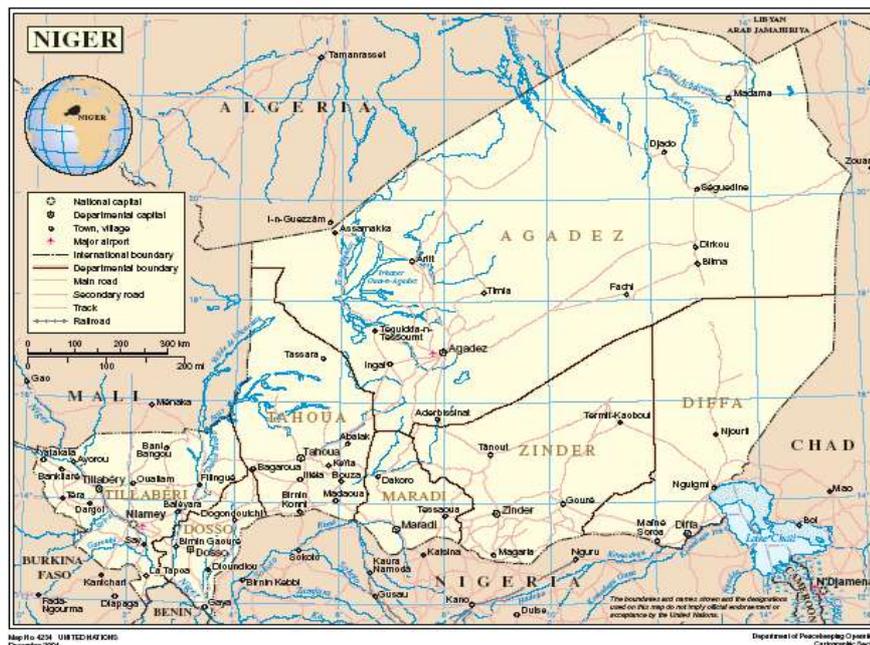




**ETUDE « TECHNIQUES AGRAIRES » pour KORGOM notre
ville jumelle située au NIGER
(canton de KORGOM - près de TESSAOUA)**



Auteur : Dominique BIALEK (Vice Présidente de l'A.J.A.K)

Courriel : dominique.bialek@ajak-andresy-korgom.net

Table des matières

1 INTRODUCTION SUR LE NIGER.....	4
1.1 GÉNÉRALITÉS SUR L'AGRICULTURE AU NIGER.....	4
1.2 LA POPULATION DU NIGER.....	4
1.3 LE TRAVAIL DU SOL AU NIGER.....	5
2 LES CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUES DE KORGOM.....	6
2.1 LA PLUVIOMÉTRIE À KORGOM.....	6
2.2 DENSITÉ DE LA POPULATION À KORGOM.....	6
2.3 LE TYPE D'AGRICULTURE À KORGOM.....	7
3 PREMIÈRE ÉTUDE DE TECHNIQUES AGRAIRES POUR KORGOM.....	7
3.1 DÉSHÉRBAGE MÉCANIQUE.....	7
3.1.1 Méthodes de désherbage.....	7
3.1.2 Stratégies de contrôle des mauvaises herbes.....	7
3.1.3 Désherbage mécanique préventif et répressif.....	8
3.1.4 Méthodes de désherbage mécanique préventif.....	8
3.1.4.1 Préparation d'un lit de semences (au moment des semis).....	8
3.1.4.2 Opération de travail du sol primaire (avant les semis).....	8
3.1.4.3 Travail du sol après les récoltes (déchaumage).....	9
3.1.5 Méthodes de désherbage mécanique répressif.....	9
3.1.5.1 Instruments à dents: les herses et les cultivateurs.....	9
3.1.5.2 Les sarcloirs.....	10
3.1.5.3 Les billonneuses.....	10
3.1.6 Désherbage mécanique dans un système de production.....	10
3.1.7 Effets du travail du sol en début et en cours de cycle.....	10
3.2 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU SOL.....	11
3.2.1 Caractéristiques liées au travail du sol.....	11
3.2.1.1 Comment le travail du sol influence t-il le sol ?.....	11
3.3 LES BESOINS ÉNERGÉTIQUES DES ACTIVITÉS DE TRAVAIL DU SOL.....	12
3.4 ÉNERGIE ET TRACTION ANIMALE.....	13
3.4.1 Capacité de traction animale.....	13
3.4.2 Le temps de travail de l'animal.....	13
3.5 LE LABOUR DES SOLS ENCROÛTÉS	13
3.5.1 Encroûtement.....	13
3.5.2 Gestion des sols encroûtés	13
3.5.2.1 Première méthode proposée.....	13
3.5.2.2 Autres méthodes proposées.....	14
3.5.2.3 Outillage spécifique pour les sols encroûtés.....	15
3.6 INTERACTIONS ENTRE LE BÉTAIL ET LA PRODUCTIVITÉ DES SOLS AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION PAYSANNE	15
3.6.1 Impact des animaux sur la végétation naturelle	17
3.6.2 Impacts des animaux sur la productivité des sols	18
3.6.3 Accroissement de la production agricole par l'usage de la traction animale.....	18
3.7 OUTILS DE TRAVAIL DU SOL.....	19
3.7.1 Tracteurs ou traction animale ?.....	20
3.7.2 Matériel de travail du sol primaire.....	20
3.7.2.1 Matériel de travail du labour primaire.....	20
3.7.2.1.1 L'araire.....	20
3.7.2.1.2 La charrue à versoir.....	20
3.7.2.1.3 La charrue à disques.....	21
3.7.2.1.4 La charrue chisel.....	21
3.7.2.1.5 Le rotoculteur.....	21
3.7.2.2 Matériel de travail du sol secondaire.....	22
3.7.2.2.1 Les herses.....	22
3.7.2.2.2 Les cultivateurs.....	22
3.7.2.2.3 Les polyculteurs.....	23
3.8 SYSTÈMES DE TRAVAIL DU SOL.....	24
3.8.1 Opérations de travail du sol.....	24
3.8.1.1 Types de systèmes de travail du sol.....	25
3.8.1.1.1 Travail du sol conventionnel.....	25
3.8.1.1.2 Le paillage.....	25
3.8.1.1.3 Le non travail du sol.....	25
3.8.1.1.4 Le passage contrôlé.....	26

Documents de référence

La majorité des paragraphes de ce document a été extraite des travaux référencés dans l'étude suivante

Archives de documents de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)

Titre : Le Travail du Sol pour une Agriculture Durable

AGL/MISC/21/97

COURS DE FORMATION - 4-13 juillet 1994 - Niamey, Niger

Editeurs scientifiques : W.B. Hoogmoed, M.C. Klaij

organisé conjointement par:

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE

INSTITUT INTERNATIONAL DE RECHERCHE SUR LES CULTURES DES ZONES TROPICALES SEMI-ARIDES

Seuls certains chapitres et extraits de chapitres plus spécifiques du cours global ont été repris par rapport au contexte de notre étude qui se limite ici



- à la connaissance « pédologique » que nous avons à ce jour du milieu local,
- aux besoins que nous pressentons pour notre ville jumelle de KORGOM au NIGER au regard de projets réalisés par d'autres organismes non loin de là à MATAMEYE,
- aux besoins qui seront susceptibles d'être priorisés/retenus par nos amis de KORGOM.

- Chapitre 4 - DÉSHÉRBAGE MÉCANIQUE - *Willem Hoogmoed, Chercheur, Département du travail du sol, Université agronomique, Wageningen, Pays-Bas.*
- Chapitre 6 - RELATIONS ENTRE TRAVAIL DU SOL, UTILISATION DE L'EAU PLUVIALE ET PRODUCTION DES CULTURES ANNUELLES TROPICALES – extrait « Relations entre travail du sol et production » - *Jean-Louis Chopart, Agronome, CIRAD-CA, 01 BP 1465, Bouaké, Côte d'Ivoire.*
- Chapitre 7 - CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU SOL - *Willem Hoogmoed, Chercheur, Département du travail du sol, Université agronomique, Wageningen, Pays-Bas.*
- Chapitre 8 – ÉNERGIE – extrait « Les besoins énergétiques des activités de travail du sol » et « Énergie et traction animale » - *Willem Hoogmoed, Chercheur, Département du travail du sol, Université agronomique, Wageningen, Pays-Bas.*
- Chapitre 9 - LE LABOUR DES SOLS ENCROÛTÉS ET DES SOLS SUSCEPTIBLES À LA PRISE EN MASSE – extrait « Encroûtement » et « Gérer des sols encroûtés » - *Willem Hoogmoed, Chercheur, Département du travail du sol, Université agronomique, Wageningen, Pays-Bas.*
- Chapitre 12 - INTERACTIONS ENTRE LE BÉTAIL ET LA PRODUCTIVITÉ DES SOLS AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION PAYSANNE – extrait « Les formes d'interactions » - *André Bationo, Chercheur principal (Chimie des sols), IFDC/Centre sahélien de l'ICRISAT, BP 12404, Niamey, Niger; et Zana Somda, Post-Doctorat, Centre sahélien de l'ICRISAT/ILRI, BP 12404, Niamey, Niger.*
- Chapitre 13 - OUTILS DE TRAVAIL DU SOL - *Willem Hoogmoed, Chercheur, Dépt. de Travail du Sol, Université Agronomique, Wageningen, Pays Bas, et Bruno Gérard, Responsable d'exploitation, Centre sahélien de l'ICRISAT, BP 12404, Niamey, Niger.*
- Chapitre 14 - SYSTÈMES DE TRAVAIL DU SOL - *Willem Hoogmoed, Chercheur, Département du travail du sol, Université agronomique, Wageningen, Pays-Bas*

1 Introduction sur le NIGER

1.1 Généralités sur l'agriculture au NIGER

La République du Niger est située au cœur même des pays à **écologie sahélo-saharienne**. D'importantes contraintes climatiques, et en particulier **la pluviométrie** (qui est **inférieure à 300 mm** sur une grande partie du territoire) pèsent donc d'année en année sur le développement de la production vivrière du pays.

L'agriculture intensive n'est par conséquent pas pratiquée, 12% (partie sud) du territoire national étant potentiellement cultivables.

Seule une meilleure répartition des ressources en eau disponible pourra entraîner une augmentation de cette surface.

Les ressources en eau pérennes sont limitées au fleuve Niger (qui s'écoule à l'ouest du pays et ne concerne en fait qu'une faible partie du territoire) et restent sous-exploitées (1% de l'eau est récupérée en faveur de l'agriculture).

- La répartition de la production agricole au NIGER

Les productions végétales sont pour l'essentiel fondées sur les cultures vivrières. Les principales céréales cultivées sont **le mil** (1,5 à 2 millions de tonnes/an), **le sorgho** (350 000 tonnes/an) et **le niébé** (300 000 tonnes).

Les superficies de production de ces produits ont tendance à s'accroître au détriment des jachères et des cultures de rente, comme **l'arachide** (195 000 tonnes) et **le coton**, qui, après une période de prospérité, ont connu un brusque déclin depuis la sécheresse de 1984-85.

Cette tendance s'est renforcée du fait de cours mondiaux défavorables et de l'épuisement des sols. La production de riz est encore faible (40 000 tonnes).

Globalement, le bilan céréalier (qui était positif jusqu'au début des années 70) reste structurellement déficitaire (163 360 tonnes en 2000/01, soit 6,6% des besoins de la population) et se trouve soumis aux aléas extérieurs.

Ce déficit est compensé par des importations, qui peuvent s'avérer massives lors de sécheresses, parfois assurées par les aides extérieures.

- **L'élevage** est fondé sur un important **cheptel de bovins** (2 millions de têtes), **de petits ruminants : moutons et chèvres** (9,5 millions de têtes) et de **chameaux** (370 000 têtes).

Ce secteur a beaucoup souffert de la sécheresse de 1984-85, et le troupeau bovin n'a pas encore retrouvé son niveau initial.

La zone pastorale s'étend sur près de la moitié du territoire et est essentiellement pratiquée par des nomades.

L'élevage est le second produit d'exportation après l'uranium. 67 00 tonnes de viande sont ainsi produites chaque année, dont 22 000 sont exportées.

La production laitière (300 000 tonnes) ne satisfait pas la demande nationale. Elle est en régression (de 168 à 37 litres/hab entre 1968 et 1998).

1.2 La population du NIGER

La population du Niger a été estimée à 10 902 668 au 30 avril 2003 (Tableau 1). D'après les projections des services statistiques, elle serait de 11 207 936 habitants en 2004 et atteindrait environ 12 162 000 au 30 avril 2005. Sur cette base, on compte environ **80 pour cent de sédentaires ruraux**, **16 pour cent de sédentaires urbains** et **4 pour cent de nomades**. La croissance démographique reste forte, en moyenne 3,5 pour cent par an.

