

## Protection des sols en culture mécanisée

Ouézou Yaovi Azouma

L'introduction de l'énergie animale et des moteurs dans l'agriculture a permis de réduire la pénibilité des travaux, d'augmenter les superficies cultivées, d'accroître la productivité du travail et le rendement des cultures et de stimuler la production des fermes d'élevage [1-3]. Des progrès remarquables réalisés en mécanisation agricole ont amené les pays techniquement moins avancés à s'équiper en matériels plus performants. Cependant, les méthodes intensives de production agricole peuvent engendrer l'émiettement excessif ou le tassement et la compaction des sols, l'érosion, le ruissellement et l'appauvrissement des terres, le déficit ou l'excès d'eau, préjudiciables à un développement agricole durable [4-9]. Dans cette étude, nous faisons le point sur les effets de l'utilisation abusive et/ou inappropriée des matériels et engins dans les exploitations agricoles afin de réorienter les techniques paysannes mécanisées vers une meilleure protection des sols et de l'environnement en améliorant les méthodes culturales favorisant la conservation de la fertilité des terres et la durabilité des systèmes de production.

O.Y. Azouma : Université du Bénin, École supérieure d'agronomie, Département de génie rural et machinisme agricole, BP 1515 Lomé, Togo.

Tirés à part : O.Y. Azouma

### Travail du sol

« Travailler le sol, c'est lui faire subir des contraintes momentanées à l'aide d'outils appropriés [10]. »

Le rôle essentiel du travail du sol est d'obtenir un état structural permettant une bonne germination et un développement racinaire indispensable à une bonne alimentation de la plante. Il vise les objectifs suivants : l'enfouissement des débris végétaux et des résidus superficiels, l'ameublissement de la couche arable, le réchauffement, la formation du lit de semence, la répartition de la terre fine et des mottes, le nivellement, la correction de l'excès de porosité, l'ameublissement au-dessous de la zone labourée, la maîtrise de la propagation des mauvaises herbes, des parasites et des maladies, l'incorporation des amendements et des fertilisants [11-13].

Les outils et machines fonctionnent à partir de sollicitations simples : compression, cisaillement, frottement ou choc [12, 14]. Les outils agissent sur le sol par fendillement (charrues, dents de chisels et de cultivateurs), sectionnement (cultivateur rotatif, machine à bêcher, charrues, outils à disques), cisaillement (hermes rotatives, hermes alternatives), frottement (tous les outils), écrasement (rouleaux, pneumatiques), déplacement latéral (tous les outils à dents), déplacement vertical (hermes, cultivateurs, vibroculteurs), projection (cultivateurs rotatifs), retournement (charrues) [11, 14].

### Effets des matériels tractés et engins sur le sol et les plantes

En cultures attelée et motorisée, les divers types d'outils correspondent à différents modes d'action.

#### Charrue à soc

Le labour consiste à découper une bande de terre à une profondeur de 15 à 35 cm et à la retourner. La charrue ne doit pas être utilisée lorsque le sol est trop sec (obtention de grosses mottes et terre fine en trop grande quantité) ou trop humide (risque de lissage et compactage de grosses mottes, difficiles à réduire). Le choix des pièces travaillantes, leurs réglages et la vitesse de travail ont une influence importante sur la forme des labours. Il convient d'éviter les labours irréguliers ou grossiers difficiles ensuite à niveler, les bandes de terre compactées ou lissées qui peuvent parfois se révéler difficiles à ameublir ultérieurement, les bandes de terre insuffisamment retournées qui favorisent la levée rapide des mauvaises herbes, les labours très profonds qui remontent en surface la terre du sous-sol, dépourvue d'humus [11, 15, 16].

Les versoirs courts des charrues agissent de façon brutale, ce qui a pour effet de provoquer un émiettement important de la terre en condition sèche. En revanche, les versoirs longs ou « allongés » permettent d'atténuer l'émiettement qu'entraîne

une vitesse de travail accrue [11]. Le labour répété à la charrue à soc, à la même profondeur, crée une couche de sol imperméable et résistante : la semelle de labour [15, 17]. L'angle de coupe du soc, l'angle moyen du versoir, l'angle du bord supérieur du versoir et l'angle de montée de terre influencent l'émiettement de la terre : plus leur valeur est grande plus l'émiettement sera poussé, en conditions sèches [11].

À M'Bissiri, au nord Cameroun, sur un sol ferrugineux tropical sableux avec 1 000 à 1 500 mm de pluie par an, le labour motorisé a produit en 2 ans une dégradation du sol obtenue après une période plus longue sur les parcelles ayant connu des interventions manuelles. Cette situation résulte de la suppression, dès la première année, de toute la charpente racinaire des ligneux, surtout des herbes annuelles avec des pressions importantes des machines sur le sol [18]. Pour les terres particulièrement collantes, il est approprié d'utiliser des versoirs à claires-voies (figure 1) [7, 11, 15].

