



HAL
open science

**Une démarche agronomique pour accompagner le
changement technique. Cas de l'emploi du traitement
herbicide dans les systèmes de culture à sorgho repiqué
au Nord-Cameroun**

Bertrand Mathieu

► **To cite this version:**

Bertrand Mathieu. Une démarche agronomique pour accompagner le changement technique. Cas de l'emploi du traitement herbicide dans les systèmes de culture à sorgho repiqué au Nord-Cameroun. Agronomie. INAPG (AgroParisTech), 2005. Français. NNT : 2005INAP0002 . pastel-00001183

HAL Id: pastel-00001183

<https://pastel.hal.science/pastel-00001183>

Submitted on 3 Feb 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Institut National Agronomique Paris-Grignon

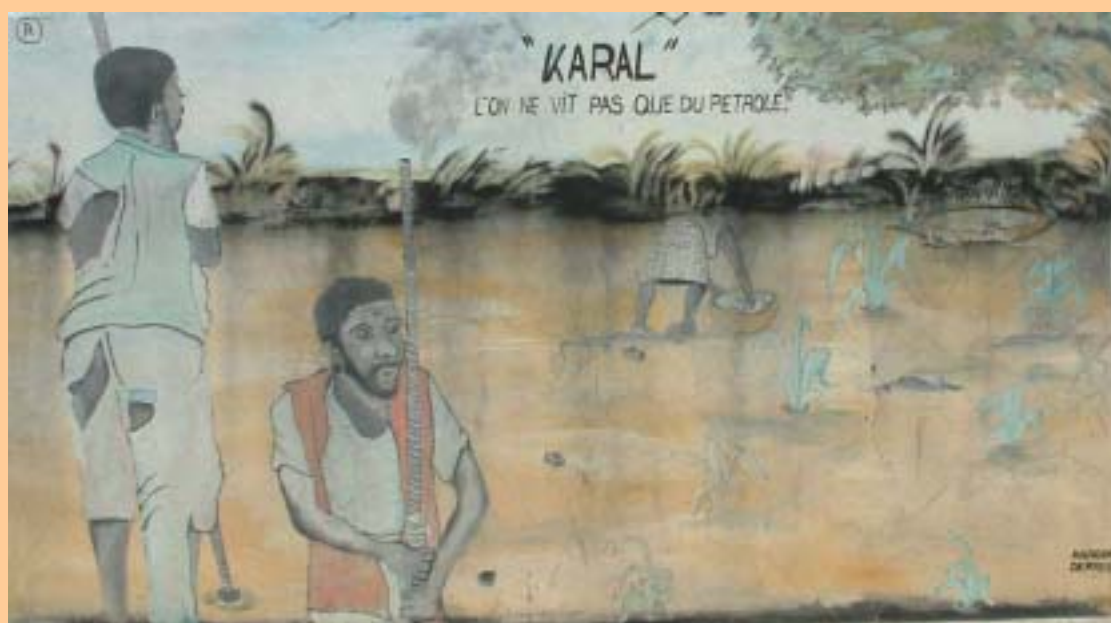
UMR Agronomie INRA-INA-PG, UMR SADAPT, CIRAD Tera, Projet ESA/SODECOTON

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de docteur de l'INA Paris-Grignon

par **Bertrand MATHIEU**

Une démarche agronomique pour accompagner le changement technique

Cas de l'emploi du traitement herbicide dans les systèmes de culture
à sorgho repiqué au Nord-Cameroun



Soutenu le 4 février 2005 devant la commission d'examen composée de :

Pierre MILLEVILLE

Hubert MANICHON

Jean-Pierre BAUDOIN

Christine RAIMOND

Jean-Yves JAMIN

Lamine SEINY BOUKAR

Thierry DORE

François PAPY

Directeur de recherche IRD

Directeur de recherche CIRAD

Professeur Université Gembloux

Chargée de recherche CNRS

Chargé de recherche CIRAD Tera

Chargé de recherche IRAD

Professeur INA-PG

Directeur de recherche INRA

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Examineur

Examineur

Examineur

Directeur de thèse

Résumé

Le développement de la culture du sorgho de saison sèche, qui concerne l'ensemble du bassin du lac Tchad, constitue la dynamique agraire la plus visible de ces dernières décennies dans les plaines de l'Extrême-Nord Cameroun. La plante est repiquée dans des terres argileuses plus ou moins inondables, difficilement cultivables en saison des pluies, et accomplit son cycle à partir de la réserve en eau du sol.

Le traitement herbicide, introduit récemment, est utilisé de façon croissante compte tenu des avantages à la fois agronomiques pour accélérer la préparation des parcelles et maîtriser certaines adventices vivaces, et économiques en réduisant légèrement les coûts par rapport à l'emploi de manœuvres salariés. Un travail de recherche est apparu opportun pour accompagner les agriculteurs concernant l'adaptation de ce changement technique vers une utilisation la plus modérée possible des herbicides. Notre démarche associe deux approches agronomiques : l'une consiste à cerner les problèmes que les agriculteurs doivent résoudre à travers l'analyse et la formalisation des règles de décision pour la conduite de la culture ; l'autre à évaluer de nouvelles règles de décision liées à l'utilisation de l'herbicide sur l'élaboration du rendement de sorgho et l'évolution de la flore. La combinaison de ces deux formes de connaissances agronomiques permet de conseiller les agriculteurs sur l'insertion judicieuse d'une nouvelle technique dans leurs systèmes de culture, en valorisant au mieux leurs savoirs et leurs savoir-faire. La démarche s'appuie sur des enquêtes fines à l'échelle de l'exploitation agricole et des expérimentations "systèmes de culture" en parcelles paysannes, dans deux terroirs de référence.

L'analyse révèle l'importance de l'hétérogénéité inter et intra-parcellaire du sol, sur laquelle l'agriculteur s'appuie pour enchaîner les opérations afin de repiquer dans de bonnes conditions d'humidité du sol malgré la lenteur des tâches culturales et un créneau réduit de réalisation de l'implantation. Dans la majorité des situations pédo-climatiques, la réserve hydrique du sol constitue le principal facteur limitant de la culture. La concurrence des mauvaises herbes se révèle limitante dans les terrains les plus humides en particulier lors des années de bonne pluviométrie. Dans ces conditions climatiques et d'enherbement, le traitement herbicide offre des gains de rendement d'au moins 20 % et parfois beaucoup plus dans les zones inondables où prolifèrent certaines adventices vivaces. Dans les situations à dominante de graminées annuelles, le désherbage chimique ne permet pas d'augmentation de production et ne devrait être envisagé que comme une solution d'ajustement ponctuelle pour éviter à l'agriculteur de prendre du retard dans l'implantation de sa sole, en particulier lors des années les plus sèches. Les résultats ont permis de préciser les règles de décision liées à la mise en œuvre du traitement : localisation des traitements et modulation des doses en tenant compte de l'hétérogénéité des milieux cultivés ; alternance de l'utilisation d'herbicide avec le mode de préparation habituelle selon le scénario climatique.

Cette démarche, mise en œuvre dans le cadre d'un projet de développement, contribue à l'enrichissement de services d'appui et de conseil aux exploitations familiales à l'échelle régionale, notamment pour orienter les agriculteurs vers des principes de gestion intégrée de l'enherbement et limiter les effets négatifs de l'innovation sur l'environnement et l'emploi en milieu rural.

Mots clés : Sorgho repiqué / règle de décision / herbicide / gestion de l'enherbement / vertisols / Nord-Cameroun

Summary

The spread of dry season sorghum, which concerns the whole lake Chad basin, is now attaining remarkable proportions in the farming systems of far-northern Cameroon. The crop is grown in vast areas of clayey soil, partially flooded, that are difficult to till during rainy season, and achieves its cycle with the use of soil water reserve.

Herbicide treatment, introduced recently, is more and more used because of its agronomic advantages to clean the fields faster and to control perennial weeds, but also economic, by slightly reducing the costs in comparison to farm labourers employment. An adaptive research has been carried out to reach the most moderate use of herbicide. Two levels were considered for this agronomic approach : one concerns the understanding of farmers problems through analysis and formalisation of their decision rules to monitor the crop ; the other deals with the assessment of new decision rules concerning the use of herbicide, on sorghum yield and weeds populations. The combination of these both levels of agronomic knowledges allows to support farmers on the most proper way to integrate a new technology in their cropping systems, by taking advantage of their know-how. This approach relies on farmers interview at the farm level and cropping system experiments at the field level, in two study sites.

Analysis shows a strong soil heterogeneity between and inside plots, on which farmers rely to achieve successive cultivation techniques and to realise transplantation in optimal soil moisture conditions in spite of the slowness of manual work and the short period to set the crop. Soil water reserve appears to be the principal limiting factor for transplanted sorghum. Weeds competition has an impact on crop production especially in the most humid soils, often flooded during years of high rainfall. In those situations, herbicide treatment offers a yield increase of, at least, 20 % and more in areas infested by perennial weeds. In situations dominated by annual Gramineae, herbicide doesn't lead to an improvement of sorghum production and should be used only as a punctual solution, especially during years with low rainfall to avoid farmers to delay implantation of their fields. These results allow to specify decision rules concerning the use of herbicide for an integrated weeds management : localisation of treatments and adjustment of dose according to the heterogeneity of cultivated environments ; succession of herbicide treatment and manual cleaning mode, according to the climatic scenario and the weeds population.

This research, lead in a development program, closely contributed to reinforce advisory services at a regional scale, in order to limit negative impacts of this innovation on natural environment and local employment.

Key words: Transplanted sorghum / decision rules / herbicide / weeds management / far-north Cameroon

Avant-propos

"*Karal, l'on ne vit pas que du pétrole*", ou le sorgho repiqué comme alternative aux "sirènes de l'or noir" ? J'emprunte l'expression à l'artiste qui a peint, dans une gargote de Kaélé, cette fresque très réussie de repiquage du sorgho figurant sur la couverture¹. La formule illustre bien toute l'importance de cette culture pour les populations de l'Extrême-Nord Cameroun. J'ai consacré quelques belles années dans la région à tenter de comprendre la diversité et les subtilités techniques de ce système de culture original. Mon travail dans les projets DPGT (Développement Paysannal et Gestion des Terroirs) et ESA (Eau Sol Arbre) au sein de la SODECOTON (Société de Développement du Coton du Cameroun), m'a permis d'aborder les multiples facettes du sorgho repiqué et des problématiques qui y sont rattachées, au prix parfois de quelques grands écarts, compte tenu des exigences liées à la conduite d'une thèse... Au terme de ce parcours, il me faut dérouler le fil des événements, et surtout des nombreuses rencontres et contributions qui entrent pour une grande part dans la concrétisation de ce travail.

Au départ il y a André Teyssier, qui me propose d'aller voir d'un peu plus près l'efficacité de traitements herbicide destinés à limiter le riz sauvage dans les meilleures terres à *muskuwaari*. Un grand merci pour ses idées, son soutien et pour avoir fait des pieds et des mains chaque fois qu'il a fallu justifier un prolongement de nos travaux.

Mes plus sincères remerciements vont bien sûr à François Papy et Thierry Doré qui ont fournis "un encadrement de première classe" pour mener à bien cette thèse. Au fil des rencontres, des réunions, des missions sur le terrain, les concepts agronomiques et la démarche se sont chargés de sens. J'ai bénéficié de leur soutien sans faille, jusqu'à la correction "en flux tendus" lors des derniers jours de rédaction ! Qu'ils trouvent là toute mon estime et ma reconnaissance.

Je tiens à remercier Pierre Milleville, Hubert Manichon, Jean-Pierre Baudoin, Christine Raimond, Jean-Yves Jamin et Lamine Seiny Boukar, d'avoir bien voulu participer au jury de ma thèse.

Pour la conduite des enquêtes et des essais, j'ai bénéficié de l'appui indispensable de Seydou Hamadou et Moussa Daouda à Balaza, ainsi que de Ngatanko Barnabas à Mowo. Merci du fond du cœur pour leur patience leur disponibilité, la qualité des données récoltées, et l'accueil familial après des heures passées sous le soleil.

Ce travail n'aurait pas non plus vu le jour sans Aboubakary, sollicité lors de mes retours en France pour le suivi des essais et les premières analyses. J'espère vraiment que les échanges et la collaboration se poursuivront. Une pensée amicale pour Ibrahim Goni, sollicité pour de multiples besoins de saisie. Merci pour sa disponibilité et sa bonne humeur.

Toute ma reconnaissance va à Mahamat Alifa, qui poursuit le programme de recherche-développement sur le sorgho repiqué au sein du projet ESA. Nos échanges fructueux et souvent prolongés, sur le terrain et au bureau m'ont beaucoup apporté. Je n'oublie pas Aziz, avec lequel j'ai débuté mes travaux sur le *muskuwaari*, ainsi que Elias Gondji et toute l'équipe de TERDEL pour nos régulières collaborations.

Je tiens à saluer également tous les Conseillers Paysans avec lesquels j'ai travaillé sur le terrain, avec une pensée particulière pour Koué Label, Bouba Garga et Hassoumi, en espérant qu'ils puissent poursuivre leur travail essentiel dans les villages de l'Extrême-Nord Cameroun.

¹ Merci, au passage, à Toumba du projet ESA pour la photo.

Toute ma reconnaissance va à l'ensemble du personnel des projets DPGT et ESA. Je n'oublie pas en premier lieu de remercier Michel Thézé, à qui revient la paternité des premiers essais herbicide dans le *karal*. Tout au long de mon travail au Cameroun, j'ai pu bénéficier de son efficacité, son pragmatisme et son accueil toujours chaleureux. Il me faut également signaler Abou Abba, Boukar Toto, M. Hamidou, pour les multiples échanges et services rendus. Mais aussi, les Anne Legile, Mana Justin, Nathan Bello, Krishna Naudin,... pour les idées et l'enthousiasme, ainsi que Souleymane et Birme qui m'ont mis sur le bon chemin.

Ce travail a reçu l'appui de nombreuses personnes du CIRAD que je tiens à remercier vivement ici : Pascal Marnotte bien sûr, pour ses avis éclairés, ses relectures minutieuses et ses conseils jusque dans les derniers jours de rédaction. Il a contribué à la détermination des espèces herbacées avec Alain Carrara et Pierre Poilecot. J'ai eu la chance de travailler avec Alain Ratnadass dont les missions à Maroua ont été essentielles à la compréhension des problèmes de foreurs des tiges sur le sorgho repiqué. Merci à Pascal Moyal (IRD) et My-Hanh Luong-Skovmand pour l'identification des échantillons de foreurs. Jacques Chantereau m'a également fait profiter de ses connaissances sur la biodiversité des sorghos. Guy Faure m'a mis le pied à l'étrier pour démarrer véritablement un travail de thèse, relayé ensuite par Patrick Dugué dont le suivi et les conseils m'ont été précieux, ainsi que ceux de Michel Havard et Jean-Pascal Pichot. Merci à Brigitte et Véro pour la gestion conviviale (mais toujours rigoureuse) des missions et du budget.

Un grand merci à tous ceux ayant participé à l'un des trois comités de thèse. Parmi ceux que je n'ai pas encore cités : Philippe Debaeke, Isabelle Michel et Eric Malézieux.

Toute ma reconnaissance va à Christian Seignobos auprès duquel j'ai pu glaner des idées et conseils issus de son intarissable connaissance du Nord-Cameroun.

Spéciale dédicace à Denis Gautier, dont les questionnements et éclairages scientifiques furent aussi enrichissants que les conversations autour d'une GP.

Un grand merci à Arnaud Duboisset, pour les consultations en pédologie et cartographie. Un ami et complice à Maroua et maintenant à Montpellier. La réalisation des cartes sur son antiquité informatique relève du miracle de Noël...

A toute l'équipe du "Box-office", salle d'accueil des stagiaires et doctorants du Cirad-Tera, véritable pépinière de jeunes chercheurs, ou tout est conçu pour l'éclosion des idées et l'émulation intellectuelle, ainsi qu'une réelle intégration dans les équipes de recherche... Une pensée pour Nicolas, Mathieu, Frédérique, Christophe, Lamia, Liba'a... en souhaitant qu'ils soient rapidement en haut de l'affiche.

Noémi a croisé mon chemin au Nord-Cameroun et c'est engagée dans une démarche d'accompagnement de doctorant : écouter les plaintes, soulager les doutes, anticiper les changements d'humeur...sa présence et son affection sont inestimables. A mes parents en espérant leur consacrer un peu plus de temps, ainsi qu'à Elodie, Olivier, Amélie et Anne.

Last but not least, merci de tout mon cœur à tous les agriculteurs associés aux enquêtes et expérimentations. Ils ont toujours reçu "Mr Biletan" avec gentillesse, répondant patiemment à mes questions parfois alambiquées.

A mes grand-parents

Note

Le foulfouldé, la langue des Peuls du Nord-Cameroun, est considérée comme la langue véhiculaire de la région et tend à devenir une langue de communication écrite. La transcription des termes locaux en foulfouldé s'inspire de *L'atlas de la province Extrême-Nord Cameroun* (Seignobos et Iyébi-Mandjek, 2000), les auteurs s'étant eux-mêmes appuyés sur la graphie phonétique de la langue peule utilisée par les linguistes (Noye, 1989 ; Tourneux et Daïrou, 1998). Les noms au pluriel sont aussi transcrits lorsqu'ils sont connus et souvent utilisés (exemple *karal* : pl. *kare*).

L'atlas a servi également de référence pour la transcription des toponymes et des noms d'ethnies, qui figurent toujours avec une majuscule. Le pluriel n'est pas appliqué aux noms d'ethnie. Les termes "Fulbe" et "Peuls" constituent un cas particulier. En foulfouldé, *Fulbe* (les Peuls en français), est le pluriel de *pullo* (un Peul). On utilise au choix le nom en foulfouldé ou en français, mais l'adjectif est toujours utilisé en français (exemple : la conquête peule).

Le terme "hardé", couramment utilisé par les pédologues dans la région, est employé comme un nom français et peut être mis au pluriel.

Tous les noms en foulfouldé ou autres dialectes, ainsi que les noms scientifiques (botaniques, entomologiques,...) apparaissent en italique.

SOMMAIRE

Introduction.....	9
Chapitre 1 : Une démarche agronomique pour accompagner l'évolution des systèmes de culture à <i>muskuwaari</i>	
1. Le <i>muskuwaari</i> dans l'Extrême-Nord Cameroun : historique et situation actuelle	13
1.1. Le sorgho repiqué parmi les systèmes de culture de sorgho de saison sèche	13
1.2. Historique de la culture du <i>muskuwaari</i> dans l'Extrême-Nord.....	17
1.3. La situation actuelle : aire d'extension et place dans les systèmes de production.....	24
2. Position du problème.....	38
2.1. Contribution de la filière coton à l'évolution du système de culture à <i>muskuwaari</i>	38
2.2. Les interventions sur la filière céréales depuis 1996.....	40
2.3. Le traitement herbicide dans le karal, une pratique non stabilisée.....	41
2.4. Problématique et hypothèses de travail.....	42
2.5. Enjeux de la recherche	43
3. Démarche, cadre d'analyse et méthodologie.....	45
3.1. Démarche et justification.....	45
3.2. Cadre théorique	46
3.3. Dispositif de recherche.....	53
4. Synthèse.....	57
Chapitre 2 : Caractérisation de la diversité des systèmes de culture à <i>muskuwaari</i>	
1. Méthode.....	59
2. Problématique générale de la culture du <i>muskuwaari</i>	59
3. Le sorgho repiqué : la plante dans son milieu	61
3.1. Rappels sur le sorgho et spécificités du <i>muskuwaari</i>	61
3.2. Influence du climat sur la réussite du sorgho repiqué.....	69
4. Hétérogénéité des milieux et diversité des pratiques.....	75
4.1. Dimension collective et organisation spatiale du système de culture à l'échelle territoriale.....	75
4.2. Les pratiques des agriculteurs face à l'hétérogénéité du milieu.....	84
5. Conclusion discussion	97

Chapitre 3 : Formalisation des règles de décision pour la conduite du *muskuwaari*, évolution avec l'adoption du traitement herbicide

1.	Formaliser les décisions techniques pour la conduite du sorgho repiqué : concepts et méthodes utilisés	99
1.1.	<i>Le concept de modèle d'action</i>	100
1.2.	<i>Application du concept de modèle d'action pour analyser la conduite du muskuwaari</i>	100
1.3.	<i>Concepts et catégories de RdD utilisés</i>	101
1.4.	<i>Méthode d'enquêtes et déroulement</i>	103
1.5.	<i>Formalisation des résultats</i>	104
2.	Résultats sur les RdD et formalisation des modèles d'action.....	105
2.1.	<i>Formaliser les RdD à travers l'exemple de l'exploitation de G.O</i>	105
2.2.	<i>Comparaison des modes de conduite dans les autres exploitations enquêtées</i>	117
2.3.	<i>Synthèse sur l'évolution des RdD liée à l'introduction de l'herbicide</i>	137
3.	Grille d'analyse de la conduite du <i>muskuwaari</i> à l'usage de conseillers	138
4.	Discussion-conclusion	140

Chapitre 4 : Diagnostic agronomique et évaluation des effets du traitement herbicide sur le fonctionnement de l'agro-écosystème

1.	Éléments de bibliographie sur le fonctionnement du peuplement de sorgho.....	143
1.1.	<i>Cycle de développement du sorgho et analyse des composantes du rendement</i>	143
1.2.	<i>Nutrition du sorgho en éléments minéraux</i>	144
1.3.	<i>Influence des conditions du milieu</i>	144
2.	Présentation du dispositif expérimental	145
2.1.	<i>L'évaluation expérimentale des itinéraires techniques</i>	145
2.2.	<i>Echantillonnage des parcelles paysannes et des placettes d'observations</i>	148
2.3.	<i>Mesures et observations effectuées</i>	151
2.4.	<i>Traitement des données</i>	154
3.	Diagnostic sur la variabilité des rendements dans les parcelles témoin.....	157
3.1.	<i>Analyse de l'élaboration du rendement</i>	157
3.2.	<i>Etats du milieu à l'origine des variations de rendement</i>	165
3.3.	<i>Impact des caractéristiques de repiquage sur les états du milieu</i>	185
3.4.	<i>Conclusions sur l'analyse de la variabilité des rendements</i>	189
4.	Evaluation agronomique des traitements herbicides dans diverses situations d'enherbement .	190
4.1.	<i>Intérêts et limites du traitement herbicide selon les situations d'enherbement</i>	191
4.2.	<i>Evaluation de l'arrière-effet des traitements herbicide</i>	213
4.3.	<i>Synthèse : grille d'analyse des situations, options pour la gestion de l'enherbement</i>	217
5.	Discussion-conclusion	218

Chapitre 5 : Discussion et perspectives

1.	Intérêts des résultats pour faire évoluer les pratiques culturelles	221
1.1.	<i>Retour sur les hypothèses</i>	221
1.2.	<i>Domaine de validité des références établies.....</i>	222
1.3.	<i>Raisonner les applications selon le mode de conduite et le scénario climatique.....</i>	223
1.4.	<i>Une impérative mise en garde sur l'utilisation des herbicides.....</i>	225
2.	Conséquences pour le conseil et l'accompagnement technique des producteurs	228
2.1.	<i>Vers un conseil diversifié et adaptatif.....</i>	228
2.2.	<i>Poursuivre l'accompagnement du changement technique.....</i>	229
3.	Orientations des recherches sur les systèmes de culture à <i>muskuwaari</i>.....	230
3.1.	<i>Pour la construction d'innovations en partenariat.....</i>	230
3.2.	<i>Suivre et orienter la dynamique du muskuwaari à l'échelle des territoires.....</i>	231
	Conclusion.....	233

Introduction

Le sorgho repiqué constitue une valorisation originale des plaines argileuses plus ou moins inondables présentes dans l'ensemble du bassin du lac Tchad. La plante dispose d'une capacité d'adaptation remarquable à des conditions climatiques et édaphiques variables. Transplantée en fin de saison des pluies dans un sol parfois encore engorgé, elle poursuit son cycle cultural au cours de la saison sèche à partir des réserves en eau du sol en supportant une importante sécheresse liée aux températures élevées et aux vents desséchants. La récolte, au milieu de la saison sèche, fournit une production essentielle pour l'alimentation des exploitations familiales et l'approvisionnement des villes.

Les différentes études, en particulier de géographes, sont unanimes : l'intérêt des populations pour cette culture et l'extension des surfaces qui en résulte, constituent une des dynamiques agraires les plus visibles de la région au cours des dernières décennies, en particulier dans les plaines de l'Extrême-Nord Cameroun (Boutrais, 1978 ; Hallaire, 1984 ; Seignobos et al, 1995 ; Raimond, 1999 ; Pourtier, 2003). Dans cette région, le *muskuwaari* désigne en foulfouldé, la langue des Peuls, l'ensemble des sorghos repiqués sur vertisols, des terres argileuses difficilement exploitables en saison des pluies appelées *karal* (pl. *kare*)², et cultivées en continu parfois depuis plus d'un siècle. La progression du sorgho repiqué observée depuis une cinquantaine d'année a induit une véritable transformation des paysages. La culture du *muskuwaari* engendre un défrichage collectif par grandes taches, avec l'élimination quasi-systématique des arbres pouvant servir de reposoirs pour les oiseaux granivores et concurrents de la culture pour l'utilisation de l'eau du sol (Seignobos, 2000). Ainsi, ces étendues en apparence uniformes constituent des unités paysagères bien délimitées : vastes plaines herbeuses pendant la saison des pluies, elles sont ensuite recouvertes de sorgho pendant une partie de la saison sèche. Elles se distinguent des zones de cultures pluviales, sur les terres plus filtrantes en position topographique plus haute, où se pratique généralement une rotation bisannuelle coton-sorgho pluvial.

L'extension du *muskuwaari* répond au besoin d'accroissement de la production céréalière, tout en offrant une répartition des risques liés aux aléas climatiques et des travaux agricoles dans le temps (Raimond, 1999). Les travaux des géographes ont largement contribué à reconnaître et caractériser la richesse des savoirs et des pratiques paysannes à l'origine de la diversité actuelle des systèmes de culture (Seignobos, 1993 ; Donfack et Seignobos, 1996 ; Raimond, 1999). Ces études ont mis en évidence le perfectionnement des techniques culturales, à mettre à l'actif des populations locales. Les agriculteurs, sur la base d'expérimentations et d'ajustements progressifs des itinéraires et des modes de conduite, sont parvenus à adapter la culture à des milieux variés. Cependant, l'extension des superficies, qui s'est accélérée lors des dernières décennies, fait apparaître des contraintes nouvelles :

- problèmes territoriaux pour la gestion des ressources naturelles et les relations entre agriculteurs et éleveurs, compte tenu de la progression de la culture au détriment des espaces de brousse utilisés pour la récolte du bois de feu et le pâturage (Raimond, 1999),
- problèmes sociaux d'inégalité d'accès à la culture du *muskuwaari* avec l'augmentation de la saturation foncière,
- contraintes agronomiques de maîtrise de l'enherbement dans les milieux les plus humides et de variabilité inter-annuelle des surfaces cultivées compte tenu d'une dépendance de la mise en culture selon le scénario climatique dans certains sols.

² On parle également du *karal* de l'agriculteur, c'est à dire une superficie d'un seul tenant, à l'intérieur de la sole collective, dans laquelle il repique le *muskuwaari*.

Concernant ce dernier aspect, l'emploi d'un herbicide total, introduit récemment dans les itinéraires techniques du *muskuwaari*, semble présenter des avantages aussi bien pour la maîtrise des adventices vivaces que pour accélérer la préparation des parcelles. L'approvisionnement étant facilité par la présence dans la région d'une filière coton intégrée dont sont membres la plupart des agriculteurs, ces derniers ont rapidement cherché à adapter l'utilisation de l'herbicide dans les différents types de sol et situations d'enherbement concernés par la culture du sorgho repiqué. La proportion croissante des surfaces traitées soulève des questions concernant les effets à long terme sur l'environnement, ainsi que l'impact de l'innovation sur l'économie locale en réduisant l'embauche de manœuvres pour les travaux de fauchage et en créant une dépendance des agriculteurs vis-à-vis de l'approvisionnement en intrants. Un travail de recherche est apparu opportun pour accompagner les agriculteurs concernant l'adaptation de ce changement technique vers un maniement prudent et le plus modéré possible des herbicides.

Pour cela, la caractérisation de la diversité des milieux et des pratiques déjà bien abordée dans les travaux antérieurs (Seignobos et al., 1995 ; Donfack et Seignobos, 1996 ; Raimond, 1999), demeure insuffisante pour bien comprendre les problèmes concrets que se posent les agriculteurs dans le déroulement de l'implantation selon leurs ressources productives (surfaces, types de sols disponibles, main d'œuvre). De plus, avec le développement du traitement herbicide, on touche aux limites des savoirs paysans. Ces derniers ne peuvent pas connaître les risques à long terme liés à l'utilisation de ces produits. Notre démarche d'accompagnement de l'innovation associe deux approches agronomiques : l'une consiste, à travers l'analyse des pratiques par enquête, à cerner les problèmes que les agriculteurs doivent résoudre et à construire un jeu de règles d'action ; l'autre à réaliser des essais visant à comparer plusieurs règles d'action (essais "systèmes de culture").

Une attention particulière est accordée à la gestion de l'enherbement, afin de fournir des éléments d'appréciation supplémentaires concernant les conditions d'efficacité de l'herbicide, tant au niveau de l'organisation du travail pour la conduite de la culture que du point de vue de la production de sorgho. Les références attendues concernent des éléments de caractérisation de différents modes de gestion technique du sorgho repiqué, ainsi qu'un référentiel technico-économique concernant l'effet du traitement herbicide sur l'élaboration du rendement du sorgho et l'évolution de la flore dans des conditions pédo-climatiques variées. Notre recherche ayant eu lieu dans le cadre d'un projet de développement, une suite opératoire a pu être rapidement donnée, notamment en associant le plus possible les conseillers agricoles. Les outils élaborés pour leur usage, doivent permettre d'enrichir les services d'appui et de conseil aux exploitations familiales à l'échelle régionale.

L'organisation de la présentation de nos résultats est liée aux différents niveaux d'analyse, abordés "en cascade" dans les différents chapitres.

Le chapitre 1 donne un aperçu de la dynamique du *muskuwaari* ayant abouti à l'importance et la diversité actuelle des systèmes de culture à sorgho repiqué, avant de présenter le contenu de notre démarche ainsi que les concepts et méthodes utilisés.

Dans le chapitre 2, on cherche à caractériser la diversité des systèmes de culture en abordant l'organisation spatiale de la culture à l'échelle territoriale, la répartition et l'hétérogénéité des types de sols valorisés pour le *muskuwaari* ainsi que la diversité des pratiques culturelles qui en découle.

Le chapitre 3 vise à approfondir la compréhension de la gestion technique du système de culture à l'échelle de l'exploitation. Il s'agit de formaliser les règles de décision des agriculteurs concernant la conduite des semis, de

l'implantation et de l'entretien de la culture, en accordant une attention particulière à l'évolution de ces règles liées à l'adoption du traitement herbicide.

Enfin le chapitre 4 expose les travaux concernant le diagnostic cultural à l'échelle de la parcelle et l'évaluation des effets du traitement herbicide sur le fonctionnement de l'agro-écosystème, pour une gamme de situations pédo-climatiques et de modes de conduite du sorgho repiqué.

L'ensemble des résultats est discuté dans le chapitre 5, afin de dégager les perspectives pour renforcer le conseil à l'échelle régionale et poursuivre l'accompagnement des producteurs.

Chapitre 1

Une démarche agronomique pour accompagner l'évolution des systèmes de culture à *muskuwaari*

Ce chapitre vise à poser le problème et les objectifs de recherche du travail de thèse concernant les perspectives d'évolution des systèmes de culture à sorgho repiqué dans l'Extrême-Nord Cameroun. On s'intéresse dans un premier temps au contexte de l'activité agricole dans la région, en analysant plus particulièrement la dynamique du *muskuwaari* qui a abouti à l'importance et à la diversité actuelles des systèmes de culture à sorgho repiqué. Cette évolution se poursuit et pose des questions agronomiques auxquelles nous avons tenté de répondre dans le cadre d'une démarche de recherche et d'accompagnement d'un changement technique dans le système de culture. Dans un deuxième temps, il s'agit de présenter le contenu de cette démarche ainsi que les concepts et méthodes utilisés.

1. LE *MUSKUWAARI* DANS L'EXTREME-NORD CAMEROUN : HISTORIQUE ET SITUATION ACTUELLE

1.1. Le sorgho repiqué parmi les systèmes de culture de sorgho de saison sèche

Le sorgho constitue une des principales cultures vivrières en Afrique sub-saharienne. Il est surtout cultivé en saison des pluies, mais environ 12 % de la production provient du sorgho de saison sèche pratiqué sur des terres inondables, appelé aussi sorgho de décrue (Kebe, 2002). Cette culture, excluant le sorgho pluvial strict et la culture irriguée, correspond à divers systèmes où l'alimentation hydrique de la plante est assurée entièrement ou en partie par l'humidité résiduelle du sol (Bretaudeau *et al.*, 2002). Le décalage du cycle cultural de ces sorghos ou "désaisonnement", permet la mise en culture de milieux où l'engorgement, parfois l'inondation, rendent difficile l'installation de cultures au cours de la saison des pluies (Raimond, 1999). Les différents systèmes de culture peuvent être regroupés en trois grands types (Figure I-1), en fonction du régime hydrique des terres cultivées et donc du positionnement du cycle cultural (Burner, 1975, cité par Raimond, 1999). Ces types correspondent en partie aux différentes régions de production du sorgho de saison sèche en Afrique de l'Ouest et du Centre :

- Le sorgho "précoce" ou sorgho de décrue au sens strict du terme, est semé au cours de la saison sèche entre octobre et décembre, après le retrait d'inondation d'origine fluviale et se développe uniquement à partir de la réserve en eau accumulée dans le sol. Ce système est surtout pratiqué dans les terres limono-argileuses inondables de la vallée du fleuve Sénégal (Jamin, 1986), mais se retrouve également au Mali (sorgho de mare). Il concerne uniquement des sorghos de race *durra*¹ (Chantereau, 2002).
- Le sorgho "tardif", semé en fin de saison sèche (février à mai), est récolté au cours de la saison des pluies (septembre-octobre). Le cycle végétatif est décalé compte tenu de l'arrivée tardive des crues à cause de phénomènes de remplissage de "lacs de bordure" reliés au fleuve par un système de défluent. Ce système de culture s'observe uniquement dans le delta central du fleuve Niger au Mali, et concerne des sorghos de race *guinea*.

¹ La classification de l'espèce *Sorghum bicolor* (L.) Moench à laquelle nous nous référons est celle de Harlan et de Wet (1971, cité par Raimond 1999). Cette classification distingue cinq races principales (*bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *kafir*, *durra*) et dix races intermédiaires (*durra-caudatum*, *guinea-caudatum*,...) présentant des combinaisons de caractères des races principales.

Figure I-1 : Les différents types de système de sorgho de saison sèche (inspiré de Bretaudeau *et al.*, 2002)

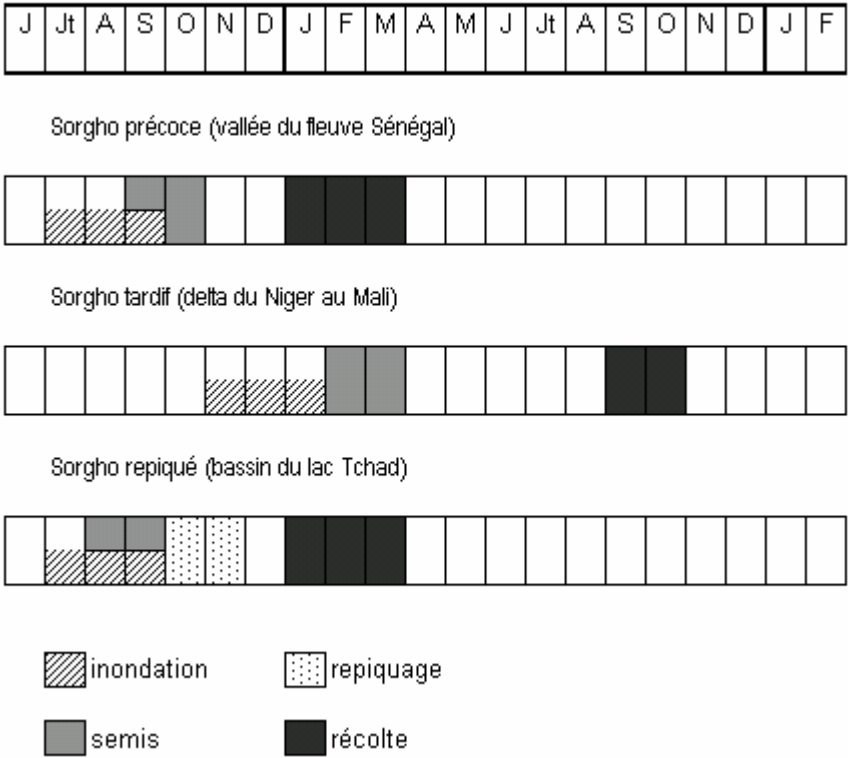
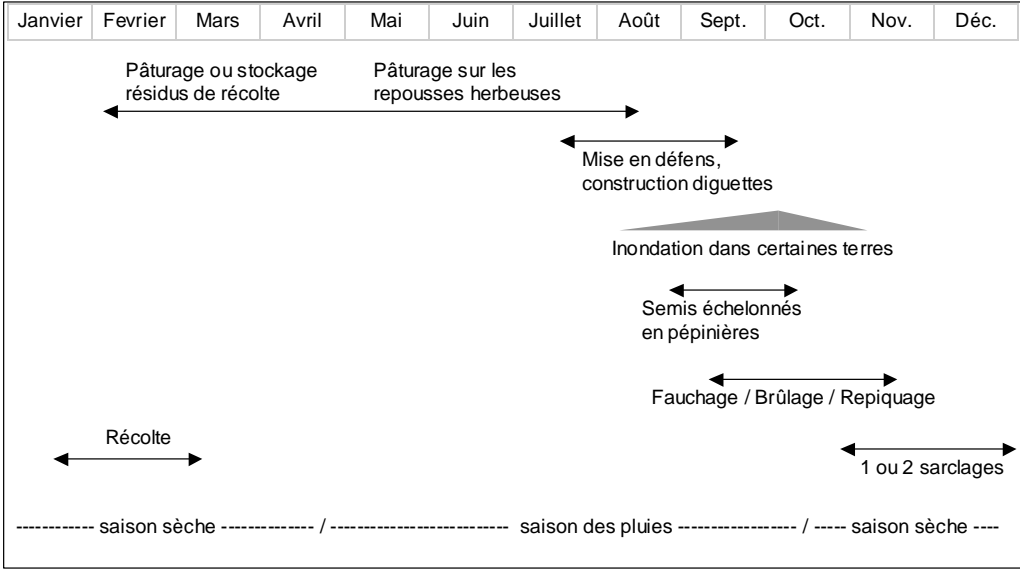


Figure I-2 : Occupation des terres à sorgho repiqué au cours de l'année et Itinéraire technique



- Le sorgho repiqué correspond à une variante du sorgho précoce, puisque le cycle se déroule sensiblement à la même période, mais les plants sont d'abord élevés en pépinières, puis repiqués au fur et à mesure de la diminution de l'engorgement des sols ou du retrait de l'eau dans les parties inondables. Cette technique permet d'optimiser l'utilisation de la réserve en eau accumulée dans le sol en saison des pluies : les plants se développent d'abord en pépinière grâce aux pluies entre août et octobre, puis une fois repiqués, ils profitent rapidement de l'humidité résiduelle du sol grâce au système racinaire déjà développé. Le repiquage, spécifique de la région du lac Tchad, permet ainsi de gagner le temps passé dans les pépinières (environ 40 jours), sur l'accomplissement du cycle végétatif (Raimond, 1999). Le sorgho repiqué est surtout pratiqué au sud du bassin tchadien, connu sous le nom de *berbere* au Tchad, *masakwa* dans la région du Bornou (Nigeria), et *muskuwaari* au Nord-Cameroun. Les différents types de sorghos cultivés appartiennent aux races *durra* et *durra-caudatum*.

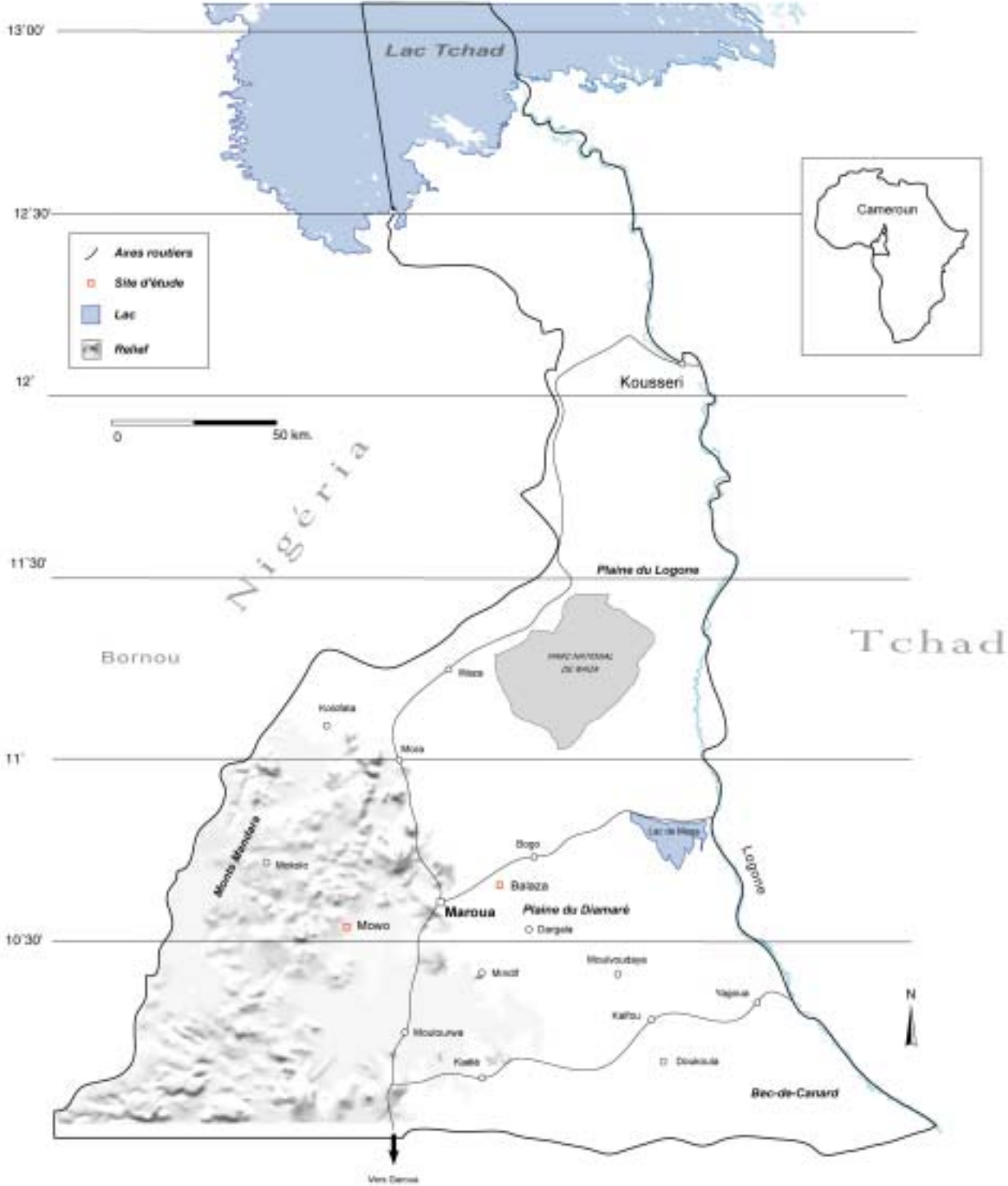
Le sorgho repiqué est principalement pratiqué sur les sols à tendances hydromorphes, en particulier les vertisols dont le taux élevé d'argile gonflante confère une bonne capacité de rétention en eau. Selon la position topographique, les terres peuvent être submergées pendant la saison des pluies, l'inondation provenant des crues des rivières et/ou de l'accumulation des eaux pluviales. La mise en culture a aussi lieu dans des sols argileux mal drainés où l'engorgement au cours de la saison des pluies rend difficile l'installation de cultures pluviales. Ainsi, les périodes et les modalités de semis et d'implantation varient selon le type de sol et son régime hydrique.

La difficulté de la culture réside dans la coordination d'une part de la production des plants en pépinière et d'autre part du repiquage dont on ne connaît pas *a priori* la période puisqu'il est conditionné par l'arrêt des pluies ou le retrait de l'inondation (Barrault *et al.*, 1972). Les semis en pépinière sont généralement échelonnés dans le temps entre août et octobre, pour disposer de plants convenables pour le repiquage au fur et à mesure du retrait des eaux dans les terres à sorgho repiqué (Figure I-2). La préparation des parcelles et le repiquage constituent les travaux les plus longs et doivent être exécutés dans un temps relativement court pour que l'implantation ait lieu dans les meilleures conditions du point de vue de l'état hydrique du sol. La végétation herbacée et arbustive qui s'est développée pendant la saison des pluies est généralement fauchée puis brûlée. Le repiquage s'effectue à l'aide d'un plantoir. On dispose généralement deux plants par trou que l'on remplit d'eau. La densité de repiquage est volontairement faible (environ 10 000 plants/ha) pour limiter la concurrence pour l'eau. La récolte a lieu de mi-janvier à début mars avec des rendements variant de 0 à plus de 3 tonnes/ha² selon le type de sol, l'inondation et les conditions climatiques de l'année.

Dans les plaines de l'Extrême-Nord Cameroun, le sorgho repiqué a d'abord été implanté dans les vertisols modaux présentant une période d'inondation variable et dont la teneur élevée en argile gonflante les rend très propices à cette culture. La région présente aussi de vastes plaines inondables, mais le prolongement de l'inondation provenant des crues du fleuve Logone et des affluents peut constituer un facteur limitant. Un repiquage au delà du mois de décembre peut empêcher la production de grains compte tenu des basses températures à cette période de l'année et du photopériodisme de ces sorghos. Mais avec l'intérêt croissant des populations pour cette production, les agriculteurs ont cherché à adapter la culture sur d'autres types de vertisols. Ainsi, les systèmes de culture à *muskuwaari* de l'Extrême-Nord sont considérés comme les plus sophistiqués du bassin du lac Tchad (Raimond, 1999).

² Les rendements du sorgho repiqué peuvent atteindre 3 ou 4 tonnes dans les plaines d'inondation du Salamat (Tchad), où un maximum de 7 tonnes/ha a été observé (Raimond, 1999)

Carte 1 : Carte de situation de la région d'étude



1.2. Historique de la culture du *muskuwaari* dans l'Extrême-Nord

Les éleveurs nomades Fulbés venant de l'empire du Bornou (carte 1) arrivent dans le nord du Cameroun à partir du XVIII^{ème} siècle. Ils s'installent dans la région de Maroua et se placent sous la dépendance de différents clans d'agriculteurs (Giziga, Zumaya et Mofu), auxquels ils paient des droits pour faire paître leurs troupeaux (Raimond, 1999). Des conflits entre agriculteurs et éleveurs entraînent l'insurrection des Peuls et la guerre sainte (Djihad) déclarée aux populations animistes, aboutissant à la conquête d'une grande partie des territoires de la plaine du Diamaré au début du XIX^{ème} siècle. Le développement de la culture du sorgho repiqué dans la région est associé à l'installation des Peuls mais son introduction est-elle antérieure.

1.2.1. Diffusion de la culture par les Fulbe

Si le rôle des Fulbe dans la diffusion du *muskuwaari* au Nord-Cameroun est reconnu, son introduction reste mal expliquée et la culture aurait connu des fluctuations avant la conquête peule (Seignobos, 2000). Ces sorghos de contre-saison, provenant de la région du Bornou, ont sans doute été adoptés ponctuellement par les ethnies en place avant l'arrivée des Fulbe, suite à des échanges avec les Bornouans et à des campagnes de razzias. Les superficies sont restées marginales avant le XIX^{ème} siècle. Seignobos (2000) situe la première diffusion d'envergure du *muskuwaari* dans la région du Diamaré à la fin de ce siècle, avec la présence de colonies de Bornouans installées auprès des Peuls. Ces derniers ont ensuite joué un rôle essentiel dans la diffusion de ce système de culture dans leur zone de peuplement et dans les territoires des groupes ethniques voisins.

Sur les terres conquises, au nord et à l'est de Maroua, les populations autochtones progressivement islamisées et "foulbéisées", adoptent le *muskuwaari*, qui devient une caractéristique du système de production peul avec l'élevage. La domination Fulbe, s'accompagne de la mise en place d'un cadre politique et administratif précis, les territoires étant découpés en cantons ou lamidats, gouvernés par le *lamido*, le chef traditionnel peul dont la fonction est héréditaire³ (Raimond, 1999). L'influence du modèle agricole peul s'étend au-delà des territoires Fulbe.

D'après Seignobos (2000), les Tupuri, dont l'aire de peuplement se situe à l'ouest de la région du "Bec-de-Canard"⁴, sont parmi les premières ethnies à adopter le sorgho repiqué qu'ils appellent *donglong*. L'adoption a eu lieu facilement car le *muskuwaari* s'apparente au *babu* (*baburi* en fulfulde), sorghos provenant de zones Tupuri du sud et du sud-est dans l'actuel Tchad. Ces sorghos de race *durra-caudatum*, sont semés vers la mi-juillet et repiqués avant la fin des pluies, courant août, sur des sols argilo-sableux à tendance hydromorphe (Barrault *et al.*, 1972). Si le *babu* et le sorgho pluvial restent dominant dans le cœur du pays Tupuri, les migrants qui, au cours du XX^{ème} siècle, s'installent en remontant vers le nord en direction de l'aire de peuplement Fulbe, cultivent préférentiellement du *muskuwaari* (Seignobos, 2000). Ainsi, dans les régions de Kalfou et Moulvoudaye où coexistent de nos jours les Peuls et Tupuri, les villages se situent très souvent à proximité de grandes plaines inondables valorisées par la culture du *muskuwaari* et plus récemment par le riz pluvial (Gnassamo et Kolyang, 2002).

³ Un lamidat comprend plusieurs *lawanats*, dirigés par le *lawan*, le chef de village qui contrôle différents quartiers sous la dépendance du *jawro*. Les colonisateurs allemands puis français, arrivés dès 1901, s'appuieront largement sur cette structure politique et sociale qui s'est maintenue jusqu'à nos jours.

⁴ Située à la pointe nord-est du Cameroun, cette région est dénommée ainsi à cause de la forme en bec de canard de la frontière avec le Tchad.

Figure I-3 : Calendrier agricole des principales cultures dans l'Extrême-Nord

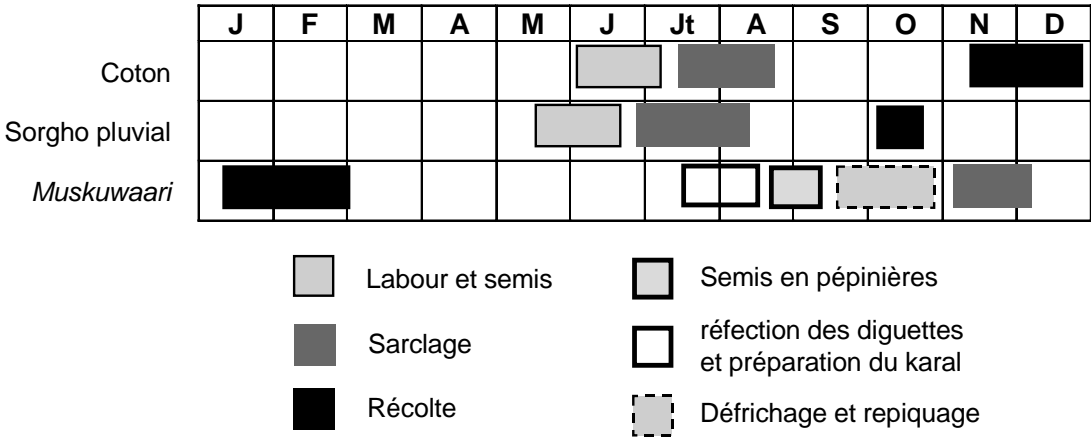
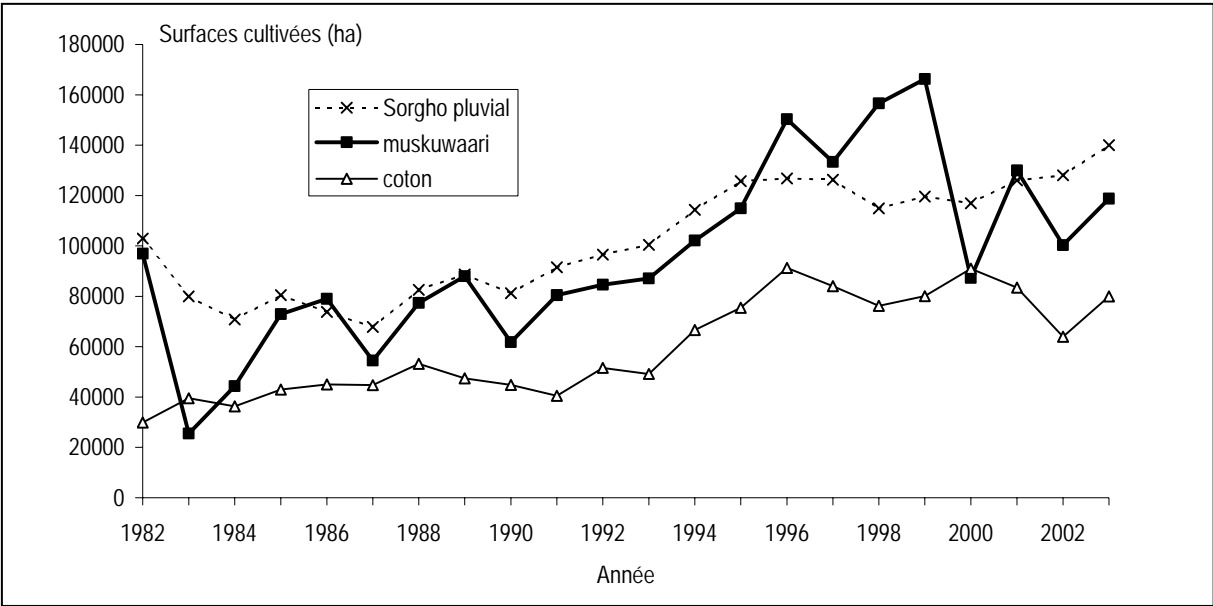


Figure I-4 : Evolutions des principales cultures dans la zone cotonnière de l'Extrême-Nord du Cameroun (source : SODECOTON)



A l'ouest de Maroua, les ethnies de massifs isolés (Guiziga) et des monts Mandara descendues en plaine ont aussi rapidement adopté le *muskuwaari* à partir des années 1930, compte tenu de la proximité des zones de peuplement Fulbe et de la présence de vertisols (Seignobos, 2000).

A partir des années 1950, la diffusion du *muskuwaari* s'accélère avec le développement de la culture cotonnière. Le défrichage et la mise en valeur des vertisols avec le *muskuwaari* permet de compenser la diminution obligée des surfaces en sorgho pluvial liée à l'introduction du coton (Boutrais, 1978 ; Hallaire, 1984 ; Seignobos, 2000). C'est une des causes de l'accroissement spectaculaire des superficies cultivées jusqu'à nos jours (cf. ci-dessous). Ainsi, le *muskuwaari* fait son apparition vers 1950 dans les régions de Moutouroua et Kaélé, peuplées respectivement par des Guiziga et Mundang (Seignobos, 2000). Les sécheresses ont aussi été déterminantes dans l'adoption de ce système de culture pour diversifier la production vivrière et réduire les risques climatiques. Seignobos (2000) signale par exemple que les Masa (région de Yagoua), longtemps réticents au sorgho repiqué trop éloigné de leur goût alimentaire, l'adoptent dans les années 1970, suite aux combinaisons de périodes de sécheresse en 1969-70 et surtout 1973. Ces dernières décennies ont donc été marquées par l'accroissement des superficies dans les plaines de l'Extrême-Nord, sous l'effet combiné de l'augmentation des besoins vivriers et du développement du coton.

1.2.2. *Extension récente dans les plaines de l'Extrême-Nord*

Dans le nord du Cameroun, on peut distinguer trois aires de culture de *muskuwaari* : le bassin de la Bénoué, la région allant du parc de Waza aux rives du lac Tchad, et enfin la plaine du Diamaré et ses marges (Seignobos, 2000). Dans la province du Nord, le sorgho repiqué cultivé dans les plaines d'inondation des fleuves Bénoué et Mayo Kebbi, représente entre 10 000 et 20 000 ha (Sodecoton, 2003). Au delà de la plaine de Mora jusqu'au delta du Logone et Chari, la plaine du Logone constitue une gigantesque cuvette de décantation argileuse (cf. Ensemble Pédologique 1, carte 2), durcie et pelée en saison sèche, entièrement submergée et transformée en un immense lac lorsque la saison de pluies est normale (Morin, 2000). Dans ce grand *yaayre*⁵, l'inondation débute au mois d'août et s'amplifie en septembre avec le déversement des eaux du Logone. Dans les marges et les secteurs méridionaux de cette plaine, l'inondation peut se retirer vers novembre-décembre, ce qui autorise parfois la culture du *muskuwaari* qui demeure très aléatoire dans cette région. Une moyenne de 12 000 ha a été enregistrée par la DPAEN (Délégation Provinciale de l'Agriculture de l'Extrême-Nord) pour le département du Logone et Chari entre 1994 et 1998. La plaine du Diamaré au sens large, comprenant la région de Maroua, les plaines de Mora, Kaélé et Kalfou, constitue la principale aire de culture avec environ 85% des superficies cultivées dans l'ensemble du nord du Cameroun. L'analyse de la dynamique du *muskuwaari* et de la diversité des systèmes de culture porte plus particulièrement sur cette région qui correspond approximativement à la zone cotonnière de l'Extrême-Nord du Cameroun.

⁵ En foulfouldé, *yaayre* désigne une plaine d'inondation

1.2.2.1. Accroissement des superficies et évolution du système de production

Avec le développement de la culture cotonnière, les agriculteurs s'engagent dans une véritable "course au *karal*" (Seignobos *et al.*, 1995). Un des atouts du *muskuwaari* est qu'il permet une répartition des travaux agricoles puisque les principales interventions sur le *karal* se font en dehors du calendrier des cultures de saison des pluies (Figure I-3). Dans les 20 dernières années, les surfaces ont pratiquement doublé jusqu'à atteindre 166 000 ha en 1999 (Figure I-4). Ces superficies ne concernent pas les sorghos *baburi* dont la culture ne dépasse pas 12 000 ha depuis 1982 (Sodecoton, 2003).

L'extension répond aussi à la nécessité d'augmenter la production céréalière face à l'accroissement démographique. On observe ainsi une augmentation globale des cultures de sorgho entre 1982 et 2003, à relier à la croissance démographique de l'ordre de 2,7 % par an (Ousman *et al.*, 2002)⁶. D'après les statistiques de la SODECOTON, la production de sorgho pluvial demeure la plus élevée dans la zone cotonnière de l'Extrême-Nord, avec une moyenne de 140 000 tonnes enregistrée entre 1995 et 2003. Malgré une augmentation plus marquée des superficies en *muskuwaari*, si l'on considère un rendement moyen de 600 kg/ha, la production est estimée à 80 000 tonnes pour la même période soit 35 % de la production céréalière de la zone. Le coton suit approximativement les variations des surfaces en sorgho de saison des pluies avec lequel il rentre généralement en rotation.

L'évolution générale des superficies ne traduit pas la différenciation des systèmes de production liée à l'extension du *muskuwaari* à l'échelle de petites régions agricoles, en fonction des ressources en vertisols. De nombreuses études menées dans différents terroirs ont mis en évidence un doublement des superficies consacrées au *muskuwaari* à 10 ou 20 ans d'intervalle (Hallaire, 1984 ; Seignobos *et al.*, 1995 ; Raimond, 1999 ; Duboisset, 2003). Par exemple, on constate le renforcement de la complémentarité coton/*muskuwaari* dans les régions où le défrichage de nouvelles terres à *muskuwaari* a été le plus important. La comparaison des levés du terroir de Balaza-Domayo de 1983 et 1995, met en évidence une augmentation de 150 % des surfaces en *muskuwaari* et coton, et de seulement 50 % du sorgho pluvial (Seignobos *et al.*, 1995). Cette évolution illustre l'importance prise par le *muskuwaari* dans les stratégies des agriculteurs. Beaucoup cherchent à renforcer la place du *muskuwaari* comme culture vivrière de base pour pouvoir augmenter parallèlement la culture du coton qui garantit un revenu régulier. Ainsi, dans le seul département du Diamaré (région de Maroua), la production de *muskuwaari* représente plus de la moitié de la production céréalière (Fusillier et Bom Kondé, 1996).

La Figure I-4 montre bien la forte variabilité interannuelle des superficies repiquées. Le coefficient de variation des surfaces en *muskuwaari* est de 38 %, contre 22 % pour le sorgho pluvial et 30 % pour le coton sur la même période de référence. Le déficit pluviométrique, en particulier de fin de saison des pluies, explique la diminution des surfaces cultivées certaines années. Concernant les années 1983 et 2000, les données de la station de Maroua indiquent un déficit de plus de 20% par rapport à la moyenne sur 20 ans (SODECOTON, 2003). Pour le mois de septembre, 30mm de pluie de moins que la moyenne ont été enregistrés, et ces deux années sont caractérisées par l'absence de pluies au mois d'octobre. Dans ce cas, une proportion non négligeable des parcelles, généralement celles situées en haut de topographie, n'est pas repiquée.

⁶ La croissance démographique est même supérieure entre 1984 et 1994, estimée à 3,3% dans la province de l'Extrême-Nord (Fusillier et Bom Kondé, 1996). La croissance démographique actuelle demeure soutenue, avec un taux de 2,7%, ce qui ferait doubler la population tous les 27 ans (Ousman *et al.*, 2002)

D'après Fusillier et Bom Konde (1996), le *muskuwaari* n'apparaît pas comme une véritable culture contre-aléatoire car la production entre 1984 et 1994 suit généralement les variations de la production de sorgho pluvial (données DPAEN), ce que l'on retrouve à travers l'évolution des surfaces, même si les variations du sorgho repiqué sont nettement plus marquées. L'argument d'une moindre sensibilité de la culture à la variabilité de la répartition intra-annuelle des pluies, valable pour les vertisols modaux plus ou moins inondables, est à relativiser pour les autres sols vertiques mis en culture plus récemment en remontant dans la toposéquence. Dans ces sols moins argileux, le repiquage a souvent lieu avant la fin de la saison pluvieuse et les dernières pluies peuvent participer de façon significative à l'alimentation hydrique du peuplement cultivé, compensant ainsi leur moindre capacité de rétention en eau. L'augmentation de la proportion de ces types de vertisols où la réussite du *muskuwaari* est plus aléatoire, a sans doute accentué la variabilité des superficies cultivées dans les dernières décennies. En 1984, Hallaire signale que "*le développement du mouskwari a transformé la physionomie agricole des plaines de la région et a facilité l'essor de la production cotonnière. Mais il ne peut plus désormais se poursuivre au même rythme, car l'on approche du terme où toutes les réserves de kare disponibles vont être mises en valeur*" (Hallaire, 1984, p.411). Or, l'extension s'est poursuivie et s'est semble-t-il accélérée au cours des 20 dernières années, grâce notamment au défrichage des vertisols intermédiaires et dégradés encore disponibles.

1.2.2.2. Amélioration et diversification des systèmes de culture avec l'extension

✓ *Expérimentations et apprentissage dans les communautés rurales*

Ainsi, l'extension des surfaces en *muskuwaari* s'est accompagnée d'une augmentation de la variabilité des milieux concernés par cette culture. A travers cet accroissement, on assiste à un perfectionnement des techniques culturales, à des phénomènes de diffusion de savoir-faire paysans et d'apprentissage collectif. Les agriculteurs innovent et élaborent, par ajustements progressifs, des itinéraires techniques et des modes de conduite adaptés à la diversité des milieux et à leur situation particulière :

- Des techniques d'aménagement des parcelles ont été mises au point pour la récupération des hardés. Ces vertisols dégradés en topographie haute présentent un horizon supérieur très compact où l'eau ruisselle. Les cultivateurs installent et entretiennent un réseau serré de diguettes formant de véritables casiers et permettant la retenue et l'infiltration des eaux de pluies (Seignobos, 1993). Après 3 ou 4 ans, le sol retrouve les caractéristiques des vertisols, autorisant une production comparable aux autres du fait des caractéristiques de ces sols très argileux qui manifestent des mouvements d'auto-brassage dans les horizons supérieurs lorsqu'ils subissent des alternances très marquées d'humectation et de dessiccation.
- Aux yeux des agriculteurs, le *karal* "idéal" est celui cultivé année après année, où le travail se limite au brûlis et au repiquage (Seignobos *et al.*, 1995). Pour cela, ils cherchent à tirer parti de la végétation herbacée qui se développe pendant la saison des pluies. Certains favorisent la colonisation du couvert herbacé par des graminées annuelles, faciles à faucher, fournissant un brûlage vif et limitant les travaux de sarclage (Donfack et Seignobos, 1996). Toutefois, comme on le verra, cette technique présente des limites concernant la maîtrise des adventices vivaces.
- Le maintien voire l'enrichissement des variétés locales de sorgho repiqué démontre également la recherche constante des agriculteurs dans l'adaptation de la culture à diverses contraintes environnementales (Raimond, 1999 ; Seignobos, 2000 ; Perrot *et al.*, 2002). La gamme des *muskuwaari* s'est progressivement enrichie par de nouvelles variétés d'abord en provenance du Bornou et plus récemment du Tchad

(Seignobos, 2000). De plus, l'isolement de types dans certaines zones de production et la sélection massale opérée à chaque récolte par les agriculteurs peut conduire à la différenciation progressive des variétés (Chantereau, 2001 ; Perrot *et al.*, 2002).

Les échanges et les transferts techniques entre individus et communautés ont été renforcés par l'emploi fréquent de manœuvres saisonniers au moment de l'implantation et la dimension collective de certains éléments de gestion du système de culture (Bousquet et Legros, 2002). Ainsi, dans certains villages comme dans la zone de piémont, les agriculteurs après avoir longtemps travaillé comme manœuvres chez les Peuls, ont adapté récemment la culture du *muskuwaari* dans des sols vertiques grâce à la technique des diguettes. Jusqu'à présent, la recherche a peu participé à cette dynamique paysanne, même si certaines références agronomiques ainsi que des analyses de la place croissante du *muskuwaari* ont déjà été produites.

✓ *Contributions ponctuelles de la recherche agronomique*

Les premières recherches sur le sorgho repiqué remontent aux années 60-70, menées par l'IRAT, (Institut de Recherche Agronomique Tropicale). Au cours de cette période, les travaux ont contribué à l'établissement de diverses références utiles, tant sur la connaissance de la biologie et de la physiologie du sorgho repiqué que sur les possibilités d'amélioration des techniques culturales et de la sélection variétale (Barrault *et al.*, 1972 ; Monthe, 1977). Cependant, les résultats, essentiellement issus de recherches en station, souffrent de ne pas suffisamment prendre en compte la diversité des pratiques ainsi que les demandes des agriculteurs concernant l'adaptation du système de culture à des milieux variés. Les propositions de la recherche, orientées vers l'intensification à travers le développement de la culture attelée et l'utilisation d'intrants, ont eu peu d'impact car elles s'opposent aux stratégies développées par les agriculteurs. Ces derniers recherchent une productivité du travail maximale en s'appuyant sur un système extensif avec un équipement aratoire réduit et la pratique du brûlage (Seignobos, 2000). Les résultats de l'IRAT s'avèrent quand même utiles en tant que références de base pour enrichir la connaissance agronomique du système de culture. Ils ont déjà fait l'objet d'une synthèse (Raimond, 1999) dont nous reprenons ici les grandes lignes avec quelques compléments issus de recherches plus récentes.

Barrault *et al.*(1972) ont montré le caractère thermo-photopériodique des sorghos *muskuwaari*. L'épiaison a lieu à date relativement fixe, sous une photopériode inférieure à 12 heures, généralement lorsque la durée du jour passe par son minimum. On observe un raccourcissement du cycle et de la taille, pour les repiquages les plus tardifs, compte tenu de la sensibilité de la plante à la diminution de la longueur du jour et des températures minimales. L'identification du matériel génétique constitue une base de connaissance des variétés locales. A partir de la forme du pédoncule, de la forme de la panicule et de caractéristiques du grain, 7 grands types traditionnels de *muskuwaari* sont reconnus, dont *safraari*, *majeeri*, *burguuri* et *ajagamaari*, qui sont les plus fréquemment cultivés dans les plaines de l'Extrême-Nord (Barrault *et al.*, 1972). Les travaux de prospection ont mis en évidence l'homogénéité de ces populations variétales appelées écotypes. En effet, l'isolement relatif des écotypes entre eux lié à leur adaptation à un certain type de sol, limite les hybridations qui sont du reste éliminées à la génération suivante par les paysans, dans la mesure où elles sont visibles. Ceux-ci, en effet, réalisent une sélection visuelle et massale, participant ainsi à l'homogénéisation des écotypes en regroupant les plus belles panicules de chaque variété locale, utilisées comme semences l'année suivante (Barrault *et al.*, 1972). La sélection généalogique (isolement de lignées à l'intérieur d'un écotype), destinée à dégager des variétés à haut rendement, s'est avérée décevante car les conditions de culture où l'eau constitue le principal facteur limitant, ne permettent pas l'extériorisation des potentialités de production (Monthe, 1977). Ainsi, pour

Barrault *et al.* (1972), l'amélioration génétique du *muskuwaari* n'apparaît pas comme une priorité et doit être précédée de travaux sur l'amélioration des techniques culturales.

Les recherches menées dans ce sens ont concerné la fertilisation et les pratiques culturales. La fertilisation, évaluée aussi bien au moment du semis en pépinière que lors du repiquage, n'a pas montré d'effet significatif sur le rendement. La taille des plants en pépinière étant très sensible à l'apport d'engrais, certains essais ont quand même permis de préciser la taille et le diamètre des plants *a priori* les mieux appropriés pour assurer une bonne reprise, mais ces références ne tiennent pas compte des connaissances des agriculteurs concernant l'ajustement de la taille des plants repiqués en fonction du type de sol. Pour la phase après repiquage, la fertilisation ne peut présenter un intérêt que si l'on parvient à lever la contrainte de la disponibilité en eau (Barrault *et al.*, 1972). Dans la continuité de ces travaux, des essais plus récents sur la réponse du sorgho repiqué à l'irrigation et à l'application d'engrais confirment le rôle prépondérant de la réserve en eau du sol sur la production par rapport à la disponibilité en nutriments (Carsky *et al.*, 1995). Des expérimentations menées par cette même équipe de l'IRAD (Institut camerounais de Recherche Agronomique pour le Développement) ont prouvé qu'une augmentation de la densité de repiquage par rapport à la moyenne de 10 000 pieds/ha habituellement pratiquée, n'induit pas d'augmentation significative du rendement et donc ne permet pas de compenser l'accroissement des charges de travail liées aux travaux de repiquage (Carsky *et al.*, 2002). Des travaux similaires menés au nord est du Nigéria, montrent l'intérêt d'ajuster la densité de repiquage selon la variété et la possible diminution de l'incidence des foreurs des tiges avec l'augmentation de la densité (Tabo *et al.*, 2002).

Parmi les autres essais réalisés sur l'amélioration des techniques culturales, en particulier sur le mode de repiquage (Vaille et Goma, 1974), sur la densité de semis en pépinière (Germain et Ngongo, 1973) et sur l'influence de la préparation du sol (Barrault *et al.*, 1972), seul le labour à la charrue en fin de saison des pluies se traduit de façon significative sur la production. Il permet de ralentir le dessèchement de l'horizon supérieur du sol et intervient à une période peu chargée du calendrier agricole. Cela explique l'adoption de cette technique notamment dans la région de Salak, au sud de Maroua. Cependant, beaucoup d'agriculteurs justifient plutôt cette pratique par rapport au niveau de recouvrement du sol par les graminées annuelles en fin de saison des pluies. Le fauchage et surtout le brûlage s'avèrent difficile lorsque le recouvrement est trop faible. Les agriculteurs peuvent récolter et épandre certaines espèces graminéennes comme *Loudetia togoensis* pour activer le passage du feu (Donfack et Seignobos, 1996), mais avec la raréfaction des aires de pâturages où l'on trouvait ces graminées, beaucoup se sont tournés vers la charrue pour la préparation de ce type de sol. Les résultats des essais menés par l'IRAT ont dû avoir un impact sur l'adoption du labour dans le *karal*, conjointement à la promotion de la culture attelée par la SODECOTON. Comme on le verra, le traitement herbicide tend actuellement à remplacer cette pratique du labour qui ne permet pas une bonne maîtrise de certaines adventices vivaces. Ces recherches de l'IRAT ont montré que l'amélioration de la culture du sorgho repiqué passe par l'amélioration des techniques culturales favorisant la recharge en eau des sols. Cette conclusion a ensuite entraîné différentes études de pédologues (Seiny Boukar, 1990 ; Masse, 1992), pour une meilleure connaissance de la dynamique de l'eau dans les vertisols ainsi que des processus de dégradation physique.

Globalement, les résultats de ces recherches agronomiques tendent à prouver que les pratiques culturales locales sont bien adaptées (Raimond, 1999). Le système de culture est apparu bien maîtrisé par les paysans et les améliorations des techniques culturales aboutissent à des résultats plutôt décevants avec peu d'impact en milieu paysan. La prise en compte de la diversité des milieux et des pratiques apparaît un préalable indispensable à la conception de nouveaux itinéraires techniques. Les travaux plus récents de géographes ont largement contribué à mettre en évidence la perception des milieux cultivés par les agriculteurs et leurs connaissances concernant l'adaptation des techniques culturales aux différents milieux (Seignobos, 1993 ;

Seignobos *et al.*, 1995 ; Donfack et Seignobos, 1996 ; Raimond, 1999). Cependant, ces travaux ne permettent pas toujours de bien cerner les déterminants des pratiques, et certains aspects tels que le choix du démarrage des semis, l'ajustement de la densité de repiquage en fonction du type de sol demeurent peu compris. Ces questions sont souvent considérées comme du ressort de l'expérience de l'agriculteur qui dispose d'un savoir-faire pour la mise en œuvre des actes culturaux dans sa situation particulière (Sebillotte et Soler, 1990). Pourtant, les connaissances concernant les règles de décision des agriculteurs s'avèrent particulièrement utiles pour donner des conseils précis de mises en œuvre de nouvelles combinaisons de techniques.

1.3. La situation actuelle : aire d'extension et place dans les systèmes de production

Au cours du XX^{ème} siècle, le sorgho repiqué s'est affirmé comme un caractère incontournable des systèmes de production des plaines de l'Extrême-Nord. La spécificité et l'hétérogénéité des terres à *muskuwaari*, la diffusion progressive du système de culture dans les différentes aires de peuplement et à l'intérieur de chaque communauté rurale, aboutissent à des systèmes de culture diversifiés, tenant une place variable dans la production céréalière des exploitations.

1.3.1. *Vertisols et répartition des zones à muskuwaari*

La région étudiée concerne les plaines comprises entre les monts Mandara à l'ouest et le cordon dunaire qui marque le rivage d'un ancien lac Tchad⁷ et s'étend entre le nord de Mora et Yagoua sur les rives du Logone (Boutrais, 1984). Cette région à "l'intérieur" du cordon dunaire, correspond à une zone écologique soudano-sahélienne, avec une pluviosité comprise entre 700 et 1000 mm (Donfack *et al.*, 1996). Les monts Mandara ne sont pas compris dans la région d'étude. En revanche on considère les zones de piémont, c'est-à-dire les basses terres voisines des montagnes, qui couvrent des superficies modestes par rapport aux plaines. La région se caractérise par une juxtaposition de plaines sur socle et plaines sédimentaires, issues de matériel de remblaiement de l'ère géologique tertiaire et surtout quaternaire (Raimond, 1999). Le réseau hydrographique provenant des monts Mandara a entraîné la formation de dépôts alluviaux, qui ont contribué à l'engorgement progressif du socle cristallin sous-jacent, avec aussi des dépôts lacustres et de sables éoliens (Boutrais, 1984). On distingue ainsi des plaines de comblement différent avec la plaine argilo-sableuse de Mora, la plaine argileuse du Diamaré, les plaines sableuses de Kalfou et du Bec-de-Canard, et la plaine sur socle de Kaélé. Différents auteurs font référence de façon similaire à ces unités naturelles (Boutrais, 1984 ; Donfack *et al.*, 1996 ; Morin, 2000). La pédogenèse et l'importance des vertisols intéressant la culture du *muskuwaari*, apparaissent variables selon l'unité naturelle considérée.

1.3.1.1. Aperçu pédologique de la gamme des vertisols

Après avoir défini ce qui caractérise les vertisols d'un point de vue pédologique, il s'agit de mettre en évidence leur distribution dans la région en s'appuyant sur la connaissance des sols dans les différentes unités naturelles évoquées ci-dessus.

⁷ D'après Seignobos et Iyebi-Mandjek (2000), si le cordon dunaire ne marque plus les limites du paléo-Tchad, on s'accorde généralement à en faire la limite d'un système palustre avec des lacs et des mares plus ou moins en connexion.

✓ *Principales caractéristiques des vertisols et facteurs de différenciation*

Les vertisols sont des sols tropicaux et subtropicaux, présents principalement dans des zones de pluviométrie comprise entre 400 et 1300 mm, avec une alternance saison sèche/saison des pluies bien marquée (Raimond, 1999). Ils sont caractérisés par des teneurs élevées en argiles (plus de 30 %), dont une fraction importante est de nature smectitique, et par d'importants mouvements de retrait/gonflement causés par la dessiccation et l'humectation des argiles gonflantes (Dudal et Eswaran, 1988 ; Duchaufour, 1991). Cette pédoturbation donne à ces sols leur spécificité : homogénéité du profil ; ouverture de fentes de retrait à l'état sec ; présence d'un microrelief bosselé particulier (gilgai) et de traits pédologiques spécifiques (slickensides).

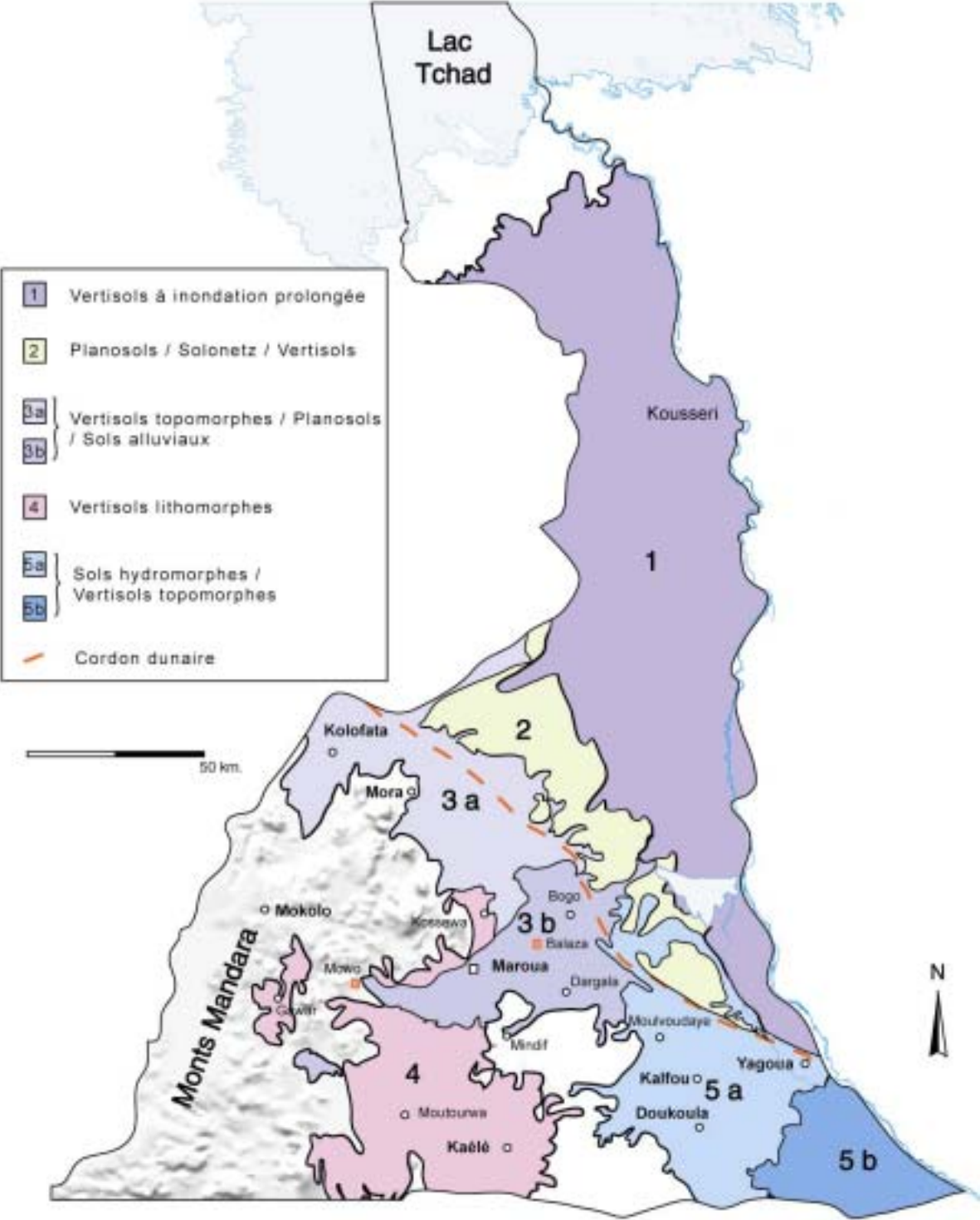
Sur le plan chimique, ils présentent une réserve minérale conséquente (capacité d'échange de l'ordre de 35 cmol/kg de terre avec un taux de saturation en cations de plus de 70 % pour les vertisols du nord Cameroun), qui s'explique par la présence de montmorillonite dans la fraction argileuse (Brabant et Gavaud, 1985). La décarbonatation des horizons superficiels s'accompagne par endroit d'une acidification modérée et entraîne la formation dans les horizons inférieurs (60-120 cm) des concrétions de carbonate et de sulfate observées dans toute la région par de nombreux auteurs (Boutrais, 1984 ; Seiny Boukar, 1990 ; Raimond, 1999).

Sur le plan physique, ils se caractérisent par un comportement mécanique et un régime hydrique singulier. L'infiltration de l'eau est contrôlée, en début de saison des pluies, par les caractéristiques du compartiment macrofissurale de la porosité (les fentes de retrait) puis, après fermeture de ces dernières, par celles des pores intra-prismes⁸. Ce régime hydrique s'avère difficile à décrire en raison des variations simultanées de l'espace poral, de l'état de l'eau dans le sol et de la conductivité hydraulique, induites par les mouvements de gonflement/retrait. Il joue pourtant un rôle déterminant dans la mise en valeur de ces sols (Boutrais, 1984). Secs, ces derniers sont constitués d'unités prismatiques, de dimension décimétrique à métrique, compactes et à faible porosité (Seiny Boukar, 1990). Au contraire, ils deviennent plastiques, très adhésifs et lourds lorsqu'ils sont gonflés d'eau, ce qui les rend généralement peu propices à l'agriculture pluviale.

A l'intérieur de cette grande famille de sol, les pédologues distinguent plusieurs grandes classes tenant compte de la pédogénèse, de la situation topographique, de la couleur, de la texture, de l'état de surface et du comportement hydrique. La classification française comme la "soil taxonomy" différencie ainsi les vertisols foncés dits "pelliques", à fort contraste hydrique, localisés dans les dépressions mal drainées et dont la teneur élevée en argiles est constante dans tout le profil, des sols vertiques dits "chromiques" (en raison de leur coloration plus vive due à la présence de fer ferrique) moins argileux et présentant un meilleur drainage externe (Dudal et Eswaran 1988 ; Duchaufour, 1991).

⁸ Nous reprenons ici les trois compartiments du système poral distingués par Cabidoche et al. (2000) : porosité matricielle (0,1 à 10 µm), porosité structurale intra-prisme (10 µm à 1 mm) et porosité macrofissurale (> 1 mm).

Carte 2 : Les différents types de vertisols et sols vertiques susceptibles d'être valorisés pour la culture du sorgho repiqué dans l'Extrême-Nord Cameroun.



Dans le nord du Cameroun, les vertisols ont aussi été différenciés suivant l'origine (endogène ou exogène) du matériel à partir duquel ils se sont développés (Masse, 1992) :

- les vertisols lithomorphes, provenant de l'altération sur place de roches cristallines riches en bases (gneiss notamment) ou des roches volcaniques basiques (roche verte), dont l'altération conduit à la néoformation d'argiles gonflantes en milieu confiné (Brabant et Gavaud, 1985). Ils présentent une légère pente (1 à 2 %), ce qui favorise le drainage externe et réduit les risques d'hydromorphie en saison pluvieuse. Pour cela, ils sont qualifiés de vertisols à pédoclimat sec. En fonction de la position topographique, ces sols peuvent accueillir non seulement du sorgho repiqué, mais aussi certaines cultures pluviales comme le coton et le sorgho, compte tenu de leur bonne fertilité chimique intrinsèque et de leur capacité à amortir les fluctuations tampon hydrique (Raunet, 2003).
- les vertisols topomorphes, situés dans les cuvettes des plaines d'accumulation alluviales. Ces sols intéressent essentiellement la culture du *muskuwaari*, compte tenu du drainage externe très réduit.

La présence des vertisols dans la région est donc déterminée par leur position topographique, notamment dans les zones d'accumulation des alluvions en bas de toposéquence, mais aussi par la nature de la roche mère. Trois autres qualificatifs ont été couramment associés aux vertisols de la région : modaux, intermédiaires et dégradés. Les vertisols modaux présentent un profil homogène, conséquence du brassage de l'ensemble des horizons par les mouvements vertiques. Ils constituent les zones traditionnelles les plus appropriées pour la culture du sorgho repiqué et ont été exploités en priorité. Ils sont situés en position basse alors que les faciès intermédiaires apparaissent en remontant dans la toposéquence. Ces derniers se caractérisent par des propriétés intermédiaires (ou intergrades) entre les vertisols et les sols ferrugineux tropicaux, avec notamment une raréfaction des fentes de retrait et une baisse des teneurs en argile dans les horizons de surface.

Des formes dites "dégradées"⁹ peuvent apparaître dans la toposéquence en surplomb de ces différents vertisols. L'évolution vers un sol très compacté en surface, appelé localement hardé, repose sur des phénomènes de planosolisation ou/et d'halomorphie¹⁰ du profil, qui sont à l'origine de la perte de structure des horizons de surface et du développement de la battance (Seiny Boukar, 1990). Ces mécanismes provoquent un dysfonctionnement du régime hydrique des sols avec, en particulier, un accroissement du ruissellement qui limite l'alimentation en eau des horizons inférieurs et décape les horizons supérieurs. Comme on l'a vu, seul l'aménagement d'un carroyage serré de diguettes peut limiter ce phénomène et autoriser une humectation suffisante pour la culture du sorgho repiqué.

Cette différenciation entre vertisols modaux, intermédiaires et dégradés est utilisée par la suite, avec parfois des références au caractère lithomorphe ou topomorphe pour préciser la pédogénèse. Les propriétés chimiques et le comportement hydrique des différents types de vertisols sont abordés plus en détail dans le chapitre 2.

✓ *Distribution des différents types de vertisols dans l'Extrême-Nord*

D'après Boutrais (1984, p.84), "*tous les placages d'argiles noires sont maintenant cultivés en mil repiqué chaque année. Ils occupent en plaine des superficies plus grandes que les alluvions récentes et actuelles : 30 000 ha, soit*

⁹ De nombreux travaux ont mis en évidence les processus de dégradation et les possibilités de réhabilitation de ces terrains dégradés (Guis, 1976 ; Seiny Boukar, 1990 ; Lamotte, 1993 ; Peltier, 1993), mais la part des différentes causes du processus de dégradation (activité agricole ou pastorale, phénomène évaporatoire naturel) et la vitesse du phénomène restent encore mal connues (Duboisset, 2003).

¹⁰ La planosolisation est induite par un drainage latéral provoquant l'évacuation des particules fines des horizons de surface. L'halomorphie correspond à un phénomène de remontée des solutions du sol en saison sèche déstabilisant la structure du sol et aboutissant parfois à des concentrations importantes en sels sous forme de carbonates et de sulfates de sodium

25 % de la plaine de Mora, 62 000 ha, soit 24 % des environs de Maroua; 180 000 ha, soit 60 % de la région de Kaélé, mais ici, une partie moins argileuse de ces sols ne porte pas seulement du mil repiqué". Cette répartition se révèle assez imprécise par rapport aux unités naturelles identifiées précédemment, et les différents types de vertisols ne sont pas mentionnés. Cette estimation, qui peut donner un ordre de grandeur des superficies potentielles en sorgho repiqué, ne tient pas compte des sols vertiques (vertisols intermédiaires, dégradés) récemment mis en culture. En s'appuyant sur la carte des sols du Nord-Cameroun de Brabant et Gavaud (1985), on a cherché à délimiter et caractériser différents grands Ensembles Pédologiques (EP) pour lesquels les types de sols susceptibles d'être valorisés pour la culture du sorgho repiqué apparaissent relativement homogènes. Ces EP varient donc selon le type et l'importance des vertisols ou sols à caractère vertique présents, mais ils ne donnent pas d'indication sur la nature, l'importance et la diversité des autres types de sol (Carte 2).

Tableau I-1 : Caractéristiques des vertisols et sols vertiques à l'intérieur des Ensembles Pédologiques identifiés

Ensembles pédologiques (EP)	Caractéristiques des sols susceptibles de recevoir du sorgho repiqué	Proportion estimée à l'intérieur de l'EP
1	vertisols à inondation prolongée	> 75%
2	planosols à caractère hydromorphe, solonetz et vertisols	< 50%
3	– vertisols topomorphes – sols peu évolués d'apport alluvial – planosol à caractère hydromorphe	3a : < 50%
		3b : > 50%
4	vertisols lithomorphes localement associés à sols fersiallitiques et planosols	> 50 %
5	dépressions interdunaires avec sols hydromorphes inondés, localement associés à des vertisols	5a : < 50%
		5b : > 50%

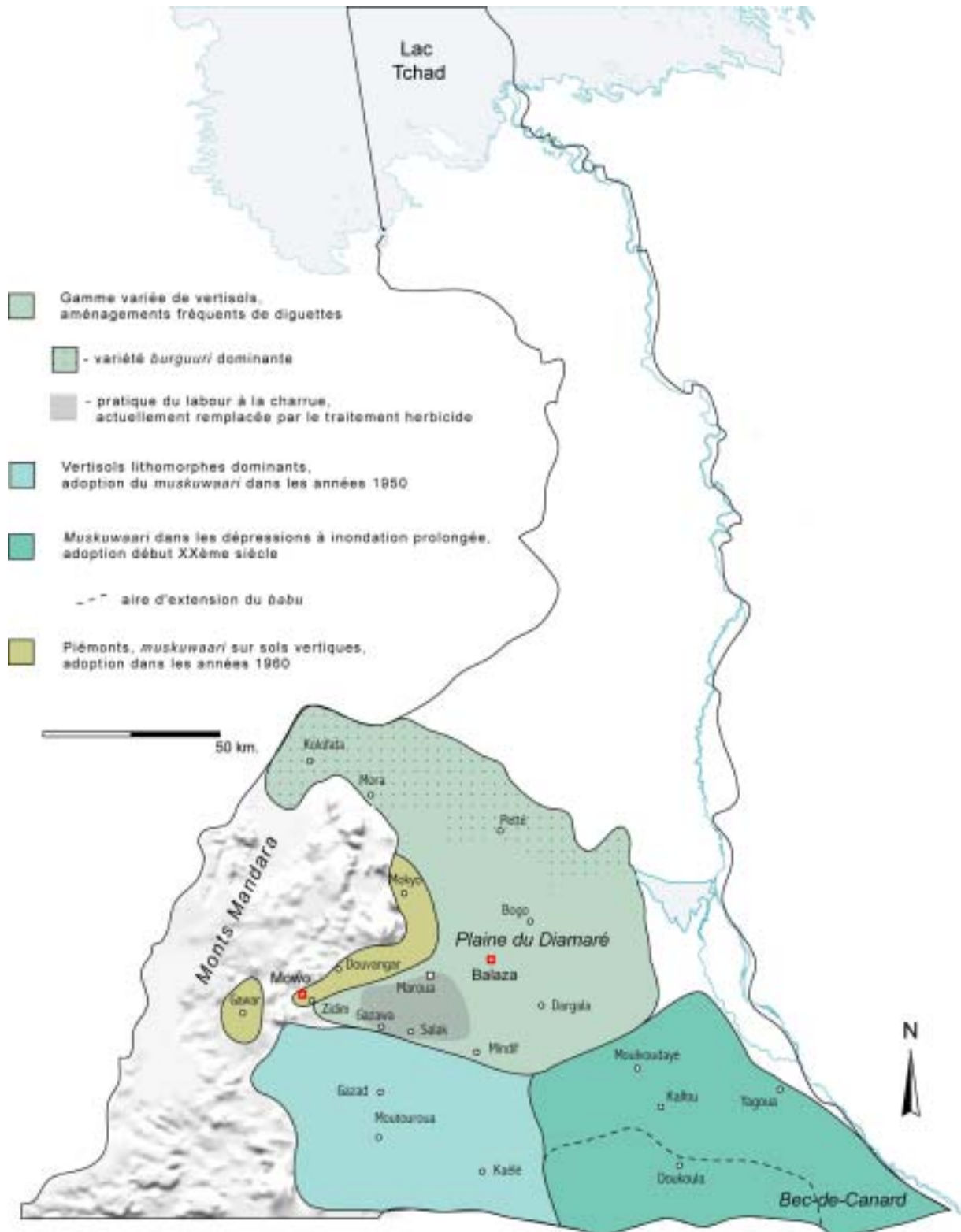
Comme cela a été évoqué précédemment, le premier Ensemble Pédologique (EP) qui concerne la plaine inondable du Logone, comporte de vastes superficies en vertisols mais intéresse peu la culture du *muskuwaari* compte tenu de l'inondation prolongée. L'EP 2 se distingue assez bien dans la carte des sols de Brabant et Gavaud (1985), et comporte essentiellement des sols à caractère planique et solonetzique se rapprochant plus ou moins des hardés, avec localement des planosols hydromorphes (inondation temporaire) présentant des caractères vertiques résiduels. Cet ensemble résulte probablement de phénomènes de planosolisation et de salinisation en bordure de la plaine inondable du Logone, à "l'extérieur" du cordon dunaire.

L'EP 3 correspond approximativement aux plaines de Mora et du Diamaré et comporte d'importantes superficies en vertisols topomorphes, mais aussi dans une moindre proportion des planosols à caractères hydromorphes et des sols d'apport alluvial récent situés dans les méandres et en bordure des rivières (*maayo*) et résultant de la divagation des cours d'eau. Ces deux derniers types de sols présentent des caractères vertiques qui peuvent être propices au repiquage du sorgho. Ainsi, cet ensemble est caractérisé par une grande diversité de sols où l'on cultive le *muskuwaari*. La durée de l'inondation de ces sols est variable : quasi-nulle dans les parties hautes et s'étalant sur plusieurs dizaines de jours dans les parties basses. Dans la zone 3b, les superficies occupées par les vertisols s'avèrent proportionnellement plus importantes que dans la partie 3a. Dans la plaine de Mora, correspondant à peu près à l'ensemble 3a, la rupture du relief avec les monts Mandara est moins marquée (pente régulière jusqu'au cordon dunaire), donc les zones d'accumulation et les processus de vertisolisation en plaine ont été moins importants que dans la région de Maroua (Boutrais, 1984).

L'unité morphologique de la plaine de Kaélé correspond assez bien à l'EP 4, où l'on retrouve une proportion importante de vertisols essentiellement lithomorphes (à pédoclimat sec), associés à des sols fersiallitiques et des faciès érodés et planiques. De légères pentes sont fréquemment observées dans ce type de vertisols, ce qui permet un meilleur drainage externe limitant ainsi l'inondation aux cuvettes d'effondrement et à des durées ne dépassant pas 10 jours après de fortes pluies (Duboisset, com.pers.). Ces vertisols sont plus fragiles compte tenu du drainage externe qui entraîne des risques d'érosion et de planosolisation. Outre la plaine sur socle de Kaélé, on retrouve ces vertisols de façon localisée dans la plaine du Diamaré, au pied des massifs îles de roche verte (région de Kosséwa) et dans certains piémonts. Ainsi, la plaine de Gawar, à l'intérieur du massif des monts Mandara, présente ce type de vertisols, avec aussi des placages d'argiles noires qui auraient été déposées en conditions semi-lacustres sur des alluvions anciennes (Boutrais, 1984).

Dans la plaine de Kalfou et le Bec-de-Canard (EP 5), les vertisols sont minoritaires et le paysage est dominé par une succession de dépôts sableux qui s'alignent parallèlement et se terminent contre le cordon dunaire au nord (Morin, 2000). Chaque formation dunaire est séparée par des dépressions étroites et allongées, périodiquement inondées, composées surtout de sols hydromorphes minéraux à pseudogley de surface associés localement à des vertisols. Ces dépressions inondables ou *yaayre* sont mises en valeur avec la culture du *muskuwaari*, parfois du riz, et constituent aussi des aires de pâturage de saison sèche dans les parties basses les plus longtemps inondées. Ces bas-fond à sols hydromorphes aux caractères vertiques peu prononcés s'avèrent *a priori* peu propices pour le sorgho de saison sèche, mais la possible présence d'une nappe à faible profondeur peut contribuer à l'alimentation hydrique de la plante, comme cela a été montré pour le sorgho de décrue dans un vertisol situé en bas de toposéquence d'une cuvette inondable au Tchad (Raimond, 1999). Dans la région du Bec-de-Canard (à peu près 5b), la proportion de vertisols augmente, mais les différents types de sols susceptibles de recevoir du sorgho repiqué sont similaires.

Carte 3 : Zonage des systèmes de culture à *muskuwaari* dans l'Extrême-Nord Cameroun



1.3.1.2. Essai de zonage des systèmes de culture à *muskuwaari* dans l'Extrême-Nord

Une différenciation de grandes zones à *muskuwaari* est possible à l'intérieur des plaines de l'Extrême-Nord, en fonction du peuplement humain, de l'ancienneté de l'adoption de la culture et de sa place dans le système de production. Le zonage tient compte également de la diversité du milieu physique déjà mise en évidence, qui détermine des variations dans les pratiques culturelles et les variétés repiquées (Carte 3). La délimitation des zones tient compte à la fois de ces caractéristiques du milieu, de nos observations des systèmes de culture sur le terrain, et de la carte de répartition des différents sorghos issue de l'atlas de l'Extrême-Nord Cameroun (Seignobos, 2000).

✓ *Plaines de Mora et du Diamaré, une zone traditionnelle à muskuwaari*

Comme on l'a vu, l'adoption du *muskuwaari* date de plus d'un siècle dans les plaines traditionnelles à *muskuwaari* du Diamaré et de Mora, où il a été diffusé à partir des foyers de peuplement Fulbe et Bornouans (Kanuri). Ces régions présentent d'importantes superficies de plaines argileuses d'accumulation alluviale, bien appropriées pour la culture du sorgho de saison sèche. La zone correspond grossièrement aux ensembles à dominante de vertisols topomorphes associés à d'autres sols vertiques. L'hétérogénéité des types de vertisols cultivés a augmenté avec l'extension de la culture, ce qui entraîne une certaine diversité des systèmes de culture à l'intérieur de cette zone, avec notamment une grande variabilité des dates de semis et de repiquage, calées en fonction de la fin de la saison des pluies dans les sols vertiques et selon le retrait de l'eau dans les vertisols inondés. Les techniques culturelles demeurent relativement homogènes :

- Dans les vertisols modaux, les agriculteurs aménagent souvent un réseau lâche de diguettes afin de barrer l'évacuation des eaux vers les dépressions, de favoriser l'infiltration de l'eau en prolongeant parfois la durée d'inondation en bordure de diguette (Seignobos, 1993). Les aménagements se généralisent dans les vertisols dégradés, mais sont absents dans les vertisols intermédiaires plus filtrants où les diguettes n'ont pas de raison d'être.
- La préparation du sol avant repiquage se fait surtout par fauchage et brûlage du couvert herbacé, avec aussi l'utilisation croissante du traitement herbicide.
- L'outillage est limité à un couperet bilame pour le fauchage (*wiikordu*) et un plantoir qui consiste en un pieu taillé dans une grosse branche de bois avec une pointe ferrée (*goforiwa*).
- La zone inclut une petite région au sud de Maroua, comprenant les villages de Gazawa, Salak, Djapay, où les agriculteurs utilisaient préférentiellement la charrue pour la préparation de leur parcelle. Comme cela a déjà été évoqué, cette pratique est sans doute liée à la spécificité du *karal* (compris dans la vaste plaine argileuse au sud et à l'est de Maroua) relativement filtrant où l'eau de pluie s'écoule en nappe, ce qui limite sans doute le développement du couvert herbacé en saison des pluies et empêche la technique du fauchage/brûlage. Le régime hydrique de ce *karal* permet de repiquer tôt car il y a peu de risque d'asphyxie des plants après les pluies du mois de septembre. Aussi, il n'est pas rare d'observer les premiers semis dans cette région, dès la première semaine d'août, et les parcelles repiquées début septembre.

L'écotype *safraari* s'avère globalement prédominant dans cette zone, suivi de *majeeri* (Seignobos, 2000 ; Perrot *et al.*, 2002). Dans la partie nord (régions de Mora, Petté), la pression des oiseaux granivores est plus importante compte tenu de la proximité de zones de brousses (parc de Waza notamment), et les agriculteurs repiquent majoritairement les *burguuri* peu appréciés par les oiseaux.

✓ *Le sorgho repiqué dans les plaines de Kaélé et Moutouroua*

Le *muskuwaari* a été adopté un peu plus récemment (années 1950) dans les plaines de Moutouroua et Kaélé. La culture, pratiquée par la majorité des agriculteurs Giziga et Mundang qui prédominent dans ces régions, est rapidement devenue une composante essentielle du système de production. Le milieu physique, avec des vertisols surtout lithomorphes, induit une moindre diversité des terres cultivées par rapport à la zone précédente. Compte tenu de la quasi-absence de plaines inondables et du caractère plus filtrant des vertisols présents, les semis et l'implantation ont lieu en moyenne un peu plus tôt que dans les plaines de Mora et du Diamaré. Cette zone présente, de façon résiduelle, des espaces de brousse sur sol vertique qui n'ont pas encore été mis en culture, comme cela été observé dans les terroirs de Gadas, près de Kaélé (Seignobos, 1998) et de Gazad, proche de Moutouroua (Duboisset, 2003). Compte tenu de ces réserves foncières, la pratique de la jachère semble encore possible, notamment en cas d'invasion par des adventices, mais sa durée n'excède pas 10 ans et est de moins en moins courante (Donfack et Seignobos, 1996 ; Engref, 2000).

Du point de vue des techniques culturales, les aménagements de diguettes sont rares en raison de la nature des vertisols. Cette technique va sans doute être amenée à se développer avec la mise en valeur progressive des sols hardés, encore peu pratiquée dans cette zone. Le nettoyage avant l'implantation se fait essentiellement par fauchage brûlage, et le repiquage est pratiqué à l'aide d'une barre à mine.

Même si les *safraari* se maintiennent, certaines variétés précoces en provenance du Tchad (*forlami, gelengdeng*) ont fait une percée significative dans cette zone (De Steenhuijsen Piters, 1995 ; Seignobos, 2000). D'autres variétés à cycle court et reconnues pour leur "rusticité" comme *yaawu* (rapide en fulfuldé) et *zoumai*, sont de plus en plus repiquées depuis une quinzaine d'années, en particulier dans les sol vertiques et dégradés (Perrot *et al.*, 2002 ; Duboisset, 2003). Elles sont d'autant plus appréciées que leurs grains jaunes à bruns ont des qualités alimentaires proches de celles des *safraari*. Il est d'ailleurs possible qu'elles soient issues de ce type par isolement et sélections successives.

✓ *Les yaayre de la plaine de Kalfou et du Bec-de-Canard*

Cette dernière zone à *muskuwaari* s'individualise surtout d'après la particularité du milieu physique. Les plaines à vertisols sont moins importantes, mais la présence de dépressions inter-dunaires inondables avec des sols plus ou moins vertiques, a permis le développement du *muskuwaari*, parfois à côté de cultures de riz pluvial, certains agriculteurs pratiquant même un système de double culture riz-sorgho repiqué. Les pépinières sont souvent installées en bordure du *yaayre*, et l'inondation prolongée induit des périodes de repiquage plus tardives, dont une grande partie a lieu dans le courant du mois de novembre. Dans les régions de Moulvoudaye et Kalfou constituant des foyers anciens de peuplement Fulbe, progressivement peuplés par les Tupuri, le système de culture varie assez peu de la région du Diamaré, mises à part les différences de calage du cycle. Dans le cœur du pays Tupuri, le *babu* reste le sorgho repiqué dominant car les terrains pouvant accueillir le *muskuwaari* sont plus rares. Dans la région du Bec-de-Canard, le *muskuwaari* a été adopté beaucoup plus tardivement par les groupes Masa et Musey. Le sorgho repiqué apparaît dans la région seulement à partir des années 1970, suite aux années de sécheresse, et aussi au développement rapide du coton (Seignobos, 2000). Le développement parallèle du coton et du *muskuwaari* se vérifie encore, et il est rendu possible par la présence de superficies en vertisols supérieures par rapport au pays Tupuri.

✓ *Adoption et adaptation récente du système de culture dans les piémonts*

Cette zone se distingue par l'adoption relativement récente du *muskuwaari*, essentiellement par des agriculteurs d'origine montagnarde, venus s'installer dans les piémonts au cours du XX^{ème} siècle. Les superficies demeurent modestes compte tenu de l'importante pression foncière liée à la forte densité de population (Seignobos et

Teyssier, 1997), et de la faible disponibilité en vertisols. En général, moins de la moitié des agriculteurs ont accès à la culture du sorgho repiqué.

Dans la région de Gawar, les Fulbe installés dès la fin du XIX^{ème} siècle dans cette plaine intérieure des monts Mandara, ont contribué assez tôt à l'adoption du *muskuwaari* par les groupes montagnards présents (Hina, Budum). Seignobos (2000) signale les premières tentatives dans les années 1930, qui auraient échoué suite à des attaques importantes d'oiseaux, les parcelles étant trop isolées les unes des autres. La culture est reprise de façon significative à partir des années 1960 dans cette région, et elle apparaît aussi dans d'autres parties des piémonts (Zidim, Moky, Godola). Elle a été adoptée à la même époque dans la région de Mowo, d'abord dans les vertisols disponibles sur les marges de la grande plaine alluviale argileuse de Maroua, puis progressivement dans les sols à caractère vertiques en remontant vers le piémont. Dans les années 1970, l'apparition du *muskuwaari* dans le piémont de Douvanger, constitue un exemple spectaculaire d'extension récente de la culture qui a été adaptée à des sols vertiques *a priori* peu propices grâce à l'aménagement d'un réseau serré de diguettes (Bousquet et Legros, 2002).

L'importance des aménagements dans les parcelles constitue un autre facteur de différenciation de la zone. Les autres techniques culturales sont empruntées aux Peuls de la plaine du Diamaré, chez qui de nombreux agriculteurs montagnards vont encore travailler comme manœuvre au moment de la préparation des *kare*. *Safraari* apparaît la variété dominante, avec l'introduction de variétés d'aspect similaires, mais plus précoces¹¹.

1.3.1.3. Limites de la cartographie des vertisols et du zonage

Les informations tirées des travaux de pédologues sur la répartition des vertisols, renseignent avant tout sur la genèse et le fonctionnement des sols. Elles donnent peu d'indications sur l'importance et l'aptitude des différents sols à caractère vertique pour la culture du *muskuwaari*. On manque d'informations sur la nature et la proportion de ces différents types de sols pouvant intéresser le sorgho repiqué à l'intérieur de chaque ensemble pédologique. Ainsi, d'après cette cartographie, on distingue un ensemble entre les EP 4 et 5 qui ne présente pas de vertisols, mais la présence du *muskuwaari* est quand même très probable dans cette région.

Concernant le zonage, la distinction des différentes zones s'appuie essentiellement sur les caractéristiques du milieu physique et l'ancienneté de l'adoption du *muskuwaari*. Bien que ces grandes zones à *muskuwaari* correspondent approximativement aux ensembles pédologiques, on doit garder à l'esprit l'importante diversité des types de sols concernés par la culture du *muskuwaari* à l'intérieur d'une zone. Par exemple, dans la plaine de Kalfou qui se distingue par la prédominance de plaines inondables pouvant intéresser le sorgho repiqué, la présence de sols vertiques est sans doute fréquente en haut de la toposéquence, avec des caractéristiques édaphiques exigeant un repiquage précoce et des aménagements de diguettes pour rendre possible la culture de saison sèche.

1.3.2. *Un accès différencié à la culture du muskuwaari*

Tous les agriculteurs ne cultivent pas le sorgho repiqué, même dans les régions les mieux pourvues en vertisols. La culture tient une place variable dans la production vivrière des exploitations familiales et aussi parfois comme source de revenus. Il faut d'abord revenir sur les règles générales régissant l'accès à la terre dans les plaines de l'Extrême-Nord pour expliquer la variabilité de la culture dans les systèmes de production.

¹¹ Bousquet et Legros (2002) évoquent l'adoption récente et importante dans le piémont de Douvanger de la variété "blindée", très ressemblante au *safraari* et surnommée ainsi pour son adaptation à la sécheresse sur les sols vertiques et dégradés disposant d'une capacité de rétention d'eau limitée. Elle pourrait correspondre aux variétés précoces déjà évoquées (*yaawu*, *zumai*) qui ressemblent aussi au *safraari*.

1.3.2.1. Règles générales de gestion du foncier

Dans les sociétés non musulmanes, la terre appartient à la communauté, le droit foncier étant fondé sur une alliance avec la terre faite lors de la mise en place du premier groupe (Seignobos et Teyssier, 1997). Les individus acquièrent par le premier défrichement un droit d'usage transmissible à leurs descendants. Dans le système Fulbe, qui prédomine et influence le régime foncier dans les autres groupes ethniques des plaines de l'Extrême-Nord, la terre est acquise par droit de conquête et appartient au *lamido* (Raimond, 1999). Il est chargé de la gestion et de la redistribution de la terre contre paiement de la *zakkat*, à l'origine une aumône légale instituée par le Coran et qui ne constitue plus désormais qu'une redevance au profit de l'autorité coutumière (Seignobos et Lyébi-Mandjek, 2000). Dans ce système foncier, les agriculteurs disposent d'un droit d'usage durable et transmissible, toutefois sous la dépendance du pouvoir du *lamido* qui peut retirer et répartir les terres comme il le désire.

Chaque "propriétaire" ou ayant-droit foncier, peut louer des parcelles contre une part de la récolte. Ce mode de faire-valoir indirect se pratique de plus en plus par le paiement d'une somme d'argent fixée pour un an. La vente est également pratiquée, bien qu'elle soit en principe interdite par le système foncier musulman. Dans un contexte global de saturation de l'espace, la monétarisation des échanges fonciers fait apparaître des comportements rentiers et spéculatifs de la part des ayants-droit (Raimond, 1999).

Le défrichage des terres à *muskuwaari* se fait collectivement afin de délimiter des surfaces cultivées d'un seul tenant et réduire ainsi les dégâts des oiseaux granivores. Il résulte de l'entente d'un groupe d'agriculteurs au niveau d'un ou plusieurs villages. Avec l'intérêt croissant pour le *muskuwaari*, les plaines argileuses ont été progressivement mises en culture sous le contrôle des autorités traditionnelles répartissant les meilleures parcelles aux proches et aux notables de la chefferie. Cela explique la place parfois très inégale du *muskuwaari* d'une exploitation à l'autre, même dans les terroirs où le sorgho repiqué apparaît comme la culture dominante.

1.3.2.2. Proportion variable du *muskuwaari* dans les systèmes de production

Contrairement au sorgho pluvial, cultivé par la plupart des exploitations quelle que soit la région considérée, l'analyse des systèmes de production met en évidence la place beaucoup plus variable du sorgho repiqué. C'est notamment ce qui ressort de plusieurs études de terroirs où la proportion des producteurs de sorgho pluvial est toujours supérieure à 90%, alors que les producteurs de sorgho repiqué varient entre 35% et 90% selon les villages considérés (Tableau I-2). Cette disparité concernant l'accès à la culture du *muskuwaari* est à relier à la fois à la disponibilité en terres, à la densité de population et à la maîtrise plus ou moins forte du foncier par l'autorité traditionnelle lors des vagues de défrichages de nouveaux *kare*.

Dans la plaine du Diamaré, malgré d'importantes surfaces en vertisols, la densité de population relativement élevée¹² et le contrôle des terres à *muskuwaari* par un petit nombre d'ayants-droit expliquent les inégalités vis-à-vis de l'accès à cette culture. Par exemple à Adiya, un terroir situé à une vingtaine de kilomètres au nord de Maroua, les surfaces en *muskuwaari* sont équivalentes à celles du sorgho pluvial mais ce dernier est pratiqué dans l'ensemble des exploitations alors que seulement la moitié des agriculteurs cultivent le sorgho repiqué. A travers une étude précise de la répartition ethnique des "propriétaires fonciers" du village, Raimond (1999) a montré que 7% des exploitations, uniquement des musulmans Kanuri proche du chef du village, détenaient près

¹² Une fourchette de 25 à 40 habitants/km² est indiquée pour cette région en 1987 (Seignobos et Lyébi-Mandjek, 2000)

de 60 % des surfaces en *karal* du terroir. Ces propriétaires, en premier lieu le chef, louent la majorité de ces parcelles aux autres agriculteurs d'Adiya arrivés après l'installation du groupe Kanuri. Ils disposent ainsi d'une rente foncière qui constitue une importante source de revenu. De même à Balaza, les grandes exploitations d'agro-éleveurs Fulbe, installés de longue date dans le village, se sont appropriées la majorité des terres à *muskuwaari*. En 2000, ces exploitations représentaient 20% des exploitations et détenaient près de 50% des superficies en sorgho repiqué (Mathieu, 2000). Dans ce contexte, pour ceux qui ne disposent pas de *karal*, l'accès à la culture du *muskuwaari* passe par la location voire l'achat de terres, pratiqué notamment par certains citadins (commerçants, fonctionnaires) souhaitant investir et parfois développer une activité agricole.

Tableau I-2 : Proportion des superficies et des producteurs de *muskuwaari* dans différents terroirs

Région	Plaine du Diamaré		Plaines de Kaélé-Moutouroua		Piémont	
Village	Balaza	Adiya	Gadas	Gazad	Mowo	Douvangar
Année d'enquête	1995	1991	2000	1999	2002	2002
Surface terroir cultivé (ha)	150	391	718	415	822	indéterminée
Nb. exploitations	38	94	262	45	243	550
Surf. <i>muskuwaari</i>	49 %	37 %	47 %	80 %	17 %	indéterminée
Augmentation superficies (1)	150 %	non chiffrée	non chiffrée	129 %	41 %	non chiffrée
Producteurs de <i>muskuwaari</i>	80 %	50 %	90 %	90 %	35 %	45 %
Sources (2)	a	b	c	d	e	f

(1) accroissement des superficies cultivées en *muskuwaari* dans la décennie précédant l'enquête. Estimation à l'aide de levés de terroirs effectués à plusieurs années d'intervalle, ou par voie d'enquête

(2) a (Seignobos *et al.*, 1995); b (Raimond, 1999); c (Seignobos, 1998) et (Djonnewa *et al.*, 2000); d (Duboisset, 2003); e (Iyebi-Mandjek et Seignobos, 1995) et (Mathieu *et al.*, 2003); f (Bousquet et Legros, 2002)

Dans les plaines de Kaélé et Moutouroua, la culture du *muskuwaari* apparaît plus généralisée, comme le montrent les deux études de terroirs dans ces régions. Cette situation est sans doute liée à une densité de population légèrement inférieure (10 à 24 habitants/km²) par rapport à la plaine du Diamaré. Cela s'explique aussi par la présence de vertisols intermédiaires ou dégradés, qui ne sont pas encore mis en culture (Seignobos, 1998 ; Engref, 2000 ; Vall et Ngoutsop, 2001 ; Duboisset, 2003). Ainsi, dans les villages de Gadas (proche de Kaélé) et Gazad (proche de Moutouroua), 90% des agriculteurs cultivent le sorgho repiqué qui s'avère la culture dominante dans les deux terroirs avec respectivement 47% et 80% des superficies cultivées. A Gazad, l'importance économique du sorgho repiqué dans les exploitations est telle qu'il constitue la principale production vivrière et supplante le coton comme source de revenu. On ne dispose pas d'informations détaillées sur la proportion des différents modes de faire-valoir, ce qui ne permet pas de juger de la répartition des parcelles au sein de la population d'agriculteurs. Les défrichages récents de nouvelles terres à *muskuwaari* (les superficies ont plus que doublé à Gazad entre 1994 et 1999), ont conduit à des stratégies d'accumulation foncière, avec sans doute une maîtrise du foncier moins marquée par la chefferie que dans les villages dominés par les musulmans ce qui a dû permettre un accès plus facile à des parcelles de *karal*. Ainsi dans le village de Gadas, bien que le *lawan*¹³ conserve un droit de regard, l'appropriation foncière s'avère moins contrôlée et le défrichage reste possible pour les ressortissants du village mais ne concerne plus que des sols peu fertiles et moins adaptés à la culture du *muskuwaari* (Engref, 2000).

Dans la zone de piémont, c'est surtout la faible disponibilité en vertisols qui limite les possibilités de cultiver du sorgho repiqué. Dans les deux terroirs concernés, moins de 50% des agriculteurs ont accès à cette culture, limitée aux grosses et moyennes exploitations cherchant à augmenter et diversifier leur production vivrière (Vall

¹³ Chef traditionnel du 2^{ème} degré dans le système administratif Fulbe appliqué à Gadas, bien que le village soit dominé par l'ethnie Mundang

et Ngoutsop, 2001). Ces exploitations orientent leur stratégie vers le sorgho de contre-saison, dont l'aboutissement est la capitalisation foncière par le défrichage ou l'achat de parcelles dans le *karal*.

Ainsi, à Douvangan comme à Mowo, la mise en culture récente de portions de brousse, auparavant utilisées comme réserve de pâturage par les éleveurs Peuls des localités voisines, a permis à de nombreux agriculteurs d'adopter le *muskuwaari*, mais n'est pas sans soulever des conflits fonciers inter-ethniques ou éleveurs-cultivateurs (Seignobos et Teyssier, 1997 ; Seignobos et Teyssier, 1998). Les réserves foncières étant désormais largement exploitées, l'acquisition des parcelles à *muskuwaari* se fait en majorité par la location ou l'achat. Ainsi, dans les 3 dernières années, 50 % des parcelles à sorgho repiqué à l'intérieur du parcellaire de Mowo, ont été louées ou achetées essentiellement au chef ou à des notables du canton (Mathieu *et al.*, 2003b).

Les différences concernant la place du *muskuwaari* dans les systèmes de production viennent confirmer la distinction des grandes zones à *muskuwaari* ébauchées précédemment. On manque cependant de terroirs de référence pour juger de l'importance du sorgho repiqué dans les plaines de Kalfou et du Bec-de-Canard et évaluer la dynamique de mise en valeur des bas-fonds avec le *muskuwaari* ou le riz pluvial, parfois même en double culture sur les mêmes parcelles.

Par ailleurs, l'augmentation de la demande urbaine en sorgho *muskuwaari* considéré comme une céréale de qualité vendue à un prix plus élevé que le sorgho pluvial (Madi, 2000), a aussi éveillé l'intérêt de citadins (commerçants, fonctionnaires...) misant sur cette culture pour s'assurer une production vivrière pour la consommation familiale et/ou pour dégager des revenus à travers la vente des récoltes ou par le biais de la location de terres. Ainsi à Maroua, qui demeure une agglomération très agricole, une enquête menée en 1990 auprès de plus de 10 000 chefs de famille montre que 54% d'entre eux disposent alentour des terres et associent généralement l'agriculture à une autre activité (Seignobos et Iyebi-Mandjek, 2000). Les zones de *karal* sont importantes autour de la ville et les parcelles sont très recherchées, la location d'un quart d'hectare pouvant atteindre 10 000 Fcfa dans les meilleures terres (Seignobos, 1997). La culture du *muskuwaari* peut s'avérer très lucrative et certains propriétaires deviennent de véritables entrepreneurs agricoles, employant des salariés pour l'implantation et stockant leur production pour la revendre au meilleur prix en période de soudure. Ces exploitants s'avèrent particulièrement demandeurs d'innovations techniques et ont déjà adopté massivement le traitement herbicide, avant tout pour son intérêt économique par rapport à l'emploi de manœuvres. Cette population d'agriculteurs des zones péri-urbaines est également à considérer dans les programmes de diffusion et d'accompagnement d'innovations techniques.

1.3.2.3. Muskuwaari et enjeux fonciers

Autour du développement de la culture du sorgho repiqué se cristallise des enjeux fonciers qui dégènèrent parfois en conflits compte tenu de la forte demande en terres agricoles.

Dans le canton de Douvangan en zone de piémont, la mise en culture de *hurum* (réserves pastorales) par les agriculteurs mofu d'origine montagnarde afin de cultiver du *muskuwaari* a engendré une série de conflits de plus en plus sérieux, prenant progressivement une dimension politique (Seignobos et Teyssier, 1997). Les habitants de Douvangan ont commencé à défricher des parcelles en plaine, dans le prolongement du *karal* de Mbozo, en acceptant de payer la *zakkat* au chef de ce village voisin. La faim de terres les a poussés à grignoter progressivement sur des zones de brousses utilisées comme pâturage par les éleveurs de Mbozo et de la région de Maroua. Agriculteurs et éleveurs entrent ainsi en compétition pour l'usage de ces terres, conduisant à des conflits ouverts dans les années 1990 concernant les limites entre les villages et nécessitant l'arbitrage de l'administration. Cette dernière hésitant à trancher pour l'une ou l'autre partie, ces conflits se maintiennent jusqu'à présent de manière latente (Bousquet et Legros, 2002).

La pression foncière sur les *kare* a entraîné des stratégies d'accumulation qui expliquent les problèmes actuels de répartition des terres plus ou moins marqués selon les régions. Le régime foncier apparaît le plus discriminatoire dans les terroirs où le chef traditionnel et les notables musulmans se sont appropriés la majorité des superficies de *karal* (Raimond, 1999). Il en résulte une importance croissante de la location et de l'achat de parcelles, seul moyen pour les agriculteurs plus récemment installés d'accéder à la culture du sorgho repiqué. Un suivi de l'évolution de ces échanges ainsi que des possibilités de sécurisation foncière apparaît indispensable, parallèlement aux recherches sur l'évolution du système de culture et la diffusion d'innovations techniques.

1.3.3. *Extension du sorgho repiqué et gestion des ressources naturelles*

La forte dynamique de la culture de sorgho repiqué a entraîné des modifications profondes dans les systèmes agraires et la gestion des ressources naturelles. Les défrichements pour le *muskuwaari* réduisent l'espace de récolte de bois de feu et de pâturage.

La majorité du bois de feu consommé provient de la mise en culture de nouvelles terres à *muskuwaari* (Gautier et Ntoupka, 2003). Les bassins d'approvisionnement de la ville de Maroua se déplacent avec les aires de conquête de la culture, notamment au sud dans les régions de Moutouroua et Kaélé où des réserves de brousse sont encore disponibles, mais aussi à l'est et au nord-est, entre Moulvoudaye et Petté (Engref, 2001). Cet approvisionnement risque de poser rapidement des problèmes compte tenu des limites des aires d'extension du sorgho repiqué et de la raréfaction des autres espaces de brousse déjà largement exploités pour répondre à l'augmentation de la demande urbaine en bois de feu.

L'avancée du *muskuwaari* a considérablement réduit les espaces où le bétail pouvait pâturer, en particulier en fin de saison sèche. La diminution des sources de fourrage aérien et l'abandon de la transhumance en saison sèche vers les plaines inondables ont entraîné une évolution de l'alimentation du bétail, notamment pour l'élevage bovin. En effet, avec la dégradation des pâturages dans les zones de transhumance (mauvaise alimentation en eau, surpopulation d'éleveurs), les tracasseries administratives et les vols fréquents d'animaux vers la frontière avec le Tchad, on est passé d'un élevage semi-sédentaire à un élevage de proximité. Les troupeaux sont désormais gardés au village et dans les alentours ce qui nécessite de nouvelles sources d'alimentation en saison sèche (Seignobos *et al.*, 1995 ; Raimond, 1999). Dans les villages d'agro-éleveurs des plaines du Diamaré comme Balaza et Adiya, les tiges de sorgho et notamment du *muskuwaari* sont systématiquement ramassées et stockées dans les parcelles en meules protégées par des épines, puis prélevées au cours de la saison sèche pour l'affouragement du bétail. La paille de sorgho repiqué, reconnue pour sa qualité fourragère, peut être commercialisée localement lorsque des éleveurs ont besoin de compléter leur stock de fourrage. De plus, l'alimentation des animaux est complétée par les sous-produits du traitement industriel du coton (tourteau, coques). Les espaces de pâturages, à l'intérieur du terroir quand il en reste et dans les brousses avoisinantes, sont toujours sollicités par les troupeaux sédentaires mais aussi par les éleveurs nomades. Or, en plus de la réduction de ces espaces, l'extension du *muskuwaari* entraîne la fragmentation des parcours. La conduite des troupeaux peut donc s'avérer problématique, avec des risques d'accentuation des conflits entre éleveurs et agriculteurs comme cela a déjà été mis en évidence. L'importante dynamique du sorgho repiqué nécessite de suivre et d'analyser les conséquences de son développement sur la gestion des ressources naturelles et des activités qui en dépendent directement. L'évolution de la culture soulève également des questions agronomiques qui sont abordées plus précisément dans le cadre de cette recherche.

2. POSITION DU PROBLEME

Notre région d'étude qui porte la majorité des surfaces en sorgho repiqué correspond approximativement à la zone cotonnière de l'Extrême-Nord Cameroun. Les agriculteurs qui cultivent du *muskuwaari*, cultivent très souvent aussi du coton et bénéficient directement ou indirectement des services liés à la présence de cette filière.

2.1. Contribution de la filière coton à l'évolution du système de culture à *muskuwaari*

Le coton est la seule culture du Nord-Cameroun qui fait l'objet d'une filière organisée, allant de l'encadrement technique de la production agricole à la mise sur le marché international du coton-fibre. Introduit par l'administration coloniale, le développement du coton s'est poursuivi après l'indépendance en 1960 à travers un encadrement rapproché de la SODECOTON structurée selon un découpage géographique apparenté à celui de l'administration (Dounias, 1998). La culture cotonnière représente la principale source de revenu des agriculteurs, même si la hausse du prix des intrants et les importantes fluctuations du prix de la fibre les amènent de plus en plus à concevoir le sorgho comme un "vivrier-marchand" et à se tourner vers d'autres cultures marchandes comme l'oignon dont la filière commence à s'organiser (Cathala *et al.*, 2003 ; Pourtier, 2003).

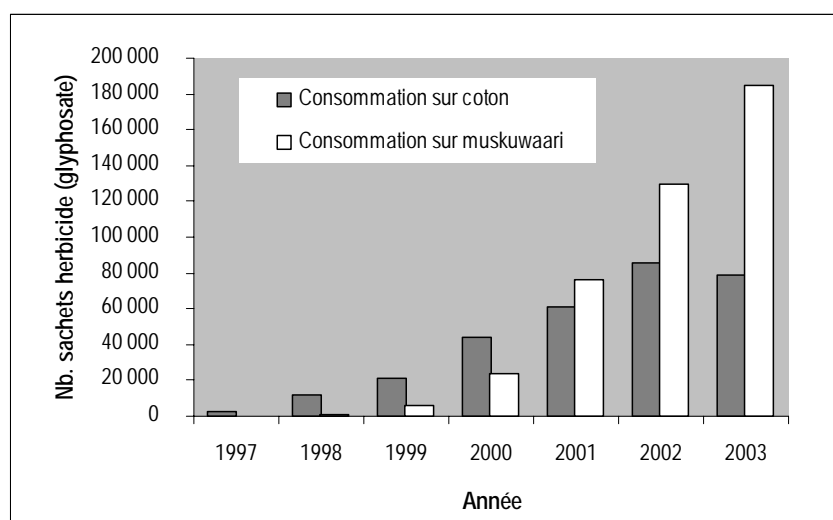
L'essor du coton a aussi largement contribué à la modernisation de l'agriculture en favorisant l'utilisation de la traction animale et des intrants agricoles (fumure minérale, insecticides, herbicides). Le modèle de développement de la SODECOTON, s'appuyant sur la diffusion de "paquets techniques" a entraîné des évolutions de l'ensemble des systèmes de culture de la zone cotonnière. Ainsi, le développement du coton dont on a déjà vu les liens avec la diffusion du *muskuwaari*, n'est pas sans conséquences sur l'évolution des techniques culturales du sorgho repiqué : la culture attelée, largement vulgarisée pour la culture cotonnière, est désormais utilisée pour l'aménagement des terres à *muskuwaari* et la préparation des pépinières; l'accès à des crédits dans le cadre des groupements de producteurs de coton favorise l'équipement et l'acquisition d'intrants. Ces derniers, utilisés pour le coton et les céréales pluviales (sorgho ou maïs) rentrant dans la rotation, sont souvent "détournés" pour le *muskuwaari* (traitement de semences, fertilisation pépinière). Les herbicides totaux, d'abord diffusés pour le semis direct du cotonnier et rapidement valorisés pour la préparation des terres à *muskuwaari*, constituent l'emprunt le plus récent et le plus significatif.