Tableau 1. Population urbaine, rurale et nomade en 2003 et projection pour 2005

Régions	Population au 30 avril 2003				Projection au 30 avril 2005 totale
	urbaine	rurale	nomade	totale	
Agadez	156 543	124 572	77 075	358 190	399 327
Diffa	38 006	162 254	34 004	234 264	261 168
Dosso	109 892	1 434 151	27 346	1 571 389	1 751 860
Maradi	260 259	1 834 912	38 758	2 133 929	2 379 005
Tahoua	168 723	1 598 552	73 998	1 841 273	2 059 924
Tillabéri	71 456	1 802 595	86 286	1 960 337	2 185 478
Zinder	263 270	1 760 340	75 338	2 098 948	2 340 008
Communauté urbaine de Niamey	703 838	-	500	704 338	792 420
Niger	1 771 987	8 717 376	413 305	10 902 668	12 162 000

Source: Ministère du développement agricole, DCV/Service statistiques agricoles 2004.

La forte croissance démographique met à mal les infrastructures sociales – services de santé et de l'éducation notamment- et contribue à la désertification, particulièrement pendant les périodes de sécheresse prononcée.

1.3 Le travail du sol au NIGER

- 1- **Le travail du sol**, la manipulation mécanique du sol pour la préparation des lits de semences, le désherbage et la conservation de l'eau affectent le degré de dégradation du sol. En plus d'établir le contact semence-sol, le travail du sol sert à limiter un certain nombre de contraintes à une bonne croissance culturale.

Parmi les actions à réaliser en priorité

- ✚ prévention contre le compactage du sol pour améliorer la capacité d'infiltration,
- ✚ éradication des mauvaises herbes,
- ✚ élimination des résidus culturaux malades,
- ✚ incorporation d'engrais dans la zone racinaire.

- 2 - **Le type et la fréquence du travail du sol** dépendent de certains facteurs

- ✚ notamment du type de sol,
- ✚ de la culture,
- ✚ de la source énergétique disponible
- ✚ et de la taille du système de production.

Une grande variété d'outils de travail du sol a été développée pour la culture manuelle, animale et mécanique.

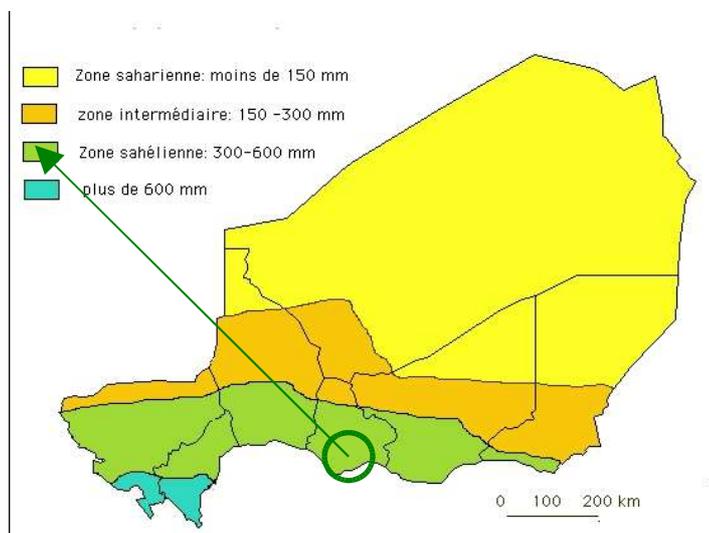
Le développement de systèmes de travail du sol en Afrique joue un rôle important pour la mise en valeur de l'agriculture et l'augmentation de la production alimentaire sur le continent.

- 3- **Les aspects essentiels ne dépendent pas seulement de l'acquisition de tracteurs et d'instruments mais aussi, et surtout**

- ✚ **du type de système de travail du sol que l'on applique aux différents types de sols,**
- ✚ **du choix d'outillage approprié,**
- ✚ **de la formation des habitants qui utilisent l'équipement**
- ✚ **et de l'époque correcte des opérations effectuées.**

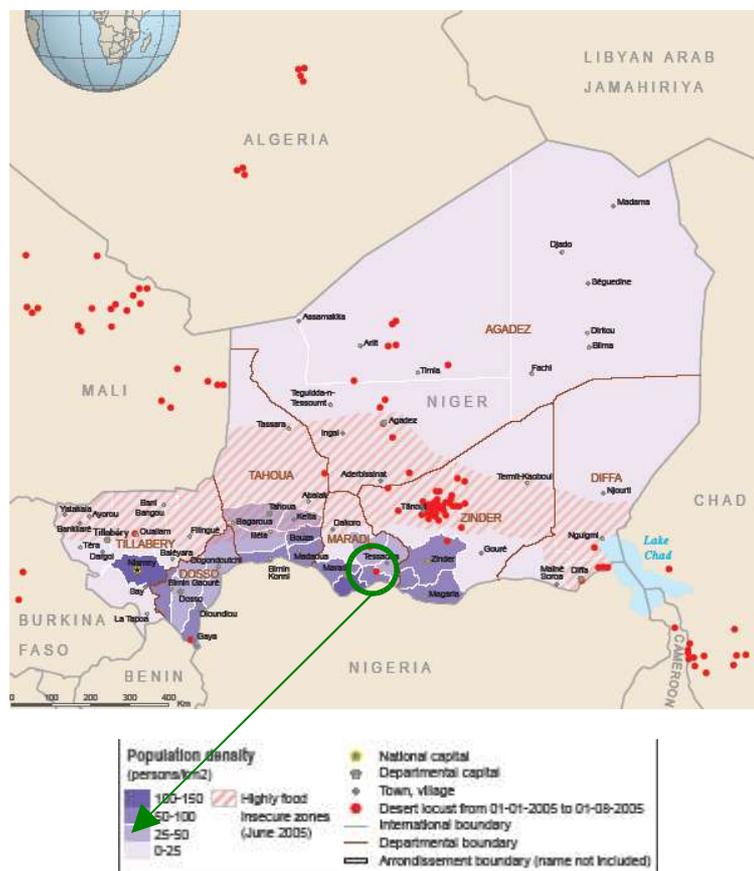
2 Les caractéristiques géographiques de KORGOM

2.1 La pluviométrie à Korgom



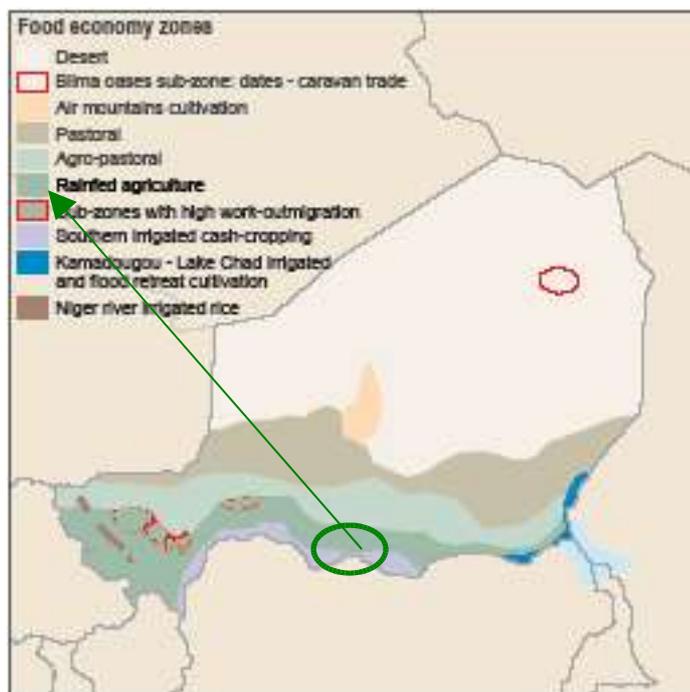
Korgom se situe en zone sahélienne (vert) et bénéficie à ce titre d'une pluviométrie intermédiaire (300 à 600 mm de pluie par an).

2.2 Densité de la population à Korgom



La densité de la population de Korgom est de 50 à 100 personnes au km².

2.3 Le type d'agriculture à Korgom



Korgom fait partie des régions du NIGER nommées « Rainfed Agriculture » c'est à dire des zones où l'agriculture peut être améliorée par l'utilisation de nouvelles techniques agraires associées au potentiel pluviométrique (300 à 600 mm de pluie par an) qui n'est pas aussi négligeable que cela.

3 Première étude de techniques agraires pour Korgom

L'objectif des sous paragraphes qui suivent dans ce document est

✚ de répertorier des observations et des travaux réalisés dans le domaine des techniques agraires au NIGER.

Il faut rappeler ici que l'AJAK proposera les résultats de cette première étude à son ONG locale «Hadinkaye», à la population de Korgom et que s'en suivra

✚ une première analyse du contexte agricole propre à Korgom au cours du séjour qui se déroulera entre les 8 et 29 Août 2007,

✚ un débat sur les solutions qui seraient à mettre en œuvre ; tout cela bien évidemment en concertation avec la population de Korgom. Il est évident que l'ensemble des études incluses dans ce premier document ne pourra être traité au cours d'un seul voyage mais que cela nécessitera des actions étalées dans le temps dont certaines (qui ont déjà été mises en place au Niger ont demandé de 20 à 25 ans).

3.1 Désherbage mécanique

Une mauvaise herbe peut être définie comme toute plante indésirable poussant dans une culture. Dès lors, toute végétation autre que les cultures de production est considérée comme mauvaise herbe sur les terres cultivables.

3.1.1 Méthodes de désherbage

Pratiquement, on distingue **trois méthodes de désherbage**, selon la nature des mesures à prendre:

✚ Le désherbage chimique qui utilise des substances chimiques (herbicides) est une des méthodes les plus utilisées.

✚ Le désherbage biologique qui fait intervenir l'action de parasites, de prédateurs ou de pathogènes sur les plantes. Cette méthode consiste à favoriser ou à laisser les insectes ou les maladies s'attaquer aux mauvaises herbes.

✚ Le désherbage physique qui s'applique aux méthodes n'utilisant pas de substances chimiques, d'insectes ou de parasites. Cela concerne par exemple le travail du sol mais également d'autres méthodes telles que la tonte, le brûlage, le paillage, l'inondation et la compétition.

Toutefois, **le travail du sol (désherbage physique) est probablement la méthode la plus utilisée par les cultivateurs à travers le monde** pour éliminer les mauvaises herbes. L'expression "désherbage mécanique" fait référence à l'intervention de forces mécaniques qui vont lutter contre les mauvaises herbes. On peut distinguer deux mesures: l'arrachage à la main et l'action des instruments de travail du sol.

3.1.2 Stratégies de contrôle des mauvaises herbes

Par rapport aux systèmes de propagation des plantes envisagées ci-dessus, les mauvaises herbes peuvent être contrôlées de deux manières:

- ✚ En détruisant la plante, surtout lorsqu'elle est jeune car c'est plus facile. Si son stade de développement est trop avancé, on peut tenter de l'éliminer sans que cela ne cause trop de dégâts.
- ✚ En empêchant les graines ou les parties souterraines de se développer en enfouissant les graines assez profondément sous terre pour qu'elles n'émergent pas et en endommageant les racines, tubercules ou bulbes tant qu'ils sont en terre ou en les amenant à la surface où ils se dessècheront ou gèleront.

La mesure la plus fréquemment utilisée avec les graines consiste à créer des conditions d'émergence favorables, à laisser la plante sortir puis à éliminer les jeunes pousses.

3.1.3 Désherbage mécanique préventif et répressif

Une majorité d'agriculteurs reconnaissent que le désherbage est une des pratiques culturales les plus importantes. Cependant, les mauvaises herbes ne posent réellement un problème que dans certains cas :

- ✚ si elles ont un effet négatif sur les cultures,
- ✚ si elles gênent les activités sur le terrain,
- ✚ si elles diminuent la qualité des récoltes,
- ✚ si elles attirent les maladies et les parasites.

En règle générale, les cultures de petite taille dont la couverture végétale n'est pas très dense sont amenées à entrer en compétition avec les mauvaises herbes.

Lorsque le désherbage s'avère nécessaire, il faut tenir compte de la méthode à suivre et du facteur temps. **Les jeunes plants sont évidemment plus fragiles et c'est à ce stade de leur développement que les activités de désherbage sont les plus efficaces.** On utilise alors la méthode de **désherbage répressif**, c'est à dire **qu'on élimine les mauvaises herbes dès qu'elles émergent.**

Dans le cas où les problèmes surviennent dans **les cultures arrivant à maturité**, il s'agira soit d'enrayer la cause du problème soit de le traiter pour que les mauvaises herbes n'atteignent pas le stade problématique. Pour prévenir ce genre de situation, on utilise la méthode du **désherbage préventif**. Ce type de désherbage peut faciliter la tâche du désherbage répressif mais ce dernier est à son tour nécessaire en cas d'échec de la première méthode.

3.1.4 Méthodes de désherbage mécanique préventif

3.1.4.1 Préparation d'un lit de semences (au moment des semis)

L'objectif principal du lit de semences consiste à **placer des graines ou le matériel à planter de façon à favoriser une croissance rapide.** En effet, plus vite la culture est établie, moins elle court de risques.

