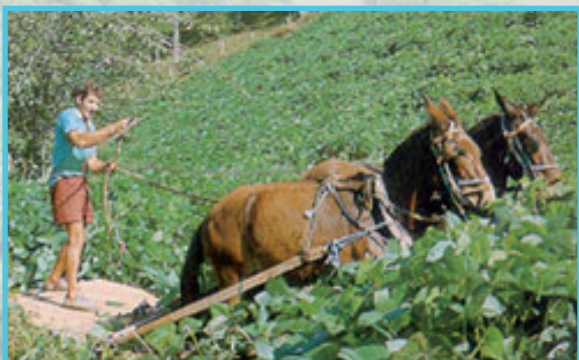


HOMMES TERRE & EAUX

Revue Marocaine des Sciences et Techniques du Développement Rural
N° ISSN 037339554

Numéro Spécial : Agriculture de conservation



1 - INTRODUCTION

Les questions relatives à l'agriculture durable, l'environnement et l'utilisation des ressources naturelles occupent une place de premier plan dans les actions politiques des gouvernements et des organisations internationales. Par conséquent, le défi fondamental auquel se trouve l'agriculture est de produire en quantité suffisante des produits alimentaires de façons efficaces, rentables et sûres afin de satisfaire une demande mondiale croissante sans dégrader les ressources naturelles, la biodiversité et l'environnement. Le « Millenium Ecosystem Assesment » montre qu'à partir du moment que le cycle des nutriments dans le sol n'est pas respecté, que la formation de sols est restreinte et que les services écologiques que la société demande ne sont pas permis (c'est-à-dire l'alimentation, l'énergie, les matériaux), il y aura des dérèglements écologiques associés à une mauvaise qualité de vie et de l'environnement.

Le travail du sol permet d'exploiter le stock initial de carbone en accélérant la minéralisation de la matière organique. Cette altération de la matière organique conduit à une spirale de dégradation de l'environnement : Perte d'activité biologique (dégradation de la biodiversité), altération de la fertilité chimique naturelle du sol, perte de la stabilité structurale (compaction et consommation d'énergie et de puissance), érosion et par conséquent des pertes de la ressource sol et désertification. Sous l'angle de la durabilité, l'agriculture conventionnelle est soumise à d'énormes interrogations et les indicateurs agro-environnementaux ainsi que socio-économiques montrent que cette agriculture doit changer de paradigmes. A terme, l'agriculture conventionnelle va à contresens avec le besoin de produire plus et durablement. Par contre, l'agriculture de conservation permet de concilier production agricole, amélioration des conditions de vie et protection de l'environnement.

2 - PRINCIPES DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION

L'agriculture de conservation (AC) vise des systèmes agricoles durables et rentables et tend à améliorer les conditions de vie des exploitants au travers de la mise en œuvre simultanée de trois principes à l'échelle de la parcelle : le travail minimal du sol ; les associations

et les rotations culturales et la couverture permanente du sol. L'AC ne peut produire les résultats escomptés que si tous les aspects techniques concernés sont pris en compte de façon simultanée et intégrée.

L'agriculture de conservation se réfère à plusieurs pratiques de gestion des sols altérant au minimum sa composition, sa structure et sa biodiversité naturelle et le préservant de l'érosion et de la dégradation. Cela implique le semis direct, les techniques culturales simplifiées, la non-incorporation des résidus de cultures et les couverts végétaux en sylviculture (de végétation spontanée ou par le semis d'espèces appropriées). Généralement, avec l'agriculture de conservation, le sol est mieux protégé de l'érosion due aux précipitations et au ruissellement de l'eau. Les agrégats du sol, la matière organique et le niveau de fertilité augmentent naturellement. Il y a aussi moins de contamination des eaux de surface. Les émissions de CO₂ dans l'atmosphère sont réduites et la biodiversité augmente.

Protégé par l'ensemble des plantes de la rotation, non perturbé par les outils agraires, le sol développe sa capacité d'infiltration et de filtration de l'eau augmentant sa résistance au ruissellement et diminuant ainsi sa sensibilité à l'érosion. Cette approche permet de limiter fortement la pollution de l'eau.

La mise en place des principes de l'AC et principalement la couverture permanente du sol par la rotation et les résidus de récoltes permet de nourrir l'activité biologique des sols, il s'agit d'en protéger les habitats par une réduction progressive du travail du sol, avec pour règle de base de ne jamais retourner les horizons. Cette évolution vers une baisse de l'intensité et de la profondeur du travail du sol associée à la baisse de la fréquence du trafic sur les parcelles va permettre la réorganisation naturelle du sol cultivé, sur le modèle de la prairie. L'activité biologique non perturbée va prendre progressivement le relais des interventions mécaniques, en complétant l'organisation et la structuration du sol par les racines. Le sol va ainsi pouvoir retrouver une architecture mieux développée, ce qui aidera au développement des racines. En d'autres termes, l'AC permet de simultanément préserver l'intégrité physique du sol et conserver, enrichir et développer la fertilité chimique et biologique de la terre.

1- Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italie;

2- Reading University, UK; 3 - Institut National de la Recherche Agronomique, Rabat, Maroc

4- Theodor.Friedrich@fao.org

La restitution intégrale des résidus de récolte à la surface du sol permet de préserver les habitats biologiques et par conséquent d'alimenter l'activité biologique du sol et de limiter les risques environnementaux (nitrates particulièrement mais également transferts de toutes sortes, érosion, ruissellement ...). Ainsi, la spirale inversée de dégradation de l'environnement peut se construire pour permettre une zone de surface fertile et stable voire résiliente aux aléas climatiques et anthropiques.

En renonçant à tout travail du sol, les processus biologiques bénéficient de nouvelles conditions. Les résidus de récolte ne sont plus incorporés mécaniquement mais restent en quantité à la surface, du moins dans un premier temps. Sous AC, l'agriculteur devra intégrer le carbone dans son management, gérer de la matière organique, la produire pour rendre tous les services à la société. La première étape qu'il ne faut pas manquer c'est le retour du carbone de la biomasse au sol pour nourrir l'activité biologique, entité de recyclage, de façon à construire, protéger et réduire les problèmes environnementaux.

Pour éviter la multiplication d'agents pathogènes, une décomposition rapide de cette matière organique est nécessaire. La décomposition est alors prise en charge par la communauté microbienne active dans le sol. Le semis direct est donc particulièrement dépendant d'une biologie active du sol. Cette décomposition rapide en semis direct permet éventuellement de diminuer l'impact de phytopathogènes comme les fusarioses. Avec les années, il se peut que la flore microbienne évolue et s'enrichisse en antagonistes des fusarioses. En tout cas, l'impact des pathogènes peut être réduit par le recours systématique au semis direct.

En supprimant le travail du sol et par conséquent l'enfouissement des résidus de récolte et des parties aériennes des adventices, il y a une accumulation en surface du carbone organique par rapport au travail du sol classique. Le semis direct réduit la minéralisation de la matière organique de l'ancienne couche travaillée. Ceci peut être expliqué par les nouvelles conditions édaphiques (température, humidité et aération) qui se développent sous semis direct pour le fonctionnement des populations microbiennes. En effet, l'augmentation en matière organique provoque une amélioration de la biomasse microbienne à la surface du sol. Ces améliorations biologiques et biochimiques du sol affectent très positivement la structure du sol qui devient très bien agrégée. L'enrichissement en azote, en phosphore et autres éléments nutritifs est une autre conséquence qu'induit l'adoption de l'AC. On observe logiquement une concentration plus élevée des teneurs du sol en phosphore et en potasse sur les premiers centimètres du sol. La concentration des éléments en surface s'accompagne d'une diminution relative en profondeur. Cette réparti-

tion différente ne joue pas sur la disponibilité.

Le paillis ou biomasse sèche en surface constitue le moteur biologique essentiel du semis direct en améliorant les propriétés des trois phases du sol (matrice, air et eau), en plus de la partie biologique. C'est à travers ces améliorations que les systèmes de culture en AC deviennent durables.

Le semis direct préserve l'environnement en réduisant les pertes de sol et des éléments nutritifs et l'entraînement des produits de traitements et en améliorant la qualité de l'eau et de l'air. L'AC est le moyen privilégié pour lutter contre l'érosion hydrique et éolienne. En effet, la couverture en résidus végétaux contrôle les pertes en eau par ruissellement et par le vent. L'AC réduit l'érosion (hydrique et éolienne) au niveau de la parcelle, de l'exploitation et du bassin versant et valorise les aménagements habituels de conservation des sols alors que le travail du sol avec des engins à disques érode le sol et réduit le stock en matières organiques. L'AC permet une prévention de la pollution des nappes phréatiques, des cours d'eau et des barrages par rétention des nitrates et des pesticides et par diminution de la charge solide des ruissellements.

L'enracinement des cultures, le ressuyage et la portance des sols sont améliorés par le développement des galeries de vers de terre qui perforent le sol de part en part, galeries qui ont un caractère permanent grâce au non-travail du sol. Ils ont donc un rôle important sur l'incorporation des résidus de culture et la circulation de l'eau et de l'air dans le sol.

En arrêtant les travaux du sol, le sol est transformé en un réservoir de carbone et par conséquent l'AC contribue à l'atténuation des gaz à effet de serre. Sous AC, il y a une reconversion du processus de dégradation accélérée par le travail du sol vers une reconstitution de la qualité des ressources sol, eau, air et biodiversité.

Les microorganismes constituent la part la plus importante de la biomasse vivante, loin devant les vers de terre et très loin devant tous les autres animaux présents sur et dans le sol (microarthropodes, larves...) et l'ensemble de la faune présente dans une parcelle en AC. Ils ont un pouvoir de multiplication et de colonisation phénoménal si les conditions sont favorables. Ils constituent l'essentiel de la biodiversité et sont responsables en grande partie du bon fonctionnement du sol : décomposition des résidus végétaux, humification, minéralisation, nitrification, biodégradation, agrégation des sols etc. L'Agriculture de conservation est qualifiée de système écologique ou doublement vert.

L'agriculture de conservation trouve ses origines dans la remise en cause des pratiques agronomiques conventionnelles exigeantes en énergie et conduisant à la dé-

gradation de la fertilité et la biodiversité des sols. C'est une voie de restauration écologique basée en grande partie sur l'auto-réparation éco-systémique des sols qui ont été dégradés, endommagés ou détruits, en respectant leur santé, leur intégrité et leur gestion durable. Les trois principes piliers de l'AC (donc du semis direct) sont :

- a) Réduisant au minimum la perturbation de sol par le labour et ainsi assurant un semis direct à travers un paillis de résidus et un sol non remanié.
- b) Le maintien de la matière organique durant toute l'année à travers l'implantation des cultures de couverture et la restitution des résidus de récoltes. Un sol vivant n'est jamais retourné ou mélangé. Les sols vivants naturels ont d'excellentes aptitudes agronomiques : porteurs sans être compactés, sans battance, facilement explorés par les racines, très peu sensibles à l'érosion, riches en matière organique, ils retiennent bien l'eau et l'engrais.
- c) En diversifiant les rotations et les séquences des cultures qui doivent être adaptées aux conditions environnementales locales et incluant légumineuses alimentaires fixatrices d'azote; de telles rotations contribuent au maintien de la biodiversité dans le sol et à la restauration de la fertilité chimique et biologique

du système de sol et aident à éviter l'accumulation de populations de pathogènes et parasites. L'important est d'alterner les familles de plantes : crucifères (colza), graminées (blé, maïs), légumineuses (pois, fèverole, vesce, luzerne) et astéracés (tournesol). Cette alternance réduit les pressions parasitaires, chaque plante va aussi apporter un effet particulier sur les sols (azote avec légumineuse, structuration avec maïs) permettant de maintenir et d'améliorer les qualités agronomiques du sol.

Les sols vivants se distinguent de ceux exploités en agriculture conventionnelle par leur très intense activité biologique. Bactéries en tous genres, champignons variés, insectes divers, mollusques, vers de terre de multiples espèces, y pullulent et s'y activent au profit des cultures. Les vers de terre y assurent la fonction de travail du sol à la place des charrues et autres outils de travail profond. Il en résulte un sol bien structuré, aéré, très portant, filtrant et d'une plus grande réserve utile en eau. Les racines des cultures se développent facilement et en profondeur, en profitant dans les innombrables galeries. Le effets des composantes de l'AC sont décrit dans le tableau 1 (Friedrich et al., 2009).

Tableau 1 : Effets simultanés des composantes de l'AC sur la qualité du sol (Friedrich et al., 2009)

Composante AC ► A réaliser ▼	COUVERT VEGETALE (résidus de récoltes, couvertures, engrais verts)	NON LABOUR (Semis direct et simplifié)	LEGU- MINEUSES	ROTATION
Simuler les conditions naturelles des forêts	✓	✓		
Réduire les pertes par évaporation des couches superficielles du sol	✓	✓		
Minimiser l'oxydation de la matière organique du sol et les pertes en CO₂		✓		
Minimiser la compaction	✓			
Minimiser la fluctuation thermique à la surface du sol	✓			
Fournir de façon régulière la matière organique comme substrat pour l'activité des organismes de sol.	✓			
Améliorer et maintenir les niveaux d'azote dans la zone racinaire	✓	✓	✓	✓
Augmenter CEC de la zone racinaire	✓	✓	✓	✓

Maximiser les capacités d'infiltration et réduire les ruissellements	✓	✓		
Minimiser les pertes en sols et sédiments (eau et vent)	✓	✓		
Maintenir l'état de structure du sol par l'action biologique	✓	✓		
Réduire l'infestation par les mauvaises herbes	✓	✓		✓
Augmenter la production de biomasse	✓	✓	✓	✓
Améliorer la reconstitution de la porosité du sol par la biodiversité	✓	✓	✓	✓
Réduire les besoins en main d'œuvre		✓		
Réduire la consommation en carburant		✓		
Recycler les éléments nutritifs	✓	✓	✓	✓
Réduire la pression des pathogènes et parasites				✓
Reconstruire les sols endommagés et les redynamiser.	✓	✓	✓	✓

3 - TERMES ET DÉFINITIONS

En agriculture et agronomie, le travail du sol est réalisé par une série de façons culturales réalisées à l'aide d'instruments aratoires et destinées à créer dans le sol un milieu favorable au développement des plantes cultivées. Elles peuvent être exécutées avant la mise en place d'une culture, ou pendant son développement. La manière de travailler le sol a un impact à moyen et long terme très important sur sa biodiversité et ses qualités agronomiques.

Le système conventionnel est caractérisé par un labour entre deux cultures, créant un lit de semences avec les opérations de labour secondaire. En général, le nombre d'opérations de travail du sol doit être ramené à un minimum afin de garder de l'énergie et du temps et pour empêcher une détérioration structurelle. Le calendrier cultural des opérations est capital pour profiter au mieux des conditions de consistance optimale du sol et de la maniabilité. Si des tracteurs sont disponibles, les opérations de labour primaire peuvent être effectuées dans des conditions de sol sec, bien qu'un labour secondaire intensif soit nécessaire. Un labour profond en sol dur et sec consomme énormément d'énergie mais augmente apparemment les rendements culturaux dans les régions sèches.

Les termes de 'non travail du sol', travail du sol limité, travail du sol minimum, travail du sol approprié, travail du sol de conservation ou techniques simplifiées sont juste quelques expressions utilisées pour définir différents systèmes de travail du sol. Ces systèmes sont

placés sur une échelle entre les extrêmes comme 'non travail du sol' et travail du sol conventionnel. Rappelons que l'utilisation ou le choix d'un système particulier dépend du sol, du climat et de considérations socio-économiques

L'agriculture conventionnelle est une agriculture occidentale moderne qui a recours à une mécanisation poussée ainsi qu'aux pesticides et engrais chimiques. C'est l'agriculture qui est la plus répandue à travers le monde et la méthode la plus ancienne, se divisant en plusieurs catégories. Le travail conventionnel du sol est une pratique ancestrale, dont un des buts premiers est de créer un environnement (lit de semences) favorable à la germination des graines et au développement des racines. Le labour laisse moins de 15 % des résidus de culture en surface après l'implantation de la culture suivante.

L'agriculture conventionnelle basée sur le travail du sol est la combinaison de plusieurs opérations culturales, combinaison qui peut varier en fonction du type de culture et de son précédent cultural, de la nature et de l'état du sol et du climat. De ce point de vue, on peut distinguer:

- les labours (primaires et secondaires) :
 - les labours légers, de 10 à 15 cm, réalisés notamment pour la reprise de labours au printemps,
 - les labours moyens, de 15 à 30 cm, les plus répandus, notamment pour la culture des céréales,
 - les labours profonds, de 30 à 40 cm, pour des

cultures à enracinement profond (betterave, luzernes, etc.),

- au-delà de 40 cm, des labours de défoncement ou sous solage, sont réalisés notamment pour permettre la mise en culture de nouvelles terres ou pour préparer la plantation de vergers.

- les pseudo-labours:

- superficiel (5-8 cm de profondeur avec des outils à disques ou à dents),

- moyen (cultivateur à 10-15 cm),

- profond (25-30 cm avec un chisel ou un décompacteur).

- les façons superficielles :

- avant labour : le déchaumage,

- après labour, pour la préparation des terres : hersage, roulage,

- pour l'entretien des cultures : binage, buttage.

Techniques culturales simplifiées (TCS) : C'est un ensemble de techniques culturales qui recouvrent un grand nombre de pratiques agricoles et mettent en œuvre des outils très divers. Le dénominateur commun est la suppression du labour. Le travail superficiel du sol se caractérise par une profondeur de travail de 5 à 10 cm. Les résidus de culture sont mélangés à une faible quantité de terre ce qui nécessite de prendre un certain nombre de précautions.

Travail du sol de conservation (Techniques de conservation des sols) : lorsque les opérations de manipulation du sol laissent en surface plus de 30 % des résidus de la culture précédente. Ces techniques couvrent une large gamme d'opérations allant du semis direct au travail du sol réduit sans retournement de la couche de sol avec un outil à dents ou à disques.

Agriculture écologiquement intensive est un ensemble de techniques culturales destinées à maintenir le potentiel agronomique des sols, tout en conservant une production régulière et performante au plan technique et économique. Elle recherche une meilleure rentabilité économique à long terme en améliorant les propriétés agronomiques du sol et en limitant les intrants. Elle emploie largement les OGM, les engrais et les produits phytosanitaires, tout en permettant de réduire les doses de ces intrants coûteux.

Strip-till ou Vertical tillage : Cette technique consiste à préparer et fissurer les lignes de semis des cultures en rangs. Les Strip-tillers sont constitués de plusieurs lames ou outils montés sur un bâti et adaptés à un type de sol ou de culture : lames fissuratrices, rouleaux concaves pour accélérer le réchauffement du sol, roues en V ou

roues à doigts, disques lisses ou crénelés.

Agriculture sans labour (ASL) vise à préserver, améliorer et utiliser plus efficacement les ressources naturelles grâce à une gestion intégrée des ressources en sols et en eau, des ressources biologiques disponibles et d'intrants extérieurs. Elle contribue à la conservation de l'environnement ainsi qu'à une production agricole plus élevée et durable. On peut également la considérer simplement comme une agriculture utilisant les ressources de manière efficace et rationnelle. Les micro-organismes et la faune du sol remplissent la fonction de travail de la terre et d'équilibrage des éléments nutritifs du sol. Le labour mécanique perturbe ce processus. L'absence de labour ou un labour minimum ainsi que le semis direct sont donc des composantes importantes de l'ASL.

Semis direct : le sol reste non perturbé de la récolte à la plantation, excepté pour l'apport d'éléments nutritifs. La plantation ou le semis a lieu dans un étroit lit de semences ou sillon créé par des coutres, socs sarclours, disques d'ouverture, chisel ou cultivateur rotatif. Le contrôle des adventices est principalement effectué par des herbicides ayant peu d'incidence sur l'environnement. Une pratique culturale peut servir à contrôler en urgence les adventices. Cette stratégie est la meilleure option pour les cultures annuelles. C'est la forme extrême de réduction du travail du sol.

Billonnage : le sol reste non perturbé de la récolte à la plantation, excepté pour l'apport des éléments nutritifs. La plantation a lieu dans un lit de semences préparé sur des billons avec des socs bineurs, des disques d'ouverture, des coutres, ou des socs sarclours. Les résidus sont laissés en surface entre les billons. Le contrôle des adventices est effectué par des herbicides et/ou des pratiques culturales. Les billons sont rehaussés au cours de la saison de culture.

Culture sur paillis : le sol est travaillé avant le semis. Des outils de labour – chisel, cultivateur, disques, socs bineurs ou lames – sont utilisés. Le contrôle des adventices est effectué par des herbicides et/ou des pratiques culturales. Lors du travail du sol sans retournement, le sol est travaillé (mais pas retourné) juste après la récolte pour incorporer partiellement les résidus de récolte et favoriser la germination des graines d'adventices qui couvriront le sol pendant la période entre les deux cultures. Ces mauvaises herbes sont détruites par la suite à l'aide d'un moyen chimique (en utilisant des herbicides) et incorporées lors du semis, en un seul passage, avec un semoir sans retournement.

Cultures de couverture : semis d'espèces adaptées, ou utilisation de la végétation spontanée, entre les lignes d'arbres, ou pendant la période entre deux cultures annuelles successives, comme mesure pour empêcher l'érosion du sol et contrôler les mauvaises herbes. La

gestion des cultures de couverture utilise généralement des herbicides avec des incidences minimales sur l'environnement.

Agricoltura Blu est synonyme de l'agriculture de conservation. C'est un terme proposé par l'association italienne d'agronomie et de conservation des sols (<http://www.aigacos.it/>).

Semis direct sur couverture végétale permanente (SCV) ou agro-écologie: Des systèmes de culture attractifs, rentables, protecteurs de l'environnement et durables ont été créés pour être vulgarisés à grande échelle. Dans ces systèmes, le sol n'est jamais travaillé et une couverture morte ou vivante est maintenue en permanence. Les pailles proviennent des résidus de cultures, de cultures intercalaires ou de cultures dérobées utilisées comme « pompes biologiques ». Ces plantes ont des systèmes racinaires puissants et profonds et peuvent recycler les nutriments des horizons profonds vers la surface, où ils peuvent être utilisés par les cultures principales. Ils produisent aussi rapidement une importante biomasse et peuvent se développer en conditions difficiles comme durant les saisons sèches, sur des sols compactés, et sous une forte pression des adventices. SCV ont été développés par CIRAD.

Agroforesterie: C'est l'intégration des arbres et de la sylviculture dans l'agriculture et le paysage rural. En d'autres termes, c'est une activité associant sur les mêmes parcelles une vocation mixte de production agricole annuelle (cultures, pâture) et de production différée à long terme par les arbres (bois, services). Elle présente de multiples avantages en termes de productivité et d'écologie. En effet, ce mode de culture présente des avantages sur le plan agricole, forestier, environnemental et paysager. Elle profite en effet de la complémentarité des arbres et des cultures pour mieux valoriser les ressources du milieu. Sur le plan agricole, cette pratique permet non seulement de diversifier les activités des exploitants agricoles mais aussi d'augmenter la productivité et la rentabilité des terres. Sur le plan forestier, cette pratique favorise la croissance en diamètre des arbres par un large espacement et améliore la qualité du produit. Les cultures ou leurs associations peuvent être sous AC pour une meilleure préservation des ressources naturelles et une productivité plus durable (<http://www.agroforesterie.fr/definition-agroforesterie.pdf>).

Culture itinérante, agriculture sur brûlis ou agriculture rotationnelle: Système de culture dans lequel on défriche un champ, on le cultive quelques années, puis on l'abandonne à la jachère. La culture itinérante est un système performant, mais qui exige de grandes surfaces de jachère non cultivée. Récemment, on parle d'agriculture pionnière en forêt. Il y a récemment un intérêt, surtout en Afrique, à croiser AC et culture itinérante en remplaçant « défriche-brûlis » par « défriche-paillis ».

RÉFÉRENCE:

Friedrich, T., Kassam, A.H. and Shaxson, F. (2009) Conservation Agriculture. In: Agriculture for Developing Countries. Science and Technology Options Assessment (STOA) project. European Technology Assessment Group, Karlsruhe, Germany.

AGRICULTURE DE CONSERVATION DANS LE MONDE: DÉFIS ET ÉVOLUTIONS

Friedrich¹⁻⁴ T., Kassam² A. et Mrabet³ R.

1 - INTRODUCTION

L'agriculture conventionnelle basée sur le travail du sol intensif est accusée de la dégradation des ressources naturelles. Elle est à l'origine des problèmes d'érosion des terres, de la pollution des eaux souterraines et de surface et la désertification, en plus des émissions de dioxyde de carbone vers l'atmosphère par oxydation de la matière organique. Une nouvelle ère doit débiter, tournée vers l'écologie et la durabilité des systèmes agricoles. L'émergence de formes durables d'agriculture valorisant l'usage des processus écologiques, tout en répondant aux exigences et contraintes des agriculteurs et de la société pose des défis de plusieurs ordres. En effet, l'introduction de l'Agriculture de Conservation (AC) induit de profonds changements dans le fonctionnement de l'agro-système de nature à améliorer la valorisation des processus écologiques correspondants : régulations biologiques, facilitation entre espèces, contrôle des maladies et ravageurs, recyclages des éléments minéraux, etc. Elle peut contribuer à augmenter la productivité physique des systèmes de culture et leur rentabilité, mais aussi fournir de nombreux services écologiques comme la conservation des sols et de la biodiversité, la séquestration du carbone, la production de biomasse végétale et le contrôle de certaines pollutions.

2 - HISTOIRE, DÉVELOPPEMENT ET PERTINENCE DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION DANS LES PAYS EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT

L'agriculture de conservation promet différents bénéfices agronomiques et écologiques, à différentes échelles, locale, régionale et mondiale, aussi bien pour l'agriculteur que la société. Elle cible une agriculture durable moins mécanisée et plus écologique nécessitant une nouvelle mentalité. L'importance de l'agriculture de conservation réside dans son potentiel à améliorer la qualité des ressources naturelles: sol, eau et atmosphère, tout en générant des gains plus importants et plus stables en terme de rentabilité et de production agricole. Le semis direct est l'une des plus grandes révolutions de ce siècle en matière de technologie agricole. La pratique

du système de semis direct s'est développée, d'abord aux États Unis, après une longue phase expérimentale. Ces nouveaux systèmes connaissent un développement considérable dans d'autres pays du monde, essentiellement sur le continent américain.

L'émergence de l'agriculture de conservation remonte à 1930 lorsque les grandes plaines des USA ont été soumises à une intense érosion éolienne induite par l'agriculture mécanique et qui a causé des dégâts considérables. Certes, les érosions hydrique et éolienne constituent les principaux facteurs de dégradation des sols à travers le monde qui est accentuée par la gestion inappropriée des terres, notamment les opérations de labour ainsi que par la pression démographique. Toutefois, l'adoption et l'extension de cette technologie n'ont pu se développer qu'après la découverte des herbicides au début des années 1960.

L'expérience américaine a eu un très grand impact, d'abord auprès des agriculteurs du pays-même, puis à l'extérieur. Les techniques mises au point aux États-Unis vont se diffuser dans d'autres pays de la zone tempérée comme le Canada, et gagner les pays de la zone tropicale (notamment le Brésil, l'Argentine, le Chili, le Paraguay, et l'Uruguay). En effet, c'est à partir des États Unis que les nouvelles techniques de semis direct ont été connues au Maroc. Ces nouveaux systèmes d'exploitation du milieu ont alors connu un développement considérable dans d'autres pays, particulièrement l'Australie. Depuis, le semis direct sur couverture végétale sous ses formes modernes se diffuse à travers le monde, soit de façon spontanée, soit sous l'égide de la recherche-développement, avec des succès très variables selon les contextes.

Depuis 1960, la surface concernée par l'agriculture de conservation dans le monde n'a cessé de progresser continuellement, particulièrement depuis les deux dernières décennies. En effet, celle-ci qui ne représentait que 2,83 millions ha en 1973/74, est estimée à environ 95,48 millions ha en 2004/05. En 2009, la superficie mondiale sous semis direct a atteint 105 million ha pour être 125 millions d'hectares en 2011. Les systèmes de semis direct constituent une solution urgente dans le cas des sols exposés à l'érosion hydrique et éolienne, ou le

1 - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italie;

2- Reading University, UK; 3 Institut National de la Recherche Agronomique, Rabat, Maroc

4 - Theodor.Friedrich@fao.org

calendrier des opérations de labour est difficile à exécuter, ou les performances des cultures est insuffisante, ou les coûts énergétiques sont très élevés. En effet, c'est à partir des Etats Unis que les nouvelles techniques de semis direct ont été connues au Maroc.

3 - GLOBALISATION DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION

A l'échelle mondiale, il y a actuellement un retour vers la simplification des techniques culturales pour remédier à la dégradation des sols et maintenir leur évolution naturelle. Cependant, la répartition de ces superficies en agriculture de conservation varie considérablement selon les pays (Tableau 1) voire les continents (Tableau 2). En effet, l'Amérique de sud s'accapare 45 % de la superficie mondiale concernée par le semis direct, dominée essentiellement par le Brésil (25,502 Mha) et l'Argentine (25,553 Mha).

L'Amérique du Nord et l'Australie connaissent une évolution rapide des superficies en agriculture de conservation (Tableau 2). Le reste est réparti entre l'Europe, l'Afrique et l'Asie. Il est important de noter le cas du Brésil et de l'Argentine où l'agriculture ne bénéficie pas de subventions agricoles étatiques, la superficie convertie en semis direct est passée de quelques milliers d'hectares en 1992 à plus de 25 millions d'hectares en 2011. A titre indicatif, par rapport au total des terres cultivées et selon les statistiques de la FAO, 2011 le semis direct occupe près de 45 % des terres cultivées au Brésil, 50 % en Argentine, 60 % au Paraguay et 20% aux USA. En réalité, aucun autre système depuis l'ère de l'agriculture moderne et intensive, n'a été capable de conquérir un espace aussi considérable en si peu de temps.

Tableau 1. Extension de l'Agriculture de conservation dans le Monde (pays avec > 100,000 ha)

Pays	SAC area in 1000 (ha)
Etat Unis d'Amérique	26,500.00
Argentine	25,553.00
Brésil	25,502.00
Australie	17,000.00
Canada	13,481.00
Russie	4,500.00
Chine	3,100.00
Paraguay	2,400.00
Kazakhstan	1,600.00
Bolivie	706.00
Uruguay	655.10

Espagne	650.00
Ukraine	600.00
Afrique du Sud	368.00
Venezuela	300.00
France	200.00
Zambie	200.00
Chili	180.00
Nouvelle Zélande	162.00
Finlande	160.00
Mozambique	152.00
Grande Bretagne	150.00
Zimbabwe	139.30
Colombie	127.00
Autres	409.44
Total	124,794.84

Tableau 2. Superficie en Agriculture de Conservation par continent

Continent	Superficie (hectare)	Pourcentage
Amérique Latine	55,464,100	45
Amérique du Nord	39,981,000	32
Australie & Nouvelle Zélande	17,162,000	14
Asie	4,723,000	4
Russie & Ukraine	5,100,000	3
Europe	1,351,900	1
Afrique	1,012,840	1
Total	124,794,840	100

L'adoption du semis direct sur plus de 125 millions d'hectare montre la grande adaptabilité du système dans différents climats et diverses conditions des sols et des systèmes de cultures à travers le monde. Il est actuellement pratiqué depuis les régions extrêmement pluvieuses avec 2500 mm/an jusqu'aux régions les plus arides avec 250 mm/an.

Le secret de l'adaptation de l'AC et particulièrement du semis direct à tant de milieux ambiants est qu'elle permet l'optimisation de plusieurs facteurs simultanément à savoir le temps, l'usage des intrants, la main d'œuvre et l'énergie et en même d'imiter et de respecter l'environnement.

5- CONCLUSION

Selon les tableaux 1 à 3, on peut conclure: 1) L'AC est en extension exponentielle à travers le monde et dans des écologies diversifiées, 2) L'AC est adaptée à la plupart des cultures et espèces végétales et 3) La diversité des climats et des sols où est développé l'AC montre qu'il ne semble pas y avoir de limite technique à une extension de ce système en Afrique du Nord.

RÉFÉRENCE

FAO 2011: CA adoption world wide, <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html> in <http://www.fao.org/ag/ca>, FAO, Rome

Il est donc clair, que le semis direct est adapté et développé pour beaucoup de conditions socio-économiques et agro-climatiques sur les cinq continents, avec plus de succès encore dans des pays en voie de développement et dans les secteurs très dégradés des pays en voie de développement et développés. Il existe un énorme potentiel pour l'utilisation du semis direct comme technologie de conservation des sols en Europe, mais aussi et surtout, en Afrique et Asie où ce mode de gestion conservatoire de la ressource sol constitue une garantie de lutte durable contre la pauvreté. Ces enjeux sont de plus en plus défendus par des organismes internationaux et régionaux de recherche et de développement.

4- AGRICULTURE DE CONSERVATION EN AFRIQUE DU NORD : DÉFIS DE LA DIFFUSION

Le développement de l'AC à l'échelle africaine est encore mitigé notamment en Afrique du Nord où le semis direct a émergé particulièrement au Maroc (4.000 ha) et en Tunisie (près de 8.000 ha). L'agriculture de conservation se développe au cours des dernières années en Syrie et Liban (Tableau 3). En effet, comparativement au Maroc (30 ans de recherche sur le semis direct) et à la Tunisie (9-10 années de recherche) où ce système a été testé et où les superficies réservées à ce système ne cessent de s'accroître, l'Algérie, n'a démarré des études sur le système du semis direct que depuis 5 années.

Tableau 3. Adoption de l'AC en Afrique du Nord et le Moyen Orient

Country	Superficies en AC (1,000 ha)
Liban	1.20
Maroc	4.00
Syrie	18.00
Tunisie	8.00
Total	31.20

Au niveau nord-africain, le transfert de cette technologie se heurte cependant, à un obstacle majeur qui est le pâturage et l'exportation de paille. Le bétail revêt une grande importance au sein de l'exploitation, et sa maintenance dépend de la paille produite par le système. Mais ce dilemme, entre l'exportation de paille pour les besoins de l'exploitation et le maintien de résidus en surface du sol, ne doit pas masquer les avantages du système de semis direct. La solution réside dans la performance de ce système à produire suffisamment de biomasse pour satisfaire et les besoins de l'exploitation en paille et la demande en résidus pour couvrir le sol, permettant ainsi l'amélioration de la qualité du sol.

John Ashburner ¹, Brian Sims ² et Josef Kienzle ³

1- INITIATIVES PRÉLIMINAIRES (JUSQU'À L'ANNÉE 1989)

Les efforts à développer des pratiques de production agricole plus durables et plus adaptées à la conservation de l'environnement ont commencé il y a très longtemps en Afrique. En effet il faut rappeler que l'agriculture même fut développée au sud de l'Afrique quand pour la première fois des semences ont été ramassés et puis semés en vue de produire des cultures pour une consommation humaine. Egalement il est probable que la première charrue a été développée en Afrique où toujours elle continue d'être utilisée communément en Ethiopie et Erythrée et dans une moindre mesure au Maghreb. Cet outil – l'ard – (araire) permet de travailler le sol sans inversion (Figure 1).

Les premières études de pratiques de travail du sol et concernant les conditions optimales nécessaires pour encourager le développement durable des cultures sous les conditions Africaines peuvent être tracées à partir des années 1960. En même temps il y avait des efforts intensifs en vue d'introduire des méthodes de production agricole mécanisées à l'aide d'outils de labour tractés par des tracteurs. Mais bientôt on a commencé à comprendre les risques potentiels d'une telle approche. Le désastre de la plaine de poussière (Dust Bowl) aux Etats-Unis était toujours récent, dont l'utilisation incrimine des pratiques mal adaptées de travail du sol qui avaient conduit vers une perte massive du sol superficiel ainsi que des dégâts énormes sur l'environnement. En conséquence, les américains ont lancé des efforts en vue d'essayer de réduire l'intensité des opérations de labour du sol.

L'Institut International de l'Agriculture Tropicale (IITA) fut établi à Ibadan, Nigeria en 1967 où il a commencé des études approfondies concernant les effets sur l'environnement d'une couverture végétative sur le sol et des techniques de semis direct, la plupart des études étant conduites sous la direction de Ratan Lal. Au cours du développement des pratiques de conservation du sol en Afrique on avait noté les bénéfices de maintenir une couverture du sol, ce qui permet de stabiliser les fluctua-

tions de la température superficielle du sol au cours de la journée et du nuit, ainsi d'accorder une protection du sol contre l'érosion occasionnée par l'impact des gouttelettes énormes de la pluie et par l'écoulement de l'eau au cours des fortes tempêtes tropicales. Mais beaucoup des techniques de la conservation du sol proposées ont concerné des structures de terre coûteuses pour protéger les pentes, incluses des hauts billons et des diguettes de diversion. Ceux-ci n'ont pas reçu du monde rural l'écho nécessaire et très vite on s'est rendu compte que leur confection et entretien ne pouvaient être assurés qu'à travers une législation stricte (Hudson, 2004)⁴.

L'équipe de recherche de l'IITA a investigué également des techniques mécaniques d'injection des semences à travers les résidus végétales superficielles qu'ils ont suggéré comme facteur fondamental d'une production durable. Ils ont proposé le développement d'un semoir direct roulant (Rolling Punch Planter). L'opération était facile – on poussait l'appareil simplement devant l'opérateur – mais sa construction était très sophistiquée et coûteuse à fabriquer, ce qui le rendait inaccessible à la plupart des agriculteurs. Il est intéressant se rappeler que cet appareil ainsi que le semoir manuel d'injection (jab planter) (figure 2) ont été développés beaucoup plus avant au Royaume Unie (par George Banbury et puis, commercialement, par la compagnie Geest) mais les inventions n'avaient jamais reçu une acceptation significative de la part des agriculteurs. En effet, il fallait attendre plusieurs décades avant qu'un semoir direct manuel similaire (appelé localement un matraca) a trouvé une popularité avec les petits agriculteurs du Brésil où aujourd'hui, il existe au moins une compagnie commerciale qui a créé une entreprise viable pour la fabrication exclusive de cet appareil.

En 1978, le Centre International de Recherche en Agroforesterie (ICRAF) a été créé à Nairobi, Kenya, ce qui aujourd'hui est devenu le Centre Mondial de l'Agroforesterie. Le programme d'investigation de l'institut est ciblé sur un autre élément fondamental concerné par les techniques d'une production durable, notamment les bénéfices complémentaires que les cultures forestières peuvent contribuer aux systèmes agroforestiers.

1- *Expert FAO, oldlatino@yahoo.co.uk*

2- *Consultant FAO, Engineering for Development, BrianGSims@aol.com*

3- *AGP . FAO. Josef.Kienzle@fao.org*

4- *Norman W. Hudson (2004) Soil and water conservation in semi-arid areas. FAO Soils Bulletin No. 57. FAO, Rome 173p.*

L'approche du zéro labour (no-tillage) est devenue bien acceptée aux Etats-Unis à partir des années 1970 mais les systèmes ont été conçus pour une production agricole hautement mécanisée. En même temps des systèmes similaires ont trouvé une bonne acceptation au Royaume Uni dès que la disponibilité des herbicides plus efficaces pour le contrôle des adventices qui avaient multiplié principalement à cause de l'absence d'une inversion du sol. Un aspect crucial du système était que la pratique du zéro labour était effectuée en combinaison avec celui de brûler les résidus après la récolte- selon les agriculteurs pratiquants, cette pratique assurait un bon contrôle des maladies, des infestations et des adventices. Dès que interdiction du brûlis des résidus a été introduite en 1991, le système de zéro labour pratiquement a été abandonné au Royaume Uni – cependant le système tel adopté n'a jamais été conforme aux principes de l'agriculture de conservation (AC) tel qu'on accepte aujourd'hui, à cause du manque de respect du principe de retenir toujours une couverture de résidus végétaux.

Le système du zéro labour a été introduit au sud du Brésil pendant les années 1970 à travers les initiatives de quelques agriculteurs innovateurs (Herbert Bartz, entre autres) mais ultérieurement, fortement aidé par un appui de la part du Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)⁵ et de la Banque Mondiale. En 1990, le scénario était bien préparé en vue d'un lancement de l'approche dans d'autres pays en voie de développement.

2-TENTATIVES PRÉLIMINAIRES DE SYSTÈMES PLUS DURABLES DE PRODUCTION (LES ANNÉES 1990)

Les résultats des pratiques du zéro labour au Brésil étaient très positifs et la Banque Mondiale avait considéré que l'expérience méritait une publicité plus répandue. Donc, elle a lancé en 1998 le premier d'une série de six voyages d'études de deux semaines chacun dans les sites situés dans les états de Paraná et Santa Caterina, entre autres. Au moins une douzaine de participants africains a été invitée à chacun de ces voyages. Quelques projets ciblés directement sur les techniques de l'agriculture de conservation (AC) avaient déjà commencé en Afrique avant l'année 2000, financé par bon nombre d'agences internationales, la FAO et le GTZ inclus. Donc la Banque Mondiale avait décidé de ventiler une partie des résultats préliminaires à travers un voyage d'études sur le zéro labour et la gestion durable des sols en Afrique

(juin 2001)(figure 3). Malheureusement ceci est le seul voyage organisé de ce genre. Un total d'environ 60 participants de 13 pays a voyagé et visité des nombreux sites au Ghana, en Côte d'Ivoire et au Burkina Faso.

Une réunion internationale concernant la Gestion Durable des Sols à été organisée par la GTZ et la FAO à Harare, Zimbabwe en 1998 dont, entre autres, l'établissement du Réseau Africain de Gestion Durable des Sols (African Conservation Tillage Network – ACT) a été proposé. Le Réseau a été créé finalement en 2000 et ses activités discutées et planifiées pendant un atelier subséquent au mois d'octobre 2000 en Zambie. Le financement a été fourni initialement par le GTZ avec un appui de la FAO et récemment il est devenu une ONG qui s'active courageusement en Afrique de l'Ouest, de l'Est et du Sud⁶.

La FAO en collaboration avec l'IITA a organisé un stage de formation concernant la gestion et la conservation des sols à Ibadan, Nigeria en 1997 et un document contenant les différentes présentations du stage⁷ a été publié. Comme suivi de ce stage, la FAO a invité deux chercheurs brésiliens en l'Afrique au début de l'année 2000 pour rencontrer plusieurs chercheurs locaux pour enrichir leurs connaissances concernant la gestion durable des sols et pour montrer quelques appareils agricoles utilisés par les petits agriculteurs brésiliens. Les appareils finalement ont été présentés à des groupes de chercheurs et agents de développement en Tanzanie, en Ouganda et au Kenya.

Des pratiques mécanisées de semis direct ont été introduites au Zimbabwe dans les années 1990, ce qui a permis de développer autant de techniques manuelles par le pionnier Brian Oldrieve⁸. Le système concerne la création de trous (cuvettes) de semis (planting basins) (figure 4). Il est utilisé par des nombreux exploitants aujourd'hui au Zimbabwe et au Zambie et courageusement est en train d'être vulgarisé au Lesotho, Malawi et ailleurs à travers l'ONG Foundations for Farming, en autres. Le "Conservation Farming Unit" (CFU) au Zambie, une unité du Syndicat National des Agriculteurs est très active dans sa vulgarisation.

La terminologie en anglais "Conservation Farming" (CF) se réfère à cette méthodologie de l'utilisation des cuvettes (trous) de semis, ce qui diffère du système généralement connu comme l'Agriculture de Conservation (AC) – ou "Conservation Agriculture" (CA) en anglais. La nomenclature diverse utilisée en français également risque provoquer de la confusion. Mais surtout, le concept de l'AC concerne plus particulièrement la qu-

5-Now GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)

6- www.act-africa.org

7- FAO (2000) *Manual on integrated soil management and tillage practices* FAO Land and Water Bulletin No.8. FAO, Rome. 214p

8- Oldrieve B. *A farm management handbook*. Zimbabwe: Rio Tinto Foundation.

antité de la couverture organique qui dans une situation idéale doit être maintenue sur la superficie du sol, ainsi que le degré de perturbation de la structure du sol qui doit être considéré comme admissible. Mais l'objectif principal de la présente contribution ne concernant pas ces détails spécifiques, ils sont traités ailleurs dans cette même édition de HTE (cf. «Concepts et définitions», ainsi que «aspects agronomiques»).

Quelques agriculteurs pionniers de l'Afrique du Sud (figure 5) ont commencé d'adopter des pratiques mécanisées d'un zéro labour dans les années 1990, surtout dans la province de KwaZulu Natal – leur Club de Zéro Labour est toujours très actif⁹. Parmi ces pionniers il faut mentionner Antony Muirhead qui, dès qu'il a acheté un semoir direct en 1990, n'est jamais venu à regretter sa décision.

3- RENFORCEMENT DES INTERVENTIONS EN AFRIQUE (2000-2009)

La FAO avait commencé de réaliser une série de Projets de Coopération Technique (PCT) en Afrique à partir de l'année 2000, les premiers étant basés au Swaziland (figure 6), Erythrée et Kenya. Le GTZ a lancé un projet de cinq ans concernant la production agricole durable au Ghana en 2002 et bientôt la FAO a multiplié ses projets PCT en Afrique du Sud, Tanzanie, Lesotho et Mozambique (figure 7). Elle a commencé également une intervention moins formelle au Burkina Faso que a durée cinq années sur des sites d'agriculteurs dans le sud-ouest du pays.

Le *Regional Land Management Unit* (RELMA) financé par l'Agence Internationale de Développement Suédois (SIDA) a été très actif en Afrique de l'Est et a vulgarisé plusieurs des concepts de l'AC au cours de deux décennies jusqu'à l'année 2006. Ces travaux aujourd'hui ont été assimilés par le Centre Mondiale de l'Agroforesterie (ICRAF), basé à Nairobi, Kenya.

Le Centre International de recherche sur les cultures en zones tropicales semi-arides (ICRISAT) a créé une station de recherche au Niger dans les années 1980 et ceci est liée étroitement avec le projet SCAP décrit ci-dessous. Le Centre de coopération internationale sur la recherche agronomique pour le développement (CIRAD) a conduit de la recherche en Afrique depuis plusieurs années et a été particulièrement actif au cours de la dernière décennie au Cameroun, au Guinée et au Madagascar. En

9- <http://noteillclub.com>

10- IIRR and ACT (2005) *Conservation agriculture: A manual for farmers and extension workers in Africa*. International Institute of Rural Reconstruction, Nairobi; African Conservation Tillage Network, Nairobi. 251p.

11 - FAO (2011) *Save and Grow – A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production*. FAO, Rome 102p.

12- www.act-africa.org

2005, l'*International Centre for Improvement of Maize and Wheat* (CIMMYT) a placé une équipe de chercheurs au Zimbabwe, et peu après l'ICRISAT a nommé un chercheur pour travailler sur le même site.

Le premier Congrès Mondial de l'agriculture de conservation s'est tenu à Madrid en 2001 et jusqu'à aujourd'hui, quatre congrès ont été réalisés, le troisième s'est tenu à Nairobi, Kenya en 2005. Comme une partie des préparatifs pour ce 3^{ème} Congrès, un groupe d'environ 80 chercheurs et techniciens du terrain se sont rencontrés à Nairobi au mois de mai, 2005 pour participer à un atelier d'écriture (Writeshop) en vue de préparer les textes d'un manuel compréhensif de formation en techniques de l'agriculture de conservation¹⁰. En 2004, la FAO a lancé l'implémentation d'un projet financé par le gouvernement d'Allemagne sous le titre Conservation Agriculture - Sustainable Agriculture and Rural Development (CA-SARD). L'impact du projet a été ciblé plus au niveau régional au cours de sa deuxième phase (2007-2011) et ils ont initié des efforts renforcés en vue de promouvoir une coopération Sud Sud (figure 8) entre le Brésil et l'Afrique concernant la fabrication locale de matériel agricole pour l'agriculture de conservation.

4- CONSOLIDATION DE L'APPROCHE DE L'AC (DEPUIS L'ANNÉE 2010)

L'approche de l'agriculture de conservation est devenue plus largement acceptée depuis le début de la deuxième décennie du vingt-et-un siècle, dans le sens qu'elle permet d'améliorer le niveau de vie de la population rurale et en même temps, protéger l'environnement. Elle a été adoptée dans les plans de travail de la FAO, qui récemment a publié un document destiné aux décideurs de planification sous le titre "Save and Grow"¹¹.

L'ACT continue l'implémentation d'un projet régional, financé par le Fonds International de Développement Agricole (FIDA) et l'Agence Française de Développement (AFD) dans les zones de production pluviales en Afrique de l'Ouest. Le projet, sous le titre "Smallholder Conservation Agriculture Promotion" (SCAP) (figure 9), couvre le Burkina Faso, le Guinée et le Niger¹². Le Programme des Urgences de la FAO également a été très intéressé par l'agriculture de conservation et a commencé d'inclure des outils simples pour le semis direct et des programmes de formation encadrés dans leurs paquets technologiques d'appui aux affectés par

des désastres naturelles et des conflits civils. Maintenant ils ont établi un Comité Régional de l'Agriculture de Conservation en Afrique du sud et plusieurs des pays participants ont créé eux-mêmes leurs propres Comités Nationaux de l'AC.

Il existe une multiplication continue des ONG qui ont adopté les techniques de l'AC et par exemple, récemment l'ONG CARE International a nommé un coordinateur de l'AC a temps plein en Afrique.

Le bulletin électronique commencé par l'ACT ("ACT Now") a été récemment supprimé mais il a été remplacé par un bulletin trimestriel reproduit sur le site web de l'ACT. En plus, un forum très actif a été établi solidement par la FAO sous le titre "Conservation Agriculture Community of Practice (CA-CoP)"¹³. Le site de l'Internet de la FAO inclus également beaucoup de documentation et de l'information concernant l'AC et des données supplémentaires sont disponibles sur les sites du CIRAD et du Réseau de la Traction Animale en Afrique de l'Est et du Sud (ATNESA).¹⁴

Aujourd'hui nous avons déjà accru la connaissance nécessaire et développée les techniques appropriées de l'AC et de l'agroforesterie (figure 10) qui permettent de confronter la problématique difficile de comment améliorer la production et la productivité agricole d'une manière durable. Est-ce que nous sommes déjà à la porte d'entrée d'une Révolution Verte en Afrique, avec laquelle nous pourrions protéger nos sols et l'environnement pour nous enfants, en même temps en protégeant la biodiversité et en fournissant les aliments et la nourriture pour nos peuples et nos élevages?

Figure 1 : La charrue traditionnelle (ard, maresha ou araire) utilisée encore en Erythrée. (Photo : Brian Sims)



Figure 2: Un stage de formation concernant l'utilisation d'un semoir manuel d'injection brésilien au Swaziland (Photo : Telmo Amado).



Figure 3: Les participants du 1er Voyage d'études Africaine sur le semis direct visitent une site d'aménagement en "zaï" associés au paillage au Burkina Faso en 2001 (Photo : Yves-Coffi Prudencio).



13- To subscribe to the CA-CoP-L list, send an e-mail to Mailserv@mailserv.fao.org leaving the subject line blank and placing only the one-line message: 'SUBSCRIBE CA-CoP-L' in the message part without any further text such as a name, address, etc.

14- www.fao.org/ag/ca/ ; www.cirad.fr et www.atnesa.org

Figure 4a : Des trous (cuvettes) de semis prêts pour recevoir des semences et de l'engrais avant d'être couverts par du paillage au Zimbabwe (Photo: John Ashburner)



Figure 4b : Placement des semences dans des trous de semis au Lesotho. (Photo : Brian Sims)



Figure 5 : Un bon développement des racines dans un champ de culture du soja préparé en semis direct mécanisé en Afrique du Sud (Photo : John Ashburner)



Figure 6 : Une association de maïs et niébé en semis direct au Swaziland (Photo : John Ashburner)



Figure 7 : La culture du col sous paillage au Mozambique (Photo : John Ashburner)



Figure 8 : L'entrepreneur fabricant, Adoniran Antunes, réalise la formation de fabricants de l'Afrique de l'Est au Paraguay, un bon exemple de coopération Sud Sud (Photo : Brian Sims).



Figure 9 : Membres d'une Ecole d'agriculteurs de terrain participent à un stage de formation en agriculture de conservation à El Gueza, Aguié, Niger dans le cadre du projet SCAP (Photo : Patrice Djamen)



Figure 10 : *Faidherbia albida* (ou l'arbre de fertilisation) qui se trouve naturellement dans plusieurs pays Africains. Les feuilles tombent au début de l'époque des pluies et fertilise le sol ce qui fournissent de bénéfices excellentes aux cultures dans un système de l'agriculture de conservation (Photo : PeterAagard)



Alaoui Si Bennasseur ¹

1- INTRODUCTION & DÉFINITION DE L'AC

Au niveau mondial, l'impact du travail du sol sur l'environnement est fréquemment mis en avant dans de nombreux pays. En effet, dans des contextes pédoclimatiques très sensibles à l'érosion, le labour ou de nombreux passages d'outils de travail du sol peuvent avoir des impacts négatifs sur la protection des sols et de l'environnement.

Malgré les progrès de la génétique, la fertilisation, la protection des plantes, il ya une tendance claire de diminution des rendements au fil du temps. La FAO prévoit que, si les pertes de sol se perpétuent la production des cultures pluviales potentielles va diminuer d'environ 15% en deux décennies en Afrique, environ 19% en Asie du Sud, et de plus de 41% en Asie du Sud (Kelly, 1983).

Pour remédier au phénomène du «dust bowl» et ses conséquences sociales aux Etats-Unis, des systèmes de cultures basés sur une forte réduction des passages d'outils de travail du sol, voire sur du non travail du sol, y ont été développés. Ces techniques d'implantation très « simplifiées » se sont quasiment généralisées dans certains pays comme le Brésil. Leur impact sur l'environnement y est fréquemment décrit de manière positive avec comme exemple la protection des sols, la protection des eaux par réduction du ruissellement ou encore la réduction des émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Certaines études récentes, réalisées notamment en Amérique du nord, montrent par exemple un impact favorable de la réduction du travail du sol sur le stockage de carbone dans les sols, avec comme conséquence une réduction potentielle de l'effet de serre par réduction des émissions de CO₂.