Le passage de ces herbicides dans le domaine public au cours des années 1990, notamment le glyphosate, a été déterminant pour l'adoption de cette technique dont le coût est devenu abordable pour les agriculteurs (Olina Bassala *et al.*, 2002). En négociant d'importants volumes auprès des fournisseurs, la SODECOTON associée à l'OPCC (l'Organisation des Producteurs de Coton du Cameroun) qui fédère l'ensemble des groupements de producteurs de la zone cotonnière, assurent l'approvisionnement des producteurs de la zone cotonnière à des prix très attractifs. En 2000, le prix d'un sachet de glyphosate commercialisé sous forme de granulés dispersibles¹⁴, est passé de 1 800 Fcfa à 1 500 Fcfa, alors que le même produit est vendu à plus de 2000 Fcfa dans le sud du pays. L'herbicide est commercialisé à crédits court terme pour la culture cotonnière, mais aussi au comptant pour les agriculteurs qui en font la demande. Une véritable explosion de la consommation d'herbicide total, en particulier du glyphosate, a été enregistrée dans l'ensemble de la zone cotonnière (Martin et Gaudard, 2001 ; Olina Bassala *et al.*, 2002 ; Vall *et al.*, 2002). L'herbicide a été largement adopté pour la culture cotonnière, utilisé en traitement de préparation notamment dans les régions les plus humides avec une forte pression des adventices. Les agriculteurs de la région de Garoua et du sud de la zone cotonnière consomment actuellement

¹⁴ Sachets de Roundup Biosec® dosé à 720g de glyphosate par kg de granulés dispersibles.

près de 70 % du volume total de glyphosate commercialisé, qui est de loin l'herbicide le plus utilisé (Sodecoton, 2003)¹⁵. Dans l'Extrême-Nord, la technique du "labour chimique" pour le semis direct du coton est moins pratiquée compte tenu de la plus faible pluviométrie, mais le traitement herbicide de préparation est rapidement passé dans la culture du *muskuwaari* au cours des 7 dernières années (Figure I-5). Dans cette région, la vente de l'herbicide au comptant utilisé essentiellement pour le *muskuwaari*, dépasse désormais l'octroi de crédits pour le traitement dans les parcelles de coton. En période de préparation des terres à *muskuwaari*, la demande est telle qu'un commerce parallèle se développe aux abords des magasins SODECOTON de l'Extrême-Nord, d'autant plus lorsqu'il y a des ruptures de stocks ou après l'arrêt des ventes au comptant.

Figure I-5 : Evolution de la consommation d'herbicide total à base de glyphosate dans les cultures de coton et de *muskuwaari* de la zone cotonnière de l'Extrême-Nord (source : SODECOTON)



La SODECOTON se charge de la fourniture des intrants dans ses différents secteurs, parfois jusqu'au niveau des villages lorsque les commandes sont importantes. L'approvisionnement a été renforcé grâce à l'effort de structuration des agriculteurs en groupement de producteurs puis en GIC (Groupement d'Intérêts Communs). Il existe désormais près de 800 GIC coton, rien que dans la province de l'Extrême-Nord, dont les fonds propres permettent de participer au financement de la campagne agricole (Legile, 2002 ; Roesch *et al.*, 2002). Les groupements proposent un service de crédits pour les autres cultures, et notamment depuis peu, pour l'achat d'herbicide destiné au *muskuwaari*. De plus, les pulvérisateurs herbicides, mis à la disposition du groupement¹⁶ et prioritairement employés pour la culture du coton, sont maintenant utilisés par les membres du groupement pour la préparation de leur *karal*. Les projets DPGT (Développement Paysannal et Gestion des Terroirs) puis ESA (Eau Sol Arbre), financés par l'AFD (Agence Française de Développement) et dont la maîtrise d'œuvre est confiée à la SODECOTON, se sont largement appuyés sur les GIC coton pour initier les interventions d'appui à la filière céréalière.

¹⁵ La SODECOTON fournit également du Gramoxone®, un herbicide total de contact à base de paraquat, avantageux pour son action rapide mais ne permettant qu'une maîtrise temporaire des adventices vivaces.

¹⁶ Jusqu'à présent, les pulvérisateurs appartiennent encore à la SODECOTON qui les louent au groupement et facture les frais de location et de maintenance sous forme d'une somme forfaitaire lors de la commercialisation du coton.

2.2. Les interventions sur la filière céréales depuis 1996

Un système de stockage villageois a été proposé par le DPGT en réponse aux problèmes de gestion des céréales dans les exploitations agricoles (Teyssier *et al.*, 2002 ; Mathieu *et al.*, 2003a). Parallèlement à cette intervention, les agriculteurs ont sollicité le projet sur des questions spécifiques d'enherbement des terres à *muskuwaari*. A partir de 1998, un volet de recherche-développement pour l'appui à la production du sorgho repiqué a été initié dans le cadre du projet DPGT en particulier pour répondre à ce problème.

2.2.1. Premiers essais de traitements herbicides pour la maîtrise d'adventices vivaces

Avec l'extension de la culture du *muskuwaari*, les bas-fonds inondables sont désormais systématiquement valorisés. L'inondation, parfois prolongée avec l'aménagement de hautes diguettes, favorise la prolifération d'adventices vivaces telle que *Oryza longistaminata* (riz sauvage à rhizome) et *Cyperus rotundus*. Ces mauvaises herbes colonisent peu à peu les parcelles par multiplication végétative notamment les années les plus pluvieuses favorisant la durée et l'étendue de l'inondation. La maîtrise de ces adventices exige des travaux pénibles d'arrachage dans l'eau au cours de la saison des pluies, ainsi que d'importants travaux de sarclage pour limiter les repousses au cours du cycle cultural. La mise en jachère, auparavant pratiquée en cas d'envahissement par les mauvaises herbes, n'apparaît plus possible dans le contexte actuel de forte pression foncière. L'abandon des parcelles est parfois observé lorsque les travaux de préparation et d'entretien deviennent trop contraignants.

Des expérimentations en milieu paysan menées dans le cadre du projet DPGT ont permis de mettre au point un traitement herbicide à base de glyphosate pour la maîtrise des adventices dans ces milieux humides. Les premiers résultats ont montré des gains de rendement moyen de 500 kg/ha grâce cette technique par rapport au mode de préparation habituel (Mathieu et Marnotte, 2001). De plus, dans ces conditions spécifiques de forte contrainte des mauvaises herbes, le traitement permet une baisse de 75% du temps de préparation et de sarclage des parcelles. Ces résultats spectaculaires ont rapidement entraîné des demandes de formation et d'approvisionnement en herbicide, d'autant plus que le traitement pour la préparation du *karal* avait été testé par les producteurs de manière isolée dès l'introduction de l'herbicide par la SODECOTON. Sur la base de ces premières références, des formations techniques ont été dispensées avec l'appui du projet DPGT concernant l'emploi de l'herbicide pour la maîtrise d'adventices vivaces dans le *karal*.

2.2.2. Emergence de services de conseil

Avec la dynamique engagée autour de la filière céréales, le projet a encouragé la création des APROSTOC (Association de Producteurs Stockeurs de Céréales) intervenant essentiellement auprès des GIC coton pour la promotion du stockage villageois et le conseil pour la production et la gestion des céréales dans les exploitations. Concernant le second aspect, ces associations, en collaboration avec les projets DPGT puis ESA, ont contribué à la diffusion de l'herbicide dans les itinéraires techniques du *muskuwaari* à travers des séances collectives de formation et de conseil en partie financées par les groupements de producteurs qui en faisaient la demande. Par rapport à la croissance des surfaces traitées, l'impact de ces formations, qui concernent environ 10% des exploitations de la zone cotonnière de l'Extrême-Nord¹⁷, reste limité (Tableau I-3).

Entre 2000 et 2004, les projets DPGT puis ESA ont soutenu le développement de services d'appui technique au sein des APROSTOC, intervenant auprès des groupements membres grâce à un réseau d'une quinzaine de

¹⁷ On estime qu'il y a environ 50 000 exploitations pratiquant la culture du *muskuwaari* dans la zone cotonnière de l'Extrême-Nord (estimation à partir des données statistiques SODECOTON).

conseillers paysans. Des partenariats ont été mis en place pour la formation des conseillers chargés de la réalisation des séances de formations et leur implication dans la conduite de tests et de démonstrations en milieu paysan (traitement herbicide, diffusion variétale...) coordonnés par le projet. Avec l'enrichissement des références sur les divers aspects de la production et de la gestion des céréales, l'objectif était d'orienter progressivement les services vers des modules collectifs de conseil et d'aide à la décision en particulier sur la gestion des céréales et la conduite technico-économique du sorgho repiqué.

Cependant les difficultés que rencontrent les associations pour sécuriser leurs recettes annuelles et assurer un certain niveau d'autofinancement remettent en question leur capacité à gérer ces services de conseil (Mathieu, 2004). Face à la fragilité du fonctionnement des APROSTOC, le projet ESA a décidé de ne pas reconduire le partenariat, et poursuit actuellement de façon autonome son programme de recherche-développement sur l'amélioration des systèmes de culture à *muskuwaari* (gestion intégrée de l'enherbement et des ravageurs) et sur la mise en valeur des *kare* (appui à l'aménagement, riziculture pluviale dans les terres inondables).

Tableau I-3 : Emploi d'herbicide dans les terres à *muskuwaari* et formation technique des producteurs (zone cotonnière Extrême-Nord)

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Surfaces <i>muskuwaari</i> (ha)	133 400	154 000	165 000	85 000	128 000	99 500	118 800
% Surfaces traitées (dose moyenne : 8 sachets/ha)	-	-	1%	4%	7%	16%	19%
Formations collectives et modules conseil	-	-		8	79	42	53
Estimation producteurs formés par APROSTOC			40	320	3160	1680	2120

Source : SODECOTON/APROSTOC/ESA

2.3. Le traitement herbicide dans le *karal*, une pratique non stabilisée

Entre 1999 et 2003, l'épandage d'herbicide total à base de glyphosate pour la préparation des parcelles à sorgho repiqué est passé de 1 à 19% des surfaces cultivées (Tableau I-3). Les premières années, le traitement concernait en majorité les terres inondables, infestées par des adventices vivaces. Compte tenu de la rapidité du traitement par rapport aux modes de préparation habituels (fauchage ou labour), les agriculteurs ont rapidement cherché à adapter l'utilisation de l'herbicide dans les différents milieux et types d'enherbement concernés par la culture du sorgho repiqué.

Le suivi de l'adoption de l'innovation a mis en évidence une importante variabilité des doses et des conditions d'application concernant le déclenchement du traitement et le respect des précautions d'usage (Alifa et Mathieu, 2002). Ces observations traduisent une maîtrise souvent approximative de la technique d'autant plus que les formations n'ont touché qu'une faible proportion d'agriculteurs. L'emploi de l'herbicide est rarement raisonné en fonction d'un objectif précis de lutte contre des adventices vivaces particulières et/ou d'accélération de la préparation pour repiquer à temps. Son utilisation semble entraîner une légère réduction des charges pour les agriculteurs qui embauchent habituellement des manœuvres temporaires pour le fauchage. Dans ce cas, c'est l'intérêt économique qui prime et ces agriculteurs ont tendance à généraliser le traitement dans l'ensemble de leurs parcelles.

Ainsi, les atouts agronomiques et économiques du traitement, rapidement reconnus par les usagers, ont contribué à l'adoption massive de cette innovation technique. Les agriculteurs sont en phase d'apprentissage et d'établissement de nouvelles règles de décision concernant l'intégration du traitement dans les itinéraires techniques. Mais sa mise en œuvre s'avère souvent hasardeuse et entraîne des risques d'utilisation excessive et

mal contrôlée de l'herbicide. De plus, les agriculteurs ont rarement conscience des conséquences néfastes à moyen et long terme d'un emploi inapproprié, en particulier concernant l'apparition de résistances des mauvaises herbes à l'herbicide et des problèmes de pollution et de toxicité pour le milieu. Enfin, dans l'éventualité d'une privatisation et d'un démantèlement de la filière coton remettant en question les dispositifs de crédit et d'accès aux intrants, il est souhaitable d'orienter les agriculteurs vers des pratiques qui ne soient pas trop dépendantes de l'approvisionnement en herbicide. Cette précaution apparaît d'autant plus justifiée qu'une utilisation modérée de l'herbicide pourrait permettre de maintenir des emplois dans les communautés rurales de la région, en conservant les pratiques d'embauche de manœuvres saisonniers pour la préparation et l'implantation des terres à sorgho repiqué.

Un travail de recherche plus fin se révèle donc nécessaire pour parvenir à une insertion plus judicieuse de l'herbicide dans les itinéraires culturaux en s'appuyant sur une connaissance agronomique précise des pratiques, des modes de conduite et des effets du traitement dans les différents milieux cultivés. La démarche vise à enrichir le conseil à travers des outils d'analyse de la diversité des situations pour aider les agriculteurs à adapter le traitement herbicide à leurs conditions particulières.

2.4. Problématique et hypothèses de travail

A partir de la combinaison de connaissances sur les savoir-faire concernant la conduite de la culture et sur les effets du traitement herbicide dans une gamme variée de situations pédo-climatiques, quelles sont les conditions d'intégration des traitements herbicides de préparation dans les itinéraires techniques du *muskuwaari* permettant de répondre aux objectifs de sécurisation et d'augmentation de la production, et garantissant une utilisation modérée de matières actives ajustée à la diversité des exploitations et des milieux concernés par le sorgho repiqué ?

Deux hypothèses sont formulées pour répondre à cette question

Hypothèse 1 : En réduisant les temps de travaux pour la préparation du *kara*, le traitement herbicide contribue à augmenter la marge de manœuvre des agriculteurs pour la conduite de l'implantation et des sarclages à l'échelle de la sole¹⁸ à *muskuwaari*. Il permet de sécuriser le repiquage sur l'ensemble du territoire de l'agriculteur consacré à cette culture.

Il s'agit de montrer l'intérêt du traitement herbicide pour faciliter la préparation et augmenter les chances de repiquer dans des conditions optimales sur les différents types de terrains qui composent la sole. On cherche en particulier à vérifier si l'herbicide conserve cet avantage quels que soient le mode de gestion technique de l'implantation et le scénario climatique.

Hypothèse 2 : La date de repiquage et la pression des adventices constituent des facteurs déterminants pour expliquer la variation des rendements. A l'échelle de la parcelle, l'utilisation de l'herbicide assure des gains de production par rapport au mode de préparation habituel, en permettant à l'agriculteur d'avancer la date de repiquage et en réduisant la concurrence des adventices au cours du cycle cultural.

¹⁸ La sole désigne le territoire consacré à la culture d'une même espèce ou association d'espèces, pendant la durée du cycle cultural (Papy, 2001).

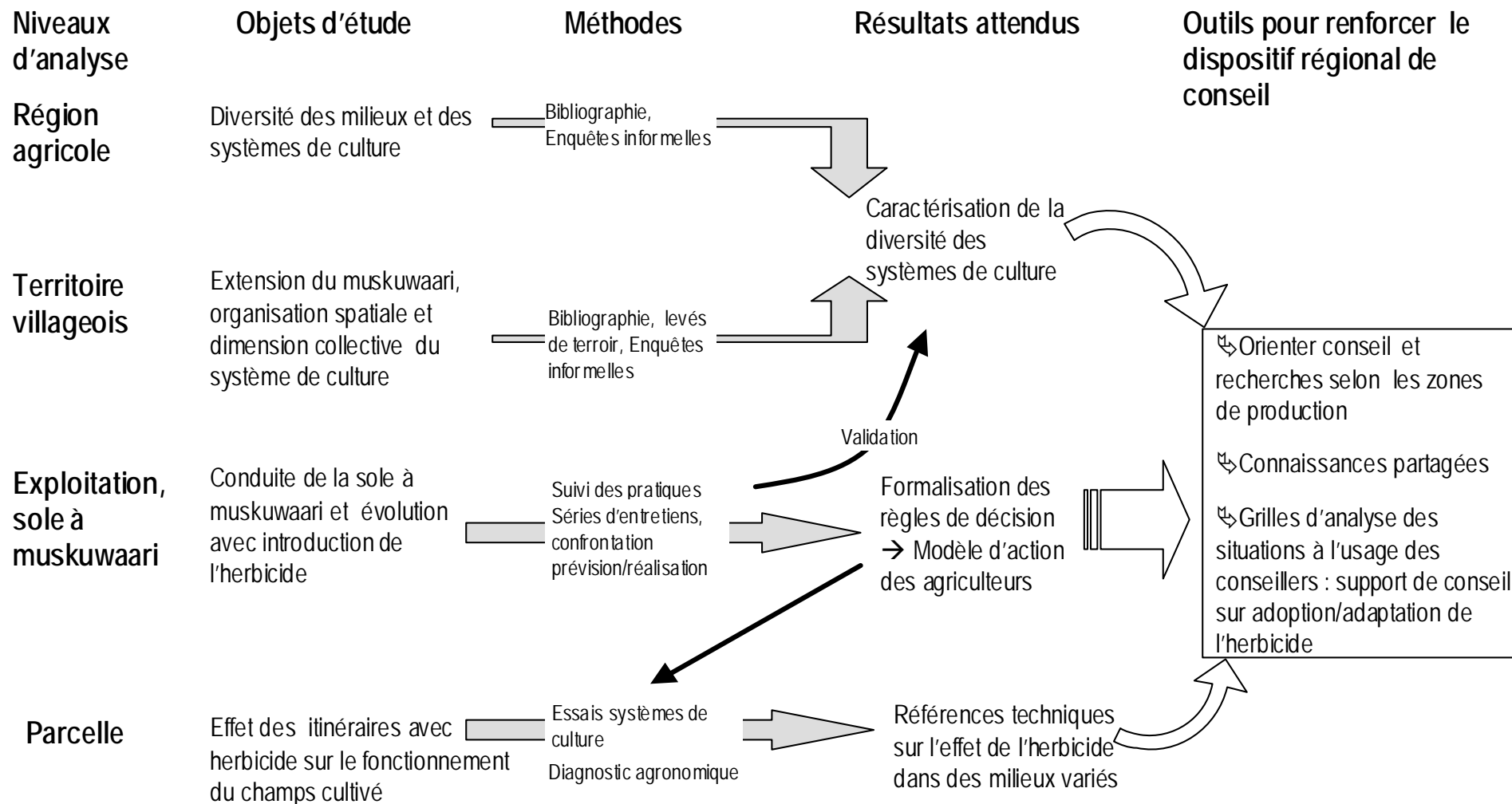
A travers cette hypothèse on s'intéresse à l'évaluation des effets de l'herbicide sur le fonctionnement du peuplement cultivé. On examine en particulier l'effet de l'utilisation de l'herbicide sur l'élaboration du rendement pour connaître les gains de production que l'on peut espérer selon les conditions pédo-climatiques et partant, la situation d'enherbement. Il s'agit, pour une situation donnée, d'établir la part du gain de rendement potentiel liée à une date de repiquage plus précoce et la part liée à une meilleure maîtrise de l'enherbement de la culture.

2.5. Enjeux de la recherche

Le sujet comporte d'abord des enjeux pour le développement. L'objectif général est de participer à l'évolution du système de culture à sorgho repiqué en valorisant les savoir-faire paysans et en contribuant à les améliorer. Les résultats visés doivent permettre de guider les choix techniques des agriculteurs, en les aidant à adapter au mieux le traitement herbicide pour répondre à la fois à des objectifs économiques, agronomiques et environnementaux. La méthode et les résultats produits peuvent être valorisés pour l'introduction et l'accompagnement d'autres changements techniques et organisationnels dans le système de culture en associant les organisations de producteurs et les conseillers impliqués dans la filière céréales.

Le principal enjeu pour la recherche réside dans l'enrichissement de démarches agronomiques associant la production de connaissances sur les conditions de mise en œuvre des techniques au sein des exploitations et les effets de ces techniques sur le fonctionnement du champ cultivé. Cette approche se prête bien à la conception d'innovations dans des systèmes de culture où l'on ne dispose pas encore de connaissances suffisantes pour recourir à la modélisation de l'agro-écosystème (Meynard *et al.*, 2001). Comme on va le voir, l'évaluation d'une innovation technique et la définition d'un nouveau jeu de règles de décision s'appuient sur la mise en place d'expérimentations "Systèmes de culture" pour lesquelles le travail théorique sur la méthodologie est à poursuivre (Meynard, 1998).

Figure I-6 : Synthèse de la démarche de recherche, niveaux d'analyse et résultats attendus



3. DEMARCHE, CADRE D'ANALYSE ET METHODOLOGIE

3.1. Démarche et justification

Notre recherche s'inscrit dans une démarche scientifique d'agronomie qui consiste à associer une analyse compréhensive des pratiques techniques, l'évaluation de ces dernières et la conception de nouvelles (Boiffin *et al.*, 2001). Pour traiter ce problème de mise en œuvre d'un changement technique dans le système de culture, nous avons choisi de combiner l'analyse des savoir-faire des agriculteurs pour la conduite du *muskuwaari*, à l'évaluation des effets des itinéraires techniques avec herbicide sur l'élaboration du rendement du sorgho et l'évolution de la flore.

Cette double approche se justifie compte tenu :

- de la particularité du système de culture entraînant des situations de décision complexes, notamment pour l'ajustement entre la production de plants en pépinières et la phase d'implantation en position d'incertitude concernant la fin de la saison des pluies,
- du manque de références agronomiques tant sur l'organisation du travail et la gestion de l'implantation que sur le fonctionnement de l'agro-écosystème,
- de la nécessité de produire ces deux formes de connaissances agronomiques pour la conception d'un conseil diversifié et adaptatif permettant d'orienter les choix techniques des agriculteurs vers des systèmes de production durable.

Le principal objectif de cette recherche consiste à fournir des éléments de caractérisation des situations ainsi qu'un référentiel technico-économique concernant l'effet du traitement herbicide dans des conditions pédo-climatiques variées (Figure I-6). Ces outils à l'usage de conseillers, peuvent être utilisés comme support de discussion avec les agriculteurs sur le bien fondé de l'emploi de l'herbicide et les avantages qu'ils peuvent en attendre. Le conseil fournit ainsi aux agriculteurs les éléments leur permettant de définir, dans leur situation particulière, des nouvelles règles de décision liées à l'emploi de l'herbicide.

Différents niveaux d'analyse sont nécessaires pour élaborer ces outils qui pourront être valorisés dans le cadre d'un dispositif régional de conseil :

- L'étude générale de la culture a déjà permis de présenter les grandes zones à *muskuwaari* à l'échelle de la région de l'Extrême-Nord. Un aperçu de l'organisation spatiale du système de culture vise à mettre en évidence la distribution des terres à *muskuwaari* et les règles de gestion collective au niveau des territoires villageois. Cette caractérisation est complétée par une présentation de la diversité des pratiques culturelles à partir de connaissances expertes validées par l'analyse brute des pratiques suivies dans deux terroirs d'étude au cours de deux campagnes agricoles. Cette première approche permet une mise en forme générale du problème de l'implantation du sorgho repiqué, et met en évidence les principales contraintes que rencontrent les agriculteurs dans leurs situations particulières (Papy, 2004). Elle vise en particulier à identifier les problèmes de gestion de l'enherbement dans le système de culture et la manière dont les agriculteurs tentent d'y répondre. Elle est valorisée à la fois pour mener des enquêtes plus fines sur le pilotage de la culture du *muskuwaari* et pour la mise en place d'essais herbicides dans les diverses situations d'enherbement identifiées.

- Un aspect essentiel de notre recherche réside dans l'analyse et la formalisation des savoir-faire concernant la conduite de la culture à l'échelle de l'exploitation. A partir d'enquêtes fines sur la gestion technique de la sole à *muskuwaari*, on met en évidence les Règles de Décision (RdD) des agriculteurs permettant de construire avec eux un modèle d'action pour les semis, l'implantation et l'entretien de la culture. Cette mise en forme des raisonnements des agriculteurs pour piloter la culture du sorgho repiqué constitue une grille d'analyse sur laquelle le conseiller peut s'appuyer pour dialoguer avec eux sur l'évolution des RdD avec l'introduction de l'herbicide et préciser les conditions de mise en œuvre du traitement. Cette formalisation permet aussi d'identifier des similitudes ou des divergences entre agriculteurs du point de vue de l'organisation du travail, et de dégager différents modes de conduite de la sole en fonction des objectifs et des ressources productives (main d'œuvre, foncier, équipement,...). Ces éléments sont à intégrer dans la grille d'analyse afin de donner les moyens aux conseillers de se repérer dans la diversité des situations et d'adapter concrètement le conseil.
- Le dernier niveau d'analyse, à l'échelle de la parcelle cultivée, porte sur l'évaluation des effets de l'herbicide sur le fonctionnement du peuplement de sorgho, pour une gamme de situations pédo-climatiques et de modes de conduite de la sole à *muskuwaari*. Cette évaluation, réalisée sommairement d'abord par le projet DPGT, mais aussi par les agriculteurs eux-mêmes au fur et à mesure de l'adoption du traitement herbicide, fournit quelques références sur les performances agro-économiques du traitement herbicide (efficacité pour la maîtrise de certaines adventices, gains de production possible), mais n'analyse pas les effets vis-à-vis de l'élaboration du rendement et de l'évolution de la flore. Un dispositif d'évaluation d'itinéraires techniques doit permettre de tester précisément les hypothèses sur les avantages offerts par le traitement herbicide pour une gamme de milieux représentative de la diversité des systèmes de culture. Les résultats viennent augmenter le référentiel des coûts et des bénéfices de l'innovation, afin d'enrichir les discussions entre conseillers et agriculteurs et de parvenir à une intégration judicieuse de l'herbicide dans les itinéraires techniques.

Afin d'adapter le conseil en fonction des grandes zones de production, le domaine de validité des principaux résultats sur la conduite du *muskuwaari* et le fonctionnement de l'agro-écosystème, obtenus à partir d'un dispositif de recherche limité à deux terroirs d'étude, est abordé dans la discussion en s'appuyant sur la caractérisation régionale de la diversité des systèmes de culture.

3.2. Cadre théorique

Notre recherche s'appuie avant tout sur des théories issues de la discipline agronomique, et touche également à la théorie de l'innovation à travers l'analyse d'un changement technique en agriculture. Il s'agit ici de passer en revue les principaux concepts mobilisés. Certains sont développés plus en détail au début des chapitres de résultats sur la conduite du *muskuwaari* et l'analyse agronomique du peuplement cultivé.

3.2.1. Recherche système et processus d'innovation

Notre travail s'inscrit dans une démarche systémique, où le système est considéré comme un ensemble d'éléments en interaction, organisé en fonction d'un but, dans lequel il s'agit d'attacher autant d'importance à l'étude détaillée de chaque élément qu'aux relations entre éléments (Lemoigne, 1984). Cette recherche, conduite dans le cadre d'un projet, est finalisée, car initiée par des questions posées par les acteurs du développement et

les agriculteurs concernant l'adaptation d'une innovation à la diversité des situations locales, et orientée vers la production d'outils de conseil.

3.2.1.1. Entre R-D, R-A et RP¹⁹, un dénominateur commun : impliquer les acteurs

L'étude peut s'apparenter à une démarche de recherche-développement comprenant une phase de diagnostic et d'expérimentation avec les agriculteurs, permettant, lors de la phase de diffusion des résultats, d'adapter les solutions à leurs capacités d'intervention et aux atouts et contraintes réelles qu'ils rencontrent (Jouve et Mercoiret, 1987 ; Bonnal et Dugué, 2000). Cette approche peut évoluer vers une méthode de recherche-action à l'échelle régionale ce qui suppose une coordination des acteurs du monde rural (chercheurs, services de vulgarisations, ONG, agriculteurs,...) au sein de dispositifs de concertation pour bien identifier les problèmes, analyser la "demande sociale" et s'engager dans un processus d'élaboration des connaissances et des changements (Liu, 1995 ; Albaladejo et Casabianca, 1997 ; Sebillotte, 2000). On parle également de construction d'innovation en partenariat à travers la mise en œuvre de dispositifs d'action collective visant à assurer une coproduction de connaissances et d'innovations entre agriculteurs et agronomes (Sabourin *et al.*, 2004). Ces formes d'intervention sont encore difficiles à mettre en œuvre en Afrique sub-saharienne où les agriculteurs, rarement alphabétisés et encore peu organisés, ont souvent du mal à formaliser leurs demandes (Bonnal et Dugué, 2000).

Concernant un problème assez bien délimité sur la gestion de l'enherbement d'une culture et la mise en œuvre d'une technique nouvelle, on peut aussi parler de recherche "adaptative" (Collinson, 2001), consistant non seulement à préciser une gamme de solutions techniques, mais aussi à aider les agriculteurs à choisir parmi ces options et à les adapter à leur situation particulière. Collinson différencie ce niveau de recherche, développé par le courant anglo-saxon sur les systèmes de production (Farming System Research, FSR), des recherches "stratégiques" s'attachant à la compréhension des processus biotechniques concernant un problème identifié, et des recherches "appliquées" utilisant les résultats disponibles sur les processus biotechniques pour définir des alternatives techniques.

Le renforcement de la place des acteurs dans l'élaboration et la mise en œuvre des programmes de recherche permet une adoption plus large des innovations testées et évaluées par les agriculteurs et aide aussi les chercheurs à acquérir une meilleure compréhension des systèmes dans lesquels ils travaillent (Bentz *et al.*, 2002 ; Douthwaite *et al.*, 2003). En partant du principe que les agriculteurs testent et évaluent eux-mêmes spontanément les techniques nouvelles avec souvent une adoption sélective et une transformation partielle des solutions proposées, certaines démarches s'appuient sur des réseaux de paysans-expérimentateurs qui s'investissent dans l'élaboration des protocoles, le suivi et l'évaluation des expérimentations (Bunch, 1989 ; Hocdé, 2000). La présentation de technologies par les agriculteurs, dans leur propre langage pour expliquer le protocole et les résultats de leurs essais, garantit un impact auprès de leurs pairs (Sabourin *et al.*, 2004). Certains comme Sumberg *et al.* (2003) considèrent qu'il ne s'agit pas forcément d'améliorer les méthodes d'expérimentation des agriculteurs, mais surtout de fournir des solutions techniques diversifiées et partiellement spécifiées, que les agriculteurs peuvent incorporer dans leurs activités continues de production agricole et d'expérimentation. La participation des agriculteurs apparaît indispensable notamment pour l'adaptation d'une technique nouvelle à un contexte local, mais la durée, le type et le niveau de participation est à préciser en fonction des caractéristiques de la technique développée (Sumberg *et al.*, 2003). Ainsi, concernant l'introduction de pesticide ou herbicide en zone humide d'Afrique de l'ouest, Sumberg *et al.* (2003) précisent que ces techniques doivent être bien spécifiées avant d'être évaluées avec des utilisateurs potentiels, compte tenu des

¹⁹ Recherche-Développement, Recherche-Action et Recherche en Partenariat

implications pour l'environnement et la santé publique. Elles peuvent s'adapter à une gamme de milieux assez large, mais leur mise en œuvre reste peu flexible, avec des modalités de gestion assez réduites.

Quelle que soit la démarche considérée, elles ont en commun de s'appuyer sur la reconnaissance des savoirs et savoir-faire paysans comme point de départ pour la conception et l'adaptation d'innovations. La contribution de la recherche consiste avant tout à bien poser le problème, ce qui suppose le rapprochement et la confrontation entre un mode de pensée scientifique et un mode de pensée pratique (Brossier et Hubert, 2001). Brossier et Hubert (2001) signalent que cette étape de diagnostic, basée sur des entretiens et l'enregistrement d'évènements, vise à expliciter la façon dont les agriculteurs se posent leurs propres questions et apportent leurs propres réponses dans les conditions de la pratique. Il s'agit d'aborder ainsi, avec la rationalité scientifique, l'étude des rationalités des agriculteurs avec l'intention non seulement de comprendre mais aussi d'intervenir. Dans notre cas, on cherche à construire un modèle de comportement des agriculteurs pour l'action sur lequel nous reviendrons, sans aborder de manière précise leurs formes de connaissances dont l'étude relève plutôt de l'anthropologie (Darré, 1996). Brossier et Hubert (2001) soulignent l'intérêt d'approches interdisciplinaires, associant les sciences sociales orientées vers la compréhension des systèmes de pensée et les sciences techniques finalisées par l'évaluation des processus biotechniques, pour bien mettre évidence les limites et inerties des savoir-faire pratiques et inciter à l'émergence de solutions acceptables.

On retrouve ces préoccupations plus ou moins formulées, dans les multiples dispositifs d'appui aux innovations paysannes et de conseil aux exploitations familiales en Afrique sub-saharienne, où l'on insiste sur les objectifs de renforcement des capacités d'adaptation des agriculteurs et des dynamiques d'apprentissage (Bonnal et Dugué, 2000 ; Bentz *et al.*, 2002 ; Faure et Kleene, 2002 ; Djamen Nana *et al.*, 2003 ; Faure *et al.*, 2004). Ces interventions ont toutes une ambition innovante, orientées vers la création/diffusion d'innovations avec les agriculteurs et l'appui aux innovations paysannes. Cela nécessite de bien préciser ce que l'on entend par innovation.

3.2.1.2. L'innovation comme phénomène social global

De nombreux auteurs ont proposé leur propre définition de l'innovation. Au sens le plus large, l'innovation est l'adoption d'une nouveauté (Chauveau, 1999). La définition la plus employée demeure celle donnée par Schumpeter, qui considère l'innovation comme "*une combinaison nouvelle de facteur de production*" (Schumpeter, 1934, cité par Olivier de Sardan, 1995). De Sardan (1995) donne une définition moins orientée vers l'économie, en se restreignant à l'innovation agro-pastorale : "*toute greffe de technique, de savoirs, ou de modes d'organisation inédits (en général sous forme d'adaptations locales, à partir d'emprunts ou d'importations), sur des techniques, savoirs et modes d'organisation en place*" (Olivier De Sardan, 1995). Les auteurs s'entendent sur la complexité du phénomène d'innovation, qui peut être considéré comme la réussite ou la pérennisation d'une invention, d'un transfert ou d'un emprunt, fortement influencé par le contexte économique, social, culturel, et donc un processus socialement construit (Olivier De Sardan, 1995 ; Chauveau, 1999 ; Darré, 1999 ; Bentz *et al.*, 2002). Même si le point de départ de l'analyse est d'ordre technique, cette dimension ne peut être isolée des composantes économiques, sociales, organisationnelles de l'innovation. Chauveau (1999) insiste sur l'exigence de replacer l'analyse du processus d'innovation dans sa durée et sa trajectoire historique, comme on a pu le faire pour l'analyse de l'adoption de la culture du *muskuwaari* dans le Nord-Cameroun. Toujours selon Chauveau (1999), l'innovation renvoie à des processus de confrontation, de négociation et de régulation avec de fortes composantes sociales, politiques et culturelles, voire symboliques.

Les travaux sur l'innovation comprennent des essais de typologie de l'innovation et de modèles de diffusion (Olivier de Sardan, 1995). Ainsi, les innovations techniques peuvent être classées dans différentes catégories en fonction des modifications qu'elles provoquent au niveau de l'exploitation. Concernant l'adoption d'une technique telle que le traitement herbicide, on peut parler d'innovation "modificative" ou "irradiante" qui n'altère pas la structure de l'exploitation, mais a des répercussions sur le système de production (Yung et Bosc, 1999 ; Pillot, 2002). Ces typologies s'avèrent utiles pour caractériser les conséquences d'une innovation-produit, issue de nouveautés techniques provenant d'organismes de développement, sur le fonctionnement de l'exploitation. C'est ce point de vue que l'on retiendra pour analyser l'introduction d'un changement technique dans le système de culture. Compte tenu de notre question de recherche en agronomie, nous choisissons d'apporter un éclairage particulier sur la composante technique d'une innovation dans un système de culture. Au cours de la discussion, nous reviendrons sur le processus d'innovation dans sa globalité, notamment pour discuter des effets différés de l'innovation sur l'économie locale, la structure sociale et l'environnement (Yung et Chauveau, 1995).

3.2.2. *Comprendre et agir sur l'évolution des systèmes de culture*

Notre démarche est centrée sur le système de culture mais aussi, à un niveau d'organisation plus englobant, sur l'analyse de l'articulation système de culture-système de production concernant la gestion de la sole d'une culture. Les objectifs s'inscrivent dans la problématique plus générale de l'agriculture durable, et peuvent être résumés de la manière suivante : *"Face à l'hétérogénéité des situations et l'instabilité du contexte, l'agriculture pour être durable, doit être diverse et adaptative. Il n'est donc pas question de proposer de nouveaux systèmes de culture passe-partout ou immuables. Il s'agit avant tout d'aider les acteurs sociaux qui, à un degré ou à un autre, interviennent dans la définition des systèmes de culture, à faire évoluer ceux-ci dans le sens d'une amélioration de leurs objectifs économiques, environnementaux et sociaux"* (Meynard *et al.*, 2001). Pour envisager des changements techniques qui soient à la fois pertinents du point de vue agronomique et du point de vue des agriculteurs, il s'agit de partir des pratiques agricoles comme objet de recherche, en cherchant à analyser leurs modalités (que font les agriculteurs?), leur efficacité (quel sont les résultats?) et leur opportunité ou effectivité (permettent elles d'atteindre les objectifs?) (Landais et Deffontaines, 1988). Il convient tout d'abord de donner une définition précise du système de culture qui est au centre de ces investigations.

3.2.2.1. Le concept de système de culture

La première définition donnée au système de culture fait référence à une portion d'espace cultivée de manière identique (Sebillotte, 1974). Pour bien distinguer cette définition de l'agro-écosystème formé par un ensemble de parcelles, et pour exprimer que ce concept vise expressément la manière dont on cultive les parcelles, l'énoncé a été légèrement modifié : *"C'est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière homogène. Chaque système de culture se définit par (1) la nature des cultures et leur ordre de succession, (2) les itinéraires techniques appliqués à ces cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues"* (Sebillotte, 1990b). L'itinéraire technique désigne quant à lui l'organisation des techniques appliquées à une culture, c'est-à-dire une *"combinaison logique et ordonnée de techniques culturales"* (Sebillotte, 1974). Le système de culture peut s'appliquer non seulement à une parcelle, mais aussi à un lot de parcelles ou à un bloc de culture²⁰. Il prend en compte différents pas de temps en s'intéressant au cycle cultural et aux successions de cultures avec les périodes d'inter-culture. Ainsi définis, les systèmes de culture varient fortement à travers le monde, de la monoculture aux systèmes complexes de cultures associées (Boiffin *et al.*, 2001).

²⁰ Notons que le sens donné au système de culture ne correspond pas au concept anglo-saxon de "cropping system" qui désigne généralement une zone plus vaste comme une petite région agricole où la nature des successions de culture et les modalités de maîtrise de la production sont peu variables (Zandstra, 1979, cité par Meynard *et al.*, 2001)

La position du concept, défini sur une portion de territoire, est fondée sur le postulat que les actions culturelles sont coordonnées entre elles du fait des fortes relations entre techniques, peuplement cultivé et milieu (Papy, 2001). L'étude de ces relations permet de réaliser un diagnostic d'efficacité du système de culture et de concevoir de nouveaux modes de conduite du champ cultivé.

3.2.2.2. L'évaluation des pratiques pour l'amélioration du système de culture

L'énoncé des concepts de système de culture et d'itinéraire technique met en avant l'importance de s'intéresser aux liens qui existent entre les actes techniques (Meynard *et al.*, 2001). Ces liens proviennent du fait que les actes techniques résultent de décisions liées les unes aux autres, et qu'il existe de fortes interactions entre les techniques culturales. Compte tenu de l'absence de relation directe entre technique et rendement, on ne peut pas étudier les effets d'une technique culturelle indépendamment des autres, sans considérer l'ensemble du système de culture (Sebillotte, 1987). On ne considère pas seulement les techniques, mais les pratiques, c'est-à-dire les techniques mises en œuvre par les agriculteurs dans un contexte économique et social défini par un jeu de contraintes, d'opportunités et d'objectifs à atteindre (Jouve, 1997 ; Malézieux et Trébuil, 2000).

Le jugement porté sur l'efficacité du système de culture des agriculteurs (les pratiques agricoles), peut concerner le rendement (influence de conditions du milieu différentes, productivité insuffisante ou irrégulière, effet d'une variation de technique), mais aussi sur la qualité des produits ou les effets environnementaux du système de culture (Kropff *et al.*, 2001). Ce domaine de la recherche agronomique vise à comprendre le fonctionnement de l'écosystème cultivé, c'est-à-dire les relations entre le milieu et le peuplement cultivé sous l'effet des pratiques (Sebillotte, 1987 ; Jouve, 1990). Le diagnostic agronomique constitue un des principaux outils pour l'évaluation des pratiques permettant, à partir de l'analyse des composantes du rendement, d'identifier *a posteriori* les caractéristiques du milieu et du système de culture ayant influé sur la production (Meynard et David, 1992). Cette méthode peut être utilisée à l'échelle régionale pour identifier et hiérarchiser les actes techniques responsables d'un problème agronomique donné dans une région (Doré *et al.*, 1997). En effet, la définition des priorités de recherche à travers une formulation des problèmes basée uniquement sur des éléments discutés avec des agriculteurs et des experts, demeure généralement insuffisante et conduit difficilement à un consensus (Smith, 1994). Compte tenu de la complexité des relations climat/sol/plante et des nombreuses interactions entre techniques au niveau d'un système de culture, les risques de confusion d'effets sont importants. En plus d'un diagnostic à dire d'experts, l'identification des causes réelles des problèmes nécessite des observations et des mesures dans un réseau de parcelles (Doré *et al.*, 1997).

Cette méthode est applicable dans le contexte de l'agriculture paysanne tropicale, en prenant soin de repérer les spécificités agro-écologiques et sociales. En Afrique tropicale on observe une grande hétérogénéité du milieu physique et biologique au sein de la même parcelle (termitières, accident topographique, souche d'arbre...), à laquelle s'ajoute une grande variabilité des itinéraires techniques du fait de la culture manuelle et de la diversité des opérateurs (Milleville, 1972 ; Jouve, 1990). Compte tenu de la lenteur de réalisation des opérations techniques, la parcelle comporte de multiples sous-parcelles (surface traitée de manière homogène) caractéristiques de "situations culturales" bien spécifiées (Milleville et Serpantié, 1991). C'est à cette échelle que l'on peut être assuré d'une homogénéité des conditions de milieu et des techniques appliquées. Le diagnostic doit être effectué à partir d'un échantillon raisonné de situations culturales en prenant en compte la variabilité du milieu étudiée aux échelles supérieures (région agricole, village, système de culture) et en fonction d'hypothèses sur les causes de variation des rendements résultant d'enquêtes exploratoires et d'observations préalables sur les pratiques. Une fois le dispositif défini, la démarche de diagnostic agronomique est guidée par les principes suivants (Jouve, 1990 ; Milleville et Serpantié, 1991) :

- La décomposition du rendement en ses différentes composantes éclaire sur la qualité de la réalisation des différentes phases culturales. Il s'agit de mesurer chaque composante (nombre de pieds, nombre et poids des grains...) et de juger de son niveau à partir du potentiel de production. En l'absence de références sur la culture, le potentiel peut être déterminé à partir des parcelles des agriculteurs ayant donné les meilleurs rendements.
- L'élaboration de chacune des composantes est sous la dépendance de facteurs et conditions de milieu spécifiques que l'on cherche à identifier à partir des observations sur les états du milieu (bilan hydrique, enherbement...).
- Les états du milieu dépendent partiellement des techniques culturales. L'analyse vise à mettre en évidence ces relations pour identifier les pratiques à l'origine de la variation du niveau des composantes.

Le diagnostic fait partie du processus d'amélioration du système de culture en permettant d'orienter la mise au point de systèmes de culture innovants. Le principal objectif est alors de définir des nouvelles modalités de raisonnement des techniques et des itinéraires techniques avec leur domaine de validité (Meynard *et al.*, 2001).

Une démarche désormais largement développée consiste à recourir à la modélisation du fonctionnement de l'agro-écosystème, permettant de prévoir les effets des systèmes de culture et ainsi de déterminer rapidement, en explorant différents scénarios, les systèmes capables d'atteindre des objectifs donnés (Bouman *et al.*, 1996 ; Meynard, 1998 ; Boiffin *et al.*, 2001 ; McCown, 2002 ; Jones *et al.*, 2003).

Lorsque les connaissances agronomiques sur la culture sont encore insuffisantes pour modéliser, comme c'est le cas pour le *muskuwaari*, l'évaluation d'itinéraires techniques innovants peut être réalisée à l'aide d'expérimentations "systèmes de culture" (Meynard *et al.*, 1996 ; Reau *et al.*, 1996 ; Nolot et Debaeke, 2003). Cette méthode que nous avons retenue pour l'évaluation d'itinéraires avec traitement herbicide, est détaillée dans le chapitre 4. Les expérimentations, menées conjointement au diagnostic agronomique, visent à tester de nouveaux jeux de règle de décision proposés à partir de connaissances sur la conduite technique de la culture et fondés sur des hypothèses concernant les avantages d'un nouvel itinéraire technique susceptible de résoudre les problèmes identifiés. Cette démarche suppose une compréhension préalable des pratiques des agriculteurs et en particulier de formaliser les processus de décisions qui les génèrent.

3.2.2.3. Analyser les processus de décision pour la gestion technique d'une culture

L'analyse des pratiques culturales, en partant du point de vue des agriculteurs, constitue un moyen privilégié pour révéler la diversité des modes de conduite, les objectifs et stratégies que poursuivent les producteurs, les contraintes particulières qu'ils subissent compte tenu des moyens disponibles et de l'organisation sociale du travail (Milleville, 1987 ; Landais et Deffontaines, 1988 ; Jouve, 1997). Le système de culture, concept limité au niveau parcellaire, est ici replacé dans le cadre du fonctionnement de l'exploitation, mais aussi dans des niveaux plus englobants tels que le village ou la région (politiques agricoles, marché des produits agricoles...) où peuvent se situer certains déterminants des choix techniques (Capillon et Caneill, 1987 ; Jouve, 1992). Les travaux réalisés en situation africaine soulignent la particularité de la notion d'exploitation agricole, comprise ici comme une unité familiale de production, abritant une famille nucléaire ou élargie (cadets, dépendants...), ce qui peut nécessiter l'identification de différents niveaux de décision, même si le groupe familial dépend du chef de famille qui effectue les choix principaux pour l'organisation des activités quotidiennes (Jamin, 1994 ; Dounias, 1998). L'analyse des pratiques, développée également par le courant de recherche anglo-saxon sur les systèmes de production (Farming System Research, FSR), permet de concevoir des systèmes de culture différenciés et d'adapter le conseil technique à la diversité des exploitations agricoles (Capillon et Fleury, 1986 ; Chambers *et al.*, 1989 ; Jamin, 1994).

Cependant, pour comprendre les pratiques des agriculteurs, une analyse *a posteriori* de leurs modalités de mise en œuvre ne suffit pas. Il faut remonter aux prises de décision à l'origine de ces choix pour comprendre finement les déterminants des pratiques et donc pour apprécier la pertinence d'une innovation par rapport au fonctionnement de l'exploitation, aux objectifs des agriculteurs et à leurs marges de manœuvres vis-à-vis de l'organisation du travail (Papy, 2001). La recherche agronomique, notamment en France, s'est ainsi intéressée aux processus de décision des agriculteurs, c'est-à-dire "*dégager l'ensemble des solutions qui s'offrent à eux à chaque instant, et déterminer ce qui l'amène à en privilégier certaines plutôt que d'autres*" (Sebillotte et Soler, 1990). Cette analyse permet d'appréhender des questions complexes d'organisation du travail au sein de l'exploitation, en particulier concernant le raisonnement des choix techniques pour la gestion d'une culture en fonction des conditions climatiques, des accidents et opportunités en cours de campagne. Les actions culturelles se reproduisant chaque année, les agriculteurs accumulent un savoir-faire sur l'enchaînement et la coordination des différentes tâches (Papy, 2001). En étudiant et reconstituant les situations de décisions dans lesquelles se trouve l'agriculteur, on peut formaliser ses connaissances sous forme de plans d'action et de règles d'adaptation aux circonstances, appelés modèle d'action de l'agriculteur pour la conduite des cultures (Sebillotte et Servettaz, 1989 ; Aubry, 1995). La structure de ce modèle en différentes catégories de règles de décision est détaillée dans le chapitre 3. Cette démarche de formalisation des raisonnements et connaissances des agriculteurs pour la conduite technique d'une activité (culture, élevage, production fourragère) a semble t-il été peu développée par les chercheurs anglo-saxon, même dans le courant FSR (Papy, 1998). En tant que grille d'analyse de la diversité des modes de conduites et des problèmes techniques que les agriculteurs ont à résoudre, le modèle d'action peut fournir un cadre d'échange pour le conseil, et en particulier pour discuter des règles de mises en œuvre d'un changement technique en situation d'aide à la décision (Sebillotte, 1990a). La démarche vise à aider les agriculteurs à concevoir leurs propres réponses, notamment à travers l'enrichissement de leurs connaissances et raisonnements, pour mieux adapter les innovations à leurs situations particulières (Le Gal et Milleville, 1995 ; Papy, 2004).

3.3. Dispositif de recherche

La démarche repose à la fois sur des enquêtes auprès de chefs d'exploitation et des expérimentations en parcelles paysannes. Compte tenu des différents niveaux d'analyse, l'échantillonnage concerne à la fois les zones d'étude, les exploitations et les parcelles expérimentales (Figure I-7). Les méthodes employées à chaque niveau d'étude sont détaillées dans les chapitres de résultats correspondants.

3.3.1. Présentation des sites d'études

3.3.1.1. Choix des deux villages

En dépit de la diversité des zones à *muskuwaari* mise en évidence précédemment, nous avons dû limiter notre échantillon à deux villages compte tenu des enquêtes successives à mener dans diverses exploitations, couplées au suivi régulier des parcelles expérimentales.

Afin d'explorer une certaine diversité de systèmes de culture, les villages ont été choisis dans des situations différenciées concernant le milieu physique (en particulier les types de vertisols), l'ethnie, l'ancienneté de la culture du sorgho repiqué et l'importance du *muskuwaari* dans le système de production (Tableau I-4).

Les informations existantes sur le terroir ont également guidé notre choix, en privilégiant des villages pour lesquels une étude de terroir et une typologie des exploitations étaient déjà disponibles, afin de faciliter l'échantillonnage et d'engager rapidement les travaux d'enquête et d'expérimentation.

3.3.1.2. Principales caractéristiques des sites

Le terroir de Balaza-Domayo

Ce village a fait l'objet de plusieurs enquêtes depuis 1972. Une étude de terroir a déjà été réalisée par l'ORSTOM (Seignobos *et al.*, 1995) à la demande du projet DPGT. En 2000, l'IRAD²¹ a choisi d'intégrer ce village comme terroir de référence dans le cadre du PRASAC²², ce qui a permis de constituer une base de données sur la structure des exploitations (Djonnewa *et al.*, 2001). Cette base de données a été utilisée dans le cadre d'un mémoire de DEA pour effectuer une typologie de fonctionnement des exploitations en portant une attention particulière sur la gestion de la production céréalière et la place du sorgho repiqué dans les systèmes de production (Mathieu, 2000).

Le village de Balaza se situe dans la plaine du Diamaré, à proximité d'une rivière, le *maayo Tsanaga*. La population, qui a connu un accroissement important dans les 20 dernières années, est dominée par des agro-éleveurs Fulbés et comprend aussi quelques familles de migrants Masa et de tchadiens, installés pour la plupart il y a moins de 20 ans. L'élevage de proximité, essentiellement bovin, constitue une activité incontournable du système de production avec la culture du coton, du sorgho pluvial (*njigaari*) et du *muskuwaari*. Les terres entourant le village, à dominante sableuses (*yoolde*), sont surtout valorisées pour la rotation coton/*njigaari*. Le terroir inclut deux zones à *muskuwaari* bien différenciées l'une de l'autre du point de vue du type de vertisol dominant. Le sorgho repiqué, pratiqué depuis plusieurs décennies, a connu une forte extension dans les vingt dernières années, et concerne plus de la moitié des surfaces cultivées (Seignobos *et al.*, 1995). Cette extension a désormais atteint ses limites. Le terroir est entré dans une phase de saturation foncière, la plupart des terres étant cultivées et la jachère ayant pratiquement disparu.

²¹ Institut de Recherche Agricole pour le Développement

²² Pôle de Recherche Appliquée au Développement des Savanes d'Afrique Centrale

Figure I-7 : Structure du dispositif de recherche

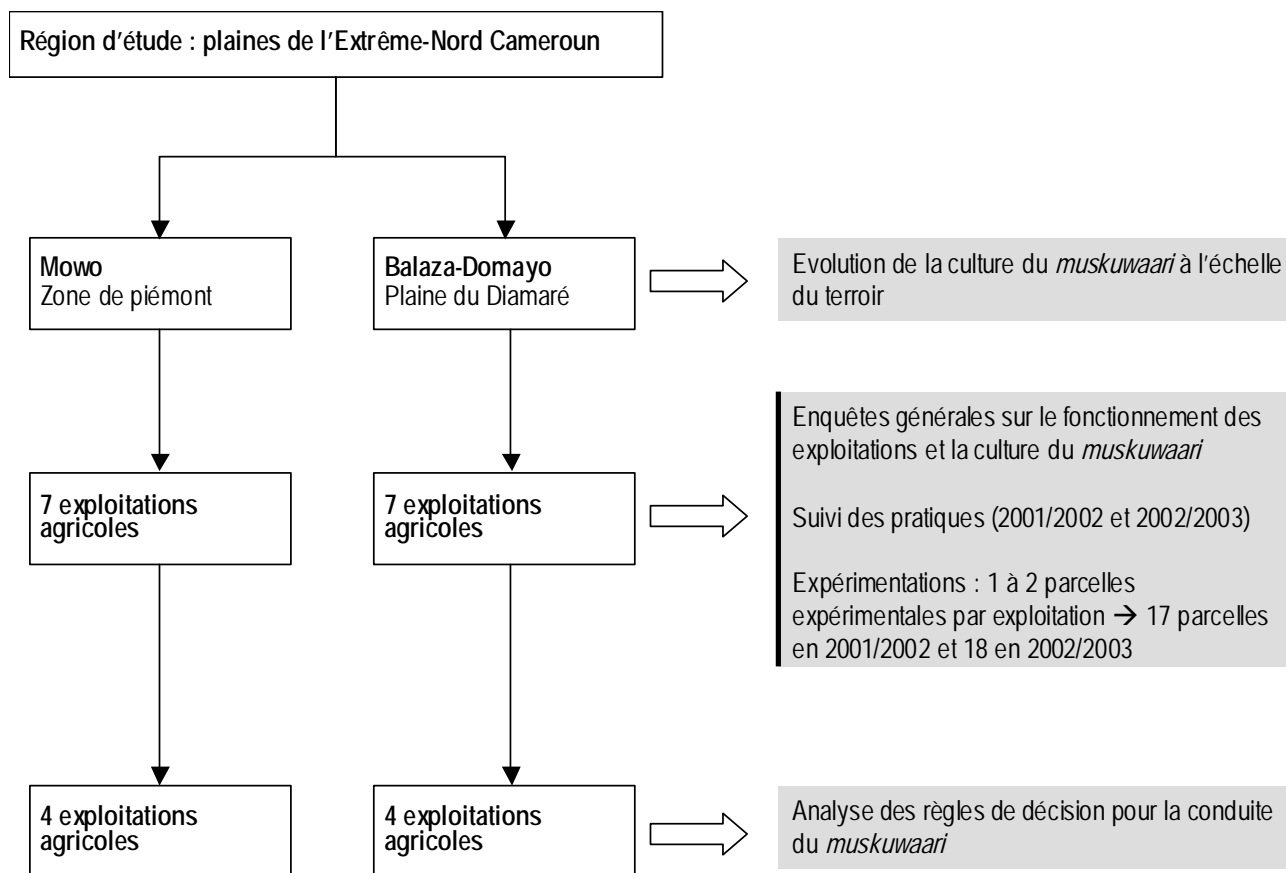


Tableau I-4 : Principales caractéristiques des deux terroirs de référence

Caractéristiques	Balaza-Domayo	Mowo
Ethnie dominante	Fulbé	Mofou
Population : - habitants (en 1995) - densité (habitants/km ²)	180 25	1350 50
Nombre d'exploitations (en 2000)	38	243
Pluviométrie moyenne (mm)	760	930
Vertisols dominants	modaux et intermédiaires	intermédiaires
Proportion surfaces cultivées dans le terroir	levé de terroir 1995	levé de terroir 2002
- sorgho pluvial	21 %	49 %
- coton	27 %	34 %
- <i>muskuwaari</i>	49 %	17 %
Ancienneté de la culture du <i>muskuwaari</i>	plus de 100 ans	moins de 40 ans

Le terroir de Mowo

Ce village a également fait l'objet d'une étude de l'ORSTOM (Iyebi-Mandjek et Seignobos, 1995) avant d'être intégré comme terroir de référence dans le dispositif du PRASAC. Une typologie simplifiée des exploitations a été réalisée en fonction des superficies en cultures pluviales et en *muskuwaari* (Vall et Ngoutsop, 2001). Le levé topographique du parcellaire de Mowo a été actualisé en 2002, afin d'analyser la dynamique de la culture du *muskuwaari* au sein du terroir (Mathieu *et al.*, 2003b).

Le terroir, situé dans la zone de piémont des Monts Mandara, est peuplé en grande majorité d'agriculteurs Mofou, d'origine montagnarde, venus progressivement s'installer en plaine à partir du XX^{ème} siècle. La proximité du relief assure une pluviométrie un peu plus importante que dans la plaine du Diamaré (Tableau I-4).

Les assolements sont orientés en majorité vers les cultures pluviales (coton et sorgho pluvial). Le *muskuwaari*, adopté plus récemment, demeure secondaire et n'est pratiqué que par environ 40% des agriculteurs. L'activité d'élevage, lorsqu'elle est pratiquée, se limite souvent aux petits ruminants et aux bovins utilisés pour la traction animale. Avec un terroir en voie de saturation foncière, les agriculteurs montrent un intérêt croissant pour la culture du *muskuwaari* afin de renforcer la sécurité alimentaire de l'exploitation. Les vertisols modaux étant assez rares, certains cultivent des parcelles en dehors du terroir ou tentent d'implanter le sorgho repiqué sur des vertisols intermédiaires plus ou moins dégradés.

Tableau I-5 : Composition de l'échantillon d'exploitations à partir de typologies simplifiées à Balaza et Mowo

Balaza					
Types d'exploitation	I - Grandes exploitations d'agro-éleveurs	II - Exploitations moyennes, innovantes, activité extra-agricole	III - Exploitations moyennes, peu innovantes	IV - Petites exploitations, récemment installées	V - Vieilles exploitations de petite dimension
Indicateurs de structure	– Surf. 3 à 8 ha – musk > 1ha – Mof ¹ + salariés	– Surf. 1 à 3 ha – musk > 1ha – Mof + salariés	– Surf. 1 à 3 ha – musk < 1ha – Mof 2 à 5 actifs	– Surf. 0,5 à 2 ha – musk occasionnel – Mof ≤ 2 actifs	– Surf. 1 à 2,5 ha – musk < 1ha – Mof ≤ 2 actifs
Estimation % par type	22 %	27 %	15 %	17 %	19 %
Nb exploit. dans échantillon	2	2	1	1	1
Mowo					
Types d'exploitation	I - Grandes exploitations avec <i>muskuwaari</i>	II - Exploitations moyennes, peu de <i>muskuwaari</i>	III - Petites exploitations, peu de terres, peu ou pas de <i>muskuwaari</i>	IV - Exploitations moyennes, absence du <i>muskuwaari</i> dans assolement	
Indicateurs de structure	– Surf. 5 à 10 ha – musk > 1ha – Mof > 5 actifs	– Surf. 1,5 à 3 ha – musk : 0 à 1,5 ha – Mof ≤ 5 actifs	– Surf. ≤ 2 ha – musk : 0 à 0,5ha – Mof ≤ 3 actifs	– Surf. 2 à 3 ha, seult cult.pluviales	
Estimation % par type	17 %	42 %	13 %	28 %	
Nb exploit. dans échantillon	4	2	1		

¹Mof : Main d'œuvre familiale

3.3.2. *Echantillonnage des agriculteurs et des parcelles d'essai*

L'échantillonnage des exploitations a été réalisé à partir de typologies disponibles dans chaque terroir (Mathieu, 2000 ; Vall et Ngoutsop, 2001). Les types d'exploitation sont issus d'une différenciation basée sur des données de structure des unités de production (foncier, main d'œuvre, importance du *muskuwaari*, âge du chef d'exploitation) dont on a fait l'hypothèse qu'elles constituent des facteurs déterminants du mode de conduite du sorgho repiqué (Tableau I-5). Des éléments de fonctionnement et de stratégie des agriculteurs ont également été pris en considération dans le cas de Balaza.

La taille de l'échantillon est très réduite, mais les agriculteurs ont été sélectionnés dans tous les types où la culture du *muskuwaari* est pratiquée, afin d'explorer la diversité des exploitations. Une ou deux exploitations par type ont été choisies en fonction de l'importance présumée de ce type par rapport à l'ensemble des exploitations. Dans le cas de Mowo, le type I apparaît sur-représenté dans notre échantillon (4 unités de production retenues), compte tenu de l'intérêt de ces grandes exploitations pour le traitement herbicide qui n'était pas encore pratiqué en 2001 dans ce village. Toutefois, dans l'échantillon réduit à 4 unités de production pour lesquelles on analyse finement les pratiques et règles de décision, il n'y a plus que 2 exploitations qui appartiennent à ce type.

Les expérimentations ont été menées avec le même échantillon d'agriculteurs. Les parcelles expérimentales ont été sélectionnées en prospectant une gamme variée de situations d'enherbement au sein du *kara* ou des différents *kare* de chaque unité de production. Le choix des emplacements des blocs d'essai, consistant à comparer l'itinéraire technique habituel (témoin) à un ou deux itinéraires intégrant un traitement herbicide, a également été discuté avec chaque agriculteur afin de tenir compte de son organisation du travail pour l'implantation du *kara* et de ses objectifs liés à l'utilisation de l'herbicide. Les principes et la méthode de conduite de ces essais "système de culture", sont détaillés dans le chapitre 4.

4. SYNTHÈSE

Le développement de la culture du sorgho repiqué, qui concerne l'ensemble du bassin du lac Tchad, constitue la dynamique agricole la plus visible de ces dernières décennies dans les plaines de l'Extrême-Nord Cameroun. Introduit par les groupes musulmans Kanuri (ou Bornouans) et Fulbe en provenance du Bornou, le sorgho *muskuwaari* s'est diffusé dans la région à partir de la conquête peule au cours du XIX^{ème} siècle.

Mais la présence du sorgho repiqué est d'abord liée à la présence de vastes plaines à vertisols, dont la haute teneur en argile et parfois l'inondabilité, les rendent impropres à la culture pluviale. Ces terres, valorisées par la culture du sorgho repiqué, offrent une seconde récolte pendant la saison sèche tout en permettant de répartir les travaux agricoles dans le temps. Le système de culture connaît sa plus grande diffusion à partir des années 1950, à la fois cause et conséquence de l'introduction du coton (Seignobos, 2000), mais aussi pour répondre à l'augmentation des besoins vivriers liés à la croissance démographique. Les producteurs cherchent désormais à s'appuyer sur la complémentarité entre le coton, garantissant un revenu régulier, et le *muskuwaari* constituant la principale culture vivrière dont les surplus sont de plus en plus commercialisés.

La volonté de produire du *muskuwaari* a poussé les agriculteurs à étendre et adapter le système de culture au-delà des vertisols modaux, dans une gamme de sols vertiques et hydromorphes aux capacités de rétention d'eau variables. Dans la zone cotonnière de l'Extrême-Nord, qui porte la grande majorité des cultures de sorgho repiqué du Nord-Cameroun, les superficies cultivées sont estimées entre 150 000 et 200 000 ha selon les conditions climatiques de l'année. La moindre sensibilité de la culture à la variabilité de la répartition intra-annuelle des pluies, souvent soulignée comme un des atouts du sorgho de décrue, se vérifie peu dans l'Extrême-Nord Cameroun, compte tenu de l'importance prise par les vertisols intermédiaires et dégradés dont la moindre capacité de rétention d'eau peut empêcher la mise en culture en cas d'interruption précoce des pluies. L'augmentation de la proportion de ces types de vertisols où la réussite du *muskuwaari* est plus aléatoire, a sans doute accentué la variabilité des superficies cultivées dans les dernières décennies.

La variabilité du milieu physique de la région de l'Extrême-Nord, la diffusion inégale de la culture au cours du temps et dans l'espace, ont donné lieu à des systèmes de culture diversifiés, tenant une place variable dans la production céréalière des exploitations. L'extension récente du *muskuwaari* ne se traduit pas par un accès à la culture pour tous les agriculteurs, compte tenu de la mainmise des autorités coutumières sur le défrichage de nouveaux *kare*. La dynamique du *muskuwaari*, qui se fait au détriment des espaces de pâturages et de récolte du bois de feu, pose des problèmes sociaux et territoriaux liés à la gestion du foncier et des ressources naturelles. Elle soulève également des problèmes agronomiques de maîtrise de l'enherbement en particulier d'infestation par des adventices vivaces dans les bas-fonds à inondation prolongée, désormais systématiquement mis en culture si la crue se retire avant décembre. Le traitement herbicide de préparation a d'abord été mis au point pour répondre à cette contrainte spécifique. Le coût très avantageux de l'herbicide total à base de glyphosate fourni par la SODECOTON a entraîné une adoption massive de l'innovation. Les agriculteurs ayant rapidement constaté des réductions de temps de travaux et éventuellement des coûts de production grâce au traitement, ont cherché à l'étendre dans diverses conditions d'enherbement. Mais sa mise en œuvre demeure souvent approximative avec des risques d'utilisation mal contrôlée de l'herbicide. Outre les conséquences à moyen et long terme d'épandages excessifs sur l'environnement et la santé humaine, le développement des surfaces traitées a d'ores et déjà induit une diminution des systèmes d'emploi de manœuvres saisonniers pour la préparation des terres à sorgho repiqué.

Un travail de recherche plus fin est apparu nécessaire pour parvenir à une insertion raisonnée de l'herbicide dans les itinéraires culturaux en s'appuyant sur une connaissance agronomique précise des pratiques, des modes de conduite et des effets du traitement dans les différents milieux cultivés. Une démarche scientifique en agronomie a été mise en œuvre dans le cadre d'un projet de développement, finalisée vers la production d'outils de conseil et d'aide à la décision. Ce travail s'inscrit dans un processus de recherche-développement au sens large avec comme principal objectif d'accompagner l'adaptation d'une technique dans un système de culture, en associant connaissance scientifique et savoir empirique des agriculteurs. Ainsi, nous avons choisi de combiner l'analyse des savoir-faire des agriculteurs pour la conduite du *muskuwaari*, à l'évaluation des effets des itinéraires techniques avec herbicide sur l'élaboration du rendement du sorgho et l'évolution de la flore. Ces connaissances aboutissent à la conception d'une grille d'analyse de la diversité des situations à l'usage de conseillers, afin d'aider les agriculteurs dans l'adoption/adaptation de l'herbicide à leur situation particulière.

Différents niveaux d'analyse ont été retenus en s'appuyant essentiellement sur des enquêtes approfondies à l'échelle de l'exploitation et des expérimentations en parcelles paysannes, dans deux terroirs de référence sélectionnés dans des situations contrastées du point de vue des types de vertisols cultivés et du peuplement humain. Les résultats concernant les règles de décision des agriculteurs pour la conduite du *muskuwaari* et l'évaluation agronomique du traitement herbicide sont développés respectivement dans les chapitres 3 et 4. La caractérisation de la diversité des systèmes de culture à l'échelle des régions agricoles de l'Extrême-Nord Cameroun et des territoires s'avère un préalable indispensable pour pouvoir ensuite juger du domaine de validité de nos résultats et orienter le conseil et les recherches à venir en fonction de cette diversité.

Chapitre 2

Caractérisation de la diversité des systèmes de culture à *muskuwaari*

La présentation de la démarche et des questions de recherche a déjà permis de donner un aperçu de la diversité des systèmes de culture à sorgho repiqué à l'échelle de la région de l'Extrême-Nord. Si la différenciation de grandes zones à *muskuwaari* fait ressortir des caractéristiques dominantes du système de culture dans chaque zone, appréhender la diversité de ces systèmes suppose une approche plus fine à l'échelle des territoires pour mettre en évidence l'hétérogénéité des milieux cultivés et la variabilité des pratiques culturelles. Dans un premier temps, on considère le problème général de l'implantation, ainsi que les éléments de connaissance du sorgho repiqué et des conditions climatiques utiles à la compréhension des systèmes de culture. Ensuite, on cherche à montrer les contraintes qui se posent selon la spécificité du milieu et l'adaptation des agriculteurs à ces contraintes, en tenant compte de la dimension collective dans l'organisation spatiale et la gestion du système de culture. Une attention particulière est accordée à la manière dont les agriculteurs tentent de répondre aux problèmes de gestion de l'enherbement dans la diversité des milieux cultivés en considérant l'adoption récente du traitement herbicide.

1. METHODE

La caractérisation des systèmes de culture s'appuie en premier lieu sur les travaux menés dans différents terroirs mentionnés précédemment et abordant entre autres la place du sorgho repiqué dans le système agraire. Des études plus spécifiques ont également été valorisées, en particulier sur la perception et la classification des différents types de sols à *muskuwaari* par les populations agropastorales du Diamaré (Seignobos, 1993), ainsi que sur les savoirs paysans concernant la flore des *kare* (Donfack et Seignobos, 1996).

Cette caractérisation s'appuie également sur des connaissances d'experts sur la diversité des pratiques culturelles, constituées à travers les nombreuses observations de terrain et les enquêtes informelles menées avec les agriculteurs, les conseillers et agents de développement lors des interventions de recherche-développement dans le cadre des projets DPGT et ESA. Afin de les valider, ces connaissances sont confrontées à l'analyse des pratiques enregistrées auprès des agriculteurs échantillonnés dans nos deux terroirs d'étude et suivis au cours des campagnes agricoles 2001/2002 et 2002/2003.

2. PROBLEMATIQUE GENERALE DE LA CULTURE DU *MUSKUWAARI*

Dans les systèmes de décrue en Afrique de l'Ouest, le sorgho est directement semé en poquets, après le retrait de l'inondation. Le semis a lieu après l'arrêt des pluies, au fur et à mesure de la décrue, dès que le sol est suffisamment ressuyé pour supporter le poids de l'homme (Irat, 1971).

La technique du repiquage caractéristique du bassin du lac Tchad, dont on a déjà évoqué l'intérêt pour optimiser l'utilisation de la réserve en eau du sol, est à l'origine de la principale difficulté dans la conduite de la culture du sorgho repiqué : ajuster, en conditions aléatoires de fin de saison des pluies, la préparation des plants, élevés en pépinières sans irrigation, et le repiquage que l'on cherche à effectuer dans des conditions favorables sur les terrains variés qui composent la sole.

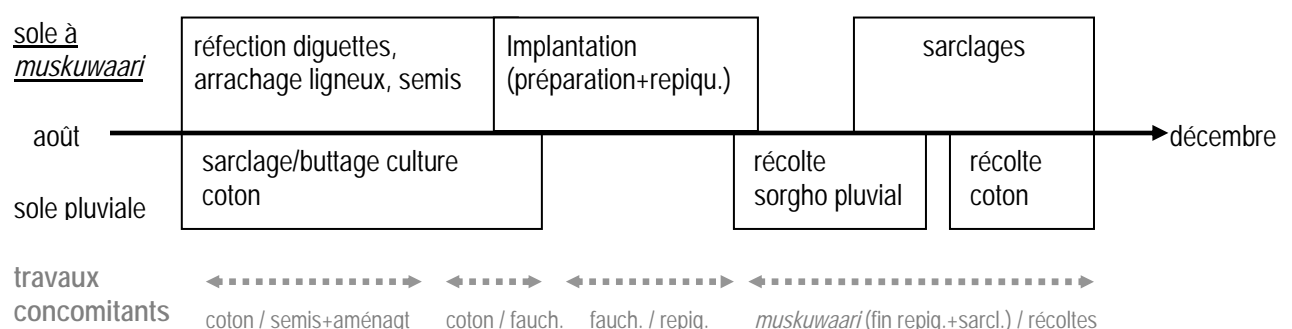
Cet ajustement apparaît d'autant plus délicat que le créneau de réalisation du repiquage pour un sol donné est souvent court (10 à 20 jours selon le sol et la pluviométrie) et difficilement prévisible puisque l'agriculteur ne sait pas, *a priori*, quand s'achève la saison des pluies :

- si le sol est trop humide ou qu'une forte pluie intervient juste après la transplantation, les plants pourrissent,
- si le repiquage est retardé, l'horizon supérieur du sol déjà sec empêche l'enracinement.

De plus, contrairement au système de décrue où l'inondation prolongée limite l'apparition d'un couvert végétal pendant la saison des pluies, dans l'Extrême-Nord Cameroun, le repiquage est précédé de travaux de préparation importants qui consistent généralement au fauchage du couvert herbacé développé en saison des pluies. Les herbes séchées sont systématiquement brûlées juste avant le repiquage pour ne pas gêner ce dernier¹. Avec la trouaison et la transplantation, ces opérations sont longues et doivent être enchaînées dans un délai court pour faire en sorte que les plants valorisent au mieux l'humidité du sol et éventuellement les dernières pluies pour les premières parcelles repiquées.

Les agriculteurs se heurtent aussi à des problèmes de concurrence entre travaux concomitants pour le *muskuwaari* et les cultures pluviales. La succession des opérations culturales dans les soles à *muskuwaari* et pluviales peut être schématisée par un enchaînement type (Figure II-1).

Figure II-1 : Enchaînement-type des opérations culturales pour le *muskuwaari* replacé dans l'ensemble du calendrier des travaux de culture



La figure permet de situer les opérations concomitantes entre l'itinéraire technique du *muskuwaari* et les opérations à effectuer dans les cultures pluviales. L'organisation du travail pour l'enchaînement des différentes

¹ En fonction du type de sol, du scénario climatique et de "l'urgence" du repiquage, le délai entre le fauchage (ou le traitement herbicide), et le brûlage est variable de quelques jours à une vingtaine de jours dans les milieux très humides nécessitant un certain ressuyage avant le repiquage.

tâches dans chaque sole et les questions d'arbitrage entre opérations culturales sont abordées dans le chapitre 3.

La problématique générale de l'implantation et de l'entretien de la culture du *muskuwaari* peut être déclinée en divers problèmes techniques correspondant à des situations particulières. L'analyse de la diversité des pratiques et des systèmes de culture vise à mettre en évidence les multiples solutions développées par les agriculteurs pour répondre à ces contraintes. Cela suppose de poser au préalable les éléments de connaissance et de compréhension du fonctionnement de la plante.

3. LE SORGHO REPIQUE : LA PLANTE DANS SON MILIEU

3.1. Rappels sur le sorgho et spécificités du *muskuwaari*

Le sorgho appartient à la famille des Poacées, tribu des *Andropogoneae*, genre *Sorghum*, espèce *bicolor*. Les très nombreuses variétés existantes ont fait l'objet de diverses classifications dont celle de Harlan et De Wet, évoquée précédemment, qui s'avère la plus récente et la plus fonctionnelle et a été reprise par l'IBPGR² (Chanterreau et Nicou, 1991). Les cinq races principales (*bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *kafir*, *durra*) et les races intermédiaires se différencient sur les caractéristiques de l'épillet et de la panicule. La majorité des *muskuwaari* appartient à la race *durra*, repérable par la panicule très compacte généralement portée par un pédoncule croisé, à l'exception de l'écotype *burguuri*, rattaché aux *durra-caudatum* (Chanterreau, 2001). Les éléments suivants sur la morphologie et la physiologie de la plante constituent une synthèse de différents travaux plus complets sur le sorgho (Chanterreau et Nicou, 1991 ; IBPGR, 1993 ; Raimond, 1999 ; Chanterreau, 2001 ; CIRAD-GRET, 2002).

3.1.1. Morphologie

Le sorgho est une céréale de grande taille qui présente un port analogue à celui du maïs, mais avec un organe fructifère au sommet de la tige. La plante possède un système racinaire puissant, avec la mise en place dès le stade 3 feuilles de racines adventives au niveau du collet qui peuvent s'enfoncer jusqu'à deux mètres. Cette particularité explique en partie les qualités de rusticité et de résistance à la sécheresse observées chez les sorghos.

L'appareil végétatif du sorgho comprend une tige principale accompagnée de talles issus de bourgeons adventifs situés à la base du brin maître. Le nombre de talles par plante varie en fonction des variétés et des conditions de culture. Le tallage du sorgho repiqué est peu fréquent, mais peut avoir lieu dans de bonnes conditions d'alimentations hydriques. Les variétés de *muskuwaari* présentent souvent des tiges sucrées, ce qui augmente leur qualité fourragère.

Les feuilles, dont le nombre peut aller jusqu'à 30, sont constituées d'un faux limbe se terminant en pointe et d'une gaine qui entoure longuement la tige. La hauteur de la plante dépend du nombre de nœuds émis (donc de la durée du cycle végétatif) et de la taille des entre-nœuds (sous contrôle génique). Elle peut atteindre 0,5 à 5 mètres. Son diamètre varie de 1 à 4 cm à la base et diminue progressivement en s'élevant. Le pédoncule, c'est-à-dire l'entre-nœud supérieur qui porte l'inflorescence, est droit ou croisé, de taille variable selon le caractère variétal et l'alimentation hydrique. L'inflorescence est une panicule constituée d'un axe central, le rachis, d'où

² IBPGR : International Board for Plant Genetic Resources, devenu IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute)

partent des branches primaires. Celles-ci produisent des branches secondaires et même tertiaires. La dernière ramification est un racème portant une paire d'épillets, l'un sessile et fertile, l'autre pédicellé et stérile. L'épillet sessile comporte deux "fleurs" mais seule la fleur supérieure est complète, à l'exception des variétés à grain double. Cet épillet sessile peut être aristé (poil à l'extrémité de la glumelle), comme c'est le cas pour certains *burguuri* et *safraari* ce qui peut limiter les attaques des oiseaux. La graine est un caryopse composé de trois parties principales : l'enveloppe ou péricarpe, le tissu de la réserve ou albumen et l'embryon. Entre le péricarpe et l'albumen, peut se trouver une couche à forte concentration en tanins, la couche brune appelée aussi testa. Sa présence, déterminée génétiquement, confère une coloration aux préparations culinaires et leur donne une certaine amertume. C'est le cas des variétés locales de type *burguuri* dont l'amertume est également peu appréciée par les oiseaux, d'où son intérêt dans les zones où les attaques sont importantes.

L'albumen présente au centre du grain une partie farineuse de taille variable, qui est entourée par une partie vitreuse. Les grains de *muskuwaari* présentent une vitrosité assez importante et une faible teneur en eau des grains (5 à 7%, contre 18% pour le sorgho pluvial). Ces qualités, appréciables pour l'alimentation humaine et la conservation, peuvent expliquer l'intérêt particulier de populations pour ces sorghos³.

3.1.2. Physiologie

On considère habituellement trois phases dans le cycle du sorgho (Chantereau et Nicou, 1991) :

- phase végétative, de la levée à l'initiation paniculaire
- phase reproductive, de l'initiation paniculaire à la floraison
- phase de maturation, de la floraison à la maturité physiologique

La graine de sorgho n'est pratiquement pas dormante. La germination a lieu dans un sol humide avec des températures moyennes journalières supérieures à 12°C. En bonnes conditions, le tallage peut commencer 15 jours après le semis, mais il est limité dans le temps par un mécanisme physiologique interne. Il peut reprendre au cours du cycle suite à une cassure de la tige ou une attaque parasitaire. Ainsi, les perforations causées par des chenilles foreuses des tiges peuvent entraîner l'émission de talles au niveau des entre-nœuds attaqués (Polaszek et Delvare, 2000). Au cours de la croissance végétative, les racines se développent de façon intense en nombre, taille et volume. Leurs capacités d'alimentation minérale se situent essentiellement dans les 30 premiers cm du sol. En revanche, l'absorption de l'eau peut avoir lieu à des profondeurs beaucoup plus importantes, jusqu'à 1,80 m. La grande résistance à la sécheresse des sorghos de saison sèche est sans doute liée à des particularités du système racinaire supposé important, profond et apte à extraire de l'eau dans les sols argileux. Ce système doit aussi jouer un rôle dans l'aptitude à la transplantation des sorghos repiqués.

Une fois que l'initiation paniculaire s'est produite (hauteur de la plante : 50-60 cm), la poursuite du développement végétatif est uniquement assurée par la croissance cellulaire. Au cours de la montaison, la panicule se dégage de la dernière feuille, et est normalement complètement déployée lors de la floraison. La plupart des variétés de sorgho sont photopériodiques de jours courts. La floraison est déclenchée lorsque la durée du jour diminue et devient inférieure à une valeur seuil (Vaksmann *et al.*, 1996). La photosensibilité, qui se définit par rapport à une latitude et une saison de culture données, interfère avec les besoins thermiques des plantes. On parle ainsi de réponse thermo-photopériodique.

³ La dureté des grains, difficiles à écraser manuellement, a pu toutefois freiner l'adoption de ces sorghos avant le développement de la mouture mécanique (Raimond, 1999).

En réalisant des semis échelonnés entre août et octobre, le *muskuwaari* fleurit à peu près au même moment, vers le 20-26 décembre, période pendant laquelle la longueur du jour passe par le minimum (Barrault *et al.*, 1972). Ce résultat semble se confirmer dans notre dispositif expérimental, puisque dans la moitié des parcelles suivies, le stade 50% floraison a été observé au cours de la 3^{ème} décennie de décembre (Annexe 1A). Toutefois, dans notre cas, la majorité des semis est regroupée entre la dernière décennie d'août et la première décennie de septembre. Compte tenu du caractère photosensible, l'inondation prolongée de certaines parcelles peut constituer un facteur limitant. Si le repiquage est effectué trop tardivement, les basses températures et la durée du jour proche de leur minimum vont entraîner un raccourcissement de la période végétative, voire empêcher la floraison.

Le sorgho est une plante essentiellement autogame, puisque le taux d'allogamie reste faible, de l'ordre de 6%. La floraison débute par le sommet de la panicule et dure en moyenne une semaine. Au niveau du peuplement cultivé, un écart de 10 à 35 jours a été observé dans les parcelles suivies entre le début et la floraison complète des plants. Durant cette phase d'épiaison, la sensibilité des sorghos à la sécheresse est au maximum. Les grains formés passent ensuite par les stades laitieux, puis pâteux jusqu'à la maturité physiologique.

Dans le dispositif expérimental, la durée du cycle cultural du *muskuwaari*, du semis à la récolte, varie de 165 à 200 jours, avec un temps en pépinière de 25 à 60 jours. L'allongement du cycle consécutif aux opérations de repiquage (arrachage, habillage des plants, reprise des racines et des feuilles), a été évalué entre 10 et 14 jours (Barrault *et al.*, 1972).

3.1.3. Les besoins en eau

Les besoins en eau d'une culture correspondent aux flux d'évaporation et de transpiration entre une parcelle cultivée et l'atmosphère, et dépendent donc des conditions environnementales de cette culture. Difficilement dissociables et mesurables, la somme de ces deux flux, l'évapotranspiration, peut être évaluée par bilan (CIRAD-GRET, 2002). On distingue :

- l'évapotranspiration potentielle de référence (ETP) dépendant de la demande atmosphérique en eau calculée à partir de données climatiques (ETP Penman). Elle est en moyenne de 6mm/jour au cours du cycle du sorgho repiqué (Raimond, 1999).
- l'évapotranspiration potentielle maximale (ETM), correspondant au niveau maximal qu'elle peut atteindre pour une culture donnée lorsque aucun facteur n'est limitant (eau du sol, fertilité, état sanitaire...). Elle est évaluée à partir de l'ETP en utilisant le coefficient cultural ($K_c = ETM/ETP$). Ce coefficient, fonction du stade de développement et du niveau de croissance de l'espèce cultivée, a été estimé pour le sorgho repiqué entre 0,5 et 1, à partir de l'indice de surface foliaire.
- l'évapotranspiration réelle apparaît inférieure à ETP et ETM lorsque la teneur en eau du sol est limitante

Chantereau (1991), estime ainsi que les besoins en eau du sorgho varient dans une fourchette de 350 à 750 mm selon la longueur du cycle, la masse du couvert végétal et les conditions climatiques. Pour un état hydrique du sol et une demande évaporative de l'atmosphère donnés, la méthode du bilan hydrique permet d'estimer la satisfaction des besoins en eau de la plante. Cette méthode, utilisée par Raimond (1999) a permis d'identifier deux régimes d'alimentation hydrique du sorgho repiqué :

- un système de décrue basé sur l'exploitation d'une nappe à faible profondeur. Cette nappe n'est pas reliée à la nappe générale mais reste transitoire pendant la période de culture. Ce système intéresse les parcelles en position basse bénéficiant de crues fluvio-lacustres. Dans ce cas, l'eau est moins un facteur limitant que la

date du retrait des eaux qui détermine la date de repiquage : si celle-ci est trop tardive, la thermo-photosensibilité des sorghos empêchent l'accomplissement du cycle cultural.

- un système reposant sur l'exploitation d'une inondation variable, d'origine pluviale. On observe alors un processus de remontée capillaire entre la partie du sol correspondant à l'emprise racinaire, et celle plus humide située en dessous. La capacité de rétention d'eau du sol s'avère essentielle pour permettre au sorgho de boucler son cycle cultural en saison sèche. La réserve en eau du sol peut être augmentée par l'aménagement de diguettes.

Dans le deuxième cas, qui concerne la plus grande partie des surfaces cultivées dans l'Extrême-Nord Cameroun, l'importance des remontées capillaires pour l'alimentation hydrique du sorgho est discutable. Les bilans hydriques ont été réalisés en fixant la Réserve Utile Racinaire à 180 mm, ce qui suppose une profondeur d'exploration des racines de seulement 80 cm. De plus, le phénomène de remontées capillaires qui se met en place lorsque le gradient entre les deux couches de sol d'humidité différente est suffisant, n'aurait lieu que pour les textures fines argileuses et/ou limoneuses (Raimond, 1999), mais on ne sait pas à partir de quel taux d'argile du sol on peut s'attendre à un tel phénomène. Or, les différents types de vertisols cultivés impliquent des variations importantes de la texture ainsi que des modalités variables de recharge en eau du sol. Nous discutons par la suite de ce régime d'alimentation en eau du sorgho en présentant la diversité des types de sols et de leur régime hydrique selon le scénario pluviométrique.

3.1.4. Les ravageurs et maladies du sorgho repiqué

L'étude se limite aux problèmes rencontrés dans les cultures de sorgho repiqué dans le bassin du lac Tchad. Au cours de la saison sèche, les espaces cultivés en sorgho repiqué constituent de vastes étendues de verdure alternant avec des zones arides et donc susceptibles d'attirer des ravageurs animaux. On observe ainsi des invasions parfois importantes d'oiseaux granivores. Concernant les insectes ravageurs, les avis divergent, certains considérant que les conditions sèches limitent le développement des ravageurs et d'autres estimant que l'importante matière verte produite alors que tout autre végétation est desséchée, héberge un grand nombre d'espèces (Ratnadass et Djimadomngar, 2002). En fait, les problèmes d'insectes spécifiques aux sorghos de saison sèche demeurent encore mal connus. Dans l'Extrême-Nord Cameroun, ce sont essentiellement les foreurs des tiges et dans une moindre mesure les criquets qui occasionnent le plus de dégâts.

3.1.4.1. Les attaques de criquets à la reprise

Les criquets s'alimentent souvent sur les jeunes plants dans les semaines qui suivent le repiquage. La destruction des feuilles terminales conduit parfois à la perte du pied. Des larves de criquets et des adultes de plusieurs espèces ont été prélevées dans différents sites. Trois espèces assez communes des régions sahéniennes ont été identifiées⁴ : *Diablocatantops axillaris*, *Eyrepocnemis plorans ornatipes* (Walker), *Oedaleus senegalensis*, de la famille des Acrididae. Toutes ces espèces sont considérées comme des sautériaux. Contrairement aux locustes, la pullulation de sautériaux n'implique pas l'apparition d'individus différents de ceux qui vivent isolément⁵.

⁴ Identification par My-Hanh Luong-Skovmand (CIRAD-Amis) et Alain Ratnadass (CIRAD-CA) pour *Eyrepocnemis plorans*

⁵ Mis à part pour *Oedaleus senegalensis* qui n'appartient pas aux locustes stricto sensu, mais qui présente des modifications légères d'aspect et de comportement lorsqu'il vit isolé ou en groupe.

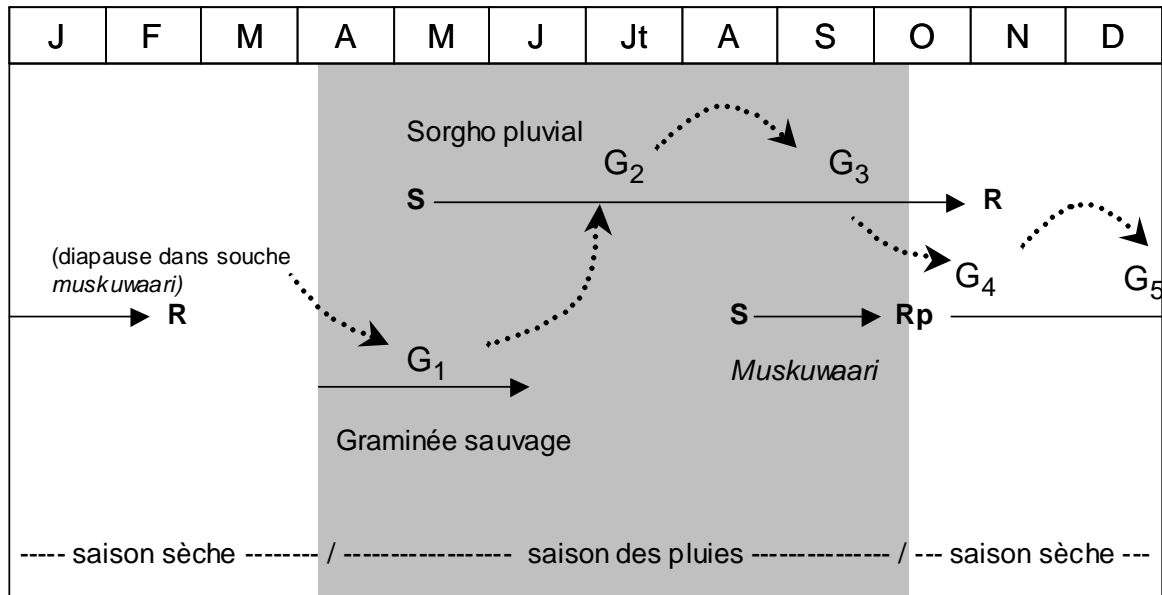
Diablocatantops axillaris est une espèce sahélienne importante économiquement (Lecoq, 1988). Ce criquet à teinte brune, à la fois graminivore et "forbivore" (consommateur de dicotylédones), se trouve fréquemment dans les zones de végétation herbacée dense. Cette espèce à diapause imaginale, peut être capturée sous forme de larve et d'adulte pendant la saison des pluies, mais uniquement sous forme d'adulte pendant la saison sèche. Les larves et adultes occasionnent des dégâts après repiquage du sorgho, et se réfugient sans doute dans des parties non repiquées encore couvertes d'herbes sèches (espèce xérophile), éventuellement aussi dans des parcelles traitées à l'herbicide avec maintien de la couverture herbacée morte (absence de brûlage avant de repiquer). Comme on le verra, les dégâts des criquets apparaissent les plus élevés lors de la reprise, puis diminuent, en particulier lorsque la température commence à baisser. Il est possible que la diminution des températures en novembre-décembre déclenche l'entrée en diapause des adultes de *Diablocatantops axillaris*. Toujours d'après Lecoq (1988) *Eyprepocnemis plorans* apparaît aussi comme une espèce importante, mais dont le régime alimentaire est plutôt basé sur la consommation d'espèces dicotylédones. Enfin, *Oedaleus senegalensis*, est une espèce commune, de teinte verte ou brune selon les individus et graminivore. On trouve cette espèce dans les milieux moyennement humide (mésophile), aussi bien sur les plages de sols nus que dans les zones de végétation herbacée dense. Lecoq (1988) considère *Oedaleus senegalensis* d'importance économique moyenne, mais l'espèce est signalée au Nord Cameroun comme pouvant commettre d'importants dégâts sur sorgho repiqué au moment du repiquage (Nonveiller, 1984). Les infestations diminuent ensuite assez rapidement au cours du cycle cultural car c'est une espèce à diapause embryonnaire, ne pouvant être capturée que pendant la saison des pluies et dont seuls les œufs persistent dans le sol en saison sèche. Les dégâts de criquets peuvent apparaître aussi dans les pépinières, mais beaucoup moins fréquemment que dans les parcelles repiquées.

3.1.4.2. Les foreurs des tiges

D'après Ajayi *et al.* (1996), les chenilles foreuses des tiges constituent les ravageurs les plus importants sur sorgho de contre-saison au Cameroun, Nigeria et Tchad. Les attaques des foreurs constituent une préoccupation croissante des agriculteurs qui déclarent que les dégâts ont fortement augmenté au cours des 10 dernières années. Les différentes espèces de Lépidoptères (famille Noctuidae) signalées au Nord-Cameroun et au Tchad sont *Sesamia poephaga* Tams & Bowden, *Sesamia calamistis* Hampson, *Sesamia penniseti* Tams & Bowden et *Sesamia cretica* Lederer (Ajayi *et al.*, 1996 ; Djimadoumngar, 2001 ; Ratnadass et Djimadoumngar, 2002). Des évaluations qualitatives et quantitatives des populations larvaires des foreurs de tiges du sorgho dans la région de N'djamena ont révélé la présence de ces quatre espèces sur le sorgho repiqué, et on retrouve *Sesamia poephaga* et *Sesamia cretica* également sur le sorgho pluvial, les générations successives de ces ravageurs passant d'un type de sorgho à un autre. L'espèce *Sesamia cretica* s'est révélée largement dominante, puisqu'elle constitue 65% à 100% des spécimens prélevés entre 1997 et 1999 (Djimadoumngar, 2001).

En 2001, trois individus récoltés sur *muskuwaari* à Dargala (est de Maroua) ont été identifiés par J.M. Males (CIRAD-AMIS, Montpellier) comme *Sesamia cretica*. En 2002, sur 6 individus prélevés également sur *muskuwaari*, cinq appartenaient à l'espèce *Sesamia cretica* et un seul à l'espèce *Sesamia poephaga*. Enfin, suite à des prélèvements effectués en septembre 2003 sur des cultures de sorgho pluvial à côté de Maroua, quatre individus ont aussi été formellement identifiés comme *Sesamia cretica* (Ratnadass, 2003). L'espèce *Sesamia poephaga* apparaissant minoritaire, les indications suivantes sur la biologie et la dynamique des populations d'insectes ne concernent que *Sesamia cretica*.

Figure II-2 : Successions possibles des générations de *Sesamia cretica* au cours d'une année sur différentes plantes hôtes.



Légende

- S** Semis —————> cycle des plantes hôtes
- R** Récolte G₁ 1^{ère} génération de *Sesamia cretica*
- Rp** Repiquage > vol des adultes de *Sesamia cretica*

Concernant la systématique et la description précise des adultes et des larves, nous renvoyons à l'ouvrage très complet de Polaszek et Delvare (2000). Concernant la bioécologie de l'espèce, elle s'apparente à celle de *Sesamia calamistis* (Holloway, 2000). La femelle pond ses œufs entre la gaine foliaire et la tige. Plusieurs heures après l'éclosion, les chenilles quittent le site de ponte et pénètrent dans les tiges, soit directement, soit après s'être nourries sur la gaine foliaire. L'ensemble des 6 ou 7 stades larvaires durent 30 à 60 jours en fonction des conditions climatiques. Ces larves sont à l'origine des dégâts observés sur le *muskuwaari* comme sur le sorgho pluvial, tout au long du cycle cultural. Les attaques au cours du stade végétatif peuvent entraîner la mort des jeunes plants suite au dessèchement du fouet foliaire central lié à la destruction du méristème apical (symptôme de cœur mort). Les dégâts sur des plantes plus âgées sont caractérisés par le minage de l'intérieur des tiges jusqu'au pédoncule floral, à l'origine de la casse des tiges et des pédoncules en cas de vent, et de la diminution du nombre de grains par panicule ou de leur mauvais remplissage (Dakouo et Ratnadass, 1997). Comme on le verra, les dégâts sur sorgho repiqué, très variables selon le stade de la plante et la grosseur de la tige au moment de l'attaque, touchent à la fois la production de grains et de fourrage (Polaszek et Delvare, 2000). La nymphose a généralement lieu à l'intérieur de la tige et le stade nymphal dure 10 à 15 jours. En conditions tropicales, on compte 5 ou 6 générations par an.

Les premières observations sur la composition des populations larvaires et les recoupements avec les travaux antérieurs permettent de reconstituer les successions probables d'infestations par *Sesamia cretica* au cours de l'année sur différentes plantes hôtes dans la région du bassin du lac Tchad (Figure II-2).

Les prélèvements sur sorgho pluvial en septembre 2003 ont concerné essentiellement des individus au stade nymphal ou adulte (nymphe écloses). La culture étant proche de la récolte et le repiquage du *muskuwaari* sur le point de commencer, il est fort probable que cette période d'observation (mi-septembre) corresponde à une seconde génération de *Sesamia cretica* sur sorgho pluvial, dont les adultes vont pondre sur sorgho repiqué, où peuvent se dérouler deux générations complètes jusqu'à la récolte (Ratnadass, 2003). Les observations des agriculteurs semblent confirmer ce phénomène d'infestation croisée des sorghos *njigaari* et *muskuwaari*. En effet, ceux-ci signalent que ce sont les mêmes chenilles que l'on retrouve dans les deux cultures, et que les parcelles de sorgho qui sont repiquées tardivement, dans des zones relativement éloignées des terres de cultures pluviales, subissent moins d'attaques de foreurs des tiges. Avec l'extension des terres à sorgho *muskuwaari*, la mise en culture croissante des sols vertiques et vertisols dégradés situés à proximité des zones de cultures pluviales (en dessous dans la toposéquence) peut expliquer l'augmentation des infestations de foreurs sur *muskuwaari* lors des dernières années.

En période de récolte du sorgho repiqué, il est possible que certaines chenilles migrent vers la souche du pied de sorgho et entrent en diapause pendant le reste de la saison sèche (mars à mai). Le prélèvement de trois larves dans des souches de *muskuwaari* (dont une en position descendante dans le pivot) après la récolte 2004 tendent à valider cette hypothèse (Ratnadass, 2004). Lors de ces prospections, aucune nymphe n'a été trouvée dans le sol, contrairement à ce qui a été observé en Egypte dans des cultures de maïs infestées par *Sesamia cretica* (Moyal *et al.*, 2002, cité par Ratnadass, 2004). Dès les premières pluies, les larves en diapause (quiescentes) se nymphosent et donnent des adultes. Après l'accouplement, il n'est pas exclu que les femelles aillent pondre sur des hôtes-relais (graminées sauvages, cypéracées) avant d'infester le sorgho pluvial (Figure II-2) comme tendent à le prouver les observations de Djimadoumngar (2001) au Tchad. La 1^{ère} génération issue de ces pontes se développerait complètement entre mai et juillet. Les adultes de cette 1^{ère} génération vont pondre sur sorgho pluvial, en début de culture. A l'issue de son développement, la 2^{ème} génération effectue ses pontes sur la même plante, à son stade reproductif.

L'importance des dégâts des foreurs est fonction des conditions climatiques, de la biologie de l'espèce, de la disponibilité en plantes hôtes cultivées et sauvages, des ennemis naturels et des pratiques culturales (Dakouo et Ratnadass, 1998). Une bonne connaissance des facteurs impliqués et de leur interaction est indispensable pour orienter les stratégies de lutte vers des méthodes de protection intégrée. Des travaux complémentaires sont en cours (projet ESA/IRAD) pour préciser ces premières références sur la dynamique des populations de *Sesamia* et pour identifier les éventuelles plantes hôtes sauvages et les auxiliaires. Notre dispositif de suivi de parcelles en milieu paysan a déjà permis une première évaluation de l'impact des infestations sur sorgho repiqué dont les résultats sont exposés dans le chapitre 4.

3.1.4.3. Autres insectes nuisibles

L'inventaire non exhaustif d'autres insectes nuisibles présents dans les cultures de sorgho repiqué, est issu de nos observations confirmées parfois par des travaux antérieurs où ils ont déjà été signalés. Ces insectes apparaissent secondaires du point de vue de l'impact sur la production de grains et de fourrage, même s'ils peuvent occasionner des dégâts importants de façon localisée.

Au niveau des pépinières, des dégâts de *Poophilus sp.* ont été observés. Ratnadass (2003) signale également des larves d'*Atherigona sp.*, mais les dégâts restent négligeables. Les termites (*Microtermes sp.*) peuvent entraîner des problèmes au moment de l'installation des pépinières en consommant les graines ce qui limite le taux de germination. Les traitements de semences, de plus en plus utilisés, permettent de limiter ces attaques lors des semis, comme celles des oiseaux ou des rongeurs.

Après repiquage, on observe parfois des chenilles défoliatrices qui rongent les feuilles et s'installent dans le cornet. Des prélèvements ont permis d'identifier *Acantholeucania lorey⁶* (syn. *Mythimna lorey*), une noctuelle dont les attaques ont déjà été signalées au Cameroun (Ratnadass, 2002).

Lors de la phase végétative et de la floraison, des pucerons (*Aphis sp.*) peuvent faire leur apparition de façon localisée sur la face inférieure des feuilles. Outre les dégâts directs des insectes, le miellat qu'ils secrètent s'écoule sur les feuilles et perturbe la photosynthèse. Ce miellat était autrefois prélevé et consommé comme du sucre par les populations locales.

Les termites sont également responsables de pertes de production non négligeables à la récolte⁷ (Raimond, 1999 ; Ratnadass et Djimadomngar, 2002). Les attaques touchent les plants versés, les pieds couchés au sol et les panicules mises en tas en attendant le battage. Certains agriculteurs saupoudrent l'aire de battage avec un produit de traitement de semences pour limiter les dégâts. Cela pose des questions de résidus toxiques dans les récoltes car des petites quantités de poudre peuvent être en contact avec les grains au cours du battage.

3.1.4.4. Les oiseaux granivores

Avec les foreurs des tiges, les oiseaux représentent les ravageurs les plus importants du sorgho repiqué dans l'Extrême-Nord Cameroun. Comme cela a déjà été évoqué, la prévention contre les attaques aviaires amène les agriculteurs à éliminer des terres cultivées tous les grands arbres pouvant servir de perchoir. Les attaques débutent dès le début des stades grains laiteux-pâteux et se poursuivent jusqu'à la maturité. Les infestations sont très variables selon la région et les conditions climatiques de l'année. Dans la région de L'Extrême-Nord, l'espèce *Quelea quelea* s'avère dominante (Da Camara Smeets, 1976), mais les dégâts semblent moins fréquents et

⁶ Identification par P.Moyal (IRD/CNRS, Gif-sur-Yvette)

⁷ Raimond (1999) estime que les termites sont responsables de 5 à 10% de pertes.

moins importants qu'au Tchad (Raimond, 1999). Au nord et à l'est de Maroua, les risques d'invasions augmentent lors de saisons des pluies déficitaires. Dans la région du grand *yaayre* et du parc de Waza où se concentrent les *Quelea* en saison des pluies, la production de graminées sauvages est sans doute réduite en cas de faible pluviométrie, ce qui pousse les oiseaux à descendre plus au sud pour s'alimenter au cours de la saison sèche. Dans ce cas, les vols sont composés de plusieurs dizaines à plusieurs centaines d'individus. Les *Quelea* s'abattent sur les champs de *muskuwaari* le matin et en fin d'après-midi, et se regroupent autour de points d'eau ou dans des zones de brousse pendant les heures chaudes de la journée et la nuit. D'après Da Camara Smeets (1976), ces infestations engendrent des dégâts représentant 20 à 25 % de la production, particulièrement au nord de Maroua, dans les régions de Petté et Waza. La protection directe des champs par effarouchement constitue le principal moyen de lutte anti-aviaire. Le gardiennage est confié aux enfants, et concerne toute la famille en cas de fortes attaques. Les parcelles sont parfois protégées en tendant des bandes magnétiques de récupération qui sifflent sous l'effet du vent et en emmaillant chaque panicule dans les feuilles terminales des plants de sorgho. Ce dernier procédé est pratiqué pour les parcelles les plus exposées, à côté de zones de brousse. En effet, si les zones à *muskuwaari* au sud de Maroua sont rarement le fait d'attaques massives par *Quelea*, des groupes d'oiseaux isolés avec sans doute diverses espèces de granivores (*Quelea quelea*, *Lamprotornis chalibaeus*, *Ploceus cucullatus*...), engendrent des dégâts plus localisés en particulier dans les parcelles proches de formations arborées (brousse, parc agroforestier avec *Faidherbia albida* sur les terres de saison des pluies,...). Mis à part quelques panicules attaquées, il n'y a pas eu de dégâts significatifs d'oiseaux granivores dans les parcelles expérimentales au cours des deux campagnes de suivi.

3.1.4.5. Les maladies

Le climat sec de saison sèche limite les maladies sur le *muskuwaari*. Mis à part certaines maladies foliaires sans doute présentes mais difficiles à déterminer et ayant peu d'impact, les principaux pathogènes affectant les panicules appartiennent au groupe des charbons, qui se présentent sous diverses formes (Chantereau et Nicou, 1991) :

- le charbon couvert (*Sphacelotheca sorgh*) ; les symptômes se caractérisent par l'apparition de sores de charbon ovoïdes ou coniques à la place des graines sur une portion, parfois l'ensemble de la panicule (cf. planche photo n° 3) ;
- le charbon de la panicule (*Sphacelotheca reiliana*), qui condamne l'ensemble de l'inflorescence ;
- le charbon allongé (*Tolyposporium ehrenbergii*) ; les sores en forme de manchons allongés, ne touche qu'une faible proportion de fleurs ;
- le charbon nu (*Sphacelotheca cruenta*) qui affecte toute la panicule.

Les traitements de semences distribués par la SODECOTON permettent une bonne maîtrise de l'incidence de ces charbons⁸. A la récolte, les agriculteurs ont l'habitude de mettre à part et de battre séparément les panicules touchées.

3.2. Influence du climat sur la réussite du sorgho repiqué

Le total pluviométrique annuel et la répartition des pluies constituent des caractéristiques climatiques essentielles pour la réussite de la culture puisqu'elles déterminent les conditions de recharge de la réserve en eau des sols. Dans une moindre mesure, la température et les vents au cours de la saison sèche vont jouer sur la demande

⁸ Le Thioral (matière active : thirame et thiabendazole) est le principal produit utilisé. La SODECOTON commercialise également l'Apronstar (m.a : thiamethoxam, difenoconazole, metalaxyl-m) dont le coût est plus élevé, mais qui a une action à la fois fongicide et insecticide.

atmosphérique en eau au cours du cycle cultural. Le scénario pluviométrique de fin de saison des pluies influence également les conditions d'implantation de la culture en déterminant les décisions des agriculteurs pour l'organisation des opérations culturales.

3.2.1. *Caractéristiques générales du climat*

La région d'étude, comprise entre les isoyètes 700 et 1000 mm, appartient à une zone de savane soudano-sahélienne avec deux saisons bien marquées. La saison sèche s'étale approximativement sur 6 mois de novembre à avril, dont 4 mois avec une pluviométrie nulle et une hygrométrie très faible. Pendant cette période, de décembre à avril, l'humidité relative de l'air s'abaisse à moins de 30 % et les températures moyennes dépassent souvent 30°C. La saison des pluies s'étend entre mai et octobre, avec une pluviométrie variable en fonction de la latitude et de la proximité des Monts Mandara. Ce massif montagneux influence sensiblement les conditions climatiques en provoquant une augmentation de la pluviosité et une légère baisse des températures au fur et à mesure que l'on se rapproche du relief. En moyenne, les pluies augmentent également du nord vers le sud. Ces tendances sont souvent masquées par de fortes irrégularités pluviométriques interannuelles, saisonnières et spatiales. Il existe d'importantes variations d'une année sur l'autre, surtout concernant le début de la saison pluvieuse, et environ 60 % des pluies sont concentrées en juillet-août (Raimond, 1999). La comparaison de séries de données pluviométriques anciennes (1950-1969) à des séries plus récentes (1970-1990), met en évidence une baisse des totaux pluviométriques, mais la durée de la saison des pluies reste inchangée (M'biandoun, 1990 ; Raimond, 1999). A partir de l'analyse du nombre de jours de pluies des stations de N'djamena et Bongor, Raimond (1999) a également montré que les précipitations sont concentrées dans un nombre de journées plus restreint. Elle signale une proportion plus élevée de moyennes pluies que de faibles pluies dans la série récente. Cette évolution de la répartition des pluies peut avoir des conséquences sur la dynamique de remplissage en eau des vertisols. Des pluies trop fortes au début de la saison des pluies peuvent entraîner un glaçage superficiel du sol qui ferme les fentes de retrait et limite la pénétration de l'eau.

Au cours de la saison sèche, les variations de l'ETP vont également influencer le déroulement des phases du cycle cultural. Les agriculteurs estiment que la baisse des températures ayant lieu normalement à partir du mois de décembre, est une condition de la réussite du *muskuwaari*. La floraison se déroulant en majorité au cours de la deuxième quinzaine de décembre, constitue en effet une phase critique puisqu'une sécheresse trop forte, liée en particulier au maintien de températures élevées, peut entraîner des problèmes lors de la floraison et de la fécondation, notamment de pollinisation et d'avortement de graines pendant leur phase de division cellulaire (Chantereau et Nicou, 1991). Des températures excessives vont également perturber le remplissage des graines (échaudage) et donc limiter leur taille et leur poids.

3.2.2. Rôle du scénario pluviométrique sur la recharge en eau des sols

Face à l'irrégularité saisonnière de la pluviométrie, la production de *muskuwaari* présente l'avantage d'être peu sensible aux sécheresses intercalaires de début de saison des pluies (Raimond, 1999). A partir de données pluviométriques SODECOTON de 1980 à 2002 (antenne de Maroua), nous avons dégagé différents profils de saison des pluies plus ou moins favorables pour la culture du sorgho repiqué selon le total des précipitations et l'importance des dernières pluies en septembre-octobre (Tableau II-1, page suivante).

Les types de scénario P1 et P2 semblent *a priori* limitants pour la production du *muskuwaari*. Une faible pluviométrie particulièrement en fin de saison des pluies a des conséquences à la fois sur les superficies repiquées et sur l'élaboration de la production. Le remplissage insuffisant de la réserve en eau du sol empêche la mise en culture de certaines parcelles à cause du dessèchement précoce, en particulier des terrains les moins argileux en haut de topographie. De plus, une faible pluviométrie en septembre avec des périodes de sécheresse peut limiter la production des plants en pépinières. Ainsi, au cours de l'année 2000 encore dans les mémoires, la pluviométrie a été moyenne (683 mm), mais avec seulement 70 mm en septembre et un arrêt des pluies dès le 2 octobre (station de Maroua), les superficies cultivées ont été fortement réduites comme dans l'ensemble de l'Extrême-Nord (Figure I-3, chapitre 1).

Même avec un total pluviométrique moyen, quelques dernières pluies importantes et tardives en septembre-octobre peuvent permettre de repiquer la majorité des surfaces disponibles et de garantir une bonne production. Les pluies intervenant après le repiquage peuvent entraîner l'asphyxie des plants, mais un sur-repiquage est possible à condition d'avoir encore des plants disponibles en pépinière. Ce type de scénario intermédiaire (P3) va avoir une influence variable sur la recharge en eau des sols selon la nature de ce dernier. Comme on le verra pour la campagne 2002/2003, malgré des dernières pluies significatives, le total pluviométrique moyen ne garantit pas l'humectation suffisante de certains vertisols modaux, alors que les sols plus filtrants (vertisols intermédiaires) valorisent mieux les pluies tardives.

Les meilleures années pour le sorgho repiqué correspondent à des précipitations élevées et régulières, avec une saison des pluies qui se prolonge tardivement (P4). Compte tenu des importantes réserves hydriques accumulées, tous les vertisols sont sollicités, les agriculteurs allant jusqu'à cultiver un sorgho pluvial suivi du *muskuwaari* dans certains sols intermédiaires. Les superficies en *muskuwaari* sont alors maximales comme en 1999 (Figure I-3, chapitre 1) avec, pour l'exemple de Maroua, une pluviométrie totale de 1010 mm, dont 204 mm en septembre-octobre (dernière pluie le 27/10). C'est aussi avec ce type de scénario pluviométrique que la pression des adventices vivaces est la plus élevée compte tenu de l'importante humidité du sol liée à l'étendue des terres inondées ou fortement engorgées pendant la saison des pluies.

3.2.3. Déroulement de la fin de saison des pluies et déclenchement des semis et du repiquage

Les dernières pluies en septembre-octobre ont non seulement un rôle important pour la recharge en eau des sols, mais apparaissent également déterminantes pour les choix des agriculteurs concernant le déclenchement et l'enchaînement des opérations culturales. Les agriculteurs se trouvent dans une grande incertitude concernant la décision de déclenchement des semis, puisqu'ils ne connaissent pas, *a priori*, le moment où ils pourront engager les travaux de préparation et de repiquage de leurs parcelles. Certains ont adopté une date constante de premier semis déterminée sans doute à partir d'une analyse fréquentielle du climat faite de façon empirique. Dans certaines régions, ils s'appuient même sur un calendrier agricole local⁹ probablement issu de ces connaissances empiriques.

⁹ Ce calendrier utilisé dans les villages peuls, divise l'année de 365 jours en 28 mois ou "étoiles", de 13 ou 14 jours (Annexe 2)

Tableau II-1 : Types de scénarios pluviométriques annuels à Maroua de 1980 à 2002

Type de scénario pluviométrique	Description	Années concernées	Fréquence entre 1980 et 2002
P1	Pluviométrie déficitaire sur l'ensemble de la saison – Pluies totales <= 650 mm – Pluie sept-oct <135 mm	1983, 1984, 1987, 1990	17 %
P2	Pluviométrie moyenne – 650 mm < Pluies totales < 800 mm – Pluie sept-oct <135 mm	1981, 1985, 1986, 1989, 1992, 1997, 1998, 2000	35 %
P3	Pluviométrie moyenne avec dernières pluies importantes – 650 mm < Pluies totales < 800 mm – 140 mm < Psept-oct <260 mm	1982, 1993, 1996, 2002	17 %
P4	Bonne pluviométrie, saison des pluies longue – Pluies totales >= 800 mm – Pluie sept-oct >160 mm (sauf 1991)	1980, 1988, 1991, 1994, 1995, 1999, 2001	31 %

Tableau II-2 : Analyse fréquentielle de la période de pluie théorique au delà de laquelle l'implantation peut être déclenchée.

	Maroua (1980-2002)		Balaza (1992-2002)		Mowo (1992-2002)	
	Nb. années	Fréquence	Nb. années	Fréquence	Nb. années	Fréquence
Avant le 1 ^{er} septembre	3	13%	1	9%	3	25%
Du 1 ^{er} au 10 septembre	5	22%	2	18%	2	17%
Du 11 au 20 septembre	13	57%	6	55%	7	58%
Du 21 au 30 septembre	2	9%	2	18%		0%

Tableau II-3 : Correspondance entre date de semis, date de repiquage et fréquence de la pluie théorique permettant le déclenchement de l'implantation

Dates de semis	Dates de repiquage possible	Fréquence moyenne de la pluie théorique déclenchant l'implantation
5 août	5 septembre	20 % entre le 1/09 et le 10/09
15 août	15 septembre	56 % entre le 11/09 et le 20/09
25 août	25 septembre	9 % entre le 1/09 et le 10/09

Cette décision du premier semis peut être éclairée et jugée par des éléments de connaissance du climat basés sur notre analyse fréquentielle de la pluviométrie. Cette analyse pour l'antenne de Maroua (1980-2002), met en évidence une grande variabilité de la date de la dernière pluie. Elle a lieu au plus tôt le 30 septembre 2 années sur 10, et au plus tôt le 30 octobre 8 années sur 10, soit un intervalle de 1 mois. Cette grande irrégularité de la fin de la saison des pluies rend difficile l'anticipation de la période d'implantation par les agriculteurs et justifie la pratique généralisée de l'échelonnement des semis qui s'explique aussi par la diversité des régimes hydriques des types de sols repiqués (Bousquet et Legros, 2002).

Cependant, le début de l'implantation n'est pas déterminé par la fin effective des pluies, mais plutôt par la dernière forte pluie après laquelle les agriculteurs pourront engager les travaux de préparation (fauchage essentiellement) et de repiquage. Pour repiquer dans des conditions optimales du point de vue de l'état du sol, ils doivent déclencher ces travaux avant la dernière pluie, en limitant toutefois les risques de dispersion des herbes fauchées et destinées au brûlage à cause d'une pluie, ou de pourrissement des plants repiqués lié à des précipitations importantes juste après le repiquage. Après discussion avec les agriculteurs, on considère que le démarrage de l'implantation est possible à partir de début septembre (mois de *liwa* dans le calendrier local à Balaza), lorsqu'il y a absence de pluies supérieures à 20mm pendant au moins 5 jours. Les 5 jours "sans pluies" peuvent toutefois inclure des petites pluies journalières inférieures à 10 mm. Cette pluie au delà de laquelle l'implantation peut être déclenchée, constitue un indicateur moyen qui ne tient pas compte de la diversité des sols. Il ne peut pas être considéré comme une règle de décision des agriculteurs. A partir de l'analyse fréquentielle des séries pluviométriques de Maroua et des deux terroirs de références (séries de 1992 à 2002 pour Balaza et Mowo), on peut déterminer la probabilité de cet événement pour chaque décade du mois de septembre (Tableau II-2).

Les résultats montrent la variabilité inter-annuelle de cette période théorique de déclenchement de l'implantation. Quel que soit le site considéré, cette période se situe environ 5 années sur 10 pendant la deuxième décade du mois de septembre, et 2 années sur 10 au cours de la première décade. Ces résultats s'accordent avec ceux mis en évidence par Bousquet et Legros (2002), dans les villages de Diguir et Douvanger, respectivement au nord-est et au sud-ouest de Maroua.

A Mowo, la probabilité que la pluie théorique autorisant le déclenchement de l'implantation intervienne avant le 1^{er} septembre est de 0,25, alors que cela correspond seulement à 1 année sur 10 à Maroua et Balaza. Pour ces années exceptionnelles, si l'on tient compte d'un temps de croissance des plants en pépinière d'au moins 30 jours, les agriculteurs devraient prévoir un premier semis avant le 5 août (Tableau II-3).

Beaucoup d'agriculteurs signalent le 15 août comme date fixe de déclenchement du premier semis. Sachant que des plants convenables pour le repiquage peuvent, dans certaines conditions, être obtenus en moins de 20 jours, notamment sur les emplacements d'anciennes termièrres (Duboisset, 2003), cette date s'avère un compromis permettant de disposer de plants à temps même en cas d'interruption précoce des pluies, en évitant de réaliser des semis trop précoces qui consomment beaucoup de semences avec une forte probabilité de laisser "passer" la pépinière sans utiliser les plants. On verra par la suite comment les agriculteurs ajustent cette date de 1^{er} semis en fonction de la pluviométrie pendant le mois d'août, des types de sols dont ils disposent.

Figure II-3 : Pluviométrie décadaire pour les années 2001 et 2002 dans les deux terroirs de référence

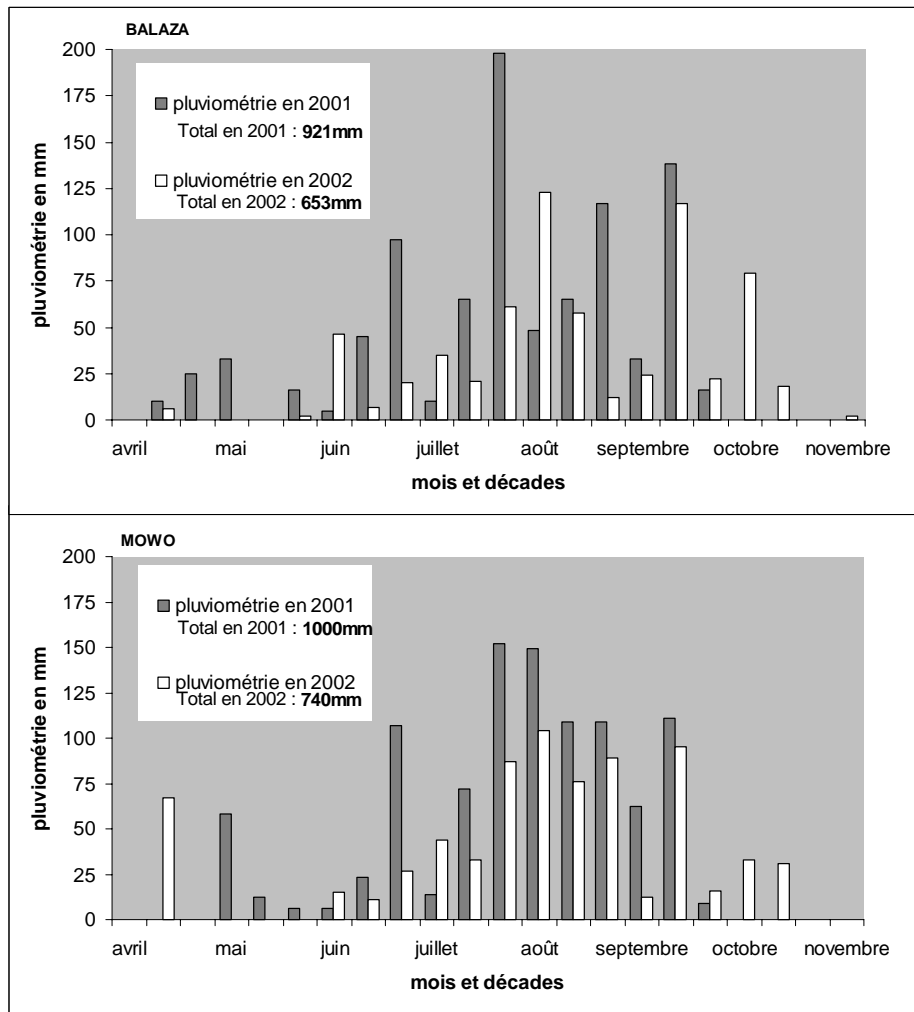
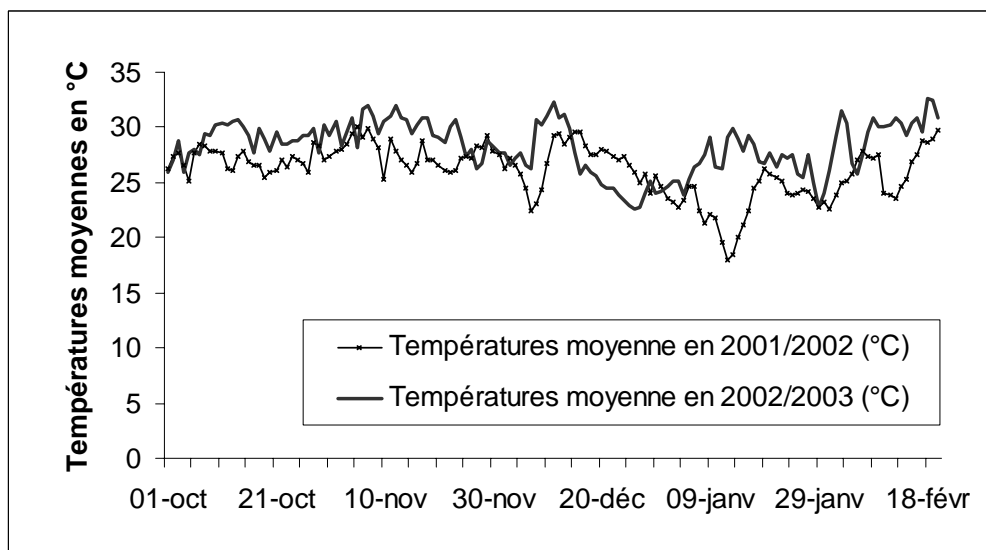


Figure II-4 : Températures moyennes journalières du 1^{er} octobre au 20 février lors des deux campagnes de suivi (station IRAD Maroua)



3.2.4. Caractéristiques climatiques au cours des deux années de suivi

Les données climatiques recueillies concernent tout d'abord la pluviométrie journalière au cours de la saison des pluies. En 2001/2002, la pluviométrie est issue des relevés de la SODECOTON des stations de Balaza et Mokong (5 km à l'ouest de Mowo), les plus proches des sites expérimentaux. En 2002/2003, des pluviomètres ont été installés dans chacun des villages où les expérimentations ont été mises en place.

Dans les deux sites, la première année correspond à un scénario climatique de type P4 (cf. § 3.2.2), avec un total pluviométrique élevé et notamment des pluies importantes en août et septembre (Figure II-3). En 2002, à Balaza comme à Mowo, la pluviométrie apparaît moyenne (entre 650 et 800mm) avec cependant d'importantes pluies tardives intéressantes pour le sorgho repiqué (type P3).

Ne disposant pas des données climatiques permettant de déterminer l'ETP, les températures moyennes journalières au cours du cycle cultural (entre le 1^{er} octobre et le 20 février) servent d'indicateur pour juger du déroulement de la phase reproductive dans nos parcelles expérimentales. Elles proviennent d'une station météo de l'IRAD proche de Maroua (Guring), à seulement 20 km de Balaza-Domayo (Figure II-4). La variabilité spatiale des températures étant moindre que celle de la pluviométrie, ce poste donne également une indication concernant les températures journalières à Mowo. On constate une diminution sensible de la température moyenne entre décembre et janvier en 2001/2002, alors qu'elle s'est maintenue presque tout le temps au dessus de 25°C en 2002/2003. On verra au cours du chapitre 4 si les températures plus élevées en deuxième année ont eu une incidence sur le déroulement de la floraison.

4. HETEROGENEITE DES MILIEUX ET DIVERSITE DES PRATIQUES

On a vu la distinction de différentes zones à *muskuwaari* selon les grands types de vertisols et l'extension progressive du *muskuwaari* à l'échelle régionale. L'hétérogénéité des milieux cultivés est sans doute encore plus marquée au sein des territoires villageois. La mise en valeur des terres à *muskuwaari* suppose d'abord une organisation collective à l'échelle d'une ou plusieurs communautés villageoises. L'analyse de la diversité des pratiques vise à mettre en évidence la manière dont les agriculteurs, dans le cadre de ces règles collectives, s'adaptent à l'hétérogénéité des milieux et la valorisent pour répondre à la problématique générale de l'implantation et tirer parti le mieux possible de leurs parcelles.

4.1. Dimension collective et organisation spatiale du système de culture à l'échelle territoriale

On entend par territoire un produit social, caractérisé par "(i) un espace borné, aux limites plus ou moins bien définies, et approprié ; (ii) un sentiment ou une conscience d'appartenance de la part de ses habitants ; (iii) l'existence d'une forme d'autorité sociale, politique ou administrative et de règles d'organisation et de fonctionnement" (Brunet *et al.*, 1992).

Le *kara* constitue une sole collective correspondant à une unité paysagère bien délimitée dans le territoire. Lors du défrichage d'un nouveau *kara*, un consensus doit se faire au niveau d'un village voire de plusieurs villages (Seignobos, 2000). La mise en valeur au cours de l'année est soumise à certaines règles collectives, notamment pour se prémunir des dégâts des oiseaux granivores et pour réguler l'accès de cet espace au troupeau en dehors de la période de culture.

4.1.1. Dimensions collectives du système de culture

Une étude sur la part des facteurs socio-culturels et agronomiques sur les choix techniques des agriculteurs a permis une première approche de la gestion collective du système de culture à *muskuwaari* (Bousquet et Legros, 2002), notamment pour s'adapter à des contraintes du milieu. Il existe également des normes, c'est-à-dire un système de règles collectives produit par une communauté à partir de son histoire, de l'histoire de ses membres et des relations entre les individus (Darré, 1996).

- L'accès au troupeau dans le *karal* est régulé au cours de la saison des pluies. Après le pâturage des premières repousses herbeuses, les terres à *muskuwaari* sont interdites aux troupeaux dès la fin du mois de juillet afin d'éviter le tassement qui limiterait la recharge en eau du sol. Cette règle d'usage collective, dont le chef du village est le garant, est assez bien respectée. Cependant, ce pâturage se prolonge souvent jusqu'au milieu de la saison des pluies dans les vertisols intermédiaires et les hardés qui demeurent portants même après de fortes pluies. Ainsi, les agriculteurs de Mowo préfèrent engager assez tardivement la construction de diguettes, parfois même ils y renoncent sachant qu'elles seraient trop rapidement détériorées par le passage des animaux.
- L'aménagement et la réfection de diguettes est fonction des pratiques des agriculteurs des parcelles en amont : un producteur qui constate l'absence d'aménagement en amont, peut renoncer à en construire ou refaire car l'importance du ruissellement pourrait détruire ses diguettes. Dans ces terrains aménagés, lorsque le producteur estime que son *karal* a suffisamment "bu", il peut réduire la durée d'inondation en évacuant les eaux par ouverture des diguettes ce qui entraîne une augmentation de la quantité d'eau en aval. Pour l'implantation, les agriculteurs dépendent alors du déclenchement des travaux dans les parcelles en amont.
- La date du premier semis en pépinière est souvent guidée par une référence locale à un calendrier agricole (Annexe 2). Cette norme est très répandue à Balaza et plus généralement dans les villages à dominante Fulbe de la plaine du Diamaré. Seuls quelques agriculteurs, en particulier les anciens et les notables religieux (imam, modibo), détiennent une connaissance précise de ce calendrier de référence. Ils sont ainsi en mesure d'indiquer aux autres agriculteurs, la période opportune pour le démarrage des pépinières. A Mowo et dans le reste de la zone des piémonts, la référence calendaire est moins précise et peu utilisée. Comme on le verra par la suite, d'autres éléments de décision viennent se combiner à cette norme pour constituer le contenu de la règle de déclenchement du semis
- Le choix des variétés s'opère parfois en fonction de la position de la parcelle dans la sole collective : les variétés jugées plus résistantes aux attaques aviaires comme *burguuri* sont privilégiées sur les pourtours de la sole collective, à proximité des espaces boisés.
- A la maturité, pour éviter qu'une parcelle isolée soit la cible privilégiée des oiseaux granivores, les récoltes ont lieu pratiquement en même temps. Les agriculteurs s'entendent donc collectivement avec leurs voisins de champs, pour ne pas risquer d'exposer leur sorgho aux attaques aviaires. En zone de piémont l'entente entre agriculteurs sur la période de récolte est aussi destinée à se prémunir des dégâts des troupeaux. Au moment des récoltes, les bergers conduisent les troupeaux dans les *kare* pour pâturer les résidus de culture

(feuilles et tiges) encore peu prélevés par les agriculteurs contrairement aux agro-éleveurs de Balaza¹⁰. Un exploitant qui intervient trop tard sans s'aviser de la date des récoltes de ses voisins de champs risque d'importants dégâts par les animaux.