Les planches de semis ne devraient pas contenir de mauvaises herbes car elles peuvent ralentir la croissance de la culture. D'ailleurs, **lors de la préparation du lit de semences, la terre est tellement retournée que les jeunes mauvaises herbes ont peu de chance de subsister.** En fait, la préparation du lit de semences offre la dernière possibilité de traiter la pleine surface d'un champ au cours d'une saison culturale. Après les semis, il est impossible de retourner la terre aux endroits occupés par la culture. Or, dans le cas de mauvaises herbes pérennes, il peut être important de traiter la superficie totale. **Les appareils à utiliser sont: les sarcloirs, les queues d'hirondelle, les déchaumeuses à disques, les rotoculteurs, les pulvérisateurs**, ces deux derniers devant être utilisés uniquement avec les tracteurs.

Comme chaque retournement de sol entraîne une nouvelle génération de mauvaises herbes, toute opération de désherbage supplémentaire avant les semis diminuera la quantité de graines de mauvaises herbes dans la couche supérieure du sol. Le succès de cette méthode dépend de la quantité de graines et de leur taux de germination. Toutefois, il est nécessaire d'éliminer les jeunes mauvaises herbes dans les lits de semences avant ou au moment des semis. Les semences des cultures doivent être vigoureuses et résistantes et devraient être placées de façon à bien démarrer pour rapidement dépasser les mauvaises herbes.

3.1.4.2 Opération de travail du sol primaire (avant les semis)

Il existe une opération de travail du sol décisive quant à la profondeur de la couche cultivable et qui est réalisée **bien avant les activités de semis.** Cette opération, le travail du sol primaire, **nécessite des charrues** ou des cultivateurs lourds. Elle implique la manipulation d'un important volume de terre **et a lieu en général une fois par an ou une fois par saison.** C'est une arme efficace dans le cadre du désherbage.

Les importantes quantités de terre soulevées permettent, par le recouvrement des plantes, de détruire les organes aériens mais les parties profondes, elles, restent dans la terre où les graines se déposeront. De plus, le sol peut avoir été remué grossièrement de sorte que les plants de grande taille et les parties profondes ne sont pas endommagés.

Une couche de terre très épaisse est nécessaire pour détruire les organes aériens des mauvaises herbes. Or c'est le point faible de ces opérations qui remuent mais ne retournent pas la terre. A ce sujet, les charrues à soc et versoir sont plus efficaces que des engins tels que les araires, les cultivateurs, les herses à disques et même les charrues à disques. Un recouvrement total est possible avec les charrues à versoir si le labour a été effectué correctement. Quand les sillons sont orientés à 90°, la surface originale se met en position verticale et le recouvrement est faible. Même si les sillons sont orientés correctement (135°), la surface originale émergera entre les deux sillons suivants et le recouvrement sera toujours faible à insuffisant. Seul l'emploi d'un implément qui divise la surface du sol à l'avant de la charrue peut assurer un recouvrement important.

Le fait de remuer la terre avec des dents de cultivateur réorganise les particules enfouies dans la terre de telle façon que les particules fines s'enfoncent plus profondément et les particules plus grossières remontent à la surface. Cette action

est renforcée dans les lignes où les dents bougent beaucoup et diminue avec la distance par rapport aux dents en intensité et en profondeur. De cette façon les graines en surface s'enfoncent dans la terre, les jeunes pousses peuvent également être recouvertes mais les longs rhizomes remonteront dans le sol et peuvent même apparaître à la surface.

Le travail des engins à disques se situe entre celui de la charrue à versoir et le cultivateur. Les charrues à disques obtiennent les mêmes résultats que les charrues à versoir tandis que les herses à disques obtiennent des résultats plutôt comparables à ceux des dents de cultivateur.

Dans des conditions arides, les opérations de travail du sol augmentent la dessiccation du sol et par là contribuent à la destruction des mauvaises herbes. Toutefois, les graines résistent assez bien à la dessiccation et restent viables plusieurs années dans la terre. Ceci indique simplement que toutes les graines ne meurent pas mais toutes ne sont pas enterrées vivantes non plus. Sous des conditions climatiques européennes, la durée d'une moitié de vie de graines de mauvaises herbes est estimée à un an, sous des conditions de labour normales. Ce qui signifie que la réserve de graines de mauvaises herbes (la "banque de graines" du sol) sera réduite à 1% en sept ans si de nouvelles graines ne sont pas ajoutées.

Pour nettoyer un champ envahi de mauvaises herbes, un labour profond, retournant correctement la terre, devrait suffire pour détruire la majorité des graines de mauvaises herbes. Le risque de voir réapparaître certaines espèces plus résistantes existe si le sol est labouré une nouvelle fois à la même profondeur mais il diminue avec le temps.

La sensibilité de la plante joue un rôle important quant à la redistribution de ses organes. En effet, un bon labour peut totalement détruire une plante rampante mais seulement retarder le développement des plantes à rhizomes profonds. Des rhizomes qui n'ont pas été endommagés peuvent être insensibles mais des rhizomes coupés précédemment ne réapparaîtront pas si ils ont été enfoncés assez profondément dans le sol.

3.1.4.3 Travail du sol après les récoltes (déchaumage)

Après une récolte, les champs peuvent être débarrassés des mauvaises herbes de grande taille mais les résidus et les graines de mauvaises herbes demeurent et abîment la surface du sol. Racines, rhizomes, bulbes et autres organes reproducteurs peuvent se trouver dans le sol. C'est l'occasion d'un premier désherbage préventif. Car si le sol est labouré superficiellement directement après la récolte, de nombreuses graines immatures sont retournées dans la terre et éventuellement détruites. D'autres graines peuvent être amenées à germer afin de tuer les jeunes pousses dès leur apparition. Toutefois, les graines dormantes ne réagiront pas et il est en général difficile de juger les résultats des opérations de travail du sol après les récoltes si celles-ci sont suivies par un labour plus profond.

Par contre, il est possible d'affaiblir considérablement les mauvaises herbes pérennes en stimulant leur croissance par la coupe puis en détruisant les repousses avant qu'elles ne se développent. On peut, par exemple, labourer un champ envahi de chiendent avec un rotoculteur. La plupart des petits organes séparés des rhizomes du chiendent ne se régénéreront pas et s'il y a des repousses, elles mourront si on les enterre à temps.

Les opérations de travail du sol après récoltes dont l'objectif est de contrôler les mauvaises herbes pérennes auront plus de succès si elles couvrent la superficie totale. Elles peuvent être réalisées en utilisant des queues d'hirondelle, des déchaumeuses, des charrues à disques et des rotoculteurs.

Les résidus de récoltes enterrés peuvent poser un problème dans le cas des pommes de terre. En effet, les tubercules apparaissent plus tard dans la saison et peuvent devenir des mauvaises herbes dangereuses à cause des maladies qu'elles transportent jusqu'à la saison suivante. Les méthodes associées au labour qui laissent les pommes de terre près de la surface peuvent résoudre ce problème dans les régions où le gel et la sécheresse tuent habituellement les tubercules.

3.1.5 Méthodes de désherbage mécanique répressif

Avant de traiter des instruments et des équipements spécifiques au travail du sol, il faut mentionner la pratique de *l'arrachage à la main*. Elle est en général utilisée en dernier recours pour débarrasser une récolte sur pied de mauvaises herbes et pour, par exemple, empêcher la formation de graines. Cette pratique n'offre que peu de garanties et nécessite que les mauvaises herbes atteignent une certaine taille pour être arrachées. Mais à ce stade là, elles ont en général déjà causé beaucoup de dégâts.

La meilleure façon de distinguer les méthodes de désherbage mécanique consiste à les classer selon la manière dont la mauvaise herbe est attaquée. Les techniques de désherbage répressif sont basées sur trois principes:

 **le déracinement** (outil généralement utilisé: dents ou pointes de herse)

 **la coupe** (outils utilisés: lame, sarcloir)

 **le recouvrement** (outil utilisé: billonneuse)

Actuellement, la pratique combine ces trois principes, utilisant ces outils ou équipements. Ceux-ci sont examinés plus en détail ci-dessous:

3.1.5.1 Instruments à dents: les herses et les cultivateurs

L'action d'une pointe de herse combine le déracinement et le recouvrement de terre. On observe que les mauvaises herbes sont recouvertes de terre suite à l'action des dents, provoquant essentiellement **l'élimination des**

mauvaises herbes de petite taille. Un hersage ou un passage avec un cultivateur tardif au cours de la saison nécessitera une couche de terre très épaisse pour éliminer les plus hautes mauvaises herbes. En fait, le déracinement est meilleur à ce stade mais moins efficace et il est conseillé de **herser assez tôt dans la saison.** Toutefois, le hersage pose un problème car chaque opération remue à nouveau la surface du sol et provoque la germination des graines. **Chaque hersage entraîne en fait une nouvelle génération de mauvaises herbes.** Il est donc important qu'il soit répété souvent afin de maintenir les mauvaises herbes à un stade de développement sensible jusqu'à ce que la différence de croissance avec la culture soit assez importante pour laisser agir le désherbage "naturel" par la compétition et la répression.

3.1.5.2 Les sarcloirs

Les sarcloirs (lames horizontales) et autres outils de ce **genre vont couper les tiges des mauvaises herbes juste sous la surface du sol.** Une fois séparées des racines, les organes aériens meurent rapidement de même que les racines si elles n'arrivent pas à faire des repousses. **Le sarclage est très efficace pour les mauvaises herbes annuelles de grande taille.** Dans le cas d'herbes pérennes, il retardera leur développement et peut les éliminer ou repousser leur développement à une période ultérieure si l'action est répétée assez souvent.

Les conséquences de cette méthode ne sont pas encore très bien connues. Les mauvaises herbes pérennes se remultiplient souvent très vite, surtout dans le cas de repousses potentielles amenées par la première opération de désherbage. Quant aux mauvaises herbes annuelles, il arrive souvent que la lame tranchante laisse une partie du système racinaire intacte, qui ne sera détruite que par un recouvrement de terre. En général, les sarcloirs remuent considérablement la terre au niveau de la surface du sol entraînant un recouvrement des mauvaises herbes, surtout des petites. Parfois on augmente les mouvements du sol en soudant quelques petites bandes de métal sur les lames horizontales du sarcloir afin d'obtenir un effet "billonnage".

3.1.5.3 Les billonneuses

Les billonneuses servent à construire des billons. **La terre est emportée avec les mauvaises herbes de petite taille d'un certain endroit** (méthode très efficace d'éradication de mauvaises herbes) **et déposée sur un billon.** On obtient donc une couche de terre importante qui recouvre les mauvaises herbes et les élimine à un taux élevé. Comme pour le hersage, chaque opération entraîne une nouvelle génération de mauvaises herbes. De façon générale, on peut herser les billons après quelque temps, éliminer les mauvaises herbes et ameubler les billons temporairement jusqu'à la prochaine opération de billonnage.

En fait, toutes ces méthodes de désherbage mécanique répressif reposent sur un **retournement régulier de la couche supérieure du sol qui empêchera les mauvaises herbes d'atteindre une taille suffisamment haute pour entrer en compétition avec la culture.**

3.1.6 Désherbage mécanique dans un système de production

Le choix d'une méthode spécifique de désherbage dépend de plusieurs facteurs tels que

-  la culture,
-  les types de sol et de climat
-  mais aussi du niveau de mécanisation ou du système de production (irrigation, cultures pluviales, en terrasses ou en pente).

En général, le désherbage manuel semble la seule solution possible pour les productions de cultures intensives ou maraîchères mais il existe un choix beaucoup plus vaste pour les opérations de plus grande envergure où les tracteurs et les animaux sont disponibles. Dans ce cas, les facteurs à considérer sont plutôt l'efficacité de l'opération, le temps requis, les éventuels dégâts portés aux cultures, etc.

Si les mauvaises herbes sont désherbées mécaniquement sur une longue période, celles qui ne supportent pas le traitement disparaîtront, les autres domineront. La composition de la population des mauvaises herbes peut varier en fonction de ces traitements répétitifs.

Lorsque la situation permet une approche de désherbage intégrée dans laquelle quelques mesures de contrôle chimiques ou biologiques bien définies complètent un désherbage mécanique, les résultats devraient être satisfaisants. **Dans la plupart des pays en voie de développement, y compris le Sahel, le désherbage mécanique est le seul moyen de combattre les mauvaises herbes.**

3.1.7 Effets du travail du sol en début et en cours de cycle

Le labour a, en général, un effet bénéfique dès le début du cycle de la culture, avec des différences qui atteignent leur maximum au moment de la montaison des céréales.

Effets du labour à la charrue sur la production utile (grains kg ha⁻¹) des principales cultures annuelles dans les zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest

Culture	Nombre de résultats annuels	Témoin	Labour	Différence en %
Mil	55	1421	1676	+ 18
Sorgho	84	1693	2157	+ 27
Maïs	56	2029	3118	+ 54
Riz pluvial	29	1360	2329	+ 71
Cotonnier	26	1351	1587	+ 17
Arachide	79	1084	1299	+ 20

L'effet du labour en début de cycle est accru en cas d'alimentation hydrique insuffisante. On l'a vu, l'infiltration est améliorée, l'enracinement est mieux développé et l'efficacité de l'eau consommée légèrement meilleure. Ces différents facteurs participent à l'effet global de la technique sur la croissance végétale en début et en milieu de cycle.