La dominance, au Maroc, des outils à disque pour le travail du sol et la préparation du lit de semences engendrent des pertes importantes de la couche arable à travers le phénomène d'érosion. Ceci engendre une réduction de la fertilité des sols, qui peut évoluer vers l'impossibilité d'exploitation de certaines parcelles. Le labour à l'aide d'une charrue à socs et versoirs réalise un état poreux, peu perméable, retenant l'eau mais se

desséchant rapidement. Le travail du sol à l'aide d'un cultivateur à dents entraîne un état du sol très perméable, peu poreux et un dessèchement modéré. Le travail du sol à l'aide d'un pulvérisateur à disques permet le dessèchement le plus faible, avec une perméabilité réduite. Ceci confirme le fait qu'il n'existe pas un outil idéal capable de réaliser l'ensemble des objectifs et la nécessité d'adapter un outil à chaque situation. Ceci est d'autant plus valable dans les zones semi-arides où les teneurs en eau des sols peuvent varier suivant des proportions importantes, lors des passages des périodes sèches aux périodes de pluies. Aussi, le recours aux outils à disques, couplé avec les températures élevées au niveau des horizons du sol est responsable des faibles niveaux de la matière organique, caractéristique de la plupart des sols marocains. Or, l'érosion provoque le déclin de la matière organique, favorise la contamination des sols, leur imperméabilisation, la perte de la biodiversité, la salinisation, la production d'alluvions, sans compter les glissements de terrains.

Rappelons, que les systèmes de semis direct ont pour base, d'une part, le maintien et l'amélioration de la fertilité des terres et, d'autre part, l'optimisation des ressources et de la gestion de l'exploitation. Ces systèmes obéissent à des principes d'agroécologie en particulier :

(i) limiter le remaniement mécanique du sol à l'endroit où est déposée la semence et couvrir le sol en permanence avec de la matière végétale pour, d'une part, stopper totalement les processus d'érosion et réduire les amplitudes thermiques et hygrométriques et, d'autre part, reconstruire un écosystème stable, favorable à l'activité biologique et à la préservation de la matière organique du sol;

(ii) faire travailler la nature, c'est-à-dire le système sol-biomasse, en tirant partie le plus possible ses propres ressources (photosynthèse, macro et mésofaune, microflore, recyclage ou libération d'éléments minéraux lixiviés en profondeur ou bloqués) grâce à l'action de plantes de couverture annuelles ou vivaces installées en association, en succession ou en rotation avec les cultures principales.

¹ - Enseignant-chercheur à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
(b.alaoui@iav.ac.ma).

Photo 1. Opération de semis direct du blé dans la région de Merchouch et supériorité du développement du blé en semis direct (à gauche) par comparaison au semis suivant un labour et des reprises superficielles (à droite).



Du point de vue de l'agriculteur, ce sont des innovations qui conduisent à de meilleurs modes de gestion de l'exploitation, en particulier :

- (i) opérations culturales réduites en nombre et en durée;
- (ii) calendrier cultural souple;
- (iii) stabilité des productions et des marges.

Nées aux USA dans un contexte propice, (économie de marché, agriculture industrielle et extensive, industrie de fournitures, problèmes visibles d'environnement, importants moyens de l'Etat), soutenues par l'innovation industrielle (herbicides, machinisme et variétés transgéniques), les techniques mécanisées de type agriculture de conservation ont été facilement diffusées dans des régions et exploitations à agriculture et problèmes similaires (Amérique du Sud, Australie) à travers les services de marketing des multinationales de fournitures agricoles. L'objectif était non seulement une moindre sensibilisation des parcelles à l'érosion mais aussi, voire surtout, la recherche permanente de réduction des coûts de production par ha, qui constitue la base de la stratégie des fermes extensives et mécanisées (Serpantié, 2009). Les systèmes culturaux ainsi construits se rapprochent d'un écosystème de forêt à l'équilibre : les pertes en nutriments sont les plus faibles possibles, réduits aux exportations de la matière végétale récoltée (grains...) et les apports d'intrants sont diminués en conséquence. Cela permet de tirer le meilleur parti, et à moindre frais, du système cultivé et de maintenir son potentiel de production.

2 - LES PRINCIPES DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION

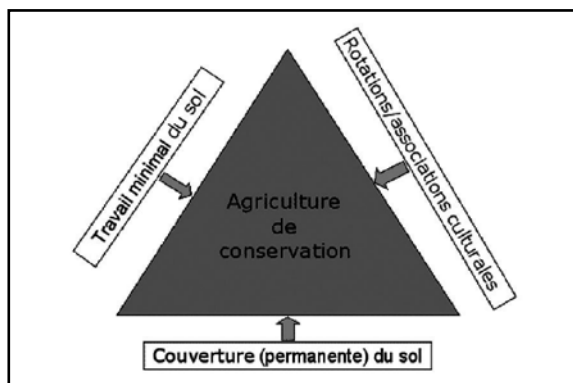
Le nom de l'agriculture de conservation a été utilisé au cours des 12-13 dernières années pour faire la distinction entre cette agriculture plus durable et le «labour de conservation» défini au sens strict, pour considérer le concept du système agricole dans son ensemble et pas seulement la composante labour (Wall, 2006).

L'agriculture de conservation est une technologie complexe: elle implique un changement radical dans le système de production agricole. Le but de l'agriculture de conservation est de maintenir et d'améliorer les rendements des cultures et de la résilience contre la sécheresse et d'autres stress abiotiques, tout en protégeant en même temps et en stimulant le fonctionnement biologique du sol.

L'agriculture de conservation se caractérise par trois principes reliés, à savoir: (i) Un travail minimal du sol (allant jusqu'à son absence totale, cas des systèmes de semi direct) ; (ii) La couverture permanente du sol par un «mulch» végétal vivant ou mort ; (iii) La diversification des espèces cultivées, en association et/ou dans la rotation (Figure 1).

Les cultures sont semées à travers la couverture végétale de la culture précédente avec un équipement spécial. Cependant, bien que non-labour est une caractéristique essentielle de l'agriculture de conservation, l'utilisation de non-labour en soi n'est pas la seule condition pour l'agriculture de conservation.

Figure 1 : Les principes fondamentaux de l'agriculture de conservation (FAO, 2012)



La manière dont les trois principes sont combinés à l'échelle de la parcelle peut varier selon les caractéristiques de l'environnement agro-écologique, et les moyens et les objectifs de l'agriculteur. Etant donné qu'il n'existe pas de solutions universelles, l'agriculture de conservation vise à valoriser la diversité des agro-écosystèmes pour proposer des solutions adopter aux situations locales (FAO, 2012).

3- LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION

Parmi les principaux avantages de l'AC, nous pouvons noter : (i) ressemble à un écosystème naturel-sol est en permanence recouvert ; (ii) améliore le carbone organique du sol ; (iii) l'érosion des sols est réduite ; (iv) Pas de retournement et une réduction dans l'utilisation de l'énergie (30-40% moins) ; (v) Les rendements comparables à l'agriculture conventionnelle.

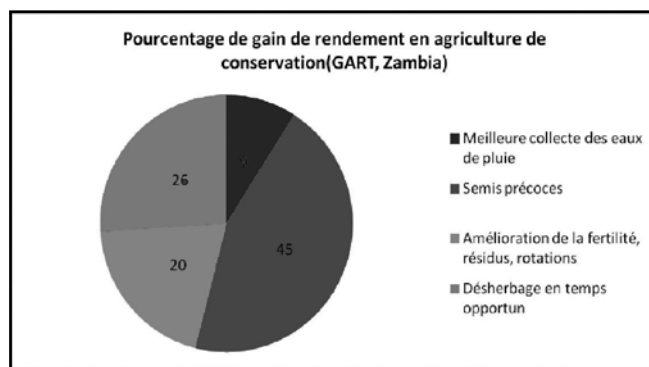
Des solutions à court terme et des avantages immédiats motivent toujours les agriculteurs à adopter une technologie. Cependant, à l'exception du gain en temps de travail enregistré, les autres avantages de l'agriculture de conservation (augmentation des rendements des cultures par exemple, des économies de coûts et l'amélioration de la fertilité des sols) sont généralement atteints progressivement lorsque les trois principes de l'agriculture de conservation, cités ci-dessus, font partie du système agricole.

L'agriculture de conservation exige une nouvelle façon de penser. Avec cette nouvelle façon de penser de l'agriculture, il ya déjà suffisamment de preuves techniques et agronomiques qui pourraient influencer positivement les agriculteurs qui envisagent l'adoption des principes de l'agriculture de conservation. Il est, cependant, important de montrer aux agriculteurs que les aspects techniques et agronomiques sont directement liés à la gestion et les facteurs économiques et, par conséquent, toutes les améliorations techniques et agronomiques obtenues

en appliquant les principes de l'agriculture de conservation doivent être quantifiés en termes monétaires et économiques.

Parmi les principales caractéristiques de l'agriculture de conservation, nous notons les plus importantes: (i) pas de labour, travail superficiel ni déchaumage ; (ii) les résidus de récolte et des cultures de couverture doivent rester à la surface du sol; (iii) pas de brûlage des résidus de cultures; (iv) les cultures permanentes et paillis de résidus de mauvaises herbes protège le sol; (v) le recyclage fermé des éléments nutritifs de la forêt est répliqué; (vi) Matériel spécialisé; (vii) utilisation continue des terres cultivées; (viii) la rotation des cultures et des cultures de couverture sont utilisés pour optimiser les contrôles biologiques des adventices et des ennemis de cultures.

Figure 2. Origine du gain de rendement en agriculture de conservation, GART, Zambia (Malachy, 2010).



4- NÉCESSITÉ D'UNE GESTION AMÉLIORÉE ET INTÉGRÉ DES CULTURES POUR RÉUSSIR LA CONVERSION EN AC

Il y a quatre conditions pour l'adoption de pratiques de l'agriculture de conservation :

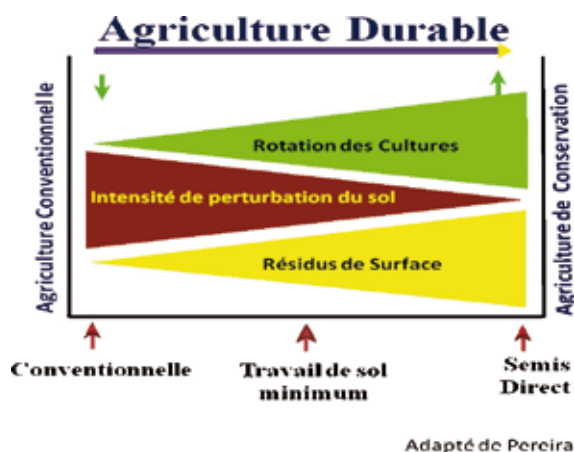
- (i) Il doit apporter à l'agriculteur un bénéfice visible et immédiat, économique ou autre ;
- (ii) le gain doit être suffisamment important pour convaincre les agriculteurs à modifier leurs pratiques en cours ;
- (iii) pour que la technologie doive être diffusée, les frais engagés doivent pouvoir être couverts par l'agriculteur ;
- (iv) L'introduction de l'agriculture de conservation devrait être suivi par un soutien des agents du conseil agricole pour un certain temps (FAO, 2001).

Figure 3. Importance de la rétention de résidus dans le semis de maïs pluvial: sans rétention de résidus (à gauche) et avec la rétention de résidus (à droite) - tous les autres facteurs étant constants.



L'agriculture de conservation offre un potentiel énorme pour toutes les tailles d'exploitations agricoles et des systèmes agro-écologiques, mais son adoption est peut-être la plus urgente chez les petits agriculteurs, en particulier ceux confrontés à des pénuries aiguës de main-d'œuvre. C'est une façon de combiner la production agricole rentable avec les préoccupations environnementales et de durabilité et il a été prouvé à travailler dans une variété de zones agro-écologiques et des systèmes agricoles. Il est perçu par les praticiens comme un outil valable pour la gestion durable des terres.

Figure 4. Le cadre conceptuel d'un processus d'étape par étape à l'agriculture durable par l'utilisation de l'agriculture de conservation (Adapté de Pereira à la FAO, 2001).



5- EVOLUTION DE LA FERTILITÉ DES SOLS EN AC

L'agriculture de conservation joue un rôle déterminant dans la problématique globale de fertilité. D'une part en évitant la consommation excessive de matières organiques par une diminution, voire une suppression du tra-

vail du sol, et d'autre part en augmentant la production de matières organiques sur l'année avec les couverts végétaux. Cependant, et de la même manière qu'il existe une période de transition en termes de structure, il existe une période de transition durant laquelle le sol a besoin d'azote pour stocker du carbone (selon le bon vieux principe du C/N). Il s'agit plus d'un investissement que d'une perte, l'azote injecté étant transformé en matière organique, morte ou vivante (Archambeaud, 2006).

Développer la fertilité naturelle des sols c'est, au-delà des avantages économiques directs, le moyen d'améliorer la production en termes de qualité environnementale et d'intrants nécessaires par quintal produit. Cette fertilité s'appuie en grande partie sur l'amélioration de la structure du sol mais également sur l'augmentation du stock de matières organiques et sa mise en « circulation » par l'activité biologique. Cela n'est possible qu'avec des systèmes en semis simplifié bien menés (Archambeaud, 2006). Avec la réduction du travail du sol, on observe généralement une amélioration des propriétés physiques du sol. La présence de débris organiques et la concentration des matières organiques stables en surface protègent le sol contre les agressions (pluies, vent, trafic, piétinement...). La réduction des phénomènes de battance, de ruissellement et d'érosion permet à la surface du sol de jouer son rôle d'interface entre l'atmosphère et le profil, en étant à la fois perméable et résistante.

Parallèlement, le développement d'une activité biologique non perturbée par des interventions mécaniques profondes et/ou répétées aboutit à l'établissement d'une porosité continue qui accueille et stocke l'eau et permet la circulation des gaz, des racines et des êtres vivants. La qualité structurale se répercute sur le développement des cultures et leur capacité de résistance au stress (Archambeaud, 2006).

6- PROBLÉMATIQUE DU DÉSHÉRBAGE ET GESTION DES MALADIES ET RAVAGEURS EN AC

Les herbicides ne sont pas plus utilisés qu'en conduite conventionnelle. En effet, la couverture du sol inhibe également la germination de nombreuses graines de mauvaises herbes, la réduction de la concurrence des mauvaises herbes. Dans les premières années, toutefois, l'herbicide peut encore avoir besoin d'être appliquée, ce qui rend important une bonne connaissance des mauvaises herbes et un choix judicieux des herbicides. L'agriculture de conservation consiste aussi à la planification des successions culturales sur plusieurs saisons, pour réduire au minimum l'accumulation de parasites ou de maladies et d'optimiser l'utilisation des plantes des éléments nutritifs par la synergie entre les différents types de cultures et par une alternance des cultures avec de faibles profondeurs d'enracinement à celles à enracinement profond.

Certaines maladies, voient l'augmentation de leur incidence suite à la pratique du non-labour (Reis et al, 1988). Pour cette raison, le non-labour ne doit pas être pratiqué en monoculture. En général, une rotation des cultures bien équilibrée avec l'utilisation de cultures comme engrais verts est suffisante pour neutraliser cet aspect négatif de non-labour. En ce qui concerne les ravageurs, le non-labour peut avoir des effets positifs ou négatifs, et cela dépend de l'organisme nuisible et aussi des conditions climatiques dominantes. En général, la diversité des insectes, araignées, etc, augmente sous le sol couvert, où ils trouvent des conditions plus favorables pour la reproduction. En conséquence, de nombreux insectes utiles (prédateurs) se développent, et cela conduit à un meilleur équilibre biologique, où les insectes peuvent être contrôlés par des prédateurs, réduisant ainsi la nécessité de la lutte chimique.

7- RÔLE DE LA ROTATION EN AC : VALORISATION DU NON-LABOUR AVEC LES LÉGUMINEUSES

Rappelons que non seulement les légumineuses ne consomment pas d'intrants azotés, mais leur faculté à fixer efficacement l'azote de l'air permet d'alimenter, au moins en partie, la culture qui suit. Celle-ci peut récupérer entre 20 à 40 unités d'azote. Mais ce n'est pas seulement la culture qui suit la légumineuse qui bénéficie de cet apport azoté naturel, c'est l'ensemble de la rotation qui en bénéficie, surtout en TCS et en SD (Walligora, 2004).

L'azote est un facteur limitant en non labour. Rien que le fait d'introduire une légumineuse dans la rotation peut pallier cet inconvénient. Mais ces légumineuses ont aussi d'autres atouts : des résidus faibles et facilement décomposables, un système racinaire complémentaire de celui des graminées, une interruption des cy-

cles parasites dans les rotations céréalières et même une séquestration efficace de carbone. Selon Walligora (2004), on aurait tort de s'en priver. Les légumineuses sont considérées d'excellents précédents dans une stratégie de travail simplifié par le peu et la qualité des résidus qu'ils génèrent. De ce fait, l'implantation de la culture suivante devient plus aisée. Leurs résidus à C/N bas sont beaucoup plus « friables » que ceux d'un blé, d'un maïs, d'un tournesol ou d'un colza et se décomposent plus vite (Walligora, 2004). En rotation, le système racinaire des légumineuses complète efficacement celui des graminées car il explore le sol de manière différente. C'est cette alternance de systèmes racinaires différents qui conduit à l'obtention d'une meilleure structure du sol. Aussi, les légumineuses, surtout celles cultivées au printemps, viennent couper les cycles parasites d'une rotation céréalière. Ils ont, à ce sujet, un effet très net sur les adventices des céréales d'automne. Ils facilitent ainsi le contrôle des graminées adventices au printemps, avec des antigraminés utilisés sur une culture de dicotylédone (Walligora, 2004).

8- L'AGRICULTURE DE CONSERVATION VS CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MOYENS DE SUBSISTANCE

Il a été prouvé au niveau mondial que l'agriculture de conservation réduit la vulnérabilité des cultures aux événements climatiques extrêmes. Dans des conditions de sécheresse, il réduit les besoins en eau de 30%, permet une meilleure utilisation de l'eau du sol et facilite l'enracinement plus profond des cultures. Dans l'état d'humidité extrême, l'agriculture de conservation facilite l'infiltration de l'eau de pluie qui réduit le risque d'érosion des sols et les inondations en aval.

D'un autre côté l'agriculture de conservation donne aux familles la possibilité d'améliorer leurs moyens de subsistance. Les agriculteurs qui adoptent des agricultures de conservation n'ont plus besoin de dépenser du temps et de labourage et peuvent utiliser ce temps pour d'autres fins, tels que la transformation des produits à la ferme, ce qui ajoute de la valeur à leur production.

9- QU'EST CE QUI LIMITE L'ADOPTION DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION AU MAROC?

Il y a 20 ans, il fallait être un peu récalcitrant pour s'aventurer sur cette voie sans savoir-faire ni expérience. Depuis, le chemin est beaucoup mieux balisé par les travaux de la recherche. Non seulement les outils ont énormément évolué mais également les pratiques et les connaissances. La période de transition et la gestion de l'azote sont mieux appréhendées, les couverts végétaux sont en grande partie maîtrisés et les rotations peuvent être adaptées pour limiter l'enherbement par les adventices (Thomas, 2012).

Trop habitués à externaliser les solutions agronomiques, les agriculteurs ne se sentent peut-être pas responsables des contraintes, des soucis voire même des échecs dans les parcelles. Si la culture ne lève pas à cause de la sécheresse, c'est la faute de la météo et il est nécessaire de réfléchir irrigation alors que la manière d'aborder le travail du sol peut avoir énormément d'impact sur la gestion de cette ressource précieuse. De même que si le carburant augmente, c'est la responsabilité des pouvoirs publics, et des économistes. D'autres accusent l'encadrement et la recherche d'être trop timides sur le sujet (Thomas, 2012).

Cela fait plus de 20 ans que les recherches sur la simplification du travail du sol ont eu lieu au Maroc, et l'agriculture de conservation, fait lentement, son chemin avec une réussite qui commence à faire écho dans certaines régions. Cependant, l'adhésion des agriculteurs à ce nouveau mode d'agriculture, qui reste lente et limitée. Or, les leviers permettant la relance de ce mode de production n'ont pourtant jamais été aussi forts qu'aujourd'hui. Les hausses du prix du carburant, de l'azote, des aliments du bétail et des fourrages sont conséquentes et semblent durables. À titre d'exemple, la seule dépense en gasoil/ha peut s'approcher de l'équivalent du prix d'une dizaine de quintaux de grain, et toute réduction de la consommation rentre aussi dans une approche d'autonomie : une stratégie sage à ne pas négliger dans un contexte de crise économique à l'échelle mondiale (Thomas, 2012). Pour un agriculteur dans la région de Berrechid, l'agriculteur qui pratique l'AC collecte déjà du bénéfice au moment de l'installation des cultures par les économies faites en matière de travail du sol.

10 - CONCLUSION

Pour conclure, les systèmes de labour de conservation offrent de nombreux avantages que les systèmes de travail du sol intensif ne peuvent égaler. Ces avantages sont résumés comme suit:

- (i) exigences du travail humain réduits ;
- (ii) gain de temps ;
- (iii) usure réduit des engins agricoles ;
- (iv) les économies de carburant ;
- (v) amélioration de la productivité à long terme ;
- (vi) amélioration de la qualité des eaux de surface ;
- (vii) l'érosion des sols est réduite ;
- (viii) meilleure rétention de l'eau dans le sol ;
- (ix) amélioration de l'infiltration d'eau ;
- (x) diminution du compactage du sol ;
- (xi) ameublissement du sol améliorée ;
- (xii) faune plus abondante ;
- (xiii) réduction des émissions de gaz carbonique ;
- (xiiii) pollution de l'air réduite.

L'adoption rapide de ce système a dépassé la compréhension scientifique de ses principes. Il ya un manque d'information de l'impact de l'introduction de l'AC sur l'efficacité des éléments nutritifs et l'utilisation de l'eau, la dynamique des sols en matières organiques, le contrôle des mauvaises herbes et les maladies des cultures et des interactions entre eux. Des recherches sont donc nécessaires pour développer des pratiques optimales de gestion de l'CA adaptés aux besoins et aux conditions locales.

Le développement historique du non-labour des cultures et de son application réussie dans les fermes mécanisées a été étroitement liée aux facteurs suivants: (i) la disponibilité de connaissances appropriées (résultats de la recherche et les expériences des agriculteurs) sous différentes conditions agro-écologiques et socio-économique ; (ii) la disponibilité d'une variété d'herbicides efficaces et à faible coût ; (iii) la disponibilité des machines appropriées à des prix adéquats ; (iv) la pratique des rotations de cultures adéquates, y compris les cultures de couverture comme engrais vert. Au Maroc, où nous devons rajouter à ces conditions l'importance de trouver des ressources fourragères alternatives pour réduire la pression d'effectue l'élevage sur les résidus de cultures.

RÉFÉRENCES

- Archambeaud, M. 2006. Structure et matières organiques : fertilité des sols, TCS n°39 - Septembre / octobre 2006.
- Erenstein O., Sayre K., Wall P., Dixon J. and Hellin J. 2012. Adapting No-Tillage Agriculture to the Conditions of Smallholder Maize and Wheat Farmers in the Tropics and Sub-Tropics . <http://ecoport.org/storedReference/559667.pdf> (Consulté le 19 mai 2012)
- FAO 2012. Qu'est ce que l'agriculture de conservation ? <http://www.fao.org/ag/ca/fr/1a.html>
- FAO 2001. Conservation agriculture. Case studies in Latin America and Africa. <http://www.fao.org/DOCREP/003/Y1730E/Y1730E00.HTM>
- Serpantié G. 2009. L'agriculture de conservation à la croisée des chemins en Afrique et à Madagascar. Volume 9 Numéro 3 | décembre 2009.
- Kelly, H. W., 1983. Keeping the land alive. Soil erosion, its causes and cures. FAO Soils Bulletin N° 50, FAO, Rome. 78 pp.
- Reis, E.M.; Fernandes, J.M.C.; Picinini, E.C. 1988. Estrategias para o Controle de Doenças do Trigo. Passo Fundo, RS, Brazil.; Embrapa-CNPT, 1988. 50p.
- Serpantie G., 2009. L'agriculture de conservation à la croisée des chemins. Vertigo, revue des sciences et de l'environnement, vol. 9, n. 3, 21p.
- Thomas F. 2012. Pourquoi l'agriculture de conservation ne fait-elle pas encore l'unanimité ? les freins au changement. TCS n°67 ; mars/avril/mai 2012.
- Waligora C. 2004, TCS n°30 - novembre / décembre 2004. Valorisation du non-labour avec les protéagineux
- Wagstaff P, and Malachy H.2010. The Impact of Conservation Agriculture on Food Security in two districts of Zimbabwe. Trocaire Development Review.
- Wall, P.C., 2006. Facilitating the widespread adoption of conservation agriculture and other resource conserving technologies (RCT's): Some difficult issues. Science week Extended abstract. CIMMYT Headquarters, El Batan, Mexico. 23-27 January 2006. pp. 61-64.

Moussadek R¹, Mrabet R¹, et Dahan R¹

1- RÉSUMÉ

Au Maroc, la pluparts des sols sont fragilisés suite à l'intensification agricole et du labour requérant réduisant leur teneur en matière organique et dégradant leur structure. Durant les 30 dernières années, les travaux de recherche effectués en zones semi-arides marocaines, ont montré la nécessité d'adapter des techniques du semis direct (SD) afin de renverse cette tendance et d'améliorer la qualité du sol. Cet article présente les derniers acquis de recherche montrant les effets du SD sur la qualité des sols en termes de conservation d'eau, d'amélioration de la stabilité structurale, de séquestration de la matière organique, de réduction d'émission de CO₂ et de lutte contre l'érosion hydrique.

2- ABSTARCT

Major agricultural lands in Morocco are under degradative processes due to mis-use of tillage implements and mis-management of crop residues. To deal with this worst situation, conservation agriculture (CA) offers opportunities to improve soil quality and fertility. The present paper aims at highlighting major achievements in soils research under CA conducted in Morocco. CA systems have resulted in greater soil water conservation, improved soil quality and reduced soil erosion. Changes in crop production practices due to shifting to CA systems and retention of crop residues at or near the surface produced progressive qualitative and quantitative variations in soil organic matter. This can allow agriculture to contribute to country's efforts to reduce and control greenhouse gas emissions.

3- INTRODUCTION

Au Maroc, le secteur agricole constitue un élément principal dans l'économie du pays cependant la production agricole dépend des aléas climatiques. En effet, la plupart des terres agricoles se trouvent dans les zones semi-arides bour et les ressources naturelles (eau, sol) de ces zones sont menacées par différents types de dégradation. Les ressources en eau connaissent une raréfaction de plus en plus accrue en raison d'une surexploitation des réserves hydrique suite à des périodes de sécheresse prolongées (Lahlou, 1997).

Quant aux sols, ils sont menacés suite à l'intensification agricole et du labour requérant des terres fragiles. Ainsi, plusieurs formes de dégradation des sols sont très répandues sur les sols marocains (diminution des teneurs en matières organiques, salinisation, compaction et tassement, érosion et glissements de terrain), affectant indirectement la production agricole du pays (Ouassou et al.2006).

Pour remédier à cette situation, l'agriculture de conservation (AC) constitue une alternative prometteuse capable de valoriser le potentiel de production des terres agricoles du pays avec un souci de durabilité et de réduction de leur vulnérabilité à la variabilité climatique. En effet, si plusieurs pays à travers le monde ont opté pour le AC comme mode de production agricole (plus de 100 millions d'hectares selon Derpsch et Friedrich (2009)), c'est parce que l'AC vise à relancer la production agricole en optimisant l'utilisation des ressources agricoles et en aidant à réduire la dégradation généralisée des terres par une gestion intégrée du sol, de l'eau et des ressources biologiques disponibles, combinée à des apports externes.

En zones semi-arides marocaines, les travaux de recherche effectués durant les 30 dernières années ont montré la nécessité de recourir à des systèmes agricoles à base de semis direct afin d'améliorer la qualité du sol et stabiliser les rendements à long terme. Cet article concerne présente les résultats saillants des recherches en matière de qualité du sol sous agriculture de conservation au Maroc.

3-1 - Teneur en eau du sol

Dans les régions semi-arides de Chaouia et Abda (pluie <350mm), les résultats expérimentales, de Bouzza (1990), ont montré qu'on peut stocker jusqu'à 50 mm d'eau, dans un Vertisol sous semis direct (SD) par rapport au semis conventionnel (SC). Sous un Cacixeroll, Mrabet (1997) a constaté que la teneur en eau est toujours supérieurs sous SD vis à vis SC et que la présence du mulch à la surface du sol non labouré réduit significativement l'évaporation de l'eau du sol. Ce qui ce traduit par un meilleur rendement des cultures et par une résistance à la sécheresse. Récemment des travaux, menés sur un Vertisol de Zaer, ont confirmé cet effet positif du SD sur l'amélioration de la teneur en eau dans le sol (Moussadek et al., 2008).

¹ - Institut National de la Recherche Agronomique au Maroc . rachidmoussadek@yahoo.fr

3-2 - Stabilité des agrégats

Le labour intensif modifie les propriétés physiques du sol et détruit la cohésion des agrégats. Ceci accentue la compaction et réduit l'infiltration, provoquant une structure instable et vulnérable à l'érosion hydrique. Sous SD, par contre, plusieurs chercheurs ont rapporté que les agrégats du sol sont plus stables permettant une meilleure circulation de l'eau et des éléments fertilisants (Lahlou et Mrabet, 2001 ; Mrabet et al, 2001). En plus, Moussadek et al. (2011a) ont montré que les agrégats sous SD sont plus stables si on maintient environ 50% de résidus à la surface des sols argileux (Figure 1).

3-3 - Séquestration de la matière organique et fertilité du sol

Les sols du Maroc ont généralement des faibles et alarmantes teneurs en matière organique. Soudi et al. (2003) ont rapporté que les pertes en humus atteignent 3% par an. Ils ont expliqué cette dégradation par le labour intensif favorisant une minéralisation rapide du carbone organique et l'exportation abusive de la biomasse sans apport d'amendements organiques.

Cependant, quant on sait le rôle que joue la matière organique dans l'ensemble des phénomènes physico-chimiques et biologiques du sol et que plusieurs récents travaux l'ont relié à la dégradation des sols (Lal, 2006), et à la sécurité alimentaire (Sanchez and Swaminathan, 2005) on comprend que la durabilité du système de production agricole dépend principalement de l'amélioration du stock de la matière organique des sols cultivés au Maroc.

Devant une telle situation, les chercheurs ont montré que l'adoption du SD est capable de renverser l'appauvrissement des sols en matières organiques.

Concernant la fertilité des sols, Mrabet et Moussadek (2011), ont rapporté qu'à l'exception d'une réduction du niveau du magnésium dans les conditions de semis direct, les autres éléments majeurs (N, P, K) ainsi que les bases échangeables (Ca, K et Na) et la CEC n'ont pas été affectées par le système de travail du sol après 15 ans d'expérimentation sur un sol calcimagnésique de la Chaouia.

Tableau 1: Effets des systèmes de travail du sol sur les niveaux de matières organiques du sol dans différentes régions agricoles du Maroc.

Région	Type de sol	Horison (cm)	Années	SD	SC	Références
Zaers	Vertisol	0-7	4	2.05	1.47	Moussadek et al. (2011a)
Chaouia	Calcimagnésique	0-2.5	5	1.73	1.66	Bessam & Mrabet (2001)
	Calcimagnésique	0-2.5	11	2.89	2.35	Mrabet et al. (2001)

3-4 - Emission du CO₂ du sol

Comme la plupart du pays du monde, le Maroc est appelé à participer à l'effort d'atténuation des gaz à effet de serres pour réduire les effets néfastes des changements climatiques. Lal (2004) a montré que le SD peut être disséminé dans le monde grâce à ces faibles émissions de CO₂ à l'atmosphère par rapport au semis conventionnel. Le nouveau concept du « marché carbone » ne fera que renforcer cette tendance. Malgré que la plupart des mesures aient été effectuées dans les pays à climat tempérés, une récente étude au Maroc a permis de confirmer que sous climat semi-aride l'émission de CO₂ est plus faible sous SD que sous SC (Moussadek et al, 2011b).

3-5 - Erosion hydrique du sol

Le maintien des résidus à la surface du sol sous semis direct assure une protection contre l'impact des gouttes de pluie et réduit ainsi l'érosion du sol (Rees et al. 2002; Roose et al. 2008). Ceci a été confirmé sur les sols du Saïa par les travaux de Dimanche (1997). Récemment, une campagne de mesure par simulation de pluie, sur des sols de Zaer sous SD depuis 2004, a montré l'importance du maintien des résidus à la surface du SD pour

réduire les pertes en terres et le ruissellement hydrique. En effet et comme la figure 2, après deux simulations successives des précipitations de 36 et 60 mm h⁻¹, le taux de ruissellement était 3 à 4 fois inférieur sous SD50 (SD avec 50% de résidus) que sous SC. De même, une réduction des pertes de sol de 50%, est observée sous SD50 par rapport à SC (Moussadek et al. 2011a).

4- CONCLUSION

En guise de conclusion, on peut affirmer que le semis direct permet à la fois d'améliorer la rétention en eau du sol et sa stabilité structurale ainsi que son pouvoir de séquestration de carbone organique. Par ailleurs, une réduction des émissions du gaz carbonique vers l'atmosphère est un atout majeur de ce système. Certes ces résultats sont concluants mais il est important de signaler la nécessité d'adapter le système du semis direct en fonction des types de sol, de la pente et des résidus de cultures pour avoir les résultats escomptés. En plus, et la généralisation des semoirs de ce système seraient un atout pour sa promotion au Maroc.

Figure. 1. Effet des modes du travail du sol (semis avec travail conventionnel (SC), semis direct sans mulch (SD0) et sous semis direct avec 50% du mulch (SD50)) sur le diamètre moyen pondéral (DMP). Pour chaque type de DMP (eau, éthanol, ré-humectation et DMP moyen), les traitements ayant la même lettre n'ont pas de différence significative, test Tukey ($p < 0,05$) (Moussadek et al., 2011a).

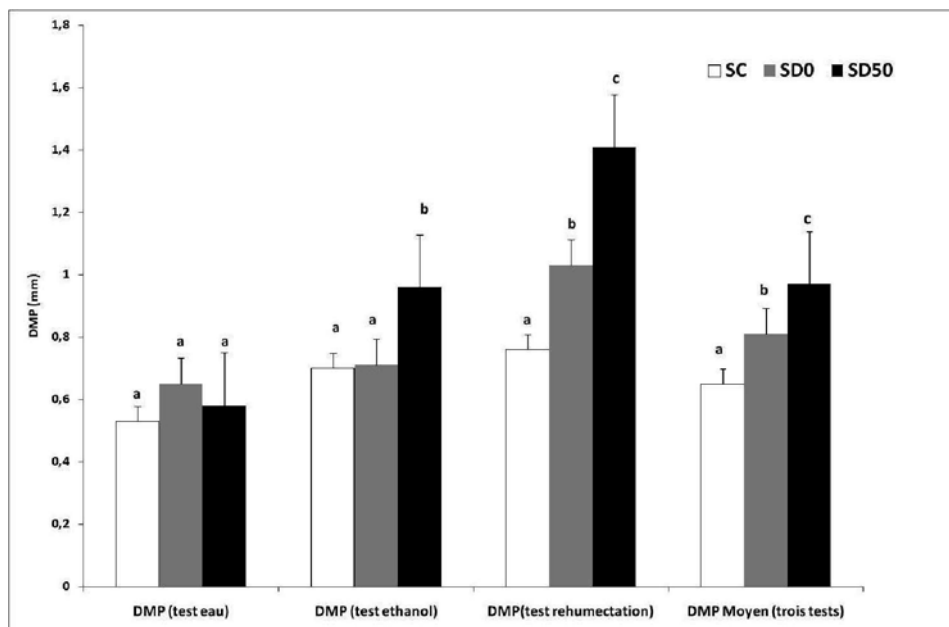
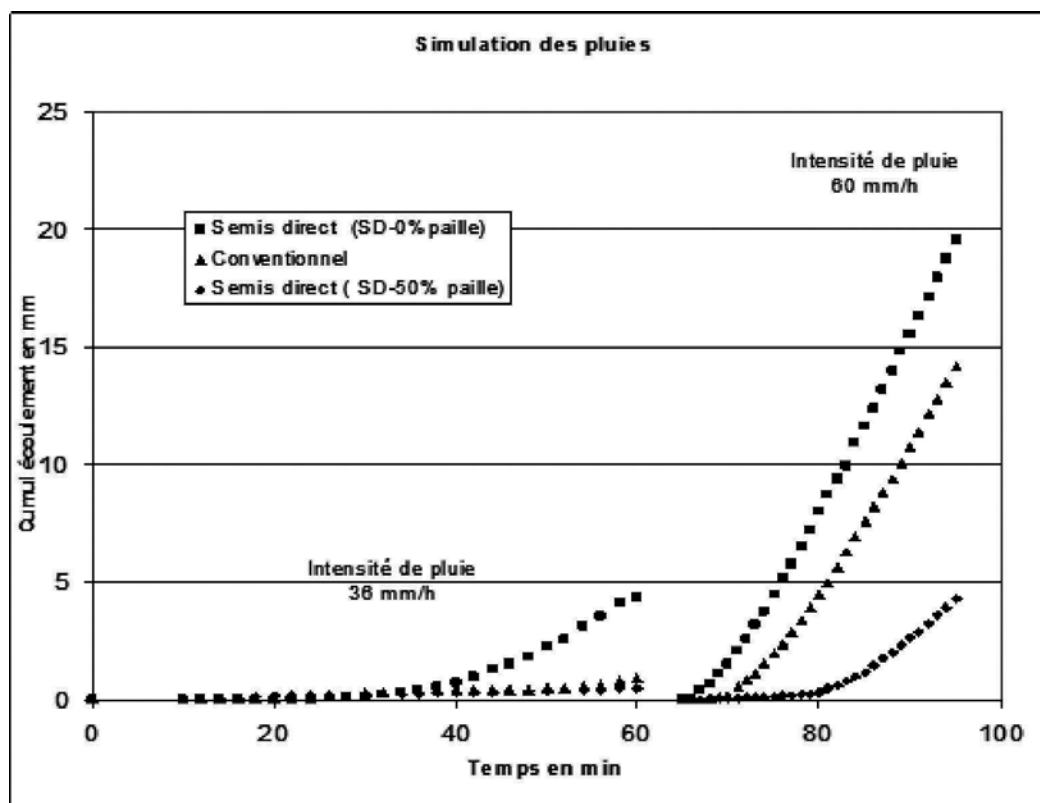


Figure 2: Lames ruisselées cumulées en fonction du temps sous deux intensités de pluies simulées sur sol en pente de 5% (Moussadek et al., 2011a).



RÉFÉRENCES

- Bessam, F. & R. Mrabet. 2001.** Time influence of no tillage on organic matter and its quality of a vertic Calcixeroll in a semiarid area of Morocco. Garcia-Torres et al. (Eds). Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge. Volume II: 281-286. ISBN 84-932237-2-7
- Bouzza, A., 1990.** Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semiarid areas. PhD. Dissertation, Univ. of Nebraska, Lincoln, USA. 125p.
- Derpsch R. and Friedrich T. (2009).** Global Overview of Conservation Agriculture Adoption. In Proceedings 4th World Congress on Conservation Agriculture, February, 4-7, 2009, New Delhi, India. New Delh. p. 429-438.
- Dimanche, P. H. 1997.** Impacts des différents itinéraires techniques de travail du sol sur la dégradation des sols argileux dans la région de Meknès (Maroc). PhD dissertation. Louvain-La-Neuve, Belgique, 268p.
- Lahlou, A. 1997.** Dégradation spécifique des bassins versants au Maroc. Rapport n°1000. Rabat : Ministère de l'équipement et de la promotion nationale, Direction de l'hydraulique, Division exploitation, service de gestion des eaux.
- Lahlou, S., Mrabet, R., 2001.** Tillage influence on aggregate stability of a Calcixeroll soil in semiarid Morocco, in: Garcia-Torres, L. et al. (Eds.), Proceedings of I World Congress on Conservation Agriculture. Madrid, Spain. October 1-5, 2001, pp. 249-254.
- Lal, R. 2004.** Soil carbon sequestration to mitigate climate change. Geoderma. 123: 1-22.
- Lal, R. 2006.** Enhancing crop yields in developing countries through Restoration of soil organic carbon pool in agricultural lands. Land Degradation and Development, 17, 197-209.
- Moussadek, R., Mrabet, R., Verdoodt, A., Ye, L., Van Ranst, E. 2008.** Effect of no-tillage on vertisol hydrodynamic properties. Eurosoil Congress 2008: Soil - Society - Environment. 25-29 August 2008. Vienna, Austria.
- Moussadek, R., Mrabet, R., Zante, P., Lamachere, J-M., Pepin, Y., Le Bissonais, Y., Ye, L., Verdoodt, A., Van Ranst, E., 2011a.** Influence du semis direct et des résidus de culture sur l'érosion hydrique d'un Vertisol Méditerranéen. Can. J. Soil Sci. 91, 627-635.
- Moussadek R, R. Mrabet, A. Verdoodt, R. Dahan, A. Douaik, M. Corbeels and E. Van Ranst. 2011b.** Effect of tillage practices on the soil carbon dioxide flux during fall and spring seasons in a Mediterranean Vertisol. Journal of Soil Science and Environmental Management Vol. 3(10), in press, ISSN 2141-2391
- Mrabet, R., 1997.** Crop residue management and tillage systems for water conservation in a semiarid area of Morocco. PhD Diss. Colorado State Univ. Fort Collins, CO. USA. 220p.
- Mrabet, R., N. Saber, A. El-Brahli, S. Lahlou, & F. Bessam. 2001.** Total, Particulate Organic Matter and Structural Stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. Soil & Tillage Research. (57):225-235.
- Mrabet, R., A. Essahat, & R. Moussadek. 2008.** Influence des systèmes de travail du sol sur les propriétés des sols en zones semi-arides du Maroc. In E. Roose et al. (Edts). « Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides. » AUF, EAC & IRD éditions, Paris, 402p : pp: 274-290. ISBN : 978-2-914610-76-6.
- Mrabet, R., Moussadek, R., 2011.** Potentiels de restauration de la qualité des sols sous agriculture de conservation au Maroc, in : Duchaufour, H., Rose, E. (Eds.). Proceedings of the Conference on soil and water conservation management and restoration of the tropical soil's productivity, Port au Prince, Haiti, AUF Publishing (in press).
- Ouassou, A., T. H. Amziane, and L. Lajouad. 2006.** State of Natural Resources Degradation in Morocco and Plan of Action for Desertification and Drought Control. In Desertification in the Mediterranean Region: A Security Issue, ed. W. G. Kepner, J. L. Rubio, D. A. Mouat, and F. Pedrazzini, 251-68. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Soudi B., Chiang C.N., Berdai H. et F. Naaman, 2003.** Statut du cycle de l'azote et de la matière organique en zones semi-arides irriguées et d'agriculture pluviale. Revue H.T.E.127 : 24-31.
- Rees, H. W., Chow, T. L., Loro, P. J., Lovoic, J., Monteith, J. O. et Blaauw, A. 2002.** Hay mulching to reduce runoff and soil loss under intensive potato production in Northwestern New Brunswick, Canada. Can. J. Soil Sci. 82: 249-258.
- Roose, E., Blavet, D., Sabir, M., Ouagga, T., Cheggour, A., Simonneaux, V., Oliver R., Ferrer, H., Louri, J. et Chotte, J. L. 2008.** Influence de l'utilisation d'un sol brun vertique sur les stocks de carbone du sol, les risques de ruissellement et d'érosion et le devenir du carbone érodé (bassin de l'oued Rheraya, Haut-Atlas, Maroc). Pages 317-324 in E. Roose and J. Albergel (sous la dir.). Efficacité de la GCES en milieux semi-arides. AUF, EAC et IRD éditeurs, Paris.

Bourarach El Hassane ¹

A côté d'un nombre limité d'outils spécifiques, le semoir constitue un élément essentiel dans la mécanisation de l'agriculture de conservation². En effet, puisque le sol ne serait plus travaillé, cette machine devrait remplacer plusieurs passages d'outils tels que charrues, chisels, pulvérisateurs à disques (stubble-plow et/ou cover-crop), cultivateurs et herses rotatives, herses,...). Elle devrait également localiser les engrais de fond qui ne pourraient plus être mélangé au sol, car non remanié. Il devrait également être en mesure de faire face à un certain nombre de contraintes inhérentes à la nature de l'agriculture de conservation et qui seront détaillées plus loin.

1- LES FONCTIONS À REMPLIR

Le matériel agricole utilisé en agriculture de conservation, en plus des fonctions classiques à remplir pour répondre aux exigences agronomiques, demandées également par l'agriculture conventionnelle, comme la qualité, l'uniformité et la régularité du travail (émiettement, profondeur, nivellement, dose,...), devrait faire face à des contraintes spécifiques à ce mode de conduite. Nous citons les plus importantes :

- Travail dans des sols durs et cohérents non remaniés.
- Travail dans une biomasse importante constituée de résidus agricoles de la culture précédente ou/et de la culture de couverture.
- Difficulté dans l'apport de l'engrais de fonds.

2- APERÇU DES PRINCIPAUX TYPES EXISTANTS

La machine type qui différencie l'agriculture de conservation de l'agriculture conventionnelle est le semoir direct, mais il existe également d'autres équipements, avec toutefois une particularité de plus de robustesse et de fiabilité, car le nombre des opérations culturales est limité en pratiques conservatoires, ce qui limite les possibilités de correction d'éventuelles erreurs d'exécution. Ainsi, nous pourrions citer :

- Les broyeurs utilisés pour réduire la taille des résidus

et diminuer les risques de bourrage (gyro-broyeurs et broyeurs tractés, broyeurs incorporés sur une moissonneuse batteuse, débroussailluses portatives, rouleau broyeur tracté ou à traction animale (rouleau à cou-teaux),...).

Parmi les équipements de semis et de fertilisation en agriculture de conservation, même s'ils doivent répondre aux mêmes exigences agronomiques de travail en sol non remanié et dans une quantité plus au moins importante de résidus végétaux, se différencient par le type d'énergie utilisée et des choix technologiques quant aux éléments de distribution, de mise en terre, de réglage de la profondeur de travail et de plombage de la ligne de semis.

Nous distinguons donc :

- les semoirs manuels (canne planteuse)
- Les semoirs à traction animale
- Les semoirs tractés

La canne planteuse (figure 1) est un semoir manuel formé de deux mancherons liés par une charnière, leur conférant une forme en V. En rapprochant ou en éloignant les deux mancherons, c'est-à-dire en ouvrant et en fermant le V, on actionne un dispositif qui distribue l'engrais et les semences dont les trémies se trouvent montées de chaque côté de ces mancherons. A l'extrémité de la canne se trouve une sorte de « bec » qui en s'ouvrant dans le sol, libère l'engrais et les semences. Les mancherons sont fabriqués en bois pour ne pas alourdir l'outil. Les trémies sont fabriquées en tôle galvanisée ou en acier inox. Une personne peut semer jusqu'à un demi hectare par jours (FAO, 2012). Cet outil est actuellement utilisé dans les petites exploitations agricoles en Amérique du sud et en Afrique subsaharienne (Figure 2) (cf. également article de Ashburner dans ce même numéro).

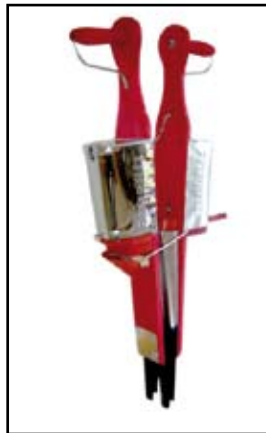
1- Enseignant-chercheur au Département Energie et Agroéquipements (IAV Hassan II), bourachel@yahoo.com et membre du bureau national de l'ANAFIDE.

2- Au Maroc, les techniciens et les agriculteurs parlent plutôt de semis direct qui est un terme restrictif du concept d'agriculture de conservation (cf. article consacré aux définitions et concepts en début de ce numéro spécial).

Figure 1 : Canne planteuse Jab, pour semis et pour semis et fertilisation (Photo (a) et (b): Fitarelli, Brésil)



(a)



(b)



(c)

Les semoirs à traction animale sont conçus sur le même principe que les semoirs tractés. Compte tenu des conditions difficiles de travail, ils doivent être plus robustes et souvent deux roues sont prévues pour assurer la stabilité de la machine pendant le travail et faciliter son transport. La figure 2 montre l'exemple de deux semoirs commerciaux à traction animale.

Figure 2: Semoirs commerciaux à traction animale (1 et 2 rangs)(photos : Fitarelli)



Il y a de grandes variantes et choix technologiques des semoirs tractés actuellement disponibles sur le marché mondial. Ceci est le résultat d'adaptation, d'amélioration et/ou d'innovation, réalisées par des agriculteurs, des chercheurs et/ou des fabricants de matériel agricole. Certains se sont contentés d'améliorer les semoirs conventionnels, d'autres se sont évertués à concevoir sur des bases nouvelles des semoirs originaux. Mais, de manière générale, hormis le choix des systèmes de distribution mécanique ou pneumatique, en ligne ou de précision et de la taille de la machine, l'attention s'est portée surtout sur les éléments suivants (Weise et Bourarach, 1999):

- Systèmes de traitement des résidus
- Système d'ouverture et de placement de l'engrais
- Système d'ouverture et de placement des semences

- Système de réglage de la profondeur de travail
- Système de fermeture du sillon et de plombage.

Il faut noter que chaque élément est libre en mouvement vertical, ce qui lui permet d'épouser le microrelief du sol : un axe d'articulation dans le cas du disque ou un parallélogramme dans le cas des socs ou coute/couteau. Cette première condition est fondamentale. Même si avant toute introduction d'agriculture de conservation, un nivellement est recommandé, toute dénivellation ultérieure induite par une opération culturale ou tout simplement par le passage d'engins porte préjudice à la qualité de semis. L'autre condition assignée est que le semoir doit avoir un bon dégagement sous bâti pour faciliter l'évolution de la machine dans des situations de présence de fort volume de résidus. Le disque ou coute circulaire constitue la solution la plus commune pour couper les résidus.

3- LES ÉLÉMENTS DE MISE EN PLACE DES ENGRAIS ET DES SEMENCES

Les semoirs directs s'apparentent aux semoirs conventionnels par les fonctions principales de distribution des engrais et des semences, de leur mise en place, de la fermeture et du plombage du sillon. D'ailleurs, dans plusieurs pays pionniers (Etats-Unis, Brésil,...) les agriculteurs et les chercheurs ont commencé par l'utilisation des semoirs conventionnels en semis direct et leur adaptation et leur amélioration.

Les éléments de «traitement» des résidus organiques, les plus utilisés sont des disques. Il s'agit d'un couteau circulaire travaillant en avant du l'élément ouvreur pour couper d'éventuels chaumes ou résidus végétaux. Il est constitué d'un disque plat ou gaufré ou d'un double disque, monté sur un dispositif lui permettant la liberté de mouvement latéral (type roue de fauteuil) et l'escamotage en cas d'obstacle à l'aide d'un ressort de pression ou de traction (cf. exemple du semoir IAV). Au lieu de couper les résidus, la solution de les écarter de la ligne de semis peut être adoptée : «roue soleil» munie de dents flexibles (Morrison, 2009).

Le soc ouvreur devrait perturber le moins possible le sol. Ainsi, à côté des socs houes de plus en plus rares, ce sont les disques (simple ou double)(types usuels sur semoir conventionnel, figure 3) et les socs étroits, type couteau droit ou soc en T inversé, qui sont les plus utilisés actuellement. Quelques exemples de socs³ ouvreurs de sillons sont présentés à la figure 4. Ils doivent préparer les conditions de germination et de levée sans aucun travail du sol préalable. Les chercheurs classent les éléments ouvreurs selon le profit transversal du sillon produit : 1) sillon en V, 2) sillon en U et 3) sillon en T (inversé (figure 5).

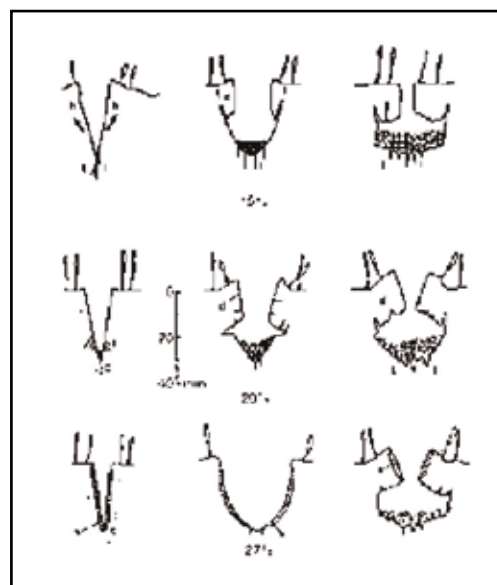
Figure 3 : Double-disque ouvreur



Figure 4 : Exemples de socs ouvreurs (Morrison, 2009).



Figure 5: Schémas des sections transversales des sillons obtenus par un double-disque, par une dent simple et par une dent en T inversé, à différentes humidités du sol (15, 20 et 27%) (d'après Dixon, 1972 cité par Baker (2007).



3- Ils sont généralement fabriqués en acier à haute résistance (choc et usure). Parfois, ils sont munis d'une pièce d'usure interchangeable en acier à carbure (tungstène) soudé ou fixée par boulon.

Le sillon en V est réalisé à l'aide d'un double-disque. Le U généralement réalisé à l'aide d'une dent étroite et le T inversé est confectionné à l'aide d'une dent en forme de T inversé. Le double-disque certes peut travailler dans des volumes importants de résidus, demande moins d'effort de traction, mais demande un poids élevé pour la pénétration en sol dur et il a l'inconvénient d'enfoncer les résidus dans le sillons en conditions humides (occasionnant un déficit en azote au démarrage de la culture) et de ne pas assurer convenablement la fermeture du sillon (dessèchement du lit de semences en cas de période de sécheresse après semis). La dent étroite, à l'opposé demande moins de poids pour la pénétration dans le sol du fait de la présence d'un angle d'entrure, ne pose pas le problème d'enfoncement des résidus dans le sillon, mais il est plus vulnérable au bourrage, d'où l'intérêt d'avoir un dispositif de « traitement » des résidus (écartement ou découpage) à l'avant. La dent en T offre une situation intermédiaire entre les deux premiers cas du point de vue facilité de pénétration, assure une meilleure régularité de la profondeur de semis et la forme de la section obtenue procure un microclimat plus propice à la germination et la levée au niveau du lit de semences.

Les roues de plombage du sillon ont une importance dans la réussite du semis direct en zones arides et semis arides. En effet, un lit soufflé obtenu, en particulier avec des socs bombés, sans l'existence de roue de pression sur le lit de semences⁴, compromet la germination. Les roues de plombage offre par la même occasion un moyen de contrôle de la profondeur.

Il faut choisir un semoir qui puisse faire face à la variabilité des conditions du sol, dans une même journée, dans une même parcelle et entre les parcelles (FAO et CAB International, 2007). A l'opposé de l'agriculture conventionnelle, en conservation, les résidus ne doivent pas être considérés comme un handicap, mais comme un atout et les semoirs devraient être en mesure de les

traiter. Une des difficultés des éléments de mise en place des engrais et des semences est qu'ils doivent assurer une régularité de la profondeur de semis et de placement des engrais. Par ailleurs, les pièces des semoirs directs sont soumises à des efforts plus élevés que dans le cas des semoirs conventionnels d'où l'intérêt de leur robustesse et de la qualité et la fréquence de la maintenance exigées.