Un village peut présenter différents *kare* chacun caractérisé par une importante hétérogénéité même si on peut souvent identifier un ou deux types de vertisol dominant. A l'intérieur de la sole collective, un agriculteur parle également de son *kara* pour désigner une surface d'un seul tenant qu'il possède pour cultiver le *muskuwaari*. Les règles ou normes collectives étant données, chaque agriculteur effectue ses choix individuellement concernant les modalités et l'enchaînement des opérations culturales en tenant compte de l'hétérogénéité à l'intérieur de son *kara*. L'analyse des pratiques et du système de culture passe par la caractérisation de ces différents niveaux d'hétérogénéité.

4.1.2. *Distribution des terres à muskuwaari à l'échelle du territoire*

La localisation de la culture au sein d'un territoire est avant tout liée à celle des vertisols difficilement cultivables en saison des pluies. De manière secondaire, d'autres raisons peuvent amener les agriculteurs à cultiver le *muskuwaari*:

- la possibilité de réhabiliter certains vertisols dégradés à travers un système de diguettes bien adapté à la production du sorgho de contre-saison
- la possibilité de faire une culture de rattrapage, voire une double culture sur certains vertisols intermédiaires, en fonction du scénario climatique de l'année

Ces deux dernières situations concernent des superficies réduites, souvent en bordure de la zone de *kara*. Les agriculteurs ont développé une connaissance des différents types de sols et de leur distribution dans l'espace qui est exposée à partir des travaux de Seignobos (1993) et des exemples de Balaza et Mowo. En confrontant ces perceptions paysannes aux caractéristiques pédologiques des principaux types de vertisols, on cherche à préciser les qualités de ces sols pour la culture du sorgho repiqué, en particulier du point de vue de leur régime hydrique.

¹⁰ Compte tenu de l'importance de disposer de ressources fourragères en saison sèche même pour le petit élevage (petits ruminants, bœufs de traits) de plus en plus d'agriculteurs à Mowo prélèvent et amènent directement une partie des résidus de récolte dans leurs exploitations (pas de stockage au champ)

Figure II-5 : Teneur en argile des différents types de sols à *muskuwaari* selon les dénominations locales des agriculteurs à Balaza (graphique de gauche) et à Mowo (graphique de droite)

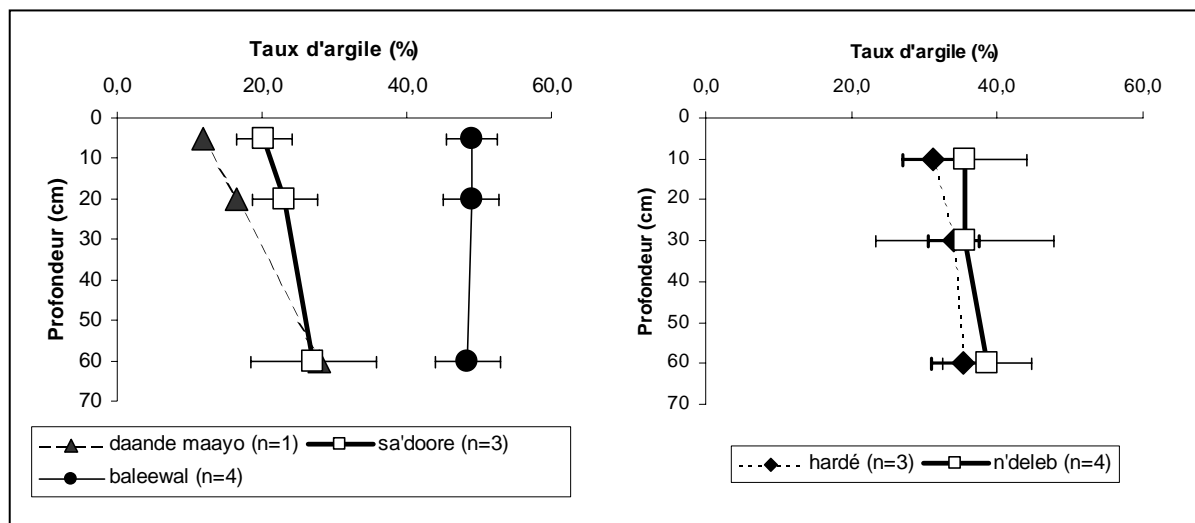


Tableau II-4 : Texture moyenne et caractéristiques chimiques des vertisols échantillonnés à Balaza et Mowo

Terroir		Balaza			Mowo	
Type de vertisol		<i>baleewal</i> (n=4)	<i>sa'doore</i> (n=3)	<i>daande maayo</i> (n=1)	<i>hardé</i> (n=3)	<i>n'deleb</i> (n=4)
Texture moyenne dans les horizons du sol 0-40 et 40-80 (CV en %)						
Argiles (%)	0-40 cm	49 (8%)	23 (20%)	13	34 (10%)	35 (35%)
	40-80 cm	48 (9%)	27 (32%)	28	35 (12%)	38 (16%)
Limons (%)	0-40 cm	33 (6%)	29 (52%)	45	38 (12%)	36 (13%)
	40-80 cm	35 (11%)	28 (47%)	54	37 (4%)	33 (9%)
Sables (%)	0-40 cm	18 (23%)	47 (32%)	40	28 (20%)	30 (54%)
	40-80 cm	17 (24%)	45 (33%)	18	27 (13%)	33 (45%)
Matière organique		0,6-0,8 %	0,4-1 %	0,6 %	0,5-0,9%	0,5-1,3 %
rapport C/N (0-80 cm)		10-13	9-13	11	13-17	11-17
CEC		30-32	5,4-20	9,5-19	20-30	10-30
pH		6,4-7	4,2-6	5,8	5,9-7,5	5,8-7,3

n = nombre de parcelles échantillonnées dans chaque type de sol

CV : Coefficient de Variation

CEC : Capacité d'Echange Cationique

Tableau II-5 : Quelques caractéristiques pédologiques de vertisols à partir d'autres sites d'étude

Source	(Boutrais, 1984)			(Seiny Boukar, 1990)	
	Kolofata	Maroua	Kaélé	Mouda	Mouda
Sites	vertisol modal	vertisol modal	vertisol modal	vertisol modal	hardé
Type de vertisol	vertisol modal	vertisol modal	vertisol modal	vertisol modal	hardé
Teneur en argile	40 %	40 %	20-30 %	40-45 %	12%(H.supérieur)
Matière organique	0,9-1,4 %	0-8 %	1,3-1,7 %	0,75-0,85 %	
rapport C/N	12	16	11-14	-	-
CEC	20-30 meq	25 meq	12-22 meq	35 meq	20-25 meq
pH	7,5-9	7,8-8	variable	7-7,5	5,5

4.1.2.1. Classifications locales et caractéristiques pédologiques

Les connaissances paysannes, structurées en fonction de l'usage et du mode de gestion des différents sols (Seignobos, 1993), accordent une attention particulière à la diversité des types de sols d'un *kara* à l'autre, et à l'hétérogénéité à l'intérieur du *kara* d'un agriculteur, dont on verra le rôle essentiel pour l'enchaînement des travaux d'implantation du sorgho repiqué. Afin d'objectiver ces classifications locales, des échantillons composites de sol ont été prélevés dans nos parcelles expérimentales échantillonnées dans la gamme des terrains identifiés par les agriculteurs dans les deux terroirs de référence.

Comme dans l'ensemble des villages Peuls du Diamaré, les agriculteurs de Balaza utilisent plus d'une douzaine de termes pour désigner les différents types de sols. Leur caractérisation est basée sur les aspects de surface (fentes, couleur, type de couvert herbacé...), la position topographique et le comportement hydrique. Les trois principaux types de terrains recevant la majorité des surfaces en *muskuwaari*, se différencient assez nettement par leur texture et leurs caractéristiques physico-chimiques. (Figure II-5 et Tableau II-4) :

- Les sols de type *baleewal* peuvent être inclus dans le terme plus générique de *mbuluuwo* également utilisé par les Fulbe. Le *baleewal*, c'est-à-dire un sol noir, est caractérisé par de profondes fentes de retrait en saison sèche et devient très lourd et boueux en saison des pluies, une fois gonflé d'eau. La texture apparaît homogène dans l'ensemble du profil. Les coefficients de variation des teneurs en argiles, sables et limons sont assez réduits ce qui témoigne d'une certaine homogénéité de ce sol dans notre échantillon de parcelles à Balaza. Ce type de sol correspond clairement à un vertisol modal (cf. chapitre 1 § 1.3.1), disposant d'une très bonne fertilité chimique (CEC élevée) et d'un pH proche de la neutralité, comme dans les analyses pédologiques de travaux antérieurs (Tableau II-4 et Tableau II-5). Les importantes réserves minérales de ces sols expliquent les résultats peu probants des essais de fumure minérale de la culture du *muskuwaari* menés dans des vertisols modaux (Barrault *et al.*, 1972 ; Carsky *et al.*, 1995).
- Les *sa'doore*, de couleur plus claire, présentent peu ou pas de fentes de retrait en saison sèche. Situés parfois en limite de sols *baleewal*, ils s'apparentent à des vertisols intermédiaires, avec une proportion de sables plus élevée dans l'ensemble du profil (Tableau II-4). Compte tenu de l'existence de faciès intermédiaires avec les *baleewal* (parfois appelés *sadobale*) et de formes en voie de dégradation avec un taux d'argile plus faible en surface, la texture et les caractéristiques chimiques des *sa'doore* apparaissent plus variables. La CEC et le pH sont globalement plus faibles que pour les *baleewal*. Depuis les années 80, le défrichage des terres à Balaza s'est fait essentiellement sur ce type de sol, la plupart des vertisols modaux étant déjà exploités (Seignobos *et al.*, 1995).
- Les hardé, présents à Balaza, n'ont pas été échantillonnés mais leur faciès est similaire à ceux observés à Mowo.

A ces grands types de sols viennent s'ajouter des dénominations liées à des différences de position topographique dans le territoire mais aussi à l'intérieur du *kara* de l'agriculteur :

- *daande maayo*, ("cou de la rivière" en fouldé), correspond à des sols situés sur les bourrelets de berge des rivières, comprenant des dépôts argileux en profondeur. Ils sont similaires aux *sa'doore*, notamment du point de vue du couvert herbacé en saison des pluies, mais la proportion sables/argiles apparaît bien différenciée entre les horizons supérieurs (0-40 cm) et la couche de sol 40-80 cm (Tableau II-4). Cette texture particulière en fait des sols très productifs pouvant recevoir une double culture sorgho pluvial-*muskuwaari* si la pluviométrie a été bonne.

- *yaayre* fait référence à des plaines d'épandage des eaux des rivières pendant la saison des pluies. Ces espaces présentent plutôt des sols de type *baleewal* (ou *mbuluuwo*), même si on peut aussi parfois parler de zones de *yaayre sa'doore*.
- *toonde* désigne une portion de quelques dizaines de mètre de rayon dans le *kara* d'un agriculteur, légèrement surélevée et compacte qui a tendance à s'assécher rapidement après les dernières pluies. Les *toonde* peuvent apparaître aussi bien dans un terrain de type *baleewal* que *sa'doore*. L'extension de ces petites surfaces dégradées aboutit sans doute à la formation de terres hardé.
- *luggere* (ou *weendu*) correspond à une zone dépressionnaire formant une cuvette ou une petite mare dans laquelle l'inondation peut se prolonger jusqu'en novembre.

A Mowo, comme dans toute la zone des piémonts, les vertisols modaux sont plus rares que dans les plaines. Les agriculteurs valorisent des sols vertiques plus ou moins dégradés :

- Les hardés¹¹, à Mowo comme à Balaza, sont caractérisés par un horizon supérieur très compact limitant l'infiltration de l'eau. Ils sont situés en amont des vertisols modaux ou intermédiaires dans la toposéquence. Ils se distinguent de ceux-ci par la dégradation de l'horizon superficiel sur une profondeur de 10 à 20 cm. Cette dégradation se manifeste par une structure massive et l'absence de pores et d'activité biologique (Seiny Boukar, 1990). Dans cet horizon de surface, les fentes ont disparu et la teneur en argile est faible (Tableau II-5). Cette dernière caractéristique n'apparaît pas dans nos échantillons car les horizons supérieurs 0-10 cm et 10-20 cm n'ont pas été distingués lors des prélèvements de sol. Par contre on constate un taux d'argile assez élevé dans l'horizon inférieur, qui témoigne du caractère de vertisol persistant en profondeur.
- Le terme *n'deleb* concerne la majorité des sols à *muskuwaari* dans le territoire de Mowo. Bousquet et Legros (2002) signalent également ce type de sol ("*n'dilep*") dans le piémont Mofou de la plaine de Douvanger. Ce nom recouvre une gamme assez large de terrains aux caractères vertiques plus ou moins prononcés ce qui explique la forte variation de la teneur en argile des sols échantillonnés (Figure II-5). D'autres termes apparaissent pour décrire l'hétérogénéité à l'intérieur des *kare*, mais ils varient souvent d'un agriculteur à l'autre. Certaines portions appelées *mohorbai*, sableuses en surfaces, correspondent aux *daande maayo* observés dans les terroirs peuls.

Par la suite, on utilisera plutôt la terminologie peule des différents types de vertisols, qui s'avère plus précise et moins variable que les noms utilisés par les Mofou dans les piémonts.

4.1.2.2. Régimes hydriques et aménagements selon le type de vertisol

La quantité d'eau disponible pour la culture est déterminée par la profondeur du sol, la capacité de rétention d'eau des différents horizons et le niveau de remplissage de ces horizons (Barrault *et al.*, 1972). Les caractéristiques pédologiques des différents types de vertisols, leur position topographique et les éventuels aménagements de diguettes pratiqués par les agriculteurs jouent sur le régime hydrique et la dynamique de recharge en eau du sol, en relation avec le scénario pluviométrique.

¹¹ Le mot hardé regroupe des sols variés du point de vue pédologique : sols à alcalis, planosols,... C'est un terme générique qui inclut les sols halomorphes, lessivés, planiques ou hydromorphes (Guis, 1976). Ils ont en communs la compacité et des mauvaises conditions hydriques ce qui explique la végétation arbustive et une faible couverture herbacée.

Planche photo n°1 : Diversité des milieux cultivés



Aménagement d'un réseau serré de diguettes pour la valorisation de sols vertiques en zone de piémonts



Diguettes tracées à la charrue dans un vertisol intermédiaire vers la fin de la saison des pluies (Mowo, septembre 2002)



Réseau lâche de diguettes dans un vertisol modal, lors d'une année particulièrement sèche. Seule la partie basse a été repiquée (Bogo, novembre 2000)



Plants repiqués dans le cours d'une ancienne rivière (photo de gauche) ou en bordure (droite). Les dépôts argileux en profondeur permettent la culture du sorgho repiqué, parfois précédée du sorgho pluvial



Pâturage de saison sèche dans le fond de la cuvette d'un *yaayre* dont les pourtours sont cultivés avec du *muskwaari*



Troupeau d'un éleveur nomade en quête de résidus de récolte dans le terroir de Balaza. La plupart des tiges sont stockées et protégées pour servir de fourrage aux agro-éleveurs du village (mars 2003)

✓ Régime hydrique dans les vertisols modaux

Le régime hydrique des vertisols s'avère difficile à caractériser car la porosité change constamment de dimension compte tenu du processus de gonflement-retrait des argiles (Bouma et Loveday, 1988). Comme cela a été évoqué dans le chapitre 1, au début de la saison des pluies, l'eau d'infiltration est d'abord canalisée dans le réseau de macro-fissures (Seiny Boukar, 1990). L'humectation du profil pédologique commence à la base de ces fentes pour "remonter" ensuite vers la surface ce qui conduit à une distribution irrégulière de l'humectation au début de la saison des pluies. Ce mode d'infiltration aboutit à la constitution de poches d'accumulation d'eau avec le remplissage de la porosité structurale puis matricielle qui provoque le gonflement des unités prismatiques de sol et la fermeture progressive des fentes (Barrault *et al.*, 1972 ; Bouma et Loveday, 1988).

Au cours de la saison des pluies, les deux horizons (0-40 cm et 40-80 cm) des vertisols modaux étudiés par Seiny-Boukar (1990) présentent des comportements bien distincts. Dans l'horizon 40-80 cm, la réserve totale en eau subit très peu de fluctuation durant la saison des pluies, l'eau disponible étant estimée à 80 mm d'eau. La recharge de la réserve en profondeur se fait sans doute au cours des premières fortes pluies à partir du mois de juin, lorsque les fentes ne sont pas encore complètement fermées (coefficient d'infiltration encore élevé). D'où l'importance de pluies suffisamment abondantes pour la recharge complète de ces sols. Elle peut être améliorée par la construction d'un réseau lâche de hautes diguettes, notamment dans les *kare baleewal* légèrement en pente. Ces aménagements, élaborés ou réfectionnés entre juillet et septembre, permettent de retenir les fortes pluies et les eaux des crues de rivières, entraînant souvent l'inondation temporaire d'une partie des parcelles. Il s'agit de longues diguettes construites parfois sur plusieurs centaines de mètres, remontant un peu aux extrémités et hautes de 40 à 50 cm (Seignobos, 1993). Dans les quarante premiers centimètres du sol, l'infiltration reste assez élevée jusqu'à la mi-août ce qui permet la constitution d'une réserve en eau disponible atteignant 60 mm. Cependant, cette réserve fluctue et peut rapidement diminuer en cas d'arrêt prolongé des pluies ou d'interruption précoce en fin de saison. Les diguettes permettent sans doute d'entretenir cette eau disponible en prolongeant l'inondation.

D'après Barrault *et al.* (1972), la quantité d'eau théoriquement disponible à l'évapotranspiration dans un vertisol modal à Salak, est évaluée à 213 mm entre 10 et 120 cm de profondeur. Les auteurs ne considèrent pas les dix premiers centimètres qui se dessèchent trop rapidement pour participer à l'alimentation en eau de la plante. Le dessèchement du sol s'effectue rapidement dans la tranche 0-40 cm où l'eau disponible ne représente plus que 12 mm au 15 novembre et 6 mm en janvier (Seiny Boukar, 1990). Le *muskuwaari* achève donc son cycle cultural sur les réserves en eau situées dans les horizons profonds, puisque jusqu'en novembre, la réserve en eau de la tranche 40-80 cm reste identique en début de saison sèche à la valeur observée en saison des pluies (proche de 80 mm d'eau). Malgré la faible infiltration de l'eau en fin de saison des pluies, il est possible que les aménagements de diguettes permettent une meilleure recharge hydrique des horizons du sol en profondeur, notamment en prolongeant ou en créant l'inondation.

On peut donc s'attendre à une variabilité de la recharge en eau des différents horizons selon le scénario climatique, les états de surface du sol et les aménagements. En effet, la répartition des pluies doit jouer sur le remplissage du profil, notamment des horizons profonds, et la présence de diguettes doit permettre dans certains cas de mieux valoriser les dernières pluies pour la disponibilité en eau de l'horizon supérieur au début de la saison sèche.

Figure II-6 : Toposéquence type d'un *karal*, d'après la classification des terres à *muskuwaari* utilisée par les Fulbe.

Types de sols	<i>harde</i>	<i>sa'doore</i>	<i>mbuluuwol ou baleewal (yaayre, luggere)</i>	<i>daande maayo</i> maayo
Indications pédologiques	Vertisol dégradé	Vertisol intermédiaire (ou intergrade) avec sols ferrugineux ou fersiallitiques	Vertisol modal	recouvrement de matériel alluvial sur un sol à tendance verticale
Aspect	Horizon supérieur compacté	Argilo-sableux, peu ou pas de fentes de retrait	Sol noir, très argileux fentes de retrait en saison sèche	Bord de rivière, horizon supérieur sableux
Régime hydrique		Engorgement temporaire	Inondations 1 à 2 mois	Passage des crues
Aménagement	Réseau serré de diguettes	Pas de diguettes	Réseau lâche de hautes diguettes	Pas de diguettes
Enherbement -graminées annuelles -adventices	<i>Loudetia</i> , <i>Setaria spp.</i>	<i>Setaria spp.</i> <i>Merremia</i> , <i>Ipomeae aquatica</i> , <i>Launaea cornuta</i>	<i>Echinochloa spp.</i> <i>Oryza longistaminata</i> , <i>Cyperus spp.</i> , <i>Launaea cornuta</i>	<i>Setaria spp.</i> <i>Merremia</i> , <i>Ipomeae aquatica</i>
Aperçu techniques culturales	Repiquage tôt, prof. trou varie selon niveau de dégradation	Repiquage avec humidité, trou peu profond (20cm)	Repiquage tardif, "à sec" trou profond (30cm), peu d'eau ajoutée	Repiquage tôt avec humidité trou peu profond

✓ *Dynamique hydrique dans les hardés et les vertisols intermédiaires*

Les travaux de Seiny Boukar (1990) ont permis de comparer le fonctionnement hydrique du vertisol modal, à son faciès dégradé, un hardé. La dégradation essentiellement physique de l'horizon de surface entraîne de profondes modifications du comportement hydrodynamique, avec notamment une diminution de la profondeur d'humectation (Peltier, 1993). L'accroissement du ruissellement limite l'alimentation en eau des différents horizons. La réserve en eau disponible dans l'horizon 0-40 cm est en conséquence plus faible et disparaît dès le mois de décembre. Dans la couche 40-80 cm la réserve présente, en début de saison sèche, une variabilité interannuelle plus prononcée et légèrement inférieure par rapport à celle des vertisols modaux. Seul un réseau serré de diguettes entretenu pendant plusieurs années peut faire réapparaître les caractères d'un vertisol modal en créant un engorgement temporaire qui force la pénétration de l'eau.

Par contre, on ne dispose pas de référence concernant le fonctionnement hydrique des vertisols intermédiaires de type *sa'doore*. Leur texture argilo-sableuse entraîne sans doute des différences importantes concernant la dynamique de remplissage en eau du profil. L'aménagement de diguettes n'est pas pratiqué car le sol est plus filtrant. Compte tenu d'une teneur en sable plus élevée dans l'ensemble des horizons, ces sols doivent s'humecter et se dessécher plus rapidement que les vertisols modaux. Ainsi, malgré une moindre capacité de rétention d'eau liée à un taux d'argile plus faible, cela peut permettre de mieux valoriser les dernières pluies de la saison qui pourront contribuer à la recharge de la réserve en eau dans l'ensemble du profil. Par ailleurs, bien qu'inférieure à celle des vertisols modaux, la réserve en eau de ces sols peut présenter une proportion en eau utilisable pour les plantes plus importante si le spectre poral se révèle être mieux distribué. Ces différences structurales du sol peuvent aussi modifier la rapidité de l'enracinement en offrant une moindre résistance à la pénétration des racines en début de cycle. Le repiquage peut avoir lieu plus tôt dans ces types de sol où les risques d'asphyxie des plants après une pluie sont moins élevés. Ceci est encore plus vrai dans le cas particulier des sols de type *daande maayo*, où la couche supérieure sableuse permet même une culture pluviale associée parfois au *muskuwaari* qui peut être repiqué précocement et profiter des dernières pluies. La production est souvent très bonne dans ce type de sol puisque l'horizon inférieur argileux assure l'alimentation hydrique du sorgho repiqué plus tard au cours de la saison sèche.

4.1.2.3. Répartition des terres dans le territoire

Les différents types de vertisols, présentés en détail pour les terroirs de Balaza et Mowo, se succèdent dans des toposéquences qui s'observent de façon similaires dans les *kare* des plaines de l'Extrême-Nord. Seignobos (1993) dégage ainsi trois toposéquences types, que nous avons simplifiées en une seule séquence (Figure II-6). Les vertisols dégradés et hardé sont toujours situés en position haute, surplombant des vertisols intermédiaires de type *sa'doore*, ou directement les vertisols modaux (*mbuluuwoi*, *baleewa*). Ces derniers, situés en bas de topographie, constituent parfois une plaine inondable (*yaayre*). Dans d'autres situations, les vertisols modaux peuvent être suivis de sols de bord de rivière (*daande maayo*), dont les superficies demeurent limitées.

En cas de scénario pluviométrique déficitaire, les agriculteurs ont tendance à concentrer leurs efforts sur les vertisols modaux et intermédiaires et à délaisser les vertisols dégradés dont l'humectation est insuffisante. Lorsque l'aménagement de ces derniers est jugé trop difficile à entretenir, la parcelle est parfois convertie en sorgho pluvial, le travail du sol pouvant également participer au décompactage progressif de l'horizon supérieur. L'analyse de l'évolution du parcellaire de Mowo entre 1999 et 2002 a ainsi mis en évidence des légères variations dans la localisation des terres à sorgho repiqué (Mathieu *et al.*, 2003b). Ceci vient confirmer le caractère

intermédiaire ou dégradé de nombreux vertisols du piémont, ce qui leur confère une double vocation pour le sorgho repiqué et la culture pluviale. Dans ces sols, le choix de la culture va dépendre :

- du scénario climatique de l'année : l'agriculteur peut réserver certains champs pour le sorgho repiqué dans le cas d'un mauvais début de saison des pluies, ou inversement privilégier le sorgho pluvial, lorsque la pluviométrie s'annonce favorable, voire réaliser une double culture lors des meilleures années ;
- des moyens dont il dispose pour l'aménagement de son *karal*

A Mowo, malgré la médiocrité des conditions édaphiques et l'absence d'aménagement, le repiquage peut quand même être effectué pour signifier "l'appropriation" foncière, car le droit d'usage conféré par le défrichage voire l'acte de vente n'est jamais pleinement sécurisé (Seignobos et Teyssier, 1998).

Ainsi, la localisation et la distribution des terres à sorgho repiqué à l'échelle des territoires ruraux montre l'adaptation de la culture à l'hétérogénéité des milieux disponibles. Cette adaptation, qui se fait dans le cadre des règles collectives de mise en valeur du territoire, génère des pratiques culturelles diversifiées.

4.2. Les pratiques des agriculteurs face à l'hétérogénéité du milieu

Beaucoup de pratiques culturelles sont destinées à améliorer et gérer la réserve en eau du sol qui constitue généralement le premier facteur limitant de la culture (Barrault *et al.*, 1972 ; Carsky, 1995). Les agriculteurs adaptent leurs pratiques à l'hétérogénéité des conditions édaphiques et valorisent aussi cette hétérogénéité, toujours dans l'optique d'optimiser la gestion de l'eau dans le sol.

4.2.1. Interventions dans le *karal* au cours de la saison des pluies

La règle collective de mise en défens des terres à *muskuwaari* déjà évoquée, destinée à éviter leur piétinement par les animaux, constitue une première mesure au cours de la saison des pluies pour favoriser la recharge en eau du sol. Elle s'accompagne d'interventions ponctuelles des agriculteurs dans leur *karal* pour la réalisation des aménagements et parfois un premier nettoyage. Dans les milieux les plus inondés, certains tentent d'implanter une culture de riz avant le cycle du *muskuwaari*.

4.2.1.1. Aménagements pour favoriser la recharge en eau du sol

Comme on l'a vu, la construction de diguettes et le type d'aménagement est fonction du type de vertisol (Figure II-6). Ces travaux dépendent aussi de l'équipement et de la main d'œuvre disponibles dans l'exploitation. Dans les zones de piémont où les diguettes apparaissent déterminantes pour la réussite de la culture, elles sont d'abord tracées à la charrue (cf. planche photo n°1), puis terminées manuellement. A Mowo, les agriculteurs ne disposant pas d'équipement en traction animale, louent parfois les services d'un bouvier.

Dans les terroirs à dominante Fulbe, la construction se fait parfois à l'aide d'un outil spécifique, appelé *takaraawal* en foulouldé, sorte de houe à billonnage permettant de découper des blocs d'argile qui vont former la diguette. Ce travail pénible, réalisé en condition de sol engorgé voire inondé entre juillet et septembre, est souvent confié à des manœuvres salariés.

4.2.1.2. Maîtrise de certaines adventices et des ligneux

Les espèces ligneuses et certaines espèces herbacées dont le développement limiterait la reconstitution de la réserve en eau du sol, sont éliminées avant les premières pluies et au cours de la saison des pluies. C'est notamment le cas de *Heliotropium strigosum*, une Boraginaceae qui se développe pendant le cycle du *muskuwaari* et peut se maintenir à un stade végétatif pendant la saison sèche en particulier dans les vertisols modaux. Dans les *kare* les mieux entretenus, les agriculteurs vont nettoyer ces repousses avant les pluies pour éviter la fructification et la multiplication de cette adventice dont la germination et le développement ont surtout lieu en conditions relativement sèches, en concurrence avec le cycle du sorgho repiqué.

La plupart des agriculteurs effectuent la première opération manuelle de nettoyage dès le milieu de la saison des pluies, pour réduire les rejets ligneux (*Acacia seyal*, *Piliostigma reticulatum*, *Commiphora pedunculatum*), et certaines adventices telles que *Ipomoea aquatica*, *Launoea cornuta*, ou *Crinum sp.* accusées de réduire l'humectation du *kara* ou de gêner l'enracinement du *muskuwaari* (Donfack et Seignobos, 1996)

Dans les milieux inondables, les agriculteurs tentent de limiter la prolifération d'adventices vivaces telles que *Oryza longistaminata* et *Cyperus rotundus*. Ces espèces s'accommodent très bien des inondations induites par les diguettes ou par les crues. Un premier fauchage est parfois réalisé dans l'eau à l'aide d'une faucille (*wafdu*) pour limiter leur multiplication végétative. Les adventices sont sectionnées l'une après l'autre au niveau de la base des tiges restant immergées pendant plusieurs semaines ce qui asphyxie la plante et limite les repousses. Les producteurs peuvent parvenir à maîtriser les mauvaises herbes au prix de très gros efforts. Beaucoup d'agriculteurs n'ont pas les moyens où la force de travail pour réaliser de tels chantiers de désherbage¹², et renoncent à la mise en culture de leur parcelle. Pour la lutte contre *Oryza longistaminata*, certains producteurs comme à Balaza, effectuent un premier fauchage dans l'eau avec l'outil habituel (*wiikordu* : couperet bilame). Cela permet un premier contrôle de la végétation mais cela n'empêche pas les repousses qui sont à nouveau fauchées juste avant le repiquage. Il faudra ensuite au moins deux sarclages au cours du cycle cultural pour espérer dégager une production (cf. planche photo n°3). C'est dans cette situation que le traitement herbicide a d'abord été testé, en s'efforçant d'effectuer la pulvérisation sur les premières repousses de ces adventices, avant l'installation de l'inondation. La pulvérisation au glyphosate a permis dans certains cas la récupération de parcelles infestées. Cette nouvelle technique a suscité un regain d'intérêt pour la culture du riz pluvial dans les plaines inondables, qui est aussi à relier à l'augmentation de la saturation foncière.

4.2.1.3. Un système particulier : la double culture riz-*muskuwaari*

Dans les vastes plaines inondables (*yaayre*) à l'est de Maroua (Dargala, Moulvoudaye...) et dans le pays Tupuri (Doukoula, Kalfou), quelques agriculteurs cultivent du riz puis repiquent éventuellement du sorgho, généralement après récolte et brûlage des pailles de riz (Gnassamo et Kolyang, 2002). Par opposition au riz irrigué avec maîtrise de l'eau, cette culture peut être qualifiée de "riz inondé", puisqu'elle est préférentiellement installée dans des zones de bas-fond, avec des submersions intermittentes plus ou moins prolongées au cours du cycle cultural.

Dans les parcelles où ce système est pratiqué, le riz devient la culture principale puisqu'elle peut limiter la recharge en eau du sol pour le sorgho repiqué. Cette concurrence est surtout observée lors des années de faible pluviométrie avec une durée d'inondation réduite. C'est une des raisons qui freine l'adoption de la riziculture de *yaayre*, les agriculteurs donnant souvent la priorité au *muskuwaari*, dont la production est plus facile et plus

¹² Concernant le fauchage dans l'eau avec une faucille (l'opération correspond au verbe *awudugo* en *foullouldé*), les temps de travaux ont été estimés à plus de 40 jours/ha pour un manoeuvre (Mathieu et Alifa, 2001).

appréciée. La riziculture n'est pas sans risques, et les travaux de mise en culture et d'entretien entrent directement en concurrence avec les semis et sarclage des autres cultures de saison des pluies.

Des travaux sur ces systèmes rizicoles extensifs ont déjà été menés par l'IRAT (Aubin, 1979). Ils soulignent les nombreux échecs rencontrés par les agriculteurs compte tenu du caractère aléatoire du début et de la durée de l'inondation dans les *yaayre*. Les expérimentations de double culture riz-sorgho *muskuwaari*, menées dans la vallée de la Bénoué (région de Garoua), ont montré les risques d'inondation précoce en début de saison des pluies ou au contraire de dessèchement rapide des vertisols en cas de sécheresse intercalaire, qui entraînent des pertes importantes de pieds après semis (Vernier *et al.*, 1987). L'utilisation de variétés de riz pluvial à cycle court et la réalisation d'aménagements simples de diguettes pour retenir l'eau de pluie en début de saison pluvieuse ou casser l'effet dévastateur des crues précoces, peuvent permettre de sécuriser la riziculture dans les *yaayre*.

4.2.2. Agrobiodiversité des sorghos *muskuwaari*

En plus des principaux écotypes de *muskuwaari* provenant essentiellement de la région du Bornou, la gamme des variétés locales s'est progressivement enrichie à travers les sélections massales répétées et les échanges entre zones de production (Raimond, 1999 ; Seignobos, 2000).

Dans une étude récente sur la biodiversité des sorghos *muskuwaari*, plus de 45 variétés locales ont été identifiées à partir d'enquêtes menées dans 24 villages échantillonnés dans différentes zones de production autour de Maroua et Kaélé (Perrot *et al.*, 2002). La productivité et les caractéristiques alimentaires apparaissent comme les premiers critères des variétés retenues par les producteurs. Le type *safraari*, reconnu pour ses bons rendements et la qualité de sa farine, domine globalement dans la zone d'étude, avec en moyenne 42% des surfaces cultivées. Face à certaines contraintes environnementales, les caractéristiques agronomiques deviennent prépondérantes dans le choix variétal :

- la mise en valeur croissante de vertisols intermédiaires ou dégradés disposant d'une capacité de rétention d'eau moyenne, a engendré l'adoption de variétés précoces et peu exigeantes telle que *yaawu*, *tolo tolo*, *zoumai*..
- l'ajustement du choix variétal aux contraintes parasitaires explique localement la prédominance de certains types. Au nord de Maroua, les *majeeri*, moins sensibles aux attaques fréquentes de chenilles foreuses de tige se substituent progressivement aux *safraari*. Ainsi à Balaza, la variété *majeeri* occupent désormais plus de 50% des surfaces repiquées, même dans les vertisols modaux où *safraari* est reconnu pour sa plus grande productivité. Dans les zones de Mora et Petté, la pression des oiseaux granivores force les producteurs à privilégier les *burguuri* dont les grains amers du fait de la présence d'une couche brune à forte concentration en tanins sous le tégument, sont peu appréciés des oiseaux.

Certaines des variétés récemment adoptées ne figurent pas dans les travaux de prospection antérieurs (Monthe, 1977 ; Raimond, 1999 ; Seignobos, 2000), ce qui témoigne de l'accroissement global de la diversité génétique lié notamment à la conquête de nouvelles terres à *muskuwaari*. Certaines proviennent d'une diffusion spontanée à partir d'autres régions de production, en particulier du Tchad. C'est le cas par exemple du *gelengdeng*, du nom de la localité tchadienne, qui a d'abord été adoptée en pays Tupuri dans les années 1960, puis s'est diffusé progressivement dans les plaines du Diamaré (Raimond, 1999 ; Seignobos, 2000). Cette variété est cultivée pour sa précocité dans les sols vertiques, mais elle n'est pas trop appréciée des agro-éleveurs car ses tiges trop

courtes donnent peu de fourrage. Toutefois, l'adoption de nouvelles variétés apparaît inégale d'une région à l'autre et la diffusion des variétés locales est actuellement soutenue par le projet ESA.

4.2.3. *Gestion des pépinières*

La problématique générale de l'implantation a mis en évidence l'importance de disposer de plants régulièrement et en quantité suffisante tout au long de la période de repiquage, pour être en mesure de réaliser cette opération au bon moment, dès que l'état du sol le permet. Ainsi, une bonne gestion des pépinières consiste, avec une quantité de semences limitée, à assurer une production de plants adaptée à la surface et aux différents sols à repiquer.

4.2.3.1. Décision du premier semis

Une des difficultés réside dans le choix de la date du premier semis. Cette décision, basée sur une prévision de la période de début de l'implantation, implique une prise de risques :

- un semis précoce permet de sécuriser la fourniture de plants si les pluies s'arrêtent tôt, mais une partie des premiers semis sera perdue si la saison des pluies se prolonge. On dit alors que "la pépinière est passée".
- un retard dans le déclenchement du semis expose l'agriculteur au risque de ne pas disposer de plants à temps pour le repiquage, en particulier en cas d'interruption précoce des pluies. Lorsque les plants sont trop petits pour être repiqués, on dit que "la pépinière n'est pas entrée"

A partir de références empiriques sur les variations inter-annuelles de la pluviométrie, les agriculteurs peuvent s'appuyer sur des indicateurs du milieu et sur un calendrier local, comme on l'a vu pour les communautés d'agro-éleveurs Fulbe. La référence au calendrier, construite à partir de l'histoire et de l'accumulation d'expériences dans chaque communauté rurale, varie d'une région à l'autre et même d'un village à l'autre, en fonction des spécificités du milieu (types de sols, inondation). Ainsi, dans la région de Salak, au sud de Maroua, les vertisols plus filtrants et moins enherbés sont généralement labourés ou traités, puis repiqués dès le début du mois de septembre. Dans ce cas, la référence locale pour le déclenchement des semis est avancée au début du mois d'août, alors qu'elle est située autour du 15 août au nord de Maroua.

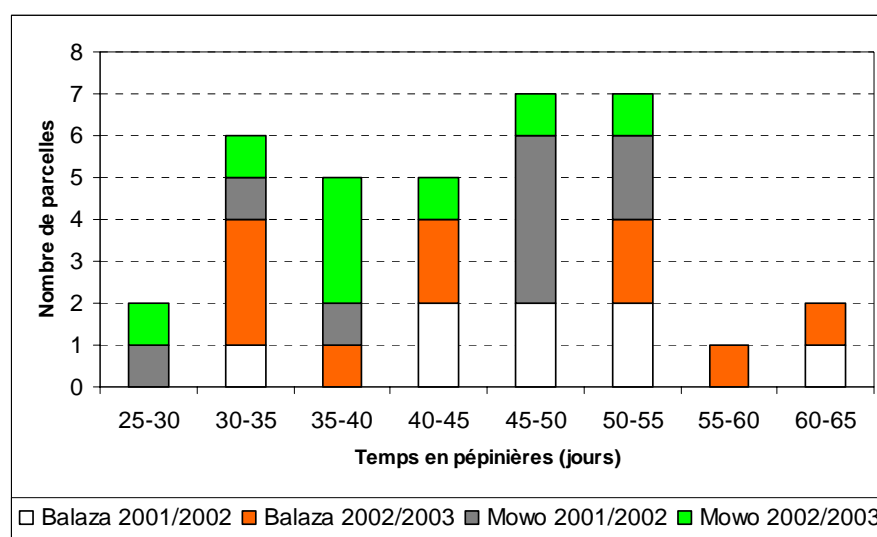
Tableau II-6 : Suivi de la densité dans les premières pépinières à Balaza et Mowo (campagne 2002/2003)

N° producteur	Date premier semis	Traitement semences	Densité de semis en graines/m ² (CV)	Pluviométrie dans les 10 JAS	Densité de plantules/m ² à 10 JAS (CV)
Balaza					
B1	21/08	non	573 (34%)	12 mm	7 (173%)
B2	28/08	non	527 (22%)	17 mm	73 (57%)
B3	25/08	non	947 (32%)	17 mm	293 (104%)
B4	21/08	non	327 (13%)	12 mm	0
B5	25/08	non	600 (9%)	17 mm	227 (97%)
B6	5/09	non	540 (36%)	113 mm	360 (51%)
B7	25/08	Thioral	787 (34%)	17 mm	380 (125%)
Mowo					
M1	24/08	Thioral	1407 (11%)	46 mm	1360 (9%)
M3	30/08	Thioral	1327 (11%)	18 mm	1273 (10%)
M6	24/08	Thioral	1273 (6%)	46 mm	1160 (6%)

CV : coefficient de variation

JAS : nombre de Jours Après Semis

Figure II-7 : Durée entre semis et prélèvement des plants dans les pépinières suivies à Balaza et Mowo



Dans les régions où l'inondation est importante, comme dans les zones de *yaayre* vers Moulvoudaye, les premiers semis ont lieu fin août début septembre, et sont souvent effectués sur les marges de la plaine inondable lorsque le niveau de la crue diminue. Les pépinières peuvent profiter ainsi de l'humidité résiduelle du sol pour se développer sans être pénalisées par la diminution de la pluviométrie en septembre-octobre.

4.2.3.2. La réalisation des semis

Une pépinière est caractérisée par une date de semis et un emplacement choisis par l'agriculteur. Elle peut comprendre plusieurs variétés semées côte à côte le même jour. Pour un emplacement dont le sol a été préparé en une fois et semé à différents moments, on considère qu'à chaque date de semis correspond une pépinière distincte. Les semis sont toujours précédés d'un labour manuel ou à la charrue, suivi d'un travail superficiel à la houe pour recouvrir les graines semées à la volée. Une gestion en partie collective est parfois observée, notamment pour la préparation du sol. Quelques agriculteurs peuvent s'associer pour labourer en une seule fois une assez grande superficie, puis chacun vient ensuite effectuer ses semis individuellement. Dans certains villages où la disponibilité en terres est limitée, une superficie peut être octroyée par le chef et répartie entre les agriculteurs pour la réalisation de leurs pépinières.

Les semences, stockées sous forme de panicules, sont battues au moment de la période des semis, en différenciant les variétés si l'agriculteur souhaite les semer séparément. Un traitement de semences est parfois réalisé, mais il n'est pas systématique. Il est pratiqué par près de la moitié des agriculteurs de notre échantillon, surtout à Mowo et majoritairement avec du Thioral (action fongicide). D'après le suivi des pratiques à Balaza et Mowo, les surfaces semées varient entre 20 et 800 m², notamment selon l'accès ou non à la traction animale, avec 40% des pépinières inférieures à 100 m².

La densité de semis est également très variable, avec des valeurs qui s'étendent de 300 à 1400 graines/m² comme l'illustre le suivi de quelques pépinières lors des premiers semis en 2002 (Tableau II-6). Ces observations montrent l'importance de la pluviométrie dans les jours qui suivent le semis sur le taux de levée. Ce dernier a été faible à Balaza en 2002 (0 à 65%), compte tenu d'un déficit de pluies entre le 15 août et le 5 septembre. D'après des essais de l'IRAT, la densité optimale pour avoir le meilleur développement possible du plant prêt au repiquage se situe autour de 500 pieds/m² (Germain et Ngongo, 1973). Ces expérimentations mettent en évidence une baisse de rendement d'environ 200 kg/ha dans les parcelles repiquées avec des plants issus de pépinières présentant une densité de semis de 200 et 300 pieds/m², mais l'auteur ne donne aucune interprétation sur ce qui pourrait expliquer cette différence de production. En milieu paysan, la densité s'avère très variable et certains agriculteurs comme à Mowo privilégient des peuplements denses pour pouvoir ensuite réaliser plusieurs prélèvements au cours du temps dans une même pépinière. Cette pratique est sans doute aussi liée aux faibles surfaces disponibles particulièrement dans les champs proches des habitations. En effet, les agriculteurs préfèrent installer leurs pépinières assez près de leur concession pour pouvoir les surveiller, car les vols de plants sont assez fréquents, notamment lors des années sèches.

La fertilisation avec des apports d'urée ou NPK peut être réalisée au moment du semis si l'agriculteur estime que la fertilité du sol est faible. Certains choisissent d'épandre l'engrais une quinzaine de jours après semis si la croissance des plants est insuffisante par rapport à la période présumée du repiquage. A Balaza et Mowo, 40% des agriculteurs suivis utilisent la fumure minérale, dont 30% l'appliquent essentiellement pour les derniers semis.

4.2.3.3. Les moyens pour étaler la fourniture en plants

Pour l'étalement de la production de plants, les agriculteurs s'appuient non seulement sur l'échelonnement des dates de semis, mais misent également sur la diversité des sols inter et intra-pépinières, sur la densité de semis et sur la ou les variétés retenues pour chaque pépinière.

- L'hétérogénéité du sol d'une pépinière à l'autre, ou à l'intérieur d'une pépinière induit une vitesse de croissance variable, permettant d'étaler le prélèvement des plants pour une même date de semis. Le choix de l'emplacement entre ainsi en considération dans la gestion des pépinières, l'agriculteur pouvant faire varier le niveau de fertilité en fonction du positionnement du semis dans le temps. Pour le premier semis, les agriculteurs retiennent souvent des emplacements bien fertiles comme d'anciennes termitières, des champs de case avec apport de fumier, des surfaces sous le houppier d'un *Faidherbia albida* dont l'effet sur la fertilité du sol est reconnu. Ils s'assurent ainsi de produire des plants suffisamment tôt quel que soit le scénario climatique. Dans certaines pépinières installées en bordure de *karal*, l'excès d'humidité en cas de forte pluviométrie peut constituer un avantage pour ralentir le développement des plants. Pour les derniers semis, les anciennes termitières ou certaines portions de *karal* en position haute peuvent être retenues compte tenu de leur bonne humidité résiduelle qui permettra la croissance des plants même après l'arrêt des pluies.
- Une pépinière peut être sollicitée plusieurs fois au cours de la période de repiquage : les plants les mieux développés sont sélectionnés en priorité ce qui réduit la densité et offre des conditions de croissance plus favorables aux autres plants, prélevés lors des passages suivants. L'agriculteur peut d'autant plus échelonner les prélèvements pour une même pépinière que la densité de semis et la surface sont élevées. Un autre ajustement possible, si les plants ont déjà atteint la taille voulue mais qu'il faut encore attendre pour repiquer certaines parcelles, consiste à couper les dernières feuilles afin de ralentir la croissance du sorgho en pépinière. Dans d'autres régions de production comme dans le Bornou, ce procédé peut être effectué jusqu'à 3 ou 4 fois de suite, avec cependant une détérioration de la qualité des plants pour le repiquage lorsque la durée en pépinière se prolonge trop (Kirscht, 2001).
- Les choix des variétés pour chaque pépinière n'est pas neutre. Il tient compte des différents types de sols à repiquer, et du caractère plus ou moins précoce des variétés qui influe sur la vitesse de développement des plants jusqu'au stade propice au repiquage. Ainsi, les variétés précoces telles que *majeeri* ou *burguuri* sont par exemple privilégiées pour les derniers semis, afin de fournir des plants rapidement disponibles malgré la diminution des pluies.

Les agriculteurs tiennent compte de ces différents moyens pour réduire les risques de rupture d'approvisionnement en plants liés aux aléas climatiques.

4.2.3.4. Sélection des plants lors du repiquage

La diversité des emplacements et des pratiques de semis entraîne une importante variabilité du temps de séjour des plants en pépinière, qui s'étale de 25 à 65 jours pour les différentes parcelles suivies à Balaza et Mowo (Figure II-7). Lorsqu'un chantier de repiquage est prévu, les agriculteurs vont dans leur pépinière pour choisir soigneusement les plants destinés à la transplantation. Le prélèvement se fait tôt le matin, lorsque le sol est encore un peu humide pour pouvoir arracher le plant avec les racines. Ils sélectionnent des plants de taille suffisante et généralement parvenus au stade 4 ou 5 feuilles, avec un diamètre de tige de 0,5 à 1 cm. Les caractéristiques des plants prélevés peuvent varier selon la nature du sol à repiquer mais aussi dans une même

parcelle. Dans les zones où les vertisols modaux sont importants comme à Balaza, les agriculteurs ont tendance à augmenter la profondeur des trous pour qu'ensuite l'apparition des larges fentes de retrait ne gêne pas le développement du sorgho. Dans ce cas, ils privilégient des plants suffisamment grands (au moins 40 cm) pour le repiquage. D'une manière générale, les plants dont le développement a dépassé le stade du 1^{er} nœud ne sont pas prélevés. S'ils présentent déjà un entre-nœud lors de la transplantation¹³, l'ancrage dans le sol à partir des racines émises au niveau du deuxième nœud n'est pas assez profond, ce qui peut poser ensuite des problèmes de verse sous l'action du vent pendant la saison sèche.

Lorsque les plants font défaut, les agriculteurs sont contraints de prendre le "tout venant", souvent en sollicitant les pépinières d'autres producteurs, ce qui entraîne une forte hétérogénéité de tailles et de stades de développement, avec sans doute des conséquences sur la qualité de la reprise (cf. planche photo n°3).

"L'habillage" des plants consiste à couper les racines les plus volumineuses, ainsi que les dernières feuilles pour limiter la transpiration juste après le repiquage. Après leur préparation, les plants sont attachés en bottes de plusieurs centaines de plants et les racines sont plongées dans l'eau pendant une nuit pour stimuler leur reprise avant le repiquage (Cf. planche photo n°2).

4.2.4. *L'hétérogénéité des sols, condition de la faisabilité de l'implantation*

L'implantation de la culture comprend les opérations de nettoyage du sol, jusqu'à présent essentiellement réalisé par fauchage des herbes puis brûlage, de trouaison et de transplantation des plants.

Les travaux de nettoyage peuvent commencer dans le courant du mois de septembre pour les terrains en topographie haute et intermédiaire, lorsque la fréquence des pluies diminue, et en octobre-novembre après le retrait des eaux dans les terrains inondés. Les chantiers de préparation et de repiquage, doivent être concentrés sur de brèves périodes. Les agriculteurs sont engagés dans une course contre le temps pour parvenir à repiquer à temps du point de vue de l'état du sol. Cette période constitue le principal "goulet d'étranglement"¹⁴ dans la conduite de la sole à *muskuwaari*.

Les travaux de préparation et de repiquage, essentiellement manuels, sont longs à exécuter. L'implantation d'une grande surface de sorgho repiqué avec une main d'œuvre forcément limitée, n'est possible qu'en valorisant la variation des types de sol et de topographie entre *kare* et à l'intérieur d'un *karal*. Les agriculteurs s'appuient sur cette hétérogénéité pour étaler l'implantation initiée dans les portions qui s'assèchent le plus vite. Ils développent ainsi une connaissance fine de leur *karal*, découpé en parcelles selon la topographie et la nature du sol. Comme on le verra, les parcelles sont implantées dans un ordre précis qui peut varier selon le scénario climatique.

Face aux créneaux d'intervention réduits pour l'implantation, les agriculteurs ont souvent recours à des manœuvres saisonniers si la main d'œuvre familiale est insuffisante. La ressource en travail peut se révéler un facteur limitant des superficies cultivées, comme dans la région de Kaélé où la disponibilité en terres à *muskuwaari* demeure relativement importante (Seignobos, 1998 ; Engref, 2000).

A travers le fauchage-brûlage et les faibles densités limitant la concurrence pour l'eau à l'intérieur du peuplement cultivé mais réduisant aussi le temps de repiquage, les agriculteurs privilégient la productivité du travail pour parvenir à implanter des surfaces parfois importantes dans les meilleures conditions d'humidité du sol. Le traitement herbicide s'inscrit pleinement dans cette logique puisqu'il offre une plus grande marge de manœuvre

¹³ Cet entre-nœud est appelé *korlel* par les agriculteurs Fulbe, ce qui désigne aussi le tibia.

¹⁴ période où l'effort à fournir est particulièrement intense (Lericollais et Milleville, 1997)

lors de l'implantation en réduisant le temps de préparation des parcelles. De plus, il permet de limiter la concurrence, *a priori* pour l'eau, des adventices vivaces. L'intérêt des agriculteurs pour l'herbicide apparaît donc évident puisque son usage joue à la fois sur le temps de travail et la gestion de la réserve en eau du sol, c'est-à-dire les deux principaux facteurs limitant du système de culture.

4.2.5. Une grande diversité de modes de préparation des parcelles

La diversité des situations d'enherbement explique la diversité des itinéraires techniques et notamment des modalités de nettoyage des parcelles avant le repiquage, accentuée par l'introduction récente du traitement herbicide de préparation (Tableau II-7). De façon schématique, on distingue les situations à fort recouvrement où le brûlage des herbes est nécessaire avant l'implantation, et les situations à faible recouvrement où la préparation peut se faire avec un éventuel travail du sol.

Tableau II-7: Modalités d'intervention pour la gestion de l'enherbement

Opérations	Préparation	Sarclage
Différentes modalités d'intervention	recouvrement \geq 50% avec dominance graminées annuelles (+ vivaces) ↳ fauchage(s) \Rightarrow brûlage ↳ herbicide \Rightarrow brûlage ↳ fauchage (adventices vivaces) \Rightarrow herbicide sur repousses \Rightarrow brûlage	sarclage manuel avec couperet (<i>wiikordu</i>) ou avec la houe
	recouvrement $<$ 50% avec graminées annuelles + adventices vivaces ↳ fauchage \Rightarrow apport herbes+brûlage ↳ labour mécanique ↳ labour manuel ↳ traitement herbicide	

Dans les situations où l'enherbement est élevé (au moins 50 % de recouvrement du sol), les agriculteurs réalisent systématiquement le brûlage pour assurer un bon nettoyage de la parcelle et ne pas gêner les opérations de trouaison et de repiquage. Comme cela a été évoqué dans le chapitre 1, les sols colonisés par une couverture dense de graminées annuelles qui se fauchent facilement et brûlent bien, sont très appréciés. De plus, le passage du feu en cuisant la croûte superficielle du sol limiterait les pertes d'eau par évaporation. Les espèces herbacées favorables au brûlage diffèrent selon la nature du sol : *Loudetia togoensis* (*mubaaraawal* ou *sel'bo en foulfouldé*) et *Setaria sphacelata* (*wicco waandu*) colonisent de préférence les sols en topographie haute ou intermédiaire, tels que les hardés ou les *sa'doore* (Figure II-6). *Echinochloa obtusiflora* (*kayaar*) et *Echinochloa colona* (*pagguri*) sont liés aux sols plus argileux de type *baleewal*. Ces graminées parviennent à maturité au moment du fauchage, ce qui permet leur régénération d'une année sur l'autre. Une fois coupées et séchées, les herbes sont épandues de façon homogène sur les parcelles et assurent un brûlis vif et rapide, épargnant les graines tombées sur le sol (Donfack et seignobos, 1996). Pour bonifier leurs parcelles et activer le brûlage, certains agriculteurs vont récolter ces espèces dans des zones de brousse et les épandre dans leur champs au moment du brûlage, augmentant ainsi le stock de semences dans le sol (Seignobos, 1993). Ces pratiques de "bonification" ont notamment été observées dans les zones à *muskuwaari* les plus anciennes dans le Diamaré (Dargala, Bogo,...). Cependant, cette gestion du couvert graminéen peut être empêchée par le passage périodique de crues qui contribue à diversifier la composition floristique, notamment dans les sols de bord de rivière (*karal maayo*) et les *yaayre*.

Lorsque le recouvrement est plus réduit (inférieur à 50%), le couvert herbacé est insuffisant pour pouvoir réaliser le brûlage. Une option consiste à aller prélever des herbes dans des zones de brousse et les épandre dans la parcelle pour permettre le brûlage et éventuellement contribuer à l'amélioration du couvert herbacé pour les années suivantes. Le faible recouvrement en fin de saison des pluies peut aussi justifier le recours au travail du sol par un labour manuel ou mécanique, comme cela a été signalé au sud de Maroua (cf. § 1.3.1, chapitre 1).

Planche photo n°2 : Les opérations culturales jusqu'à la récolte



Prélèvement de plants dans une pépinière installée sur une ancienne termitière. Hétérogénéité de la taille et du stade de développement des plants selon la distance par rapport à l'emplacement du nid – Parcelle traitée en arrière-plan.



Fauchage à l'aide du *wikordu* (couperet bilame) dans un couvert herbacé dominé par des graminées annuelles



Traitement herbicide dans une parcelle envahie par du riz sauvage à rhizome, après un premier fauchage dans l'eau



Brûlage après séchage des herbes fauchées



Botte de plants conservée dans l'eau avant repiquage pour stimuler la reprise racinaire



Habillage des plants avant repiquage

Planche photo n°3 : Les opérations culturales jusqu'à la récolte



Hétérogénéité de la taille et du stade de développement des plants au repiquage

Trouaison avec un plantoir en bois à bout ferré ou une barre à mine



Ajout d'une dose d'eau avant le repiquage des plants



Peuplement de sorgho en période de récolte



Vannage de la récolte



Battage et sélection des semences pour la prochaine campagne

Dans ces deux grandes situations d'enherbement, des problèmes d'adventices vivaces se posent. Comme cela a déjà été évoqué, certaines mauvaises herbes prolifèrent dans les milieux les plus humides (*yaayre*, bord de mare,...) où l'inondation est parfois renforcée par l'aménagement de diguettes. La culture continue avec le travail du sol peut également augmenter la pression des adventices. La mise en jachère, essentiellement déterminée par l'augmentation des mauvaises herbes (Jouve, 2001), n'est pratiquement plus observée dans l'Extrême-Nord et les agriculteurs se tournent vers l'utilisation de l'herbicide. Il est déjà fréquemment utilisé dans les situations de faibles recouvrements, puisqu'il évite ainsi les travaux de labour ou d'apport d'herbes extérieures, et peut être suivi directement du repiquage. Il s'est également développé pour la maîtrise des adventices vivaces dans les zones inondables, mais aussi pour accélérer la préparation dans les parcelles dominées par les graminées annuelles. L'adaptation du traitement à ces diverses situations se fait par "tâtonnement", ce qui n'est pas sans soulever des questions de mise en œuvre technique. Comme on le verra, les règles de déclenchement du traitement, le raisonnement des doses et des surfaces à traiter restent à préciser.

Figure II-8 : Variabilité de la profondeur de repiquage dans les différents types de sol à Balaza et Mowo

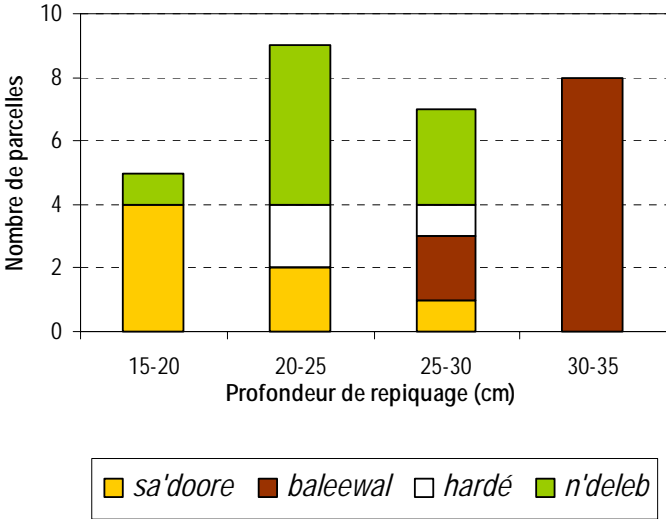
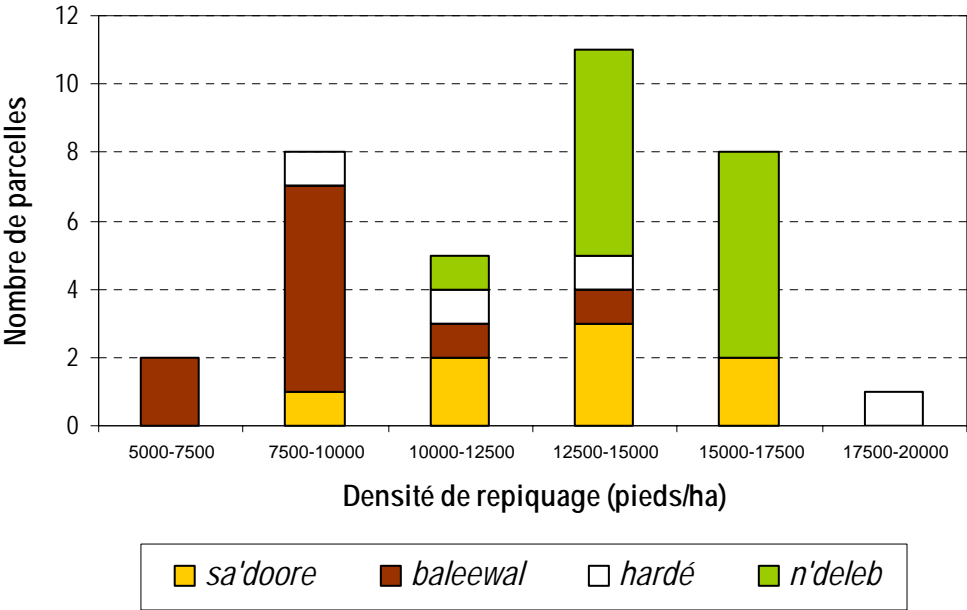


Figure II-9 : Variabilité de la densité de repiquage dans les différents types de sol à Balaza et Mowo



4.2.6. Ajustement de la trouaison et de la densité aux types de sols

Le repiquage peut démarrer dès que les plants sont disponibles et que l'humidité du sol est favorable. Les conditions "optimales" de repiquage permettant une bonne reprise des plants, varient selon le type de sol :

- L'horizon supérieur peut être encore humide dans les sols relativement filtrants tels que les vertisols intermédiaires qui sont généralement repiqués en premier.
- Dans les vertisols modaux, le sol doit être suffisamment ressuyé avec un horizon supérieur relativement sec. Cette exigence est liée à la profondeur du trou de repiquage, généralement plus élevée pour éviter les problèmes de verse des pieds pendant le cycle cultural lié à la formation des fentes de retrait. Un repiquage profond, alors que l'horizon superficiel est encore humide, engendrerait des conditions d'humidité trop élevées peu favorables à la reprise des plants.

La trouaison se fait à l'aide d'un pieux à bout ferré (*gooforiwa*) ou d'une barre à mine selon les régions (cf. planche photo n°3). Un à trois coups sont nécessaires pour atteindre la profondeur requise selon le type de sol et l'humidité. L'agriculteur lance d'abord son plantoir dans le sol en avançant d'un pas. Le diamètre est élargi par un mouvement circulaire et la profondeur ajustée avec un ou deux autres coups avant de passer au trou suivant. La trouaison est moins profonde dans les vertisols intermédiaires, comme cela a été observé à Balaza et Mowo, dans les sols de type *sa'doore* et certains *n'deleb* où ils ne dépassent pas 25 cm dans la majorité des cas (Figure II-8). Dans les vertisols modaux comme les *baleewal*, ils atteignent généralement 30 cm compte tenu de la formation de larges et profondes fentes de retrait. L'adaptation de la profondeur apparaît moins marquée à Mowo compte tenu de types de sols moins bien différenciés.

La trouaison est parfois réalisée à l'aide de cordes, mais dans la plupart des cas, les agriculteurs effectuent un alignement approximatif dans le sens du cheminement lors du repiquage. Les lignes peuvent être orientées dans la direction dominante du vent pendant la saison sèche pour réduire la résistance des plants au cours du cycle (Kirscht, 2001). Les agriculteurs tentent de disposer les trous en quinconce en décalant leur emplacement par rapport à la ligne effectuée précédemment. Cette technique semble cependant appliquée de manière moins rigoureuse que dans d'autres régions du bassin tchadien (Raimond, 1999). L'espacement entre les trous et les lignes est également modulé selon le type de sol. Des essais pluriannuels menés en stations dans des vertisols modaux homogènes et consistant à analyser les rendements pour différentes densités de repiquage, ont montré une corrélation négative entre le poids paniculaire et la densité de repiquage (Carsky *et al.*, 2002). Dans nos parcelles de suivis, malgré l'importante capacité de rétention d'eau des vertisols modaux de type *baleewal*, les densités apparaissent généralement inférieures à 10 000 plants/ha (Figure II-9). Dans ces sols, les agriculteurs comptent sur la production de grosses panicules et cherchent à limiter les risques d'une trop forte concurrence à l'intérieur du peuplement cultivé en cas de recharge en eau du sol limitée. Dans les vertisols intermédiaires, les densités pratiquées sont plus élevées (en moyenne 15 000 pieds/ha). Compte tenu du régime hydrique de ces sols, la réserve en eau est sans doute moins variable quel que soit le scénario pluviométrique, et peut satisfaire les besoins en eau d'un peuplement relativement dense avec, par rapport aux vertisols modaux, la production d'un nombre plus élevé de petites panicules.

Pour le repiquage proprement dit, les trous sont préalablement remplis, environ au tiers de la profondeur, avec une dose d'eau destinée à limiter le stress de la transplantation et à favoriser la reprise¹⁵. La quantité a été estimée en moyenne à 100 ml par trou, avec également une importante variabilité selon le type de sol et son

¹⁵ D'après Barrault *et al.* (1972), il existe des différences variétales d'aptitude de reprise au repiquage, mais cet aspect n'a pas été considéré dans nos enquêtes.

humidité au moment du repiquage, puisque les volumes d'eau utilisés s'étendent de 300 à 900 litres par hectare dans les différentes parcelles suivies. C'est pourquoi les agriculteurs creusent et entretiennent de petites mares dans leur *karal* (*okoloore* en foulfouldé), dont le faible remplissage lors des années sèches peut contribuer à la réduction des superficies cultivées.

Deux plants sont placés au fond du trou, en prenant soin de bien les enfoncer pour fixer les racines dans la terre boueuse. Dans les sols plus sableux en particulier en bordure de rivière, les plants sont placés avant d'ajouter l'eau qui entraîne l'effondrement partiel du trou à cause de la texture du sol. L'opération de transplantation est souvent confiée aux femmes et aux enfants. Le sur-repiquage peut être pratiqué une dizaine de jours après l'implantation, en particulier si une forte pluie, juste après la transplantation, a entraîné l'asphyxie des plants. Des trous supplémentaires sont effectués et de nouveaux plants sont repiqués à côté des plants de sorgho n'ayant pas repris.

4.2.7. Des travaux de sarclage relativement réduits

Le sarclage, appelé spécifiquement *koroto*¹⁶ pour la culture du *muskuwaari*, est généralement effectué 30 à 45 jours après le repiquage selon la pression des adventices. Dans les meilleures parcelles où les graminées annuelles dominent en saison des pluies, un léger sarclage est suffisant compte tenu du peu d'adventices vivaces, dont les repousses au delà de la phase reproductive ne seront plus gênantes pour le peuplement de sorgho¹⁷. Alors que le sarclage représente généralement la charge de travail la plus importante en agriculture manuelle (Jouve, 2001), cette opération reste souvent limitée dans le cas du *muskuwaari* ce qui constitue un des atouts majeurs de cette culture contribuant à l'intérêt qu'elle suscite chez les agriculteurs.

Le sarclage est parfois retardé par la réalisation des récoltes des cultures pluviales, plus rarement par le repiquage qui n'est pas terminée dans certaines parcelles de bas-fond. Ce retard peut s'avérer limitant pour le peuplement, en particulier lors des années de bonne pluviométrie car l'importante humidité du sol favorise la prolifération de certaines espèces comme *Sphaeranthus flexuosus* (*beepal*). Cette Acanthaceae à odeur forte est fréquente dans les différents types de vertisols et peut induire localement l'abandon d'une parcelle si elle n'est pas sarclée à temps. De même, les adventices les plus envahissantes dans les terres inondables (*Oryza longistaminata*, *Cyperus rotundus*), supposent un désherbage rapide et répété deux à trois fois tout au long de la phase reproductive du sorgho. L'utilisation de l'herbicide entraîne une réduction, parfois une suppression des travaux de sarclage.

L'outil employé pour l'opération change selon le type de sol. Comme pour le fauchage, les agriculteurs utilisent le *wiikordu* (couperet bi-lame) pour sarcler dans les terrains les plus argileux. Lorsque le sol est plus léger, ils privilégient la houe, plus rarement un sarclage mécanique comme cela a été observée chez un agriculteur à Mowo à l'aide de la traction asine.

4.2.8. Organisation des récoltes

Les premières panicules sont souvent mûres dans le courant du mois de janvier et peuvent être prélevées pour l'autoconsommation ou éventuellement pour vendre de petites quantités de grains à un prix encore assez élevé sur les marchés avant la fin des récoltes en mars. Ces prélèvements demeurent ponctuels puisque la période de récolte est déterminée collectivement à l'échelle de l'ensemble du *karal*/villageois.

¹⁶ Le terme a sans doute été emprunté au bornouan puisqu'il est aussi utilisé au Nigéria dans la région du Bornou (Kirscht, 2001)

¹⁷ Le grattage superficiel du sol lié au sarclage peut aussi contribuer à une réduction de l'évaporation de l'eau.

Planche photo n°4 : Les contraintes à la production



Symptôme d'enroulement des feuilles lié à une disponibilité en eau insuffisante (Balaza, novembre 2001, parcelle B3)



Effet du traitement herbicide suivi du brûlage (partie droite) dans une parcelle expérimentale à la reprise (Balaza, octobre 2002, parcelle B2).



Emission de talles à partir d'une tige principale attaquée par des foreurs des tiges (Mowo, janvier 2003, parcelle B4)



Parcelle de sorgho repiqué dans un yaayre infesté par *Oryza longistaminata*



Panicule attaquée par du charbon couvert (*Sphacelotheca sorghi*)



Panicule de *safraari* attaquée par des oiseaux granivores (Balda, janvier 2000)

Les producteurs coupent d'abord les tiges qui sont regroupées en tas formant des petites pyramides où elles sèchent pendant environ une semaine. Les panicules sont ensuite coupées et regroupées sur l'aire de battage, souvent en formant des tas par couleur de grains, sans forcément les séparer par variété. Le battage est souvent effectué par des salariés et le transport des sacs de grains constitue aussi un poste de dépense pour les propriétaires de champs éloignés de l'exploitation. La production moyenne d'un *karal* se situe autour de 600 kg/ha, avec comme on va le voir, une forte variabilité compte tenu de l'hétérogénéité des milieux cultivés.

5. CONCLUSION DISCUSSION

Cette première approche du système de culture met tout d'abord en évidence la remarquable adaptabilité de la plante à des conditions climatiques et édaphiques variables. Le sorgho repiqué peut en effet supporter des excès d'eau temporaire du sol, par exemple suite à une pluie tardive après le repiquage, et ensuite affronter une importante sécheresse, avec une disponibilité en eau souvent limitée dans le sol, combinée à une température parfois élevée et des vents desséchant. (valeurs élevées de l'ETP).

Mis à part dans les zones inondables où le sorgho repiqué échappe en partie aux aléas climatiques, **les surfaces repiquées et les rendements demeurent dépendant du total pluviométrique et de la répartition des pluies** qui conditionnent le niveau de recharge en eau des sols. Les régimes hydriques des différents types de vertisols exploités induisent un remplissage variable du profil en fonction du scénario climatique. Ainsi, la contribution des dernières pluies à la constitution de la réserve utile semble surtout déterminante pour les terrains relativement filtrant en position intermédiaire, d'autant plus qu'elles profitent parfois directement à la culture installée généralement plus tôt dans ce types de sols. Dans les vertisols modaux qui mettent du temps à s'humecter, une bonne recharge en eau passe par des pluies régulières au cours de la saison, assurant parfois une période d'inondation prolongée grâce à l'aménagement de diguettes.

Des questions importantes subsistent concernant la satisfaction des besoins en eau de la plante selon le type de sol, le scénario climatique et compte tenu de la spécificité du régime hydrique des vertisols. Les références dans ce domaine demeurent insuffisantes notamment pour pouvoir quantifier la part de l'eau prélevée par la plante selon les différents compartiments du système poral (porosité matricielle, structurale et macrofissurale), et l'importance du phénomène de remontée capillaire selon le type de vertisol. Les moyens classiques d'évaluation de l'état des réserves en eau du sol (tensiomètres, blocs poreux,...) ne fonctionnent pas dans ces sols et la méthode des bilans hydriques doit être appliquée en respectant certaines spécificités (Cabidoche *et al.*, 2000). Dans notre dispositif expérimental, l'alimentation hydrique de la culture n'a donc été considérée qu'à partir d'indicateurs d'état du peuplement cultivé, en particulier les symptômes d'enroulement des feuilles au cours des différentes phases du cycle.

Les contraintes liées aux oiseaux granivores et la régulation de l'accès des terres aux troupeaux supposent une **organisation collective à l'échelle territoriale, non seulement pour le défrichage des terres à *muskuwaari* mais aussi pour la gestion du système de culture** avec notamment une certaine coordination dans le déclenchement des opérations de semis et de récolte.

Les pratiques des producteurs s'inscrivent d'abord dans une logique extensive. L'accroissement de la production passe d'abord par la mise en culture de surfaces les plus étendues possible en utilisant au maximum les ressources en travail (Milleville et Serpantié, 1991). Ainsi, l'amélioration du brûlage en favorisant la colonisation du sol par des graminées annuelles pendant la saison des pluies et l'emploi récent de l'herbicide, permettent

généralement de limiter les travaux de sarclage reconnus comme la principale charge de travail en agriculture manuelle. Avec en plus, des densités de repiquage souvent volontairement réduites, ces pratiques culturales correspondent bien à une recherche de la meilleure productivité du travail (Seignobos *et al.*, 1995). Les surfaces en terres étant limitées, on observe également des pratiques intensives avec notamment les aménagements de diguettes pour à améliorer la recharge en eau du sol et donc sa productivité. On retrouve ici une caractéristique des agricultures manuelles où il s'agit d'utiliser de manière la plus complète et efficace les ressources les moins disponibles (Almekinders *et al.*, 1995), en l'occurrence l'eau et le travail.

Notre caractérisation des systèmes de culture a mis l'accent sur les relations entre **l'hétérogénéité des sols** cultivés et la diversité des pratiques. "*L'agriculteur entretient avec l'hétérogénéité du territoire qu'il cultive une relation réciproque : d'une part il s'y adapte et l'utilise, d'autre part il la transforme et l'organise*" (Papy et Baudry, 2002). L'adaptation passe notamment par le choix de dates, de conditions d'intervention (modalités de préparation des parcelles, caractéristiques du repiquage) et de variétés, en fonction du type de sol. L'agriculteur ne s'adapte pas simplement à l'hétérogénéité des sols entre ses *kare* et à l'intérieur d'un *karal*, mais **il la valorise pour pouvoir effectuer l'implantation dans de bonnes conditions sur de grandes surfaces**. En effet, face à la lenteur de réalisation des opérations et les créneaux d'intervention réduits liés à la fin des pluies, les travaux sont enchaînés de manière à suivre le dessèchement des différents types de sol. Les populations ont ainsi développées une perception fine de l'hétérogénéité des milieux à l'échelle du territoire et de leur propre *karal*. Les aménagements des diguettes peuvent contribuer à accentuer l'hétérogénéité. Elles ne sont pas effectuées de manière homogène dans l'ensemble du *karal*, et l'agriculteur tient compte des variations de topographie et des conditions édaphiques qui déterminent leur construction et leur maillage. Les techniques d'ennoiment et d'effondrement des nids de termitières (*Odontotermes* notamment), accentuent également l'hétérogénéité et permettent leur mise en culture à l'intérieur du *karal* (Duboisset, 20003). Ces espaces de quelques mètres de diamètre se révèlent souvent très productifs, compte tenu d'une importante macroporosité qui favorise l'installation racinaire et facilite la recharge en eau du sol.

Comme dans d'autres systèmes de culture manuels et peu artificialisés, l'importante hétérogénéité inter et intra-parcellaire du milieu cultivé constitue un facteur de réduction des risques (Brouwer *et al.*, 1993 ; Harris *et al.*, 1994 ; Almekinders *et al.*, 1995 ; De Steenhuijsen Piters et Fresco, 1995). En condition semi-aride, Brouwer *et al.* (1993) ont ainsi montré **l'intérêt de la micro-variabilité du sol pour la stabilité du rendement moyen et la réduction des risques** d'obtention de très faibles récoltes. Harris *et al.* (1994) insistent sur les interactions entre le type de sol lié à la position topographique et le scénario climatique, sur les performances de la culture à l'intérieur d'une même parcelle, contribuant à sécuriser la production d'une année sur l'autre. En résumé, la variabilité des rendements ponctuels liés à la variabilité des conditions édaphiques et des techniques appliquées, aboutit à l'obtention d'un rendement relativement médiocre à l'échelle de la parcelle, mais limite les risques de résultat catastrophique et d'une excessive variabilité interannuelle du rendement (Milleville et Serpantié, 1991).

Cette première analyse se révèle insuffisante pour comprendre précisément ce qui détermine la diversité des choix techniques des agriculteurs et pour juger de l'efficacité de ces pratiques. Par exemple, comment expliquer la variabilité de gestion des semis et de l'implantation (dates de semis et de repiquage, nombre de pépinières,...) d'un agriculteur à l'autre ? Comment se traduisent sur le fonctionnement du peuplement cultivé, les adaptations des dates de repiquage et de densité en fonction du type de sol et du scénario climatique ? Dans la gamme des milieux cultivés, quelle est la part jouée par la concurrence des adventices dans les variations de rendement ? Dans les chapitres suivants, on se propose d'une part de remonter aux prises de décision à l'origine des choix techniques et d'autre part de porter un jugement agronomique sur l'incidence des mauvaises herbes sur l'élaboration de la production et l'intérêt de leur maîtrise à l'aide du traitement herbicide.

Chapitre 3

Formalisation des règles de décision pour la conduite du *muskuwaari*, évolution avec l'adoption du traitement herbicide

Après un exposé des concepts et de la méthode utilisés, cette partie présente les résultats de la représentation des modes de conduite du *muskuwaari* par les agriculteurs sous la forme d'un système de règles de décision (RdD). On cherche notamment à mettre en évidence :

- les problèmes de décision liés à la particularité du système de culture, à savoir l'ajustement entre la production de plants et la période de repiquage en situation aléatoire,
- les savoir-faire développés par les agriculteurs pour répondre à ces problèmes et leur formalisation sous forme de modèle d'action et de RdD,
- l'évolution des RdD et des pratiques qui en résultent avec l'introduction récente de l'herbicide.

Une grille d'analyse des modes de conduite est ensuite proposée à l'usage de conseillers paysans, permettant notamment d'adapter le conseil sur l'utilisation de l'herbicide aux conditions du milieu et à l'organisation du travail.

1. FORMALISER LES DECISIONS TECHNIQUES POUR LA CONDUITE DU SORGHO REPIQUE : CONCEPTS ET METHODES UTILISES

L'analyse des pratiques des agriculteurs apparaît essentielle pour prendre en compte la diversité des situations dans la conception d'alternatives techniques. Elle s'avère cependant insuffisante pour comprendre les déterminants des pratiques et mettre en évidence les processus de décision des agriculteurs, c'est-à-dire "*le cheminement de la pensée qui, à partir d'une analyse d'un problème, guide le choix d'une solution*" (Le Gal et Milleville, 1995). Or les connaissances dans ce domaine se révèlent indispensables pour conseiller les exploitants sur des problèmes complexes tels que l'organisation du travail pour la conduite des cultures. Les théories et travaux développés sur la décision en agriculture à la fin des années 1980 (Sebillotte et Soler, 1988 ; Sebillotte et Servettaz, 1989) se sont inspirés des sciences de la décision et de la gestion sur le fonctionnement des entreprises (Simon, 1978 ; Courbon, 1982 ; cités par Sebillotte et Soler, 1990). Dans une exploitation agricole, contrairement à une entreprise industrielle, l'agriculteur constitue le principal décideur de diverses fonctions telles que la production végétale et/ou animale, l'équipement, la gestion des stocks... (Aubry, 1995). De façon schématique, les décisions qu'il est amené à prendre se distinguent en deux grandes catégories (Papy, 1995) :

- les décisions concernant la gestion stratégique de l'exploitation (choix de productions, décision d'investissement...);
- les décisions tactiques à caractère cyclique, répétées lors de chaque campagne agricole.

On s'intéresse plus particulièrement à cette dernière catégorie et en particulier aux décisions de conduite de culture, dont le caractère répétitif permet aux agriculteurs à force d'expérience d'élaborer implicitement un programme prévisionnel appelé modèle général (Cerf et Sebillotte, 1988 ; Sebillotte et Soler, 1988), puis "modèle de l'agriculteur pour l'action" (Aubry, 1995).

1.1. Le concept de modèle d'action

L'analyse de la conduite des cultures montre que les agriculteurs ne prennent pas leurs décisions au dernier moment, mais au contraire prévoient et anticipent. En s'appuyant sur l'étude des décisions d'implantation de la betterave sucrière, Sebillotte et Servettaz (1989) ont mis en évidence une organisation préalable planifiée des décisions. Cette représentation, commune aux agriculteurs, constitue un guide pour l'action et permet de structurer leurs décisions (Sebillotte et Soler, 1990). Il est possible de formaliser l'ensemble des connaissances et des raisonnements que chacun d'eux mobilisent pour conduire ses cultures sur le territoire de son exploitation et faire face aux aléas du climat (Papy, 1998). Un cadre général d'analyse des processus de décision des agriculteurs, le modèle d'action, a ainsi été élaboré (Sebillotte et Soler, 1990), permettant entre autres de représenter et d'analyser des décisions tactiques liées à la gestion de la sole d'une culture (Aubry, 1995 ; Aubry *et al.*, 1998 ; Dounias, 1998), mais aussi les processus décisionnels pour la gestion des systèmes fourragers (Duru *et al.*, 1995 ; Girard et Hubert, 1999) ou encore pour l'organisation du travail dans les exploitations de grande culture (Papy *et al.*, 1988 ; Papy *et al.*, 1990). Avec les multiples travaux sur la modélisation du fonctionnement des cultures, la formalisation des décisions techniques des agriculteurs commence à être utilisée dans l'élaboration de systèmes d'aide à la décision (Aubry *et al.*, 1997 ; Meinke *et al.*, 2001 ; Jones *et al.*, 2003). L'amélioration de ces systèmes passe d'ailleurs par une intégration plus importante des connaissances pratiques des agriculteurs sur la gestion technique de la production dans les démarches de modélisation (McCown, 2001 ; McCown, 2002).

Le modèle d'action appliqué à l'analyse de la conduite de la sole d'une culture est composé (Sebillotte et Soler, 1990 ; Aubry, 1995):

- de un ou plusieurs objectifs (date souhaitée d'implantation, de récolte, production attendue...)
- d'un programme prévisionnel d'enchaînement des travaux selon les objectifs et les contraintes liées au caractère limité de la main d'œuvre et du matériel
- de règles de décision visant à parvenir au déroulement souhaité des opérations (composition des chantiers de travail, découpage du temps en différentes périodes, arbitrage entre activités concomitantes...)
- de règles d'ajustements ou solutions de rechange face à certaines difficultés ou conditions climatiques particulières

Le modèle d'action change au cours du temps, compte tenu de l'évolution de l'expérience de l'agriculteur, de l'évolution des techniques et des contraintes auxquelles il est confronté (Sebillotte et Soler, 1990). Cette formalisation, initialement développée dans des systèmes de grande culture en France, a aussi été appliquée aux agricultures paysannes tropicales (Le Gal, 1995 ; Dounias, 1998 ; Dounias *et al.*, 2002). Des ajustements sont nécessaires pour utiliser les concepts et méthodes compte tenu de l'importance du risque et de l'incertitude dans ces agricultures manuelles, qui induisent des comportements techniques procédant plus de l'adaptation que de l'anticipation (Biarnès et Milleville, 1998).

Dans notre cas, il s'agit de comprendre comment les agriculteurs raisonnent leurs décisions techniques pour la conduite de la sole à *muskuwaari*, et d'examiner l'évolution des RdD avec l'introduction d'un changement technique comme le traitement herbicide de préparation.

1.2. Application du concept de modèle d'action pour analyser la conduite du *muskuwaari*

Nous utilisons le concept de modèle d'action pour formaliser les processus de décision et l'organisation du travail pour la conduite de la sole à sorgho repiqué. Il permet de représenter la manière dont les agriculteurs gèrent les

semis en pépinières, l'implantation et l'entretien de la culture. Comme on l'a vu précédemment, les problèmes de conduite du sorgho repiqué peuvent être découpés dans le temps en fonction des principales opérations culturales :

- la période des pépinières pour laquelle les agriculteurs sont confrontés à des décisions de déclenchement et d'échelonnement de semis à prendre en fonction de l'époque présumée du repiquage ;
- la période d'implantation pendant laquelle ils doivent gérer l'avancement de la préparation et du repiquage dans des conditions favorables sur l'ensemble de la sole, en relation avec l'approvisionnement en plants et les dernières pluies de la saison ; on peut parler de concurrence synchronique (Aubry, 1995) concernant le nettoyage des parcelles et les travaux de repiquage qui exigent en même temps des moyens communs de travail ;
- la période de sarclage du *muskuwaari* pendant laquelle des problèmes de gestion d'opérations concomitantes entre cultures peuvent se poser, puisqu'elle coïncide avec le moment des récoltes des cultures pluviales.

La période de récolte n'est pas abordée de façon précise car elle a lieu à un moment sans autres travaux agricoles. Il peut y avoir cependant des décisions d'ordre de récolte entre parcelles de la sole, en fonction de la maturité, mais surtout de contraintes liées aux dégâts causés par les oiseaux ou le bétail.

1.3. Concepts et catégories de RdD utilisés

La structure de notre modèle d'action retenue pour représenter les décisions des chefs d'exploitation concernant la conduite du *muskuwaari*, a été adaptée à partir de travaux sur la gestion technique de la sole d'une culture dans différents contextes (Aubry, 1995 ; Le Gal, 1995 ; Dounias, 1998 ; Papy, 2001). L'objectif étant avant tout de construire le modèle avec l'agriculteur et de constituer une représentation commune entre l'agriculteur et l'observateur extérieur (chercheur, conseiller...), on ne recherche pas un formalisme très élaboré des RdD (Aubry, 1995). On s'appuie sur différentes RdD articulées entre elles et regroupées en plusieurs catégories mises en évidence dans les travaux antérieurs et jouant un rôle dans la gestion technique du sorgho repiqué. La définition de ces catégories de RdD fait appel à plusieurs concepts liés à l'organisation des travaux des champs considérée comme "*une activité décisionnelle, au pas de temps annuel, qui consiste à allouer aux différentes opérations culturales à réaliser sur un territoire, les moyens de travail mobilisés pour le faire*" (Papy, 2001).

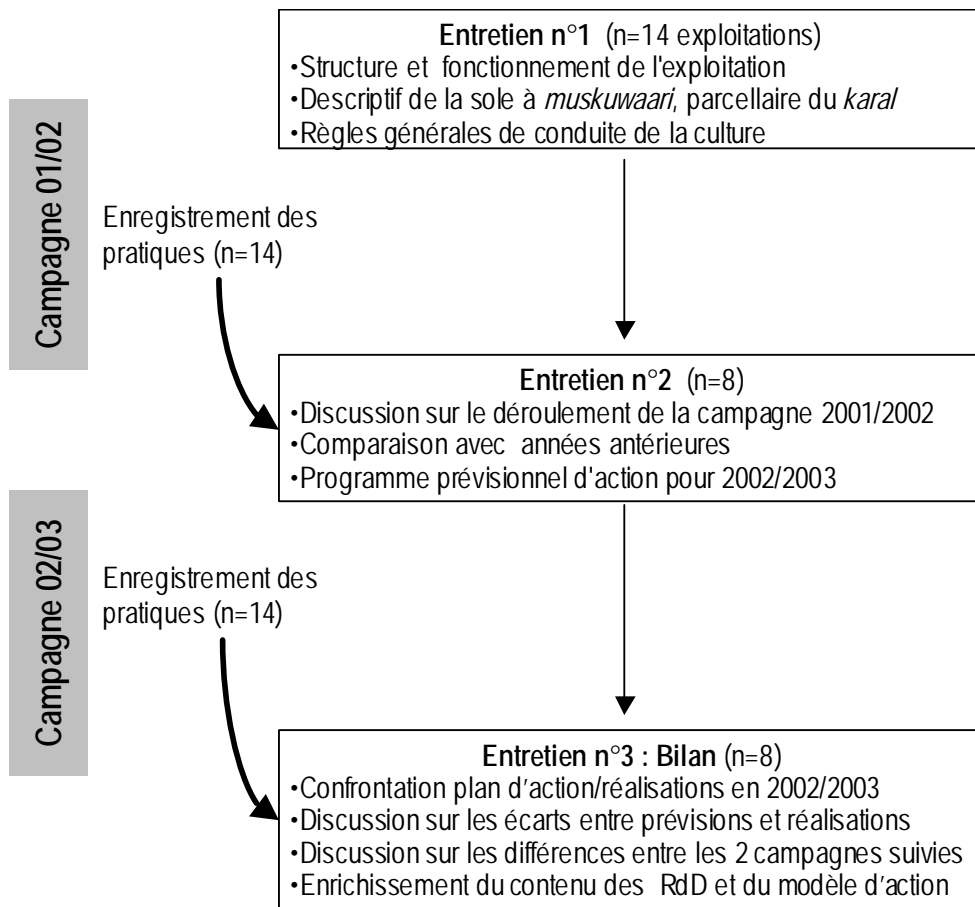
Règles de constitution des chantiers

Elles précisent les équipements et la main d'œuvre qui doivent être mobilisés ensemble pour une opération, c'est-à-dire la constitution des chantiers possibles pour effectuer une tâche culturale. Une tâche culturale peut être constituée d'une succession d'opérations à réaliser à la suite les unes des autres de façon très rapprochée. Ainsi le repiquage regroupe les opérations rapprochées de trouaison, d'ajout d'une dose d'eau et de transplantation des plants de sorgho.

Règles portant sur les dates et conditions d'intervention souhaitées

Cela concerne les règles de déclenchement et de fin qui conditionnent le début et la fin d'une opération pour un ensemble de parcelles. L'agriculteur peut construire une anticipation des opérations à réaliser à partir des connaissances qu'il a à chaque date de l'évolution probable du climat, des comportements des sols et des végétaux sous le climat probable et des conditions favorables d'intervention (Papy, 2001). Les règles d'intervention peuvent être modulées (selon les conditions climatiques, l'état du sol...) si les conditions de bonne réalisation des travaux tardent à venir.

Figure III-1 : Déroulement et contenu des enquêtes parallèlement aux deux campagnes de suivi



Ces règles vont déterminer le positionnement dans le temps des **séquences de travaux**. Deux concepts concernant la gestion du temps dans la conduite de la culture peuvent être associés à cette catégorie de RdD (Papy et Servettaz, 1986):

- le **créneau de réalisation des tâches culturales**, qui constitue le laps de temps pendant lequel il est souhaitable de réaliser la tâche sous peine de ne pas atteindre les objectifs de conduite de la culture ;
- les **jours disponibles** pour une tâche donnée, qui correspondent aux jours où les conditions de réalisation de cette tâche sont satisfaites. En effet, au sein d'un créneau, les conditions climatiques, aléatoires, ne rendent pas toujours l'opération possible.

Les règles d'enchaînement et d'arbitrage

Ces règles régissent l'affectation du temps et des moyens entre les ensembles de parcelles de cultures différentes, ou entre des opérations concomitantes. Les règles d'arbitrage découpent le temps en **périodes** qui représentent le laps de temps défini par l'existence d'une priorité d'une culture sur une autre. Les périodes sont limitées dans le temps par les règles de déclenchement et de fin de l'opération concernant la sole prioritaire. On passe d'une période à une autre par le changement de règle d'arbitrage entre cultures. Le nombre et le positionnement des séquences de travaux dépendent de cette structuration du temps en périodes.

Les règles d'enchaînement des opérations sont liées à des règles d'allotement, qui découpent la sole en lots de parcelles. Dans le cas d'une sole à *muskuwaari*, le découpage est essentiellement basé sur des caractéristiques topographiques et pédologiques. Ces lots sont affectés aux différentes séquences de travaux avec ou non des priorités au sein de chaque séquence grâce aux règles d'arbitrage entre parcelles. A ces lots correspond aussi des modalités d'intervention.

Les règles de gestion des intrants

Ces règles portant sur le choix de la nature, la quantité et la qualité des intrants sont en construction dans le cas de la culture du sorgho repiqué, en particulier concernant l'utilisation de l'herbicide.

Ces catégories de règles combinées entre elles aboutissent au déroulement prévisionnel des travaux. Les observations de faisabilité permettent de prendre en compte le contexte réel de travail et conditionnent la réalisation effective des opérations prévues (humidité du sol, recouvrement des adventices,...). Des solutions de rechange ou ajustements peuvent être activés par l'agriculteur face aux aléas climatiques et à des difficultés imprévues. Cette formalisation nécessite des entretiens ainsi que des suivis de pratiques afin de pouvoir confronter ce que l'agriculteur a prévu et ce qu'il a fait.

1.4. Méthode d'enquêtes et déroulement

Le suivi des pratiques, notamment le relevé des calendriers de travaux, a été effectué auprès de 14 agriculteurs, dont 7 à Mowo et 7 à Balaza. Les caractéristiques de structure de ces exploitations figurent en Annexe 3. Faute de temps, les premiers entretiens lors de la campagne 2001/2002 n'ont pas tout de suite permis de proposer le modèle d'action. Ils ont été consacrés à identifier les règles générales de conduite du *muskuwaari* (Figure III-1), en essayant de bien comprendre les différents problèmes que les agriculteurs ont à résoudre, en particulier l'articulation entre semis et repiquage.

Le modèle a pu être ébauché à partir d'enquêtes fines avant le début de la campagne 2002/2003 (entretien n°2), visant notamment à recueillir le programme prévisionnel d'action de l'agriculteur, ce qu'il compte faire. Ces enquêtes ont été réalisées dans seulement 8 exploitations (4 à Mowo et 4 à Balaza), compte tenu de la longueur des entretiens. Les agriculteurs ont été sélectionnés de façon à couvrir une gamme variée de structures

d'exploitation et de caractéristiques de la sole à *muskuwaari*, dont on fait l'hypothèse qu'ils constituent des facteurs déterminants de l'organisation du travail pour la conduite du sorgho repiqué.

La validation du modèle d'action a été faite lors d'un entretien "bilan" en 2003 (entretien n°3) après la récolte, pour confronter le dit et le fait, et discuter avec l'agriculteur des écarts par rapport au programme prévisionnel. Le modèle a également été validé sur les données de la campagne 2001/2002, ce qui a permis de discuter de sa stabilité et d'analyser avec l'agriculteur les raisons de son éventuelle évolution.

1.5. Formalisation des résultats

On cherche à proposer un modèle de conduite de la culture suffisamment général, prenant en compte l'ensemble des problèmes que les agriculteurs ont à résoudre. Pour cela, nous choisissons de présenter une exploitation recouvrant le plus de complexité concernant la gestion du *muskuwaari*, c'est-à-dire où sont posés la plupart des problèmes rencontrés séparément dans les autres exploitations. A travers l'analyse de ce cas, l'objectif est d'identifier les différents aspects pour lesquels l'agriculteur est amené à faire des choix et prendre des décisions. L'exploitation retenue présente une proportion importante de sorgho repiqué, avec une grande hétérogénéité de types de sols. L'agriculteur raisonne de façon assez précise ses choix techniques et organisationnels, compte tenu de son expérience de la culture et des nombreuses contraintes auxquelles il est confronté. Ces caractéristiques, susceptibles d'entraîner des situations de décision complexes, permettent de mettre en évidence une large gamme de RdD.

L'écriture des RdD à partir de l'exemple d'une exploitation est complétée par une analyse comparée des autres agriculteurs enquêtés. On peut ainsi tester le modèle général en montrant l'existence de métarègles, c'est-à-dire de RdD qui présentent un contenu homogène d'un agriculteur à l'autre (Dounias, 1998). Il s'agit aussi de mettre en évidence la variabilité du contenu des RdD et de dégager le cas échéant différents modes de conduite, pour lesquels l'utilisation du traitement herbicide de préparation est discutée.

Lors des premières enquêtes, la connaissance trop approximative des problèmes à résoudre dans la conduite de l'implantation a limité notre capacité à poser les bonnes questions pour mettre l'agriculteur en situation. De plus, les agriculteurs ont parfois éprouvé des difficultés à formaliser des décisions prises souvent en situation de forte incertitude. Ainsi, les enquêtes prévisionnelles n'ont pas toujours été suffisantes pour dégager le programme de l'agriculteur, et le contenu des RdD a parfois été précisé ou déduit à partir du suivi des pratiques au cours des deux années d'enquêtes.

Comme cela a déjà été évoqué, les agriculteurs valorisent l'hétérogénéité du sol à l'intérieur de leur *karal* lors de l'enchaînement des opérations d'implantation. Ainsi, on considère une parcelle comme étant une portion de *karal* caractérisée par un type de sol particulier et traitée de façon homogène du point de vue des dates et modes d'intervention pour l'implantation. Les agriculteurs réalisent différentes séquences de préparations et de repiquage qui, en fonction de l'organisation du travail, peuvent avoir lieu successivement ou simultanément et être réalisées par parcelle ou lot de parcelles. Une séquence de repiquage est déterminée par la coïncidence entre des plants disponibles en pépinières et des conditions favorables pour la transplantation dans une parcelle ou un lot de parcelles d'un *karal* voire de plusieurs *kare*. Par souci de simplification et de lisibilité des modèles d'action, les séquences identifiées au cours du suivi des pratiques ne sont pas toujours toutes représentées. Par exemple, si l'on observe une journée de repiquage sur une petite parcelle légèrement surélevée, puis un jour d'interruption suivi d'une autre journée de repiquage dans la portion adjacente, une seule séquence de repiquage est représentée.

Les modèles d'action ainsi formalisés à partir d'études de cas détaillées, constituent un cadre de représentation générique des processus de décision qui peut être utilisé sur des exploitations diverses (Le Gal et Milleville, 1995). Dans notre cas, il s'agit d'accorder une attention particulière à l'intégration d'une nouvelle technique telle que le traitement herbicide, dans le système de RdD que l'on cherche à formaliser.

2. RESULTATS SUR LES RDD ET FORMALISATION DES MODELES D'ACTION

En partant de la problématique des semis et de l'implantation évoquée dans le chapitre 2 et en tenant compte des règles sociales et normes qui régissent le système de culture, il s'agit ici de préciser les solutions d'organisation du travail mises en œuvre par les agriculteurs. Les RdD pour la conduite des semis, de l'implantation et de l'entretien de la sole à *muskuwaari* sont formalisées à travers une étude de cas. L'écriture des RdD est enrichie en mettant en évidence les différences dans l'organisation du travail grâce aux enquêtes fines menées chez d'autres agriculteurs (Annexes 4 à 10). Les modèles d'action ainsi élaborés, sont validés à partir du suivi des pratiques réalisées pour l'ensemble de l'échantillon, en accordant une attention particulière aux évolutions entraînées par l'utilisation récente des herbicides. Une meilleure compréhension des modes d'organisation du travail pour l'implantation doit permettre d'examiner l'insertion du traitement herbicide dans les systèmes, afin d'aider les agriculteurs à raisonner son application dans le temps et dans l'espace.

2.1. Formaliser les RdD à travers l'exemple de l'exploitation de G.O

L'exploitation retenue présente une diversité de terres à *muskuwaari*. G.O possède deux grands *kare* autour du village de Balaza, l'un à dominante de vertisols intermédiaires de type *sa'doore* et l'autre avec des terrains plus argileux de type *baleewal*. Pour la conduite du *muskuwaari*, il sollicite à la fois la main d'œuvre familiale et des manœuvres temporaires. G.O dispose d'une expérience solide concernant la culture du *muskuwaari* et fait figure d'agriculteur référent notamment concernant les décisions de déclenchement des opérations.

2.1.1. *Eléments de structure et de fonctionnement de l'exploitation de G.O*

G.O est Fulbé, l'ethnie dominante du village. Agé de 55 ans, il est originaire de Balaza Domayo où il a acquis sa longue expérience de la culture du *muskuwaari*. Il dispose d'une bonne assise foncière qui assure notamment la sécurité alimentaire de l'UP (Unité de Production), avec plus de la moitié de l'assolement consacrée au *muskuwaari* (Tableau III-1). Cependant, les surfaces en extension (1ha) exploitées par ses deux fils pour la culture du coton, ne figurent pas dans le décompte de l'assolement. Les céréales constituent parfois une source de revenus selon le marché vivrier.

L'élevage bovin (8 têtes) représente à la fois une forme de capitalisation et une source de revenu avec l'activité d'embouche. G.O possède par ailleurs 2 bœufs et un cheval utilisés comme force de traction. Si l'un des attelages n'est pas utilisé pour l'implantation de la sole pluviale, il est loué par d'autres agriculteurs du village. La participation de G.O à l'équipe de commercialisation au sein du GIC coton lui fournit aussi un complément de revenu lors du marché de coton. Compte tenu d'un bon niveau d'équipement et d'une importante main d'œuvre familiale (2 fils adultes présents dans l'UP), G.O n'emploie pas de salariés permanents ou saisonniers (manœuvres logés, nourris et payés). Grâce à ses divers revenus agricoles, il peut disposer en permanence de trésorerie permettant le recours occasionnel à des manœuvres temporaires lors des pointes de travail.

Tableau III-1 : Principaux indicateurs pour les 2 années d'enquêtes (Surf. cultivée : 5,75 ha en 2001 et 6,5ha en 2002)

Proportions moyennes des surfaces cultivées		Ressources en travail			Objectifs et stratégies
%musk.	% sole pluviale	MOF en ha/UTA ¹	Equipmt	Salariés	
<u>2001</u> : 52 %	48 %	0,95	2 attelages	occasio-nnels	Augmentation du revenu, autosuffisance alimentaire, capitalisation dans l'élevage et si possible augmentation du foncier ↳ intensification des cultures pluviales, surtout coton et amorce recours aux intrants pour <i>muskuwaari</i> ↳ ventes surplus céréales ↳ embouche bovine
<u>2002</u> : 55 %	45 %				

Tableau III-2 : Les différents chantiers et modalités d'intervention de G.O pour la culture du *muskuwaari*

Opérations	Composition des chantiers	Différentes modalités d'intervention
Aménagement <i>karal</i>	chef UP + 2 fils (+ attelage)	diguettes tracées à la charrue (nouvel aménagement) et levées manuellement (aménagement et réfection)
Semis pépinières	chef UP + 1 fils + 1 attelage	labour mécanique ⇒ semis
Implantation et entretien		
↳ Préparation	– chef UP + 2 fils et/ou – salariés temporaires	<u>vertisols dégradés ou intermédiaires</u> , graminées annuelles dominantes, recouvrement moyen à fort : ↳ fauchage ⇒ brûlage ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage ↳ traitement herbicide ⇒ brûlage ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage
↳ Repiquage	– trouaison : chef UP + 2 fils – transplantation : tous les actifs familiaux	<u>vertisols modaux, inondation temporaire</u> , recouvrement moyen à faible par graminées annuelles + vivaces : ↳ fauchage ⇒ repiq. ⇒ 2 sarclages ↳ apport herbes extérieures ⇒ brûlage ⇒ repiq. ⇒ 2 sarclages ↳ labour ⇒ repiq. ⇒ 2 sarclages ↳ traitement ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage
↳ Sarclage	– chef UP + 2 fils et/ou – salariés temporaires	sarclage avec couperet (<i>wiikordu</i>)

¹ Unité de Travail Agricole

La situation de l'exploitation et les objectifs poursuivis par G.O demeurent assez constants entre 2001 et 2002. G.O dispose de 2 *kare* en 2001 puis d'un 3^{ème} hérité en 2002, tous relativement proches du siège de l'exploitation, ce qui limite les inconvénients pour l'organisation du travail. La dispersion de ses terres à *muskuwaari* dans différents milieux constitue un atout pour l'étalement des chantiers d'implantation. En plus de l'utilisation d'autres intrants (traitement de semences, fertilisation pépinière), G.O a déjà intégré l'utilisation de l'herbicide dans la conduite du sorgho repiqué, lui offrant une marge de manœuvre supplémentaire pour l'enchaînement des chantiers d'implantation. Cette innovation se substitue en partie aux manœuvres temporaires employés pour le fauchage.

2.1.2. Règles de décision pour les semis, l'implantation et l'entretien du *muskuwaari*

G.O pratique le sorgho repiqué depuis de nombreuses années ce qui lui a permis d'enrichir et d'affiner ses règles de décision et modes de conduite. C'est un des premiers dans le village à avoir adopté le traitement herbicide pour la préparation du *muskuwaari*. Cette technique s'avère d'autant plus intéressante que G.O a augmenté sa surface en *muskuwaari* de 2,75 ha en 2001 à 3,5 ha en 2002 grâce à une nouvelle parcelle *sa'doore*. Lorsque l'on demande à G.O de planifier ses interventions pour les semis et l'implantation du sorgho repiqué, il fait immédiatement référence au calendrier des "étoiles", ce qui signifie qu'il a des repères dans le temps pour le déclenchement des opérations, mais les décisions restent conditionnées par un événement et/ou certains indicateurs du milieu.

2.1.2.1. Constitution des chantiers et modalités d'intervention

En tant que chef de l'UP, G.O est responsable de la conduite technique pour l'ensemble de la sole à *muskuwaari*. Pour chaque opération, il décide de l'affectation de la main d'œuvre, aboutissant à la constitution de différents chantiers. Il choisit également les modalités d'intervention et d'enchaînement selon les types de terrains et d'enherbement formant des parcelles ou lots de parcelles (Tableau III-2)

G.O est attentif aux premiers travaux d'aménagement du *kara*, considérés comme indispensables à la bonne recharge en eau du sol et à la réussite de la culture. Avec l'aide ponctuelle de ses 2 fils, il y consacre 5 à 10 jours répartis entre août et mi-septembre, en fonction des épisodes de pluie et des opérations à mener dans la sole pluviale. Ces travaux d'édification ou de réfection des diguettes ne débutent pas trop tôt (fin août) afin d'éviter que les ouvrages ne soient trop dégradés par les pluies. Les itinéraires techniques pour l'implantation varient selon le type de sol, facteur déterminant pour la nature de l'enherbement et le niveau de recouvrement par les adventices. Dans les situations avec un recouvrement moyen à fort, le fauchage ou le traitement herbicide sont toujours suivis du brûlage pour éviter que les herbes mortes ne gênent l'opération de repiquage (Tableau III-2). Lorsque le recouvrement avant préparation est plus faible, le brûlage, parfois recherché pour bien maîtriser les adventices avant l'implantation, n'est possible qu'avec l'apport de pailles prélevées en brousse.

Dans son organisation du travail, G.O tente d'utiliser au mieux la main d'œuvre familiale, complétée ponctuellement par des manœuvres temporaires, notamment pour les chantiers de fauchage et de sarclage. Le nombre relativement élevé d'actifs dans l'exploitation offre la possibilité de mener plusieurs chantiers de front. Il peut ainsi décider d'affecter ses fils pour le fauchage d'une parcelle, parfois complété par des manœuvres salariés, tandis qu'il mène un chantier de repiquage avec le reste de la main d'œuvre familiale. Plus rarement, deux chantiers de repiquage sont effectués en même temps, mais jamais trois chantiers à la fois.

2.1.2.2. La gestion des semis en pépinières

G.O prévoit toujours au moins 3 semis échelonnés de pépinières et une 4^{ème} pépinière si les pluies se prolongent. Il se repère au calendrier des étoiles et effectue la première pépinière à partir du 3^{ème} jour de *harsan* (autour du 15 août), dès qu'il y a une pluie favorable à la réalisation du semis (pluie>5mm). Il échelonne les semis en fonction des pluies à la fin du mois d'août et début septembre.

P₁ est toujours de surface assez réduite et effectuée sur un emplacement bien fertile, avec une variété précoce. G.O s'assure ainsi d'avoir des plants rapidement disponibles quel que soit le scénario climatique qui suivra. Cette première pépinière est généralement sollicitée pour le repiquage de petites portions de *kara* surélevées au sol filtrant (ancienne termitière, *daande maayo*) où les pluies même tardives ne sont pas trop gênantes pour la préparation de la parcelle et la reprise du sorgho. Par ailleurs, s'il y a interruption précoce des pluies, G.O peut disposer de ces premiers plants pour engager rapidement le repiquage et limiter l'abandon de surfaces lié au dessèchement du sol.

G.O augmente toujours les surfaces et les quantités semées en P₂ et surtout en P₃. En augmentant la superficie, les emplacements présentent une plus grande hétérogénéité de sol (présence d'une ancienne termitière dans une partie de la pépinière par exemple), ce qui permettra d'étaler le prélèvement des plants dans une même pépinière. Pour G.O, P₃ doit ainsi fournir la majorité des plants nécessaires au repiquage. Il envisage une 4^{ème} pépinière 10 à 15 jours après P₃, s'il constate que les pluies persistent, pour être en mesure de repiquer les parties basses de ses *kare*, les mares en particulier, où l'inondation peut se prolonger jusque fin octobre. Pour P₄, G.O prévoit systématiquement un apport d'engrais et privilégie un emplacement bien fertile et humide (termitières notamment), pour s'assurer de la production de plants quelle que soit la pluviométrie après la mi-septembre. En cas de pénurie ou de mauvaise qualité de plants, G.O a recours exceptionnellement à des pépinières de producteurs voisins.

Il sème en grande majorité le type *majeeri*, pour ses caractères de précocité et de résistance aux foreurs des tiges. Il conserve toujours des semences de *safraari* et *ajagamari* qu'il repique pour leur bonne productivité, dans les portions de *kara*/les plus fertiles.

2.1.2.3. Déroulement des semis en 2001 et 2002 (Cf. Tableau III-3 et Figure III-3)

En 2001, la réalisation des semis est conforme à l'organisation exposée. Les pluies régulières fin août ont permis 3 semis réguliers, espacés tous les 5 ou 6 jours à partir du 15 août. Compte tenu des pluies abondantes et régulières en septembre, G.O effectue un 4^{ème} semis le 14 septembre.

En 2002, la faible pluviométrie du mois d'août a perturbé le déclenchement et la croissance des semis. Entre le 15 et le 31 août, seulement 16 mm de pluie ont été enregistrés. Par rapport à 2001, G.O a été contraint de retarder le premier semis au delà de la référence du calendrier local, et à dû se contenter d'une pluie de 2 mm pour installer P₁. Les mauvaises conditions de levée ont fortement pénalisé cette première pépinière dont seuls quelques plants sur termitière ont servi au repiquage. De même P₂, réalisé sur un emplacement de fertilité moyenne, n'a pas produit la quantité et la qualité de plants espérés. P₃, effectuée sur un emplacement assez humide, a été bien valorisée pour la 2^{ème} séquence de repiquage. G.O a pu en valoriser une partie dans ses parcelles *sa'doore*, mais il a préféré prélever des plants plus grands dans un village voisin pour repiquer ses parcelles de *baleewar*². Compte tenu de conditions peu favorables pour la croissance des 3 premières pépinières, G.O a rapidement décidé de semer une 4^{ème} pépinière, début septembre, d'autant plus que les surfaces à repiquer ont augmenté de 0,75ha par rapport à 2001. Les pluies plus importantes en septembre ont

² Dans ces sols, où des fentes profondes apparaissent au cours de la saison sèche, les trous de repiquage doivent être plus profonds ce qui nécessite des plants suffisamment grands lors de la transplantation.

déclenché un "resemis" dans P₃, de 2 kg de semences *ajagamari*, variété bien productive au même titre que *safraari*, mais un peu plus précoce d'après lui.

A la suite de cette campagne, une des résolutions de G.O est de rendre systématique la réalisation d'une 4^{ème} pépinière peu de temps après P₃, compte tenu de l'augmentation de sa superficie en *muskuwaari*. Il envisage un 5^{ème} semis au cours du mois de septembre comme un moyen d'ajuster sa production de plants si les pluies se prolongent.

Tableau III-3 : Caractéristiques des pépinières de G.O en 2001 et 2002

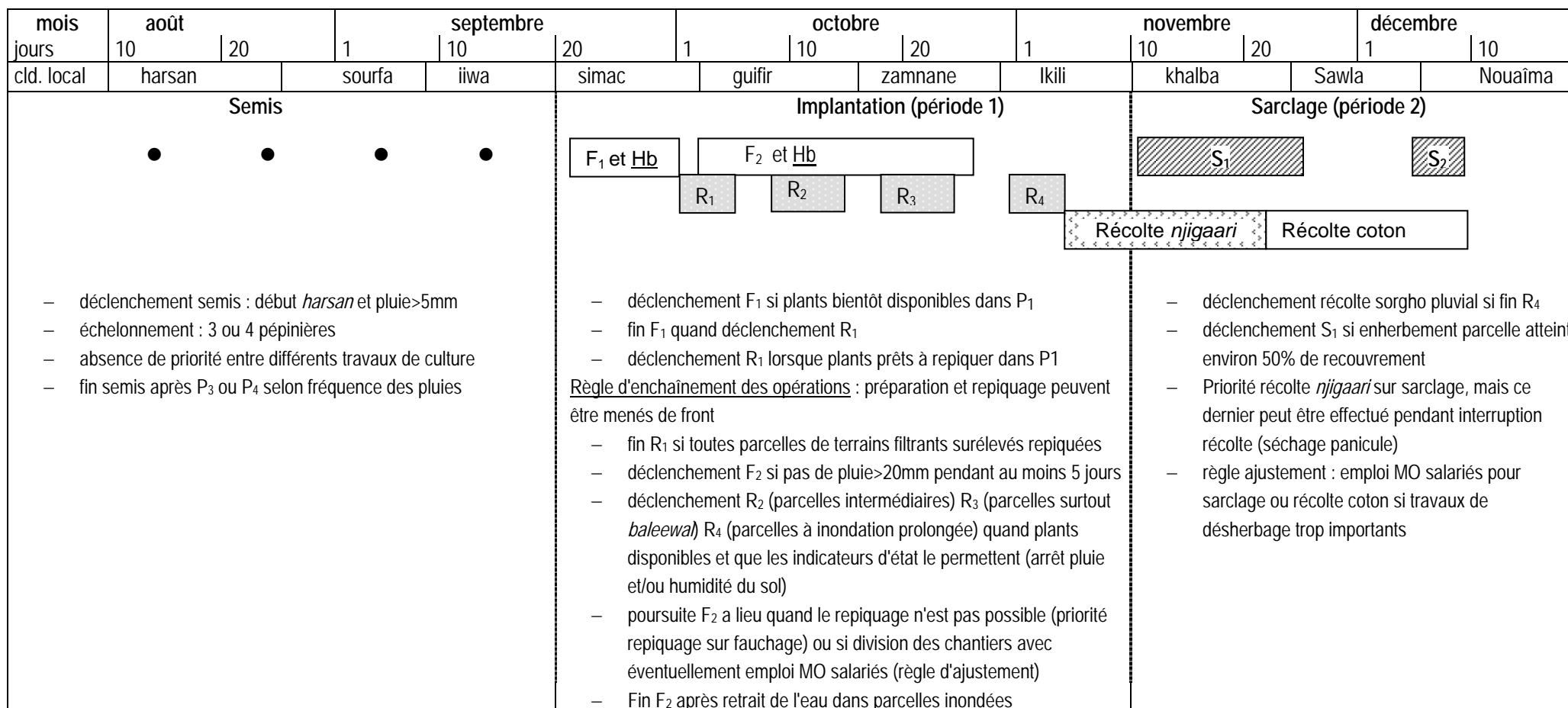
Pépinières	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	
2001					
variété(s)	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>maj.+ safra</i>	<i>majeeri</i>	
qté semences (kg)	3	6	11	2	
mode préparation	charrue	charrue	charrue	houe	
surf. pépinière (m ²)	240	400	700	80	
niveau fertilité selon G.O	++	+	+	+++	
2002					P_{3bis}
variété(s)	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>maj.+safra</i>	<i>maj.+safra</i>	<i>ajagamaari</i>
qté semences (kg)	3	5	11	8	2,5
mode préparation	charrue	charrue	charrue	charrue	houe
surf. pépinière (m ²)	280	520	800	600	150
niveau fertilité selon G.O	+	+	++	+++	++

+++ : très bonne fertilité (termitière) ou apport fumure minérale

++ : bonne fertilité

+ : fertilité moyenne

Figure III-2 : Modèle d'action de G.O : RdD pour l'enchaînement des opérations



Légende :
● semis pépinière

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou traitement herbicide (Hb)

S₂ : sarclage séquence 1



R₁ : repiquage séquence 1




Figure III-3 : Réalisations en 2001/2002 et 2002/2003

mois	août			septembre			octobre			novembre			décembre												
jours	10	20		1	10	20	1	10	20	1	10	20	1	10											
calend. local	harsan			sourfa			iiwa			simac			guifir		zamnane		lkili		khalba		Sawla		Nouaïma		
pluies	P	P	p	P	p	P	P	P	P	P	p	p													
2001	musk	●		●																					
	R.pl																								
2002	musk			●			●																		
	R.pl																								

Légende :

p : pluie supérieure à 5mm
 P : pluie supérieure à 20mm
 ● semis pépinière
 R.pl : récoltes cultures pluviales

 F₁ : fauchage séquence 1 et/ou herbicide (Hb) ou labour (L₁)
 R₁ : repiquage séquence 1

 S₁ : sarclage séquence 1
 : opération en partie effectuée par des manœuvres temporaires
 R Dj₁ : récolte *njigaari* (sorgho pluvial) séquence 1

2.1.2.4. La conduite de l'implantation et de l'entretien de la sole à *muskuwaari*

G.O possède différents *kare* aux caractéristiques édaphiques hétérogènes. Les RdD concernent le déclenchement et l'enchaînement des opérations dans les différents terrains, et l'arbitrage entre les sarclages et les travaux de récolte des cultures pluviales. Le calendrier local reste un repère auquel il fait référence pour situer le positionnement des interventions dans le temps, mais le déclenchement de l'implantation est avant tout guidé par des événements et indicateurs du milieu. Bien que l'enchaînement de l'implantation soit réalisé de manière continue dans l'ensemble de la sole, d'après les références calendaires citées par G.O, on peut distinguer :

- l'implantation des terrains en topographie haute et intermédiaire avec la diminution puis l'arrêt des pluies, généralement au cours du mois de *iwa* (mi-septembre) ;
- l'implantation après retrait de l'eau et ressuyage des parcelles de bas de pente, à partir de fin *simac* (1^{er} octobre).

✓ *Déclenchement de l'implantation dans les parties surélevées et intermédiaires*

La règle de déclenchement du fauchage sur les parties en topographie haute est constituée :

- d'indicateurs d'opportunité :
 - ↳ diminution de la fréquence des pluies. Mis à part le cas particulier de certains sols filtrants, cet indicateur peut se traduire ainsi : absence de pluies supérieures à 20mm pendant au moins 5 jours pour les hardés et certains *sa'doore* ;
 - ↳ premiers signes de dessiccation du sol, "maturité" de certaines graminées annuelles telles que *Setaria sphacelata* (*wicco waandu*) et *Loudetia togoensis* (*selbo*).
- d'un événement, en l'occurrence lorsque les premiers semis sont bientôt prêts à être repiqués.

L'initiation des travaux de nettoyage et repiquage des parcelles les plus filtrantes (*daande maayo*, ancienne termitière) est uniquement conditionnée par le niveau de croissance du premier semis de pépinière. Les épisodes pluviométriques peuvent seulement obliger une interruption du chantier de quelques jours, par exemple pour laisser les herbes sécher avant de poursuivre le fauchage ou d'effectuer le brûlage. Grâce au caractère filtrant de ces sols, une pluie peut survenir juste après le repiquage, sans gêner la reprise des plants, ce qui explique que l'on commence l'implantation sur ces sols. G.O assure lui-même la préparation de ces parcelles avec ses fils et engage la première séquence de repiquage sur ces sols dès que les plants sont disponibles.

Par contre pour les sols *toonde*, hardés, et certains *sa'doore* où l'eau ruisselle et s'infiltre plus lentement, G.O ne tient pas seulement compte de la disponibilité en plants, mais aussi de l'interruption des pluies. Le fauchage est déclenché dès que les plants sont bientôt prêts et qu'il n'y a pas eu de fortes pluies (pluviométrie > 20mm) pendant 5 jours. Comme cela a été évoqué dans le précédent chapitre G.O cherche ainsi à réduire le risque de pourrissement des plants repiqués à cause d'une pluie juste après le repiquage. Le fauchage est rapidement suivi du repiquage qui, pour les vertisols intermédiaires, doit être fait de préférence quand l'horizon supérieur du sol est encore humide. Leur mise en culture est réalisée en partie lors de la 2^{ème} séquence de repiquage (Figure III-2), menée de front avec la poursuite du fauchage notamment dans les parcelles *baleewal*.

✓ *Déclenchement de l'implantation pour les parcelles en bas de topographie*

En fin de saison des pluies, ces terrains sont inondés ou fortement engorgés. La préparation n'est déclenchée qu'après le retrait de l'eau et/ou le ressuyage du sol (période repère : fin *simac*, début *guifir* soit début octobre).

Le repiquage se fait à sec dans ces terrains lourds et argileux, induisant un délai plus long entre le fauchage et le repiquage en particulier les années de forte pluviométrie. Cela offre plus de marge de manœuvre, notamment pour l'approvisionnement en plants. Cependant, les années à faible pluviométrie, certaines portions bien que très argileuses mais légèrement surélevées, peuvent s'assécher très vite et exiger une implantation rapide.

Depuis l'introduction de l'herbicide, G.O peut réaliser un traitement de préparation dans certaines parties de son *karal* infestées par des adventices vivaces (*Launaea cornuta*, *Oryza longistaminata*... dans les *kare baleewal*). Compte tenu du délai d'action du glyphosate, G.O considère que le traitement doit avoir lieu au moins 15 jours avant la date présumée du repiquage. Cette intervention se passe donc en même temps que les premières séquences de fauchage dans les parcelles en haut de toposéquence³. Compte tenu de l'adoption récente de cette innovation, il est encore dans une phase d'apprentissage concernant les RdD de déclenchement du traitement. Comme on le verra à travers l'analyse des essais dans le chapitre 4, le contenu de la règle va varier selon l'enherbement, la matière active utilisée et la nécessité ou non de brûler la couverture végétale morte après le traitement.

✓ *Enchaînement des opérations d'implantation*

L'objectif prioritaire pour G.O est de parvenir à repiquer en conditions optimales du point de vue de l'état du sol. Pour cela, il ajuste son organisation du travail en menant de front les chantiers de fauchage et de repiquage. Pour accélérer la préparation et repiquer à temps, il sollicite occasionnellement des manœuvres temporaires. L'utilisation de l'herbicide, introduit depuis 3 ans, entraîne une évolution du modèle d'action puisque le gain de temps offert par le traitement limite le recours à ces salariés. L'objectif secondaire consiste, en fonction de la production des pépinières, à adapter la variété et la taille des plants selon le type de terrain.

Tableau III-4 : Ordre de repiquage des différents terrains et pépinières utilisées

séquences repiquage	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	
Enchaînement "idéal"					
Terrains	d.maayo + termitières	hardé sd ⁴ , hardé blw, <i>sa'doore</i>	fin <i>sa'doore</i> , <i>baleewal</i>	fin <i>baleewal</i> , mares	
pépinière prévue	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	
Enchaînement en 2001					
Terrains	termitières, hardé blw	<i>sa'doore</i> ,	hardé sd, fin <i>sa'doore</i> , <i>baleewal</i>	fin <i>baleewal</i> , mares, d.maayo	
pépinières utilisées	P ₁ + P ₂	P ₂ + P ₃	P ₂ + P ₃ + P ₄	P ₃ + P ₄	
Enchaînement en 2002					R₅ (ajustement)
Terrains	d.maayo, termitières	<i>sa'doore</i>	<i>sa'doore</i> hardé blw hardé sd	hardé sd fin <i>sa'doore</i> <i>baleewal</i>	fin <i>baleewal</i> , mares
pépinières utilisées	P ₁ + P ₂	P ₁ + P ₃ + P ₄	P ₂ + P ₃ + P ₄	P _{extérieure} + P ₄	P ₅

En définitive, G.O raisonne l'organisation des travaux d'implantation par parcelle ou groupe de parcelles, puisque le repiquage apparaît organisé en lots de parcelles différenciés selon les grands types de terrain

³ Par ailleurs, depuis l'introduction du glyphosate pour lutter contre certaines mauvaises herbes vivaces, G.O a spontanément testé l'utilisation du paraquat (Gramoxone) sur un couvert à dominante de graminées annuelles dans son *sa'doore*. Cet herbicide de contact permet d'accélérer le nettoyage de la parcelle puisque le brûlage est possible dès les jours suivant l'application.

⁴ Parmi les différents terrains cultivés par G.O, on distingue les "hardé *sa'doore*" (hardé sd) correspondant à des parcelles de sol hardé dans un *karal* à dominante *sa'doore*, des "hardé *baleewal*" (hardé blw) situés dans un *karal* à dominante *baleewal*.

(cf. enchaînement "idéal", Tableau III-4), mais également par opération puisque la préparation (fauchage ou traitement) est effectuée pratiquement en continu si les conditions climatiques le permettent et lorsque les conditions de repiquage ne sont pas réunies (Figure III-2).

✓ *Articulation des sarclages avec les récoltes des cultures pluviales*

Les travaux de récolte débutent par celle du sorgho pluvial, déclenchée dès la fin du repiquage. La récolte du coton a lieu généralement une fois que celle du sorgho *njigaari* est terminée. Le sarclage du *muskuwaari*, systématiquement concomitant des récoltes des cultures pluviales, n'est pas prioritaire. Pour G.O, le sarclage peut être effectué lorsqu'il y a des interruptions de la récolte du sorgho liées au délai nécessaire pour le séchage des panicules après avoir coupé les tiges, et également en répartissant les actifs familiaux dans les différents chantiers. Il ne prévoit de recours à des manœuvres salariés (pour le sarclage ou la récolte coton) que dans les conditions suivantes :

- la pression des adventices dans le *muskuwaari* est trop forte
- ses fils souhaitent se consacrer à la récolte de leur propre parcelle de coton ou au démarrage du maraîchage de saison sèche (oignon)

2.1.2.5. Déroulement de l'implantation et des sarclages en 2001 et 2002 (Figure III-3)

En 2001, compte tenu de la pluviométrie régulière et abondante en août-septembre ayant permis une bonne humectation des sols, G.O a engagé progressivement le fauchage et le traitement herbicide, interrompus momentanément par une pluie fin septembre, ce qui explique la réalisation de deux séquences F₁ et F₂. Une fois que la préparation était bien avancée, il a conduit le repiquage des différents terrains en topographie haute en une seule séquence, après l'arrêt des pluies, sans séparer comme il le prévoit généralement, la première implantation sur les terrains filtrants. Cela se justifie d'autant plus qu'une grande portion de sa parcelle *daande maayo* (vertisol intermédiaire filtrant) dans un de ses *kare*, était déjà occupée par du sorgho pluvial.

L'enchaînement du repiquage dans les vertisols intermédiaires puis modaux (*baleewal*) s'est déroulé comme prévu au fur et à mesure de l'approvisionnement en plants et en prenant le temps de bien laisser les sols se ressuyer (sur *baleewal*, mais aussi sur *sa'doore*) avant de repiquer. Avec l'importante humidité, une portion hardé (avec diguettes) dans le *karal* à dominante *sa'doore*, a même été implantée après la parcelle *sa'doore* située en position plus basse mais non aménagée. L'excellente recharge en eau du sol a permis un dernier repiquage début novembre de la portion *daande maayo*, après récolte du sorgho *njigaari* sur cette même parcelle.

Avec l'importante pluviométrie, les mauvaises herbes sont apparues très rapidement, alors que dans la sole pluviale, la prolongation de l'humidité dans le sol a retardé l'arrivée à maturité du sorgho *njigaari*. Cela explique que la fin du repiquage ait été suivie d'une première séquence de sarclage, avant d'engager la récolte du *njigaari*. Pour ne pas être débordé par la pression des adventices, G.O a eu recours à des manœuvres pour accélérer la 2^{ème} séquence de sarclage et enchaîner plus vite avec la récolte du coton.

En 2002, avec une pluviométrie beaucoup plus médiocre en août-septembre, G.O a choisi de repiquer rapidement les premiers terrains filtrants en topographie haute (R₁). Il a effectué également, en partie avec notre appui (parcelles expérimentales), des traitements herbicides de préparation :

- traitement au glyphosate réalisé fin septembre dans certaines parcelles du *karal baleewal* présentant des adventices vivaces, en même temps que les premiers fauchage ;

- traitement au paraquat, début octobre dans une parcelle du *karal sa'doore* à dominante de graminées annuelles, qu'il souhaitait repiquer rapidement dans les jours suivants.