3.2 Caractéristiques physiques du sol

3.2.1 Caractéristiques liées au travail du sol

Les caractéristiques suivantes du sol en tant que matériel peuvent avoir un rapport avec les opérations de travail du sol:

-  La présence des horizons du sol,
-  Sa texture,
-  Sa structure,
-  Ses propriétés chimiques.

La texture et les propriétés chimiques sont fixes et ne peuvent être modifiées par le travail du sol ou par exemple, très indirectement par les changements induits par le lessivage.

Les horizons du sol peuvent éventuellement être modifiés par des opérations de labour profond.

Toutefois le travail du sol influence fortement la structure du sol et intervient comme cause et dans les résultats.

3.2.1.1 Comment le travail du sol influence-t-il le sol ?

La façon dont le sol réagit aux pressions détermine l'effet des opérations de travail du sol. On peut distinguer les types de réactions suivants:

Le compactage

En fonction de la durée du compactage, on peut compacter un sol cohésif (l'argile, p.ex.) tandis qu'un sol à structure particulaire (le sable, p.ex.) sera compacté par des vibrations ou tassement des particules. Le compactage a lieu, par exemple, quand le sol subit l'action de rouleaux ou de roues de tracteurs. Les rouleaux sont prévus pour assurer le compactage alors que le trafic d'engins provoque un compactage non désiré.

✚ La coupe

La coupe a souvent lieu au cours du travail du sol et fait partie d'opérations comme le labour, le labour rotatif et le désherbage. Les facteurs déterminants sont la vitesse (l'impact) et l'angle de coupe du tranchant ou de l'instrument. Si l'angle est trop large (émoussé), des problèmes tels le compactage peuvent survenir.

✚ Formation d'un plan de cisaillement

Si le taux d'humidité du sol est favorable, la pression peut provoquer la formation de fissures et le morcellement consécutif de mottes ou agrégats. Le sol se fissurera alors le long des plans de cisaillement.

Selon l'intensité du labour et le nombre de points de pression compris dans un volume spécifique de sol à un moment précis des grosses mottes (en labourant des sols secs, faible intensité) ou des particules fines (labour rotatif, haute intensité) peuvent apparaître.

✚ Le transport

Des particules de sol sont transportées d'une façon ou d'une autre au cours de chaque opération de travail du sol. Ce processus est assez évident au cours du labour mais existe aussi au cours du roulement et désherbage. Le transport du sol peut être voulu et désiré pour obtenir une configuration spécifique de la surface, telle que nivellement ou formation de billons, un mélange ou une inversion. Dans certains cas, ce transport a des conséquences négatives. En effet, si le sol est très dur, les mottes ou les agrégats ne seront pas fractionnés sous la pression d'un engin mais seront déplacés plus loin ou sur les côtés, entraînant un mouvement inutile du sol qui réduit l'efficacité de l'engin (effet bulldozer).

✚ La déformation

Cette action devrait être évitée parce qu'elle détruit la structure grumeleuse du sol. La seule exception concerne la destruction complète de la structure du sol lors de l'inondation des champs de riz en appliquant un labour intensif dans des conditions saturées. Dans tout autre cas, la déformation est négative. Le sol devient plus dense et plus dur après le séchage, causant de sérieux problèmes de perméabilité par rapport à l'eau et l'air et de résistance à la croissance racinaire. La déformation n'a lieu que lorsque le sol est dans une phase de consistance plastique.

3.3 Les besoins énergétiques des activités de travail du sol

L'énergie ou la traction demandée par les activités de travail du sol dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont:

✚ **La profondeur du travail du sol:** un labour profond nécessitera une force de traction plus importante, qui augmente de façon presque linéaire avec la profondeur. De sorte que labourer à une profondeur de 20 cm nécessite environ deux fois plus d'énergie qu'à une profondeur de 10 cm. Cette explication ne vaut que jusqu'à une certaine profondeur, à laquelle l'angle de coupe de la charrue devient inefficace puisque le versoir ne peut plus déposer la section de terre retournée.

✚ **Le type de sol et son état:** l'expression de "sol léger" appliquée à un sol sablonneux a rapport avec le labour et pas avec le poids. La traction est liée au type de sol mais en dehors de ça, le taux d'humidité du sol est très important. Pour les sols sablonneux, par exemple, cette variation est beaucoup plus étendue que pour les sols argileux. Donc un sol sablonneux peut être travaillé quand il fait plutôt sec jusqu'à un point où il devient assez mouillé. Un sol argileux sera dur quand il fait sec mais devient très vite trop mouillé pour labourer correctement. Dès lors, sous les mêmes conditions climatiques, les sols sablonneux sont plus faciles à travailler et peuvent l'être plus longtemps que les sols argileux.

✚ **Le type d'équipement:** la façon dont l'équipement influencera le travail est également importante. Par exemple, une charrue à versoir retournera plus de terre que le 'chisel' (cultivateur lourd), l'énergie requise sera plus élevée et augmentera alors plus vite pour les sols lourds.

✚ **La vitesse du labour:** la même explication s'applique à la vitesse du labour, c'est à dire que travailler à une vitesse plus rapide nécessite une force de traction plus importante. Dans le cas de la traction animale, ce n'est pas très important car les boeufs de travail marchent à une vitesse relativement lente de 2 ou 3 km/h qui ne varie pas beaucoup.

La résistance spécifique du sol est variable suivant que l'on aie un sol « lourd » ou « léger ». En connaissant l'ordre de grandeur de cette résistance, on peut estimer les puissances requises pour certaines opérations.

✚ **Briser les croûtes superficielles** ne demande pas beaucoup d'énergie. Si l'objectif principal est de favoriser l'infiltration de l'eau, la croûte peut être fragmentée en grosses mottes ou agrégats. Cette opération superficielle peut être effectuée avec des houes simples, des herses ou des chisels. Elle est en général réalisée au cours d'une période située entre les périodes de croissance des cultures ou pendant une jachère, ou encore au cours de la période de croissance, entre les rangées de plants. S'il est nécessaire de briser une croûte située au-dessus d'une culture en germination ou prête à sortir, des rouleaux légers ou des concasseurs devront être utilisés avec un besoin énergétique très faible.

✚ **Pour des sols pris en masse**, l'énergie nécessaire à l'ameublissement peut être considérablement plus élevée. Cela dépend d'un certain nombre de facteurs, dont les plus importants sont la puissance, la densité apparente, le taux d'humidité du sol, la profondeur du labour et le type d'outil de travail du sol.

En général, la couche labourée d'un sol pris en masse est grossière et à mottes et un supplément d'énergie est nécessaire pour atteindre un lit de semences suffisamment fin. Si ce labour secondaire est effectué avec des outils rigides, il faudra répéter les opérations et donc multiplier les risques de pulvérisation. Les instruments actionnés par la prise de force du tracteur sont plus efficaces dans ce type de situation mais nécessitent plus d'énergie.

✚ De plus, pour les systèmes de traction animale, le type de travail de sol, la forme des outils et l'état des outils qui travailleront le sol (par exemple, le tranchant du soc de la charrue ou du chisel) déterminent également les besoins énergétiques. Le labour de sols pris en masse et secs par traction animale est généralement impossible dans les zones tropicales vu le faible effort de traction soutenu des animaux de trait (voir ci-dessous).

3.4 Énergie et traction animale

3.4.1 Capacité de traction animale

Le Tableau ci-dessous donne une indication de la capacité de traction soutenue des animaux, suite à des observations réalisées en Afrique au cours de travaux importants de labour:

Capacité de traction des animaux (Munzinger, 1982)

Animaux	Poids moyen (kg)	Force de traction (N)	Vitesse de travail (km/h)	Heures de travail/jour (h)
1 âne	125	250	2,0	3 - 3,5
2 ânes	250	450	2,0	3 - 3,5
1 cheval	300	350	2,7	5 - 6
1 boeuf	350	500	2,4	4 - 6
2 boeufs	700	850	2,3	4 - 6
4 boeufs	1400	1400	2,2	4 - 6

Les résultats de ce tableau sont des données moyennes car le travail accompli par ces animaux dépend fortement de leur entretien et de leur santé. Très souvent, les animaux de trait sont faibles en début de saison à cause de déficiences nutritives ou d'une mauvaise nutrition datant de la saison sèche précédente.

3.4.2 Le temps de travail de l'animal

Le Tableau ci-dessus indique que le temps de travail des animaux est limité. En effet, **le nombre d'heures maximum de travail dépassera rarement 5 h par jour sous le soleil et les températures tropicales.** De plus, le labour lui-même prend beaucoup de temps. En labourant avec un soc de 20 cm, on parcourt une distance de 50 km/ha! Si la vitesse de travail est de 3 km/h, cela représente déjà 16,6 h de temps réel de labour, sans compter le retournement, le nettoyage, etc. Donc, un ha peut être labouré en 3 jours ou plus. On peut prévoir le nombre de jours nécessaires au travail du sol au début de la saison en fonction du type de sol et de la culture à semer pour connaître approximativement la superficie qui sera couverte par une paire d'animaux. Si l'on considère cette capacité relativement faible, **des systèmes de labour alternatifs plus performants tels le défoncement ou le labour en bandes pourraient être utilisés.** Toutefois, il faut tenir compte du temps nécessaire global parce que souvent ces systèmes ne désherbent pas bien et il faut encore passer beaucoup de temps à désherber au cours de la saison, ce qui peut avoir un effet négatif.

3.5 Le labour des sols encroûtés

Les sols scellés, encroûtés et susceptibles à la prise en masse sont très répandus dans les zones climatiques tropicales et causent souvent de sérieux problèmes en tant que ressource pour la production de cultures, pâturages et base pour la végétation naturelle. **L'infiltration d'eau est réduite, ce qui occasionne des ruissellements, entrave l'émergence des jeunes pousses et laisse des cultures inégales et pauvres, et donc des rendements limités.**

3.5.1 Encroûtement

L'épaisseur d'une surface encroûtée ne dépasse généralement pas 10 mm. De plus, la surface encroûtée est physiquement différente de la couche du sol dessous. Les croûtes sont également formées par des processus (dépôts de sédiments, érosion, impact des gouttes de pluie). Il est à remarquer que les processus mécaniques et chimiques sont complémentaires dans la formation des croûtes. A cause de l'humidité, de l'action des gouttes de pluie, du travail du sol ou de la circulation, les agrégats vont être fragmentés et les particules du sol remuées.

3.5.2 Gestion des sols encroûtés

La gestion des sols encroûtés devrait d'abord viser à conserver le sol et à le considérer comme la ressource de base la plus importante, puis seulement veiller à augmenter les rendements.

Ce chapitre donne un aperçu des différentes options de gestion qui peuvent s'envisager et insiste particulièrement sur la gestion 'mécanique' du sol ou travail du sol. Les opérations de travail du sol ne devraient toutefois pas être perçues comme activités séparées mais bien combinées à d'autres mesures. Si elles s'appliquent au travail du sol, d'autres approches de gestion peuvent être discutées.

3.5.2.1 Première méthode proposée

Les croûtes à la surface du sol ont deux conséquences principales :

- elles empêchent l'émergence des jeunes pousses
- elles influencent les processus hydrauliques à la surface du sol, c'est à dire l'infiltration et l'évaporation.

Face à ces problèmes, l'agriculteur peut considérer deux options de gestion du sol; **soit « prévenir » soit « réparer »**. Parfois, une de ces approches seulement est utilisée mais souvent **on choisira l'option où les deux activités peuvent être appliquées**.

Si l'objectif de la gestion du sol est d'empêcher la formation d'une croûte dans tous les cas, ou de casser une croûte existante, la façon de faire dépendra fortement du type de sol, du climat et de l'état de la culture.

La meilleure façon d'améliorer les caractéristiques d'infiltration d'un sol encroûté consiste à créer une surface de sol grossière qui formera des mottes ou des agrégats stables et aussi une superficie importante de retenue d'eau. La formation de croûtes due aux précipitations sera retardée sur ce type de surface. Si l'on travaille sur un sol encroûté, un grossier morcellement de la croûte donnera de bons résultats en terme d'infiltration.

Si l'émergence des jeunes pousses devient un problème, l'agriculteur doit aussi considérer les besoins établis par la culture au lit de semences. Le lit de semences idéal est une couche uniforme d'agrégats dont la taille est légèrement plus petite que celle des semences pour permettre une imbibation d'eau optimale. A la surface, la taille des agrégats peut être plus grande, ce qui servira de protection contre les influences du temps. Une fois que la culture est semée, que les graines ont germé et que l'émergence des jeunes pousses est gênée par une croûte, la destruction de la croûte devient plus difficile si l'on veut éviter d'endommager les jeunes pousses. Les approches permettant de gérer plusieurs types de croûtes sont données dans le tableau suivant.