## Charrue à disque

Le principe d'action de la charrue à disques permet de travailler en conditions difficiles (terres dures, sèches, collantes, tourbeuses, pierreuses ou avec souches et racines où la charrue à socs ne pénétrerait pas), mais la quantité de terre fine produite est très importante [15, 19]. Leur utilisation est à proscrire en terre sèche et meuble, surtout si la structure du sol est fragile et lente à se reconstituer car l'émiettement du sol est excessif [15], ou lorsque la préparation du sol par retournement incomplet de la terre peut engendrer l'envahissement des semis par les mauvaises herbes et favoriser la propagation des rhizomes [19]. Comme la charrue à disque retourne moins bien le sol et enfouit incomplètement les résidus végétaux de surface, elle

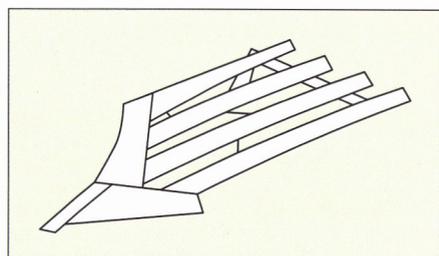


Figure 1. Versoir à claires-voies [11].

Figure 1. Slatted plough mouldboard.

crée une sorte de paillis qui constitue un facteur de résistance à l'érosion. De même, cet outil ne remonte pas en surface les couches profondes souvent stériles en zones tropicales et ne crée pas de semelle de labour ni de lissage du fond de raie (fond de raie ondulé), ce qui est favorable à la bonne croissance des plantes [15, 17]. Toutefois, lorsque le labour conduit à la destruction des arbres, arbustes et racines, il favorise l'érosion [4, 20].

## Pulvériseur à disques

Le pulvériseur à disques est utilisé en déchaumage et peut être employé pour la préparation du lit de semences sans labour, ou éventuellement en reprise de labour motteux et sec pour réduire les mottes dures. Le déchaumage ameublisse superficiellement le sol, le nettoie, aide à la conservation de l'humidité et facilite les labours ultérieurs. Un déchaumage, pour être complet, exige deux passages croisés. Les pulvérisateurs offset ou *cover-crop* (figure 2) sont préférables aux autres car ils mélangent mieux les résidus de récolte à la terre.

Utilisées à vitesse limitée (moins de 6 km/h), les déchaumeuses à disques peuvent aider à la lutte contre l'érosion éolienne en maintenant en surface une certaine couverture végétale protectrice [15]. Les disques crénelés pénètrent mieux dans le sol et assurent un découpage plus efficace des végétaux et pailles. Les pulvérisateurs offset travaillent la terre à deux reprises [11]. L'action brutale des pulvérisateurs à disques, liée à leur grande vitesse et à l'usage abusif sur sol sec ou légèrement humide, provoque un émiettement excessif [7, 16]. En zone tropicale, il faudrait éviter d'utiliser ce type d'outil qui facilite doublement l'érosion,

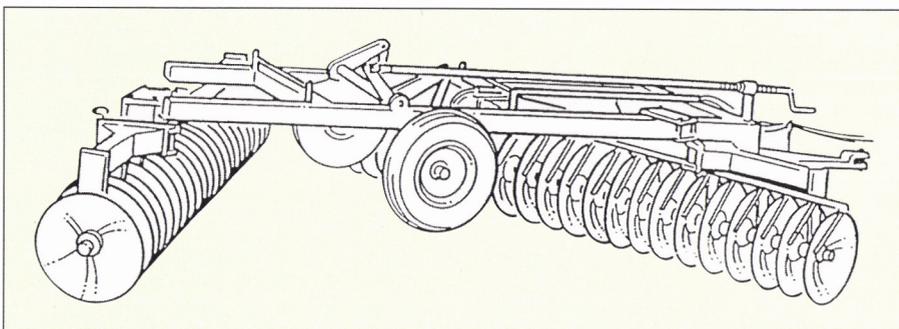


Figure 2. Pulvériseur offset [11].

Figure 2. Offset disc harrow.

par émiettement poussé de la partie superficielle du sol et par formation d'une semelle compacte à faible profondeur [13].

## Cultivateurs à dents

Canadien, déchaumeuse à dents et vibroculteur, ces outils sont utilisés pour le déchaumage, les reprises en profondeur, les reprises superficielles et la préparation des lits de semences. Leur action provoque, en terre ressuyée, un éclatement des mottes friables et volumineuses, un ameublissement du sol sur une largeur de 8 à 15 cm autour de chaque dent et sur une profondeur de 5 à 15 cm. En terre meuble, on obtient une couche de terre très aérée, une action de triage (mottes en surface, terre fine au fond), la destruction des plantes adventices, une remontée des éléments durs et de grande taille enfouis dans le sol (pierres, mottes durcies) ainsi que le mélange de la terre avec les débris végétaux [11, 19]. Pour le déchaumage, l'utilisation de socs larges, vrillés ou bombés (figure 3), permet d'obtenir un mélange satisfaisant entre la paille et la couche de terre. Le « rebondissement » des mottes devant les dents, peut faciliter leur réduction et améliorer l'action de mélange. En conditions trop humides, les socs de formes classiques remontent parfois des « lards », risquant de sécher et durcir en surface par la suite, ce qui réduit fortement l'infiltration de l'eau dans le sol et peut générer l'érosion hydrique [11]. La forme des socs billonneurs donne un billonnage permettant, en terre argileuse, d'accélérer l'action du climat. Les vibroculteurs (ou « cultivateurs danois » ou « cultivateurs herses ») (figure 4) ont des dents animées de vibrations longitudinales et latérales qui remuent énergiquement les agrégats