Cet ajustement face au dessèchement rapide du *karal sa'doore* a été complété par l'emploi d'un manoeuvre pour finir la préparation d'une parcelle tandis qu'il poursuivait le repiquage avec la main d'œuvre familiale (Figure III-3). Sur ce même *karal*, G.O abandonne provisoirement l'implantation de certaines parcelles hardé qu'il estime déjà trop asséchées. Une pluie de 80 mm le 6 octobre est venue compenser le déficit hydrique et a permis finalement le repiquage de l'ensemble des surfaces. En dépit de cette forte pluie, il peut poursuivre le repiquage sur les parcelles à vertisols intermédiaires qui s'engorgent peu et où la transplantation se fait en conditions humides. L'accroissement de sa sole a entraîné une séquence de repiquage supplémentaire, mais globalement G.O respecte ses règles d'allotement (repiquage par lots de parcelles avec une humidité du sol similaire) et d'enchaînement du repiquage dans les différents *kare*.

Compte tenu du repiquage précoce sur la portion *daande maayo* et des pluies intervenues ensuite, le sarclage a débuté avant la fin du repiquage et le déclenchement de la récolte du sorgho *njigaari*. Une première séquence de récolte du *njigaari* a concerné les parcelles les plus exposées aux dégâts des animaux (divagation chèvres). Puis G.O a interrompu la récolte du *njigaari* pour engager celle du coton⁵ avec l'aide de salariés temporaires, ce qui a libéré de la main d'œuvre pour effectuer le sarclage.

2.1.2.6. Evolution des temps de travaux et des charges avec l'adoption de l'herbicide

A partir de notre suivi des pratiques et de données d'enquêtes antérieures (Djonnewa *et al.*, 2001), une analyse économique sommaire de la culture du *muskuwaari* dans l'exploitation de G.O a pu être effectuée pour trois campagnes agricoles successives entre 2000 et 2003 (Tableau III-5). Le calcul des dépenses et des temps de travaux pour la préparation des *kare* est basé sur les valeurs suivantes :

- ¼ d'ha fauché par un manoeuvre salarié = 4000 Fcfa et 3 jours de travail en moyenne
- ¼ d'ha traité avec herbicide = (2x1500 F)+ 500 F = 3500 Fcfa⁶ et 0,5 jour de travail

Les temps de travaux sont exprimés en journée de travail d'un manoeuvre, soit 7 heures de travail par jour comprenant le temps de déplacement aux champs. Pour le traitement, il faut compter environ 2h pour traiter ¼ d'hectare avec un pulvérisateur de type Handy. Le temps de travail a été arrondi à 0,5 jour pour ¼ d'hectare puisque au moins deux opérateurs sont nécessaires pour assurer à la fois l'épandage du produit et déplacer les cordes permettant d'orienter le passage de l'appareil de façon homogène dans la parcelle.

L'analyse met en évidence la répartition des charges opérationnelles pour la culture du sorgho repiqué dans le cas précis de G.O et l'évolution des dépenses, du temps de préparation et de la marge brute dégagée avec l'utilisation croissante du traitement herbicide.

⁵ Compte tenu de la pluviométrie totale plus faible, le coton est arrivé à maturité plus vite qu'en 2001 et il faut rapidement achever la récolte pour limiter la perte en poids qui peut être importante si la fibre reste sur pied.

⁶ Le coût du traitement est estimé pour une dose moyenne de 2 sachets de Roundup Biosec par ¼ d'ha. Il inclut le coût de location du pulvérisateur et le coût de l'épandage par des manoeuvres, estimés à une somme forfaitaire de 500 FCFA par ¼ d'ha.

Tableau III-5 : Détail des dépenses et temps de travaux de G.O pour la préparation de ses *kare*, et marges brutes/ha obtenues lors de trois campagnes successives.

Campagne	2000/2001	2001/2002	2002/2003
Surface <i>muskuwaari</i> (ha)	3	3	3,5
Dépenses et temps de travaux pour la préparation de la sole à <i>muskuwaari</i>			
• Surface traitée (ha)	0,4	0,7	1,6
• Traitement : - coût (Fcfa)	5200	10500	22700
- temps travaux (j)	0,7	1,5	3,3
• Fauchage : - coût (Fcfa)	18000	0	3500
- temps travaux (j)	31,5	27	22,5
Coût total préparation (Fcfa)	23200	10500	26200
Temps total préparation (j/ha)	10,7	9,5	7,4
Temps de sarclage (j/ha)	11,2	15,5	11,4
Charges (en Fcfa par ha cultivé)			
- traitement herbicide	1730	3500	6490
- fauchage	6000	0	1000
- sarclage	0	1500	0
- coût récolte	2600	2660	3170
Total charges/ha (en Fcfa)	10430	7660	10660
Production (nb. sacs)	15	21	20
Rendement (nb. sacs/ha ⁷)	5,0	7,0	6
Marge brute/ha (en Fcfa)	29570	48340	37340

On constate que l'augmentation de la proportion des surfaces traitées (13% en 2000/2001 contre 45% en 2002/2003) n'entraîne pas d'augmentation des charges. L'utilisation de l'herbicide se substitue aux manœuvres sollicitées occasionnellement lorsque G.O est pris par le temps. Le prix du traitement variant selon la dose, et l'emploi de manœuvres pouvant être négocié entre 3000 et 5000 Fcfa, les coûts s'avèrent globalement équivalents pour ces deux modes de préparation. Par contre, avec l'augmentation des surfaces traitées, le temps de préparation est réduit de 3,5 jours par hectare cultivé entre 2000/2001 et 2002/2003. On observe également un temps de sarclage plus faible lors de la dernière campagne, sans pouvoir distinguer dans cette diminution, la part liée à l'effet de l'herbicide sur la maîtrise des adventices vivaces, de l'effet de la campagne 2002/2003 moins pluvieuse entraînant une moindre concurrence des mauvaises herbes.

Le cas de G.O illustre bien l'intérêt de l'herbicide pour la réduction des temps de préparation à l'échelle de la sole à *muskuwaari*, ce qui a sans doute facilité l'implantation de ses 0,5 ha supplémentaires lors de la dernière campagne. La comparaison des trois campagnes ne permet pas de juger de l'intérêt de l'augmentation des surfaces traitées sur le rendement et sur la marge dégagée, compte tenu des conditions climatiques et des modes d'intervention variables d'une année sur l'autre (proportion variable du fauchage et du sarclage effectués par la main d'œuvre familiale et non chiffrée).

L'exemple montre bien que si des surfaces supplémentaires sont disponibles, l'utilisation de l'herbicide peut permettre une extension des surfaces cultivées. C'est d'ailleurs une conséquence probable du développement du traitement herbicide, notamment dans les régions comme par exemple la plaine de Kaélé où des espaces sont encore disponibles et où les ressources en travail constituent un facteur limitant des surfaces cultivées (Seignobos, 1998 ; ENGREF, 2000).

⁷ Un sac contient environ 100 kg de sorgho. Le calcul de la marge brute est basé sur un prix moyen de 8000 FCFA/sac

2.1.2.7. Enseignements à tirer de la représentation des règles de décision de G.O

Cette formalisation du mode de conduite de G.O montre qu'il s'efforce de planifier son organisation du travail concernant le nombre et l'échelonnement des semis en pépinières, ainsi que le positionnement et l'enchaînement dans le temps des différentes opérations d'implantation selon les terrains. L'analyse plus précise des déterminants des pratiques montre toutefois la difficulté pour G.O de bien prévoir ses interventions compte tenu de l'importance des ajustements au scénario climatique. Pour cela, le recours ponctuel à une main d'œuvre salariée constitue un élément important de sa conduite permettant de résoudre certains goulets d'étranglement. Son adoption récente du traitement herbicide entraîne une évolution de son modèle d'action et s'inscrit dans la recherche d'une meilleure maîtrise de certaines mauvaises herbes et de plus de souplesse dans l'enchaînement des opérations d'implantation.

2.2. Comparaison des modes de conduite dans les autres exploitations enquêtées

L'analyse des RdD chez un agriculteur en particulier, a permis d'ébaucher un modèle général d'action. A travers l'analyse des règles de décision chez d'autres agriculteurs, on cherche à valider la généralité de ce modèle en mettant en évidence des RdD communes d'un agriculteur à l'autre (métarègles), et en montrant que les variations de ces règles découlent du modèle le plus général comme étant des applications dans des situations singulières.

2.2.1. *Existence de "métarègles"*

2.2.1.1. Règles sociales de constitution des chantiers

L'opération de trouaison, difficile et délicate puisqu'elle détermine la profondeur et la densité de repiquage, est rarement confiée à des salariés. Le repiquage demeure presque systématiquement un chantier familial, même dans les exploitations où l'utilisation de manœuvres salariés est importante : le chef d'exploitation, parfois aidé d'un dépendant et plus rarement de manœuvres saisonniers, effectue la trouaison tandis que les épouses et enfants se chargent de verser une dose d'eau dans chaque trou et de repiquer les plants.

Parmi les différents agriculteurs suivis, la plupart ne mène pas plus de deux chantiers à la fois lors de l'implantation. La conduite de trois chantiers (1 chantier de fauchage mené en même temps que 2 chantiers de repiquage) n'a été observée que chez un seul agriculteur. En effet, les surfaces à repiquer sont relativement réduites (au maximum 3,5 ha) et les agriculteurs s'appuient sur l'hétérogénéité édaphique entre *kare* et à l'intérieur du *karal* pour étaler l'implantation. De plus la main d'œuvre forcément limitée et l'étalement dans le temps de la production de plants empêchent la réalisation de nombreux chantiers concomitants.

2.2.1.2. Les points communs dans l'organisation de l'enchaînement des opérations

Les règles d'enchaînement présentent des similitudes d'un agriculteur à l'autre, notamment concernant l'articulation entre les interventions sur le *muskuwaari* et les cultures pluviales. Des interventions apparaissent concomitantes, aussi bien entre les différentes cultures, qu'entre les opérations d'implantation du sorgho repiqué (préparation et repiquage). Des problèmes de concurrence se posent parfois et donnent lieu à des arbitrages dont on examinera par la suite les variantes.

Concernant l'aménagement des *kare*, l'installation des pépinières et le début des travaux de préparation, menés conjointement avec les travaux d'entretien des cultures pluviales, on retrouve une organisation globale commune aux agriculteurs. Au moment des semis en pépinières, à partir du 15 août, le goulet d'étranglement des opérations d'implantation et d'entretien des cultures pluviales est passé. En début de saison des pluies, l'implantation des cultures vivrières prime sur le coton, dont l'essentiel des semis a lieu au cours du mois de juin. En 2001, 90% des surfaces cotonnières étaient semées à la date du 30 juin (SODECOTON, 2001). Si l'on considère un scénario climatique avec une installation tardive des pluies, on peut estimer que les semis, toutes cultures pluviales confondues, ont lieu jusqu'au 15 juillet. Le deuxième sarclage ou buttage, intervenant en moyenne 60 jours après le semis (Dounias, 1998), les dernières parcelles pluviales implantées lors d'une année à scénario pluviométrique tardif seront sarclées au plus tard début septembre. Ainsi, les premiers semis des pépinières à *muskuwaari* peuvent coïncider avec les travaux d'entretien des cultures pluviales, mais il n'y a pas de réelle concurrence entre ces travaux. L'installation d'une pépinière représente un travail ponctuel qui mobilise généralement un attelage pour le travail du sol et 1 ou 2 travailleurs pour le semis. L'enchaînement de ces opérations ne nécessite pas plus de 2 demi-journées. Lorsque les conditions de semis sont réunies, l'installation d'une pépinière a la priorité sur les éventuels travaux en cours dans les parcelles pluviales.

Les travaux de réfection des diguettes et les premiers travaux de désherbage peuvent interférer avec le calendrier cultural de saison des pluies. Cependant, ces opérations ne sont pas vraiment concurrentes des travaux de désherbage du sorgho pluvial, ni des sarclages et traitements insecticides coton, car elles ne nécessitent pas une période d'intervention précise et peuvent être étalées de juillet à début septembre, en fonction de la répartition des pluies.

Le sarclage des dernières parcelles semées en coton coïncide parfois avec le début des travaux de fauchage dans le *kara*. Dans ce cas, la priorité est plutôt donnée à la préparation des parcelles de *muskuwaari*. La fin du sarclage dans la culture du coton peut être alors légèrement retardée, mais les agriculteurs parviennent à libérer un peu de temps pour achever cette opération parallèlement à la conduite du fauchage.

Tous les agriculteurs sont confrontés au problème de concomitance des opérations de préparation et de repiquage au moment de l'implantation. Le contenu des règles d'enchaînement et d'arbitrage de ces opérations à l'échelle de la sole à *muskuwaari* se révèle très diversifié. La distinction des différents modes de conduite est fondée en grande partie sur cette diversité dans le déroulement de la période d'implantation, à relier à la disponibilité en main d'œuvre, et dans une moindre mesure au mode de gestion des pépinières.

Les agriculteurs sont amenés à gérer les travaux du sarclage et des récoltes des cultures pluviales intervenant à la même période. A Mowo, face à la pression des troupeaux pour le pâturage des résidus de culture de sorgho pluvial, les agriculteurs sont tenus d'effectuer la récolte en un temps assez court⁸. A ce moment, la priorité est toujours donnée à la récolte du sorgho pluvial, bien que les parcelles à *muskuwaari*, repiquées en premier peuvent déjà nécessiter un sarclage. Cette contrainte est moins prégnante à Balaza, le village étant majoritairement composé d'agro-éleveurs qui contrôlent assez bien les mouvements de leurs troupeaux dans la sole pluviale, tant que la totalité des récoltes n'est pas achevée.

Le sarclage des parcelles de sorgho repiqué peut coïncider aussi avec la récolte des parcelles de coton. Une récolte trop tardive peut se solder par une perte de poids de la fibre et augmente les risques de dégâts des parcelles par les animaux. Comme cela a été mis en évidence chez G.O, la priorité est donnée à la récolte du

⁸ Un agriculteur qui tarde à récolter alors que ses voisins de champs ont déjà terminé, risque de voir son sorgho dévasté par les troupeaux conduits dans les terres de cultures pluviales pour profiter des résidus juste après la récolte.

coton sur les travaux de sarclage du *muskuwaari* et un ajustement possible consiste à solliciter des manœuvres salariés pour l'une ou l'autre des tâches.

2.2.1.3. Déclenchement de l'implantation dans certains sols filtrants

La règle concernant le déclenchement du fauchage dans des sols vertiques assez filtrants, observée pour G.O, se retrouve chez les agriculteurs disposant de ce type de sol. Ces parcelles généralement en topographie haute, se distinguent bien dans les *kare* :

- anciennes termitières édifiées par *Macrotermes* formant des emplacements surélevés de plusieurs mètres de diamètre et caractérisées par une macroporosité élevée qui facilite les transferts d'eau dans le sol (Duboisset, 2003),
- terrains de type *daande maayo*, ("cou de la rivière" en fouldouf) ou *mohorbai* en mofou, le plus souvent situés sur les bourrelets de berge des rivières, présentant un horizon de surface sableux à sablo-argileux et des dépôts argileux en profondeur.

Comme on l'a vu, la préparation dans ces parcelles (fauchage, parfois labour) puis le repiquage peuvent débuter dès que les premiers semis ont atteint une taille propice pour la transplantation. Même si une pluie survient, le caractère filtrant de ces sols limite les problèmes d'hydromorphie qui gênent la reprise des plants dans les autres vertisols.

Un regard plus détaillé sur l'enchaînement des opérations révèle des variations dans la conduite du *muskuwaari*, en fonction du scénario climatique, de l'organisation du travail liée à la structure de l'exploitation et de contraintes collectives.

2.2.2. *Les différences dans la conduite technique, des semis à la fin du sarclage*

La comparaison des pratiques et règles de décision des agriculteurs suivis et enquêtés met en évidence l'importance des ajustements tactiques dans l'enchaînement des opérations culturales. Les décisions se font beaucoup en fonction d'évènements climatiques, mais aussi selon les types de sols et la ressource en travail de l'exploitation.

2.2.2.1. Diversité de gestion des semis en pépinières

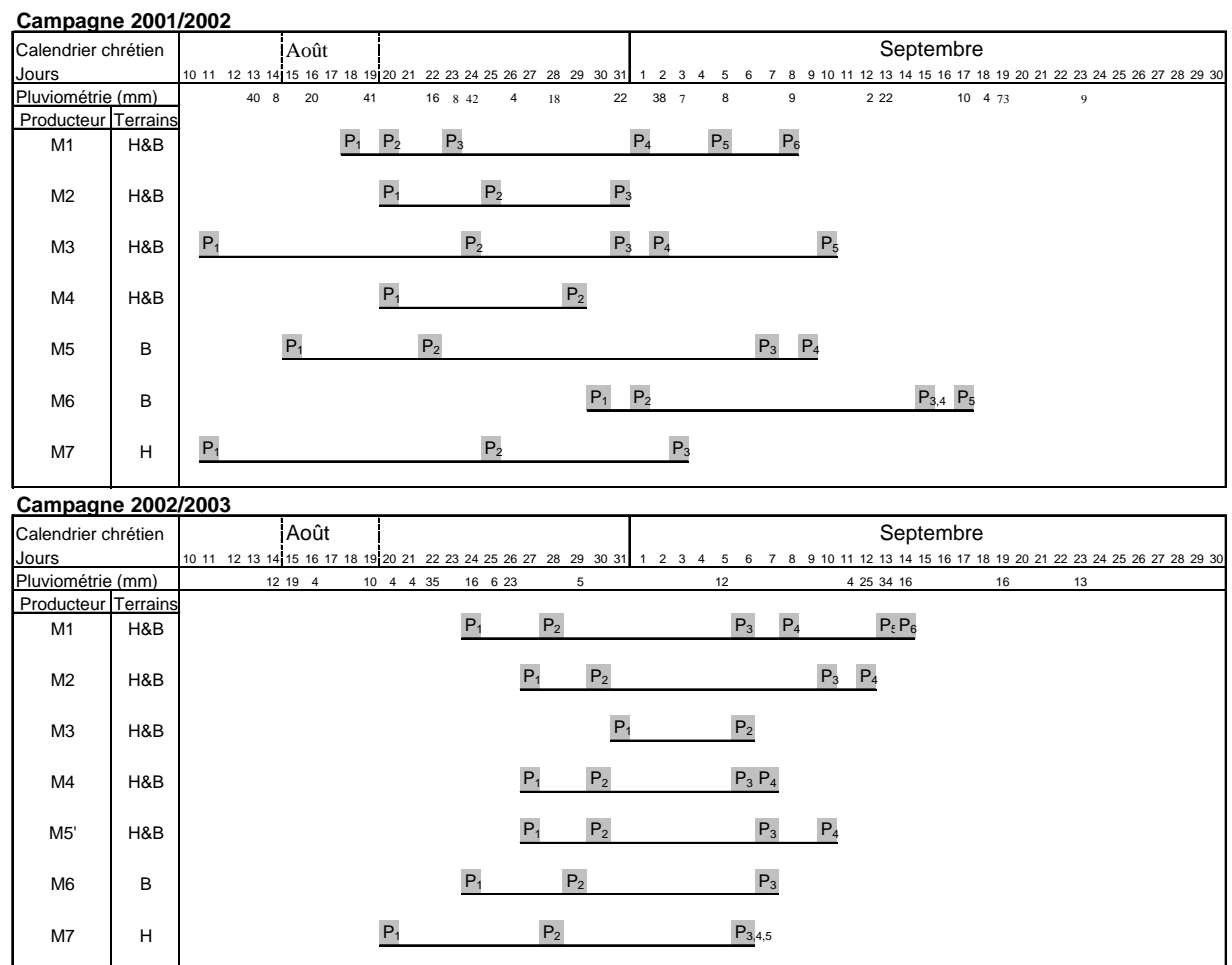
En plus de déterminants d'ordre climatique, les décisions des agriculteurs concernant le déclenchement et la fin des semis, le nombre de pépinières, les surfaces et variétés semées pour chaque pépinière, sont à relier aux types de sols, au matériel et à la main d'œuvre disponibles et partant à l'organisation du travail pour la phase d'implantation.

- ✓ *Règles de déclenchement des semis : combiner références locales, évènement climatique et caractéristiques du karal*

Comme cela a été précisé avec l'exemple de G.O, la règle de décision du premier semis consiste à combiner un indicateur dans le temps (référence à une date calendaire et/ou indicateur du milieu) et un évènement climatique. Les expériences antérieures de l'agriculteur et les spécificités pédologiques de son *karal* influencent également la décision.

La référence calendaire est beaucoup moins utilisée à Mowo, même si elle existe. Cette référence, sans doute une "adaptation" du calendrier peul (Bousquet et Legros, 2002), demeure assez vague (semis au mois de "kiezbak"), d'autant plus qu'elle est basée sur le cycle lunaire, et donc sujette à des variations. Beaucoup d'agriculteurs se repèrent à partir d'indicateurs du milieu, notamment en fonction de l'état d'avancement de la végétation et des travaux dans les cultures pluviales : floraison d'une variété tardive de sorgho pluvial (*maiguessa*), avancement des opérations de sarclage et buttage de la culture cotonnière. On observe ainsi une plus grande variabilité des dates de premier semis par rapport à Balaza (Figure III-5), mais le déclenchement reste conditionné par une pluie d'au moins 5 mm.

Figure III-5 : Suivi des pratiques de semis à Mowo lors des campagnes 2001/2002 et 2002/2003.



Légende

H : dominante de vertisols intermédiaires ou dégradés (hardé) H&B : agriculteur possédant une gamme variée de vertisols
 B : dominante de vertisols typiques en position basse (n'deleb, luggol) : rappel de la référence du calendrier peul pour le déclenchement du semis

Le type de terrain s'avère aussi un élément pris en compte par l'agriculteur dans la décision de déclenchement des semis : les agriculteurs dont les parcelles sont composées essentiellement de vertisols typiques en topographie basse ou intermédiaire, toujours repiquées plus tardivement au cours du mois d'octobre, peuvent décider de différer un peu leur premier semis, au delà de la référence locale, pour éviter une production de plants superflue (cas de B₃ et B₆). Inversement, un producteur possédant une proportion importante de sols filtrants et en topographie haute a tendance à anticiper le premier semis avant le 15 août, si la pluie le permet (cas de M₃ et M₇ en 2001). Cette dernière pratique s'observe surtout à Mowo où le déclenchement des semis relève plus d'une décision individuelle moins soumise à l'influence de la règle collective comme c'est le cas à Balaza.

Tableau III-6 : Récapitulatif des différents indicateurs dans le temps pour le déclenchement du premier semis

Contenu de la règle de déclenchement du 1 ^{er} semis (indicateur dans le temps)	Village et caractéristique des <i>kare</i> des agriculteurs	Agriculteurs concernés
Référence au calendrier local	Balaza - agriculteurs possédant des parcelles en topographie haute	B ₁ , B ₄ , B ₇
Référence plus tardive dans le calendrier local	Balaza - agriculteurs avec surtout des terrains en topographie basse (vertisols modaux dominants)	B ₃ , B ₆ , B ₁ ,
Référence à des indicateurs du milieu (floraison sorgho, avancement travaux dans sole pluviale)	Mowo – agriculteurs possédant une gamme variée de terrains	M ₁ , M ₆ , M ₇ , M ₄
Référence aux événements de la campagne précédente	Balaza et Mowo	M ₁ et M ₇ en 2001
Imitation d'un agriculteur référent	Balaza et Mowo	B ₂ , M ₂ , M ₃

Tableau III-7 : Gestion des semis selon les caractéristiques de la sole et le mode de préparation des pépinières

Gestion semis	Nombre pépin.	Surf. totale semée	Prélèvs plants à l'extérieur	Caractéristiques sole <i>muskuwaari</i>	Préparation pépinière	Agriculteurs concernés
"Planifiée"						
peu de variation nb. semis entre 2001 et 2002	4 à 6	> 800 m ²	rarement	<ul style="list-style-type: none"> • Surf. <i>muskuwaari</i> ≥ 2ha • Terrains variés dont zones inondables 	majorité à la charrue	B ₁ , B ₄ , M ₁ , M ₆ , M ₇ ¹⁰ (33%)
"Ajustée"						
forte variation nb semis entre 2001 et 2002	3 à 4	500 à 700 m ²	occasionnels	<ul style="list-style-type: none"> • Surf. <i>muskuwaari</i> < 1,75ha • Terrains variés avec ou sans zones inondables 	manuelle (houe)	B ₂ , M ₂ (13%)
	2 à 5	300 à 700 m ²	occasionnels à fréquent	<ul style="list-style-type: none"> • Surf. <i>muskuwaari</i> < 2ha • Terrains variés ou relativement homogènes (B₃, B₆, M₃ et M₄) 	charrue et houe	B ₃ , B ₅ , B ₆ , B ₇ , M ₃ , M ₄ , M ₅ (54%)

¹⁰ L'agriculteur M₇ (M.T) dispose de plus de 3 ha de terres à sorgho repiqué, mais se contente de 3 grandes pépinières, compte tenu de la relative homogénéité de son karal et d'une importante main d'œuvre familiale qu'il peut mobiliser pour repiquer de grandes surfaces lorsque les plants sont disponibles.

Le scénario climatique et les événements de la campagne précédente influent également sur la décision. Certains agriculteurs ayant semé trop tardivement et ayant connu des problèmes d'approvisionnement en plants liés à une interruption des pluies, ont tendance à avancer le premier semis lors de la campagne suivante. Cette remarque est particulièrement valable pour les producteurs de Mowo qui n'appuient pas leur choix sur un calendrier local. Pour le déclenchement du premier semis, les repères dans le temps apparaissent donc variables selon les agriculteurs et les villages (Tableau III-6). Lorsqu'ils estiment la période propice, la plupart attendent une pluie d'au moins 5 mm pour aller semer, à moins de choisir un emplacement déjà suffisamment humide pour permettre la levée.

Mais le contenu de la règle se réduit rarement à un seul indicateur dans le temps, les agriculteurs préférant combiner différents repères pour juger du moment opportun. Cela explique la variabilité des dates de premier semis tant interannuelle, que inter-village et intra-village pour une année donnée. Le déclenchement du premier semis résulte ainsi de déterminants sociaux (règle collective liée à un calendrier local, imitation d'agriculteurs référents) combinés à des décisions individuelles liés à des indicateurs du milieu (avancement dans la saison, scénario pluviométrique) et aux type(s) de sol disponible(s). Ces derniers déterminants prévalent dans la suite du déroulement des semis.

✓ *Echelonnement des semis, choix des emplacements et des variétés*

Les agriculteurs conçoivent l'enchaînement des pépinières en ayant à l'esprit l'ordre d'implantation des différentes parcelles et les variétés à associer à chaque terrain. En se basant de façon intuitive sur des conditions climatiques moyennes, ils planifient plus ou moins l'organisation des semis (nombre, taille des pépinières,...) en fonction de l'hétérogénéité de leurs parcelles et de la surface à repiquer. Ils s'appuient sur la répartition des semis dans le temps et dans l'espace pour étaler la fourniture en plants. Les ajustements aux conditions climatiques s'avèrent un important facteur de variabilité inter-annuelle.

Influence des ressources en terre et en travail sur la gestion des semis

Les agriculteurs planifient plus ou moins le nombre et la taille des pépinières en fonction de la surface à repiquer, de l'hétérogénéité de leurs parcelles et de l'équipement disponible.

Les plus prévoyants réalisent un nombre de pépinières relativement constant d'une année sur l'autre quel que soit le scénario climatique (Tableau III-7). Pour ces agriculteurs, l'organisation des semis exposée lors des enquêtes se confirme le plus souvent dans les pratiques observées. C'est notamment le cas des exploitations disposant de terres à *muskuwaari* importantes avec des types de sols variés. Ces agriculteurs effectuent un nombre assez élevé de pépinières et suffisamment grandes pour s'assurer de plants disponibles tout au long de la période de repiquage. Ils disposent tous de terrains en topographie basse tels que les mares ou les zones d'inondation avec aménagement de hautes diguettes, d'où la nécessité de prévoir systématiquement un dernier semis tardif vers mi-septembre pour le repiquage de ces parcelles vers fin octobre après le retrait de l'eau. Cette gestion des semis est possible grâce aux ressources disponibles (semences en bonne quantité, espaces disponibles pour les emplacements des pépinières, traction animale), permettant de combiner la variabilité des semis dans le temps et dans l'espace (différents emplacements et dates, hétérogénéité du sol à l'intérieur d'une pépinière). Ils cherchent ainsi à sécuriser l'approvisionnement en plants face aux risques climatiques ou parfois de vols de pépinières, et sont rarement contraints de prélever des plants chez d'autres producteurs.

Pour la majorité des agriculteurs, le nombre de pépinières et les surfaces semées apparaissent très variables entre 2001 et 2002. Même s'ils s'efforcent de planifier leur organisation des semis, ils sont très souvent amenés à effectuer des ajustements en cours de campagne pour faire face à des contraintes particulières.

Pour les agriculteurs effectuant la préparation exclusivement à la houe, les surfaces réduites des pépinières sont compensées par un nombre souvent assez élevé de semis, à condition d'avoir des emplacements pour l'installation des pépinières. Dans le cas de N.A (B2, Annexe 4), le manque de disponibilité foncière ne lui permet pas de retenir à l'avance tous ses emplacements de pépinière. Il ajuste ainsi ses semis en fonction des opportunités qui se présentent, par exemple l'emprunt d'une portion à un voisin, en particulier une surface semée en culture pluviale et abandonnée à cause de l'envahissement par les mauvaises herbes.

Les agriculteurs dont les surfaces à repiquer ne sont pas trop élevées et ayant recours à la traction animale¹¹, se contentent généralement de 2 à 3 pépinières. Cette organisation apparaît adaptée surtout lorsque l'on observe une relative homogénéité des caractéristiques édaphiques de la sole à *muskuwaari*. Elle présente cependant plus de risques d'un déficit ou d'une pénurie de plants au moment du repiquage liés à une interruption des pluies au cours de la période de semis ou au contraire un prolongement tardif des précipitations. Cela explique les ajustements du nombre de pépinières selon le scénario climatique et le recours assez fréquent à des plants prélevés chez d'autres producteurs qui n'en ont plus besoin. Pour A.B (B5, Annexe 6), les prélèvements dans les pépinières de ses voisins (généralement des parents ou proches), sont quasi-systématiques, notamment pour réaliser les derniers chantiers de repiquage dans les parcelles en topographie basse¹². S'il dispose de suffisamment de semences, il peut toutefois effectuer des semis supplémentaires d'appoint, les années où la saison des pluies se prolonge plus tardivement.

La gestion des semis par ajustement aux conditions climatiques particulières de l'année explique en grande partie l'importante variabilité du nombre de pépinières et des surfaces semées d'une année sur l'autre. Même pour les agriculteurs dont l'organisation des semis apparaît relativement planifiée, l'adaptation du déclenchement et de l'échelonnement des semis aux événements pluviométriques reste indispensable.

Importance de l'ajustement à la pluviométrie pour la conduite des semis

L'analyse des pratiques pour les scénarios climatiques de 2001 et 2002 met en évidence la variabilité dans la gestion des semis liée aux ajustements à la pluviométrie.

Tableau III-8 : Influence de la pluviométrie en août-septembre sur la durée moyenne de la période des semis

Village	Année	Pluviométrie en août-septembre	Nb. jours de pluies>5mm	Nb. jours moyen(*) entre 1 ^{er} et dernier semis (CV)
Balaza	2001	417 mm	22	24 (47%)
	2002	356mm	13	16 (47%)
Mowo	2001	549 mm	22	19 (40%)
	2002	392 mm	18	13 (34%)

(*) moyenne des 7 agriculteurs suivis dans chaque village

Les agriculteurs adaptent la période de semis en fonction de la fréquence et du niveau des pluies en août-septembre (Tableau III-8). En 2001, les pluies régulières ont incité à un étalement des semis en retardant la réalisation des dernières pépinières. En 2002, les "pluies de semis" (pluies>5mm) moins fréquentes, ont obligé à

¹¹ Ceux qui ne possèdent pas d'attelage louent parfois les services d'un bouvier ou s'organisent collectivement pour labourer un emplacement commun, réparti ensuite entre chaque producteur pour la réalisation des semis (cas de B4 et B5, Annexes 5 et 6)

¹² C'est le cas aussi dans les exploitations dont la sécurité alimentaire est fragile et où l'agriculteur a des difficultés pour conserver une quantité suffisante de semences (cas de M2 à Mowo)

concentrer les semis sur une période plus courte : les agriculteurs cherchent alors à valoriser au mieux ces pluies en regroupant 2 voire 3 semis à quelques jours d'intervalle, ou en les effectuant à la même date, mais à des emplacements différents (cas de B2, B4, M4 et M7 en 2002).

Comme on l'a vu, beaucoup d'agriculteurs modulent le nombre de pépinières et la surface semée selon les années. Avec le maintien de pluies régulières en septembre 2001, une règle d'ajustement a consisté à effectuer un ou plusieurs semis supplémentaires. Le cas de A.K (M₃, Annexe 7), illustre bien cette pratique. Il prévoit généralement 3 pépinières échelonnées et installées dans 1 ou 2 emplacements, ce qui permet de regrouper les travaux de préparation du sol à la charrue (traction asine). En constatant une pluviométrie régulière et abondante en septembre 2001, il a ajusté sa production de plants en réalisant une quatrième pépinière dans un des emplacements déjà travaillé, puis une cinquième, préparée à la houe autour d'une ancienne termitière. Cette adaptation suppose d'avoir anticipé le prolongement de la période de semis en conservant une quantité de semences pour ces pépinières supplémentaires.

Un retard dans le déclenchement du semis, combiné à une pluviométrie médiocre fin août début septembre (cas de 2002) peut entraîner un déficit de plants alors que certaines parcelles sont déjà prêtes pour le repiquage. Comme cela a été évoqué, le prélèvement voire l'achat de plants chez des agriculteurs plus prévoyants constitue une adaptation à des conditions climatiques particulières.

Le niveau de fertilité des pépinières et les variétés retenues peuvent également atténuer les irrégularités d'approvisionnement en plants liés aux aléas climatiques.

Choix des emplacements et des variétés

Pour l'enchaînement des pépinières, l'agriculteur doit penser à l'ordre d'implantation des différentes parcelles et aux variétés à associer à chaque terrain. A Balaza, pour la première pépinière, 65% des agriculteurs suivis sèment en priorité une variété précoce, notamment *majeeri* (parfois en mélange avec d'autres), en privilégiant des emplacements bien fertiles. Au delà de l'importance des variétés locales de *majeeri*, appréciées pour leur résistance aux foreurs des tiges, ce choix permet d'assurer une production rapide de plants en cas d'interruption des pluies et de disposer de variétés précoces dès l'initiation du repiquage. Ces dernières, capables de produire dans des sols à faible capacité de rétention d'eau, sont privilégiées sur les premiers terrains repiqués en topographie haute (hardé, *toonde*...).

Pour les derniers semis, l'emplacement est aussi soigneusement choisi pour garantir la fourniture en plants lors du repiquage des terres en bas de topographie. Le choix porte souvent sur des anciennes termitières qui présentent un sol riche et une importante réserve utile permettant la croissance rapide des plants même s'il y a arrêt des pluies. Sur les termitières (*Macrotermes* et *Odontotermes*), la durée de croissance des plants n'excède pas 20 jours (Duboisset, 2003). Les variétés précoces sont aussi préférées pour les repiquages tardif, afin d'éviter de retarder la récolte par rapport à l'ensemble du *karal* et d'exposer ces parcelles aux attaques d'oiseaux granivores.

A Mowo, le type *safraari* est largement dominant et les agriculteurs accordent moins d'importance au choix de la variété selon la date de semis. Certains déclarent quand même privilégier une variété de *safraari* à pédoncule

droit et panicule lâche¹³ pour les premier semis, afin de l'implanter au début de la période de repiquage sur les vertisols dégradés et intermédiaires où elle se comporte mieux que d'autres *safraari*.

La fertilisation constitue un ajustement possible en fonction du choix des emplacements des pépinières. Ainsi, pour étaler l'approvisionnement, les agriculteurs combinent, à des niveaux variables, la pratique d'échelonnement des semis et la diversité des types de sol et des variétés dans les différents emplacements. La gestion des semis n'est pas sans conséquences sur la conduite de l'implantation, puisque les règles de décision pour l'enchaînement des travaux de préparation et repiquage dépendent en partie de la régularité de l'approvisionnement en plants.

2.2.2.2. Différents modes de conduite de la phase d'implantation

Comme pour la gestion des semis, l'organisation du travail pour la conduite de l'implantation apparaît influencée par des éléments de structure de l'exploitation, avec encore une part importante des choix techniques qui relèvent d'ajustements aux conditions climatiques de l'année.

✓ *Déclenchement de la préparation et du repiquage*

Le démarrage de la préparation est avant tout déterminé par le niveau de croissance des plants dans les premières pépinières semées. Les indicateurs d'opportunité mis en évidence dans l'analyse de la conduite de G.O (diminution fréquence pluviométrie, "maturité" graminées annuelles...) se retrouvent de façon plus ou moins complète chez les autres agriculteurs. Pour deux d'entre eux, l'observation des agriculteurs voisins constitue un indicateur supplémentaire dans leur décision de déclenchement. Après le démarrage de la préparation, le déclenchement du repiquage se fait dès que les plants sont prêts pour la transplantation, en cherchant des conditions de sol optimales pour la reprise déjà évoquées dans le chapitre 2. L'introduction du traitement herbicide, en grande majorité du glyphosate, entraîne une évolution du contenu de la règle de décision. Le déclenchement de la pulvérisation varie selon l'enherbement et en particulier le niveau de recouvrement.

Dans les situations où l'enherbement est élevé (au moins 50 % de recouvrement du sol), le traitement herbicide a lieu généralement plus tôt que si la parcelle était fauchée et dans des conditions différentes :

- couvert herbacé encore suffisamment vert pour garantir l'action d'un herbicide systémique comme le glyphosate
- délai d'action d'une quinzaine de jour à prévoir avant le dessèchement complet des herbes nécessaire au brûlage

Dans les parcelles avec un faible recouvrement, l'emploi de l'herbicide est très apprécié pour éviter le labour¹⁴ ou le fauchage et l'apport d'herbes extérieur pour le brûlage. Dans cette situation le traitement peut être déclenché de la même manière que le mode de préparation habituel, puisque le brûlage n'est pas nécessaire après l'action du produit, compte tenu du faible enherbement.

Globalement, la règle de déclenchement du traitement herbicide apparaît plus souple que pour le fauchage, ce dernier n'étant possible que lorsque le couvert herbacé est relativement sec ce qui suppose une diminution de la

¹³ Cette variété locale pourrait correspondre à yaawu ou zumai, variétés à grains jaunes et panicule droite, semi-lâche, qui ont connu un développement récent dans les régions de Moutourouwa et Kaélé, grâce à leur précocité et leur bon comportement sur les vertisols dégradés (Perrot et al., 2002).

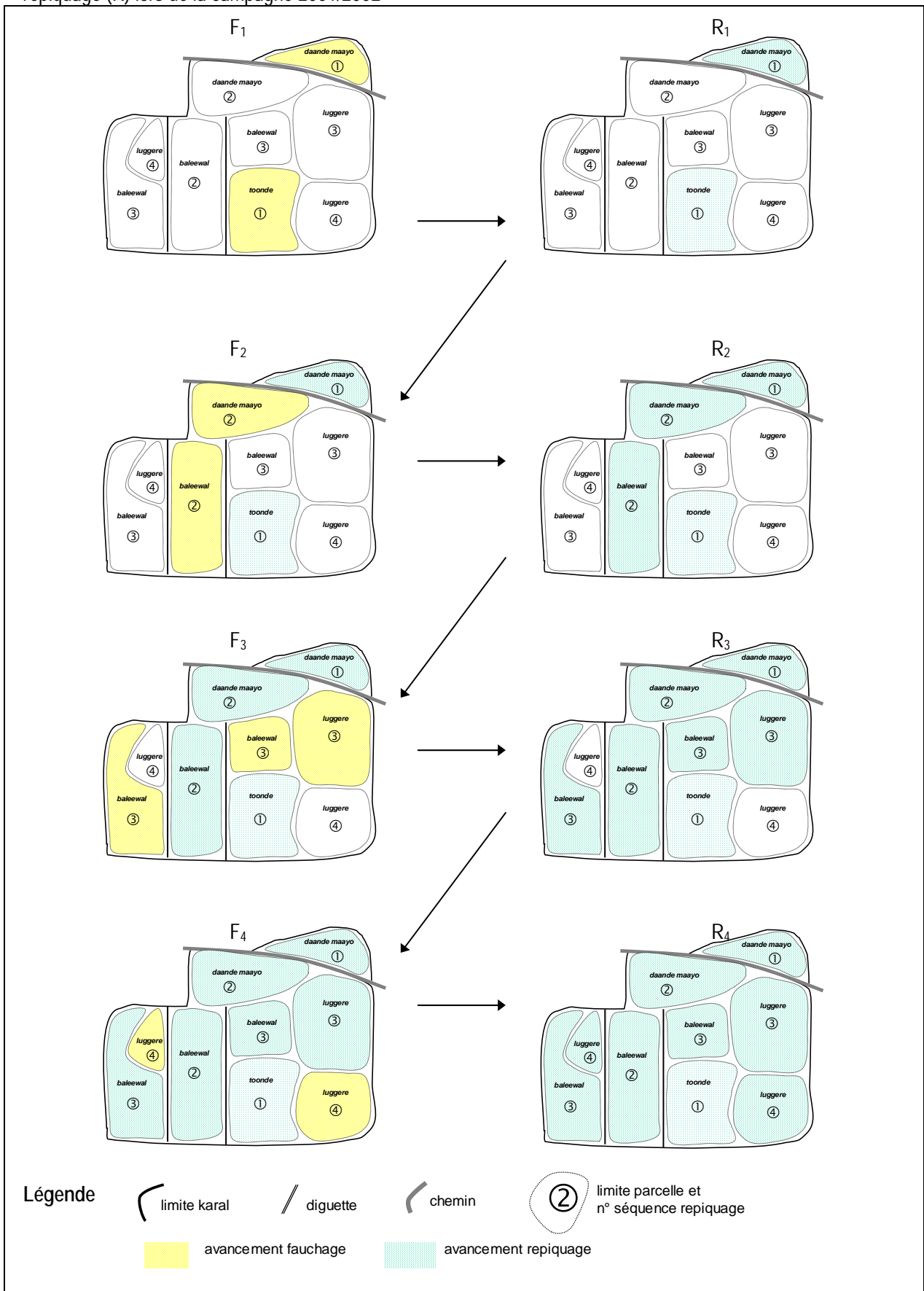
¹⁴ Le labour (charrue ou manuel), n'a été observé que chez deux agriculteurs à Balaza (B₁ et B₃) pour des surfaces très réduites.

fréquence des pluies. Il existe cependant un risque supplémentaire par rapport à la préparation manuelle puisqu'une pluie, même de quelques mm, survenant dans les 6 à 10 heures après la pulvérisation, peut empêcher l'action du produit. L'usage de l'herbicide a des conséquences dans l'organisation du travail, notamment concernant les chantiers de préparation. La conduite de l'implantation reste fortement conditionnée par la structure de l'exploitation, et en particulier la ressource en travail

✓ *Variations de la gestion de l'implantation selon la main d'œuvre disponible*

On peut distinguer deux grands modes de conduite de l'implantation liés à la capacité ou non de l'agriculteur à mener en même temps les chantiers de préparation et de repiquage. Le raisonnement de la conduite apparaît surtout dépendant de la disponibilité en main d'œuvre et de l'importance des surfaces à repiquer.

Figure III-6 : Organisation spatiale du *karal* de A.B (1 ha) et enchaînement des séquences de fauchage (F) et repiquage (R) lors de la campagne 2001/2002



Lorsque les ressources en travail sont limitées, les agriculteurs raisonnent plutôt l'implantation à la parcelle (parfois lot de parcelles), en alternant chantiers de préparation et de repiquage successivement dans les différentes parcelles de leur *kara* (Tableau III-9). Ce mode de gestion de l'implantation s'observe surtout chez les agriculteurs ne disposant que d'un seul *kara* dont la surface est relativement limitée (inférieure à 1,75ha). Compte tenu d'une main d'œuvre familiale réduite et de l'absence de moyens pour recourir à des salariés, les chantiers de fauchage et de repiquage progressent lentement. Cela explique l'importance accordée aux variations de topographie et des types de sols à l'intérieur du *kara* pour enchaîner les chantiers. Ils tentent de s'appuyer au mieux sur cette hétérogénéité, pour parvenir à repiquer au meilleur moment du point de vue de l'humidité du sol, sans forcément attendre de disposer de la variété ou de la taille de plants la plus appropriée. Bien que certains échecs à la reprise paraissent être liés à la mauvaise qualité des plants, ces agriculteurs, qui disposent de surfaces assez réduites, consacrent toujours un temps non négligeable au sur-repiquage en fin de période d'implantation pour remplacer les pieds manquants.

La Figure III-6, correspondant à l'enchaînement de l'implantation dans le *kara* de A.B en 2001/2002, illustre bien cette organisation du travail. Ces agriculteurs n'utilisent pas le traitement herbicide, faute de moyens. Sans doute attendent-ils aussi que la technique aie fait ses preuves chez d'autres agriculteurs et que les modalités d'application soient mieux connues pour des résultats plus sûrs.

Le principe de conduite de l'implantation à la parcelle n'empêche pas les agriculteurs de mener des chantiers de préparation et de repiquage en même temps lorsqu'ils parviennent à mobiliser un peu de main d'œuvre salariée, en particulier s'ils jugent nécessaire d'accélérer la mise en culture. Il n'y a donc pas de différenciation nette entre un mode de conduite de l'implantation par parcelle et un mode où les opérations de fauchage et de repiquage sont menés de front.

Tous les agriculteurs qui sont amenés, au cours de l'installation du *muskuwaari*, à mener de front la préparation et le repiquage, ont en commun d'avoir une importante main d'œuvre familiale et/ou un recours à des manœuvres salariés. Cette décision est fonction de la disponibilité en plants, du scénario climatique et de l'avancement des travaux de préparation. Cette organisation de l'implantation a été observée dans la majorité des exploitations enquêtées, mais on constate des variations selon la gestion de la main d'œuvre et notamment l'accès occasionnel ou systématique à des salariés.

- Les agriculteurs ayant une main d'œuvre familiale suffisante pour mener deux chantiers de front, peuvent quand même avoir recours à des manœuvres extérieurs d'appoint notamment pour accélérer l'implantation lors de périodes de pointe (cas de G.O, § 2.1.2.3, mais aussi de M1 Annexe 8 et M7)
- Les agriculteurs avec une main d'œuvre réduite et un accès limité à des salariés (faible disponibilité en trésorerie), auront tendance à gérer l'implantation en alternant préparation et repiquage par parcelle, sauf lors de l'emploi ponctuel de manœuvres chargés le plus souvent de la préparation, tandis que le chef d'exploitation poursuit le repiquage (cas de M3 et M4),
- Certains agriculteurs ont recours systématiquement à des manœuvres salariés, pour compléter une main d'œuvre familiale insuffisante par rapport à la surface à implanter. Dans ce cas, les salariés se voient confier les travaux de fauchage et le repiquage reste un chantier familial (B3, B4, B7, M5)

L'utilisation de l'herbicide se développe rapidement dans ces situations. Dans l'exemple de H.O (B4, Annexe 5), l'essentiel des travaux d'implantation du *muskuwaari* est réalisé par des manœuvres salariés. Avec l'introduction de l'herbicide, le traitement s'est progressivement substitué à l'emploi des manœuvres pour le fauchage. Pour

H.O, le coût de l'herbicide paraît légèrement inférieur à celui des manœuvres. Comme cela a été mis en évidence pour G.O, les charges s'avèrent équivalentes si l'on tient compte du coût de location du pulvérisateur appartenant généralement au groupement des producteurs de coton et payé indirectement lors de la commercialisation du coton. H.O insiste sur différents avantages qui lui font désormais préférer le traitement :

- Il considère le déclenchement du traitement herbicide plus simple. La "praticabilité" du fauchage suppose différentes conditions en particulier pour ses terrains composés essentiellement de vertisols typiques (retrait des éventuelles eaux d'inondation, ressuyage de la surface du sol, dessèchement du couvert herbacé). Pour cela, il indique qu'il faut compter environ 10 à 15 jours sans forte pluie supérieure à 20 mm¹⁵. Par contre, le traitement herbicide est engagé plus facilement, environ une quinzaine de jours avant la date présumée du repiquage, lorsqu'il estime que le *karal* est suffisamment ressuyé pour permettre à l'opérateur d'avancer sans s'enfoncer.
- L'emploi de l'herbicide se révèle plus facile que la gestion de la main d'œuvre salariée. La recherche et le recrutement des manœuvres prend parfois du temps ; certains peuvent se désister ou offrir leurs services chez différents agriculteurs, ce qui peut fortement ralentir l'accomplissement d'un chantier chez l'un ou l'autre employeur.
- Enfin, le traitement permet surtout d'accélérer la préparation de ses *kare* et dans certaines situations d'enherbement, de diminuer les travaux et coûts de sarclage. Il peut toutefois rencontrer des difficultés pour s'approvisionner en herbicide, compte tenu de la forte demande des agriculteurs dans les semaines qui précèdent le début des travaux de préparation des *kare*, avec des éventuelles ruptures de stock dans les magasins Sodecoton.

En doublant les surfaces traitées lors de la campagne 2002/2003, H.O a réduit le temps de préparation de près de 3,5 jours/ha par rapport à la campagne 2001/2002 (Annexe 5). Avec l'emploi de l'herbicide, ses travaux de préparation sont pratiquement tous regroupés dans une séquence principale au début de la période d'implantation.

Un cas particulier d'organisation de la conduite observé chez un agriculteur de Mowo lors des deux campagnes consiste à raisonner l'implantation par opération, en effectuant le fauchage d'un seul trait au début de l'implantation (M₆, Annexe 9). Pour cela K.R sollicite plusieurs manœuvres salariés pour le fauchage et depuis 2001, il traite à l'herbicide certaines portions. L'essentiel des travaux de repiquage n'est réalisé qu'une fois l'ensemble du *karal* préparé. Le brûlage est effectué progressivement au fur et à mesure des chantiers de repiquage exécutés par la main d'œuvre familiale. Un chantier est déclenché lorsque les plants sont disponibles et que les conditions sont jugées optimales du point de vue de l'humidité du sol, mais aussi en tenant compte du risque qu'une pluie survenant peu après le repiquage entraîne un échec de la reprise¹⁶. Cette organisation de l'implantation par opération suppose cependant une relative homogénéité du *karal* pour que toute la préparation puisse être menée dans un délai assez court. Ce mode de conduite se justifie aussi pour K.R compte tenu de l'éloignement important de son *karal*. En sollicitant des manœuvres et en évitant de fractionner la préparation du *karal*, il limite les déplacements longs et pénibles pour la main d'œuvre familiale. Du point de vue de la gestion de l'enherbement, ce mode de conduite entraîne parfois un délai assez important entre le fauchage et le brûlis/repiquage de certaines parcelles. Cela peut favoriser la reprises d'adventices vivaces. Jusqu'à présent, afin de mieux contrôler ces mauvaises herbes, K.R avait l'habitude d'ajouter des graminées prélevées à l'extérieur

¹⁵ Si le fauchage a lieu en condition trop humide, les herbes se couchent sous l'action du couperet, sans être coupées et restent collées à l'argile humide.

¹⁶ D'après K.R, dans les vertisols typiques (n'deleb), il faut environ 7 jours sans forte pluie (supérieures à 20 mm environ), pour être assuré d'une bonne reprise.

pour activer le brûlis surtout dans les parcelles à faible recouvrement, ce qui n'est plus nécessaire avec l'utilisation de l'herbicide.

La même logique pour l'implantation se retrouve chez d'autres agriculteurs comme A.K (M₃, Annexe 7) mais plusieurs contraintes l'obligent à fractionner les travaux de préparation :

- variabilité des conditions édaphiques avec zones d'engorgement ou d'inondation en particulier les années de forte pluviométrie,
- trésorerie insuffisante et disponible au coup par coup¹⁷ ne permettant pas le recrutement de plusieurs manœuvres pour exécuter rapidement tout le fauchage.

L'adoption du traitement herbicide, même utilisé ponctuellement contre certaines adventices vivaces, vient renforcer ce modèle d'action en réduisant le temps de travail pour la préparation qui peut être achevée avant le déclenchement du repiquage.

¹⁷ Au moment de la préparation du karal, A.K dégage un peu de trésorerie à partir de la vente des premières récolte de sorgho pluvial précoce. Cet argent lui permet juste de négocier le fauchage de 1 ou 2 quarts (0,25 ha) à des manœuvres. Par la suite, s'il dispose à nouveau d'un peu de trésorerie, il les sollicite pour la fin du fauchage.

Tableau III-9 : Variation du modèle d'action et des contenus des règles de décision

Organisation du travail pour l'implantation	Contenus des règles de décision		Indicateurs ressources productives	Exploit. concernées	Schémas des différents types de modèle d'action							
	Déclenchement préparation et gestion enherbement	Enchaînement préparation/ repiquage			sept.	octobre		novembre		déc.		
					20	1	10	20	1	10	20	1
Raisonnement de l'implantation par parcelle	<ul style="list-style-type: none"> état de croissance 1ère pépinière, indicateurs dessiccation sol en topo. haute et absence pluie pdt au moins 2j herbicide rare, faute de moyens 	<ul style="list-style-type: none"> fauchage et repiquage pas menés de front ajustement de l'ordre des parcelles repiquées selon scénario climatique 	<ul style="list-style-type: none"> surface musk. ≤ 1,75ha Force travail : MOF réduite (≤ 3,5 actifs) Un seul <i>karal</i> exploité 	B ₂ , B ₅ , B ₆ , M ₂ (28%)								
Raisonnement de l'implantation avec préparation et repiquage menés de front	<ul style="list-style-type: none"> selon état de croissance 1ère pépinière + indicateurs utilisation croissante d'herbicide → accélérer préparation + maîtrise vivaces 	<ul style="list-style-type: none"> prép. et repiq. de front par parcelle ou lots de parcelles ajustements avec MO et herbicide pour repiquer dans les temps 	<ul style="list-style-type: none"> Surface musk. de 1,25 à 3,5ha force travail : MOF de 3 à 13 actifs+ salariés un ou plusieurs <i>kare</i> 	B ₁ , B ₃ , B ₄ , B ₇ , M ₁ , M ₃ , M ₄ , M ₅ , M ₇ (64%)								
(cas particulier : raisonnement de l'implantation par opération)	<ul style="list-style-type: none"> état 1ère pépinière + indicateurs au champs (maturité graminées et humidité du sol) herbicide avant tout pour maîtrise des vivaces 	<ul style="list-style-type: none"> fauchage par manœuvres en une séquence au début de l'implantation plusieurs séq. repiquage selon appro. plants, humidité sol, pluies 	<ul style="list-style-type: none"> S.musk : 2,5ha force travail : MOF de 6,5 actifs + salariés un seul <i>karal</i> relativement homogène 	M ₆ (8%)								

Légende :

F₁ fauchage séquence 1 et/ou traitement herbicide (Hb)

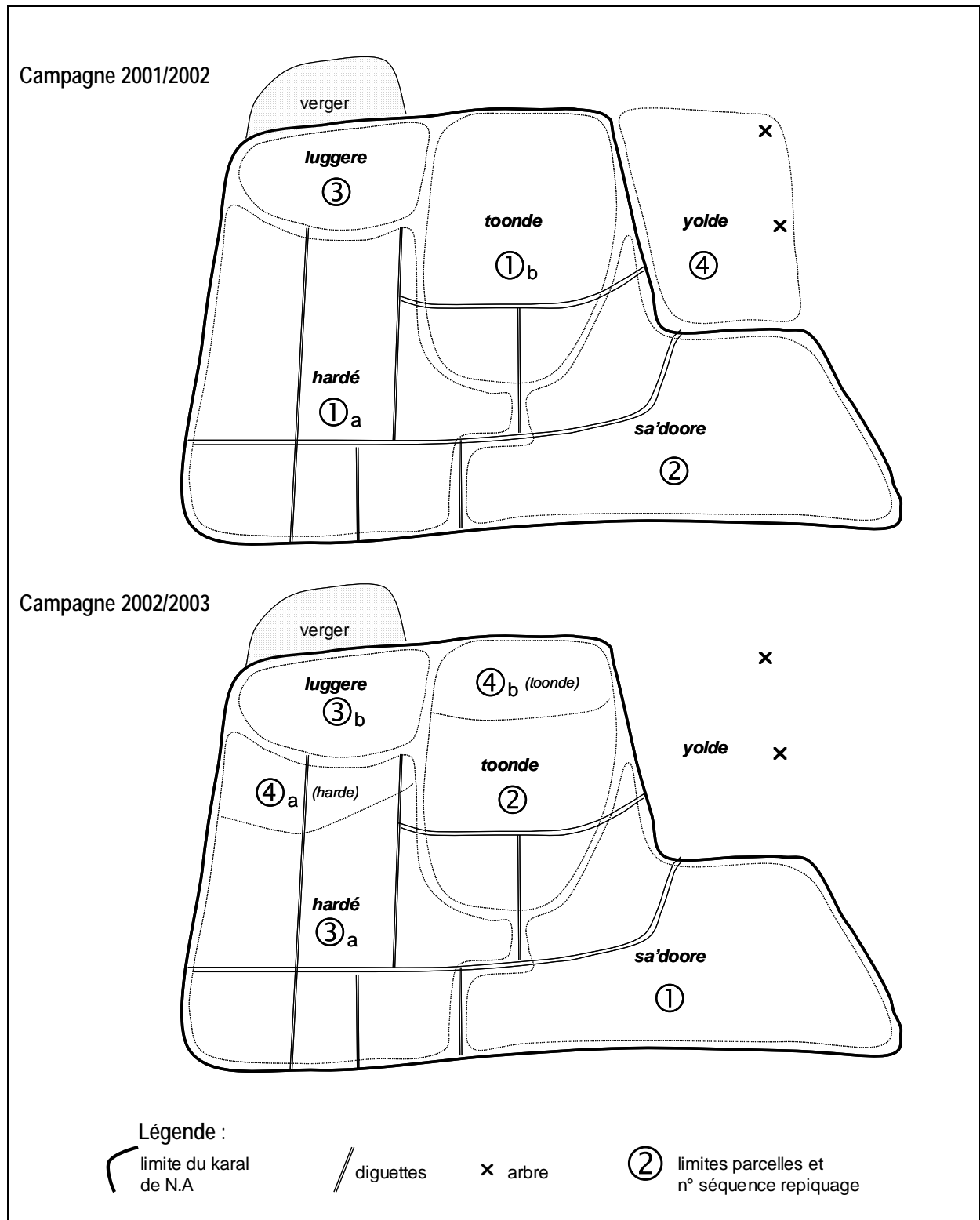
S₁ sarclage séquence 1

R₁ repiquage séquence 1

Rc Dj₁ récolte sorgho pluvial (*njigaan*), séquence 1

⋯ opération en partie réalisée par des manœuvres salariés

Figure III-7 : Organisation spatiale du *karal* de N.A (1,25 ha) et enchaînement de l'implantation lors des deux campagnes de suivi



✓ *Les ajustements de la conduite liés au scénario climatique*

L'absence de distinction nette entre différents modes de conduite montre bien la difficulté pour les agriculteurs de planifier l'organisation du travail et l'importance et la diversité des ajustements de la conduite de l'implantation selon les conditions climatiques.

Comme pour la phase des semis, un étalement de la période d'implantation est observé les années les plus pluvieuses. Compte tenu de la bonne humidité des terrains voire l'inondation temporaire dans certaines parcelles, les agriculteurs ne sont pas trop pressés et peuvent ainsi allonger les séquences de préparation, attendant un certain ressuyage du sol avant de repiquer. C'est le cas de N.A (B₂) en 2001, qui a fauché près de la moitié de son *kara* en une seule séquence prolongée pendant plus d'une semaine et seulement interrompue quelques jours par des pluies tardives, avant d'engager les premiers travaux de repiquage. La suite de l'implantation a consisté à alterner fauchage et repiquage en progressant selon la position topographique des parcelles et partant l'humidité du sol (Figure III-7). Grâce à la pluviométrie très favorable, la parcelle *yolde* (sol sableux filtrant plutôt destiné aux cultures pluviales), louée à un agriculteur voisin, a pu être repiquée une fois le sorgho *njigaari* récolté. Les ajustements lors des années plus sèches apparaissent variables selon les exploitations :

- Une adaptation consiste à modifier l'ordre d'implantation des parcelles par rapport à une année plus arrosée, afin de sécuriser la production dans les terrains les plus humides. Les parcelles trop sèches, en haut de topographie, sont abandonnées ou repiquées ultérieurement à la faveur d'une dernière pluie. Ainsi lors de la campagne 2002/2003, les parcelles *toonde* et hardé de N.A en topographie haute présentaient des signes marqués de dessèchement au moment du déclenchement de la préparation¹⁸. Afin d'assurer une production minimum, il a choisi de débiter l'implantation dans une parcelle *sa'doore* légèrement en contrebas, en enchaînant rapidement les séquences de fauchage et repiquage d'une durée respective de 5 et 1 jours. Dès que les plants sont disponibles, il n'attend pas d'avoir préparé le sol sur une grande étendue pour engager le repiquage. Il a ensuite poursuivi l'implantation dans une partie des vertisols dégradés ainsi que dans les parcelles les plus humides de bord de mare (*luggere*). Certaines portions hardé et *toonde* qu'il pensait ne pas repiquer ont finalement pu être valorisées grâce à une forte pluie début octobre (Figure III-7 et Annexe 4). Cette règle d'ajustement se retrouve surtout parmi les plus petites exploitations qui raisonnent l'implantation par parcelle, compte tenu d'une main d'œuvre familiale réduite et d'un recours très rare à des salariés.
- Un autre ajustement face à une pluviométrie médiocre consiste à accélérer l'implantation afin de repiquer toutes les parcelles qui peuvent l'être dans le délai le plus court possible en complétant la main d'œuvre familiale par des salariés ou en utilisant l'herbicide. Pour cela, les parcelles du ou des *kare* exploités sont regroupées en lots et la préparation et le repiquage sont menés de front. Comme cela a été observé chez G.O, la main d'œuvre familiale se consacre aux chantiers de repiquage, et la préparation est effectuée grâce à l'emploi de manœuvres extérieurs ou à l'aide de l'herbicide.

Les agriculteurs combinent le plus souvent ces règles d'ajustements, en fonction du niveau de sécheresse des terrains, de leur disponibilité en plants et en trésorerie. Le cas de G.O en 2002 en est une illustration¹⁹.

Ces mêmes ajustements s'observent aussi lorsque un agriculteur a pris du retard dans l'implantation (manque de main d'œuvre, déficit d'approvisionnement en plants...) et que les parcelles montrent des signes de dessiccation.

¹⁸ Couvert herbacé en grande partie déjà sec, petites fentes de retrait, sol trop dur pour la trouaison.

¹⁹ Lors de la campagne 2002/2003, G.O a privilégié la préparation de certaines parcelles *sa'doore* (traitement herbicide+fauchage par des salariés), avant de revenir repiquer sur les parcelles hardées grâce à une dernière pluie (cf.§2.1.2.5).

Le problème est alors semblable à celui posé par une pluviométrie insuffisante, et l'agriculteur s'adapte soit en abandonnant les parcelles les plus sèches, soit en sollicitant une main d'œuvre extérieure d'appoint pour accélérer l'implantation. A Mowo en 2001, S.T (M₅) ayant longtemps attendu la croissance de sa pépinière et disposant par la suite d'une importante quantité de plants à repiquer, s'est fait aidé ponctuellement d'un manoeuvre salarié pour accélérer son chantier de repiquage.

Même avec l'emploi de salariés temporaires, la qualité et la vitesse d'exécution des travaux se révèle très variable d'un manoeuvre à un autre, ce qui peut contribuer au problème de retard d'implantation comme cela a été le cas chez G.R (M₁, Annexe 8) à Mowo en 2001. Ce dernier, pris par le temps, a dû organiser un *surga* (travail collectif) pour achever la préparation des dernières parcelles et permettre leur repiquage.

2.2.2.3. Gestion des sarclages pendant la période de récolte des cultures pluviales

La période de récolte débute toujours par celle du sorgho pluvial, souvent déclenchée avant la fin du repiquage du *muskuwaari*, notamment dans les exploitations où les ressources vivrières de la campagne précédente sont épuisées. Les agriculteurs prélèvent ponctuellement les premières panicules de sorgho parvenues à maturité pour l'autoconsommation, mais le gros de la récolte a lieu après la fin de l'implantation du *muskuwaari*.

A Mowo, la pression des troupeaux pour la consommation des résidus pousse les agriculteurs à récolter leurs champs le plus vite possible en une seule séquence. Ainsi, G.R (M₁, Annexe 8) mobilise l'ensemble de la main d'œuvre familiale pour effectuer rapidement la récolte du *njigaari* et éviter les dégâts des troupeaux qui sont fréquents pendant cette période. Cette règle d'arbitrage en faveur du sorgho pluvial peut retarder le sarclage du *muskuwaari*, en particulier en cas de forte pression des adventices les années les plus humides comme cela a été observé chez A.K (M₃, Annexe 7) en 2001/2002.

Pour éviter le retard dans l'entretien du *karal*, une solution consiste à répartir la main d'œuvre familiale entre le sarclage du sorgho repiqué et les travaux de fin de récolte du *njigaari*. La période peut se prolonger avec la récolte de l'arachide ou du niébé seuls ou associés au sorgho pluvial, puis du coton. Ces travaux limitent la force de travail disponible pour le sarclage ce qui explique le recours à des manoeuvres ou l'organisation de *surga* pour accélérer l'entretien du *karal*, surtout en cas de forte concurrence des adventices (cas de M₁ et M₆ Annexes 8 et 9). Les difficultés que rencontrent parfois les agriculteurs de Mowo pour réaliser le sarclage au bon moment compte tenu de travaux de récolte plus pressants, confère un intérêt supplémentaire à l'emploi de l'herbicide pour mieux maîtriser certaines adventices vivaces et réduire les travaux d'entretien.

A Balaza, la gestion des sarclages et des travaux de récolte apparaît plus souple compte tenu d'une moindre pression des troupeaux. Les agriculteurs peuvent plus facilement alterner les opérations, en fonction de l'avancement des chantiers de récolte et du niveau d'enherbement des parcelles de *muskuwaari*. La répartition de la main d'œuvre familiale et l'emploi de manoeuvres permettent également de faire face aux pointes de travail.

Tableau III-10 : Récapitulatif des pratiques enregistrées pour la préparation et le sarclage du *muskuwaari* dans les exploitations suivis en 2001 et 2002

Nom	terrains ²⁰	année	S.musk repiq.(ha)	S./actif familial	nb. salariés	S.fauchée /salariés	S. traitée /herbicide	nb. séquence prep./ha	nb. jours prep.(j/ha)	nb séqu. sarcl./ha	nb. jours sarcl.(j/ha)
Balaza											
G.O (B ₁)	H&B	2001	2,75	0,45	3		25%	2	9	2	15
		2002	3,5	0,6	1	5%	46%	1	7	1	11
N.A (B ₂)	H	2001	1,75	0,4				3	19	2	20
		2002	1,75	0,4				3	15	2	12
A.A (B ₃)	B	2001	1,25	0,8	2	40%		2	15	1	8
		2002	1	0,8	5		50%	2	5	1	10
H.O (B ₄)	H&B	2001	2	0,6	3	70%	30%	1	9	2	6
		2002	2	0,6	3	37%	63%	1	6	1	7
A.B (B ₅)	H	2001	1	0,3	1	10%		4	20	1	22
		2002	0,75	0,3			29%	4	25	1	28
S.G (B ₆)	B	2001	0,75	0,5							
		2002	0,75	0,5			17%	5	25	2	15
H.K (B ₇)	H&B	2001	1,5	1	2		30%	3	9	1	11
		2002	1,5	0,75	1	10%	50%	2	7	1	9
Mowo											
G.R (M ₁)	H&B	2001	2,75	0,3	3	62%		1	9	1	5
		2002	2,25	0,3	2	56%	27%	1	11	1	5
K.E (M ₂)	H&B	2001	1	0,3				3	10	2	8
		2002	0,75	0,3				2	8	1	4
A.K (M ₃)	H&B	2001	1,25	0,4	3	60%		2	21	2	19
		2002	1	0,3	3	100%		2	20	2	10
K.D (M ₄)	H&B	2001	1,25	0,6	1			2	15	1	15
		2002	1	1	2	25%		2	20	1	5
K.R (M ₆)	B	2001	2,5	0,4	4	90%		1	8	2	10
		2002	2,5	0,4	3	80%	10%	1	7	1	10
M.T (M ₇)	H	2001	3,5	0,3			6%	1	20	1	8
		2002	3,25	0,3	5	86%		1	12	1	2

²⁰ H : dominante de vertisols intermédiaires ou dégradés; B : dominante de vertisols modaux; H&B : agriculteur possédant une gamme variée de vertisols

2.3. Synthèse sur l'évolution des RdD liée à l'introduction de l'herbicide

La construction du modèle d'action de G.O et la comparaison du contenu des RdD des différentes exploitations enquêtées ont mis en évidence les évolutions dans l'organisation de l'implantation liées à l'utilisation croissante du traitement herbicide pour la préparation des *kare* :

- L'usage de l'herbicide modifie la règle de déclenchement de la préparation. Les conditions d'intervention pour le traitement se révèlent plus souples que celles pour le fauchage. Ce dernier suppose un certain dessèchement du couvert herbacé et de la surface du sol, et peut être interrompu à cause d'une pluie. L'application du glyphosate peut être engagée plus facilement, généralement une quinzaine de jours avant la date présumée du repiquage avec toutefois le risque de ne pas être efficace si une pluie survient quelques heures après. Les agriculteurs étant en phase d'apprentissage, les règles de décision concernant le déclenchement du traitement en fonction du type d'enherbement, le choix de la matière active et de la dose, restent à préciser et à enrichir. Par exemple, pour un couvert à dominante de graminées annuelles, un herbicide de contact serait plus approprié compte tenu de son action rapide. Dans ce cas, l'herbicide n'est pas forcément utilisé pour le déclenchement de l'implantation, mais peut constituer une solution d'ajustement pour accélérer, si nécessaire, la préparation d'une parcelle lorsque l'agriculteur est pris par le temps, notamment en cas de scénario pluviométrique défavorable et de dessèchement rapide du *karal*. Le paraquat, commercialisé par la SODECOTON, est déjà utilisé dans cette optique, mais il serait souhaitable de disposer d'herbicide de contact moins toxique avant de conseiller cette option technique.
- L'analyse de l'adoption de l'herbicide dans les exploitations montre que le recours au traitement sur des surfaces croissantes remplace souvent l'emploi de manœuvres recrutés habituellement ou occasionnellement pour la préparation. Cette tendance s'observe notamment à Balaza, où l'innovation technique est un peu plus ancienne et le recours aux manœuvres plus fréquent (Tableau III-10). Les agriculteurs suivis ont traité en moyenne 36% de leur surface en *karal* en 2002. Les surfaces traitées représentent 47% de la surface totale, l'herbicide étant surtout utilisé dans les grandes exploitations comme B₁ B₄ et B₇ (surface en *karal* ≥ 1,5ha), qui sollicitaient auparavant des salariés temporaires.
- Avec le traitement herbicide, les agriculteurs cherchent à la fois à mieux maîtriser certaines adventices vivaces, mais aussi à gagner du temps pour la conduite de l'implantation à l'échelle de la sole. Le traitement permet d'accélérer la préparation et de repiquer plus tôt, ce qui peut sécuriser la mise en culture en particulier les années sèches. Le suivi des pratiques montre une diminution du temps de préparation dans les exploitations où les surfaces traitées augmentent (Tableau III-10)²¹. Le développement du traitement peut faciliter l'extension des surfaces repiquées comme pour G.O en 2002/2003.
- Le gain de temps offert par l'utilisation de l'herbicide se traduit dans l'enchaînement des opérations d'implantation. Chez les agriculteurs disposant de peu de main d'œuvre, alternant fauchage puis repiquage par parcelle et n'utilisant pas le traitement herbicide, le nombre de séquences de préparation par hectare apparaît assez élevé (3 à 5 pour B₂, B₅, B₆, M₂, Tableau III-10). Par contre, dans les exploitations où la proportion des surfaces traitées a augmenté entre 2001 et 2002, atteignant désormais plus de 40 %, on observe parfois une diminution des séquences de préparation par hectare (2 au maximum), compte tenu de la baisse du temps de préparation. Dans ces situations où le traitement est déjà important, les travaux de

²¹ Globalement, on observe une forte variabilité des temps de travaux d'une exploitation à l'autre compte tenu des importantes différences individuelles de réalisation d'un travail en agriculture manuelle (Milleville, 1972).

préparation sont pratiquement tous regroupés dans une séquence principale au début de la période d'implantation.

- Enfin la maîtrise des adventices vivaces à l'aide de l'herbicide offre une réduction des travaux de sarclage ce qui peut libérer du temps pour les travaux de récolte des cultures pluviales qui doivent être exécutés rapidement notamment à Mowo, compte tenu de la pression des troupeaux pour le pâturage des résidus de récolte.

3. GRILLE D'ANALYSE DE LA CONDUITE DU *MUSKUWAARI* A L'USAGE DE CONSEILLERS

Le principal objectif de cette grille d'analyse consiste à dégager les éléments clés pour la compréhension de la gestion technique du *muskuwaari* au sein d'une exploitation agricole. Il s'agit de mettre en évidence les caractéristiques de structure de l'exploitation et d'organisation du travail, permettant à un conseiller agricole de réaliser un diagnostic sommaire du mode de conduite de la sole à *muskuwaari*. Sur la base de ce diagnostic, des changements techniques, tels que l'adoption du traitement herbicide ou l'évolution des pratiques liées à son utilisation, peuvent être discutés. Cette grille d'analyse apparaît également utile pour discuter de changements dans la gestion de la conduite de la culture, en particulier concernant l'organisation des semis et l'articulation avec l'implantation.

A. Environnement des exploitations

Certains facteurs externes à l'exploitation sont à prendre en compte pour comprendre les pratiques et orienter leur évolution :

- évolution des disponibilités en terre, notamment les éventuelles possibilités de défrichage de nouveaux *kare* ou de récupération de parcelles non cultivées à cause de l'envahissement par des adventices vivaces
- évolution de la disponibilité et des prix des intrants, des équipements (en particulier les pulvérisateurs) et de la main d'œuvre
- services de formation/conseil et d'approvisionnement en intrants (rôle du groupement de producteur pour approvisionnement et crédit, formations/conseil déjà dispensé sur l'emploi d'herbicide dans le *kara*,...)

B. Structure de l'exploitation

Il s'agit de faire ressortir les éléments de structure utiles pour l'analyse de la gestion technique du *muskuwaari* :

- superficies cultivées et proportion des cultures pluviales et du *muskuwaari*
- caractérisation de la force de travail (importance de la main d'œuvre familiale, recours à des manœuvres salariés, traction animale pour l'aménagement du *kara* et la préparation des pépinières)

C. Caractérisation du *kara* ou des *kare* de l'agriculteur

La description de la diversité des milieux cultivés dans la sole à *muskuwaari* doit permettre en particulier de bien raisonner l'utilisation du traitement herbicide :

- type de sol dominant pour chaque *kara*, et éloignement respectif par rapport au siège de l'exploitation
- schéma de chaque *kara* à réaliser si possible sur le terrain avec l'agriculteur, pour mettre en évidence l'hétérogénéité liée aux variations de topographie et de type de sol à l'intérieur du *kara* (localiser les parties surélevées, anciennes termitières, les sols plus filtrants ou dégradés, l'importance des aménagements de

diguettes, les mares et parcelles inondables en position basse...) et la variabilité de l'enherbement en repérant les portions avec des adventices vivaces et les éventuelles variations du recouvrement global des herbes avant préparation selon le type de sol

D. Organisation du travail pour la conduite des opérations culturales

Gestion des semis en pépinières

L'analyse de la gestion des semis vise à évaluer le plan d'action de l'agriculteur pour assurer une production régulière de plants tout au long de la période de repiquage :

- règle de décision pour le déclenchement du premier semis
- nombre de pépinières prévues et quantité approximative de semences pour chacune
- variabilité des emplacements de semis
- prélèvement de plants chez d'autres agriculteurs

En examinant la cohérence entre l'organisation annoncée et les ressources productives disponibles (surfaces et types de sol à repiquer, équipement pour la préparation des pépinières), le conseiller peut juger de la prise de risque de l'agriculteur vis-à-vis des aléas climatiques (risques de déficit de plants à cause d'une interruption des pluies au cours de la période de semis ou au contraire d'un prolongement tardif des précipitations) et proposer éventuellement des améliorations.

Conduite de l'implantation et de l'entretien de la culture

Il s'agit ici de caractériser le déclenchement et le déroulement de l'implantation et des sarclages à travers un exercice de mise en situation de l'agriculteur pour différents scénarios climatiques. Pour simplifier, on distingue une situation en année peu pluvieuse avec interruption précoce des pluies, et une année de bonne pluviométrie avec prolongement des pluies jusqu'en octobre. Les plans d'action et les ajustements exposés par l'agriculteur peuvent être confrontés à la description de ses ressources productives réalisée précédemment.

- déclenchement et mode de préparation des premières parcelles
- enchaînement de la préparation et du repiquage : opérations menées de front ou alternées par parcelle
- identification de l'ordre d'implantation des parcelles au sein de chaque *kara* pour un "scénario climatique moyen", compte tenu des caractéristiques topographiques et pédologiques observées
- modification de l'ordre d'implantation selon le scénario climatique, et repérage des éventuelles parcelles abandonnées en cas de faible pluviométrie
- déroulement des sarclages selon l'avancement des travaux de récolte des cultures pluviales

L'emploi de l'herbicide en fonction des conditions climatiques et l'évolution des RdD liées à cette innovation peuvent être discutés sur la base de cette caractérisation synthétique de l'organisation du travail pour l'implantation et les sarclages. Par exemple, pour les agriculteurs disposant de surfaces réduites et de peu de moyens, le traitement peut être adopté de façon localisée pour la maîtrise de certaines adventices vivaces, ou comme un ajustement en cas de faible pluviométrie, si l'agriculteur est pris par le temps, pour accélérer l'implantation d'une parcelle dont le sol se dessèche rapidement.

Pour une exploitation où le traitement est déjà couramment pratiqué, le conseil peut amener l'agriculteur à établir des priorités dans les objectifs assignés à l'utilisation de l'herbicide (maîtrise vivaces, gain de temps pour l'implantation), et ainsi à reconsidérer ses prévisions concernant les surfaces traitées, en fonction du scénario climatique et des situations d'enherbement de son *kara* ou ses *kare*.

4. DISCUSSION-CONCLUSION

Ce chapitre a permis de formaliser, à l'aide du concept de modèle d'action, les **connaissances et raisonnements des agriculteurs concernant la conduite du sorgho repiqué**, représentés par des règles de décision pour la gestion des semis en pépinières, de l'implantation et de l'entretien de la culture. On a cherché à mettre en évidence comment les agriculteurs organisent leurs décisions à partir d'un découpage du temps et de l'espace permettant de répondre au problème général de conduite de la culture (articulation semis-repiquage) et de s'adapter aux aléas climatiques (Papy, 1998).

L'analyse de la conduite technique du *muskuwaari* dans une exploitation en particulier a montré que l'agriculteur établit un programme prévisionnel concernant le déroulement des opérations culturales et s'appuie sur différentes règles (déclenchement, enchaînement...) pour sa réalisation, avec des solutions de rechange pour faire face aux aléas climatiques. La confrontation de ce modèle d'action à d'autres études de cas a fait ressortir les règles communes entre agriculteurs, les variations du contenu des règles de décision résultant de l'application du modèle à une situation particulière, et l'importance des règles d'ajustement aux conditions climatiques. En dépit de cette diversité de contenu des RdD, **des grands modes de gestion des semis et de l'implantation de la sole à *muskuwaari* peuvent être identifiés**. Comme cela a été observé à propos de la gestion de la sole cotonnière (Dounias, 1998), ces modes de conduite peuvent être reliés à des caractéristiques générales des ressources productives des exploitations (main d'œuvre, équipement, surface et nature des terres à *muskuwaari*).

Concernant la production de plants en pépinières, les agriculteurs combinent, à des niveaux variables, l'échelonnement des semis et la diversité des types de sol et des variétés dans les différents emplacements, afin d'étaler l'approvisionnement en plants.

Les agriculteurs les plus prévoyants s'efforcent de respecter une date fixe de déclenchement du premier semis et de faire varier ensuite l'installation des pépinières dans le temps et dans l'espace pour sécuriser la disponibilité en plants quel que soit le scénario climatique, d'autant plus si les surfaces à repiquer sont importantes et hétérogènes. Beaucoup d'agriculteurs adoptent un **comportement plus adaptatif dans la gestion des semis**, en s'appuyant principalement sur la production de deux à trois grandes pépinières et en ajustant les semis selon la pluviométrie, ce qui explique le nombre de pépinières et les surfaces semées variables selon le climat de l'année. Le déclenchement du premier semis apparaît souvent plus aléatoire ce qui peut poser des problèmes de disponibilité en plants en cas d'arrêt prolongé des pluies au cours de la période de croissance des pépinières. Cette organisation, moins exigeante en travail, peut convenir lorsque les surfaces cultivées sont assez réduites (inférieures à 2 ha), mais l'agriculteur s'expose à des risques plus élevés d'un déficit ou d'une pénurie de plants liés à un accident climatique. En s'appuyant sur les analyses fréquentielles de la pluviométrie, un conseil spécifique sur la conduite des pépinières peut aider les agriculteurs à améliorer leurs décisions concernant le déclenchement et l'échelonnement des semis, et partant la quantité de semences à prévoir.

La gestion des semis se répercute sur la conduite de l'implantation, puisque le démarrage de la préparation et l'enchaînement des travaux de repiquage sont avant tout déterminés par le niveau développement des pépinières et la régularité de l'approvisionnement en plants. Comme pour les semis, il existe **une relation entre l'organisation du travail pour la conduite de l'implantation et la structure de l'exploitation**, avec encore une part importante des choix techniques qui relèvent d'ajustements aux conditions climatiques de l'année. Deux grands modes de conduite de l'implantation, liés à la capacité ou non de l'agriculteur à mener en même temps les chantiers de préparation et de repiquage, ont été distingués. Ainsi, la ressource en travail apparaît essentielle

pour le raisonnement de la conduite. Dans un cas, l'agriculteur dispose de peu de main d'œuvre et d'une superficie relativement réduite, ce qui explique qu'il réalise les successions d'opération (préparation et repiquage) par parcelle en s'appuyant au mieux sur l'hétérogénéité édaphique de son *karal* pour repiquer au meilleur moment du point de vue de l'humidité du sol. Dans l'autre cas, l'agriculteur choisit, pour aller plus vite si nécessaire, de conduire en même temps les chantiers de préparation et de repiquage. Pour cela, il décide de la répartition de sa main d'œuvre familiale dans les différents chantiers et/ou l'emploi de manœuvres salariés. Ce mode de conduite se révèle systématique dans les grandes exploitations où l'importance des surfaces repiquées (au moins 2 ha) exige une exécution rapide des différents chantiers. Cette organisation peut constituer une règle d'ajustement pour accélérer l'implantation compte tenu d'un dessèchement rapide du *karal* et/ou de retards dans l'avancement des travaux d'abord engagés par parcelle. Ainsi, l'appartenance d'une exploitation à un des deux grands types de modèle d'action n'apparaît pas toujours clairement définie compte tenu de l'importance des ajustements dans la conduite.

Pour le moment, l'adoption du traitement herbicide a lieu essentiellement dans les exploitations dont l'organisation de l'implantation relève du deuxième cas. En effet, la possibilité, avec le traitement herbicide, de produire au moins autant en travaillant moins et à un coût équivalent à l'emploi de manœuvres a entraîné l'adoption immédiate des agriculteurs. Dans les petites unités de production où le chef d'exploitation déclare ne pas avoir les moyens pour acheter l'herbicide, il faut comprendre qu'il ne souhaite pas risquer une dépense sans être sûr du résultat (Levang, 1998). Il est probable que l'innovation retiendra l'attention de ces producteurs au fur et à mesure de l'apprentissage et de la meilleure maîtrise de la technique dans les communautés.

Notre travail de compréhension des processus de décision offre **une représentation commune** de la conduite technique du *muskuwaari* et permet de dégager **une grille d'analyse de l'organisation du travail pour les semis, l'implantation et les sarclages à l'usage de conseillers**. L'étude comporte cependant des limites concernant la représentativité des résultats et la formalisation des RdD.

La gamme de variabilité de la gestion technique du sorgho repiqué n'a sans doute pas été entièrement explorée, compte tenu du dispositif limité à deux sites d'enquêtes et de la taille réduite de l'échantillon d'exploitations. La grille d'analyse peut déjà constituer un support de discussion concernant l'utilisation de l'herbicide quel que soit le milieu considéré. Le développement du conseil sur d'autres aspects (gestion des pépinières par exemple) à l'échelle régionale suppose de valider et d'enrichir notre modèle d'action à partir d'enquêtes dans d'autres sites en faisant varier les grandes caractéristiques du milieu cultivé (type de vertisol, inondabilité) et l'appartenance ethnique, sur la base du zonage des systèmes de culture à *muskuwaari* dans l'Extrême-Nord Cameroun (chapitre 1). Par exemple, dans les zones à *muskuwaari* où les terres cultivées sont en grande partie inondables, on peut s'attendre à des différences dans la gestion des semis et l'enchaînement des chantiers d'implantation. En effet, le prolongement de l'inondation et l'importance de la lame d'eau au cours de la saison des pluies peuvent réduire les travaux de préparation mais entraînent un décalage de la période de repiquage bien au-delà des dernières pluies.

Même si les agriculteurs sont en mesure de prévoir de façon générale leur organisation du travail, il est apparu souvent difficile de formaliser précisément leur programme prévisionnel notamment avec des dates repères comme cela a été réalisé dans d'autres travaux sur la conduite technique des cultures (Aubry *et al.*, 1998 ; Dounias, 1998). Bien que le calendrier local constitue un repère pour certains agriculteurs peuls ayant une bonne expérience de la culture du *muskuwaari*, l'identification de dates-seuil permettant de mieux définir des objectifs de conduite s'avère difficile compte tenu des fréquents ajustements de l'organisation du travail liés aux événements pluviométriques au cours de l'avancement des chantiers.

Une formalisation plus poussée des RdD et une meilleure compréhension des écarts entre prévision et réalisation auraient sans doute été obtenues en prenant mieux en compte la faisabilité des opérations par l'observation de l'agriculteur lors de l'exécution (Aubry, 1995). Pour cela, des références agronomiques sur le fonctionnement du champs cultivé reste à élaborer. Il serait par exemple intéressant de déterminer précisément, pour les différents types de vertisols, les conditions d'humidité du sol acceptables pour garantir une bonne reprise des plants de sorgho. A partir de l'analyse fréquentielle de la pluviométrie et de références sur l'évolution des valeurs moyennes de l'ETP pendant la période de l'implantation, on peut ainsi élaborer un modèle de détermination du nombre de jours disponibles pour le repiquage et leur probabilité d'occurrence au cours de la période, à la manière de travaux menés en France sur les chantiers de préparation des semis au printemps (Papy et Servettaz, 1986). La démarche suppose également de déterminer le nombre de jours nécessaires pour le repiquage de la sole qui est fonction de la main d'œuvre disponible (débit de chantier en hectare par jour) et de l'organisation adoptée (préparation et repiquage menés de front ou pas). La confrontation des jours disponibles et des jours nécessaires permet alors de mieux juger du mode d'organisation du travail pour l'implantation. On peut ainsi aider l'agriculteur en objectivant les termes du choix qu'il fait entre plusieurs risques (Papy, 2001), par exemple entre le risque d'un pourrissement des plants à cause d'une pluie juste après un repiquage précoce et le risque de ne pas repiquer dans de bonnes conditions du point de vue de l'état du sol.

L'utilisation de l'herbicide s'avère un moyen de réduire ce risque en permettant d'accélérer la préparation et de gagner du temps dans la conduite de l'implantation à l'échelle de la sole. L'analyse des RdD a montré que les agriculteurs voient dans cette innovation technique non seulement un moyen de mieux maîtriser certaines adventices vivaces, mais aussi de **sécuriser la mise en culture en particulier lors des années sèches**, voire dans certains cas de donner la possibilité d'étendre les surfaces repiquées. Les références agronomiques présentées dans le chapitre suivant, doivent permettre d'enrichir le conseil en renseignant les agriculteurs sur les gains de production qu'ils peuvent espérer de l'utilisation de l'herbicide dans diverses situations d'enherbement et pour différentes conditions climatiques, mais aussi en précisant les RdD pour la mise en œuvre du traitement dans ces différentes situations, en particulier concernant le déclenchement, les doses et le choix de la matière active.

Chapitre 4

Diagnostic agronomique et évaluation des effets du traitement herbicide sur le fonctionnement de l'agro-écosystème

Dans ce chapitre, on cherche tout d'abord à expliquer la variabilité des rendements du sorgho *muskuwaari* en milieu paysan et à mettre en évidence les facteurs du milieu et les techniques culturales à l'origine de ces variations. Les expérimentations effectuées lors de deux campagnes consécutives visent aussi à évaluer des itinéraires avec traitement herbicide de préparation en montrant les intérêts et limites de cette technique dans diverses situations d'enherbement. Il s'agit de dégager des nouvelles règles de décision liées à l'utilisation de l'herbicide (déclenchement traitement, matière active et dosage) et d'examiner, à la lumière des résultats du diagnostic cultural, les effets du traitement sur l'élaboration du rendement.

1. ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE SUR LE FONCTIONNEMENT DU PEUPEMENT DE SORGHO

Il s'agit ici de rappeler les principales connaissances sur la culture du sorgho, utiles pour le diagnostic agronomique en parcelles paysannes et l'interprétation des expérimentations.

1.1. Cycle de développement du sorgho et analyse des composantes du rendement

La phase reproductive apparaît particulièrement déterminante pour la production car le nombre de grains potentiel par plante y est fixé (Lee *et al.*, 1974, cité par Sène, 1999). L'initiation paniculaire marque la fin de la phase végétative par différenciation du bourgeon végétatif en bourgeon floral (méristème). Il n'existe pas d'indicateur précis pour repérer ce stade. En s'inspirant des travaux de Sène (1999), et en tenant compte du retard de développement de la plante induit par le repiquage, on considère le début de l'initiation paniculaire à la date fixe de 30 Jours Après Repiquage (JAR), ce qui correspond environ à 70 Jours après la levée, en tenant compte d'un temps moyen en pépinière de 40 jours. Les stades début floraison, fin floraison et maturité sont plus aisés à repérer et correspondent approximativement à 60, 90 et 120 JAR, ainsi que nous avons pu le vérifier à partir des durées de cycle enregistrées dans notre réseau de parcelles (Annexe 1B).

Concernant la majorité des céréales à paille, il est admis que les composantes finales du rendement (nombre de grains par m², poids moyen d'un grain) sont formées à des périodes du cycle bien délimitées et distinctes (Meynard et Sebillote, 1994). La valeur de ces composantes peut constituer un indicateur du caractère plus ou moins favorable du milieu pendant sa phase de formation. Ainsi les variations du nombre de panicules et de grains par panicule, dont on verra l'importance pour expliquer la variabilité des rendements, sont à analyser en portant une attention particulière aux conditions pendant la phase reproductive (Sène, 1999). Il s'agit ainsi d'examiner les facteurs biotiques et abiotiques qui ont pu pénaliser l'établissement de chaque composante, au cours des différentes phases.

1.2. Nutrition du sorgho en éléments minéraux

La répartition des éléments minéraux dans les différents organes de la plante est influencée par la fertilité du sol, mais aussi par le régime hydrique et le génotype (Gigou, 1984 ; Sène, 1999). La fertilité augmente l'accumulation des éléments minéraux (N, P, K), et les stress hydriques limitent la mobilisation de l'azote. L'état nutritionnel du sorgho en azote a été estimé en utilisant l'Indice de Nutrition Azotée (INN), basé sur l'existence d'une relation stable entre la teneur critique en azote d'une culture et sa biomasse aérienne en phase végétative (Lemaire *et al.*, 1989, cité par Sène, 1999). D'après ce modèle on a :

$$\text{INN} = \text{Nact} / \text{Nopt}$$

Où :

Nact = teneur en azote mesurée du peuplement

Nopt (teneur critique en azote) = $3,4 (\text{MS})^{-0,37}$

MS : Biomasse aérienne accumulée en tonne/ha (Nopt est constante pour MS < 1 tonne/ha)

Cet indice est supérieur ou égal à 1 en conditions non limitantes en azote, et inférieur à 1 lorsque la nutrition azotée est limitante (Sène, 1999).

1.3. Influence des conditions du milieu

1.3.1. Importance du stress hydrique pour le sorgho de saison sèche

Compte tenu du déroulement du cycle cultural qui s'effectue en grande partie au cours de la saison sèche, il convient de porter une attention particulière aux effets de stress hydriques sur les composantes du rendement. On se contente ici de faire ressortir les points essentiels de travaux bibliographiques menés par ailleurs (Sène, 1999 ; Sine, 2003).

- Un stress hydrique dès la phase végétative se traduit par une diminution du nombre de feuilles vertes fonctionnelles.
- C'est au cours de la phase entre l'initiation paniculaire et la pollinisation que la plante est la plus sensible au manque d'eau. Un déficit dans l'alimentation hydrique au cours de cette phase se manifeste par une baisse du nombre de grains et un retard de l'initiation paniculaire et de la floraison, respectivement jusqu'à 25 et 69 jours.
- Le poids des grains est affecté si un stress hydrique intervient entre la floraison et le stade grain pâteux.

L'enroulement des feuilles, utilisé comme indicateur de stress hydrique, constitue un symptôme pouvant survenir tout au long du cycle. D'autres symptômes visuels liés au stress hydrique durant les phases reproductives et de maturation peuvent apparaître :

- réduction de la taille des plantes, de la surface foliaire et donc de la production de matière sèche ;
- stérilité des fleurs ;
- mauvaise exsertion de la panicule, c'est-à-dire un pédoncule trop court dégageant mal l'inflorescence de la dernière gaine foliaire ce qui peut empêcher la formation des graines à la base de la panicule ;
- avortement d'une partie de la panicule, voire dessèchement total ;

1.3.2. Stress biotiques

L'ensemble des maladies et ravageurs identifiés sur sorgho *muskuwaari* a déjà été passé en revue dans le chapitre de caractérisation des systèmes de culture (chapitre 2). Les maladies foliaires et des tiges ont des incidences assez limitées sur l'élaboration du rendement, contrairement aux maladies affectant la panicule telles que les moisissures et les charbons (Chantereau et Nicou, 1991). Le sorgho repiqué, dont la majorité du cycle cultural se déroule en saison sèche, présente un avantage vis-à-vis des maladies mais aussi de certains ravageurs puisque leur développement est plutôt favorisé par des temps chauds et humides.

Concernant les adventices, les travaux antérieurs exposés précédemment permettent d'avoir un aperçu de la diversité de la flore des terres à *muskuwaari*, non seulement avant repiquage mais également au cours du cycle cultural. Les références à ces travaux sont utiles pour caractériser l'enherbement dans le réseau de parcelles expérimentales. Le suivi et l'analyse spécifique des problèmes d'enherbement doivent enrichir la connaissance agronomique de l'effet de la concurrence des mauvaises herbes sur l'élaboration du rendement du *muskuwaari*.

2. PRESENTATION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif comprend 35 expérimentations en parcelles agricoles, partagées entre les terroirs de Balaza-Domayo et Mowo. Ces expérimentations ont eu lieu lors des campagnes 2001/2002 et 2002/2003, de façon à prospecter une certaine variabilité climatique inter-annuelle. Elles ont consisté à comparer l'itinéraire technique habituel de l'agriculteur (témoin) à un ou deux itinéraires techniques innovants selon la situation d'enherbement, intégrant un traitement herbicide de préparation. Ces expérimentations constituent des essais "système de culture" (Meynard *et al.*, 1996 ; Reau *et al.*, 1996). Elles ont été menées en première année sur la base d'une connaissance générale du système de culture, puis affinées lors de la deuxième campagne en s'appuyant sur les RdD formalisées au cours des enquêtes sur l'analyse de la conduite du *muskuwaari*.

Dans notre cas les données recueillies dans les parcelles témoins sont analysées pour effectuer un diagnostic agronomique sur l'élaboration du rendement de la culture. Dans chaque expérimentation, la parcelle témoin sert également de point de comparaison par rapport aux itinéraires techniques innovants et permet une évaluation agronomique de ces derniers (Meynard *et al.*, 1996).

2.1. L'évaluation expérimentale des itinéraires techniques

Dans notre situation, la démarche consiste à évaluer différentes règles de décision sur la gestion de l'enherbement avant repiquage. Cette évaluation suppose de formuler, pour chaque itinéraire, la stratégie de conduite (objectifs assignés et contraintes à intégrer) et les RdD qui lui sont associées (Reau *et al.*, 1996). Ainsi, les essais ont été préalablement discutés avec l'agriculteur, en particulier concernant le principal avantage qu'il souhaite retirer de l'utilisation de l'herbicide. Les itinéraires avec herbicide sont adaptés selon le type d'enherbement et conçus en intégrant les logiques des agriculteurs notamment vis-à-vis de la réalisation du brûlage. Les applications herbicides sont suivies du brûlage (TB) lorsque le recouvrement global, supérieur à 50 %, est susceptible de gêner la trouaison et le repiquage. En cas de recouvrement plus faible (inférieur à 50%), le brûlage n'est pas nécessaire (T) et le repiquage peut se faire directement après traitement. Ces itinéraires sont fondés sur des hypothèses concernant les atouts du traitement herbicide. L'évaluation agronomique consiste à tester ces hypothèses. Plusieurs situations sont à distinguer¹.

¹ Pour mieux visualiser les itinéraires techniques comparés, on se référera à la fiche technique réalisée pour le conseil (Annexe 23)

Situation 1 : graminées annuelles dominantes et recouvrement global avant repiquage inférieur ou égal à 50%

- t0 (témoin) : pratique habituelle de préparation du *karal* avant repiquage, par fauchage et brûlage des adventices, avec dans cette situation, l'apport extérieur de graminées annuelles (prélèvement en brousse) pour améliorer le brûlage
- T : traitement herbicide de préparation au glyphosate ou au paraquat suivi directement du repiquage. Compte tenu de son délai d'action relativement long (action systémique), le glyphosate n'apparaît pas la matière active la plus appropriée pour le traitement de graminées annuelles en fin de cycle et donc déjà partiellement desséchées. L'utilisation du paraquat, agissant par contact, s'avère intéressante lorsque l'agriculteur est pris par le temps et doit rapidement réaliser l'implantation.

Hypothèses des avantages du traitement herbicide par rapport à t0 :

- H₁ : maîtrise équivalente du couvert herbacé avec une faible dose d'herbicide
- H₂ : accélérer et faciliter la préparation de la parcelle
- H₃ : parvenir à effectuer l'implantation plus tôt pour améliorer la production

Situation 2 : graminées annuelles dominantes et recouvrement global avant repiquage supérieur à 50%

- t0 : fauchage et brûlage du couvert herbacé avant repiquage
- TB : traitement herbicide de préparation au glyphosate ou au paraquat, suivi du brûlage puis du repiquage.

Les hypothèses des avantages de ce traitement sont les mêmes qu'en situation 1

Situation 3 : présence d'adventices vivaces et recouvrement global avant repiquage inférieur ou égal à 50%

- t0 : fauchage et brûlage avec apport extérieur de graminées annuelles. Parfois, l'agriculteur choisit un labour manuel à la houe² pour mieux maîtriser certaines adventices vivaces et éviter le travail pénible de prélèvement de graminées en brousse.
- T : traitement herbicide de préparation au glyphosate suivi directement du repiquage (absence de brûlage)

Hypothèses des avantages du traitement herbicide par rapport à t0 :

- H₁ : meilleure maîtrise des adventices vivaces avec un herbicide total
- H₂ : accélérer et faciliter la préparation de la parcelle
- H₃ : parvenir à effectuer l'implantation plus tôt pour améliorer la production

Situation 4 : présence d'adventices vivaces et recouvrement global avant repiquage supérieur à 50%

- t0 : fauchage et brûlage du couvert herbacé avant repiquage
- TB : traitement herbicide de préparation au glyphosate suivi du brûlage puis du repiquage

Hypothèses des avantages du traitement herbicide par rapport à t0 :

- H₁ : meilleure maîtrise des adventices vivaces avec un herbicide total
- H₂ : accélérer et faciliter la préparation de la parcelle
- Pas d'hypothèse H₃ dans cette situation. Les agriculteurs sont rarement pressés pour repiquer ces parcelles souvent inondées où il faut attendre le retrait de l'eau et la diminution de l'humidité de l'horizon supérieur du sol avant d'engager l'implantation

² Le labour s'effectue aussi à la charrue, notamment dans cette situation de faible recouvrement. Ce mode de préparation qui n'a pas été observé dans nos expérimentations, est rarement pratiqué à Balaza et Mowo, mais beaucoup plus fréquemment autour de Salak, au sud de Maroua (cf. chapitre 2).

Dans ces mêmes situations, un itinéraire supplémentaire basé sur notre propre raisonnement technique a été évalué :

- TR : traitement herbicide de préparation au glyphosate puis rabattage du couvert desséché sur le sol et repiquage dans la couverture végétale morte (absence de brûlage). L'opération de rabattage des herbes, nécessaire pour ne pas trop gêner le repiquage, annule le gain de temps généré par le traitement herbicide par rapport au mode de préparation habituel. Cette opération, réalisée à l'aide d'une planche de 3m de long tirée manuellement avec une corde, n'a pas toujours été nécessaire. Dans certains cas, les herbes séchées se couchent naturellement sous l'effet du vent et d'une pluie.

Hypothèses des avantages de TR par rapport à t0 :

- H₁ (situation 2): maîtrise équivalente du couvert herbacé avec herbicide
- H₁ (situation 4): meilleure maîtrise des vivaces avec herbicide et couverture végétale (mulch)
- H₂ : effet positif du mulch sur le peuplement cultivé en réduisant l'évaporation de l'eau du sol et limitant les repousses d'adventices

Dans nos expérimentations, c'est l'évaluation sur le fonctionnement de l'agro-écosystème qui a été privilégiée. L'hypothèse de l'avantage de l'herbicide pour accélérer et faciliter la préparation des parcelles (H₂ pour toutes les situations sauf pour le traitement TR) a déjà été vérifiée à travers l'analyse des pratiques et des RdD pour la conduite du *muskuwaari* (chapitre 3). De toute façon, l'évaluation des temps de travaux et des contraintes de faisabilité n'aurait pas pu être faite dans nos petites parcelles expérimentales ; elle est difficilement compatible avec les exigences de l'évaluation agronomique (Meynard *et al.*, 1996) ; il apparaît, en effet, difficile de trouver des surfaces expérimentales de taille suffisante pour permettre d'estimer les temps de travaux, sans risquer des problèmes de confusion d'effets liés à l'hétérogénéité du sol. L'intérêt économique du traitement, notamment pour réduire les charges opérationnelles par rapport à l'emploi de manœuvres temporaires pour le fauchage, a déjà été analysé précédemment et n'est pas non plus considéré dans ces expérimentations.

Lors de la campagne 2001/2002, la formalisation des RdD, en particulier celles liées à la gestion de l'enherbement, était encore partielle, ce qui a conduit à des imprécisions dans la conduite des tests, entraînant parfois des difficultés pour la comparaison des itinéraires. Les objectifs des différents modes de gestion de l'enherbement ont été exposés aux agriculteurs. Les parcelles expérimentales ont été sélectionnées dans des portions de *kara* relativement homogènes du point de vue de l'enherbement sans véritablement tenir compte de l'organisation du travail de chaque agriculteur pour l'implantation. Ce dernier point a limité le test de l'hypothèse H₃ selon laquelle l'emploi de l'herbicide permet de réaliser l'implantation plus tôt.

Lors de la deuxième campagne d'expérimentation, la démarche a été affinée. Les essais ont été renouvelés chez les mêmes agriculteurs mais dans une autre partie du *kara*, en s'efforçant de retrouver des conditions de sol et d'enherbement similaires à l'année précédente (Figure IV-1).

Grâce à une meilleure connaissance des règles de conduite de la sole à *muskuwaari* et de l'organisation spatiale du *kara* de chaque agriculteur, les itinéraires et le choix des parcelles d'essai ont été mieux réfléchis en fonction de l'organisation du travail pour l'implantation et des conditions climatiques de l'année. La démarche a consisté à discuter avec l'agriculteur du déroulement de la campagne précédente, et à décider de l'emplacement de la parcelle traitée à partir du schéma de son ou ses *kare*, des diverses situations d'enherbement et des éventuelles contraintes d'organisation du travail identifiées à travers les enquêtes. Les expérimentations, raisonnées de façon plus approfondie que l'année précédente, ont permis de mieux tester l'avantage du traitement pour avancer la date de repiquage (H₃). L'itinéraire avec traitement et rabattage des herbes a été abandonné compte tenu de la

gêne occasionnée par la couverture morte vis-à-vis des opérations de trouaison/repiquage et des problèmes d'augmentation des dégâts de criquets. La réalisation du brûlage a été laissée au choix de l'agriculteur, mis à part sur une parcelle à Balaza où le système de rabattage a été reconduit pour évaluer l'effet de la couverture morte pour un autre scénario climatique.

Mis à part les différentes modalités de gestion de l'enherbement, les autres caractéristiques de conduite de la culture sont laissées à l'appréciation de l'agriculteur qui adapte l'itinéraire au type de sol et aux conditions de l'année (déclenchement du repiquage et du sarclage dans le bloc expérimental, choix du nombre de sarclage selon le traitement,...). Des recommandations ont toutefois été faites pour réduire l'hétérogénéité liée aux pratiques culturales et limiter les possibles confusions d'effets entre le traitement expérimental et un ou plusieurs autres facteurs (origine ou état des plants au repiquage, date de repiquage, topographie,...) :

- assurer une certaine régularité de densité et de profondeur de repiquage en recommandant qu'un même opérateur assure l'opération de trouaison dans l'ensemble des traitements mis en comparaison ;
- prévoir des plants relativement homogènes pour le repiquage des parcelles (hauteur et diamètre de la tige), si possible issus d'une même pépinière et avec une seule variété. (dans les faits, il est apparu difficile de suivre précisément les semis des diverses pépinières de chaque agriculteur, et on observe des mélanges de variétés dans plusieurs blocs expérimentaux (Tableau IV-1) ;
- effectuer le repiquage de chaque parcelle à la même date ou, si la disponibilité en plants le permet, repiquer la parcelle traitée avant le témoin pour prendre en compte le temps gagné par le traitement herbicide³. Dans ce cas, le décalage n'est pas préjudiciable à l'évaluation de l'innovation par comparaison au témoin. En revanche, les dates de repiquages ont parfois été décalées, compte tenu de légères différences de sol et donc d'humidité entre les parcelles, ou de discontinuité dans la disponibilité en plants. Ces facteurs de variation qui rendent la comparaison plus délicate, sont à prendre en compte lors de l'analyse.

Parfois, lorsque les différences de milieu et de pratiques se sont révélées trop importantes entre les traitements (hétérogénéité du sol, différence de l'origine et du stade des plants au repiquage), seul le suivi de la parcelle témoin (t0) a été maintenu. Au total, les 35 parcelles témoin ont pu être valorisées pour le diagnostic agronomique et 27 expérimentations apportent des éléments de comparaison entre parcelles témoins et traitées (Tableau IV-1).

2.2. Echantillonnage des parcelles paysannes et des placettes d'observations

Les essais sont implantés chez les agriculteurs qui sont parallèlement enquêtés sur le fonctionnement général de leur exploitation, du système de culture à *muskuwaari*, et pour certains sur les RdD pour la conduite technique du *muskuwaari* (chapitres antérieurs). Les expérimentations ont ainsi été effectuées pour une gamme de milieux et de modes de conduite variés. Les situations retenues varient selon :

- le terrain (type de sol, position topographique, type d'enherbement)
- le type d'agriculteur (importance de la sole à *muskuwaari*, disponibilité en main d'œuvre familiale, recours ou non à des travailleurs saisonniers...)

³ Dans les situations d'enherbement avec un fort recouvrement impliquant le brûlage des herbes, l'avancement de la date de repiquage sur la partie traitée s'avère difficile car l'agriculteur ne peut pas effectuer le brûlage seulement sur une petite surface et s'arrange pour tout brûler en même temps. Le repiquage est ensuite réalisé à la même date, avec parfois quelques jours d'écart entre les parcelles témoins et traitées, selon la disponibilité en plants.

La surface des blocs expérimentaux va de 1000 à 2500 m², avec des parcelles élémentaires de 500 à 1250 m² et 3 placettes d'observation d'environ 20 m² pour tenir compte de la variabilité au sein de chaque parcelle (Figure IV-1). Le choix de l'emplacement des placettes est effectué de façon à éviter les microvariations de topographie et de types de sol (anciennes termitières, anciennes diguettes, chemins de passage...) très fréquentes en parcelle agricole africaine (Milleville, 1972 ; Milleville et Serpantié, 1991). Pour augmenter les chances de mettre en évidence d'éventuelles différences entre les modalités de gestion de l'enherbement, les placettes sont sélectionnées dans des conditions similaires (enherbement, sol) d'un traitement expérimental à l'autre.

Figure IV-1 : Dispositifs expérimentaux mis en place lors des deux campagnes d'essai. Exemple d'expérimentations installées dans le *karal* de G.O (1,5 ha environ)

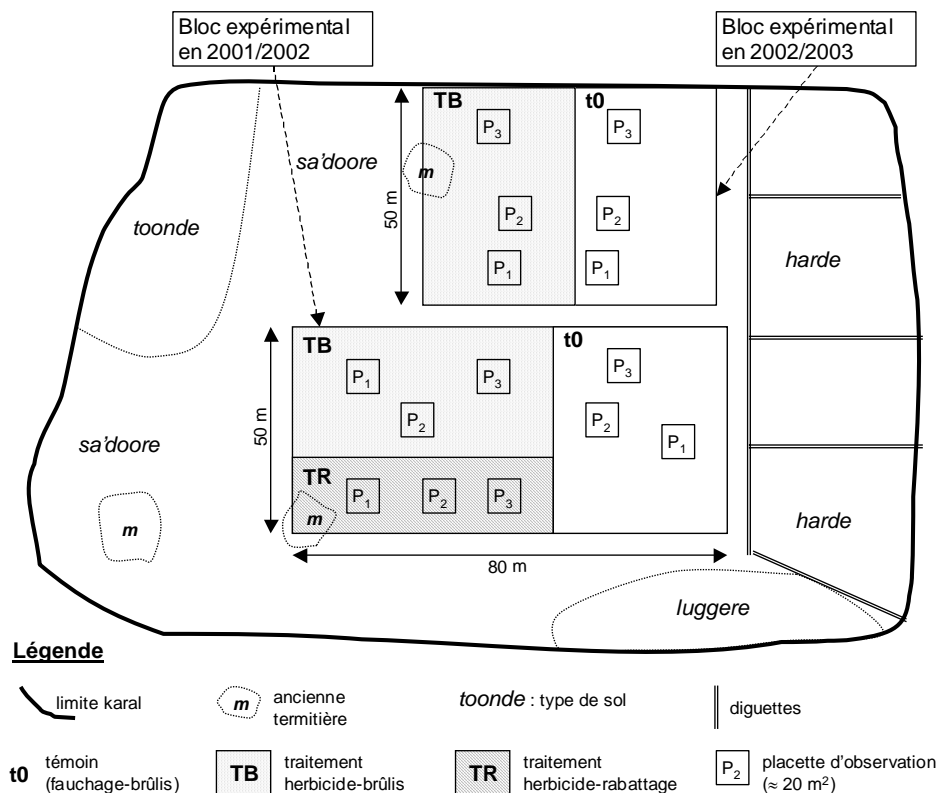


Tableau IV-1 : Caractéristiques des expérimentations en parcelles paysannes lors des deux campagnes d'essai

N°parc.	sol ⁽¹⁾	Caractéristiques expérimentations 2001/2002				Caractéristiques expérimentations 2002/2003			
		Traite-ments	m.a ⁽²⁾ herbicide	Variété(s) ⁽³⁾ dominante(s)	observations	Traite-ments	m.a herbicide	Variété(s) dominante(s).	observations
Situation 1 : graminées annuelles dominantes; recouvrement global <= 50%									
B7b	h					t0/T	glyph.	r=0	repiq T avant t0 grâce au traitement
Situation 2 : graminées annuelles dominantes; recouvrement global > 50%									
B1a	s	t0/TB/TR	glyph+prq	Sf&Mj	repiq t0 un peu avt TB/TR	t0/TB	glyph.	Aj	repiq t0 un peu avt TB/TR
B7a	s	t0/TB/TR	glyph.	Sf&Mj	repiq t0 un peu avt TB/TR	t0/TB	prq	Mj	TB : traitt paraquat →repiq +tôt que t0
Situation 3 : présence vivaces; recouvrement global <= 50%									
B1b	w	t0/T	glyph.	Mjc	repiq T avant t0 grâce au traitt	t0/T	glyph.	Mj	
B3	w	t0/T	glyph.	r=0		t0/T	glyph.	r=0	repiq T avant t0 grâce au traitt
B4	w	t0/T	glyph.	Mjc		t0/T	glyph.	Mjc	repiq T avant t0 grâce au traitt
Situation 4 : présence vivaces; recouvrement global >50%									
B2a	s	t0/TB/TR	glyph+prq	Sf&Bg	repiq t0 un peu avt TB/TR	t0/TB	glyph.	t0: Sf TB: Mj	Var. différentes entre t0 et TB
B2b	s	-				t0/TB/TR	glyph.	t0: Sf T: Mj	Var. différentes entre t0 et TB
B5	01/02: s 02/03: w	t0/TR	glyph.	Mj&Sf	mélange variétés	t0/T	glyph.	Mjc	t0&T: pas de brûlage
B6	w	t0/TB/TR	glyph.	Mjd	t0/TB/T : fauch. dans eau	t0/TB	glyph.	Sf	t0 : abandon après sarclage
Nombre total de parcelles d'essai à Balaza					8				10
Situation 1 : graminées annuelles dominantes; recouvrement global <= 50%									
M1a	h	t0/T	glyph.	Sf	repiq T avant t0 grâce au traitt	t0/T	glyph.	r=0	T non repiqué, sol trop sec
Situation 2 : graminées annuelles dominantes; recouvrement global > 50%									
M1b	01/02: h 02/03: nd	t0/T	glyph.	Sf		t0/T	glyph.	Sf	plants différents entre t0 et T
M3	nd	t0/T	glyph.	Sf		t0		Sf	absence de parcelle traitée
M4	nd	t0/TB	glyph.	Sf	repiq t0 avant TB	t0/TB	glyph.	Sf	TB : placettes trop hétérogènes
M5	01/02: nd 02/03: h	t0/TB/TR	glyph.	Sf		t0/TB	glyph.	Sf	t0/TB : plc et sols hétérogènes
M6	nd	t0/T	glyph.	Sf	repiq t0 un peu avant TB	t0/TB	glyph.	Sf	
M8	nd	t0	glyph.	Sf	absence de parcelle traitée				
Situation 3 : présence vivaces; recouvrement global <= 50%									
M2	nd					t0/T	glyph.	Sf	échec reprise dans T (pb de plants)
Situation 4 : présence vivaces; recouvrement global >50%									
M2	nd	t0/T	glyph.	Sf					
M7	nd ⁴	t0	glyph.	Sf	absence de parcelle traitée	t0/TB	glyph.	r=0	dégâts animaux → pas de récolte
Nombre total de parcelles d'essai à Mowo					9				8
Total général					17				18

(1) les différents sols sont indiqués selon les dénominations locales : s = *sa'doore*; w=*baleewaf*; h=hardé; nd=*n'deleb*

(2) matières actives utilisées : "glyph" : glyphosate; "prq" : paraquat.

(3) les expérimentations où le rendement en grain a été nul (ce qui rend impossible l'identification de la variété) sont signalées par "r=0". Différentes variétés locales ont été récoltées : Sf : *safraari turingel* (panicule compacte, crossée); Mjc : *majeeri tamiindi* (panicule compacte, crossée); Mjd : *majeeri tcheleeri* (panicule droite et lâche); Mj signifie qu'il y avait un mélange de Mjc et Mjd; Bg : *burguuri*; Aj : *ajagamari*

⁴ Dans cette parcelle, le terrain hardé à l'origine, est assimilé à un sol n'deleb dans les analyses compte tenu de l'effet positif de l'aménagement de diquettes sur la structure du sol. Les caractéristiques pédologiques s'apparentent à celles des vertisols modaux (fentes de retrait, inondation temporaire,...).

2.3. Mesures et observations effectuées

Les mesures réalisées doivent permettre l'évaluation agronomique des parcelles témoin et des traitements expérimentaux mis en comparaison. Il s'agit d'analyser le fonctionnement du peuplement végétal dans les diverses conditions de milieu (sol, enherbement, conditions climatiques) et d'interpréter dans chaque situation les différences de rendement liées aux variations du mode de gestion de l'enherbement. Pour cela, l'analyse fait appel aux théories de l'élaboration du rendement : le rendement final est considéré comme le produit de l'histoire des interactions qui s'exercent, durant le cycle cultural, entre le milieu et le peuplement végétal, sous l'action des techniques (Meynard et David, 1992). Pour expliquer le niveau de rendement atteint et appréhender l'incidence de l'itinéraire technique, l'analyse agronomique consiste à examiner la succession au cours du temps des états du milieu et du peuplement végétal (Milleville et Serpantié, 1991).

2.3.1. Caractérisation du milieu et des systèmes de culture

Le sol

Les enquêtes ont permis de caractériser l'organisation spatiale du *karal* (parfois des *kare*) de chaque agriculteur, et de situer ainsi le bloc expérimental dans la topographie et la classification locale des sols. Des prélèvements de sol ont été effectués dans l'ensemble des expérimentations de 2001, afin de déterminer les caractéristiques physiques (texture) et chimiques (N, P, K, pH, C/N, matière organique, bases échangeables et CEC) des différents sols. Les échantillons ont été prélevés dans la couche (0-80cm) à différentes profondeurs (0-40, 40-80), (0-10, 10-40, 40-80), (0-20, 20-40, 40-70) selon l'hétérogénéité du profil. Les analyses ont été effectuées à partir d'échantillons composites issus du mélange de trois carottes prélevées à différents points du bloc. Ces analyses ont déjà permis de dégager les caractéristiques physico-chimiques moyennes des principaux types de vertisols identifiés par les agriculteurs dans les deux terroirs de référence (cf. chapitre 2, § 4.1.2).

Itinéraires techniques pratiqués

Les enquêtes sur les pratiques et les RdD ont permis d'enregistrer l'histoire et l'organisation spatiale du *karal* de chaque agriculteur où un test d'itinéraire a été mis en place :

- nombre d'années depuis le défrichage et la mise en culture du *karal* ;
- cartographie du *karal* permettant de mettre en évidence les variations de topographie et de type de sol ;
- positionnement du dispositif expérimental par rapport à l'ordre d'implantation dans le *karal*.

Le suivi des semis de l'agriculteur permet de connaître la durée en pépinière des plants repiqués, leur stade au moment du repiquage, et les éventuels traitements de semences. Pour chaque parcelle expérimentale, la date et la nature des opérations culturales ont été enregistrées. Au moment du repiquage, la profondeur des trous et la dose d'eau versée ont été mesurées dans chaque placette.

Les conditions des traitements herbicides ont été relevées, en particulier le dosage, le type d'appareil, le temps de pulvérisation et la quantité de bouillie effectivement épanchée. Lors de la première campagne, tous les traitements ont été réalisés avec un pulvérisateur à disque rotatif de type Handy. Ces appareils assurent une pulvérisation fine et homogène ce qui garantit une bonne efficacité du traitement contre les mauvaises herbes vivaces. Par contre la largeur de traitement est réduite (80 cm), d'où un temps de passage assez long.

Pour la campagne 2002/2003, des pulvérisateurs à dos (pression entretenue) ont été privilégiés dans les deux sites. Ces appareils facilitent l'épandage (largeur de traitement de 3 à 4 mètres) mais la qualité de pulvérisation

est parfois moins bonne que pour les appareils de type Handy, car la buse bas-volume procure un épandage moins homogène et des gouttelettes plus grosses.

Tableau IV-2 : Caractéristiques des différents herbicides utilisés

Nom produit commercial (p.c)	Matière active (m.a)	Formulation	Doses appliquées	
			en g de m.a/ha	en quantité de p.c/ha
Roundup Biosec	glyphosate	granulés dispersibles : sachets de 250 g dont 180 g de glyphosate	720 à 2880 g	4 à 16 sachets /ha
Gramoxone	paraquat	liquide : 200 g de m.a par litre de p.c	400 g	2 l/ha

A partir des références techniques déjà établies concernant les traitements au glyphosate (Mathieu et Marnotte, 2001), les doses ont été modulées en fonction des situations d'enherbement (Tableau IV-2). Dans les parcelles avec dominante de graminées annuelles, des doses relativement faibles ont été évaluées en cherchant à ne pas dépasser 1000 g/ha (6 sachets/ha). Le paraquat a aussi été testé pour ce type d'enherbement à la dose unique de 400 g/ha. En présence d'adventices vivaces, le dosage du glyphosate a été sensiblement augmenté, variant de 1440 à 2880 g/ha (8 à 16 sachets/ha) en fonction des espèces vivaces ciblées. Les caractéristiques des itinéraires techniques sont synthétisées pour l'ensemble des essais réalisés au cours des deux campagnes (Annexe 11)

2.3.2. Caractérisation du fonctionnement du peuplement végétal

Les trois placettes de chaque parcelle expérimentale sont délimitées avant la préparation du *kara* afin d'effectuer une première observation de l'enherbement avant repiquage. La surface des placettes est d'abord fixée à 20 m² (4m x 5m) puis corrigée après repiquage en plaçant les piquets si possible sur l'interligne, en fonction de la structure du peuplement. Les observations et mesures, réalisées tous les 15 jours⁵ à partir du repiquage, concernent à la fois le peuplement végétal et l'enherbement.

2.3.2.1. Observations sur les plants de sorgho

Chaque trou de repiquage est numéroté afin de réaliser les observations sur les mêmes plants d'un passage à l'autre. En deuxième année, chaque plant a aussi été identifié (2 par trou dans la plupart des cas), notamment pour mieux mesurer la dynamique d'infestation des chenilles foreuses des tiges et l'impact sur la production.

Observations non destructives jusqu'à la récolte

- notation du nombre de pieds et de tiges, du nombre total de feuilles et du nombre de feuilles vertes
- notes d'infestation en insectes, selon la grille du conseil international des ressources phytogénétiques (IBPGR, 1993). Cette grille de notation, commune aux stress biotiques et abiotiques, s'étend sur une échelle de 1 à 9 (1: très faible/pas de signe visible; 3 : faible; 5 : moyen; 7 : fort; 9 : très fort)
- indicateurs de stress hydrique à travers :
 - la notation de l'enroulement des feuilles selon la même grille
 - l'observation des fissures pour caractériser le sol et sa vitesse de dessiccation. Les observations ont été réalisées au repiquage, à la floraison et à la récolte. Elles ont été faites sur un emplacement fixe à l'intérieur de la placette, à l'aide d'un cadre quadrillé de 1m² permettant de dénombrer le nombre de fentes. A chaque observation, on estime aussi la

⁵ Compte tenu de l'importance des observations à la reprise, des notations ont été réalisées à 8 et 15 Jours Après Repiquage (JAR)

largeur moyenne des fentes en mesurant la largeur de 5 fissures jugées représentatives de la surface observée.

- pour situer la floraison, dont la date s'avère très variable entre plants, trois dates ont été relevées :
 - début floraison, correspondant à la floraison des premières plantes des placettes suivies
 - 50% floraison, qui correspond au moment où la moitié des plants sont en fleurs
 - fin floraison, c'est-à-dire à la floraison des dernières plantes
- relevé de la date du stade grain pâteux.

Mesures destructives au cours du cycle

Des prélèvements de plants ont été effectués au stade 50% floraison afin de mesurer le poids de matière sèche aérienne et la teneur en azote. Dans différents trous autour de chaque placette, quatre plants ont été prélevés, en prenant soin de sélectionner des pieds représentatifs de la placette. Les poids frais et secs ont été mesurés pour chaque échantillon⁶. Des analyses de teneurs en azote ont été effectuées au laboratoire du CIRAD, à partir de 50 g de poudre de chaque échantillon broyé, uniquement lors de la campagne 2001/2002.

Observations et mesures à la récolte

- Nombre de panicules par trou et hétérogénéité (0 : pas de panicule ; 1 : une panicule sur les deux ; 2 : deux panicules égales ; 3 : deux panicules différenciées)
- Poids des grains et poids de 1000 grains, différenciés par variété en cas de mélange à l'intérieur d'une placette. Les différentes variétés locales observées dans le dispositif sont assez représentatives de celles cultivées dans l'Extrême-Nord⁷. Compte tenu d'infestations souvent importantes de chenilles foreuses des tiges (*Sesamia cretica*), les pesées pour une variété donnée ont été effectuées en séparant à l'intérieur de la placette les pieds sains des pieds attaqués. Afin de mieux mesurer l'impact des foreurs sur la production, le protocole a été affiné lors de la campagne 2002/2003 :
- Pesées individuelles des panicules, des grains et des poids de 1000 grains dans 5 des 18 expérimentations mises en place
- Pesées séparées des groupes de pieds sains, de pieds attaqués précocement (jusqu'à 60 JAR), et de pieds attaqués tardivement (à partir de 60 JAR) dans les autres essais. Cette différenciation est basée sur une hypothèse liée à la dynamique des populations de *Sesamia*. Les attaques observées à partir de 60 JAR correspondraient en majorité à une 2^{ème} génération de l'insecte au cours du cycle cultural (Ratnadass, 2003).
- Pesée des tiges par groupe de pieds sains et attaqués.

Toutes les pesées ont été effectuées environ 8 jours après la récolte, les agriculteurs laissant systématiquement sécher les plantes au soleil après la coupe, avant de revenir prélever les panicules et les tiges.

2.3.2.2. Suivi de l'enherbement

Les observations sont destinées à caractériser la flore avant repiquage et étudier la dynamique de l'enherbement des différentes parcelles au cours du cycle cultural. Les relevés consistent à réaliser une notation visuelle des recouvrements de l'ensemble des adventices et de chacune d'elle, selon une échelle de 1 à 9 correspondant à un

⁶ Tous les échantillons ont séché à l'air libre pendant 5 à 6 semaines. Pour éviter de placer l'ensemble des échantillons à l'étuve, l'humidité résiduelle a été mesurée pour quelques-uns, ce qui a permis d'estimer le poids de matière sèche pour les autres.

⁷ Les safraari demeurent prédominants dans l'ensemble de la zone à muskuwaari, mais certains types comme majeeri sont de plus en plus cultivés comme à Balaza, compte tenu de leur rusticité et de leur caractère de résistance aux attaques de chenilles (Perrot et al., 2002).

pourcentage de recouvrement du sol (0 : absence ; 1 : 1%; 2 : 7%; 3 : 15%; 4 : 30%; 5 : 50%; 6 : 70%; 7 : 85%; 8 : 93%; 9 : 100%) (Marnotte, 1984).

Les relevés sont effectués dans les 3 placettes de chacune des parcelles expérimentales :

- relevés avant préparation des parcelles
- relevés à 8, 15, 30, 45, 60, 75, et 120 Jours Après Repiquage, soit 8 dates d'observations en 2001/2002
- relevés à 8, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 et 120 JAR soit 10 dates d'observation, en 2002/2003

Au total, en 2001/2002, on compte 17 essais, soit 38 parcelles expérimentales (114 placettes) étant donné le nombre variable de modalités de traitements expérimentaux selon les expérimentations (Tableau IV-3). En 2002/2003, les relevés ont été effectués dans 18 essais auxquels il faut ajouter 12 essais de l'année précédente où les placettes ont pu être retrouvées, pour mettre en évidence d'éventuels arrière-effets des traitements herbicides de 2001. Sur l'ensemble des deux campagnes, le nombre de sites d'observations est assez limité, mais la fréquence importante des relevés permet une analyse précise de la dynamique des mauvaises herbes dans les dispositifs expérimentaux. Le nombre effectif de relevés se révèle souvent inférieur à celui attendu, étant donnée l'élimination de placettes ou parcelles aberrantes, ou le remplacement de certaines placettes après repiquage (importantes différences de sol ou de conditions de repiquage entre les traitements). Au total, 94 espèces ont été identifiées (Annexe 12).

Tableau IV-3: Récapitulatifs des relevés réalisés pour la caractérisation de l'enherbement dans les tests

Campagne	Village	Nombre de tests d'itinéraires				Nombre de relevés		
		1 modalité (t0)	2 modalités t0/T(B)	3 modalités t0/TB/T(R)	Total	Total	sur parcelle témoin (t0)	Arrière-effet
2001/2002	Balaza		3	5	8	417	201	-
	Mowo	2	6	1	9	315	186	-
Total 2001/2002		2	9	6	17	732	387	-
2002/2003	Balaza		9	1	10	1080	465	489
	Mowo	5	3	0	8	414	312	207
Total 2002/2003		5	12	1	18	1494	778	696

2.4. Traitement des données

On analyse le comportement de la flore pour différents facteurs (essentiellement le type de sol et le mode de désherbage) à travers cinq indicateurs (Marnotte, 1984 ; Téhia *et al.*, 1996) :

↪ Calcul de la fréquence de chaque espèce. Par exemple, la fréquence de l'espèce *Setaria sphacelata* dans les sols hardés donne :

$$\text{Fréquence relative (Fr)} = 100 \cdot n / N$$

Où

- n = nombre de relevés dans les sols hardés où l'espèce est présente
- N = nombre total de relevés dans les sols hardés

↪ Calcul du recouvrement moyen d'une espèce, toujours pour l'exemple de *Setaria sphacelata* dans les sols hardés :

$$\text{Recouvrement moyen (Rm)} = \Sigma \text{ recouvrement} / N$$

Où

- Σ recouvrement = somme des notations de recouvrement par *Setaria* dans les sols hardés
- N=nombre total de relevés dans les sols hardés

↪ Calcul du recouvrement local, notamment pour mettre en évidence les espèces qui peuvent être peu fréquentes mais s'avérer très recouvrantes là où elles sont présentes :

$$\text{Recouvrement local (RI)} = \Sigma \text{ recouvrement} / n$$

Où

- Σ recouvrement = somme des notations de recouvrement par *Setaria* dans les sols hardés
- n = nombre de relevés dans les sols hardés où l'espèce est présente

↪ Calcul des profils corrigés pour mettre en évidence le comportement d'une espèce selon un facteur considéré, tel que le type de sol. Par exemple, le recouvrement moyen corrigé de *Setaria sphacelata* dans les hardés :

$$\text{Recouvrement moyen corrigé (Rmc)} = \text{Rlh}/\text{RI} * 100$$

Où

- Rlh = recouvrement local de *Setaria* dans les sols hardés
- RI = recouvrement local de *Setaria* pour l'ensemble des sols considérés

La valeur 100 correspond à l'indépendance de l'espèce vis-à-vis du type de sol

Concernant les autres résultats exposés, sauf indication contraire, les différentes valeurs présentées pour chaque parcelle expérimentale correspondent à la moyenne calculée à partir des données recueillies dans chacune des 3 placettes de suivi. La régression linéaire simple a été utilisée pour rechercher les relations entre le rendement et les composantes, et pour montrer l'influence des états du milieu et des pratiques sur les composantes du rendements. Les comparaisons de moyenne sont effectuées à l'aide du test de Student.