4- CAS DU MAROC

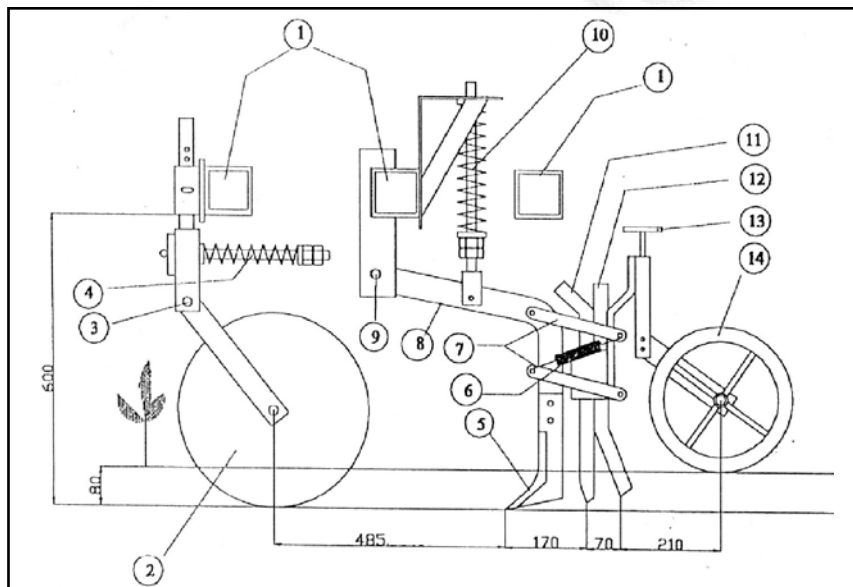
Au Maroc, les investigations et les recherches sur le semis directs et sur les semoirs directs remontent au début des années quatre vingt (Bourarach, 1989 ; Bouzza, 1990,...). Ainsi, le CRRA-Settat et l'IAV Hassan II ont travaillé à partir du début des années 90 sur l'évaluation des semoirs commerciaux et sur le développement de prototypes de semoirs directs⁵ (Ouallali, 1987 ; Dahane, 1992 ; Nousfi, 1993). Le projet fédérateur financé par la DEFR (ex-DERD) a permis le développement de deux prototypes de semoirs directs un à l'IAV Hassan II et un autre à l'INRA⁶ (Bourarach et coll., 1998). Le prototype IAV Hassan II (Département Energie et Agroéquipements) est basé un soc droit monté sur des dents type «chisel» (figure 6). Ce dernier est plus adapté au tracteur de puissance moyenne (75-80 CV), communément utilisé dans les petites et moyennes exploitations (largeur 2,30 m et de conception compacte et relativement légère (poids à vide 1230kg), porté par le tracteur (3 points) et donc facile au levage, au transport et aux manipulations en bout de champ (figure 7) (Bourarach, 2001).

4- Certains semoirs vendus actuellement au Maroc comme semoirs directs présentent cette anomalie.

5- Projet fédérateur de la DEFR (ex-DERD)/MAPM sur la technologie du semis direct (Bouzza (INRA-Settat) et Bourarach (IAV Hassan II)). Le prototype ainsi développé par l'INRA a été confié à une société à Rabat pour son industrialisation et le prototype développé par l'IAV Hassan II a été confié à une société à Salé pour son industrialisation (il a reçu le 2ème prix de l'invention et l'innovatiwon technologique de R&D Maroc 1999). Prix de revient de ce prototype : 66 000Dh (subvention non comprise).

6- Plusieurs chercheurs du CRRA-Settat ont travaillé sur ce prototype : Bouzza (durant les années 90), ensuite Bahri (brièvement) et enfin El Gharras (durant les années 2000, à ce jour).

Figure 6 : Agencement des éléments du semoir direct combiné développé par l'IAV Hassan II (Département Energie et Agroéquipements)



14	1	Roues lisseuses et de limitation de la profondeur	4	1	Ressort de compression du disque
13	1	Réglage de la profondeur	3	1	Point de pivotement du disque
12	1	Tube des semences acier courant	2	1	Disque ouvreuse acier à ressorts
11	1	Tube de fengrais acier courant	1	3	Traverse du bâti acier courant
10	1	Ressort de compression de la dent	Rep	Nb	Désignation
9	1	Point de pivotement de la dent	Echelle		
8	1	Elançon acier mi-dur	1/8	SYSTEME D'ENTERRAGE	
7	1	Parallélogramme acier courant	Réalisé par : Z. AISSAOUI		
6	1	Ressort de traction acier à ressorts	Révisé par : S. EL HOUSNY		Le 10/12/1998
5	1	soc ouvreuse acier à ressorts	INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE HASSAN II		
Rep	Nb	Désignation	A3	DEPARTEMENT DE MACHINISME AGRICOLE	
				N°	

Figure7: Semoir direct combiné IAV Hassan II au travail dans la région de Zaers (primé par R&D Maroc en 1999)



Actuellement, un concept innovant prometteur de semoir direct (disque incliné poussé (type brouette), concept CEMAGREF) est en cours d'expérimentation chez des coopératives dans les régions de Khénifra et Chefchaouen⁷ sur un semoir à traction animale (depuis

début 2012) et sur deux semoirs tractés pour cultures en lignes (depuis début 2011)(Figure 8) et pour céréales d'automne (campagne 2012-2013) (Figure 9).

Figure 8 : Les deux semoirs directs, tracté et à traction animale conçus et fabriqués en France et expérimentés actuellement au Maroc (Coopérative de Bouhsousen, Khénifra, FERT-ENA-IAV)



⁷- Projet « Conservation des Sols et Sécurité Alimentaire : une préoccupation commune pour les agricultures paysannes du Mali et du Maroc ». FERT-AFDI/ENA-IAV-DPA Khénifra et Chaouen financé par l'AFD.



Figure 9 : Essais réalisés avec le semoir céréalière 12 rangs à Bouhsoussen (Khénifra) en présence du DPA, des agriculteurs (FERT/ENA/IAV Hassan II) et le fabricant MCS (Savatier ; conception : CEMAGREF), en octobre 2012.



Au Maroc, l'offre en semoirs commerciaux reste limitée du fait de la faiblesse actuelle du marché et des prix pratiqués et de l'octroi de taux de subvention ne faisant aucune distinction entre les semoirs conventionnels et ceux spécifiques à l'agriculture de conservation. Un semoir direct haut de gamme est actuellement vendu à 330 000 Dh, alors qu'un bas de gamme est à 65-80.000 Dh. Ce dernier ne satisfait pas les vraies exigences d'un semoir direct (robustesse, traitement de volumes importants de résidus, moins de perturbation du sol, précision dans le placement des engrais et de la semence). A titre d'illustration certains semoirs conventionnels à dents et socs-houes sont commercialisés comme des semoirs directs, or ceux-ci perturbent le sol, laissent un sillon ouvert exposé à l'évaporation, le réglage de la profondeur n'est pas bien assuré et le bourrage est fréquent en cas de présence de résidus. Enfin, compte tenu de l'intérêt de l'agriculture de conservation, des efforts à l'échelle nationale, dans le domaine de la recherche, combinée à la promotion de la fabrication locale (industriels ou artisans associés en «clusters») de type de matériel restent à faire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Baker C.J. and K.E. Saxton. 2007. No till seeding and agriculture conservation. FAO and CAB International, second edition.

Bourarach E.H. 1989 : Mécanisation du travail du sol en céréaliculture pluviale : performances techniques et aspects économiques dans une région semi-aride au Maroc. Doctorat ès-Sciences agronomiques. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.

Bourarach E.H. 2001 : Bilan de recherche de l'IAV Hassan II dans le domaine du semis direct. 1ères Rencontres Méditerranéennes sur le Semis Direct. FERT/RCM. 22-23 Octobre 2001. INRA. Settat.

Bourarach E.H. ; A. Bouzza et A. Nousfi, 1998 : Développement d'un système d'enterrage de semoir direct pour le travail en sol sec. Hommes, Terre & Eaux 28 (109), pp. 5-10.

Bouzza, A. 1090: Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas. PhD thesis. University of Nebraska, Lincoln.

Dahane D. 1992 : Etudes des contraintes techniques et agronomiques pour l'utilisation en conditions sèches de trois semoirs directs dans la région de Settat. MFE d'ingénieur d'application en machinisme agricole de l'IAV Hassan II (encadrants : Bourarach et Oussible).

FAO, 2012 : Machinisme, outils et équipements. 7- Semis direct. <http://www.fao.org/ag/ca/fr/3g.html>

Morrison J. E. 2009: Simple CA Implements. ISTRO 18th Triennial Conference Proceedings, June 15-19, 2009 Izmir-Turkey.

Nousfi. 1993 : Contribution à l'amélioration du système d'un semoir direct. Thèse de 3ème cycle en machinisme agricole de l'IAV Hassan II (encadrants : Bourarach et Bouzza).

Ouallali E. 1987: Influence des éléments d'enterrage et de mode opératoire sur la qualité du semis. MFE d'ingénieur d'application en machinisme agricole de l'IAV Hassan II (encadrants : Bourarach et Swanson).

Ribeira, M.F.S., A.G. Araujo, R. Casao Jr., D.A. Benassi.1999 : Maquinas para sementeira direta em solos de baixa aptidão agrícola. In: Uso e manejo do solos de baixa aptidão agrícola. Muzilli and Castro Filho (Eds.) IAPAR Circular Técnica 108.

Weise G. et E.H. Bourarach, 1999: Tillage machinery in CIGR Handbook, Volume III: Plant Production Engineering, ASAE, pp. 184-217.

Site commercial:

Firatelli. Maquinas Agrícolas. <http://www.fitarelli.com.br/eng/producao.htm>

Mohamed Boughlala ¹, Oussama El Gharras ¹ and Rachid Dahan ¹

1- INTRODUCTION

Economic developments in Morocco play a crucial role in determining the living standards of rural and urban households. Agriculture accounts for 12 to 20% of annual gross domestic product (GDP). With a total area of 71.08 millions ha, cultivated lands account for 9.2 millions ha (13%). While the agricultural area has increased from 7 millions ha in 1970 to 9.2 millions ha in 2006, agriculture is reaching the limits of available land and water resources.

The major plaguing barriers to economic development are vanishing land, shrinking field, declining soil quality. The resource-poor farmers cannot afford to invert these processes and invest in restoring their soils or applying erosion control measures (Mrabet, 2008). Soil degradation is an important threat to food production and security in Morocco.

Mrabet (2001) showed that with adoption of no-tillage system (NT), farmers, independently of their tenure and acreage, can re-build the harmony between soils and crops, and escape adverse effects of climate. No-tillage farming involves planting seeds in a narrow slot that is opened by planter with minimal disturbance of the surface crop residue. No additional tillage is done for seed-bed preparation. Additional soil and residue disturbance is limited to fertilizer and pesticide placement and possible cultivation for weed control, if necessary (Hanna, 1995).

According to soil scientists, no-tillage technology save soil moisture, fuel, labor, and machinery costs, as well as reduce wind and water erosion (Louis, 2004). In addition, no-tillage system helps to sequester CO₂ from the air, which in turn helps to slow global warming (Ribera et al., 2004).

Despite the perceived benefits of this technology, adoption rates worldwide have been low, particularly among small farmers in developing countries (Ekboir, 2002; Pieri et al., 2002; Knowler and Bradshaw, 2007). This is true in Morocco, even though field trials conducted by INRA Morocco have been largely successful from an agronomic point of view (Mrabet, 2002; Mrabet, 2008).

Although agronomic benefits of NT are easy to recognize, economic benefits are not. Most studies agree that using conservational and/or NT systems reduce input costs such as fuel, labor, and machinery repair and depreciation costs (Harman et al., 1996; Smart and Bradford, 1998).

The first part of this study will give a comparison of the economic performance of no-till farmers vs. farmers using intensive tilling systems in Morocco. The second part will deal with the adoption of no-tillage in Morocco. Barriers of adoption will be explored and perspectives of this technology will be given.

2- METHODOLOGY

2-1 - Survey Sample:

A sample of 70 farmers was randomly selected in the tree regions concerned by the project. Surveys were conducted in three rural zones, ranging from 240 meters to 350 meters above sea level. Mixed cereal-livestock farming is the dominant form of livelihood in three zones. 10 farmers were interviewed in Abda region, 50 farmers in Chaouia region and 10 farmers in Zaeir region. The sample includes in the same time users and no-users of no-till system. No-users farmers will serve as control (Table 1).

In Chaouia zone, the sample includes also farmers that were involved in other no-till system projects (AAAID and FERT project).

Strata importance was considered in the distribution of the cases and villages among the sample. This strata importance was accurately considered in the distribution of the cases among the sample. The spatial distribution of households was taking in consideration.

The sampling framework was developed in collaboration with local extension services at each zone.

¹- Institut National de la Recherche Agronomique, Morocco

Table 1: Farm typology in Tadla sub-perimeter

Zones	Users of no-till system	No-users of no-till system
Abda	2	8
Chaouia	30	20
Zaair	3	7
Total	35	35

2-2 - Questionnaire:

The questionnaire was developed by project team in collaboration with local extension services. After testing the questionnaire some adjustments were made in response to farmer's suggestions.

Respondents were asked a wide variety of questions on their households' economic activities, size of the farm, level of education of farmers and farm equipment and machinery. The survey asked production systems questions at the plot level, including soil type, tenure system and area. Data concerning crop rotation at plot level is also collected. Cropping system question, yields and destination of different productions were tackled.

The survey also included several questions about production costs and technical coefficients for the main crops cultivated in the regions, with specific attention to cereals, under conventional and no-till system.

Livestock questions included an animal inventory and a detailed accounting of quantities of different feed sources used, including a breakdown of what feed was bought at market and what feed was produced on site.

Feed prices were gathered as part of a village survey. Questions related to residue management were asked. Household heads were asked how many months their herds (by animal type) were taken to graze on the farmer's own crop stubble, other farmers' crop stubble and fallow fields. The survey also included several questions about the farmers' ability to prevent others from grazing crop stubble on their land.

2-3- Results

According to the household survey, the average age of farmers is 53 years. More than 69% of farmers are illiterate and only 5% of them having a high school level. The average family size is around 6.7 persons. More than 93% of farmers have agriculture as first activity, and it is their main source of income (71% surveyed farmers). Off-farm activities generate 16.5% of household income and concerns different activities.

The average farm size for small-scale farmers is 4.8ha (Table 2). This category of farmers represents 60.9% of

total farmers but have control over only 31% of total area. The average farm size for medium and large farms is respectively equal to 13.5 and 21.6 ha. Medium farm size category controls 50.5% of the area and represents only 25.6% of farmers. Large farmers represent only 13.5% but have control over 18.5% of land.

The majority of farmers use the cereal/food legume rotation in Zair (62%) and cereal/food legume or cereal/follow in Abda (59%). The main crop rotation in Chaouia site is cereal/cereal/food legume (68%). Cereal/food legume or follow rotation concerns only 15% of farmers. According to farmers the decrease in using this last rotation is essentially due to the increase of fertilizer use and the problem of manual labor needed by food legume weeding and harvesting.

Table 2 includes estimates of bread wheat production costs for both systems, Conventional (CV) and No-till (NT), across the three regions for medium and large farm size. In the three regions we observed a reduction in seed cost while switching from CV to NT system. This is mainly due to the reduction in seeding rate. The seed cost decreases by 21% for Zair and Chaouia region and by 7% for Abda region.

The adoption of NT system allows an important reduction in total labor (hired and family labor), about 22% for Zair region and 11% for Chaouia region. An increase in herbicide costs of about 72% and 37% were observed respectively in Zair and Chaouia region.

In general the reduction in total production cost was quite similar across the three regions for medium and large farmers when switching from CV to NT system (20, 24, 16% respectively for Zair, Abda and Chaouia region).

This is very consistent with other studies which confirm that the use of conservative and/or NT systems reduces input costs such as fuel, labor, and machinery repair and depreciation (Harman et al., 1996; Smart and Bradford, 1998; Bryant, 1998; Bremer et al., 2001). However, in most cases, there is a decrease in yield when conservation tillage systems are used. This is not the case in Morocco. In average, an increase in bread wheat yield of about 28, 25 and 18% was observed respectively in Zair, Chaouia and Abda region when NT system is used.

Results for smallholders (Table 3) show an increase in bread wheat production costs in all regions when moving to NT system. In fact, such results were not expected. The highest rate of increase was observed in Zair and Abda regions (34 and 15% respectively).

The main reason for this is that in order to better manage the risks related to high climate variability and uncertainty that characterizes most of Morocco regions, smallholder tend to minimize their production costs by using less input. This behavior is not possible when it

comes to NT and if we drop a component of this system, like weed control for example, all the system fall down.

An important increase in herbicide costs of about 300% for Zair and 200% for Chaouia and Abda region. However, the seed cost decreases by 30, 25 and 18 % respectively for Chaouia, Zair and Abda region.

Table 4 shows that the NT system generates the best net

income in all regions and for different farm categories. In chaouia and Abda regions we observed almost the same rate of increase in net benefit, either for large/medium and small scale farms. A higher increase was monitored for large and medium scale farms in Zair region (+78%). Compared to large and medium farm categories, small holders experienced a very important increase in their bread wheat net incomes.

Table 2. Estimated costs DH ha-1 of production for bread wheat using conventional and no-tillage system for large and medium size farms

Items	Zair-Rabat		Abda		Chaouia	
	CV	NT	CV	NT	CV	NT
Seed cost	665	525	525	490	620	490
Fertilizer	849	854	455	505	711	755
Tillage	700	0	740	0	500	0
Seeding	180	200	180	200	180	200
Herbicide	215	370	480	480	215	295
Fungicide	395	395	515	455	395	395
Custom combining	300	300	300	300	300	300
Hired labor	63	42	56	49	70	63
Family labor	84	70	98	84	56	49
Total	3451	2756	3349	2563	3047	2547
Variation		-20%		-24%		-16%

Table 3. Estimated costs DH ha-1 of production for bread wheat using conventional and no-tillage system for small farms

Items	Zair-Rabat		Abda		Chaouia	
	CV	NT	CV	NT	CV	NT
Seed cost	700	525	595	490	700	490
Fertilizer	420	854	455	505	423	755
Tillage	450	0	585	0	650	0
Seeding	0	200	0	200	0	200
Herbicide	80	370	150	480	90	295
Fungicide	0	395	0	455	150	395
Custom combining	300	300	300	300	300	300
Hired labor	7	42	28	49	56	63
Family labor	105	70	112	84	123	49
Total	2062	2756	2225	2563	2492	2547
Variation		+34%		+15%		+2%

Table 4. Bread wheat gross and net benefit in DH ha⁻¹

Items	Zair-Rabat		Abda		Chaouia	
	CV	NT	CV	NT	CV	CV
Avr. Yield, ql/ha largr/medium	27,07	34,59	27,50	32,50	28,50	35,60
Avr. Yield, ql/ha small farms	16,30	34,59	15,60	32,50	17,10	35,60
Gross benefit, dh/ha largr/medium	6766	8646	6875	8125	7125	8900
Gross benefit, dh/ha small farms	4075	8648	3900	8125	4275	8900
Net benefit, dh/ha largr/medium	3315	5890	3526	5562	4078	6353
Net benefit, dh/ha small farms	2013	5892	1675	5562	1784	6353
Variation in net benefit large/medium		+78		+58		+56
Variation in net benefit small farms		+193		+232		+256

2-4 - Energy saving

The calculation of estimated savings in diesel was done only in Chaouia region with a group of seven farmers that have their own machinery. They are located in north-central Morocco, one of the most important production areas for cereals in Morocco, both in terms of share in agricultural surface and production.

The group represents medium size farms in the region. The production system is based on crop and livestock integration. The main crops cultivated are cereals, especially bread wheat. The main growing season for the two typical farms is November to May and the main rotation

is cereals-food legumes or vegetables. They have a low rate of certified seed use (20 %) and low fertilizer and plant protection applications.

Cash cost is the most important cost component, but opportunity costs are also a very relevant cost factor. The opportunity cost for agricultural land in this region is very high, due to high pressure on the land market.

The estimated saving in diesel fuel for the no-till relative to conventional tillage is 24.75 liter per hectare (**Table 5**). According to soil scientists the suitable area for No-tillage system in Morocco is estimated to 1.5 Million ha, so we can save up to 37126 t. of Diesel annually.

Table 5. Estimated savings in diesel fuel for NT relative to CV system

	Diesel consumption l/ha	Diesel cost dh/ha
Conventional system	53,27	385
No-tillage system	28,52	206
Saved energy	24,75	179

2-5 - Adoption of No-till system

In Morocco it is still early to talk about the evaluation of the adoption of NT, despite all the benefits (monitory and no-monitory) of this technology. The reason is that until now we are still working on the evaluation of the technology and no large scale dissemination program was conducted in Morocco and it is difficult to find the NT seeding machine in Machine in Morocco market. However, experiments conducted by INRA scientists with farmers' organization in Chaouia region have shown that farmers are very interested in this technology. Table 5 shows the adoption process for Talout

cooperative at chaouia region. A total of 409 farmers are members of this cooperative and have 2740 hectares of land. In 2007 a NT system trial was conducted with only one farmer belonging to this cooperative and after three years 73 farmers adopted the NT system which represents a rate of adoption of about 18% (Table 6). According to farmers discussion the first constraint to adoption of NT system is the lack of knowledge on how to do it. Farmers and extensionists need to have an adequate level of knowledge before attempting to try the technology on their own farms and plan to change the tilling system. We still have a problem of the adequate NT

seeding machine to recommend to farmers. The INRA prototype could be recommended for some regions but not for others. Residue management is also a problem especially for small holders. The adoption of NT system requires a change from thinking of residue as ruminant

feed (Mrabet, 2008).

Table 6. Adoption process of NT system in Talout cooperative at Chaouia region

	Nb. of farmers using NT.	% of farmers	% of area
2007	1	0.2	0.05
2008	2	0.4	0.2
2009	16	4	2
2010	73	18	15

3- CONCLUSION

The general finding of this study is that bread wheat production in the no-tillage system is more profitable than in the conventional tillage system as the farm saves various tilling steps. Due to the water saving effect, yields are higher in the no-till system. Cash cost is the most important cost component, but opportunity costs are also a very relevant cost factor. Savings in time is very important component and the time saved by switching to NT system could be used to expand livestock and crop production activities.

Cost-Benefit Analyses used in this study estimates only the financial feasibility and economic efficiency of a given option. Adoption of NT system brings many other benefits, which cannot be measured in monetary terms. The use of conservation tillage results in less of an adverse impact on the environment from agricultural production than does conventional tillage by reducing surface water runoff and wind erosion. Wildlife habitat will be enhanced to some extent with the adoption of conservation tillage.

No-till system improves also soil carbon sequestration. Not accounting for the presence and weight of these 'externalities' in a cost-benefit analysis may result in policymakers underestimating some of the most important benefits of adopting NT system and choosing less efficient options. That is why an evaluation of the environmental costs and benefits of conservation tillage is needed in Morocco.

RÉFÉRENCES

- Ekboir, J., 2002. CIMMYT 2000-2001 World wheat overview and outlook: developing no-till packages for small-scale farmers. Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo.
- Hanna, M. 1995. Conservation tillage and no tillage. Publ. AE-3052. Coop. Ext. Serv., Iowa State Univ., Ames.
- Harman, W.L., R.M. Davis, J.E. Morrison, Jr., and K.N. Potter. 1996. Economics of wide-bed farming systems for vertisol (clay) soils: Chisel tillage vs no-tillage. *J. Am. Soc. Farm Mnage. Rural Appraisers* 19:129-134.
- Knowler, D. and Bradshaw, B., 2007. "Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research." *Food Policy* 32: 25-48.
- Mrabet, R., 2001. Le semis direct: potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord. CDSR – AN/CEA.30p
- Mrabet, R., 2002. "Wheat yield and water use efficiency under contrasting residue and tillage systems in a semiarid area of Morocco. *Experimental Agriculture* 38: 237-248.
- Mrabet, R., 2008. No-tillage systems for sustainable dryland agriculture in Morocco. Manuscript. Institut National de la Recherche Agricole. Rabat.
- Pieri, C., Evers, G., Landers, J., O'Connel, P., and Terry, E., 2002. No-till farming for sustainable rural development. Agricultural and Rural Development Working Paper. World Bank: Washington, DC.
- Rebera, L.A., Hons, F.M., Richardson, J.W., 2004. An Economic Comparison between Conventional and No-Tillage Farming System in Burleson Count, Texas. *Agronomy Journal*, Vol. 96, March-April 2004.
- Smart, J.R., and J.M. Bradford. 1998. No-tillage cotton yields and economics for south Texas. USDA-ARS, Beltsville, MD.

Zine El Abidine Aziz ¹

Voici quelques informations sur notre système de production actuel: La superficie totale de l'exploitation est de 800 hectares. La superficie dédiée aux grandes cultures est de 550 hectares non-irriguée. Les cultures les plus utilisées sont les céréales (Blé tendre et dur, triticale, avoine, maïs et orge) et légumineuses (féverole, lentille, poichiche). Les cultures oléagineuses (tournesol et colza) ont été abandonnées pour cause de manque de débouchés commerciaux.

Quand à l'assolement, nous suivons en général le système biennale (céréale-légumineuse, ou céréale-jachère pâturée) pour les cultures en commun. Par contre pour les productions en contrat de semences, nous utilisons le système quinquennal (céréale-légumineuse-céréale-jachère pâturée- céréale-légumineuse...). En effet, le cahier des charges pour la production de semences de légumineuses impose des parcelles sans légumineuses pendant au moins deux ans. Cela nous arrange car nous avons aussi besoin de pâturage pour le cheptel de 1000 têtes d'ovins.

Notre passage du système cultural « conventionnel » au système « de conservation » des grandes cultures (céréales et légumineuses) et assez récent. La transition c'est faite en 2007 avec l'achat d'un semoir direct, le Kuhn SDE2217-19. Cette transition s'est faite sans problèmes majeur et les résultats agronomiques et financiers se sont fait sentir dès la première année : moins de frais, des rendements en général meilleurs, une diminution des mauvaises herbes, et moins d'érosion.

La décision de changer de technique cultural des grandes cultures s'est faite à la suite d'essais menés en 2006 sur une vingtaine d'hectares, année de sécheresse (220 mm de précipitations). Les rendements en système semis direct étaient de 10 qx/ha et en conventionnel de 1 ql/ha. Ensuite le choix d'investir dans le semi-direct a été assez rapide. Durant les années suivantes, avec des pluviométries normales, les rendements en semis direct étaient supérieurs ou égales au semis conventionnels en céréales et toujours supérieurs en légumineuses.

En effet, l'une des plus importantes observations que nous avons remarquée durant les cycles de productions où la pluviométrie était irrégulière (absence de pluie pendant plusieurs semaine durant le printemps) est que en système d'agriculture de conservation, l'effet du stress hydrique était retardé de plusieurs jours voir semaines par rapport au système conventionnel. Ceci s'explique

par le fait que le non travail du sol, couplé au paillage de la culture précédente (ou au couvert végétale) réduisent l'évaporation d'eau du sol. En effet, l'humidité préservée dans le sol grâce au système d'agriculture de conservation fournit les quelques millimètre d'eau nécessaires en l'absence de pluie ; et cela réduit l'effet du stress hydrique pendant cette période cruciale au développement des grandes cultures.

Quand à la consommation de gasoil pour la préparation du sol et de semis, elle a diminuée d'un facteur de 4; la main d'œuvre de 3 ; le gain de temps... L'autre avantage de l'agriculture de conservation, couplée à la rotation culturale, est la diminution des mauvaises herbes (surtout du brome). Le fait de ne pas retourner la terre après avoir éliminé les plantes levées et l'effet paillage, fait que leur stock semencier diminue. Ceci a été particulièrement notée dans les fèves où les désherbages mécaniques et manuels de post-levées ont été éliminés du système SD alors que dans le système conventionnel, un à deux binages mécaniques et un à deux désherbages manuels sont nécessaires.

Les gains écologiques du sol liés au changement de la technique cultural n'ont pas encore été identifiés ; sauf la diminution notable de l'effet d'érosion des parcelles.

Néanmoins plusieurs problèmes se posent par rapport au passage au semis direct et à l'agriculture de conservation en général : Le premier et sans doute le plus préoccupant est la quasi dépendance du système au Glyphosate pour le contrôle des mauvaises herbes de prélevées, avec toutes les inquiétudes qui s'en suivent. Le deuxième est lié au facteur élevage (et donc pâturage) ovin endémique à l'agriculture marocaine : En effet, la compaction du sol par les pattes d'ovins, surtout sur sol humide, affectent le sol à des degrés néfastes pour le bon lit de semis. Les disques semeurs n'arrivent pas à pénétrer la dalle de surface pour un emplacement convenable des semences. Pour remédier à ce problème, nous sommes parfois poussés à décompacter les 5 cm superficiels à l'aide d'un outil à dents. Donc peut-être faudrait-il modifier le semoir actuel en y rajoutant un disc ouvreuse par exemple ?

En bref, ce que nous avons remarqué après notre passage du système cultural conventionnel au système d'agriculture de conservation (semis direct) est le suivant : Une réduction des coûts de production et surtout de consommation de gasoil, un gain de temps, un ef-

¹ - Ste. OUEST MAROCAIN, MEKNES.

fet stress hydrique réduit, une réduction des mauvaises herbes et une meilleure productivité. En contrepartie, la dépendance du système agriculture de conservation vis-à-vis du Glyphosate et la compaction du sol pâturé reste des problèmes à résoudre.

Quoi qu'il en soit, je suis persuadé qu'avec un changement climatique vers plus d'instabilité, le système le plus sûr reste, à court et long terme, le système d'agriculture de conservation.

Etat des cultures : campagne 2011-2012 (féveroles et céréales)



Bourarach El Hassane¹

- 1- Dans le cadre du projet d'élaboration de la Stratégie Nationale de Mécanisation Agricole (SNMA), l'équipe du projet² a organisé avec l'appui de la Direction Nationale du Projet (DDFP/MAPM), la FAO et la collaboration de l'INRA, l'IAV Hassan II et l'ANAFIDE, un atelier sur la mécanisation agricole et l'agriculture de conservation le 28 avril 2011 à l'IAV Hassan II/Rabat (cf. liste des participants en annexe).
- 2- Dr. Theodore Friedrich, expert FAO-Rome en agriculture de conservation, a fait une présentation sur l'agriculture de conservation et sa mécanisation³. Il a présenté les enjeux et les défis (selon lui ce n'est pas un souhait, mais une nécessité), ainsi que la définition de l'agriculture de conservation (AC). Des études de cas et de «success stories» de part le monde ont été présentés.
- 3- Une longue discussion a suivi l'exposé de M. Friedrich autour de la différence entre AC et le semis direct, terme très commun au Maroc. La question de l'opportunité de pratiquer l'AC au Maroc a été également posée. Est-ce qu'elle ne concerne que les grandes cultures et en particulier les céréales ? Le terme semis direct est restrictif à l'idée d'installer une culture sans travailler le sol (zéro travail, «zero tillage», «البداية المباشرة»), alors que l'agriculture de conservation est un concept plus large (cf. plus loin) et qui inclut le semis direct.
- 4- L'agriculture de conservation n'est pas adaptée exclusivement aux zones fragiles (pentes, sensibles à l'érosion, arides,...). Elle a été appliquée à travers le monde aussi bien dans les zones à agriculture pluviale, irriguées, dans les plaines et en montagne et aussi bien pour les céréales, les légumineuses, les arbres fruitiers et même dans certains cas pour les cultures à tubercules.
- 5- Le terme «agriculture de conservation» inclut le système de semis direct qui ne représente qu'une forme extrême dans l'application du concept de l'agriculture de conservation. L'essentiel est dans la signification que nous donnons à ces systèmes et non dans l'appellation.
- 6- L'agriculture de conservation (AC) est basée sur trois (3) principes fondamentaux :
 - a- La perturbation la plus faible possible du sol ;
 - b- La présence d'un couvert végétal (résidus, masse végétale contrôlée si c'est nécessaire) ;
 - c- La diversification des systèmes de cultures (rotations adéquates, contrôle raisonné des adventices, des insectes et des maladies).
- 7- Au Maroc, malgré des résultats prometteurs obtenus par le système de recherche (INRA et IAV Hassan II) durant les trente dernières années, les technologies développées tardent à être généralisées au-delà des situations où elles ont été déjà introduites chez les agriculteurs à cause de raisons subjectives (habitudes, comportements, à-priori chez les agriculteurs, les techniciens et décideurs), et objectives (pâturage des chaumes par le bétail, contrôle des ennemis de la culture, difficultés de conserver une couverture végétale tout le long de l'année, disponibilité de semoirs directs,...).
- 8- Il est impératif de préparer un plaidoyer en faveur de l'agriculture de conservation destiné aux politiciens et décideurs et des actions en vue d'influencer positivement le comportement des agriculteurs vis-à-vis des contraintes qui freinent son adoption.
- 9- Il est important de renforcer l'enseignement de l'agriculture de conservation dans les cursus de formation à tous les niveaux (primaires, techniciens et ingénieurs) et dans les programmes de formation continue.

1 - Enseignant-chercheur au Département Energie et Agroéquipements (IAV Hassan II), bourarachel@yahoo.com et membre du bureau national de l'ANAFIDE.

2 - L'équipe du projet : Doukkali Rachid (Politiques agricoles et institutions) ; Alaoui Si Bennis (Systèmes de production végétale et animale) ; Bartali El Houssine (Post-récolte) ; Bourarach El Hassane (Mécanisation agricole et coordinateur principal) ; Hamzaoui Asmaa (Coordinatrice Nationale) ; Jaouad Mohamed (Agro-économie) ; Lahlou Moanis (Développement de la base de données) ; John Ashburner (Consultant international) ; Kienzle Josef (FAO, Mécanisation agricole, Chef du projet) ; Robert Von Otterdijk (FAO, Post-récolte) ; Friedrich Theodore (FAO, Agriculture de conservation) ; Abdelwahab Belloum (FAO, Agriculture de conservation) ; Simeon Numbem Tchatchoua (FAO, Economie Rurale).

3- L'exposé a été fait en anglais et la traduction a été assurée par Alaoui Si Bennis.

10- Il est urgent d'élaborer un programme de recherche intégrée sur l'agriculture de conservation (production végétale, animale et poste récolte), incluant la composante mécanisation et confié à une équipe pluridisciplinaire (cf. SNMA).

11- Promouvoir le matériel et les systèmes de l'agriculture de conservation à travers des subventions spécifiques (cf. SNMA).

LISTE DES PARTICIPANTS :

Nom & Prénom	Service ou Institution
ALAOUI Si Bennasseur	Consultant National, IAV
Azeddine EL BRAHLI	Association AGENDA
BELLOUM Abdelwahab	FAO(Bwean S/R Tunis)
BENRADI EL HAJ	ADA
BOUGHLALA Mohamed	INRA- Settat
BOURARACH El Hassan	Consultant National Principal, IAV
EL AISSAOUI Abdellah	INRA
EL GHARRAS Oussama	INRA
EL MAGHRAOUI Abdelaziz	FAO-Rabat
FILALI B. Abdelwahab	ANAFID
FRIEDRICH Theodor	FAO – Rome
HAMZAOUI Asma	DDFP/DFV
HOUMY Karim	IAV Hassan II
LAAMEL Hassan	Domaines Agricoles
Mohamed JAOUAD	Consultant National, COMADER
Mohamed OUSSIBLE	IAV Hassan II
MOUFAOUID Hamid	Association AGENDA
MRABET Rachid	CRRA –Tanger (actuellement INRA-Rabat)
Najib EL HANTAOUI	CT Settat
Rachid DOUKKALI	Consultant National, IAV
SAHNOUNI Bouchaib	Institut T.SM.A.E.R Bouknadel

Extrait des actes des 4^{èmes} rencontres méditerranéennes du semis direct.

Edité par H. Bouzerzour, H. Irekti, B. Vadon, Options méditerranéennes,

Série A : Séminaires Méditerranéens. 2011. N° 96. CIHEAM.

RECOMMANDATIONS

Les participants aux 4^{èmes} Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct (4RMSD) ont exprimé la conviction que le futur de l'agriculture durable pour les pays méditerranéens passe par l'adoption de l'agriculture de conservation (AC), voie impliquant une perturbation minimale du sol (pas de labour et semis direct), une couverture du sol avec des résidus de cultures et la diversification des cultures. Cette conviction a évolué grâce à des présentations de concepts et de preuves du terrain de la performance de l'AC dans plusieurs pays méditerranéens et ailleurs, dans d'autres régions avec des environnements similaires, ce qui ouvre la voie à des discussions sur la pertinence de l'AC à maintenir l'intensification de la production et la gestion durable des services des écosystèmes. Ces présentations et les discussions lors des ateliers par les groupes de travail et en séance plénière décrivent clairement l'émergence de l'AC comme une pratique alternative pour remédier aux conséquences négatives de l'agriculture conventionnelle basée sur le travail du sol.

Qu'est-ce que c'est le RCM ?

Le RCM (Réseau grandes Cultures Méditerranéen) est un réseau d'échanges d'expériences et de formation, qui vise à créer et renforcer les liens entre les Organisations de Producteurs, les structures de Recherche & Développement et les organismes agricoles de 8 pays à ce jour (Algérie, France, Espagne, Liban, Maroc, Portugal, Syrie, Tunisie).

Depuis une dizaine d'années il concentre ses travaux et actions sur le thème de l'Agriculture de Conservation et a organisé quatre « Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct » dont le CIHEAM a publié les Actes des deux dernières (Saragosse 2006 et Sétif 2010). Ce réseau informel créé il y a 20 ans et animé par l'association FERT (www.fert.fr), favorise le rapprochement entre l'agriculteur et le chercheur par le biais de programmes d'acquisition de références et de transfert de pratiques en s'appuyant sur la participation de "Groupes Témoins d'Agriculteurs".

Depuis 2012, le réseau est en cours de réorientation et de réorganisation. Ceci pour lui permettre de poursuivre ses activités en tant que réseau d'innovation des agro-systèmes méditerranéens face aux impacts du changement climatique.

Coordinateur : Bruno Vadon (FERT) www.rcmed.org

LES RECOMMANDATIONS SUIVANTES ONT ÉTÉ RETENUES AU TERME DES DEUX JOURNÉES DE TRAVAUX:

- (i) Le secteur de l'agriculture méditerranéenne doit être développé afin de devenir plus concurrentiel et productif, d'assurer la sécurité alimentaire et la durabilité de l'environnement, dans un contexte de raréfaction des ressources naturelles, de l'impact des changements climatiques et de l'augmentation des prix des produits alimentaires, de l'énergie et des intrants.
- (ii) Il y a nécessité d'une sensibilisation continue des scientifiques, des vulgarisateurs, des décideurs politiques, des partenaires des secteurs privé et public, des agriculteurs et de leurs organisations pour guider, promouvoir et adapter, en permanence, le processus de mise en œuvre de l'agriculture de conservation (AC) afin de diffuser ce système à l'ensemble de la région méditerranéenne.
- (iii) L'adoption des systèmes de l'AC doit tout d'abord profiter aux agriculteurs. L'applicabilité, l'acceptabilité et l'adaptabilité de l'AC doivent être le résultat des efforts conjugués entre les organisations d'agriculteurs, les acteurs du développement et les scientifiques, travaillant ensemble, selon une approche de recherche et un mode de diffusion participatifs.
- (iv) Vu que l'AC est basée sur le travail minimum du sol ou le non labour, le maintien de la couverture organique du sol grâce à la conservation des résidus et au semis de plantes de couverture dans un système diversifié, il est nécessaire d'élaborer, de normaliser et d'adopter des machines agricoles spécifiques capables de semer et de récolter dans de tels systèmes. Il est également nécessaire de développer et de promouvoir des approches intégrées pour contrôler les mauvaises herbes, les insectes et les maladies dans de tels systèmes où le labour n'est plus utilisé à cette fin.

- (v) La production des céréales et l'élevage d'ovins sont les principales composantes du système d'exploitation méditerranéen, principalement dans les pays du sud et l'est de la Méditerranée, il est important d'étudier les questions liées à la décision des agriculteurs concernant la conservation optimale des résidus de cultures sur le sol et leur utilisation pour nourrir les animaux. Il est nécessaire également de développer des solutions alternatives (par exemple la gestion des chaumes, les plantes de couverture, les rotations, les variétés, la conduite des élevages, la composition des espèces et la gestion des pâturages ...) pour augmenter la production in situ de la biomasse fonctionnelle au sein de systèmes de culture diversifiés, ceci afin de résoudre les contraintes actuelles liées à l'utilisation des résidus de récolte par le bétail.
- (vi) Pour élargir le débat et l'échange d'informations au sujet des équipements et des machines spécifiques à l'AC, des variétés, des plantes de couverture, de la gestion des chaumes et des résidus, et sur les systèmes de gestion adéquate de l'AC dans la région méditerranéenne, il est nécessaire de mettre en place un véritable réseau régional de « praticiens de l'AC » regroupant l'ensemble des acteurs. Ce réseau, dont le RCM (Réseau Grandes Cultures Méditerranéen) est le point de départ, doit mettre en place un forum de communications sur Internet afin de relier tous les intervenants et organiser l'information sur des sujets prioritaires relatifs à l'AC tels que l'implantation d'arbres et d'arbustes, la gestion des mauvaises herbes, l'irrigation, la gestion de la jachère et des pâturages, l'économie de l'AC, les services environnementaux, la diffusion et les mécanismes de soutien.
- (vii) L'extension du réseau RCM à des associations d'agriculteurs de l'est de la Méditerranée (Syrie, Liban) donne de nouvelles dimensions géographiques à ce mouvement, suggérant de le faire évoluer en un réseau plus formel, avec un partage accru des responsabilités entre les membres des différents pays.
- (viii) Pour ce qui est des 5èmes RMSD, le Portugal et la Syrie se sont portés volontaires pour leur organisation¹. Une réunion aura lieu au cours de l'année 2010, entre les différents groupes d'agriculteurs du réseau RCM et les nouveaux partenaires, pour discuter de l'organisation des rencontres futures et des tâches du réseau.

1- Entre temps RCM a organisé un Atelier d'Orientation Stratégique du 14 au 16 mars 2012 à Bizerte (Tunisie) et une réunion de finalisation et d'ouverture sur d'autres pays le 20 juin 2012 à Beyrouth (Liban).

Problématique

L'adoption de l'agriculture de conservation apporte plusieurs avantages dont la protection du sol contre l'érosion, l'amélioration progressive de la fertilité du sol, un gain de temps appréciable dans l'application de l'itinéraire technique et des améliorations des rendements. L'abandon du labour, induit par cette technologie, fait que les semences produites par les adventices restent en surface, où elles sont exposées aux aléas climatiques et sont plus aptes à germer. Elles deviennent un obstacle à la réalisation de rendements acceptables. Elles constituent un sérieux problème, surtout au cours des premières années de l'adoption du semis direct; période au cours de laquelle l'agriculteur a la nette impression de cultiver des adventices. Ces rencontres sont l'occasion pour réfléchir ensemble au développement de stratégies pour contrer l'envahissement de ces plantes indésirables. C'est là l'objectif de cet atelier.

Les principales réflexions des personnes participantes sont résumées ci-dessous:

- (i) Dans ce domaine, une des premières mesures est d'utiliser des semences certifiées, propres et indemnes de semences d'adventices (hygiène des semences). Il faut aussi réduire les sources d'infestation venant des bordures de la parcelle, qu'il faut veiller à nettoyer.
- (ii) La rotation des cultures est un moyen de lutte efficace contre les adventices. La diversification des espèces cultivées tend vers le développement d'un agrosystème aux multiples avantages. Ceci permet d'éviter la monoculture des céréales et d'avoir accès à une plus grande variété de moyens de lutte (mécaniques et chimiques) et ainsi éviter la dominance d'espèces vivaces et le développement de la résistance qui est générée par la sur-utilisation d'un seul herbicide sur une longue durée.
- (iii) Une disposition homogène et régulière des résidus en surface du sol, réduit la levée des adventices et contribue à leur gestion. Dans le cas des cultures semées sur des rangs jumelés, le binage des inter-rangs peut devenir intéressant pour détruire les espèces envahissantes.
- (iv) Le désherbage chimique, de pré et post-levée des adventices, reste tout de même le moyen le plus rapide pour venir à bout des adventices, il vient en complément des autres alternatives citées.
- (v) Les désherbants totaux sont certes plus efficaces mais aussi plus chers, il faut les utiliser juste avant ou au moment du semis de la culture, pour contrôler l'infestation à la levée de la culture, qui est un stade végétatif très sensible et ceci dans le cas où la présence des adventices justifie une telle application.
- (vi) Utiliser les désherbants chimiques comme seule stratégie de lutte contre les adventices, peut devenir à long terme un problème, suite à l'augmentation des prix et au développement de la résistance, en plus de leur impact sur l'environnement notamment la pollution des eaux de surface et de nappes.
- (vii) L'emploi des désherbants totaux doit se faire sur des parcelles présentant un taux de levée d'adventices élevé. Pour des adventices difficiles à gérer plus tard, il est souvent préférable de retarder le semis jusqu'à obtenir le maximum d'adventices levées, désherber et puis semer.
- (viii) En matière de désherbants chimiques il est important que les agriculteurs puissent avoir une bonne connaissance des produits utilisés et de leur spectre d'action. Ceci est un préalable pour obtenir de bons résultats.
- (ix) L'exploitant doit connaître les adventices spécifiques à ses parcelles et les moyens dont il dispose pour les détruire. L'adoption du semis direct n'autorise certes pas le travail du sol, mais dans des cas de fortes infestations, l'agriculteur doit utiliser des opérations culturales telles que le binage pour éviter une démultiplication des adventices.
- (x) Une intervention culturale est souvent moins coûteuse et plus efficace qu'un désherbage chimique. Mais parfois il faut une combinaison des deux pour avoir un meilleur résultat, surtout lorsqu'on note le développement de la résistance vis-à-vis des herbicides employés.
- (xi) Le semis avec des inter-rangs plus réduits et des densités plus élevées contribue à rendre la culture plus agressive et plus compétitive vis-à-vis de la flore adventice.
- (xii) Lorsque c'est possible il faut utiliser des variétés plus aptes à concurrencer les adventices (vigueur de croissance plus élevée).
- (xiii) A long terme, il faut aller vers une gestion intégrée des adventices en mettant en œuvre conjointement les techniques culturales, mécaniques et chimiques pour obtenir de meilleurs résultats.

Problématique

La pratique du semis direct ne peut à elle seule régler les problèmes liés à la conservation des sols et à la pérennité des rendements; l'approche doit être plus globale et éviter de la limiter à celle relative à l'utilisation d'un outil. Il s'agit de mettre en place des systèmes de culture durables qui puissent englober des rotations tout en améliorant et préservant la fertilité des sols.

Objectifs

L'assistance a insisté sur les répercussions économiques, agronomiques et environnementales qu'impliquent la pratique de la rotation et l'assolement. Les choix ne peuvent se faire qu'après avoir réglé la problématique du marché et des débouchés pour les produits récoltés tout en tenant compte de la protection des végétaux et de la fertilisation. Le type de rotation à adopter ne doit cependant pas obligatoirement perdre de vue les spécificités pédoclimatiques et sociales de la région où elle est pratiquée.

Par ailleurs, les objectifs suivants sont également à énumérer:

- (i) Préservation et protection des ressources naturelles, notamment le sol et l'eau;
- (ii) Protection et amélioration de l'équilibre biophysique du sol (matière organique, fertilité physique et chimique) ;
- (iii) Réduction de la jachère.

Différents types de rotation

Les représentants des différents pays présents aux 4^{èmes} RMSD ont pris chacun la parole pour informer l'assistance sur les différentes rotations utilisées dans leur pays (et région) respectif. Celles-ci sont, à chaque fois, reliées à des contextes pédoclimatiques.

Autour de 250 mm

C'est le domaine de la monoculture et de la pratique de la jachère pâturée. Dans ces zones trop sèches, le travail minimum serait plus approprié que le semis direct.

Entre 250 mm et 400 mm (semi-aride)

- (i) Sorgho ou culture d'été juste après fourrages. (ii) Blé sur sulla.
- (iii) Avoine fourrage 1 blé.

(iv) Blé Ilégumineuse ou blé fourrages.

En zone humide

- (i) Colza ou tournesol/ blé.
- (ii) Pâturage de sulla + avoine.

En zone bien arrosée

On peut passer au système triennal et/ou quadriennal. Sur les terrains en pente le maintien d'un couvert végétal permanent est indispensable pour préserver le sol contre les phénomènes d'érosion hydrique. Le semis direct y est également vivement préconisé.

Contraintes majeures

Nous reprenons ici les contraintes majeures énumérées par les participants à cet atelier et allant,3 l'encontre d'une pratique judicieuse et rationnelle de la rotation/assolement:

- (i) Problèmes de débouchés des produits issus de la pratique de l'assolement.
- (ii) Problèmes posés par l'inexistence de marché et de politique des prix.
- (iii) Problèmes liés à l'indisponibilité en semences et variétés adaptées à ce système. (iv) Problèmes de disponibilité en équipements appropriés.

Problématique

La disponibilité de l'alimentation est une contrainte majeure, notamment pour l'élevage ovin et bovin des régions arides et semi-arides du pourtour méditerranéen où domine la monoculture céréalière. La rigueur et la variabilité climatiques sont à l'origine de la faible production de la biomasse et surtout de son irrégularité spatiotemporelle. Pour augmenter la quantité de biomasse produite il faut augmenter et gérer l'humidité du sol. Ceci ne peut être réalisé qu'à travers l'augmentation de la matière organique du sol. Ceci nécessite le maintien d'un couvert végétal permanent en surface du sol. L'intégration de l'élevage à la céréaliculture est basée essentiellement sur le pâturage des chaumes et résidus de la céréale et de la jachère laissée à cet effet.

L'adoption de l'agriculture de conservation comme alternative à la conduite traditionnelle de la céréaliculture, avec la nécessité de laisser le sol couvert de résidus, introduit une nouvelle contrainte à la conduite de l'élevage. Les objectifs fixés à cet atelier qui traite de la question de la présence de l'élevage, notamment celui des ovins, dans les exploitations pratiquant l'agriculture de conservation, sont multiples dont entre autres:

- (i) Comment couvrir les besoins du troupeau et assurer la couverture du sol en résidus?
- (ii) Quelles sont les nouvelles sources d'affouragement pour alléger la pression sur les résidus?
- (iii) Comment conduire le troupeau afin de mieux gérer les résidus?
- (iv) Comment gérer la présence des troupeaux des éleveurs non propriétaires terriens?

Points abordés au cours de la discussion

- (i) L'élevage est une composante incontournable des activités de l'exploitation, notamment celles des zones arides et semi-arides où il constitue une importante source d'autofinancement.
- (ii) L'adoption de l'agriculture de conservation, avec l'obligation de laisser les résidus en surface du sol, induit une diminution des ressources alimentaires du cheptel, notamment dans les exploitations où traditionnellement l'élevage utilise les sous-produits des activités végétales dont entre autres les résidus des céréales, en plus de la vaine pâture des jachères.

- (iii) Des solutions alternatives sont à trouver pour compenser pour les résidus laissés au sol, soit par l'introduction de nouvelles cultures (espèces, variétés) à forte production de biomasse, soit par la valorisation des jachères enherbées grâce à des semis d'espèces appétantes (Médicago biennuel, avoine, associations fourragères: pois-orge, pois-avoine, vesce-avoine, triticale), réserver des parcelles spécialement à cette activité (parcours).
- (iv) La gestion de la charge est aussi importante pour laisser le minimum nécessaire de résidus en surface du sol des parcelles conduites en agriculture de conservation. Les solutions à proposer doivent être les moins coûteuses, suite au fait qu'elles viennent remplacer des ressources fourragères, certes de moindre qualité, mais généralement gratuites.
- (v) Raisonner la reproduction des troupeaux en fonction des périodes à forte production de biomasse (agnelage de printemps vs automne), et utilisation du fumier comme une source de matière organique utilisable sur les parcelles.
- (vi) Le morcellement des terres est une autre contrainte à laquelle il faut réfléchir pour faciliter l'adoption de l'agriculture de conservation en parallèle et la conduite de l'élevage.

DÉVELOPPEMENT ET COUPLAGE D'UN SIGWEB-SOL AU MODÈLE IMPELERO POUR LE DIAGNOSTIC ET L'ÉVALUATION DE L'ÉROSION HYDRIQUE À L'ECHELLE PARCELLAIRE DANS LE BASSIN VERSANT DE TLETA

H.Ezzine, M.Naimiet S.Zhim

1- RÉSUMÉ

Cette étude a comme principal objectif le développement d'une approche méthodologique permettant de diagnostiquer et d'évaluer la dégradation des sols par érosion hydrique, à l'échelle parcellaire, au niveau du bassin versant Tleta dans le Rif occidental marocain. Le modèle IMPELERO préconisé est un modèle hybride combinant un arbre de décision et un réseau neuronal artificiel. Ce modèle a été développé au Sud de l'Espagne et a été évalué préalablement au contexte de la zone.

A ce propos, deux images de très haute résolution spatiale, SPOT 5 à 2,5 m et Quickbird à 0.6 m, acquises en 2009 ont été traitées pour extraire et cartographier les parcelles agricoles et les principales occupations du sol : céréales et légumineuses. De même, les cartes et informations pédologiques, topographiques, agronomiques et climatiques ont été compilées pour produire différentes couches d'information au sein d'un Système Information Géographique.

Cette base de données a été structurée et centralisée sur la parcelle et un modèle conceptuel de données a été mis en place. Le jeu de données a été, ensuite, couplé au modèle IMPELERO. C'est ainsi que pour chaque parcelle au niveau du bassin versant, six indices qualitatifs liés aux terrains et à leurs modes de gestion ont été dérivés à travers l'arbre de décision. Le réseau neuronal artificiel du modèle a servi pour l'estimation de l'indice de vulnérabilité des sols, la perte en sol (Mg/ha/an) et la perte en profondeur (cm/an). Enfin, un SIGWEB-Sol doté des fonctionnalités de base des SIG a été développé pour la diffusion et la dissémination de cette information spatiale.

Les résultats obtenus ont montré que les facteurs d'érosivité du ruissellement, l'aléa topographique et dans une moindre mesure l'érodibilité des sols sont en faveur d'une érosion intense au niveau des terres de culture. Les taux de perte en sol enregistrés dépassent 90 Mg/ha/an dans certaines parcelles, et 40 % des terres de culture affichent une vulnérabilité élevée à très élevée. Aussi, la comparaison des résultats obtenus en 1998, en utilisant une image SPOT (20 m) et une image Landsat (30 m) avec ceux de 2009 a révélé que l'amélioration de la résolution spatiale a permis de déceler plus de détail spatial, ce qui s'est traduit par une meilleure caractérisation et un meilleur diagnostic de l'érosion hydrique.