Approches de gestion du sol pour les sols encroûtés

Types de sols et de croûtes	Cause	Problème	Gestion préventive	Gestion curative
Caractéristiques des sols argileux et limoneux dans les zones humides				
Croûte structurale	Morcellement des agrégats Dispersion	Emergence Infiltration	Laisse une couche grossière en surface Protection de la surface du sol par la végétation	Morcellement mécanique des croûtes
Croûte de dépôt	Sédimentation de particules de sol désagrégées et dispersées dans les dépressions	Infiltration Emergence	Laisse une couche grossière en surface	Agrandissement de la surface de rétention Morcellement mécanique des croûtes
Caractéristiques des sols sablonneux dans les climats semi-arides				
Croûte en séchage	Séchage et mouillage répétés sans impact direct des gouttes de pluie	Infiltration (faible)	Laisse une couche grossière en surface	Morcellement mécanique des croûtes
Croûte structurale en couches	Impact des gouttes d'eau, dénombrement de particules	Infiltration Amoncellement de sable, érosion éolienne	Protection de la surface du sol	Morcellement mécanique des croûtes
Croûte d'érosion	Déplacement de matériel meuble d'une croûte structurale en couches par le vent et l'eau	Infiltration Ancrage de semences dispersables par le vent	Protection de la surface du sol	Morcellement mécanique des croûtes Végétalisation
Croûte de ruissellement	Matériel grossier transporté par le ruissellement et déposé sur les croûtes structurales	Aucun*	Prévention contre le ruissellement**	Morcellement mécanique des croûtes
Croûte de décantation	Dépôt de matériel fin dans des mares où l'eau est stagnante	Infiltration Etablissement de la végétation	Drainage contrôlé (si l'on préfère)***	Morcellement mécanique des croûtes

*: pas de la couche supérieure, mais le problème causé par la croûte structurale persiste.

** : bien que ce processus se passe souvent dans un champ à billons (croûte de dépôt au fond du sillon).

***: peut-être mieux quand l'eau peut (lentement) s'infiltrer à l'endroit même.

3.5.2.2 *Autres méthodes proposées*

D'autres options de gestion sont présentées ci-dessous:

- **Billonner:** bien que favoriser le dépôt de croûtes dans les sillons entraîne souvent des croûtes plus perméables sur le billon, facilitant l'émergence de jeunes pousses.
- **Une couverture végétale:** la gestion des résidus peut être employée pour restaurer la productivité de terres nues. Une couverture de matériel organique (paille, feuilles, branches) répandue sur des zones dégradées de la terre la protégera contre l'impact direct des gouttes de pluie et - plus important - attirera la micro faune du sol.
- **Les termites:** sont très utiles parce qu'elles perforent les croûtes et font augmenter la porosité des couches superficielles.
- **Le billonnage cloisonné:** peut être appliqué pour résoudre les problèmes de ruissellement. Bien que la cause de l'infiltration réduite ne soit pas éliminée, l'eau peut s'infiltrer lentement et être disponible pour les plantes.
- On peut également **augmenter la teneur en matière organique du sol** afin d'améliorer la structure et la stabilité de la couche supérieure. Cet objectif peut être atteint temporairement en incorporant des résidus culturaux, du fumier ou des engrais verts, mais l'effet est généralement de courte durée à cause du taux élevé de décomposition.

3.5.2.3 *Outils spécifiques pour les sols encroûtés*

Pour la gestion de sols encroûtés et des sols susceptibles à la prise en masse, les outils de travail du sol et la machinerie utilisés habituellement peuvent être appliqués mais certains types d'outils sont plus adaptés que d'autres pour labourer ces sols.

- **Équipement pour casser les croûtes superficielles:** les outils généralement utilisés sont des outils à dents, comme les herse, ou les cultivateurs. Les outils prise de force du tracteur, comme le cultivateur rotatif vertical et la herse oscillante peuvent aussi être utilisés. Plusieurs types d'équipements ont des lames, comme les houes, les sarclours et les pattes d'oie ou queues d'hirondelle. Ceux-ci sont principalement utilisés pour le désherbage mais ils peuvent également être efficaces pour casser les croûtes.

La croûte peut aussi être brisée avec des rouleaux, lisses (plombes) ou onduleurs. Il existe des rouleaux concasseurs de croûtes spécialement créés en bois ou en acier avec des dents ou des pointes (clous) montés sur la circonférence. Ils pénètrent à peine dans la croûte et peuvent être utilisés dans les opérations de pré-émergence. Les "roues araignées" des houes rotoculteurs peuvent aussi être utilisées pour ce type d'opérations, quand les roues roulent en ligne droite sur la croûte.

- **Équipement pour un ameublissement profond:** l'équipement habituel pour ameublir le sol à des profondeurs dépassant la couche superficielle est équipé de chisels. Le cultivateur ou la charrue chisel peuvent être utilisés dans ce cas. Ces instruments laissent une surface de sol grossière favorable en terme de conservation de l'eau et du sol et qui retardera la formation de croûtes.

Les sous-soleuses sont utilisées pour travailler en-dessous de la profondeur du labour normal afin de casser les couches gênantes. Ce n'est généralement pas considéré comme travail du sol pour atténuer les problèmes liés à la prise en masse. La charrue à versoir normale et les charrues à disques peuvent aussi ameublir la couche cultivable.

- **Équipement pour modifier la surface:** le type de modification de surface le plus courant, généralement partie intégrale des opérations de travail du sol saisonnières, c'est la formation de billons. Ceux-ci peuvent être réalisés par des billonneuses spéciales ou par une simple charrue à versoir.

On utilise un billonneur-cloisonneur pour établir des billons cloisonnés ou 'bassins'. Cet outil ramasse le sol au fond du sillon entre deux billons et le dépose à intervalles réguliers, créant ainsi des cloisons. Des outils tels que de larges instruments multi-sillons ou de simples pelleteuses manuelles tirées par des animaux sont disponibles.

Des "concasseurs de mottes" spéciaux ont été développés dans le cas de surfaces de sol grossières, constituées de grosses mottes, qui proviennent d'un labour profond ou du cisaillement de sols secs. Ce sont des outils lourds avec de larges pointes situées à la circonférence de disques en fer pour briser les mottes sèches. Ce type d'outil est efficace pour la production de lits de semences relativement fins.

3.6 **Interactions entre le bétail et la productivité des sols au niveau de l'exploitation paysanne**

L'élevage joue un rôle primordial à la fois dans la dégradation de l'environnement et dans le maintien de la productivité des sols en Afrique tropicale semi-aride.

Au niveau de l'exploitation paysanne dans les zones sahélo-soudaniennes, l'animal occupe un statut économique important parmi les facteurs de production. Il représente un capital durable dans les économies traditionnelles et dans le processus de production de viande, de lait, et de cuir. Il joue aussi un rôle essentiel dans la disponibilité en travail et entretient des rapports très étroits avec la terre qui supporte la végétation dont il tire sa subsistance.

Cependant, la densification de l'occupation de l'espace rural consécutive à la croissance démographique met en cause les complémentarités techniques entre l'agriculture et l'élevage et se traduit à moyen terme par une diminution des effectifs animaux et de la fertilisation animale. Il serait plus économique pour ces systèmes de production de cultiver des plantes (arbustes et graminées) fourragères en bandes de brise-vent ou d'enherbement pour satisfaire les besoins alimentaires du bétail sans influencer négativement la productivité durable des sols.

Il est suggéré, pour les futures recherches et développements, d'améliorer et de vulgariser l'usage de la traction animale, de la fumure organique et minérale en tenant compte des conditions socio-économiques spécifiques à chaque zone agro-écologique.

La protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles sont cruciales pour maintenir la production agricole et animale en Afrique sub-saharienne où des changements sociaux, économiques et climatiques menacent l'équilibre écologique.

Dans les régions semi-arides de l'Afrique de l'Ouest, par exemple, des sécheresses périodiques et la pauvreté inhérente des sols sont les principaux facteurs limitant la production agricole et animale. Avec la croissance démographique, les besoins alimentaires augmentent tandis que les longues périodes de jachère qui régénèrent la productivité des sols diminuent suite à l'extension progressive des aires de culture dans les zones marginales d'élevage. Aussi, avec les sécheresses récurrentes dans les régions sahéliennes, la reproductivité des pâturages naturels diminue graduellement amenant les éleveurs nomades à migrer dans les zones d'agriculture. Ainsi apparaît dans ces zones une nouvelle forme d'exploitation où l'élevage est intégré à l'agriculture. Cette exploitation est caractérisée par des méthodes intensives de travail et des systèmes de culture avec utilisation d'engrais chimiques et de pesticides.

Traditionnellement, la méthode de conservation et de restauration de la fertilité des sols la plus courante est l'utilisation de la matière organique. L'utilisation des résidus végétaux dans ces nouveaux systèmes d'exploitation pour le maintien de la fertilité des sols doit être équilibrée avec l'usage compétitif comme aliment de bétail. Le degré d'interaction entre le secteur agricole et le secteur élevage peut varier d'une situation où il y a peu ou pas d'intégration à une autre où il y a une intégration totale de ces deux secteurs de production.

Les formes d'interactions

Les interactions entre l'agriculture et l'élevage en Afrique sub-saharienne peuvent être d'ordre purement économique, biologique ou physique, mais les facteurs principaux qui déterminent le degré d'interaction entre ces secteurs sont d'abord des facteurs écologiques (certaines régions sont très sèches pour les cultures) et ensuite des facteurs démographiques et économiques.

Par exemple, avec une faible pression démographique, la jachère reste une pratique plus courante que l'usage du fumier pour restaurer la fertilité des sols. Mais l'usage de la fumure animale se développe avec la pression démographique et la diminution des surfaces cultivables. Cette interaction se retrouve d'abord entre des entreprises spécialisées indépendantes, où le fumier est compensé par l'accès aux résidus de culture. En réponse aux besoins en main-d'oeuvre supplémentaire et/ou en énergie animale, les cultivateurs commencent à acquérir leurs propres animaux de trait et à intégrer l'élevage aux activités agricoles.

• Interactions d'ordre économique

Dans ces nouveaux systèmes d'agriculture mixtes, l'animal occupe un statut économique primordial parmi les facteurs de production et joue un rôle important dans le maintien de la fertilité des sols. Les interactions purement économiques concernent la manière dont un des secteurs finance ou supporte les facteurs de production de l'autre secteur. C'est le cas de la vente des produits agricoles pour acheter des aliments du bétail et des produits vétérinaires, ou de la vente des produits de l'élevage (viande, lait, fumier) pour payer des engrais chimiques, du matériel aratoire et la main-d'oeuvre.

Des enquêtes menées de 1979 à 1983 ont montré que le nombre de familles utilisant des engrais chimiques et la quantité d'engrais utilisée par famille augmentent avec le nombre d'animaux par famille.

Ailleurs on a trouvé que les capitaux (produits agricoles) accumulés en année de bonnes récoltes étaient convertis en bétail. Dans le sud-ouest du Niger, environ un tiers du capital investi dans l'élevage provient de la vente des produits agricoles et 75% de la vente des animaux servent à l'achat de céréales pour la consommation humaine.

• Interactions d'ordres biologiques et physiques

L'élevage en Afrique tropicale semi-aride joue un rôle primordial à la fois dans la dégradation et dans le maintien de la productivité des sols qui supportent la végétation dont il tire sa subsistance. Le tableau suivant représente graphiquement les principales formes d'interactions biologiques et physiques entre le secteur animal et agricole en Afrique intertropicale semi-aride.

permettent pas une protection efficace du sol contre l'érosion et le ruissellement, et au Burkina Faso, il faut au moins 10 t/ha de paille pour avoir un effet significatif.

Bien que le paillage encourage l'activité des termites et augmente la matière organique et la fertilité physique du sol, la plupart des paysans pratiquent le brûlis au champ car le mulch pailleux ne facilite pas les travaux de labour, de semis et de sarclage, mais favorise plutôt le développement des insectes et maladies des cultures. Cette pratique du brûlis cause des pertes considérables d'azote et de soufre par volatilisation et un recyclage plus rapide des éléments minéraux contenus dans les cendres.

3.6.2 Impacts des animaux sur la productivité des sols

Les animaux occupent une place importante dans le maintien de la fertilité des sols dans la zone semi-aride du Sahel. L'entassement et la compaction du sol, surtout par le gros bétail, peuvent modifier les propriétés physico-chimiques du sol. Sous l'action du piétinement, les débris végétaux se fragmentent en plus petits morceaux qui se mélangent à la terre et se décomposent rapidement laissant le sol dénudé et susceptible à la dégradation physique. La rugosité du sol augmente et l'encroûtement diminue. D'autre part, la compaction accroît la densité apparente, réduit la porosité du sol et l'infiltration de l'eau favorisant ainsi le ruissellement et l'érosion hydrique.

Ces phénomènes se rencontrent surtout quand on maintient des bovins sur des sols à texture fine, limono-sableux ou argileux pendant la saison des pluies. Dans les régions sableuses du Sahel, l'impact des animaux sur les propriétés physiques du sol se localise autour des points d'eau et de campement et parfois le long des chemins de parcours.

Les animaux jouent un rôle important dans le transfert de la matière fertilisante sous forme de fèces et d'urine d'un endroit à un autre et des pâturages vers les champs. La proportion du paysage affecté par ce phénomène dépend de l'espèce animale, du taux et de la durée de charge.