Figure IV-2 : Variabilité des rendements dans les parcelles paysannes en 2001/2002 et 2002/2003

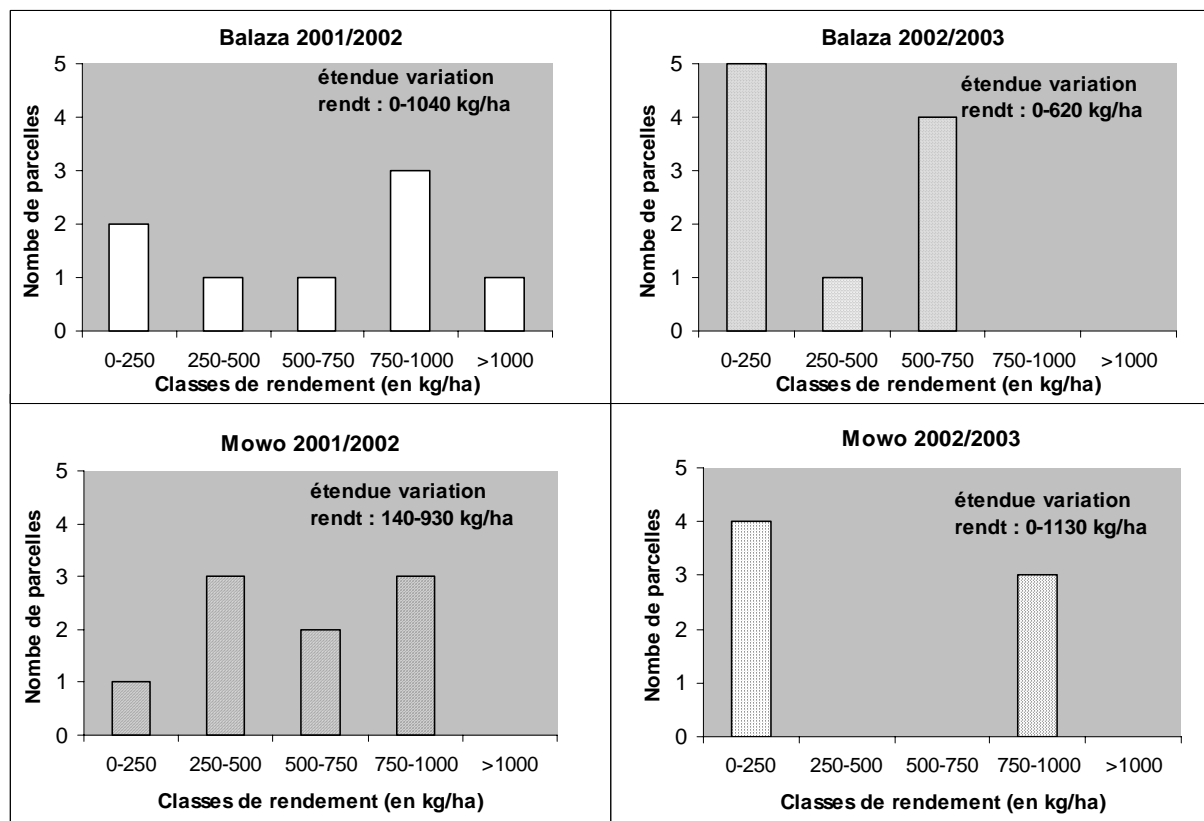


Tableau IV-4 : Moyennes des rendements, des nombres de grains et des poids moyen d'un grain pour les deux campagnes de suivi en parcelles paysannes

Village	Campagne	Nb. parcelles	Rendement (kg/ha)		Nombre de grains/m ²		Pds moy. un grain (mg)	
			moyenne (CV)	étendue	moyenne (CV)	étendue	moyenne (CV)	étendue
Balaza	2001/2002	8	591 (63%)	0-1040	1342 (62%)	0-2298	42,3 (15%)	30-49
	2002/2003	10	304 (81%)	0-616	789 (80%)	0-1606	38,8 (10%)	32-43
Mowo	2001/2002	9	567 (48%)	140-930	1279 (40%)	436-1920	43,3 (10%)	38-49
	2002/2003	8	415 (120%)	0-1128	943 (119%)	0-2359	42,4 (10%)	37-48

3. DIAGNOSTIC SUR LA VARIABILITE DES RENDEMENTS DANS LES PARCELLES TEMOIN

A partir des données recueillies dans les parcelles témoin (t_0), il s'agit de mettre en évidence les facteurs à l'origine des variations de rendement du sorgho. Cela passe par :

- une connaissance de l'élaboration du rendement de la culture et des phases du cycle où le peuplement végétal manifeste des signes de dysfonctionnement ;
- l'identification des facteurs et conditions du milieu (états hydriques, nutritionnels, ravageurs...) supposés être à l'origine des dysfonctionnements et donc des variations de rendement ;
- la recherche des liens entre ces états du milieu et les pratiques des agriculteurs.

3.1. Analyse de l'élaboration du rendement

A travers la caractérisation et l'analyse des variations des composantes du rendement, on cherche à situer dans le cycle, les périodes durant lesquelles le rendement a été limité (Meynard et David, 1992).

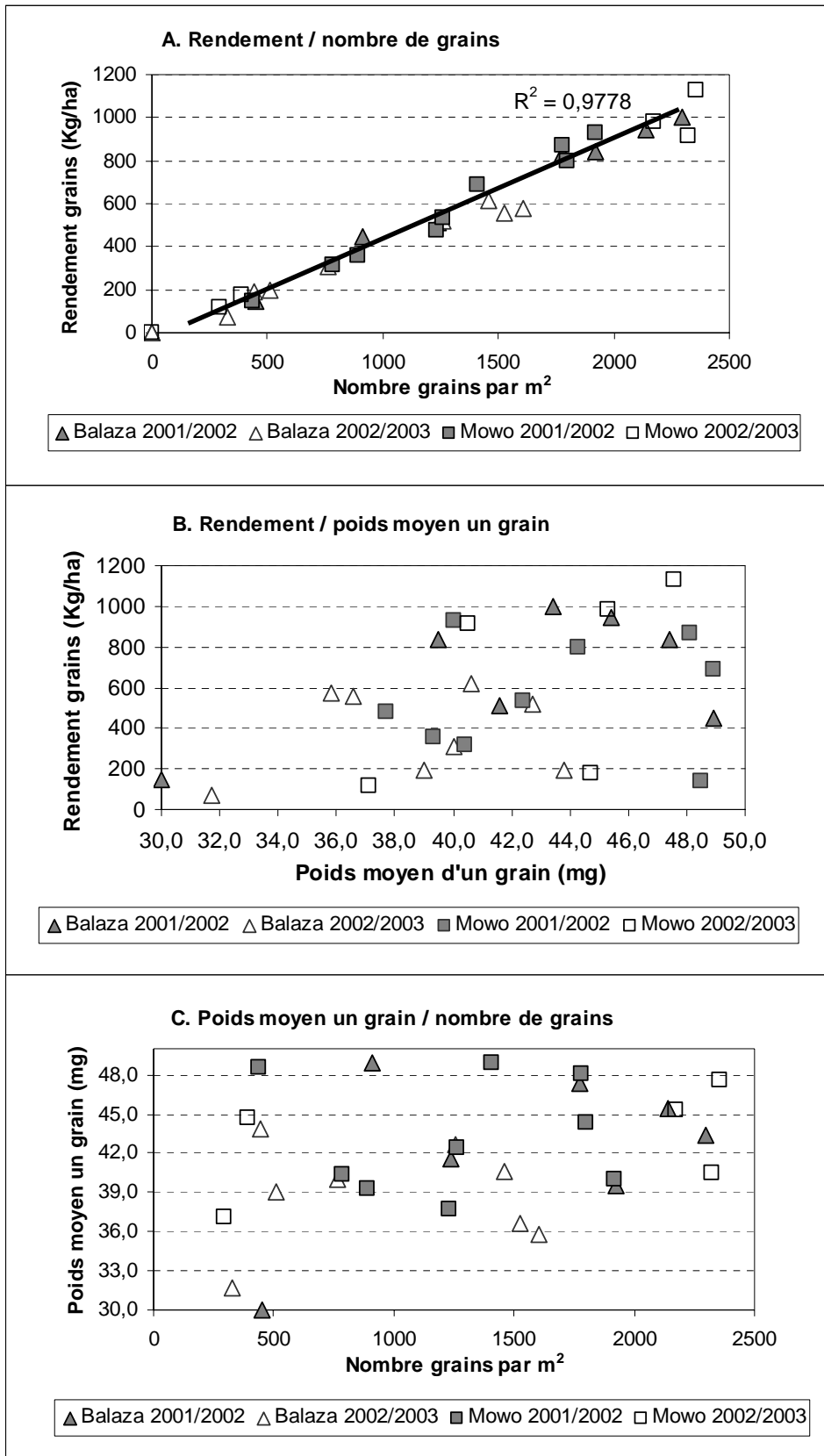
3.1.1. Variabilité des rendements, des nombres de grains et des poids moyens des grains, relations entre les composantes

On observe une importante variabilité des rendements, surtout entre parcelles mais aussi entre sites et entre années (Tableau IV-4). En 2002/2003, la moyenne des rendements apparaît plus faible que lors de la campagne précédente dans les deux sites, ce qui est à mettre en relation vraisemblablement avec une pluviométrie annuelle moins favorable. On observe toutefois des rendements supérieurs à 500 kg/ha dans 7 parcelles, comme pour la campagne précédente (Figure IV-2). La répartition des rendements beaucoup plus irrégulière en 2002/2003, laisse présager de la moindre influence du bilan pluviométrique sur la production pour certains types de sol bien argileux et inondables, en situation topographique basse.

Comme le montre la Figure IV-3, **les rendements sont davantage liés au nombre de grain/m² qu'au poids moyen d'un grain**. Il y a absence de corrélation entre le rendement et le poids moyens d'un grain quels que soient l'année et le site considérés. De même, il n'y a pas de relation entre le poids moyens d'un grain et le nombre de grains/m². Il faut toutefois noter les poids moyens d'un grain réduits obtenus dans deux parcelles à Balaza (B7 en 2001/2002 et B6 en 2002/2003), associés à un nombre de grain/m² faible et, partant, à un rendement réduit.

D'une manière générale, les poids moyens d'un grain s'avèrent assez stables, quels que soient l'année et le site considéré (Tableau IV-4). Les valeurs obtenues sont comparables au potentiel évalué dans un essai variétal en conditions non limitantes (Tableau IV-5). Mis à part deux cas où les mauvaises conditions de remplissage des grains ont eu un rôle non négligeable sur l'élaboration de la production, les variations de rendement se forment surtout pendant la phase de détermination du nombre de grains, c'est-à-dire entre la reprise et la fécondation.

Figure IV-3 : Relations entre rendements, nombres de grains et poids moyens d'un grain



Composantes du rendement des principales variétés de *muskuwaari* en condition non limitantes (Chantereau, Cirad-CA, com. pers., d'après Sine, 2003).

Tableau IV-5 : Valeurs de composantes du rendement obtenues à partir d'un essai variétal à l'optimum. Ces valeurs correspondent à des moyennes de 4 plantes (densité de semis : 110 000 pieds/ha).

N°collection	Nom local	Nombre de tiges/pied	Nombre de panicules/pied	Poids panicule /pied (g)	Poids moyen 1 grain (mg)	Nombre de grains/pied
177	<i>Burqu</i>	1,0	1,0	74,8	50,1	1216
178	<i>Majeeri</i>	1,2	1,2	110,7	47,5	1959
180	<i>Ajagamari 3</i>	1,0	1,0	73,9	50,5	1233
181	<i>Bougouri 23</i>	1,0	1,0	73,8	41,3	1595
182	<i>Safrari 25</i>	1,0	1,0	76,8	42,4	1450

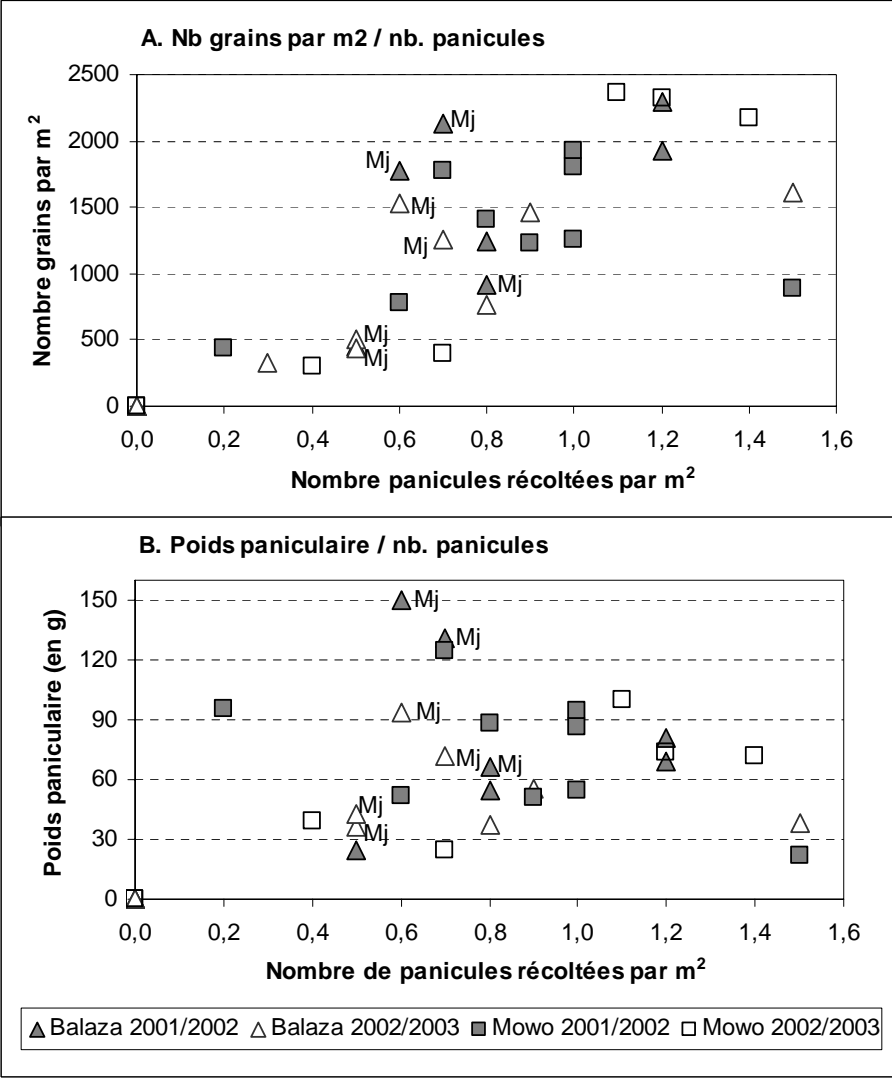
Les dénominations locales désignent des écotypes à l'intérieur desquels il existe de multiples variétés. Ces références sont donc à utiliser avec précaution par rapport aux variétés cultivées dans nos essais. A titre indicatif, le tableau suivant indique les mêmes composantes pour deux parcelles dont le sol est caractérisé par une bonne capacité de rétention d'eau (vertisol modal) et où les rendements obtenus en 2002/2003 sont parmi les plus élevés. Les données concernent la moyenne des 4 pieds les plus productifs dans une des placettes de la parcelle témoin (t0).

Nom local	Densité de repiquage/ha	Nombre de tiges/pied	Nombre de panicules/pied	Poids panicule /pied (g)	Poids moyen 1 grain (mg)	Nombre de grains/pied
<i>safraari</i> (Mowo)	14500	1,8	1,8	226	50,0	3902
<i>majeeri tamiindi</i> (Mjc)	7000	1,0	1,0	194	40,5	3669

Le poids moyen d'un grain, caractère stable et fortement déterminé par la variété, présente un ordre de grandeur comparable à l'essai en conditions optimum. La comparaison par variété met en évidence des différences assez nettes, ce qui laisse supposer que les variétés de *safraari* et *majeeri* observées dans les parcelles paysannes sont différentes de celles évaluées par Sine (2003). Les poids paniculaires et les nombres de grains obtenus en parcelles paysannes sont beaucoup plus élevés que pour l'essai à l'optimum, ce qui illustre bien la régulation de la plante sur le nombre de grains en fonction de la densité de peuplement.

Figure IV-4 : Relations entre nombre de grains, nombre de panicules par m² et poids paniculaire

Les points signalés par "Mj" correspondent aux valeurs obtenues dans des parcelles de Balaza où la variété *majeeri* est dominante. Dans les autres parcelles de Balaza ainsi que pour l'ensemble des parcelles de Mowo, la variété *safraari* est dominante.



3.1.2. Variabilité des nombres de grains

3.1.2.1. Relation entre nombres de panicule par m² et nombres de grains

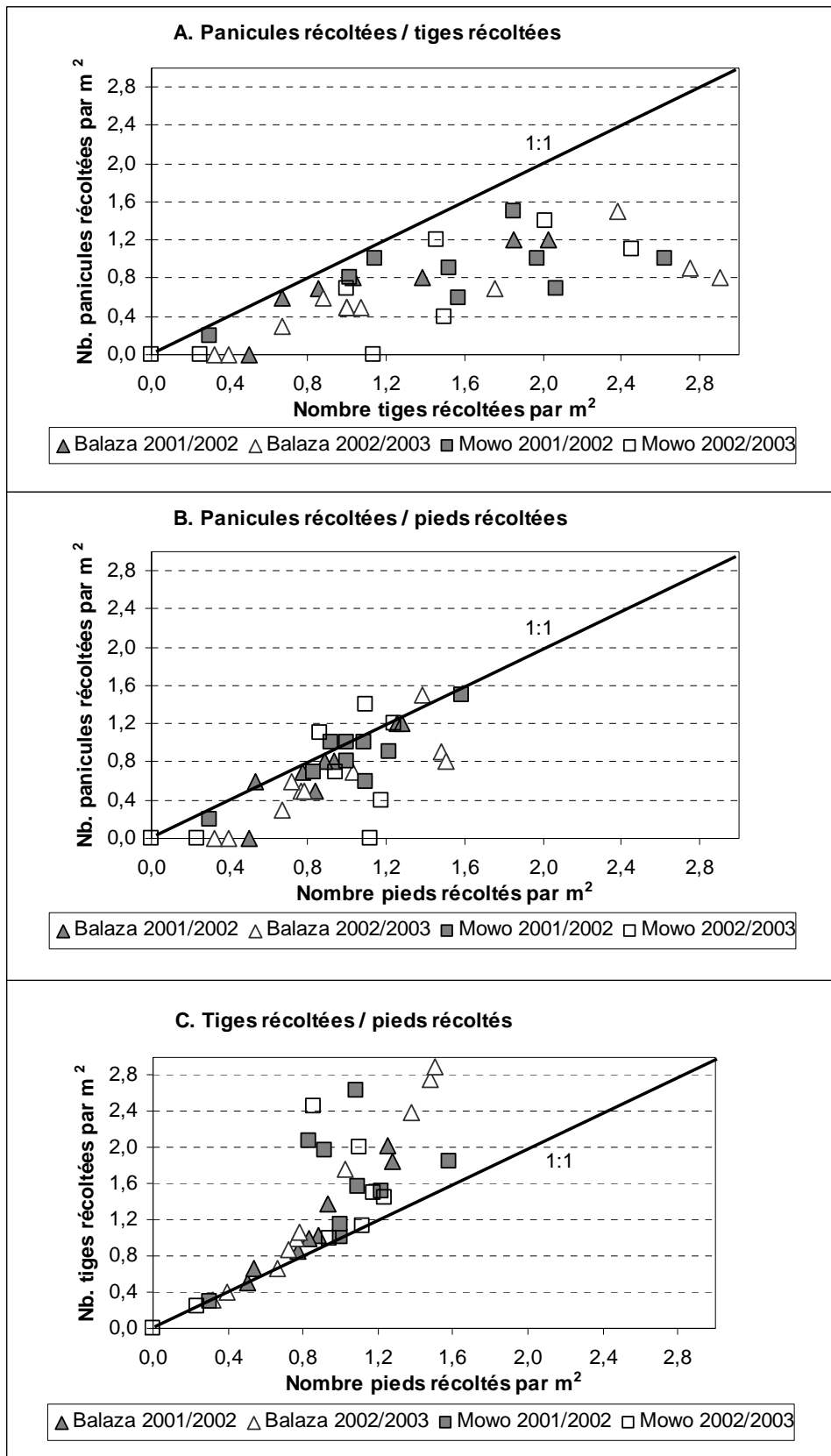
La Figure IV-4A illustre la tendance à une corrélation positive entre le nombre de grains et le nombre de panicules/m². Pour l'ensemble des parcelles, la régression linéaire donne une valeur de $R^2=0,55$, mais si l'on considère individuellement chaque site, la corrélation la plus élevée est observée à Mowo en 2002/2003 ($R^2=0,84$) et la plus faible à Balaza en 2001/2002 ($R^2=0,36$).

Les nombres de panicules/m² les plus faibles, compris entre 0,2 et 0,5, sont toujours associés à de faibles nombres de grains par m². Pour des nombres de panicules par m² intermédiaires (0,6 à 0,8), on observe une grande variabilité du nombre de grains. Les nombres de panicules plus élevés (1 à 1,5 par m²) sont associés à des nombres de grain relativement élevés, supérieurs à 1250 grains par m², mais également assez variables. Dans les deux parcelles (M3 en 2001/2002 et B1a en 2002/2003) où le nombre de panicules récoltées a été le plus élevé, on observe un nombre de grains assez faible qui pourrait traduire une compétition plus importante à l'intérieur du peuplement, compte tenu de densités de repiquage élevées, respectivement de 14000 et 17000 pieds/ha.

Le signalement des parcelles repiquées avec *majeeri* (Figure IV-4), montre qu'il n'y a pas d'effet variétal visible sur les nombres de grains et les poids de panicules, compte tenu sans doute de l'importance jouée par les états du milieu sur la variabilité du rendement. Les poids paniculaires les plus élevés obtenus avec la variété *majeeri tamiindi* (Mjc) à Balaza en 2001/2002 (parcelles B1b et B4) traduisent sans doute une interaction entre des densités de repiquage relativement faibles, et une bonne recharge en eau du sol, plutôt qu'un effet variétal. En effet, comme cela a été évoqué dans le chapitre 2, la densité est volontairement réduite (inférieure à 8500 pieds/ha) dans ces parcelles situées sur des vertisols modaux, pour favoriser la production de grosses panicules, notamment les années de bonne pluviométrie.

Globalement, il n'y a pas de relations nettes entre la densité de panicules et le poids paniculaire (Figure IV-4B). Toutefois, comme cela a été évoqué dans le chapitre 2, des essais de variation de densité dans un vertisol modal homogène ont mis en évidence une diminution du poids paniculaire avec l'augmentation du nombre de pieds/ha (Carsky *et al.*, 2002 ; Tabo *et al.*, 2002). Pour des faibles densités, le sorgho compense en augmentant le nombre de grains, à travers la réalisation de plus de fleurs par panicule et la production de tiges fertiles (Thomas *et al.*, 1980, cité par Tabo, 2002) . Le tallage étant limité pour les variétés de *muskuwaari*, et ne s'exprimant que dans des conditions hydriques très favorables, cette régulation se fait essentiellement par le nombre de grains par panicule.

Figure IV-5: Relations entre nombre de panicules, nombre de tiges et nombre de pieds par m²



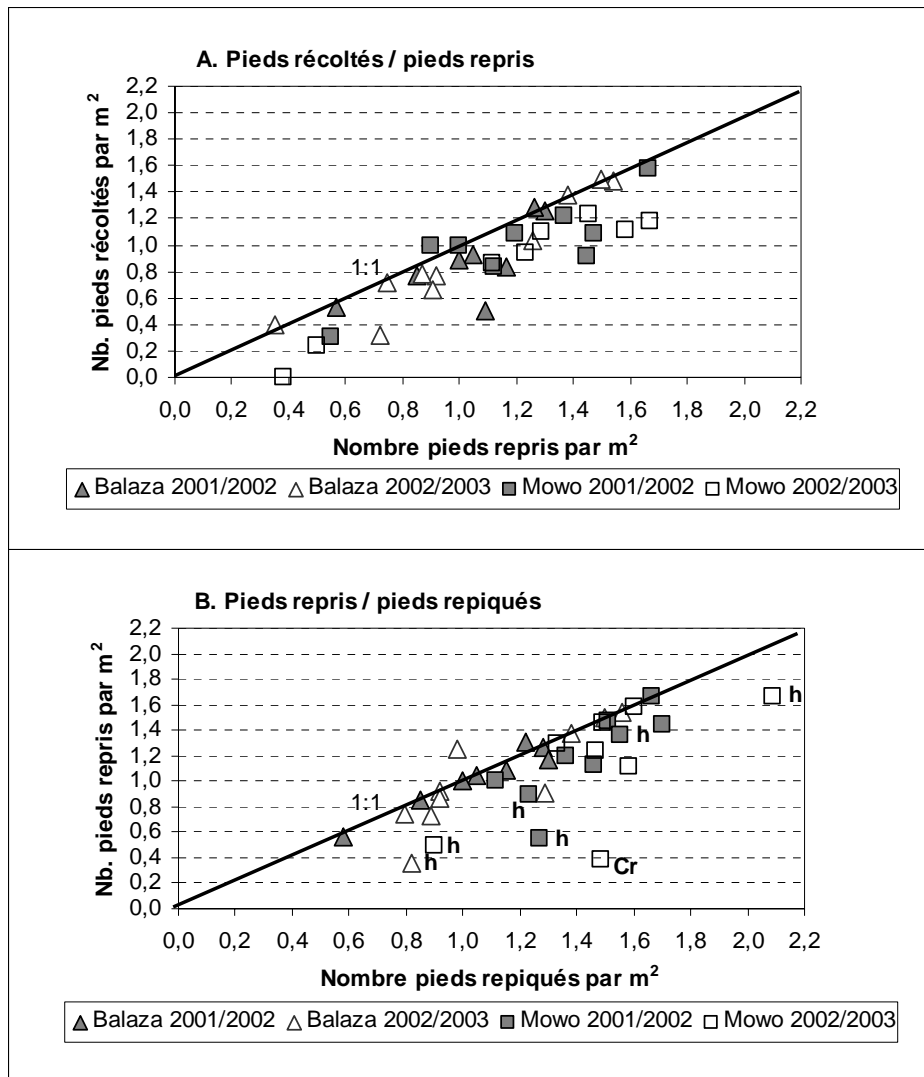
3.1.2.2. Relation entre nombre de pieds et nombre de panicules

Le nombre de panicules par m² s'explique en partie par le nombre de tiges à la récolte, mais la relation apparaît plus nette avec le nombre de pieds (Figure IV-5B). Dans 5 parcelles dont 4 lors de la campagne 2002/2003, tous les pieds ont été stériles (pas de panicules).

Le nombre de tiges apparaît toujours égal ou supérieur au nombre de pieds compte tenu du tallage (Figure IV-5C). Ces variables sont assez bien corrélées ($R^2=0,63$). Une moyenne de 0,4 talle par pied a été relevée. Plus de 70% des talles sont émises à partir de lésions causées par des attaques de foreurs, et seulement 4% de ces talles donnent une panicule productive. Le tallage se révèle plus fort pour les valeurs au-delà de 0,8 pieds récoltés par m². Ce résultat peut être lié à une interaction entre les états hydriques et l'infestation par les chenilles foreuses des tiges, avec des effets inverses sur la production selon le niveau de ces variables :

- En cas de stress hydrique important, il y a beaucoup de pertes de pieds avant la récolte, et le tallage reste limité même si des attaques de chenilles sont quand même observées (Annexe 13, cas des parcelles B3 en 2001/2002 et B3, M2 et M5 en 2002/2003).
- En conditions d'alimentation hydrique moyenne, les talles émises essentiellement à partir d'attaques de foreurs, induisent une répartition différente des assimilats qui peut s'avérer pénalisante pour la formation de la panicule et le remplissage des grains de la tige principale. Cela peut expliquer le faible nombre de panicules obtenus dans les parcelles qui présentent le nombre de tiges récoltées par m² le plus élevé (Figure IV-5A). C'est notamment le cas de M7 en 2001/2002, B2a et B2b en 2002/2003 (Annexe 13).
- Dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique, le tallage, stimulé par les attaques de foreurs, peut aboutir à un nombre de panicules par pied plus élevé (Annexe 13, cas des parcelles M3 et M4 à Mowo, en 2002/2003). Toutefois, même si l'alimentation en eau est favorable, une trop forte intensité d'attaques par les foreurs peut limiter ce phénomène de compensation comme cela a été observé dans la parcelle M4 en 2001/2002.

Figure IV-6: Relations entre le nombre de pieds récoltés, de pieds repris et de pieds repiqués par m²
 Les points signalés par "h" correspondent à des valeurs obtenues dans des parcelles sur sol hardé non aménagé.
 Le point signalé "Cr" correspond à la parcelle M₇ où une forte attaque de criquets a été observée à la reprise en 2002/2003.



Le nombre de pieds récolté se révèle très souvent inférieur au nombre de pieds repris⁸ (Figure IV-6A), ce qui traduit l'importance des pertes de pieds entre la reprise et la floraison, influençant l'établissement du nombre de panicules et donc du rendement. En outre, les échecs à la reprise constituent un facteur limitant important, particulièrement dans les sols hardés très compactés⁹, et en cas de forte attaque de criquets après le repiquage (Figure IV-6B). Les plants sont parfois remplacés, mais dans les hardés le pourcentage de reprise des plants "sur-repiqués" ne dépasse pas 10%. Au total, pour les deux campagnes, des sur-repiquages ont été observés dans 7 des 35 expérimentations suivies. Dans deux cas, l'opération a été déclenchée suite à une forte pluie juste après le repiquage ayant entraîné l'asphyxie de certains plants. L'humidité et la bonne structure du sol ont permis une bonne reprise des plants sur-repiqués et également de pieds issus du premier repiquage, ce qui explique les deux points figurant au dessus de la droite de régression (Figure IV-6B), notamment la parcelle B₅ en 2002/2003.

3.1.3. *Ce qu'il faut retenir*

L'analyse de l'élaboration de la production montre les rôles déterminants du nombre de pieds, du nombre de grains par panicule et par m² sur les variations du rendement. Les poids moyen d'un grain apparaissent moins variables et dans un ordre de grandeur comparable aux potentiels des différentes variétés.

La variation du nombre de grains s'explique en partie par l'établissement du nombre de panicules par m². On observe cependant une **forte variabilité du nombre de grains par panicules** avec dans certains cas, une compensation du faible nombre de pieds (panicules) par une taille de panicule plus élevée.

La qualité de la reprise et les pertes de pieds entre la reprise et la récolte varient fortement d'une parcelle à une autre et entraînent des différences de nombre de tiges et de panicules donc de nombre de grains et de rendement. Malgré la présence de différentes variétés dans le réseau de parcelles, les résultats ne mettent pas en évidence d'effet variétal, probablement masqué par la prépondérance de l'influence des états du milieu sur l'élaboration du rendement.

3.2. Etats du milieu à l'origine des variations de rendement

Cette étape dans la démarche du diagnostic agronomique consiste à confronter les caractéristiques du peuplement cultivé aux états du milieu (Doré, 1992 ; Meynard et David, 1992), en particulier certainement dans notre cas à la réserve en eau du sol et aux infestations en adventices et ravageurs. Etant donné l'absence de références et de connaissances théoriques concernant l'action des facteurs du milieu sur l'élaboration du rendement du sorgho repiqué, il s'agit de mettre en évidence une cohérence entre les sens de variation des états du milieu et des caractéristiques de fonctionnement du peuplement mis en relation (Doré, 1992).

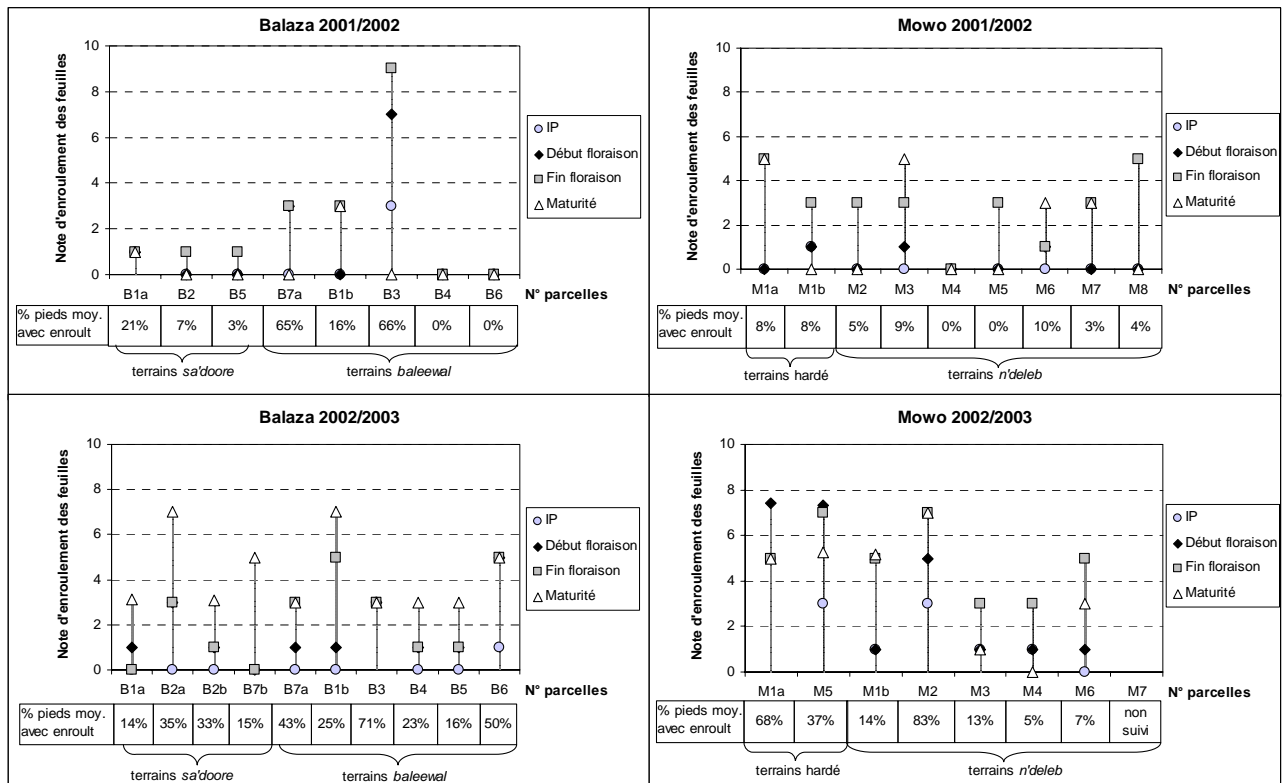
3.2.1. *Influence des états hydriques et nutritionnels sur les composantes du rendement*

L'occurrence et l'intensité des stress hydriques ont été estimés avant tout par les symptômes d'enroulement des feuilles aux stades d'initiation paniculaire (30 JAR environ), de début de floraison (60 JAR), de fin de floraison (90 JAR) et de maturité physiologique (120 JAR), mais aussi à travers l'évolution de la fissuration du sol entre la floraison et la récolte.

⁸ On considère que le pied est repris quand il est encore vivant à 15 JAR.

⁹ Sur les terrains hardés sans aménagement de diquettes, le taux de reprise s'élève en moyenne à 65%.

Figure IV-7 : Evolution des symptômes de stress hydriques dans les différentes parcelles



3.2.1.1. Importance des conditions édaphiques sur l'alimentation en eau

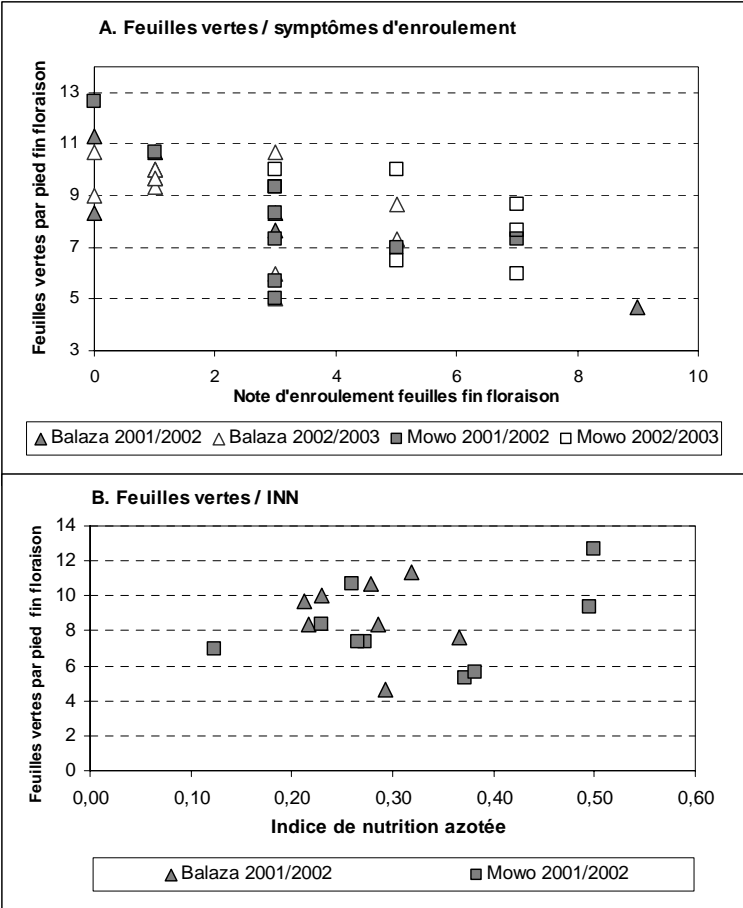
Comme on l'a vu dans le chapitre 2, la capacité de rétention d'eau du sol et la dynamique de remplissage constituent des caractères essentiels des terrains cultivés, qui vont déterminer en partie l'alimentation hydrique du *muskuwaari*. Les observations sur la fissuration viennent confirmer les différences de texture mises en évidence dans notre réseau de parcelles, en particulier de teneur en argile. On note une quasi-absence de fissuration dans les vertisols intermédiaires de type *sa'doore* à Balaza (Annexe 14). Dans les vertisols modaux (*baleewal* et une partie des sols *n'deleb*), la fissuration se fait progressivement et de façon assez régulière au cours de la saison sèche. Globalement, le nombre de fentes par m² augmente peu entre le début de la floraison et la maturité. Les indicateurs de fissuration renseignent donc peu sur le niveau de stress hydrique du peuplement. Une date d'observation supplémentaire, autour de l'initiation paniculaire (IP) aurait permis de mieux mettre en évidence la vitesse d'apparition des fentes, et donc les problèmes de stress hydriques.

La largeur et la fréquence des fentes se révèlent similaires entre les deux années, malgré des scénarii pluviométriques contrastés. En fait, la fissuration demeure très dépendante de la texture et traduit surtout un comportement des sols à la dessiccation. Elle peut constituer un indicateur complémentaire pour juger de l'alimentation hydrique du peuplement, mais l'enroulement, en tant qu'indicateur du comportement de la plante, renseigne plus directement sur l'exposition de cette dernière à un stress.

Pour quelques parcelles, comme B3 en 2001/2002, B1b et M2 en 2002/2003, l'importance des fissurations et l'augmentation de la largeur des fentes concordent bien avec les notations de symptômes d'enroulement des feuilles (Figure IV-7). Les symptômes apparaissent parfois sur quelques plants, dans certains cas seulement sur l'un des deux plants repiqués par trou ce qui peut traduire une compétition intra-trou. Le pourcentage moyen de pieds enroulés a donc été précisé pour chaque parcelle et les notations moyennes d'intensité de stress concernent uniquement les plants présentant des symptômes. Ces observations rendent compte des différences de conditions d'alimentation hydrique selon le type de sol, mais aussi entre les deux années. Quel que soit le site considéré, les fréquences et intensités de symptômes d'enroulement des feuilles apparaissent plus élevées en 2002/2003. L'évolution de ces symptômes varie entre les deux années. En 2001/2002, c'est généralement à la fin de la floraison que le stress est le plus intense, alors qu'en 2002/2003, les symptômes perdurent jusqu'à la maturité. Outre les différences de stock d'eau dans le sol entre les deux années, cette tendance peut aussi être reliée à l'évolution de la température et donc de la demande atmosphérique en eau au cours de la phase reproductive. En effet, en 2001/2002, une diminution sensible de la température moyenne a été enregistrée entre décembre et janvier, alors qu'elle s'est maintenue presque tout le temps au dessus de 25°C en 2002/2003 (cf. chapitre 2, § 3.2.4)

A Balaza, l'observation des symptômes de stress hydrique semble confirmer l'influence variable du scénario pluviométrique sur la dynamique de recharge en eau selon le type de sol (cf. § 4.1.2, chapitre 2). Sur les sols de type *sa'doore*, l'intensité des symptômes d'enroulement est plus forte en 2002/2003, mais la fréquence des pieds avec enroulement demeure modérée. Le bilan pluviométrique peu favorable de cette année se traduit plus nettement sur sols *baleewal* avec une augmentation conjointe de la fréquence et de l'intensité des enroulements. La disponibilité en eau dans le *baleewal* semble plus affectée en 2002/2003, compte tenu d'un total pluviométrique annuel médiocre et malgré quelques pluies tardives qui ont été mieux valorisées dans les sols de type *sa'doore*. De plus, même en cas de bonne pluviométrie, l'absence d'aménagements dans certains sols même très argileux de type *baleewal*, mais légèrement surélevés, empêche un bon remplissage du profil. Cette situation, observée dans la parcelle B3 à Balaza en 2001/2002, s'est traduite par un stress hydrique élevé.

Figure IV-8 : Relations entre le nombre de feuilles vertes à la floraison, et l'alimentation hydrique et azotée



A Mowo, la différenciation des sols étant moins marquée, le niveau de stress hydrique augmente de façon relativement homogène entre les campagnes 2001/2002 et 2002/2003. Le stress hydrique se manifeste dès l'initiation paniculaire dans plusieurs parcelles en 2^{ème} année. Sur les sols hardés, si les aménagements de diguettes sont insuffisants, l'horizon supérieur compacté limite non seulement le taux de reprise qui s'avère un des principaux facteurs limitants, mais empêche également la recharge en eau du sol. Cela se traduit par des stress hydriques marqués sur les plants repris par rapport aux autres parcelles, en particulier lors de la deuxième campagne. Par ailleurs, de la même manière qu'à Balaza, certaines parcelles comme M2 présentent les caractères d'un vertisol modal, mais l'absence d'aménagement combinée à une densité de repiquage élevée (16 000 pieds/ha), ont entraîné des problèmes d'alimentation hydrique du peuplement en 2002/2003. Des densités de repiquage supérieures à 15 000 pieds/ha ont sans doute aussi renforcé l'apparition de stress hydriques dans les parcelles M8 en 2001/2002 et B2a, B2b et M5 en 2002/2003.

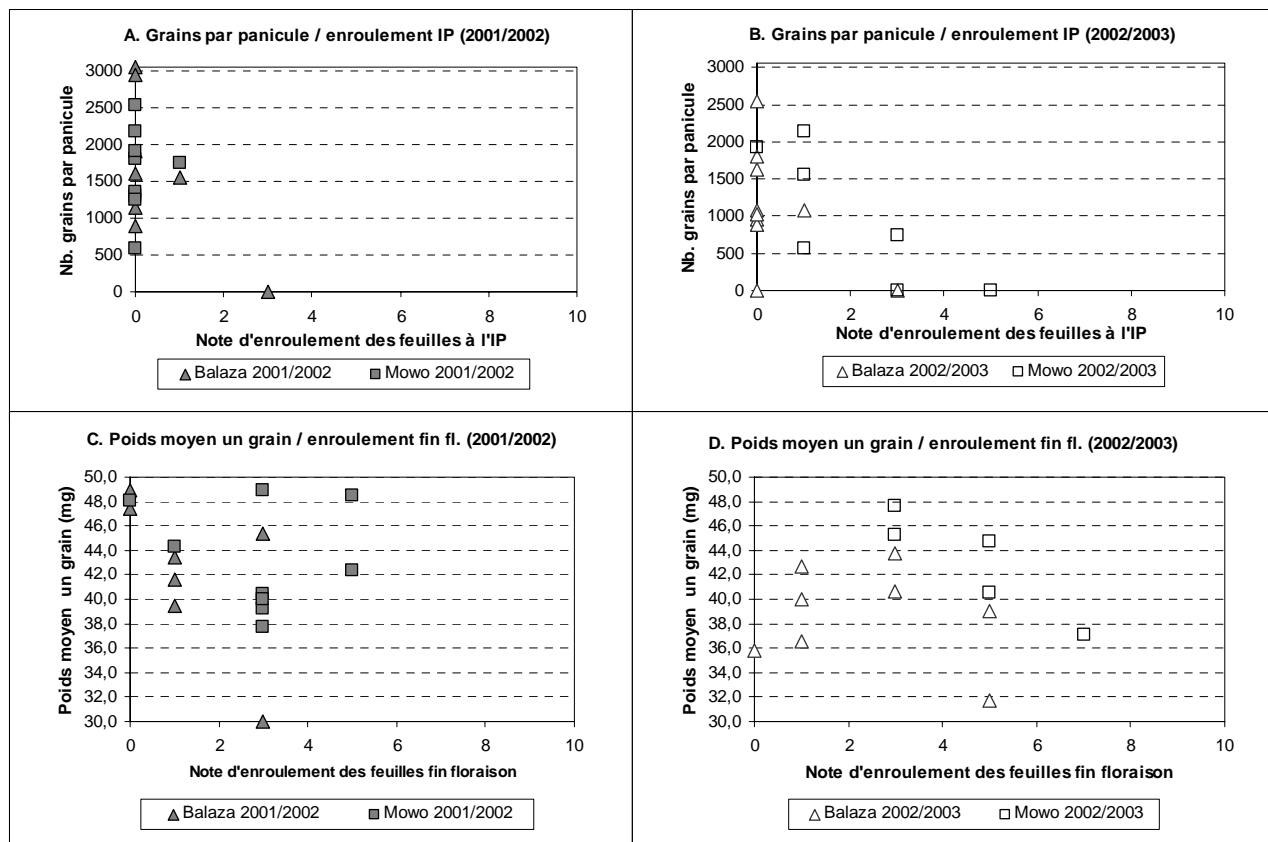
3.2.1.2. Relations entre stress hydrique et nutrition azotée

Au stade floraison, le nombre de feuilles vertes tend à diminuer avec l'augmentation des symptômes d'enroulement des feuilles (Figure IV-8A). Cependant, une importante variabilité du nombre de feuilles vertes est observée pour des niveaux de stress hydrique faibles (notes de 0 à 3 inclus).

L'état nutritionnel en azote a seulement été mesuré à la floraison lors de la campagne 2001/2002, année la plus favorable du point de vue de la réserve en eau du sol. Les indices de nutrition azotée (INN) apparaissent inférieurs à 0,5 dans toutes les parcelles, ce qui traduit des états nutritionnels en azote médiocres¹⁰. Le nombre de feuilles vertes tend à s'accroître avec l'INN, notamment pour les valeurs supérieures du nuage de point (Figure IV-8B). Les stress hydriques et azotés ont donc tendance à limiter l'activité photosynthétique du peuplement, en réduisant l'appareil foliaire. Il y a sans doute une interaction entre l'INN et l'alimentation en eau, sur le nombre de feuilles vertes par pied à la floraison comme cela a été mis en évidence sur sorgho pluvial (Sène, 1999), même si l'absence de mesure des états nutritionnels azotés lors de la campagne 2002/2003 ne permet pas de conclure sur ce point de manière plus sûre.

¹⁰ La teneur en azote des prélèvements varient entre 0,8 et 1,5%, pour une fourchette de production de matière sèche de 0,2 à 2,1 t/ha, ce qui place les peuplements dans un état nutritionnel en azote faible par rapport à la courbe de Plénet (Sène, 1999).

Figure IV-9 : Relation entre les symptômes d'enroulement des feuilles à l'initiation paniculaire et en fin de floraison sur le nombre de grains par panicule et le poids moyen d'un grain



3.2.1.3. Effets des stress hydriques sur les nombres de grains par panicule et les poids moyen d'un grain

La relation entre les indices de stress hydrique et le nombre de grains par panicule montre que les problèmes d'alimentation en eau dès le stade d'initiation paniculaire, entraînent une diminution du nombre de grain par panicule (Figure IV-9A&B). Cette relation apparaît surtout lors de la campagne 2002/2003 où les stress hydriques sont survenus plus rapidement, compte tenu d'une moins bonne recharge en eau des sols par rapport à l'année précédente. Pour les deux campagnes, l'importante variabilité du nombre de grains dans les situations de stress hydriques nuls ou faibles (0-1) met en évidence l'existence d'autres facteurs ayant influencé l'établissement du nombre de grains.

Les symptômes de stress hydriques observés en fin de floraison ne sont que rarement associés à de faibles poids moyen d'un grain (Figure IV-9C&D). Cependant, ils sont sans doute à l'origine de l'obtention de faibles poids de grains, les cas les plus visibles étant les deux parcelles à Balaza en 2001/2002 et 2002/2003 avec des poids moyen d'un grain inférieurs à 32 mg. Les effets de stress hydriques sont avant tout déterminants sur le nombre de grains, mais l'importante variabilité de cette composante dans les parcelles qui ne présentent pas *a priori* de problème d'alimentation en eau laisse supposer l'existence d'autres sources de variations restant à explorer. De plus, compte tenu de l'adaptation du *muskuwaari* à des conditions climatiques très sèches, caractérisées par des valeurs élevées d'évapotranspiration potentielle (Raimond, 1999), la plante est sans doute moins sensible aux stress hydriques, ce qui peut se traduire par moins d'apparition de symptômes de stress, alors que la réserve en eau du sol demeure un facteur limitant essentiel.

3.2.2. *Influence de l'enherbement sur les états nutritionnels*

3.2.2.1. Caractérisation de l'enherbement en fonction des types de sols

Les 94 espèces recensées se répartissent en 8 familles de monocotylédones, principalement des *Poaceae*, et 22 familles de dicotylédones (Annexe 12). L'enherbement des parcelles est décrit avant l'implantation et au cours du cycle cultural, à partir de l'analyse des relevés floristiques des parcelles témoin regroupées pour les deux années de suivi.

✓ *La flore avant implantation*

L'ensemble des espèces observées et des indicateurs calculés (fréquence, recouvrement) figurent en Annexe 15. Quels que soient le site et le milieu considérés, l'analyse fait ressortir des espèces très fréquentes, déjà mises en évidence dans d'autres études (Donfack et Seignobos, 1996 ; Mathieu et Marnotte, 2000), comme *Setaria sphacelata*, *Echinochloa colona*, *Panicum sumatrense* et *Acroceras amplexans*, graminées annuelles caractéristiques des terres à *muskuwaari* au cours de la saison des pluies. Leur fréquence dépasse 50% dans au moins un des sites. Ces espèces présentent aussi un fort développement avec un recouvrement supérieur à 20%, excepté pour *Acroceras*. Certaines adventices vivaces moins fréquentes telles que *Cyperus rotundus* et *Ipomoea aquatica*, typiques de milieux humides, apparaissent aussi dans la plupart des relevés avant le repiquage.

Tableau IV-6 : Répartition des principales espèces en fonction du type de sol avant implantation.

Seules les espèces ayant une fréquence relative supérieure ou égale à 20% ou présentant un recouvrement local d'au moins 15%, ont été conservées. Les parties grisées de chaque tableau montrent les espèces peu influencées par le type de sol (valeurs de recouvrement moyen corrigé proches de 100).

Balaza

Espèces	Fr ⁽¹⁾	Recouvrement		
		local	moyen corrigé s ⁽²⁾ w	
Enherbement global		66	126	82
<i>Loudetia togoensis</i>	11	42	241	0
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	7	17	241	0
<i>Eleocharis setifolia</i>	6	19	241	0
<i>Chloris pilosa</i>	21	23	235	4
<i>Setaria sphacelata</i>	50	28	228	10
<i>Desmodium hirtum</i>	46	24	220	15
<i>Pycreus capillifolius</i>	30	16	209	23
<i>Panicum sumatrense</i>	18	18	205	26
<i>Bergia sufruticosa</i>	43	9	187	39
<i>Cyperus rotundus</i>	33	29	132	77
<i>Acacia seyal</i>	20	2	123	84
<i>Echinochloa colona</i>	64	24	95	103
<i>Cassia mimosoides</i>	26	14	80	114
<i>Sesbania pachycarpa</i>	29	10	42	141
<i>Urginea sp, Crinum sp</i>	46	11	24	154
<i>Ipomoea aquatica</i>	37	13	10	164
<i>Oryza longistaminata</i>	23	38	2	170
<i>Merremia emarginata</i>	20	9	0	171

Mowo

Espèces	Fr	Recouvrement		
		local	moyen corrigé h nd	
Enherbement global		62	86	104
<i>Chloris pilosa</i>	43	12	265	52
<i>Digitaria horizontalis</i>	52	11	228	63
<i>Setaria sphacelata</i>	78	27	117	95
<i>Zornia glochidiata</i>	42	18	116	95
<i>Panicum sumatrense</i>	69	27	107	98
<i>Acroceras amplexans</i>	62	16	101	100
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	23	15	91	103
<i>Chrysanthellum american.</i>	38	5	73	108
<i>Paspalum scrobiculatum</i>	22	5	67	110
<i>Urginea sp, Crinum sp</i>	49	5	60	111
<i>Loudetia togoensis</i>	33	24	57	112
<i>Fymbristilis dichotoma</i>	59	15	48	115
<i>Corchorus sp</i>	25	3	46	116
<i>Echinochloa colona</i>	51	26	6	127
<i>Ipomoea aquatica</i>	19	19	1	129
<i>naddéré 2</i>	25	11	0	129
<i>Cyperus rotundus</i>	16	16	0	129

(1) Fr : Fréquence relative

(2) sols selon les dénominations locales : s = *sa'doore*; w=*baleewal*; h=*hardé*; nd=*n'deleb*

Le recouvrement global avant préparation et la répartition des espèces sont fortement influencés par le type de sol. Dans chaque site, deux grands types de sols ont été retenus, en regroupant parfois ceux ayant des dénominations locales différentes, mais des caractéristiques pédologiques et d'enherbement similaires¹¹. Le Tableau IV-6 présente pour chaque site la répartition des principales espèces en fonction des grands types de sol.

A Balaza, les types de terrains étant bien différenciés, l'analyse met en évidence plusieurs espèces caractéristiques des sols *sa'doore* ou *baleewal*. *Loudetia togoensis* et *Chloris pilosa* peu fréquentes par rapport à l'ensemble des relevés, apparaissent caractéristiques des vertisols intermédiaires de type *sa'doore* où leur recouvrement est supérieur à 20%. Ces sols intermédiaires présentent aussi certaines adventices comme *Dactyloctenium aegyptium* que l'on retrouve dans les cultures pluviales. *Setaria sphacelata*, surtout présente dans les *sa'doore*, est appréciée par les agriculteurs pour faciliter la réalisation du brûlage. Dans les sols de type *baleewal*, l'enherbement global s'avère souvent plus réduit (Tableau IV-6) ce qui rend difficile la réalisation du brûlage sans l'apport de graminées annuelles prélevées en dehors de la parcelle. Certaines espèces vivaces telles que *Oryza longistaminata*, *Launaea cornuta* et *Merremia emarginata*, caractéristiques de ces sols très argileux et temporairement inondables, posent des problèmes de désherbage par la suite.

A Mowo, la différenciation de la flore selon les types de terrain est moins visible à cause d'une plus grande variabilité des caractéristiques du sol à l'intérieur d'un type. Les sols *n'deleb*, s'apparentent toutefois assez bien aux *baleewal*, puisqu'on retrouve certaines adventices spécifiques comme *Echinochloa spp.* et *Launaea cornuta*. Les espèces ligneuses (*Acacia seyal*, *Combretum aculeatum*,...) sont plus fréquentes qu'à Balaza, compte tenu d'une mise en culture des *kare* plus récente. Ces arbustes augmentent les travaux de préparation, car les rejets sont souvent coupés dès le milieu de la saison des pluies pour préserver la réserve en eau du sol.

Certaines espèces ne figurant pas dans le Tableau IV-6, peuvent se révéler importantes localement. C'est le cas de *Echinochloa obtusiflora*, observée dans des vertisols modaux temporairement inondés à Balaza et à Mowo (Annexe 15). Des mauvaises herbes comme *Sphaeranthus flexuosus*, *Polygala erioptera*, présentes seulement de façon isolée avant l'implantation, apparaissent ensuite parmi les principales adventices au cours du cycle cultural.

Les résultats présentés ici coïncident assez bien avec une étude antérieure comprenant une cinquantaine de sites d'observations, destinée à caractériser la flore des *kare* avant implantation (Mathieu et Marnotte, 2000). L'échantillonnage des parcelles d'essais s'avère donc assez représentatif de la diversité des situations d'enherbement des terres à *muskuwaari*.

¹¹ A Balaza, une parcelle localisée sur un sol *daande maayo* a été regroupée avec les *sa'doore*. De même à Mowo, deux parcelles sur terrains *mohorbai* ont été placées dans la classe *n'deleb*.

Tableau IV-7 : Principales adventices identifiées à Balaza au cours du cycle cultural, classées pour chaque grand type de sol en fonction de leur fréquence relative (Fr) et recouvrement local (RI)

SOLS SA'DOORE

	Fr ≥ 20 %	20 % < Fr < 5 %	Fr ≤ 5 %
RI > 10 %	Espèces dominantes <i>Bergia suffruticosa</i> <i>Cyperus rotundus</i>	Espèces relativement fréquentes et très recouvrantes <i>Sphaeranthus flexuosus</i> <i>Coldenia procumbens</i>	Espèces peu fréquentes mais très recouvrantes <i>Stachytarpheta angustifolia</i>
5 % ≤ RI ≤ 10 %	Espèces fréquentes et recouvrantes <i>Corchorus sp.</i>	Espèces relativement fréquentes et recouvrantes	Espèces peu fréquentes mais recouvrantes
RI < 5 %	Espèces fréquentes mais peu recouvrantes <i>Faidherbia albida</i> <i>Combretum spp.</i> <i>Urginea spp.</i> , <i>Crinum spp.</i>	Espèces relativement mineures <i>Acacia seyal</i> <i>Desmodium hirtum</i>	Espèces mineures <i>Stylochaeton hypogaeus</i> <i>Ipomoea aquatica</i> <i>Stemodia serrata</i> <i>Calotropis procera</i>

SOLS BALEEWAL

	Fr ≥ 20 %	20 % < Fr < 5 %	Fr ≤ 5 %
RI > 10 %	<i>Oryza longistaminata</i>		<i>Rhynchosia minima</i> <i>Stachytarpheta angustifolia</i>
5 % ≤ RI ≤ 10 %	<i>Launaea cornuta</i> <i>Ipomoea aquatica</i>	<i>Merremia emarginata</i>	<i>Eleusine indica</i> <i>Heliotropium strigosum</i>
RI < 5 %	<i>Bergia suffruticosa</i> <i>Acacia seyal</i>	<i>Coldenia procumbens</i> <i>Euphorbia forskalii</i> <i>Combretum spp.</i> <i>Cyperus rotundus</i> <i>Faidherbia albida</i> <i>Urginea spp.</i> , <i>Crinum spp.</i>	<i>Stylochaeton hypogaeus</i> <i>Corchorus spp.</i> <i>Caperonia fistulosa</i> <i>Vigna chlorigifolia</i> <i>Hibiscus articulatus</i>

Tableau IV-8 : Principales adventices identifiées à Mowo au cours du cycle cultural, classées pour chaque grand type de sol en fonction de leur fréquence relative (Fr) et recouvrement local (RI)

SOLS HARDÉS

	Fr ≥ 20 %	20 % < Fr < 5 %	Fr ≤ 5 %
RI > 10 %		<i>Acacia seyal</i>	<i>Zornia glochidiata</i>
5 % ≤ RI ≤ 10 %	<i>Paspalum scrobiculatum</i>	<i>Polygala erioptera</i> <i>Sphaeranthus flexuosus</i> <i>Urginea sp.</i> , <i>Crinum sp.</i>	<i>Panicum sumatrense</i>
RI < 5 %		<i>Aristida hordeacea</i> <i>Combretum spp.</i>	<i>Bergia suffruticosa</i> <i>Euphorbia forskalii</i> <i>Scleria lagoensis</i> <i>Chrysanthellum americanum</i>

SOLS N'DELEB

	Fr ≥ 20 %	20 % < Fr < 5 %	Fr ≤ 5 %
RI > 10 %	<i>Sphaeranthus flexuosus</i>	<i>Polygala erioptera</i>	<i>Pycreus capillifolius</i> <i>Nelsonia canescens</i>
5 % ≤ RI ≤ 10 %	<i>Paspalum scrobiculatum</i> <i>Combretum spp.</i> <i>Acacia seyal</i>	"kola djalau" (indéterminée) <i>Launaea cornuta</i> <i>Hibiscus articulatus</i> <i>Ipomoea aquatica</i>	<i>Scleria lagoensis</i>
RI < 5 %	<i>Urginea spp.</i> , <i>Crinum spp.</i>	<i>Corchorus sp.</i> <i>Bergia suffruticosa</i> <i>Ziziphus mauritiana</i>	<i>Euphorbia forskalii</i> <i>Aristida hordeacea</i> <i>Merremia emarginata</i> <i>Rhynchosia minima</i> <i>Borreria octodon</i>

✓ L'enherbement des parcelles cultivées

Les indicateurs de fréquence et de recouvrement ont été calculés pour chaque espèce à partir des relevés effectués après le repiquage. Les principales adventices ont été réparties par classes de fréquence relative et de recouvrement local, et le croisement de ces deux indicateurs permet de dégager les espèces les plus nuisibles. Pour Balaza et pour Mowo, des tableaux ont été élaborés pour chaque grand type de sol, en regroupant les deux années de suivi pour chaque situation (Tableau IV-7 et Tableau IV-8).

A Balaza, les espèces les plus fréquentes et recouvrantes sont nettement différentes selon le type de sol. *Cyperus rotundus* et *Bergia sufruticosa* dominent sur *sa'doore* avec *Sphaeranthus flexuosus* et *beeli* (indéterminée), un peu moins fréquentes, alors que *Oryza longistaminata* apparaît la plus nuisible dans les sols *baleewal* inondables, ainsi que diverses adventices vivaces déjà observées avant l'implantation (*Launaea*, *Ipomoea*, *Merremia*). Toutes ces mauvaises herbes, dont l'appellation en foulouldé est bien identifiée (Annexe 12), sont très souvent citées par les agriculteurs comme nuisibles pour la culture du *muskuwaari* (Donfack et Seignobos, 1996 ; Mathieu et Marnotte, 2000). Parmi les adventices mineures des *baleewal*, on note la présence de *Corchorus spp.* et *Hibiscus articulatis*, souvent prélevées avant le sarclage pour la préparation de sauces. En plus des repousses de ligneux (*Acacia*, *Faidherbia*, *Combretum*), plusieurs adventices secondaires telles que *Urginea sp.*, *Crinum sp.*¹², *Coldenia procumbens*, se retrouvent indifféremment dans les deux grands types de sol.

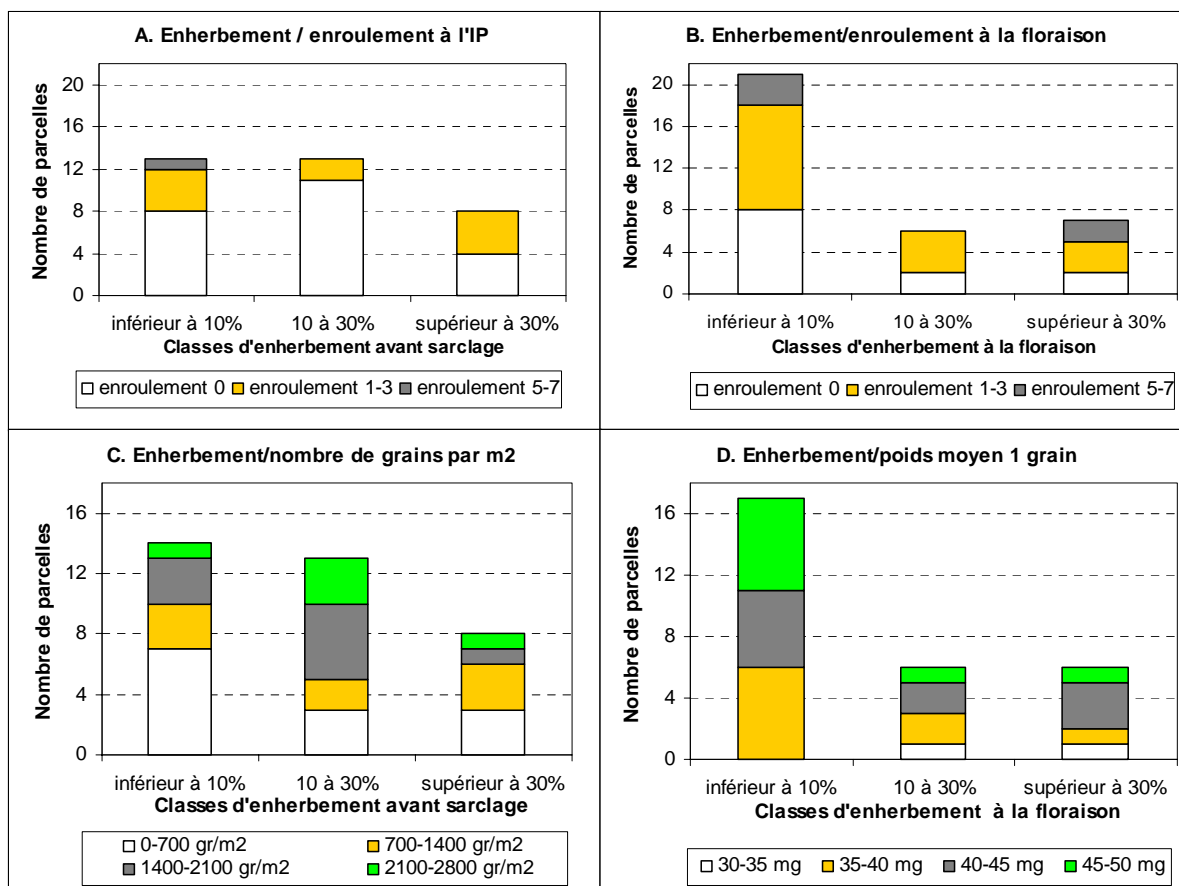
Les mauvaises herbes observées à Mowo se révèlent assez différentes de celles signalées à Balaza. Sur sol hardé, la structure compacte du sol limite la prolifération des adventices, ce qui explique la quasi-absence d'espèces dominantes ou ayant un fort recouvrement. La plupart des mauvaises herbes signalées sur hardé, sont également présentes dans les sols *n'deleb* où elles se révèlent plus nuisibles. *Sphaeranthus flexuosus*, observé surtout sur *sa'doore* à Balaza, apparaît la seule adventice dominante à Mowo. Des espèces comme *Polygala erioptera*, *Paspalum scrobiculatum*, *Nelsonia canescens*, inexistantes ou secondaires à Balaza, s'avèrent envahissantes dans les parcelles de *muskuwaari* à Mowo. Les vivaces les plus courantes (*Launaea*, *Merremia*, *Bergia* ...) sont présentes à Mowo mais apparaissent plutôt secondaires dans le tableau même si elles sont reconnues par les agriculteurs comme étant très nuisibles localement. Enfin, les rejets de ligneux sont fréquents et constituent une contrainte plus forte qu'à Balaza au moment des sarclages.

¹² *Urginea sp.*, *Crinum sp.*, d'apparences semblables au stade végétatif et dont l'appellation en foulouldé est générique (*gaadal*), ont été confondus lors des relevés, faute de pouvoir les différencier de façon sûre.

Tableau IV-9 : Comparaison interannuelle des fréquences et recouvrement des principales mauvaises herbes. Relevés effectués dans les mêmes parcelles en 2001/2002 et 2002/2003. (Seules les espèces dont la fréquence est supérieure ou égale à 10%, ou présentant un recouvrement local supérieur à 10% pour l'une des deux années ont été retenues).

Espèces	Fréquence relative	Recouvrement			
		Moyen corrigé		Local	
		2001/2002	2002/2003	2001/2002	2002/2003
Enherbement global	100	117	86	21	16
<i>Coldenia procumbens</i>	4	219	0	18	0
<i>kola djalau (indét..)</i>	5	219	0	10	0
<i>Polygala erioptera</i>	4	219	0	25	0
<i>Sphaeranthus flexuosus</i>	14	218	1	19	4
<i>Stachytarpheta angustifolia</i>	3	213	5	19	7
<i>Ipomoea aquatica</i>	12	165	45	8	4
<i>Cyperus rotundus</i>	18	129	76	34	13
<i>Launaea cornuta</i>	12	123	81	11	5
<i>Nelsonia canescens</i>	5	104	97	15	5
<i>Oryza longistaminata</i>	13	102	99	20	27
<i>Bergia sufruticosa</i>	35	86	112	17	12

Figure IV-10 : Répartition des parcelles par classes d'enherbement global (avant sarclage et à la floraison), en fonction des niveaux de stress hydriques, de classes de nombre de grains par m² et de poids moyen d'un grain.



La comparaison interannuelle des fréquences et recouvrements des principales adventices après repiquage met en évidence une pression variable selon le scénario climatique. Afin d'éviter les différences importantes liées à la variabilité spatiale de la flore, l'analyse porte uniquement sur les relevés après repiquage des parcelles témoin en 2001/2002 et des mêmes parcelles en 2002/2003 (Tableau IV-9).

L'enherbement global des parcelles apparaît légèrement plus élevé en 2001/2002. Plusieurs espèces sont présentes uniquement lors de cette campagne, compte tenu d'une pluviométrie plus abondante et dans certaines situations, d'une durée d'inondation plus longue. C'est le cas de *Polygala erioptera*, *Coldenia procumbens*¹³, *kola djalau* (espèce indéterminée), dont la fréquence ne dépasse pas 5%, mais qui se sont avérées envahissantes dans certaines parcelles en 2001/2002. Le scénario pluviométrique semble également influencer *Stachytarpheta angustifolia*, et surtout *Sphaeranthus flexuosus (beepal)*, adventice très fréquente du *muskuwaari*. Ces mauvaises herbes, présentes parfois de façon isolée dans le couvert herbacé de saison des pluies, ont ensuite été observées très souvent au cours de la première année, notamment *beepal*/signalée quels que soient le site et le type de sol. Or, ces adventices sont quasiment absentes de ces parcelles en 2002/2003, l'humidité du sol ayant été sans doute insuffisante pour permettre leur développement. L'enherbement des parcelles par *Sphaeranthus flexuosus* est d'ailleurs un problème régulièrement cité par les producteurs. Cette *Asteraceae* à odeur forte occasionne des travaux de désherbage longs et pénibles (Donfack et Seignobos, 1996). Elle pousse tardivement en fin de saison des pluies, d'autant plus si les pluies ont été abondantes, et oblige parfois l'abandon de la parcelle si le sarclage n'a pas été engagé à temps.

Pour les autres adventices, l'effet du scénario climatique se traduit pour certaines espèces par une diminution sensible du recouvrement. Ainsi, les repousses de *Ipomoea aquatica*, *Cyperus rotundus*, *Launaea cornuta* s'avèrent moins importantes lors de la deuxième campagne, sans doute compte tenu de la moindre réserve en eau des sols. Le recouvrement de *Oryza longistaminata* varie peu d'une année sur l'autre, car cette espèce est caractéristique de terrains de bas-fond temporairement inondés même en cas de faible pluviométrie.

3.2.2.2. Impact de l'enherbement sur les composantes du rendement

Un recouvrement important des parcelles par les mauvaises herbes n'entraîne pas toujours l'apparition de stress hydriques à l'initiation paniculaire et à la floraison (Figure IV-10A&B). Pour la majorité des parcelles, les symptômes d'enroulement apparaissent surtout dans les cas de réserve en eau du sol insuffisante, avec un enherbement global inférieur à 10%. Dans les situations de forte prolifération (recouvrement avant sarclage supérieur à 30%), des signes de stress hydriques liés à la concurrence des adventices apparaissent quand même dans au moins la moitié des parcelles, avec une intensité plus marquée à la floraison. La concurrence des mauvaises herbes semble aussi jouer sur l'indice de nutrition azotée qui a tendance à diminuer avec l'augmentation du recouvrement des mauvaises herbes (Annexe 16A). Cette compétition liée à l'enherbement, avec sans doute une interaction entre stress hydrique et déficit nutritionnel en azote, se répercute surtout sur le nombre de grains par m², puisque dans 6 parcelles sur les 8 avec forte infestation, la composante demeure inférieure à 1400 grains/m², alors que les classes de poids moyen d'un grain les plus faibles (inférieures à 40 mg) ne concernent que deux parcelles très infestées (Figure IV-10C&D).

¹³ Cette *Boraginaceae* caractérisée par des feuilles à nervures déprimées et une forte pilosité est apparue après repiquage essentiellement lors de la campagne 2001/2002, en particulier dans les portions de vertisols intermédiaires où une inondation temporaire avait été observée au cours de la saison des pluies.

Figure IV-11 : Evolution de l'enherbement global dans 3 parcelles prises comme exemple à Balaza et à Mowo, lors des deux campagnes de suivies (S_1 = premier sarclage ; S_2 = deuxième sarclage ; Fl. = 50% floraison)

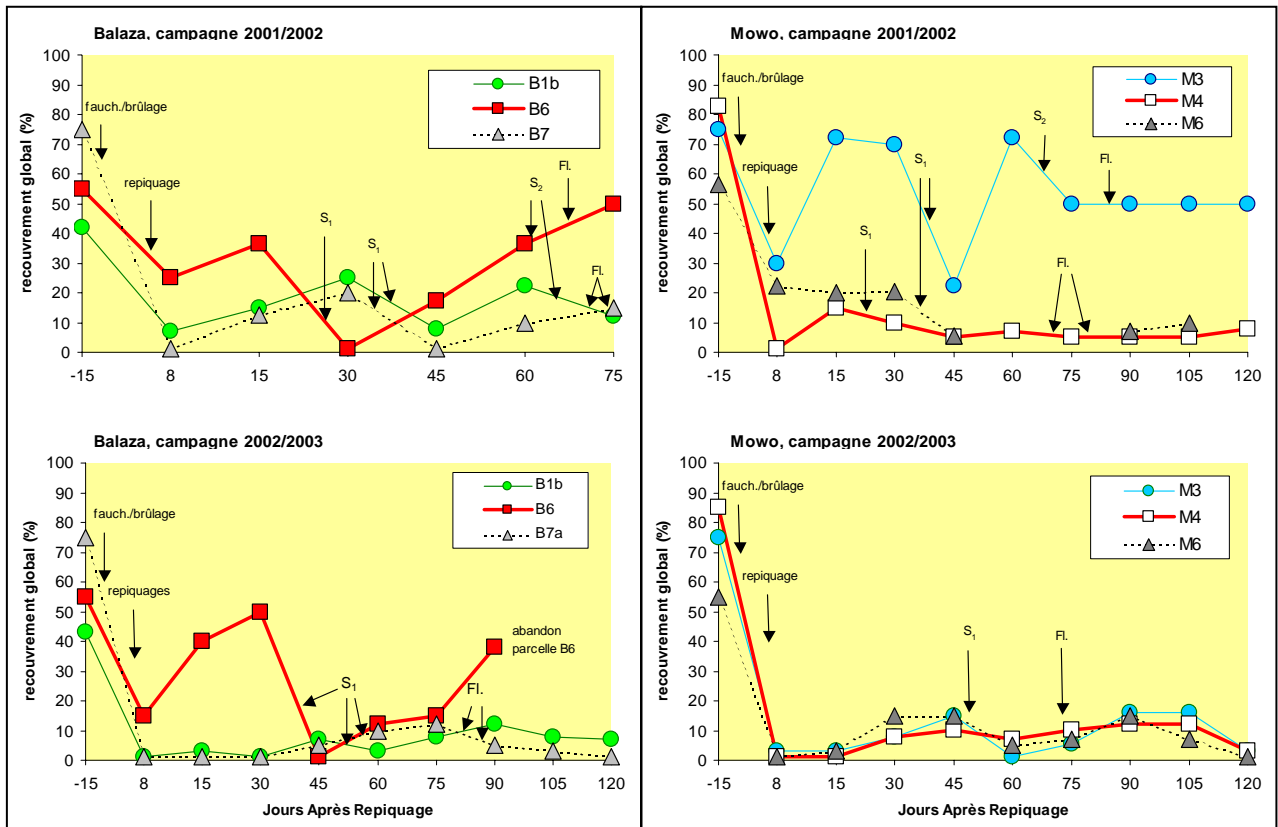
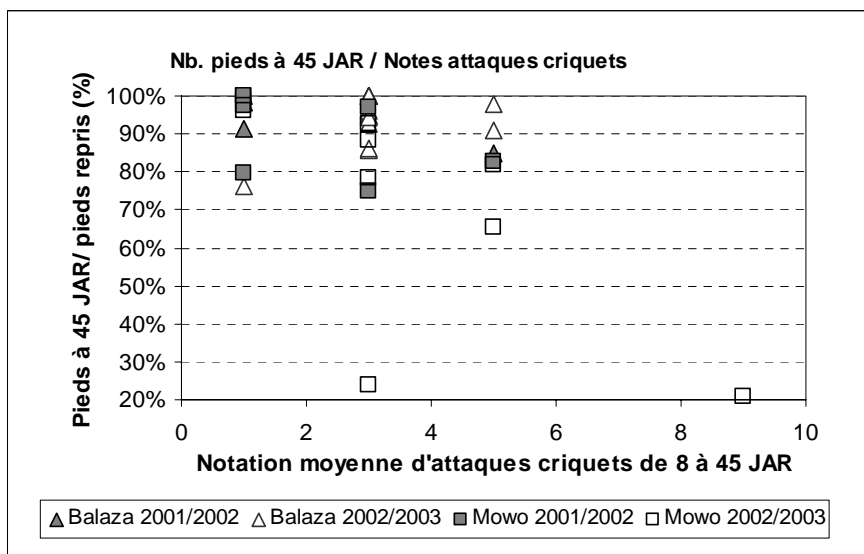


Figure IV-12 : Relation entre l'intensité des attaques de criquets et les pertes de pieds entre la reprise et la floraison



Les exemples de suivi de l'enherbement global dans quelques parcelles lors des deux campagnes, illustrent les variations de recouvrement initial selon les situations d'enherbement (Figure IV-11). La figure montre aussi la variation interannuelle de pression des adventices dans les deux terroirs, les conditions d'enherbement étant similaires d'une année sur l'autre pour un numéro de parcelle donné, sauf pour M3.

La concurrence des adventices a constitué le principal facteur limitant de l'élaboration du rendement dans seulement 6 parcelles sur les 35 suivies. Les infestations par *Oryza longistaminata* ont concerné les parcelles B6 à Balaza pour les campagnes 2001/2002 et 2002/2003 (Figure IV-11). A Mowo, les mauvaises herbes sont apparues comme le principal facteur limitant uniquement dans la parcelle M3 en 2001/2002, envahie par *Polygala erioptera* et *Sphaeranthus flexuosus*. Dans ces cas de forte prolifération, (recouvrement avant sarclage supérieur à 30%), l'agriculteur s'efforce de réaliser le premier sarclage assez rapidement (entre 15 et 30 JAR, cf. B6 en 2001/2002 et Annexe 16B). La période avant ce sarclage correspond approximativement au moment du stade de l'initiation paniculaire, ce qui peut expliquer des répercussions négatives de la concurrence des mauvaises herbes sur le nombre de grains par m². Dans ces situations, l'infestation peut entraîner également une diminution du poids moyen d'un grain, puisque le deuxième sarclage observé seulement dans 3 parcelles¹⁴, est réalisé à peu près au moment de la floraison (Figure IV-11).

Lorsque l'enherbement est moins contraignant (recouvrement avant sarclage inférieur à 30%), la concurrence des adventices peut aussi jouer sur l'élaboration de la production de manière moins importante et conjointement à d'autres facteurs comme la réserve en eau du sol ou les problèmes de ravageurs. Dans ces situations, le sarclage est effectué à une période relativement constante du cycle cultural, puisque l'opération a eu lieu entre 30 et 45 JAR dans plus de la moitié des parcelles (Annexe 16B). Les agriculteurs choisissent d'intervenir une fois que les adventices sont suffisamment développées, ce qui limite ensuite les repousses compte tenu de la concurrence avec le sorgho, et évite la réalisation d'un deuxième sarclage. Les sarclages au delà de 45 JAR n'ont concerné quasiment que des parcelles faiblement enherbées (enherbement inférieur à 10 %).

Les travaux de sarclage apparaissent donc adaptés au niveau d'enherbement et en général réalisés à temps, même si dans certaines situations, en particulier à Mowo, l'opération peut être retardée par la nécessité de rapidement récolter le sorgho pluvial (cf. Chapitre 3).

Il convient également de considérer la présence et l'agressivité des ravageurs comme autre source de variation des rendements.

3.2.3. Impact des attaques de criquets sur les pertes de pieds

La proportion des plants présentant des dégâts foliaires liés aux criquets était en moyenne de 45% en 2001/2002, et 65% en 2002/2003, mais les échecs après la reprise directement imputables à ces attaques représentent généralement moins de 10% des pieds. Les attaques de criquets ont lieu essentiellement entre 0 et 60 JAR, selon la date de repiquage et la diminution des températures. Au-delà, les dégâts sont beaucoup plus rares, ce qui peut être lié au fait que l'on a à faire à des espèces à diapause embryonnaire, comme *Oedaleus senegalensis*, dont seuls les œufs persistent dans le sol en saison sèche.

Le niveau et l'intensité des attaques de criquets semblent influencer les pertes de pieds entre la reprise et le début de la floraison (Figure IV-12). Des dégâts très marqués ont été à l'origine de l'échec d'une parcelle à Mowo déjà mis en évidence précédemment. Une forte mortalité de plants a aussi été observée la même année dans

¹⁴ En 2002/2003, il n'y a pas eu de 2^{ème} sarclage dans la parcelle B6 qui a été abandonnée, l'agriculteur jugeant les travaux de sarclage d'*Oryza longistaminata* trop importants par rapport à la production qu'il pouvait espérer.

une autre parcelle à Mowo mais dans ce cas, c'est avant tout la mauvaise qualité des plants repiqués qui est en cause. Dans la plupart des cas, les attaques de criquets sont à l'origine de la perte de quelques pieds jusqu'à la floraison. Les dégâts, sans directement provoquer la destruction du plant, peuvent l'affaiblir en réduisant sa surface foliaire. Combinées à l'effet de la sécheresse, les attaques de criquets peuvent ainsi influencer la perte de pieds au cours de la phase végétative.

Tableau IV-10 : Moyennes par année et par site, des taux d'infestation par les foreurs et des pertes de rendement en grains et fourrage

Année & Sites	Evolution attaques			Tot. pieds attaqués	Pieds attaqu. improductifs	Rendt pieds sains(kg/ha)	Rendt p. attaqués	Perte rendt	Poids tiges p. sains	Poids tiges p.attaqués	Perte tiges (kg ms/ha)
	45Jar	60Jar	90Jar								
2001/2002											
Balaza	15%	21%	24%	33%	12%	751	454	297	1469	1449	20
Mowo	14%	20%	25%	31%	14%	593	539	54	980	1031	-51
2002/2003											
Balaza	20%	29%	33%	42%	14%	437	361	76	864	1115	-251
Mowo	10%	16%	18%	21%	8%	638	744	-107	1095	2220	-1125

Tableau IV-11 : Moyennes par année et par variété des pertes de rendement en grains et fourrage dues aux foreurs

Année & variétés ¹	Total pieds attaqués	Pieds attaqués improductifs	Rendt pieds sains(kg/ha)	Rendt pieds attaqués	Perte rendt	Poids tiges pieds sains	Poids tiges pieds attaqués	Perte tiges (kg ms/ha)
2001/2002								
Mjc (n=3) ²	30%	9%	992	572	420	2326	2181	145
Mjd (n=2)	37%	5%	833	593	240	1499	1438	61
Sf (n=5)	39%	21%	993	456	537	1918	1459	459
2002/2003								
Mjc (n=3)	45%	19%	535	335	200	753	1055	-301
Sf (n=5)	42%	17%	1212	943	269	2489	3549	-1060

¹ Variétés: Mjc : *majeeri tamiindi* ou *majeeri "crossé"* (panicule compacte, crossée); Mjd : *majeeri tcheleeri* ou *majeeri "droit"* (panicule droite et lâche); Sf : *safraari turiingel* (panicule compacte, crossée).

² n : nombre de parcelles

3.2.4. Importance des dégâts de foreurs des tiges sur le rendement

La caractérisation des systèmes de culture a montré l'importance croissante des dégâts de chenilles foreuses des tiges dans les cultures de *muskuwaari*, l'espèce *Sesamia cretica* apparaissant largement majoritaire (chapitre 2). L'importance des attaques et des dégâts est très variable dans l'espace et d'une année sur l'autre selon le scénario climatique. Les observations au cours du cycle cultural et à la récolte permettent de suivre l'évolution des attaques par *Sesamia* et d'estimer les pertes de rendement liées aux parasites. La présence et l'intensité des attaques ont été notées régulièrement par des observations visuelles :

- trous foliaires alignés (feuille "criblées") lorsque la chenille perce d'abord les jeunes feuilles enroulées avant d'atteindre la tige
- symptôme de cœur mort, avec dessèchement du fouet foliaire central lié à la destruction du méristème apical des jeunes plants avant la floraison
- trous d'entrée ou de sortie des larves au niveau de la tige ou du pédoncule portant la panicule sur les plants plus développés

Ces observations ont sans doute conduit à une légère sous-estimation des tiges attaquées. Les notations (notes de 1 à 9) se sont avérées peu appropriées pour caractériser l'intensité et n'ont pas été valorisées. Des travaux spécifiques engagés sur nos essais (Ratnadass, 2003), montrent la nécessité d'une dissection systématique des tiges à la récolte, pour s'assurer que les tiges apparemment saines n'ont pas été attaquées, et pour noter l'importance des galeries larvaires dans les différents entre-nœuds afin de bien mesurer l'intensité de l'attaque.

3.2.4.1. Dynamique des infestations, impact sur la production de grains

En dépit des carences dans les observations, la pesée séparée des grains et tiges issus des pieds sains et des pieds attaqués a permis d'estimer les pertes de rendement liées aux foreurs dans l'ensemble des parcelles. L'effet des attaques sur la production est très variable comme l'indiquent les coefficients de variation des rendements moyens de pieds attaqués plus élevés que ceux des rendements issus des pieds sains (Annexe 17). Il n'y a pas de relation négative significative entre le taux d'infestation et les rendements de sorgho. La baisse de production due aux chenilles foreuses des tiges s'avère très variable selon le moment de l'attaque au cours du cycle cultural et l'état nutritionnel, en particulier les conditions d'alimentation hydrique du peuplement cultivé. Dans certaines situations, d'autres facteurs tels que la faible réserve en eau du sol ou l'enherbement s'avèrent plus limitants pour la production. L'impact des foreurs sur la production semble plus fort lors de la campagne 2001/2002. En 2002/2003, l'effet des ravageurs est sans doute masqué par l'importance des stress hydriques qui constituent le facteur limitant prépondérant.

Les infestations par *Sesamia* dépassent 30% dans plus de la moitié des parcelles suivies, avec un maximum de 84% de plants parasités dans un champ à Balaza en 2002/2003. En moyenne, une perte de 10% de pieds ou panicules est causée par les infestations de foreurs. L'évolution du pourcentage d'attaque montre que 11% des pieds attaqués le sont à partir de 60 JAR (début de la période de floraison). Ces attaques tardives ont généralement moins d'impact sur la production de grains¹⁵. Si en plus, la proportion de pieds attaqués est relativement faible, on aboutit parfois à des pertes "négatives" où les rendements des pieds attaqués sont supérieurs à ceux des pieds sains. C'est ce qui ressort de la moyenne des pertes estimées à Mowo en 2002/2003 (Tableau IV-10). De plus cette année dans la parcelle M₃, une attaque modérée de foreurs s'est traduit par l'émission de talles productifs, d'où un nombre de panicules et un rendement par pieds supérieurs à ceux des plants non attaqués. Cette compensation a eu lieu grâce à des conditions très favorables d'alimentation en eau (vertisol modal temporairement inondé). La réserve en eau étant souvent limitante, l'émission de tiges axillaires se traduit rarement par une réduction des pertes ou une production supérieure des pieds attaqués. Le tallage retarde le déroulement du cycle cultural et si ces talles donnent une panicule, les grains ne sont souvent pas parvenus à maturité lors de la récolte. Certains agriculteurs laissent parfois ces pieds jusqu'à maturation des grains. Plutôt que de risquer de laisser ces pieds être consommés par les troupeaux qui pâturent dans le *karal* juste après la récolte, beaucoup prélèvent les tiges et panicules qui serviront de fourrage vert pour leur propre bétail.

Les pertes de rendement sont significatives dans 6 des 26 parcelles où il y a eu production de grains. Une estimation plus précise des pertes a été menée en considérant les valeurs par variété et en ne retenant que les parcelles où le niveau d'infestation est assez élevé et relativement homogène (Annexe 17). Dans ces conditions, les rendements moyens des pieds sains et attaqués présentent une différence significative dans 8 parcelles sur 15 et la perte moyenne de rendement liée aux foreurs s'élève à 330 kg/ha, sites et années confondus (Tableau IV-11).

¹⁵ En 2002/2003, la pesée séparée des pieds attaqués jusqu'à 60 JAR et à partir de 60 JAR, a mis en évidence des différences significatives entre les attaques précoces et tardives dans deux parcelles à Balaza (Annexe 17).

La comparaison des composantes du rendement entre pieds sains et attaqués montre l'influence de l'infestation sur le nombre de panicules et surtout le nombre de grains par m² (Annexe 17). En 2001/2002, les attaques ont induit une différence significative du nombre de panicules dans 3 parcelles, et du nombre de grains par m² dans 6 parcelles. Concernant le poids moyen d'un grain, une différence significative entre pieds sains et pieds attaqués a été relevée dans une seule parcelle. Ces résultats confirment la variabilité des dégâts, en particulier selon le stade de la plante, la grosseur de la tige au moment de l'attaque et l'intensité de l'attaque (Polaszek et Delvare, 2000). Les infestations pendant la phase végétative ou à l'initiation paniculaire peuvent entraîner un avortement de la tige principale d'où une diminution du nombre de panicules si la compensation par tallage n'aboutit pas. Le plus souvent les attaques induisent un affaiblissement du plant entraînant une diminution du nombre de grains dont la cause est variable selon le stade lors de l'infestation :

- réduction du nombre de grains initiés lors de la formation de la panicule
- perte de grains lors de la floraison et de la fécondation

Par contre, les attaques de *Sesamia cretica* même tardives, semblent peu affecter le remplissage des grains formés.

L'importance croissante des infestations pousse les agriculteurs à s'orienter vers les variétés les plus résistantes vis-à-vis des foreurs. A Balaza, les types *majeeri*, réputés moins sensibles sont de plus en plus cultivés au détriment des *safraari*. Les résultats semblent confirmer cette moindre sensibilité des *majeeri* puisque les pertes moyennes enregistrées pour l'ensemble des deux campagnes, sont de 280 kg/ha pour les *majeeri* contre 400 kg/ha pour *safraari*.

3.2.4.2. Impact des foreurs sur la production fourragère

La production fourragère, essentiellement les tiges, a été mesurée en séparant également les tiges saines et attaquées. Les attaques de chenilles n'induisent pas toujours des pertes de production fourragère, compte tenu du tallage compensatoire important provoqué par les attaques. Dans plus de la moitié des parcelles, le poids des tiges attaquées s'avère supérieur à celui des tiges saines. Cette plus grande production fourragère des pieds attaqués est liée aux tiges supplémentaires et parfois aux panicules avortées ou n'étant pas parvenues à maturité à temps. La répartition différente des assimilats causée par les attaques des foreurs, engendre donc le plus souvent une production supplémentaire de tiges au détriment des grains. Cependant, les dégâts occasionnés par les chenilles à l'intérieur des tiges semblent amoindrir leur qualité fourragère. D'après les agriculteurs, les tiges attaquées sont moins appréciées par le bétail, conséquence sans doute d'une moindre teneur en sucre des tissus et de l'apparition de "pourritures" à l'intérieur, suite aux dégradations des chenilles et aux infections secondaires par des larves de diptères, bactéries et champignons.

3.2.5. Autres ravageurs et maladies

D'autres ravageurs et maladie peuvent occasionner des dégâts d'importance secondaires car beaucoup plus localisés. C'est le cas de *Acantholeucania loreyi*, une noctuelle phyllophage qui a été observée surtout à Balaza lors de la première campagne (Tableau IV-12). Les chenilles ont tendance à rester au niveau du cornet et consomment les jeunes feuilles, ce qui dans certains cas entraîne la mort du plant. *Acantholeucania loreyi* demeure cependant beaucoup moins fréquente et nuisible pour les plants de *muskuwaari* que *Sesamia cretica*, et d'après les notations d'intensité des attaques, l'importance des dégâts dépasse rarement 30% de la surface foliaire. La présence de pucerons est à signaler sur quelques pieds sur la face inférieure des feuilles, sans que l'infestation soit à l'origine d'un affaiblissement visible de la plante.

Tableau IV-12 : Moyennes par année et par site des taux d'infestation par différents ravageurs et maladies d'importance secondaires

Année & Sites	% attaques par <i>A.loreyi</i>	% attaques par pucerons	% attaques par charbon couvert et allongé
2001/2002			
Balaza	32 %	5 %	0,9 %
Mowo	3 %	13 %	1,3 %
2002/2003			
Balaza	3 %	4 %	1,1 %
Mowo	3 %	6 %	0,7 %
Moyenne	10 %	7 %	1 %

Enfin, l'infestation par des charbons couvert et allongé (*Sphacelotheca sorghi* et *Tolyposporium ehrenbergii*) ne représente qu'une faible proportion des panicules produites. En moyenne, quelle que soit la variété, les dégâts ne dépassent pas 200 panicules/ha, ce qui correspond au niveau d'infestation observé dans des travaux menés précédemment (Mathieu et Alifa, 2001). Un maximum a été observé dans une parcelle de *safraari* avec 10% des plants touchés. Les charbons couvert et allongé touchent 20 à 60% des grains de la panicule. En l'absence de traitement de semences, les variétés *safraari* semblent plus sensibles, comme cela a été mis en évidence dans des études antérieures (Germain *et al.*, 1973). Le charbon nu (*Sphacelotheca cruenta*), qui touche toute la panicule, n'a été observé que de façon isolée dans les parcelles.

Le faible niveau d'infestation par le charbon est à relier aux traitements de semences de plus en plus pratiqués au moment des semis en pépinière. Dans notre échantillon, près de la moitié des agriculteurs, essentiellement à Mowo, utilisent un produit de traitement de semences, le Thioral (matières actives : thirame et thiabendazole), dont l'action fongicide limite l'apparition du charbon.

3.2.6. Synthèse sur les états du milieu affectant l'élaboration du rendement

Les états du milieu constituent les principaux facteurs de variation des rendements. Leur confrontation avec les variables identifiées comme déterminantes dans l'élaboration du rendement (nombre de pieds, nombre de panicules et nombre de grains par m²), met en évidence l'influence d'un même état sur différentes phases de formation des composantes du rendement.

Le cycle cultural se déroulant essentiellement en saison sèche, l'alimentation hydrique du peuplement cultivé s'avère essentielle pour la production, avant tout déterminée par la réserve eau du sol au moment du repiquage. Le niveau de recharge du profil est conditionné non seulement par le niveau et la répartition des pluies, mais aussi par la structure et la texture du sol et dans certains cas par l'aménagement de diguettes. La compacité des sols hardés limite en effet la pénétration des eaux de pluie lorsque les aménagements de diguettes sont insuffisants. Cela explique les importantes pertes de pieds liées aux échecs à la reprise et au problème de sécheresse, observés dans les cinq parcelles sur sol hardé non aménagé. Dans les vertisols modaux, malgré une bonne capacité de rétention d'eau conférée par un taux d'argile élevé, un bilan pluviométrique peu favorable s'avère plus limitant pour la recharge en eau du sol que dans les vertisols intermédiaires, comme tend à le prouver la fréquence et l'intensité de symptômes de stress hydriques supérieurs en 2002/2003 dans certaines parcelles *baleewa* à Balaza.

Les problèmes d'alimentation en eau observés dès le stade d'initiation paniculaire entraînent une forte diminution du nombre de grains par panicule, notamment lors de la campagne la plus sèche de 2002/2003. Les stress hydriques ont tendance à limiter l'activité photosynthétique du peuplement, en réduisant l'appareil foliaire. Il y a sans doute une interaction de l'alimentation en eau et en azote sur le nombre de feuilles vertes par pieds à la floraison.

La nuisibilité des adventices ne représente pas une contrainte aussi préjudiciable que ce que l'on pouvait supposer *a priori*. L'enherbement constitue le principal facteur limitant du rendement dans seulement 6 des 35 parcelles suivies, avec des recouvrements avant sarclage supérieurs à 30%. Cependant, dans des situations moins enherbées, la concurrence des adventices doit aussi influencer l'élaboration de la production conjointement à d'autres facteurs notamment la réserve en eau du sol et les ravageurs. La caractérisation de la flore a mis en évidence les principales adventices déjà observées dans des travaux antérieurs (Donfack et Seignobos, 1996 ; Mathieu et Marnotte, 2000), ce qui témoigne de la représentativité des parcelles échantillonnées par rapport à la diversité des situations d'enherbement des terres à *muskuwaari*. L'effet des adventices a été plus marqué en 2001/2002, la gamme des adventices et le niveau d'infestation étant plus réduits l'année suivante. Dans les cas de forte infestation, les mauvaises herbes empêchent la floraison, ou entraînent une diminution du nombre de grains par panicule. La concurrence des adventices avec le peuplement cultivé semble s'exercer à la fois pour l'eau et l'azote, les symptômes de stress hydriques et les déficits azotés étant plus fréquents avec l'augmentation de l'enherbement. Le déclenchement des travaux de sarclage apparaît ajusté au niveau d'enherbement et cette opération est généralement réalisée dans les temps. Pour des infestations moyennes par les adventices (10 à 30% de recouvrement global), un sarclage précoce permettrait sans doute un nombre de grains par panicule plus élevé, mais obligerait à un 2^{ème} sarclage, qui n'a été observé que dans quelques situations de forte infestation (plus de 30% de recouvrement).

Le niveau et l'intensité des attaques de criquets et de chenilles foreuses des tiges (*Sesamia cretica*) permettent d'expliquer en partie les pertes de pieds entre la reprise et la floraison. En fonction de l'importance de l'infestation et du stade de la plante au moment de l'attaque, les foreurs occasionnent également des pertes de panicules et

une diminution significative du nombre de grains par m² lors de la formation de la panicule ou lors de la floraison et de la fécondation. Les pertes de rendements en grains liées aux foreurs ont été significatives dans une dizaine de parcelles, essentiellement lors de la première campagne. Les taux d'infestation sont comparables lors de la deuxième campagne, mais l'importance des stress hydriques a été généralement prépondérante par rapport à l'effet des foreurs. Les attaques occasionnées par les chenilles sur la tige principale provoquent très souvent l'émission de talles. Cette compensation aboutit à des panicules productives seulement dans de bonnes conditions d'alimentation hydrique. La répartition différente des assimilats induites par les attaques de foreurs, engendre le plus souvent une production supplémentaire de tiges au détriment des grains. Nos résultats concernant la dynamique d'infestation et l'impact de *Sesamia cretica* s'accordent assez bien aux travaux spécifiques engagés depuis (Aboubakary, 2004). D'autres ravageurs et parasites tels que les chenilles phyllophages (*Acantholeucania lorey*) ou les charbons, sont à l'origine de dégâts beaucoup plus localisés.

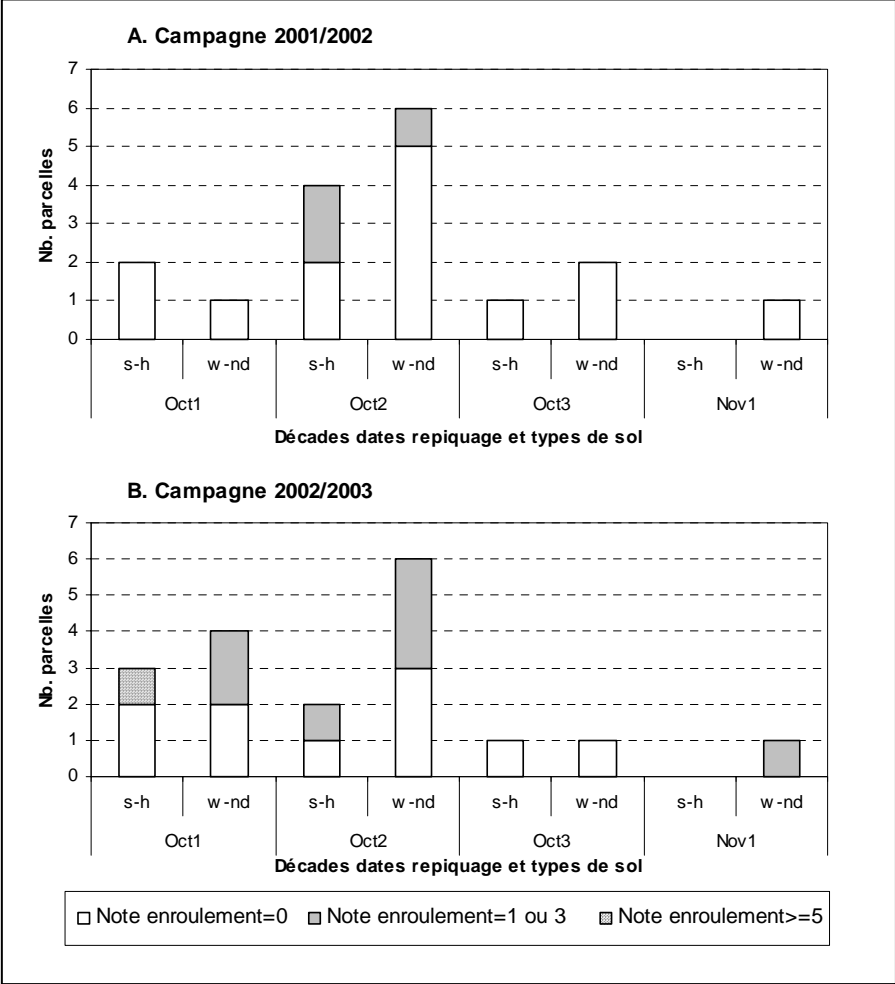
3.3. Impact des caractéristiques de repiquage sur les états du milieu

Dans ce paragraphe, on cherche à identifier des éléments du système de culture susceptibles de modifier les états du milieu dont on vient de montrer les rôles dans les variations de rendement. Il s'agit notamment d'examiner l'influence des modalités de repiquage (date, densité) sur la satisfaction des besoins en eau du peuplement cultivé. Les résultats précédents ont déjà mis en évidence l'importance des opérations d'aménagement du *karal* (construction et réfection de diguettes), pour favoriser la recharge en eau du sol, en particulier sur les sols hardés et dans les vertisols modaux.

3.3.1. Influence des caractéristiques des plants au repiquage

L'importance du stade de développement des plants et de leur préparation au repiquage ("habillage") sur la qualité de la reprise n'a pas été évaluée dans notre dispositif. L'analyse des pratiques révèle une grande variabilité des stades au moment de la transplantation, qui a sans doute des conséquences sur la qualité de la reprise, le développement et la compétition entre les plants dans un même trou. Dans les parcelles suivies, les plants ont été repiqués aux stades de 3 à 6 feuilles. Les caractéristiques de préparation des plants avant repiquage (racines et dernières feuilles coupées ou non, durée de trempage dans l'eau avant repiquage) n'ont pas été relevées. Les doses d'eau apportées par trou lors du repiquage varient de 40 à 180 ml, selon l'humidité de l'horizon supérieur. Cependant, mises à part les connaissances empiriques des agriculteurs, on ne dispose pas de références permettant de juger de la qualité de la reprise en fonction de paramètres tels que le stade, la technique de préparation des plants et les conditions de repiquage.

Figure IV-13 : Relation entre date de repiquage et symptôme de stress hydriques à l'IP (30 JAR) selon les types de sol. Les parcelles de Balaza et Mowo ont été regroupées dans l'un des deux grands types de sol : s-h : sols sa'doore et hardé; w-nd : sols baleewal et n'deleb.



3.3.2. Rôles de la date de repiquage et de la densité sur l'alimentation en eau

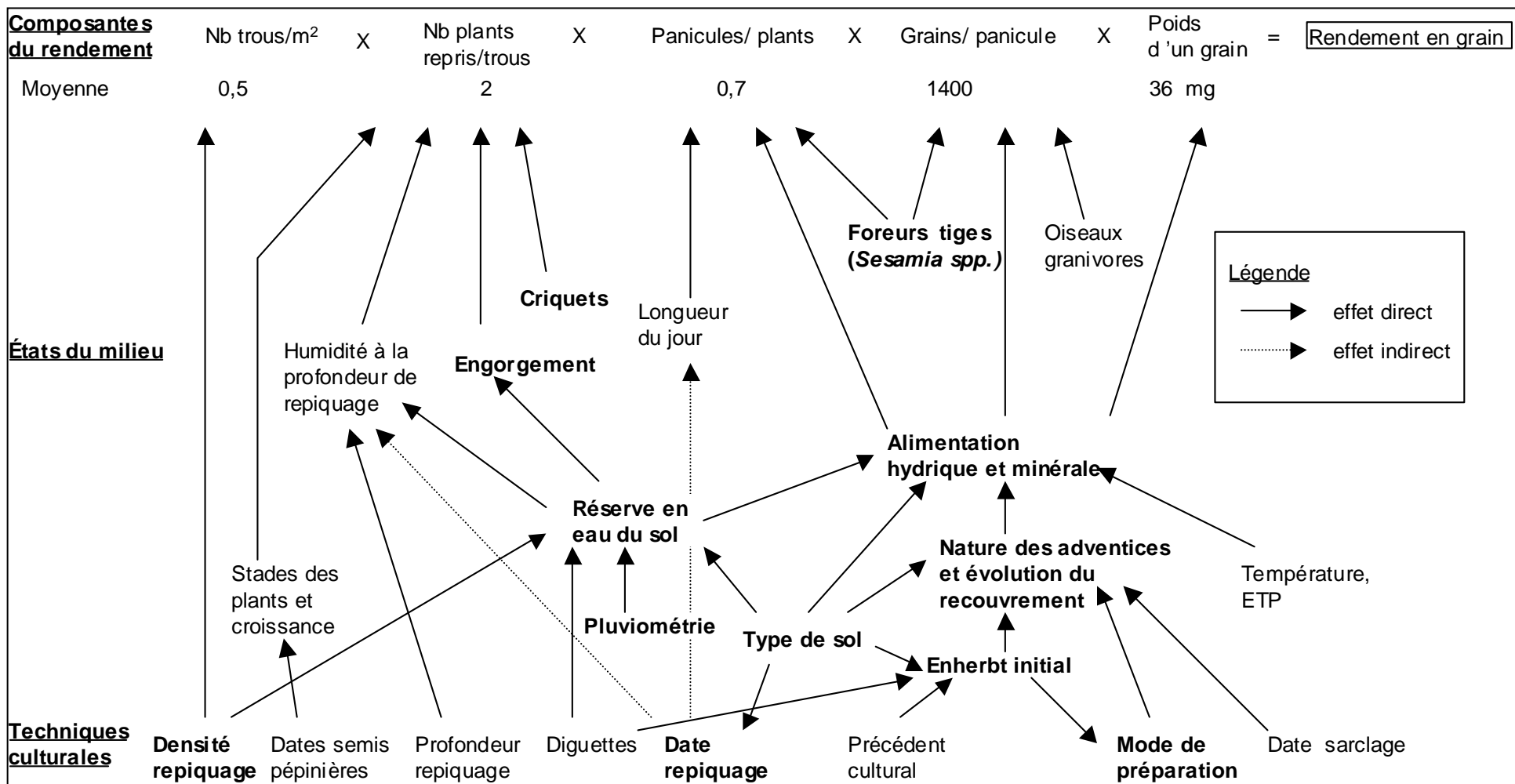
Pour repiquer au meilleur moment et faire en sorte que les plants profitent au mieux de la réserve en eau du sol, l'agriculteur tient compte à la fois de l'arrêt des pluies et de l'humidité du sol (cf. chapitre 3). Pour un terrain donné, la période propice pour le repiquage est courte. La date de repiquage constitue donc un facteur important de la réussite de la culture, notamment pour assurer une bonne reprise et une valorisation optimale de la réserve en eau du sol. Cependant, pour un type de sol donné, les dates de repiquage tardives n'engendrent pas forcément des problèmes de stress hydriques (Figure IV-13). Cela prouve que les agriculteurs parviennent assez bien à ajuster la date de repiquage aux conditions optimales d'humidité du sol, et que les problèmes d'alimentation hydrique qui se posent ensuite sont plutôt liés à une réserve en eau du sol insuffisante ou à la concurrence des mauvaises herbes (cas d'une parcelle à Balaza en 2002/2003, repiquée pendant la première décennie de novembre). Ainsi, les variations de date de repiquage (30 à 40 jours pour un type de sol donné), n'apparaissent pas déterminantes pour l'alimentation des plants en eau par la suite. Ce constat peut s'expliquer notamment par le fait que la consommation en eau du peuplement cultivé reste encore assez faible au cours de la phase végétative à partir de la reprise. L'analyse de l'influence de la date de repiquage sur la disponibilité en eau mérite toutefois d'être affinée, notamment en tenant mieux compte de la variabilité des conditions édaphiques à l'intérieur d'un type de sol, et en examinant le rôle des pluies tardives après repiquage sur les conditions d'alimentation en eau.

Comme on l'a déjà vu, les pratiques de densité de repiquage sont aussi influencées par le type de sol, avec des conséquences sur l'alimentation hydrique du sorgho et la gestion de la réserve en eau du sol.

Dans les vertisols modaux, la forte capacité de rétention d'eau du sol devrait pousser les agriculteurs à augmenter la densité de repiquage, en particulier lors des années les plus pluvieuses. En fait, ils privilégient de grands écartements, en particulier à Balaza, pour favoriser la formation de grosses panicules tout en limitant les travaux de repiquage. De plus, comme un scénario pluviométrique déficitaire semble être plus pénalisant pour la recharge en eau dans les vertisols modaux que dans les vertisols intermédiaires, une faible densité limite les risques d'une trop forte compétition à l'intérieur du peuplement et permet d'assurer une production minimale.

Dans les sols moins argileux, le remplissage du profil se fait plus facilement (sol plus filtrant, fentes de retrait moins importantes et profondes) et la réserve en eau du sol sans doute moins variable selon le scénario climatique, autorise des densités de repiquage plus élevées. Dans ces situations, l'agriculteur recherche un nombre de panicules élevé, ce qui aboutit dans le cas de trop fortes densités à une diminution du nombre de grains par m² comme cela a été observé précédemment dans deux parcelles (cf. 3.1.2.1).

Figure IV-14 : Schéma simplifié de l'élaboration du rendement du sorgho *muskuwaari*. Les éléments qui figurent en gras sont ceux pour lesquels notre dispositif a permis de mettre en évidence le rôle dans l'établissement des composantes du rendement.



3.4. Conclusions sur l'analyse de la variabilité des rendements

L'analyse de la variabilité des rendements dans notre réseau de parcelles fournit plusieurs clés de la compréhension du fonctionnement d'un peuplement de sorgho repiqué. Les états du milieu et techniques culturales dont on est parvenu à montrer l'influence sur la production, ont été signalés en gras dans le schéma d'élaboration du rendement (Figure IV-14).

Les **variations de rendement s'expliquent principalement par le nombre de grains par m²**, le poids moyen d'un grain apparaissant beaucoup moins variable. Les variations du nombre de grains sont en partie déterminées par le nombre de panicules formées, ce dernier étant très dépendant du nombre de pieds, puisque le tallage donne rarement des panicules productives. La période de la reprise à la floraison s'avère donc essentielle pour l'élaboration du rendement. Le nombre de pieds repris, le nombre de panicules et de grains formés sont influencés différemment selon le type de sol et le niveau de recharge de la réserve en eau fortement dépendant du scénario climatique.

Le diagnostic a bien montré la **prépondérance des conditions d'alimentation hydrique sur l'établissement de ces composantes**. Les résultats révèlent l'importance du type de sol et du niveau de remplissage du profil sur la satisfaction des besoins en eau du peuplement cultivé, alors que la nuisibilité des adventices apparaît moins limitante que ce qui était supposé. La concurrence des mauvaises herbes essentiellement pour l'eau permet quand même d'expliquer une diminution des rendements dans au moins 20% des parcelles suivies. Dans les situations de recouvrement moins contraignant, la concurrence des mauvaises herbes ne peut pas être isolée des autres facteurs limitants tels que la réserve en eau du sol ou l'infestation par des ravageurs.

Le diagnostic a révélé **l'importance des attaques de chenilles foreuses de tiges (*Sesamia cretica*)** comme facteur de variation des rendements. Selon l'importance de l'infestation en début de cycle et la qualité de l'alimentation hydrique du peuplement, les attaques de *Sesamia* ont une influence variable sur le nombre de pieds, le nombre de panicules et le nombre de grains par panicule. Des baisses de rendement en grains liées aux attaques de chenilles ont été estimées en moyenne à près de 300 kg/ha, l'impact des dégâts étant moins visible lors de la campagne 2002/2003 où la réserve en eau s'est avérée le premier facteur limitant dans de nombreuses parcelles. L'impact des foreurs apparaît donc indispensable à prendre en compte dans l'évaluation agronomique des itinéraires techniques avec ou sans herbicide.

Concernant l'influence des techniques culturales, le suivi des parcelles a montré que les agriculteurs parviennent assez bien à ajuster la date de repiquage aux conditions optimales d'humidité du sol. Pour un type de sol donné, **les variations de date de repiquage de l'ordre de 30 à 40 jours, n'apparaissent pas déterminantes pour l'alimentation des plants en eau par la suite**. En effet, le peuplement cultivé consomme relativement peu d'eau au cours de la phase végétative qui suit la reprise. Il semble donc peu probable qu'une implantation un peu plus précoce grâce à une préparation plus rapide par traitement herbicide assure une amélioration de la production. Cependant, une meilleure prise en compte de la variabilité des conditions édaphiques à l'intérieur d'un type de sol apparaît indispensable pour bien juger de l'influence de la date de repiquage sur l'alimentation hydrique du peuplement.

Ce diagnostic présente plusieurs limites, compte tenu du dispositif de suivi parfois insuffisant pour expliquer certains déterminants de la variation des rendements.

Les observations visuelles d'enroulement des feuilles et de fissuration du sol se révèlent parfois insuffisantes pour juger précisément de l'alimentation en eau du peuplement. Compte tenu de l'adaptation du *muskuwaari* à la sécheresse, **des indicateurs plus précis sur la dynamique de la réserve utile** au cours du cycle cultural

permettrait de mieux évaluer la satisfaction des besoins en eau selon le type de sol et le scénario climatique. Des bilans hydriques sont envisageables en appliquant toutefois une méthode spécifique compte tenu du fonctionnement des vertisols (Duboisset, com. pers.). Par ailleurs, on a vu l'importance du climat sur la recharge en eau du profil, mais le rôle de l'évapotranspiration potentielle au cours du cycle cultural n'a pas été évalué, les deux campagnes de suivi étant assez peu contrastées concernant cette composante climatique.

Les résultats apportent un éclairage concernant l'interaction entre l'alimentation hydrique et la nutrition azotée sur l'élaboration du rendement ; en revanche, on ne peut pas conclure sur d'éventuels déficits de certains éléments nutritionnels en fonction du type de sol cultivé. Toutefois, plusieurs essais en station sur l'irrigation et la fertilisation de la culture du sorgho repiqué, ont montré que les aspects de fertilité du sol avec l'apport éventuels d'engrais minéraux, ne sont à envisager que lorsque la contrainte d'alimentation hydrique aura été surmontée (Barrault *et al.*, 1972 ; Carsky *et al.*, 1995).

La compréhension de la dynamique d'infestation du *muskuwaari* par les foreurs des tiges demeure incomplète. Les résultats ne montrent pas de relation entre la date de repiquage et le taux d'infestation précoce par les chenilles (avant 60 JAR). Comme cela a été présenté dans le chapitre 2, les travaux récents sur la dynamique d'infestation du *muskuwaari* par *Sesamia cretica*, laissent penser que l'insecte poursuit son cycle en fin de saison des pluies, en passant des parcelles de sorgho pluvial vers celles de sorgho repiqué (Ratnadass, 2003 ; Aboubakary, 2004 ; Ratnadass, 2004). A l'avenir, en plus de la date de repiquage, la proximité des parcelles de sorgho pluvial est un facteur supplémentaire à considérer pour expliquer les variations du niveau d'attaque dans les parcelles de *muskuwaari*.

Il s'est avéré difficile de bien prendre en compte les caractéristiques au repiquage (stade des plants, niveau de croissance, profondeur de repiquage) et d'examiner leur rôle sur la qualité de la reprise. Cet aspect pourrait faire l'objet d'une évaluation agronomique, afin de préciser le stade optimal des plants pour le repiquage selon le type de sol. Enfin on a pu mettre en évidence certains savoir-faire des agriculteurs en matière de choix de la densité de repiquage selon le type de sol. Des suivis et expérimentations supplémentaires permettraient peut être d'affiner ces pratiques en faisant varier la densité selon le niveau de recharge en eau du sol, notamment dans les vertisols modaux. Il s'agit cependant de tenir compte de l'importance qu'accordent les agriculteurs à la productivité du travail et au risque climatique en particulier dans le choix de la densité de repiquage.

Il reste maintenant à examiner l'influence du mode de préparation des parcelles sur l'enherbement et les conditions d'implantation de la culture. Le traitement herbicide de préparation introduit récemment est comparé aux modes habituels de gestion de l'enherbement avant repiquage, et évalué du point de vue de la maîtrise des adventices et de la rapidité d'implantation de la culture.

4. EVALUATION AGRONOMIQUE DES TRAITEMENTS HERBICIDES DANS DIVERSES SITUATIONS D'ENHERBEMENT

L'évaluation des itinéraires avec traitement herbicide de préparation et des nouvelles règles de décision qui en résultent (déclenchement traitement, matière active et dosage) a été effectuée dans diverses situations d'enherbement classées en fonction de deux critères :

- le niveau de recouvrement du couvert avant implantation (inférieur ou supérieur à 50%)
- la présence d'adventices vivaces

Comme cela a été montré (cf. 3.2.2.1), ces caractéristiques d'enherbement sont influencées par le type de sol. Les expérimentations permettent de tester les hypothèses sur les avantages du traitement herbicide formulées précédemment pour chacune des situations et d'examiner à la lumière des résultats du diagnostic cultural, les effets du traitement sur l'élaboration du rendement. Pour les essais de la campagne 2001/2002, l'arrière-effet du traitement sur l'enherbement et la production a été suivi en 2002/2003.

4.1. Intérêts et limites du traitement herbicide selon les situations d'enherbement

Pour chaque situation, il s'agit de juger de l'efficacité des différents itinéraires techniques de préparation sur la maîtrise du couvert herbacé, sur les conditions d'implantation (date de repiquage), et de mettre en évidence les éventuelles conséquences sur l'élaboration du rendement.

4.1.1. Situation 1 : graminées annuelles et recouvrement global avant repiquage inférieur ou égal à 50%

Cette situation correspond seulement à deux expérimentations, M1a en 2001/2002 et B7b en 2002/2003, sur des sols hardé insuffisamment aménagés donc compactés. La structure du sol limite le recouvrement du couvert herbacé avant repiquage dont la moyenne ne dépasse pas 50% dans les deux cas. La flore avant l'implantation est dominée par des graminées annuelles, *Setaria sphacelata* et *Chloris pilosa* dans le bloc M1a, *Echinochloa obtusiflora*¹⁶ et *Panicum sumatrense* dans B7b.

4.1.1.1. Maîtrise du couvert herbacé et conséquence du traitement sur la date de repiquage

Ces parcelles sont habituellement nettoyées par fauchage puis brûlage, le feu étant amélioré par l'apport d'autres herbes prélevées ailleurs et épandues sur la parcelle. Le traitement herbicide au glyphosate a été appliqué à des doses assez faibles et réalisé plus tôt que le fauchage dans les parcelles témoins (t0), ce qui a permis d'avancer les dates de repiquage dans les parcelles traitées (T), de 14 jours dans M1a et de 7 jours dans B7b (Tableau IV-13).

Tableau IV-13 : Conditions d'implantation et élaboration du rendement dans deux essais en situation 1

Essai	M1a (2001/2002)		B7b (2002/2003)	
	hardé		hardé	
Type de sol				
Traitement	t0	T	t0	T
Dose glyphosate (g/ha)		900		500
Date repiquage	8/10	24/9	4/10	27/9
Date sarclage	8/11	8/11	11/11	9/11
Rendement grains en kg/ha (CV) ¹	151 (104%)	24 (93%)	0	0
Taux de reprise	43%	41%	33%	70%
Nb. panicules/m ²	0,2	0,03	0	0
Nb. grains/m ²	458	138	0	0
Poids moyen 1 grain (mg)	48,5	52,3	0	0
Poids tiges (kg MS/ha)	172	12	106	48

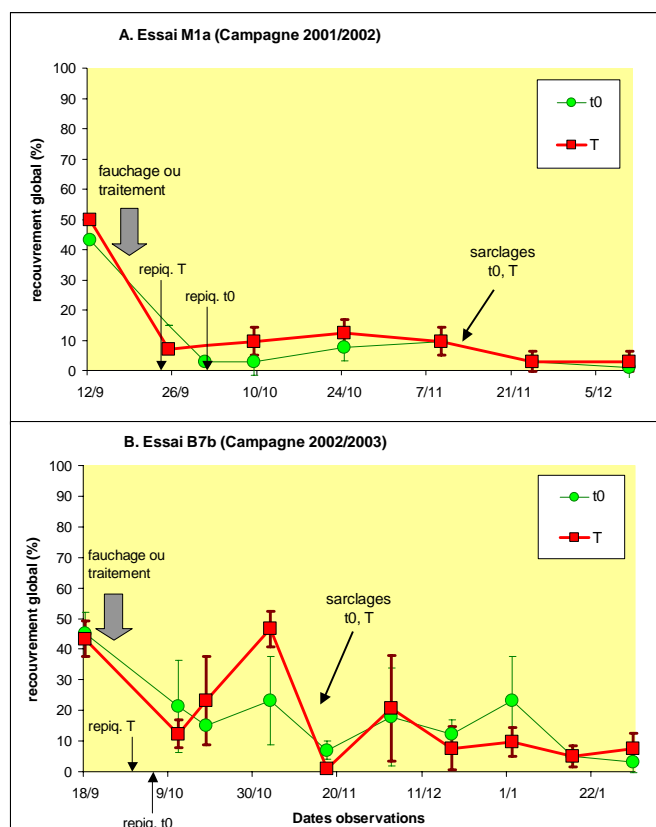
¹ Coefficient de variation

¹⁶ Le terrain hardé de la parcelle de Balaza surplombe un vertisol modal, ce qui explique la présence d'*Echinochloa obtusiflora*, espèce plutôt caractéristique des sols argileux humide avec inondation temporaire.

Tableau IV-14 : Fréquence et recouvrement (en %) des principales adventices après repiquage en situation 1. (Valeurs obtenues à partir des observations dans les parcelles témoins et traitées des 2 essais dans cette situation. Seules les espèces avec une fréquence supérieure à 20% ou un recouvrement local supérieur à 5% ont été conservées).

Espèces	Fréquence relative	Recouvrements			
		Moyen	Local	Moyen corrigé t0	T
Enherbement global	100	11	11	75	125
<i>Acacia seyal</i>	50	2	4	99	101
<i>Ipomoea aquatica</i>	37	1	2	162	38
<i>Combretum spp.</i>	30	1	3	135	65
<i>Bergia suffruticosa</i>	29	2	8	55	145
<i>Desmodium hirtum</i>	27	1	4	102	98
<i>Urginea sp., Crinum sp.</i>	24	1	3	87	113
<i>Euphorbia forskalii</i>	24	1	3	87	113
<i>Chrysanthellum americanum</i>	21	1	5	12	188
<i>Paspalum scrobiculatum</i>	16	1	7	33	167

Figure IV-15 : Comparaison de l'évolution de l'enherbement dans les parcelles témoin (t0) et traitées (T) des deux essais. (Pour chaque point, la barre d'erreur (+/- écart-type) permet de montrer les différences d'enherbement significatives¹⁷. L'absence de barre d'erreur signifie que l'écart-type est égal à 0).



¹⁷ On considère que la différence d'enherbement est significative lorsque les barres d'erreur de chaque point ne se recoupent pas.

Globalement, l'enherbement au cours du cycle cultural demeure très faible sur ces sols hardés, le recouvrement local des principales adventices ne dépassant pas 10% (Tableau IV-14). L'enherbement s'avère souvent plus élevé dans les parcelles traitées comme le montrent les valeurs du recouvrement corrigé. Ce résultat est sans doute lié aux faibles doses appliquées et à l'absence de brûlage dans les parcelles traitées.

Le traitement herbicide a quand même permis une maîtrise équivalente du couvert herbacé par rapport au témoin dans l'essai M1a (Figure IV-15A). Par contre dans l'essai B7b, le recouvrement global avant sarclage apparaît significativement supérieur dans la parcelle traitée. La dose trop faible n'a pas permis de maîtriser certaines adventices telles que *Chrysanthellum americanum* et *Bergia suffruticosa*. Plusieurs raisons peuvent être avancées :

- ☞ L'effet "parapluie" d'assez hautes graminées comme *Echinochloa obtusiflora* qui empêchent les gouttelettes pulvérisées d'atteindre les étages inférieurs du couvert herbacé. En l'absence de brûlage, certaines espèces même annuelles se sont maintenues jusqu'au sarclage,
- ☞ Les appareils à dos, utilisés lors de la deuxième campagne, offrent une pulvérisation plus grossière qui peut réduire l'action de la matière active dans le cas de faibles doses.

La dose de 900 g/ha de glyphosate dans l'essai M1a en 2001/2002 a permis une bonne maîtrise du couvert herbacé. L'utilisation du paraquat, qui n'a pas été testée dans cette situation, pourrait être plus appropriée pour la maîtrise des graminées annuelles déjà en partie desséchées.

Grâce au traitement herbicide, les dates de repiquage ont été avancées par rapport aux parcelles témoins, mais cette modification de la conduite n'a pas entraîné d'amélioration de la production. Quels que soient le mode de préparation et la date de repiquage, la compacité du sol demeure le premier facteur limitant (cf. 3.2), entraînant d'important échecs à la reprise et des pertes de pieds avant la floraison (Tableau IV-13). Les micro-variations de la structure du sol (trou, proximité d'une diguette) ont permis lors de la première année, une production de quelques panicules parsemées dans la parcelle M1a.

4.1.1.2. Vérification des hypothèses

H₁ : maîtrise équivalente du couvert herbacé avec une faible dose d'herbicide

Cette hypothèse est vérifiée pour une dose de glyphosate de 900 g/ha. Un résultat équivalent peut sans doute être obtenu avec 720 g/ha ce qui correspond à un dosage facilement applicable (1 sachet de granulés dispersibles pour 0,25 ha). Pour une dose inférieure, l'action du produit est insuffisante d'autant plus en l'absence de brûlage du couvert herbacé après le traitement.

H₃ : parvenir à effectuer l'implantation plus tôt

Les dates de repiquage ont pu en effet être avancées sur les parcelles traitées, mais cela n'a pas eu d'effet sur la production.

Malgré les avantages confirmés du traitement herbicide pour l'implantation du *muskuwaari*, son usage apparaît peu intéressant dans cette situation. Sur les sols hardés, l'amélioration de la production passe avant tout par l'aménagement et l'entretien d'un carroyage serré de diguettes seul moyen efficace et accessible aux agriculteurs pour parvenir à valoriser ces terrains. En assurant une restructuration du sol, les diguettes induisent une évolution de l'enherbement avec une augmentation du recouvrement avant repiquage et l'apparition éventuelle d'adventices vivaces. Dans ces conditions l'emploi d'herbicide apparaîtrait plus justifié.