Mots-clés : Érosion hydrique, modélisation, SIGWEB, Maroc.

2- INTRODUCTION

Les études et les diagnostics de l'érosion hydrique au Maroc s'accordent sur l'ampleur de ce phénomène dans les terres de cultures. Le dernier rapport sur l'état de l'environnement au Maroc (2001) a fait référence à l'état du lieu dressé par la FAO en 1977, et qui révèle que 12.6 millions d'ha de terres de culture et de parcours sont menacés par l'érosion et que les 2/3 des terres cultivées requièrent des mesures antiérosives urgentes.

L'érosion hydrique a des conséquences néfastes sur l'agriculture, secteur clé pour le développement économique et social au Maroc. Ces conséquences se manifestent en amont par la destruction des propriétés physico-chimiques des sols et la régression de leur productivité. En aval, l'érosion hydrique provoque la diminution des ressources en eaux, suite au colmatage de l'infrastructure hydraulique, à l'envasement précoce des barrages et à l'eutrophisation des retenues.

La quantité d'eau amputée annuellement est estimée à 50 millions de m³ (Lahlou, 1995). C'est ainsi que ce processus handicape deux politiques majeures entreprises par le Maroc, en l'occurrence, la politique des grands barrages, engagée depuis les années cinquante en vue de mobiliser les ressources en eau, et la politique agricole révisée récemment dans le cadre du Plan Maroc Vert et qui vise à rendre l'agriculture le principal moteur de croissance de l'économie nationale dans les 10 à 15 prochaines années.

Pour faire face à ce processus de dégradation des sols et à ses conséquences socio-économiques et environnementales, les spécialistes ont eu recours à la modélisation en tant que technique d'évaluation et de prédiction de l'érosion hydrique. Ce choix a été justifié, entre autres, par la lourdeur et le coût des approches conventionnelles, qui nécessitent la collecte soutenue de données sur le terrain. Néanmoins, le développement des modèles a été confronté au manque de certaines données.

Ceci a été surmonté, en partie, par l'usage des données d'observation de la terre et les procédés de traitement d'images. De même, les systèmes d'information géographique ont été adoptés comme outil de traitement, d'analyse et d'intégration des données.

Les approches et les modèles développés ont permis de faire le diagnostic de l'érosion hydrique à des petites et moyennes échelles, qui sont utiles pour la hiérarchisation des bassins versants en termes de priorité et d'urgence d'intervention.

En revanche, ces échelles demeurent insuffisantes pour un diagnostic à l'échelle de la parcelle, la plus petite unité de gestion du territoire agricole, ce qui entrave ainsi une intervention ciblée et raisonnée. Il est, donc, tout à fait pertinent d'aborder cette problématique à grande échelle afin de hiérarchiser les parcelles, de proposer des techniques de conservation et d'aménagements antiérosifs adaptées et d'optimiser ainsi la gestion et l'aménagement du territoire. C'est dans cet axe de recherche que s'inscrit la présente réflexion qui a comme principal objectif la conception et la mise en place d'une approche méthodologique pour le diagnostic spatialisé de l'érosion hydrique à l'échelle parcellaire, au niveau du bassin versant. Les objectifs spécifiques assignés à cette étude sont :

- La cartographie des parcelles et de l'utilisation du sol au niveau du bassin versant à partir des données d'observation de la terre.
- La conception d'une base de données à référence spatiale intégrant les paramètres impliqués dans le processus d'érosion hydrique.
- La caractérisation des facteurs d'érosion hydrique à l'échelle parcellaire au niveau du bassin versant.
- Le diagnostic et la quantification de l'érosion hydrique à l'échelle parcellaire au niveau du bassin versant.
- Le développement d'une interface SIGWEB-Sol pour la diffusion des résultats.

3- MÉTHODOLOGIE

3-1 - Présentation de la zone d'étude

Pour l'objet de la présente réflexion, le choix s'est focalisé sur le bassin versant Tleta, qui se situe au Nord du Maroc au cœur du bassin tangérois, entre deux grandes villes du Nord marocain Tanger et Tétouan (Figure 1). Il occupe une superficie approximative de 18000 ha. Ce bassin versant a été choisi pour le fait qu'il appartient à une chaîne orogénique encore jeune (Rif occidental), facilement érodable et constituant une des zones les plus menacées par le phénomène d'érosion hydrique. De même, le choix a été motivé par la présence et la dominance des terres de culture dans le bassin versant. Aussi, la situation géographique du bassin versant Tleta, sa similarité et sa proximité de la zone d'Andalousie, où le modèle IMPELERO a été conçu, ont favorisé ce choix.

La zone d'étude se caractérise par un climat de type méditerranéen, chaud et sec en été, froid et pluvieux en hiver, avec un printemps et un automne parfois très pluvieux. Le bassin versant est exposé à une double influence marine (Méditerranéenne et Atlantique), ce qui se traduit par un contraste entre les versants atlantiques très arrosés et les versants méditerranéens secs. La moyenne annuelle des précipitations enregistrée au cours des 29 dernières années (1980 – 2009) est de 577 mm. Cette moyenne peut facilement doubler au cours des années pluvieuses.

Figure 1. Situation géographique du bassin versant Tleta



Le bassin versant de Tleta est caractérisé par des températures très peu variables, en effet les moyennes annuelles maximales et minimales sont respectivement autour de 28 et 5°C. La zone d'étude est caractérisée par une couverture pédologique très diversifiée. On y trouve les sols minéraux bruts, les sols peu évolués, les vertisols, les sols calcimagnésiques, les sols brunifiés, les sols à sesquioxydes de fer et de manganèses et les sols hydromorphes.

Le bassin versant Tleta est dominé par des altitudes faibles à moyennes variant de quelques mètres à 680m au point culminant. A l'Est et au Sud, on trouve une ligne de montagnes, dont l'altitude varie de 400 à 680m, la partie Est est dominée par des collines de 100m à 150m d'altitude. La zone d'étude est caractérisée par un relief très accidenté. Les formations végétales occupant le bassin versant sont en stade de dégradation due à une action anthropozoogène très marquée.

La répartition spatiale de la végétation dépend surtout de la lithologie et des types de sols. Sur le substrat marneux et les sols à texture argileuse, on trouve le matorral haut et dense, le matorral bas et clair et l'Erme très clair. Sur le substrat gréseux, on y rencontre essentiellement par les matorrals, issus de la dégradation de la subéraie.

4- APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Parmi l'éventail des modèles d'estimation de l'érosion hydrique, plusieurs raisons ont favorisé le choix du modèle IMPELERO. C'est un modèle développé au Sud de l'Espagne, dans la zone d'Andalousie, qui est un contexte similaire à notre bassin versant sur le plan physiographique, physique, géographique et climatique. Une première évaluation du modèle IMPELERO dans le cadre d'une étude comparative de trois modèles à moyenne échelle (1/100 000), dans le contexte de notre zone d'étude, a révélé la concordance relative d'IMPELERO avec la réalité du terrain (Ezzine, 1998).

Ceci a constitué un critère clé qui a renforcé le choix de ce modèle. Le choix a été aussi motivé par le fait que le modèle IMPELERO a été développé pour l'estimation de l'érosion hydrique dans les terres de cultures, ce qui est tout à fait en phase avec les objectifs de l'étude. Enfin, le modèle IMPELERO a été préconisé puisqu'il a l'avantage d'utiliser des données descriptives simples à collecter sur le terrain.

Le modèle IMPELERO a été développé par De la Rosa et ses collaborateurs (1998) dans le cadre du projet Européen IMPEL (Integrated Model to Predict European Land use). Sa genèse a été inspirée de l'équation universelle de perte en sol (USLE) et ses concepts reposent sur les nouvelles méthodes de traitement, d'analyse et d'intégration de données, notamment, un arbre de décision et un réseau neuronal artificiel.

Ces derniers ont substitué l'équation de multiplication du modèle de Wischmeier et ont été conçus sur la base du suivi de 237 parcelles expérimentales, appartenant à la zone d'Andalousie au Sud de l'Espagne. Les données collectées et le suivi au niveau des parcelles sont considérées par le modèle IMPELERO en tant que caractéristiques du terrain et de son mode de gestion (Land/Management Characteristics L/M C).

La combinaison de ces caractéristiques, à travers un arbre de décision, permet d'apprécier six indices qualitatifs liés au terrain et à son mode de gestion (Land/Management Qualities L/MQ) qui sont : l'aléa topographique (t) et l'érosivité du ruissellement (r) sont les facteurs les plus critiques vis-à-vis de la dégradation des sols par érosion hydrique, ils sont suivis, dans une moindre mesure, par l'érodibilité des sols (k) et la protection des cultures (c).

Le réseau neuronal est utilisé ensuite pour identifier l'indice de vulnérabilité et quantifier la perte en sol. Les détails afférents au modèle IMPELERO, sa genèse, et le fonctionnement de l'arbre de décision et du réseau neuronal artificiel peuvent être consultés dans cette référence (De La rosa et al., 1998), ou encore dans Ezzine (1998) et Ezzine (2010), qui traitent son usage dans un bassin versant marocain.

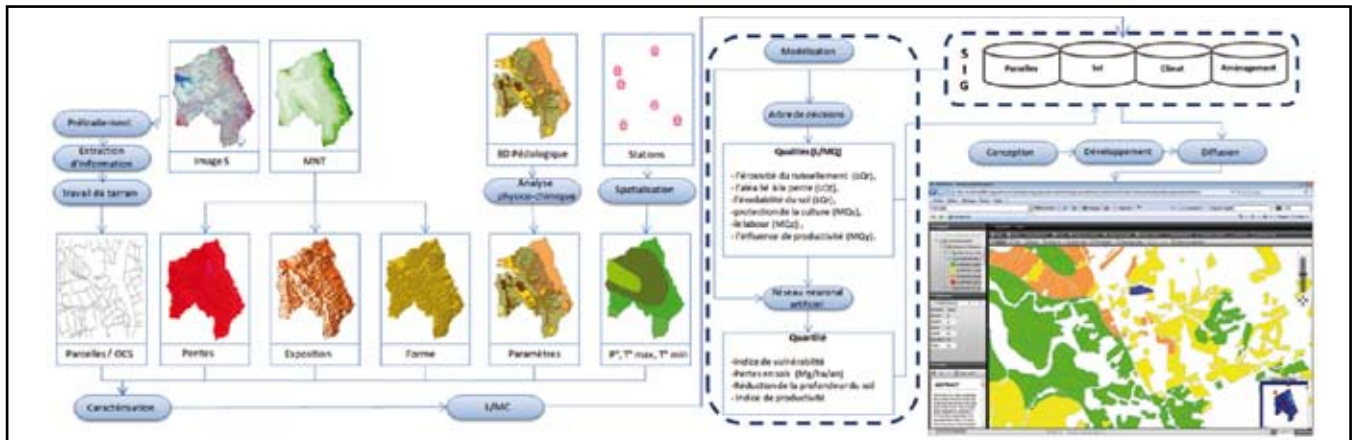
L'approche méthodologique préconisée est schématisée par la figure 2. En effet, deux images à très haute résolution spatiale ont été acquises en 2009 et ont été utilisées dans le cadre de la présente étude. Une scène SPOT 5, à 2.5 m et une autre Quickbird à 0.6 m. Les deux images ont subi les prétraitements classiques, suivis d'une orthorectification sur la base d'un modèle numérique de terrain et des points d'appuis, bien répartis sur le bassin versant étudié.

Les orthoimages ont été utilisées comme source d'information pour cartographier le parcellaire par la technique de photo-interprétation, et ont servi aussi à la production de la carte d'occupation du sol en combinant la classification supervisée et la photo-interprétation. Une attention particulière a été accordée aux deux cultures dominantes dans la zone d'intérêt, en l'occurrence les céréales et les légumineuses.

La bibliographie, les observations et les enquêtes de terrain ont permis de faire le point sur les pratiques culturales en usage dans la zone. Ensuite, pour chaque parcelle, les caractéristiques du terrain ont été extraites à partir de la base de données pédologique en s'appuyant sur les techniques d'analyse spatiale et géostatistique. Il s'agit notamment des paramètres suivants : la texture du sol, le drainage du sol, la minéralogie des sols argileux, le taux des pierres (pierrosité), la matière organique du sol, le taux de saturation en sodium, le groupe du sol. Les autres caractéristiques du terrain, celles afférentes à la topographie, en l'occurrence, l'altitude, la pente et sa forme ont été dérivées du modèle numérique de terrain. D'un autre côté, les enregistrements météorologiques (les températures mensuelles maximales et minimales et les précipitations mensuelles) relevés dans six stations localisées dans le bassin versant et à sa proximité ont été spatialisés.

Ces couches d'information spatialisées ont servi au calcul de l'indice de fourmier modifié et au calcul de l'indice d'humidité, en tant qu'indicateur de l'humidité antécédente du sol, qui surgit l'infiltration et le ruissellement. Les deux indices ont été calculés d'abord pixel par pixel et ensuite une synthèse statistique a été généralisée pour chaque parcelle.

Figure 2. Schéma de l'approche méthodologique préconisée



Les différents paramètres ont servi comme inputs au modèle IMPELERO. Les simulations et les calculs ont été faits parcelle par parcelle. L'arbre de décision a permis d'estimer six indices (LM/C) et (LM/Q). Chaque indice est constitué de quatre classes : faible, modérée, élevée et très élevée. La conjonction de ces indices a permis d'estimer, à travers le réseau neuronal artificiel, l'indice de vulnérabilité qui varie de 0 à 1, et a permis aussi de quantifier la perte en sol (Mg/ha/an). De même, la réduction de profondeur du sol a été calculée en fonction de la densité apparente. Les différents paramètres et produits générés au cours de ce travail ont été structurés selon un MCD. De même un SIGWEB-Sol a été conçu en se basant sur la technologie MapGuidOpenSource.

5- RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les procédés de traitement d'images satellitaires et d'extraction d'information, renforcés par les données collectées sur le terrain, ont permis de cartographier les parcelles et l'occupation du sol, notamment les céréales et les légumineuses. Ce sont des cultures de type extensif, en zone Bour (pluviale), cultivées souvent en rotation. Le travail du sol est traditionnel et a lieu après moisson, les résidus sont utilisés comme parcours pour le bétail. Les parcelles appréhendées au niveau du bassin versant sont situées essentiellement dans l'Est du bassin versant ou aux alentours du cours d'eau principal. Les parcelles installées sur les sols peu évolués représentent 59 % de la surface des terres de culture, suivies par les vertisols qui s'étalent sur 30 % de la surface.

Le reste est composé, par ordre d'importance, des sols calcimagnésiques, des sols hydromorphes, des sols brunifiés, des sols à sesquioxyde de fer et de manganèse et des sols minéraux bruts. En termes de texture, les sols argileux constituent 89 % de la surface des terres de culture. Le MNT a permis de dériver la carte des pentes, d'expositions des versants, de formes des pentes, au ni-

veau du bassin versant. Ensuite, les paramètres topographiques susmentionnés ont été successivement superposés, avec la carte du parcellaire en vue de la caractériser selon le principe de la contrainte maximale. L'indice de fournier modifié et l'indice d'humidité ont été calculés au niveau du bassin versant en fonction des températures maximales et minimales mensuelles et des précipitations mensuelles. Il ressort de ces deux indices que les terres de culture au niveau du bassin versant sont entièrement soumises à une agressivité climatique élevée.

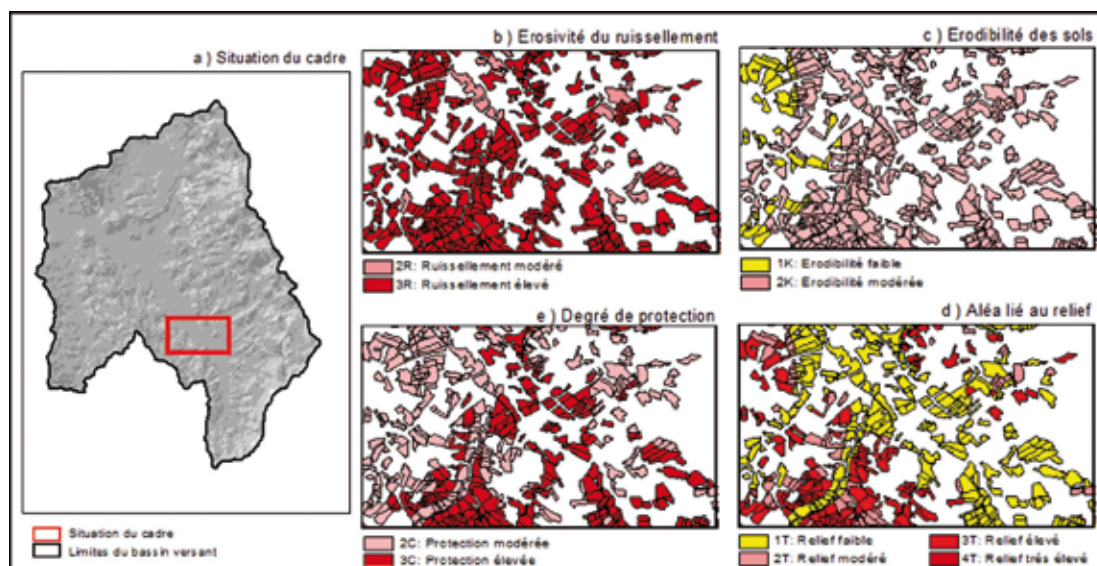
Le degré d'érosivité du ruissellement (r), l'aléa lié au relief (t), l'érodibilité des sols (k) et le degré de protection des cultures (c) ont été estimés pour chaque parcelle, en fonction des caractéristiques du terrain et à travers l'arbre de décision. La figure 3 présente des extraits de ces paramètres. La ventilation des statistiques sur l'ensemble de terres de culture cartographiées a révélé que l'essentiel du bassin versant, soit 92 % des surfaces cultivées, se caractérise par un degré d'érosivité du ruissellement élevé (3R). Ceci est expliqué par la conjonction d'une agressivité climatique élevée et des sols à texture fine à modérément fine, et qui sont caractérisés par un faible drainage.

Le reste de la surface (8%) affiche un degré d'érosivité modérée (2R). Concernant l'érodibilité des sols, trois classes ont été identifiées ; classe à érodibilité faible (1K), classe à érodibilité modérée (2K) et classe à érodibilité élevée (3k). En termes de surface, ces classes occupent respectivement 17, 76 et 7%, et affichent ainsi une dominance des sols à érodibilité modérée. Il est à noter que la classe d'érodibilité élevée correspond à des sols peu évolués, avec une texture argilo-limoneuse, une structure prismatique et un taux de matière organique très faible ; ou à des sols brunifiés à texture limono-argilo-sableuse avec une faible teneur en matière organique. La classe d'érodibilité modérée est caractérisée par différentes combinaisons, comme la conjonction

d'une texture fine avec des taux de matière organique faibles ou une pierrosité faible. S'agissant de la topographie, la caractérisation des parcelles a fait ressortir qu'environ 60 % des terres de culture sont situées sur des pentes inférieures à 3 %. Le reste (40 % des terres de cultures) est situé sur des pentes supérieures à 3% et est donc exposé à l'érosion hydrique. L'analyse de l'aléa lié au relief, selon le modèle IMPELERO, a révélé que la zone est marquée par différents niveaux. En effet, 56 % des terres de cultures sont situées sur des zones à aléa faible.

Les parcelles localisées sur des zones à aléa modéré occupent 18 % de la surface. Les parcelles caractérisées par un aléa très élevé constituent 26 %. Cette classe concerne les zones montagneuses à pente convexe et les versants orientés vers le sud à pente concave. Le degré de protection des cultures, estimé par le modèle, a divisé la zone d'étude en deux catégories. Les terres de culture faiblement protégées (3c) qui occupent 71 % de la surface et qui correspondent aux céréales. Les terres de culture modérément protégées (2c) qui couvrent 29% de la surface et qui concordent avec les légumineuses.

Figure 3. Extraits des résultats qualitatifs, a) situation de l'extrait, b) érosivité du ruissellement, c) érodibilité des sols, d) aléa lié au relief, e) degré de protection



L'indice de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique a été estimé par le biais du réseau neuronal artificiel, parcelle par parcelle (figure 3). Les valeurs de cet indice varient à peu près de 0.04 à 0.85, affichant ainsi cinq classes de vulnérabilité, allant du niveau faible au niveau extrême.

Les classes de vulnérabilité élevée à extrême couvrent 44 % des terres de cultures. La majorité de ces terres est caractérisée par la conjugaison d'une érosivité de ruissellement élevée (4r) et un niveau d'aléa topographique élevé à modéré. Les classes modérées et faibles occupent respectivement 25 et 32 %. Cette dernière classe affiche une dominance d'un aléa topographique faible et des niveaux d'érodibilité élevée. Concernant le taux de perte en sol, les valeurs estimées par le modèle IMPELERO varient de 5 à 150 Mg/ha/an.

Les terres de cultures dont la classe de perte en sol est inférieure à 10 Mg/ha occupent approximativement 32 % de la surface. La classe de perte en sol située entre 10 et 50 Mg/ha constitue 23 % et celles comprises entre

50 et 100 et plus que 100 Mg/ha couvrent respectivement 17 et 20 % de la surface totale. Ces dernières sont marquées par la concomitance d'un coefficient de ruissellement très élevé (4r) et un coefficient topographique élevé (4t), ou par la coïncidence d'un coefficient de ruissellement élevé (3r), d'un coefficient topographique élevé (3t) et d'un degré d'érodibilité élevé (3k). Les terres de culture à niveau de perte en sol faible (5 à 12 Mg/ha/an) sont caractérisées par la superposition des conditions topographiques faible (1t) et un degré d'érodibilité faible (1k) et un niveau de protection modéré (2c).

L'étude de l'évolution spatiotemporelle de l'indice de vulnérabilité, sur la base de la comparaison des résultats obtenus en 1998 et ceux du présent travail (2009), est susceptible d'être biaisée puisque les échelles de travail des deux dates ne sont pas comparables. La réflexion s'est limitée à une comparaison visuelle de la zone délimitée en bleu dans la figure 3. En 1998, cette zone a été dominée par les terres de cultures, toutefois les limites des parcelles n'étaient pas repérables compte-te-

nu de la résolution spatiale des images utilisées à cette date (SPOT à 20 m et Landsat à 30 m). Cette zone a été considérée homogène à cette échelle puisque les limites entre les parcelles n'étaient pas repérables, et a affiché un indice de vulnérabilité modéré (V3). En 2009, les résolutions spatiales très fines (0.6 m et 2.5 m) des images utilisées ont permis de repérer et de cartographier les parcelles. C'est ainsi que pour chaque parcelle l'indice de vulnérabilité a été estimé.

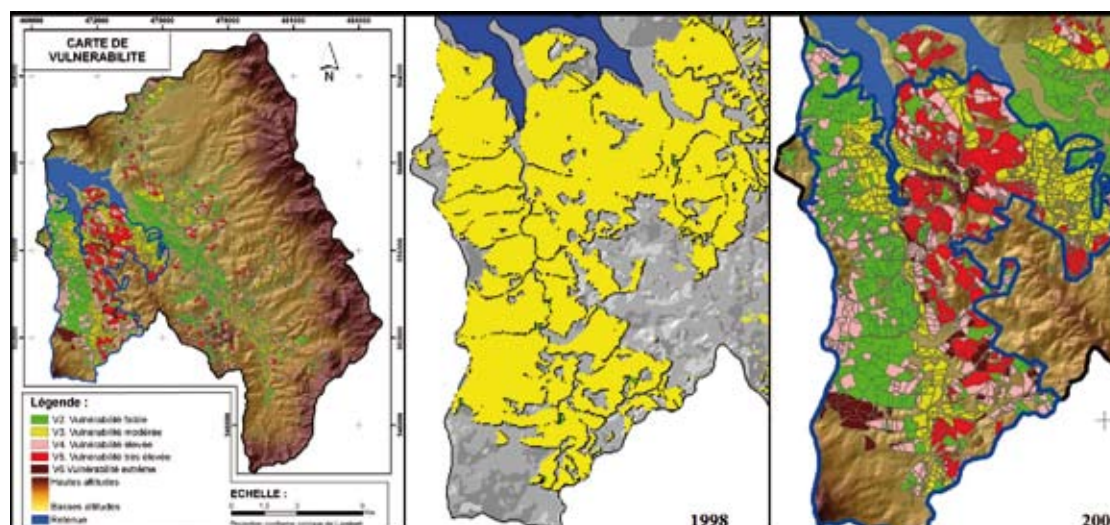
Ce dernier, a révélé qu'en plus de la classe modérée (seule classe obtenue en 1998), d'autres classes ont été identifiées, en l'occurrence les classes de vulnérabilité élevée, très élevée, extrême (V4, V5 et V6) et la classe de vulnérabilité faible (V2). La différence de vulnérabilité entre les deux dates (1998 et 2009) est due, fort probablement, à l'agrandissement de l'échelle de travail qui a permis d'appréhender plus de détail spatial, et donc une meilleure caractérisation et un meilleur diagnostic de l'érosion hydrique.

De même, une part de cette différence peut être attribuée

aux changements survenus entre les deux dates, dans les caractéristiques du terrain et de leurs modes de gestion. Le même raisonnement a été appliqué pour l'analyse de l'évolution spatiotemporelle de la perte en sol entre les deux dates (1998 et 2009). La perte en sol affichée en 1998, dans la zone de comparaison (limite bleu dans la figure 10), était de l'ordre de 50 à 100 Mg/ha/an. Les taux obtenus en 2009 varient de 5 à 150 Mg/ha/an en fonction des parcelles et couvrent ainsi toutes les classes de pertes en sol. Presque 50 % de ces parcelles se caractérisent par un taux d'érosion compris entre 5 et 12 T/ha/an, classe qui ne figure nullement en 1998. Ce constat est valable pour la classe des pertes en sol comprise entre 100 et 150 T/ha/an.

L'explication avancée précédemment pour l'indice de vulnérabilité est valable pour la perte en sol. On estime que les valeurs obtenues en 1998 sont, en quelque sorte, une pondération de la valeur réelle, et que l'amélioration de la résolution spatiale a permis de mieux caractériser les parcelles et d'apporter plus de détail quant à l'estimation de la perte en sol.

Figure 4. Carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique. Situation 1998 et 2009



6- CONCLUSIONS

Cette recherche s'est intéressée au diagnostic et à l'estimation spatialisée de l'érosion hydrique à l'échelle parcellaire, au niveau du bassin versant Tleta. Ceci a été réalisé à travers le couplage du modèle IMPELERO à une base de données à référence spatiale, issue de l'acquisition et du traitement des images satellitaire à très haute résolution, d'une carte pédologique, d'un MNT et des enregistrements climatiques (température et précipitation). Ce jeu de données a été structuré et centré sur la parcelle, selon un MCD, et il a servi comme input au modèle IMPELERO. L'arbre de décision a permis de

caractériser le bassin versant, parcelle par parcelle, à travers six indices qualitatifs (l'érosivité du ruissellement, l'aléa lié au relief, l'érodibilité du sol, la protection de la plante, le système de labour et l'influence de la productivité).

Ensuite, le réseau neuronal artificiel, en combinant les six indices, a permis de déterminer l'indice de vulnérabilité et la perte en sol. La réduction de la profondeur du sol a été calculée en fonction de la densité apparente. Chaque produit a fait l'objet d'une couche d'information au sein du SIG. Pour faciliter l'usage des données et assurer leur diffusion, une interface SIGWEB-Sol a

été mise en place. Les résultats obtenus ont montré que l'aléa topographique (t) et l'érosivité du ruissellement (r) sont les facteurs les plus critiques vis-à-vis de la dégradation des sols par érosion hydrique. Ils sont suivis, dans une moindre mesure, par l'érodibilité des sols (k) et la protection des cultures (c). La conjugaison de ces facteurs d'érosion des sols a fait des terres de culture au niveau de la zone étudiée, le siège d'une dégradation intense, comme en témoigne l'indice de vulnérabilité et les taux de perte en sols enregistrés.

En effet, les terres de culture au niveau de la zone d'étude se caractérisent par une prépondérance de la classe de vulnérabilité élevée et très élevée qui constituent 44 % de la surface. De même, les taux de perte en sol estimés peuvent atteindre 150 Mg/ha/an, soit un niveau de perte très élevé. La comparaison visuelle des résultats obtenus en 1998 et 2009 laisse présager que la cartographie à grande échelle, en se basant sur des images satellites à très haute résolution spatiale, a apporté plus de détail spatial. Ceci s'est matérialisé par la production de la carte du parcellaire. Ce détail géographique s'est accompagné par un détail thématique qui réside dans une meilleure caractérisation des parcelles et une meilleure discrimination entre les niveaux de vulnérabilité et les taux de pertes en sol par érosion hydrique.

De même, l'étude a permis de générer plusieurs documents à l'échelle de la parcelle, comme la carte d'indice de vulnérabilité et la carte de perte en sol. Ces deux documents peuvent être utilisés pour la mise en place d'un plan d'aménagement antiérosif personnalisé, ciblé et concerté. Ils peuvent être aussi utilisés comme une base de discussion avec les agriculteurs lors des ateliers de vulgarisation, selon une approche participative, en vue de leur expliquer davantage le danger encouru par leurs parcelles et de les convaincre à utiliser des mesures de conservation et des pratiques culturales adéquates. L'ensemble de documents produits peuvent être consultés par le biais d'une plateforme SIGWEB-Sol conviviale.

Néanmoins, il convient de garder un sens critique vis-à-vis des résultats et d'avancer les perspectives éventuelles pour améliorer ce travail. Il ya lieu de signaler que dans l'absence d'un modèle d'évaluation de l'érosion des sols purement marocain, le recours à l'adaptation des modèles en usage dans un contexte similaire au Maroc s'impose. Une bonne appréciation et estimation de l'érosion hydrique passe par le développement d'un modèle purement Marocain, à l'instar du modèle de Wischmeier. L'extraction du parcellaire à partir des images satellitaire s'est fondée principalement sur la photo-interprétation qui est un procédé lourd et laborieux.

Le développement des techniques d'extraction automatisées d'information adaptées à la nature du parcellaire marocaine permettra un gain de temps considérable.

D'un autre côté, bien que l'information afférente au pixel a été agrégée et pondérée au niveau de chaque parcelle, l'usage de documents cartographiques (topographique, pédologique, etc.) à très grande échelle permettra de déceler la variabilité intra parcellaire, et assurera une meilleure caractérisation des terres de culture. Tel est la nouvelle tendance de l'agriculture moderne : agriculture de précision.

L'étude s'est focalisée sur le traitement de la problématique d'érosion hydrique en utilisant des données satellitaires à très haute résolution spatiale et les techniques géomatiques. Ces sources d'information et ces outils sont à la possession des agronomes, il convient d'en tirer profit et de les appliquer de façon opérationnelle dans le domaine d'agriculture et des ressources naturelles suscitant un intérêt crucial, comme l'agriculture de précision, l'estimation spatialisée de l'évapotranspiration, la prévision des rendements, etc.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

De la Rosa D., Mayol F., Bonson T. et Rounsevell M., (1998). The IMPEL project, an integrated model to predict European land use. Part 3: soil erosion and its effect on the productivity of soils.

Ezzine H. (1998). Comparaison de trois modèles d'érosion en utilisant des techniques géomatiques (Télétection et SIG). Application au bassin versant Tleta (Tangerois). Mémoire de 3ème cycle de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.

Ezzine H. (2010). Conception, développement et mise en place d'une plateforme SIGWEB-Sol pour le diagnostic et l'évaluation de l'érosion hydrique à l'échelle parcellaire. Mémoire d'Ingénieur en Chef, CRTS, Administration de la Défense Nationale.

FAO. (1977). L'érosion et l'aménagement des bassins versants dans les pays méditerranéens. Hommes, Terre et Eaux. Vol 9, N° 30.

Lahlou A. (1991). Envasement des barrages au Maroc et aménagement des bassins versants amont. Journée d'étude sur les perspectives de l'environnement au Maroc, 22 février 1991, Rabat, Maroc.

Rapport national sur l'état de l'environnement. (2001). Département de l'environnement.

M.Chikhaoui & M. Naimi ¹

1- RÉSUMÉ

L'étude des phénomènes de dégradation du sol nécessite la caractérisation des propriétés de la surface. Cette caractérisation passe par l'intégration de variables descriptives du milieu : physique, biologique et anthropique. Au Maroc, l'extension spectaculaire des processus d'érosion des sols révèle de plus en plus des aspects inquiétants. Face à ce fléau, le pays éprouve un besoin pressant d'évaluation des effets de l'érosion sur la productivité des sols afin d'en mesurer l'ampleur et per-

mettre l'élaboration de meilleures stratégies de conservation. La problématique de cet article s'inscrit dans l'optique de développer une approche basée sur les données spectrales pour déterminer le taux de recouvrement d'un petit bassin versant méditerranéen utilisables à des fins de caractérisation du niveau de dégradation des sols. Dans la présente recherche, la définition des classes de niveau de dégradation des sols se base sur la méthode GLASOD (Global Assessment of Soil Deterioration).

Mots-clés : Sol, Dégradation, Glasod, Rif, Maroc



¹ - IAV Hassan II, DRNE

2- DÉFINITIONS LIÉES À LA DÉGRADATION DES SOLS

La dégradation des sols se définit comme un processus qui réduit le potentiel de production des sols ou de l'utilité des ressources naturelles (Barrow, 1991). Elle se définit également comme un changement de tous les aspects naturels ou biophysiques de l'environnement par une activité anthropique au détriment de la végétation, des sols, de l'état de surface, de l'eau de surface et souterraine et des écosystèmes (Conacher et Sala, 1998). La dégradation de l'environnement ou de la surface de la Terre est étroitement liée à la dégradation des sols. En effet, une dégradation du couvert végétal favorise ou accélère l'érosion des sols et par conséquent, une réduction de la valeur productive des terres (Hill et al., 1995, Shrestha et al., 2005). De façon générale, on distingue deux aspects de dégradation : l'arrachement et le déplacement des éléments de la surface du sol par l'érosion hydrique et éolienne, et la dégradation des sols sur place par l'action d'éléments chimiques ou physiques.

Plusieurs travaux ont permis de développer des méthodes afin d'évaluer l'ampleur et le niveau de dégradation des sols à l'échelle mondiale ou régionale. Entre autres, nous pouvons citer la méthode FAO, GLASOD (Global Assessment of Soil Deterioration) et SOTER (Soil and Terrain Digital Databases; ISRIC, 1993). Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons à la méthode GLASOD développée par Oldman et al. (1991) et recommandée pour l'étude des niveaux de la dégradation des sols à partir de données de télédétection (Hoosbeek et al., 1997). Cette méthode permet, d'une part, de définir

et d'inventorier les sols et leurs niveaux de dégradation et, d'autre part, de produire une carte qualitative des niveaux de dégradation. La carte générée constitue un outil fort important d'aide à la prise de décision pour les gestionnaires et décideurs dans l'élaboration des plans d'action basés sur l'identification des zones d'intervention prioritaires.

Conjointement à la définition d'une méthode adéquate d'analyse de l'évolution du phénomène de dégradation des sols, nous procédons à la description de la nomenclature des classes de dégradation existant dans notre zone d'étude. Ces classes se définissent comme suit :

1-Sol légèrement dégradé : sol dont une partie de l'horizon de surface est érodée par l'érosion en nappe. Il s'agit généralement d'oliveraies et de parcelles agricoles de céréalicultures.

2-Sol modérément dégradé : sol dont la grande partie de l'horizon de surface est érodée par l'érosion en nappe, en rigole et en ravin. Il s'agit des parcours et des jachères où le taux de recouvrement de la végétation est éparse à dense.

3-Sol fortement dégradé : sol où la manifestation de l'érosion est spectaculaire (érosion en ravin, en rigole ou diffuse) avec la décapitation de l'horizon de surface. Il s'agit de modes d'occupation où la détérioration physique est causée par le surpâturage et l'activité anthropique intense (techniques culturales inadéquates tel le labour dans le sens de la pente). La figure 1 illustre ces différentes classes.





Figure 1. Différentes classes de niveaux de dégradation des sols dans le bassin versant Saboun :
 a) légèrement dégradés, b) modérément dégradés, c) fortement dégradés

3- FORMES ET FACTEURS DE LA DÉGRADATION DES SOLS

Les changements intervenus dans les systèmes de production agricole, comme la mécanisation et la modification des pratiques culturales, ont conduit à une dégradation des sols dans le Rif marocain. Au nord du Maroc, l'érosion hydrique est la principale source de dégradation des sols avec une dégradation spécifique dépassant 2000 tonnes/Km²/an (MAMVA, 1993). Ce phénomène a connu une extension spectaculaire et révèle des aspects de plus en plus inquiétants (Merzouk, 1988). Le relief et le climat constituent les deux premiers facteurs de cette dégradation. La région est en effet caractérisée

par un terrain très accidenté avec des pentes raides et une forte intensité de pluies durant la saison pluvieuse. Le facteur R du modèle USLE, de Wischmeier et Smith (1958), est de l'ordre de 200 MJ mm/ha-h-an, (Dhman, 1995). En outre, la faible teneur en matière organique induisant une structure non cohésive et instable, constitue un autre facteur de fragilisation des sols dans cette région. La vulnérabilité des sols s'explique aussi par la dégradation croissante des forêts. Dans ce sens, la dernière étude menée par le MADREF¹ (1996) témoigne à suffisance de la destruction du manteau végétal, par la disparition de 245 000 hectares entre 1985 et 1995.

¹ - Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêts

Toutefois, l'activité humaine demeure un problème majeur à cerner. En effet, le Maroc connaît une forte croissance démographique, notamment en milieu rural où le revenu des populations est très faible. Cette précarité financière oblige les ruraux à adopter des systèmes de production non durables, accélérant ainsi la dégradation des ressources naturelles : surexploitation des terres de culture, des forêts et des parcours.

Par ailleurs, la forte diversification du statut foncier des terres au Maroc (melk, collectif, habous, domaine forestier, jamâa) engendre une parcellisation excessive et un morcellement des exploitations agricoles. Cette situation constitue de facto une entrave à l'adoption de systèmes de production compatibles avec la vocation de l'espace naturel.

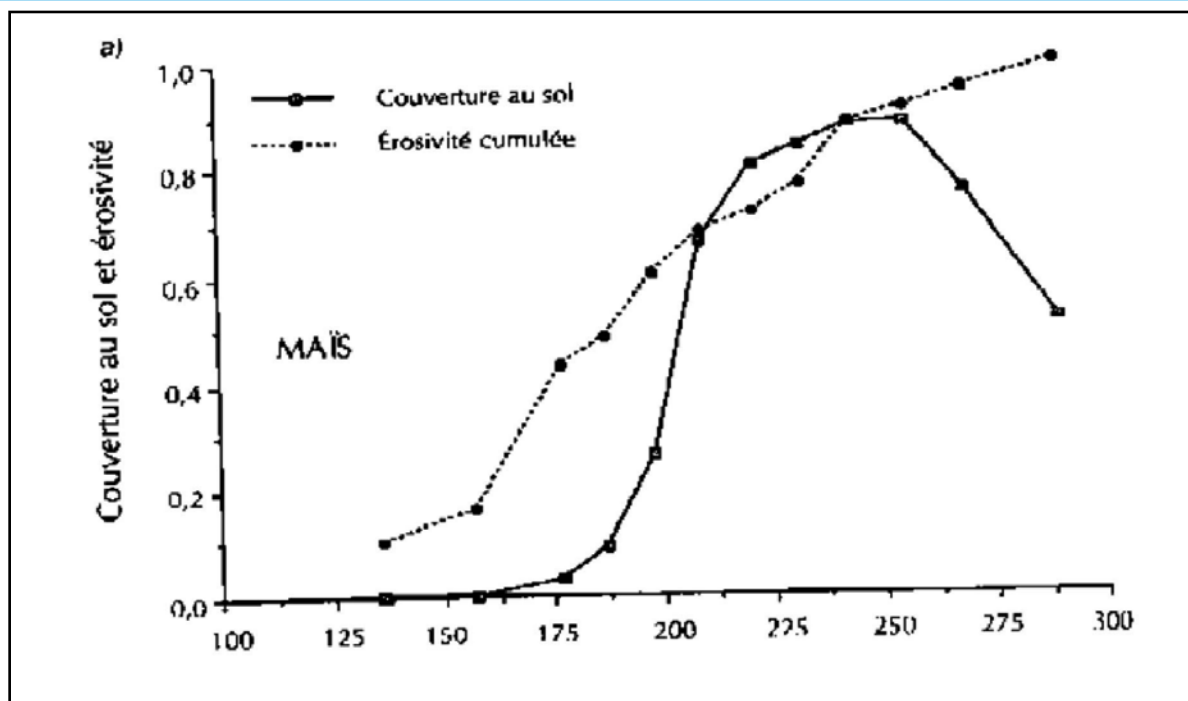
4- INDICES DE LA DÉGRADATION DES SOLS

Afin d'établir une carte des niveaux de dégradation du sol représentant avec satisfaction la réalité de terrain, il apparaît évident de considérer ou de connaître les indices de cette dégradation. L'un des indices pertinents est la nature et la densité du couvert végétal qui jouent un rôle essentiel dans la protection du sol contre sa dégradation par l'érosion. Plusieurs auteurs ont établi une relation entre le taux de recouvrement végétal du sol et sa

vulnérabilité à l'érosion (Hudson, 1957, 1971; Rooseet al., 1993 ; Cyr et al., 1995; Biard et Baret, 1997; Arsenault et Bonn, 2001). Freebairn et Wockner (1986) ont montré que par rapport à un sol nu, on peut réduire le taux d'érosion de 75 %, avec un taux minimum de 20% de couverture par les résidus de cultures.

La couverture végétale peut être estimée approximativement à partir des images satellitaires. Pour atteindre cet objectif, l'exploitation des données de télédétection peut être effectuée par un éventail important de démarches. Cependant, l'approche la plus utilisée est celle des indices de végétation. Ces indices sont des variables numériques caractérisant l'intensité ou la vigueur de la végétation c'est à dire de l'importance relative de l'activité chlorophyllienne. L'intérêt de ces indices se trouve dans l'aide à l'interprétation des images de télédétection (Bannari et al., 1998); il s'agit d'une méthode d'évaluation de la densité du couvert végétal (Figure 2, 3) (Purevdorj et al, 1998 ; Cyr et al., 1995) et de discrimination entre les cultures. La figure 3 montre l'évolution du recouvrement du sol et l'érosivité cumulée. On note bien qu'après un seuil critique, le sol deviendrait plus vulnérable à l'érosion à cause de la diminution du taux de recouvrement végétal. Ce concept a été utilisé pour modéliser l'érosion dans plusieurs sites d'étude en se basant sur l'approche des indices de végétation.

Figure 2 : Évolution annuelle comparée du recouvrement et de l'érosivité cumulée des pluies pour le maïs (Cyr et al.;1995)



5- CONCLUSION

Le diagnostic de l'état actuel montre que le Maroc éprouve un besoin pressant d'évaluation des effets de la dégradation physique des sols sur leur productivité, afin d'en mesurer l'ampleur et de permettre l'élaboration de meilleures stratégies de conservation. Toutefois, l'efficacité d'une telle action dépend de sa compatibilité avec les conditions physiques et écologiques du milieu, de sa faisabilité et des facteurs socio-économiques qui prédominent. En effet, un plan d'aménagement doit tenir compte de l'implication et de la mobilisation des habitants tout en étudiant le rapport existant entre le paysan et son milieu.

La réalisation d'un tel projet s'étale souvent sur plusieurs années et comporte plusieurs étapes. Généralement, il existe trois phases : la première qui consiste à diagnostiquer l'état actuel du bassin, la deuxième qui porte sur l'étude de faisabilité et d'efficacité du projet, la troisième étant celle de la planification des opérations. Par ailleurs, le taux de succès de ces projets dépend dans un premier temps du soutien fourni par les institutions concernées et dans un second temps, de l'appui technique et financier ainsi que des encouragements apportés aux initiatives locales.

RÉFÉRENCES

Arsenault, E. & Bonn, F. (2001) Evaluation of soil erosion protective cover by crop residues using vegetation indices and spectral mixture analysis of multispectral and hyperspectral data. 23rd Canadian Symposium on Remote Sensing, 21-24 August 2001, Sainte-Foy, Québec-Canada.

Bannari, A., He, D. C. & Anys, H. (1998) Analyse de l'apport de deux indices de végétation à la classification dans les milieux hétérogènes. *Journal canadien de télédétection*, vol. 24, p. 233-239.

Barrow, C. J. (1991) *Land degradation: development and breakdown of terrestrial environments*, Cambridge University Press, 295p.

Biard, F. & Baret, F. (1997) Crop residue estimation using multiband reflectance. *Remote Sensing of Environment*, vol. 59, p. 530-536.

Conacher, A. J. & Sala, M. (1998) *Land degradation in Mediterranean environments of the world: nature and extent, causes and solutions*. Wiley & Sons, 491 p.

Cyr, L., Bonn, F. & Pesant, A. (1995) Vegetation indices derived from remote sensing for an estimation of soil protection against water erosion. *Ecological Modelling*, vol. 79, p. 277-285.

Dhman, H. (1995) *Établissement d'un SIG pour la cartographie de l'érosion des sols: Application au bassin versant de Tleta*. Mémoire de troisième cycle, ENFI-Salé, 125p.

Freebairn, D., M. & Wockner, G. H. (1986) A study of soil erosion on vertisols of the eastern Darling Downs, Queensland I : Effects of Surface Conditions on Soil Movement Within Sontour Bay Catchments. *Australian Journal of Soil Science*, vol. 24, p.

Hill, J., Mégier, J. & Mehl, W. (1995) Land degradation. soil erosion and desertification monitoring in Mediterranean ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, vol.12, p. 237-260.

Hoosbeek, M. R., Stein, A. & Bryant, R. B. (1997) Mapping soil degradation. In: *Methods for assessment of soil degradation* (Ed. By R. Lal, W. H. Blum, C. Valentin and B. A. Stewart), CRC Press, Boca Raton. *Advances in Soil Science*, p 407-423.

Hudson, N. W. (1957) *Erosion control research progress report: an experiment at Henderson research station 1953-1956 Rhodesia, Agr.*

ISRIC (1993) *Global and national soils and terrain digital databases (SORTER)*. Procedures Manual. Wageningen: ISRIC. 140p.

MADREF (1996) *Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêts, Rapport interne*, Rabat-Maroc.

MAMVA (1993) *Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole. Étude de préparation du plan national d'aménagement des bassins versants*. Rabat, Maroc.

Merzouk, A. (1988) L'érosion hydrique des sols déprécie leur productivité. *ATTABEA: Revue des naturalistes enseignants*, n° 55, Rabat.

Oldeman, L. R., Hakkeling, R. T. A. & Sombroek, W. G. (1991) *World map of the status of human-induced soil degradation: An explanatory note*. *Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD)*. 2 ed. Ed. ISRIC, UNEP. In cooperation with Winand Starling Center-ISSS-FAO-ITC.

Purevdorj, T., Tateishi, R., Ishiyama, T. & Honda, Y. (1998) Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices. *Int. J. Remote Sensing*, vol. 19, p. 3519-3535.

Roose, E., Arabi, M., Brahim, K., Chebbani, R., Mazour, M. & Morsli, B. (1993) *Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et intensification sur la production agricole par la GCES : synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion*. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, vol. 28, p. 289-308.

Shrestha, D. P., Zinck, J. A. & Van Ranst, E. (2004) *Modelling land degradation in the Nepalese Himalayas*. *Catena*, vol., p.135-156.

Wishmeier, W. H. & Smith, D. D. (1958) Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geoph. Union*, vol. 39, p. 285-29.

1 - QU'EST CE QUE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION ?

L'agriculture de conservation (AC) est 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. L'agriculture de conservation se caractérise par trois principes reliés, à savoir:

- 1- Un travail minimal du sol (allant jusqu'à son absence totale, cas des systèmes de semidirect).
- 2- La couverture permanente du sol par un mulch végétal vivant ou mort (paille).
- 3- La diversification des espèces cultivées, en association et/ou dans la rotation.

Les principes de base de l'agriculture de conservation peuvent être appliqués de façon universelle à tous les paysages agricoles ainsi qu'à l'utilisation des terrains au moyen de méthodes qui sont adaptées localement. L'agriculture de conservation améliore la biodiversité et les processus biologiques naturels sur et sous la surface du sol. Les interventions dans le sol telles que le travail mécanique sont réduites au strict minimum ou même évitées, et les intrants de base comme les produits agrochimiques et les nutriments des plantes d'origine minérale ou organique, sont appliqués de la meilleure des façons et en quantités qui n'interfèrent ou ne détruisent pas les processus biologiques. L'agriculture de conservation facilite une bonne agronomie par des interventions ciblées dans le temps de même qu'elle améliore l'exploitation générale des terres pour la production pluviale et irriguée.

Complétée par de bonnes pratiques comme l'usage de semences de qualité, la gestion intégrée des ravageurs, de la fertilité des sols, des mauvaises herbes et des eaux, etc., l'agriculture de conservation est une base pour une intensification durable de la production agricole. Elle offre des options croissantes aux secteurs de l'intégration de la production tels que l'intégration des végétaux et du bétail ainsi que celle des arbres et des pâturages dans les paysages agricoles.

La manière dont les trois principes sont combinés à l'échelle de la parcelle peut varier selon les caractéristiques de l'environnement agro-écologique, les moyens et les objectifs de l'agriculteur. Étant donné qu'il n'existe pas de solutions universelles, l'AC vise à valoriser la diversité des agro-écosystèmes pour proposer des solutions adopter aux situations locales.

Le labour constitue la principale opération dans l'agriculture conventionnelle. La charrue, l'équipement le plus usité pour réaliser cette opération, est devenue un symbole de l'agriculture. Par le passé, le labour était considéré comme le gage de l'amélioration de la fertilité des sols, en raison de la minéralisation des éléments nutritifs du sol qu'elle favorise.

Mais à long terme, un labour intense et répétitif entraîne la diminution du taux de matière organique dont le rôle est fondamental pour la nutrition des plantes et la stabilisation de la structure du sol. Des sols soumis régulièrement à des pratiques agricoles intensives se dégradent plus facilement. La dégradation de la structure engendre la compaction du sol et la formation des croûtes, conduisant plus tard à l'érosion.

Ce processus très fréquent en zones tropicales peut également s'observer partout dans le monde entier. La mécanisation qui permet de labourer en profondeur et à des vitesses plus élevées, l'utilisation des équipements tels que la charrue et les disques a des effets très désastreux sur la structure du sol.

Le travail du sol peut entraîner à court terme une amélioration de sa fertilité, mais à moyen terme il conduit à la dégradation. La dégradation de la structure du sol, des pertes de matières organiques, l'érosion et la baisse de la biodiversité surviennent également (T. Friedrich).



L'érosion du sol résultant de la pratique du labour constitue l'un des problèmes les plus cruciaux auxquels l'agriculture est confrontée aujourd'hui. Il est devenu impératif de rechercher des alternatives au travail du sol. Cette préoccupation a conduit à l'expérimentation et à la mise au point des techniques visant le travail de conservation du sol, voire le « labour zéro » afin de contrôler l'érosion hydrique et éolienne. Ces travaux se sont surtout développés, au début des années 70, au Brésil, en Amérique du Nord, en Nouvelle Zélande et en Australie. Au cours des deux dernières décennies ces techniques ont été améliorées et, peuvent aujourd'hui s'adapter à tous types d'exploitations agricoles, de cultures, de sols ou d'environnements agro-écologiques. Les travaux pour perfectionner, mieux appréhender les potentialités et bien valoriser cette nouvelle forme d'agriculture sont en cours. La FAO soutient cette dynamique depuis plusieurs années.

Les résultats montrent que ces pratiques regroupées sous le terme générique d'agriculture de conservation (AC) vont au-delà de la simple réduction du labour mécanique. Lorsqu'un sol n'est pas travaillé pendant plusieurs années de suite, les résidus de culture s'accumulent et forment une couche de mulch. Cette couche protège le sol contre la battance et l'érosion éolienne, mais aussi contribue à la stabilisation de l'humidité du sol et de la température des horizons de surface.

Divers organismes vivants, des grands insectes aux bactéries et champignons microscopiques trouvent ici un habitat et des conditions idoines pour leur développement. Par leurs activités, ces organismes transforment, incorporent et mélangent le mulch au sol, puis vont décomposer l'ensemble ainsi constitué pour former l'hu-

mus dont le rôle est important dans la stabilisation de la structure du sol.

En outre, la matière organique du sol joue une fonction de solution tampon pour l'eau et les éléments nutritifs. Les éléments de la macrofaune du sol tels que les vers de terre et les punaises participent à la structuration du sol en produisant des agrégats et des macropores qui relient les couches de surface aux horizons de profondeur. L'infiltration de l'eau est facilitée, permettant ainsi de limiter le ruissellement et les risques d'inondations lors des averses.

Une couverture permanente du sol et le semis sur paillis protègent le sol et offrent un environnement favorable pour le développement de la plante. Cette photo montre le semis du soja sur la paille de blé (une bonne rotation culturale), avec un semoir pour semis direct (travail minimum du sol), sans enlever les résidus de la culture précédente (couverture permanente du sol). Un bon exemple d'AC (FAO).



Avec l'AC les labours traditionnels utilisant la charrue sont remplacés par les « labours biologiques » réalisés par la faune du sol (vers, punaises etc.). Le travail mécanique perturbe cette activité biologique, réduisant ainsi la stabilité structurale. Le sol est plus exposé à la battance et à la compaction. Certaines opérations tel que le labour avec des disques rotatifs ont des effets plus dévastateurs que d'autres (exemple du chisel). Les multiples opérations de labour réalisées dans l'objectif d'ameublir le sol, facilitent l'aération et augmentent l'oxygénation. Il s'en suit une rapide minéralisation de la matière organique. Bien que cette minéralisation soit un nécessaire pour améliorer la fertilité des sols, la libération et la lixiviation d'éléments sont souvent importantes. A terme le taux de matière organique dont le rôle est fondamental pour l'activité biologique du sol diminue.

L'agriculture sans labour ou avec un travail minimal du sol n'est possible que si les organismes vivants, par leurs activités, réalisent ce travail de labour. Cette donne a des implications directes sur l'utilisation des produits chimiques. Les pesticides et engrais minéraux doivent

être utilisés de façon raisonnée pour ne pas affecter l'activité biologique dans le sol.

