheer et R. Kiese (2013), « Influence of nitrogen fertiliser application and timing on greenhouse gas emissions from a lychee (*Litchi chi-nensis*) orchard in humid subtropical Australia », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 179, pp. 168-178.
- Rusinamhodzi, L., M. Corbeels, M. van Wijk, M. Rufino, J. Nyamangara et K. Giller (2011), « A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions », *Agronomy Sustainable Development*, vol. 31.
- Sanderman, J., R. Farquharson et J. Baldock (2010), *Soil Carbon Sequestration Potential: A Review for Australian Agriculture*, CSIRO Land and Water, Canberra.
- Scott, B.J., P.L. Eberbach, J. Evans et L.J. Wade (2010), *Stubble Retention in Cropping Systems in Southern Australia: Benefits and Challenges*, EH Graham Centre Monograph 1, Industry & Investment NSW, Orange.
- Shi, Q., X. Deng, F. Wu, J. Zhan et L. Xu (2012), « Best management practices for agricultural non-point source pollution control using PLOAD in Wuliangshuai watershed », *Journal of Food, Agriculture and Environment*, vol. 10, n° 2.
- Siebert, S. et P. Döll (2010), « Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation », *Journal of Hydrology*, vol. 384, n° 3-4.
- Silburn, D.M., D.M. Freebairn et D.J. Rattray (2007), « Tillage and the environment in sub-tropical Australia - Tradeoffs and challenges », *Soil and Tillage Research*, vol. 97, n° 2.
- Smiley, P.C., K. King et N. Fausey (2011), « Influence of herbaceous riparian buffers on physical habitat, water chemistry, and stream communities within channelized agricultural headwater streams », *Ecological Engineering*, vol. 37, n° 9.
- Smith, K., D. Watts, T. Way, H. Torbert et S. Prior (2012), « Impact of tillage and fertilizer application method on gas emissions in a corn cropping system », *Pedosphere*, vol. 22, pp. 604-15.
- Snyder, C., T. Bruulsema, T. Jensen et P. Fixen (2009), « Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effect », *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 133, pp. 247-66.
- Soil Association (2006), *Organic Works*, Soil Association UK, Bristol.
- Stevenson, R., R. Serraj et K. Cassman (2014), « Evaluating conservation agriculture for small-scale farmers in sub-Saharan Africa and South Asia », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 187.
- Texas Water Development Board (non daté), « Agricultural water conservation practices », Texas Water Development Board, Austin, Texas, [www.hcmud82.com/water\\_conservation/Ag%20Water%20Conservation.pdf](http://www.hcmud82.com/water_conservation/Ag%20Water%20Conservation.pdf).
- Thierfelder, C., M. Mwila et L. Rusinamhodzi (2013), « Conservation agriculture in eastern and southern provinces of Zambia: Long-term effects on soil quality and maize productivity », *Soil Tillage Research*, vol. 126, pp. 246-58.
- Thomas, G.A., G.W. Titmarsh, D.M. Freebairn et B.J. Radford (2007), « No-tillage and conservation farming practices in grain growing areas of Queensland - A review of 40 years of development », *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 47, n° 8.

- Tullberg, J. (2009), « CTF and climate change », paper presented to 6th Australian Controlled Traffic Farming Conference, Dubbo, Nouvelles-Galles du Sud, 12-14 août 2008, [www.actfa.net/further\\_reading/documents/Tullberg.Jeff.pdf](http://www.actfa.net/further_reading/documents/Tullberg.Jeff.pdf).
- Tullberg, J.N., D.F. Yule et D. McGarry (2007), « Controlled traffic farming - From research to adoption in Australia », *Soil and Tillage Research*, vol. 97, n° 2.
- Turner, N.C. et S. Asseng (2005), « Productivity, sustainability, and rainfall-use efficiency in Australian rainfed Mediterranean agricultural systems », *Australian Journal of Agricultural Research*, vol. 56, n°11.
- US Environmental Protection Agency (USEPA) (1993), « Guidance specifying management measures for sources of non-point pollution in coastal waters », USEPA, Office of Water, Washington, D.C., janvier, [www.epa.gov/OWOW/NPS/MMGI/Chapter2/index.html](http://www.epa.gov/OWOW/NPS/MMGI/Chapter2/index.html).
- Uri, N. (2000), « An evaluation of the economic benefits and costs of conservation tillage », *Environmental Geology*, vol. 39, n° 3-4.
- Uri, N. (1999), « Energy and the use of conservation tillage in U.S. agriculture », *Energy Sources*, vol. 21, n°8.
- Uri, N. (1997), « Conservation tillage and input use », *Environmental Geology*, vol. 29, n° 3-4.
- Vagen, T., R. Lal et B. Singh (2005), « Soil carbon sequestration in Sub-Saharan Africa: A review », *Land Degradation & Development*, vol. 16, n° 1.
- Van den Puttea, A., G. Goversa, J. Dielsa, K. Gillijnsb et M. Demuzerea (2010), « Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture », *European Journal of Agronomy*, vol. 33, n° 3.
- VandenBygaart, A.J., E.G. Gregorich et D.A. Angers (2003), « Influence of agricultural management on soil organic carbon: A compendium and assessment of Canadian studies », *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 83.
- Vanloqueren, G. et P.V. Baret (2009), « How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agro-ecological innovations », *Research Policy*, vol. 38.
- Verhulst, N., I. Francois et B. Govaerts (2012), « Conservation agriculture and soil carbon sequestration: Between myth and farmer reality », *Critical Reviews in Plant Science*, vol. 28, n° 3, <http://dx.doi.org/10.1080/07352680902776358>.
- Wang, E.L., L. Zhongkui et C.J. Smith (2010), « Potential change of soil carbon in Australia agro-ecosystems as affected by conservation management: Data synthesis and modelling », communication présentée au 19e Congrès mondial de la science du sol, « Soil Solutions for a Changing World », Brisbane.
- Warda, F. et M. Pulido-Velazquez (2008), « Water conservation in irrigation can increase water use », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 105, n° 47, pp. 18.
- Watson, S., E. Segarra, R. Lascano, K. Bronson et A.M. Schubert (2005), « Guidelines for recommending Precision Agriculture in southern crops », *Journal of Extension*, vol. 43, n° 2, Article n° 2RIB7, [www.joe.org/joe/2005april/rb7p.shtml](http://www.joe.org/joe/2005april/rb7p.shtml).
- West, T. et G. Marland (2002), « A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States », *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 91, n° 1-3.
- West, T. et W. Post (2002), « Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation », *Soil Science Society of America Journal*, vol. 66, pp. 1930-46.