Le transfert de la matière fertilisante des pâturages permanents vers les terres cultivées, bien que reconnu comme un élément important de la fertilité des sols, est très limité car il faut 4 à 40 ha de pâturage naturel pour 1 ha de champ cultivé. Aussi une totale capture des nutriments excrétés par les animaux est difficile. Quand les déjections des animaux sont déposées sur le sol, les pertes potentielles des nutriments dépendront de la route d'excrétion (fèces ou urine) et leur nature chimique, la quantité excrétée, la qualité et digestibilité du fourrage, et de l'espèce animale. Par exemple, le taux de la matière azotée dans les fèces des petits ruminants est plus élevé que celles des bovins. Quand les animaux sont nourris à l'étable, le fumier doit être collecté, stocké, transporté et peut perdre une quantité importante des nutriments totaux déposés avant son épandage au champ. Dans les zones semi-arides du Sahel on distingue trois systèmes traditionnels de la gestion de la fumure animale: le parage de nuit au piquet avec translation du dispositif sur les parcelles, les parcs de nuit mobiles, et les parcs de nuit fixes. L'avantage primordial du parage vient du fait que les transferts sont assurés par les animaux eux-mêmes (avec peu d'investissement) et que l'ensemble des excréments (fèces et urine) est déposé sur le champ durant le temps du parage.

Ces méthodes de parage dans les champs sont couramment utilisées pour fertiliser les champs de céréales pendant la saison sèche. En saison des pluies, le parage peut avoir lieu sur les jachères assolées ou des parcours boisés. Sur le plan agronomique, les épandages des fèces accumulés dans les parcs de nuit fixes se limitent généralement à de petites parcelles proches du parc à cause du problème de transport. Dans le cas des parcs de nuit mobiles où les animaux sont gardés libres dans des enclos sur des parcelles de culture, l'effet du piétinement et l'incorporation au sol des déjections peuvent augmenter fortement, les transferts de la matière fertilisante peuvent être importants et concentrés sur de petites parcelles.

Des études conduites dans les stations de recherche en Afrique ont permis de dégager les effets bénéfiques du fumier et du compost sur les rendements des cultures et les propriétés physiques et chimiques du sol, et de conclure que l'utilisation du fumier est légèrement supérieure à l'application des résidus de culture. L'application d'une tonne de fumier frais, par exemple, donne 10 à 30 kg ha⁻¹ de rendement supplémentaire par rapport à l'incorporation d'une tonne de résidus de récolte. Outre les apports fertilisants, le fumier joue, par sa matière organique, un rôle important sur la structure du sol et sa capacité de rétention de l'eau. Le rôle anti-érosif, pourtant, mériterait des études complémentaires, surtout en milieu réel.

Dans les pratiques actuelles des paysans, le fumier seul ne peut pas maintenir la fertilité des sols en culture continue. Dans ce contexte, et face à la persistance de la sécheresse et aux multiples risques associés à l'application des engrais chimiques en conditions de sécheresse, il convient de déterminer des doses, méthodes et périodes d'application de la fumure organique et minérale de manière à synchroniser les besoins des cultures en nutriments et leur disponibilité dans le sol.

Sur le plan agronomique, donner le matériel végétal aux animaux d'abord et collecter le fumier ensuite pour l'appliquer au sol peut accélérer le processus d'humification. Cependant, dans la zone semi-aride tropicale de l'Afrique de l'Ouest, il existe une forte compétition pour les résidus de récolte entre les besoins domestiques, leur usage pour l'amendement de sol et l'alimentation du bétail. De plus, les contraintes de transport circonscrivent l'emploi du fumier dans les champs de céréales les plus proches des villages, et les engrais chimiques, quand ils sont disponibles, dans les champs les plus éloignés. La charrette à traction animale est indispensable pour améliorer l'utilisation de la fumure organique dans cette zone, mais pour que la traction animale joue un rôle effectif dans le transport du fumier aux champs, il est impératif d'accroître d'abord la production fourragère afin d'améliorer la performance des animaux, et ensuite de développer des techniques de gestion plus efficaces des animaux et du fumier.

3.6.3 Accroissement de la production agricole par l'usage de la traction animale

Une option essentielle pour maintenir la production agricole dans les régions tropicales semi-arides est l'usage de la fumure organique et la traction animale. 15% des agriculteurs dans la région tropicale semi-aride de l'Afrique de l'Ouest utilisent la traction animale pour le transport, le sarclage et le labour du sol. Les travaux de préparation du sol avec

instruments à dents (le scarifiage) réalisés avec la traction bovine sont limités en largeur et en profondeur par la force de traction.

En général, les paysans sèment avec les premières pluies. A ce moment le sol est très dur et les animaux trop faibles pour effectuer des labours profonds. On a observé, par exemple au Burkina Faso, que le labour avant la saison de pluie n'est pas possible à cause de la mauvaise condition des animaux de trait à la fin de la saison sèche.

Une autre contrainte à l'utilisation accrue de la traction animale pour les travaux de préparation de sol est le manque d'outils aratoires adéquats et peu coûteux pour les paysans. Les facteurs économiques qui peuvent mener à l'usage de la traction animale sont la croissance démographique et le rapport entre les coûts de production et les prix de revient. Par exemple, quand la densité de la population augmente, les périodes de jachères diminuent, le désouchage devient moins nécessaire libérant ainsi la main d'oeuvre pour la culture attelée si les conditions climatiques, édaphiques et topographiques le permettent. Dans les régions à pentes abruptes ou à couverture végétale très dense, l'usage de la traction animale est difficile. Il est également difficile d'enfouir de grandes quantités de végétation ou de résidus culturaux avec une simple charrue tirée par des animaux de trait. Les longues tiges de maïs ou de mil doivent être coupées en plus petits morceaux ou disposés à la surface du sol le long de la trajectoire à suivre, avant le travail du sol. L'utilisation de la culture attelée dans le Sahel est recommandée pour réduire les besoins en main-d'oeuvre et augmenter la production. Par exemple, le sarclage avec la traction animale est 6 à 7 fois plus rapide que le sarclage manuel. Il a été prouvé que la culture attelée avec un seul ou deux boeufs réduisait le temps de sarclage d'un champ de mil de 56 à 68% par rapport au sarclage manuel, que le labour à plat avec un boeuf était 33% plus rapide que le labour en billons, mais qu'il n'y avait pas de différence entre les types de labour avec une paire de boeufs dans la région de N'Dounga au Niger. Dans la région de Kolo au Niger, on a remarqué que le labour en billons cloisonnés augmentait les rendements de 82% par rapport au labour à plat.

Le riz et le maïs qui sont généralement cultivés sur des terres relativement argileuses, ont des rendements 3 à 4 fois plus élevés que les autres cultures sur des terres plus sableuses. Il apparaît clairement que ces hauts rendements résultent de l'amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol grâce au labour qui peut être aussi efficace que les engrais chimiques même en milieu réel.

Toutefois, l'effet du labour sans engrais est généralement de courte durée; la structure du sol améliorée entraînera une augmentation rapide des nutriments du sol mais les rendements se stabiliseront (ou seront plus faibles) après une ou deux saisons. Le labour comme mesure d'accroissement des rendements ne doit donc être considérée qu'avec des applications d'engrais et de fumier.

Conclusion

La densification de l'occupation de l'espace rural consécutive à la croissance démographique met en cause les complémentarités techniques entre l'agriculture et l'élevage et se traduit à moyen terme par une diminution des effectifs animaux, qui entraîne à son tour une baisse de la fertilisation animale et une dégradation des sols. L'élevage dans la zone soudano-sahélienne dépend très largement de la reproductivité des systèmes agro-pastoraux. D'autre part, la dégradation des parcs arborés consécutive à la remise en cause des modes traditionnels de gestion de l'espace agricole, et à la surexploitation des ligneux pour les besoins de plus en plus importants des populations humaines (bois de feu, bois d'oeuvre) et animales (pâturage aérien, clôtures) pourrait compromettre l'association souhaitée entre l'agriculture et l'élevage. En particulier, l'utilisation des résidus de récolte et même des excréments d'animaux comme combustible viennent en concurrence directe avec la valorisation des sous-produits de récolte en tant qu'aliments du bétail et fertilisation organique des terres cultivées.

Dans la zone soudanienne où on a obtenu des effets dépressifs des résidus organiques sur le rendement des cultures probablement dus à l'immobilisation d'azote dans le sol, la stratégie serait donc transformer les résidus de récolte en compost ou en fumier. Dans la zone sahélienne, l'effort doit porter sur la méthode de gestion des résidus de cultures et du fumier afin de définir des périodes d'application permettant de synchroniser la minéralisation des éléments nutritifs avec les besoins des cultures. Dans la région la plus sèche du Sahel où les résidus de récolte laissés au champ peuvent augmenter les rendements, les options de gestion pourraient viser à accroître la production de la biomasse afin de satisfaire les besoins à la fois des animaux et du sol en résidus de culture.

3.7 Outils de travail du sol

Les opérations de travail du sol peuvent être réparties en fonction du calendrier cultural et de leurs objectifs, en un certain nombre de phases:

- Le labour principal ou premier labour de saison, qui détermine la profondeur de la couche cultivable et vise à préparer le sol pour la culture à venir
- Le labour secondaire ou préparation de planches de semis dont les opérations préparent la terre aux semis ou aux plantations
- La gestion des cultures, c'est à dire les opérations de travail du sol effectuées après les semis ou les plantations, afin d'améliorer la production des cultures
- Le déchaumage, qui vise à nettoyer le champ des résidus de culture et des irrégularités provenant de la culture précédente
- La jachère, qui tente de rendre une période sans cultures profitable pour le sol.

Dans des conditions de climats et de sols tropicaux, les instruments associés au travail du sol primaire sont généralement les plus utilisés. Les outils utilisés dans d'autres phases sont moins importants et seront mentionnés dans la catégorie des outils

associés au labour secondaire. Ce chapitre ne traitera que brièvement de quelques groupes importants d'équipement de travail du sol.

3.7.1 Tracteurs ou traction animale ?

Les principes des instruments de travail du sol destinés à la traction animale sont semblables aux principes appliqués à la traction motorisée, avec toutefois quelques restrictions (évidentes) adaptées aux animaux de trait:

- Chaque instrument est tiré ou traîné et ses outils sont essentiellement passifs ou, dans certains cas, guidés par la résistance du sol
- La vitesse d'avancement est faible (pas plus de 2-3 km/h)
- Leur taille est limitée par la force de traction disponible
- Les instruments avec outils actifs conduits par les roues ne peuvent pas être utilisés. La vitesse est trop lente ou, quand un rapport de transmission élevé est nécessaire, le couple sur le mécanisme d'entraînement devient trop haut.
- Certains facteurs positifs favorisent l'utilisation de ces instruments. Ainsi, le fait qu'ils sont fabriqués par des forgerons locaux, faciles à manipuler et à réparer et qu'ils ne dépendent pas de la disponibilité ou du prix du gasoil. L'accès aux champs, facteur qui peut sérieusement réduire l'utilisation de tracteurs, ne pose pas de problèmes si l'on se sert d'animaux. De plus, les animaux de trait compactent normalement moins le sol que les tracteurs.

3.7.2 Matériel de travail du sol primaire

L'objectif principal du travail du sol primaire est de créer un volume de pores suffisant pour absorber l'eau et l'air et pour permettre une pénétration facile des racines de plantes en ameublissant le sol dans la couche cultivable.

Si le sol est retourné, la matière organique est enfouie à des niveaux profonds, les mauvaises herbes sont contrôlées et, sous certaines conditions, des particules fines de sol lessivées et des éléments nutritifs sont restaurés à la surface. Emotter et retourner sont deux actions importantes surtout sur des sols où la prochaine culture doit être semée rapidement et où beaucoup d'opérations de labour (secondaires) ne pourront pas être effectuées.

3.7.2.1 Matériel de travail du labour primaire

Les opérations de labour principal doivent être effectuées sur tous les sols pour chaque culture ou chaque année. On distingue cinq types d'instruments associés au labour primaire (les moins connus ne sont pas repris):

- la charrue simple, ou araire
- la charrue à (soc et) versoir
- la charrue à disques
- le cultivateur ou charrue chisel
- la houe rotative ou rotoculteur.

3.7.2.1.1 L'araire

Les techniques de semis et de binage destinées à ameublir le sol ont été inventées en Mésopotamie il y a plus de 5000 ans. La première houe était simplement une branche utilisée pour gratter le sol. L'araire est l'instrument associé au labour primaire qui est le plus caractéristique et le plus utilisé dans les zones tropicales arides et les zones subtropicales. Elle permet d'ameublir le sol sans le retourner, laisse une structure grossière et n'enfouit pas complètement les résidus végétaux. Par conséquent, la surface labourée est moins sensible à l'érosion. Les parties principales de la charrue, comme l'âge, les mancherons ou même le corps principal sont encore en bois tandis que le soc est en fer ou en acier. Cette charrue est facile à opérer et à ajuster grâce à sa conception simple. Seul un ajustement en fonction de la profondeur est possible, en changeant le point d'attache ou l'angle entre l'âge et le corps. L'araire nécessite relativement peu de puissance mais pour obtenir un résultat satisfaisant le sol doit être labouré plus d'une fois avec l'outil en croisant la direction du travail et, si possible, en augmentant la profondeur. Celle-ci est limitée à environ 10 cm et dépend fortement du type et de l'état du sol.