La mise en oeuvre de l'AC exige des modifications dans le mode de gestion de l'enherbement et des ravageurs des cultures. Le brûlage des résidus et le labour sont généralement considérés comme nécessaires pour la protection des plantes : lutte contre les pestes, maladies et mauvaises herbes. Avec l'AC qui repose sur le labour biologique, ces techniques sont remplacées par des méthodes de lutte intégrée.

Les rotations culturales constituent un élément important de cette nouvelle stratégie. Elles permettent de briser le cycle des pathologies tout en valorisant les interactions entre les propriétés physiques et chimiques de différentes espèces végétales cultivées de façon alternative ou associées sur une même parcelle.

Le recours aux produits agro-chimiques, et plus particulièrement aux herbicides est courant pendant les premières années, les infestations d'adventices étant parfois massives à ce stade. Mais passée la période transition qui aboutit d'une part à un équilibre entre les organismes de l'agro-système, les ravageurs et les « organismes utiles », la plante et les mauvaises herbes et ; d'autre part à une meilleure maîtrise technique des associations et des rotations culturales par le producteur, l'utilisation des pesticides et des engrais minéraux diminue et passe en dessous du niveau observé dans une agriculture conventionnelle.

Le brûlage de la biomasse végétale (résidus de récolte et herbes) détruit les éléments nutritifs disponibles pour la plante et altère les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. La gestion des pestes qui sous-tend souvent la pratique du brûlis et du labour peut être mieux assurée au travers des rotations culturales et des méthodes de lutte intégrée contre les ravageurs (FAO).



L'agriculture de conservation est souvent qualifiée de situation « gagnant - gagnant » car elle présente plusieurs avantages aussi bien à l'échelle de l'exploitation agricole, de la communauté que de la planète toute entière :

- Elle contribue effectivement à la durabilité des systèmes de production, pas seulement en conservant, mais aussi en contribuant au développement des ressources naturelles et en augmentant la diversité faunique et floristique du sol, sans pour autant affecter les niveaux de rendements ou de production.
- L'AC permet la fixation du carbone dans la matière organique accumulée dans le sol à partir des résidus de récolte et des cultures de couverture - le potentiel mondial de piégeage du carbone par l'agriculture de conservation pourrait être équivalent à l'accroissement dû aux activités humaines du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Pratiquée à grande échelle, l'AC pourrait contribuer significativement à la maîtrise de la pollution de l'air en général, et au réchauffement climatique en particulier. A ce titre, on peut envisager une prime voire une politique de soutien aux agriculteurs pratiquant l'AC.
- Le labour est de toutes les opérations culturales celle qui consomme le plus d'énergie, et contribue à la pollution de l'air dans les systèmes mécanisés. Comparativement à l'agriculture conventionnelle, les agriculteurs qui utilisent des systèmes basés sur l'absence de labour peuvent réaliser 30 à 40% d'économie en terme de temps de travail, de main d'œuvre et d'énergie fossile (dans le cas des systèmes mécanisés).
- L'AC facilite l'infiltration de l'eau réduisant de façon significative le ruissellement et l'érosion. La lixiviation des éléments nutritifs du sol ou de produits chimiques dans la nappe aquifère est limitée. Ces nappes se rechargent plus facilement grâce à une meilleure infiltration des eaux. Dans plusieurs endroits du monde, on a noté qu'après après quelques années de pratique de l'AC, des sources naturelles qui avaient tari ont recommencé à couler, les flux d'eau sont devenus plus constants dans les rivières. Les effets d'une grande adoption de l'AC sur la gestion de l'eau ne sont pas encore bien appréhendés et totalement reconnus.
- La mise en oeuvre des pratiques d'AC n'affecte pas les productions. Au contraire, elle permet d'atteindre (et de façon durable) des niveaux de productions comparables à celles de l'agriculture intensive moderne. Les rendements augmentent progressivement et les fluctuations tendent à diminuer. Pendant les années sèches (arrivée tardive, mauvaise répartition ou insuffisance des pluies) la production n'est pas très affectée.

- Pour le producteur, l'AC est très intéressante d'autant plus qu'elle permet de réduire les coûts de production, les temps de travail et la main d'œuvre, facilitant ainsi la gestion des pics de travaux notés lors des opérations de préparation des champs et d'entretien des cultures. Dans les systèmes mécanisés plus spécifiquement, le coût des investissements et de maintenance des équipements est réduit à long terme.

Les premières années de mise en œuvre des pratiques d'agriculture de conservation sont parfois difficiles parce que outre une période d'apprentissage et de nouvelles compétences en matière de prise de décision notamment, l'AC requiert des intrants et des équipements qui ne sont pas toujours disponibles ou accessibles aux producteurs qui en ont besoin. Toutefois, les expériences enregistrées dans différents endroits du monde montrent que l'AC n'engendre pas de contraintes supplémentaires pour les producteurs, mais pose différemment les problèmes traditionnels qui au demeurant peuvent être résolus. Les superficies en AC augmentent très rapidement, notamment Amérique du Nord et surtout au Brésil où elles sont actuellement supérieures à 10 millions d'hectares.

2- LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION

Les systèmes d'AC utilisent le capital sol pour produire avec pour objectifs de réduire le travail excessif du sol et de garder les résidus de récolte sur le sol pour limiter les effets néfastes sur l'environnement.

De cette façon, l'AC contribue à :

- Créer et maintenir des conditions de milieu favorables, le plus en profondeur possible, pour que les racines se développent et fonctionnent normalement sans difficultés pour puiser les éléments nutritifs et l'eau disponibles
- Faciliter l'infiltration pour que (a) la plante ne connaisse pas, sinon pour la plus courte période possible, de stress hydrique qui pourrait limiter l'expression de son potentiel de croissance et ; (b) l'eau s'infilte puis passe des nappes phréatiques vers les cours d'eau, au lieu de ruisseler plutôt à la surface du sol engendrant ainsi l'érosion
- Créer des conditions de milieu favorable à l'activité biologique dans le sol afin de (a) stabiliser et poursuivre la construction de la structure du sol ; (b) lutter contre les agents pathogènes dans le sol ; (c) favoriser l'accumulation de la matière organique, la formation et la stabilisation des différentes couches d'humus ; (d) contribuer à la capture, la rétention et la libération des éléments nutritifs pour la plante
- Éviter les opérations qui pourraient causer une alté-

ration physique ou chimique des racines, et perturber le fonctionnement normal

- Les principes fondamentaux de l'agriculture de conservation sont :

- Le semis direct
- La couverture permanente du sol
- Diversité des cultures

Le semis direct

Le semis direct est un système dans lequel l'installation des cultures, le semis notamment, se fait sans recours au travail mécanique pour préparer les lits de semis et, avec un travail minimal du sol depuis la récolte de la culture précédente. Dans le cadre de l'agriculture de conservation, le terme de semis direct est compris comme un synonyme d'agriculture sans labour, zéro - labour, etc. Planter signifie placer la semence constituée de grains larges (maïs et haricot) dans un endroit bien précis (poquet) tandis que semer renvoie à un flux continu de semences comme dans le cas des céréales aux petits grains (blé et orge par exemple).

L'équipement utilisé pour le semis pénètre dans le couvert et crée une fente dans laquelle la semence est placée. La taille de la fente de semis et l'impact créé au niveau du sol doivent être les plus faibles possibles. Dans les situations idéales, la fente de semis est encore recouverte par le mulch de telle manière qu'aucune perte de terre ne soit visible en surface.

Dans les systèmes sans labour, la préparation des terres pour le semis comprend le fauchage du couvert végétal (mauvaises herbes, résidus de la culture précédente, ou la plante couverture), le passage du rouleau ou l'utilisation des herbicides pour contrôler les mauvaises herbes. Le semis est fait directement dans le mulch. Les résidus de récolte sont conservés en totalité ou en quantité suffisante pour une bonne couverture du sol. Les engrais et autres amendements sont épandus en surface, enfouis ou appliqués au moment du semis.

En fonction du type de couvert végétal sur lequel se fait le semis direct, on peut distinguer 3 grands types de semis direct :

- Une couverture mixte ayant plusieurs fonctions : à la culture principale est associée (en culture intercalaire ou dérobée) une plante de couverture dont la production servira à la consommation humaine. A l'intersaison une plante fourragère est installée
- La couverture morte constituée des résidus de récolte de la culture précédente et + la résidus d'une plante de couverture ayant une forte production de biomasse.
- Une couverture vivante constituée d'une plante four-

ragère dont la partie aérienne est desséchée avant l'installation de la culture principale. Le système est géré de façon que la plante de couverture reprenne son développement normal une fois que la culture principale a mûri.

Semis direct avec semoir dans un couvert rabattu et broyé avec le rouleau à lames. (T. Friedrich)



- Intérêt du semis direct :

- Pas de perturbation de la structure du sol
- lutte contre l'érosion
- installation rapide des cultures
- optimisation du temps de travail
- réduit la contrainte du respect des dates optimales de semis
- levée de l'handicap du sous - équipement
- valorisation des ressources minérales et hydriques disponibles en début de cycle cultural

Les plantes de couverture doivent être bien gérées pour éviter des compétitions avec la culture principale. Ceci peut être fait manuellement ou en recourant à la traction animale voire au tracteur. Mais le plus important est de garder le sol couvert en permanence. (FAO).



Couverture permanente du sol

La couverture permanente du sol joue un rôle déterminant dans les systèmes de culture productifs et respectueux de l'environnement. Entre autres, elle est importante pour :

- protéger le sol contre les effets destructeurs de la pluie ou des rayons solaires, et donc réduction du ruissellement et de l'érosion
- séquestrer le carbone, contribuant ainsi à la réduction de l'effet de serre
- augmenter la formation d'humus
- l'activité biologique dans le sol, en protégeant et en assurant la nutrition des macro et des micro-organismes qui y vivent
- créer un micro climat favorable pour le développement et la croissance optimale des racines des plantes et des organismes vivant dans le sol
- limiter la baisse du taux de matière organique du sol

La couverture permanente est assurée par un mulch végétal vivant (plantes de couverture) ou mort (paille). Elle peut se faire de différentes façons :

- maintien sur le sol des résidus de la culture précédente
- présence d'une végétation naturelle
- installation des plantes cultivées (cultures intercalaires ou dérobées) qui en dehors de leur fonction de protection du sol peuvent également être utilisées pour l'alimentation humaine ou du bétail.

- Moyens et techniques :

- Utiliser des semences de bonne qualité et / ou provenant des variétés améliorées
- Gérer de façon intégrée les différentes activités de l'exploitation, en cherchant à réduire les conflits / compétition avec l'élevage ou d'autres usages (exemple : en utilisant davantage des plantes fourragères dans les rotations et les associations culturales)
- Diversifier les espèces utilisées, en privilégiant autant que possible celles qui présentent plusieurs avantages (exemple : fixation d'azote, décompaction /amélioration de la porosité du sol, effet allélopathique, lutte contre les ravageurs etc.)
- Optimiser les rotations culturales en prenant en compte les aspects spatiaux, le calendrier cultural, les cycles des plantes associées et de la culture principale, les impacts économiques etc.
- Utiliser de façon raisonnée les herbicides pour contrôler l'enherbement et le développement de la plante de couverture

- Les rotations culturales

La rotation des cultures n'est pas seulement nécessaire pour assurer la couverture des besoins des micro-organismes du sol en éléments nutritifs. Grâce à la différence entre les systèmes racinaires des cultures utilisées, la rotation culturale opère comme une pompe biologique dans la mesure car elle permet de remonter et de recycler les éléments minéraux situés dans les couches profondes du sol. Cette fonction est importante pour limiter les fuites hors système cultivé et pour améliorer ou restaurer les sols pauvres afin de les rendre productifs.

Par ailleurs, la rotation de diverses espèces végétales permet de diversifier la flore et la faune du sol, étant donné que les racines sécrètent différentes substances organiques qui attirent une diversité de bactéries et de champignons. Ces micro-organismes vont à leur tour jouer un rôle important dans la transformation des substances sécrétées en éléments nutritifs pour la plante. Les rotations culturales sont importantes pour la lutte phytosanitaire dans la mesure où elles permettent de casser le chaîne de transmission des pathologies spécifiques à certaines végétales.

- Les effets des rotations culturales :

- Diversification de la production agricole, et donc de l'alimentation de l'Homme et du bétail
- Réduction des risques d'invasion de ravageurs et d'enherbement
- Meilleure distribution de l'eau et des éléments nutritifs tout au long du profil cultural

- Augmentation de la fixation de l'azote au travers des relations symbiotiques entre la plante et certains biotes du sol
- Meilleure valorisation des ressources en eau et en éléments nutritifs du sol grâce à la différence entre les systèmes racinaires des plantes
- Amélioration de l'équilibre N/P/K aussi bien d'origine organique que minérale
- Augmentation de la synthèse de l'humus

- Moyens et techniques :

- Concevoir et mettre en œuvre un plan de rotations qui permette de satisfaire les différents objectifs : production d'aliments et de fourrages (graines, feuilles, tiges) ; production de biomasse ; contrôle des ravageurs et de l'enherbement ; prélèvement des éléments nutritifs et activité biologique dans le sol
- En fonction du climat et du type sol, utiliser des cultivars et les semences de bonne qualité pour avoir de rendements élevés et une bonne production de biomasse aussi bien au niveau de la partie aérienne que la partie souterraine

FAO / Département de l'agriculture et de la protection des consommateurs

1 - AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'AC

Pour être adoptée par un grand nombre de personnes, toute nouvelle technologie doit présenter des avantages et des intérêts qui attirent un grand nombre de producteurs qui comprennent les limites de leurs systèmes actuels et savent précisément quels sont leurs besoins.

Les bénéfices que génère l'AC sont de trois ordres :

- Economique: amélioration de la rentabilité de l'activité agricole
- Agronomique : amélioration la productivité du sol
- Environnemental et social : protection du sol et contribution à la durabilité des systèmes de production

Intérêts économiques

L'AC présente trois grands intérêts sur le plan économique :

- Allègement des temps des travaux, et donc faible demande en main d'œuvre
- Réduction des coûts et dépenses pour : carburants, acquisition, utilisation et entretien des équipements
- Augmentation de la rentabilité, c'est à dire de grandes productions à partir de faibles quantités d'intrants

La majorité d'agriculteurs d'Amérique Latine et plus particulièrement ceux qui utilisent une main d'œuvre familiale ont adopté l'agriculture de conservation parce qu'elle permet d'alléger les temps et la pénibilité des travaux.

Le labour manuel est très fatigant et pas indispensable. En cas de manque de main d'œuvre pour cause de maladies ou de migration, le système se bloque ou devient difficile à gérer. (T. Friedrich)



Intérêts agronomiques :

La mise en oeuvre des pratiques d'AC permet d'améliorer la productivité du sol :

- Augmentation du taux de matière organique
- Conservation de l'eau du sol
- Amélioration de la structure du sol

L'accumulation des résidus des cultures entraîne une augmentation de la matière organique du sol. Dans un premier temps, ceci se limite à la première couche superficielle du sol, mais avec le temps ce phénomène va toucher les couches en profondeur. La matière organique joue un rôle important dans le sol : utilisation des engrais, capacité de rétention d'eau, agrégats du sol et environnement du système racinaire sont fortement influencés par la teneur du sol en matière organique.

Un plant de soja avec un système racinaire déformé à cause de la compaction du sol. Les racines ont tendance à se développer plutôt latéralement, il y a peu de racines verticales pour explorer d'autres strates du sol. (D. McGarry).



Intérêts environnementaux:

- Réduction de l'érosion du sol, et donc diminution des coûts d'entretien des routes, des barrages et des installations hydroélectriques
- Amélioration de la qualité de l'eau
- Amélioration de la qualité de l'air
- Augmentation de la biodiversité
- Séquestration du carbone

Les résidus sur le sol atténuent la battance des gouttes de pluies, et une fois que l'énergie des gouttelettes est amortie, elles s'infiltrent dans le sol sans effets désastreux. L'infiltration augmente, le ruissellement et l'érosion sont diminués. Les résidus constituent également une barrière physique qui réduit la vitesse du vent et de l'eau au niveau de la surface du sol. La diminution de la vitesse du vent réduit l'évaporation et la baisse de l'humidité du sol.

L'érosion du sol est rabaisée à un niveau comparable au taux de régénération du sol grâce à l'accumulation de matière organique. L'érosion du sol provoque l'ensablement et l'envasement des réservoirs d'eau, réduisant la capacité de stockage d'eau. Les sédiments présents dans l'eau de surface accentuent l'usure des matériels hydrauliques et des appareils d'irrigation, augmentant ainsi les coûts d'entretien et un renouvellement précoce de ces équipements.

L'AC augmente l'infiltration de l'eau dans le sol, et donc minimise le ruissellement. Les cours d'eau sont plus alimentés par de l'eau souterraine que par l'eau de ruissellement. L'eau de surface est toute aussi propre que l'eau souterraine en AC comparativement aux zones où le labour intensif et ses corollaires, l'érosion et le ruissellement, prédominent. Une bonne infiltration réduit les inondations en stockant beaucoup d'eau dans le sol et en la libérant lentement pour alimenter les cours d'eau.

L'infiltration permet aussi de recharger les nappes phréatiques, et donc d'améliorer et de stabiliser le débit des cours d'eau, de réalimenter les sources tarées, et d'augmenter la quantité d'eau dans les puits. La réduction des pertes de sédiments et des particules du sol en suspension contribue à minimiser les coûts de traitement des eaux.

Une couverture permanente du sol réduit l'érosion, et ses corollaires : baisse de fertilité, compaction du sol et, une possible modification du paysage (A. Callegari)



L'une des principales caractéristiques de l'agriculture conventionnelle est qu'elle modifie le paysage. La destruction du couvert végétal affecte les plantes, les animaux et les micro-organismes. Certains ces êtres vivants profitent de ces modifications du milieu pour devenir des pestes. Mais très souvent, la plus part des organismes vivants sont affectés négativement et finissent par disparaître ou du moins leur population diminue drastiquement. Le maintien d'un couvert permanent sur le sol fournit un habitat pour plusieurs espèces qui se nourrissent des pestes, et qui vont à leur tour attirer des insectes, les oiseaux et d'autres animaux. La rotation des cultures et des plantes de couverture permet de maintenir et d'augmenter la biodiversité génétique contrairement à un système de monoculture.

Les systèmes agricoles basés sur le maintien d'un couvert végétal et le non labour du sol stockent plus de carbone, comparé aux quantités que les systèmes utilisant le labour à la charrue rejettent dans l'atmosphère. Pendant les premières années de mise en oeuvre de l'AC, l'accumulation de la matière organique du sol augmente en raison de la décomposition des racines, et des résidus de cultures qui restent à la surface du sol. La décomposition de la matière organique est lente, et une bonne partie est incorporée dans le profil du sol, conséquemment la libération du carbone dans l'atmosphère est ralentie. Dans le bilan global, le carbone est piégé dans le sol. L'AC est dite une « agriculture de carbone ». Elle présente un grand intérêt pour la réduction des émissions des gaz à effets de serre grâce : au stockage du carbone dans la matière organique, à la réduction de l'érosion, la réduction de la consommation des carburants et, à terme, un recours limité à la fertilisation azotée. Son intérêt pour la prévention des effets désastreux du réchauffement climatique est avéré.

2- LES LIMITES DE L'AC

La contrainte la plus fréquemment rencontrée indépendamment des environnements agro-écologiques réside dans le manque de références et de maîtrise techniques. Il n'existe pas de démarche ou de références standard en AC, compte tenu de la diversité environnements agroécologiques. Plus particulièrement, il existe peu de connaissances sur les plantes de couverture les plus adaptées à chaque environnement, notamment en terme de production de biomasse.

Dans les zones très sèches (comme au sahel) où la pluviométrie est très faible et erratique (300 - 600 mm/an) la constitution et la conservation d'un couvert végétal (vivant ou mort) pendant toute l'année est très difficile. Par ailleurs, les résidus de récolte, qui auraient pu constituer une alternative en jouant le rôle de paille, sont généralement réservés pour l'alimentation du bétail, dont ils constituent la source la moins coûteuse. Dans de tels environnements, les actions d'amélioration des systèmes de culture portent davantage sur les techniques gestion de l'eau et de réhabilitation ou de conservation des sols que sur la diversification des cultures.

Le succès ou l'échec de l'AC dans une zone donnée dépend grandement de la souplesse et de l'esprit de créativité, et de la collaboration entre les différents professionnels qui y travaillent : agriculteurs, techniciens, chercheurs. Des démonstrations et des expérimentations conduites aussi bien par les instituts nationaux de recherche que par les paysans eux-mêmes permettent de construire des référentiels fiables. Dans les régions où l'AC diffuse rapidement, des réseaux d'organisations d'agriculteurs et d'autres groupes d'acteurs intéressés se mettent en place. Ces réseaux permettent de discuter et surtout de s'échanger les informations et expériences sur divers sujets tels que les plantes de couverture, les outils et équipements et autres techniques culturales.

L'inquiétude notée lors de l'évolution d'une agriculture avec labour vers des pratiques d'AC peut être dissipée en encourageant les groupes de producteurs à échanger avec des pairs et d'autres praticiens plus expérimentés (A.J. Bot).



L'utilisation des herbicides étant parfois importante lors de la phase de transition de l'agriculture conventionnelle à l'AC, d'aucuns pensent que la diffusion de l'AC constituerait une menace pour l'environnement avec notamment des risques de pollution des eaux et de dégradation des propriétés biologiques et chimiques des sols par les herbicides. Mais à l'expérience, il apparaît que le recours aux herbicides tend à diminuer au fur et à mesure qu'une bonne gestion des couverts végétaux permet de contrôler l'enherbement. L'intense activité microbologique en AC permet de dégrader plus rapidement les résidus des pesticides.

IMPORTANCE DES PLANTES DE COUVERTURE DANS L'AGRICULTURE DE CONSERVATION ET GESTION DES RÉSIDUS

FAO / Département de l'agriculture et de la protection des consommateurs

1- IMPORTANCE DES PLANTES DE COUVERTURE DANS L'AC

1.1 - Intérêts des plantes de couverture

La couverture permanente du sol fait partie des principes fondamentaux de l'AC. Cette couverture peut être assurée en gardant les résidus de cultures sur le sol, mais si le délai entre la récolte et l'installation de la prochaine culture est grand, il est peut être nécessaire d'installer les plantes de couvertures pendant cet intervalle. Les plantes de couverture renforcent la stabilité des systèmes d'AC, pas seulement en améliorant les propriétés du sol mais aussi en augmentant la biodiversité de l'agro-écosystème.

Tandis que les cultures de rente ont une valeur commerciale, les plantes de couverture sont surtout cultivées pour leurs effets positifs sur la fertilité du sol ou en raison de leur valeur fourragère. Dans des zones où la production de biomasse est faible comme dans la régions semi arides, et les environnements où les sols sont érodés et dégradés, les plantes de couverture présentent plusieurs intérêts :

- Protection du sol pendant la période de jachère
- Mobilisation et recyclage des éléments nutritifs
- Amélioration de la structure du sol, décompaction des couches encroûtées
- Permettent de faire des rotations dans un système basé sur la monoculture
- Peuvent être utilisés pour lutter contre l'enherbement et les ravageurs

Les plantes de couverture sont cultivées pendant la période de jachère, entre la récolte et le semis de culture de rente. Leur croissance est interrompue soit avant ou après le semis de la prochaine culture, mais avant que la compétition entre les deux cultures ne commence. Les plantes de couverture permettent d'accroître la production, mais elles présentent également quelques exigences (Tableau 1).

Tableau 1. Avantages et exigences des plantes de couverture

Opportunités	Défis
<ul style="list-style-type: none">• Protègent le sol• Maintiennent l'azote sous la forme organique (NH₂) pour éviter sa lixiviation• Luttent contre l'enherbement• Augmentent la quantité de matière organique, améliorent la fertilité du sol et facilite la conduite des opérations de préparation du sol• Décompaction des sols• Améliorent la porosité du sol et du drainage interne, donc diminution des risques d'inondation• Les légumineuses augmentent la teneur du sol en azote	<ul style="list-style-type: none">• Exigent une maîtrise technique et de bonnes capacités de gestion du système de culture• La décomposition des plantes de couverture peut entraîner un déficit en azote au début de la phase de croissance

1.2 - Les plantes de couverture sont utiles pour :

- Apporter une nouvelle de matière organique pour améliorer la structure du sol
- Recycler et mobiliser les éléments nutritifs (particulièrement P et K) le long du profil du sol pour les rendre accessibles aux prochaines cultures
- Permettre le labour biologique; les racines de certaines plantes, les crucifères notamment, sont pivotantes et peuvent pénétrer les couches compactées et denses, augmentant ainsi la capacité .
- Utilisation des éléments nutritifs lessivés (l'azote notamment)

Les racines de certaines plantes de couverture sont capables de casser les couches compactées du sol. (A. Calegari).



Différentes espèces avec des systèmes racinaires variés explorent les différents horizons du sol. Certaines espèces ont l'aptitude d'absorber différentes quantités de nutriments et de produire des exsudats racinaires (acides organiques) diversifiés. Ceci présente un intérêt pour le sol et les organismes qui y vivent.

La présence d'une couche de mulch (paille) en AC empêche la baisse de l'humidité du sol tout en favorisant l'infiltration de l'eau dans le sol. La proportion des eaux de pluies qui s'infiltré dépend de la densité du mulch.

Un bon paillage (> 4t/ha) empêche la levée des mauvaises herbes, augmente l'infiltration de l'eau et réduit l'érosion. Ci-contre, la transplantation de l'oignon dans un bon paillis de maïs. (V.H. de Freitas)



La quantité de biomasse produite, et par conséquent la capacité à augmenter l'infiltration de l'eau, varie selon les plantes de couverture.

Une couverture végétale dense (*vicia villosa*) couvre bien le sol. C'est un critère important pris en compte dans le choix des plantes de couverture (S. Vanepf)



La couverture végétale est importante pour protéger le sol contre l'impact des gouttelettes des pluies et des rayons solaire; et garder la plus grande humidité possible. On a vu plus haut son importance dans le recyclage des nutriments, mais elle a aussi un effet physique, et peut être allélopathique sur les mauvaises herbes dont elle freine le développement, permettant ainsi de limiter le recours aux produits agrochimiques et de minimiser les coûts de production.

Les résidus de tiges permettent de réduire la compaction du sol, car ils jouent un rôle de coussin qui amortit et réduit la pression exercée par les pneus des tracteurs et les sabots des animaux.

1.3- quelques espèces couramment utilisées comme plante de couverture

Il existe une grande diversité de plantes pouvant être utilisées pour la couverture du sol : graminées, légumineuses, racines et tubercules, oléagineux. Toutes ces espèces présentent un intérêt pour le sol, mais certaines d'entre elles ont des caractéristiques particulières qui doivent être prises en compte lors de l'élaboration d'un plan de rotation. Il est important de commencer la première année d'AC par une espèce qui donne une bonne production de biomasse, et qui se décompose lentement (à cause d'un rapport C/N élevé). Les plantes herbacées et les céréales sont les plus indiquées à ce stade, en raison de leur système racinaire très développé qui améliore le sol en peu de temps.

Au cours des années qui suivent, lorsque le sol présente une bonne apparence, les légumineuses peuvent être intégrées dans le plan de rotation. Ces plantes enrichissent le sol en azote et se décomposent très rapidement

en raison de rapport C/N faible. Une fois que le système est stabilisé, il sera possible d'introduire des plantes de couverture ayant une valeur économique, comme les plantes fourragères.

Quelques critères pris en compte lors du choix des plantes de couverture :

- intérêts supplémentaires apportés (valeur fourragère, alimentation humaine)
- quelle est la plante de couverture la plus appropriée par aux caractéristiques de l'environnement agro-écologique
- quelle date de semis et quelles modalités pour une bonne gestion
- la plante a-t-elle des besoins élevés en eau ? ces besoins seront-ils couverts ?
- sera-t-il possible de bien maîtriser la plante de couverture pour éviter qu'elle ne devienne nuisible ?
- la plante de couverture présente-t-elle les mêmes intérêts qu'en rotation avec seulement les cultures de rente (exemple : légumineuse de rente à la suite d'une céréale)

Pour une intégration harmonieuse des plantes de couverture dans un système d'AC, il est fondamental de sélectionner les plantes qui sont adaptées aux conditions pédologiques et climatiques, et dont le mode de croissance ne bouleverse pas le plan de rotation élaboré. Ainsi, il ne suffit pas d'avoir une bonne connaissance des caractéristiques agronomiques de la plante, mais il faut également se rassurer qu'elle est bien adaptée à toutes les conditions (climat et sol) du site, et qu'elle répond aux objectifs et aux caractéristiques socio-économiques de l'agriculteur.

Il est important que les espèces soient choisies avec la participation des agriculteurs, qui doivent les tester et les valider dans leur propre environnement afin d'apprécier les potentialités et d'avoir la maîtrise technique nécessaire pour la conduite de chaque espèce.

Le choix des plantes de couverture doit tenir compte des critères suivants:

- La présence des taux élevés de lignine et d'acide phénolique qui rendent la décomposition des résidus difficile, contribuant ainsi à protéger le sol sur une période plus longue
- Temps du semis. Plusieurs espèces végétales ont une dormance ou un photopériodisme. Ceci signifie que la production de la biomasse dépendra de la période l'année à laquelle le semis aura lieu.

Afin de ne pas compromettre le développement de la prochaine culture, une bonne gestion de la plante de couverture est nécessaire :

- Un décalage approprié des dates et une bonne densité de semis de la plante de couverture est nécessaire pour une couverture rapide de la surface, permettant ainsi de contrôler l'enherbement et de protéger le sol contre les effets de la pluie, du soleil
- L'installation de la plante de couverture ne nécessite pas une préparation du sol

Les plantes de couverture peuvent être installées soit en utilisant le semis direct, ou dans les résidus de la culture précédente.

- Qualité de la semence : comme dans le cas des cultures de rente, les semences des plantes de couverture doivent être de bonne qualité, indemnes d'attaques ou d'infections par les pathogènes

Adaptation agro-écologique des plantes de couverture fréquemment utilisées

Noms scientifiques	Anglais	Français
Légumineuses adaptées aux plaines humide		
Centrosema pubescens	Centro, butterfly pea	Centrosema
Phaseolus mungo	Black gram	Haricot mungo
Pueraria phaseoloides	Tropical kudzu	Kudzu tropical, kudzu
Légumineuses résistantes au feu		
Centrosema pubescens	Centro, butterfly pea	Centrosemena
Desmodium adscendens	.	Desmodium
Glycine wightii	Glycine	Glycine
Macroptilium atropurpureum	Siratro	Siratro
Légumineuses adaptées au froid		

<i>Clitoria ternatea</i>	butterfly pea	.
<i>Desmodium intortum</i>	Greenleaf desmodium	Desmodie
<i>Desmodium incinatum</i>	.	.
<i>Glycine wightii</i>	Glycine	Glycine
<i>Lotononis bainesii</i>	Lotononis	.
<i>Medicago sativa</i>	Lucerne	Alfalfa, luzerne
<i>Phaseolus lathyroides</i>	Phasey bean	Haricot à grappe
<i>Trifolium spp.</i>	Clover	Trèfle
Légumineuses adaptées aux bas fonds et aux zones inondables		
<i>Lotononis bainesii</i>	Lotononis	.
<i>Phaseolus lathyroides</i>	Phasey bean	Haricot à grappe
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Tropical kudzu	Kudzú tropical
<i>Vigna luteola</i>	Dalrymplar vigna	.
<i>Vigna umbellata</i>	Rice bean	.
Légumineuses qui supportent la sécheresse		
<i>Cajanus cajan</i>	Pigeon pea	Pois d'angle
<i>Canavalia brasiliensis</i>	.	.
<i>Canavalia ensiformis</i>	Jack bean, sword bean	Haricot-sabre, pois sabre
<i>Clitoria ternatea</i>	butterfly pea	.
<i>Desmanthus virgatus</i>	.	.
<i>Desmodium uncinatum</i>	Silverleaf desmosium	.
<i>Dolichos lablab</i>	Lablab bean	Dolique d'Égypte, lablab
<i>Galactia striata</i>	.	.
<i>Glycine wightii</i>	Glycine	Glycine
<i>Indigofera endecaphylla</i>	.	Indigo
<i>Leucaena endecaphylla</i>	.	.
<i>Macrotyloma axillare</i>	Archer axillaris	.
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	Common stylo, tropical lucerne	Stylosanthes, Luzerne tropicale, luzerne du Brésil
<i>Stylosanthes hamata</i>	Caribbean stylo, pencil flower	.
<i>Stylosanthes humilis</i>	Townsville stylo, wild lucerne	Luzerne sauvage
<i>Stylobium spp.</i>	Mucuna, velvet bean	Dolique/haricot de Floride
<i>Vigna unguiculata</i>	Cowpea	Niébé, pois à vache, dolique de chine
Légumineuses adaptées à l'ombre		
<i>Arachis pintoi</i>	Horse groundnut	Arachide fourragère
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calapo	Calopogonium
<i>Canavalia ensiformis</i>	Jack bean, sword bean	Haricot - sabre / pois - sabre
<i>Vicia villosa</i>	Hairy vetch	Vesce velue

Indigofera spp.	.	Indigotier, anil, indigotier des indes
Leucaena leucocephala	Leucaena	Leucène
Pueraria phaseoloides	Tropical kudzu	Kudzu tropical, Kudzu
Trifolium repens	White clover	Trèfle blanc
Légumineuses adaptées aux sols fertiles		
Glycine wightii	Glycine	Glycine
Medicago sativa	Lucerne	Alfalfa, luzerne
Stilozobium deeringianum (= Mucuna pruriens)	Mucuna, Velvet bean Mucuna,	Mucuna, dolique de la Floride
Trifolium spp.	Clover	Trèfle
Vicia sativa	Common vetch	Vesce fourragère
Vicia villosa	Hairy vetch	Vesce velue
Légumineuses adaptées aux sols moyennement fertiles		
Centrosema pubescens	Centro, butterfly pea	Centrosema
Galactia striata	.	.
Macroptilium atropurpureum	Siratro	.
Lupinus albus	White lupin	Lupin blanc
Lupinus angustifolius	Blue lupin	Lupin petit bleu / lupin à feuilles étroites
Lathyrus sativus	Grass pea, chickling pea	.
Crotalaria juncea	Sunn-hemp	Crotalaire, faux chanvre, chanvre de Bengale
Légumineuses et autres espèces adaptées aux sols pauvres		
Cajanus cajan	Pigeon pea	Pois d'Angole
Calopogonium mucunoides	Calapo	Calopogonium
Canavalia brasiliensis	.	.
Canavalia ensiformis	Jack bean, sword bean	Haricot - sabre / pois - sabre
Centrosema spp.	Centro, butterfly pea	Centrosema
Desmodium spp.	Desmodium	Demodium
Galactia striata	.	.
Indigofera spp.	.	Indigotier
Leucaena leucocephala	Leucaena	Leucena
Lotus corniculatus	Birdsfoot trefoil	Lotier corniculé, lotier des prés
Lupinus luteus	Yellow lupin	Lupin jaune
Macroptilium atropurpureum	Siratro	.
Stylosanthes spp.	Stylo	Stylosanthes
Stylobium aterrimum	Black mucuna	.
Teramnus uncinatus	.	.

Vigna unguiculata	Cowpea	Niébé, pois à vache, dolique de chine
Zornia diphlla	Zornia	.
Lolium multiflorum	Italian ryegrass	.
Ornithopus sativus	Pink serradella, bird's foot	Serradelle, ornithope rose
Secale cereale	Rye	Seigle
Spergula arvensis	Corn spurry, spurry	.

1.4 - Gestion de la plante de couverture et des résidus

Dans les systèmes d'AC, la campagne agricole commence chaque année par la production et l'épandage des résidus sur le sol, et/ou l'installation d'une plante de couverture.

On pense souvent, à tort, que l'utilisation des herbicides est indispensable pour la mise en œuvre de l'AC. Heureusement, la persévérance et l'esprit de créativité de plusieurs agriculteurs et chercheurs ont permis de mettre au point aujourd'hui de nombreux équipements et connaissances qui permettent gérer les plantes de couverture sans recourir aux herbicides.

Bien gérée, la couverture végétale :

- Augmente le taux de matière organique, l'infiltration de l'eau et la capacité de rétention du sol ; les conditions pour le développement la plante sont améliorées
- Fixe le carbone
- Facilite la réalisation du cycle de carbone
- Protège le sol contre l'érosion
- Augmente la quantité d'éléments nutritifs
- Réduit la perte de l'humidité du sol par évaporation

Par contre, une mauvaise gestion des résidus ou de la plante de couverture peut :

- Provoquer une hétérogénéité dans la préparation du sol et une différence spatiale des taux de levée
- Gêner la réalisation des opérations de semis et de fertilisation
- Empêcher la levée de la plante

Les résidus doivent être gérés à partir de la récolte. Cela dépendra de la culture suivante, et si oui ou non les résidus doivent être répartis de façon homogène le sol ou laissés intact, ainsi les plantes rampantes comme le mucuna pourraient utiliser les tiges de maïs comme tuteur.

Une distribution homogène des résidus fournit une température et des conditions d'humidité uniformes. Une distribution inégale peut engendrer les problèmes suivants :

- Mauvais placement des semences dans le sol lors du semis, entraînant des taux de germination variables sur la parcelle
- Un milieu trop humide peut favoriser le développement des pestes
- L'allélopathie peut être encouragée

Il est important de choisir le moment approprié pour les interventions sur la plante de couverture, car certaines peuvent régénérer si leur croissance est interrompue précocement. Par ailleurs, les semences des plantes de couverture peuvent germer si la plante atteint la maturité, c'est le cas de l'avoine, du seigle ou du radis fourrager. Toutefois, il existe des espèces et des plans rotations où les plantes de couverture sont maintenues volontairement jusqu'à la maturité, ceci afin de constituer un réservoir de semences qui permettra à la plante de couverture de se développer automatiquement une fois que la culture de rente est récoltée.

L'effet allélopathique des résidus d'avoine sur la germination des mauvaises herbes. Ci-contre, cas de *Cyperus rotundus* (A.J. Bot).



Le meilleur moment pour gérer la majorité des plantes de couverture c'est la fin de la floraison lorsque les plantes ont accumulé un maximum de biomasse. Dans le cas des légumineuses, les gousses des premières fleurs doivent déjà être formées, mais pas encore mures. L'avoine et le seigle peuvent être mieux gérés au stade laiteux. Le

radis peut être fauché à n'importe quel moment de sa phase de croissance, mais dans les systèmes de semis direct avec un travail minimal du sol, les semences doivent être encore vertes et immatures pour éviter la germination de nouveaux plants. Le pois d'angole doit être fauché avant la floraison à cause d'un taux de repousse élevé et de la forte lignification de la tige.

Le choix de la technique pour rabattre/faucher les plantes de couverture dépend des caractéristiques de ces plantes et des moyens du producteur. Si l'objectif est d'utiliser un mulch mort pour couvrir le sol le plus longtemps possible, le moyen le plus indiqué serait d'utiliser une machette, un rouleau ou un herbicide.

Quand le processus de décomposition doit commencer immédiatement pour favoriser la libération des éléments nutritifs, il est recommandé de faucher ou de broyer la plante de couverture. Dans certains cas, un traitement complémentaire à l'herbicide serait nécessaire.

Le fauchage est une pratique courante en Amérique latine pour gérer les plantes de couverture. (FAO).



La période entre la fauche, ou d'autres formes d'opérations de gestion, de la plante de couverture et le semis de la culture de rente (maïs, haricot, soja, etc.) peut affecter le niveau de production. Cette influence est liée à certaines substances qui sont libérées pendant la décomposition de la plante de couverture. La germination de la plante peut être affectée, et le développement des cultures suivantes retardé, c'est l'allélopathie. En général, la gestion de la légumineuse plante de couverture et le radis dix jours avant le semis du maïs permet d'obtenir de bons rendements.

Le radis est la plante de couverture dont la gestion affecte le moins la production. Le rendement de maïs sur couverture herbacée telle que l'avoine et le seigle augmente proportionnellement avec le nombre de jours de décalage entre la gestion de la plante de couverture et le semis du maïs. Ceci est lié à une réduction de la fixation d'azote et de l'effet allélopathique sur le temps, et les différents niveaux de lignine et d'hémicellulose.

En cas de semis direct sur couverture végétale, il est recommandé de semer avec un décalage 8 à 12 jours après la gestion de la plante de couverture pour les espèces avec rapport C/N faible à moyen (12 - 22), et un espacement de 12-20 jours pour les plantes de couverture avec un rapport C/N élevé (>24).

1- LA PRÉPARATION DU SOL

La préparation du sol fait partie des travaux d'astreinte dans la plus part des systèmes de production agricole. Dans les systèmes traditionnels, la préparation du sol commence très souvent par le brûlis de la végétation sur la parcelle en jachère, ou des résidus de la culture précédente. L'objectif est de nettoyer le sol ou d'éloigner les animaux sauvages et autres serpents.

Planche 1. Cet agriculteur n'est pas seulement entrain de nettoyer sa parcelle, mais il «vide également ses poches» en détruisant la fertilité et les potentialités de son sol. (FAO).



Le brûlis est généralement suivi du labour du sol. Selon les moyens du producteur, le travail du sol peut varier d'un labour léger/ extensif à un labour intensif.

Pourquoi les agriculteurs pratiquent-ils le labour ?

Premièrement, c'est pour préparer un bon lit de semis afin de faciliter la germination des semences. Les agriculteurs pensent qu'un sol bien labouré, ameubli, nivelé améliore le contact entre la graine et le sol. Le semis peut être réalisé à une bonne profondeur. Deuxièmement, les producteurs labourent dans l'objectif de contrôler les mauvaises herbes. D'autres raisons pouvant justifier le labour peuvent être l'augmentation de la capacité du sol à stocker l'eau et des propriétés du sol.

Encadré 1. Les objectifs du labour du sol

- Préparation du lit de semences
- Gestion des résidus de culture
- Enfouissement des engrais et des produits agro-chimiques
- Décompaction du sol
- Améliorer l'infiltration de l'eau
- Modeler la surface du sol (hersage)

Malheureusement, les techniques utilisées pour atteindre les objectifs sus mentionnés, les conséquences du labour pourraient compromettre d'autres objectifs de l'agriculteur. Toute opération supplémentaire de labour pour contrôler l'enherbement enfouit plus de résidus et expose le sol humide, aggravant les pertes en eau. Avec l'augmentation du nombre labour, l'agrégation du sol diminue et le sol devient vulnérable à l'érosion. (Godwin, 1990).

De cette façon, le labour aura un impact négatif sur la productivité des sols et la rentabilité économique des cultures. Le labour influence aussi la quantité d'eau et des éléments nutritifs présents dans sol. Parmi les inconvénients du labour, on peut citer :

- augmentation de l'érosion et baisse de la fertilité
- augmentation de l'évaporation et diminution de l'humidité
- baisse de la capacité de rétention d'eau

La partie érodée du sol est transportée dans les fossés, les lacs, les points d'eau ou sur la parcelle voisine, engendrant des pertes en matières organiques, azote, phosphore et pesticides. Les mesures préventives telles que la construction des terrasses sont onéreuses. Il est plus efficace et moins coûteux de conserver les résidus sur le sol et d'éviter de labourer.

2- LE TRAVAIL DU SOL

Généralement, le travail du sol se caractérise par le type d'opération menée (Friedrich, 2000) :

- **Le retournement** : ce type de travail consiste à retourner (labour, billonnage) les couches superficielles du sol pour les incorporer complètement, et de faire remonter les horizons de profondeur. L'argument selon

lequel le labour permet d'enfouir les résidus végétaux et, surtout, de détruire les adventices n'est pas valide si l'opération est réalisée tous les ans, car la même quantité de semences de mauvaises herbes est ramenée en surface.

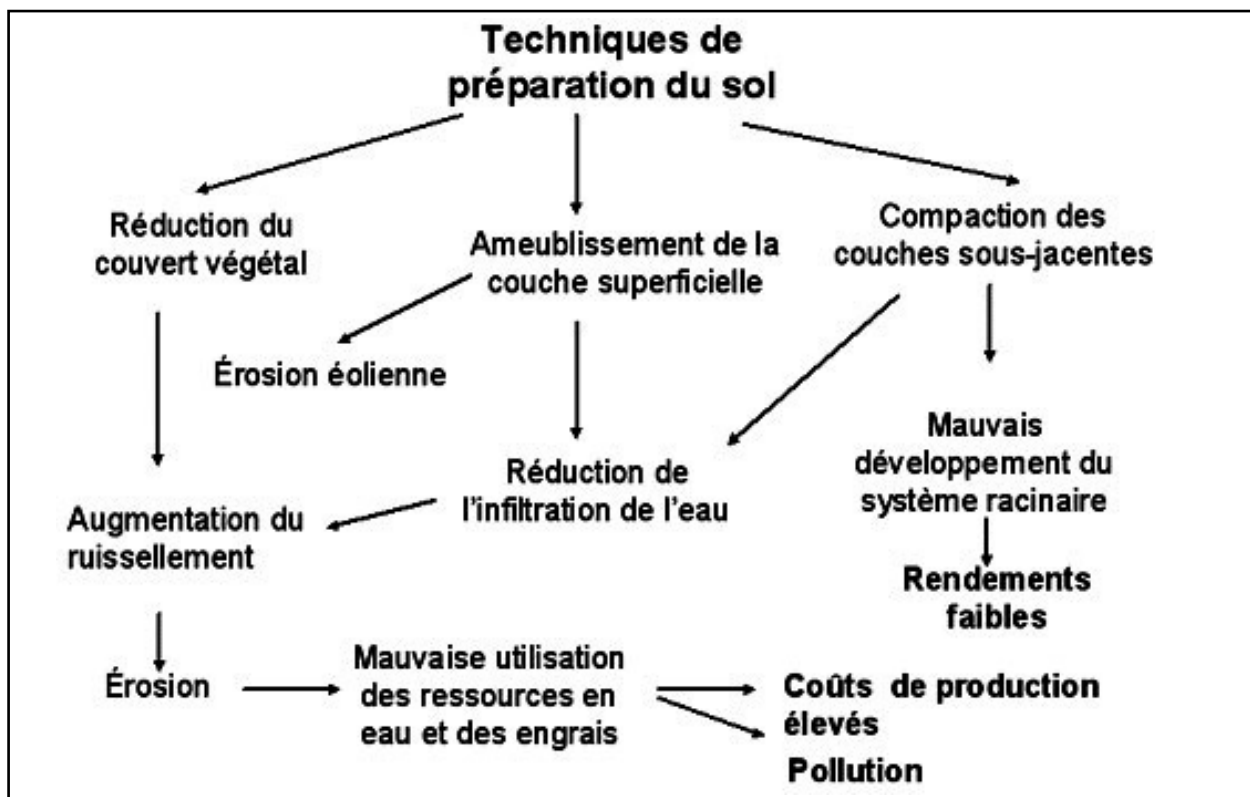
- **Le mélange** : cette opération mélange tous les éléments présents de façon homogène à une profondeur généralement d'environ 10 cm.
- **Le scarifiage** : cette opération qui se fait généralement à l'aide d'un coutrier vise à briser la couche superficielle du sol afin de le décompacter sans toutefois enlever les mottes. Cette opération est surtout pratiquée dans les zones semi-arides où les sols prennent en masse en saison sèche. elle facilite l'infiltration des premières pluies et permet un étalement des travaux de préparation des sols avant la période des semis
- **L'ameublissement** : Cette opération a pour objectif l'ameublissement du sol pour assurer de bonnes conditions de germinations et des taux de levée satisfaisantes. La profondeur d'exécution est de quelques centimètres. Les matériels utilisés peuvent être les pulvérisateurs à disques, l'araire ou les cultivateurs et herses.

Les opérations de retournement et de mélange influencent la quantité des résidus qui reste sur la surface du sol. Le versoir et les disques retournent complètement le sol alors que le chisel casse et mélange la terre, le cultivateur mélange uniquement. La herse pulvérise le sol pour préparer le lit de semences. Quatre types au moins d'opérations de préparation du sol peuvent être distingués dans un système d'agriculture traditionnelle (Krause et al., 1984) :

- Nettoyage du sol et gestion des résidus, y compris le brûlage des résidus et de la végétation issue de la jachère
- Premier labour
- Deuxième labour
- Les opérations d'entretien telles que : le sarclage, binage etc.

Mais quelques fois, un labour profond ou un sous solage est nécessaire pour casser les couches compactées profondes du profil.

Figure 1 les conséquences d'un mauvais choix de la technique de préparation de sol



Dans les zones tropicales et subtropicales où le risque d'érosion hydrique est élevé, les sols sont généralement très pauvres et érodés. Les températures sont élevées, en conséquence la décomposition est rapide. Les techniques de labour sont généralement choisies avec pour objectifs de préparer la couche superficielle du sol de manière à avoir un lit de semis très fin. En parvenant à

cet objectif, les techniques de labour engendrent des processus de dégradation des sols (figure 1) (Vieira, 1996). Le type et le nombre d'opérations de préparation du sol déterminent la quantité de résidus qui restent sur le sol. Par exemple, le labour laisse moins de 15%, alors qu'un agriculteur en travail manuel laisse entre 50 et 70% des résidus sur le sol.

Tableau 1 : quantité (en pourcentage) de résidus gardés sur la parcelle en utilisant différentes techniques de préparation du sol

Type de préparation du sol	Débris solides	Résidus mou
Résidus après récolte	80-95	70-80
Labour à la charrue	0-15	0-10
Charrue + chisel	0-10	0-5
Disques (2 opérations)	15-20	10-15
Chisel (2 opérations)	30-40	20-30
Cultivateur (2 opérations)	40-50	30-40
Cultivateur (1 opérations)	50-70	40-60
Semis direct	80-95	60-80

Encadré 2. Les inconvénients du labour Diminution de l'humidité du sol

Réduction de l'infiltration de l'eau

Destruction de la structure du sol

Augmentation des risques d'érosion

Augmentation des coûts des opérations

forte demande en travail, temps et équipements

Il devient nécessaire de choisir des pratiques de préparation du sol qui concourent à la fois à la protection des ressources naturelles, l'augmentation de la productivité et la réduction des coûts de production. Avec l'AC, la préparation du sol se réduit à un travail minimal du sol, voire purement l'absence de labour.

Le labour zéro ou plus globalement les pratiques de non-labour sont celles où la semence est placée directement dans le sol avec le moins de travail du sol possible. Le semis est réalisé sur un couvert végétal vivant ou mort. Les agriculteurs, les vulgarisateurs et les chercheurs travaillent sur la mise au point non seulement d'outils qui permettront de réaliser ce type de semis, mais aussi sur les outils et équipements qui permettront une meilleure gestion des résidus de culture et des jachères.

Ces outils et équipements ont été conçus pour trois niveaux de puissance :

- énergie humaine
- traction animale
- motorisation

3- LE LABOUR MANUEL

La houe et la binette, de poids et de formes variés sont les outils utilisés pour le labour manuel, sauf dans les cas où l'agriculteur recourt à la traction animale ou au tracteur. Bien que la profondeur et la densité de labour soient moins grandes avec le travail manuel, cette opération n'expose pas moins le sol à la dégradation et à l'érosion étant donné qu'il y a plus de couvert. L'apparition des zones de compaction et des semelles de labour est également avérée. Certains outils de labour peuvent encore s'utiliser en agriculture de conservation pour des opérations comme l'entretien des canaux d'irrigation. Toutefois, avec l'AC il n'y a plus de labour généralisé,

les producteurs recourent au semis direct pour installer les cultures. Ceci permet de lever la contrainte de disponibilité de main d'œuvre qui constitue le principal goulot d'étranglement pour la préparation du sol.

Planche 2. Avec l'AC, il n'y a plus de travail du sol à la houe, disparaît ainsi la principale période de pics de travaux au cours de la campagne agricole. (FAO).
achinisme, outils et équipements



4. CHARRUE, CHISEL ET COUTRIER POUR LA TRACTION ANIMALE

La charrue est probablement l'outil le plus populaire utilisé pour la préparation du sol aussi bien dans les pays occidentaux que dans les pays en voie de développement. La charrue est le symbole du développement de l'agriculture, mieux que tout autre outil. Certains équipements de travail du sol pourraient encore être utilisés pour réaliser certaines opérations dans l'AC. Cette pour cette raison qu'ils seront abordés brièvement dans les lignes qui suivent. Toutefois, avec l'AC ces outils ne sont plus utilisés fréquemment.

Planche 3 : La charrue est principalement utilisée pour un premier labour : ameublissement du sol dans le but de faciliter le développement racinaire, et couper et enfouir les mauvaises herbes. La charrue peut être tractée par un, une paire ou plusieurs boufs ou ânes.



Les inconvénients du labour sont :

- Nécessité d'avoir des animaux plus forts au début de la saison des pluies pour tirer la charrue, alors qu'à cette période les animaux sont généralement faibles
- Création des semelles de labour et compaction de certaines couches du sol en cas de labour intensif
- Le retournement de la terre cause par une baisse de l'humidité du sol par évaporation
- Enfouissement des nouvelles semences des mauvaises herbes tout en ramenant les semences situées dans les horizons profonds en surface, aboutissant à long terme à une plus grande infestation de la parcelle

Les caractéristiques du versoir telles que la largeur et la courbure déterminent la quantité des résidus de culture qui restent sur la surface et la partie qui est enfouie. Un versoir large et bien courbe va enfouir de grosses quantités de résidus, laissant le sol pratiquement nu. Pour commencer la transition vers l'agriculture de conservation, les agriculteurs peuvent choisir des matériels à dents comme le chisel, le cultivateur ou la herse.

Le chisel et le coutrier sont des outils à dents, fins et très tranchants qui peuvent être montés sur l'âge d'une charrue ordinaire (Moeller, 1997). Généralement, les producteurs qui veulent éviter le labour ou réduire le travail de préparation du sol utilisent le chisel.

Planche 4. Coutrier utilisée pour la traction animale (T. Friedrich)



Planche 5. Coutrier de type Magoye avec un semoir : un outil très utilisé en Afrique du Sud et de l'Est. (J. Kienzle)



Il peut également servir pour casser les semelles de labour ou toutes autres horizons imperméables du sol.

Les inconvénients sont :

- Mauvais contrôle de l'enherbement
- De bons résultats ne peuvent être obtenus que si le sol est dans un bon état (sec ou friable)
- Les résidus et la végétation sur la surface
- Les cailloux et mottes de terres sont ramenés en surface

Le sous-solage est pratiqué pour décompacter le sol (notamment les sols des zones semi arides), facilitant ainsi l'infiltration des eaux de pluies et le développement racinaire. Le coultre peut être fixé sur l'axe d'une charrue ordinaire. La pointe travaille au-dessous des couches compactées et peut aller jusqu'à une profondeur de 25 - 60 cm. Avec la traction animale, la profondeur maximale à laquelle le chisel peut travailler est de 30 cm. Pour cette raison, les animaux ne peuvent pas être utilisés pour de vrais travaux de sous solage, mais les couches superficielles compactées peuvent être casées en utilisant des chisels bien tranchants.