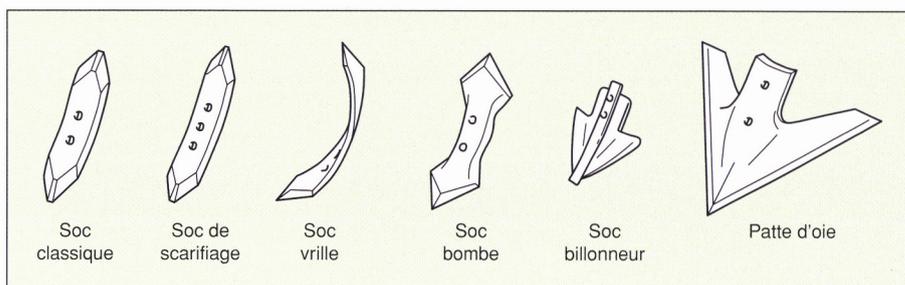


Figure 3. Différents types de socs utilisés sur les cultivateurs à dents [11].

Figure 3. Different types of shares on tined cultivators.

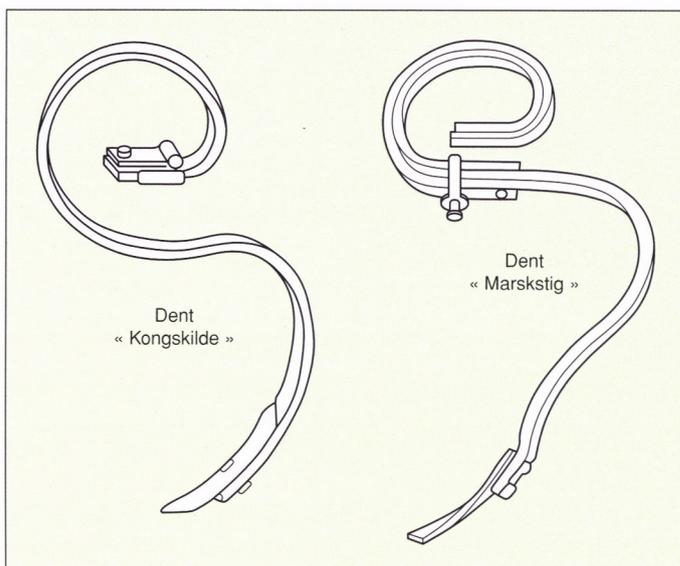


Figure 4. Dents de vibroculteurs [11].

Figure 4. Tines from spring tined cultivators.

du sol, combinant, selon la nature du sol et la vitesse d'avancement, des effets de chocs, d'écrasement, de cisaillement [11].

## Chisels

Ces outils ont été développés aux États-Unis durant les années 50 afin de permettre, dans certaines zones semi-arides soumises à forte érosion éolienne, une préparation des sols sans retournement complet de la terre et sans enfouissement systématique de tous les débris végétaux encore en surface. En France, ils sont couramment employés en déchaumage à la place des pulvérisateurs à disques pour éviter l'excès de terre fine en surface. Ils peuvent être utilisés pour le travail du sol non labouré (pseudo-labour) assez compacté, ou en reprise de labour [11, 19]. Le chisel est moins efficace que la charrue pour lutter contre les mauvaises herbes, en particulier le chiendent [15].

## Bineuses

Les bineuses sont efficaces pour ameublir le sol en surface ou rompre sa croûte superficielle de manière à l'aérer. Le binage permet de réduire l'évaporation de l'eau et facilite la pénétration des pluies de faible intensité [11, 19]. Néanmoins, il faudrait éviter de biner et de sarcler en temps de pluies intenses pour permettre au sol de mieux résister à l'érosion [17].

## Décompacteurs

Le décompactage consiste à tenter de corriger les dégradations de structures dues à des semelles de travail d'outils, à un tassement excessif (roues de tracteurs) ou à une évolution défavorable de la structure du sol due à une reprise en masse ou à une sécheresse. Les décompacteurs équipés de grandes dents en forme de lame exercent des pressions importantes sur le

sol. Les lames étançons obliques ou galbées sont déconseillées pour le travail dans une terre semi-plastique, en raison du risque de création de zones lissées (effet de décompactage faible ou nul dans ces conditions) [11].

## Sous-soleuses

Comme le décompactage, le sous-solage améliore la porosité naturelle du sous-sol, au-dessous de la profondeur habituelle du labour ; il vise à faciliter la pénétration des racines, le renouvellement de l'atmosphère du sol et la circulation de l'eau. En présence de dépôts ferrugineux, il permet de défoncer la couche d'accumulation. Le sous-solage est surtout efficace en conditions sèches (profondeur d'exécution : 0,40 à 1 m). Tous les sous-sols ne réagissent pas favorablement à un passage de sous-soleuse, cette opération ne devant être pratiquée que lorsque l'observation du profil cultural du sol a révélé sa nécessité. Il faut alors la réaliser en conditions sèches et à une profondeur telle que la pointe du corps sous-soleur passe à 10 cm sous la zone tassée, le non-respect de ces règles pouvant conduire à des échecs [11, 12]. La sous-soleuse rotative améliore la rétention de l'eau et sert accessoirement à réduire les résidus de récolte [15].