Wollni, M., D. Lee et J. Thies (2010), « Conservation agriculture, organic marketing, and collective action in the Honduran hillsides », *Agricultural Economics*, vol. 41, n° 3-4.

World Bank (1996), “A Concept Paper and Action Plan for Natural Resource Degradation in Sub-Saharan Africa: Restoration of Soil Fertility”, *Internal Report*, World Bank, Washington, D.C.

## Annexe 2A

## Adoption de l'agriculture de conservation

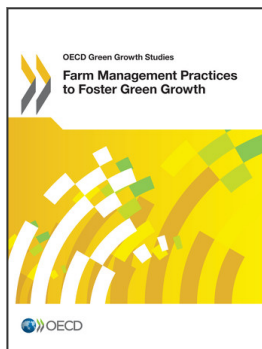
Tableau 2A.1. Niveaux d'adoption de l'agriculture de conservation, année la plus récente

|                                   | Total<br>( <sup>'000</sup> ha) | En % de la<br>surface cultivée (%) |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| <b>Pays membres de l'OCDE</b>     |                                |                                    |
| Australie                         | 17 695                         | 36.1                               |
| Canada                            | 18 313                         | 36.3                               |
| Nouvelle-Zélande                  | 162                            | 27.9                               |
| États-Unis                        | 35 613                         | 22.9                               |
| Chili                             | 180                            | 13.5                               |
| Finlande                          | 200                            | 7.1                                |
| Espagne                           | 792                            | 5.2                                |
| Suisse                            | 17                             | 4.0                                |
| Royaume-Uni                       | 150                            | 2.4                                |
| Portugal                          | 32                             | 2.9                                |
| France                            | 200                            | 1.1                                |
| Italie                            | 380                            | 1.1                                |
| République slovaque               | 35                             | 0.7                                |
| Mexique                           | 41                             | 0.2                                |
| Hongrie                           | 5                              | 0.2                                |
| Allemagne                         | 200                            | n.d.                               |
| Irlande                           | 0.2                            | 0.0                                |
| Pays-Bas                          | 0.5                            | 0.0                                |
| <b>Pays non membres de l'OCDE</b> |                                |                                    |
| Argentine                         | 29 181                         | 68.7                               |
| Paraguay                          | 3 000                          | 54.4                               |
| Uruguay                           | 1 072                          | 37.3                               |
| Brésil                            | 31 811                         | 43.8                               |
| Bolivie                           | 706                            | 18.4                               |
| Kazakhstan                        | 2 000                          | 7.9                                |
| Zambie                            | 200                            | 5.3                                |
| Russie                            | 4 500                          | 3.8                                |
| Colombie                          | 127                            | 8.0                                |
| Afrique du sud                    | 368                            | 3.0                                |
| Mozambique                        | 152                            | 2.7                                |
| Chine                             | 6 670                          | 2.9                                |
| Ukraine                           | 7 100                          | 1.8                                |
| Monde                             | 157 434                        | 10.9                               |

n.d. non disponible

Source : FAO, base de données AQUASTAT, site Internet consulté le 2 juillet 2015.





Extrait de :

## Farm Management Practices to Foster Green Growth

Accéder à cette publication :

<https://doi.org/10.1787/9789264238657-en>

### Merci de citer ce chapitre comme suit :

OCDE (2016), « Rôle de la conservation des sols et de l'eau dans la transition vers une croissance verte », dans *Farm Management Practices to Foster Green Growth*, Éditions OCDE, Paris.

DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264252721-4-fr>

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les arguments exprimés ici ne reflètent pas nécessairement les vues officielles des pays membres de l'OCDE.

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

Vous êtes autorisés à copier, télécharger ou imprimer du contenu OCDE pour votre utilisation personnelle. Vous pouvez inclure des extraits des publications, des bases de données et produits multimédia de l'OCDE dans vos documents, présentations, blogs, sites Internet et matériel d'enseignement, sous réserve de faire mention de la source OCDE et du copyright. Les demandes pour usage public ou commercial ou de traduction devront être adressées à [rights@oecd.org](mailto:rights@oecd.org). Les demandes d'autorisation de photocopier une partie de ce contenu à des fins publiques ou commerciales peuvent être obtenues auprès du Copyright Clearance Center (CCC) [info@copyright.com](mailto:info@copyright.com) ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) [contact@cfcopies.com](mailto:contact@cfcopies.com).