3.7.2.1.2 La charrue à versoir

La charrue à versoir a été développée dans les régions d'Europe du nord et de l'ouest, en zones climatiques fraîches et humides. L'avantage principal de cet instrument réside dans le fait qu'il favorise le contrôle des adventices. L'intensité du travail du sol est également plus élevée. Le travail avec la charrue à versoir se caractérise par des sillons ouverts et le retournement du sol. Les premiers types de charrues à versoir destinés à la traction animale se basaient probablement sur le modèle de l'araire. L'âge, les mancherons et une partie du corps de charrue étaient souvent faits en bois. Seuls le soc, et peut-être une partie du corps étaient en fer. Comme le retournement et le mouvement latéral de la tranche de sol provoque une pression sur les côtés de la charrue, un contre-sep doit être monté, souvent avec un talon pour stabiliser la profondeur de labour. Le point d'attache situé à l'avant de l'âge doit être ajusté en fonction de la meilleure traction possible. Les charrues faites entièrement de fer ou d'acier ont évolué par rapport à la conception simple de départ et sont devenues les instruments de labour les plus communément utilisés dans les pays tempérés occidentaux.

Au lieu d'une charrue complètement équilibrée, l'âge est soutenu à l'avant, près du point d'attache, par un patin ou, plus souvent, par une roue de guéret. Les développements suivants ont amené l'installation de coutres et l'utilisation de

corps réversibles. De nombreux types de charrues à versoir peuvent être utilisées avec des tracteurs mais, seules les principales seront mentionnées ci-dessous:

Les charrues simples sont équipées de corps de charrues qui versent le sol d'un seul côté - habituellement à droite. Ceci nécessite une méthode de labour particulière, appelée labour "face à face" et "dos à dos". Si un champ mesure plus de 60 m de largeur, il est conseillé de l'arranger en bandes qui devront être labourées séparément. Les "sillons dos à dos" et les deux sillons ouverts resteront sur le champ après le labour.

Les charrues réversibles possèdent deux corps montés de façon symétrique qui sont mis successivement en service par rotation de 180 degrés du bâti autour d'un axe longitudinal. Cet arrangement permet de tourner les sillons du même côté du champ bien que la charrue avance dans des sens opposés. Les corps de charrue peuvent tourner ou pivoter mécaniquement ou hydrauliquement. Si la charrue est correctement ajustée, la surface du sol est presque nivelée, ce qui est très important pour l'irrigation et le drainage.

On trouve différents systèmes pour monter la charrue sur le tracteur. Les *charrues remorques ou traînées* sont équipées de roues pour contrôler la profondeur. Ces charrues ne sont pas reliées au système hydraulique du tracteur mais à la barre d'attache. Elles n'ajoutent donc qu'un faible poids additionnel sur l'essieu arrière du tracteur. Il est facile et rapide d'atteler et de dételé mais elles ne peuvent être transportées (aller et retour au champ) qu'à faible vitesse. Cela peut devenir un problème sur les petits champs, par exemple, en cultures irriguées, à cause du manque d'espace disponible pour les manoeuvres.

Des *charrues portées* avec jusqu'à cinq corps ou plus sont généralement attachées au système d'attelage trois points du tracteur. Des systèmes d'attache rapide peuvent convenir. La charrue n'est jamais soutenue par des roues de guéret car il y a contrôle de profondeur par l'hydraulique du relevage trois points. Au cours des opérations, une grande partie des forces comprenant le poids de la charrue sont transférées sur l'essieu arrière du tracteur où il y a moins de patinage. Une force importante, environ trois fois le poids de la charrue, est nécessaire pour soulever la charrue du sol, ce qui limite le nombre de corps.

Plusieurs types de socs, versoirs et autres parties comme les coutres sont disponibles en fonction des conditions spécifiques liées aux sols, pentes et besoins des cultures.

3.7.2.1.3 La charrue à disques

La charrue à disques produit généralement une qualité de labour moins intense et différente de la charrue à versoir mais qui est mieux adaptée aux conditions difficiles, telles que sols à racines, pierres et graviers. Les charrues à disques sont rarement utilisées pour la traction animale, principalement parce que:

- Elles ne pénètrent pas dans le sol grâce à leur poids mais ont besoin de poids supplémentaires. Ceci les rend très difficile à manipuler.
- La poussée de côté produite par le disque ne peut être absorbée par un contre-sep passif (comme avec le versoir) et une roue de guide est nécessaire.
- L'installation de disques est compliquée et coûteuse.

Les charrues à disques pour tracteurs sont des instruments très lourds munis d'un à huit disques concaves. La profondeur de travail est située entre 25 et 40 cm. Chaque disque est installé sur un bras avec un axe muni de roulements. Les charrues simples sont fréquentes mais les charrues réversibles existent également. Afin d'éviter d'avoir besoin de deux séries d'outils pour travailler le sol, comme c'est le cas avec la charrue à versoir réversible, les disques sont installés sur une sous-structure et peuvent pivoter de 30 à 40 degrés. Lorsqu'on ajuste l'angle des disques, il faut également inverser la roue guide.

3.7.2.1.4 La charrue chisel

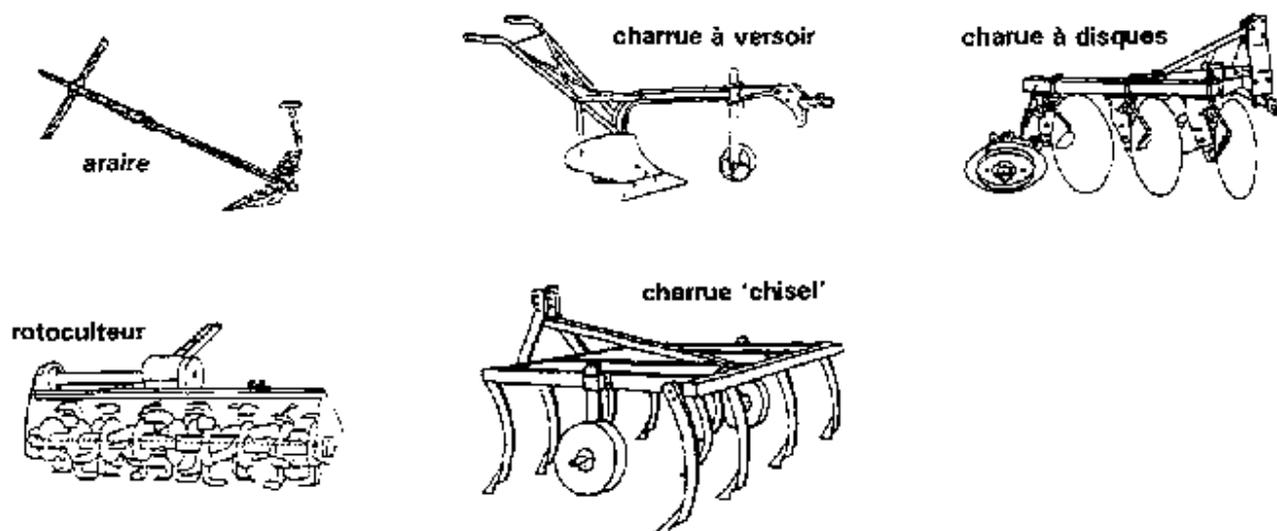
La charrue chisel peut être utilisée à la place des charrues à disques et à versoir dans de nombreux cas. En terme de performances, elle descend directement de la houe. Les cultivateurs et charrues chisel tels qu'ils sont utilisés pour le labour primaire avec les tracteurs sont rarement tirés par des animaux bien que quelques types modifiés d'aires peuvent être considérés comme charrues chisel. Les cultivateurs sont utilisés pour la traction animale mais généralement pour le labour secondaire ou le sarclage.

Dans le cas des tracteurs, des dents rigides, rigides à ressort ou flexibles, sont montées sur un châssis métallique. Elles sont maintenues sur 2 à 4 rangées étalées, par des attaches en acier soudées fixes ou des brides ajustables. La profondeur est contrôlée par les roues de soutien ou les outils montés à l'arrière. Les dents *rigides* - souvent accompagnées d'un dispositif escamotable servant de protection contre les pierres - sont faites en acier de qualité supérieure et elles sont droites ou légèrement recourbées et angulaires afin de hacher. Des dents rigides installées avec un plus petit angle conviennent particulièrement pour un labour profond. Les dents *flexibles*, essentiellement fabriquées à partir d'un acier traité à la chaleur, sont aplaties et légèrement recourbées pour permettre de contourner les obstacles. Elles sont normalement moins adaptées pour un labour profond. Les dents *rigides à ressort* sont installées en pivots et protégées par des ressorts en spirale.

3.7.2.1.5 Le rotoculteur

En contraste, **le rotoculteur nécessite un tracteur** avec une prise de force et convient particulièrement bien pour un retournement intensif du sol et de la matière organique (fraisage), de même que pour un labour intensif. Les rotoculteurs peuvent aussi être montés aux motoculteurs (tracteurs aux deux roues), comme on les trouve dans les rizières ou les cultures de jardinage. A cause de la nécessité importante de force, la capacité limitée (en ha par heure) et le risque d'une pulvérisation excessive, les rotoculteurs sont rarement utilisés pour les cultures céréalières (sauf le riz) dans les pays tropicaux.

Le labour profond associé à d'autres opérations qui visent à augmenter la production et les mesures adéquates de contrôle de l'érosion entraîne de meilleurs rendements et moins de risques d'échecs. D'un point de vue économique, toutefois, des essais sont nécessaires pour déterminer si des rendements maximum assurent également un maximum de revenus. Les aspects écologiques et sociologiques doivent aussi être pris en compte.



effet	instrument de travail du sol				
	araire	charrue à versoir	charrue à disques	charrue chisel	roto-culteur
pulvériser	■	■	■	□	■
ameublir	■	■	■	■	■
mélanger	□	□	■	■	■
retourner	□	■	■	□	□

■	: important	■	: moyen	□	: faible
---	-------------	---	---------	---	----------

3.7.2.2 Matériel de travail du sol secondaire

Ces instruments sont utilisés pour un travail du sol peu profond, le paillage, l'enfouissement des engrais et des résidus de récoltes et le désherbage. Ce groupe d'outils a une fonction très importante sous les climats tropicaux et subtropicaux. Les avantages du paillage pour empêcher l'érosion et augmenter l'infiltration ne sont plus à énumérer. Un bon désherbage mécanique est également important; d'un côté, les mesures pour augmenter la production (eau, éléments nutritifs, travail du sol) favorisent la croissance des mauvaises herbes tandis que de l'autre, les mesures de désherbage mécanique réduisent l'utilisation d'herbicides chimiques au minimum avec tous les avantages écologiques et économiques que cela comporte.

3.7.2.2.1 Les herse

Les herse sont également utilisées avec la traction animale pour les opérations de travail du sol suivant le labour. Un grand nombre de types de herse sont disponibles, comme la herse à dents rigides ou flexibles. Il existe d'autres types de herse comme la herse-étrilleuse et la herse rotative ou houe utilisée dans les rizières. Des petites herse à disques type-V et des billonneuses sont également disponibles pour la traction animale.

3.7.2.2.2 Les cultivateurs

Les cultivateurs légers sont construits de la même façon que les charmes chisel. Cependant, ils sont plus légers (barres, dents) et les dents, souvent flexibles, sont plus rapprochées. Ils peuvent être munis de socs spéciaux (patte d'oie ou lames) afin de combiner une pulvérisation avec un désherbage mécanique. Les cultivateurs légers sont aussi très aptes à

la traction animale, aussi bien pour la préparation d'un lit de semences que pour le binage et pour rompre des croûtes entre les lignes de plantes ou dans le sillon entre les billons.

Matériel approprié

3.7.2.2.3 Les polyculteurs

Les instruments décrits ci-dessus comprenaient les outils traditionnels de même que leurs versions modernes, améliorées ou adaptées.

Une nouvelle approche peut être opérée vers l'instrument polyvalent, c'est-à-dire, un bâti ou un cadre simple auquel peuvent être attachés plusieurs outils interchangeables, comme les corps de charrues, les dents de cultivateur, les corps de billonneuses, les sarcloirs ou les herSES.

Des recherches importantes ont été menées sur leurs applications pratiques, et un certain nombre de polyculteurs ont été développés depuis, allant du type très simple qui consiste en un âge, des mancherons et parfois une roue de soutien, au type muni de deux roues avec pneus pneumatiques et des systèmes d'attelage et d'élévation assez sophistiqués.

Malgré les avantages, en particulier du type à deux roues, le polyculteur est rarement utilisé par le petit producteur dans les régions tropicales. Les aspects suivants devraient être considérés en cas d'utilisation des polyculteurs:

- **La construction:** le cadre de base doit être assez solide pour permettre d'opérer l'instrument avec les outils attachés et avec une traction animale maximale. Ceci impose de lourdes exigences sur les matériaux et la conception. Le système d'installation des outils doit être simple et solide tandis que les outils doivent être arrangés de façon à ne pas produire de forces latérales excessives.
- **Le poids:** le poids doit rester à un certain niveau qui ne cause pas de problèmes de manipulation, surtout pour les modèles sans roues.
- **Le coût:** malheureusement, le coût de plusieurs types d'instruments polyvalents empêche encore les petits agriculteurs de les utiliser massivement. L'instrument et une série d'outils ne devraient pas revenir plus cher que le coût total des impléments individuels.
- **Les animaux de trait:** le travail avec un polyculteur nécessite généralement deux animaux. Ceux-ci ne sont pas toujours disponibles.