Tableau IV-15 : Conditions de préparation des parcelles et maîtrise de l'enherbt. dans les essais en situation 2

Essais (type de sol)	B1a (sa'doore)			B7a (sa'doore)			M1b (hardé)		M4 (n'deleb)		M5 (n'deleb)		M6 (n'deleb)		
	t0	TB	TR	t0	TB	TR	t0	T	t0	TB	t0	TB	t0	TB	T
Campagne 2001/2002															
Déclenchement fauchage ou traitt (jours avant repiq.)	13	24	22	4	23	23	3	3	7	27	9	18	13		5
Dose glyphosate (g/ha)	900 1400			1130 1130			940		900		870		720		
Dose paraquat (g/ha)	300			300											
Date repiquage	15/10	20/10	18/10	23/10	27/10	27/10	12/10	12/10	18/10	26/10	11/10	11/10	10/10		13/10
Enherbemt avt sarclage(%)	37	43	50	20	7	7	10	11	15	3	12	12	20		20
Campagne 2002/2003															
Essais (type de sol)	B1a (sa'doore)			B7a (sa'doore)			M3 (01/02) (n'deleb)		M5 (hardé)		M6 (n'deleb)				
	t0	TB	TR	t0	TB	TR	t0	T	t0	TB	t0	TB	T		
Déclenchement fauchage ou traitt (jours avant repiq.)	13	25		6	13		5	22		9	18	8	15		
Dose glyphosate (g/ha)	720						1200				540		1790		
Dose paraquat (g/ha)				400											
Date repiquage	12/10	14/10		24/10	18/10		13/10	20/10		12/10	12/10	12/10	12/10		
Enherbemt avt sarclage(%)	10	7		9	20		70	63		5	1	15	7		

(1) t0 : témoin avec fauchage et brûlage ; TB : traitement herbicide puis brûlage ; TR : Traitement herbicide et rabattage herbes mortes (absence de brûlage) ; T : traitement herbicide (absence de brûlage)

Tableau IV-16 : Fréquence et recouvrement (en %) des principales adventices après repiquage en situation 2. (Valeurs obtenues à partir des observations dans les parcelles témoins et traitées-brûlées de 8 essais dans cette situation. Seules les espèces avec une fréquence supérieure à 10% ou un recouvrement local supérieur à 20% ont été conservées).

Espèces	Fréquence relative	Recouvrements			
		Moyen	Local	Moyen corrigé	
				t0	TB
Enherbement global	100	10	10	96	104
<i>Combretum spp.</i>	40	2	4	56	144
<i>Sphaeranthus flexuosus</i>	28	3	11	129	71
<i>Urginea sp., Crinum sp.</i>	24	0,3	1	71	129
<i>Corchorus sp.</i>	23	0,6	3	128	72
<i>Coldenia procumbens</i>	17	3	18	82	118
<i>Acacia seyal</i>	15	0,3	2	118	82
<i>Hibiscus articulatus</i>	15	0,8	5	132	68
<i>Bergia suffruticosa</i>	13	0,3	2	134	66
<i>Stachytarpheta angustifolia</i>	8	2	21	80	120

4.1.2. Situation2 : graminées annuelles et recouvrement global avant repiquage supérieur à 50%

Cette deuxième situation d'enherbement concerne 11 expérimentations mises en place au cours des deux campagnes. Elle correspond plutôt aux vertisols intermédiaires moyennement argileux et assez filtrants, permettant l'installation d'une couverture dense de graminées annuelles au cours de la saison des pluies. Ainsi, à Balaza, elle concerne seulement des expérimentations installées sur des sols *sa'doore*. De même à Mowo, les sols *n'deleb* concernés s'apparentent plutôt à des vertisols intermédiaires (chapitre 2, § 4.1.2). Deux de ces essais sont situés sur des sols hardés de Mowo (M1b en 2001/2002 et M5 en 2002/2003), peu aménagés mais présentant une structure de sol moins dégradée que dans la situation précédente d'où un recouvrement avant repiquage plus élevé.

4.1.2.1. Maîtrise du couvert herbacé

Dans cette situation, les agriculteurs n'ont pas signalé de contrainte particulière liée à des adventices vivaces. *Setaria sphacelata* se révèle la graminée la plus représentée avant repiquage, avec un recouvrement dominant dans les trois quarts des parcelles considérées. Elle est souvent associée à d'autres *Poaceae* comme *Chloris pilosa* et *Panicum sumatrense*, mais aussi des dicotylédones telles que *Desmodium hirtum*. *Loudetia togoensis*, également assez fréquente, s'est avérée dominante dans deux parcelles.

Le traitement herbicide est avant tout proposé pour faciliter la préparation de la parcelle et avancer si possible la date de repiquage. Compte tenu du fort recouvrement, le brûlage a été effectué sur les parcelles traitées (TB) comme sur les témoins fauchés (t0). Les traitements herbicides suivis d'un éventuel rabattage des herbes mortes (T ou TR) puis du repiquage dans la couverture végétale ont aussi été évalués dans cette situation, surtout en première année.

L'introduction du traitement herbicide entraîne de nouveaux choix techniques. L'opération est presque systématiquement déclenchée avant le fauchage des parcelles témoins, en moyenne 20 jours avant le repiquage (Tableau IV-15). Ce délai est nécessaire pour assurer le dessèchement des herbes et réaliser le brûlage, compte tenu de l'action systémique du glyphosate. La règle de déclenchement a été la même pour les parcelles TR, l'opération de rabattage n'étant possible que lorsque le couvert est desséché. Par contre, le délai entre le traitement et le repiquage peut être réduit en cas d'utilisation du paraquat agissant par contact (cf. B7a en 2002/2003) ou lorsque la parcelle est seulement traitée, sans brûlage ni rabattage (parcelles T dans les essais M1b et M6 en 2001/2002).

Figure IV-16 : Evolution de l'enherbement dans les expérimentations B1a et M6 en 2001/2002, en situation 2
 (Pour ne pas surcharger les graphiques, les barres d'erreurs n'ont pas toujours été représentées et figurent surtout pour mettre en évidence des différences de recouvrement significatives)

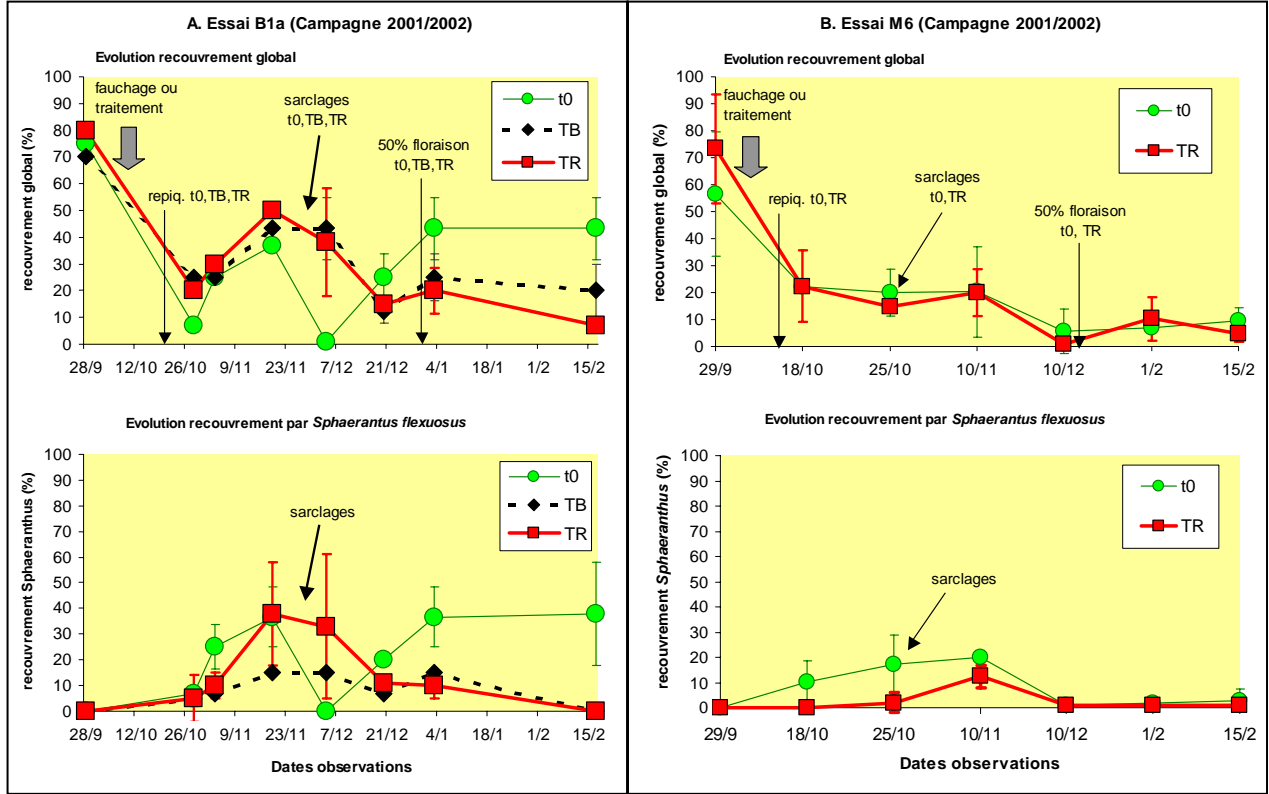
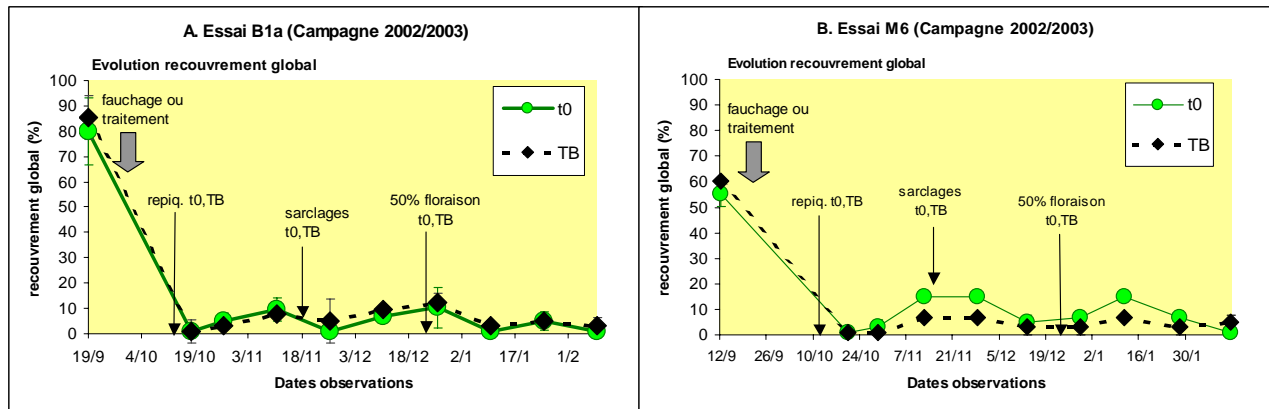


Figure IV-17 : Evolution de l'enherbement dans les expérimentations B1a et M6 en 2002/2003, en situation 2



✓ Efficacité du traitement herbicide-brûlage (TB) sur l'enherbement

Ce traitement concerne 8 essais sur les 11 en situation 2. Compte tenu du fort recouvrement caractéristique de cette situation, les agriculteurs préfèrent réaliser le brûlage une fois que l'herbicide a agi, pour assurer un bon nettoyage de la parcelle. Par rapport au témoin, cet itinéraire TB a permis une maîtrise équivalente du couvert herbacé dans la plupart des cas (6 essais sur 8), comme l'illustrent les valeurs d'enherbement global avant sarclage (Tableau IV-15). Dans ces essais, les courbes de recouvrement global des parcelles TB au cours du cycle cultural sont similaires à celles des parcelles témoins (Figure IV-16, Figure IV-17 et Annexe 18). Les doses de glyphosate s'avèrent très variables, de 540 à 1790 g/ha, certaines conditions de traitement ayant conduit parfois à un surdosage (avancement trop lent de l'opérateur, problème d'étalonnage de l'appareil). Les doses inférieures à 1000g/ha se révèlent généralement suffisantes pour la maîtrise du couvert graminéen (essais M5 lors des deux campagnes, M4 en 2001/2002 et B1a en 2002/2003). L'effet "parapluie" déjà évoqué peut limiter l'action du produit, les herbes restées vertes limitant parfois le brûlage comme cela a été le cas dans l'essai au paraquat (B7a) en 2002/2003.

Le traitement herbicide assure une meilleure maîtrise des adventices vivaces comme *Bergia suffruticosa*, mais n'a pas d'influence sur certaines dicotylédones (*Sphaeranthus flexuosus*, *Coldenia procumbens*, *Stachytarpheta angustifolia*) qui se développent après repiquage et peuvent être assez recouvrantes localement (Tableau IV-16). Ces espèces apparaissent surtout dans les vertisols intermédiaires en cas de forte pluviométrie comme en 2001/2002 (Cf. §3.2.2.1). Ainsi, quel que soit le mode de préparation, l'enherbement moyen par *Sphaeranthus flexuosus* atteint au moins 37% et 12% respectivement dans les essais B1a et M6 en 2001/2002 (Figure IV-16)¹⁸, alors que l'année suivante, dans des emplacements proches et sur le même type de sol, l'enherbement global ne dépasse pas 15% et *Sphaeranthus* n'a été observée que de façon isolée dans quelques placettes (Figure IV-17).

Le traitement herbicide au glyphosate suivi ou non du brûlage ne semble pas permettre de maîtriser le développement de ces dicotylédones quasi absentes de la flore au moment de la préparation. Dans l'essai B1a en 2001/2002, on observe toutefois une différence d'enherbement significative entre les parcelles traitées et témoin après sarclage, sans pouvoir dire si cette différence est due à l'effet du traitement ou à l'hétérogénéité spatiale de l'enherbement.

✓ Cas des itinéraires sans brûlage

Le traitement herbicide suivi d'un éventuel rabattage des herbes desséchées (T et TR) sans brûlage, a été proposé aux agriculteurs pour évaluer l'intérêt du maintien de la couverture végétale morte. En l'absence de brûlage permettant de compléter l'action parfois incomplète du glyphosate (effet "parapluie" ou dose insuffisante), ces traitements ont été complétés à deux reprises avec du paraquat pour assurer un dessèchement total des herbes rabattues (cf. traitement TR dans les essais B1a et B7a en 2001/2002). La biomasse de cette couverture végétale morte varie de 1,2 à 2,4 tonnes/ha selon les essais. Elle a constitué une gêne pour certains agriculteurs, notamment pour retrouver les trous au moment de mettre la dose d'eau et de repiquer les plants juste après la trouaison.

Globalement, ce mode de préparation assure une maîtrise équivalente du couvert herbacé par rapport au fauchage et brûlage des parcelles témoins (Figure IV-16 et Annexe 18). En 2001/2002, la couverture morte n'a pas eu d'effet dépressif significatif sur le développement de *Sphaeranthus flexuosus* dans les essais B1a et M3.

¹⁸ Dans l'essai B1a, le recouvrement par *Sphaeranthus* avant sarclage n'est que de 15% sur la parcelle TB, mais le recouvrement par *Coldenia procumbens* atteint 43%.

Tableau IV-17 : Composantes du rendement et indicateurs des états du milieu dans quatre essais en situation 2

Campagne	2001/2002					2002/2003			
Essais	B1a <i>sa'doore</i>			M6 <i>n'deleb</i>		B1a <i>sa'doore</i>		M6 <i>n'deleb</i>	
Type de sol									
Traitement	t0	TB	TR	t0	TR	t0	TB	t0	TB
Date repiquage	15/10	18/10	18/10	10/10	13/10	12/10	14/10	12/10	12/10
Biomasse couverture végétale (t/ha)			2,4		1,2				
Densité repiquage	10 500	11 400	10 000	11 150	15 750	13 800	12 500	14 900	14 300
Taux de reprise	100%	100%	98%	90%	92%	100%	99%	97%	100%
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	513 (8%)	467 (20%)	667 (28%)	796 <i>a</i> (3%)	462 <i>b</i> (8%)	575 (30%)	554 (9%)	915 (24%)	1022 (15%)
Composantes du rendement									
Nb. panicules/m ²	0,8	1	1	1,0	0,9	1,5	1,4	1,2	1,4
Nb. grains/m ²	1240	1042	1539	1865	1245	1605	1402	2323	2564
Poids moyen 1 grain (mg)	41,6	45,3	43,1	44,3	39,8	35,8	39,5	40,5	39,8
Poids tiges (kg/ha)	873	1096	1550	1020	636	1601	1475	1650	1687
Indicateurs de stress hydriques et nutrition azotée									
% enroulement à 60 JAR	10%	0%	0%	10%	3%	0%	4%	9%	3%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	11 (2%)	10 (6%)	11 (6%)	11 (5%)	8 (18%)	11 (5%)	11 (0%)	10 (0%)	10 (6%)
Nb. fentes/m ²				13	16	10	18	16	20
Largeur fentes (cm)				0,6	1,1	0,9	0,8	1,9	1,4
Indicateur de Nutrition Azotée (INN)	0,23	0,23	0,25	0,26	0,32				
Parasitisme par <i>Sesamia cretica</i>									
% attaques à 60JAR	28%	10%	4%	4%	3%	70%	77%	6%	8%
% moyen attaques à la récolte	35%	20%	7%	12%	7%	84%	83%	13%	16%
% pieds attaqués improductifs	23%	6%	2%		5%	17%	14%	5%	3%
Rendement moyen pieds sains	676 <i>a</i>	502	690	825	482	458	856	913	1063
Rendement moyen pieds attaqués	187 <i>b</i>	246,7	405	592	152	585	524	959	803

(1) CV : coefficient de variation. Les rendements signalés par des lettres distinctes sont significativement différents selon le test T de Student de comparaison de moyennes au seuil de probabilité de 0,05.

Le traitement a permis de réduire légèrement le recouvrement de cette adventice dans l'essai M6, mais la biomasse de la couverture morte demeure sans doute insuffisante pour limiter la croissance des adventices par effet d'ombrage. Même si ce mode de préparation sans brûlage apparaît satisfaisant du point de vue de la maîtrise du couvert herbacé avant repiquage, il s'est avéré peu probant aux yeux des agriculteurs compte tenu des contraintes supplémentaires lors de l'implantation (opération supplémentaire de rabattage, gêne pour le repiquage), d'autant plus que la couverture végétale s'avère généralement insuffisante pour permettre une réduction de l'évaporation de l'eau du sol et entraîner un effet positif sur la production.

4.1.2.2. Effet des traitements sur la date de repiquage et l'élaboration du rendement

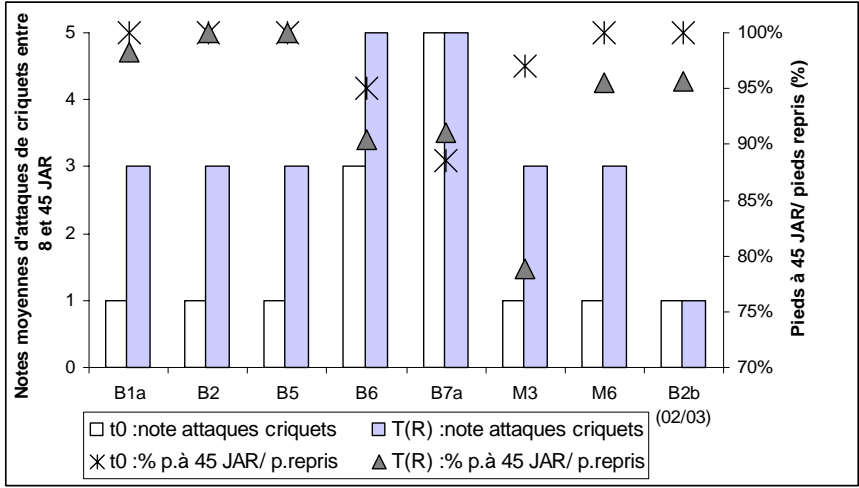
Comme cela a été évoqué précédemment, la mise en place des expérimentations n'a pas toujours bien tenu compte de l'organisation du travail de chaque agriculteur pour l'implantation de son *karal*, en particulier lors de la première campagne (Cf. §2.1). Contrairement à l'hypothèse selon laquelle l'emploi de l'herbicide permet d'avancer l'implantation, les parcelles traitées ont été repiquées de 2 à 8 jours après les témoins dans 6 essais sur les 11 dans cette situation d'enherbement. Ce décalage est souvent lié à un manque de plants au moment du repiquage (B1a en 2002/2003) ou à de légères différences de sol et donc d'humidité entre les parcelles (B7a, M4 et M6 en 2001/2002). Dans l'essai B1a en 2001/2002, le maintien de la couverture morte a entraîné une plus grande humidité de l'horizon de surface par rapport aux parcelles brûlées, d'où un repiquage légèrement différé. Dans l'essai avec traitement au paraquat en 2002/2003 (B7a), le repiquage de la parcelle traitée a eu lieu 6 jours avant la parcelle témoin, mais cela n'a pas eu d'effet sur l'élaboration du rendement (Annexe 18).

D'une manière générale, les mauvaises herbes ne représentent pas une contrainte importante dans cette situation. L'enherbement au cours du cycle cultural ne dépasse pas 20% quel que soit le mode de préparation, mis à part dans les essais B1a et M3 en 2001/2002 où la bonne pluviométrie a favorisé le développement de certaines espèces de dicotylédones après repiquage (essentiellement *Sphaeranthus flexuosus*). Le traitement herbicide entraîne donc peu de différences de production dans cette situation (Tableau IV-17 et Annexe 18).

Dans le bloc B1a en 2001/2002, les différences d'enherbement en fonction du mode de préparation que l'on note surtout après sarclage (Figure IV-16), ne se traduisent pas de façon significative sur le rendement (Tableau IV-17). Le poids moyen d'un grain plus faible dans la parcelle témoin peut traduire un déficit hydrique à partir de la floraison, éventuellement lié à un enherbement supérieur par rapport aux parcelles traitées. Toutefois, l'impact des attaques de *Sesamia*, plus important dans la parcelle témoin (différence significative des productions entre pieds sains et attaqués) joue sans doute un rôle non négligeable dans les différences entre traitements expérimentaux. Dans le bloc M5 en 2001/2002 (Annexe 18) comme dans l'expérimentation B1a l'année suivante, l'enherbement est aussi bien maîtrisé dans les parcelles témoins que traitées-brûlées et ne constitue pas une contrainte pour la production, le recouvrement demeurant toujours inférieur à 15%. Par contre, les foreurs de tiges représentent un facteur limitant important, à l'origine de pertes de rendement significatives notamment dans l'essai M5. La différence significative de rendement observée entre t0 et TB dans l'expérimentation M6 (2001/2002) n'est pas liée à l'enherbement, mais à une légère différence de sol entre les deux traitements¹⁹, d'où une réserve en eau sans doute plus réduite dans la parcelle TB se traduisant par un moins bon remplissage des grains. Cette composante a sans doute aussi été affectée par une densité de peuplement plus importante dans la parcelle TB, entraînant une plus forte concurrence entre pieds. En revanche dans l'essai M6 en 2^{ème} année, l'enherbement avant sarclage apparaît significativement inférieur dans le traitement TB, ce qui peut expliquer le rendement légèrement supérieur en limitant l'apparition de stress hydriques avant la floraison (Tableau IV-17).

¹⁹ Le même effet est observé dans l'essai M4 en 2001/2002 (Annexe 17)

Figure IV-18 : Comparaison de l'intensité des attaques de criquets et des pertes de pieds entre parcelles t0 et T(R), dans les essais de traitement herbicide avec maintien de la couverture végétale morte (situations 2 et 4)



Dans les essais avec maintien de la couverture végétale (traitements T ou TR), le mulch ne semble pas jouer sur la réduction de l'évaporation de l'eau du sol, mis à part dans la parcelle B1a en 2001/2002 où la biomasse de la couverture végétale a été la plus élevée (2,4 t/ha). Dans cet essai, bien qu'il n'y ait pas d'effet sur l'enroulement à 60 JAR par rapport à TB, le traitement TR présente un nombre de grains par m² et un rendement moyen de pieds sains supérieur, ce qui peut être imputable à une économie d'eau liée à la couverture du sol (Tableau IV-17).

Le mulch a souvent accentué les attaques de criquets trouvant refuge dans les herbes sèches, ce qui s'est traduit dans certains essais (M3 et B6 en 2001/2002) par une perte de pieds plus importante après la reprise (Figure IV-18)²⁰. En plus des contraintes déjà évoquées précédemment, ce résultat nous a amené à ne reconduire cet itinéraire que dans une seule expérimentation lors de la deuxième campagne.

4.1.2.3. Vérification des hypothèses

Itinéraire avec traitement herbicide et brûlage (TB)

H₁ : maîtrise équivalente du couvert herbacé avec une faible dose d'herbicide

Cette hypothèse est vérifiée pour l'itinéraire TB avec des doses entre 720 et 1000g/ha de glyphosate (1 à 1,5 sachet pour 0,25 ha). Le brûlage des graminées desséchées complète l'action de l'herbicide si la pulvérisation n'a pas touché l'ensemble des strates du couvert herbacé. Dans un essai, le traitement au paraquat (dose 400g/ha) n'a pas donné un résultat tout à fait équivalent, mais l'enherbement légèrement plus élevé dans la parcelle traitée avant sarclage n'a pas gêné la production.

Le traitement au glyphosate n'a pas d'influence sur certaines espèces (*Sphaeranthus flexuosus*, *Coldenia procumbens*, *Stachytarpheta angustifolia*) qui envahissent souvent les vertisols intermédiaires après repiquage, en cas de forte humidité du sol. La multiplicité des contraintes à la production (foreurs des tiges, réserve en eau) rend difficile l'évaluation de la baisse de production induite par la présence de ces adventices.

H₃ : parvenir à effectuer l'implantation plus tôt

L'avancement du repiquage grâce au traitement n'a eu lieu que dans 1 essai sur 8, et comme dans les autres expérimentations, il n'y a pas eu de différence de rendement entre t0 et TB.

Itinéraire avec traitement herbicide et maintien de la couverture végétale morte (TR)

H₁ : maîtrise équivalente du couvert herbacé avec herbicide

Cette hypothèse a été vérifiée avec parfois la nécessité d'un traitement complémentaire au paraquat pour assurer un dessèchement total de la couverture.

H₂ : effet positif du mulch sur le peuplement cultivé

La biomasse végétale du mulch s'avère le plus souvent insuffisante pour limiter la croissance des adventices par effet d'ombrage et offrir une meilleure alimentation hydrique du peuplement cultivé en réduisant l'évaporation de l'eau du sol. Cet itinéraire induit des contraintes supplémentaires lors de l'implantation ce qui explique le peu d'intérêt des agriculteurs.

²⁰ Toutefois, ce phénomène est sans doute augmenté par les conditions expérimentales, les insectes pouvant être attirés par les parcelles avec couverture morte, isolées à l'intérieur de vastes surfaces de sol nu.

Tableau IV-18 : Conditions de préparation et maîtrise de l'enherbement dans les essais en situation 3

Essais (type de sol)	B1b (<i>baleewa</i>)		B3 (<i>baleewa</i>)		B4 (<i>baleewa</i>)			
Modes de préparation ⁽¹⁾	t0	TB	t0	T	t0	T		
Campagne 2001/2002								
Déclenchement fauchage ou traitt (jours avant repiq.)	7	7	9	1	7	10		
Dose glyphosate (g/ha)	770		610		720			
Date repiquage	21/10	17/10	12/10	17/10	12/10	12/10		
Enherbemt avt sarclage(%)	25	12	30	20	12	5		
Campagne 2002/2003								
Essais (type de sol)	B1b (<i>baleewa</i>)		B3 (<i>baleewa</i>)		B4 (<i>baleewa</i>)		M2 (<i>n'deleb</i>)	
Déclenchement fauchage ou traitt (jours avant repiq.)	10	31	9	13	13	9	19	16
Dose glyphosate (g/ha)	1080		Lb ⁽²⁾	1040	1025		1600	
Date repiquage	26/10	26/10	1/10	1/10	14/10	5/10	12/10	19/10
Enherbemt avt sarclage(%)	3	15	46	30	23	10	43	10

(1) t0 : témoin fauché/brûlé (apport éventuel de graminées) ; T : traitement herbicide (absence de brûlage)

(2) Préparation par labour manuel

Tableau IV-19 : Fréquence et recouvrement (en %) des principales adventices après repiquage en situation 3. (Valeurs obtenues à partir des observations dans les parcelles témoins et traitées de 7 essais dans cette situation. Seules les espèces avec une fréquence supérieure ou égale à 10% ont été conservées).

Espèces	Fréquence relative	Recouvrements			
		Moyen	Local	Moyen corrigé	
				t0	TB
Enherbement global	100	11	11	115	84
<i>Launaea cornuta</i>	47	5	10	130	70
<i>Ipomoea aquatica</i>	37	2	6	127	73
<i>Bergia suffruticosa</i>	32	1	3	153	46
<i>Acacia seyal</i>	28	0,5	2	124	76
<i>Merremia emarginata</i>	26	2	8	88	112
<i>Caperonia fistulosa</i>	18	1	3	31	170
<i>Urginea sp, Crinum sp</i>	17	0,4	2	43	158
<i>Euphorbia forskalii</i>	17	1	3	109	90
<i>Corchorus sp</i>	15	1	4	138	61
<i>Combretum spp.</i>	14	1	5	64	136
<i>Oryza longistaminata</i>	10	1	8	97	104

4.1.3. Situation 3 : présence d'adventices vivaces et recouvrement global avant repiquage inférieur ou égal à 50%

Ce type d'enherbement est caractéristique des vertisols modaux, longtemps engorgés au cours de la saison des pluies voire inondés lorsque les parcelles sont aménagées avec un réseau lâche de hautes diguettes. Dans notre dispositif, cela concerne essentiellement les sols de type *baleewal* à Balaza où l'on retrouve six essais sur les sept installés dans cette situation (Tableau IV-18).

Ces sols humides et lourds en saison pluvieuse limitent le développement du couvert graminéen. *Echinochloa colona* demeure toutefois dominante au cours de la saison des pluies, laissant parfois la place à *Echinochloa stagnina* ou *Urochloa trichopus*, mais le recouvrement de l'ensemble de ces graminées ne dépasse pas 40%. Plusieurs espèces vivaces bien adaptées aux conditions humides telles que *Launaea cornuta*, *Merremia emarginata*, *Ipomoea aquatica*, sont également fréquentes et posent souvent des problèmes de désherbage. La préparation des parcelles se fait généralement par fauchage et brûlage, ce dernier étant amélioré par l'apport de graminées prélevées en brousse. Le labour est parfois pratiqué, comme cela a été observé dans l'essai B3 en 2002/2003. Le traitement avec un herbicide total (glyphosate) vise à mieux maîtriser les vivaces et à simplifier la préparation, le brûlage des herbes mortes n'étant pas nécessaire compte tenu du faible recouvrement.

4.1.3.1. Maîtrise des adventices

Dans cette situation, le traitement herbicide est déclenché quelques jours avant le repiquage, à peu près au même moment que le fauchage dans la parcelle témoin. En l'absence de brûlage, le repiquage de la parcelle traitée a eu lieu dès que l'agriculteur l'a jugé opportun, sans nécessairement attendre le délai d'action du glyphosate. Les notations d'enherbement avant sarclage, montrent que le traitement permet une meilleure maîtrise des adventices dans tous les essais, mis à part B1b en 2002/2003 où l'application a été trop précoce permettant le développement d'autres adventices pendant les 50 jours qui ont séparés le traitement du sarclage.

Le traitement offre un meilleur contrôle des principales adventices visées (*Launaea*, *Ipomoea*, *Bergia*...) et limite l'enherbement global avant sarclage comme en attestent les valeurs de recouvrement corrigé souvent inférieures à 100 dans les parcelles traitées (Tableau IV-19). Cependant, le sarclage demeure nécessaire pour éliminer les mauvaises herbes qui n'ont pas été touchées par l'herbicide, en particulier pour les faibles doses d'application (Cf. Figure IV-19, essai B1b en 2001/2002). Dans le cas de B3 en 2001/2002, le dosage trop réduit n'a pas permis une bonne maîtrise de *Launaea cornuta* dont le recouvrement est le même que dans la parcelle témoin (Annexe 19).

Figure IV-19 : Evolution de l'enherbement dans les blocs B1b (2001/2002) et B4 (2002/2003) en situation 3

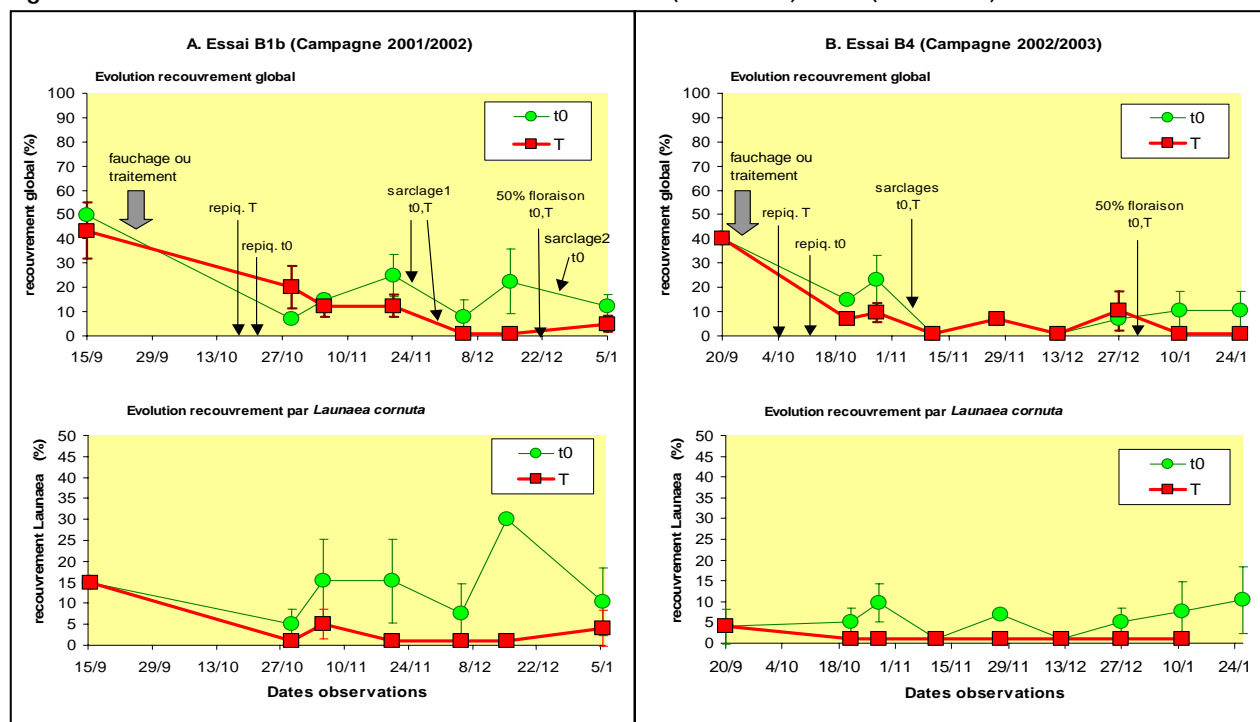


Tableau IV-20 : Composantes du rendement et indicateurs des états du milieu dans deux essais en situation 3

Traitements	B1b (2001/2002)		B4 (2002/2003)	
	<i>t0</i>	T	<i>t0</i>	T
Dose glyphosate (g/ha)		770		1025
Date repiquage	21/10	17/10	14/10	5/10
Densité repiquage	8 500	9 400	7 900	9 000
Taux de reprise	100%	98%	95%	98%
Sarclage 1	21/11	28/11	5/11	5/11
Sarclage 2	28/12			
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	944 (23%)	1230 (18%)	557 (71%)	683 (48%)
Composantes du rendement				
Nb panicules/m ²	0,7	0,9	0,6	0,7
Nb grains/m ²	2137	2472	1527	1602
Poids moyen 1 grain (mg)	45,4	49,5	36,6 <i>b</i>	42,2 <i>a</i>
Poids tiges (kg/ha)	1621	1917	344	947
Indicateurs de stress hydriques et nutrition azotée				
% enroulement à 60 JAR	23%	6%	20%	0%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	8 (17%)	10 (9%)	9 (6%)	8 (0%)
Nb. fentes/m ²	15	14	17	21
Indicateur de Nutrition Azotée (INN)	0,37	0,39		
Largeur fentes (cm)	2,6	2,6	15,3	16,3
Parasitisme par <i>Sesamia cretica</i>				
% attaques à 60JAR	28%	11%	11%	38%
% moyen attaques à la récolte	43%	19%	30%	56%
% pieds attequés improductifs	7%	2%	13%	16%
Rendement moyen pieds sains	1013	1249	597	781
Rendement moyen pieds attequés	735	1208	342	568

(1) CV : coefficient de variation. Les valeurs signalées par des lettres distinctes sont significativement différentes selon le test T de Student de comparaison de moyennes au seuil de probabilité de 0,05.

Dans cette situation où le traitement est déjà fréquemment adopté, certains agriculteurs choisissent des doses relativement élevées (au moins 1800 g/ha) pour éliminer la concurrence des vivaces et éviter les travaux d'entretien. Dans les parcelles témoins non traitées, deux sarclages sont parfois nécessaires en cas de forte infestation (Essai B1b, Figure IV-19A). Le choix d'une forte dose d'herbicide, plus coûteux, peut se justifier en cas de faible disponibilité en main d'œuvre et en comptant sur l'arrière-effet (cf. § 4.2.2) pour limiter voire éviter le traitement l'année suivante.

Cependant, le glyphosate, même à des doses plus élevées, apparaît peu efficace contre certaines espèces comme *Merremia emarginata*, *Caperonia fistulosa*, *Urginea spp.* et *Crinum spp.* (Tableau IV-19). Dans l'expérimentation B3 en 2002/2003, une application à 1040 g/ha s'est avérée insuffisante pour maîtriser *Merremia* (Annexe 19). Les autres espèces, moins nuisibles, demeurent facilement contrôlables par le sarclage.

Les courbes de suivi du recouvrement global dans les différents essais montrent un enherbement généralement inférieur tout au long du cycle cultural dans les parcelles traitées, ce qui peut se traduire par une augmentation des rendements lorsque la réserve en eau voire le parasitisme ne se révèlent pas des facteurs limitants prépondérants.

4.1.3.2. Effet du traitement sur l'élaboration du rendement

Dans les expérimentations B1b en 2001/2002 et B4 en 2002/2003, la meilleure maîtrise des adventices vivaces dans les parcelles traitées se traduit par des symptômes de stress hydriques moins importants jusqu'à la floraison ce qui explique des valeurs de nombre de panicules/m², de nombre de grains/m² et de poids moyen d'un grain plus élevées (Tableau IV-20).

Il en résulte une augmentation de la production de grains dans les parcelles traitées, respectivement d'environ 300 kg/ha et 100 kg/ha, et aussi du rendement fourrager, avec des gains de production plus importants que pour les grains. Cependant les différences avec les parcelles témoins n'apparaissent pas statistiquement significatives. Les traitements ont aussi permis d'avancer le repiquage de 4 et 9 jours par rapport aux témoins, ce qui a pu fournir des conditions de reprise plus favorables (horizon supérieur légèrement plus humide). Entre la floraison et la maturation, la moindre concurrence des mauvaises herbes a dû aussi contribuer à l'augmentation de la production, comme en témoignent les poids moyen d'un grain supérieurs dans les traitements T avec une différence significative des valeurs de cette composante dans l'essai B4 (Figure IV-19 et Tableau IV-20).

Cependant, les adventices ne constituent pas le seul facteur limitant. Une part des différences de rendement peut aussi être imputable à l'impact variable des attaques de chenilles foreuses des tiges, notamment dans l'essai B1b. Dans les essais B3 lors des deux campagnes et M2 en 2002/2003, malgré une diminution de l'enherbement liée au traitement herbicide, l'insuffisante réserve hydrique du sol s'est avérée la principale contrainte à la production, empêchant la production de grains (Annexe 19). Dans ces parcelles légèrement surélevées et peu aménagées²¹, sur vertisol modal mettant du temps à se recharger, la réserve en eau du sol se révèle être le principal facteur limitant, d'autant plus lors des années de faible pluviométrie (cas de M2 en 2002/2003).

²¹ L'aménagement d'un réseau de hautes diguettes reste le meilleur moyen pour améliorer la recharge en eau du sol dans ces situations.

Tableau IV-21 : Conditions de préparation des parcelles et maîtrise de l'enherbmt. dans les essais en situation 4

Essais (type de sol)	B2a (<i>sa'doore</i>)			B2b (<i>sa'doore</i>)			B5 (<i>daande maayo</i>)			B6 (<i>baleewal</i>)			M2 (<i>n'deleb</i>)	
	t0	TB	TR	t0	TB	TR	t0	TB	TR	t0	TB	T	t0	T
Campagne 2001/2002														
Déclenchement fauchage ou traitt (jours avant repiq.)	4	10	10				5		6	16	14	14	9	13
Dose glyphosate (g/ha)		1500	2200						625		2880	2880		790
Dose paraquat (g/ha)			300						300					
Date repiquage	9/10	12/10	12/10				17/10		19/10	24/10	26/10	26/10	11/10	11/10
Enherbemt avt sarclage(%)	22	22	10				15		12	37	8	15	15	20
Campagne 2002/2003														
Essais (type de sol)	B2a (<i>sa'doore</i>)			B2b (<i>sa'doore</i>)			B5 (<i>baleewal</i>)			B6 (<i>baleewal</i>)				
Déclenchement fauchage ou traitt (jours avant repiq.)	4	10		4	10	10	7	10		10	19			
Dose glyphosate (g/ha)		1400		1400	1400		820			3100				
Date repiquage	1/10	1/10		1/10	1/10	1/10	5/10	5/10		6/11	6/11			
Enherbemt avt sarclage(%)	32	3		23	9	20	15	30		50	7			

(1) t0 : témoin avec fauchage et brûlage ; TB : traitement herbicide puis brûlage ; TR : Traitement herbicide et rabattage herbes mortes (absence de brûlage) ; T : traitement herbicide (absence de brûlage)

Tableau IV-22 : Fréquence et recouvrement (en %) des principales adventices après repiquage en situation 4. (Valeurs obtenues à partir des observations dans les parcelles t0 et TB de 6 essais dans cette situation. Seules les espèces avec une fréquence supérieure à 10% ont été conservées).

Espèces	Fréquence relative	Recouvrements			
		Moyen	Local	Moyen corrigé	
				t0	TB
Enherbement global	100	17	17	128	72
<i>Bergia suffruticosa</i>	62	6	10	156	44
<i>Cyperus rotundus</i>	40	4	10	103	97
<i>Acacia seyal</i>	23	0	2	54	146
<i>Oryza longistaminata</i>	21	4	20	152	48
<i>Faidherbia albida</i>	13	0	3	155	45
<i>Ipomoea aquatica</i>	10	0	5	131	69
<i>Combretum spp.</i>	10	0	1	115	85

4.1.3.3. Vérification des hypothèses

H₁ : meilleure maîtrise des adventices vivaces avec un herbicide total

Une application suffisamment dosée au glyphosate (1440 à 2160 g/ha)²² offre une meilleure maîtrise des principales adventices visées et limite l'enherbement global tout au long du cycle cultural. Pour des doses plus faibles, le traitement doit être obligatoirement complété par un sarclage pour parvenir à un meilleur contrôle des vivaces par rapport à la parcelle témoin. Même à des doses élevées, l'herbicide reste peu efficace contre certaines espèces comme *Merremia emarginata*.

H₃ : parvenir à effectuer l'implantation plus tôt

Le traitement a permis d'avancer le repiquage de quelques jours par rapport aux témoins, ce qui a pu fournir des conditions de reprise plus favorables, mais ne semble pas déterminant pour la production.

La diminution de la concurrence des principales adventices entraîne vraisemblablement une meilleure alimentation hydrique du peuplement qui s'est traduite par des augmentations de rendements en grains et fourrage dans 2 essais sur les 4 qui ont pu être analysés dans cette situation.

Malgré la présence d'adventices vivaces, les attaques de chenilles foreuses des tiges et surtout le niveau de recharge en eau du sol peuvent constituer des facteurs limitants prépondérants.

Concernant plus particulièrement l'alimentation en eau du peuplement, le traitement herbicide semble ne générer un gain de rendement que si la recharge en eau du sol a été suffisante, la pression des adventices vivaces étant d'ailleurs plus marquée les années de bonne pluviométrie lorsque la réserve hydrique s'est bien reconstituée (cf. 3.2.2.1). En dépit d'une importante capacité de rétention d'eau, les vertisols modaux caractéristiques de cette situation d'enherbement, mettent du temps à s'humecter et peuvent ne pas contenir une réserve utile suffisante en cas de déficit pluviométrique ou lorsque les parcelles sont légèrement surélevées et insuffisamment aménagées. Cela confirme la nécessité de raisonner le traitement en fonction du scénario climatique, notamment concernant la gestion des adventices vivaces.

4.1.4. *Situation 4 : présence d'adventices vivaces et recouvrement global avant repiquage supérieur à 50%*

Cette situation d'enherbement a concerné 8 essais lors des deux campagnes, installés dans des types de sols variés. Le traitement herbicide est proposé aux agriculteurs pour mieux maîtriser les adventices vivaces qui prolifèrent dans certaines portions de leur *kara*.

L'essai B6 a été réalisé lors des deux campagnes pour évaluer l'efficacité du traitement dans une parcelle infestée par *Oryza longistaminata*, riz sauvage à rhizome qui prolifère dans les vertisols modaux inondables en bas de topographie. Compte tenu de références techniques déjà disponibles concernant la maîtrise du riz sauvage dans ce milieu spécifique (Mathieu et Marnotte, 2001), l'herbicide a été appliqué à une dose volontairement élevée sur les repousses du riz sauvage suite à un premier fauchage dans l'eau et après le retrait de l'inondation. Le traitement peut aussi être effectué avant l'inondation, sur les premières repousses d'*Oryza longistaminata*, ce qui évite le travail de fauchage dans l'eau. Dans ce cas, la période propice au traitement est relativement courte puisque l'application est à réaliser sur un couvert suffisamment développé, mais avant l'inondation de la parcelle. Les autres expérimentations concernent des adventices vivaces (*Cyperus rotundus* et *Bergia suffruticosa*), que l'on retrouve aussi bien dans des vertisols modaux que des vertisols intermédiaires. L'espèce vivace ciblée est toujours mêlée aux graminées annuelles au cours de la saison des pluies, essentiellement *Setaria sphacelata* et *Echinochloa spp.*, puis constitue la principale mauvaise herbe après le brûlage.

²² Soit 2 à 3 sachet pour 0,25 ha

Figure IV-20 : Evolution de l'enherbement dans les expérimentations B2 et B6 en (2001/2002), en situation 4

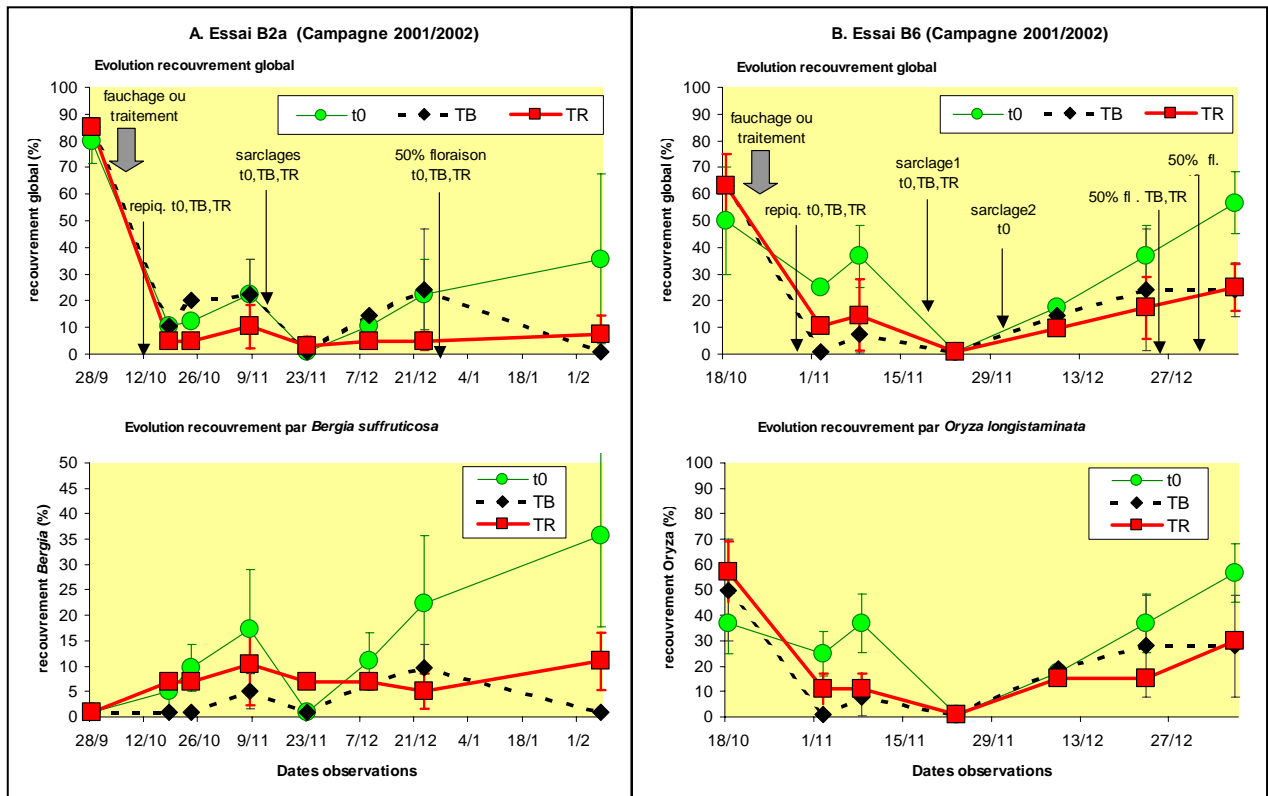
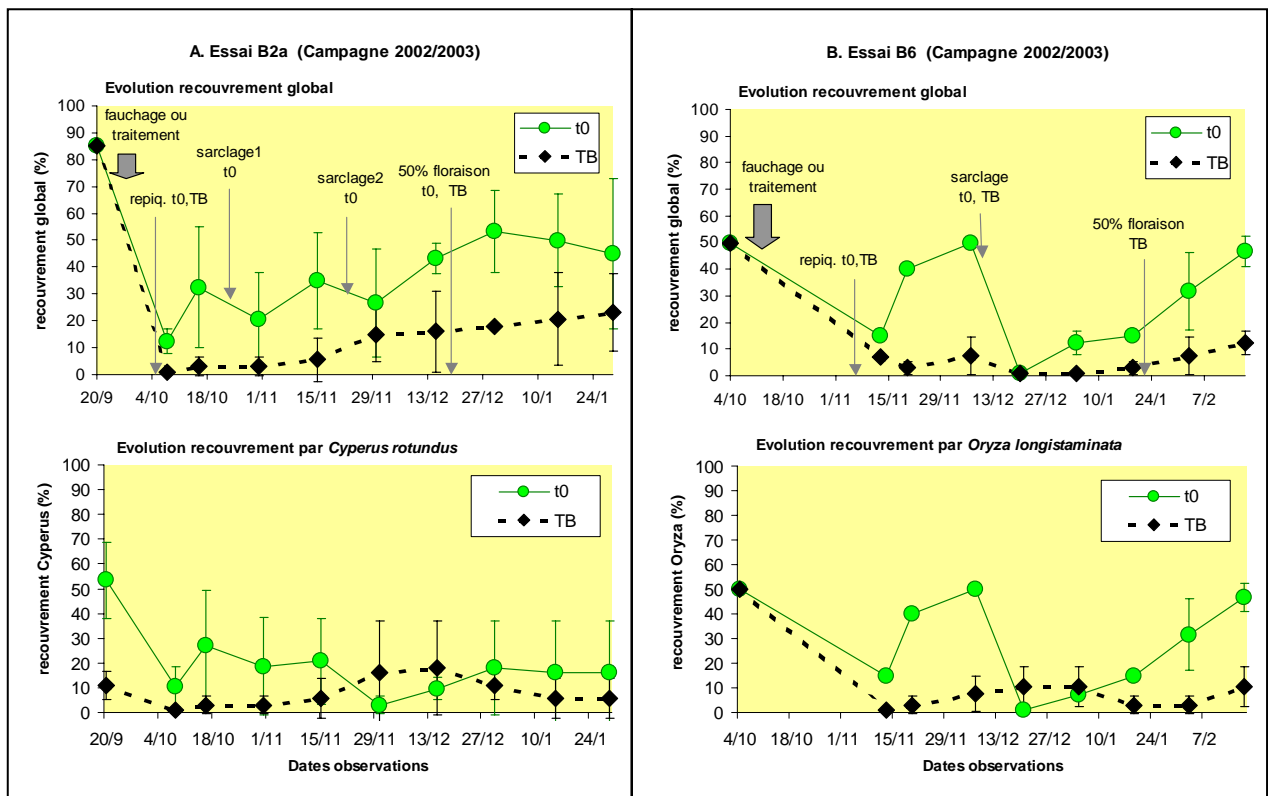


Figure IV-21 : Evolution de l'enherbement dans les expérimentations B2 et B6 en (2002/2003), en situation 4



4.1.4.1. Maîtrise des adventices

Dans cette situation le traitement est destiné avant tout à maîtriser les repousses des vivaces, sans chercher à avancer la date de repiquage d'enherbement. L'application a lieu au moins une dizaine de jours avant le repiquage, pour permettre ensuite le brûlage des herbes traitées ou le rabattage. Quel que soit l'itinéraire testé, le traitement herbicide a permis une meilleure maîtrise de l'enherbement dans 6 essais sur 8 (Tableau IV-21). Dans les essais M2 en 2001/2002 et B5 en 2002/2003, les doses de glyphosate relativement faibles (autour de 800 g/ha), n'offrent qu'un contrôle partiel des adventices vivaces, notamment *Launaea cornuta* et *Bergia suffruticosa* dont le recouvrement est comparable entre les parcelles témoins et traitées (Annexe 20).

Globalement le traitement herbicide-brûlage (TB) se révèle efficace pour réduire l'enherbement dans les parcelles traitées en limitant les repousses des principales mauvaises herbes vivaces ciblées, mis à part pour *Cyperus rotundus* (Tableau IV-22). Cette moindre efficacité sur *Cyperus*, observée notamment dans l'essai B2a en 2002/2003 (Annexe 20), est liée d'une part à l'effet "parapluie" du couvert graminéen au moment du traitement, et surtout au mode de reproduction végétative de cette espèce par émission d'un chapelet de bulbes au niveau des racines qui ne sont que partiellement détruits malgré l'action systémique du glyphosate (Marnotte, 1994 ; Le Bourgeois et Merlier, 1995). Par contre, la forte dose appliquée pour lutter contre *Oryza longistaminata* lors des deux campagnes (au moins 2880 g/ha), a permis d'éliminer les rhizomes et de réduire significativement les repousses tout au long du cycle cultural (Essais B6 et Figure IV-21).

La maîtrise des adventices vivaces est également satisfaisante dans les 5 parcelles avec traitement et maintien de la couverture morte. Comme dans la situation 2, le mulch reste insuffisant (moins de 2t/ha en moyenne) pour créer un effet d'ombrage contre les repousses d'adventices²³. Les légères différences de recouvrement par rapport à la parcelle TB comme dans l'essai B2a en 2001/2002 (Figure IV-20A) sont plutôt dues à une dose supérieure et/ou un complément de traitement au paraquat dans la parcelle TR.

4.1.4.2. Effet des traitements sur l'élaboration du rendement

Les parcelles traitées présentent un rendement supérieur dans 6 essais sur 8, avec un gain moyen de production de 340 kg/ha de grains (100 à 1000 kg/ha) et de 1 tonne de tiges (0,4 à 2 tonnes/ha). Bien que ces différences ne soient significatives que dans les deux expérimentations B6 pour la maîtrise d'*Oryza longistaminata* (Tableau IV-23)²⁴, dans les autres essais, la convergence des variations de plusieurs caractéristiques du peuplement cultivé entre parcelles témoin et traitées (note d'enroulement, nombre de feuilles vertes, INN, poids des tiges,...), permet d'étayer l'hypothèse de l'effet d'une meilleure maîtrise des adventices sur l'élaboration du rendement. Les deux essais M2 en 2001/2002 et B5 en 2002/2003 où l'enherbement des parcelles traitées n'est pas contrôlé de manière satisfaisante (cf. § 4.1.4.1) sont les seuls où la production apparaît supérieure dans les témoins (différences non significatives). La gestion des adventices vivaces s'avère donc déterminante pour la production dans cette situation.

²³ Dans l'essai B5 en 2001/2002, la couverture végétale suffisamment épaisse (2,5 t/ha), a quand même limité les repousses de *Cyperus rotundus* de manière significative par rapport au témoin (Annexe 19).

²⁴ Une différence significative a également été observée dans l'essai B5 en 2001/2002 concernant la production fourragère (Annexe 19).

Tableau IV-23 : Composantes du rendement et indicateurs des états du milieu dans quatre essais en situation 2

Campagne	2001/2002						2002/2003			
Essais	B2a			B6			B2a		B6	
Type de sol	<i>sa'doore</i>			<i>baleewal</i>			<i>sa'doore</i>		<i>baleewal</i>	
Traitement	t0	TB	TR	t0	TB	TR	t0 (Sf)	TB(Mjcr)	t0	TB
Date repiquage	9/10	12/10	12/10	24/10	26/10	26/10	1/10	1/10	6/11	6/11
Biomasse couverture (t/ha)			1,4			1,8				
Densité repiquage	14 900	15 000	15 600	10 000	11 000	8 800	15 500	15 000	12 800	13 800
Taux de reprise	100%	100%	94%	100%	94%	88%	99%	100%	70%	80%
Sarclage 1	12/11	12/11	12/11	26/11	6/12	26/11	27/10	27/10	15/11	15/11
Sarclage 2				3/12			24/11			
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	1036 (37%)	1198 (12%)	1283 (4%)	448 <i>b</i> (38%)	880 <i>a</i> (5%)	746 <i>a</i> (1%)	616 (77%)	758 (27%)	71 <i>b</i> (111%)	1130 <i>a</i> (12%)
Composantes du rendement										
Nb. panicules/m ²	1,2	1,4	1,3	0,8	0,9	0,7	0,9	1,3	0,3	1,1
Nb. grains/m ²	2533	2845	2916	911	1747	1464	1459	1818	216	2984
Poids moyen 1 grain (mg)	40,3	42,4	42,5	48,9	50,4	51,1	40,6	42,2	31,7	38,5
Poids tiges (kg/ha)	2056	2484	2846	908 <i>b</i>	3134 <i>a</i>	2210 <i>a</i>	2325	3050	243 <i>b</i>	2125 <i>a</i>
Indicateurs de stress hydriques et nutrition azotée										
% enroulement à 60 JAR	15%	0%	3%				36%	0%	80%	0%
Nb. feuilles vertes fin floraison (cv)	11 (11%)	11 (5%)	10 (6%)	9 (7%)	12 (0%)	11 (0%)	11 (24%)	10 (6%)	9 (24%)	11 (9%)
Nb. fentes/m ²	10	14	15	9	13	10			3	7
Largeur fentes (cm)	1,8	1,8	1,4	2,7	2,2	2,5			1,2	1,1
Indicateur de Nutrition Azotée	0,28	0,32	0,29	0,29	0,41	0,42				
Parasitisme par <i>Sesamia cretica</i>										
% attaques à 60JAR	15%	5%	5%	25%	11%	18%	38%	33%	0%	6%
% moyen attaques à la récolte	20%	8%	7%	33%	11%	23%	46%	40%	6%	30%
% pieds atteints improductifs	5%	0%	3%	16%	8%	4%	23%	11%	0%	0%
Rendement moyen pieds sains	1153	1242 <i>a</i>	1260	560	967	701	768	811	42	1258
Rendement moyen pieds atteints	621	553 <i>b</i>	1541	229	204	868	425	683	600	948

(1) CV : coefficient de variation. Les rendements signalés par des lettres distinctes sont significativement différents selon le test T de Student de comparaison de moyennes au seuil de probabilité de 0,05.

En réduisant la concurrence des adventices vivaces, le traitement permet une meilleure alimentation hydrique du peuplement cultivé comme le confirment les différences de nombre de feuilles vertes et de pourcentage d'enroulement des feuilles notamment dans les essais B6. Grâce à une plus grande disponibilité en eau, l'azote a été beaucoup mieux mobilisé dans les parcelles traitées B5 et B6 en 2001/2002 (Tableau IV-23 et Annexe 20). Les gains de rendement sont surtout déterminés au cours de la phase végétative jusqu'à la floraison, comme le montrent les différences importantes du nombre de panicules et du nombre de grains entre témoin et traitées. Des différences de poids moyen d'un grain sont également observées compte tenu de la persistance d'une forte concurrence des adventices après la floraison dans les témoins (Figure IV-20, Figure IV-21 et Tableau IV-23). Les différences de production demeurent assez faibles dans le bloc B2a en 2002/2003²⁵, mais l'application herbicide évite le deuxième sarclage réalisé dans la parcelle t0. De même, un deuxième sarclage s'avère indispensable dans les parcelles non traitées infestées par le riz sauvage, la production étant quasi-nulle sans un contrôle de l'infestation (cf. B6 en 2002/2003).

²⁵ La production supérieure dans la parcelle traitée de cet essai a sans doute été atténuée par l'effet variétal puisque le témoin a été repiqué avec la variété safraari (Sf) réputée plus productive que majeeri (Mj cr) implantée dans la parcelle TB.

Compte tenu de l'importance de la contrainte enherbement, les attaques de *Sesamia* apparaissent moins prépondérante sur l'élaboration du rendement. L'impact des foreurs a toutefois pu réduire sensiblement le gain de rendement potentiel lié à la meilleure maîtrise des adventices dans certaines parcelles traitées comme dans l'essai B2a en 2001/2002 (Tableau IV-23) et B5 la même année (Annexe 20).

Comme en situation 2, la couverture végétale morte des traitements T(R), le plus souvent inférieur à 2 t/ha, ne semble pas avoir d'effet sur l'alimentation en eau du peuplement, même dans l'essai B2b lors de la deuxième campagne moins pluvieuse (Annexe 20). Toutefois, l'importance du mulch dans l'essai B5 en 2001/2002 (2,5 t/ha) a sans doute permis de réduire l'évaporation de la réserve en eau du sol, compte tenu de la forte production de biomasse dans le traitement TR

4.1.4.3. Vérification des hypothèses

Itinéraire avec traitement herbicide et brûlage (TB)

H₁ : meilleure maîtrise des adventices vivaces avec un herbicide total

Le traitement herbicide offre une meilleure maîtrise de l'enherbement mais en cas de dose relativement faible (autour de 800 g/ha), certaines adventices vivaces (*Cyperus rotundus*, *Launaea cornuta*) ne sont contrôlées que partiellement. Pour le riz à rhizome (*Oryza longistaminata*), une forte dose d'au moins 2880 g/ha apparaît indispensable pour réduire significativement les repousses.

La maîtrise des vivaces s'avère déterminante pour la production dans cette situation, puisque les rendements obtenus dans les parcelles traitées ont été supérieurs aux témoins dans la plupart des essais.

Itinéraire avec traitement herbicide et maintien de la couverture végétale morte (TR)

H₁ : meilleure maîtrise des adventices vivaces avec un herbicide total

Cette hypothèse a été globalement vérifiée dans les 5 parcelles avec maintien de la couverture morte.

H₂ : effet positif du mulch sur le peuplement cultivé

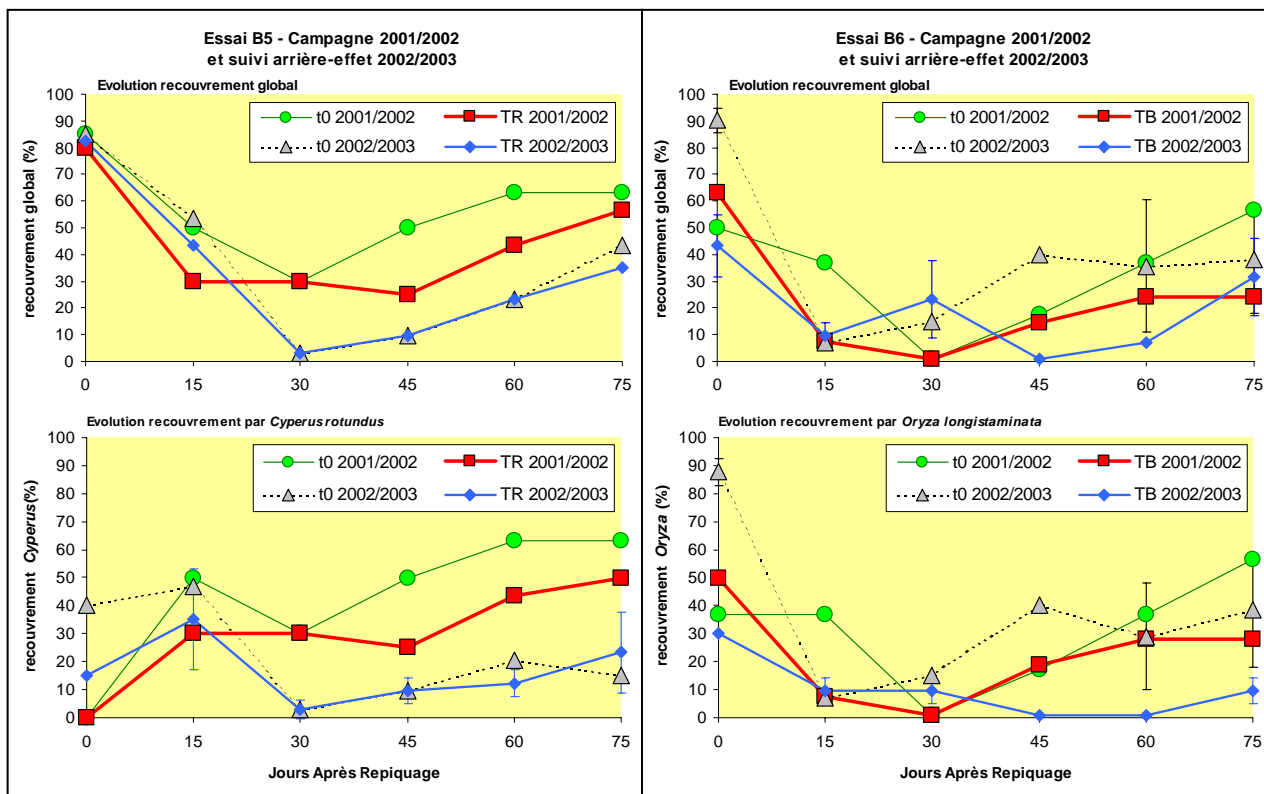
La biomasse constituée par la couverture végétale morte dépasse rarement 2 t/ha. Comme en situation 2, le mulch s'avère généralement insuffisant pour limiter la croissance des adventices et réduire l'évaporation de l'eau du sol. Cependant, dans un des essais où la biomasse du mulch atteignait 2,5 t/ha, la couverture du sol a sans doute généré un effet d'ombrage sur la repousse des mauvaises herbes et réduit l'évaporation de l'eau du sol.

Par ailleurs, la décomposition du mulch peut avoir des effets sur la disponibilité en éléments nutritifs l'année suivante.

Tableau IV-24 : Suivi de l'arrière-effet du traitement dans 7 essais de la campagne 2001/2002 en situations 1 et 2. Indicateurs des principales espèces (fréquence ou recouvrement local supérieurs à 10%) calculés à partir des relevés floristiques effectués entre le repiquage et le sarclage dans les mêmes parcelles témoins (t0) et traitées (TB et T) en 2001/2002 et 2002/2003.

Campagnes	Espèces	Fréq. relative	2001/2002				2002/2003					
			Recouvrements				Recouvrements					
			moyen	moyen corrigé		Local		moyen	moyen corrigé		Local	
				t0	T(B)	t0	T(B)		t0	T(B)		
Enherbement global	100	21	106	96	22	20	100	6	100	100	6	6
<i>Sphaeranthus flexuosus</i>	51	10	110	94	19	19	0					
<i>Urginea spp., Crinum spp.</i>	28	1	177	55	7	3	44	1	86	111	1	2
<i>Coldenia procumbens</i>	26	6	49	130	14	28	4	0,4	0	175		1
<i>Acacia seyal</i>	22	1	151	70	6	3	24	1	90	113	7	3
<i>Polygala erioptera</i>	14	3	124	86	25	20	0					
<i>Hibiscus articulatus</i>	12	1	90	106	7	11	11	1	131	77	11	9
<i>Stachytarpheta angustifolia</i>	12	2	126	85	19	10	0					
"Kola djalau" (indet.)	12	1	215	33	14	5	0					
<i>Ipomoea aquatica</i>	11	1	183	51	11	5	2	0,1	117	88	1	1
<i>Corchorus spp.</i>	10	0,5	78	113	4	5	42	1	119	86	3	2
<i>Bergia suffruticosa</i>	9	0,3	30	141	1	4	25	1	77	118	2	3
<i>Paspalum scrobiculatum</i>	9	1	0	159		6	13	2	139	71	12	11

Figure IV-22 : Suivi de l'enherbement au cours de deux années consécutives des parcelles témoins et traitées des essais B5 et B6 de la campagne 2001/2002 en situation 4



4.2. Evaluation de l'arrière-effet des traitements herbicide

Cette évaluation est basée sur des relevés floristiques avant repiquage et au cours du cycle cultural dans 12 essais mis en place en 2001/2002, dont les placettes ont pu être suivies en 2002/2003. Dans ces expérimentations, le mode de préparation des témoins par fauchage et brûlage a été maintenu au cours des deux années. Dans les parcelles TB et T(R) de la campagne 2001/2002, il n'y a pas eu de reprise de traitement herbicide en année 2 et la préparation a été identique au témoin. La production des différentes parcelles a été estimée en relevant le poids total des panicules dans chacune des placettes. L'analyse des relevés floristiques a été effectuée pour les deux grandes situations d'enherbement, en regroupant les situations 1 et 2 (absence d'adventices vivaces) et les situation 3 et 4 (peu ou pas d'adventices vivaces).

4.2.1. Arrière-effet dans les situations 1 et 2

Dans ces situations (graminées annuelles dominantes, peu ou pas d'adventices vivaces), le traitement herbicide n'a pas eu d'influence sur l'enherbement avant repiquage en année 2, puisque les valeurs de recouvrements apparaissent similaires d'une année sur l'autre quel que soit le mode de préparation (Annexe 21a). Ce résultat n'est pas surprenant compte tenu de l'important stock de semences présent dans le sol. Le recouvrement des différentes graminées annuelles est comparable entre les parcelles témoins et traitées en année 2, comme en attestent les valeurs de recouvrement corrigé en 2002/2003. On constate cependant la diminution du recouvrement de quelques adventices dans les parcelles traitées, en particulier *Paspalum scrobiculatum*, *Hibiscus articulatis* et *Corchorus spp.* Mais cette tendance ne se confirme pas dans les observations au cours du cycle cultural (Tableau IV-24). En effet, le recouvrement des mauvaises herbes est similaire entre les parcelles témoins et traitées lors de la deuxième année mis à part pour les espèces favorisées par la forte humidité lors de la campagne 2001/2002 (*Sphaeranthus*, *Stachytarpheta*). Comme lors des essais dans ces situations, il n'y a pas de différences de production significatives l'année suivante entre les parcelles témoins et traitées (Annexe 21b)

Tableau IV-25 : Suivi de l'arrière-effet du traitement dans 5 essais en situations 3 et 4. Indicateurs des principales espèces (fréquence ou recouvrement local supérieurs à 10%) calculés à partir des relevés floristiques effectués entre le repiquage et le sarclage dans les mêmes parcelles témoins (t0) et traitées (TB et T) en 2001/2002 et 2002/2003.

Campagnes	2001/2002						2002/2003						
	Espèces	Fréq. relative	Recouvrements				Fréq. relative	Recouvrements					
			moyen	moyen corrigé		Local		moyen	moyen corrigé		Local		
				t0	T(B)	t0			T(B)	t0	T(B)	t0	T(B)
Enherbement global	100	16	127	82	20	13	100	22	137	79	30	17	
<i>Bergia suffruticosa</i>	57	5	123	84	12	7	61	6	149	72	17	6	
<i>Cyperus rotundus</i>	31	8	119	87	26	23	36	6	128	84	17	17	
<i>Oryza longistaminata</i>	30	4	159	61	17	8	35	6	150	72	19	15	
<i>Ipomoea aquatica</i>	30	3	140	74	8	12	29	2	188	49	8	3	
<i>Acacia seyal</i>	19	0,2	138	75	1	1	21	0,4	95	103	3	2	
<i>Launaea cornuta</i>	11	1	219	20	12	5	26	1	92	105	5	4	
<i>Sphaeranthus flexuosus</i>	11	0,3	25	150	1	3	12	0,5	0	157		4	
<i>Merremia emarginata</i>	8	0,4	0	167	0	6	14	1	238	21	8	1	
<i>Euphorbia forskalii</i>	3	0,1	250	0	5		33	1	122	88	5	2	
<i>Urginea spp., Crinum spp.</i>	1	0,1	250	0	1		39	1	129	83	4	2	
<i>Cassia mimosoides</i>	1	0,2	250	0	1		32	1	204	40	8	1	
<i>Combretum spp.</i>	0						30	1	119	89	3	2	
<i>Faidherbia albida</i>	0						18	0,5	92	105	3	3	

4.2.2. Arrière-effet dans les situations 3 et 4

Dans ces situations (présence d'adventices vivaces) où le traitement herbicide est ciblé contre certaines espèces, un arrière-effet sur l'enherbement et, partant, sur la production, a été observé dans plusieurs essais. L'enherbement global avant repiquage s'avère plus faible dans les parcelles traitées l'année suivant les essais (Annexe 21c). Les différences de recouvrements corrigés des principales adventices vivaces (*Bergia suffruticosa*, *Oryza longistaminata*, *Ipomoea aquatica*) entre les parcelles témoins et traitées mettent en évidence cet arrière-effet, visible aussi bien avant repiquage qu'au cours du cycle cultural (Tableau IV-25). Les graminées annuelles (*Echinochloa spp.*, *Setaria sphacelata*) se maintiennent malgré le traitement de l'année précédente, ce qui peut laisser espérer une recolonisation progressive par ces espèces plus facilement maîtrisables lors de la préparation. On n'observe pas d'arrière-effet pour certaines vivaces comme *Launaea cornuta* et *Cyperus rotundus*, pourtant bien maîtrisées par l'herbicide lors des essais en 2001/2002, mais dont le mode de reproduction végétatif permet des repousses équivalentes en 2002/2003 dans les parcelles témoins et traitées (Le Bourgeois et Beix, 1993 ; Marnotte, 1994). Ainsi dans l'essai B5, les différences d'enherbement entre t0 et TR, notamment par *Cyperus* ne sont plus significatives au cours du cycle cultural de la campagne 2002/2003 (Figure IV-22). Le rendement de la parcelle traitée demeure supérieur en année 2, ce qui peut s'expliquer par un léger arrière-effet du traitement et éventuellement par un effet de la décomposition du mulch sur la disponibilité en éléments nutritifs l'année suivante (Annexe 21d).

Dans le bloc B6, la différence de recouvrement par *Oryza longistaminata* en 2002/2003 entre parcelle témoin et traitée se traduit à nouveau sur la production par des différences de rendement significatives (Annexe 21d). Dans ce cas, la forte dose herbicide appliquée lors de la campagne 2001/2002 se justifie compte tenu de l'arrière effet significatif sur la production.

Tableau IV-26 : Principales options techniques pour la gestion de l'enherbement en fonction des situations

Situations		Recvt ¹	Caractéristiques milieu et enherbement	Matière active (appareil)	Dose		Intérêt de l'herbicide et conséquence sur la production
					g/ha	sch/q ²	
1.	Peu ou pas d'adventices vivaces	<50%	sol hardé graminées annuelles dominantes	glyphosate paraquat	720 200 (à évaluer)	1	<ul style="list-style-type: none"> • Accélérer la préparation et repiquer plus tôt (traitement, pas de brûlage). • Pas d'effet sur la production (hardé peu ou pas aménagé)
2.		>50%	Vertisols intermédiaires, graminées annuelles dominantes	glyphosate paraquat	720 à 1000 400	1 à 1,5	<ul style="list-style-type: none"> • Accélérer la préparation (traitement + brûlage) et repiquer plus tôt • privilégier fauchage si pas pressé (bonne pluvio., sols bien humides), et traitement si pris par le temps • Effet possible sur la production si maîtrise dicot. année bien pluvieuse
3.	Présence adventices vivaces	<50%	Vertisols modaux adventices : <i>Launaea, Bergia, Merremia,...</i>	glyphosate	1440 à 2160	2 à 3	<ul style="list-style-type: none"> • Maîtrise des adventices vivaces et accélérer la préparation • Gain de production si réserve en eau suffisante (pression des adventices plus élevée)
4.		>50%	Vertisols modaux Inondables -adventices <i>Oryza, Cyperus</i>	glyphosate (privilégier appareil de type Handy à disque rotatif)	2160 à 2880	3 à 4	<ul style="list-style-type: none"> • Maîtrise des vivaces permet gains de production de grains et fourrage (300 kg et 1tonne/ha en moyenne) • Parfois remises en culture de parcelles infestées par <i>Oryza</i> grâce au traitement

¹ recouvrement global des herbes avant repiquage

² Dose en sachet de Roundup biosec ® par quart d'hectare (0,25 ha)

4.3. Synthèse : grille d'analyse des situations, options pour la gestion de l'enherbement

L'évaluation des différents itinéraires techniques de préparation a permis de caractériser les contraintes liées à l'enherbement dans une gamme variée de milieux cultivés et de mettre en évidence les atouts et limites du traitement herbicide selon les situations. Diverses options techniques peuvent ainsi être dégagées concernant la préparation des parcelles à *muskuwaari* et la maîtrise des adventices vivaces (Tableau IV-26). Les expérimentations ont apporté des précisions sur la mise en œuvre du traitement herbicide :

- Le déclenchement du traitement se fait en fonction du délai d'action de l'herbicide (10 à 15 jours pour le glyphosate) tout en tenant compte des indicateurs habituels tels que l'état d'avancement des pépinières et l'humidité du sol.
- Les choix de la matière active, de la dose et éventuellement du pulvérisateur sont effectués selon les conditions d'enherbement et en particulier la présence d'adventices vivaces. Le dosage peut être modulé en fonction des adventices visées. Les doses sont indiquées avec une précision relativement limitée (plus ou moins 0,5 sachet) compte tenu de la formulation du principal produit commercialisé (sachets de Roundup biosec) de la variabilité des conditions de traitement (appareil, vitesse d'avancement de l'opérateur) et donc des quantités réellement appliquées.
- Le brûlage s'avère intéressant pour compléter l'action de l'herbicide notamment dans le cas d'une application à faible dose pour des situations avec un recouvrement élevé d'espèces annuelles avant repiquage et des difficultés pour assurer une pulvérisation homogène sur l'ensemble des "strates" du couvert herbacé.

Les essais menés pendant deux campagnes ont montré l'intérêt de raisonner l'utilisation de l'herbicide en fonction du scénario climatique. Dans les parcelles les plus humides et plus particulièrement en position topographique basse (situation 4), la présence d'adventices vivaces justifie un traitement herbicide quelle que soit la pluviométrie, compte tenu du gain de production potentiel, de la réduction des travaux de sarclage et du possible arrière-effet du traitement l'année suivante. Mais cela représente moins de 20% des cas rencontrés. Dans les situations 2 et 3, la pression des adventices varie selon la recharge en eau du sol qui demeure le principal facteur limitant en cas de faible pluviométrie. Le choix du traitement herbicide est donc à réfléchir selon les risques d'infestation par les mauvaises herbes vivaces et les possibilités d'amélioration de la production. Le recours à l'herbicide peut enfin être décidé pour faciliter et accélérer la préparation. Bien que le traitement permette souvent d'effectuer le repiquage plus tôt par rapport au fauchage, cela n'a pas entraîné de différences dans l'élaboration de la production à l'échelle de nos expérimentations.

5. DISCUSSION-CONCLUSION

Le diagnostic cultural et l'évaluation agronomique des traitements herbicide ont fourni non seulement des outils d'aide à la décision concernant la mise en œuvre du traitement mais aussi des éléments nouveaux de compréhension du peuplement cultivé de sorgho *muskuwaari* et des pistes de travaux complémentaires.

Cette étude a d'abord permis de dégager **un cadre d'analyse de l'élaboration du rendement du sorgho repiqué qui n'avait pas été formalisé jusqu'à présent**. La démarche et le dispositif adoptés peuvent servir de référence pour les expérimentations à venir, notamment pour prendre en compte les principales variables dans l'élaboration du rendement (nombre de pieds, nombre de panicules, nombre de grains par m², poids moyen d'un grain) et dégager les facteurs susceptibles d'influencer l'établissement de ces variables.

Le diagnostic cultural a montré l'importance du nombre de grains par m² pour expliquer les variations de rendement. Comme on pouvait s'y attendre, l'eau représente le principal facteur limitant, notamment pour l'établissement du nombre de grains. **La concurrence des adventices joue un rôle variable sur la production, selon la situation d'enherbement**. Le diagnostic a permis de préciser l'impact de cette concurrence sur l'élaboration du rendement (cf. §3.2.6). Les expérimentations avec comparaison de parcelles témoin et traitées apportent des éléments supplémentaires. Ils confirment que **la concurrence a lieu essentiellement pour l'eau**. Les stress hydriques qui en résultent, entraînent une moindre mobilisation de l'azote par le peuplement cultivé, comme cela a déjà été signalé dans d'autres travaux (Gigou, 1984 ; Sène, 1999). La nuisibilité de l'enherbement s'exerce sur l'établissement du nombre de grains par m² entre le repiquage et la floraison, mais aussi à partir de la floraison sur le remplissage des grains, comme cela a pu être observé grâce aux essais. En effet, les poids moyen des grains apparaissent souvent plus élevés dans les parcelles traitées où l'herbicide permet une meilleure maîtrise des adventices vivaces même après la floraison du *muskuwaari*.

Notre étude a révélé l'importance des pertes de production liées aux foreurs des tiges, dont l'impact n'avait pas été quantifié précisément auparavant. Les résultats ont constitué le point de départ de travaux en cours (Ratnadass, 2003 ; Aboubakary, 2004), destinés à mieux connaître la biologie des populations de *Sesamia* et la dynamique d'infestation au cours du cycle cultural, mais aussi à poursuivre l'estimation des pertes de rendement en tenant compte des divers facteurs susceptibles d'influencer l'infestation (climat de l'année, variété, période de repiquage) et évaluer des méthodes de lutte.

L'évaluation des effets du traitement herbicide sur le fonctionnement de l'agro-écosystème a été menée dans une gamme variée de situations d'enherbement, assez représentatives de la diversité des terres à *muskuwaari* puisque les descriptions floristiques apparaissent similaires voire plus riches que dans les travaux antérieurs (Donfack et Seignobos, 1996 ; Mathieu et Marnotte, 2000). De plus, les conditions climatiques assez contrastées entre les deux années de suivi ont donné la possibilité d'analyser l'effet de l'herbicide selon le niveau d'infestation des mauvaises herbes pour un sol donné, la pression et la gamme des adventices ayant été plus importantes lors de la première année (cf. §3.2.2.1).

Le dispositif expérimental présente cependant des limites, en particulier concernant la valorisation statistique des résultats. Les essais sont réalisés en milieu paysan, sur des sols à forte variabilité spatiale à laquelle s'ajoutent d'autres sources de variations (conditions d'implantation, mélange de variétés dans certains cas, échantillonnage limité à 3 placettes par traitement mis en comparaison). Les essais sont statistiquement peu puissants puisque les différences entre les traitements doivent être très importantes (de l'ordre de 1 à 3) pour paraître significatives au seuil de 0,05. Lorsque les valeurs n'apparaissent pas statistiquement différentes entre traitement, l'hypothèse

de l'effet d'un itinéraire sur la production a quand même pu être étayée en examinant la convergence des variations de plusieurs caractéristiques du peuplement cultivé entre la parcelle témoin et traitée. De plus, les différents traitements évalués (TB, T, TR) n'ont pas toujours été systématiquement répétés chez chaque agriculteur suivi, ce qui crée une certaine confusion dans la présentation des résultats. Une formalisation plus précise *a priori* des règles de décision liées à chaque itinéraire évalué, en relation avec l'élaboration du modèle d'action, aurait sans doute permis de bien clarifier les conditions expérimentales aux agriculteurs et de mieux tester les différentes hypothèses sur les avantages du traitement herbicide, en particulier concernant l'avancement de la date de repiquage. Cette remarque soulève la difficulté de combiner en même temps l'analyse des règles de décision des agriculteurs pour la conduite de la culture, et l'évaluation d'itinéraires technique. En effet, cette évaluation à l'aide d'essais système de culture suppose une formalisation préalable des modes de conduite et des RdD associées (Reau *et al.*, 1996 ; Meynard, 1998 ; Nolot et Debaeke, 2003). Un léger décalage dans le temps entre la construction du modèle d'action et la mise en œuvre des essais s'avère nécessaire pour parvenir à un dispositif expérimental plus rigoureux.

En dépit de ces limites, on peut considérer que les essais herbicide ont fourni les principales références agronomiques attendues. Les expérimentations ont pratiquement toutes concerné l'évaluation du traitement herbicide de préparation au glyphosate. Elles ont permis de **préciser les conditions de traitement (déclenchement, dose, pulvérisateur) selon la nature et le recouvrement des mauvaises herbes**, ainsi que les gains de production que l'agriculteur peut espérer.

- Sur les sols hardés (situation 1), une faible dose d'herbicide assure une préparation équivalente au fauchage-brûlage et peut permettre d'avancer le repiquage d'une dizaine de jours (absence de brûlage). Cet avantage du traitement apparaît peu intéressant dans cette situation car, sans aménagement d'un réseau serré de diguettes, la compacité des sols hardés demeure le premier facteur limitant.
- Dans les vertisols intermédiaires avec un recouvrement élevé d'espèces annuelles avant repiquage (situation 2), un traitement herbicide à faible dose suivi du brûlage s'avère suffisant pour la préparation. Le délai d'action du glyphosate (environ 15 jours) et la réalisation du brûlage ont eu tendance à homogénéiser les dates de repiquage, l'agriculteur préférant brûler en une seule fois la parcelle traitée et témoin. Compte tenu de dates de repiquage similaires entre t0 et TB et de la faible concurrence des adventices au cours du cycle cultural (peu ou pas d'adventices vivaces), on n'observe pas d'effet notable du traitement sur l'élaboration du rendement.
- Dans les vertisols modaux caractérisés par un faible enherbement avant préparation et la présence d'adventices vivaces (situation 3), une application suffisamment dosée au glyphosate limite l'enherbement de façon significative tout au long du cycle cultural. La diminution de la concurrence des adventices ne se traduit pas toujours par une augmentation du rendement. Malgré la bonne capacité de rétention d'eau de ces vertisols modaux, le niveau de la réserve hydrique du sol peut s'avérer le facteur limitant prépondérant si les aménagements de diguettes et/ou la pluviométrie sont insuffisants.
- Dans les différents sols avec un fort recouvrement avant repiquage et présentant des adventices vivaces (situation 4), la maîtrise des mauvaises herbes à l'aide d'un traitement herbicide se révèle déterminante pour la production. Avec une dose d'application suffisante, les agriculteurs peuvent compter sur une augmentation du rendement en grains et, souvent de manière plus importante, du rendement fourrager dont on a vu l'importance pour l'alimentation du bétail en saison sèche.

- Dans les situations 2 et 4, les itinéraires techniques avec traitement herbicide sans brûlage et maintien de la couverture végétale morte assurent généralement une maîtrise équivalente du couvert herbacé par rapport au traitement-brûlage²⁶. La biomasse végétale du mulch s'avère le plus souvent insuffisante (inférieure à 2 t/ha) pour limiter la croissance des adventices par effet d'ombrage et offrir une meilleure alimentation hydrique du peuplement cultivé en réduisant l'évaporation de l'eau du sol. La couverture du sol a semble-t-il eu un léger effet dans deux essais où le mulch atteignait 2,5 t/ha. Cependant cet itinéraire induit des contraintes supplémentaires lors de l'implantation (opération supplémentaire de rabattage, gêne pour le repiquage, augmentation des attaques de criquets) ce qui explique le peu d'intérêt de la part des agriculteurs.

Il ressort de l'interprétation des expérimentations, la **nécessité de raisonner aussi les applications en fonction du scénario climatique** et par conséquent du risque d'infestation variable par les adventices vivaces. Pour favoriser une utilisation modérée de l'herbicide, le traitement peut être parfois réservé pour la maîtrise de certaines vivaces comme *Launaea cornuta*, qui se révèlent plus nuisibles en cas de bonne pluviométrie. Dans les terrains inondables, le niveau d'infestation s'avère moins dépendant de la pluviométrie, et la nécessité de doses de traitement élevées a été démontrée pour garantir la maîtrise d'adventices très envahissantes comme *Oryza longistaminata* et bénéficier d'un arrière-effet lors de la campagne suivante. Dans les vertisols intermédiaires, l'intérêt de l'herbicide est à rechercher pour accélérer la préparation et augmenter les chances de repiquer à temps en particulier en cas d'année peu pluvieuse.

Face à la diversité des situations d'enherbement, les résultats concernant l'usage de l'herbicide fournissent des solutions techniques variées (matière active, dosage, adaptation de l'itinéraire) même si certaines restent encore à évaluer. Le glyphosate, utilisé dans la plupart des cas, n'apparaît pas toujours efficace selon les mauvaises herbes. Ainsi, le mode d'action du paraquat est plus approprié pour la maîtrise des graminées annuelles en fin de cycle et déjà partiellement desséchées. Toutefois, la recommandation de cette matière active apparaît délicate, compte tenu de son importante toxicité en particulier pour la santé humaine (United Nations Environment Programme, 1984 ; Weisenburger, 1993 ; Penafiel et Kammerbauer, 2001).

Par ailleurs certaines adventices dicotylédones (*Merremia emarginata*, *Sphaeranthus flexuosus*,...) qui posent des problèmes même avec un traitement de préparation au glyphosate, pourraient être mieux maîtrisées par une application post-repiquage avec un herbicide sélectif tel que le 2,4-D. En plus des tests actuellement menés pour préciser les conditions de traitement avec cet herbicide, il serait souhaitable d'effectuer une évaluation précise de cet itinéraire, à la lumière des références agronomiques que nous avons produites.

Le suivi de l'évolution floristique n'a porté que sur une année, afin d'évaluer l'arrière-effet des traitements herbicide. Les résultats mettent en évidence l'intérêt de l'application de fortes doses ciblées contre certaines adventices vivaces (*Oryza longistaminata*, *Launaea cornuta*,...) pour éviter une reprise du traitement l'année suivante. Compte tenu de l'important stock de semences dans le sol (graines, bulbes,...), l'analyse de l'évolution de la composition floristique face à l'application répétée de matières actives est à mener sur un pas de temps plus long.

²⁶ Il faut cependant rappeler que cet itinéraire a parfois nécessité un traitement complémentaire au paraquat pour assurer un dessèchement total de la couverture.

Chapitre 5 : Discussion et perspectives

Au cours de ce chapitre, nous cherchons à dégager les principaux résultats de notre recherche permettant d'orienter les choix techniques des agriculteurs vers une gestion intégrée des problèmes de désherbage dans les systèmes de culture à *muskuwaari*. Cela suppose le renforcement du conseil à l'échelle régionale, mais aussi la poursuite de l'accompagnement technique des producteurs. Enfin, un élargissement des recherches est proposé pour une gestion durable de ces systèmes de culture.

1. INTERETS DES RESULTATS POUR FAIRE EVOLUER LES PRATIQUES CULTURALES

1.1. Retour sur les hypothèses

Hypothèse 1 : le traitement herbicide pour sécuriser l'implantation à l'échelle de la sole

Comme cela a été mis en évidence dans le chapitre 3, le traitement herbicide offre un gain de temps significatif pour la conduite de l'implantation à l'échelle de la sole. Il donne la possibilité d'accélérer la préparation et de repiquer plus tôt si les conditions climatiques l'exigent et si la disponibilité en plants le permet. Cette marge de manœuvre supplémentaire se révèle particulièrement intéressante pour sécuriser l'implantation, en particulier en cas de faible pluviométrie et/ou d'interruption précoce des pluies (scénarios pluviométriques P1 et P2, cf. chapitre 2). Sauf si l'agriculteur a pris du retard dans l'implantation, cet atout du traitement herbicide s'avère moins utile lorsque la pluviométrie est importante et/ou que les pluies se prolongent (scénarios pluviométriques P3 et P4). L'importante humidité du sol induit un étalement de la période du repiquage, puisque le retrait de l'inondation est plus tardif ainsi que le ressuyage du sol notamment dans les vertisols modaux. Dans ce cas, il s'agit plutôt de faire porter l'effort sur la maîtrise des mauvaises herbes, question qui est abordée dans la discussion de l'hypothèse 2.

Hypothèse 2 : le traitement herbicide pour augmenter la production

Lors de la mise en œuvre des expérimentations en parcelles paysannes, nous avons émis l'hypothèse que l'emploi de l'herbicide assure un gain de production par rapport au mode de préparation habituel, grâce à un repiquage plus précoce et à une réduction de la concurrence des adventices au cours du cycle cultural. En fait, à l'échelle de nos parcelles expérimentales, le traitement n'a permis d'avancer le repiquage que de quelques jours, compte tenu du délai d'action du glyphosate et de la nécessité de réaliser le brûlage, en particulier dans les situations d'enherbement présentant un fort recouvrement. Cet avancement ne semble pas entraîner d'effet notable sur l'élaboration du rendement. Ainsi, les perspectives d'un gain de production grâce au traitement sont limitées dans les vertisols intermédiaires ou dégradés avec des espèces annuelles dominantes avant repiquage et peu d'adventices vivaces (situations 1 et 2). Même l'absence de brûlage et le maintien de la couverture végétale morte après traitement, destinée à réduire l'évaporation de l'eau du sol, ne semble pas avoir d'effet sur l'alimentation hydrique du sorgho, le mulch se révélant le plus souvent insuffisant (nous n'avons toutefois que peu d'expérimentations permettant de tirer des conclusions très claires sur ce scénario). Quoiqu'il en soit, ce choix technique entraîne des contraintes lors de l'implantation.

En revanche, l'herbicide permet une augmentation significative du rendement dans les parcelles souvent inondables en bas de topographie, où la concurrence des adventices vivaces représente le principal facteur

limitant quelle que soit la pluviométrie (situation 4). Il constitue un avantage indéniable dans cette situation, compte tenu du gain de production, de la réduction des travaux de sarclage et de l'arrière-effet notable l'année suivante qui peut éviter une reprise du traitement. Ce résultat confirme les premières références établies précédemment pour répondre aux problèmes de prolifération des mauvaises herbes dans ces milieux spécifiques (Mathieu et Marnotte, 2001). Dans les autres vertisols modaux (situation 3), l'incidence des adventices sur le rendement apparaît variable en fonction de la recharge en eau du sol et donc du scénario pluviométrique. Les agriculteurs peuvent espérer une augmentation du rendement en grains de 20 à 30 %, et souvent de plus de 50% de la production fourragère avec le traitement herbicide si le total pluviométrique a été bon (pression plus élevée des adventices), alors que les différences sont plus faibles lorsque la réserve en eau du sol constitue le facteur limitant prépondérant. Cependant, il est possible dans ce cas qu'un repiquage plus précoce ait une influence plus marquée sur l'élaboration de la production. Cela n'a pas pu être vérifié dans nos expérimentations et devrait être mieux évalué. En effet, l'avancement du repiquage apparaît plus aisé dans cette situation où le brûlage n'est pas nécessaire après traitement compte tenu de la flore généralement peu couvrante. C'est d'ailleurs une des raisons de la généralisation de l'herbicide dans ce type de milieu, pour remplacer les opérations difficiles de labour ou de fauchage et d'apport d'autres herbes pour permettre le brûlage.

1.2. Domaine de validité des références établies

A propos de la gestion technique du sorgho repiqué, notre échantillon d'exploitation apparaît trop réduit pour faire ressortir toute la variabilité de la conduite du *muskuwaari* à l'échelle régionale. La grille d'analyse de l'organisation du travail pour les semis, l'implantation et l'entretien de la culture, constitue toutefois un support pour dialoguer avec les agriculteurs, quelle que soit la zone de production considérée, sur des règles de mise en œuvre du traitement permettant d'utiliser le moins possible d'herbicide. Ces discussions menées en situation de conseil devraient d'ailleurs permettre d'enrichir cette grille en repérant les divergences par rapport aux situations et aux agriculteurs à partir desquels elle a été élaborée.

Concernant l'évaluation agronomique du traitement herbicide, l'échantillonnage des situations d'enherbement à partir de la perception de la diversité des milieux par les agriculteurs et de la connaissance préalable de la flore, garantit une certaine représentativité vis-à-vis de l'hétérogénéité des terres à *muskuwaari* et de la variabilité de la pression des adventices selon les conditions pédo-climatiques. A partir de l'essai de zonage des systèmes de culture à l'échelle régionale, on peut présager de la prédominance de certaines situations d'enherbement dans les différentes zones :

- Les piémonts qui présentent une majorité de vertisols intermédiaires et dégradés, sont sans doute plutôt concernés par les situations d'enherbement 1 et 2. Les gains de production plutôt rares dans les expérimentations menées à Mowo tendent à le confirmer
- Dans les plaines du Diamaré et de Kalfou, les diverses situations d'enherbement sont toutes représentées compte tenu de la gamme variée de vertisols. La situation 4 se retrouve surtout dans ces régions compte tenu de la présence de zones inondables, mais les aires de prolifération d'adventices vivaces telles que *Oryza longistaminata* et *Cyperus rotundus* demeurent assez limitées avec moins de 20 % des surfaces cultivées (Alifa et Mathieu, 2002).
- Dans les régions de Kaélé et Moutouroua, les vertisols souvent légèrement en pente et moins humides sont dominés par une flore de graminées annuelles (situation 2), avec un recouvrement plus faible et la présence d'adventices vivaces, notamment *Launaea cornuta*, dans les parcelles temporairement engorgées (situation 3).

- Par ailleurs, l'accélération de la préparation grâce au traitement peut amener certains producteurs à étendre leurs surfaces repiquées. Dans les zones de production comme les plaines de Kaélé et Moutouroua, où toutes les surfaces disponibles ne sont pas toujours cultivées faute de main d'œuvre et où quelques espaces pourraient encore être défrichés (Seignobos, 1998 ; ENGREF, 2000 ; Duboisset, 2003), on peut s'attendre à une légère extension des superficies en sorgho repiqué si le traitement herbicide se généralise. Cette évolution possible s'inscrit dans la logique extensive évoquée précédemment (cf. chapitre 2), les agriculteurs cherchant plutôt à augmenter la production à travers l'accroissement des surfaces et de la productivité du travail lorsque la terre ne constitue pas une contrainte (Milleville et Serpantié, 1991 ; Milleville, 1999).

Ces éléments sont à considérer pour préciser et adapter le contenu du conseil en fonction des zones d'intervention.

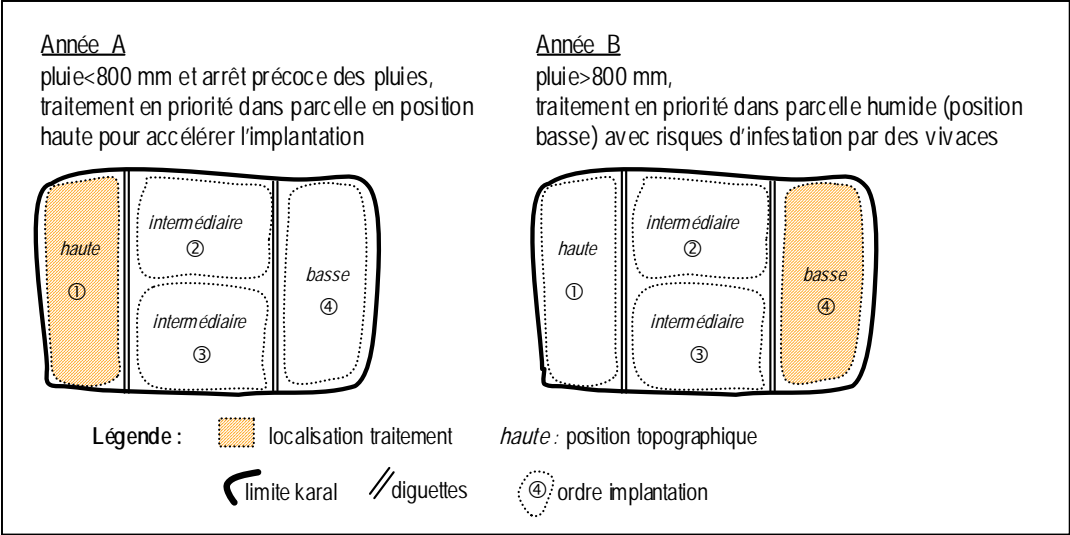
1.3. Raisonner les applications selon le mode de conduite et le scénario climatique

Les multiples avantages du traitement herbicide conduisent à une généralisation de son utilisation dans les diverses situations d'enherbement. Outre l'accélération de la préparation et la maîtrise des adventices, l'intérêt économique du traitement par rapport à l'emploi de manœuvres salariés pour le fauchage, est souvent souligné par les agriculteurs. Même si l'herbicide n'engendre qu'une légère réduction des charges opérationnelles¹, son utilisation se révèle plus facile que la gestion des manœuvres, dont le recrutement et le maintien jusqu'à la fin des chantiers posent parfois problème. Le prix très abordable du glyphosate explique son usage sur l'ensemble de la sole dans les grandes exploitations où l'importance des surfaces repiquées exige une exécution rapide des différentes opérations. Cette tendance s'observe aussi chez beaucoup d'agriculteurs dont la gestion de l'implantation du sorgho sur l'ensemble de la sole se caractérise par la conduite simultanée de chantiers de préparation et de repiquage, mais dont la disponibilité en trésorerie limite quand même les superficies traitées. Dans les exploitations de petite taille, avec une surface en *karal* réduite, et limitées par la main d'œuvre, les opérations de nettoyage et de repiquage sont rarement menées de front, et le traitement est encore peu pratiqué.

L'analyse de la conduite du *muskuwaari* a montré comment les agriculteurs enchaînent les opérations d'implantation en s'appuyant sur l'hétérogénéité des conditions édaphiques et de topographie à l'intérieur de leur *karal*. Ces savoir-faire sont à valoriser pour raisonner la localisation des traitements en tenant compte également de la pression variable des adventices vivaces et donc des gains potentiel de production selon le scénario pluviométrique

¹ Les agriculteurs membres d'un GIC coton ne considèrent que le coût de l'herbicide et éventuellement de l'opérateur chargé de la pulvérisation. Mais en tenant compte de la location et de l'entretien du pulvérisateur (forfait payé lors de la vente du coton), les charges se révèlent comparables quoique un peu plus élevées pour le recrutement de manœuvres pour le fauchage.

Figure V-1 : Exemple simplifié de modulation du traitement herbicide selon le scénario climatique et l'organisation spatiale du *karal* d'un agriculteur (surface d'environ 1 ha). Objectif de l'agriculteur en année A : accélérer l'installation du sorgho ; en année B : lutter contre les adventices.



L'utilisation de l'herbicide peut ainsi augmenter les chances de repiquer à temps en cas de pointe de travail et de dessèchement rapide de certaines parcelles lorsque la pluviométrie est réduite (Figure V-1). Avec ce scénario climatique les problèmes d'adventices vivaces ne sont pas exclus, mais compte tenu de leur moindre pression, le sarclage manuel permet très souvent une maîtrise équivalente au traitement herbicide. Si les pluies sont abondantes, le créneau pour l'implantation est plus important mais la concurrence des adventices est plus forte et les surfaces cultivées peuvent être plus élevées. L'herbicide, qui dans ce cas n'apparaît pas indispensable pour accélérer la préparation, peut être ciblé contre certaines adventices en particulier pour éviter un "goulet d'étranglement" lors des sarclages.

Le conseil doit donc orienter les agriculteurs vers ces principes de traitement localisé et de modulation interannuelle afin d'utiliser le moins possible d'herbicide. On peut déjà distinguer deux grandes formes d'aide à la décision selon les modes de conduite :

- proposer une adoption ponctuelle, dans les exploitations qui n'utilisent pas encore le traitement, en insistant sur sa nécessaire localisation et la définition des objectifs liés à son utilisation,
- inciter au raisonnement et à la réduction de l'emploi d'herbicide dans les exploitations qui l'ont déjà adopté, en montrant l'intérêt à la fois économique et environnemental, d'en limiter l'usage dans des situations bien déterminées et en fonction d'objectifs prédéfinis.

Dans une optique de gestion intégrée de la flore, les décisions des agriculteurs concernant les modalités de préparation et d'entretien de la culture doivent progressivement relever d'une stratégie de désherbage durable sur le plan agronomique, économique et environnemental (Debaeke, 1997). Cela passe par la coexistence de l'usage de l'herbicide avec les techniques habituelles de nettoyage des parcelles. Il est probable que les agriculteurs ayant déjà largement adopté le traitement, montrent une certaine réticence à limiter cette technique, compte tenu de son avantage très apprécié pour faciliter et sécuriser l'implantation. Il s'agit avant tout de susciter une prise de conscience des conséquences négatives à moyen et long terme d'une généralisation de l'herbicide sur la biodiversité floristique et la fertilité des sols

1.4. Une impérative mise en garde sur l'utilisation des herbicides

Face à l'extension des surfaces traitées, il apparaît indispensable de rappeler les impacts possibles de l'utilisation répétée des herbicides sur l'environnement et la santé humaine. On s'intéresse d'abord aux conséquences de l'emploi continu d'un même produit, dans notre cas essentiellement le glyphosate, sur l'évolution de la flore, puis on examine à partir de quelques références bibliographiques, les risques pour l'homme et les autres organismes vivants, d'une exposition prolongée aux principaux herbicides dont l'usage pourrait se développer dans les systèmes de culture à sorgho repiqué.

1.4.1. Sélection de flore et résistance des adventices au glyphosate

L'usage répété d'un même produit herbicide peut conduire à une sélection de flore, avec une population d'espèces sur lesquelles la matière active n'est pas ou moins efficace. Concernant ce phénomène, il faut distinguer deux types de comportement (Le Bourgeois et Marnotte, 2003):

- soit l'espèce ne fait pas partie du spectre d'efficacité du produit employé et elle est dite tolérante,

- soit il s'agit d'une population sur laquelle le produit est normalement actif, mais il peut arriver que certains individus ne soient pas touchés par le produit ; ces plantes non détruites vont se développer et se multiplier, créant ainsi une nouvelle population, que l'on qualifie alors de résistante.

Des espèces telles que *Merremia emarginata* et *Caperonia fistulosa* manifestent une certaine tolérance au glyphosate puisqu'elles se maintiennent dans les parcelles à *muskuwaari* même après des traitements à forte dose. Par contre l'utilisation de cet herbicide au Nord-Cameroun n'est pas assez ancienne pour observer d'éventuels phénomènes de résistance. La propension à l'apparition de résistance n'est pas la même pour tous les herbicides et ce risque est relativement bas pour le glyphosate, malgré un usage important et régulier depuis plus de 20 ans dans certaines régions du monde (Baylis, 2000 ; Neve *et al.*, 2003). D'après Neve *et al.* (2003) certaines caractéristiques de gestion des adventices telles qu'une période d'application précoce avec peu d'émergence de mauvaises herbes, et la rareté d'individus mutants, contribuent à une évolution relativement lente de la résistance aux champs. Cependant, d'après un modèle de prévision de l'évolution de résistance au glyphosate paramétré pour l'espèce *Lolium rigidum*, des problèmes peuvent apparaître au bout de 10 à 20 ans dans un système sans préparation du sol, alors que les risques peuvent être réduits (apparition seulement après 25-30 ans) s'il y a alternance de matière active et/ou de systèmes avec et sans travail du sol. Bien que ces résultats demeurent spécifiques d'un système de culture et d'une espèce herbacée particulière, ils incitent à diversifier les modes de gestion des adventices pour prévenir toute apparition de résistance.

Dans les systèmes de culture à sorgho repiqué, le suivi des pratiques avec l'extension des surfaces traitées révèle une tendance des agriculteurs à sous-doser les applications, notamment dans les situations à dominante de graminées annuelles où le brûlage peut compléter une action partielle du traitement (Alifa, com. pers.). Cette tendance augmente les risques d'apparition de résistance (Marnotte, com. pers), d'autant plus que le traitement intervient en fin de cycle des espèces herbacées ce qui n'empêche pas la formation de graines et donc la régénération de la flore d'une année sur l'autre, même après l'action du brûlage. Dans un autre contexte, l'étude des effets de faibles doses d'herbicides sur la croissance du vulpin, une adventice très répandue en France dans les cultures de blé, a montré que les doses réduites limitent la mortalité des adventices, mais la production de semences des plantes survivantes est affectée (Vincent *et al.*, 2004). Les auteurs signalent qu'en cas de production de semences, ces faibles doses peuvent constituer un des facteurs important de sélection de plantes résistantes aux herbicides. Dans le cas du *muskuwaari*, on retiendra donc qu'il est préférable pour l'agriculteur de ne pas traiter systématiquement chaque année, et de le faire à la dose recommandée lorsqu'il en a vraiment besoin. De plus, ces éléments soulèvent des questions sur l'évolution du recouvrement par les graminées. Dans l'hypothèse d'un effet du glyphosate sur la production de semences de ces graminées, et dans le cas de traitements réguliers et éventuellement trop précoces avant leur maturité, une diminution du stock de semences dans le sol pourrait être observée et entraînée à long terme une baisse du recouvrement du sol avec une éventuelle accélération des processus de dégradation des vertisols.

1.4.2. Incidence des herbicides sur la santé humaine et l'environnement

Le glyphosate, qui constitue l'herbicide le plus utilisé et le plus vendu dans le monde, est particulièrement apprécié pour son mode d'action systémique permettant la maîtrise d'adventices vivaces et présente l'avantage d'une assez faible toxicité pour l'homme et l'environnement (Baylis, 2000 ; Williams *et al.*, 2000). Au contact du sol, la matière active est fortement adsorbée et rapidement dégradée par les micro-organismes (Scalla, 1991). A partir d'une évaluation sanitaire assez complète de l'impact du glyphosate et du principal surfactant dans la formulation du Roundup[®], Williams *et al.* (2000) précisent qu'il n'y a pas de contre-indication d'usage de cet herbicide pour la santé. Ils signalent des irritations au niveau des yeux et de la peau, liées à une manipulation

régulière, mais le produit n'aurait pas d'effet sur les systèmes de développement, de reproduction et endocrinien sur les hommes et les autres mammifères. Pour d'autres auteurs, les problèmes de toxicité chronique liée au glyphosate apparaissent difficiles à démontrer mais ils ne sont pas exclus dans des populations d'agriculteurs et d'ouvriers agricoles exposés durablement à de multiples pesticides (Weisenburger, 1993 ; Pingali et Roger, 1995). Le glyphosate est reconnu pour être peu persistant dans le sol, mais Pingali *et al.* (1995) indiquent qu'il présente une certaine toxicité dans l'eau vis-à-vis des poissons et d'autres organismes aquatiques, notamment pour des applications à des doses relativement élevées. Cette précision est à prendre en compte concernant la pulvérisation du glyphosate contre *Oryza longistaminata* et *Cyperus rotundus* dans les terres inondables. En effet, le traitement peut avoir lieu au cours de la saison des pluies sur les premières repousses d'adventices, généralement après le début de l'inondation car les agriculteurs cherchent à s'assurer de l'efficacité du glyphosate sur un couvert herbacé suffisamment développé. Outre les aspects de toxicité pour la faune aquatique, cette pratique n'exclut pas la contamination des eaux de surfaces à long terme, avec des traitements à forte dose et répétés.

L'usage d'autres herbicides tels que le paraquat et le 2,4 D, commercialisés dans le Nord-Cameroun, apparaît beaucoup plus problématique compte tenu de leur haute toxicité pour la santé humaine. Ainsi, le paraquat s'avère particulièrement dangereux et aucun antidote n'est connu à ce jour (Scalla, 1991). Son usage commence à être soumis à des restrictions et malgré la pression de plusieurs pays européens ayant déjà interdit cet herbicide sur leur territoire, l'Union Européenne a récemment prolongé l'autorisation de vente. Les problèmes respiratoires, les lésions cutanées² et les intoxications par inhalation sont fréquentes chez les personnes qui manipulent le produit (Weisenburger, 1993 ; Pingali *et al.*, 1995). Ces mêmes auteurs, signalent aussi les effets néfastes sur l'homme de l'utilisation prolongée du 2,4 D, un herbicide fréquemment employé dans les systèmes rizicoles asiatiques. On a vu que l'usage de ces deux matières actives pourrait être utile pour les systèmes de culture à *muskuwaari* dans certaines situations d'enherbement :

- accélération de la préparation dans un couvert dominé par les graminées annuelles avec le paraquat
- maîtrise de certaines adventices tolérantes au glyphosate ou apparaissant au cours du cycle cultural à l'aide du 2,4 D

Leur utilisation, en alternance avec le glyphosate, peut aussi réduire l'apparition de phénomènes de résistance (Neve *et al.*, 2003). Cependant, compte tenu de leur haute toxicité, la recommandation et la distribution de ces produits ne devrait être que ponctuelle pour répondre à des besoins spécifiques bien identifiés et dans l'attente de disposer de molécules moins nocives et à un prix abordable³.

Bien qu'un travail bibliographique plus complet apparaisse nécessaire pour disposer d'éléments plus précis et diversifiés concernant l'impact des ces matières actives sur l'environnement au sens large, cette première approche suggère des efforts importants de formation et de sensibilisation pour un usage prudent et limité des herbicides. Les précautions d'emploi signalées sur les emballages sont bien sûr largement insuffisantes, d'autant plus pour un public en majorité analphabète dont l'interprétation des pictogrammes destinés à mettre en garde les utilisateurs, est souvent très éloignée du message recherché (Tourneux, 1993). Au delà des formations techniques qui n'ont été dispensées qu'auprès d'une faible proportion d'agriculteurs (cf. chapitre 1), un véritable travail de conseil est à poursuivre pour inciter à une utilisation la plus réduite possible des herbicides, dans un souci de prévention des risques de contamination et de dégradation de la biodiversité floristique, mais aussi en

² Les brûlures sont insidieuses car elles se manifestent bien après le contact avec le produit, notamment en cas de fuites des pulvérisateurs manuels à dos.

³ Le 2,4 D n'étant pas commercialisé par la SODECOTON, son prix assez élevé (4000 Fcfa/l) devrait limiter son utilisation.

amenant les producteurs à reconsidérer les aspects économiques et sociaux liés au recours à l'herbicide plutôt qu'à des salariés agricoles.

2. CONSEQUENCES POUR LE CONSEIL ET L'ACCOMPAGNEMENT TECHNIQUE DES PRODUCTEURS

Les références établies et la nécessaire sensibilisation pour une utilisation modérée des herbicides permettent de diversifier le contenu du conseil technique et éventuellement de l'adapter selon les régions de production et les problèmes spécifiques d'enherbement. Outre le suivi des effets à long terme de l'emploi d'herbicide sur l'évolution de la flore, l'accompagnement des producteurs peut aussi consister à orienter les pratiques à travers les aspects d'approvisionnement en produit et d'équipement pour l'épandage.

2.1. Vers un conseil diversifié et adaptatif

Le conseil initié dans le cadre du projet ESA, s'inspire de méthodes d'appui aux exploitations familiales développées en Afrique de l'Ouest, basées sur le renforcement des capacités d'analyse et de décision des producteurs (Faure et Kleene, 2002). Des modules collectifs de conseil et d'aide à la décision, en particulier sur la gestion des céréales et la conduite technico-économique du sorgho repiqué, ont ainsi été élaborés, notamment en s'appuyant sur nos références concernant la gestion technique de la sole à *muskuwaari* et les règles de mise en œuvre du traitement herbicide (Annexe 22). La démarche vise à favoriser les dynamiques d'apprentissage en amenant les agriculteurs à identifier leurs besoins, définir leurs objectifs, prendre des décisions et évaluer leurs résultats (Djamen Nana *et al.*, 2004).

Au cours de séances en groupe d'une quinzaine d'agriculteurs en moyenne, le conseiller aborde de manière interactive les différents aspects techniques de la conduite du *muskuwaari* en s'appuyant sur l'analyse d'un cas fictif ou de celui d'un des agriculteurs présent. L'objectif est de stimuler les discussions et les échanges d'expériences autour de l'analyse d'une situation afin d'enrichir les raisonnements des agriculteurs, de leur donner les moyens de réaliser leur propre analyse et d'adapter les options techniques à leur situation particulière. La grille d'analyse élaborée à partir de notre étude peut permettre au conseiller de mieux appréhender la diversité des problèmes techniques et organisationnels, et d'identifier rapidement les principales caractéristiques du mode de conduite de la sole à *muskuwaari*, en particulier pour une étude de cas. De plus, une fiche technique, récapitule les principales modalités de désherbage et notamment les règles de mise en œuvre du traitement herbicide (déclenchement, dosage, matière active) selon les situations d'enherbement (Annexe 23). Même si les résultats concernant l'évaluation agronomique du traitement ne figurent pas dans cette fiche, les conseillers peuvent s'y référer pour enrichir les discussions sur l'adoption du traitement herbicide ou l'évolution des pratiques liées à son utilisation (modulation des techniques de préparation, raisonnement des doses et des surfaces traitées,...).

A partir de ces outils, d'autres décisions techniques peuvent être discutés, en particulier concernant l'organisation des semis et l'articulation avec l'implantation. Une séance complémentaire de bilan permet à l'agriculteur d'analyser la rentabilité de la culture à partir de calculs économiques de base (cf. séance 4, Annexe 22). C'est notamment l'occasion de pouvoir comparer de manière rigoureuse les charges liées à l'utilisation de l'herbicide par rapport à l'emploi de manœuvres salariés dans la situation particulière de chaque agriculteur (emploi ponctuel d'herbicide ou de manœuvres, frais annexes des salariés qui sont éventuellement nourris et logés,...)

Le contenu de ces séances est à ajuster en fonction des zones de production, des besoins d'appui formulés par les agriculteurs et des références technico-économique disponibles. Le projet ESA pourrait être en mesure d'élargir les services de conseil à partir de nouveaux résultats à élaborer sur différents thèmes techniques (gestion intégrée des foreurs des tiges, système riziculture-sorgho repiqué,...)

2.2. Poursuivre l'accompagnement du changement technique

Au delà de l'enrichissement du conseil pour l'adaptation d'une technique dans un système de culture, la démarche d'accompagnement qui a été la nôtre est à poursuivre en particulier pour suivre les effets de l'adoption du traitement sur la flore ainsi que les conditions d'équipement en pulvérisateurs et d'approvisionnement en intrants qui influent sur les pratiques d'emploi des pesticides (Papy, 2001).

2.2.1. *Suivi des pratiques et de la flore*

Un dispositif de suivi se révèle indispensable pour connaître l'évolution des pratiques concernant l'usage des herbicides dans le *karal* et pour juger de l'évolution de la composition floristique liée à l'utilisation répétée de matières actives. En effet, comme nous l'avons déjà évoqué, pour le nettoyage manuel des parcelles, les graminées annuelles sont considérées comme utiles car facile à faucher et brûlant bien. Leur diminution à long terme, pourrait avoir des conséquences sur la fertilité des terres. De même, certaines adventices telles que *Hibiscus articulatus* et *Corchorus spp.* sont toujours récoltées pour la préparation de sauces, et sont à prendre en compte dans l'analyse de l'évolution de la biodiversité floristique. Il s'agit notamment d'évaluer sur des pas de temps de plus de 5 ans, les successions de flore, l'évolution du recouvrement et l'apparition de résistance aux herbicides dans les populations d'adventices. Un tel dispositif est à maintenir conjointement au développement des services de conseil aux agriculteurs.

2.2.2. *L'évolution des pratiques culturales liée à l'avenir de la filière coton*

La présence de la filière coton avec un service d'approvisionnement en intrants a été déterminante pour l'introduction et le développement des herbicides dans la région (Martin et Gaudard, 2001). Les prix très avantageux expliquent l'accroissement spectaculaire des surfaces traitées dans le *karal*, même si la technique du fauchage demeure encore largement majoritaire. L'orientation des agriculteurs vers des pratiques d'utilisation efficaces et limitées d'herbicide, suppose une disponibilité en pulvérisateurs de qualité et un coût du traitement qui soit comparable voire légèrement supérieur aux charges liées à l'emploi de manœuvres pour la préparation.

La plupart des agriculteurs utilisent les appareils disponibles au niveau du groupement de producteurs de coton. Le nombre de pulvérisateurs est souvent insuffisant et tout le monde en a besoin au même moment. Cela conduit à des dates de traitement très variables avec des conséquences sur l'efficacité et sans doute à plus long terme sur la flore, notamment dans le cas d'applications trop précoces avant la maturité des graminées annuelles. Par ailleurs, une légère augmentation du prix de l'herbicide pourrait amener les agriculteurs à reconsidérer l'emploi de salariés, limitant ainsi les traitements excessifs et les effets négatifs de cette innovation sur l'économie locale. Peut-on envisager cette augmentation pour inciter les producteurs à des pratiques plus raisonnées? Avec la crise structurelle que traversent les filières cotonnières sub-sahariennes liée aux subventions pratiquées par d'autres pays producteurs (Havard, 2003), cette option semble difficilement envisageable à court terme. Cela amènerait à faire supporter un coût supplémentaire aux agriculteurs alors que la culture du coton n'est déjà plus rentable actuellement au Nord-Cameroun (Legile, com.pers). Même dans une conjoncture plus favorable, une telle mesure suppose de considérer en priorité la variation de la marge bénéficiaire concernant la culture du coton

dans laquelle est épanchée la majorité des volumes de glyphosate actuellement commercialisés dans la zone cotonnière. A titre indicatif, il faudrait une augmentation de 300 Fcfa du sachet de Roundup Biosec[®], c'est à dire un retour au prix pratiqué en 2000 (1 800 Fcfa), pour que le coût moyen du traitement devienne supérieur au coût moyen d'embauche d'un manoeuvre temporaire (cf. chapitre 3, § 2.1.2.6). Les revenus supplémentaires dégagés par le service d'approvisionnement pourraient être réinvestis pour supporter un dispositif de conseil plus rapproché⁴. Un inconvénient serait cependant de rendre plus difficile l'accès à l'herbicide pour les producteurs les moins aisés n'ayant pas non plus les moyens de payer des manoeuvres salariés.

La SODECOTON a supporté jusqu'à présent le déficit lié à la chute de cours mondiaux, mais elle est actuellement contrainte de réduire fortement les crédits agricoles et le prix du coton payé aux producteurs. Cette situation devrait inciter ces derniers à réduire leur sole cotonnière au profit des céréales, notamment le maïs et le sorgho pluvial. Dans l'Extrême-Nord, on peut également s'attendre à un renforcement de la culture du sorgho repiqué pour essayer de dégager des surplus commercialisables, avec cependant le risque d'une augmentation globale de la production céréalière entraînant des prix peu attrayant pour la vente. Dans ce contexte, le système de stockage villageois conserve tout son intérêt pour contribuer à une certaine régulation des prix sur les marchés locaux au profit des agriculteurs (Teyssier *et al.*, 2002 ; Mathieu *et al.*, 2003).

3. ORIENTATIONS DES RECHERCHES SUR LES SYSTEMES DE CULTURE A *MUSKUWAARI*

3.1. Pour la construction d'innovations en partenariat

Face à l'importance de la culture du *muskuwaari* dans les systèmes de production de l'Extrême-Nord Cameroun et les besoins d'appuis techniques des agriculteurs dont les attentes ne sont pas toujours bien identifiées, des dispositifs d'innovation en partenariat peuvent être élaborés pour faire évoluer les systèmes de culture dans le sens d'une agriculture durable. Le projet ESA, qui a engagé des interventions de recherche-développement, s'associe déjà à d'autres partenaires comme l'IRAD, en particulier concernant la connaissance et la gestion intégrée des problèmes de foreurs des tiges (Ratnadass, 2004). D'autres actions en cours sur l'amélioration des systèmes de culture méritent d'être renforcées :

- Des techniques ont pour objectifs de préserver la fertilité et garantir une exploitation durable des terres à *muskuwaari*. Ainsi, la construction de diguettes en courbes de niveau est actuellement évaluée. Dans certains milieux, des ouvrages plus conséquents permettant de mieux orienter les eaux de crues vers les terres à *muskuwaari* sont envisageables. De plus, des espèces fourragères peuvent être testées pour valoriser le *karal* en saison des pluies et mieux contrôler la prolifération d'adventices.
- Le projet ESA soutient actuellement la diffusion de variétés reconnues localement et pouvant intéresser d'autres zones de production. Un rapprochement reste à engager avec les travaux de prospection et les programmes semenciers qui ont eu lieu dans les zones à *berbere* du Tchad (Raimond, 1999), mais aussi avec les recherches menées dans le Bornou, au Nigeria (Blench, 1991 ; Kahlheber et Neumann, 2001). Comme le souligne Chantereau (2002), la relance des travaux de sélection passe en priorité par l'évaluation des variétés locales, en considérant un ensemble de caractères sous-évalués dans les travaux antérieurs, tels que la réponse thermo-photopériodique, la résistance à la sécheresse, la productivité et la qualité fourragère des pailles. Cette évaluation de la variabilité des sorghos repiqués aboutirait à mieux tirer partie

⁴ Le service de fourniture en intrants assuré par la SODECOTON associé à l'OPCC permet actuellement de financer un réseau d'animateurs chargés de l'appui à la gestion et au fonctionnement des GIC coton.

de toute leur originalité, avec pour résultats immédiats de sélectionner de nouveaux écotypes intéressants, à exploiter directement ou en croisements.

- Concernant les systèmes de double culture riz-*muskuwaari* dans les plaines inondables, l'évaluation de variétés de riz et d'itinéraires techniques est à poursuivre en tirant des enseignements des expérimentations antérieures (Aubin, 1979 ; Vernier *et al.*, 1986). Le contexte de saturation foncière, notamment dans le pays Tupuri et ses marges vers Kalfou et Moulvoudaye, laisse présager de l'intérêt croissant des agriculteurs pour la riziculture. Toutefois, l'extension possible de cette culture est aussi à raisonner en fonction de l'usage pastoral des *yaayre* en saison sèche.

Un lien étroit est à maintenir avec les agriculteurs et leurs organisations, notamment en les associant à l'élaboration et à la mise en œuvre de ces actions, ainsi qu'avec d'autres partenaires (IRAD, Services publics de vulgarisation agricole, autres projets). Les fortes incertitudes qui planent actuellement sur l'avenir des APROSTOC, suppose de repenser le partenariat avec d'autres organisations paysannes, en particulier l'OPCC. Par ailleurs, des appuis pourraient être engagés en faveur des producteurs des zones péri-urbaines, souvent pionniers dans l'adoption d'innovations, mais dont l'utilisation des intrants n'est pas toujours bien raisonnée comme c'est le cas pour l'emploi d'herbicide dans les *kare* autour de Maroua. En dehors du cadre du projet ESA, des interventions sont envisageables au nord de la zone cotonnière (plaine du Logone, rives du lac Tchad) où la pratique du sorgho repiqué demeure peu connue.

Pour l'ensemble de ces perspectives qui ne sont pas directement issues de nos recherches mais qui pourraient utilement les prolonger, notre travail apporte une double contribution : d'une part il constitue une expérience fructueuse de partenariat, et d'autre part il fournit une base de connaissances fournies sur les systèmes à *muskuwaari*, qu'il faudra certes compléter en fonction des innovations envisagées, mais qui constituent un point de départ intéressant.

3.2. Suivre et orienter la dynamique du *muskuwaari* à l'échelle des territoires

Les perspectives d'évolution des systèmes de culture à *muskuwaari* sont indissociables des enjeux sociaux et environnementaux liées à l'extension de la culture. A ce titre, la question du régime foncier des terres à *sorgho* repiqué nécessite une attention particulière. En effet, leur accès s'avère très inégal et la culture par le biais de la location rend problématique l'adoption de pratiques de gestion durable de la fertilité des sols (aménagement, gestion de l'enherbement,...).

Outre le suivi du foncier, les recherches doivent permettre de suivre l'extension du *muskuwaari* et d'analyser les conséquences sur la gestion des ressources ligneuses et pastorales. Les zones de parcours diminuent et se fragmentent, ce qui suppose l'aménagement de couloirs d'accès pour la circulation du bétail. Cette réorganisation de l'espace souvent réalisée au coup par coup, soulève fréquemment des conflits entre les différents usagers, faute d'une politique d'accompagnement des communautés rurales (Raimond, 1999). Les actions en faveur d'un aménagement concerté du territoire peuvent constituer un levier essentiel pour l'évolution des systèmes de culture et de l'exploitation des ressources naturelles vers une gestion durable.

Conclusion

Le développement rapide du traitement herbicide de préparation dans les systèmes de culture à *muskuwaari* s'explique avant tout par la possibilité pour les agriculteurs de faciliter et de sécuriser l'implantation. Alors que la disponibilité en main d'œuvre apparaissait comme le premier facteur limitant de la culture après l'eau (Raimond, 1999), cette option technique réduit considérablement le temps de préparation des parcelles, offrant ainsi une plus grande marge de manœuvre vis-à-vis du créneau limité de réalisation de l'implantation. Les éventuels gains de production grâce à une meilleure maîtrise des adventices vivaces dans certaines situations et le coût réduit de l'herbicide, légèrement inférieur à l'emploi de manœuvres, complètent les raisons d'une adoption massive de cette innovation dans les plaines de l'Extrême-Nord Cameroun.

Face à l'engouement des agriculteurs, notre démarche d'accompagnement de ce changement technique a consisté à mieux comprendre la diversité des systèmes de culture, les problèmes liés à l'organisation du travail pour l'implantation et les effets de l'emploi d'herbicide sur la production de sorgho. Elle débouche sur des règles de mise en œuvre du traitement ajustées à la variabilité des situations pédo-climatiques et favorisant une utilisation la plus réduite possible de l'herbicide en valorisant les savoir-faire paysans pour la conduite de la culture.