## Herses

Ce sont des outils à dents de formes très variées (figure 5) et très rapprochées (3-7 cm) qui servent à préparer le lit de semis (profondeur de travail : 5-10 cm). La herse permet d'émietter les mottes superficielles et de niveler le terrain ; elle aère le sol et accélère son réchauffement, tout en brisant la croûte superficielle et en ameublissant la couche superficielle du sol [11, 15]. L'action de la herse s'accompagne d'un triage des agrégats (terre fine et mottes), ce qui diminue la porosité globale et par conséquent la vitesse d'infiltration. Les dents incurvées sont employées surtout sur les sols à bonne résistance structurale. Tractées dans le sens de la courbe, elles éclatent les mottes tandis que, tractées en sens inverse, elles tassent et trient les mottes de terre fine [11].

Les dents en cuillère (forme évasée) conviennent surtout pour la reprise des croûtes de battance, mais ne doivent pas être utilisées pour travailler les terres argileuses humides car elles risquent d'y découper des « lards » ou d'y créer des semelles superficielles [11].

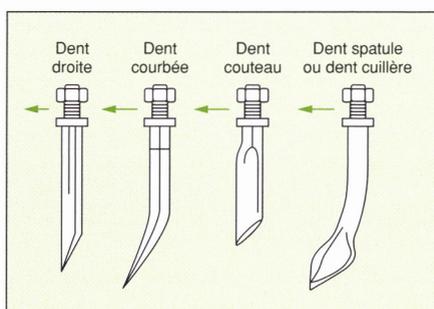


Figure 5. Différents profils de dents rigides de herse [11].

Figure 5. Various tine shapes for rigid tined harrows.

## Rouleaux

Par leur poids, les rouleaux (figure 6) tassent le sol en surface et au niveau des couches superficielles. Leur action (effet plombage ou rappuyage) réduit la porosité du sol, tout en provoquant un ameublissement des couches superficielles par écrasement des mottes. Le nivellement obtenu facilite la mise en place régulière des semences et des plants [11, 12, 15]. Ces outils ne doivent jamais être utilisés en terrain trop humide ou plastique (action nulle ou nocive). Ils ne sont efficaces que dans un sol à l'état friable ou dur. En sols limoneux, les rouleaux lisses produisent trop de terre fine en surface, la surface du sol devient trop unie et trop lisse, accentuant ainsi les risques de formation d'une croûte de battance qui favorise le ruissellement de l'eau de pluie et l'érosion. Dans les régions où il souffle des vents violents, la surface devient ainsi sensible à l'érosion éolienne [11].

## Effets des tracteurs et des engins motorisés

La praticabilité d'un sol traduit son aptitude à accepter le passage des engins et l'action des outils (tracteurs, outils de travail du sol, pulvérisateurs, automoteurs de récolte, bennes, etc.) [11]. Le transfert de technologie Nord-Sud a entraîné depuis 1950 la promotion souvent anarchique et irraisonnée du tracteur agricole, dont l'introduction massive dans les régions d'Afrique sub-saharienne s'est révélée globalement inadaptée et néfaste [16]. L'érosion du sol peut être plus forte en agriculture motorisée qu'en culture