Conclusion

Les types d'outils présentés dans le tableau qui suit sont, en principe, disponibles pour les fonctions énumérées plus haut et dans les explications relatives au désherbage et pour les sols encroûtés.

Quelques caractéristiques des outils de travail du sol

	ameublir		briser croûtes	façonner surface	enfouir mulch	mélan- ger	pulvériser	désherbage	
	peu profond	profond						avant.	après.
charrue à soc et versoir	++	++	++	+	++	+/-	+	++	+
charrue à disques	++	+	++	+	+	+/-	+	+	+
cultivateur lourd ('chisel')	+	++	+/-	-	+/-	+	+/-	+/-	-
cultivateur à dents flexibles	++	+/-	++	-	+/-	+	++	+	++
herse à dents rigides	+	-	++	-	-	+/-	+/-	+/-	+
herse rotative	-	-	++	-	-	-	+/-	-	++
herse giratoire - vibrante	+	-	++	-	+/-	+	+	+/-	++
rouleau plombeur	-	-	+	+/-	-	-	+/-	-	-
rouleau ondulé	-	-	++	-	-	-	+	-	-
rouleau brise-mottes	-	-	+	+/-	-	-	++	-	-
buttoir	+	+/-	+	++	+	-	+	+	+
buttoir à disques	+/-	-	+	++	+	-	+/-	+	+
formateur des planches	-	-	+/-	++	-	-	-	-	-
bineuse à patte d'oie ou queue d'hirondelle	+/-	-	++	-	-	-	+/-	+/-	++

- ++ : très approprié
- + : bien approprié
- +/- : moins approprié
- : pas approprié

3.8 Systèmes de travail du sol

Les systèmes de gestion des sols peuvent être considérés comme des cycles d'opérations agricoles guidés par certains principes comme la minimalisation de l'utilisation d'énergie, une moindre désorganisation du sol, la conservation de l'eau et du sol.

Dans ce chapitre, on insistera principalement sur le travail du sol car il existe une forte interaction entre les pratiques de travail du sol et d'autres mesures de gestion, dont les plus importantes sont:

- L'incorporation de résidus de culture pour augmenter la teneur en matière organique du sol et les problèmes techniques qui lui sont liés.
- L'incorporation ou la distribution d'amendements chimiques dans le profil du sol ou sur la surface du sol.
- L'interaction avec les pratiques d'irrigation ce qui est utile pour les sillons, la direction et le calendrier cultural des opérations de travail du sol.

Les termes de 'non travail du sol', travail du sol limité, travail du sol minimum, travail du sol approprié, travail du sol de conservation 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. Ces systèmes et les systèmes traditionnels sont donc tributaires du lieu.

3.8.1 Opérations de travail du sol

Les opérations de travail du sol sont généralement caractérisées par des intrants énergétiquement faibles dans les systèmes traditionnels. Les houes dans le cas du travail du sol et la machette pour le désherbage sont les principaux outils manuels. En Afrique de l'Ouest, de la zone semi-aride à la zone humide, l'emploi de la houe manuelle pour préparer la terre en billons, en tas ou en monticules est une méthode très répandue, liée au labour primaire. Dans ce cas, une partie de plus en plus grande de la surface totale du sol est labourée, du sol de surface est donc collecté ce qui provoque une augmentation de volume du sol pour les semis et le lit racinaire. Le sol du lit de semis est enrichi par la matière organique provenant des mauvaises herbes ou des résidus tandis que l'aération et le drainage sont favorisés. Ce système peut être

classé comme travail du sol minimum ou travail du sol de conservation. Charmer avec des boeufs est devenu la méthode de préparation traditionnelle de la terre la plus répandue au Zimbabwe mais le labour précoce recommandé est effectué par moins de la moitié des agriculteurs à cause des besoins de traction trop importants

3.8.1.1 Types de systèmes de travail du sol

3.8.1.1.1 Travail du sol conventionnel

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 risques de détérioration de la structure du sol augmentent considérablement si on utilise des équipements peu adaptés pour le labour secondaire de sols labourés profondément, comme des herbes traînées légères ou les rotoculteurs entraînés par la prise de force. En dehors des besoins énergétiques élevés, les risques d'érosion et de ruissellement augmentent parce que dans cette situation, la surface du sol est nue et ne sera pas protégée longtemps.

Les agriculteurs ne possédant pas de tracteurs doivent attendre que les pluies aient suffisamment ameubli le sol pour entreprendre les opérations de travail du sol. Ces conditions sont typiques des climats semi-arides avec des saisons des pluies et sèche distinctes. Il existe des controverses à propos de l'utilité et des risques liés au labour des sols ouest africains compacts et durs. Labourer ameublisse la surface du sol et augmente les risques d'érosion. Toutefois, des résultats provenant de la recherche française indiquent que le labour augmente la capacité d'infiltration à un point tel que les risques de ruissellement et d'érosion sont très faibles.

Les problèmes arrivent toujours au début de la saison des pluies. Une plantation précoce est essentielle pour obtenir un bon rendement au vu d'un régime des pluies et de la longueur de la saison des pluies imprévisibles. Si seule la main d'oeuvre manuelle est disponible, le système traditionnel de semis de cultures comme le mil est très efficace. Les trous de plantation sont effectués avec une houe à long manche dans une structure carrée d'environ 1m x 1m, immédiatement après les pluies. Les semences sont placées manuellement puis le trou est recouvert et compacté par les pieds. En appliquant ce travail du sol minimum ou 'spot tillage' comme on l'appelle en Afrique de l'Est, les plantations peuvent être faites à temps mais les conditions d'établissement des plantes sont sous-optimales. Un lit de semences ameubli permet généralement à la culture de mieux démarrer mais cet ameublissement ne peut être réalisé que par un travail du sol mécanisé. La puissance de traction animale disponible est très faible, causée par de mauvaises conditions suite à une longue période sèche où la nourriture est rare, donc la pluie doit ameublir la couche arable tout entière. Les pertes d'eau de pluie sont importantes lorsque la pluie tombe sur un sol dur et encroûté.

Quelques alternatives sont proposées pour surmonter ces contraintes: labourer à la fin de la saison des pluies, par exemple, immédiatement après la récolte. Le sol est en général encore humide et les animaux de trait sont en meilleure forme. Par suite, le sol est grossier et ouvert, prêt à recevoir les premières pluies de la saison suivante. Un des problèmes sérieux qui se pose est causé par les animaux, bétail, et chèvres qui broutent sur les champs pendant la saison sèche, piétinant et aplanissant le sol. Ce système est donc rarement appliqué. Un travail du sol ne retournant pas le sol, avec des instruments à dents, nécessitera moins d'énergie et sera donc plus utilisé. Ce système peut être utilisé avec la traction animale ou une fois toutes les deux ou trois saisons avec des tracteurs. Si l'énergie nécessaire est moindre, cette réduction ne compense pas le problème des mauvaises herbes. D'autres alternatives plus prometteuses ayant rapport à la configuration de la surface et au travail du sol zonal sont expliquées dans le paragraphe suivant.

3.8.1.1.2 Le paillage

Une couche protectrice de résidus culturaux aidera à diminuer les températures élevées à la surface du sol. Elle améliorera la condition physique de la surface du sol en favorisant l'activité de la faune du sol comme les vers de terre et les termites. Ceci pourrait aider à améliorer l'infiltration de l'eau.

Toutefois, pour que ce système soit appliqué favorablement, des quantités considérables de paille sont nécessaires. Pour instaurer et maintenir les activités de la faune, 2 tonnes de résidus au moins sont nécessaires par hectare. La protection de la surface du sol contre l'impact des gouttes de pluie est assurée par un paillage du sol de 90-100%, ce qui représente entre 6 et 8 tonnes/hectare de résidus culturaux. Ces quantités ne peuvent pas facilement être produites par une seule culture (à part peut-être le maïs), donc des cultures de couverture sont nécessaires. Pour gérer convenablement ces cultures de couverture, des techniques de travail du sol adaptées sont nécessaires parce que les méthodes conventionnelles comme la charrue à versoir ou à disques enterrent trop de matériel de protection. La technique de 'non travail du sol' ou le semis direct est le seul moyen de laisser des résidus. Les quantités importantes de paille nécessaires ne peuvent être produites ou appliquées dans les climats semi-arides ou arides, ce qui limite l'utilisation de ce système aux climats (sub)humides.

3.8.1.1.3 Le non travail du sol

Ceci est très lié au paillage. Ce concept assume que toutes les opérations de travail du sol, y compris la préparation du lit de semences et les mesures de désherbage mécaniques, sont éliminées. C'est seulement en adhérant strictement à ce

principe que l'action positive de la faune du sol sera totalement exploitée. Ce système suppose une forte dépendance aux herbicides chimiques pour le désherbage et l'absence de toute opération d'ameublissement du sol.

L'activité biologique assez développée près de la surface du sol, comprenant une concentration des racines de la culture, entraîne généralement une amélioration de l'infiltration. Toutefois, la densité du sous-sol ou horizon B entraînera un équilibre entre les forces compressives (passage, etc.) et les forces ameublissantes (gonflement et rétrécissement, racines). Dans le cas de sols à structure inerte comme beaucoup de sols limoneux tropicaux, la résistance mécanique devient rapidement très élevée pour le développement racinaire. En conséquence, le 'non travail du sol' ne semble pas être une solution pour gérer les sols pris en masse, particulièrement dans les régions semi-arides. Le 'non travail du sol' peut être appliqué avec succès sur des sols encroûtés. Le comportement favorable sous le 'non travail du sol' peut être attribué à la bonne structure du sol dans la zone racinaire. Dans l'Afrique de l'Ouest humide, le 'non travail du sol' pourrait assurer un système agricole viable sur Alfisols.

3.8.1.1.4 Le passage contrôlé

Bien que le compactage et la prise en masse des sols peuvent arriver après des cycles séchants et mouillants, les forces mécaniques supplémentaires augmentent considérablement les problèmes. Avec les systèmes conventionnels, le poids du passage des tracteurs et des équipements effectuant les opérations de labour secondaire réduit l'effet bénéfique du labour ameublissant.

Le compactage peut aussi, à un moindre degré, être causé par les hommes et les animaux. En séparant les zones d'enracinement et de passage, on peut obtenir un développement de culture et un calendrier cultural favorables dus à des conditions optimales du travail du sol. Cette approche zonale peut également être combinée positivement avec des mesures de conservation du sol et de l'eau. Etant donné que ces systèmes ont généralement moins de besoins énergétiques que les systèmes conventionnels du fait qu'une partie de la terre seulement doit être labourée, ils sont surtout appliqués dans les régions où les disponibilités énergétiques sont limitées. Les billons et les billons cloisonnés

Comme nous l'avons vu plus haut, les systèmes de labour en bandes ou zonal comprennent généralement une forme de configuration de la surface comme des planches larges ou des micro captages. Ces systèmes sont souvent très récents et bien que leur utilisation soit une réussite sur les fermes expérimentales, ils ne sont pas encore très répandus. Au contraire, le billonnage ou le sillonnage en demi-planches comme par exemple la construction de billons séparés de 50 à 80 cm, est presque une composante intégrale des systèmes agricoles à faibles intrants énergétiques. C'est particulièrement le cas en Afrique.

Un certain nombre d'avantages peuvent expliquer la popularité de ce système:

- Economie d'énergie - si effectué directement, seulement 50% du champ doit être labouré
- Le désherbage est plus facile
- La totalité du matériel organique est incorporé dans le billon
- La construction peut être réalisée par une simple charrue à versoir ou une billonneuse; elle peut même être réalisée manuellement si des animaux de trait ne sont pas disponibles
- Les risques d'engorgement sont réduits si on a un bon drainage.

Le billonnage présente des avantages pour la gestion de l'infiltration mais aussi pour l'établissement de la culture à cause du faible compactage du sol dans le billon. La faible densité du billon peut toutefois entraîner un séchage plus rapide du sol autour de la semence et donc augmenter les risques d'échecs pour les cultures en conditions sèches. Le billonnage cloisonné comprend la construction de cloisonnements dans le sillon à intervalles réguliers pour empêcher le ruissellement le long des sillons. Ces systèmes ont été développés vers la fin des années cinquante en Afrique, originellement sur des grandes exploitations agricoles mécanisées. Avec le développement de simples outils à cloisonner opérés manuellement, ces systèmes sont aussi utilisables par les agriculteurs ne possédant pas de tracteurs. Des recherches effectuées en Afrique de l'Ouest sur les Alfisols ont montré le potentiel de ces systèmes associés avec la traction animale. Malgré tout, les pertes par évaporation sur sols lentement perméables peuvent toujours être considérables.