Notre analyse révèle l'importance de l'hétérogénéité des conditions édaphiques entre kare et surtout à l'intérieur du *kara* d'un agriculteur, sur laquelle il s'appuie pour enchaîner les opérations et parvenir à repiquer dans des conditions optimales d'humidité du sol malgré la lenteur des tâches culturales. La formalisation des règles de décision concernant l'organisation du travail pour l'implantation a permis de dégager une typologie d'action et de mettre en évidence la part importante de l'ajustement des modes de conduite selon les conditions climatiques. Ainsi, les années peu pluvieuses, le traitement herbicide peut être localisé dans les parcelles qui s'assèchent le plus vite, pour accélérer la préparation et permettre de repiquer à temps. En cas de forte pluviométrie, les délais d'intervention sont un peu plus long et l'herbicide peut éventuellement être valorisé pour la maîtrise de certaines adventices vivaces dont la pression augmente avec le niveau de recharge en eau du sol.

Dans la majorité des situations, la réserve hydrique du sol constitue le principal facteur limitant de la culture. La concurrence des mauvaises herbes pour l'eau est à l'origine d'une baisse de production principalement dans les vertisols modaux, en particulier les années les plus humides. Dans ces conditions climatiques et d'enherbement, le traitement herbicide offre des gains de rendement d'au moins 20 % et parfois beaucoup plus dans les zones inondables où prolifèrent certaines adventices vivaces. Dans les situations à dominante de graminées annuelles, essentiellement les vertisols intermédiaires, le désherbage chimique ne permet généralement pas d'augmentation de production et ne devrait être envisagé que comme une solution d'ajustement ponctuelle lorsque l'agriculteur est pris par le temps. Or, les avantages économiques et de gestion du risque poussent certains à traiter une proportion croissante de leurs surfaces, en particulier les agriculteurs qui sollicitaient auparavant des manœuvres salariés pour l'opération de fauchage. Au delà des atouts immédiats, une utilisation continue et généralisée de l'herbicide pourrait s'avérer néfaste à plus long terme compte tenu de l'impact environnemental des traitements et des conséquences de cette innovation sur l'emploi en milieu rural.

Nos résultats contribuent dès à présent à enrichir le contenu de l'appui technique des agriculteurs. Les outils de caractérisation des situations sous forme de grille d'analyse donnent les moyens aux conseillers de se repérer dans la diversité des milieux et modes de conduites, afin d'aider les agriculteurs à l'adaptation des choix techniques à leurs situations particulières. A travers des modules collectifs de conseil, il s'agit de les orienter vers

des principes de gestion intégrée de l'enherbement, notamment l'alternance de l'utilisation d'herbicide avec le mode de préparation habituelle, la modulation des doses et éventuellement des matières actives selon l'objectif du traitement. Au delà de la contribution à l'élaboration de nouvelles règles de décision pour la mise en œuvre du traitement, le conseil, conçu de manière interactive en privilégiant le dialogue et les échanges d'expériences, doit permettre de renforcer les raisonnements et les processus d'apprentissage des agriculteurs pour la gestion technico-économique du sorgho repiqué. La mise en œuvre d'un conseil diversifié, la nécessaire sensibilisation des agriculteurs vis-à-vis des risques liés à l'environnement et à la santé, et le suivi à long terme de l'évolution des pratiques et de la flore sont autant de mesures qui s'inscrivent dans la continuité de notre démarche pour limiter les effets négatifs et différés de l'innovation. Les choix liés à l'organisation de la filière coton et au fonctionnement des services d'approvisionnement en intrants qui en découlent, peuvent également jouer un rôle déterminant dans l'adoption de techniques culturales raisonnées.

A travers la limitation des surfaces traitées, l'objectif est d'éviter d'atteindre un seuil de "contre-productivité" au delà duquel l'impact global d'une technologie devient plus néfaste que le problème qu'elle est sensée résoudre (Illich, 1973, cité par Dupuy, 2002). Dans notre cas, les risques se situent non seulement au niveau environnemental mais aussi économique avec la diminution des emplois saisonniers, conduisant progressivement à un "*appauvrissement des liens qui unissent les hommes entre eux et à la nature*" (Dupuy, 2002). Dans un contexte d'incertitude concernant l'évolution de la filière cotonnière, l'enjeu est de renforcer l'autonomie des producteurs à travers une plus grande capacité d'analyse et de décision, aussi bien au niveau individuel pour une gestion durable des systèmes de culture à *muskuwaari*, qu'au niveau collectif pour une plus grande prise en compte de la dynamique de cette culture dans la gestion des territoires et des ressources naturelles.

Références bibliographiques

- Aboubakary.** 2004. Diagnostic de l'impact de populations des foreurs des tiges sur la production du sorgho muskuwaari. Evaluation de méthodes de lutte (rapport d'activités du 15 septembre 2003 au 15 avril 2004). ESA/Terdel, Maroua (Cameroun), 28p.
- Ajayi O., Tabo R., Ali D.** 1996. Incidence of stem borers on post rainy-season transplanted sorghum in Cameroon, Nigeria and Chad in 1995/96. *International Sorghum and Millets Newsletter*, 37: 58-59.
- Albaladejo C., Casabianca F.** 1997. La recherche-action. Ambitions, pratiques, débats: INRA, coll. Etudes et recherches sur les systèmes agraires et le développement, 211p.
- Alifa M., Mathieu B.** 2002. Recherche-développement sur les sorghos repiqués : références technico-économiques et conseil aux producteurs. Principaux résultats de la campagne 2001/2002. DPGT/SODECOTON/APROSTOC, Maroua (Cameroun), 33p.
- Almekinders C.J.M., Fresco L.O., Struik P.C.** 1995. The need to study and manage variation in agro-ecosystems. *Netherland Journal of Agriculture Science*, 43: 127-142.
- Aubin J.P.** 1979. Situation et perspectives de développement de la culture du riz pluvial au Nord-Cameroun. GERDAT-IRAT, Montpellier, 50p.
- Aubry C.** 1995. Gestion de la sole d'une culture dans l'exploitation agricole. Cas du blé d'hiver en grande culture dans la région picarde. Thèse de Doctorat, INAPG, Paris, 271p.
- Aubry C., Loyce C., Meynard J.M., Chatelin M.H., Rellier J.P., Verjux N.** 1997. Outils et méthodes pour la conception et l'évaluation d'itinéraires techniques. *C.R Acad. Agric. Fr.* 45 (3): 111-125.
- Aubry C., Papy F., Capillon A.** 1998. Modelling of decision-making processes for annual crop management. *Agricultural Systems*, 56 (1): 45-65.
- Barrault J., Ekebil J.P., Vaillie J.** 1972. Point des travaux de l'IRAT sur les sorghos repiqués du Nord-Cameroun. *Agronomie Tropicale*, 27 (8): 791-814.
- Baylis A.D.** 2000. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pest Management Science*, 56 (4): 299-308.
- Bentz B., Castellanet C., Bergeret P., Wybrecht B.** 2002. Appuyer les innovations paysannes. Dialogue avec les agriculteurs et expérimentations en milieu paysan. Coll. Agridoc. Paris: GRET/Ministère des Affaires Etrangères, 90p.
- Biarnès A., Milleville P.** 1998. Du fonctionnement de l'agrosystème aux déterminants des choix techniques, *In* Biarnès A., (ed.) *La conduite du champ cultivé : points de vue d'agronomes*, Paris: ORSTOM, 219-243.
- Blench R.** 1991. A history of agriculture in Northeastern Nigeria, *In* Barreteau D., *et al.*, (eds.). *L'homme et le milieu végétal dans le Bassin du Lac Tchad*, Paris: ORSTOM, 69-112.
- Boiffin J., Malézieux E., Picard D.** 2001. Cropping systems for the future, *In* Nösberger J., Geiger H. H., Struik P. C., (eds.). *Crop science: progress and prospect*, Oxon (U.K): CAB International, 261-279.
- Bonnal P., Dugué P.** 2000. Mise au point des innovations et des méthodes de conseil aux exploitations agricoles. Leçons d'expériences, atouts et limites des méthodes de recherche utilisées pour le développement de l'agriculture tropicale, *In* Dugué P., (ed.) *Références technico-économiques et conseil aux exploitations agricoles*, Montpellier (FRA), CIRAD. 19-34.

- Bouma J., Loveday J.** 1988. Characterizing soil water regimes in swelling clay soils, *In* Wilding L. P., Puentes R., (eds.). Vertisols : their distribution, properties, classification and management, Texas AM University, 83-96.
- Bouman B.A.M., Van Keulen H., Van Laar H.H., Rabbinge R.** 1996. The "School of de Wit" crop growth simulation models : a pedigree and historical overview. *Agricultural Systems*, 52: 171-198.
- Bousquet V., Legros M.** 2002. Analyse agronomique et sociale du changement technique et de sa diffusion. Application à la culture du sorgho de contre-saison (*muskuwaar*) au Nord-Cameroun. Mémoire de Master, CNEARC, Montpellier, 141p.
- Boutrais J.** 1978. Compétition foncière et développement au nord du Cameroun : la plaine de Mora. *Cahier de l'Onarest*, 1 (2): 53-90.
- Boutrais J.** 1984. Le Nord du Cameroun : Des hommes, une région. Paris: ORSTOM, 518p.
- Brabant P., Gavaud M.** 1985. Les sols et les ressources en terres du Nord-Cameroun. Paris: ORSTOM, 285p.
- Bretaudeau A., Comas J., Ifra D.A., Gomez-MacPherson H., Mathieu B., Ratnadass A.** 2002. La culture du sorgho de décrue, définition et harmonisation des terminologies existantes, *In* Comas J., Gomez-MacPherson H., (eds.). La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional, Madrid, AECI/FAO. 209-218.
- Brossier J., Hubert B.** 2001. Intégrer les sciences biotechniques, économiques et sociales. Recherche sur les systèmes techniques en agriculture, dans le développement rural et dans la gestion des ressources naturelles au département Inra-Sad. *Cahiers Agricultures*, 10 (1): 25-39.
- Brouwer J., Fussel L.K., Herrmann L.** 1993. Soil and crop growth micro-variability in the west african semi-arid tropics : a possible risk-reducing factor for subsistence farmers. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 45: 229-238.
- Brunet R., Ferras R., They H.** 1992. Les Mots de la Géographie, Dictionnaire critique (3ème édition). Paris: La Documentation Française, 420p.
- Bunch R.** 1989. Encouraging farmers' experiments, *In* Chambers R., Pacey A., Thrupp L. A., (eds.). Farmer first : Farmer innovation and agricultural research, London: IT Publications, 55-61.
- Cabidoche Y.M., Guillaume P., Hartmann C.R., S., Blanchart E., Albrecht A., Mahieu M., Achouak W.H., T., Villemin G., Watteau F, Bellier G.** 2000. Déterminants biologiques du système poral de vertisols cultivés (Petites Antilles). *Etude & gestion des sols*, 7 (4): 329-352.
- Capillon A., Caneill J.** 1987. Du champ cultivé aux unités de production : un itinéraire obligé pour l'agronome. *Cah. Sci. Hum.*, 23 (3-4): 409-420.
- Capillon A., Fleury A.** 1986. Conception d'itinéraires techniques et diversité des exploitations agricoles. *B.T.I.*, 408: 269-294.
- Carsky R.J., Ndikawa R., Singh L.** 2002. Establishment of optimum plant densities for dry season sorghum grown on Vertisols in the semi-arid zone of Cameroon. *African Crop Science Journal*, 10 (1): 31-38.
- Carsky R.J., Ndikawa R., Singh L., Rao M.R.** 1995. Response of dry season sorghum to supplemental irrigation and fertilizer N and P on Vertisols in northern Cameroon. *Agricultural water management*, 28 (1): 1-8.
- Cathala M., Woin N., Essang T.** 2003. L'oignon, une production en plein essor en Afrique sahélo-soudanienne. *Cahiers Agricultures*, 12 (4): 261-266.

- Cerf M., Sebillotte M.** 1988. Le modèle général et la prise de décision dans la conduite d'une culture. C.R Acad. Agric. Fr., 74 (4): 81-93.
- Chambers R., Pacey A., Thrupp L.A.** 1989. Farmer first : Farmer innovation and agricultural research. London: IT Publications, 285p.
- Chantereau J.** 2002. Connaissance et utilisation de la diversité des sorghos de décrue en Afrique de l'Ouest et du centre au Cirad, *In* Comas J., Gomez-MacPherson H., (eds.). La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional, Madrid, AECI/FAO. 65-80.
- Chantereau J., Nicou R.** 1991. Le sorgho. Le technicien d'agriculture tropicale. Wageningen: CTA, 60p.
- Chauveau J.P.** 1999. L'étude des dynamiques agraires et la problématique de l'innovation, *In* Chauveau J. P., Cormier Salem M.-C., Mollard E., (eds.). L'innovation en agriculture : questions de méthodes et terrains d'observation, Paris: IRD, 9-31.
- Collinson M.** 2001. Institutional and professional obstacles to a more effective research process for smallholder agriculture. *Agricultural Systems*, 69 (1-2): 27-36.
- Da Camara Smeets M.** 1976. Les dégâts d'oiseaux au berbéré au Tchad et au Nord-Cameroun. *Agronomie Tropicale*, 32 (3): 262-278.
- Dakouo D., Ratnadass A.** 1997. Bioécologie des foreurs de tiges du sorgho en Afrique de l'Ouest et perspectives de lutte intégrée, *In* Ratnadass A., *et al.*, (eds.). Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre, Bamako, Mali, CIRAD. 119-126.
- Darré J.P.** 1996. L'invention des pratiques dans l'agriculture. Vulgarisation et production locale de connaissances. Paris: Karthala, 194p.
- Darré J.P.** 1999. La production de connaissance pour l'action. Arguments contre le racisme de l'intelligence. Paris: Maison des sciences de l'homme. INRA, 244p.
- De Steenhuijsen Piters B.** 1995. Diversity of fields and farmers. Explaining yield variations in northern Cameroon. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, 277p.
- De Steenhuijsen Piters B., Fresco L.O.** 1995. Variation on a theme : conceptualizing system diversity with example from northern Cameroon, *In* Sebillote M., (ed.) Recherches-système en agriculture et développement rural, Symposium international, Montpellier, CIRAD. 22-27.
- Debaeke P.** 1997. Le désherbage intégré en grande culture : bases de raisonnement et perspectives d'application. *Cahiers Agricultures*, 6: 185-194.
- Djamen Nana P., Djonnewa A., Havard M., Legile A.** 2003. Former et conseiller les agriculteurs du Nord-Cameroun pour renforcer leurs capacités de prise de décision. *Cahiers Agricultures*, 12 (4): 241-245.
- Djimadoumngar K.** 2001. Inventaire et cycles biologiques des Lépidoptères foreurs des tiges du sorgho et de leurs principaux parasitoïdes dans la région de N'Djamena (Tchad). Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Exactes et Appliquées de N'Djamena/UMR INRA/INSA Biologie fonctionnelle, Lyon, 194p.
- Djonnewa A., Havard M., Tarla F.N., Zébazé I.** 2001. Les exploitations agricoles dans les terroirs de référence du Prasac au Cameroun en 2000. PRASAC, Garoua, 35p.
- Donfack P., Seignobos C.** 1996. Des plantes indicatrices dans un agrosystème incluant la jachère : les exemples des Peuls et des Guiziga du Nord-Cameroun. *Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée*, 38 (1): 231-250.

Donfack P., Seiny Boukar L., M'Biandoun M. 1996. Les caractéristiques du milieu physique, *In* Seiny-Boukar L., Poulain J. F., Faure G., (eds.). *Agricultures des savanes du Nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique centrale*, Actes de l'atelier d'échange, Garoua, Cameroun, CIRAD. 1-11.

Doré T. 1992. Analyse par voie d'enquête, de la variabilité des rendements et des effets précédents du pois protéagineux de printemps (*Pisum sativum* L.). Thèse de Doctorat, INAPG, Paris, 214p.

Doré T., Sebillotte M., Meynard J.M. 1997. A diagnostic method for assessing regional variations in crop yield. *Agricultural Systems*, 54 (2): 169-188.

Dounias I. 1998. Modèles d'action et d'organisation du travail pour la culture cotonnière : cas des exploitations agricoles du bassin de la Bénoué au Nord Cameroun. Thèse de Doctorat, INA P-G, Paris, 208p.

Dounias I., Aubry C., Capillon A. 2002. Decision-making processes for crop management on African farms. Modelling from a case study of cotton crops in northern Cameroon. *Agricultural Systems*, 73 (3): 233-260.

Douthwaite B., Delve R., Ekboir j., Twomlow S. 2003. Contending with complexity : the role of evaluation in implementing sustainable natural resource management. *International Journal of Agricultural sustainability*, 1 (1): 51-66.

Duboisset A. 2003. L'importance agricole des termitières épigées dans le nord du Cameroun. Thèse de doctorat, Université Paris XII, 450p.

Duchaufour P. 1991. Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. Paris: Masson, 289p.

Dudal R., Eswaran H. 1988. Distribution, properties and classification of vertisols, *In* Wilding L. P., Puentes R., (eds.). *Vertisols : their distribution, properties, classification and management* Texas AM University, Soil Management Support Services, 1-22.

Dupuy J.P. 2002. Ivan Illich ou la bonne nouvelle. *Le monde*, 5 décembre 2002: 11-12.

Duru M., Bellon S., Chatelin M.H., Fiorelli J.L., Gibon A., Havet A., Mathieu A., Osty P.L. 1995. Propositions pour l'aide à la gestion des ressources fourragères : une approche système articulant enquête, expérimentation et simulation, *In* Sebillotte M., (ed.) *Recherches-système en agriculture et développement rural*, Montpellier, CIRAD-SAR.

ENGREF. 2000. Etude de la gestion des ressources ligneuses dans le village de Gadas - Voyage d'étude de la formation Forêt Rurale et Tropicale (Engref). ENGREF-IRAD/PRASAC, Montpellier, 50p.

ENGREF. 2001. Localisation des brousses et accès à la ressource bois de feu dans la région de Maroua, Extrême-Nord Cameroun - Voyage d'étude de la formation Forêt Rurale et Tropicale (Engref). ENGREF-IRAD/PRASAC, Montpellier, 65p.

Faure G., Dugué P., Beauval V. 2004. Conseil à l'exploitation familiale. expériences en Afrique de l'Ouest et du Centre. Coll. Agridoc. Paris: GRET/CIRAD/Ministère des Affaires Etrangères, 127p.

Faure G., Kleene P. 2002. Quel avenir pour le conseil aux exploitations familiales en Afrique de l'Ouest ?, *In* Jamin J. Y., Seiny Boukar L., (eds.). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*, Garoua, Cameroun, PRASAC (Cd-rom).

Fusillier J.-L., Bom Kondé P. 1996. Eléments sur la filière céréalière au Nord-Cameroun, *In* Seiny Boukar L., Poulain J. F., Faure G., (eds.). *Agricultures des savanes du Nord-Cameroun. Vers un développement solidaire des savanes d'Afrique centrale*, Actes de l'atelier d'échange, Garoua, Cameroun, CIRAD. 359-367.

- Gautier D., Ntoupka M.** 2003. Une inflexion dans la dégradation des ressources arborées au Nord-Cameroun. *Cahiers Agricultures*, 12 (4): 235-240.
- Germain P., Ngongo F.** 1973. Densité de semis sur pépinières muskwari, *In* GERDAT-IRAT, Rapport analytique Tome 2 : Centres de Maroua et de Toukou, Yaoundé, 66-67.
- Germain P., Ngongo F., Wegapse V.** 1973. Etude sur l'importance de l'infestation du muskwari par le charbon. Rapport analytique 1972. Tome 2 : IRAT Nord. Centres de Maroua et de Toukou. - Yaoundé : GERDAT-IRAT.
- Gigou J.** 1984. La mobilisation des éléments minéraux par le sorgho IRAT 55 au cours de deux saisons aux pluviométries très différentes. *Agronomie Tropicale* 39(1):324-334.
- Girard N., Hubert B.** 1999. Modelling expert knowledge with knowledge-based systems to design decision aids The example of a knowledge-based model on grazing management. *Agricultural Systems*, 59 (2): 123-144.
- Gnassamo J., Kolyang.** 2002. Mutations agricoles : adoption du riz pluvial dans les plaines Tupuri, *In* Jamin J. Y., Seiny Boukar L., (eds.). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*, Garoua, PRASAC.
- Guis R.** 1976. Un bilan des travaux visant à la mise en culture des sols hardé du Nord-Cameroun. *Agronomie Tropicale*, 31 (2): 141-158.
- Hallaire A.** 1984. Les principales productions, *In* Boutrais J., (ed.) *Le Nord du Cameroun : Des hommes, une région*, Paris: ORSTOM, 407-427.
- Harris D., Frys G.J., Miller S.T.** 1994. Microtopography and agriculture in semi-arid Botswana. Moisture availability, fertility and crop performance. *Agricultural water management*, 26: 133-148.
- Havard M.** 2003. Evolution des conditions de production cotonnière au Cameroun et ses conséquences sur les stratégies paysannes. PRASAC, N'Djamena, 48p.
- Hocdé H.** 2000. Les agriculteurs-expérimentateurs en Amérique centrale, *In* Dugué P., (ed.) *Références technico-économiques et conseil aux exploitations agricoles*, Montpellier, CIRAD. 51-64.
- Holloway J.D.** 2000. Famille Noctuidae, *In* Polaszek A., Delvare G., (eds.). *Les foreurs des tiges de céréales en Afrique. Importance économique, systématique, ennemis naturels et méthodes de lutte*, Montpellier: CIRAD/CTA, 81-89.
- IBPGR.** 1993. Descripteurs du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Patancheru, Inde: ICRISAT, 45p.
- IRAT.** 1971. Inventaire des essais techniques culturale sur le sorgho de décrue dans le oualo du Gorgol, Kaédi 1960-1970 (Mauritanie). IRAT, Montpellier, 106p.
- Iyebi-Mandjek O., Seignobos C.** 1995. Terroir de Mowo. Saturation foncière et émigration. DPGT/SODECOTON/ORSTOM, Maroua, 79p.
- Jamin J.Y.** 1986. L'agriculture de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal : les cultures traditionnelles du waalo et du falo. Rapport annuel IRAT, CIRAD-CA, Montpellier, France, 105p.
- Jamin J.Y.** 1994. De la norme à la diversité : l'intensification rizicole face à la diversité paysanne dans les périmètres irrigués de l'Office du Niger. Thèse de Doctorat, INAPG, Paris, 255p.
- Jones J.W., Hoogenboom G., Porter C.H., Boote K.J., Batchelor W.D., Hunt L.A., Wilkens P.W., Singh U., Gijsman A.J., Ritchie J.T.** 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18 (3-4): 235-265.

Jouve P. 1990. L'analyse agronomique de situations culturales, *In* Bertrand R., Saint Macary H., (eds.). Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales, Montpellier, CIRAD-IRAT. 127-135.

Jouve P. 1992. Le diagnostic du milieu rural : de la région à la parcelle. Approche systémique des modes d'exploitation agricole du milieu. *In* L'appui aux producteurs, Paris: Min. Coopération et Développement, 65-98.

Jouve P. 1997. Des techniques aux pratiques. Conséquences méthodologiques pour l'étude des systèmes de production agricole et le développement rural. *In* Acte du colloque Méthodes pour comprendre et mesurer les pratiques agraires en milieu tropical et leurs transformations, Niamey, IGUL/Université A.Moumouni. 101-114.

Jouve P. 2001. Jachères et systèmes agraires en Afrique subsaharienne, *In* Floret C., Pontanier R., (eds.). La jachère en Afrique tropicale, John Libbey Eurotext. 1-20.

Jouve P., Mercoiret M.R. 1987. La Recherche-Développement : une démarche pour mettre les recherches sur les systèmes de production au service du développement rural. Les Cahiers de la Recherche-Développement, 16: 8-13.

Kahlheber S., Neumann K. 2001. Man and Environment in the West African Sahel : an Interdisciplinary Approach. Conference proceeding, Maiduguri (Nigeria). Frankfurt: Goethe Universität, 227p.

Kebe B. 2002. Le rôle du sorgho de décrue dans la sécurité alimentaire au Sahel, *In* Comas J., Gomez-MacPherson H., (eds.). La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional, Madrid, AECI/FAO. 23-30.

Kirscht H. 2001. Masakwa farming in northeastern Nigeria, *In* Kahlheber S., Neumann K., (eds.). Man and Environment in the West African Sahel - an Interdisciplinary Approach, Maiduguri (Nigeria), Frankfurt : SFB 268. 33-59.

Kropff M., Bouma J., Jones J.W. 2001. Systems approaches for the design of sustainable agro-ecosystems. Agricultural Systems, 70 (2): 369-393.

Lamotte M. 1993. Les sols sableux à forte cohésion des zones tropicales semi-arides : étude du *hardé* Lagadgé au Nord-Cameroun, Univ. Paris VI, dpt sc. de la terre, 315p.

Landais E., Deffontaines J.P. 1988. Les pratiques des agriculteurs, point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. Etudes rurales, 109: 125-158.

Le Bourgeois T., Beix Y. 1993. De l'écologie à la lutte chimique ou biologique : l'exemple de *Launaea chevalieri* O. Hoffm. et Muschl. au Nord-Cameroun, *In* Thomas J. M., (ed.) Conférence Internationale IFOAM : maîtrise des adventices par voie non chimique, Dijon, ENITA (Quétigny, France). 243-247.

Le Bourgeois T., Marnotte P. 2003. La lutte contre les mauvaises herbes, *In* CIRAD-GRET, (ed.) Memento de l'agronome, Paris: CIRAD-GRET-Ministère des Affaires étrangères, 663-684.

Le Bourgeois T., Merlier H. 1995. Adventrop : Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne. Montpellier: CIRAD-CA, 640p.

Le Gal P.Y. 1995. Gestion collective des systèmes de culture en situation d'incertitudes : cas de l'organisation du travail en double riziculture dans le delta du fleuve Sénégal. Thèse de Doctorat, INA P-G, Paris, 233p.

Le Gal P.Y., Milleville P. 1995. Du transfert technique à l'aide à la décision, *In* Sebillote M., (ed.) Recherches-système en agriculture et développement rural, Montpellier, CIRAD-SAR. 191-205.

Lecoq M. 1988. Les criquets du sahel. Montpellier: CIRAD-Prifas, 129p.

Legile A. 2002. Groupements de producteurs cotonniers du Nord-Cameroun : favoriser la responsabilisation collective, *In* Jamin J. Y., Seiny Boukar L., (eds.). Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis, Garoua, Cameroun, PRASAC (Cd-rom).

Lemoigne J.L. 1984. La théorie du système général, théorie de la modélisation. Paris: PUF, 180p.

Lericollais A., Milleville P. 1997. Les temps de l'activité agricole, *In* Blanc-Pamard C., Boutrais J., (eds.). Thème et variations : nouvelles recherches rurales au sud, Paris: ORSTOM (Coll. Colloques et Séminaires), 125-141.

Levang P. 1998. De paysan à planteur en six ans, ou l'étonnante reconversion d'un centre de transmigration en Indonésie, *In* Biarnès A., (ed.) La conduite du champ cultivé : points de vue d'agronomes, Paris: ORSTOM, 281-302.

Liu M. 1995. Recherche-action et dynamique de développement, *In* Sebillote M., (ed.) Recherches-système en agriculture et développement rural, Symposium international, Montpellier, CIRAD.

Madi A. 2000. Les prix des produits et le système productif dans la zone cotonnière de l'Extrême-Nord du Cameroun. Cahiers Agricultures, 9 (2): 125-135.

Malézieux E., Trébuil G. 2000. L'agronomie et la gestion de l'environnement et des ressources naturelles au Cirad. Réflexions, propositions, éléments de prospective. Document de la direction scientifique n°1. Montpellier: CIRAD-Ager, 50p.

Marnotte P. 1984. Influence des facteurs agro-écologiques sur le développement des mauvaises herbes en climat tropical humide. *In* VII^{ème} Colloque international sur la biologie des mauvaises herbes, Dijon, AFPP, Paris. 183-190.

Marnotte P. 1994. La lutte contre *Cyperus rotundus*. Agriculture et développement, 1: 57-58.

Martin J., Gaudard L. 2001. Changes in weeding practices in the cotton-growing zone of Northern Cameroon, *In*: Global weed problems : local and global solutions for the beginning of the century. Proceedings of the third International weed science congress, Foz do Iguaçu, Brazil, IWSS (USA), Cd-rom.

Masse D. 1992. Amélioration du régime hydrique des sols dégradés en vue de leur réhabilitation, cas des vertisols du Nord-Cameroun. Thèse de Doctorat, Toulouse, 187p.

Mathieu B. 2000. Le sorgho repiqué au Nord-Cameroun : De l'analyse des pratiques culturales à l'accompagnement technique des producteurs. Mémoire de DEA ETES, INA P-G, Paris, 103p.

Mathieu B. 2004. Le rôle des APROSTOC dans le développement du stockage villageois et l'émergence de services de conseil aux exploitations dans l'Extrême-Nord du Cameroun. Eléments de diagnostic et perspectives (Compte-rendu de mission auprès du projet ESA/SODECOTON). CIRAD, Montpellier, 42p.

Mathieu B., Alifa M. 2001. Recherche-développement sur les sorghos repiqués - résultats de la campagne 2000/2001. DPGT/SODECOTON, Maroua (Cameroun), 25p.

Mathieu B., Marnotte P. 2000. L'enherbement des sols à *muskuwaari* au Nord-Cameroun. *In* XI^{ème} Colloque international sur la biologie des mauvaises herbes, Dijon, AFPP, Paris. 151-158.

Mathieu B., Marnotte P. 2001. Maîtrise de l'enherbement pour les cultures de *muskuwaari* au Nord-Cameroun. *In* XVII^{ème} conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Toulouse, AFPP. 1231-1238.

Mathieu B., Teyssier A., Abdourahmane N. 2003a. La sécurité alimentaire : une affaire de paysans. Cahiers Agricultures, 12 (4): 275-281.

- Mathieu B., Duboisset A., Gautier D., Papy F., Dore T.** 2003b. Différentes échelles pour comprendre l'organisation spatiale du système de culture à muskuwaari, *In* Dugué P., Jouve P., (eds.). Colloque organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux, Montpellier, France, UMR SAGERT. 51-59.
- M'Biandoun M.** 1990. Zonage agroclimatique du risque de sécheresse régionale. Le cas du Nord-Cameroun. Mémoire de fin d'études, CNEARC-ESAT, Montpellier, 36p.
- McCown R.L.** 2001. Learning to bridge the gap between scientific decision support and the practice of farming : Evolution in paradigms of model-based research and intervention from design to dialogue. *Australian Journal of Agriculture Research*, 52: 549-571.
- McCown R.L.** 2002. Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. *Agricultural Systems*, 74 (1): 179-220.
- Meinke H., Baethgen W.E., Carberry P.S., Donatelli M., Hammer G.L., Selvaraju R., Stockle C.O.** 2001. Increasing profits and reducing risks in crop production using participatory systems simulation approaches. *Agricultural Systems*, 70 (2-3): 493-513.
- Meynard J.M.** 1998. La modélisation du fonctionnement de l'agrosystème, base de la mise au point d'itinéraires techniques et de systèmes de culture, *In* Biarnès A., (ed.) *La conduite du champ cultivé : points de vue d'agronomes*, Paris: ORSTOM, 30-54.
- Meynard J.M., David G.** 1992. Diagnostic sur l'élaboration des rendements des cultures. *Cahiers Agricultures*, 1: 9-19.
- Meynard J.M., Doré T., Habib R.** 2001. L'évaluation et la conception de systèmes de culture pour une agriculture durable. *C.R Acad. Agric.Fr*, 87 (4): 223-236.
- Meynard J.M., Reau R., Robert D., Saulas P.** 1996. Evaluation expérimentale des itinéraires techniques Expérimenter sur les conduites de culture : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation, Paris, Comité Potentialités/DERF/ACTA. 63-72.
- Meynard J.M., Sebillote M.** 1994. L'élaboration du rendement du blé, base pour l'étude des autres céréales à talles, *In* Combe L., Picard D., (eds.). *Elaboration du rendement des cultures*, Paris: INRA, 31-51.
- Milleville P.** 1972. Approche agronomique de la notion de parcelle en milieu traditionnel africain : la parcelle d'arachide en moyenne-Casamance. *Cah. Orstom, sér. Biol.*, 17: 23-37.
- Milleville P.** 1987. Recherche sur les pratiques des agriculteurs. *Les Cahiers de la Recherche-Développement*, 16: 2-7.
- Milleville P.** 1999. Techniques des agronomes, pratiques des agriculteurs, *In* Chauveau J.-P., *et al.*, (eds.). *L'innovation en agriculture : questions de méthodes et terrains d'observation*, Paris: IRD, 35-42.
- Milleville P., Serpantié G.** 1991. Regards sur l'élaboration de la production agricole en agriculture paysanne tropicale : problèmes de méthodes. *In* *Seminfor 5 : Cinquième Séminaire Informatique de l'ORSTOM*, Montpellier (France). 107-123.
- Monthe E.** 1977. Point actuel des travaux de sélection sur les sorghos au Nord-Cameroun. *Agronomie Tropicale*, 32 (3): 280-287.
- Morin S.** 2000. Géomorphologie, *In* Seignobos C., Iyébi-Mandjek O., (eds.). *Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun*, Paris: IRD/MINREST-INC.

- Neve P., Diggle A.J., Smith F.P., Powles S.B.** 2003. Simulating evolution of glyphosate resistance in *Lolium rigidum* L: population biology of a rare resistance trait. *Weed Research*, 43 (6): 404-417.
- Nolot J.M., Debaeke P.** 2003. Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. *Cahiers Agricultures*, 12: 387-400.
- Nonveiller G.** 1984. Catalogue commenté et illustré des insectes du Cameroun d'intérêt agricole. Mémoires 15, Université de Belgrade (Institut pour la protection des plantes), Beograd, Yougoslavie, 210p.
- Noye D.** 1989. Le dictionnaire foulfouldé-français (dialecte peul du Diamaré). Paris: Geuthner, 307p.
- Olina Bassala J.P., M'Biandoun M., Guibert H.** 2002. Evolution des systèmes de culture ou l'introduction des désherbants chimiques dans la zone cotonnière du Cameroun. Diagnostic d'une innovation en pleine expansion, *In* Jamin J. Y., Seiny Boukar L., (eds.). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*, Garoua, Cameroun, PRASAC (Cd-rom).
- Olivier de Sardan J.P.** 1995. Une anthropologie de l'innovation est elle possible?, *In* Chauveau J. P., Yung J.-M., (eds.). *Innovation et sociétés II. Les diversité de l'innovation*, Montpellier: CIRAD, 33-50.
- Ousman H., Seignobos C., Teyssier A., Weber J.** 2002. Eléments d'une stratégie de développement rural pour le Grand Nord du Cameroun. Minagri/SCAC, Yaoundé, Cameroun, 72p.
- Papy F.** 1995. Le management de la production agricole, *In* Sebillote M., (ed.) *Recherches-système en agriculture et développement rural*, Montpellier, CIRAD-SAR. 301-315.
- Papy F.** 1998. Savoir pratique sur les systèmes techniques et aide à la décision, *In* Biarnès A., (ed.) *La conduite du champ cultivé : points de vue d'agronomes*, Paris: ORSTOM, 30-54.
- Papy F.** 2001. Interdépendance des systèmes de culture dans l'exploitation agricole, *In* Malézieux E., Trébuil G., Jaeger M., (eds.). *Modélisation des agro-écosystèmes et aide à la décision*, Paris: CIRAD/INRA, 51-74.
- Papy F.** 2004. Formuler les problèmes de mise en oeuvre des techniques, comprendre les pratiques, penser l'innovation, *In* Blanc-Pamard C., *et al.*, (eds.). *Agro-tribulations*, Paris: L'amitié Pierre-Louis Osty, 59-67.
- Papy F., Servettaz L.** 1986. Jours disponibles et organisation du travail (Exemple des chantiers de préparation des semis au printemps). *B.T.I.*, 412/413: 693-703.
- Papy F., Attonaty J.M., Laporte C., Soler L.G.** 1988. Work organisation simulation as a basis of farm management advice. *Agricultural Systems*, 27 (3): 295-314.
- Papy F., Aubry C., Mousset J.** 1990. Elements pour le choix des équipements et chantiers d'implantation des cultures en liaison avec l'organisation du travail, *In* Boiffin J., Marin-Lafèche A., (eds.). *La structure du sol et son évolution*, Paris: INRA, 157-185.
- Papy F., Baudry J.** 2002. Le système de culture : différents niveaux d'organisation territoriale à distinguer et articuler *Entretiens du Pradel : Agronomes et Territoires*.
- Peltier R.** 1993. Les terres Hardé. Caractérisation et réhabilitation dans le bassin du lac Tchad. Montpellier: CIRAD-Forêt, Cahiers Sc. n°11, 145p.
- Penafiel W., Kammerbauer H.** 2001. Assessment of the use and management of pesticides in a subtropical region in the Alto Beni of Bolivia. *Ecologia en Bolivia* (36): 55-63.
- Perrot N., Gonne S., Mathieu B.** 2002. Biodiversité et usages alimentaires des sorghos muskuwaari au Nord-Cameroun, *In* De Garine H., *et al.*, (eds.). *Colloque Méga-Tchad*, Paris, IRD.

- Pillot D.** 2002. L'innovation au sein des exploitations paysannes. *In* Memento de l'agronome, Paris: CIRAD/GRET/MAE.
- Pingali P.L., Roger P.A.** 1995. Impact of pesticides on farmer health and the rice environment. Norwell (USA): Kluwers Academic Publishers, 664p.
- Polaszek A., Delvare G.** 2000. Les foreurs des tiges de céréales en Afrique. Importance économique, systématique, ennemis naturels et méthodes de lutte. Montpellier: CIRAD/CTA, 534p.
- Pourtier R.** 2003. Les savanes africaines entre local et global : milieux, sociétés, espaces. Cahiers Agricultures, 12 (4): 213-218.
- Raimond C.** 1999. Terres inondées et sorgho repiqué : évolution des espaces agricoles et pastoraux dans le bassin du lac Tchad. Thèse de Doctorat, Université Paris I, Paris, 543 pp.
- Ratnadass A.** 2003. Diagnostic de l'impact des populations de foreurs des tiges sur la production de sorgho muskuwaari; évaluation de méthodes de lutte - Rapport de mission d'appui en Entomologie du sorgho, Nord-Cameroun. Projet ESA (SODECOTON), Garoua, 30p.
- Ratnadass A.** 2004. Rapport de mission au Tchad & Cameroun, 16-25 février 2004. Appui auprès du projet ESA/SODECOTON pour l'analyse des dispositifs expérimentaux de la campagne 2003/2004 concernant l'impact des populations de foreurs des tiges sur la production de sorgho muskuwaari. Projet ESA (SODECOTON), Garoua, 18p.
- Ratnadass A., Djimadounngar K.** 2002. Les insectes ravageurs des sorghos repiqués ou cultivés en conditions de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre, *In* Comas J., Gomez-MacPherson H., (eds.). La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional, Madrid, AECI/FAO. 65-80.
- Raunet M.** 2003. Quelques clés morphopédologiques pour le Nord-Cameroun à l'usage des agronomes. Projet ESA (SODECOTON), Garoua, 30p.
- Reau R., Meynard J.M., Robert D., Gitton C.** 1996. Des essais factoriels aux essais "conduite de culture" Expérimenter sur les conduites de culture : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation, Paris, Comité Potentialités/DERF/ACTA. 52-62.
- Roesch M., Wampfler B., Kénikou Mounkama C.** 2002. Financer la campagne agricole : quels appuis, quelles évolutions ? Le cas du Nord Cameroun, *In* Jamin J. Y., Seiny Boukar L., (eds.). Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis, Garoua, Cameroun, PRASAC (Cd-rom).
- Sabourin E., Silveira L., Sidersky P.** 2004. Production d'innovation en partenariat et agriculteurs-expérimentateurs au Nordeste du Brésil. Cahiers Agricultures, 13 (2): 203-210.
- Scalla R.** 1991. Les herbicides, mode d'action et principes d'utilisation. Paris: INRA, 450p.
- Sebillotte M.** 1974. Agronomie et agriculture : essai d'analyse des tâches de l'agronome. Cah. Orstom, sér. Biol., 24: 3-25.
- Sebillotte M.** 1987. Les démarches de l'agronome en situations paysannes. Eléments de réflexion. *In* 4th Thailand National Farming system seminar, Haad Yai (Thaïlande). 1-27.
- Sebillotte M.** 1990a. Les processus de décision des agriculteurs. Deuxième partie : conséquences pour les démarches d'aide à la décision, *In* Brossier J., Vissac B., Lemoigne J. L., (eds.). Modélisation systémique et systèmes agraires, Paris: INRA, 88-102.

Sebillotte M. 1990b. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes, *In* Combe L., Picard D., (eds.). Un point sur les systèmes de culture, Paris: INRA, 165-196.

Sebillotte M. 2000. Des recherches pour le développement local - Partenariat et Transdisciplinarité. *Revue d'économie régionale et urbaine*, 3: 3-25.

Sebillotte M., Servettaz L. 1989. Localisation et conduite de la betterave sucrière. L'analyse des décisions techniques., *In* Sebillotte M., (ed.) Fertilité et systèmes de production, Paris: INRA, 308-344.

Sebillotte M., Soler L.G. 1988. Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur. *C.R Acad. Agric. Fr.*, 74 (4): 59-70.

Sebillotte M., Soler L.G. 1990. Les processus de décision des agriculteurs. Première partie : Acquis et questions vives, *In* Brossier J., Vissac B., Lemoigne J. L., (eds.). Modélisation systémique et systèmes agraires, Paris: INRA, 88-102.

Seignobos C. 1993. Hardé et Karal du Nord-Cameroun. Leur perception par les populations agropastorales du Diamaré, *In* Peltier R., (ed.) Les terres Hardé. Caractérisation et réhabilitation dans le bassin du lac Tchad, Montpellier: CIRAD-Forêt, Cahiers Sc. n°11, 9-28.

Seignobos C. 1997. Terroir de Joodi - Feere et Ziling - Juutgo. Terroir péri-urbain et maraîchage. DPGT/SODECOTON/ORSTOM, Maroua, 67p.

Seignobos C. 1998. Le pays *mundang*, du "progrès" au "développement durable". DPGT/SODECOTON/IRD, Maroua, 123p.

Seignobos C. 2000. Sorghos et civilisations agraires, *In* Seignobos C., Iyébi-Mandjek O., (eds.). Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun, Paris: IRD/MINREST-INC.

Seignobos C., Iyebi-Mandjeck O., Nassourou A. 1995. Terroir de Balaza-Domayo. Saturation foncière et *muskuwaari*. DPGT/SODECOTON/ORSTOM, Maroua, 62p.

Seignobos C., Iyébi-Mandjek O. 2000. Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun. IRD/MINREST-INC, Paris.

Seignobos C., Teyssier A. 1997. Observatoire du foncier n°1 : Enjeux fonciers dans la zone cotonnière du Cameroun. DPGT/IRD, Maroua, 52p.

Seignobos C., Teyssier A. 1998. Observatoire du foncier n°2 : Enjeux fonciers dans la zone cotonnière du Cameroun. DPGT/IRD, Maroua, 52p.

Seiny Boukar L. 1990. Régime hydrique et dégradation des sols dans le Nord Cameroun. Thèse de Doctorat, Université de Yaoundé, Yaoundé, 226p.

Sène M. 1999. Analyse de l'influence des systèmes de culture sur la variabilité des rendements du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench et sur son effet allélopathique dans le Sine-Saloum. Thèse de doctorat, INAPG, Paris, 185p.

Sine B. 2003. Evaluation d'une core collection de sorgho en conditions de déficit hydrique pré-floral. Mémoire de DEA, Université Cheick Anta Diop, Faculté des Sciences et Techniques, Dakar, 75p.

Smith P.J. 1994. Identifying research priorities in developing countries. *Agricultural Systems*, 45 (4): 455-468.

SODECOTON. 2003. Rapport semestriel de campagne agricole, Garoua, Cameroun, 70p.

- Sumberg J., Okali C., Reece D.** 2003. Agricultural research in the face of diversity, local knowledge and the participation imperative: theoretical considerations. *Agricultural Systems*, 76 (2): 739-753.
- Téhia K.E., Marnotte P., S D.** 1996. Comportement des mauvaises herbes dans un système de culture en couloirs (Haies de *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit). *In* X^{ème} Colloque international sur la biologie des mauvaises herbes, Dijon, AFPP, Paris. 403-408.
- Tabo R., Olabanji O.G., Ajayi O., Flower D.J.** 2002. Effect of plant population density on the growth and yield of sorghum varieties grown on a vertisol. *African Crop Science Journal*, 10 (1): 39-49.
- Teyssier A., Magrin G., Duteurtre G.** 2002. Faut-il brûler les greniers communautaires? Quelques éléments de réflexion pour des politiques de sécurité alimentaire en zone sahélo-soudanienne, *In* De Garine H., Raimond C., Langlois, (eds.). Colloque Méga-Tchad, Paris, IRD.
- Tourneux H.** 1993. La perception des pictogrammes phytosanitaires par les paysans du Nord-Cameroun. *Coton et Fibres Tropicales*, 48 (1): 41-56.
- Tourneux H., Dairou Y.** 1998. Dictionnaire peul de l'agriculture et de la nature. Paris: Karthala/CTA/CIRAD, 549p.
- United Nations Environment Programme.** 1984. Paraquat and diquat. *Environmental Health Criteria*, 39: 181.
- Vaille J., Goma H.** 1974. Mode de repiquage du muskwari X fertilisation, *In* GERDAT-IRAT, Rapport analytique Tome 2 : Station de Maroua, Yaoundé. 136-140.
- Vaksmann M., Traore S.B., Niangado.** 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et développement*, 9: 13-18.
- Vall E., Cathala M., Marnotte P., Pirot R., Olina J.-P., Mathieu B., Guibert H., Naudin K., Aboubakary, Pabamé Tchinsahbé I.** 2002. Pourquoi inciter les agriculteurs à innover dans les techniques de désherbage ? Etat de la pratique et propositions de la recherche. Colloque Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis, Garoua, Cameroun, Prasad.
- Vall E., Ngoutsop D.A.** 2001. Trajectoires des exploitations agricoles utilisant la traction animale au Nord-Cameroun (Villages de Gadas, Mowo et Mafa Kilda). IRAD/PRASAC, Garoua, 53p.
- Vernier P., Aboubakar B., Tchari B.** 1987. Le système de double culture riz pluvial - sorgho muskwari au Cameroun. Essais préliminaires. *Agronomie Tropicale*, 42 (4): 280-288.
- Vincent G., Chauvel B., Bourlier M.** 2004. Effets de faibles doses d'herbicides sur la croissance du vulpin (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *In* XIX^{ème} conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Dijon, AFPP. à paraître.
- Weisenburger D.D.** 1993. Human health effects of agrichemical use. *Human Pathology*, 24 (6): 571-576.
- Williams G.M., Kroes R., Munro I.C.** 2000. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. *Regulatory-toxicology-and-pharmacology-Print*, 31: 117-165.
- Yung J.-M., Bosc P.M.** 1999. Schumpeter au Sahel, *In* Chauveau J. P., Cormier Salem M.-C., Mollard E., (eds.). L'innovation en agriculture : questions de méthodes et terrains d'observation, Paris: IRD, 143-168.
- Yung J.-M., Chauveau J.P.** 1995. Débat introductif, *In* Chauveau J. P., Yung J.-M., (eds.). Innovation et sociétés II. Les diversités de l'innovation, Montpellier: CIRAD, 17-32.

Table des matières

Chapitre 1 : Une démarche agronomique pour accompagner l'évolution des systèmes de culture à *muskuwaari*

1.	Le <i>muskuwaari</i> dans l'Extrême-Nord Cameroun : historique et situation actuelle	13
1.1.	<i>Le sorgho repiqué parmi les systèmes de culture de sorgho de saison sèche</i>	<i>13</i>
1.2.	<i>Historique de la culture du muskuwaari dans l'Extrême-Nord</i>	<i>17</i>
1.2.1.	Diffusion de la culture par les Fulbe.....	17
1.2.2.	Extension récente dans les plaines de l'Extrême-Nord.....	19
1.2.2.1.	Accroissement des superficies et évolution du système de production	20
1.2.2.2.	Amélioration et diversification des systèmes de culture avec l'extension	21
1.3.	<i>La situation actuelle : aire d'extension et place dans les systèmes de production.....</i>	<i>24</i>
1.3.1.	Vertisols et répartition des zones à muskuwaari.....	24
1.3.1.1.	Aperçu pédologique de la gamme des vertisols	24
1.3.1.2.	Essai de zonage des systèmes de culture à <i>muskuwaari</i> dans l'Extrême-Nord	31
1.3.1.3.	Limites de la cartographie des vertisols et du zonage	33
1.3.2.	Un accès différencié à la culture du muskuwaari.....	33
1.3.2.1.	Règles générales de gestion du foncier	34
1.3.2.2.	Proportion variable du <i>muskuwaari</i> dans les systèmes de production	34
1.3.2.3.	<i>Muskuwaari</i> et enjeux fonciers	36
1.3.3.	Extension du sorgho repiqué et gestion des ressources naturelles.....	37
2.	Position du problème.....	38
2.1.	<i>Contribution de la filière coton à l'évolution du système de culture à muskuwaari.....</i>	<i>38</i>
2.2.	<i>Les interventions sur la filière céréales depuis 1996.....</i>	<i>40</i>
2.2.1.	Premiers essais de traitements herbicides pour la maîtrise d'adventices vivaces.....	40
2.2.2.	Emergence de services de conseil	40
2.3.	<i>Le traitement herbicide dans le karal, une pratique non stabilisée.....</i>	<i>41</i>
2.4.	<i>Problématique et hypothèses de travail</i>	<i>42</i>
2.5.	<i>Enjeux de la recherche</i>	<i>43</i>
3.	Démarche, cadre d'analyse et méthodologie.....	45
3.1.	<i>Démarche et justification.....</i>	<i>45</i>
3.2.	<i>Cadre théorique</i>	<i>46</i>
3.2.1.	Recherche système et processus d'innovation.....	46
3.2.1.1.	Entre R-D, R-A et RP, un dénominateur commun : impliquer les acteurs	47
3.2.1.2.	L'innovation comme phénomène social global	48
3.2.2.	Comprendre et agir sur l'évolution des systèmes de culture	49
3.2.2.1.	Le concept de système de culture	49
3.2.2.2.	L'évaluation des pratiques pour l'amélioration du système de culture.....	50
3.2.2.3.	Analyser les processus de décision pour la gestion technique d'une culture	51
3.3.	<i>Dispositif de recherche.....</i>	<i>53</i>
3.3.1.	Présentation des sites d'études	53
3.3.1.1.	Choix des deux villages	53
3.3.1.2.	Principales caractéristiques des sites.....	53
3.3.2.	Echantillonnage des agriculteurs et des parcelles d'essai.....	56
4.	Synthèse.....	57

Chapitre 2 : Caractérisation de la diversité des systèmes de culture à muskuwaari

1.	Méthode.....	59
2.	Problématique générale de la culture du <i>muskuwaari</i>	59
3.	Le sorgho repiqué : la plante dans son milieu	61
3.1.	<i>Rappels sur le sorgho et spécificités du muskuwaari</i>	61
3.1.1.	Morphologie.....	61
3.1.2.	Physiologie	62
3.1.3.	Les besoins en eau.....	63
3.1.4.	Les ravageurs et maladies du sorgho repiqué.....	64
3.1.4.1.	Les attaques de criquets à la reprise.....	64
3.1.4.2.	Les foreurs des tiges	65
3.1.4.3.	Autres insectes nuisibles	68
3.1.4.4.	Les oiseaux granivores.....	68
3.1.4.5.	Les maladies	69
3.2.	<i>Influence du climat sur la réussite du sorgho repiqué</i>	69
3.2.1.	Caractéristiques générales du climat.....	70
3.2.2.	Rôle du scénario pluviométrique sur la recharge en eau des sols.....	71
3.2.3.	Déroulement de la fin de saison des pluies et déclenchement des semis et du repiquage.....	71
3.2.4.	Caractéristiques climatiques au cours des deux années de suivi.....	75
4.	Hétérogénéité des milieux et diversité des pratiques.....	75
4.1.	<i>Dimension collective et organisation spatiale du système de culture à l'échelle territoriale</i>	75
4.1.1.	Dimensions collectives du système de culture	76
4.1.2.	Distribution des terres à muskuwaari à l'échelle du territoire.....	77
4.1.2.1.	Classifications locales et caractéristiques pédologiques	79
4.1.2.2.	Régimes hydriques et aménagements selon le type de vertisol.....	80
4.1.2.3.	Répartition des terres dans le territoire.....	83
4.2.	<i>Les pratiques des agriculteurs face à l'hétérogénéité du milieu</i>	84
4.2.1.	Interventions dans le karal au cours de la saison des pluies	84
4.2.1.1.	Aménagements pour favoriser la recharge en eau du sol	84
4.2.1.2.	Maîtrise de certaines adventices et des ligneux	85
4.2.1.3.	Un système particulier : la double culture riz- <i>muskuwaari</i>	85
4.2.2.	Agrobiodiversité des sorghos muskuwaari	86
4.2.3.	Gestion des pépinières	87
4.2.3.1.	Décision du premier semis	87
4.2.3.2.	La réalisation des semis	89
4.2.3.3.	Les moyens pour étaler la fourniture en plants.....	90
4.2.3.4.	Sélection des plants lors du repiquage.....	90
4.2.4.	L'hétérogénéité des sols, condition de la faisabilité de l'implantation	91
4.2.5.	Une grande diversité de modes de préparation des parcelles.....	92
4.2.6.	Ajustement de la trouaison et de la densité aux types de sols	95
4.2.7.	Des travaux de sarclage relativement réduits.....	96
4.2.8.	Organisation des récoltes	96
5.	Conclusion discussion	97

Chapitre 3 : Formalisation des règles de décision pour la conduite du *muskuwaari*, évolution avec l'adoption du traitement herbicide

1.	Formaliser les décisions techniques pour la conduite du sorgho repiqué : concepts et méthodes utilisés	99
1.1.	<i>Le concept de modèle d'action</i>	100
1.2.	<i>Application du concept de modèle d'action pour analyser la conduite du muskuwaari</i>	100
1.3.	<i>Concepts et catégories de RdD utilisés</i>	101
1.4.	<i>Méthode d'enquêtes et déroulement</i>	103
1.5.	<i>Formalisation des résultats</i>	104
2.	Résultats sur les RdD et formalisation des modèles d'action.....	105
2.1.	<i>Formaliser les RdD à travers l'exemple de l'exploitation de G.O</i>	105
2.1.1.	Éléments de structure et de fonctionnement de l'exploitation de G.O	105
2.1.2.	Règles de décision pour les semis, l'implantation et l'entretien du muskuwaari	107
2.1.2.1.	Constitution des chantiers et modalités d'intervention.....	107
2.1.2.2.	La gestion des semis en pépinières	108
2.1.2.3.	Déroulement des semis en 2001 et 2002 (Cf. Tableau III-3 et Figure III-3).....	108
2.1.2.4.	La conduite de l'implantation et de l'entretien de la sole à <i>muskuwaari</i>	112
	✓ Déclenchement de l'implantation dans les parties surélevées et intermédiaires	112
	✓ Déclenchement de l'implantation pour les parcelles en bas de topographie	112
	✓ Enchaînement des opérations d'implantation	113
	✓ Articulation des sarclages avec les récoltes des cultures pluviales	114
2.1.2.5.	Déroulement de l'implantation et des sarclages en 2001 et 2002 (Figure III-3).....	114
2.1.2.6.	Evolution des temps de travaux et des charges avec l'adoption de l'herbicide	115
2.1.2.7.	Enseignements à tirer de la représentation des règles de décision de G.O.....	117
2.2.	<i>Comparaison des modes de conduite dans les autres exploitations enquêtées</i>	117
2.2.1.	Existence de "métarègles"	117
2.2.1.1.	Règles sociales de constitution des chantiers	117
2.2.1.2.	Les points communs dans l'organisation de l'enchaînement des opérations	117
2.2.1.3.	Déclenchement de l'implantation dans certains sols filtrants.....	119
2.2.2.	Les différences dans la conduite technique, des semis à la fin du sarclage.....	119
2.2.2.1.	Diversité de gestion des semis en pépinières	119
	✓ Règles de déclenchement des semis : combiner références locales, événement climatique et caractéristiques du karal.....	119
	✓ Echelonnement des semis, choix des emplacements et des variétés	123
2.2.2.2.	Différents modes de conduite de la phase d'implantation	126
	✓ Déclenchement de la préparation et du repiquage	126
	✓ Variations de la gestion de l'implantation selon la main d'œuvre disponible.....	127
	✓ Les ajustements de la conduite liés au scénario climatique	134
2.2.2.3.	Gestion des sarclages pendant la période de récolte des cultures pluviales	135
2.3.	<i>Synthèse sur l'évolution des RdD liée à l'introduction de l'herbicide</i>	137
3.	Grille d'analyse de la conduite du <i>muskuwaari</i> à l'usage de conseillers	138
4.	Discussion-conclusion	140

Chapitre 4 : Diagnostic agronomique et évaluation des effets du traitement herbicide sur le fonctionnement de l'agro-écosystème

1.	Eléments de bibliographie sur le fonctionnement du peuplement de sorgho.....	143
1.1.	<i>Cycle de développement du sorgho et analyse des composantes du rendement.....</i>	<i>143</i>
1.2.	<i>Nutrition du sorgho en éléments minéraux.....</i>	<i>144</i>
1.3.	<i>Influence des conditions du milieu.....</i>	<i>144</i>
1.3.1.	Importance du stress hydrique pour le sorgho de saison sèche.....	144
1.3.2.	Stress biotiques.....	145
2.	Présentation du dispositif expérimental.....	145
2.1.	<i>L'évaluation expérimentale des itinéraires techniques.....</i>	<i>145</i>
2.2.	<i>Echantillonnage des parcelles paysannes et des placettes d'observations.....</i>	<i>148</i>
2.3.	<i>Mesures et observations effectuées.....</i>	<i>151</i>
2.3.1.	Caractérisation du milieu et des systèmes de culture.....	151
2.3.2.	Caractérisation du fonctionnement du peuplement végétal.....	152
2.3.2.1.	Observations sur les plants de sorgho.....	152
2.3.2.2.	Suivi de l'enherbement.....	153
2.4.	<i>Traitement des données.....</i>	<i>154</i>
3.	Diagnostic sur la variabilité des rendements dans les parcelles témoin.....	157
3.1.	<i>Analyse de l'élaboration du rendement.....</i>	<i>157</i>
3.1.1.	Variabilité des rendements, des nombres de grains et des poids moyens des grains, relations entre les composantes.....	157
3.1.2.	Variabilité des nombres de grains.....	161
3.1.2.1.	Relation entre nombres de panicule par m ² et nombres de grains.....	161
3.1.2.2.	Relation entre nombre de pieds et nombre de panicules.....	163
3.1.3.	Ce qu'il faut retenir.....	165
3.2.	<i>Etats du milieu à l'origine des variations de rendement.....</i>	<i>165</i>
3.2.1.	Influence des états hydriques et nutritionnels sur les composantes du rendement.....	165
3.2.1.1.	Importance des conditions édaphiques sur l'alimentation en eau.....	167
3.2.1.2.	Relations entre stress hydrique et nutrition azotée.....	169
3.2.1.3.	Effets des stress hydriques sur les nombres de grains par panicule et les poids moyen d'un grain.....	171
3.2.2.	Influence de l'enherbement sur les états nutritionnels.....	171
3.2.2.1.	Caractérisation de l'enherbement en fonction des types de sols.....	171
3.2.2.2.	Impact de l'enherbement sur les composantes du rendement.....	177
3.2.3.	Impact des attaques de criquets sur les pertes de pieds.....	179
3.2.4.	Importance des dégâts de foreurs des tiges sur le rendement.....	180
3.2.4.1.	Dynamique des infestations, impact sur la production de grains.....	181
3.2.4.2.	Impact des foreurs sur la production fourragère.....	182
3.2.5.	Autres ravageurs et maladies.....	183
3.2.6.	Synthèse sur les états du milieu affectant l'élaboration du rendement.....	184
3.3.	<i>Impact des caractéristiques de repiquage sur les états du milieu.....</i>	<i>185</i>
3.3.1.	Influence des caractéristiques des plants au repiquage.....	185
3.3.2.	Rôles de la date de repiquage et de la densité sur l'alimentation en eau.....	187

Chapitre 5 : Discussion et perspectives

1.	Intérêts des résultats pour faire évoluer les pratiques culturales	221
1.1.	<i>Retour sur les hypothèses</i>	221
1.2.	<i>Domaine de validité des références établies</i>	222
1.3.	<i>Raisonnement des applications selon le mode de conduite et le scénario climatique</i>	223
1.4.	<i>Une impérative mise en garde sur l'utilisation des herbicides.....</i>	225
1.4.1.	Sélection de flore et résistance des adventices au glyphosate	225
1.4.2.	Incidence des herbicides sur la santé humaine et l'environnement.....	226
2.	Conséquences pour le conseil et l'accompagnement technique des producteurs	228
2.1.	<i>Vers un conseil diversifié et adaptatif.....</i>	228
2.2.	<i>Poursuivre l'accompagnement du changement technique.....</i>	229
2.2.1.	Suivi des pratiques et de la flore.....	229
2.2.2.	L'évolution des pratiques culturales liée à l'avenir de la filière coton.....	229
3.	Orientations des recherches sur les systèmes de culture à <i>muskuwaari</i>	230
3.1.	<i>Pour la construction d'innovations en partenariat</i>	230
3.2.	<i>Suivre et orienter la dynamique du muskuwaari à l'échelle des territoires.....</i>	231
	Conclusion.....	233
	Références bibliographiques.....	235
	Annexes.....	258
	Summary	
	Résumé	

Liste des Tableaux

Tableau I-1 : Caractéristiques des vertisols et sols vertiques à l'intérieur des EP identifiés	28
Tableau I-2 : Proportion des superficies et des producteurs de <i>muskuwaari</i> dans différents terroirs	35
Tableau I-3 : Emploi d'herbicide dans les terres à <i>muskuwaari</i> et formation technique des producteurs	41
Tableau I-4 : Principales caractéristiques des deux terroirs de référence.....	54
Tableau I-5 : Composition de l'échantillon d'exploitations à partir de typologies simplifiées à Balaza et Mowo ...	55
Tableau II-1 : Types de scénarios pluviométriques annuels à Maroua de 1980 à 2002	72
Tableau II-2 : Analyse fréquentielle de la période de pluie théorique au delà de laquelle l'implantation.....	72
Tableau II-3 : Correspondance entre date de semis, date de repiquage et fréquence de la pluie théorique permettant le déclenchement de l'implantation	72
Tableau II-4 : Texture moyenne et caractéristiques chimiques des vertisols échantillonnés à Balaza et Mowo...	78
Tableau II-5 : Quelques caractéristiques pédologiques de vertisols à partir d'autres sites d'étude	78
Tableau II-6 : Suivi de la densité dans les premières pépinières à Balaza et Mowo (campagne 2002/2003).....	88
Tableau II-7 : Modalités d'intervention pour la gestion de l'enherbement	92
Tableau III-1 : Principaux indicateurs pour les 2 années d'enquêtes	106
Tableau III-2 : Les différents chantiers et modalités d'intervention de G.O pour la culture du <i>muskuwaari</i>	106
Tableau III-3 : Caractéristiques des pépinières de G.O en 2001 et 2002	109
Tableau III-4 : Ordre de repiquage des différents terrains et pépinières utilisées	113
Tableau III-5 : Détail des dépenses et temps de travaux de G.O pour la préparation de ses <i>kare</i> , et marges brutes/ha obtenues lors de trois campagnes successives.	116
Tableau III-6 : Récapitulatif des différents indicateurs dans le temps pour le déclenchement du premier semis	122
Tableau III-7 : Gestion des semis selon les caractéristiques de la sole et le mode de préparation des pép.	122
Tableau III-8 : Influence de la pluviométrie en août-septembre sur la durée moyenne de la période des semis	124
Tableau III-9 : Variation du modèle d'action et des contenus des règles de décision.....	132
Tableau III-10 : Récapitulatif des pratiques enregistrées pour la préparation et le sarclage du <i>muskuwaari</i> dans les exploitations suivis en 2001 et 2002.....	136

Tableau IV-1 : Caractéristiques des expérimentations en parcelles paysannes lors des deux campagnes	150
Tableau IV-2 : Caractéristiques des différents herbicides utilisés.....	152
Tableau IV-3 : Récapitulatifs des relevés réalisés pour la caractérisation de l'enherbement dans les tests.....	154
Tableau IV-4 : Moyennes des rendements, des nombres de grains et des poids moyen d'un grain pour les deux campagnes de suivi en parcelles paysannes.....	156
Tableau IV-5 : Valeurs de composantes du rendement obtenues à partir d'un essai variétal à l'optimum..	159
Tableau IV-6 : Répartition des principales espèces en fonction du type de sol avant implantation.	172
Tableau IV-7 : Principales adventices identifiées à Balaza au cours du cycle cultural, classées pour chaque grand type de sol en fonction de leur fréquence relative (Fr) et recouvrement local (RI).....	174
Tableau IV-8 : Principales adventices identifiées à Mowo au cours du cycle cultural, classées pour chaque grand type de sol en fonction de leur fréquence relative (Fr) et recouvrement local (RI)	174
Tableau IV-9 : Comparaison interannuelle des fréquences et recouvrement des principales mauvaises herbes. Relevés effectués dans les mêmes parcelles en 2001/2002 et 2002/2003.	176
Tableau IV-10 : Moyennes par année et par site, des taux d'infestation par les foreurs et des pertes de rendement en grains et fourrage.....	180
Tableau IV-11 : Moyennes par année et par variété des pertes de rendement en grains et fourrage	180
Tableau IV-12 : Moyennes par année et par site des taux d'infestation par différents ravageurs et maladies d'importance secondaires	183
Tableau IV-13 : Conditions d'implantation et élaboration du rendement dans deux essais en situation 1.....	191
Tableau IV-14 : Fréquence et recouvrement (en %) des principales adventices après repiquage situation1	192
Tableau IV-15 : Conditions de préparation des parcelles et maîtrise de l'enherbt. dans les essais situation2 ...	194
Tableau IV-16 : Fréquence et recouvrement (en %) des principales adventices après repiquage situation 2....	194
Tableau IV-17 : Composantes du rendement et indicateurs des états quatre essais situation 2.....	198
Tableau IV-18 : Conditions de préparation et maîtrise de l'enherbement dans les essais en situation 3	202
Tableau IV-19 : Fréquence et recouvrement (en %) des principales adventices après repiquage situation 3....	202
Tableau IV-20 : Composantes du rendement et indicateurs des états du milieu dans deux essais situation 3.	204
Tableau IV-21 : Conditions de préparation des parcelles et maîtrise de l'enherbmt. dans les essais situation 4	206
Tableau IV-22 : Fréquence et recouvrement des principales adventices après repiquage en situation 4	206
Tableau IV-23 : Composantes du rendement et indicateurs des états du m. dans quatre essais en situation 2	210
Tableau IV-24 : Suivi de l'arrière-effet du traitement dans 7 essais de la campagne 2001/2002 situations 1. ...	212
Tableau IV-25 : Suivi de l'arrière-effet du traitement dans 5 essais en situations 3 et 4. Indicateurs des principales espèces.....	214
Tableau IV-26 : Principales options techniques pour la gestion de l'enherbement en fonction des situations....	216

Liste des Figures

Figure I-1 : Les différents types de système de sorgho de saison sèche	14
Figure I-2 : Occupation des terres à sorgho repiqué au cours de l'année et Itinéraire technique	14
Figure I-3 : Calendrier agricole des principales cultures dans l'Extrême-Nord	18
Figure I-4 : Evolutions des principales cultures dans la zone cotonnière de l'Extrême-Nord Cameroun	18
Figure I-5 : Evolution de la consommation d'herbicide total dans les cultures de coton et de <i>muskuwaari</i> de la zone cotonnière de l'Extrême-Nord (source : SODECOTON).....	39
Figure I-6 : Synthèse de la démarche de recherche, niveaux d'analyse et résultats attendus	44
Figure I-7 : Structure du dispositif de recherche	54
Carte 1 : Carte de situation de la région d'étude.....	16
Carte 2 : Les différents types de vertisols et sols vertiques susceptibles d'être valorisés	26
Carte 3 : Zonage des systèmes de culture à muskuwaari dans l'Extrême-Nord Cameroun.....	30
Figure II-1 : Enchaînement-type des opérations culturales pour le <i>muskuwaari</i> replacé dans l'ensemble du calendrier des travaux de culture	60
Figure II-2 : Successions possibles des générations de <i>Sesamia cretica</i> au cours d'une année sur différentes plantes hôtes.....	66
Figure II-3 : Pluviométrie décadaire pour les années 2001 et 2002 dans les deux terroirs de référence	74
Figure II-4 : Températures moyennes journalières du 1 ^{er} octobre au 20 février lors des deux campagnes.....	74
Figure II-5 : Teneur en argile des différents types de sols à <i>muskuwaari</i> selon les dénominations locales des agriculteurs à Balaza (graphique de gauche) et à Mowo (graphique de droite).....	78
Figure II-6 : Toposéquence type d'un <i>karal</i> , d'après la classification des terres à <i>muskuwaari</i> utilisée par les Fulbe.....	82
Figure II-7 : Durée entre semis et prélèvement des plants dans les pépinières suivies à Balaza et Mowo.....	88
Figure II-8 : Variabilité de la profondeur de repiquage dans les différents types de sol à Balaza et Mowo	94
Figure II-9 : Variabilité de la densité de repiquage dans les différents types de sol à Balaza et Mowo.....	94
Figure III-1 : Déroulement et contenu des enquêtes parallèlement aux deux campagnes de suivi	102
Figure III-2 : Modèle d'action de G.O : RdD pour l'enchaînement des opérations	110
Figure III-3 : Réalisations en 2001/2002 et 2002/2003	111
Figure III-4 : Suivi des pratiques de semis à Balaza lors des campagnes 2001/2002 et 2002/2003	120
Figure III-5 : Suivi des pratiques de semis à Mowo lors des campagnes 2001/2002 et 2002/2003.	121
Figure III-6 : Organisation spatiale du <i>karal</i> de A.B (1 ha) et enchaînement des séquences de fauchage (F) et repiquage (R) lors de la campagne 2001/2002.....	128
Figure III-7 : Organisation spatiale du <i>karal</i> de N.A (1,25 ha) et enchaînement de l'implantation lors des deux campagnes de suivi	133

Figure IV-1 : Dispositifs expérimentaux mis en place lors des deux campagnes d'essai. Exemple de tests installés dans le <i>karal</i> de G.O (1,5 ha environ)	149
Figure IV-2 : Variabilité des rendements dans les parcelles paysannes en 2001/2002 et 2002/2003.....	156
Figure IV-3 : Relations entre rendements, nombres de grains et poids moyens d'un grain.....	158
Figure IV-4 : Relations entre nombre de grains, nombre de panicules par m ² et poids paniculaire.....	160
Figure IV-5: Relations entre nombre de panicules, nombre de tiges et nombre de pieds par m ²	162
Figure IV-6: Relations entre le nombre de pieds récoltés, de pieds repris et de pieds repiqués par m ²	164
Figure IV-7 : Evolution des symptômes de stress hydriques dans les différentes parcelles.....	166
Figure IV-8 : Relations entre le nombre de feuilles vertes à la floraison, et l'alimentation hydrique et azotée....	168
Figure IV-9 : Relation entre les symptômes d'enroulement des feuilles à l'initiation paniculaire et en fin de floraison sur le nombre de grains par panicule et le poids moyen d'un grain.....	170
Figure IV-10 : Répartition des parcelles par classes d'enherbement global (avant sarclage et à la floraison), en fonction des niveaux de stress hydriques, de classes de nombre de grains par m ² et de poids moyen d'un grain.....	176
Figure IV-11 : Evolution de l'enherbement global dans 3 parcelles prises comme exemple à Balaza et à Mowo, lors des deux campagnes de suivies (S ₁ = premier sarclage ; S ₂ = deuxième sarclage 2 ; FI. = 50% floraison)	178
Figure IV-12 : Relation entre l'intensité des attaques de criquets et les pertes de pieds entre la reprise et la floraison	178
Figure IV-13 : Relation entre date de repiquage et symptôme de stress hydriques à l'IP (30 JAR) selon les types de sol. Les parcelles de Balaza et Mowo ont été regroupées dans l'un des deux grands types de sol : s-h : sols <i>sa'doore</i> et <i>hardé</i> ; w-nd : sols <i>baleewal</i> et <i>n'deleb</i>	186
Figure IV-14 : Schéma simplifié de l'élaboration du rendement du sorgho <i>muskuwaari</i> . Les éléments qui figurent en gras sont ceux pour lesquels notre dispositif a permis de mettre en évidence le rôle dans l'établissement des composantes du rendement.....	188
Figure IV-15 : Comparaison de l'évolution de l'enherbement dans les parcelles témoin (t0) et traitées (T) des deux essais. (Pour chaque point, la barre d'erreur (+/- écart-type) permet de montrer les différences d'enherbement significatives. L'absence de barre d'erreur signifie que l'écart-type est égal à 0).....	192
Figure IV-16 : Evolution de l'enherbement dans les expérimentations B1a et M6 en 2001/2002, en situation 2	196
Figure IV-17 : Evolution de l'enherbement dans les expérimentations M6 et B1a en 2002/2003, en situation 2	196
Figure IV-18 : Comparaison de l'intensité des attaques de criquets et des pertes de pieds entre parcelles t0 et T(R), dans les essais de traitement herbicide avec maintien de la couverture végétale morte (situations 2 et 4).....	200
Figure IV-19 : Evolution de l'enherbement dans les blocs B1b (2001/2002) et B4 (2002/2003) en situation 3 ..	204
Figure IV-20 : Evolution de l'enherbement dans les expérimentations B2 et B6 en (2001/2002), en situation 4	208
Figure IV-21 : Evolution de l'enherbement dans les expérimentations B2 et B6 en (2002/2003), en situation 4	208
Figure IV-22 : Suivi de l'enherbement au cours de deux années consécutives des parcelles témoins et traitées des essais B5 et B6 de la campagne 2001/2002 en situation 4.....	212
Figure V-1 : Exemple simplifié de modulation du traitement herbicide selon le scénario climatique et l'organisation spatiale du <i>karal</i> d'un agriculteur.....	224

Liste des abréviations

AFD	Agence Française de Développement
APROSTOC	Association des Producteurs et Stockeurs de Céréales
DPGT	Développement Paysannal et Gestion des Terroirs
ESA	projet Eau Sol Arbre
GIC	Groupement d'Intérêt en Commun
IRAD	Institut camerounais de Recherche Agronomique pour le Développement
OPCC	Organisation des Producteurs de Coton du Cameroun
PRASAC	Pôle de Recherche sur l'Agriculture des Savanes d'Afrique Centrale
RdD	Règle de Décision
SODECOTON	Société de Développement du Coton du Cameroun
UP	Unité de Production

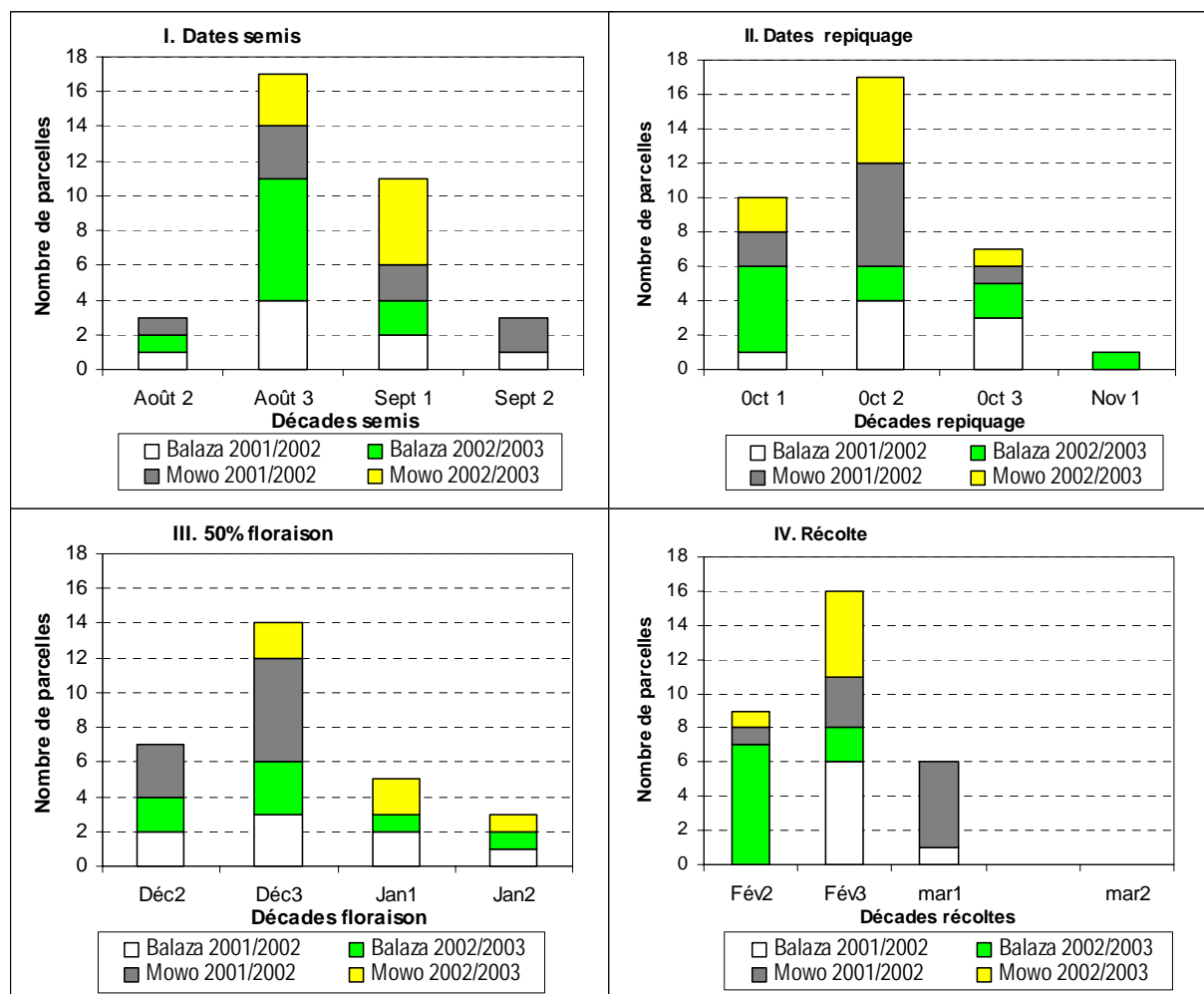
ANNEXES

Liste des annexes

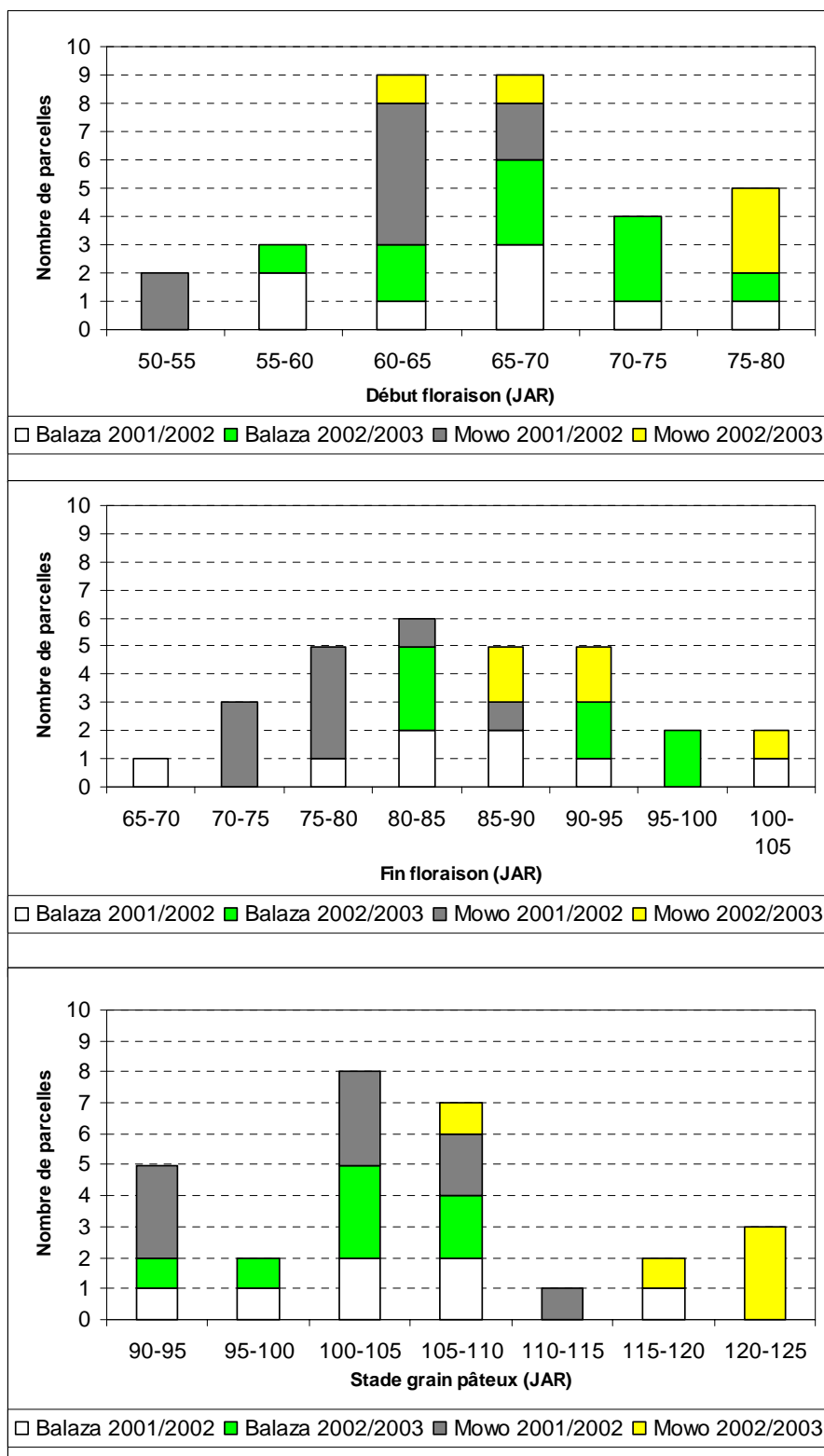
Annexe 1 : Analyse du cycle cultural dans les parcelles expérimentales à Balaza et Mowo	259
Annexe 2 : Calendrier agricole utilisé dans les villages Peuls du Diamaré	261
Annexe 3 : Caractéristiques de structure des exploitations échantillonnées à Mowo et Balaza	263
Annexe 4 : Conduite du muskuwaari et RdD de N.A (B2)	267
Annexe 5 : Conduite du muskuwaari et RdD de H.O (B4)	277
Annexe 6 : Conduite du muskuwaari et RdD de A.B (B5)	287
Annexe 7 : Conduite du muskuwaari et RdD de A.K (M3)	297
Annexe 8 : Conduite du muskuwaari et RdD de G.R (M1)	305
Annexe 9 : Conduite du muskuwaari et RdD de K.R M6)	313
Annexe 10 : Conduite du muskuwaari et RdD de K.E (M2)	321
Annexe 11 : Récapitulatif des itinéraires pratiqués dans les parcelles expérimentales	329
Annexe 12 : Liste des espèces identifiées dans les parcelles, et noms vernaculaires	333
Annexe 13 : Relations entre les nombres de tiges et panicules par m ² , le niveau de stress hydrique et l'importance du tallage lié à des attaques de chenilles foreuses des tiges	337
Annexe 14 : Importance et évolution de la fissuration du sol dans les parcelles témoins	339
Annexe 15 : Composition de la flore avant et après implantation en fonction des types de sol	341
Annexe 16 : Analyse des effets de l'enherbement sur la nutrition azotée et le nombre de grains par panicule; Positionnement du sarclage par rapport au cycle cultural et à l'enherbement	345
Annexe 17 : Récapitulatifs des résultats sur la dynamique des attaques des foreurs des tiges et les pertes de rendements à Balaza et Mowo	347
Annexe 18 : Evolution de l'enherbement au cours du cycle cultural et caractéristiques de l'élaboration du rendement dans les expérimentations en situation 2	353
Annexe 19 : Evolution de l'enherbement au cours du cycle cultural et caractéristiques de l'élaboration du rendement dans les expérimentations en situation 3	357
Annexe 20 : Evolution de l'enherbement au cours du cycle cultural et caractéristiques de l'élaboration du rendement dans les expérimentations en situation 4	359
Annexe 21 : Suivi de l'arrière effet des traitements dans les deux grandes situations d'enherbement ; Indicateurs de fréquence / recouvrement global et par espèces	363
Annexe 22 : Modules de Conseil aux Exploitations Familiales. Aperçu des séances de conseil initié dans le cadre du projet ESA	365
Annexe 23 : Fiche technique à l'usage de conseillers paysans sur la mise en oeuvre du traitement herbicide selon les situations d'enherbement	373

ANNEXE 1 : Analyse du cycle cultural dans les parcelles expérimentales à Balaza et Mowo

A. Distribution des dates de semis, repiquage, 50% floraison et récolte dans le réseau de parcelles à Balaza et Mowo lors des deux campagnes de suivis



B. Variabilité de la floraison et de la maturité par rapport à la date de repiquage dans les parcelles suivies à Balaza et Mowo.



ANNEXE 2 : Calendrier agricole utilisé dans les villages Peuls du Diamaré

Ce calendrier musulman, dont nous ne connaissons pas l'origine, est utilisé pour situer dans le temps les saisons et les activités agricoles. Il divise l'année de 365 jours du calendrier chrétien en 28 mois ou "étoiles", de 13 ou 14 jours.





Périodes	Etoiles	Correspondance calendrier occidental	Travaux agricoles
FASLOUWOL DUMOL (saison des pluies)	Hat'a	26/05- 07/06	
	Han'a	08/06- 20/06	Labour et semis
	Sirâ'a	21/06- 03/07	
	Nasra	04/07- 16/07	Derniers semis
	Darfa	17/07- 29/07	Sarclages
	Jabha	30/07- 12/08	Parfois début pépinière <i>muskuwaari</i> le 7ème jour pour repiquage termitières
	Harsan	13/08- 25/08	Semis des pépinières de <i>muskuwaari</i>
FASLOUWOL DABBOUNDE (fraîcheur)	Sourfa	26/08- 07/09	Fin de <i>lodd</i> (pluies continues) le 7ème jour
	liwa	08/09- 20/09	Repiquage de kare, sauf <i>baleewal</i> , mares et <i>yaayre</i>
	Simac	21/09- 03/10	Repiquage
	Guifir	04/10- 16/10	Fin de <i>bowté</i> (dernières pluies) le 7ème jour
	Zamnane	17/10- 29/10	Repiquage <i>muskuwaari</i> dans le <i>baleewal</i>
	Ikili	30/10- 11/11	Les travaux du karal sont terminés
	Khalba	12/11- 24/11	Récolte du coton et <i>djigaari</i> , <i>korôto</i> (sarclage du karal)
FASLOUWOL YAMDE (quand toutes les plantes sont mûres)	Sawla	25/11- 07/12	Récolte du coton et <i>djigaari</i> , <i>korôto</i>
	Nouaima	08/12- 20/12	Temps très frais
	Boulda	21/12- 02/01	
	Sadou sâbiha	03/01- 15/01	
	Sadou bal'a	16/01- 28/01	Début récolte du <i>muskuwaari</i>
	Sadou saouda	29/01- 10/02	
FASLOUWOL CEEDOL (sécheresse)	Far oul mougaddam	24/02- 08/03	"Bagadjé": entassement du <i>muskuwaari</i> pour le battage
	Far oul wahhar	09/03- 21/03	
	Batnoul houïti	22/03- 03/04	semis "koutchtché": Calebasses
	Noutha	04/04- 16/04	Retour de la chaleur
	Boutâimi	17/04- 29/04	
	Souraya	30/04- 12/05	
	Dabaran	13/05-26/05	

D'après Bousquet et Legros (2002). Source : Imam de Diguir.

ANNEXE 3

**Caractéristiques de structure des exploitations échantillonnées
à Mowo et Balaza en 2001/2002 et 2002/2003**

Tableau I : Caractéristiques des exploitations échantillonnées à Mowo en 2001/2002 et 2002/2003

Nom, âge & année enquête	Population de l'exploitation		Equipement traction animale	Superficies cultivées (ha)	Surface /actifs (ha)	Assolement (en ha et % surface totale)					Ressources en travail pour le muskuwaari			Observations sur les 2 années
	Totale	Actifs				Muskwari	Sorgho	Coton	arachide	Autres	MOF	S/actifs ¹	Salariés ²	
G.R (M₁), 57 ans 														
2001/2002	20	10	1 âne, 3 charrues	7,75	0,75	2,75 35 %	2,5 32 %	2,5 32 %	0,75		8,5	0,3	3	2002 : 0,5 ha de karal hardé non repiqué arachide associé au sorgho
2002/2003	20	11	2 boeufs, 3 charrues	7,5	0,7	2,25 30%	2,75 37 %	2,5 33 %	1		8,5	0,3	2	
K.E (M₂), 41 ans 														
2001/2002	7	3		2,5	0,8	1 40 %	1 40 %	0,5 20 %	0		3	0,3		2002 : 0,25 ha de karal non repiqué arachide associée au sorgho
2002/2003	6	3	2 boeufs	2,25	0,75	0,75 35 %	1 41 %	0,5 24 %	0,25		2	0,35	0	
A.K (M₃), 53 ans 														
2001/2002	9	3	1 âne, 1 charrue	3	1	1,25 42 %	1,25 42 %	0,5 16 %	1		3	0,4	3	2002 : décide réduction surface muskuwaari → loue 0,25 ha de son karal à un voisin arachide associée au sorgho
2002/2003	9	3	1 charrue	3	1	1 33 %	1 33 %	1 33 %	1		3	0,3	3	
K.D (M₄), 23 ans														
2001/2002	3	3	3 boeufs, 2 charrues	4,5	1,5	1,25 28 %	2,25 50 %	1 22 %	0,5		2	0,6	1	0,25 ha karal en 2001 remplacé par sorgho djigaari en 2002 arachide associée au sorgho
2002/2003	4	4	2 boeufs, 2 charrues	3,75	0,9	1 27 %	2 53 %	0,75 20 %	1		1	1	2	
O.D (M₅), 54 ans														
2001/2002	23	11	6 ânes, 3 charrues	6,5	0,6	2 33 %	2 32 %	2,5 35 %	2		10	0,2	3	arachide associée au sorgho
2002/2003	23	9,5	2 ânes, 3 charrues	7	0,7	2 29 %	3,25 46 %	1,75 25 %	1		10	0,2	1	
K.R (M₆), 58 ans 														
2001/2002	22	11	1 âne, 2 boeufs, 2 charrues	9,25	0,85	2,5 27 %	3,75 40 %	2,75 30 %	2	0,25 3 %	6,5	0,4	4	2001 : acquisition de 2 charrues, 1 CS, 1 CB 2002 : réduction sole pluviale car il a prêté 0,75ha à un proche
2002/2003	22	11	2 ânes, 2 boeufs, 2 charrues	8,5		2,5 29 %	3 35 %	2,75 32 %	2	0,25 3 %	6,5	0,4	3	
M.T (M₇), 62 ans														
2001/2002	17	13	3 ânes, 4 boeufs, 5 charrues	13,75	1,1	3,5 22 %	7,25 52 %	3 22 %	0,5 4 %		13	0,25		2002 : – départ de 3 fils → migration en ville – réduction surface musk → 0,25 ha de karal prêté à un voisin
2002/2003	15	11	4 boeufs, 5 charrues	13,25	1,2	3,25 26 %	5,25 39 %	3,25 26 %	0,5 4 %	0,75 5 %	11	0,3	5	

¹ Surfaces cultivées en muskuwaari par actifs de la Main d'œuvre Familiale (MOF)

² Manceuvres temporaires recrutés pour la culture du muskuwaari

³  : Agriculteurs chez lesquels des enquêtes plus précises ont été menées sur les Règles de Décision pour la conduite de la sole à muskuwaari

Tableau II: Caractéristiques des exploitations échantillonnées à Balaza Domayo en 2001/2002 et 2002/2003

Nom (âge) & année enquête	Population de l'exploitation		Equipement traction animale	Superficies cultivées (ha)	Surface /actifs (ha)	Assolement (en ha et % surface totale)					Ressources en travail pour le muskuwaari			Observations sur les 2 années
	Totale	Actifs				Muskwari	Sorgho	Coton	arachide	Autres	MOF	S'actifs	Salariés	
G.O (B ₁), 50 ans <i>☞</i>														
2001/2002	13	6	2 charrues, 1 ES ⁴ , 1 cheval, 2 bovins trait	5,75	0,95	2,75 50 %	2 37 %	0,5 11 %		0,5 2 %	6	0,45	3	En 2002, augmentation 3 q de muskuwaari : – repiquage 1 q supplémentaire en 2002 sur précédent sorgho pluvial – récupération de 2 q suite à litige foncier
2002/2003	14	6	2 charrues, 1 ES, 1CB, 1 cheval, 2bovins trait	5,75	0,95	3,5 61 %	1,5 28 %	0,5 7 %		0,25 4 %	6	0,6	1	
N.A (B ₂), 47 ans <i>☞</i>														
2001/2002	10	3,5		3	0,85	1,75 58%	0,5 17%	0,5 17%		0,25 8%	3,5	0,5		– 2001 : location 0,5 ha de muskuwaari à 6000 FCFA – 2002 :location 1 ha de sorgho contre le fourrage + 0,5 ha de muskuwaari prêté par le <i>jawro</i>
2002/2003	11	3,5		4	1,1	1,75 44%	1,5 37%	0,75 19%			3,5	0,5		
A.A (B ₃), 32 ans														
2001/2002	3	1,5	1 charrue	1,75	1,2	1,25 71 %	0,25 14 %	0,25 14 %			1,5	0,8	2	2002: – 0,25 de karal non travaillé – importants travaux de réfection des diguettes
2002/2003	3	1,5	1 charrue	1,75	1	1 60 %	0,5 28 %			0,25 16 %	1,5	0,8	5	
H.O (B ₄), 55 ans <i>☞</i>														
2001/2002	10	2	1 charrue 2 bovins trait	4,25	2,1	2 47 %	1 23 %	1 23 %		0,25 7 %	2	1	1	2002 : emprunt 0,25 ha au <i>jawro</i> pour cultiver sorgho pluvial
2002/2003	10	2	1 charrue 2 bovins trait	4,5	2,25	2 44 %	2 44 %	0,5 12 %			2	1	1	
A.B (B ₅), 62 ans <i>☞</i>														
2001/2002	10	3,5		1,5	0,4	1 67 %	0,25 16 %	0,25 16 %			3,5	0,3	1	– 2001 : inondation parcelle de coton – 2002 : 0,25 ha de karal non repiqué
2002/2003	10	3,5		1,25	0,35	0,75 60 %	0,25 20 %	0,25 20 %			3,5	0,25		
O.B (B ₆), 29 ans														
2001/2002	6	1,5		1,5	1	0,75 64 %	0,5 36 %				1,5	0,5		
2002/2003	6	1,5		1,75	1,1	0,75 54 %	0,5 31 %	0,25 15 %			1,5	0,5		
H.K (B ₇), 43 ans														
2001/2002	1,5	1,5		2,75	1,7	1,5 63 %	0,5 16 %	0,5 16 %		0,25 5 %	1,5	1	2	2002 : – augmentation MOF grâce à un fils adopté – location 0,25ha pour culture de manioc.
2002/2003	2	2		3	1,4	1,5 54 %	0,5 18 %	0,5 14 %		0,5 14 %	2	0,75	1	

⁴ ES : Ensemble Sarcleur; CB : Corps Butteur

ANNEXE 4: Conduite du *muskuwaari* et RdD de N.A (B2)

Village : Balaza
 Ethnie : kanuri
 Date d'installation : depuis 30 ans

1. ELEMENTS DE STRUCTURE ET DE FONCTIONNEMENT DE L'EXPLOITATION DE N.A

Tableau I : Principaux indicateurs pour les 2 années d'enquêtes (Superficie cultivée : 2,5ha en 2001 et 3,75 en 2002)

Proportions moyennes surfaces cultivées		Ressources en travail			Objectifs et stratégies
%musk.	% sole pluviale	MOF en ha/UTA ¹	Equipmt	Salariés	
51	49	0,97	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ↪ Assurer l'autosuffisance alimentaire, et si possible augmenter les revenus avec coton et surplus vivriers ↪ extension foncière avec location de terres voire achat

N.A, âgé de 47 ans, n'est pas originaire de Balaza, mais son installation remonte plus de 30 ans. Ses ressources foncières sont juste suffisantes pour assurer la sécurité alimentaire de son exploitation. Chaque année, son assolement comprend quelques surfaces en extension (location ou emprunt), afin d'assurer une production vivrière minimum quel que soit le scénario climatique et maintenir au moins 2 quarts de coton pour assurer une source de revenu. Il ne dispose d'aucun équipement et loue parfois les services d'un bouvier pour la préparation des cultures pluviales. Il effectue lui-même l'ensemble des travaux culturels avec l'aide de ses 3 fils âgés de 12 à 16 ans, et n'a pratiquement jamais recours à une main d'œuvre extérieure. Il possède un petit élevage caprin d'une quinzaine de tête, géré par son épouse. N.A mène ponctuellement une activité de petit commerce pour compléter ses revenus. Son principal objectif à l'heure actuelle est de parvenir à étendre son domaine foncier afin d'augmenter la surface cotonnière et de dégager des surplus vivriers pour compléter ses revenus.

2. REGLES DE DECISION DU CHEF D'EXPLOITATION POUR LES SEMIS, L'IMPLANTATION ET L'ENTRETIEN DU *MUSKUWAARI*

N.A porte une attention toute particulière à la conduite du *muskuwaari* dont la surface atteint 1,75ha soit la moitié de son assolement et environ les $\frac{3}{4}$ de sa production céréalière. La particularité de son mode de conduite du *muskuwaari* réside dans le fait qu'il dispose d'une main d'œuvre familiale réduite et ne fait pas appel à des manœuvres extérieurs. Il possède un seul *karal*, dominé par des terrains intermédiaires et dégradés (*hardé, sa'doore*), mais avec aussi une partie *luggere* (marre) où l'inondation est prolongée. Il exploite souvent des surfaces supplémentaires, louées ou empruntées généralement dans des vertisols intermédiaires ou dégradés.

2.1. Constitution des chantiers et modalités d'intervention

Compte tenu de ses surfaces limitées en coton et sorgho pluvial, N.A peut accorder beaucoup de temps à la construction/réfection des diguettes et au désherbage de son *karal* au cours de la saison des pluies. En moyenne, lors des campagnes 2001 et 2002, il a consacré 5 jours de travail/ha à ces opérations.

¹ Unité de Travail Agricole

Tableau II : Les différents chantiers et modes d'intervention de N.A pour la culture du *muskuwaari*

Opérations	Composition des chantiers	Différentes modalités d'intervention et d'enchaînement
Aménagement <i>karal</i>	chef UP	aménagement et réfection des diguettes avec houe spéciale à billonnage (<i>takaraawa</i>)
Semis pépinières	chef UP	labour à la houe ⇒ semis
Implantation et entretien		vertisols dégradés ou intermédiaire + marre (<i>luggere</i>), graminées annuelles dominantes, présence ponctuelle de vivaces, recouvrement moyen à fort :
↳ Préparation	chef UP + 3 fils	
↳ Repiquage	– trouaison : chef UP + 1 fils – transplantation : tous actifs familiaux	↳ fauchage ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 ou 2 sarclages ↳ fauchage + herbes extérieures ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ sarclage ↳ double culture : récolte sorgho pluvial ⇒ herbes ext. ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 ou 2 sarclages
↳ Sarclage	– chef UP + 3 fils	sarclage avec couperet (<i>wiikordu</i>) ou avec la houe (sols plus légers)

Pour chaque opération, les modalités d'intervention sont manuelles. Mis à part les tests mis en place avec notre appui, N.A n'a pas encore adopté le traitement herbicide. Son *karal*, étant relativement homogène du point de vue de l'enherbement, le fauchage/brûlis constitue la principale modalité d'intervention (Tableau I). Le brûlis est généralement effectué la veille du repiquage, dès que N.A sait qu'il a des plants disponibles. En 2001/2002, grâce à une bonne pluviométrie, il est parvenu à repiquer une parcelle louée, contingente à son *karal* où le propriétaire avait au préalable cultivé du sorgho pluvial pendant la saison des pluies.

2.2. La gestion des semis en pépinières

N.A préfère regrouper la production des plants dans seulement un ou deux emplacements. Il **privilégie la réalisation d'une grande pépinière, principale source d'approvisionnement en plants, en retenant un emplacement avec une certaine hétérogénéité de sol, afin d'étaler le prélèvement dans le temps.** Il effectue ainsi 2 à 3 semis, en prévoyant une grande surface et une importante quantité de semences pour la première pépinière. Ce choix se justifie aussi par la relative homogénéité de son *karal*, dominé par des terrains hardé et *sa'doore* généralement repiqués au début de la période d'implantation. Cependant certaines contraintes comme le scénario climatique ou l'espace disponible pour un emplacement peuvent le pousser à ajuster son choix :

- si les pluies sont régulières fin août et début septembre, la période d'implantation sera plus tardive et plus étalée dans le temps. Dans ce cas, il augmente le nombre et l'échelonnement des semis.
- il peut également modifier sa gestion des pépinières en fonction des emplacements disponibles. Sa faible disponibilité foncière ne lui permet pas de retenir un emplacement spécifique à l'avance. Il choisit en fonction des opportunités qui se présentent : emprunt d'une portion à un voisin, en particulier une surface semée en culture pluviale et abandonnée à cause de l'envahissement par les mauvaises herbes. Il ne dispose donc pas toujours de grands emplacements permettant un semis important. Cette contrainte peut l'obliger à diversifier les emplacements et partant, les dates de semis.

Il évoque le mois de harsan, pour le déclenchement du premier semis, mais comme il ne maîtrise pas le calendrier des étoiles, il imite certains agriculteurs. Ayant tendance à faire une seule grande pépinière, il attend généralement une bonne pluie (pluviométrie > 10mm) pour déclencher le semis, ce qui l'amène parfois au delà du mois de harsan. Pour toutes les pépinières, il effectue un apport d'engrais (urée ou NPK) juste après le semis. Il sème toujours un mélange de différentes variétés, notamment dans la plus grande pépinière : *majeeri*, précoce et peu exigeante, est destinée aux parties hardé et *safraari* dans les portions *sa'doore*. *Burguuri* est repiqué sur un des bords du *karal* pour limiter les dégâts des oiseaux qui nichent dans les *Faidherbia albida* maintenus dans les parcelles adjacentes de culture pluviale. N.A considère que son mode de gestion des pépinières et d'approvisionnement en plants est sûr, et il affirme qu'il n'a jamais recours à des pépinières de producteurs voisins.

2.3. Déroulement des semis en 2001 et 2002

En 2001, N.A a retenu un emplacement assez vaste à l'entrée du village qu'il a emprunté à un producteur du village voisin. Les pluies étant régulières en août-septembre, il n'a pas tout semé lors des premiers semis mais a préféré fractionner l'emplacement en 4 portions travaillées à différentes dates entre le 15 août et le 5 septembre (cf. Tableau III). La première pépinière, qui demeure la plus importante, a été réalisée comme prévu dès le mois de harsan (15 août). Avec l'abondance de la pluviométrie, N.A a attendu jusque fin août pour poursuivre les semis en réalisant 3 pépinières supplémentaires à 3 jours d'intervalle. Cet ajustement par rapport à son mode habituel d'organisation des semis est lié au scénario climatique :

- les pluies abondantes laissaient présager une durée d'inondation prolongée dans la partie basse du *karal* (marre), et même dans une partie *sa'doore*, zone d'écoulement des eaux d'inondation où il a aménagé des diguettes. Des semis plus tardifs se sont avérés nécessaires pour repiquer ces parcelles.
- grâce à la forte pluviométrie, il a pu repiquer dans la parcelle adjacente de sorgho pluvial, après la récolte de ce dernier et après que l'ensemble de son *karal* ait été implanté. En prévision de cette dernière séquence de repiquage, il a réalisé une 4^{ème} pépinière début septembre.

En 2002, N.A s'est tenu à ce qu'il avait prévu concernant le nombre et l'échelonnement des pépinières, mais les pluies ont été rares et trop faibles à partir de mi-août pour qu'il respecte la première date de semis au cours de harsan. Il a dû attendre une pluie de 7mm le 28 août pour semer une grande pépinière, suivi d'une plus petite le jour suivant. La sécheresse, dans les 6 jours qui ont suivis, a entraîné une mauvaise levée obligeant N.A à effectuer des resemis (P_{1bis}) dans le même emplacement que P₁. Le retour des pluies, début septembre, a finalement assuré une production suffisante de plants dans P₁, permettant même à N.A de décider d'augmenter sa surface repiquée de 0,25 ha en empruntant une parcelle cédée par le chef du village.

A l'avenir, un notable originaire du village lui ayant confié un nouveau *karal* d'environ 1ha dans un terrain plus argileux (*baleewa*), il compte réaliser systématiquement une 3^{ème} et 4^{ème} pépinière plus tardivement au cours de septembre.

Tableau III : Caractéristiques des pépinières de N.A en 2001 et 2002

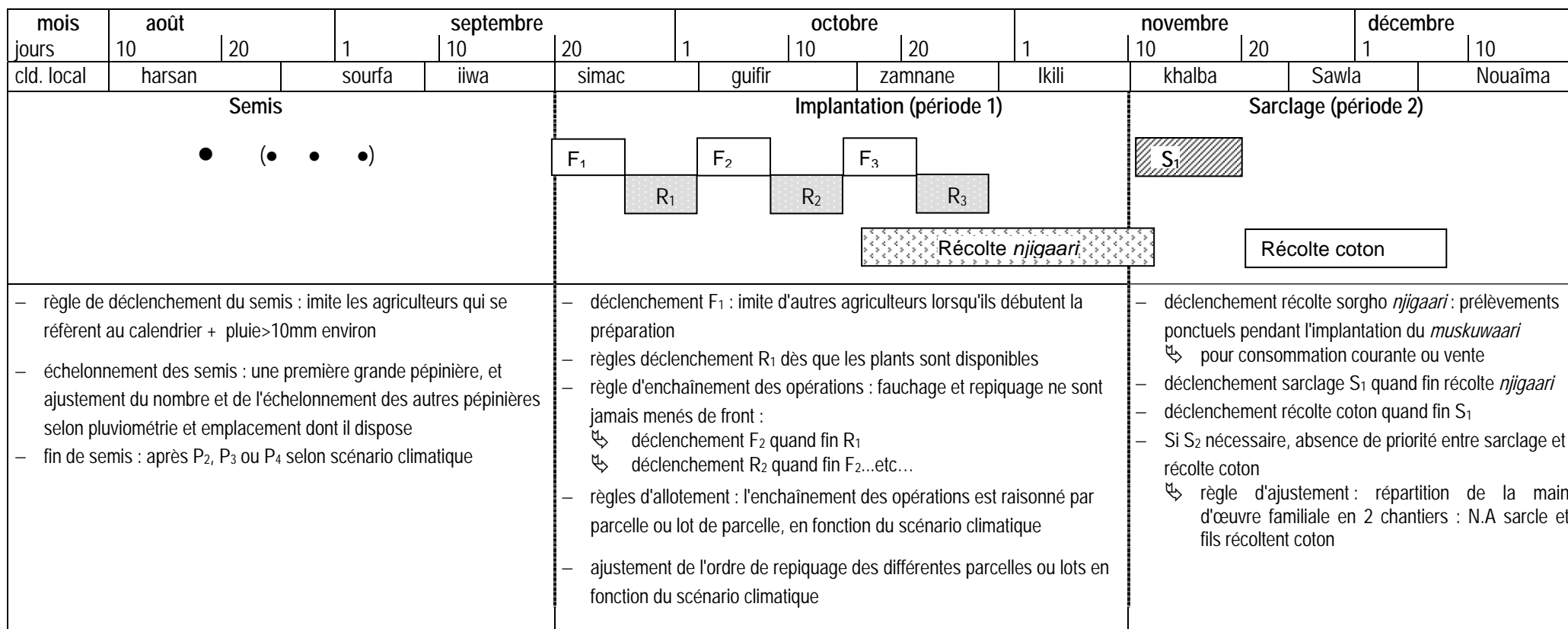
Pépinières	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
2001	(même emplacement pour P ₁ , P ₂ , P ₃ , et P ₄ , mais préparation et semis échelonnés)			
variété(s)	<i>majeeri + burgu</i>	<i>majeeri</i>	<i>safraari</i>	<i>safra + majeeri</i>
qté semences (kg)	8	4	4	2
mode préparation	houe	houe	houe	houe
surf. pépinière (m ²)	420	160	210	80
fertilité	++	+++	+++	+++
2002	P₁	P₂	P_{1bis} (resemis)	P_{1bis} (resemis)
variété(s)	<i>majeeri, + safra + ajagamari</i>	<i>burgu</i>	<i>maj. + safra</i>	<i>maj. + safra</i>
qté semences (kg)	15	3	3	3
mode préparation	houe	houe		
surf. pépinière (m ²)	640	160		
fertilité	++	+++		

+++ : très bonne fertilité (termitière) ou apport fumure minérale

++ : bonne fertilité

+ : fertilité moyenne

Figure 1 : Modèle d'action de G.O : RDD pour l'enchaînement des opérations



Légende :

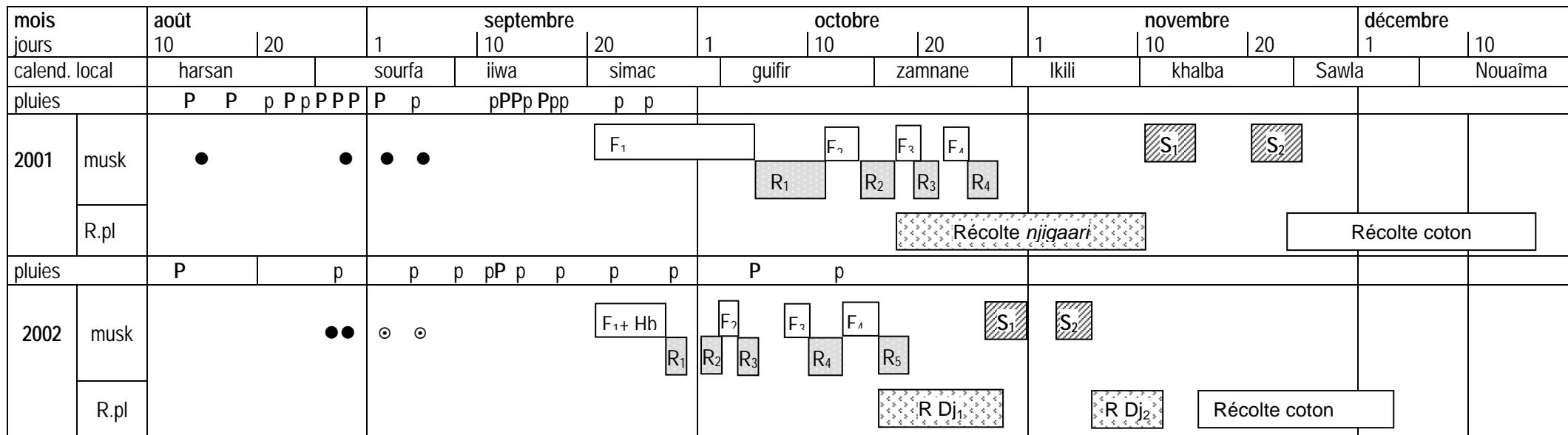
● semis pépinière

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou traitement herbicide (Hb)

R₁ : repiquage séquence 1

S₁ : sarclage séquence 1

Figure 2 : Réalisations en 2001/2002 et 2002/2003



Légende :

p : pluie supérieure à 5mm
 P : pluie supérieure à 20mm
 ● semis pépinière (⊙ : resemis)
 R.pl : récoltes cultures pluviales

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou herbicide (Hb) ou labour (L₁)

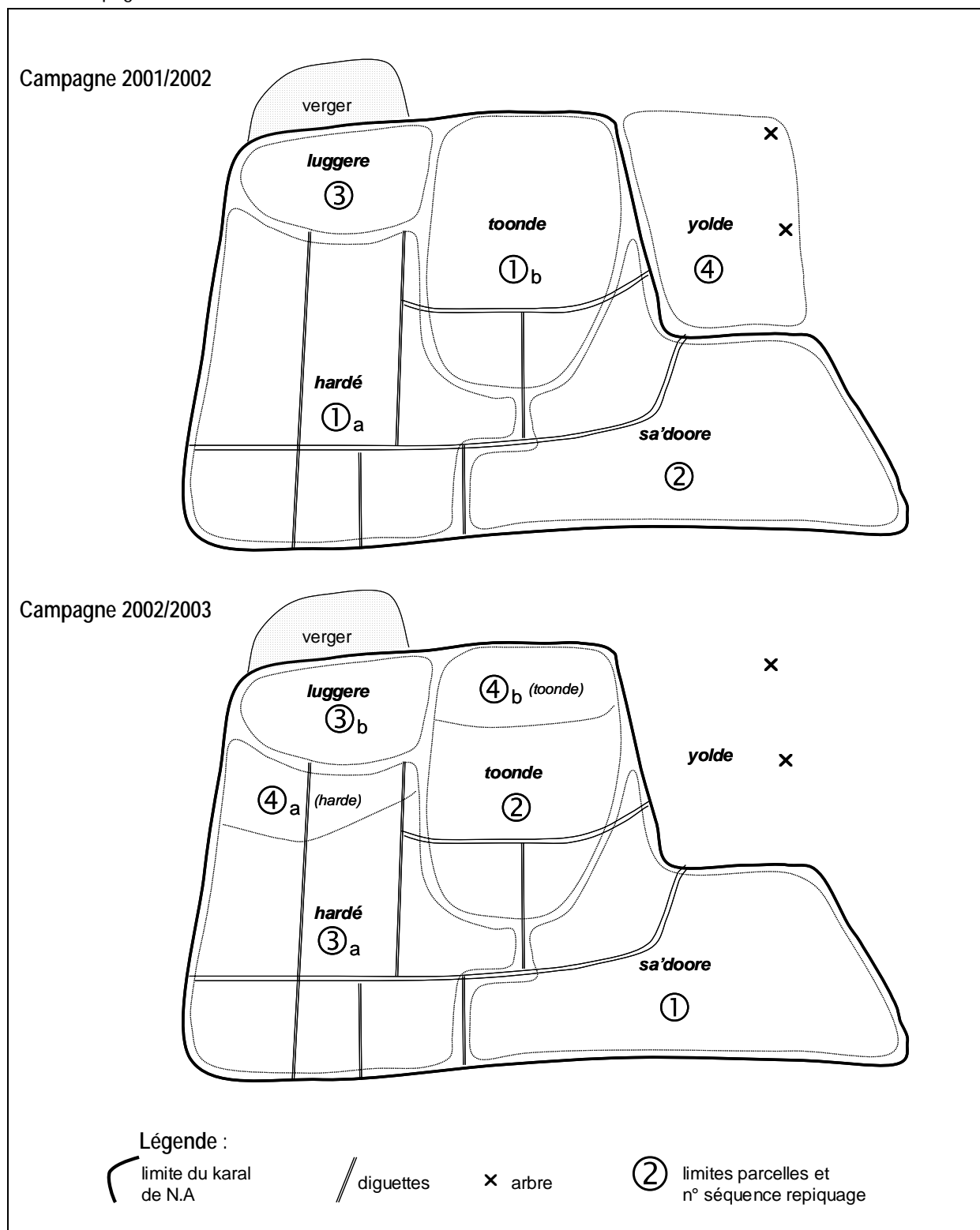
R₁ : repiquage séquence 1

S₁ : sarclage séquence 1

⋯ : opération en partie effectuée par des manœuvres temporaires

R Dj₁ : récolte njigaari (sorgho pluvial) séquence 1

Figure 3 : Organisation spatiale du *karal* de N.A (1,25 ha) et enchaînement des travaux d'implantation lors des deux campagnes de suivi



2.4. La conduite de l'implantation et de l'entretien de la sole à *muskuwaari*

Compte tenu de ressources en travail limitées, N.A ne peut pas mener de front les opérations de fauchage et de repiquage. **L'organisation de l'implantation de son *karal* est conçue à la parcelle. N.A alterne les chantiers de fauchage et de repiquage successivement dans chaque parcelle**, caractérisée par la nature du sol et la position topographique au sein de son *karal*.

2.4.1. Déclenchement et enchaînement des opérations d'implantation

Pour le déclenchement de la préparation puis du repiquage de la première parcelle, N.A s'appuie non seulement sur l'état d'avancement des pépinières (plants bientôt disponibles) mais aussi sur certains indicateurs

- début du fauchage dans les *kare* voisins
- début de dessèchement du sol, en particulier de ses parcelles en position haute (hardé, *toonde*), et diminution des pluies

Par la suite, il décide l'enchaînement des opérations d'implantation selon l'état du sol et la disponibilité en plants. **Il cherche avant tout à repiquer au meilleur moment, dès que les conditions hydriques du sol le permettent, sans forcément attendre de disposer de la variété ou de la taille de plants la plus appropriée.** Bien que certains échecs à la reprise soient liés à la mauvaise qualité des plants, il compte sur le sur-repiquage pour remplacer les pieds manquants. Il distingue grossièrement 3 grandes étapes pour l'implantation, correspondant aux 3 grands types de terrains présents au sein de son *karal*.

1. les vertisols dégradés (hardé et *toonde*), légèrement surélevés et aménagés avec des diguettes. Les aménagements, entretenus au moins tous les deux ans, limite le durcissement de l'horizon supérieur et augmente la capacité de rétention d'eau du sol. Malgré les diguettes, ces portions du *karal* s'assèchent rapidement. N.A s'efforce toujours de les repiquer précocement quitte à effectuer un sur-repiquage en cas de mauvaise reprise liée à des pluies tardives.
2. la parcelle de vertisol intermédiaire (*sa'doore*) implantée généralement avec une variété bien productive
3. la marre (*luggere*), repiquée en dernier après le retrait de l'eau

Tout ces terrains peuvent être repiqués en condition relativement humide. Le délais entre le fauchage et le repiquage d'une parcelle est donc court, d'autant plus que N.A ne réalise qu'un seul chantier à la fois.

En vue de repiquer en condition optimale, N.A peut décider de constituer des lots de parcelles où l'implantation a lieu en une seule séquence de préparation puis de repiquage, ou au contraire de subdiviser certaines parcelles. Selon le scénario climatique, il lui arrive de faire varier l'ordre de repiquage des différentes parcelles ou lots, notamment pour sécuriser la production dans les meilleurs terrains en cas de bilan pluviométrique défavorable.

Tableau IV : Ordre de repiquage des différents terrains et pépinières utilisées

séquences repiquage	R ₁	R ₂	R ₃	(R ₄)	
Enchaînement "idéal"					
Terrains	hardé, <i>toonde</i>	<i>sa'doore</i>	<i>luggere</i>	surface en extension	
pépinière prévue	P ₁	P ₁	P ₁ + P ₂	P ₁ + P ₂	
Enchaînement en 2001					
Terrains	hardé, <i>toonde</i>	<i>sa'doore</i>	<i>luggere</i>	surface en extension	
pépinières utilisées	P ₁	P ₂ + P ₃	P ₃ + P ₄	P ₃ + P ₄	
Enchaînement en 2002					R₅ (ajustement)
Terrains	<i>sa'doore</i>	hardé, <i>toonde</i> (1)	<i>luggere</i>	hardé, <i>toonde</i> (2)	surface en extension
pépinières utilisées	P ₂	P ₁ + P _{1bis}	P ₁ + P _{1bis}	P ₂	P _{1bis}

Il ne connaît pas longtemps à l'avance la nature des parcelles supplémentaires qu'il négocie auprès d'autres agriculteurs, au cours de la période d'implantation. Le repiquage de ces surfaces en extension n'a lieu que lorsqu'il a terminé l'implantation dans son propre *karal*.

2.4.2. Articulation des sarclages avec les récoltes des cultures pluviales

La récolte de sorgho pluvial est toujours initiée précocement : systématiquement, au cours de l'implantation du sorgho repiqué, N.A prélève ponctuellement les premières panicules parvenues à maturité, destinées généralement à l'autoconsommation. La récolte se termine après la fin du repiquage et avant le démarrage des travaux de sarclage du *muskuwaari*. Si certaines parcelles nécessitent une intervention rapide pour l'entretien, N.A alterne les chantiers de récolte avec les premiers sarclages, profitant notamment des délais nécessaires entre la coupe des tiges et l'opération de battage.

La récolte du coton peut coïncider avec un deuxième sarclage, les années les plus humides avec une forte pression des adventices. Dans ce cas, N.A se consacre au travaux d'entretien, tandis que ses fils vont récolter le coton.

2.5. Déroulement de l'implantation et de l'entretien en 2001 et 2002

En 2001, N.A s'est bien conformé à l'organisation exposée précédemment. La bonne pluviométrie enregistrée cette année a permis **l'étalement des travaux de fauchage/repiquage compte tenu de la forte humidité voire l'inondation temporaire observée dans les différentes parcelles de son *karal***. Fin septembre, il a engagé le fauchage des parcelles hardé et *toonde*, parfois interrompue 1 ou 2 jours à cause des dernières pluies. N'étant pas trop pressé par le temps, l'implantation de ce lot de deux parcelles, constituant plus de la moitié de la surface de son *karal*, a été effectuée en une seule séquence étalée sur plusieurs semaines (F₁/R₁). Avec l'interruption des pluies fin septembre, les conditions d'humidité du sol se sont ensuite avérées favorables pour engager l'implantation dans les portions *sa'doore* (F₂/R₂), puis *luggere* (F₃/R₃). Enfin, grâce au bilan pluviométrique très favorable, même la parcelle *yolde* louée à un agriculteur voisin a pu être repiquée (F₄/R₄). Cette dernière séquence de repiquage a été également l'occasion d'effectuer le sur-repiquage notamment dans les terrains dégradés où les échecs à la reprise sont fréquents

En 2002, le scénario climatique très différent de 2001 entraîne des ajustements dans le mode de conduite de N.A, sans que soit remis en cause son modèle d'action. La saison des pluies ayant été beaucoup moins arrosée, la recharge en eau des sols a été médiocre et lors du déclenchement de la période d'implantation, les parcelles hardé et *toonde* en topographie haute présentaient déjà des signes de dessèchement. Afin d'assurer une production minimum dans une parcelle plus humides, N.A a décidé d'engager l'implantation dans la parcelle *sa'doore* (F₁/R₁). Dans le cadre d'un test herbicide, une surface de 0,2 ha a été traitée dans la partie *toonde*, en même temps que la première séquence de préparation dans la parcelle *sa'doore* (F₁). Ce choix a été raisonné en concertation avec N.A qui s'est montré **intéressé par l'utilisation de l'herbicide, à la fois pour accélérer la préparation de la partie *toonde* et pour lutter contre une adventice vivace (*Cyperus rotundus*) présente dans cette parcelle**. Il a pu ainsi directement procéder au repiquage de la partie traitée (R₂) et a rapidement enchaîné par l'implantation autour de la marre et dans la parcelle hardé (F₃/R₃). Il a cependant délaissé certaines parties hardé et *toonde* jugées trop sèches pour être repiquées. Une forte pluie de près de 80 mm enregistrée le 6 octobre a obligé l'interruption momentanée des opérations d'implantation, mais a ensuite permis de valoriser les portions abandonnées (F₄/R₄) et d'exploiter une parcelles supplémentaire prêté par le chef du village dans un autre *karal* (F₅/R₅). Les travaux de sur-repiquage ont aussi été important lors des dernières séquences d'implantation notamment pour remplacer les pieds repiqués début octobre et n'ayant pas repris à cause de la forte pluie qui a suivie.

3. CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'ANALYSE DU MODE DE CONDUITE DE N.A

Les caractéristiques de structure de son exploitation déterminent fortement le mode de conduite de N.A :

- ↪ Le *muskuwaari* représente près de la moitié de ses surfaces cultivées. La surface à repiquer demeure toutefois raisonnable par rapport à sa ressource en travail (0,3 à 0,4 ha par actif) ce qui lui permet d'être attentif à l'aménagement de son *karaal*, d'assurer l'implantation dans les conditions optimales et de prendre le temps de remplacer les pieds manquant (sur-repiquage) en cas d'échec à la reprise.
- ↪ Il privilégie l'installation d'une grande pépinière, principale source d'approvisionnement en plants avec une variabilité de sol intra-pépinière pour étaler le prélèvement des plants. Les contraintes liées aux conditions climatiques peuvent cependant l'amener à réaliser un plus grand nombre de pépinières, plus échelonnées dans le temps
- ↪ Sa main d'œuvre familiale est limitée et il n'a pas les moyens de solliciter des manœuvres temporaires. Il ne peut donc effectuer qu'un seul chantier à la fois, privilégiant ainsi une organisation de l'implantation à la parcelle : enchaînement de la préparation puis du repiquage, successivement dans les différentes parcelles parfois regroupées en lot de parcelles
- ↪ Il ajuste le contenu des règles de conduite de l'implantation en fonction du scénario climatique : modification de l'ordre de repiquage et du nombre de séquence pour sécuriser la production dans les meilleures parcelles les années où la pluviométrie est défavorable.

ANNEXE 5: Conduite du *muskuwaari* et RdD de H.O (B4)

Village : Balaza
 Ethnie : Fulbé
 Date d'installation : plus de 50 ans

1. ELEMENTS DE STRUCTURE ET DE FONCTIONNEMENT DE L'EXPLOITATION DE H.O

Tableau I : Principaux indicateurs pour les 2 années d'enquêtes (Surface cultivée : 4 ha en 2001 et 4,25 ha en 2002)

Proportions moyennes surfaces cultivées		Ressources en travail			Objectifs et stratégies
%musk.	% sole pluviale	MOF en ha/UTA ¹	Equipmt	Salariés	
45	55	2,1	1 charrue	1 à 2 saisonniers	Augmenter et sécuriser les revenus; diversifier les sources de revenu : ↪ culture du coton pour revenu régulier ↪ vente des surplus céréaliers ↪ importante activité d'embouche bovine

H.O est âgé de 55 ans, d'ethnie fulbé et originaire de Balaza. Il se considère d'abord comme un éleveur, et tire une grande partie de ses revenus de cette activité. Son cheptel est composé de 10 bovins dont 2 de trait, et d'une dizaine d'ovins et caprins gérés par les enfants et épouses. Il dispose quand même d'une bonne assise foncière (4 ha) ce qui lui permet d'assurer la sécurité alimentaire de l'UP et de vendre les surplus céréaliers, source de revenu supplémentaire avec le coton et parfois le manioc. La main d'œuvre familiale étant réduite, H.O emploie 1 à 2 manœuvres saisonniers pendant la période de travaux des champs, complétés par de la main d'œuvre temporaire au moment des pointes de travail, notamment pour l'implantation du *muskuwaari*. Il dispose toujours d'une réserve de trésorerie pour le paiement des manœuvres grâce à la vente régulière de surplus céréaliers, et à l'embouche bovine. **La gestion d'une main d'œuvre salariée s'avère parfois contraignante pour l'organisation du travail.** Rechercher les manœuvres et négocier leur rémunération prend parfois du temps. Ces derniers étant payés à la tâche, ils peuvent offrir leurs services chez différents agriculteurs, ce qui peut fortement ralentir l'accomplissement d'un chantier chez l'un ou l'autre employeur.

La situation de H.O est stable entre 2001 et 2002 et H.O cherche avant tout à augmenter ses revenus. La réalisation de cet objectif est longtemps passée par l'augmentation des surfaces en coton, mais les cours à la baisse depuis quelques années l'obligent à s'orienter de plus en plus vers les vivriers marchands (céréales, manioc) et à renforcer l'activité d'embouche bovine. A plus long terme, H.O souhaite étendre son domaine foncier en achetant de nouvelles parcelles pour les exploiter lui-même ou les louer selon ses moyens.

2. REGLES DE DECISION DU CHEF D'EXPLOITATION POUR LES SEMIS, L'IMPLANTATION ET L'ENTRETIEN DU *MUSKUWAARI*

L'originalité de H.O pour l'analyse de la conduite du *muskuwaari* réside dans le recours à des salariés agricoles pour presque toutes les opérations. Compte tenu d'une certaine dépendance vis à vis de la main d'œuvre extérieure, il a très rapidement adopté et étendu le traitement herbicide de préparation à la majorité de ses surfaces en *muskuwaari*. Sa surface total en *muskuwaari* est de 2ha, avec 3 *kare* distinct, de 0,5 à 1ha dans des bonnes terres à sorgho repiqué à dominante de vertisols typiques (*baleewal* et *yaere*). L'inondation souvent prolongée dans le *karal yaere* en bas de toposéquence permet d'étaler la période d'implantation.

¹ Unité de Travail Agricole

2.1. Constitution des chantiers et modalités d'intervention

Comme dans toute exploitation fulbé, les épouses ne participent pas aux travaux des champs. H.O utilise des manœuvres non seulement pour les travaux de préparation, mais aussi de repiquage ce qui est plus rare. Toutefois la trouaison est confiée à un voire deux ouvriers de confiance, employé depuis plusieurs années pendant toute la période des travaux culturaux. **Il limite son rôle au pilotage de l'enchaînement des opérations et à la gestion de la main d'œuvre extérieure.** Il intervient essentiellement pour réaliser le brûlis, et assurer la transplantation avec l'aide de ses enfants.