Planche 6. Les chisels utilisés pour le scarifiage profond avec la traction animale doivent être minces et droits. A droite de la photo, matériel de sous solage pour le labour traditionnel, à gauche : un coultre de type Magoye utilisé pour le scarifiage. (T. Friedrich).



5. CHARRUE, CHISELS ET SOUS-SOLEUSES

La charrue (versoir ou disque) est probablement l'outil le plus utilisé pour la préparation du sol aussi bien dans les pays occidentaux que dans les pays en voie de développement. Avec l'AC, cet outil ne fait plus nécessairement partie de l'équipement de base de l'exploitation.

Planche 7. Labour pour ameublir le sol, réduire la perte d'humidité et l'infestation des mauvaises herbes (T. Friedrich)



La charrue est principalement utilisée pour un premier travail du sol : ouvrir le sol pour l'ameublir afin de favoriser la pénétration des racines, faucher et enfouir les mauvaises herbes. Les inconvénients du labour ont été discutés à la section 4, ils sont les mêmes pour le travail mécanisé du sol.

Les pulvérisateurs sont souvent utilisés pour réaliser un labour minimal du sol. Toutefois, comme les charrues à disques, les pulvérisateurs retournent, mélangent et pulvérisent le sol, entraînant à terme une compaction du sous-sol. Ces actions assez intenses sur le sol rendent les pulvérisateurs inappropriés pour l'AC. Pendant la phase de transition vers l'AC, et dans le cas où certaines opérations de travail du sol seraient nécessaires avant de passer à la pratique de zéro - labour, les agriculteurs choisiraient des outils avec des dents verticales ou des cultivateurs lourds qui laissent un maximum de résidus sur le sol.

Les décompacteurs utilisant les chisels peuvent servir pour décompacter les sols très dégradés et non structurés pendant la phase de transition avant que la structure du sol ne commence à se restructurer. Sous AC, les décompacteurs et les chisels devraient être utilisés de manière à gérer les résidus sur la surface, soit en utilisant des disques coupants à l'avant du chisel ou en réalisant un nettoyage entre la houe et le châssis pour faciliter le passage de l'équipement. On devrait aussi faire attention pour que le chisel ne laisse pas de mottes sur la surface, ce qui exigerait la réalisation d'un deuxième labour pour préparer le lit de semences. On peut y arriver en conduisant l'opération lorsque l'humidité du sol est idéale (quand le sol est friable) et préférant des matériels avec chisel incliné latéralement, tel qu'un chisel ou un décompacteur à dents. Lorsque réalisé, le décompactage devrait être limité aux lignes de semis.

Planche 8. Cultivateur pour le sous-solage, équipé de disques coupants pour la gestion des résidus. (T. Friedrich)



Planche 9. Dents latéralement inclinées de décompacteur pour éviter la formation des mottes (T. Friedrich).



Les sous - soleuses sont constituées de disques ou dents longues pour casser les couches denses ou compactées du sol, dans l'objectif d'améliorer l'infiltration de l'eau et de faciliter la pénétration des racines. Les outils de sous solage travaillent en dessous de la couche compactée, qui est généralement située à une profondeur 25 - 60 cm. Inconvénients :

- Exige des engins de grande puissance
- Le sol doit être friable ou sec sur toute la profondeur de travail
- En cas de mauvaise utilisation, les points de fixation des dents sur la barre pourraient facilement lâcher, les parties usées peuvent réduire l'efficacité de décompaction
- Lorsque le matériel est mal utilisé, l'infiltration de l'eau n'est pas autant améliorée que l'on se serait attendu

Le sous- solage ne doit pas être considéré comme une opération courante, mais comme une action exceptionnelle. Après la décompaction, des mesures doivent être prises pour stabiliser la structure du sol. On doit faire attention pour éviter de recompacter des sols qui ont déjà subi un sous solage. Le passage des engins lourds, ou la réalisation d'un labour intensif avec pulvérisateur sur un sol fraîchement décompacté pourrait annihiler l'effet du sous solage, voire engendrer une compaction encore plus grave qu'avant le sous solage. Vu les besoins en engins de grande puissance pour réaliser le sous -solage, une décompaction biologique avec des plantes qui présentent un système racinaire puissant et profond serait plus économique.

Planche 10. Système racinaire du radis pénétrant le sol. La taille de la racine pivotante indique l'utilité du radis comme un outil biologique de décompactation. Sous AC, la dégénérescence de cette racine va laisser un biopore à travers lequel l'eau pourra facilement s'infiltrer dans le sol. A. Calegari

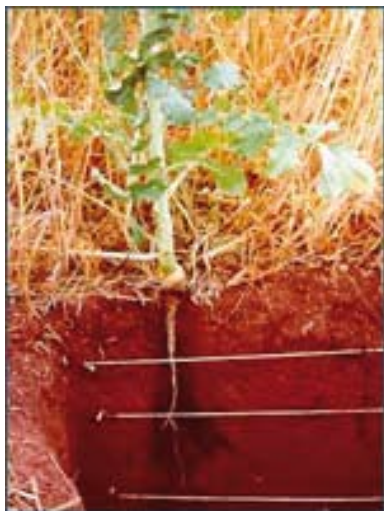


Planche 11. Le sous-solage avec un décompacteur à dents laisse les résidus sur place et ne perturbe pas la surface du sol. (T. Friedrich)



6. GESTION DES PLANTES DE COUVERTURE ET DES RÉSIDUS

L'objectif de la gestion des plantes de couverture, des résidus de récolte et de l'enherbement est de préparer l'installation de la culture de rente et, d'éviter que les mauvaises herbes ou les plantes de couverture ne fassent concurrence à la culture principale. Dans l'AC, cette gestion devrait faciliter la pénétration dans le sol des équipements de semis directs et la création des conditions de milieu favorables pour la germination des semences.

Il est souhaitable que les résidus forment une bonne couverture qui protège le sol pendant longtemps contre l'impact des pluies et, qui libère des substances allélo-

pathiques pour empêcher la germination des mauvaises herbes. La libération de ces produits chimiques doit être lente et graduelle jusqu'à ce que la plante de rente soit à mesure de supporter la concurrence des mauvaises herbes. La décomposition de la matière organique fait partie des facteurs susceptibles d'influencer la libération des substances allélopathiques (Almeida, 1988).

La gestion des résidus et des plantes de couverture peut être faite mécaniquement ou chimiquement. En outre, ces deux techniques peuvent être combinées, en fonction des possibilités de l'agriculteur, de la topographie (sol plat ou en pente), le niveau d'infestation par les mauvaises herbes, et le stade de développement de la plante de couverture.

6.1 - Gestion mécanique

La gestion mécanique des résidus et de la plante de couverture fait appel à l'utilisation des outils tels que : la machette, la faucille, le rouleau, la tondeuse, le broyeur ou tout autre équipement similaire. La présente section comprend trois parties :

- Les outils manuels
- Les équipements attelés aux animaux
- Les équipements montés ou attelés au tracteur

6.2- Les équipements manuels

Machette

L'utilisation de la machette pour faucher les mauvaises herbes ou les résidus de récolte avant le semis est une pratique courante en Amérique Latine et en Afrique Subsaharienne.

Planche 12. L'utilisation de la machette pour faucher ou rabattre la plante de couverture est une pratique courante en Amérique Latine. (T. Friedrich).



Les résidus sont gardés sur le sol. La culture suivante est installée dans ce couvert.

Encadrée 3 : Avantages et inconvénients de l'utilisation de la machette.

Avantages :

- Disponibilité
- Prix accessible
- Outil bien connu des agriculteurs

Inconvénients :

- Lourd et très exigeant temps
- Les herbes repoussent aussi rapidement après le débroussaillage

Le rouleau à lames et le gyrobroyeur

Le rouleau à lames est utilisé pour rabattre et broyer la couverture végétale sur le sol (qui périra par la suite) avant le semis de la culture de rente. Le rouleau est généralement attelé aux animaux de trait ou au tracteur. Mais, son principe peut inspirer la fabrication de 'petits rouleaux' ou d'autres équipements similaires tractés par l'Homme. Idéalement, la coupe ou le broyage de la plante de couverture doit être réalisée après la floraison mais avant que les semences aient atteint la maturité. Il n'est pas nécessaire de recourir à l'herbicide pour dessécher le couvert végétal, les coûts de production s'en trouvent donc substantiellement réduits. Il est important que le rouleau rabatte seulement et broie, sans couper, la plante de couverture de manière à ce qu'elle puisse sécher et mourir. En cas de coupe nette et complète, la tige ou le stolon pourrait bourgeonner donnant ainsi lieu à des repousses. En outre, lorsque les résidus ne sont pas entièrement fauchés, mais restent en contact avec le sol, le semis mécanisé est aussi plus rapide.

Les tondeuses / faucheuses

La tondeuse est un équipement utilisé pour faucher la plante de couverture ou les résidus. Dans certains pays, la tondeuse motorisée portable tend à supplanter la machette. L'utilisation de la tondeuse présente l'intérêt que la végétation fauchée reste sur place et couvre bien le sol.

Planche 13. Une faucheuse rotative et portable, utilisée pour faucher la végétation.



6.3 - Les équipements utilisés en traction animale pour gérer les plantes de couverture et les résidus

Le rouleau à lames et le gyrobroyeur

Le rouleau à lames est utilisé pour rabattre et broyer la couverture végétale sur le sol avant le semis de la culture de rente. L'opération doit être réalisée après la floraison mais avant que les semences aient atteint la maturité. Ainsi, il ne sera plus nécessaire de recourir à l'herbicide pour dessécher le couvert végétal. Il est important que le rouleau rabatte seulement et broie, sans couper, la plante de couverture de manière à ce qu'elle puisse sécher et mourir. En cas de coupe nette et complète, la tige ou le stolon pourrait bourgeonner donnant ainsi lieu à des repousses. Le semis mécanisé est aussi facilité si les résidus ne sont pas coupés, mais restent en contact avec le sol. Rabattre les résidus ou les plantes de couverture améliore la lutte contre l'enherbement comparativement aux situations où les résidus ou les plantes de couverture restent dressés.

Le rouleau à lames est un matériel simple et relativement moins cher qui peut être monté sur place au champ. Il est constitué d'un corps cylindrique qui tourne librement autour d'un essieu horizontal. Il est constitué d'un corps cylindre qui tourne librement autour d'un essieu horizontal. Les lames sont placées à équidistance autour du cylindre. La distance entre les lames détermine la longueur des découpes. Des lames étalées ou un jeu de lames fixés de façon à former un angle avec le rayon du cylindre améliore l'efficacité de l'opération et réduit l'impact sur les animaux de trait. Le rouleau est monté/attelé sur un châssis qui peut en outre être équipé de roues et d'un abri pour l'opérateur. Quand le cylindre est tiré, les lames rabattent et coupent la végétation (Araújo et al., 1993).

Planche 14. Rouleau à lames attelé, prêt pour le transport (T. Friedrich).



Un rouleau à lames simple peut être constitué de tronc d'arbre avec des lames de 22 - 25 cm de long encastrées de part et d'autre de sa circonférence. Les lames peuvent être des pièces en acier, eg un vieux radiateur de véhicule (Bertol and Wagner, 1987).

L'utilisation du rouleau doit se faire de façon appropriée pour éviter les repousses. Au moment de rabattre et broyer la végétation, il faudra se rassurer que le couvert est à un même niveau de développement et que cette opération ne va pas favoriser les repousses et la perte de semences. Il est donc recommandé d'utiliser le rouleau lorsque la plante de couverture a atteint les niveaux de développement suivants (Calegari, 1992) :

- Légumineuses : entre la floraison complète et la formation des premières gousses
- Pour les espèces herbacées : stade laitieux - pâteux
- Pour d'autres espèces, tel que le radis : entre la floraison et la maturation

Si plusieurs plantes de couverture doivent être associées, il est nécessaire de choisir celles qui ont un cycle plus ou moins uniforme (Monegat, 1991).

Planche 15. Le rouleau à lames tiré par les boufs de trait est un outil courant dans les petites et moyennes exploitations agricoles au Sud Brésil (T. Friedrich).



Les broyeurs

A partir du principe du rouleau, on peut construire plusieurs autres outils pour rabattre et broyer la végétation. En fait, tout objet rond et plus ou moins lourd pourrait être utilisé comme, le montrent les exemples suivants d'outils utilisés par les agriculteurs :

- Traîneau
- Tronc d'arbre
- Tube en béton
- Vieux pneus de véhicules

Planche 16. Un traîneau tiré par des chevaux pour rabattre le Mucuna (A. Calegari).



Planche17. Un cylindre utilisé pour broyer le couvert végétal avant l'installation de la culture d'ognion (V. H. de Freitas).



Planche 18. Un broyeur constitué de vieux pneus. (M. Piñalva).



Les faucheuses / tondeuses

les faucheuses sont peu recommandées pour gérer les plantes de couverture, car les stolons ou les tiges pourraient repousser. Les faucheuses utilisées en traction animale sont équipées de barres coupantes. Elles peuvent être entraînées par des roues tirées par des chevaux, elles peuvent également s'utiliser avec un petit moteur à essence. Mais, en général, les tondeuses attelées aux animaux sont rarement utilisées pour la gestion des plantes de couverture.

6.4 - Gestion mécanique des plantes de couverture avec les équipements attelés aux tracteurs

Les rouleaux à lames et les gyrobroyeurs les détails sur les caractéristiques et les modes d'utilisation de ces matériels ont été présentés à la sous-section qui traite des équipements manuels ou attelés aux animaux. Le lecteur peut s'y référer.

Planche19. Un rouleau à lames simple, fabriqué avec du bois et des barres métalliques. Il est approprié pour la traction animale et les tracteurs de faible puissance. (T. Friedrich).



Planche 20. Un rouleau à lame attelé au tracteur. (T. Friedrich)



Comment fabriquer un rouleau à lames ? (tiré de <http://www.rolf-derpsch.com/>)
Le rouleau à lames est constitué d'un cylindre creux en acier, de 6 mm d'épaisseur, environ 115 - 220 cm de large et, 60 - 70 cm de diamètre. Les extrémités pour permettre un remplissage avec de l'eau en cas de besoin. Environ 8 - 12 lames émoussées équidistantes de 19 cm. Les lames, d'une hauteur de 7 - 10 cm sont placées parallèlement au cylindre avec un angle de 45 ou 90°. Le poids de chaque cylindre est d'environ 200 kg à l'état vide et de 400 kg et 800 kg respectivement quand rempli d'eau. Parfois, certains rouleaux comportent trois cylindres, dont deux disposés à l'avant et un à l'arrière afin de couvrir une grande surface de travail. Les cylindres sont montés sur un châssis pour créer une pression hydraulique (Derpsch, 2003)

Planche 21. Le rouleau à lames pour rabattre la végétation et garder les résidus sur le sol est un outil essentiel pour la gestion des plantes de couverture (R. Derpsch)



Les broyeurs

Partant du principe de fonctionnement du rouleau à lames, on peut concevoir plusieurs types d'équipement pour rabattre et broyer la couverture végétale. Certains de ces outils ont été évoqués dans la partie AC et Elevage. Pour les tracteurs, une autre alternative serait d'utiliser les disques modifiés du pulvérisateur. Les roulements rotor du pulvérisateur avec des bars en acier pourraient également fonctionner comme un broyeur.-

Planche 22. Pulvérisateur modifié pour être utilisé comme un rouleau à lames. (T. Friedrich).



Planche 23. Tubes métalliques attelés à un tracteur, utilisé comme broyeur



Les tondeuses

Comme relevé plus haut sur la sous section sur les équipements utilisés avec la traction animale, il n'est pas recommandé de tondre les plantes de couverture au risque de favoriser les repousses. En outre les résidus seront dispersés en vrac sur le sol, contrairement au cas du rouleau à lames où ils sont alignés. Ceci pourrait compliquer les opérations de semis car la biomasse aura tendance à obstruer les équipements du semoir.

Outre les tondeuses, les broyeurs / hacheurs sont un autre type d'outils utilisés pour faucher la couverture végétale. Les broyeurs sont constitués de lames, tournant verticalement à haute vitesse autour d'un axe horizontal. Très souvent, ils découpent la biomasse en petits morceaux. Entre autres avantages, ils permettent une bonne répartition du mulch sur le sol ; la lutte contre les pestes et les pathologies et les morceaux de végétaux broyés n'entravent pas les opérations de semis. Toutefois, et par-dessus tout, le premier inconvénient du broyage réside dans le fait que les morceaux broyés se décomposent rapidement, ils ne peuvent pas rester sur le sol aussi long-

temps que les résidus non broyés. La forte consommation d'énergie constitue le deuxième inconvénient. Pour cette raison, les broyeurs- hacheurs ne doivent être utilisés pour la gestion des plantes de couverture ou des résidus que dans des cas particuliers. Les gyrobroyeurs présentent les mêmes limites que les broyeurs- hacheurs.



Planche 25. Un gyrobroyeur utilisé pour broyer les tiges de cotonniers. (T. Friedrich).



Le même principe est appliqué aux pailles de céréales après la récolte et le battage. Il est important que la distribution de la paille soit uniforme sur toute la largeur de coupe de la moissonneuse - batteuse. Dans beaucoup de cas, les moissonneuses - batteuses modernes sont équipées d'un broyeur de paille. Le broyeur doit être monté de manière que toute la paille et la balle soit distribuées de façon uniforme sur toute la largeur de coupe de la moissonneuse - batteuse.

Planche 26. Moissonneuse - batteuse avec un broyeur de paille (T. Friedrich).



Avec l'AC, il est préférable, mais dans le cas des pailles de céréales, de ne broyer mais d'épandre les tiges derrière la moissonneuse - batteuse. On réalise ainsi des économies d'énergie, le sol est couvert pendant un temps plus long. Les épandeurs de pailles pour les moissonneuses batteuses sont disponibles sur le marché et peuvent être montés facilement au champ.

Planche 27. Épandeur de pailles attelé à une moissonneuse - batteuse (MAX - Irmãos Thonnigs Ltda.).



Planche 28. Épandeur de pailles fabriqué par un agriculteur. (T. Friedrich).



6.5 - Gestion chimique

La gestion chimique des plantes de couverture ou de la végétation des jachères renvoie à l'épandage des herbicides. Les herbicides sont utilisés pour « brûler » (dessécher) le couvert végétal pour faciliter l'installation de la prochaine culture. L'opération est réalisée normalement avant la fin de la floraison de la plante de couverture, ou lorsque cette dernière est au stade laitieux. L'opération peut également intervenir au moment du sarclage de la culture principale, ou lorsqu'il se fait tard pour utiliser le rouleau à lames. Plusieurs types de pulvérisateurs ont été mis au point, ils seront présentés en 2 parties :

- Les pulvérisateurs manuels ou tractés par les animaux
- Les pulvérisateurs utilisant les tracteurs

6.6- Equipements manuels et attelés aux animaux, utilisés dans la gestion chimique de l'enherbement

Le pulvérisateur à dos avec levier est probablement le type de pulvérisateur manuel le plus utilisé. Il est porté sur le dos, et peut donc être transporté facilement partout dans le champ et sur tout type de terrain.

Le réservoir constitue la partie la plus volumineuse du pulvérisateur. Rempli, il peut contenir entre 10 et 15 litres. Un levier manuel situé à côté du réservoir, servant à faire un mouvement de montée - descente, est utilisé pour créer la pression nécessaire pour la propulsion du produit (Moeller, 1997). Le liquide s'écoule par petites gouttelettes en sortant de la buse.

L'utilisation du pulvérisateur à dos est assez fatigante à cause de la portée et de la marche sur de longues périodes. D'autres types de pulvérisateurs basés sur le même principe de fonctionnement ont été mis au point.

Planche 29. Le pulvérisateur à dos est probablement le type pulvérisateur le plus utilisé dans le monde. (T. Friedrich).



Le réservoir est placé sur le châssis d'une brouette ou sur une monture équipées de deux roues. Pour la traction humaine, le réservoir peut contenir entre 25 à 50 litres de produit. Une des roues est utilisée comme pompe. La pompe du pulvérisateur est activée au travers d'une tige de transmission à partie de l'essieu de la roue. Le pulvérisateur n'étant plus porté, mais tracté, la superficie traitée peut être élargie grâce à une rampe munie de plusieurs buses. Un tel système peut couvrir une largeur allant jusqu'à 5 m, et le temps de traitement peut être réduit de 0,6 à 1h par hectare (Araújo et al., 1999).

Planche 30. Adaptation d'un pulvérisateur à dos pour la traction manuelle. (T. Friedrich).



Dans certaines régions, la disponibilité de l'eau est une contrainte majeure pour l'utilisation des herbicides. Le recours aux équipements simples utilisant des buses rotatives peut être une alternative viable. Dans ce cas, les quantités à appliquer peuvent être réduites de 150-200 l/ha à 10-20 l/ha.

Planche 31. Un producteur avec un pulvérisateur à buse rotative (T. Friedrich).



Encadré 4. Différents types de pulvérisateurs

- Buses hydrauliques
- Buses rotatives / faible volume
- Pulvérisateur avec une seule buse
- Pulvérisateur à rampe
- Pulvérisateur avec cache / cultures en ligne

Les humecteurs à mèche sont des équipements simples utilisés pour appliquer les herbicides. Il est important de respecter les doses recommandées d'herbicides et que l'humecteur ait un débit constant pendant toute la durée du traitement. Etant donné qu'il n'y a pas de problème de pression, les humecteurs à mèche peuvent être utilisés pour les traitements sur l'interligne sans présenter aucun risque pour la culture, à condition qu'un minimum de précaution soit pris pour ne pas toucher les lignes de semis.

Planche 32. Humecteur à mèche. (B. Sims).



Même si les herbicides utilisés sont de faible toxicité, il faut noter que la manipulation des produits agro-chimiques doit se faire avec attention et uniquement par des personnes bien formées. Le pulvérisateur ne doit pas

avoir de fuite et doit être dans un bon état. Les buses doivent être nettoyées et remplacées régulièrement. Les utilisateurs doivent être formés sur la mesure et l'utilisation des pulvérisateurs afin de pouvoir obtenir un maximum de résultat avec peu de quantité de produits.

Les grands pulvérisateurs, avec une longue rampe et qui peuvent contenir de grosses quantités de produits, ont été mis au point pour la traction animale, bien qu'ils soient plus adaptés pour les zones plates. Pour les zones montagneuses, il est recommandé d'utiliser les modèles avec une courte rampe.

Planche 33. Un pulvérisateur à rampe attelé aux animaux (T. Friedrich)



6.7 - Utilisation des tracteurs pour la gestion chimique des plantes de couverture et des mauvaises herbes.

Le pulvérisateur à rampe porté ou attelé au tracteur constitue l'équipement le plus utilisé pour épandre l'herbicide. Selon la taille, ce pulvérisateur peut être remorqué, monté ou auto-propulsif. Pour les cultures en lignes, les pulvérisateurs avec cache peuvent être utilisés pour appliquer l'herbicide entre les lignes sans affecter les plants.

L'utilisation des herbicides nécessite beaucoup d'attention, de connaissances et d'habileté pour éviter les risques sur la santé humaine et l'environnement. Les pulvérisateurs doivent respecter les normes standard de sécurité et être dans un bon état. Il ne doit pas y avoir de fuites, le système de réglage doit être en bon état de fonctionnement, les buses doivent être vérifiées et remplacées régulièrement. Les utilisateurs doivent être compétents et recyclés régulièrement. Une mauvaise application d'herbicide augmente les coûts de production et peut endommager la culture.

Planche 34. Pulvérisateur avec cache pour l'application d'herbicide entre les lignes de semis (T. Friedrich)



Avant de commencer l'épandage, le pulvérisateur doit être bien réglé pour se rassurer que c'est effectivement la dose recommandée qui est appliquée. On doit choisir les buses qui donnent une distribution régulière, permettent une bonne couverture du sol même avec des hauteurs variés de la rampe. Les buses avec ventilateur plat, celles dont le jet est abondant ou dévié remplissent généralement ces critères. En fonction du type de buse et de la quantité de produit à épandre, la pression doit être faible (1-2 bar) pour éviter la formation des petites gouttelettes.

Planche35. Pulvérisateur porté à rampe avec manche pour réduire l'entraînement par le vent (drift). (T. Friedrich).



Les pulvérisateurs vieux ou obsolètes qui ne peuvent plus fonctionner normalement peuvent être améliorés ou récupérés à faible coût, en remplaçant les équipements de transports des produits. Très souvent, le réservoir, le pulvérisateur et même la rampe peuvent encore servir. Il est recommandé de remplacer la pompe, la tuyauterie, les filtres et les buses sur les lignes concernées.

Planche36. Récupération et amélioration d'un vieux pulvérisateur : renouvellement de la pompe, des régulateurs et de la tuyauterie. (T. Friedrich).



7. LE SEMIS DIRECT

Cette section donne des informations sur le semis direct avec des outils utilisant diverses sources d'énergie :

- Semoir et houe
- Semis direct manuel
- Semoir attelé aux animaux ou à un tracteur à un seul essieu
- Le semis direct avec les tracteurs
- D'autres informations sur le semis direct

7.1 - Semoir et houe manuelle

Le semis direct est pratiqué dans plus endroits de la zone tropicale, bien que la terminologie ne soit pas autant utilisée.

Planche37. Un agriculteur des hautes terres du Sud Honduras utilisant un plantoir pour semer le maïs. (A.J. Bot).



Planche 38. Haricot semé sur les résidus de la précédente culture au Costa Rico (A.J. Bot)



La houe est l'outil le plus utilisé pour le semis dans beaucoup de zones en Afrique. Avec une lame plus fine et étroite, la houe manuelle utilisée pour le semis est généralement différente de celle qui sert pour le labour et le sarclage. En fait, on parle de semis/plantation direct lorsqu'il n'y a aucun travail préalable du sol avant le semis. En Amérique latine, une canne planteuse (huizute à Salvador, Coa au Mexique, espeque à Honduras, etc.) est généralement utilisée pour semer le maïs, le sorgho et les haricot peuvent être semer à la volée sur le couvert sans aucune préparation du sol. Lorsqu'on les semences traversent le couvert, elles peuvent germer sans difficulté sur le sol humide en dessous du mulch.

7.2 - Semoir pour semis manuel direct ou planteuse Jab

La canne planteuse jab (matracas en Portuguais) a été mise au point pour faciliter et accélérer les opérations de semis. C'est un outil manuel qui permet aux agriculteurs de réaliser le semis dans une position debout, à une vitesse plus rapide qu'avec les autres outils manuels (en moyenne 2 jours par hectare). Elle est constituée de deux longs leviers reliés par une charnière pour former un V avec un bout pointu. En fermant les leviers, le bout s'ouvre pour placer la semence et l'engrais dans le sol. La recharge de la trémie se fait simultanément grâce au mécanisme métrique. La canne est poussée dans le sol à chaque étape, permettant ainsi un espacement régulier.

Les inconvénients du semoir jab :

- Les leviers en bois sont quelquefois faibles et peuvent se casser facilement lorsque utilisé par des personnes énergiques

- Le bout du plantoir est parfois bouché par la terre, notamment lorsque l'outil est utilisé par des novices sur des sols argileux très humides

Il existe deux modèles de plantoir Jab: un avec un bout large et l'autre avec un bout étroit. Le premier est utilisé sur les sols bien préparés, par exemple le semis se fait sur des billons. Le deuxième modèle avec le bout étroit est conçu pour le semis direct, il est plus recommandé pour l'AC

Planche 39. Un groupe d'agriculteurs apprenant à utiliser la canne planteuse jab pour semer sur le mulch. (J. Ashburner).



Une des améliorations du plantoir est le montage d'une seconde trémie pour l'engrais, sur le côté opposé de la trémie de semences. Cette adaptation permet aux producteurs d'épandre l'engrais sur la parcelle tout en réalisant le semis. La séparation des distributeurs permet d'éviter que la semence et l'engrais ne soient déposés.

Planche 40. La distance entre les semences et les fertilisants déposés dans le sol par la canne planteuse jab est d'environ 2 cm de large, avec une profondeur d'1-2 cm. (A.J. Bot).



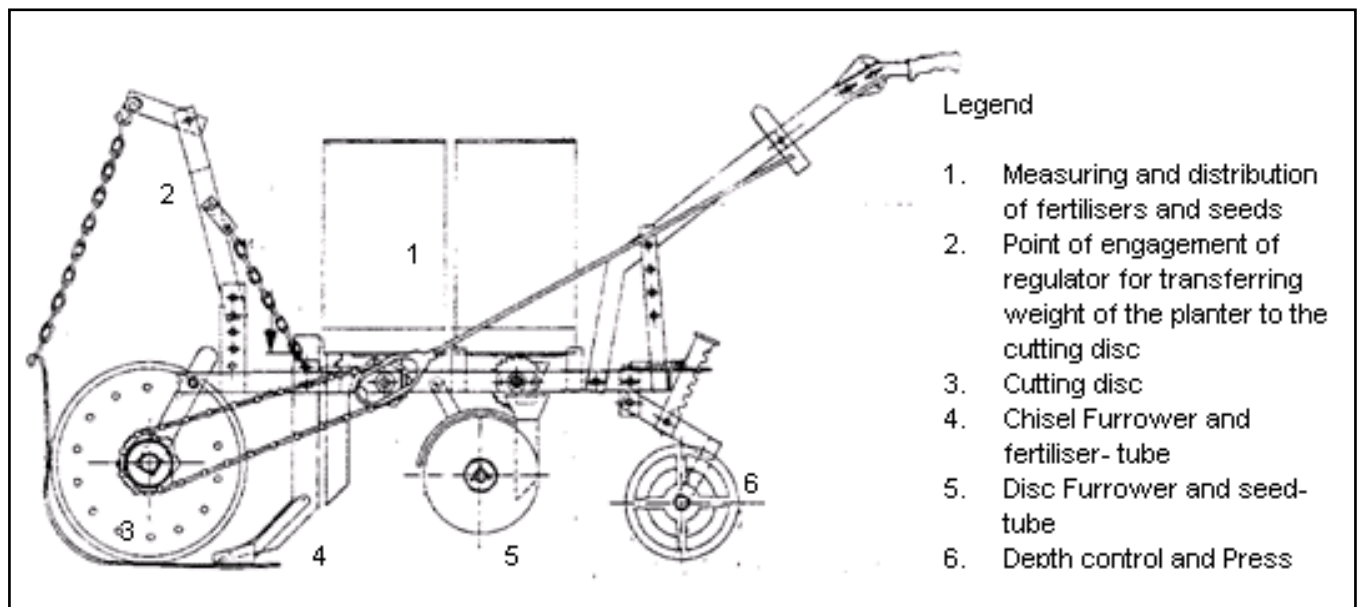
7.3 - Semoirs attelés aux animaux ou aux tracteurs à un essieu

Les équipements de semis direct pour la traction animale ou les tracteurs à un essieu ont été mis au point pour gérer les résidus sur la surface du sol et, e, même temps, placer les semences et les fertilisants dans le sol. Ainsi, les semoirs de semis directs sont constitués des éléments suivants :

- Un disque pour casser le sol et ouvrir une fente

- Un rayonneur (parfois un chisel) pour déposer les fertilisants
- Une rayonneur (un chisel ou un double disque) pour placer les semences
- Des roues pour contrôler la profondeur de semis et éventuellement couvrir la ligne de semis
- Roue compacteuse pour refermer la fente de semis et assurer un bon contact entre le sol et la semence

Figure 2. Dessin de base d'un semoir de semis direct - prototype IAPAR Gralha Azul (adapté de Ribeiro et al.)



L'efficacité d'un disque utilise pour faucher les résidus de cultures (de couverture) dépend de plusieurs facteurs

- Les caractéristiques du sol : texture, résistance à la pénétration, humidité et porosité
- Caractéristiques des résidus et des tiges : résistance à la fauche, humidité, quantité et mode de gestion
- Le semoir : poids et dynamique
- Le disque : taille, forme et profil

Planche 41. Disque coupant (T. Friedrich).



Pour avoir de bons résultats, il est recommandé de :

- Travailler pendant les heures de la journée où la température est la plus élevée (après 10h du matin)
- Conduire l'opération lorsque les tiges sont soit encore vertes ou complètement sèches, jamais quand elles se sont seulement fanées
- Travailler quand le sol est friable
- En cas d'utilisation de la traction animale, ne jamais essayer de semer si la quantité de résidus sur le sol est supérieure à 5 tonnes / hectare.

Une mauvaise coupe peut entraîner une accumulation des résidus sur les différentes parties du semoir, causant des problèmes de dépôt de semences et d'engrais : espacement irrégulier ou absence totale de semences (Ribeira et al., 1999).

Planche 42. Les résidus s'accumulent s'ils sont encore très humides ou quand l'équipement est mal monté. (S. Vaneph).



Le sol doit être assez ferme pour que les résidus soient coupés et traversés, sinon ils seront poussés dans le sol donnant un aspect sale à la surface, par ailleurs il y aura un mauvais contact entre le sol et la semence. L'obstruction du matériel peut également entraîner un tranchage incomplet de résidus sur des sols mous (Casão et Yamaoka, 1990). Les disques coupants ont des bords soit lisses pour faciliter la pénétration dans le sol ou ; des bords ondulés ou cannelés si on souhaite un plus grand travail du sol, par exemple quand une infestation de *Fusarium* est attendue et que l'on veut avoir un sol plus sec, ou faciliter la rotation du disque et éviter les bourrages.

Les rayonneurs pour semences et engrais, pour la traction animale ou les semoirs attelés au mini -tracteurs sont généralement des chisels à dents ou une houe, des doubles disques ou des poinçonneuses rotatives. Très souvent, le rayonneur est placé juste derrière ou sur le bout des tubes qui déposent la semence et l'engrais.

La performance du rayonneur dépend de ses caractéristiques géométriques; la vitesse d'avancement ; la texture et la densité du sol ; la quantité des résidus et ; le charge verticale du semoir qu'elle doit supporter. Le rayonneur peut prendre la forme de :

- Une dent / chisel : généralement utilisé sur des sols qui ont une grande résistance à la pénétration, mais cause beaucoup de problèmes avec l'obstruction de l'outil par les résidus, ne peut pas être utilisé sur des sols où il y a beaucoup de cailloux ou des souches d'arbres. Les chisels sont préférés pour les outils attelés aux animaux car grâce à une bonne possibilité de pénétration, ils exigent moins de puissance.
- Les doubles disques (avec ou non le même diamètre) et un offset monté à un angle de manière à former un V. l'effet additionnel est que les résidus qui n'ont pas été bien coupés par le disque principal sont bien sectionnés permettant ainsi de limiter l'obstruction du matériel. L'outil ne pénètre pas très bien le sol, les sols argileux en particulier (Ribeira et al., 1999). Les disques de diamètres différents et des équipements offsets à un essieu ont de bonne capacité de pénétration et d'auto-nettoyage que ceux de même diamètre.

Les types de sillons les plus généralement formés par les semoirs de semis direct aux animaux (Baker et al., 1996) sont :

- 1- les sillons en forme de V
- 2- les sillons en forme de U

Dans l'agriculture de conservation, les sillons en V sont presque toujours créés par des disques jumelés qui se touchent au niveau du bout avant, et sont ouverts à l'arrière. L'angle du V est généralement d'environ 10°. Chacun des disques pousse à peu près la même quantité de terre quand les deux disques sont montés avec un même angle à la verticale. Le plus grand avantage des disques jumelés verticaux c'est leur aptitude à gérer les résidus sur la surface du sol sans s'obstruer. Le montage est relativement simple, les dépenses pour la maintenance et l'entretien quasi nulles.

Planche 43. Semoir avec deux coutres, et des pneus avec jantes en fonte (T. Friedrich).



Quand le tranchant avant des deux disques laisse une fente au niveau du sol, ceci peut être une porte d'entrée des résidus dans le sol. Pour éviter cela, on peut :

- Placer le troisième disque devant, ou entre les deux autres, pour couper les résidus ou ;
- Fixer l'un des deux disques devant l'autre de manière à ce que à avoir un seul tranchant ou ;
- Remplacer l'un des deux disques par un disque plus petit ; le disque plus grand joue maintenant le rôle du tranchant principal pour couper les résidus.

Les inconvénients des sillons en V :

- Ne conviennent pas dans les conditions de sol sub-optimales
- Exigent une force élevée de pénétration
- Tendance à enfouir les résidus dans les lits de semence (hérissément)
- Tendance à concentrer les semences et les fertilisants, quand ils sont déposés ensemble, à la base du lit de semence

Les sillons qui se distinguent de ceux en forme de V par des bords plus larges sont appelés sillons en U. Dans les cas de semoirs tractés par les animaux ou par un mini-tracteur les sillons en U sont d'habitude formés par les types de billonneurs suivants :

- Des cultivateurs motorisés
- La houe ou chisel

Tous ces types d'équipements ameublissent la surface du sol près du sillon, cette terre peut être utilisée pour recouvrir le poquet. Les ouvre-sillons de type houe ou

chisel éclatent le sol dans un sens ascendant ; les engins combinés pour le semis et le travail du sol hachent le sol avec un jeu de disques rotatifs ; les corps rayonneurs dégagent le sol dans la zone du sillon.

Planche 44. Les composantes d'une billonneuse (T. Friedrich).



Le corps rayonneur désigne à tout type de dent ou de chisel, conçu pour pénétrer verticalement le sol. La semence est distribuée soit au travers de la dent creuse même, ou au travers d'une goulotte fixée tout près de la dent, et très souvent ouverte à l'arrière. Le principal désavantage des houes est qu'elles ne parviennent pas à gérer des quantités même modestes de résidus sans se bloquer, à moins qu'un disque d'entraînement ne soit placé devant la houe pour couper les résidus.

Planche 45. Un semoir avec ouvre-sillon pour engrais et semences, placé derrière le disque coupant (T. Friedrich).



Les corps rayonneurs présentent plusieurs avantages:

- Coûtent moins chers
- Meilleure pénétration du sol que les disques, donc peuvent s'utiliser avec des engins légers, apparaissent comme la meilleure option pour la traction animale
- Ne font pas rentrer les résidus dans les sillons, mais les poussent sur le côté

- Créent un bon lit de semences

Leurs inconvénients:

- S'utilisent avec difficultés sur les sols caillouteux, ou avec obstacles
- Exigent un bon disque coupant pour les résidus
- En fonction de la forme et de la largeur, créent beaucoup de mouvement sur le sol

La poinçonneuse rotative à injection est un autre type d'ouvre sillon. Elle gère assez bien les résidus, mais à tendance à se bourrer sur des sols collants

Planche 46. Un semoir à deux rangs avec poinçonneuse rotative. (T. Friedrich).



Place 47. Un semoir monograine avec poinçonneuse rotative. (T. Friedrich).



Pour les plantes annuelles, il est recommandé de déposer l'engrais à environ 5 cm sur le côté et en dessous de la semence. Pour un semoir de semis direct, ceci signifie que le dispositif d'ouverture de l'engrais est placé hors de la ligne de semis. Dans le cas des semoirs attelés, l'engrais est placé toujours sous la semence, mais sur la même ligne.

Planche 48. Détail de l'intérieur d'une trémie de semoir de semis direct, montrant le disque et l'éjecteur de semence (V.H. de Freitas.)



Les caractéristiques du plateau à l'intérieur de la trémie déterminent la densité de semis. Ces plateaux tournent grâce à la transmission d'un des pneus soit avec une chaîne ou un embrayage. La distance entre le sol et la goulotte détermine la précision de semis : si la distance est grande, il y a de fortes chances que la semence ne soit pas enterrée avec l'écartement souhaité.

Planche 49. Les dispositifs de mesure de la semence et de l'engrais sont activés par le mouvement des pneus. Il y a une transmission par la chaîne et le pignon (A.J. Bot).



Dans le cas des semoirs attelés, les disques peuvent être fabriqués sur mesure par commande auprès du constructeur du semoir. Pour réduire les pertes de semences, le diamètre du plateau doit être assez grand pour avoir une grande vitesse de révolution. Les semoirs de traction animale avec des petits disques doivent être utilisés avec des boufs et non des chevaux, étant donné que les chevaux ont une vitesse d'avancement plus élevée. La majorité des semoirs attelés modernes utilisent maintenant des disques standard conçus normalement pour les semoirs tractés, et qui peuvent supporter la vitesse de n'importe quel animal de trait.

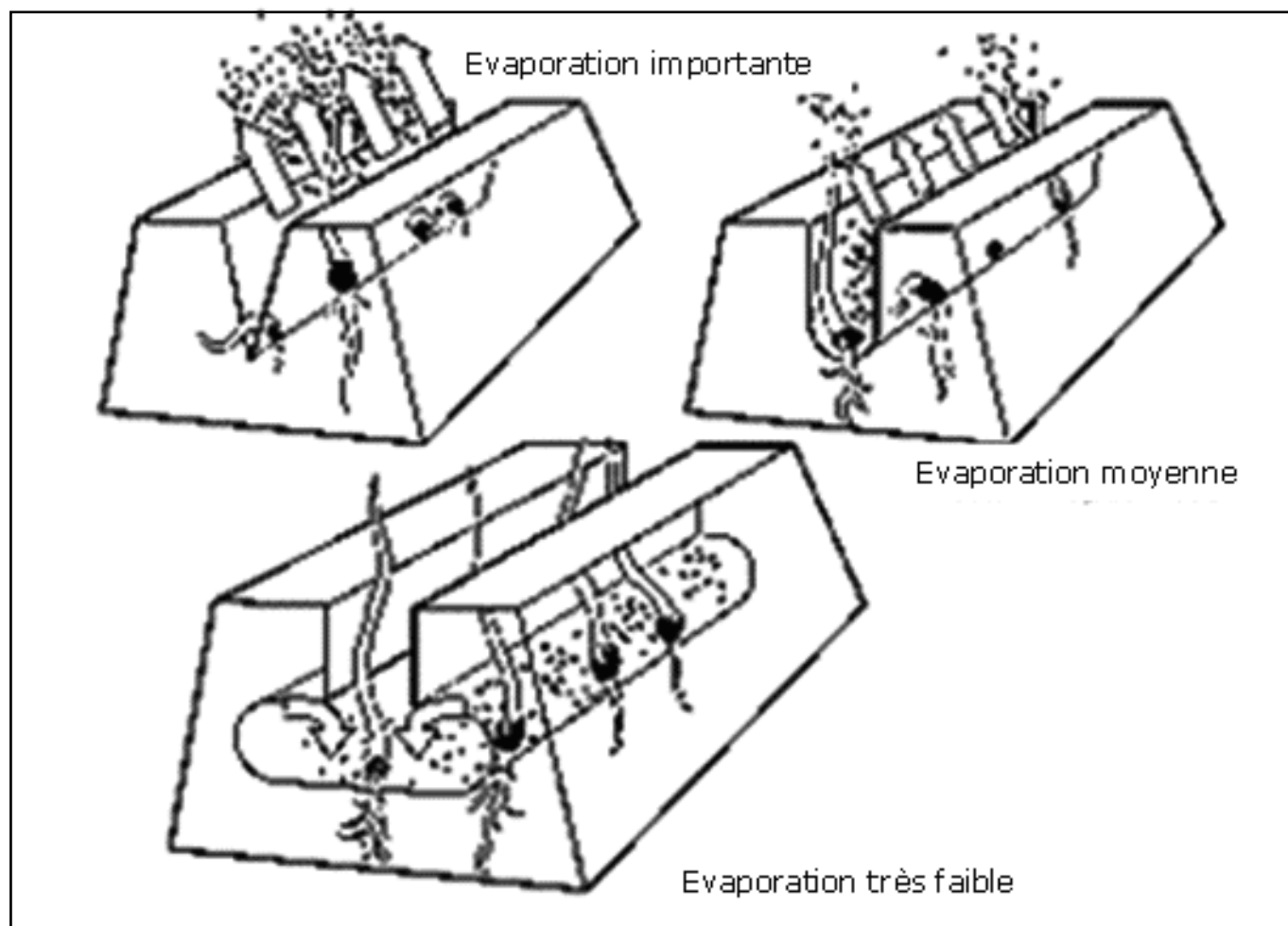
Planche 50. Plateau d'un semoir motorisé standard utilisé dans un semoir attelé simple (T. Friedrich)



Pendant longtemps, les scientifiques ont pensé que la terre ameublie était la meilleure couverture pour les semences. Cette pensée a émergé dans les zones où le

lit de semences était labouré. Mais, dans des conditions arides particulièrement, on peut observer que les semences couvertes par le mulch germent mieux que celles couvertes par la terre. Dans un sol labouré, le macropore situé aux alentours de la semence est entièrement détruit, l'équilibre de l'humidité du sol et la capillarité sont perturbés. Sur les sols non travaillés, l'équilibre de l'humidité du sol reste intact permettant un échange optimal d'humidité entre les particules du sol et les pores. Ceci permet la remontée capillaire de l'eau à la surface, atténuant ainsi les pertes par évapotranspiration du paillis. Dans l'AC, les pertes de l'humidité du sol se passent dans les sillons de semis, le taux de perte dépend de la forme du sillon (figure 3). De plus amples informations sur la conservation de l'humidité selon les types de sillon peuvent être trouvées dans le document de Baker et al (1999)

Figure 3. Perte d'humidité en fonction de la forme des sillons et la position de la semence dans le sol (d'après Carter, 1994)



Les sillons en forme de T retourné piègent la vapeur d'eau dans le sillon, favorisant ainsi la germination de la semence. Dans les sillons en V et U, tasser la semence avant de la recouvrir améliore leurs performances, notamment dans les sols secs.

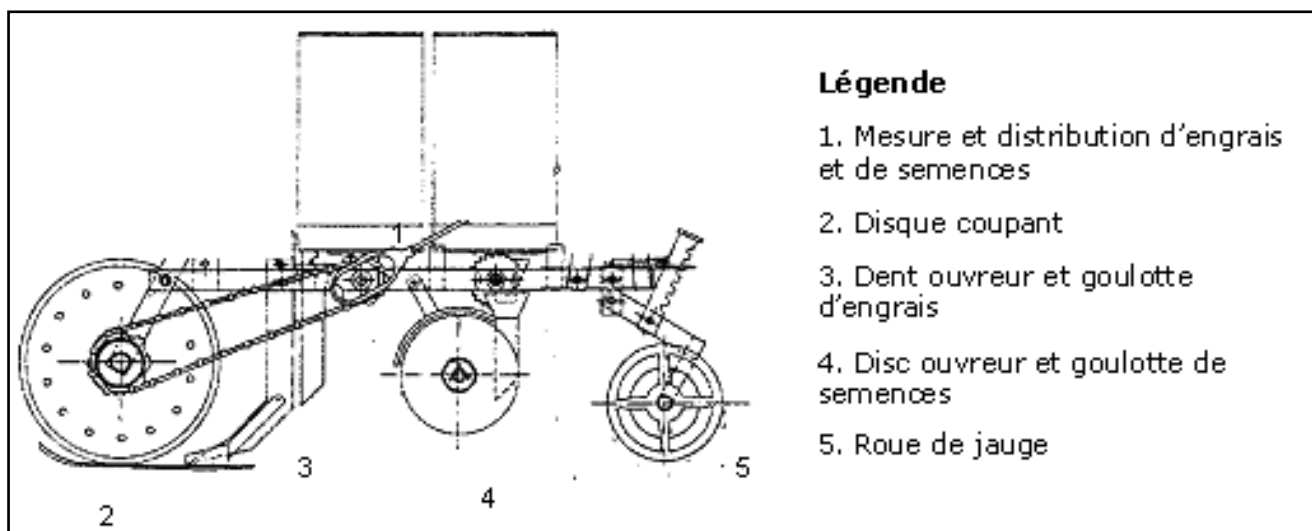
Les pneus et l'arrière de l'équipement servent à appuyer le sol humide ou les résidus de culture sur le sillon afin que le dépôt de la semence se fasse de manière à renforcer le contact avec le sol, au fur et à mesure que l'outil avance sur le sillon.

Les résidus sont une ressource importante pour faciliter le développement de la plantule sur des sols secs. Il est possible d'avoir un bon développement des plantules sur les sols secs avec le semis direct que par le labour, à condition d'utiliser une technique et des outils appropriés.

Les prototypes des semoirs attelés aux animaux étaient conçus pour semer une seule ligne à la fois. Aujourd'hui, il existe des semoirs multi-rang. Certains de ces semoirs ont même un siège aménagé pour l'opérateur.

7.4 - Équipements de semis direct pour tracteurs

Figure 4. Dessin de base d'un semoir de semis direct - prototype IAPAR Gralha Azul (adapté de Ribeiro et al.)



Les planteuses ou les semoirs de semis direct possèdent quelques unes, sinon l'ensemble des pièces suivantes :

- Trémie pour la semence, et si possible pour l'engrais, avec des mécanismes de distribution et des goulottes différents
- Disque de nettoyage, pour enlever l'excédent de mulch sur les lignes de semis
- Disque coupant pour trancher à travers les résidus

Planche 51. Un semoir à deux rangs attelé aux animaux (T. Friedrich).



- Disque (ou dent) ouvreur pour l'engrais
- Un disc ouvreur pour les semences
- Disque (roue) de fermeture
- Roue plumbeuse

Disque nettoyeur

Dans certaines conditions, les semoirs de semis directs disposent d'un disque nettoyeur monté juste devant ou combine au disque coupant. Le disque nettoyeur facilite

l'opération de semis dans les conditions suivantes :

- Mulch épais ou difficile à gérer
- Semences fragiles
- Dans les climats tempérés / froids pour préparer le sol

Planche 52. Disque nettoyeur associé au disque coupant (T. Friedrich).



Le disque coupant

Un disque coupant est généralement nécessaire pour faire une ouverture nette des résidus et éviter l'accumulation des résidus autour de certaines pièces du semoir ou, pour éviter de presser les résidus dans la ligne de semis. Il est particulièrement utile lorsque la quantité de résidus sur le sol est importante et, lorsqu'on utilise un disque (dent) ouvreur. L'efficacité du disque coupant dépend de plusieurs facteurs : les commentaires faits dans ce chapitre sur les performances du disque coupant avec les semoirs en traction animale sont les mêmes pour cette sous partie sur les tracteur, il faut s'y référer.

Le disque ouvreur

Un sillon peut être ouvert par une dent ou une houe, un disque placé à un angle du sillon, des disques jumelés ou par une poinçonneuse. Généralement, le corps rayonneur est placé juste devant ou au bout de la goulotte des semences et de l'engrais.

La performance du disque ouvreur dépend de ses caractéristiques géométriques, la vitesse d'avancement, la texture et la densité du sol, la quantité de résidus et la pression exercée sur le sol par le semoir. Un disque le disque ouvreur peut être :

- Une dent ou une houe : généralement utilisée sur les sols qui ont forte résistance à la pénétration, mais ceci aboutit souvent à des problèmes avec l'obstruction des équipements par les résidus. Cet outil est donc difficile à utiliser sur des sols caillouteux, ou avec beaucoup de racines ou des souches d'arbres. Les ouvre-sillons, utilisé seul ou en combinaison avec les disques, sont généralement préférés pour les semoirs légers de semis direct attelés aux tracteur de faible puissance, leur bonne capacité de pénétration n'exigeant pas d'engins plus puissants.
- Pulvérisateurs simples
- Des disques jumelés, soit de même diamètre ou de diamètres différents sont placés de manière à former un angle en V. l'effet additionnel obtenu c'est que les résidus non complètement tranchés par le disque coupant sont sectionnés par ces disques, réduisant ainsi l'obstruction du matériel. Le matériel a une faible capacité de pénétration du sol, surtout les sols argileux (Ribeira et al., 1999). Les disques de diamètres différents et des offsets à un essieu ont de bonne capacité de pénétration et d'auto-nettoyage que ceux de même diamètre.
- Il existe d'autres types d'ouvre-sillons tel que le T retourné et les sillons croisés

Les points de vue sont diversifiés sur les fonctions du corps rayonneur des semoirs/planteuses de semis direct. D'aucuns pensent que l'ouvre-sillon tout en déposant la semence, réalise une préparation du lit de semence dans le sillon. Pour cette raison, certains agriculteurs utilisent souvent des ouvre-sillon en forme de houe, créant un grand mouvement sur le sol. Cette pratique entraîne des besoins en engins puissants pour la traction, une perte de l'humidité du sol et, la germination des semences des mauvaises peut être facilitée. Avec l'AC, il est préférable d'utiliser les corps rayonneurs qui sont conçus pour créer le moins de perturbation possible sur le sol, le résultat est le même que ces corps soient des dents ou des disques.

Planche 53. Semis sans travail du sol avec une houe de type ouvre-sillon qui fait beaucoup de mouvements dans le sol (T. Friedrich).



Les sillons peuvent avoir 4 formes (Baker et al., 1996) :

- 1- sillon en V
- 2- sillon en U
- 3- Sillon en T inversé
- 4- sillons croisés

Planche 54. Semis direct avec un rayonneur à disques jumelés, très faible perturbation de la structure du sol (à droite, une parcelle semer avec un semoir à houe) (R. Dambros).



Les sillons en V sont presque toujours créés par des disques jumelés qui se touchent au niveau du bout avant, et sont ouverts à l'arrière. L'angle du V est généralement d'environ 10°. Chacun des disques pousse à peu près la même quantité de terre quand les deux disques sont montés avec un même angle à la verticale. Le plus grand avantage des doubles disques c'est leur aptitude à gérer les résidus sur la surface du sol, les cailloux et d'autres obstacles mineurs sans s'obstruer. Le montage est relativement simple, les dépenses pour la maintenance et l'entretien quasi nulles.

Planche 55. Rayonneur avec double disques, ici avec un offset de disques pour améliorer la pénétration (T. Friedrich).



Quand les marges avant des deux disques laissent une ouverture sur le sol, ceci peut favoriser l'enfouissement des résidus ou de la terre. Ceci peut être évité en :

- plaçant un troisième disque à l'avant, ou entre les deux disques jumelés, pour couper les résidus ; ou
- montant l'un des deux disques jumelés à l'avant de l'autre pour présenter un seul tranchant (disques offset) ; ou
- remplaçant l'un des deux disques par un autre disque plus petit, le disque plus grand devient le tranchant principal pour couper les résidus.

Planche 56. Corps rayonneur avec double disques et un jeu de disques de diamètres différents. (T. Friedrich).



Inconvénients des sillons en forme de V:

- Exige une grande force de pénétration
- Ne supportent pas les conditions sub-optimales

- Tendance à boucher les sillons avec les résidus
- Tendance à concentrer les semences et l'engrais à la base du sillon en cas d'utilisation du même sillon

Les sillons en forme de U ont une base plus large que les sillons en V. Ils sont créés par divers types de corps rayonneurs :

- Disque ouvreur
- Houe
- Pulvérisateur

Tous ces modèles ameublissent le sol à côté du sillon, cette terre peut être utilisée pour refermer le sillon. Les disques ouvrent les sillons à angle raclent le sol à partir du centre du sillon, la houe et les autres types de corps rayonneur éclatent le sol vers le haut.