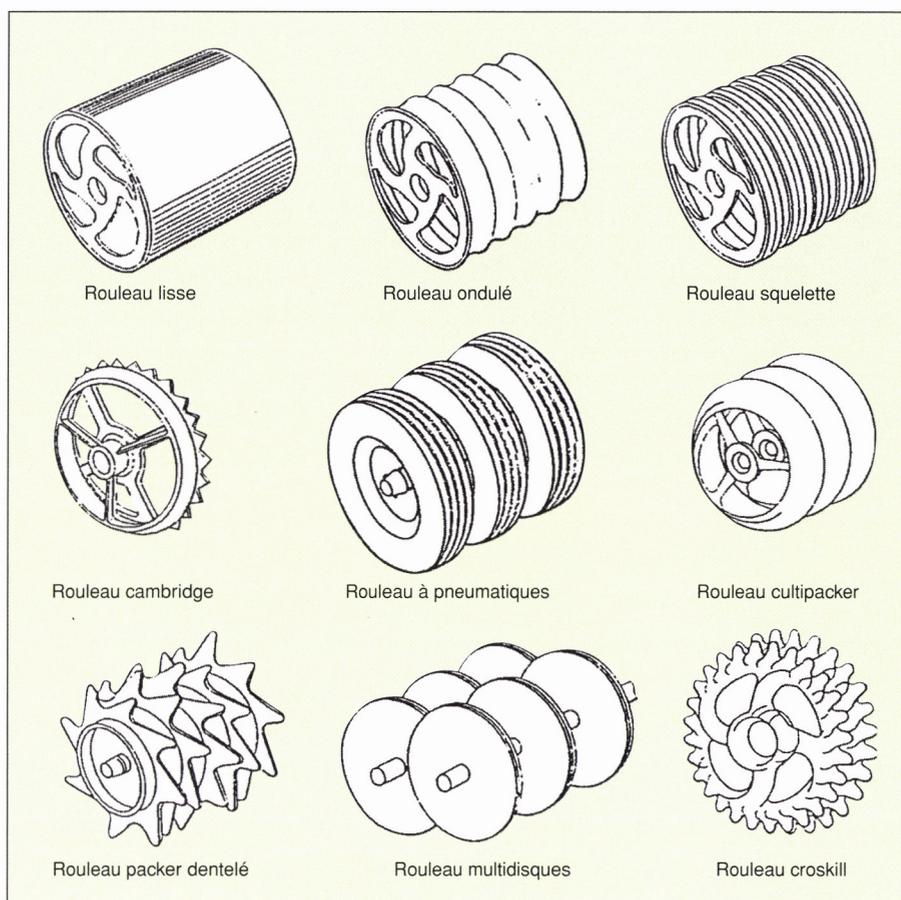


Figure 6. Différents types de rouleaux [11].

Figure 6. Different types of roller and compaction implements.

manuelle ou attelée, parce que les actions mécaniques exercées sur le sol sont plus rapides, peuvent être plus fréquentes et intéressent souvent des superficies importantes. Les travaux de préparation du sol effectués en sec exigent des efforts de traction très élevés, de 2 à 5 fois supérieurs [15]. En conditions de sol sensible au tassement, on doit privilégier les équipements utilisant des pneus de grande largeur (ou des jumelages), avec une pression au sol la plus faible possible, ainsi que l'emploi d'outils demandant un faible effort. Le compactage peut être également causé par le passage des roues de tracteur au fond des raies de labour. Lorsque la consistance du sol est défavorable, les risques de dégradation sont particulièrement importants [11] en cas d'utilisation d'équipements lourds ou d'efforts de traction élevés. Dans la pratique, la consistance du sol est appréciée par prélèvement sur les parcelles de quelques mottes de terre qu'on essaye d'émietter avec les doigts. Ceci permet

d'apprécier si le sol est dur, friable, semi-plastique ou plastique.

En 1949, la Compagnie générale des oléagineux tropicaux (société d'économie mixte) commença à défricher la forêt casamançaise et à planter l'arachide sur les vastes étendues du plateau de Séfa près de Sodhiou (Sénégal). Au bout de 5 ans, le matériel lourd utilisé a mis le sol (ferralitique et ferrugineux) dans un état si alarmant qu'il a fallu adopter une série de mesures anti-érosives : abandon des parcelles de pente supérieure à 2 % ; aménagement en courbe de niveau dès que la pente atteint 0,5 % [21].

La Société industrielle d'agriculture et d'élevage de Boumango (SIAEB) au Gabon, créée en 1976, exploite 2 200 hectares, cultivés en pluvial, chaque année agricole, d'abord en maïs (1<sup>er</sup> cycle) puis en soja (2<sup>e</sup> cycle). Le nombre élevé de passage (plus de vingt par an dont la moitié en sol humide) d'engins à pneus étroits, gonflés à 2,7-3,5 bars et à carcasse souvent rigide, a progressivement conduit

## Summary

### Soil protection under mechanized farming systems

O.Y. Azouma

*The improper use of tools in mechanized farming systems (animal traction and motorization) leads to excessive soil crumbling, compaction and erosion. This paper examines the role and objectives of soil tillage, the principal functions of farming tools, and the effects of equipment and tractors on soils and plants (Figures 1 to 7).*

*Recommendations (Box 1) concerning good mechanized farming practices and training farmers on soil and water conservation for sustainable agriculture are presented.*

*Unless strong countermeasures are taken, various phenomena inherent to the unauthorized or inappropriate use of draught or motorized farming equipment can be very detrimental to sustainable agriculture, especially in Africa. In mechanized farming systems, this means adopting and complying with a number of principles and rules. In particular, for agriculture to be sustainable:*

*– Information extension and training must be provided on: (a) the effects of stress from a combination of land slope and gravity, downpours, wind speed, etc., on both tilled and untilled soil; (b) soil resistance, which involves coherence (texture, structure, water status, root spread), stability (organic matter, pH) and state of the ground surface (plant cover, mulch, ruggedness); and (c) the importance of the soil profile on farm plots.*

*– Only tools whose effects are fully understood or sometimes special tools (e.g. coulter used in draught farming to facilitate infiltration of the crucial first rain in arid and semiarid regions) should be used (Figures 1 and 7).*

*– Tractors and machines are to be used as little as possible and should be equipped with low pressure tyres.*

*– Ploughing at the same depth over several successive agricultural seasons is to be avoided, and tillage should be minimized or completely avoided if possible.*

*– Subsoiling should be done after every 3-5 years of land use in order to decrease the plough pan. Moreover, sustainable cropping methods should be adopted to maintain soil fertility, ensure good water management, and provide protection against soil degradation (erosion, structural breakdown).*

*– Cropping system models should be designed specifically for the different agro-pedo-climatic zones, and a code on agricultural material use and importation should be drawn up.*

*Table 1 provides information of use to the farmers who want farming operations to be carried out under suitable conditions at minimal risk.*

*Cahiers Agricultures 1999 ; 8 : 189-95.*

à la compaction généralisée des sols puis à l'éclatement et à la déstructuration des agrégats naturels. Ce phénomène a engendré l'érosion des sols ferrallitiques jeunes, argileux à horizon humifère sombre et épais d'environ 40 cm [7].