Planche 57. Détail d'un disque ouvre sillon (T. Friedrich).



Encadré 5. les coutres à un disque

Caractéristiques :

- Produit des sillons en forme de U
- Simple et robuste
- Compact (est souvent utilisé pour tracer les lits de semence)
- Gère bien les résidus

Inconvénients:

- Exige une force de pénétration élevée
- Forte perturbation du sol (en fonction de l'angle)

La houe regroupe tous types de dents ou chisels, conçus pour une pénétration verticale du sol. La semence est délivrée soit au travers de la dent creuse même, ou au travers d'une goulotte fixée tout près de la dent, et très souvent ouverte à l'arrière. Le grand désavantage des houes est qu'elles ne parviennent pas à gérer des quantités même modestes de résidus sans se bloquer, à moins qu'un disque d'entraînement ne soit placé devant la houe pour couper les résidus.

Planche 58. Houe large pour ouvrir les sillons (T. Friedrich).



Avantages des houes

- Coûtent moins chers
- Pénètrent facilement le sol, pas besoin d'engins lourds
- Ne provoquent pas l'enfouissement des résidus, mais les poussent de côté
- Créent des bons lits de semences

Inconvénients:

- Fonctionnent mal lorsqu'il y a des obstacles sur le sol (cailloux, etc.)
- Exigent un bon disque coupant pour trancher les résidus
- Forte perturbation du sol selon la forme et la largeur.

Planche 59. Un chisel de type corps rayonneur pour une faible perturbation du sol (T. Friedrich).



Le type de sillon en T inversé a été développé en retournant le bout large, la base étroite de la forme en V. L'objectif principal visé était l'aptitude du matériel à refermer le sillon avec les résidus présents sur la surface du sol pour favoriser la conservation de l'humidité. Le deuxième objectif était de trouver un design qui permette une bonne délivrance de l'engrais en même temps que le semis. L'équipement est constitué d'une barre verticale courbée vers l'extérieur au niveau de sa base pour former deux ailes qui sont inclinées vers l'avant sur un angle de 5 - 10°. Un disque placé à l'avant sert à couper les résidus. Entre autres avantages, on peut citer :

- Absence de compaction du sol
- Auto-fermeture des sillons
- Garde la profondeur de semis constante en suivant la superficie du sol
- Capable de semer très superficiellement grâce à la faible inclinaison des ailes

Planche 60. Ouvre sillon en forme de T retourné (T. Friedrich).



Inconvénients :

- Ne tiennent pas longtemps sur les sols sableux
- Les sillons ouverts sur les sols ameublés ne sont pas de bonne qualité
- Gestion difficile des résidus (exige un disque coupant)

Le corps rayonneur pour sillons croisés est une forme avancée de l'ouvre sillon en forme de T inverse. Il produit de très bonnes conditions de germination pour la semence (encadré 6). Il est constitué d'un disque coupant vertical, avec deux petites ailes rattachées sur les deux côtés. Les ailes créent des fentes horizontales, la semence est placée dans l'une des fentes, et l'engrais dans l'autre. Ces fentes horizontales sont séparées par le sillon vertical créé par le disque coupant.

Planche 61. Détail d'un corps rayonneur pour sillons croisés (T. Friedrich).



Encadré 6 : Caractéristiques des sillons croisés

Avantages :

- Bonnes conditions pour la germination de la semence
- Bonne séparation des semences et de l'engrais
- Faible exigence en force de traction
- Bonne gestion des résidus

Inconvénients:

- Ne tiennent pas longtemps sur les sols sableux
- Coûts élevés

La poinçonneuse rotative à injection est une autre forme d'ouvre sillon. La semence est placée entre les doigts de deux roues étoilées qui sont montées avec un angle comparable à celui du disque jumelé, puis poussée et déposée dans le sol. Ce matériel gère assez bien les résidus, mais à tendance à s'obstruer quand il est utilisé sur des sols argileux (collants).

Planche 62. Un semoir à poinçonneuse rotative (semoir à roue étoilée). (T. Friedrich).



Pour les plantes annuelles, il est recommandé que l'engrais soit placé à 5 cm à côté et en dessous de la semence. Dans le cas de semoir de semis direct, ceci suppose que l'ouvre sillon pour l'engrais est un offset sur un côté de la ligne de travail du semoir. Toutefois, pour la majorité des semoirs l'engrais est placé sous la semence mais sur la même ligne.

Planche 63. Détail semoir à poinçonneuse rotative. (T. Friedrich).



Les avantages des différentes formes de sillons et leurs effets sur la qualité de la germination ont été discutés dans la partie sur la traction animale, le lecteur doit s'y référer. La principale référence sur ce thème est le travail de Baker et al., 1996.

Semoirs et planteuses

Les différentes plantes et semences exigent diverses techniques de semis ou de plantations. Les deux techniques les plus courantes sont :

1- le semis en lignes : la semence est enterrée suivant une bande continue dans la ligne de semis. Cette mé-

thode est souvent utilisée pour les plantes à petites graines comme les céréales. La quantité de semences est mesurée par des rouleaux d'alimentation de différents modèles, qui sont positionnés soit de manière à avoir un rouleau par ligne de semis et alimentation gravitaire, ou alimentation centrale avec une distribution pneumatique de la semence sur les lignes. Les engins utilisés pour ce type de semis sont généralement appelés semoirs en ligne ou semoir.

2- semis de précision: une seule ou un nombre prédéterminé de semences sont enterrées sur la ligne avec un espacement prédéterminé. Cette méthode est généralement utilisée pour les cultures semées en lignes tel que le maïs, le haricot, le coton, le tournesol etc. le nombre de semences par poquet et la distance entre poquets sont déterminés par le plateau qui a des crans ou des alvéoles pour mesurer la quantité de semence. La mesure peut être mécanique ou pneumatique, dans ce dernier cas l'air est soit aspiré ou pressurisé pour choisir le nombre de semence par poquet.

Planche 64. Semoir en lignes de semis direct mécanique (T. Friedrich).



Planche 65. Semoir pneumatique de semis direct avec deux dispositifs centraux de mesure et de distribution (T. Friedrich)



Planche 66. Un petit semoir en ligne de précision (T. Friedrich°.



Il existe des semoirs modernes de semis direct qui combinent les deux fonctions sur une même machine, le semoir en ligne et la planteuse de précision. Le producteur doit juste équiper le semoir en lignes / planteuse avec le nombre nécessaire de corps rayonneur et les connecter au dispositif de mesure approprié.

Planche 67. Semoirs en ligne de précision : en haut les rouleaux d'alimentation du dispositif de mesure pour entraîner les semences, en bas les boîtes pour les plateaux de semences servant au semis de précision (T. Friedrich).



Adaptation des vieux semoirs / planteuses en semoirs / planteuses de semis de direct

Les semoirs et les planteuses de semis direct sont généralement plus chers que les équipements conventionnels. Le coût d'acquisition de ces semoirs de semis directs pourrait donc constituer une contrainte dans une démarche une évolution vers l'AC. Dans beaucoup de cas, les anciens semoirs en ligne conventionnels peuvent être transformés à moindre coût en semoirs de semis directs, cette modification peut être faite par l'agriculteur lui-même ou par un machiniste. Pour la conversion, le système de mesure reste le même. Il peut parfois s'avérer

nécessaire de renforcer le châssis ; les parties qui font le travail au niveau du sol, le corps rayonneur notamment, sont remplacées par de nouvelles pièces adaptées pour le labour zéro.

Planche 68. Modification d'un semoir de précision conventionnel: ajout d'un disque coupant à l'avant et remplacement du corps rayonneur pour l'engrais et les semences. (T. Friedrich)



Planche 69. Modification pour d'autres usages d'un semoir en lignes conventionnel : augmentation du nombre de disques coupants et d'ouvre-sillons, modification du châssis (T. Friedrich)



Planche 70. Le même semoir en lignes après achèvement des modifications. L'agriculteur a utilisé sa trousse pour apporter toutes les modifications. (T. Friedrich).



7.5- D'autres informations sur les semoirs de semis direct

Plusieurs fabricants de matériels de semis direct ont déjà mis en ligne des informations sur leurs produits. Les services du Département Agriculture de la FAO font des efforts pour actualiser régulièrement leur base de données en ligne sur les techniques d'agriculture de conservation. Cette base de donnée est accessible à l'adresse : <http://www.fao.org/ag/catd/index.jsp>

RÉFÉRENCES

- Almeida, F.S. 1988. A alelopatia e as plantas. IAPAR Circular 53. Londrina.
- Araújo, A.G., R. Casão Jr., and P.R. A. Araújo. 1993. Recomendações para dimensionamento e construção do rolo-faca. In: Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade. Anais. IAPAR. Ponta Grossa. p. 271-280.
- Araújo, A.G., R.S. Yamaoka and D.A. Benassi. 1999. Máquinas para pulverização em solos de baixa aptidão agrícola. In: Uso e manejo do solos de baixa aptidão agrícola. O. Muzilli and C. Castro Filho (Eds.) IAPAR Circular Técnica 108. p. 154-167
- Baker, C.J., K.E. Saxton and W.R. Ritchie. 1996. No-tillage seeding. Science and practice. CAB International, University Press Cambridge. 258pp
- Bertol, O. and O. Wagner. 1987. A knife roller or chopping roller. In: ILEIA Newsletter. Vol. 3:1. p.10-11.
- Carter, M.R. 1994. Conservation tillage in temperate agroecosystems. Lewis. Boca Raton. 390pp.
- Casão Jr., R. and R.S.Yamaoka. 1990. Desenvolvimento de semeadora-adubadora direta a tração animal. In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Piracicaba. Anais. p. 766-777.
- Derpsch, R. and A. Calegari. 1992. Plantas para adubação verde de inverno. IAPAR Circular 73. 80 pp.
- Derpsch, R. 2003. No-tillage, Sustainable Agriculture in the New Millennium; internet homepage <http://www.rolf-derpsch.com/>

Friedrich, T. 2000. Conceptos y objetivos de la labranza en una agricultura conservacionista. In: Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. FAO. Soil and Water Bulletin 8. Rome. p. 29-37.

Godwin, R.J. 1990. Agricultural engineering in development: tillage for crop production in areas of low rainfall. FAO. Agricultural Services Bulletin 83. Rome. 124 pp.

Krause R., F. Lorenz and W.B. Hoogmoed. 1984. Soil tillage in the tropics and subtropics. GTZ. Eschborn. 320pp.

Moeller, O. 1997. Farmers' Tools. Farnesa, FAO. Zimbabwe. 115 pp.

Monegat, C. 1991. Plantas de cobertura do solo. Características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó. 337pp.

Ribeira, M.F.S., A.G. Araújo, R. Casão Jr. and D.A. Benassi. 1999. Máquinas para semeadura direta em solos de baixa aptidão agrícola. In: Uso e manejo do solos de baixa aptidão agrícola. Muzilli and Castro Filho (Eds.) IAPAR Circular Técnica 108. p. 139-152.

Vieira, M.J. 1996. Uso del arado de cincel para la producción agrícola y la conservación de suelos y agua. MAG-FAO, San José, Costa Rica. 41 pp.

FAO / Département de l'agriculture et de la protection des consommateurs

1- INTRODUCTION

Les systèmes de production qui intègrent avec réussite l'élevage aux activités agricoles tirent plusieurs avantages de cette intégration, avec un impact direct sur l'ensemble de l'exploitation. Les ruminants sont particulièrement préférés en raison de leur aptitude à valoriser les fourrages et les résidus de cultures riches avec de forte en cellulose, en fibres et aliments. Ils apportent aux producteurs : diversification des revenus ; recyclage des nutriments ; amélioration des rotations culturales ; l'énergie et le transport et ; constituent une épargne sur pied mobilisable à tout moment. Toutefois, malgré cette possibilité de synergies entre les deux activités, si le système de production est géré de façon à trop privilégier une seule composante, les effets bénéfiques de la synergie sont perdus et des conséquences néfastes pour l'ensemble de l'exploitation peuvent suivre.



La non prise en compte de l'élevage comme une composante à part entière de l'exploitation crée un dysfonctionnement et un conflits d'usages, car les ressources doivent également servir pour la conduite de l'élevage. Par exemple, un bovin qui pèse 410 kg a besoin d'une ration estimée en matière sèche à environ 1,5 - 2% de son poids vif. Les besoins quotidiens sont de 8,2 kg, soit près de 3 tonnes par an. Ce calcul rapide donne une idée de la quantité de biomasse qu'il faut chaque année, mais ne renseigne pas sur les besoins spécifiques de l'animal en éléments nutritifs, encore moins sur les stratégies d'alimentation à adopter.

Il est difficile voire impossible que tous les nutriments dont les animaux ont besoin pour assurer les fonctions de production telles que le travail, la reproduction et la croissance soient trouvés (en quantité et qualité) uniquement dans les résidus de récoltes pro-

duits sur l'exploitation. Il faut donc penser à une complémentation tant au plan quantitatif que qualitatif. Car non seulement, les besoins augmentent à 2,5 - 3% du poids vif, mais aussi les besoins de production sont plus importants que ceux de la maintenance. Les animaux qui sont mal entretenus, ceux qui présentent un mauvais état corporel qui sont incapables d'assurer la moindre fonction de production sont de peu voire d'aucune utilité pour l'exploitation. Toutefois, il existe des situations où la compétition entre les résidus et les plantes de couverture nécessaires pour l'AC et ; les besoins pour l'élevage est difficile à éviter. La nature et les modalités de cette compétition pour les ressources entre l'élevage et l'agriculture dépendent du type de système de production. Le conflit peut être due à :

- Une consommation excessive des résidus par les animaux appartenant aux agriculteurs. Le bétail pourrait (ou pas) avoir accès aux espaces pastoraux communs. Si la tenure foncière est sécurisée et les animaux ne sont pas conduits sur des parcours communs, il peut être possible de résoudre ce conflit par des changements techniques au niveau des systèmes de production.
- Une pâture excessive des résidus par les animaux appartenant aux pasteurs (et quelques fois aux agriculteurs) Cette situation est plus complexe parce que les agriculteurs et les producteurs mixtes rencontrent des difficultés différentes des celles des pastoralistes.

2 - COMPÉTITION POUR LES RÉSIDUS DE CULTURE

La mise en oeuvre des pratiques d'agriculture de conservation nécessite une quantité minimale de biomasse (constituée de résidus de cultures et de la plante de couverture) pour maintenir et améliorer les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol ; et lutter contre la dégradation du sol. Dans plusieurs régions, l'agriculture et l'élevage sont en compétition pour les mêmes ressources, qui doivent être gérées de façon appropriée pour être compatibles avec l'AC. L'intégration agriculture - élevage présente de nombreux avantages :

Les systèmes de production agricole qui combinent l'agriculture et l'élevage profitent des effets de la synergie de ces deux activités tant sur le plan de la production agricole que l'environnement agro-écologique. Sánchez (1995) a examiné les cas d'intégration élevage (les ruminants principalement)- cultures pérennes. Entre autres avantages qui apparaissent, on note : diversification des sources de revenus au travers des produits de l'élevage

(lait, viande, fumure et peaux), le contrôle de l'enherbement, l'augmentation des rendements des cultures. La compétition pour la biomasse (des résidus de culture et des plantes de couverture) entre l'élevage et le recyclage in situ est une menace sérieuse et très répandue pour la réussite des opérations d'agriculture de conservation.

Planche 2. Traditionnellement, les résidus de culture sont emportés, et sont utilisés à plusieurs fins dans le ménage. FAO



Il est nécessaire d'appréhender les motivations profondes de telles pratiques, d'autant qu'elles comportent d'importants enjeux socio-économiques et culturels. Des exemples d'intégration réussie de l'élevage aux activités agricoles existent et peuvent servir de base pour des efforts accrus dans la recherche de solution à ce problème.

3- STRATÉGIES COMPLÉMENTAIRES D'ALIMENTATION

Dans les zones où l'intégration agriculture - élevage est traditionnelle, l'utilisation des résidus de cultures peut être une contrainte majeure voire dissuasive pour une évolution progressive vers l'agriculture de conservation. Si la pratique de la vaine pâture est généralisée, la conservation des résidus pour couvrir le sol et favoriser l'accumulation de la matière organique va engendrer un conflit d'intérêt.

Dans ce cas, il est possible d'envisager plusieurs types de solutions dont la viabilité dépendra des spécificités de chaque environnement, en voici quelques unes :

- Evaluation de la quantité des résidus nécessaires pour la protection du sol, valorisation et la quantité restante qui peut être utilisée pour l'alimentation du bétail (alimentation sur parcours ou zero-grazing)
- Insertion des plantes de couverture ayant un double intérêt (protection du sol, et alimentation du bétail) dans le plan de rotation culturale
- Création des parcelles fourragères permanentes pour

la pâture directe ou l'affouragement à l'auge

- Réduction de la taille du cheptel en éliminant les animaux qui ne peuvent plus servir à la traction
- Déplacement temporaire des animaux pour d'autres zones

La mise en place de sources alternatives et complémentaires de fourrages (légumineuses, herbes), l'utilisation raisonnée de la fumure et des fertilisants minéraux, la conservation des surplus de fourrage ; la supplémentation ; le traitement des résidus de cultures ; le contrôle de la pâture, du zéro - grazing, ou la combinaison de ces pratiques doit être assez souple et flexible pour s'adapter aux besoins des différentes situations.

Sur les terres abruptes, l'utilisation des haies vives -pour la lutte anti-érosive- constituées d'herbes et/ou de plantes légumineuses pouvant servir dans l'alimentation du bétail est une stratégie efficace si les espèces choisies sont à la fois appréciées par les animaux et effectivement efficaces comme barrière anti-érosive (Barber, 1999).

Planche 3. Une petite parcelle d'Arachis pintoï, elle constitue une 'banque de protéines'. Chaque jour, le berger amène tous les animaux du troupeau paître ici pendant 15 min. (A.J. Bot)



L'aptitude à conserver et à transférer les stocks de fourrages des périodes de surplus aux périodes de déficit apparaît comme une approche logique pour une production efficace. Néanmoins, les zones tropicales humides sont un cas spécifique, et exigent des pratiques particulières de conservation de fourrage (foin et ensilage) en raison des pluies fréquentes et de l'humidité élevée au cours des saisons où des surplus de biomasse sont disponibles pour la conservation. Peu de petits exploitants adoptent les techniques d'ensilage ou de foin parce qu'ils trouvent les trouvent onéreuses, car nécessitant des équipements et des infrastructures qui ne sont pas leur portée (Quiroz, et al., 1997).

Toutefois, des méthodes simples et adaptées ont été développées pour les petites exploitations des zones tropicales semi arides (IIRR & Act, 2005).

Planche 4. Conservation des résidus de cultures en Ethiopie. (J. Ashburner)



Quand les fourrages sont coupés et servis à l'auge, on peut facilement apprécier la quantité de résidus qui reste sur le sol. Si les fanes et résidus de culture sont laissés pour la vaine pâture, le berger doit surveiller les animaux de manière à ce que la quantité minimale de résidus qui doit être gardée sur le sol pour assurer la couverture soit atteinte. Il peut le faire en jouant sur le temps de pâture et en laissant les animaux faire une pâture sélective des parties comestibles de la plante.

Dans les systèmes d'élevage en stabulation, les parties non comestibles des fourrages sont ramenées au champ soit à l'état 'brut' ou alors comme élément d'un compost constitué en outre des fèces d'animaux. Selon Sain et Barreto (1996), les agriculteurs de Guaymango (Salvador) qui laissent les animaux consommer les résidus de leurs récoltes, ont des pratiques qui permettent de réduire la consommation à environ 50% du total disponible. Les systèmes maïs/sorgho produisent en moyenne 10t/ha de résidus, la quantité restante (environ 5t/ha) est au-dessus du seuil de 3,5 t/ha rapporté par Barber (1996).

Planche 5. Le zero-grazing permet de maîtriser les quantités d'aliments et de nutriments consommés par les animaux, mais cette pratique demande beaucoup de temps de main d'œuvre. FAO.



La bonne gestion du bétail est fondamentale pour augmenter la production des grains, et même de la productivité du bétail. Ceci en améliorant la qualité des aliments servis aux animaux, et de façon indirecte le sol. Pour y parvenir, les pratiques suivantes doivent être mises en œuvre :

- 1 - Respect de la capacité de charge des pâturages :** la taille du cheptel doit tenir compte du disponible fourrager et la capacité de production des fourrages en présence. De façon globale, il doit avoir un équilibre entre la production et la consommation de biomasse au cours de l'année. Cet équilibre permet d'éviter le surpâturage et de garder une bonne couverture du sol ;
- 2 - Augmenter la production et la productivité des pâturages** par la pose des clôtures, cette mise en défens favorise la production des fourrages et légumineuses pour la pâture, le foin et l'ensilage, les corrals
- 3 - Bonne gestion des espaces pastoraux**, avec des périodes de mise en défens qui favorisent la reconstitution des pâturages. Toutefois, la mise en place des équipements nécessaires pour un système de pâturage tournant rencontre deux contraintes principales : le coût élevé de la clôture et la situation socio-économique de beaucoup d'agriculteurs, nombre d'entre eux ne parviennent pas à produire assez de fourrages ou n'ont pas déjà assez de terre de parcours pour leurs animaux, et sont obligés de faire paître leurs animaux sur les bords de la route, les terrains vagues ou les terres « empruntées » aux voisins.

REFERENCES

- Barber, R.G.** 1996. Linking the production and use of dry-season fodder to improved soil conservation practices in El Salvador. Proyecto CENTA-FAO, GCP/ELS/004/NET, documento de campo N° 8.
- Devendra, C., C. Sevilla and D. Pezo.** 2001. Food-feed systems in Asia: Review. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 14: 733-745.
- IIRR and ACT.** 2005. Conservation agriculture: A manual for farmers and extension workers in Africa. International Institute of Rural Reconstruction, Nairobi; African Conservation Tillage Network, Harare. Pp 149-152.
- Pezo, D.A., Lanting, E.F., C.C. Wong and P.C. Kerridge.** 2000. Feed resources for ruminants in smallholder farming systems in South East Asia. In: W.W. Stur, P.M. Horne, J.B. Hacker and P.C. Kerridge (eds.). Working with farmers: The key to adoption of forage technologies. ACIAR Proceedings No. 95. ACIAR, Canberra, Australia. Pp. 97-111.
- Quiroz, R.A., D.A. Pezo, D.H. Rearte and F. San Martín.** 1997. Dynamics of feed resources in mixed farming systems of Latin America. In: C. Renard (ed.). Crop residues in sustainable mixed crop/livestock systems. CABI, Wallingford, U.K. Pp. 149-180.
- Sain, G. E. and H. J. Barreto.** 1996. The adoption of soil conservation technology in El Salvador: Linking Productivity and conservation. J. Soil and Water Cons. 51:313-321.
- Sánchez, M.** 1995. Integration of livestock with perennial crops. World Animal Review 82: 50-57
- Smil, V.** 1999. Crop residues: agriculture's largest harvest. BioScience. 49: 299-308.

FAO / Département de l'agriculture et de la protection des consommateurs

Adoption de l'AC

Les agriculteurs sont souvent plus intéressés par des solutions ou techniques dont les effets sont visibles dans un délai court, or les effets de l'AC tant sur le plan technique et qu'économique ne sont visibles qu'à moyen et long termes, une fois que ses principes fondamentaux (réduction ou absence de labour, couverture permanente du sol et, rotations culturales) sont déjà bien intégrés dans le fonctionnement du système de production.

En fait, si les deux systèmes (agriculture traditionnelle et AC) sont pratiqués sur deux parcelles placées dans les mêmes conditions agro-écologiques et de fertilité, on ne peut pas s'attendre à de grandes différences de productivité pendant les premières années. Toutefois, après plusieurs années de culture des mêmes plantes sur les mêmes parcelles, les différences entre les deux systèmes deviennent plus évidentes et nettes.

L'AC exige de nouveaux modes de pensée et de représentation de l'activité agricole. Parallèlement à l'émergence de cette « nouvelle représentation de l'agriculture », il existe déjà plusieurs références techniques et agronomiques qui pourraient servir de réponse aux producteurs qui hésitent encore à adopter les principes de l'AC. Mais, il est nécessaire de faire des démonstrations pour montrer aux producteurs que les aspects agronomiques et techniques sont directement liés aux modes de gestion économique, et donc, que les améliorations obtenues sur le plan technique et agronomiques grâce à l'AC doivent être quantifiées et évaluées en termes monétaires et économiques.

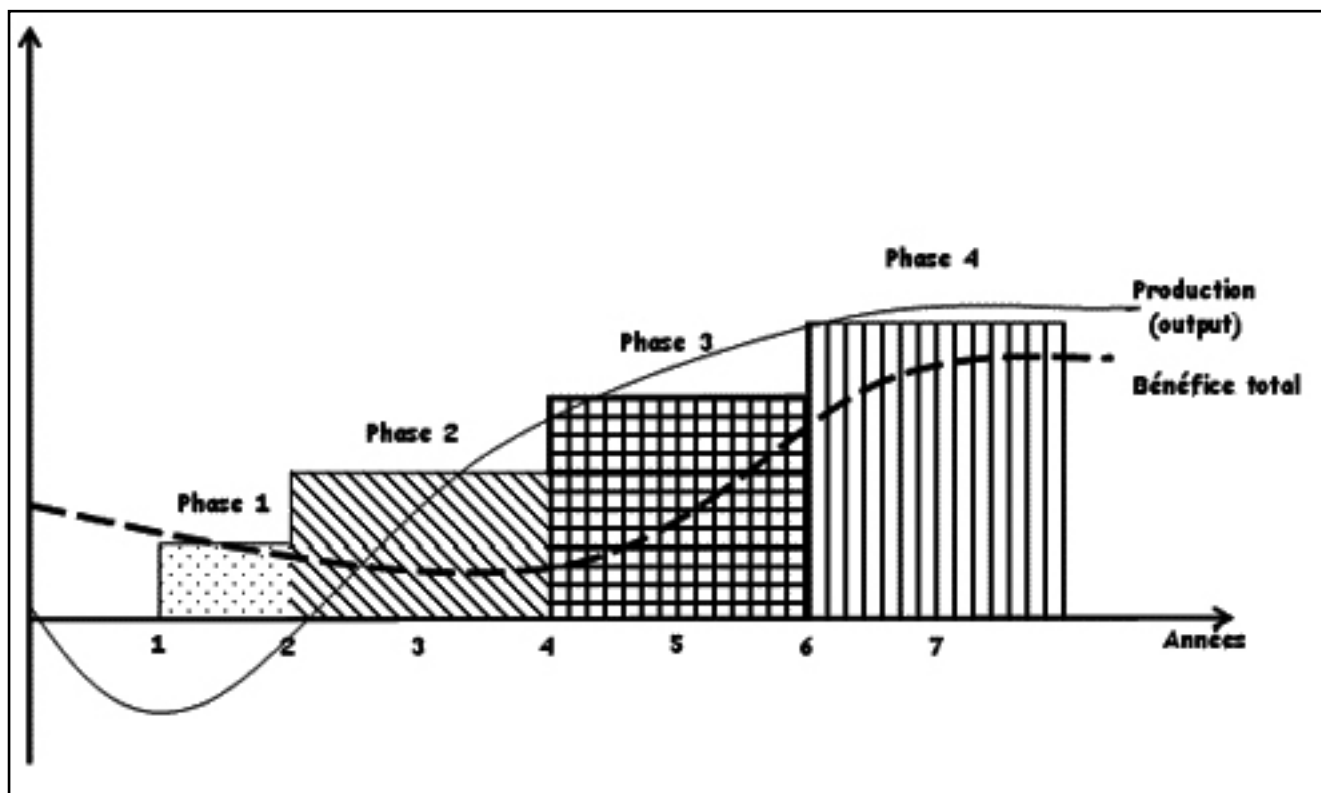
Avant toute analyse de la gestion de l'exploitation et des aspects économiques de l'AC, il est judicieux de subdiviser le processus d'adoption/adaptation en 4 phases

théoriques. Cette division théorique, représentée dans la figure 1, facilite et structure la démarche de travail lorsqu'on cherche à analyser les activités de l'exploitation et l'impact de l'adoption de nouvelles technologies sur le processus de production :

- Phase 1 - Amélioration des techniques de labour : Pendant cette première phase, aucune augmentation sur les résultats de l'exploitation n'est envisagée. Mais des réductions pourraient survenir au niveau : de la main d'œuvre, les temps de travaux, le recours à l'énergie animale ou mécanique (réduction des coûts de production). Une augmentation dans l'utilisation des produits agro-chimiques, notamment pour le contrôle de l'enherbement. En plus, il pourrait y avoir une augmentation des dépenses du ménage pour compenser une probable (mais non certaine) réduction de la production comparativement à l'agriculture conventionnelle.
- Phase 2 - Amélioration des propriétés du sol et de la fertilité. Réduction des besoins en main d'œuvre, temps, traction animale, énergie animale et mécanique (réduction des coûts de production). Augmentation des rendements, et conséquemment des revenus nets de l'exploitation.
- Phase 3 - Diversification des systèmes de culture. Rendements élevés et plus stables. Augmentation des revenus de l'exploitation et amélioration de la fertilité du sol.
- Phase 4. Le système de production intégré fonctionne bien. Stabilité de la production et de la productivité. Le producteur a tous les indicateurs pour apprécier la totalité des avantages techniques et économiques de l'AC.

1- L'essentiel de ce texte est tiré de : FAO. 2004. Conservation of natural resources for sustainable agriculture: training modules. FAO Land and Water Digital Media Series CD-ROM 27. FAO, Rome. Original references are given in the CD-ROM.

Figure 1. Les différentes phases de transition de l'agriculture traditionnelle à l'agriculture conventionnelle / processus d'adoption de l'AC



Les changements techniques

En raison des opportunités et des avantages que présente le changement technique pour passer à l'AC (augmentation des productions et des niveaux de revenus, réduction des coûts de production) il est important de prendre en considération le processus d'adoption/adaptation et diffusions des innovations techniques. Les potentialités économiques de l'AC en termes de coûts de production, bénéfices, rendements, conservation des sols etc. sont importantes. Toutefois, une faible maîtrise des pratiques d'AC peut pendant les premières années rendre incertain l'impact de l'AC sur les rendements et l'utilisation des intrants. Il est important de garder présent à l'esprit que les décisions d'adoption/adaptation se prennent souvent dans un environnement fait d'incertitudes (aléas de la nature et du marché). Le comportement des agriculteurs vis-à-vis le risque, et en particulier leurs stratégies d'aversion au risque doivent également être pris en compte.

Il existe 4 critères (2) à prendre en compte pour l'adoption des pratiques d'AC :

- 1- elles doivent procurer aux producteurs dans un bref délai des résultats concrets et intéressants sur le plan économique
- 2- les bénéfices doivent être assez substantiels pour convaincre les producteurs de changer leurs pratiques actuelles
- 3 - pour que la technologie diffuse, les coûts encourus doivent être au niveau du producteur
- 4 - l'introduction de l'AC doit être accompagnée et suivie par un service d'appui - conseil sur période assez longue

L'agriculteur qui adopte l'AC peut rencontrer diverses difficultés notamment au niveau du pouvoir d'achat, l'accès au crédit et à l'information ; faible réseau de communication avec les marchés d'intrants et de produits. A cet égard, la disponibilité des intrants en quantité suffisante et au moment opportun peuvent être des facteurs importants du processus d'adoption/adaptation.

2 - FAO, 2005. *Conservation agriculture for soil moisture. Briefing notes: Production systems management*, Rome. FAO. 4 p.

Gérer les changements dans la gestion des intrants

En principe, le coût de certains intrants (exemple : achat des semences) ne devrait pas être différent entre les systèmes d'AC et d'agriculture traditionnelle. Mais des variations sont souvent observées et peuvent s'expliquer par :

- Avec l'AC les quantités de semences utilisées sont moindres parce que les pertes en champs sont réduites. Mais, quelques fois, les besoins en semences peuvent être plus grands parce que les densités de semis en AC sont optimales et peuvent être plus élevés que dans le système traditionnel. En fait, les quantités de semences utilisées sont pratiquement les mêmes.
- Les plantes de couverture jouent un rôle important dans l'AC. Si leurs semences ne sont pas produites par l'agriculteur lui-même, il devra les acheter
- Comme pour les semences, le coûts des fertilisants sont initialement les mêmes en agriculture traditionnelle qu'en AC. Toutefois, au fur et à mesure que la matière organique du sol augmente sous AC, la fertilité et l'humidité du sol augmentent aussi. Ces deux facteurs contribuent à améliorer l'efficacité des fertilisants, ce qui va induire à long terme une réduction des quantités d'engrais.
- Les agriculteurs qui ont l'habitude d'utiliser les herbicides sous agriculture conventionnelle pourront continuer à le faire avec l'AC. Plusieurs résultats montrent qu'avec l'AC, les dépenses pour l'achat des herbicides diminuent au fil du temps à mesure que la couver-

ture permanente du sol joue sa fonction de contrôle de l'enherbement. Les herbicides sont importants, mais les producteurs pratiquant le labour traditionnel utilisent des quantités d'herbicides similaires à celles des agriculteurs qui ne pratiquent pas le travail du sol.

Les producteurs qui n'ont jamais utilisé les herbicides soit pour non disponibilité ou à cause du prix élevé, seraient plus enclins à adopter des pratiques alternatives de contrôle de l'enherbement comme l'utilisation du rouleau à lames par exemple.

Quand l'AC est pratiquée correctement, la charge et les attaques des pestes et ravageurs seront réduites comparativement à l'agriculture traditionnelle. Cette réduction est liée à la pratique des rotations culturales et la mise en place des plantes de couverture. Au final, les dépenses pour les traitements pesticides sont considérablement diminuées.

La main d'oeuvre. L'impact positif de l'AC sur la distribution des besoins en main d'oeuvre pendant la campagne agricole, mieux, la réduction des besoins en main d'oeuvre est l'une des principales raisons qui ont motivé l'adoption de l'AC en Amérique latine, et plus particulièrement pour les producteurs qui utilisent essentiellement la main d'oeuvre familiale.

Outre la réduction des temps de travaux, la mise en oeuvre pratiques d'AC permet de diminuer le nombre d'opérations culturales nécessaires pour la conduite de la campagne agricole, comme le montre l'exemple présenté dans le tableau 1.

Tableau 1. - Opérations mécanisées et temps de travaux (heures /ha) pour sous différents systèmes de production du haricot au Brésil

Opération	Agriculture de conservation	Agriculture conventionnelle
Passage du rouleau à lames	0.89	-
Semis direct	0.76	-
Traitement herbicide	1.2	0.6
Récolte	0.93	0.93
Labour / pulvérisateur	-	1.37
Hersage	-	1.38
Semis 'traditionnel'	-	0.89
Billonnage	-	1
Total	3.78	6.17

Particulièrement dans les zones où la main d'oeuvre familiale devient limitante à cause des migrations, du VIH/Sida etc. l'AC pourrait être une alternative pour les agriculteurs. La réduction des besoins en main d'oeuvre permet de :

- D'augmenter les superficies cultivées
- De mener des activités/travaux hors exploitation
- Diversifier les activités, y compris la transformation des produits agricoles
- Réduire les superficies cultivées en raison des rendements élevés ; permettre la récupération des zones marginales

Le tableau 2 présente un exemple des besoins en temps de travail pour les opérations de préparation du sol en utilisant la traction animale et motorisée. En particulier, l'illustration montre dans le cas de la traction animale, une réduction du travail pouvant atteindre 86%. Le temps nécessaire pour préparer le sol en utilisant le tracteur est réduit de 58% sous AC.

Tableau 2. Temps nécessaires pour la préparation du sol en agriculture traditionnelle et en AC.

Agriculture traditionnelle		Agriculture de conservation	
Opérations	Temps nécessaires (heures/ha)	Opérations	Temps nécessaires (heures/ha)
Tracteur		Tracteur	
Labour	1,5	Rouleau à lames	0,9
Hersage (2X)	1,4	Traitement herbicide	0,3
	2,9		1,2
Traction animale		Traction animale	
Labour	25	rouleau à lames	3
Hersage (2X)	5	Traitement herbicide	1,5
Dérayure	3		
	33		4,5

Machinerie et équipements

Dans la majorité d'exploitations où l'AC est pratiquée, le nombre d'interventions sur la parcelle est moindre. Les producteurs n'ont donc pas besoin d'un grand équipement. Les coûts dépenses pour la main d'oeuvre et le carburant sont minimisées. Par ailleurs, le nombre d'outils est réduit, la charrue et les herses ne sont plus nécessaires. Dans le cas de la motorisation, on peut utiliser des tracteurs de faible puissance : le labour nécessite un tracteur plus lourd/puissant comparativement au semis ou à la pulvérisation des pesticides.

De même, dans les systèmes avec culture attelée, le nombre d'animaux de trait nécessaire diminue. On peut utiliser des espèces autres que les bovins, une paire d'ânes pourrait suffire.

Un nombre réduit d'opérations signifie peu d'utilisation et moins de dégradation des équipements, qui auront ainsi une durée de vie plus longue et vont engendrer moins de dépenses en frais de maintenance ou de réparation.

Le tableau 3 donne un exemple de comparaison des coûts d'entretien des équipements et d'achats du carburant pour la production du soja et du maïs. Le coût de la chaux et des fertilisants, des insecticides, des herbicides et de transport interne ne sont pas pris en compte dans les calculs, parce qu'il ne présente pas de différences significatives entre les deux systèmes.

Tableau 3 - Estimation des coûts pour la machinerie et le carburant dans la production de maïs et de soja au Brésil

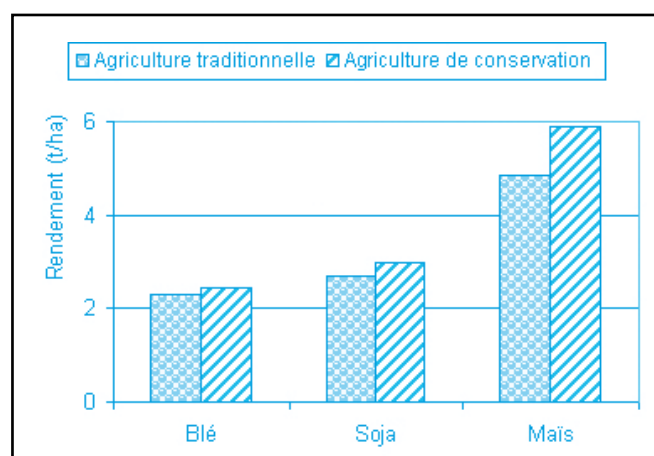
Intitulé	Soja				Maïs			
	Agriculture traditionnelle		Agriculture de conservation		Agriculture traditionnelle		Agriculture de conservation	
	Quantité	U\$/ha	Quantité	U\$/ha	Quantité	U\$/ha	Quantité	U\$/ha
Maintenance des terrasses	0,7 h/ha	2,44	-	-	0,7 h/ha	2,44	-	-
Labour	2 h/ha	7,28	-	-	2 h/ha	7,28	-	-
Hersage (2x)	1,6 h/ha	7,31	-	-	1,6 h/ha	6,44	-	-
Semis	1 h/ha	4,88	1 h/ha	9,74	1 h/ha	3,93	1 h/ha	10,79
Application d'herbicides	1,6 h/ha	6,79	1,6 h/ha	6,27	0,8 h/ha	3,14	1,6 h/ha	6,27
Total		28,70		16,01		23,23		17,06
Carburants	82,3 l/ha	21,30	49,6 l/ha	12,84	86,8 l/ha	22,46	58,7 l/ha	15,18
Lubrifiants		4,77		2,87		5,14		3,48
Total		26,07		15,71		27,6		18,66
Total réduction	U\$ 23,05 par ha (=7,75%)				U\$ 15,11 par ha (=4,82%)			

Un fait marquant récent et signe de l'intérêt grandissant que les agriculteurs accordent à l'AC est l'adoption de cette nouvelle forme d'agriculture par les riziculteurs d'Asie du Sud-Est. En Indonésie, les petits exploitants agricoles économisent 25 % des temps de travail, 65 % des temps nécessaires pour la préparation du sol, 28% dans l'irrigation par campagne agricole et, 2 à 3 semaines de travail en moins pour les opérations de préparation des terres. Dans la préparation traditionnelle des paddies, 30% de l'eau est utilisée pour les travaux de labour et de formation des flaques. Au cours de ces opérations, une partie importante de cette eau est perdue lors du transport dans les canaux, causant ainsi des pollutions. Les petits exploitants Indonésiens doivent souvent louer l'équipement de labour, et puisqu'il y a peu de propriétaires, beaucoup de producteurs ne parviennent pas à respecter le calendrier culturel. Avec les 2 - 3 semaines de gain de temps réalisé sur les opérations de préparation du sol, l'AC pourrait aider à passer de la situation actuelle d'une seule campagne agricole par an à la double voire la triple culture (trois séquences / an). De telles évolutions s'observent aux Philippines, à Thaïlande et en Inde. En Corée du Nord, l'AC offre aux producteurs la possibilité de réaliser le semis direct du riz, réduisant ainsi la période d'inter-culture souvent nécessaire avec pour le labour.

Les rendements

Les rendements obtenus avec l'AC sont généralement égaux sinon supérieurs à ceux de l'agriculture conventionnelle basée sur le labour (Figure 2). Toutefois, cette tendance ne doit pas être exagérée, car comme le présente la figure 1, les rendements pourraient chuter pendant les premières années d'adoption de l'AC et ne dépasseront ceux de l'agriculture conventionnelle qu'une fois que le système d'AC s'est stabilisé. Dans toutes les situations, on doit d'abord utiliser et privilégier les données locales par rapport aux références générales.

Figure 2. Rendements du blé, soja et maïs sous agriculture traditionnelle et sous AC (moyenne sur une période de 8 ans) au Brésil.



Séquestration du carbone

L'AC présente de nombreux avantages sur le plan environnemental. Parfois, ces avantages ne sont pas perçus directement au niveau de l'agriculteur. Entre autres, on peut évoquer : débits de cours d'eau plus réguliers ; réduction de l'érosion ; pas d'envasement des infrastructures et aménagements hydrauliques et hydro-électriques ; des infrastructures routières moins dégradées ; diminution des coûts de traitement des eaux domestiques etc.

Planche 1 . Les eaux littorales sont souvent le siège des dépôts sédimentaires, l'activité des pêcheurs locaux est sérieusement compromise. FAO



Toutefois, le rôle de l'AC dans la séquestration du carbone est de plus en plus reconnu. Les études montrent que le potentiel total de séquestration du carbone grâce à l'agriculture équivaut à environ 40% des augmentations annuelles des émissions de CO₂ (3). Les pratiques d'AC qui permettent la séquestration du carbone contribuent à l'amélioration de la qualité de l'environnement et au développement des systèmes de production agricoles durables. L'impact d'une large adoption de l'AC sur la réduction des émissions des gaz à effets de serre et le changement climatique en général est en train d'être évalué. L'avènement des paiements des crédits de carbone aux agriculteurs est considéré avec beaucoup d'intérêt et pourrait aboutir à terme à des bénéfices financiers plus importants pour les producteurs qui adoptent l'AC.

3 - Robbins, M. 2004. *Carbon trading, agriculture and poverty*. Bangkok, Thailand. World Association of Soil and Water Conservation (WASWC). Special publication 2. 48 p.

FAO / Département de l'agriculture et de la protection des consommateurs

Avant d'entreprendre toute action visant à faire progresser les agriculteurs vers l'agriculture de conservation, il est d'abord important de comprendre pourquoi ils pensent que le labour est une pratique importante dans leurs pratiques.

Le sol est labouré dans l'objectif de : briser la croûte superficielle du sol après la culture, lutter contre les mauvaises herbes et, préparer le lit de semis pour la prochaine culture. Les producteurs considèrent cette opération comme importante. En outre, ils maîtrisent la technique et sont convaincus que le labour est nécessaire pour avoir de bons rendements.

Pour commencer avec les pratiques d'AC, il faut:

- Un changement dans la conduite et la gestion de cultures.
- La technique (une machine ou un outil) qui peut servir à faucher ou à rabattre la plante de couverture ou les résidus de culture.
- Considérer le sol comme un système de production biologique et capable d'assurer soi-même sa durabilité.
- Se construire une autre représentation des questions de la gestion de l'enherbement et des interactions agriculture-élevage.

Comment débiter les pratiques d'AC?

- Commencer avec des objectifs maîtrisables et réalisables.
- Afin d'acquérir l'expérience, il est conseillé de commencer sur une petite partie de la plantation (environ 10% de la superficies totales).
- Commencer dans un endroit où il y a assez de couvert, et utiliser l'équipement conçu pour cette opération (Machinisme, outils et équipements).
- Dans le cas de l'utilisation de l'herbicide, prendre le temps de bien lire et maîtriser les caractéristiques du produit. Il est également important de connaître la manipulation et le calibrage du type de pulvérisateur qui sera utilisé.
- Échanger avec les autres agriculteurs qui pratiquent l'AC, et s'inspirer de leurs expériences et erreurs.

L'utilisation des équipements et outils demande une bonne connaissance et de l'expérience. Par exemple, le réglage du pulvérisateur pour fixer la quantité d'herbicides à appliquer par hectare. Parfois, il peut s'avérer nécessaire de solliciter l'appui des techniciens (T. Friedrich).



Un bon plan de rotations culturales doit être élaboré avant de commencer l'AC. L'AC est basée sur les organismes vivant dans le sol. Ainsi, les sols doivent être gérés de manière à favoriser le développement de ces organismes. Cela fait référence aux éléments nutritifs, au pH, à la matière organique et à l'humidité.

Sur les sols extrêmement dégradés, certains investissements peuvent être nécessaires afin de les restaurer, par le biais de pratiques comme le décompactage, le chaulage, l'utilisation d'un engrais vert et d'engrais chimiques afin de corriger les importantes déficiences en éléments nutritifs. Les sols en AC évoluent en général favorablement, ce qui signifie que le rythme de dégradation et d'érosion est inférieur au rythme de régénération. Pour cette raison, même les sols dégradés peuvent s'améliorer et devenir productifs avec ce système.

Un bon exemple est celui des Cerrados au Brésil, considérés comme des terres dégradées non appropriées pour l'agriculture, et qui ont été transformées par l'AC en une zone très productive.

Il est généralement recommandé que les ‘imperfections’ du sol (particulièrement la compaction et les irrégularités au niveau de la surface) soient corrigées avant la mise en place d’un système d’AC. Toutefois, dans le cas du chaulage pour corriger le pH, il est possible de conduire cette opération pendant la pratique de l’AC, comme ici sur une couverture du mucuna. (A Calegari).



Au cours des premières années, la mise en oeuvre des pratiques d’AC va mettre un accent sur la lutte contre l’enherbement, la gestion de la culture principale et des plantes de couverture, le suivi de la fréquence des ravageurs et pestes. L’agriculteur doit se préparer à adopter de nouvelles habitudes et de nouveau emploi de temps.

L’agriculture de conservation est basée sur la restauration des processus biologique naturels. Une période de transition s’écoule avant que le système d’AC ne soit complètement mis en œuvre et que les équilibres naturels ne soient restaurés. Il est recommandé que les producteurs qui commencent l’AC consulte les praticiens pour obtenir les informations et l’expérience nécessaires et se fixer des objectifs réalistes. Une phase d’apprentissage est nécessaire pour avoir une bonne connaissance de l’innovation.

Il y aura un grand besoin d’informations sur l’utilisation et la maintenance des outils et équipements. Le concept brésilien de la ‘clinique du planteur’ est très utile pour aider les agriculteurs non seulement d’avoir une bonne connaissance des outils et équipements, mais aussi du délai nécessaire pour la conversion vers de nouveaux systèmes de production, les rendements pendant et après la phase de transition, les besoins en main d’œuvre et en temps avant et après le changement. Les expériences des producteurs qui pratiquent l’AC depuis plusieurs années peuvent servir de références pour les débutants dans l’identification des pratiques intéressantes et des erreurs à éviter. La formation au travers des Farmer Field School (Champs école) est un autre concept qui a connu un succès dans plusieurs pays.

Certaines conditions environnementales pourraient accélérer la réussite de la promotion de l’agriculture de conservation. Très souvent les conditions ci-après conduisent à des rendements en deçà de la moyenne, des faibles revenus et des problèmes environnementaux lorsque l’agriculture est pratiquée dans des zones où :

- Relief montagneux
- Erosion hydrique
- Climat aride, avec des périodes très chaudes et sèches
- Sols dégradés et érodés
- Coûts de production élevés
- Diminution de la main d’oeuvre
- Diminution des subventions agricoles

Dans ces conditions, le moindre changement dans le système dans le sens de l’AC va rapidement produire des résultats probants, notamment pour les agriculteurs. Avec la présence des groupements de producteurs pratiquant l’AC et les agriculteurs qui ont une expérience en AC, l’AC peut engendrer un changement rapide dans la vie sociale et économique des populations.

Les producteurs innovateurs qui recherchent des systèmes de production alternatifs pour réduire les coûts de production, améliorer la productivité du sol, sont probablement qui adopteront l’AC en premier. Ils seront également les promoteurs de l’AC dans leurs communautés.

Une des contraintes rencontrées fréquemment dans la promotion de l’AC est la peur de passer de « bonnes » pratiques qui ont fait leurs preuves, aux nouvelles pratiques aux impacts souvent jugés incertains. Par ailleurs les « bonnes » pratiques ou les pratiques actuelles sont culturellement liées aux communautés. Le changement va provoquer des oppositions au sein de la communauté. Cette réaction tout à fait normale est utile car elle permet d’identifier à l’avance les raisons et les stratégies pour aider les producteurs à modifier leurs pratiques.

Le labour est considéré comme :

- Nécessaire
- Bon pour améliorer les propriétés du sol
- Utile pour faciliter la gestion des cultures
- Nécessaire pour obtenir des bons rendements

Le labour est considéré par les agriculteurs comme une tradition, et changer cette pratique est difficile parce que :

- Ils sont satisfaits des résultats obtenus avec leurs pratiques actuelles.

- Ils savent gérer leurs productions, mieux que quiconque.
- Il n'y a pas de pression économique qui les pousse à modifier leurs pratiques.
- Les parcelles propres et bien labourées sont perçues comme de bonnes pratiques agricoles

Les services de vulgarisation et les agriculteurs pilotes qui perçoivent déjà l'intérêt des SCV sont les porteurs de changement dans leur région. Ils doivent effectuer un travail de facilitation et de démonstration qui rassure les agriculteurs qui découvrent l'AC que cette technique produit effectivement des résultats intéressants. Cette tâche comprend des actions comme la présentation et la démonstration de la technique sur les parcelles d'autres producteurs ; la démonstration des avantages économiques de l'AC avec des faits et des chiffres à l'appui et ; la formation des paysans relais.

Conditions nécessaires pour l'adoption de l'AC selon les agriculteurs

Les expériences et les travaux de recherche ont montré que les aspects agronomiques et économiques suivants sont très importants pour l'agriculteur, ils peuvent être utilisés par les vulgarisateurs comme porte d'entrée pour discuter des avantages de l'AC :

- Le lit de semis doit être aussi bien préparé que dans l'agriculture conventionnelle
- Les animaux en divagation provoquent la compaction du sol à travers le piétinement, des alternatives doivent être proposés à ces formes d'élevage
- L'amélioration de la production et des propriétés du sol est nécessaire
- Augmentation de la matière organique du sol
- Aptitude à lutter contre les mauvaises herbes
- Semoirs accessibles et pas trop chers
- Réduction des temps de travaux

Le labour est souvent une pratique traditionnelle, le processus de changement pourrait se heurter à des barrières culturelles et/ou techniques. Il est important que les vulgarisateurs en soient conscients pour et recherchent les solutions appropriés pour lever les divers freins :

- La non- maîtrise de la technologie
- La peur du risque économique
- L'incapacité à acheter les équipements
- Le sol ou les plantes ne sont pas appropriés et doivent être amendés.

Les changements de pratiques ne s'opèrent pas du jour au lendemain. Le personnel de vulgarisation doit être patient et comprendre que dans le domaine de l'agriculture, les innovations s'adoptent progressivement, étape après étape parce que l'agriculteur:

- A besoin de maîtriser la nouvelle technique
- Ne dispose pas toujours de ressources nécessaires pour investir
- Ne peut pas prendre de risques importants, notamment lorsque la technique n'est pas encore connue.
- A besoin d'une démarche d'apprentissage par l'action.

Des séances de démonstration sont importantes pour motiver et accompagner les agriculteurs qui veulent évoluer du système traditionnel basé sur le labour (à gauche) qui engendre érosion et compaction du sol, vers des systèmes complets d'AC (Photo de gauche: D. McGarry; photo de droite: R. Derpsch).



1 - INTRODUCTION

When I was invited to present this paper at the ISCO Conference with the title «Frontiers in Conservation Tillage» and analyze this theme from a World perspective I first refused because it is a very difficult task to accomplish. The United States is among the few countries in the world that has yearly statistics on the different forms of conservation tillage. Information in other parts of the world is very scarce or non existent and in most countries statistics on conservation tillage are based on estimates. Also, a problem associated with conservation tillage is its definition. There is confusion in the term conservation as well in the term tillage.

When reducing conservation tillage to no-tillage, information is easier to get and for this reason I will concentrate on this praxis, although one must be aware that information still remains unprecise and often was not available in the short time frame to prepare this paper. As most of my working experience with no-tillage has been gained in South America, the organizers of this conference have understanding for the fact that I may concentrate my remarks to this part of the world. It is interesting to note that in the USA no-tillage accounts for only 44% of all cropland hectares planted in conservation tillage in 1998, while in South America no-tillage probably accounts for more than 95% of conservation tillage area. No-tillage is defined in this paper as the planting of crops in previously unprepared soil by opening a narrow slot, trench or band only of sufficient width and depth to obtain proper seed coverage.

No other soil preparation is performed (Phillips and Young, 1973). We also refer here to permanent no-tillage rather than not tilling the soil occasionally. It is understood that the soil remains covered by crop residues from previous cash crops or green manure cover crops (GMCC's) and that most of the crop residues remain undisturbed at the soil surface after seeding. As long as this requirement is met shanks can be used to break compacted soil layers below the seed zone. Therefore the term direct seeding, that is also used in translation in South America, is more appropriate than no-tillage unless we use this term in a broader sense. We have to understand that soil carbon and crop residues are key factors for no-tillage to function. We have concentrated too much and too long on not tilling the soil instead of concentrating on crop residues as main tool for management (Wayne Reeves, personal communication 1997).

Control of soil erosion is still one of the main driving forces for no-tillage adoption. No technique yet devised by mankind has been anywhere near as effective at halting soil erosion and making food production truly sustainable as no-tillage (Baker et al., 1996). The long term gains from widespread conversion to no-tillage could be greater than from any other innovation in third world agricultural production. (Warren, 1983).

General situation of no-tillage in the world
The leading countries in the world with the biggest area under no-tillage are the USA with 19.3 million hectares followed by Brazil with 11.2 million ha, Argentina with 7.3 million ha, Canada with about 4.1 million ha, Australia with 1 million ha and Paraguay with 790.000 ha of the technology being practiced by farmers (Table 1). In Paraguay no-tillage was practiced on only 20.000 ha in 1992 and it grew to 790.000 ha in 1999.

It is not easy to get information about the spread of no-tillage in Asia, Africa and the East European countries. Admitting that there may be many gaps in information it is estimated that no-tillage is practiced on about 45 million hectares world wide. Approximately 96% of the technology is practiced in the Americas (North and South) and probably less than 4% in the rest of the world. About 52% of no-tillage is practiced in the USA and Canada, 44% in Latin America, 2% in Australia and 2% in the rest of the world, including Europe, Africa and Asia. There is a very big potential to bring this soil conserving technology to these parts of the world, although limiting climatic and socio-economic factors have to be taken into account. The East European countries seem to have the biggest potential for a fast growth of this technology. In order to overcome the information gaps relating mainly to the East European countries as well as Africa and Asia, the author would welcome any information about the area of no-tillage and conservation tillage being applied in that part of the world.

Table 1: Total area under No-tillage in different countries (hectares)

COUNTRY	1998/99
U.S.A.	19.347.000 1)
Brazil	11.200.000 2)
Argentina	7.270.000 3)
Canada	4.080.000 4)
Australia	1.000.000 5)

Paraguay	790.000 6)
Mexico	500.000 7)
Bolivia	200.000 8)
Chile	96.000 9)
Uruguay	50.00010)
Others	1.000.00011)
Total	45.533.000 ..

Source: 1) No-till Farmer March 1999; 2) FEBRAPDP, 1999; 3) AAPRESID, 1999; 4) CTIC 1999; 5) Hebblethwaite, 1997; 6) MAG - GTZ Soil Conservation Project, 1999; 7) CENAPROS, 1999; 8) Dr. Patrick Wall, 1999; 9) Carlos Crovetto, 1999; 10) AUSID, 1999; 11) Estimates

Remark: Some data on the area under No-tillage in Canada shows 6.7 million ha in that country. These numbers do allow for fall tillage with high soil disturbance. When applying the term no-tillage more strictly (low disturbance and no fall tillage) then the area is only 4.08 million ha for Canada.

Although the biggest area under No-tillage is found in the USA, in this country the technology is applied only on 16,3% of the total cultivated area, against 21% in Brazil, 32% in Argentina and 52% in Paraguay. In relation to the total cultivated area, Paraguay has the highest adoption rate of no-tillage in the world (Figure 1).

A study of the potential use of no-tillage in Africa has been made by GTZ in 1998. The study concludes, that no-tillage ensures optimum soil protection and is therefore the system of choice for those regions where sufficient biomass can be produced to provide all-year-round ground cover. The ecological constraining factors for spreading no-tillage in this continent are: low precipitation with low biomass production, short growing seasons, sandy soils with tendency to compaction and soils at risk of waterlogging. The socio-economic constraining factors are: strong demand for crop residues as forage for livestock, uncertain land use rights, poorly developed infrastructure (market, credit, extension service), distinct market preference for one crop (e.g. maize), and high demand on the farm management. The study also concludes, that in regions and under conditions where no-tillage is not possible, the second best choice is minimum tillage (GTZ, 1998).

While no-tillage was researched in the USA already in the 1940's and more intensively in the late 1950's, and in Europe in the 1960's and 1970's, it was not until 1971 that research on this technology started in Brazil and Latin America (Derpsch, 1998). At first no-tillage was

conceived as an efficient technology for soil conservation, since the spread of arable farming had brought about the widespread occurrence of erosion in the southern states of Brazil. With time the technology has evolved to a truly sustainable production system with positive economic, environmental and social consequences.

In the MERCOSUR Countries (Brazil, Argentina, Paraguay and Uruguay) the technology has experienced a twenty fold expansion between 1987 and 1997 against a 4,6 fold increase of the area in the USA in the same period (Figure 2). From 1997 to 1998 the MERCOSUR Countries experienced an expansion of 28% of the area under no-tillage as against 3,7% in the USA. The following may be the main factors that induced such a rapid change in Latin America: 1) Efficient and economic erosion control under climatic conditions with high erosion and soil degradation potential. 2) Appropriate knowledge was available in the region through research and development as well as farmers experiences. 3) Widespread use of cover crops for weed suppression (reduction in the use of herbicides), organic matter build up, biological pest control, etc. 4) The same consistent message, positive to no-tillage has generally been voiced by all sectors involved (private and public) without contradictions. 5) No-tillage has been the only conservation tillage technology recommended to farmers. 6) There has been an aggressive farmer to farmer extension through farmers associations. 7) Publications with adequate, practical and useful information were made available to farmers and extensionists. 8) Economic evaluations with system approach showed high economic returns of no-tillage, as well as the use of cover crops and crop rotations in the system. Economic returns are immediate and substantial. 9) There have been no major forces against the system. 10) Latin American farmers have had to be very competitive in the global market, since in general there are no subsidies.

2 - CONSTRAINTS AND LIMITATIONS FOR NO-TILLAGE ADOPTION IN SOUTH AMERICA AND HOW THEY HAVE BEEN OVERCOME

2.1- Adequate machines

Only in 1975 the first machines for no-tillage were built in Brazil, so many farmers started no-tillage transforming their old equipment. The first machines built in Brazil based on the rotary hoe (Howard Rotacaster) were slow and farmers were very happy when the faster triple disc machines appeared on the local market in 1976. Importing no-tillage machines has been almost impossible in Brazil because of high import taxes. Production in other countries of Latin America (Argentina, Mexico) started much later. Today about 15 industries in Brazil and about 30 in Argentina are building no-tillage equipment.

For small and medium sized mechanized farms we would recommend that farmers buy a no-tillage machine suitable for wide row crops (i. e. soybeans, maize, sorghum, sunflower) and for narrow row crops (wheat, oats, rye and green manure cover crops in general). Failure in buying a multipurpose machine puts farmers that do not have enough capital to buy two specialized machines in a situation where they cannot plant narrow row crops and therefore they are not able to seed small grains or green manure cover crops and use adequate crop rotations. Leaving the land in fallow during winter time results in high weed infestation and high costs to eliminate these weeds.

2.2- Adequate herbicides

The first years of no-tillage adoption in South America in the 1970's were especially difficult because the only herbicides available were Paraquat and 2,4-D. Hand hoeing saved many crops from failure at this stage. At the beginning of the 1980's the number of herbicides available for the system had grown to such an extent, that it was difficult to know the properties of each of the many products available on the market. The only people that would give information about the characteristics of the different products were the companies producing them. This made it very difficult for the farmers to recognize and find the products they needed. Two publications written in the early 1980's (now in their 4th edition) helped to overcome this bottleneck and became a milestone in allowing more farmers to adopt the system (Rodrigues and Almeida, 1998; Lorenzi, 1994).

The production and availability of a greater variety of more efficient herbicides together with a greater diversity of more efficient no-tillage seeding equipment in Brazil and Argentina has led to an unprecedented growth of no-tillage in South America.

2.3- Mental change

A mental change of farmers, technicians, extensionists and researchers away from soil degrading tillage operations towards sustainable production systems like no-tillage was necessary to obtain changes in attitudes of farmers. As long as the head stays conventional it will be difficult to implement successful no-tillage in practical farming. Through time we have learned, that if the farmer does not make a radical change in his head and mind, he will never bring the technology to work adequately. We found that this is not only true for farmers but for technicians, extensionists and scientists as well. No-tillage is so different from conventional tillage and puts everything upside down, that anybody that wants to have success with the technology has to forget most everything he learned about conventional tillage systems and be prepared to learn all the new aspects of this new production system. We believe that a farmer first has to

change his mind before changing his planter

2.4- Knowledge

Site specific knowledge of the no-tillage system has most likely been the main limitation to the spread of the system in some countries and regions of Latin America. The biggest change a farmer has to face when moving from conventional to no-tillage is probably weed control. To be able to manage this new situation a farmer has to have a good knowledge especially on herbicides, weeds and application technology.

- Herbicides

A comprehensive publication is needed that describes all the products available on the market with all their chemical and toxicological characteristics, amount to be used per hectare as well as listing of the weeds that can be efficiently controlled by each specific product. This is a very necessary information without which not only farmers, but also technicians, extensionists and scientists would have a hard time to make no-tillage work. An example is the publication by Rodrigues and Almeida (1998) in Brazil, which now is in its 4th edition.

- Weeds

Another publication needed is one which describes and shows pictures of the most common weeds for easy identification. A very useful publication in no-tillage that describes common weeds, showing pictures of the adult plant as well as of seeds and seedlings and at the same time shows which herbicides can efficiently control each weed, was published by Lorenzi (1994) and has been an important tool in the hand of farmers and researchers. This publication has also been reedited four times up to now.

- Herbicide application technology

The complex calculation of volume of water to be applied per hectare, pressure, nozzle output, tractor velocity, tank capacity and amount of products to be added to apply the recommended rate of a product per unit of area, pose a difficult task not only to farmers but to anybody trying to calibrate a sprayer. We learned, that unless well prepared and easy to handle information is given to the farmer, imperfect calibration will result in poor weed control even if using the best product. Adding to that, in South America it took many years of adaptive research and collection of farmers experience, before we learned that many products work better with less than 100 liters of water per hectare than with more, that in some cases we can reduce significantly the amount of herbicide used by lowering the pH of water to 3.5, that costs and time of application can be greatly reduced by using big spraying tanks (2000 liter capacity instead of common 600 l tanks) and low volume of water. With time we also learned that light influences the efficiency of some pro-

ducts significantly and that in the tropics farmers have to get up very early to meet spraying requirements of less than 30° C air temperature and more than 60% moisture in the air. In some regions and in the hot season we even have difficulties to meet these conditions at any time of the day. Although isolated information has been published and released every now and then, it was only in 1996 that a more advanced publication on application technology was made available to farmers in Brazil (Fundação ABC, 1996).

2.5- Soils

Many tropical soils are acid or have toxic aluminum. We have been recommending that farmers apply lime the year before entering no-tillage because it is the last opportunity to incorporate it. Newer research results have shown us, that farmers can also apply lime without incorporating, since in the generally very permeable tropical soils with high infiltration rates, lime moves into deeper soil layers. In this case it is recommended that farmers apply small rates of lime each year, instead of applying big amounts only once.

Concepts about liming and fertilization have changed a lot in Latin America after shifting to the no-tillage system. Experience shows us that we have to forget everything we have learned in the University about fertilization and liming and get acquainted with the new concepts in fertility management in this system. Pioneer farmer Nonô Pereira of Ponta Grossa, Paraná, Brazil, together with the soil scientist Joao Carlos Moraes de Sá have developed a system of no-tillage into native pasture, on soils that have a high aluminum saturation, low pH and in general low fertility levels (Farmers spray off the native pasture 3 to 4 months before seeding to ensure a good kill of woody grasses). Despite this fact, farmers applying relatively low amounts of lime on the soil surface and using medium fertilizer levels, can harvest around 3.000 kg/ha soybeans already in the first year. This is probably due to the high organic matter content of these soils, that have never been touched by tillage tools before. Similar experiences are now being made on poor, acid soils and native pasture in Paraguay.

Soil crusting:In general crusting of soils is not a problem in no-tillage. Because the mulch cover avoids the direct impact of the raindrops on the bare soil surface crusts do not develop. We have found, that soils which very badly tend to crusting in conventional tillage do not present crusting problems in no-tillage, as long as the soil is well covered with sufficient plant residues.

It is general knowledge that badly drained soils are not suited for no-tillage. Luckily most tropical soils in South America are well drained and are generally well suited for this technology.

Soil surface roughness

It is obvious, that a no-till seeding machine is not going to work properly if the soil surface is not leveled. In conventional tillage farmers often control their weeds by mechanical cultivation. This tends to leave an undulated soil surface that has to be leveled before entering the no-tillage system. Also if erosion rills or small gullies are present, or if for other reasons a rough surface is left after harvest, we recommend farmers to first level the soil surface before starting no-tillage to avoid seeding problems and bad stands.

Soil compaction

Tillage induced soil compaction inherent of conventional tillage like plow pans or heavy disc harrow pans should be eliminated before entering the system. A chisel plow (in seldom cases a subsoiler) will generally be sufficient in Brazil, Paraguay and Argentina to solve these problems.

Soil compaction in permanent no-tillage is an issue that is discussed over and over again in Latin America. We have found that in general researchers have a different perception than farmers in looking at this problem. Since researchers have very sophisticated tools to measure compaction and easily demonstrate that soils are more compact under no-tillage than under conventional tillage, we have seen that many researchers see compaction as a very serious problem in the no-tillage system. We are observing that in general scientists and researchers in Latin America tend to overstate the problem of soil compaction. In contrast to researchers, farmers in Latin America measure compaction not in terms of soil density in g/cm³ or in penetration resistance but in terms of crop response and yields. If yields are as good or better in no-tillage than in conventional tillage, the farmer does not care about compaction. Also farmers measure compaction in terms of penetration of seeding equipment into the soil. If soils are too hard to give good penetration to the cutting elements of a planter than the farmer is going to have a bad stand.

For the purpose of evaluating farmers perception on the problem of soil compaction, three no-till pioneer farmers from Brazil where interviewed in 1997 to express their views on this problem. The interviewed farmers were Nonô Pereira (22 years of permanent no-tillage), Frank Dijkstra (22 years of continuous no-tillage) and Herbert Bartz (26 year of continuous no-tillage), totaling 70 years of experience. Their soils vary from about 80% sand to about 80% clay. The farmers were unanimous in stating, that they do not perceive compaction as a problem in permanent no-tillage (Revista Plantio Direto, 1999). They also stated that there is no need to till the soil every so often after no-tillage has been established. Finally they said, that the best way to avoid

compaction in the no-tillage system is to produce maximum amounts of soil cover, use green manure cover crops and crop rotations, so that roots and biological activity as well as earthworms and insects, etc., loosen the soil. Good soil cover is also essential to maintain higher moisture content on the soil surface and this will result in better penetration of cutting elements of the seeding equipment.

2.6- Mulch cover

Permanent soil cover with a thick layer of mulch has been a key factor for having success in the no-tillage system in Latin America. Farmers that have not understood the importance of an adequate mulch cover have not yet understood the system. We aim at having at least 6 and if possible more than 10 tons of dry matter from GMCC's and cash crops per hectare per year. This way we have a good weed suppression, positive effects of mulch on soil moisture and soil temperature, and improve chemical, physical and biological soil fertility. We not only look at the amount of mulch but on distribution as well. Harvesting machines should have a well designed device to spread the mulch evenly over the whole cutting width. Machine manufacturers have seldom understood this requirement of no-tillage, the result being an uneven distribution of plant residues, with excessive mulch in the center and too little or none at the end. This results in poor performance of herbicides and seeding equipment.

Besides the limiting factors mentioned a farmer also has to learn about the influence of no-tillage on chemical, physical and biological soil properties, its impact on surface water and the environment, on yields and most important on the economics of the system. Several comprehensive publications with research results have

been published in the region since 1981, i. e. IAPAR, 1981; Derpsch, et al., 1991; Crovetto, 1996; Panigatti, et al., 1998; etc. Also the proceedings of many conferences held in Argentina, Brazil, Chile and Paraguay are available for detailed information on the performance of the system. In this respect AAPRESID in Argentina and FEBRAPDP in Brazil (the Federations of no-till farmers in both countries), have contributed strongly in the diffusion of site specific knowledge on the system and have helped greatly to spread the technology all over Latin America.

3- PRIMARY NEEDS ASSOCIATED WITH THE TECHNOLOGY'S FURTHER USE AND ADAPTATION AND CONSTRAINTS TO EXTENSIVE USE.

3.1- Crop rotations and green manure cover crops

Crop rotation and green manure cover crops (GMCC's) are an essential element in the success story of no-tillage expansion in Latin America. Only those farmers that have understood the importance of these practices are obtaining the highest economic benefits from this system. Cover crops do not cost but will pay. When practiced in monoculture or even in double cropping, i.e. when the same crop or crops are repeated on the same land each year, no-tillage is an imperfect and incomplete system, in which diseases, weeds and pests tend to increase and profits tend to decrease. Adaptive research in this area is the most important factor to make no-tillage work, that is take advantage of all the benefits of the system, reduce weed pressure and increase economic returns!

Research conducted in southern Brazil shows consistent reductions in weed infestation with crop rotations in no-tillage and conventional tillage (Table 2).

Occurrence of weeds	With rotation		Without rotation	
	NT	CT	NT	CT
Broad leaved weeds in wheat	36	24	102	167
Narrow leaved weeds in wheat	17	30	41	44
Broad leaved weeds in soybeans	4	20	15	71
NT = No-tillage, CT = Conventional tillage				

Good no-till farmers in Latin America see it as good farming practice to use GMCC's and crop rotations independently of the price situation of crops. Once farmers have discovered the benefits of these practices they don't want to miss them. Sorrenson (1984), between others, has clearly shown the economic advantages of using crop rotation and the right cover crops. While many people still think that when using GMCC's you are adding costs without getting anything back, farmers

especially in Brazil and Paraguay have learned that economics of no-tillage can be substantially increased with their use

Research conducted by Kliewer (1998) in Paraguay has shown, that crop rotation and short term GMCC's can reduce the cost of herbicides drastically to US\$ 36,62/ha in the case of *Crotalaria juncea* (52 days GMCC) and to US\$ 37,39 in the case of sunflower (57 days GMCC), as against costs of US\$ 107,66 when only herbicides and

monoculture were used. Kliewer (unpublished, 1998) also reported soybean yields after black oats of 2600 kg/ha without using any herbicides at all. Weed measurements 96 days after seeding soybeans showed 93 kg/ha of dry matter of weeds/ha after black oats, as against 7390 kg/ha after fallow. In the last case soybeans yielded not more than 780 kg/ha. Using a rotation where long and short term GMCC's or cash crops are seeded as soon as possible after harvesting the previous crop, or after rolling down GMCC's with a knife roller, it was possible not to use herbicides in no-tillage for as much as three years in a row. In some cases when farmers are using crop rotations, only eliminating weeds with a total herbicide before planting is necessary without any herbicide application during the growing season at all. If some weeds escape, the few weeds that develop can be efficiently and economically controlled by hand hoeing because labor is cheap.

Research conducted in Brazil has shown that black oats used as a green manure cover crop before soybeans can increase soybean yield by as much as 63% as compared to soybeans after wheat (Derpsch, et al., 1991).

Good knowledge about green and dry matter production and profitability of green manure cover crops, how to fit them into different crop rotations and what residual fertilizer effect we can expect of each GMCC planted before the main cash crops is essential for dissemination of their use. Several publications have contributed in filling this knowledge gap mainly in Brazil (Sorenson and Montoya, 1984; Monegat, 1991; Derpsch, 1991; Derpsch and Calegari, 1992; Calegari et al., 1992).

Lessons learned

Possibilities of reducing herbicides costs in no-tillage:

One of the most recent and fruitful lessons we have learned in the no-tillage system is that farmers should, if possible, never leave the land in fallow. In general fallow periods of only a few weeks will result in weed proliferation, seeding of weeds, reduction of soil cover, soil erosion as well as lixiviation of nutrients. If instead of leaving the land in fallow, farmers seed any crop immediately or as soon as possible after harvest of the previous crop, they will reduce weed proliferation, avoid that weeds produce viable seeds, increase soil cover and the biomass returned to the soil, increase organic matter content of the soil, avoid soil erosion as well as washing out of nutrients, and improve biological conditions of the soil. After initiating a more intense and systematic research with GMCC's in the late 1970's, a variety of crops have been identified and are now available for the use by farmers especially in Brazil and Paraguay. Some of the winter cover crops are black oats (*Avena strigosa* Schreb), rye (*Secale cereale* L.), triticale (*Triticum-coele*), oilseed radish (*Raphanus sativus* var. *Oleiferus*

Metzg), white bitter lupins (*Lupinus albus* L.), vetches (*Vicia sativa* L.), hairy vetch (*Vicia villosa* Roth), chick peas (*Lathyrus sativus* L.), sunflower (*Helianthus annuus* L.), etc. The most commonly used summer cover crops are millets (*Penisetum americanum* L., *Sorghum bicolor* L, etc), crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), lab-lab (*Dolichos lablab* L.), and even plants that up to now have been considered to be noxious weeds like *Brachiaria plantaginea* are used in the Cerrados of North-Central Brazil as cover crops in no-tillage. The Cerrados have only one growing season. Here farmers and researchers have developed production systems where cover crops are established immediately after harvest of the main crop. If cover crops die in the dry season it is not a problem as long as they have produced enough biomass. In Southern Brazil and Paraguay conditions are such, that some cash or GMCC's can be seeded at any time of the year if soil moisture is available.

GMCC's and crop rotation are the key factors for the unprecedented growth of no-tillage especially in Brazil and Paraguay. Linked to the spread of cover crops is the use of a «knife roller» to put the cover crops down to the ground. This implement is not terribly expensive and in many cases can be made locally or by the farmer himself. The implement can be pulled by medium sized tractors or by animal traction and has contributed a lot in reducing herbicide rates in the no-tillage system. The knife roller has become an essential tool for managing GMCC's in many countries of South America. Alternatively steel bars can be welded on top of the discs of disc harrows and the implement used for the same purpose.

3.2- New developments

There is great dynamic in the no-tillage system, so farmers should be prepared to learn constantly and be up to date with new developments. New, cheaper and better herbicides and machines appear continually on the market, new cover crops are introduced, new research results on fertilization, liming, varieties, management, diseases and pest control, etc., are constantly produced. We learn that no-tillage potentiates biological pest control, etc, etc. We know that we should learn from organic farmers and introduce aspects of biological farming into the no-tillage system. As new knowledge is generated every day by researchers and farmers, we have learned that we have to keep pace with new developments. We have to be humble and not think that once we have learned everything about the system, nobody can teach us anything new. There is a great challenge for every farmer in being creative to develop the system further in order to save time and labor, improve yields and economic returns, etc.

Finally we have to admit that all over the world farmers adopt technologies because they are economic and are

positive to their pockets and seldom because they are environmentally friendly. Therefore an economic evaluation of the system under the different agroecologic and socio-economic conditions is essential to have better arguments for adoption. Of course it is misleading to analyze the results of only one or two cropping seasons. Instead an evaluation of the whole system with all its components has to be made, putting value to timeliness, longer life of tractors and less repair costs in this system, improvement of soil fertility, reduced costs for fertilizers and pesticides, the environmental benefits of the system, etc. .

Thorough economic studies with a system approach have been made by Sorrenson and Montoya (1984) in Brazil and again by Sorrenson et al., (1997 and 1998) in Paraguay. The economic evaluation in 1998 in Paraguay was made on small farms of generally less than 20 ha without tractor mechanization. The study concludes that the total economic benefits arising from adoption of the no-tillage technique on 480.000 ha in Paraguay have been calculated to be US\$ 941 million (Sorrenson, 1998). The same author claims that «no other farming techniques have been shown to have such a high impact on farmers' incomes, reduce their production costs and risks, and at the same time be environmentally sustainable and generate very considerable net social gains to society»

3.3- Steps in no-tillage adoption

All too often we see that some farmers after hearing about no-tillage buy a no-tillage machine. This has led, in many cases, to failure in the application of the technology. Only after acquiring good knowledge about all the components of the system should a farmer buy a no-till planter.

There are some critical factors that should be considered before starting no-tillage. Therefore we recommend the following to farmers:

- Improve your knowledge about all aspects of the system but especially in weed control
- Analyze your soil and if necessary incorporate lime and correct nutrient deficiencies
- Avoid soils with bad drainage
- Level the soil surface if this is rough for any reason
- Eliminate soil compaction using chisel plows or subsoilers
- Produce the highest amount possible of mulch cover
- Buy a no-till machine
- Start on only 10% of your farm to gain experience

- Use crop rotations and green manure cover crop to get the full benefits of the system
- Be prepared to learn constantly and be up to date with new developments

Outlook

Knowledge and information is the main constraint to no-tillage adoption in most countries. Information has to be relevant, actual, locally appropriate, true and useful in order to generate impact among farmers.

The first step before changing to the no-tillage system should be that farmers, researchers, technicians and extensionists improve their knowledge about all aspects of the system.

The superiority of the no-tillage system over conventional tillage has generally been proven under a great variety of conditions world wide. It is necessary now, to develop and adapt the system locally and make sure that the technology works under the special environmental and socio-economic conditions of each specific site.

We need to learn which soils are not suited or have limitations for applying the system and how we can overcome those limitations.

We also need to learn what other limitations to adoption exist under local conditions (i. e. machines, herbicides, adequate crop rotations, adequate green manure cover crops, knowledge) and also be aware of socio-economic constraints and find ways to overcome those limitations.

The attitude «it doesn't work» is not helpful to solve problems in no-tillage! If we are aware of the fact that no-tillage is the only truly sustainable production system in extensive agriculture in the tropics and subtropics, than we will have to find ways to overcome the problems and limitations.

We should not be concerned with lower yields in the no-tillage system as long as we have higher profits. Erosion control, improvement of chemical, physical and biological soil conditions, lower machinery costs, reduced labor and tractor hours, timelines, higher economic returns and other benefits of the system will guarantee a steady growth of permanent no-tillage in most regions of the world.

Summary

The leading countries in the world with the biggest area under no-tillage are the USA with 19.3 million ha followed by Brazil with 11.2 million ha, Argentina with 7.3 million ha, Canada with about 4.1 million ha, Australia with 1 million ha and Paraguay with 790.000 ha of the technology being practiced by farmers. Although the biggest area under No-tillage is found in the USA, in

this country the technology is applied only on 16,3% of the total cultivated area, against 21% in Brazil, 32% in Argentina and 52% in Paraguay. In relation to the total cultivated area, Paraguay has the highest adoption rate of no-tillage in the world. Admitting that there may be many gaps in information it is estimated that no-tillage is practiced on about 45 million hectares world wide. Approximately 96% of the technology is practiced in the Americas (North and South), about 2% in Australia and only about 2% in the rest of the world, including Europe, Africa and Asia. There is a very big potential to bring this soil conserving technology to these parts of the world, although limiting socio-economic factors have to be taken into account.

The historical development of no-tillage crop production and the successful application in mechanized farms in Latin America, has been closely related to: the availability of appropriate knowledge under different agro-ecological and socio-economic conditions; the availability of a variety of efficient low-cost herbicides; the availability of appropriate machines at adequate prices; the practice of adequate crop rotations including green manure cover crops and most important, a mental change of farmers, technicians, extensionists and researchers away from soil degrading tillage operations to a truly sustainable production system in agriculture.

The practice of adequate crop rotations including green manure cover crops is probably the main factor of successful and widespread adoption of the technology in many regions of Latin America. Experience has shown that green manure cover crops do not cost, they will pay. The study of the economic implication of these practices has shown, that economic returns of no-tillage could be substantially increased by the use of crop rotations and green manure cover crops.

LITERATURE

Baker, C.J., Saxton, K.E. and Ritchie, W.R., 1996: No-tillage Seeding. Science and Practice. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, 158 pp

Calegari, A., Mondardo, A., Bulisani, E.A., Wildner, L.do P., Costa, M.B.B., Alcantara, P.B., Miyasaka, S. e Amado, T.J.C. 1992: Adubação verde no sul do Brasil, AS-PTA, Rio de Janeiro, 346 p.

Crovetto, C., 1996. Stubble over the soil. The vital role of plant residue in soil management to improve soil quality. American Society of Agronomy, 238 pp.

Derpsch, R. e Calegari, A., 1985: Guia de plantas para adubação verde de inverno. IAPAR, Londrina, Documentos 9, Maio de 1985, 96 p.

Derpsch, R., 1998: Historical review of no-tillage cultivation of crops. Proceedings, First JIRCAS Seminar on soybean research, March 5 - 6,

1998, Foz do Iguaçu, Brazil, JIRCAS Working Report N° 13, p 1 - 18. Derpsch, R., Roth, C.H., Sidiras, N. and Köpke, U., 1991. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. GTZ, Eschborn, SP 245.

Fundação ABC, 1996: Tecnologia de aplicação de defensivos. Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, Castro, PR, Brazil, 36 pp

Gazziero, D. L. P., 1998: Control of weeds in no-tillage cultivation. Proceedings, First JIRCAS Seminar on soybean research, March 5 - 6, 1998, Foz do Iguaçu, Brazil, JIRCAS Working Report N° 13, p 43 - 52

GTZ, 1998: Conserving Natural Resources and Enhancing Food Security by Adopting No-tillage. An Assessment of the Potential for Soil-conserving Production systems in Various Agro-ecological Zones of Africa. GTZ Eschborn, Tropical Ecology Support Program, TÖB publication number: TÖB F-5/e, 53 pp

IAPAR, 1981: Plantio direto no estado do Paraná. Fundação Instituto Agronomico do Paraná, Circular N° 23, 244 pp

Kelly, H. W., 1983: Keeping the land alive. Soil erosion, its causes and cures. FAO Soils Bulletin N° 50, FAO, Rome. 78 pp

Kliwer, I., Casaccia, J., Vallejos, F., 1998: Viabilidade da redução do uso de herbicidas e custos no controle de plantas daninhas nas culturas de trigo e soja no sistema de plantio direto, através do emprego de adubos verdes de curto período. Resumo de Palestras: I Seminário Nacional Sobre Manejo e Controle de Plantas Daninhas em Plantio Direto, 10 - 12. 8. 1998, Passo Fundo, RS, Editora Aldeia Norte, Passo Fundo, 120 - 123

Lorenzi, H., 1994: Manual de identificação e controle de plantas daninhas, plantio direto e convencional, 4ª edição, Editora Plantarum, Nova Odessa, Brazil, 299 pp

Monegat, C., 1991: Plantas de cobertura do solo. Características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó (SC). Ed. do Autor, 336 p.

Panigatti, J.L., Marelli, H., Buschiazzo, D., Gil, R., (Editors), 1998.; Siembra Directa. INTA - Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, 333 pp

Revista Plantio Direto, 1999 É preciso descompactar o solo?, Revista Plantio Direto - Janeiro/Fevereiro de 1999, p 16 - 19.

Rodrigues, B.N., Almeida, F.S., e 1998: Guia de herbicidas. 4ª Edição, Editora dos autores, Londrina 1998, 648 pp

Ruedell, J., 1990: Efeito do manejo do solo e da rotação de culturas sobre a população de plantas daninhas e na produtividade das culturas. In: Primeras Jornadas Nacionales de Cero Labranza. Concepcion, Sociedad de Conservacion de Suelos de Chile, p. 169-182 Sorrenson, W.J., Montoya, L.J., 1984: Implicações econômicas da erosão do solo e de práticas conservacionistas no Paraná, Brasil, IAPAR, Londrina, GTZ, Eschborn (no publicado), 231 p.

Sorrenson, W.J., López Portillo, J., Nuñez, M., 1997: Economics of No-tillage and crop rotations - policy and investment implications, FAO Report N° 97/075/ ISP-PAR, 1 October 1997,

Sorrenson, W.J., Duarte, C., López Portillo, J., 1998: Economics of No-till compared to conventional cultivation systems on small farms in Paraguay, policy and investment implications., Report Soil Conservation Project MAG - GTZ, August 1998

Warren, 1983: Technology transfer in no-tillage crop production in the third world agriculture. In: No-tillage crop production in the tropics. Proc. Symp., Monrovia, Liberia Published by Int. Plant. Prot. Center, Oregon State Univ., Corvallis, OR, 25-31.

1- QUEL EST L'OBJECTIF DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION (AC) ?

L'Agriculture de conservation vise à préserver, améliorer et utiliser plus efficacement les ressources naturelles grâce à une gestion intégrée des ressources en sols et en eau, des ressources biologiques disponibles et d'intrants extérieurs. Elle contribue à la conservation de l'environnement ainsi qu'à une production agricole plus élevée et durable. On peut également la considérer simplement comme une agriculture utilisant les ressources de manière efficace et rationnelle.

2- QUELLES SONT LES CARACTERISTIQUES DE L'AC ?

L'agriculture de conservation maintient de manière permanente une couverture végétale du sol. Celle-ci peut être constituée soit de cultures sur pied soit de paillis. Cette couverture assure une protection physique du sol contre les agressions du soleil, de la pluie et du vent, et procure la nourriture indispensable aux organismes du sol. Les micro-organismes et la faune du sol remplissent la fonction de travail de la terre et d'équilibrage des éléments nutritifs du sol. Le labour mécanique perturbe ce processus. L'absence de labour ou un labour minimum, la couverture permanente du sol ainsi que le semis direct sont donc des composantes importantes de l'AC. Une rotation variée des cultures est également importante pour éviter les problèmes liés aux maladies et aux ravageurs. Plutôt que d'incorporer la biomasse fournie par un engrais vert, des cultures de couverture ou des résidus de récolte, cette biomasse est, dans l'AC, laissée à la surface du sol. Une fois décomposée, elle sert de protection physique à la surface du sol et de substrat pour la faune du sol. De cette manière, la minéralisation est réduite et des quantités adéquates de matière organique sont développées et préservées dans le sol.

3- COMMENT FAIT-ON DE L'AC ?

Gestion des résidus de récolte: la gestion des résidus de récolte et des adventices est un élément essentiel de l'AC. Ainsi, le fauchage d'une culture de couverture ou d'un couvert d'adventices avant leur floraison ou la montée des graines, ou encore le fait de rabattre les résidus de récolte, contribuent à réduire l'impact des adventices, à accroître l'infiltration des eaux de pluie et à empêcher l'évaporation de l'eau contenue dans le sol. La couverture de résidus participe également de la protection et de la nutrition de la faune du sol, qui produit

et maintient une bonne porosité du sol.

Rotation des cultures: la rotation des cultures est nécessaire dans l'AC afin d'éviter le développement des ravageurs, des adventices ou des maladies, et afin d'assurer une exploitation systématique du sol à différentes profondeurs par les systèmes racinaires. Elle conduit aussi à une extraction plus équilibrée des éléments nutritifs puisés dans le sol par la plante.

Non-labour: l'absence totale de labour est une composante technique de l'AC mais toute personne recourant au non-labour ne pratique pas l'AC pour autant. Non seulement l'AC permet d'éviter un labour grâce à l'enfouissement des semences directement dans le sol avec à un semoir adapté, mais elle améliore également la structure du sol en maintenant une couverture. Ceci facilite le semis direct. L'AC remplace ainsi le labour conventionnel par un « labour biologique ». Dans certaines circonstances, le non-labour peut également être pratiqué comme une technique à part entière dans l'agriculture traditionnelle.

Labour de Conservation: les pratiques de labour de conservation (conservation tillage) laissent des résidus de récolte à la surface, ce qui contribue à accroître l'infiltration d'eau et à réduire l'érosion. Ces pratiques sont utilisées en agriculture traditionnelle pour réduire l'érosion sur les sols nus. Toutefois, certaines pratiques de labour de conservation comme le non-labour peuvent être des composantes de l'AC.

Semis / plantation directs: il s'agit d'une technique de semis ou de plantation sans préparation préalable d'un lit de semence. Dans l'AC, on utilise des équipements ou des outils qui placent les semences dans le sol à travers un paillis ou une couverture de résidus. Cependant, le « semis direct » proprement dit est une technique également utilisée en agriculture traditionnelle, combinant un labour primaire et secondaire avec un semis en un seul passage du tracteur.

Agriculture biologique: les pratiques utilisées dans l'agriculture biologique peuvent être des composantes de l'AC, mais l'agriculture biologique repose encore sur le labour dans de nombreux cas. Inversement, l'AC n'est pas nécessairement une agriculture biologique, bien qu'elle se base sur des processus naturels. L'AC n'interdit pas l'utilisation d'intrants chimiques. Par exemple, les herbicides peuvent constituer un élément important de l'AC, particulièrement dans la phase de transition, tant qu'un nouvel équilibre à un niveau « bas » des populations d'adventices n'est pas atteint. Cependant, compte tenu de l'importance de la vie du sol pour

le système, les intrants chimiques, y compris les engrais, sont appliqués avec précaution et leur quantité tend à diminuer au fil des ans.

4- QUELS SONT LES INCONVENIENTS DU LABOUR ?

- 1- En ce qui concerne la fertilité en général, y compris la structure du sol, les sols vierges sont généralement plus fertiles que les sols ayant subi des décennies de culture.
- 2- La nature nous montre que la croissance des plantes est possible en l'absence totale de labour - sans quoi tous les sols vierges seraient déserts.
- 3- Il est scientifiquement prouvé que les infiltrations d'eau sont plus importantes sur les sols non labourés disposant continuellement d'une couverture de matière végétale.

Explication:

L'accumulation de pailis sur un sol non perturbé apporte protection et nourriture à une vie intense du sol, ce qui donne au sol une structure stable et favorable et une quantité toujours suffisante de macropores facilitant l'infiltration de l'eau. Ce processus de labour biologique se développe en l'absence de labour mécanique, mais il est réduit, voire supprimé, par le labour mécanique.

Pourquoi l'Homme s'est-il mis à labourer ?

Les premiers gestes agricoles étaient une forme de non labour sur des terres défrichées par les techniques de fauchage et de brûlis, en utilisant en guise de semoir un bâton pour faire des trous dans lesquels étaient déposées les semences. L'agriculture devenant de plus en plus intensive, les technologies disponibles à l'époque pour la lutte contre les adventices ont conduit à adopter un labour de nettoyage pour les exploitations de grande taille.

Les effets négatifs du labour ne sont pas aussi prononcés dans les zones de climat tempéré que dans les zones tropicales. Le labour engendre une aération et par conséquent une minéralisation rapide de la matière organique dans les sols vierges. Cette extraction de la matière organique du sol libère des éléments nutritifs pour la culture suivante, quoique pour un nombre limité d'années. C'est là l'origine de la conception erronée selon laquelle le labour accroît la fertilité du sol. Une fois que les engrais minéraux ont pris le relais de la fonction fertilisante préalablement assurée par la matière organique du sol, seul un labour plus intensif permet de maintenir la structuration du sol. Cette formation mécanique de la structure du sol ne dure pas très longtemps et demande des efforts de labour sans cesse croissants. Au fil des ans, la quantité de matière organique contenue dans le sol diminue, ce qui aggrave le problème. La puissance des tracteurs requise pour l'agriculture traditionnelle a régulièrement augmenté.

Conséquences:

- Sur la plupart des sols agricoles, il est impossible de cultiver une culture sans labour en raison d'un processus général de dégradation du sol.
- Le labour des sols est considéré comme un problème purement mécanique.
- De nombreux agriculteurs et le public de manière générale ne peuvent pas imaginer comment une culture peut être cultivée sans labour.

5- L'AC EST-ELLE COMPATIBLE AVEC LA LUTTE INTEGREE CONTRE LES RAVAGEURS ?

L'AC est compatible avec la Lutte Intégrée contre les Ravageurs (IPM) et fonctionne en fait sur les mêmes principes. L'AC, comme l'IPM, favorise les processus biologiques. Elle étend les techniques de l'IPM appliquées à la gestion des cultures et des ravageurs à l'ensemble des travaux agricoles. Sans mesures de protection intégrée, le développement des organismes vivants du sol et le travail biologique du sol qui en résulte seraient impossibles.

6- QUEL EST LE ROLE DE L'AC ET ELEVAGE DANS L'AC ?

L'élevage peut être très bien intégré dans une agriculture sans labour, grâce au recyclage des éléments nutritifs. Les conséquences négatives sur l'environnement d'une production animale intensive et concentrée en sont atténuées. L'agriculteur peut introduire des plantes fourragères dans la rotation des cultures, ce qui aura pour effet d'allonger cette rotation et de réduire les problèmes de ravageurs. Les cultures fourragères peuvent souvent avoir un double emploi, pour le fourrage et pour la couverture du sol. Il faudra toutefois résoudre les conflits relatifs à l'utilisation de la biomasse - alimentation des animaux ou couverture du sol -, en particulier dans les zones arides présentant une faible production de biomasse.

7- QUE REPROCHE-T-ON COMMUNEMENT A L'AC ?

«C'est une pratique réservée aux exploitations de grande taille et mécanisées» - Aujourd'hui les technologies sont également disponibles (et utilisées) pour la pratique de l'AC sur des exploitations de petite taille recourant à la traction animale et sur de très petites exploitations utilisant des outils manuels. «**Les résidus laissés dans les champs favorisent l'apparition de maladies**» - Cela dépendra largement de l'adoption de rotations judicieuses des cultures. La monoculture dans un régime de non-labour est envisageable mais n'est pas recommandée car

tout comme la monoculture en agriculture traditionnelle, elle favorise l'apparition des ravageurs, et donc ne constitue pas une pratique durable. «**Son efficacité est limitée aux cultures céréalières**» - Le système a été adapté pour les légumes et les tubercules. Désormais, non seulement les cultures céréalières et légumineuses mais également un large éventail d'autres cultures telles que la canne à sucre, les légumes, la pomme de terre, la betterave et le manioc peuvent être incluses dans les systèmes AC. Les techniques d'AC peuvent aussi être appliquées aux cultures pérennes, par exemple aux fruits et à la vigne. «**Son efficacité est limitée à certains climats ou à certains sols**» - L'AC est pratiquée dans de nombreuses zones agro-écologiques, des climats tropicaux humides aux climats tempérés froids, et sur tout type de sol. Jusqu'à présent, les seules zones où le concept n'a pas donné de résultats satisfaisants sont les zones arides caractérisées par une extrême pénurie en eau et une faible production de biomasse. Dans ces régions, les hommes et les animaux sont en compétition avec les sols pour l'utilisation des résidus de récolte.

8- QUELS SONT LES POINTS FAIBLES DE L'AC ?

Avec l'AC, tout le monde est généralement gagnant. Ce qui ne signifie pas qu'il n'y ait pas de problèmes. Il peut ainsi s'avérer nécessaire dans l'AC de recourir à des herbicides en cas d'infestation massive d'adventices, en particulier durant la phase de transition entre l'agriculture traditionnelle et l'AC. Au cours de la phase de transition, certains ravageurs ou agents pathogènes du sol peuvent poser de nouveaux problèmes du fait de la modification de l'équilibre biologique. Une fois l'environnement stabilisé, il tend dans l'AC à être plus stable que dans l'agriculture traditionnelle. Jusqu'à présent, les ravageurs n'ont jamais posé de problèmes que l'AC n'ait pu résoudre.

9- POURQUOI NE PEUT-ON PAS FAIRE D'AC SANS COUVERTURE DU SOL ?

Seul un nombre limité de conditions pédologiques et climatiques permettent au sol de préserver lui-même sa structure. Les systèmes de non-labour tels que l'AC comptent sur les organismes vivant dans le sol pour y développer et maintenir une structure poreuse ouverte. Dans l'AC, ce travail biologique du sol remplace le labour mécanique. Les organismes vivant dans le sol sont constitués d'une faune et d'une flore macro- et microscopique, tels que les vers de terre, les insectes, les bactéries et les racines des plantes. Ces organismes doivent être nourris et protégés. La couverture du sol apporte une protection à la faune du sol et le substrat pour la nourrir. En outre la couverture du sol joue un rôle important dans la lutte contre les adventices. Une agri-

culture sans labour ni couverture du sol ne peut réussir que dans quelques cas et conduit inéluctablement à des problèmes liés aux adventices, nécessitant l'utilisation de grandes quantités d'herbicides.

10- POURQUOI NE PEUT-ON PAS FAIRE D'AC SANS ROTATION DES CULTURES ?

L'AC sans rotation des cultures pourrait être envisagée, mais elle est très difficile, en particulier dans le cas où l'usage des pesticides doit être réduit à son minimum. Toute culture répétée dans le même champ engendre avec le temps des problèmes liés aux ravageurs et aux maladies. Dans l'AC, les résidus de récolte sont laissés à la surface du sol et ne sont ni brûlés ni enterrés, et la chaîne infectieuse touchant la culture suivante ne peut être brisée qu'en laissant un temps suffisant entre des cultures identiques. De plus, les différentes cultures entrant dans la rotation ont des systèmes racinaires différents, exploitent ou développent différents niveaux du sol, et ont des besoins différents en éléments nutritifs. Les rotations permettent non seulement une diversification de la production, mais elles utilisent aussi les effets de synergie entre les différentes plantes tant au niveau de la lutte contre les ravageurs, que de la disponibilité en éléments nutritifs ou de l'environnement racinaire.

11- QU'EST CE QUI REND L'AC ATTRACTIVE ?

L'AC intéresse différents groupes de personnes pour différentes raisons:

Les agriculteurs:

Réduction du travail nécessaire, de la puissance utilisée, gain de temps.

Réduction des coûts.

Dans le cas des exploitations mécanisées: allongement de la durée de vie des tracteurs et réduction des réparations, diminution de la puissance requise et du nombre de passages, d'où une consommation réduite de carburant.

Amélioration des conditions de trafic dans les champs.

Rendements plus stables, en particulier durant les années de sécheresse

Rendements croissant graduellement tout en utilisant moins d'intrants

Profits accrus, dans certains cas dès le début, dans tous les cas après quelques années.

Communautés / Environnement / Bassins versants: Flux d'eau plus constants dans les rivières, réactivation des puits.

Eaux plus propres du fait de la diminution de l'érosion.

Diminution des inondations.

Réduction de l'impact des situations climatiques extrêmes (cyclones, sécheresse, etc.).

- Diminution des coûts pour l'entretien des routes et des cours d'eaux.
- Meilleure sécurité alimentaire.
- Au niveau mondial:

Fixation du carbone (réduction de l'effet de serre): dans certaines régions, les agriculteurs pratiquant l'AC commencent à recevoir des "subventions-carbone"; le potentiel global de l'AC, en termes de fixation du carbone et de réduction de l'utilisation d'énergie (carburant), pourrait égaler l'augmentation dans l'atmosphère du CO2 produit par l'Homme. Moins de lessivage des éléments nutritifs du sol et moins de pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques. Erosion quasiment supprimée (l'érosion est plus faible que le développement du sol). Recharge des nappes phréatiques grâce à une meilleure infiltration.

12- L'AC PEUT-ELLE ETRE UTILISEE POUR RESTAURER LES SOLS DEGRADEES ?

L'AC est basée sur les organismes vivant dans le sol. Ainsi, les sols doivent être gérés de telle sorte que la vie puisse s'y développer. Cela fait référence aux éléments nutritifs, au pH, à la matière organique et à l'humidité. Sur les sols extrêmement dégradés, certains investissements peuvent être nécessaires afin de les restaurer, par le biais de pratiques comme le décompactage, le chaulage, l'utilisation d'un engrais vert et d'engrais chimiques afin de corriger les importantes déficiences en éléments nutritifs. Les sols en AC évoluent en général favorablement, ce qui signifie que le rythme de dégradation et d'érosion est inférieur au rythme de régénération des sols. Pour cette raison, même les sols dégradés peuvent s'améliorer et devenir productifs avec ce système. Un bon exemple est celui des Cerrados au Brésil, considérés comme des terres dégradées non appropriées pour l'agriculture, et qui ont été transformées par l'AC en une zone très productive.

13- L'AC EST-ELLE UNE PRATIQUE REELLE ?

Les techniques de l'AC sont pratiquées sur environ 45 millions d'hectares, pour la plupart en Amérique du nord et du sud. Le recours à l'AC augmente de manière exponentielle sur les exploitations de petite et de grande taille en Amérique du sud, en raison des pressions économiques et environnementales. Beaucoup des agriculteurs qui pratiquent l'AC en Amérique du sud sont organisés en groupements d'agriculteurs aux niveaux régional, national et local, et sont soutenus par certaines administrations en Amérique du nord et du sud. En Europe, la Fédération Européenne de l'Agriculture Sans Labour (ECAAF) a été créée et joue le rôle de groupe de pression régional. Cet organisme rassemble les asso-

ciations nationales d'AC du Royaume-Uni, de France, d'Allemagne, d'Italie, du Portugal et d'Espagne.

Superficies* en non-labour dans différents pays (en hectares)	
PAYS	1999/2000
USA (1)	25.304.000
Brésil (2)	23.600.000
Argentine (3)	3 18.269.000
Canada (4)	12.522.000
Australie (5)	9.000.000
Paraguay (6)	1.700.000
Plaine Indo-Gangetique (7)	1.900.000
Bolivie (8)	550.000
Afrique du Sud (9)	300.000
Espagne (10)	300.000
Venezuela (11)	300.000
Uruguay (12)	263.000
France (13)	150.000
Chili (14)	120.000
Colombie (15)	102.000
Chine (16)	100.000
Autres (Estimations)	1.000.000
Total	95.480.000

*L'ensemble des données de ce tableau est tiré de : DERPSCH R. 2005. The extent of Conservation Agriculture adoption worldwide: Implications and impact. Paper presented to III World Congress on Conservation Agriculture. Nairobi, Kenya, October 2005.

14- QUELS SONT LES PROBLEMES POSES ?

Malgré ses avantages, l'AC se diffuse relativement lentement pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les pressions en faveur d'une agriculture sans labour sont plus fortes sous les climats tropicaux que sous les climats tempérés. L'AC est ainsi populaire en Amérique latine. Il a fallu du temps pour en arriver là, mais au cours des 20 dernières années le développement des connaissances locales a permis cette dissémination. Dans certains états du Brésil, l'AC constitue une orientation politique officielle, et au Costa Rica le Ministère de l'agriculture comporte un Département pour l'agriculture sans labour - dans ces cas-là, les décideurs politiques ont donc été convaincus. L'adoption de l'AC aux Etats-Unis a probablement été due à un mélange de pressions du public pour lutter contre l'érosion et de mesures d'incitation financières en faveur d'un labour réduit. L'Europe se

réveille lentement; les agriculteurs ne ressentent pas encore suffisamment de pression et les indicateurs environnementaux (érosion, inondations) ne sont pas encore suffisamment pris au sérieux.

L'AC a un fort potentiel en Afrique en raison de sa capacité à contrôler l'érosion, à donner des rendements plus stables et à réduire le travail nécessaire. Il existe un certain nombre d'initiatives en cours visant à promouvoir des pratiques différentes, du labour de conservation à l'AC. Cependant, des problèmes significatifs persistent. Une autre vaste région dans laquelle l'adoption de l'AC serait extrêmement bénéfique est l'Asie centrale. Dans les pays de l'ex-URSS, l'agriculture traditionnelle connaît de graves difficultés à cause de problèmes environnementaux et à cause du manque de machines agricoles, qui doivent être remplacées. A moins que l'AC ne soit adoptée, l'investissement dans de nouvelles machines devra être très important.

Le passage à l'AC requiert de meilleures compétences de gestion. Les premières années pourraient s'avérer très difficiles pour les agriculteurs, et ceux-ci pourraient donc nécessiter un appui moral - de la part des autres agriculteurs ou des services de vulgarisation - voire même un appui financier afin d'investir dans de nouveaux équipements, par exemple du matériel pour le semis direct sans labour. Souvent, les technologies nécessaires ne sont pas disponibles: afin de se lancer dans l'AC, l'agriculteur a au minimum besoin de semoirs adaptés, qui peuvent ne pas être disponibles localement. Peu d'agriculteurs prennent le risque d'acheter de nouvelles machines sans en connaître le fonctionnement ou sans même les avoir vues. Les vendeurs de machines agricoles ne sont pas enclins à faire la promotion de l'AC tant qu'il n'existe pas d'appui au niveau de la vulgarisation, car l'adoption massive de l'AC réduira la vente de machines, en particulier des gros tracteurs et des équipements de labour.

15- POURQUOI L'AC N'EST-ELLE PAS ENCORE LARGEMENT RECONNUE ET PRATIQUÉE ?

Il n'y a pas de réponse simple à cette question; cela dépend des circonstances spécifiques. Dans de nombreux cas, le système de l'AC et ses avantages ne sont pas bien connus; la culture du labour est si profondément enracinée que les personnes ont des difficultés à prendre l'AC au sérieux, tant qu'elles ne voient pas d'exemples concluants. Dans les régions tempérées, les conditions climatiques autorisent une agriculture traditionnelle sans provoquer de désastres en termes d'érosion, contrairement à ce qu'on rencontre sous des climats tropicaux. La pression environnementale n'est pas encore assez forte pour que les agriculteurs repensent leurs systèmes de production, et les orientations politiques agricoles

aux niveaux national et régional sont souvent partiales à l'égard de certaines pratiques inhérentes à l'AC - comme les rotations rationnelles des cultures. En sus de ces facteurs, qui résultent d'un manque de connaissances et de prise de conscience, il existe aussi une résistance face à l'AC de la part de groupements ayant des objectifs ou des intérêts divergents, comme par exemple les sociétés commerciales vivant principalement de technologies qui pourraient devenir obsolètes en cas d'adoption massive de l'AC.

16- QUEL EST LE ROLE JOUE PAR LES OGM DANS L'AC ?

Les bienfaits ou les dangers possibles liés aux organismes génétiquement modifiés (OGM) constituent une question distincte, sans relation directe avec l'AC. Comme dans l'agriculture traditionnelle, certains agriculteurs pratiquant l'AC y ont recours; d'autres pas. Certains croient que l'AC est dépendante des variétés résistantes aux herbicides, ce qui est faux. Dans la plupart des cas, l'AC est pratiquée sans variétés résistantes aux herbicides. En fait, si le problème des adventices est géré par le biais d'une rotation judicieuse des cultures et d'une gestion des cultures de couverture, les variétés résistantes aux herbicides ne procurent pas d'avantage supplémentaire par rapport aux autres variétés. Ainsi, de nombreux agriculteurs les considèrent comme superflues et même potentiellement dangereuses dans un système d'AC convenablement établi, puisqu'elles risquent de favoriser une utilisation excessive d'herbicides, avec les dommages qui en découlent pour les organismes vivant dans le sol et la possible génération d'adventices résistantes aux herbicides.

17- QUELLES SONT LES ACTIONS DE LA FAO EN MATIERE D'AC ?

En raison de ses liens étroits avec la sécurité alimentaire, la biodiversité, les ressources en terres et en eau, la fixation du carbone et le développement durable, l'AC représente une opportunité de premier ordre pour la mise en œuvre de conventions internationales telles que la Convention sur le développement durable (CSD), la Convention des Nations-Unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD), la Convention des Nations-Unies sur la biodiversité (UNCBD) et la Convention cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques (UNFCCC). La FAO diffuse le concept de l'AC depuis plus de quinze ans, en particulier en Amérique latine. Devant le succès rencontré en Amérique latine, la FAO a étendu le programme à d'autres régions telles que l'Afrique et l'Asie centrale. L'AC fait l'objet d'un projet interdisciplinaire au sein du Département de l'Agriculture de la FAO.