Sur les parcelles du Centre de formation professionnelle agricole (CFPA) de Karoual au Tchad, la culture motorisée a entraîné l'érosion éolienne et hydrique des sols ferrugineux [20].

Ces trois exemples soulignent que l'utilisation abusive des charrues à disques et des pulvérisateurs à disques, puis le non-respect des mesures de conservation des eaux et des sols, ont favorisé la dégradation des terres.

De 1971 à 1976 le programme de défrichement au bulldozer des parcelles de paysans (environ 4 000 ha) au nord et nord-ouest de la Côte d'Ivoire par la Compagnie ivoirienne pour le développement des textiles (CIDT) a engendré une érosion rapide [22]. La modification des propriétés géomécaniques des zones compactées aggrave les difficultés de travail du sol et peut contribuer à une limitation de l'exploitation du sol par les racines [23, 24].

Les tracteurs forestiers puissants (100 à 120 cv) et souvent lourds tassent, compactent le sol, ce qui nuit à la vie des arbres par le ralentissement plus ou moins accentué du cycle biologique, une réduction de l'activité racinaire, une mauvaise aération, un ralentissement de l'activité métabolique des racelles et des micro-organismes associés, des difficultés de germination des graines qui tombent sur la surface du sol, etc. [25].

Les tracteurs employés pour la reprise des labours sont équipés de pneumatiques conçus principalement pour le labour et souvent mal adaptés à une utilisation sur sol ameubli de sorte que leurs passages laissent des ornières profondes. Une pression maximale de contact de l'ordre de 0,5 bar (50 KPa) éviterait tout tassement néfaste dans la grande majorité des situations agricoles [26].

## Conclusion

L'utilisation abusive et/ou inappropriée de matériels et engins dans les exploi-

tations agricoles engendre l'émiettement excessif, la compaction, l'érosion des sols, le ruissellement et le déficit ou l'excès de l'eau, avec pour conséquences immédiates ou à terme l'appauvrissement des terres, la baisse du rendement des cultures et la dégradation de l'environnement. Cette situation ne peut assurer une agriculture durable si les stratégies de mécanisation, surtout en Afrique, n'intègrent pas les mesures indispensables suivantes : la bonne connaissance (rôle, réglages et inconvénients sur les sols et les plantes) du matériel agricole tracté (motorisé et à traction animale) par les agriculteurs et les conducteurs des machines, la mise au point de méthodes culturales durables en fonction de zones pédo-climatiques, la réglementation de l'importation et de l'utilisation du matériel agricole (encadré).

Pour ce faire, l'État dans chaque pays devrait promouvoir des programmes de recherche et de formation sur la conservation des eaux et des sols dans les exploitations mécanisées ■

## Recommandations relatives à la bonne pratique de la culture mécanisée

Les différents phénomènes inhérents à l'utilisation abusive ou inappropriée du matériel de cultures attelée et motorisée peuvent constituer un sérieux handicap pour une agriculture durable, surtout en Afrique, si des mesures énergiques ne sont pas prises. À cet effet, l'adoption et le respect d'un certain nombre de principes ou règles dans la pratique de la culture mécanisée s'imposent notamment :

- la vulgarisation des connaissances par la formation sur les conséquences des facteurs agressifs pour le sol travaillé ou non travaillé (combinaison pente et gravité, pluie battante, vitesse du vent, etc.), les facteurs résistants du sol : cohésion (texture, structure, état hydrique, chevelu racinaire), stabilité (matière organique, pH) et l'état de surface (couvert végétal, paillis, rugosité, etc.), l'examen du profil cultural des parcelles exploitées ;
- l'utilisation exclusive des outils dont on connaît bien le mode d'action et au besoin l'emploi d'outils spéciaux (comme le coutrier, utilisé en culture attelée et permettant une meilleure infiltration des premières pluies indispensables en régions semi-arides et arides) (figure 7) ;
- la réduction au strict minimum des passages dans les exploitations de tracteurs et engins, lesquels doivent être équipés de pneus à faible ou basse pression ;
- la suppression du labour à la même profondeur effectué successivement pendant plusieurs campagnes agricoles ;
- l'adoption, dans la mesure du possible, d'un travail minimum du sol ou de l'absence de travail du sol ;
- la pratique du sous-solage tous les 3 ou 5 ans d'exploitation pour réduire les semelles de labour ;
- l'adoption d'une méthode culturale durable en vue de la conservation de la fertilité, de la gestion de l'eau, de la protection contre la dégradation des sols (érosion, destruction de la structure) ;
- la conception de modèles de système cultural en fonction des différentes zones agro-pédo-climatiques ;
- l'élaboration d'un code réglementant l'usage du matériel agricole et son importation.

Le **tableau** récapitule les modalités de travail du sol permettant de choisir les opérations culturales dans de bonnes conditions avec le moins de risques possibles.

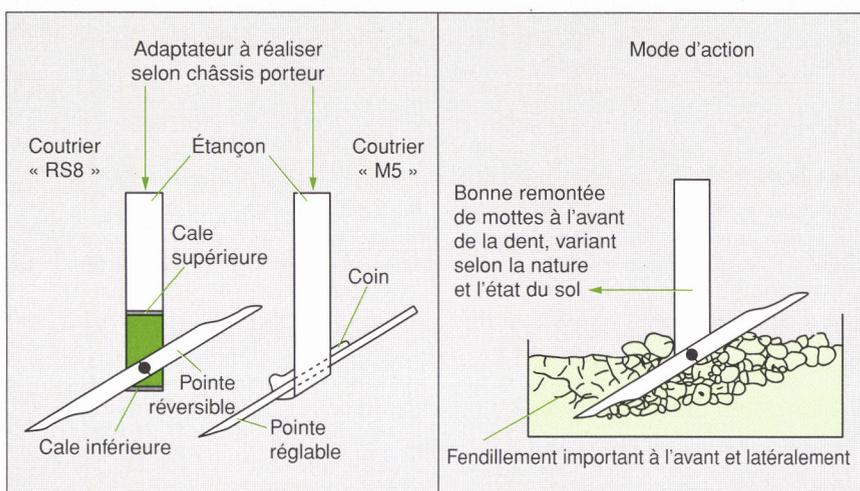


Figure 7. Modèles de coutrier et mode d'action [27].

Figure 7. Coulter types and operating methods.

### Recommandations concerning good mechanized farming practices

## Références

1. Holtkamp R. *Les petits tracteurs à quatre roues pour régions tropicales et sub-tropicales : leur rôle dans le développement agricole et industriel*. Eschborn : GTZ, CTA, 1991 ; 253 p.
2. Anonyme. *Men, Machines and Land*. Chicago : Farm and Industrial Equipment Institute, 1974 ; 73 p.
3. FAO. *Investissements agricoles. Évolutions et perspectives*. WFS 96/TECH/3, Projet d'étude. Rome : FAO, 1995 ; 45 p.
4. Hagmann J, Murwira K. *Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le sud du Zimbabwe : évolution historique et développements dus à la recherche participative et vulgarisation*. Dossier n° 63. Zimbabwe : IIED, Programme Zones Arides, 1996 ; 27 p.
5. Roose E. *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Bull pédol FAO n° 70. Rome : FAO, 1994 ; 420 p.
6. Pieri C. *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara*. Paris : ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, 1989 ; 444 p.
7. Brouwers M. *Gestion des terres pour une agriculture intensive durable dans le Sud-Gabon*. Montpellier : CIRAD-CA, URFCM, PCI, CAS, 1994 ; 10 p., 9 annexes.
8. Anonyme. *La dégradation des terres dans 14 secteurs DRDR du Togo*. Lomé : Projet PNUD/FAO/TOG/89/001, ministère du Développement rural/Institut National des Sols, 1991 ; 463 p.
9. Azouma YO, Le Thiec G. *Rapport d'activités de recherche effectuées au Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le développement. Département des Systèmes Agroalimentaires et Ruraux (CIRAD-SAR), Montpellier*. Lomé : Université du Bénin, Direction de la Recherche Scientifique, 1995 ; 17 p.
10. GRET, CTA, ITDG, ministère français de la Coopération. *Matériels pour l'agriculture : 1 500 références pour l'équipement des petites et moyennes exploitations*. Saint-Étienne : Impressions Dumas, 1994 ; 302 p.
11. Billot JF, Aubineau M, Autelet R, et al. *Les matériels de travail du sol, semis et plantation*. Paris : CEMAGREF/ITCF/TEC & DOC, 1993 ; 384 p.
12. Dalleine E. *Les façons en travail du sol*. Antony : CNEEMA, 1980 ; 364 p.
13. Seguy L. *Contributions à l'étude et à la mise aux point des systèmes de cultures en milieu réel : petit guide d'initiation à la méthode de « création-diffusion » de technologies en milieu réel - résumés de quelques exemples significatifs d'application*. Montpellier : CIRAD-CA, 1994 ; 191 p.
14. Barthelemy P, Boisgontier D, Lajoux P. *Choisir les outils de travail du sol*. Paris : ITCF, 1987 ; 197 p.
15. CEEMAT. *Manuel de motorisation des cultures tropicales*. Techniques rurales en Afrique, tome 1. Paris : ministère français de la Coopération, 1977 ; 661 p.
16. CTFT. *Conservation des sols au sud du Sahara*. Paris : secrétariat d'État aux Affaires étrangères, 1969 ; 211 p.
17. CTFT. *Conservation des sols au sud du Sahara*. Paris : ministère français de la Coopération, 1979 ; 296 p.

## Tableau

### Matériel de travail du sol en fonction de différents facteurs

Types d'outils	Types de comportement du sol	Consistance du sol favorable ou conseillée*	Degré d'humidité conseillé	Profondeur de travail (cm)	Opérations culturales	Importants risques possibles
Charrue à socs	Battant ou sableux Intermédiaire Argileux	Dure/Friable*/Semi-plastique Dure/Friable*/Semi-plastique Dure/Friable*/Semi-plastique	Peu humide ou humide	10 à 40	Ameublissement de la couche arable	Semelle de labour Remontée de terre pauvre du sous-sol
Charrue à disques	Battant ou sableux Intermédiaire Argileux	Dure Dure*/Friable*/Semi-plastique Dure*/Friable*/Semi-plastique	Sec ou humide	10 à 25	Ameublissement de la couche arable	Émiettement excessif du sol Érosion
Pulvérisateurs à disques	Battant ou sableux Intermédiaire Argileux	Dure/Friable/Semi-plastique Dure/Friable*/Semi-plastique Friable*/Semi-plastique*	Sec ou humide	5 à 10	Ameublissement après les façons primaires	Émiettement excessif du sol Érosion
Cultivateurs à dents	Battant ou sableux Intermédiaire Argileux	Dure*/Friable*/Semi-plastique Dure/Friable*/Semi-plastique Dure/Friable*/Semi-plastique	Peu humide	5 à 25	Déchaumage Ameublissement	Érosion hydrique en condition trop humide
Chisels	Battant ou sableux Intermédiaire Argileux	Dure/Friable*/Semi-plastique Dure/Friable*/Semi-plastique Dure/Friable*/Semi-plastique	Sec ou peu humide	10 à 25	Déchaumage Ameublissement	Compactage et formation de lards en terre semi-plastique
Décompacteurs	Battant ou sableux Intermédiaire Argileux	Dure/Friable Friable* Friable*	Sec ou peu humide	5 à 10 sous labour	Ameublissement des couches compactées	Création de zones lissées en terre semi-plastique
Sous-soleuses	Battant ou sableux Intermédiaire Argileux	Dure/Friable Friable* Friable*	Sec	5 à 10 sous labour	Ameublissement des couches compactées	Destruction du sol en condition humide
Herses	Battant ou sableux Intermédiaire Argileux	Dure/Friable* Dure/Friable* Dure/Friable*	Peu humide ou humide	5 à 10	Ameublissement après les façons primaires	Semelle superficielle en terre argileuse humide
Rouleaux	Battant ou sableux Intermédiaire Argileux	Dure*/Friable* Dure*/Friable* Dure/Friable*	Peu humide	0 à 2	Ameublissement après les façons primaires	Formation de croûte de battance Érosion

L'astérisque correspond à la consistance du sol conseillée pour un meilleur travail du sol avec l'outil considéré.

### Soil cultivation equipment according to various factors

18. Boli BZ, Roose E, Bep à ziém B, Kallo S, Waechter F. Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs, sur un sol ferrugineux tropical sableux. Recherche de systèmes de culture intensifs et durables en région soudanienne du nord Cameroun (M'BISSIRI, 1991-1992). *Cah ORSTOM, sér Pédol* 1996 ; 28 : 309-26.

19. Ivontchik P. *Agriculture de l'Afrique tropicale*. Moscou : MIR, 1987 ; 373 p.

20. Charrière G. La culture attelée : un progrès dangereux. *Cah ORSTOM, sér Sci Hum* 1984 ; 20 : 647-56.

21. Roose E. Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *Agron Trop* 1967 ; 22 : 123-52.

22. Peltre-Wurtz J. La Charrue, le travail et l'arbre. *Cah ORSTOM, sér Sci Hum* 1984 ; 20 : 633-46.

23. Monnier G, Guerif J. Conséquences physiques et agronomiques du tassement des sols. *CR Acad Agric Fr* 1988 ; 74 : 29-42.

24. Mallet BJ. Tillage and its effects upon the physical properties of some Southern African soils. In : CTA, *The 9th conference of the Inter-*

*national Soil Tillage Research Organisation, ISTRO*. Socialist Federal Republic of Yugoslavia, OSIJEC : 1982 : 490-5.

25. Rotaru C. Les phénomènes de tassement du sol forestier dus à l'exploitation mécanisée du bois. *Rev Forest Fr* 1985 ; 5 : 359-70.

26. Billot JF, Marionneau A. Le pénétromètre automatique – un outil d'expérimentation pour la compaction des sols. *Bull Techn Machin Equip Agric* 1989 ; 42 : 17-26.

27. Le Thiec G. *Agriculture et traction animale*. Montpellier : CIRAD, 1996 ; 355 p.

## Résumé

### Protection des sols en culture mécanisée

O.Y. Azouma

L'utilisation abusive ou inappropriée du matériel de cultures attelée et motorisée dans les exploitations agricoles engendre l'émiettement excessif, la compaction et l'érosion des sols. Notre étude traite des différents aspects de la question : rôle et objectifs du travail du sol, principes d'action des outils, effets des matériels et tracteurs sur les sols et les plantes. S'ensuivent des recommandations relatives à la bonne pratique de la culture mécanisée et à la formation des agriculteurs en matière de conservation des eaux et des sols en vue d'assurer une agriculture durable.