Tableau II : Les différents chantiers et modes d'intervention de H.O pour la culture du *muskuwaari*

Opérations	Composition des chantiers	Différentes modalités d'intervention et d'enchaînement
Aménagement	manœuvre(s) permanent + temporaires	aménagement et réfection des diguettes
Semis pépinières	chef UP	labour à la charrue ⇒ semis
Implantation et entretien		Majorité de vertisols typiques avec micro-variation de topographie à l'intérieur de chaque <i>karal</i> (<i>toonde, luggere</i>); Parcelles avec peu ou pas d'inondations + dominance graminées annuelles + recouvrement moyen :
↳ Préparation	manœuvre permanent + temporaires	↳ fauchage ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 ou 2 sarclages
↳ Repiquage	– trouaison : manœuvre permanent – transplantation : chef UP+enfants	↳ traitement herbicide ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage Parcelles avec inondations temporaires + espèces vivaces + recouvmt faible : ↳ fauchage + herbes extérieures ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ sarclage ↳ traitement ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage
↳ Sarclage	– manœuvres temporaires	sarclage avec couperet (<i>wiikordu</i>)

H.O conduit souvent un chantier de fauchage confié à des manœuvres temporaires, en même temps qu'une opération de repiquage réalisée avec un employé permanent et ses enfants. Mais il n'effectue pas deux chantiers de repiquage à la fois. Ses *kare* étant dominés par des vertisols typiques, très argileux, la trouaison se fait "à sec" une fois que l'horizon supérieur est bien ressuyé, d'où un délai parfois assez long entre la préparation (fauchage ou traitement) et le repiquage.

Les modalités d'intervention varient surtout en fonction du type d'enherbement. Depuis 1999, H.O a en grande partie substitué le traitement herbicide aux manœuvres habituellement employés pour le fauchage. H.O a traité 40% de ses surfaces en 2001 et 63% en 2002 (cf. Tableau V). Les coûts de préparation par fauchage ou traitement sont équivalents, mais l'application herbicide est beaucoup plus rapide et il tend à la mettre en œuvre dans toutes ses parcelles, mis à part certains terrains relativement facile à faucher où il souhaite préserver le tapis de graminées annuelles². Certains facteurs limitent cependant le recours à l'herbicide :

- la concurrence pour l'accès aux quelques pulvérisateurs mis à disposition par le GIC coton
- disposer de la trésorerie suffisante au moment de l'approvisionnement en herbicide par l'intermédiaire du GIC coton. Chaque agriculteur peut acheter le produit au comptant ou à crédit, jusqu'en juillet ou au plus tard mi-août. La quantité cédée à crédit est limitée en fonction des surfaces cultivées en coton, puisque le remboursement se fera lors de la commercialisation de ce dernier.
- pendant la période d'implantation, il est plus coûteux mais sans doute plus facile de débloquer un peu d'argent pour employer ponctuellement un manœuvre que de se procurer de l'herbicide de qualité et à un prix raisonnable sur les marchés³.

2.2. La gestion des semis en pépinières

Pour étaler la production des plants, H.O privilégie l'échelonnement des pépinières dans le temps plutôt que leur répartition à des emplacements variés : il prévoit toujours au moins 6 dates de semis mais ne retient pas plus de 3 emplacements. Pour le déclenchement de la première pépinière, H.O suit la référence du

² Essentiellement *Echinochloa colona* (*pagguri*) une espèce qui permet un bon brûlis dans les vertisols les plus argileux, après le retrait de l'eau, et dont le peuplement se renouvelle l'année suivante grâce aux semences qui se déposent sur le sol après le fauchage.

³ Au démarrage de la période d'implantation, la forte demande en herbicide entraîne une véritable spéculation sur les marchés.

calendrier local en demandant conseil à un notable du village et sème après une pluie d'au moins 5mm. Lors du démarrage des semis, il a l'habitude de s'associer avec ses deux frères voisins pour labourer environ 0,25ha, où ils viennent ensuite semer à différentes dates. **Cette organisation collective ne concerne que la préparation du sol, mais au moment de l'implantation ils peuvent s'entendre pour prélever des plants chez l'un et l'autre en cas de besoins.** H.O, utilise cet emplacement commun pour réaliser ses principaux semis au cours de la fin du mois d'août. Il complète ensuite la production de plants par un ou deux emplacements plus petits, et bien fertiles (derrière la concession ou autour d'une termitière). Ces dernières pépinières préparées manuellement au cours du mois de septembre, serviront surtout au repiquage des parcelles inondées (*yaere* et *luggere*). Après l'installation des principales pépinières fin août, à 2 ou 3 jours d'intervalle, H.O ajuste également l'échelonnement des derniers semis selon le scénario climatique.

Compte tenu des problèmes de foreurs des tiges, H.O repique essentiellement la variété *majeeri*. Il réserve le *burguuri*, à la fois précoce et résistant aux oiseaux, pour son *karal yaere*, toujours repiqué tardivement et souvent attaqué par les oiseaux à cause de la proximité d'un verger.

2.3. Déroulement des semis en 2001 et 2002

En 2001, les pluies régulières ont permis un déclenchement du premier semis comme prévu et une installation des 2 autres principales pépinières dans les 5 jours qui suivent, sur un emplacement choisi et préparé dès P₁. L'importante pluviométrie qui s'est maintenue en septembre, a poussé H.O à laisser ensuite une dizaine de jours d'intervalle entre les semis des 3 dernières pépinières, en prévision de repiquages tardifs dans ses *kare* à inondation prolongée (parcelles *luggere* et *yaere*).

En 2002, le déroulement des semis a été contrarié par la faiblesse des pluies. Alors que l'année précédente, on compte 40 jours entre le premier et le dernier semis, en 2002, l'installation des 6 pépinières a été concentrée sur 17 jours. La référence du mois de harsan étant passée, H.O s'est contenté de deux petites pluies consécutives de 2mm pour réaliser P₁. Puis compte tenu de la rareté des « pluies de semis » et présageant un avancement de la période de repiquage par rapport à l'année précédente, il a valorisé les 2 pluies suivantes supérieures à 5mm pour effectuer les 5 autres pépinières. Les premières pépinières ont du attendre la pluviométrie plus favorable du mois de septembre pour bien se développer et en définitive, l'approvisionnement en plants a été assuré tout au long de la période d'implantation.

Tableau III : Caractéristiques des pépinières de H.O en 2001 et 2002

Pépinières	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
2001	(pour P ₁ , P ₂ et P ₃ : même emplacement, une date de préparation et 3 dates de semis)					
variété(s)	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>burgu</i>	<i>burgu</i>
qté semences (kg)	4	5	4	2	3	2
mode préparation	charrue	charrue	charrue	houe	houe	houe
surf. pépinière (m ²)	225	250	130	80	90	50
fertilité	++	+++	++	+++	++	+++
2002	(pour P ₁ , P ₂ , P ₃ et P ₄ : un seul emplacement, 2 dates de préparation et 4 dates de semis)					
variété(s)	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>burg. + safra</i>
qté semences (kg)	5	7	4	2	3	3
mode préparation	charrue	charrue	charrue	houe	houe	houe
surf. pépinière (m ²)	440	650	170	70	80	50
fertilité	++	++	++	++	++	+++

+++ : très bonne fertilité (termitière) ou apport fumure minérale

++ : bonne fertilité

+ : fertilité moyenne

Figure 1 : Modèle d'action de G.O : RDD pour l'enchaînement des opérations

mois	août		septembre			octobre			novembre		décembre											
Jours	10	20	1	10	20	1	10	20	1	10	20	1	10									
cld. local	harsan		sourfa			iiwa			simac		guifir		zamnane		lkili		khalba		Sawla		Nouaïma	
Semis			Implantation (période 1)										Sarclage (période 2)									
● ● ● ● ● ●			Hb + F ₁			F ₂			F ₃			S ₁		S ₂		Récolte <i>njigaari</i>				Récolte coton		
<ul style="list-style-type: none"> – règle de déclenchement du semis : calendrier local + pluie > 5mm – échelonnement des semis : installation des 3 principales pépinières P₁, P₂ et P₃ sur un emplacement commun fin août à des dates rapprochées. Derniers semis plus réduits (préparation manuelle) au cours de septembre pour repiquage des parcelles inondées – fin de semis : après P₆ 			<ul style="list-style-type: none"> – déclenchement traitement herbicide et F₁ : selon état d'avancement pépinière et "praticabilité" de la parcelle – Choix des parcelles traitées : privilégie portions de <i>kara</i> avec recouvrement moyen à faible (fauchage/brûlis difficile sans apport d'herbes extérieures) + présence éventuelle de vivaces – règles déclenchement R₁ : plants disponibles + horizon supérieur ressuyé (repiquage "à sec") – règle d'enchaînement des opérations : préparation puis repiquage initiés par manœuvre(s) permanent(s) dans parcelles en topographie haute. Ensuite, manœuvres temporaires d'appoint pour poursuivre fauchage, et manœuvre(s) permanent(s) se concentre sur R₂ et R₃. – règles d'allotement : l'enchaînement des opérations est raisonné par parcelle ou lot de parcelle, en fonction du scénario climatique 										<ul style="list-style-type: none"> – déclenchement récolte sorgho <i>njigaari</i> dès la fin du repiquage – déclenchement S₁ puis S₂ quand parcelles repiquées atteignent environ 50% de recouvrement adventices – déclenchement d'un deuxième sarclage (S₃) dans parcelles très humides et lors d'année à pluviométrie élevée, si la reprise des vivaces persiste – déclenchement récolte coton (par enfants + chef UP), après battage sorgho <i>njigaari</i> par manœuvres. 									

Légende :

● semis pépinière

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou traitement herbicide (Hb)

R₁ : repiquage séquence 1

S₁ : sarclage séquence 1

□ : opérations effectuées par des manœuvres permanent et temporaires

Figure 2 : Réalisations en 2001/2002 et 2002/2003

mois		août			septembre			octobre			novembre			décembre							
jours		10	20	1	10	20	1	10	20	1	10	20	1	10							
calend. local		harsan		sourfa		iiwa		simac		guifir		zamnane		lkili		khalba		Sawla		Nouaïma	
pluies		P	P	p	P	p	P	P	P	P	p	p									
2001	musk	●	●	●	●	●															
	R.pl																				
pluies		P		p	p	p	p	p	p	P	p										
2002	musk	●	●	●	●	●															
	R.pl																				

Légende :

p : pluie supérieure à 5mm
 P : pluie supérieure à 20mm
 ● semis pépinière
 R.pl : récoltes cultures pluviales

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou herbicide (Hb) ou labour (L₁)

R₁ : repiquage séquence 1

S₁ : sarclage séquence 1

□ : opérations effectuées par des manœuvres permanent et temporaires

R D₁ : récolte *njigaari* (sorgho pluvial) séquence 1

2.4. La conduite de l'implantation et de l'entretien de la sole à *muskuwaari*

Pour H.O, la conduite technique de l'implantation consiste à organiser l'enchaînement des chantiers de préparation, de repiquage et d'entretien en assurant une gestion optimale des manœuvres permanents et temporaires sollicités pour réaliser la quasi totalité des opérations. Il décide de l'affectation de la main d'œuvre permanente en fonction de la disponibilité en plants et d'indicateurs du milieu (arrêt des pluies, humidité du sol, recouvrement des mauvaises herbes lors du sarclage) et complète avec des manœuvres temporaires lorsqu'il souhaite mener de front un chantier de fauchage et un chantier de repiquage, afin d'accélérer l'implantation. Une autre option récemment développée consiste à utiliser l'herbicide pour activer la préparation et limiter ainsi le nombre et l'importance des séquences de fauchage.

2.4.1. Déclenchement et enchaînement des opérations d'implantation

Tableau IV : Ordre de repiquage des différents terrains et pépinières utilisées

séquences repiquage	R ₁	R ₂	R ₃	(R ₄)
Enchaînement "idéal"				
Terrains	<i>toonde, "sa'doore"⁴</i>	<i>baleewal</i>	<i>yaere, luggere</i>	
pépinière prévue	P ₁ + P ₂	P ₃ + P ₄	P ₅ + P ₆	
Enchaînement en 2001				
Terrains	<i>toonde, "sa'doore"</i>	<i>baleewal</i>	<i>baleewal</i>	<i>yaere, luggere</i>
pépinières utilisées	P ₁ + P ₂	P ₃ + P ₄	P ₃ + P ₄ + P ₅	P ₅ + P ₆
Enchaînement en 2002				
Terrains	<i>toonde, "sa'doore", baleewal</i>	<i>baleewal, luggere</i>	<i>yaere</i>	
pépinières utilisées	P ₂ + P ₃	P ₁ + P ₂ + P ₃ + P ₄	P ₅ + P ₆	

Plusieurs conditions doivent être réunies pour déclencher l'implantation. Pour le fauchage dans ses *kare* composés essentiellement de vertisols typiques argileux et lourd, il faut attendre le retrait des éventuelles eaux d'inondation, le ressuyage de la surface du sol et le début de l'assèchement du couvert herbacé. Pour cela, H.O indique qu'il faut compter environ 10 à 15 jours sans forte pluie supérieure à 20 mm. Si le fauchage a lieu en condition trop humide, les herbes se couchent sous l'action du coupe-herbe, sans être coupées et restent collées à l'argile humide. **Les conditions de "praticabilité" pour la réalisation du traitement herbicide apparaissent plus souples** : H.O peut engager un traitement herbicide dès qu'il estime que le *kare* est suffisamment ressuyé pour permettre à l'opérateur d'avancer sans s'enfoncer. Jusqu'à présent, il utilise l'herbicide essentiellement dans ses *kare baleewal*, avec un faible recouvrement herbacé. Il effectue les traitements au glyphosate (herbicide systémique), au moins 15 jours avant la date présumée du repiquage, délai nécessaire à l'action complète de la matière active. Le traitement comporte toutefois un risque supplémentaire par rapport à la préparation manuelle puisque une pluie survenant dans les 6 à 10 heures après la pulvérisation, peut empêcher l'action du produit. Avec l'emploi de l'herbicide, H.O réduit ses travaux de préparation, pratiquement tous regroupés dans une séquence principale au début de la période d'implantation.

Le repiquage est ensuite déclenché lorsque les plants sont disponibles et que le sol est bien ressuyé, le repiquage devant être réalisé "à sec" dans les terrains les plus argileux. Dans les parcelles les plus humides, ou lors des années très pluvieuses, H.O effectue la préparation (fauchage ou traitement) puis laisse le sol se dessécher progressivement ("wutugo", terme spécifique en fouldé) avant d'effectuer le brûlis et la trouaison. Le repiquage est enchaîné successivement dans les différents *kare* et parcelles, regroupés parfois en lot, notamment les années de pluviométrie défavorables où H.O tente d'accélérer l'installation du sorgho en réduisant la durée et le nombre des séquences de repiquage.

⁴ parcelle à vertisol intermédiaire que H.O appelle sa'doore, mais qui se situe dans un *kare* à dominante *baleewal*.

2.4.2. Articulation des sarclages avec les récoltes des cultures pluviales

H.O déclenche la récolte du sorgho *njigaari* dès la fin du repiquage. Des prélèvements ponctuels des premières panicules mûres, sont souvent effectués avant la fin du repiquage. Les sarclages sont réalisés en même temps que les récoltes des cultures pluviales, grâce à l'emploi de manœuvres temporaires chargés des travaux de désherbage. H.O contrôle les travaux de récolte, en particulier le battage du sorgho pluvial, et se charge souvent avec ses jeunes fils du ramassage du coton. S'il ne trouve pas de manœuvres disponibles, ou s'il ne parvient pas à s'entendre sur un prix, H.O se consacre parfois au travaux de sarclage, souvent le deuxième passage dans les parcelles les plus enherbées.

2.5. Déroulement de l'implantation et de l'entretien en 2001 et 2002

En 2001, grâce à un bon rechargement des réserves en eau du sol, l'implantation s'est déroulée progressivement en fonction du retrait de l'inondation et de l'état du sol dans les différentes parcelles. Le repiquage des parcelles surélevées (*toonde, sa'doore*) et des premières portions *baleewal* est réparti entre R₁ et R₂. H.O a progressé assez lentement pour l'implantation de ses terrains *baleewal* (R₂ puis R₃ qui s'étale sur une dizaine de jours), attendant l'état du sol le plus favorable pour le repiquage. La 3^{ème} séquence de repiquage est menée en même temps que la préparation des parcelles *luggere* et *yaere* où il a fallu attendre le retrait de l'eau pour déclencher le fauchage. **H.O a ajusté ainsi son mode de conduite au scénario très pluvieux de 2001 en ajoutant une 4^{ème} séquence de repiquage (R₄) début novembre.**

Le démarrage du sarclage a eu lieu rapidement, en même temps que la récolte du *njigaari*, compte tenu de la forte pression des adventices. Certaines parcelles ont nécessité 2 sarclages ce qui explique le prolongement de S₂ et la présence d'une 3^{ème} séquence de sarclage (S₃).

En 2002, le démarrage de l'implantation est plus précoce car les *kare* sont globalement plus sec qu'en 2001. H.O a pu se procurer une quantité d'herbicide plus importante et a effectué tous les traitements au cours de la première séquence de préparation (F₁). Il a généralisé ce mode de préparation dans toutes les parcelles à faible recouvrement herbacé (*kare* à dominante *baleewal*), ce qui aboutit à une réduction des travaux de préparation à 2 séquences. **Le fauchage n'est plus réalisé que dans les parcelles où le peuplement de graminées annuelles est suffisamment dense pour permettre le brûlis** (F₂, dans parcelles *yaere, luggere* et portions *baleewal*). Même dans ces conditions d'enherbement, H.O peut effectuer la préparation à l'aide du traitement, s'il reste de l'herbicide.

Grâce au traitement, il a pu enchaîner rapidement la première séquence de repiquage (R₁), interrompue par la forte pluie de début octobre. Après un délai d'une semaine entre R₁ et R₂, nécessaire au ressuyage des parcelles *baleewal*, la suite de l'implantation a eu lieu comme prévu avec une 3^{ème} séquence pour R₃ essentiellement pour le *karal yaere*. En général un seul sarclage a été nécessaire, et H.O a lui même effectué l'entretien dans le *karal yaere*, dernier repiqué (S₂).

Le calcul de la marge brute du *muskuwaari* pour les deux campagnes de suivi permet d'analyser la répartition des charges opérationnelles et des temps de travaux dans le cas précis de H.O qui a de plus en plus recours à l'herbicide à la place des manœuvres salariés. Les coûts ont été calculés à partir des données suivantes :

- ¼ d'ha fauché par un manœuvre salarié = 4000 Fcfa et 3 jours de temps de travail en moyenne
- ¼ d'ha traité avec herbicide = (2x1500 F)+ 500 F = 3500 Fcfa⁵ et 0,5 jours de temps de travail

Les temps de travaux ont été estimés en considérant 7 heures de travail par jour (unité : journée de travail d'un manœuvre avec temps de déplacement au champs inclut). Pour le traitement, il faut compter environ 2h00 pour traiter ¼ d'hectare avec un pulvérisateur de type Handy. Le temps de travail a été arrondi à 0,5 jour pour ¼ d'hectare puisque au moins deux opérateurs sont nécessaires pour assurer à la fois l'épandage du produit et déplacer les cordes permettant d'orienter le passage de l'appareil de façon homogène dans la parcelle.

⁵ Le coût du traitement est estimé pour une dose moyenne de 2 sachets de Roundup Biosec par ¼ d'ha. Il inclut le coût de location du pulvérisateur et le coût de l'épandage par des manœuvres, estimés à une somme forfaitaire de 500 FCFA par ¼ d'ha.

Tableau V : Détail des dépenses de H.O pour la préparation de ses *kare* et marges brutes/ha obtenues lors des deux campagnes de suivis

Campagne	2001/2002	2002/2003
Surface <i>muskuwaari</i> (ha)	2	2
Dépenses et temps de travaux pour préparation sole à <i>muskuwaari</i>		
• Surface traitée (ha)	0,6	1,25
• Traitement : - coût (Fcfa)	8400	17500
- temps de travail (j)	1,2	2,5
• Fauchage : - coût (Fcfa)	22 400	12000
- temps de travail (j)	17	9
Coût total travaux préparation	30 800	29 500
Temps total travaux préparation	18,2	11,5
Temps total préparation (j/ha)	9,1	5,7
Temps de sarclage (j/ha)	12,4	7,5
Charges (en Fcfa)		
- Aménagement karal	7200	6500
- traitement	8400	17500
- fauchage	22 400	12000
- repiquage	11000	4000
- sarclage	10500	5500
- coût récolte	3500	4600
Total charges	63000	50100
Production (nb. sacs ⁶)	14	10
Marge brute	49000	29900
Marge brute/ha (en FCFA)	24500	14950

Le prix du traitement herbicide variant selon la dose, et l'emploi de manœuvres pouvant être négocié entre 3000 et 5000 Fcfa, on peut considérer que les coûts sont globalement équivalents pour ces deux modes de préparation. En effet, le coût total lié aux travaux de préparation apparaît similaire entre 2001/2002 et 2002/2003, bien que la proportion des surfaces traitées aient doublé entre les deux campagne.

L'augmentation de la proportion des surfaces traitées se traduit par une diminution de près de 7 jours du temps de préparation. Il apparaît difficile d'évaluer l'intérêt de l'augmentation des surfaces traitées sur la production et sur la marge dégagée à travers la comparaison des deux campagnes. En effet, les conditions climatiques ont été différentes et les modes d'interventions ont varié d'une année sur l'autre : importance du sur-repiquage en 2002/2003, proportion variable du repiquage et du sarclage effectués par la main d'œuvre familiale et non chiffrée.

3. CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'ANALYSE DU MODE DE CONDUITE DE H.O

- ☞ H.O utilise des manœuvres extérieures (saisonniers et temporaires) pour toutes les opérations exceptées la transplantation. Il pilote l'enchaînement des chantiers de préparation, de repiquage et d'entretien en recherchant une gestion optimale des manœuvres
- ☞ Pour étaler la production des plants, il privilégie l'échelonnement des pépinières dans le temps plutôt que leur répartition à des emplacements variés. Il s'organise souvent avec 2 frères voisins pour la préparation en commun d'un vaste emplacement où chacun réalise ses principaux semis.

⁶ Un sac contient environ 100 kg de sorgho. Le calcul de la marge brute est basé sur un prix moyen de 8000 FCFA/sac

- ↪ En développant le traitement herbicide de préparation, H.O a réduit la durée et le nombre des séquences de préparation par fauchage. L'innovation introduit un risque supplémentaire d'échec du traitement si une pluie survient juste après, mais les conditions de "praticabilité" pour la réalisation de la pulvérisation apparaissent plus souples. De plus en accélérant la préparation, cela permet de sécuriser le repiquage des *kare* dans des conditions optimales du point de vue de l'état du sol, sans entraîner de coût supplémentaire en manœuvres temporaires d'appoint. Ceci est d'autant plus vrai lorsque la pluviométrie a été défavorable et que H.O doit réaliser l'implantation dans un délai plus court.

- ↪ Les coûts de préparation par fauchage ou traitement sont équivalents. L'herbicide présente surtout un avantage pour la rapidité de nettoyage du *karal* et une diminution des travaux et coûts de sarclage dans les situations d'enherbement avec adventices vivaces.

ANNEXE 6: Conduite du *muskuwaari* et RdD de A.B (B5)

Village : Balaza
Ethnie : fulbé
Date d'installation : 62 ans

1. ELEMENTS DE STRUCTURE ET DE FONCTIONNEMENT DE L'EXPLOITATION DE A.B

Tableau I : Principaux indicateurs pour les 2 années d'enquêtes (Superficie cultivée : 1,5 ha)

Proportions moyennes surfaces cultivées		Ressources en travail			Objectifs et stratégies
%musk.	% sole pluviale	MOF en ha/UTA ¹	Equipmt	Salariés	
63	37	0,4	-	-	<ul style="list-style-type: none"> ↪ Assurer l'autosuffisance alimentaire (prépondérance du sorgho repiqué) ↪ 1 quart de coton pour revenu d'appoint et accès intrants à crédit ↪ Capitalisation dans l'élevage bovins (embouche), mais surtout caprin. Vente en cas de déficit céréalier.

A.B est peul, âgé de 62 ans et originaire de Balaza Domayo. Ses ressources foncières suffisent justes pour assurer la sécurité alimentaire de son exploitation. Malgré une force de travail limitée due à son âge assez élevé, il effectue lui-même l'ensemble des travaux culturaux, aidé de son frère mal voyant et de deux jeunes fils de 10 et 14 ans. Il a rarement recours à une main d'œuvre extérieure. Il ne dispose d'aucun équipement, mais si ses moyens lui permettent, il loue un attelage pour la préparation de parcelles de cultures pluviales. A.B possède 2 bovins d'élevage et un petit élevage caprin d'une quinzaine de tête.

2. REGLES DE DECISION DU CHEF D'EXPLOITATION POUR LES SEMIS, L'IMPLANTATION ET L'ENTRETIEN DU *MUSKUWAARI*

Son objectif de sécurité alimentaire passe essentiellement par le *muskuwaari* qui représente les 2/3 de son assolement. Il possède un seul *karal* de 1ha, dominé par des vertisols typiques (*baleewa*), avec des portions de vertisols intermédiaires (*toonde, daande maayo*), et une partie *luggere* (marre) où l'inondation est systématique chaque année.

2.1. Constitution des chantiers et modalités d'intervention

A.B considère que la construction/réfection des diguettes et les premiers travaux de désherbage du *karal* au cours de la saison des pluies, sont des opérations importantes pour la réussite du sorgho repiqué, mais il n'a pas toujours la force suffisante et les ressources pour y consacrer le temps qu'il souhaiterait. Ainsi, les diguettes ne sont entretenues que ponctuellement et beaucoup ne sont pas réfectionnées depuis plusieurs années.

¹ Unité de Travail Agricole

Tableau II : Les différents chantiers et modes d'intervention de N.A pour la culture du *muskuwaari*

Opérations	Composition des chantiers	Différentes modalités d'intervention et d'enchaînement
Aménagement <i>karal</i>	chef UP	réfection ponctuelle des diguettes avec houe
Semis pépinières	chef UP	labour à la houe ⇒ semis labour à la charrue ⇒ semis
Implantation et entretien		Majorité de vertisols typiques avec micro-variation de topographie à l'intérieur du <i>karal</i> (<i>daande maayo, toonde, luggere</i>); Parcelles avec peu ou pas d'inondations + dominance graminées annuelles + recouvrement moyen : ↳ fauchage ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 ou 2 sarclages Parcelles avec inondations temporaires + recouvmt faible (+ espèces vivaces) : ↳ fauchage + herbes extérieures ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ sarclage ↳ traitement ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage
↳ Préparation	chef UP + actifs familiaux	
↳ Repiquage	– trouaison : chef UP – transplantation : actifs familiaux (frère + 2 fils)	
↳ Sarclage	– chef UP + 3 fils	
		sarclage avec couperet (<i>wiikordu</i>) ou avec la houe (sols plus légers)

Mis à part la préparation du sol réalisé à la charrue pour les premières pépinières, les modalités d'intervention sont manuelles pour toutes les autres opérations. Après le test mis en place en 2001, A.B a décidé d'adopter le traitement herbicide pour une portion supplémentaire, en plus du nouveau test de 2002. La surface traitée a atteint 30% du *karal* en 2002, mais le fauchage/brûlis demeure le principal mode de préparation (Tableau I). Lors de l'implantation, A.B mène rarement 2 chantiers de front. S'il est pressé pour repiqué, il peut toutefois confier le fauchage d'une parcelle à son frère et un de ses fils et engager le repiquage dans une autre.

2.2. La gestion des semis en pépinières

A.B prévoit généralement 2 grandes pépinières pour sa production de plants. Il s'entend avec M.H et deux autres agriculteurs pour le labour d'un emplacement commun avec utilisation de la traction animale. Il vient ensuite semer ses 2 principales pépinières à 2 dates différentes. Il imite les autres agriculteurs pour déclencher ses propres semis. Il sème en grande majorité la variété *majeeri* pour limiter ensuite les dégâts des foreurs des tiges. A.B estime que son mode de gestion des pépinières est relativement sûre pour l'approvisionnement en plants. Il s'efforce de bien respecter les premières dates de semis afin de s'assurer de plants disponibles dès le début du repiquage. **Mais compte tenu d'une surface à repiquer assez réduite, de sa force de travail et de quantités de semences limitées, il considère qu'il peut s'appuyer sur les prélèvements dans les pépinières de ses voisins (généralement des parents ou proches) pour réaliser les derniers chantiers de repiquage dans les parcelles en topographie basse.** Si il dispose de suffisamment de semences, il peut toutefois effectuer des semis supplémentaires d'appoint (petites pépinières préparées à la houe) les années de pluviométrie abondante avec prolongement de la saison des pluies.

2.3. Déroulement des semis en 2001 et 2002 (cf. Tableau III)

En 2001, A.B a effectué comme prévu ses deux principaux semis fin août. Il a ensuite effectué 3 petites pépinières supplémentaires entre le 5 et le 20 septembre. Cet ajustement est lié aux pluies abondantes enregistrées cette année là, qui laissaient présager un fort engorgement de ses parcelles et une durée d'inondation prolongée dans la partie basse du *karal* (marre). Ces semis se sont avérés essentiels puisque beaucoup de plants des 2 premières pépinière étaient déjà "passés" (stade de développement des plants trop avancé) alors que moins d'un tiers du *karal* était repiqué. A.B a du utiliser ses pépinières supplémentaires P₃, P₄ et P₅ pour repiquer les parcelles *baleewal* et *luggere*, et a prélevé des plants à l'extérieur pour finir l'implantation.

En 2002, A.B a déclenché son premier semis plus tardivement à la fin du mois de harsan (25 août) à cause de la rareté et de la faiblesse des pluies pendant cette période. Il a ensuite installé la seconde et dernière pépinière le 30 août suite à pluie de 7mm. Malgré une pluviométrie plus régulière en septembre, A.B n'a pas eu suffisamment

de semences pour effectuer des semis supplémentaires et il a du prélever des plants à l'extérieur pour finir l'implantation de son *karal*.

Tableau III : Caractéristiques des pépinières de N.A en 2001 et 2002

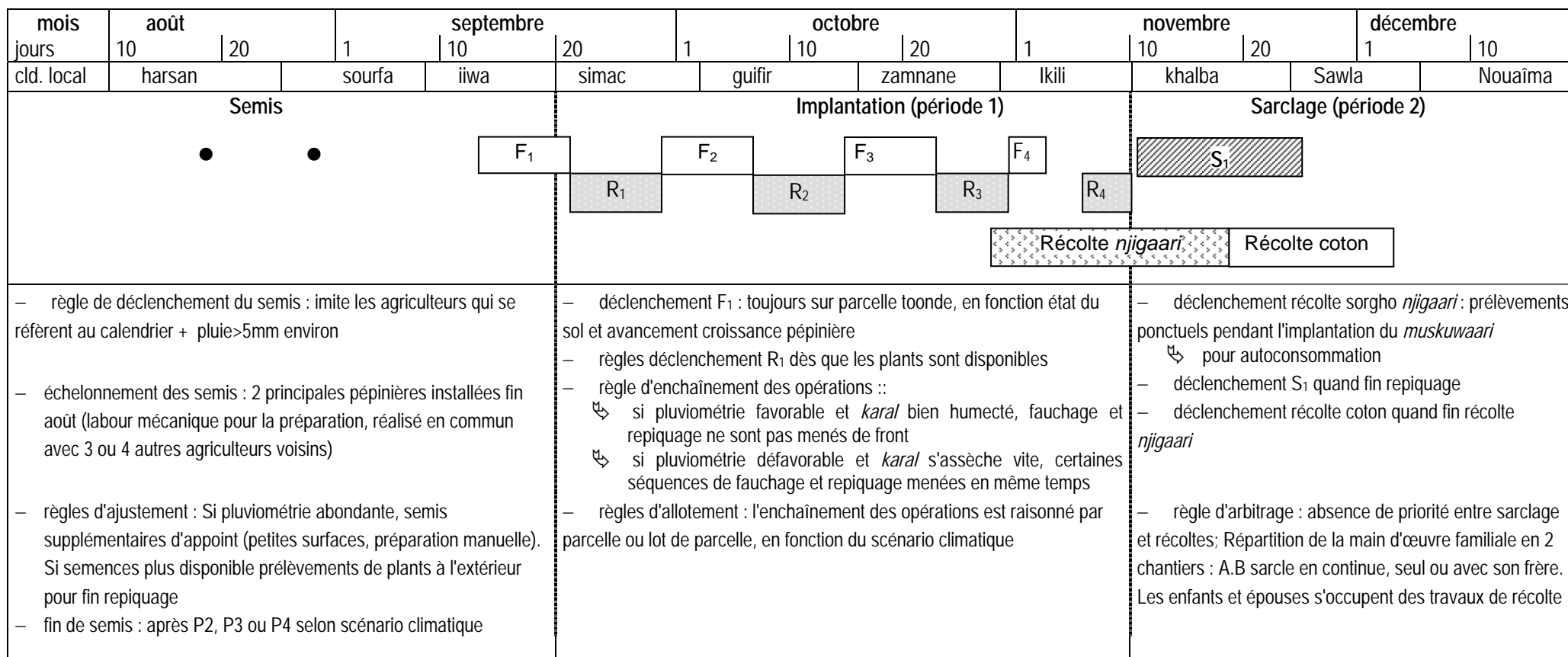
Pépinières	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
2001	(même emplacement pour P ₃ et P ₄)				
variété(s)	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>majeeri</i>	<i>majeeri+safra</i>	<i>majeeri</i>
qté semences (kg)	4	5	1	1	1
mode préparation	charrue	houe	houe	houe	
surf. pépinière (m ²)	120	90	40	80	60
fertilité	+++	+++	+++	++	+++
2002	P ₁	P ₂	(même emplacement pour P ₁ et P ₂)		
variété(s)	<i>majeeri+ safra</i>	<i>majeeri</i>			
qté semences (kg)	3	2			
mode préparation	charrue	houe			
surf. pépinière (m ²)	170	100			
fertilité	++	+++			

+++ : très bonne fertilité (termitière) ou apport fumure minérale

++ : bonne fertilité

+ : fertilité moyenne

Figure 1 : Modèle d'action de A.B : RDD pour l'enchaînement des opérations



Légende :

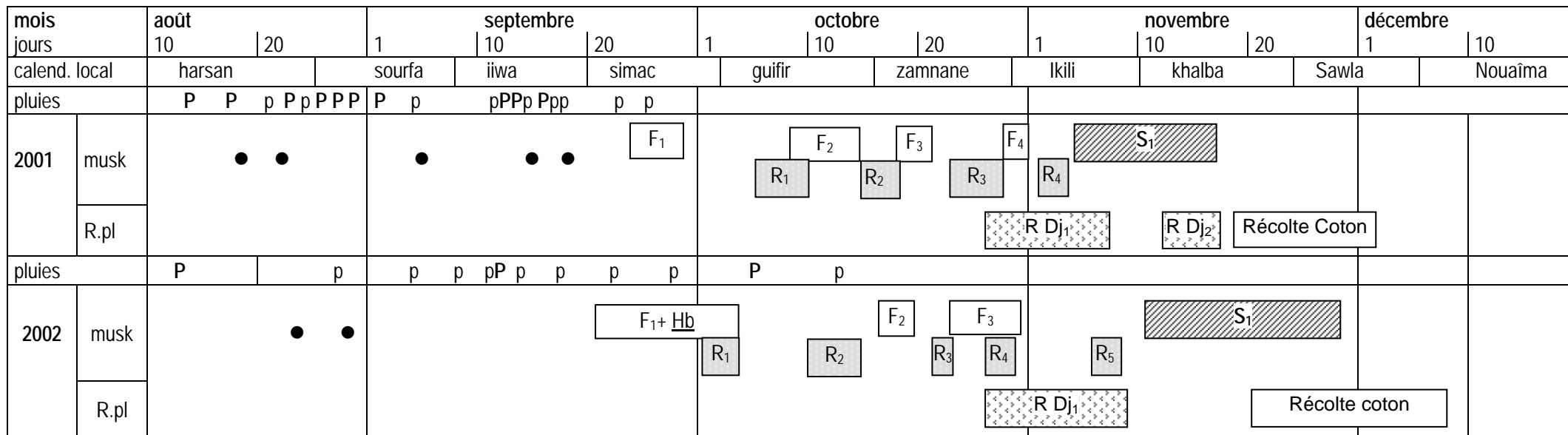
● semis pépinière

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou traitement herbicide (Hb)

S₁ : sarclage séquence 1

R₁ : repiquage séquence 1

Figure 2 : Réalisations en 2001/2002 et 2002/2003



Légende :

p : pluie supérieure à 5mm
 P : pluie supérieure à 20mm
 ● semis pépinière (⊙ : resemis)
 R.pl : récoltes cultures pluviales

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou herbicide (Hb) ou labour (L₁)
 R₁ : repiquage séquence 1

S₁ : sarclage séquence 1
 [] : opération en partie effectuée par des manœuvres temporaires
 R Dj₁ : récolte *njigaari* (sorgho pluvial) séquence 1

2.4. La conduite de l'implantation et de l'entretien de la sole à *muskuwaari*

Avec une force de travail réduite et des moyens limités pour recourir à une main d'œuvre extérieure, A.B conduit rarement en même temps un chantier de fauchage et de repiquage. Il organise l'implantation en s'appuyant sur la variabilité de la topographie et des terrains formant différentes parcelles à l'intérieur de son *karal* où il alterne successivement chantiers de fauchage et de repiquage. Ainsi, bien que la surface de son *karal* soit seulement de 1 ha, il a tendance à fractionner la préparation et le repiquage en plusieurs séquences (4 et plus) dont le nombre varie selon le scénario climatique. Ce séquençage ne ressort pas directement dans les explications de A.B, mais il expose clairement les étapes de l'implantation de son *karal*, correspondant aux différents terrains dont il dispose.

2.4.1. Déclenchement et enchaînement des opérations d'implantation

A.B déclenche systématiquement la préparation puis le repiquage dans la parcelle *toonde*, estimant que c'est la portion de son *karal* qui s'assèche le plus vite, avant même la partie *daande maayo*. Pour décider du démarrage de la préparation, il s'appuie non seulement sur l'état d'avancement des pépinières mais aussi en observant les décisions des agriculteurs voisins et des indices de dessèchement de la parcelle *toonde* (apparition de petites fentes superficielles)

Par la suite, il décide l'enchaînement des opérations d'implantation selon l'état du sol et la disponibilité en plants. **Il cherche avant tout à repiquer au meilleur moment, dès que les conditions hydriques du sol le permettent**, sans forcément attendre de disposer de la variété ou de la taille de plants la plus appropriée. Il distingue l'implantation :

1. des parcelles de vertisols intermédiaires (*toonde, d.maayo*) où il tente de repiquer assez tôt quitte à effectuer un sur-repiquage en cas de mauvaise reprise liée à des pluies tardives. Ces terrains peuvent être repiqués en condition relativement humide,
2. dans la partie de vertisol typique (*baleewal*) où il doit attendre un certain temps de ressuyage avant fauchage ou entre fauchage et repiquage,
3. dans les parcelles *luggere* (marre). Le repiquage peut se faire dans un sol encore humide, un peu après le retrait de l'eau s'il a des plants disponibles.

Les années de faible pluviométrie, A.B accélère l'implantation en menant de front certaines séquences de fauchage et repiquage, et en constituant des lots de parcelles où l'implantation a lieu en une seule séquence. Le recours à l'herbicide est limité par ses ressources financières et il n'a pas encore vraiment adopté cette innovation. Il s'est toutefois montré intéressé par l'utilisation du traitement dans les portions infestées par les vivaces, ou dans sa parcelle *toonde* en haut de topographie, pour accélérer les premiers travaux d'implantation.

Tableau IV : Ordre de repiquage des différents terrains et pépinières utilisées

séquences repiquage	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	
Enchaînement "idéal"					
Terrains	<i>toonde, d.maayo</i>	d.maayo, <i>baleewal</i>	<i>baleewal</i>	<i>luggere</i>	
pépinière prévue	P ₁	P ₁	P ₁ + P ₂	P ₃ ou extérieure	
Enchaînement en 2001					
Terrains	<i>toonde, d.maayo</i>	d.maayo, <i>baleewal</i>	<i>baleewal, luggere</i>	<i>luggere</i>	
pépinières utilisées	P ₁ + P ₂	P ₃	P ₄ + P ₅	P _{extérieure}	
Enchaînement en 2002					R₅ (ajustement)
Terrains	<i>toonde</i>	d.maayo, <i>baleewal</i>	<i>baleewal, luggere</i>	<i>baleewal, luggere</i>	<i>luggere</i>
pépinières utilisées	P ₁	P ₁	P ₂	P _{extérieure}	P _{extérieure}

2.4.2. Articulation des sarclages avec les récoltes des cultures pluviales

A.B mène une seule longue séquence de sarclage dès la fin du repiquage, avec parfois 2 passages dans la même parcelle au début et à la fin de S_1 . La récolte de sorgho pluvial est toujours initiée au cours de l'implantation du sorgho repiqué pour le prélèvement des premières panicules mûres destinées généralement à l'autoconsommation. La récolte se termine après la fin du repiquage, mais comme A.B ne dispose que d'une petite surface, le battage a lieu rapidement et n'oblige pas de véritable interruption des travaux de sarclage du *muskuwaari*. Ensuite, les enfants et la femme de A.B se charge de la collecte du coton pendant qu'il poursuit l'entretien de son *karal* avec son frère.

2.5. Déroulement de l'implantation et de l'entretien en 2001 et 2002

En 2001, A.B a respecté en partie son modèle d'action. La bonne pluviométrie enregistrée cette année a permis l'étalement des travaux de fauchage/repiquage compte tenu de la forte humidité voire l'inondation observée dans les différentes parcelles. Comme prévu, il a engagé le fauchage de sa parcelle *toonde* puis une partie des terrains *daande maayo* dès fin septembre, parfois interrompue 1 ou 2 jours à cause des dernières pluies (Figure 2). Bien que les plants de la première pépinière aient été disponibles précocement, il a préféré attendre les conditions les plus favorables d'humidité du sol avant de déclencher le repiquage (R_1). Par la suite, l'enchaînement a été avant tout déterminé par l'état du sol dans les différentes parcelles, car la bonne production des différentes pépinières a facilité l'approvisionnement tout au long de la période d'implantation.

En 2002, l'ordre de repiquage et l'enchaînement des chantiers est similaire à l'année précédente, mais la moindre disponibilité en plants et la nécessité de repiquer plus vite compte tenu d'une saison des pluies médiocre, ont poussé A.B à ajuster son organisation. Ainsi, la première séquence de préparation (fauchage + une portion traitée dans le cadre d'un test herbicide) a englobé toutes les parcelles intermédiaires et une partie des parcelles *baleewal* (Figure 4). Une portion *daande maayo* jugée trop sèche et présentant certaines adventices (*Imperata* sp.), n'a pas été préparée ni repiquée. Le prolongement de F_1 s'explique avant tout par l'absence de plants disponibles pour engager rapidement R_1 , la première pépinière n'ayant pas produit aussi vite que A.B l'espérait. Le repiquage dans la parcelle *toonde* a été mené de front avec la fin de F_1 , mais la forte pluie du 6 octobre a obligé l'interruption de R_1 . Les pluies tardives ayant permis une meilleure recharge en eau des sols, l'enchaînement de la fin de l'implantation a été semblable à 2001. Le manque de plants en fin de repiquage a toutefois obligé A.B à différer l'implantation d'une partie de la parcelle *luggere*. Il a dû réaliser une 5^{ème} séquence de repiquage (R_5), le temps de se procurer des plants chez d'autres agriculteurs. Les travaux de sur-repiquage ont aussi été important pour remplacer les pieds repiqués début octobre et n'ayant pas repris à cause de la forte pluie qui a suivie.

Figure 3 : Organisation spatiale du *karal* de A.B (1 ha) et enchaînement des séquences de fauchage (F) et repiquage (R) lors de la campagne 2001/2002

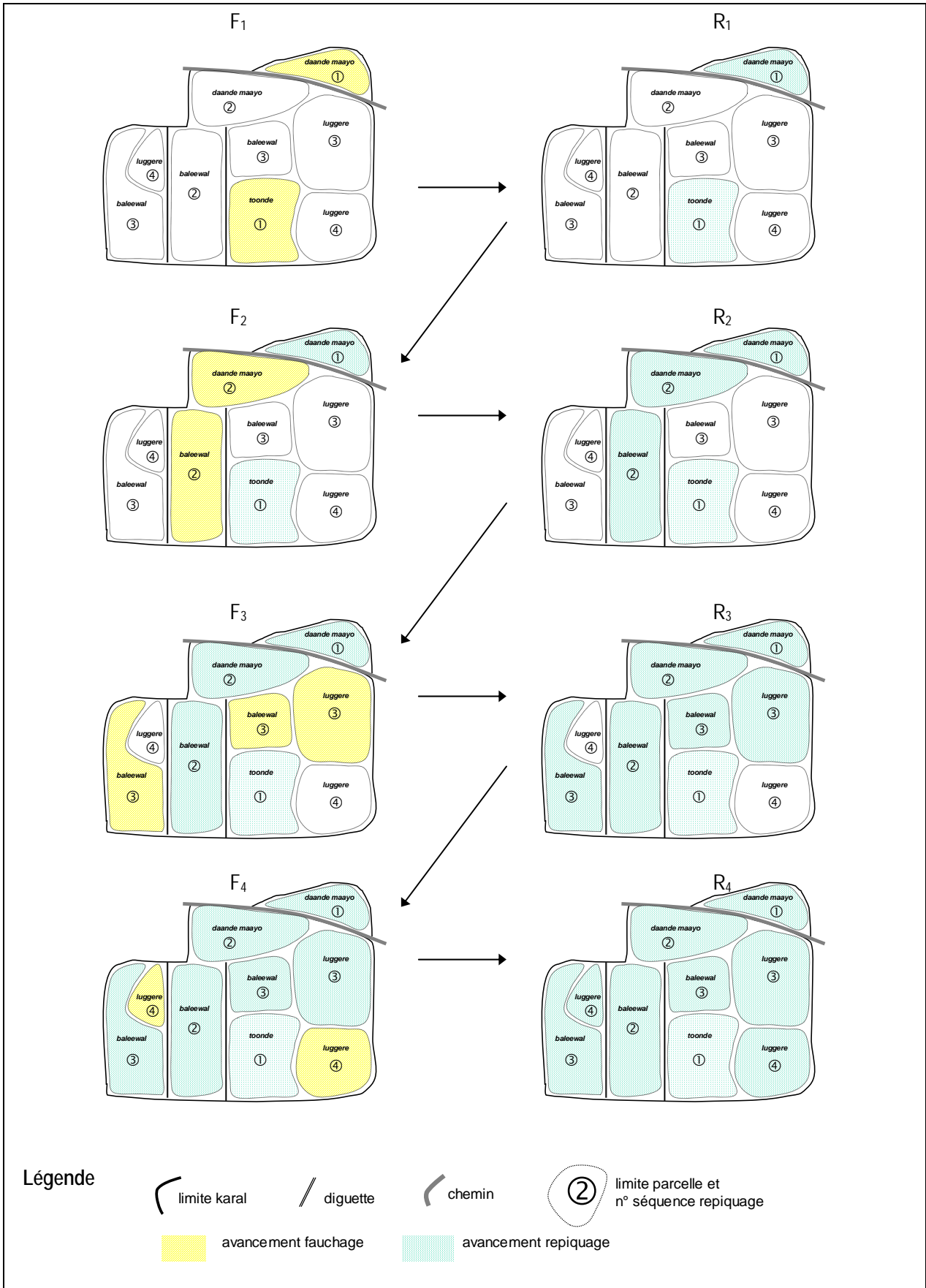
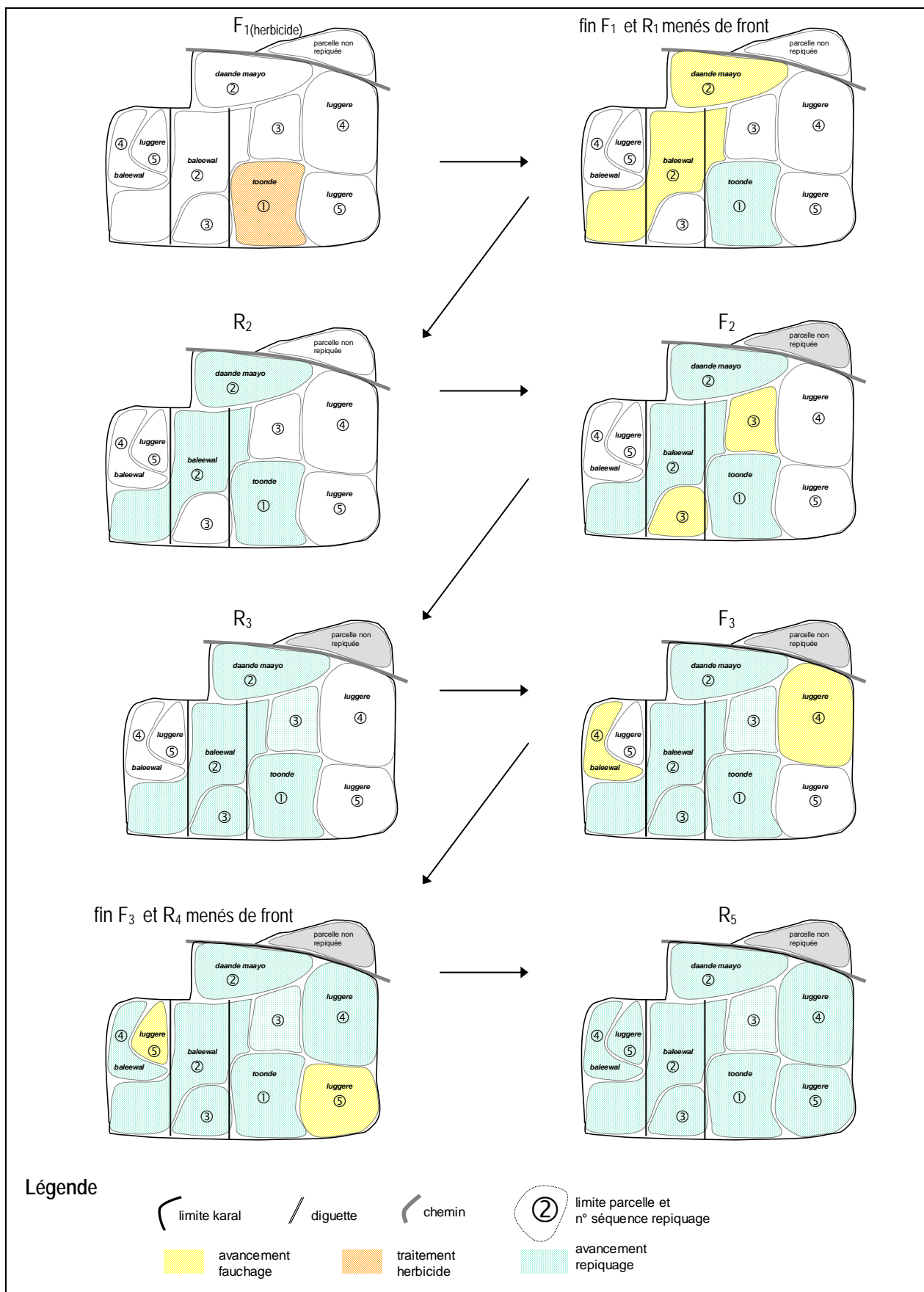


Figure 4: Organisation spatiale du *karal* de A.B (1 ha) et enchaînement des séquences de préparation (fauchage ou herbicide) et repiquage (R) lors de la campagne 2002/2003



3. CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'ANALYSE DU MODE DE CONDUITE DE A.B

Comme pour N.A, les caractéristiques de structure de son exploitation déterminent fortement son mode de conduite :

- ↳ La culture du *muskuwaari* est essentielle pour la sécurité alimentaire de l'exploitation. Avec une force de travail réduite et des moyens limités pour recourir à une main d'œuvre extérieure, A.B tente de s'appuyer au mieux sur la variabilité de la topographie et des terrains à l'intérieur de son *karal* pour parvenir à repiquer dans des conditions optimales du point de vue de l'humidité du sol
- ↳ Il s'efforce de bien respecter les premières dates de semis en installant ses deux principales pépinières assez rapidement afin de s'assurer de plants disponibles dès le début du repiquage. Avec une surface à repiquer relativement réduite, une force de travail et une quantité de semences limitées, il considère qu'il peut s'appuyer sur les prélèvements dans les pépinières de ses voisins pour réaliser les derniers chantiers de repiquage.
- ↳ A.B conduit rarement en même temps un chantier de préparation et de repiquage, avant tout car il n'a pas les moyens de solliciter des manœuvres temporaires. Il peut cependant décider de repiquer une parcelle tout laissant son frère et un de ses fils poursuivre la préparation, afin d'installer plus rapidement le *muskuwaari* sur ses parcelles en topographie haute.
- ↳ Il devrait adopter le traitement herbicide de préparation de façon ponctuelle dans certaines parcelles, réduisant ainsi les séquences de fauchage et permettant plus de souplesse pour l'implantation en particulier lors des années les plus sèches

ANNEXE 7: Conduite du *muskuwaari* et RdD de A.K (M3)

Village : Mowo
 Ethnie : mofu
 Date d'installation : depuis 32 ans

1. ELEMENTS DE STRUCTURE ET DE FONCTIONNEMENT DE L'EXPLOITATION DE A.K

Tableau I : Principaux indicateurs pour les 2 années d'enquêtes (Superficie cultivée : 3 ha)

Proportions moyennes surfaces cultivées		Ressources en travail			Objectifs et stratégies
%musk.	% sole pluviale	MOF en ha/UTA ¹	Equipmt	Salariés	
40	60	1	charrue + 1 âne	-	Assurer l'autosuffisance alimentaire, diversifier sources de revenus (coton, surplus vivriers...) ↗ développement traction animale ↗ maintien au moins 60% de culture céréalière ↗ sources revenus variés (coton, location terre, appui de son fils salarié à l'extérieur)

A.K, âgé de 53 ans, s'est installé à Mowo il y a 32 ans. Il a défriché progressivement l'ensemble des ressources foncières dont il dispose actuellement. Ses surfaces apparaissent suffisante pour atteindre la sécurité alimentaire et dégager quelques revenus à partir du coton et des surplus vivrier, mais ses ressources en travail et le faible développement de la traction animale s'avèrent des facteurs limitant. Il effectue lui-même la plupart des travaux culturels avec l'aide de sa femme et de sa fille. Son fils, qui a obtenu depuis 3 ans une activité salariée dans la mission du village, ne travail plus dans l'exploitation. En fonction de sa trésorerie disponible, A.K a parfois recours à des manœuvres extérieurs.

Il adopte globalement une stratégie défensive en privilégiant les céréales complété par 2 ou 3 quart de coton selon les prix annoncés et sa force de travail. Il lui arrive de louer certaines parcelles quand il pense qu'il ne parviendra pas à tout cultiver (absence de moyens pour l'emploi de manœuvres).

2. REGLES DE DECISION DU CHEF D'EXPLOITATION POUR LES SEMIS, L'IMPLANTATION ET L'ENTRETIEN DU *MUSKUWAARI*

A.K est parmi les quelques exploitants de Mowo a avoir une proportion égale de sorgho pluvial et de *muskuwaari* dans son assolement. Cependant, la productivité des surfaces en *muskuwaari* est généralement plus faible que celle des parcelles de sorgho pluvial. Il dispose d'un *karal* de 1,25 ha, défriché il y a environ 25 ans au sud du village. Cette surface a d'abord été consacrée au *njigaari* pendant 3 ans avant de tout convertir en sorgho repiqué à cause des inondations récurrentes liées au changement de lit et aux crues d'un cour d'eau temporaire passant dans le champs. Son *karal* est donc dominé par des vertisols intermédiaires, avec une hétérogénéité de terrains (*harde, n'deleb, yolde*) liée à des variations pédologiques et de topographie.

2.1. Constitution des chantiers et modalités d'intervention

A.K ne réalise aucun aménagement dans son *karal* car les diguettes serait très vite emportées par le ruissellement et les crues du cours d'eau. Il consacre seulement 2 jours/ha au cours de août septembre à l'arrachage des ligneux et des mauvaises herbes.

¹ Unité de Travail Agricole

Tableau II : Les différents chantiers et modes d'intervention de A.K pour la culture du *muskuwaari*

Opérations	Composition des chantiers	Différentes modalités d'intervention et d'enchaînement
Aménagement <i>karal</i>	chef UP	arrachage ligneux et mauvaises herbes
Semis pépinières	chef UP	labour à la charrue ⇒ semis
Implantation et entretien		
↳ Préparation	– chef UP – manœuvres temporaires	vertisols intermédiaires avec parcelles inondables et parcelles dans ancien lit (dépôt sableux), graminées annuelles dominantes, présence ponctuelle de vivaces, recouvrement moyen à fort : ↳ fauchage ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 ou 2 sarclages ↳ fauchage + herbes extérieures ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ sarclage
↳ Repiquage	– trouaison : chef UP – transplantation : épouse + fille	
↳ Sarclage	– chef UP – manœuvres temporaires	

La plupart des modalités d'intervention sont manuelles (Tableau I). Mis à part les tests mis en place avec notre appui, A.K n'a pas encore adopté le traitement herbicide. Il a montré toutefois un vif intérêt pour l'innovation, en particulier pour accélérer les premiers chantiers de préparation. Il peut éventuellement obtenir l'herbicide à crédit remboursable lors de la vente du coton, car sa faible disponibilité en trésorerie au cours de la saison des pluies² constitue un facteur limitant pour payer le produit comptant.

2.2. La gestion des semis en pépinières

Selon le scénario climatique, **A.K prévoit généralement 3 à 4 pépinières échelonnées dans le temps et installées dans 1 ou 2 emplacements, ce qui permet de regrouper les travaux de préparation du sol à la charrue** (traction asine). D'après lui, cette organisation est bien adaptée pour la surface et les différents terrains à repiquer, et il a donc rarement besoin de prélever des plants à l'extérieur.

Pour déclencher son premier semis, il a tendance à imiter les agriculteurs voisins, en particulier ceux qui ont des terrains argilo-sableux en topographie haute, nécessitant un repiquage précoce.

Il attend aussi une pluie supérieure à 10mm environ pour réaliser chaque semis. Toutes ses semences sont traitées. Il installe la majorité de ses pépinières en bordure de son *karal*, ce qui facilite les prélèvements pour les chantiers de repiquage. Il n'effectue pas d'apport d'engrais mais réalise toujours le dernier semis sur une ancienne termitière, pour le repiquage plus tardif des parcelles inondables.

2.3. Déroulement des semis en 2001 et 2002

En 2001, compte tenu de la forte pluviométrie, A.K a augmenté l'échelonnement des semis par rapport à son organisation habituel. Pressentant un étalement de la période de repiquage, il a échelonné 5 pépinières de taille équivalente sur un mois entre début août et début septembre (cf. Tableau III).

Il a effectué un premier semis précoce, en réaction au déroulement de la campagne précédente où il avait pris du retard pour la fourniture en plants des premiers chantiers de repiquage. Pour regrouper l'opération de préparation du sol à la charrue (traction asine) il s'est limité à 2 emplacements pour les 4 premières pépinières. En constatant une pluviométrie régulière en septembre, il a ajusté sa production de plants en réalisant une cinquième pépinière, préparée à la houe autour d'une ancienne termitière.

En 2002, la gestion des semis apparaît très différente. A.K a pris du retard dans les travaux d'entretien du sorgho pluvial et du coton, et n'a donc pas échelonné ses semis comme prévu. De plus il a décidé de réduire sa surface de *karal* en louant une parcelle d'un quart qui est d'habitude repiquée en premier. Ainsi, il a installé sa première pépinière seulement le 30 août, sur termitière, pour favoriser une croissance rapide des plants et combler son

² il ne dispose pas de petit bétail faisant office "d'épargne sur pieds", et les stocks de vivriers sont souvent réduits à ce moment ce qui limite la possibilité d'aller vendre quelques tasses de sorgho au marché.

retard. Puis après une interruption des pluies pendant 6 jours, et compte tenu de la réduction de sa surface à repiquer, il décide de tout semer dans une seule grande pépinière. Les quelques pluies tardives en septembre et octobre ont prolongé l'humidité dans ses terrains en bordure de rivière et il a été contraint d'emprunter des plants chez des agriculteurs voisins pour repiquer les dernières parcelles.

Tableau III : Caractéristiques des pépinières de A.K en 2001 et 2002

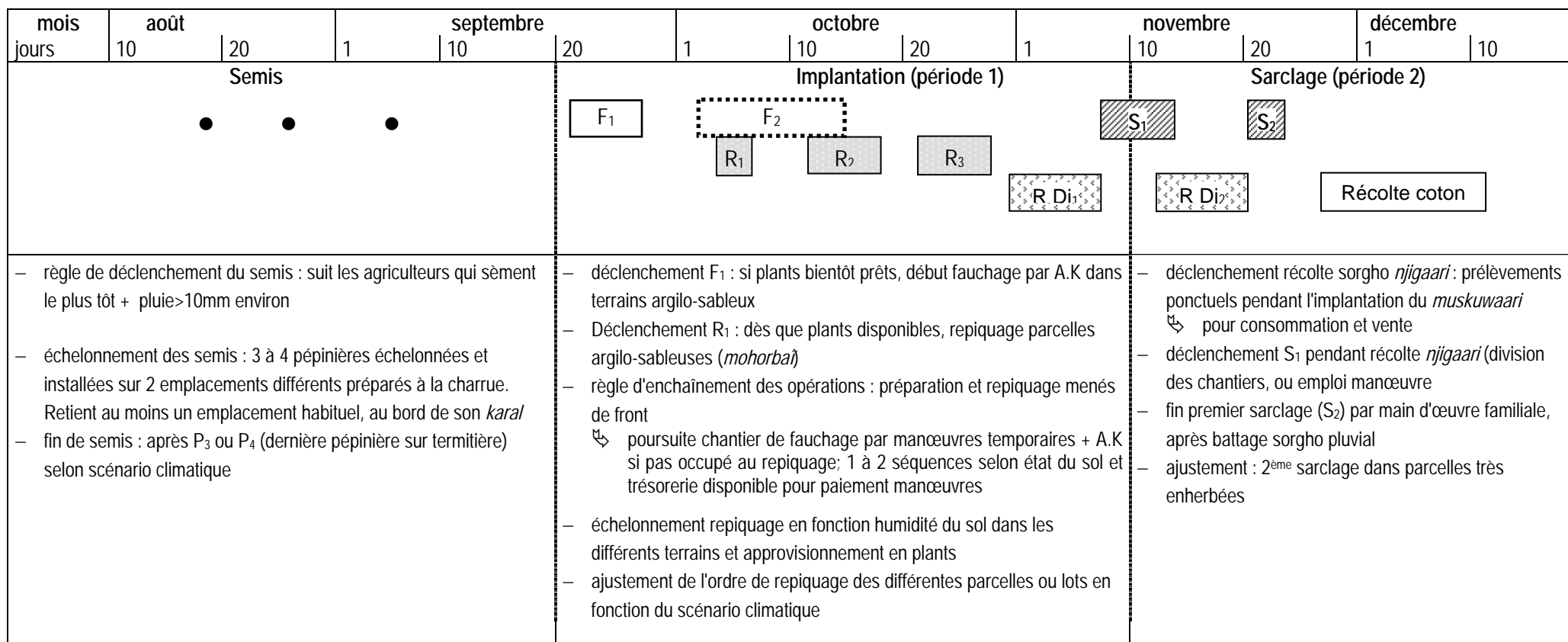
Pépinières	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
2001	(emplacement commun pour P ₁ et P ₂ ainsi que P ₄ et P ₅)				
variété(s)	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>
qté semences (kg)	1	1	1	1,5	1,5
mode préparation	charrue	charrue	charrue	charrue	houe
surf. pépinière (m ²)	70	70	75	65	65
fertilité	++	++	++	++	+++
2002	P ₁ et P ₂ même emplacement en 2002				
variété(s)	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>			
qté semences (kg)	1	4			
mode préparation	charrue	charrue			
surf. pépinière (m ²)	50	250			
fertilité	+++	+++			

+++ : très bonne fertilité (termitière) ou apport fumure minérale

++ : bonne fertilité

+ : fertilité moyenne

Figure 1 : Modèle d'action de A.K : RdD pour l'enchaînement des opérations



Légende :

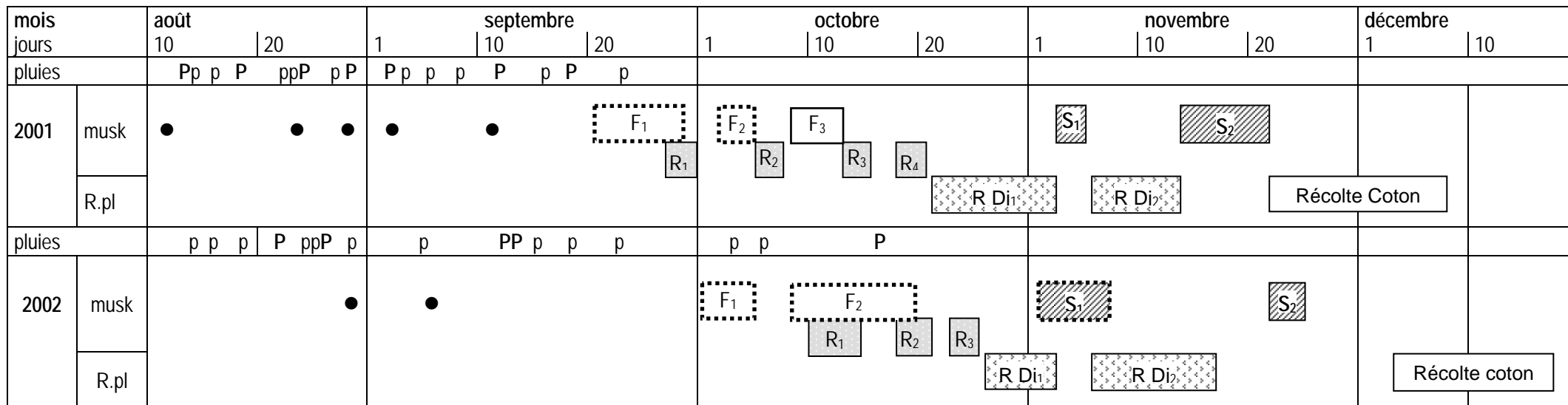
● semis pépinière

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou traitement herbicide (Hb)

R₁ : repiquage séquence 1

S₁ : sarclage séquence 1

Figure 2 : Réalisations en 2001/2002 et 2002/2003



Légende :

p : pluie supérieure à 5mm
 P : pluie supérieure à 20mm
 ● semis pépinière
 R.pl : récoltes cultures pluviales

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou herbicide (Hb) ou labour (L₁)

R₁ : repiquage séquence 1

S₁ : sarclage séquence 1

□ (pointillés) : opération en partie effectuée par des manœuvres temporaires

R Di₁ : récolte *njigaari* (sorgho pluvial) séquence 1

2.4. La conduite de l'implantation et de l'entretien de la sole à *muskuwaari*

La particularité de A.K est de détenir une surface pas trop importante (1,25 ha) et de recourir systématiquement à des manœuvres pour le fauchage. Il tente ainsi d'effectuer la préparation de son *kara!* d'un seul trait selon les moyens dont il dispose pour le paiement des manœuvres, mais il fractionne ensuite le repiquage par parcelle ou groupe de parcelles en fonction de l'humidité du sol.

2.4.1. Déclenchement et enchaînement des opérations d'implantation

A.K déclenche le fauchage sur une portions du *kara!* argilo-sableuse (*yalde* ou *marooga*) environ 1 semaine avant que ses premiers semis n'arrive à un stade approprié pour le repiquage. Comme pour les *daande maayo* à Balaza, ces terrains à vertisols intermédiaires sont filtrants et même si une forte pluie intervient après le fauchage, les herbes ne risquent pas d'être emportées. **Il entame seul le fauchage et s'il constate que les pluies se font plus rares (absence de pluies > 20mm pendant 5 jours), il confie le chantier de préparation à des manœuvres temporaires et commence le repiquage.** Dans les terrains *yalde*, A.K peut repiquer précocement en condition humide, et grâce au caractère filtrant de ces sols, les risques d'échec à la reprise à cause d'une pluie survenue après le repiquage sont limités³.

Par la suite, il décide l'enchaînement des opérations d'implantation en fonction de l'état du sol, de la disponibilité en plants et de ses moyens disponibles pour le paiement des manœuvres.

Concernant la préparation, A.K tente de privilégier la réalisation du fauchage par les manœuvres en une seule séquence. La présence de parcelles avec inondations temporaires lors des années les plus pluvieuses oblige parfois à échelonner la préparation. Le financement des manœuvres se révèle aussi une contrainte importante qui empêche d'exécuter le fauchage d'un seul trait. En effet, pour A.K, la vente du sorgho pluvial constitue sa principale source de trésorerie. L'argent n'est souvent disponible qu'au coup par coup au fur et à mesure des premiers prélèvements de sorgho pluvial précoce. A.K ne peut pas négocier le fauchage de l'ensemble de son *kara!*. Il confie donc 1 ou 2 quart à des manœuvres, souvent les mêmes chaque année. Ensuite, s'il dispose à nouveau d'un peu de trésorerie, il les sollicite pour la fin du fauchage, ce qui peut expliquer la réalisation de différentes séquences de préparation.

Grâce à un avancement rapide du fauchage avec l'appui des manœuvres, A.K peut s'assurer du repiquage de ses différentes parcelles au meilleur moment du point de vue de l'humidité du sol, à condition de disposer d'un approvisionnement régulier en plants. Chaque séquence de repiquage résulte ainsi de la coïncidence entre des plants disponibles dans une pépinière et des conditions favorables pour la transplantation dans un type de terrain de son *kara!*. Cela explique la réalisation de 3 ou 4 séquences de repiquage, correspondant aux 3 grands types de sol présents :

1. vertisols intermédiaire avec dépôt sableux en surface (*mohorbaï*, *yalde* ou *marooga*)
2. vertisols intermédiaires plus argileux et vertisols dégradés (*n'deleb*, *harde*)
3. parcelle de vertisol typique à large fente de retrait, proche d'un cours d'eau temporaire avec parfois une période d'inondation (*n'deleb*)

Tableau IV : Ordre de repiquage des différents terrains et pépinières utilisées

séquences repiquage	R ₁	R ₂	R ₃	(R ₄)
Enchaînement "idéal"				
Terrains	<i>mohorbaï</i>	<i>harde, n'deleb</i>	<i>n'deleb</i>	<i>n'deleb</i>
pépinière prévue	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
Enchaînement en 2001				
Terrains	<i>mohorbaï</i>	<i>harde, n'deleb</i>	<i>n'deleb</i>	<i>n'deleb</i>
pépinières utilisées	P ₁	P ₂ + P ₃	P ₃ + P ₄	P ₃ + P ₄
Enchaînement en 2002				
Terrains	<i>harde</i>	<i>n'deleb</i>	<i>n'deleb</i>	
pépinières utilisées	P ₁ + P ₂	P ₁ + P ₂	P _{extérieure}	

³ D'après A.K, dans ces sols, il suffit de 3 jours sans pluies après le repiquage pour être assuré d'une bonne reprise.

2.4.2. Articulation des sarclages avec les récoltes des cultures pluviales

La récolte de sorgho pluvial est toujours initiée précocement puisque A.K prélève ponctuellement les premières panicules parvenues à maturité (variété de sorgho pluvial semé en premier et précoce) non seulement pour l'autoconsommation mais aussi pour dégager un petit revenu nécessaire à l'emploi des manœuvres. Après la fin de l'implantation du *muskuwaari*, il engage le gros de la récolte avec sa famille, mais profite des délais nécessaires entre la coupe des tiges et l'opération de battage pour effectuer lui-même le sarclage des premières parcelles repiquées, tandis que son épouse et sa fille poursuivent la récolte de l'arachide. La fin du sarclage est réalisée par toute la famille lors d'une deuxième séquence après le battage du *njigaari*. En cas de forte pression des adventices, A.K emploie parfois un manœuvre pour assurer une partie du sarclage, car il ne veut pas risquer de retarder la récolte du sorgho pluvial. Par ailleurs, un deuxième passage s'avère parfois nécessaire dans certaines parcelles, avant d'engager la récolte du coton.

2.5. Déroulement de l'implantation et de l'entretien en 2001 et 2002

En 2001, A.K s'est bien conformé à l'organisation exposée précédemment. La bonne pluviométrie a permis une production régulière de plants, et l'étalement des chantiers de fauchage et repiquage compte tenu de la forte humidité voire l'inondation temporaire observée dans les parcelles en bas de pente. Le fauchage qu'il réalise lui-même fin septembre, est rapidement confié à 2 manœuvres (F₁). Il a sollicité un autre manœuvre pour la suite du fauchage (F₂), mais comme les délais sont assez importants entre chaque séquence de repiquage (temps nécessaire pour la diminution de l'humidité du sol dans les terrains les plus argileux) il a pu effectuer lui-même la fin du fauchage (F₃). Par contre, avec l'importante récolte de *njigaari*, il a été pris de cours par le fort enherbement de son *karal*, ceci malgré l'emploi ponctuel d'un manœuvre pour S₁. Dans certaines parcelles, le sarclage a été réalisé trop tard et a fortement limité la production.

En 2002, le scénario climatique est différent, mais la conduite globalement reste la même. A.K a décidé de réduire sa surface en louant une parcelle de 0,25 ha où il débute habituellement l'implantation (terrain *mohorbai*). Ainsi, le repiquage a débuté plus tardivement d'autant plus que les plants n'ont pas été disponibles très vite (retard du premier semis). En limitant sa surface, et avec une moindre pression des adventices, les travaux de sarclage se sont déroulés dans de meilleures conditions qu'en 2001.

Ainsi, malgré une pluviométrie moins favorable en 2002, A.K a obtenu la même production qu'en 2001 donc un rendement plus élevé compte tenu de la réduction de surface par rapport à la campagne précédente. **Il affirme d'ailleurs que les années de pluviométrie moyenne sont plus favorables pour son *karal* en particulier pour ses terrains argilo-sableux (*mohorbai*, *maaroga*) où l'enherbement s'avère très contraignant lors des années très pluvieuses.**

3. CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'ANALYSE DU MODE DE CONDUITE DE A.K

- ✎ Pour A.K, sa faible ressource en travail apparaît une contrainte forte pour la conduite des cultures et en particulier du sorgho repiqué
- ✎ Le *muskuwaari* représente la moitié de ses surfaces cultivées. La surface à repiquer demeure raisonnable par rapport à sa ressource en travail (0,3 à 0,4 ha par actif), mais il doit recourir systématiquement à des manœuvres pour la préparation, compte tenu de la pénibilité des travaux de fauchage pour son épouse et sa fille.
- ✎ Il cherche à obtenir un approvisionnement régulier en plants et à effectuer la préparation de son *karal* d'un seul trait pour être en mesure d'ajuster les séquences de repiquage aux conditions optimales du point de vue de l'humidité du sol. La variabilité des conditions édaphiques, surtout les années à forte pluviométrie, et la disponibilité de la trésorerie au coup par coup pour le paiement des manœuvres peuvent cependant le contraindre à fractionner les travaux de préparation.

- ↪ Le problème de ressource en travail se pose également pour le sarclage, entraînant des retard lors des années les plus humides. Malgré une réduction de surface en 2002, A.K ainsi a obtenu la même production qu'en 2001, année pourtant plus arrosée mais avec une forte pression de l'enherbement. D'après A.K, Les années de pluviométrie moyenne s'avèrent plus favorables pour son *kara* en particulier pour ses terrains argilo-sableux (mohorbai, maaroga) où l'enherbement se révèle très contraignant lors des années très pluvieuses.

ANNEXE 8: Conduite du *muskuwaari* et RdD de G.R (M1)

Village : Mowo
Ethnie : mofu
Date d'installation : 40 ans

1. ELEMENTS DE STRUCTURE ET DE FONCTIONNEMENT DE L'EXPLOITATION DE G.R

Tableau I : Principaux indicateurs pour les 2 années d'enquêtes (Superficie cultivée : 7,75 ha)

Proportions moyennes surfaces cultivées		Ressources en travail			Objectifs et stratégies
%musk.	% sole pluviale	MOF en ha/UTA ¹	Equipmt	Salariés	
33	67	0,75	charrues+2 bovins de trait	surga ou salariés temporaires	Autosuffisance alimentaire (sorgho pluvial & sorgho repiqué), dégager revenu (coton+ ventes céréales) pour extension foncière + financement scolarités ↳ 1/3 coton et 2/3 céréales ↳ développement traction animale ↳ épargne dans élevage caprin et ovin

G.R est d'ethnie mofu, âgé de 57 ans et installé à Mowo en tant que chef d'exploitation depuis plus de 40 ans. Ses ressources foncières lui permettent d'assurer la sécurité alimentaire de la famille et de vendre quelques surplus. Il dispose d'une importante main d'œuvre familiale, dont un fils aîné qui cultive ses propres parcelles de coton (surfaces non incluses dans les indicateurs de structure) et qui devrait bientôt gérer sa propre exploitation lorsqu'il possèdera suffisamment de ressources foncières. Deux autres fils poursuivent des études secondaires ce qui constitue une dépense non négligeable pour la famille. Il s'appuie de plus en plus sur la traction animale pour les travaux culturaux de saison des pluies (labour et sarclage). Il a seulement recours à une main d'œuvre extérieure lors de pointes de travail, essentiellement lors de l'implantation du *muskuwaari*. L'élevage de petits ruminants (15 caprins et 6 ovins) est plus considéré comme une forme d'épargne que comme une source de revenus supplémentaires.

2. REGLES DE DECISION DU CHEF D'EXPLOITATION POUR LES SEMIS, L'IMPLANTATION ET L'ENTRETIEN DU *MUSKUWAARI*

Les surfaces en *muskuwaari* sont équivalentes à celles de sorgho pluvial, mais la production représente environ 1/3 des céréales de l'exploitation compte tenu de rendements plus faible que le *njigaari*. G.R possède 2 *kare* :

- un *kara*l de 2ha (*kara*l A), obtenue par le défrichage d'anciennes terres de parcours il y a une vingtaine d'année (sud de Mowo) et dominé par des terrains dégradés (hardé) et des vertisols intermédiaires (*n'deleb*).
- un *kara*l de 0,75 ha (*kara*l B), acheté il y a une dizaine d'année dans un village voisin (Boula), comportant des variations importantes de sol et de topographie : hardé en position haute + vertisols intermédiaires (*n'deleb* et *mohorba*).

2.1. Constitution des chantiers et modalités d'intervention

Les terres hardé représentent environ 50% de la sole à *muskuwaari* de G.R. L'aménagement de ces parcelles constitue une condition essentielle de la réussite du *muskuwaari*. Mais la distance des *kare* par rapport à l'exploitation constitue une contrainte pour la réalisation de chantiers de constructions/réfection de diguettes en fin de saison des pluies. De plus, G.R trace et monte les diguettes à la charrue, mais l'attelage est déjà beaucoup

¹ Unité de Travail Agricole

sollicité pour les travaux de buttage du coton en août. Il ne peut donc pas toujours entretenir les aménagements comme il le souhaiterait alors que son principal *karal* situé en piémont est soumis à un fort ruissellement qui détériore rapidement les diguettes.

Tableau II : Les différents chantiers et modes d'intervention de G.R pour la culture du *muskuwaari*

Opérations	Composition des chantiers	Différentes modalités d'intervention et d'enchaînement
Aménagement <i>karal</i>	chef UP + fils + attelage	construction/réfection ponctuelle des diguettes selon temps disponible : tracées à la charrue puis relevées manuellement
Semis pépinières	chef UP + fils	labour à la houe ⇒ semis labour à la charrue ⇒ semis
Implantation et entretien		vertisols dégradés ou intermédiaire, graminées annuelles dominantes, recouvrement faible à moyen :
↳ Préparation	– chef UP + fils et/ou – MO temporaires ou surga	↳ fauchage ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage ↳ apport herbes extérieures ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclages ↳ traitement herbicide ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage ↳ traitement ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage
↳ Repiquage	– trouaison : chef UP + 1 fils – transplantation : tous actifs familiaux	(2 sarclages seulement dans vertisols intermédiaires, les années les plus humides)
↳ Sarclage	chef UP + fils	sarclage avec couperet ou la houe pour sols plus légers (<i>mohorbaï</i>)

La traction animale est utilisée pour l'aménagement des *kare* et la préparation des pépinières. Les modalités d'intervention sont manuelles pour les autres opérations (Tableau I). G.R sollicite toujours des salariés temporaires pour le fauchage du *karal* B et peut mener ainsi 2 chantiers de front. Il organise un surga seulement s'il constate qu'il a pris du retard dans la préparation du *karal* A. Depuis 2002, l'emploi de l'herbicide constitue une autre possibilité d'ajustement pour éviter de retarder l'implantation. G.R a traité 30% de ses surfaces, uniquement sur les terres hardé avec faible recouvrement, évitant ainsi le long travail de prélèvement et de transport de graminées extérieures pour la réalisation du brûlis.

2.2. La gestion des semis en pépinières

G.R prévoit 5 à 6 pépinières pour sa production de plants. La préparation se fait majoritairement à la charrue et parfois ou à la houe pour les petits emplacement de dernières pépinière. Il dispose d'un emplacement habituel, qu'il laboure entièrement, puis sème en 2 fois. Les autres pépinières sont installées en fonction des sites identifiés au cours de la période des semis.

G.R ne respecte pas de date fixe pour le déclenchement du premier semis. Il se repère en fonction d'un indicateur du milieu (floraison d'une variété tardive de sorgho pluvial appelée *maiguessé*) mais aussi en référence au déroulement de la campagne précédente (exemple : s'il est en retard l'année précédente, il avance le premier semis l'année suivante). Ensuite, l'échelonnement des différentes pépinières se fait surtout en fonction des pluies. Il distingue cependant une première série de semis fin août qu'il destine plutôt à l'ensemble des terrains hardé de sa sole, puis les 3 dernières pépinières, regroupées du début à la mi-septembre et utilisées plutôt pour les parcelles plus humides et la marre présente dans son 2^{ème} *karal*. Pour G.R, **bien échelonner et disperser les semis de pépinières est non seulement un moyen d'étaler le prélèvement de plants mais aussi de réduire les risques de pénuries liés au vols de pépinières dont il est parfois victime.**

Il sème généralement un mélange de variété *safraari* (droit et crossée). Il a toutefois séparé les semences pour certaines pépinières en 2002, afin de pouvoir privilégier *safraari* droit, plus précoce, sur les hardé.

G.R est attentif au stade des plants prélevés pour la transplantation. Selon lui, la taille optimale se situe entre 25 et 35 cm. En dessous, le plant est difficile à implanter si le trou est profond, et plus sensible au dégâts des criquets. Au delà de 35 cm, le plant est trop exposé au vent ce qui peut gêner l'enracinement juste après le repiquage.

2.3. Déroulement des semis en 2001 et 2002 (cf. Tableau III)

En 2001, la pluviométrie régulière facilité la gestion des semis, permettant à G.R de bien répartir dans le temps l'installation de ses 6 pépinières. La première série de semis, fin août a été utilisée surtout sur les hardé, tandis que les pépinières de septembre ont surtout été sollicité sur les terrains plus humides (*n'deleb* et marre).

En 2002, la saison des pluies ayant débuté tardivement, G.R n'a réalisé son premier semis que le 24 août, à partir de l'entrée en floraison du sorgho pluvial, et parce que le buttage du coton l'a occupé au delà du 15 août. Cependant, l'excellente fertilité du premier emplacement utilisé pour P₁ et P₂ a permis une rapide production de plants utilisés pour le repiquage des hardé. Pour les 4 dernières pépinières, G.R a valorisé au mieux les 5 jours de pluies enregistrés dans la première quinzaine de septembre. Pour effectuer les derniers chantiers de repiquage, il a du prélever des plants à l'extérieure car P₅ et P₆ n'ont pas produit suffisamment à cause de la faible fertilité des emplacements et d'une pluviométrie médiocre à partir du 15 septembre.

Tableau III : Caractéristiques des pépinières de K.R en 2001 et 2002

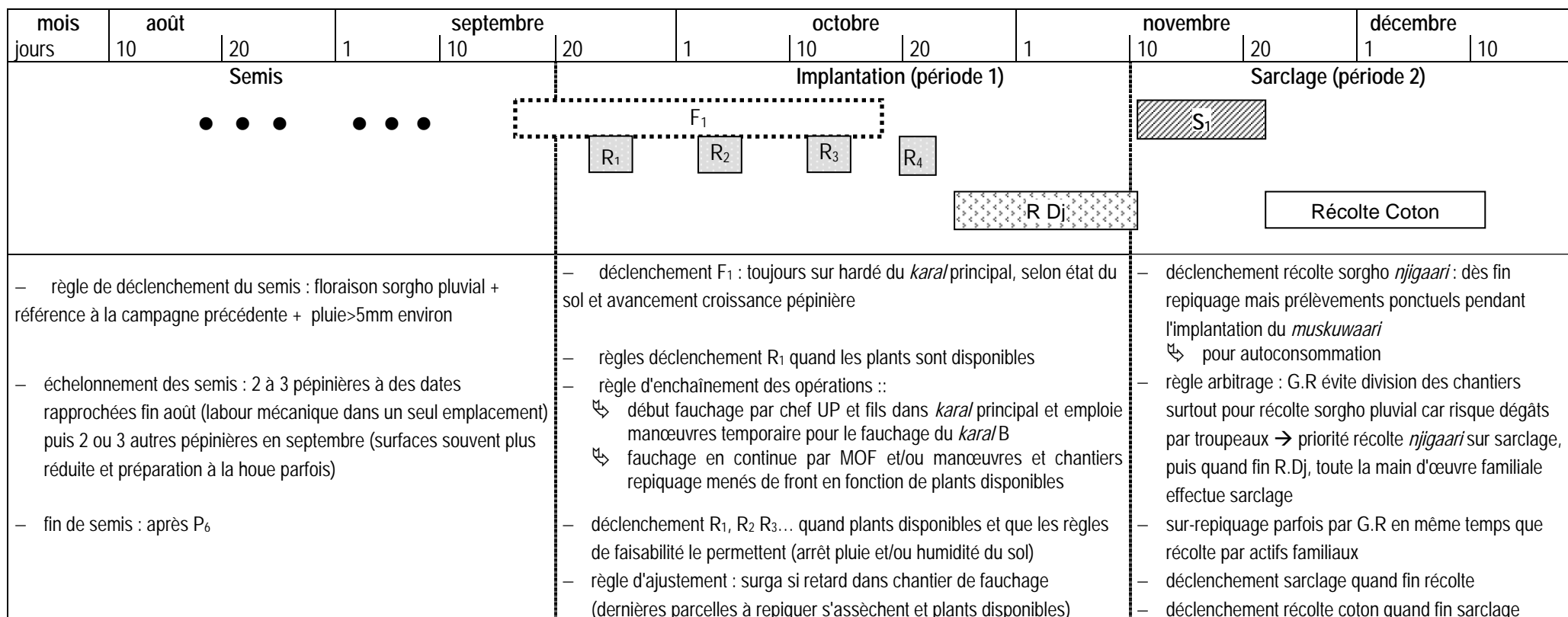
Pépinières	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
2001						
variété(s)	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>
qté semences (kg)	5	2,5	2,5	5	2,5	1
mode préparation	charrue	houe	charrue	charrue	charrue	houe
surf. pépinière (m ²)	375	150	150	300	150	70
fertilité	++	+	++	+++	++	+++
2002	P ₁ et P ₂ , même emplacement en 2002					
variété(s)	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>
qté semences (kg)	2,5	3	1	4	2,5	2,5
mode préparation	charrue	charrue	charrue	charrue	charrue	charrue
surf. pépinière (m ²)	240	300	125	200	140	170
fertilité	+++	+++	++	++	++	++

+++ : très bonne fertilité (termitière) ou apport fumure minérale

++ : bonne fertilité

+ : fertilité moyenne

Figure 1 : Modèle d'action de G.R : RdD pour l'enchaînement des opérations



Légende :

● semis pépinière

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou traitement herbicide (Hb)

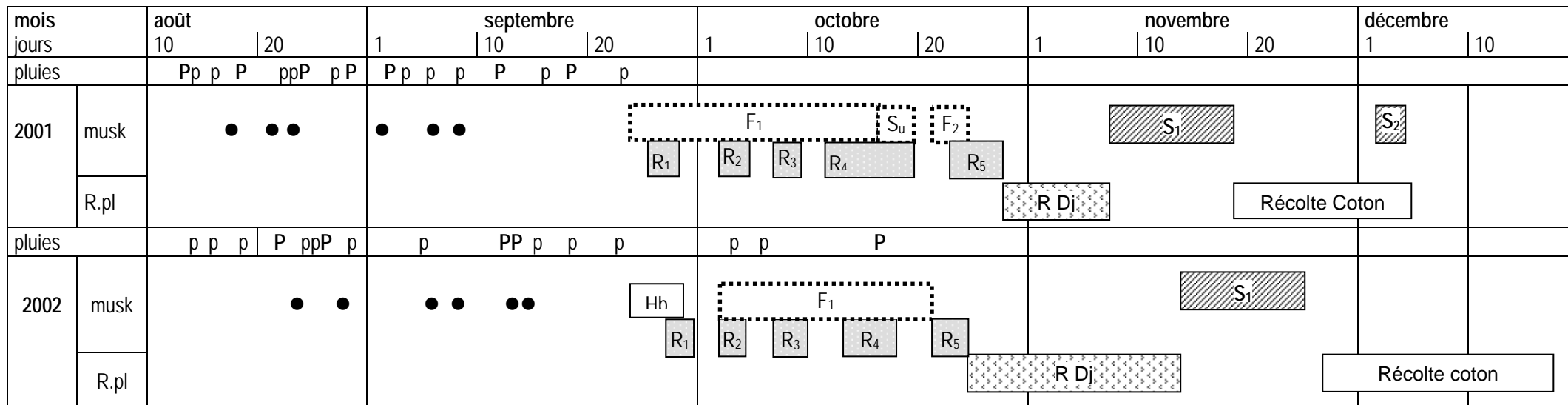
S₁ : sarclage séquence 1

R₁ : repiquage séquence 1

R Dj₁ : récolte *njigaari* (sorgho pluvial) + arachide par les femmes

 : opération en partie effectuée par des manœuvres temporaires

Figure 2 : Réalisations en 2001/2002 et 2002/2003



Légende :

p : pluie supérieure à 5mm
 P : pluie supérieure à 20mm
 ● semis pépinière (⊙ : resemis)
 R.pl : récoltes cultures pluviales

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou herbicide (Hb)

R₁ : repiquage séquence 1

⋯ : opération en partie ou entièrement effectuée par des manœuvres temporaires

S_u : surga effectué pour le fauchage

S₁ : sarclage séquence 1

R D_j : récolte *njigaari* (sorgho pluvial) + arachide par les femmes

2.4. La conduite de l'implantation et de l'entretien de la sole à *muskuwaari*

La conduite de G.R s'apparente à celle de G.O à Balaza : une main d'œuvre familiale relativement importante complétée par des manœuvres salariés pour être en mesure de mener chantiers de fauchage et de repiquage en même temps et s'efforcer de repiquer l'ensemble des 2 *kare* dans des conditions favorables.

2.4.1. Déclenchement et enchaînement des opérations d'implantation

L'objectif prioritaire pour G.R est de parvenir à repiquer dans de bonnes conditions du point de vue de l'état du sol avec si possible des tailles de plants bien appropriées. Pour cela, il valorise au mieux l'hétérogénéité du sol dans ses deux *kare*, et adapte la gestion des pépinières et l'organisation du travail :

- important échelonnement des semis
- **manœuvres temporaires employés systématiquement pour pouvoir mener plus facilement de front les chantiers de préparation et de repiquage. Au cours de l'implantation, il peut ainsi ajuster l'avancement de la préparation des parcelles en fonction de l'arrivée des pépinières au stade le mieux approprié :**
 - ↳ le fauchage du *karal/B* est toujours confié à des manœuvres;
 - ↳ s'il constate qu'il prend du retard (pépinières déjà bien avancées, signe de dessèchement des parcelles restant à repiquer), il peut décider d'accélérer la préparation du *karal/A* en sollicitant ponctuellement d'autres manœuvres, ou en organisant un *surga*
- utilisation de l'herbicide depuis 2002, permettant d'accélérer la préparation du *karal/A* et de repiquer plus vite

Pour l'enchaînement de l'implantation, il prévoit généralement l'ordre suivant :

1. ensemble des parcelles *harde* (dans ses deux *kare*) où il tente de repiquer assez tôt quitte à effectuer un sur-repiquage en cas de mauvaise reprise²
2. vertisols intermédiaires (*n'deleb*) d'abord dans le *karal/A* puis dans l'autre
3. fin du repiquage dans le *karal/B* (partie inondable *maaroga* et autour de la marre)
4. fin du repiquage dans le *karal/A* et dans la marre du *karal/B*

Cet ordre peut être ajusté en fonction du scénario climatique, en particulier pour les premières parcelles repiquées. **Les années sèches, la priorité est donnée aux terrains à vertisols intermédiaires quitte à ne pas repiquer certaines parcelles hardé.** Par ailleurs, même si le modèle d'action met en évidence 4 séquences de repiquage, certains épisodes pluviométriques ou une interruption dans la disponibilité en plants peuvent obliger G.R à effectuer plus de séquences, sans que cela entraîne une modification de son mode général de conduite (Tableau IV).

Tableau IV : Ordre de repiquage des différents terrains et pépinières utilisées

séquences repiquage	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
Enchaînement "idéal"					
Terrains	<i>harde</i>	<i>harde, n'deleb</i>	<i>n'deleb,</i>	<i>n'deleb, marre</i>	
pépinière prévue	P ₁ + P ₂	P ₃	P ₄	P ₅ + P ₆	
Enchaînement en 2001					
Terrains	<i>harde</i>	<i>harde</i>	<i>harde, n'deleb</i>	<i>harde, n'deleb</i>	<i>n'deleb, marre</i>
pépinières utilisées	P ₁ + P ₃	P ₃	P ₁ + P ₂ + P ₃	P ₁ + P ₂ + P ₃	P ₄ + P ₅ + P ₆
Enchaînement en 2002					
Terrains	<i>n'deleb, harde</i>	<i>harde</i>	<i>harde, n'deleb</i>	<i>n'deleb, marre</i>	<i>n'deleb,</i>
pépinières utilisées	P ₁ + P ₂	P ₁ + P ₂ + P ₃	P ₂ + P ₃ + P ₄	P ₂ +P ₃ +P ₄ +P ₅	P _{extérieure}

² l'aménagement de ses parcelles *harde* étant limité, l'horizon supérieur fortement compacté s'avère le premier facteur limitant la production. Même si le repiquage se fait précocement, la trop faible infiltration de l'eau et la compaction du sol gêne considérablement l'enracinement des jeunes plants.

2.4.2. Articulation des sarclages avec les récoltes des cultures pluviales

Compte tenu de la pression des troupeaux circulant sur les résidus et des risques de dégâts dans les récoltes, G.R considère que la récolte doit être finie rapidement avec l'ensemble de la main d'œuvre familiale, avant de passer à l'entretien du *muskuwaari*. La priorité est donnée à la récolte de sorgho pluvial, associé parfois à l'arachide récolté par les femmes. G.R engage rarement le sarclage avant la fin du battage du sorgho pluvial. La plupart des terrains ne nécessitant qu'un seul sarclage, ce dernier est effectué en une seule séquence, avant de passer à la récolte du coton.

2.5. Déroulement de l'implantation et de l'entretien en 2001 et 2002

En 2001, La bonne pluviométrie enregistrée cette année a permis l'implantation de l'ensemble de la sole, débutée par la totalité des parcelles de terrains *hardé* d'abord dans le *karal* A puis dans le B (R₁ et R₂). Comme prévu, il a ensuite engagé le repiquage dans les parcelles *n'deleb*. Ainsi, R₃ a concerné une parcelle dans le *karal* A puis il a décidé de prendre un manœuvre pour poursuivre l'avancement du fauchage dans ce même *karal*, tout en s'occupant du repiquage de l'essentiel des parcelles du *karal* B (R₄). Le faible rendement du manœuvre engagé a obligé G.R a organisé un surga pour finir le fauchage du *karal* A. Dans les 2 *kare*, les dernières parcelles ont été repiquées avec un peu de retard (lors de R₅, G.R a souvent remarqué la présence de fentes de retrait déjà assez profonde) d'autant plus que les plants n'étaient pas toujours disponibles en quantité suffisante. L'entretien a été réalisé comme prévu, avec toutefois un deuxième sarclage (S₂) a été réalisée par G.R et son fils dans une parcelle fortement envahie par les adventices.

En 2002, l'enchaînement des chantiers est similaire à l'année précédente, mais compte tenu de la moindre recharge en eau des sols, G.R a modifié l'ordre de repiquage, privilégiant les parcelles *n'deleb* du *karal* A en début de repiquage (R₁). Le début de l'implantation a d'ailleurs été facilité par le traitement herbicide de préparation puisque 1/3 du *karal* A a été traité dès fin septembre. Environ 1,5 q de terres *hardé* n'ont pas été repiqués sur ce *karal* et G.R s'est rapidement consacré au repiquage du *karal* B (R₃ et R₄) dont il espérait une production plus importante (dominante de terrains *n'deleb* avec une bonne capacité de rétention d'eau). En effet, le *karal* A a produit moins d'un sac de grains, mais malgré une très faible productivité, la mise en culture s'avère importante au yeux de G.R, en particulier pour marquer son appropriation foncière.

A l'avenir, il envisage de cultiver du sorgho pluvial sur certaines parcelles *hardé* où il a des difficultés à construire et entretenir un réseau de diguettes.

3. CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'ANALYSE DU MODE DE CONDUITE DE G.R

- ↪ Pour G.R la culture du *muskuwaari* joue un rôle non négligeable pour la sécurité alimentaire de l'exploitation et évite de surcharger le calendrier agricole de saison des pluies.
- ↪ Il est attentif à bien échelonner et disperser les semis de pépinières, non seulement pour étaler le prélèvement de plants mais aussi pour réduire les risques liés au vols de pépinières.
- ↪ L'emploi de manœuvres temporaires pour le fauchage permet de mener plus facilement de front les chantiers de préparation et de repiquage et d'ajuster l'avancement de la préparation des parcelles en fonction de l'arrivée des pépinières au stade le mieux approprié.
- ↪ L'adoption de l'herbicide lui permet avant tout de sécuriser l'implantation de ses premières parcelles, en particulier lors des années à faible pluviométrie, en réduisant le temps de préparation.

ANNEXE 9: Conduite du *muskuwaari* et RdD de K.R (M6)

Village : Mowo
Ethnie : mofu
Date d'installation : 40 ans

1. ELEMENTS DE STRUCTURE ET DE FONCTIONNEMENT DE L'EXPLOITATION DE K.R

Tableau I : Principaux indicateurs pour les 2 années d'enquêtes (Superficie cultivée : 9,25ha en 2001 et 8,5 en 2002)

Proportions moyennes surfaces cultivées		Ressources en travail			Objectifs et stratégies
%musk.	% sole pluviale	MOF en ha/UTA ¹	Equipmt	Salariés	
28	72	0,85	charrues+2 bovins + 2 ânes de trait	surga ou salariés temporaires	Autosuffisance alimentaire (sorgho pluvial & sorgho repiqué), dégager revenu (coton+ ventes céréales + embouche bovine) financement scolarités et engager transmission de son patrimoine ↗ 1/3 coton et 2/3 céréales ↗ développement traction animale ↗ épargne dans élevage

K.R est d'ethnie mofu, âgé de 58 ans et installé à Mowo en tant que chef d'exploitation depuis plus de 40 ans. Il est chef de son quartier. Suite à une phase de croissance à travers l'achat de terre et la capitalisation dans l'élevage, il dispose désormais d'une grande exploitation stable, avec une assise foncière de près de 10 ha, un troupeau de 8 bovins d'élevage et une vingtaine de petits ruminant (caprins et ovins). Ses ressources foncières lui permettent d'assurer la sécurité alimentaire de la famille et de vendre quelques surplus, notamment en cas de besoin de trésorerie. Il dispose d'une importante main d'œuvre familiale. Deux de ses fils cultivent leurs propres parcelles de coton (surfaces non incluses dans les indicateurs de structure) et l'un d'eux poursuit des études secondaires financées en partie par K.R. Avec 2 charrues et l'acquisition récente de corps sarcler et buteur, il s'appuie beaucoup sur la traction animale pour les travaux culturaux. Il a aussi recours à de la main d'œuvre extérieure, en particulier au surga (travaux collectifs) lors de pointes de travail.

2. REGLES DE DECISION DU CHEF D'EXPLOITATION POUR LES SEMIS, L'IMPLANTATION ET L'ENTRETIEN DU *MUSKUWAARI*

K.R cultive le *muskuwaari* depuis 30 ans. Il a longtemps loué des parcelles à des propriétaires fulbé dans un village voisin en direction de la plaine. Il a acheté son propre *karal*, il y a 10 ans au lamidot de Boula, à environ 7 km du village de Mowo, dans une vaste plaine à vertisol partagée entre 3 villages. Il possède 2,5 ha d'un seul tenant, à dominante de vertisols typiques et intermédiaires, comportant moins de variations de topographie que dans les *kare* de piémont à Mowo, plus récemment défrichés.

2.1. Constitution des chantiers et modalités d'intervention

La productivité de certaines parcelles pourrait être nettement améliorée par la construction de diguettes mais l'éloignement de son *karal* par rapport à l'exploitation constitue une importante contrainte pour la réalisation des aménagements en fin de saison des pluies. Il réalise parfois quelques diguettes à la charrue, mais il n'est pas en mesure de les entretenir comme il le souhaiterait. Par contre, il prend 1 ou 2 jours pour effectuer un premier désherbage (ligneux, vivaces) fin août début septembre, parfois confier à 1 manœuvre.

¹ Unité de Travail Agricole

Tableau II : Les différents chantiers et modes d'intervention de K.R pour la culture du *muskuwaari*

Opérations	Composition des chantiers	Différentes modalités d'intervention et d'enchaînement
Aménagement <i>karal</i>	chef UP ou MO temporaire	arrachage ligneux et vivaces
Semis pépinières	chef UP + fils	labour à la charrue ⇒ semis labour à la houe ⇒ semis
Implantation et entretien		vertisols dégradés ou intermédiaire, graminées annuelles dominantes, recouvrement faible à moyen :
↳ Préparation	– chef UP – MO temporaires	↳ fauchage ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage
↳ Repiquage	– trouaison : chef UP + 1 fils – transplantation : tous actifs familiaux	↳ apport herbes extérieures ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage ↳ traitement herbicide ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage ↳ traitement ⇒ repiq. ⇒ 1 sarclage (2 sarclages, seulement dans parcelles les plus humides)
↳ Sarclage	– chef UP – MO temporaires – surga	sarclage avec couperet

La traction animale est utilisée pour la préparation des pépinières. Les modalités d'intervention sont manuelles pour les autres opérations (Tableau I). K.R sollicite toujours des salariés temporaires pour le fauchage et organise parfois un surga s'il constate qu'il a pris du retard pour le sarclage. Depuis 2002, Il a adopté l'herbicide pour la préparation de certaines parcelles avec faible recouvrement, évitant ainsi le long travail de prélèvement et de transport de graminées extérieures pour la réalisation du brûlis.

2.2. La gestion des semis en pépinières

K.R prévoit au moins 3 grandes pépinières pour la production de plants. Il retient 1 ou 2 emplacements proche de son *karal* qu'il laboure entièrement à la charrue et part semer à différentes dates. Il complète souvent les derniers semis en installant une petite pépinière préparée manuellement, proche de l'exploitation (champs de case) ou sur une ancienne termitière à côté de son *karal*.

Pour le déclenchement du premier semis, K.R s'appuie sur le mois de *kiezbak* du calendrier local. Cet indicateur, utilisé d'après K.R dans les villages proches de son *karal* (Gazawa, Boula), sert seulement de repère mais sa décision est surtout fonction d'indicateurs du milieu (fréquence et niveau des pluies, floraison du sorgho pluvial). Ensuite, il échelonne les semis environ tous les 8 jours, en fonction de la fréquence des pluies. Il préfère éviter de rapprocher trop les dates, sinon "*les plants arrivent en même temps*".

Il sème majoritairement la variété *safraari* (droit et crossée), parfois mélangée avec *ajagamari*. C'est lui-même et ses fils qui sélectionnent les plants en pépinière pour le repiquage. Il est attentif au stade et à la qualité des plants prélevés, contrôlés aussi lors de l'habillage (rejet des plants trop mince, avec feuille centrale sèche...).

2.3. Déroulement des semis en 2001 et 2002 (cf. Tableau III)

En 2001, la forte pluviométrie a endommagé le premier semis obligeant K.R à refaire rapidement une pépinière. Les pluies étant fréquentes au cours de septembre, il n'a pas utilisé toutes ses semences lors du 3^{ème} semis (surface de P₃ plus réduite que dans sa gestion habituel) en prévision d'une période de repiquage plus tardive. L'ajustement de son mode de conduite au scénario climatique a consisté à retenir un 3^{ème} emplacement, labouré le 15 septembre (charrue et houe) et semé en 3 fois (P₄, P₅ et P₆). Il a pu ainsi produire suffisamment de plants pour toute la période de repiquage et d'autres agriculteurs sont venus en prélever dans ses pépinières.

En 2002, K.R s'est conformé à son mode de gestion habituel des semis. Les surfaces et les quantités semées sont équivalentes à la campagne précédente, mais il a semé en seulement 3 fois, avec 6 à 8 jours d'intervalle et à chaque fois après une pluie supérieure à 5mm. Les 3 pépinières n'ont cependant pas été suffisantes et il a du prélever quelques plants à l'extérieur, les derniers repiquages ayant été retardé par des pluies d'octobre.

Tableau III : Caractéristiques des pépinières de K.R en 2001 et 2002

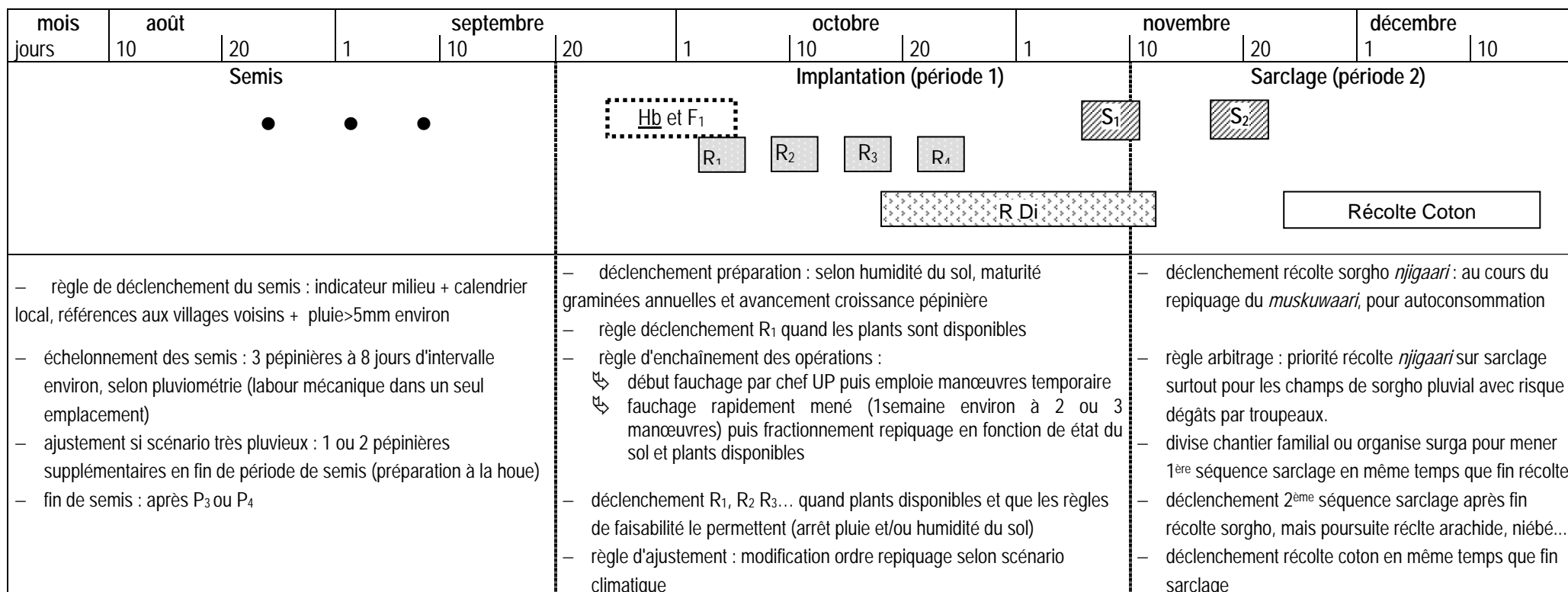
Pépinières	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
2001						
variété(s)	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>
qté semences (kg)	2,5	5	1,5	2,5	4	2,5
mode préparation	charrue	charrue	charrue	houe	charrue	charrue
surf. pépinière (m ²)	200	550	160	100	150	220
fertilité	++	+++	+++	++	++	+++
2002						
	P ₁ , P ₂ , et P ₃ même emplacement					
variété(s)	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>			
qté semences (kg)	3,5	5	5			
mode préparation	charrue	charrue	charrue			
surf. pépinière (m ²)	200	500	400			
fertilité	++	+++	+++			

+++ : très bonne fertilité (termitière) ou apport fumure minérale

++ : bonne fertilité

+ : fertilité moyenne

Figure 1 : Modèle d'action de K.R : RdD pour l'enchaînement des opérations



Légende :

● semis pépinière

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou traitement herbicide (Hb)

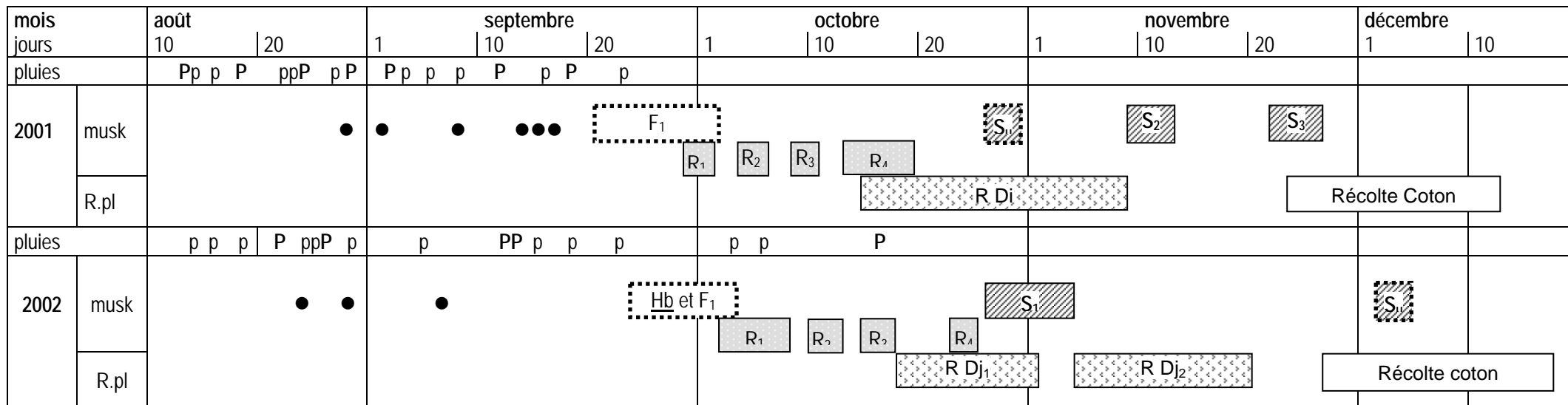
S₁ : sarclage séquence 1

R₁ : repiquage séquence 1

R D₁ : récolte *njigaari* (sorgho pluvial) + arachide par les femmes

 : opération en partie effectuée par des manœuvres temporaires

Figure 2 : Réalisations en 2001/2002 et 2002/2003



Légende :

p : pluie supérieure à 5mm
 P : pluie supérieure à 20mm
 ● semis pépinière (⊙ : resemis)
 R.pl : récoltes cultures pluviales

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou herbicide (Hb)
 R₁ : repiquage séquence 1
 [] : opération en partie ou entièrement effectuée par des manœuvres temporaires

S_u : surga effectué pour le sarclage
 S₁ : sarclage séquence 1
 R D₁ : récolte *njigaari* (sorgho pluvial) + arachide par les femmes

2.4. La conduite de l'implantation et de l'entretien de la sole à *muskuwaari*

La particularité dans l'organisation de K.R est de concevoir l'implantation à l'opération et non à la parcelle comme cela a été mis en évidence chez d'autres agriculteurs : la préparation est réalisée d'un seul trait par des manœuvres temporaires, dès que le terrain est praticable, et toute la main d'œuvre familiale est affectée aux travaux de repiquage, engagés lorsque la majorité du *karal* a déjà été fauchée.

2.4.1. Déclenchement et enchaînement des opérations d'implantation

Pour le démarrage de la préparation, K.R suit non seulement l'état d'avancement des pépinières, mais aussi l'état du sol, notamment des premières parcelles qui vont être implantées en topographie haute (*yolde*). Le déclenchement du fauchage a lieu lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- premiers signes de dessèchement du sol dans les parcelles à vertisols intermédiaires. D'après K.R, ces signes peuvent apparaître dès qu'il y a absence de pluies supérieures à 20 mm pendant environ 5 jours
- maturité de certaines graminées, en particulier *Loudetia togoensis* (*mubaraawa*)
- premier semis prêts à être repiqué dans une semaine environ²

Généralement, K.R engage lui-même le fauchage et s'il n'y a pas de nouveaux épisodes pluvieux, il sollicite 2 à 3 manœuvres qui achève la préparation du *karal* en environ une semaine. K.R démarre alors les chantiers de repiquage avec la main d'œuvre familiale. La première séquence coïncide souvent avec la fin de la préparation. Grâce à l'importante ressource en travail de l'exploitation, **chaque chantier de repiquage peut être exécuté dans un temps court (1 à 2 jours) et K.R peut ainsi ajuster les séquences en fonction des plants disponibles et surtout des conditions optimales d'humidité du sol dans les différentes parcelles ou groupe de parcelles³.**

C'est à la fois la structure de l'exploitation et les caractéristiques du *karal* qui rendent cette organisation de l'implantation possible :

- une trésorerie suffisante pour négocier avec les manœuvres le fauchage de l'ensemble du *karal* et une importante main d'œuvre familiale pour réaliser le repiquage
- une relative homogénéité des terrains et de la topographie à l'intérieur du *karal*, permettant la réalisation du fauchage dans un délai assez court et d'un seul trait

Cette organisation entraîne parfois un délai assez important entre le fauchage et le brûlis/repiquage de certaines parcelles. Cela peut favoriser la reprises de certaines adventices vivaces. Jusqu'à présent, afin de mieux contrôler ces mauvaises herbes, K.R avait l'habitude d'ajouter des graminées prélevées à l'extérieur pour activer le brûlis surtout dans les parcelles à faible recouvrement. L'adoption du traitement herbicide de préparation en substitution aux manœuvres lui évite désormais cette tâche et vient renforcer son mode de conduite en réduisant le temps de préparation avant le déclenchement du repiquage.

Selon le scénario climatique, il lui arrive de faire varier l'ordre de repiquage des différentes parcelles pour sécuriser la production dans les meilleurs terrains en cas de déficit hydrique et de dessèchement trop rapide des portions en topographie hautes (cf. figure).

2.4.2. Articulation des sarclages avec les récoltes des cultures pluviales

K.R entame toujours la récolte du sorgho pluvial au cours du repiquage, en particulier pour l'autoconsommation (famille, nourriture manœuvre...). Les chantiers peuvent alterner avec les séquences de repiquage, mais la grande partie de la récolte se fait après la fin de l'implantation du *muskuwaari*. La collecte des panicules et le battage doivent être conduit prioritairement par rapport au sarclage car la pression des animaux pour la

² Il arrive que la première pépinière "passe", si les conditions sont trop humides pour démarrer la préparation.

³ L'échelonnement s'explique aussi par le risque plus ou moins élevé selon les terrains, qu'une pluie survenant peu après le repiquage entraîne un échec à la reprise. Dans les parties les plus filtrantes (*yolde*, *termitières*), une pluie même de plus de 20 mm le lendemain du repiquage, n'est pas gênante, alors que dans les vertisols typiques (*n'deleb*), d'après K.R, il faut environ 7 jours sans pluies supérieures à 20 mm, pour être assuré d'une bonne reprise.

consommation des résidus est forte et les dégâts des troupeaux pendant cette période sont fréquents. Cependant, K.R divise parfois sa main d'œuvre familiale afin d'engager le sarclage (généralement lui-même et un de ses fils) en même temps que la fin de la récolte du *njigaari*. Il peut ensuite affecter plus de manœuvres pour le sarclage mais les chantiers de récolte se poursuivent en particulier pour l'arachide, le niébé, le pois de terre, seuls ou associés au sorgho pluvial. K.R a souvent recours au surga pour le sarclage du sorgho repiqué, en cas de retard pour l'entretien et de forte pression des adventices.

2.5. Déroulement de l'implantation et de l'entretien en 2001 et 2002

En 2001, K.R a globalement respecté le mode de conduite formalisé ci-dessus. En dépit de la forte humidité liée à la bonne pluviométrie de l'année, le fauchage a pu se réaliser dans un temps assez court (8 jours avec 3 manœuvres). Le repiquage a ensuite été fractionné en fonction de l'état du sol. Avec une forte pression des adventices, K.R a organisé rapidement un surga pour les premières parcelles à sarcler, effectué au cours de la période de récolte du sorgho pluvial. Dans certaines parcelles, 2 sarclage ont été nécessaire, d'où une 3^{ème} séquence de sarclage fin novembre

En 2002, l'enchaînement des chantiers est très semblable à l'année précédente. Le délai de préparation du *kara* est encore plus court (5 jours à 3 manœuvres) d'autant plus avec l'introduction du traitement herbicide. K.R a parfois modifié l'ordre de repiquage par rapport à 2001, notamment pour privilégier les parcelles les plus argileuses compte tenu d'un bilan pluviométrique moins favorable que la campagne précédente. Les pluies en octobre ont finalement permis le repiquage de l'ensemble des parcelles. Les travaux d'entretien ont été moins important qu'en 2001, mais comme K.R avait pris du retard pour finir le sarclage, il a du solliciter un surga début décembre.

3. CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'ANALYSE DU MODE DE CONDUITE DE K.R

La structure de l'exploitation et les caractéristiques de son *kara* apparaissent comme des déterminants importants de son mode de conduite :

- ↳ Pour son approvisionnement en plants, K.R réalise 3 à 4 pépinières d'assez grande taille échelonnée tous les 8 jours. Grâce à une main d'œuvre familiale importante, il a la capacité de repiquer une quantité importante de plants dans un temps relativement court, lorsqu'une pépinière est prête. De plus, le caractère relativement homogène de son *kara* se prête bien à cette organisation
- ↳ Avec une certaine disponibilité en trésorerie, K.R peut déléguer tout les travaux de préparation, réalisés d'un seul trait et dans un temps court par des manœuvres, et se concentrer sur le repiquage en mobilisant toute la main d'œuvre familiale lorsque les conditions sont réunies : plants disponibles et état du sol favorable. Ce mode de conduite de l'implantation apparaît d'ailleurs avantageux lorsque le *kara* est très éloigné de l'exploitation, ce qui est le cas ici (limite les déplacements longs et pénibles de la main d'œuvre familiale).

ANNEXE 10: Conduite du *muskuwaari* et RdD de K.E (M2)

Village : Mowo
 Ethnie : mofu
 Date d'installation : depuis 32 ans

1. ELEMENTS DE STRUCTURE ET DE FONCTIONNEMENT DE L'EXPLOITATION DE K.E

Tableau I : Principaux indicateurs pour les 2 années d'enquêtes (Superficie cultivée : 2,5 ha)

Proportions moyennes surfaces cultivées		Ressources en travail			Objectifs et stratégies
%musk.	% sole pluviale	MOF en ha/UTA ¹	Equipmt	Salariés	
40	60	0,8	achat bœufs de traits en 2002	-	Assurer l'autosuffisance alimentaire et à moyen terme, augmenter foncier (achat terre) et capacité de travail (développement traction animale) ↳ maintien de plus de 60% de culture céréalière dont la moitié de musk. pour mieux répartir travaux dans le calendrier agricole ↳ diversifier sources revenus (coton, surplus céréalière, activité extra-agricole)

K.E, âgé de 41 ans, s'est installé en tant que chef d'exploitation depuis 10 ans, grâce à l'héritage de certaines parcelles de son père. Ses surfaces sont justes suffisantes pour atteindre la sécurité alimentaire et dégager quelques revenus à partir du coton mais ses ressources en travail et le faible développement de la traction animale s'avèrent des facteurs limitant. Il effectue lui-même la plupart des travaux culturels avec l'aide de son épouse et d'un jeune fils. Il a très rarement recours à de la main d'œuvre extérieure. Son épouse élève quelques chèvres (4 au total) faisant office "d'épargne sur pieds".

2. REGLES DE DECISION DU CHEF D'EXPLOITATION POUR LES SEMIS, L'IMPLANTATION ET L'ENTRETIEN DU *MUSKUWAARI*

K.E dispose d'une surface en *muskuwaari* équivalente à celle du sorgho pluvial, mais on observe une variabilité interannuelle des surfaces repiquées liée non seulement à des scénarios climatiques différents en 2001 et 2002, mais aussi à une main d'œuvre familiale limitée. Ici encore, la ressource en travail de l'exploitation est un déterminant fort du mode de conduite du *muskuwaari*.

Il possède un *karal* de 1 ha, défriché par son père il y a une vingtaine d'années, dans la brousse au sud du terroir de Mowo. Malgré une surface relativement réduite, on observe une importante variabilité des terrains, avec une parcelle *mohorbai* proche d'un cours d'eau, des parties *harde* et de vertisols typique, près de la zone d'épandage des eaux de débordement du cours d'eau.

2.1. Constitution des chantiers et modalités d'intervention

A.K prend le temps de réaliser quelques diguettes, manuellement, au cours de la saison des pluies, particulier dans certaines parcelles en pente proche du cours d'eau comportant un dépôt sableux sur des horizons plus argileux (*mohorbai*). Pour ce travail auquel s'ajoute l'arrachage de ligneux et mauvaises herbes, il consacre environ 4 jours/ha au cours du mois d'août.

¹ Unité de Travail Agricole

Tableau II : Les différents chantiers et modes d'intervention de K.E pour la culture du *muskuwaari*

Opérations	Composition des chantiers	Différentes modalités d'intervention et d'enchaînement
Aménagement <i>karal</i>	chef UP	aménagement diguettes à la main, arrachage ligneux et mauvaises herbes
Semis pépinières	chef UP+ fils + emprunt charrue	labour à la charrue ⇒ semis houe ⇒ semis
Implantation et entretien		dominance de vertisols intermédiaires, graminées annuelles, présence ponctuelle de vivaces, recouvrement faible à moyen : ↳ fauchage ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ 1 ou 2 sarclages ↳ fauchage + herbes extérieures ⇒ brûlis ⇒ repiq. ⇒ sarclage ↳ fauchage ⇒ repiq. ⇒ 2 sarclages
↳ Préparation	– chef UP	
↳ Repiquage	– trouaison : chef UP – transplantation : épouse + fils	
↳ Sarclage	chef UP	
		sarclage avec couperet ou avec la houe (sols plus légers)

La plupart des modalités d'intervention sont manuelles (Tableau I). Pour la préparation des parcelles à faible recouvrement, s'il n'a pas le temps d'apporter des graminées de l'extérieur pour la réalisation du brûlis, il repique directement après le fauchage puis vient effectuer rapidement un sarclage. K.E n'a pas encore adopté le traitement herbicide, mais il a montré un vif intérêt pour l'innovation, en particulier pour traiter sur les parcelles à faibles recouvrement et présence de vivaces. Il peut éventuellement obtenir l'herbicide à crédit remboursable lors de la vente du coton, mais plus difficilement en payant comptant, compte tenu d'une trésorerie limitée au cours de la saison des pluies.

2.2. La gestion des semis en pépinières

Selon le scénario climatique, K.E prévoit généralement 3 à 4 pépinières échelonnées dans le temps. Il réalise lui-même la préparation du sol, à la houe dans différents emplacements proche de son habitation (dans un champs de case) ou près de son *karal*. La surface de chaque pépinière est souvent limitée compte tenu de la préparation manuelle. Sa production céréalière permettant tout juste d'assurer l'alimentation familiale, il ne parvient pas toujours à garder la quantité de semences qu'il souhaiterait. Il doit parfois renoncer à un ou deux derniers semis, ce qui explique qu'il sollicite souvent des plants chez d'autres agriculteurs, notamment en fin de période de repiquage.

Pour déclencher son premier semis, il imite les agriculteurs voisins, en particulier ceux qui ont des terrains argilo-sableux en topographie haute comme lui, où l'on peut repiquer précocement. Il attend aussi une pluie supérieure à 10mm environ pour réaliser chaque semis. Les 2^{ème} et 3^{ème} pépinières sont plutôt destinées à ses parcelles présentant vertisols intermédiaires, puis les parties les plus argileuses de bas de pente. Il s'efforce de traiter ses semences mais ne réalise jamais d'apport d'engrais. **Il privilégie des emplacements bien fertiles pour le premier et le dernier semis afin d'allonger la période de disponibilité en plants et de sécuriser le repiquage quel que soit le scénario climatique.**

2.3. Déroulement des semis en 2001 et 2002 (cf. Tableau III)

En 2001, K.E a réalisé 3 pépinières régulièrement échelonnées grâce à la bonne pluviométrie, mais sa quantité de semences s'est avérée trop faible pour l'ensemble de son *karal* et il a du prélever des plants à l'extérieur pour ses derniers chantiers de repiquage.

En 2002, K.E a choisi de réaliser des semis plus importants pour éviter des périodes de pénuries et des retards de repiquage. Constatant des pluies assez conséquentes en septembre, après quelques phases d'interruption, il a augmenté la surface de P3 par rapport à 2001 et a ajouté une 4^{ème} pépinière. Ce choix lui a permis d'être autosuffisant en plants, d'autant plus que la faible recharge en eau de certaines parcelles l'a obligé à réduire la surface repiquée.

Tableau III : Caractéristiques des pépinières de K.E en 2001 et 2002

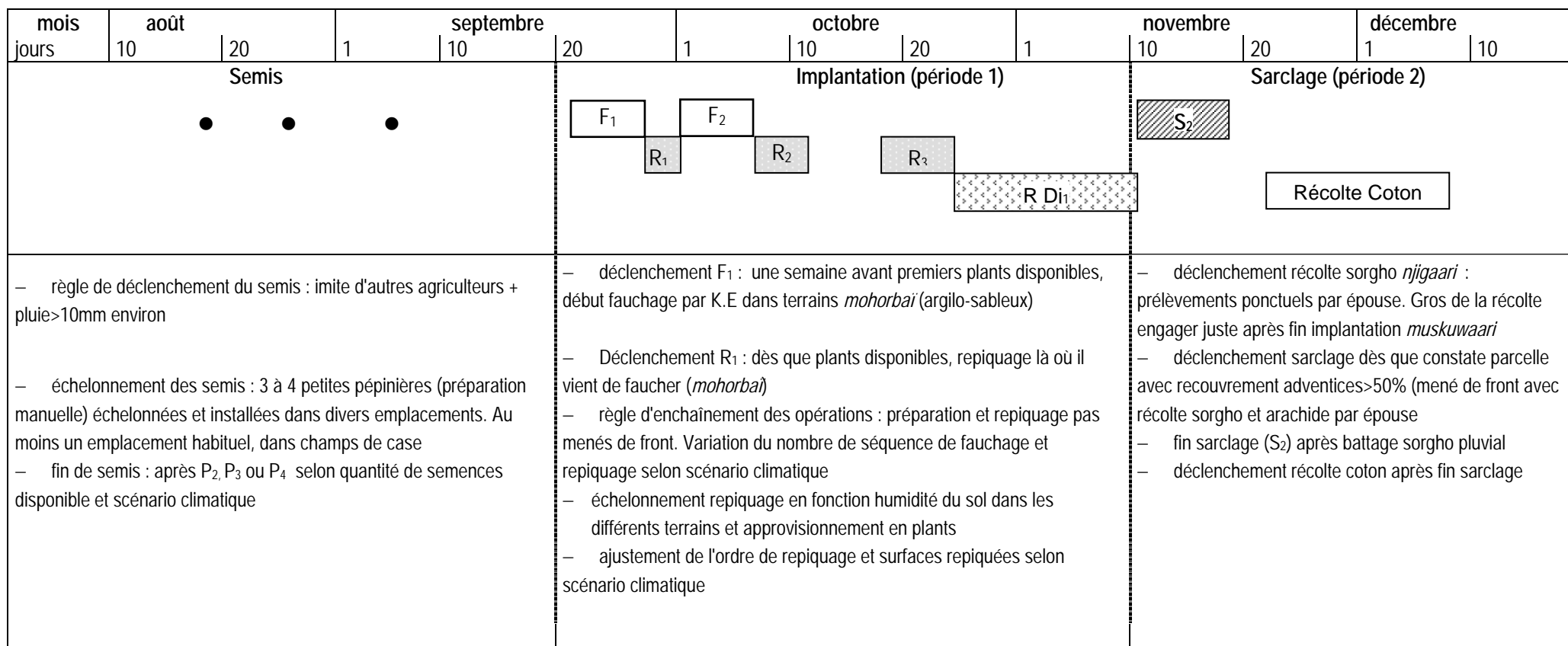
Pépinières	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
2001				
variété(s)	<i>safra, majeeri</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	
qté semences (kg)	1,5	1,5	1,5	
mode préparation	houe	houe	houe	
surf. pépinière (m ²)	65	90	50	
fertilité	+++	++	++	
2002				
variété(s)	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>	<i>safraari</i>
qté semences (kg)	1,5	1,5	2,5	1,5
mode préparation	houe	houe	houe	houe
surf. pépinière (m ²)	90	100	210	100
fertilité	+++	+	+	++

+++ : très bonne fertilité (termitière) ou apport fumure minérale

++ : bonne fertilité

+ : fertilité moyenne

Figure 1 : Modèle d'action de K.E : RdD pour l'enchaînement des opérations



Légende :

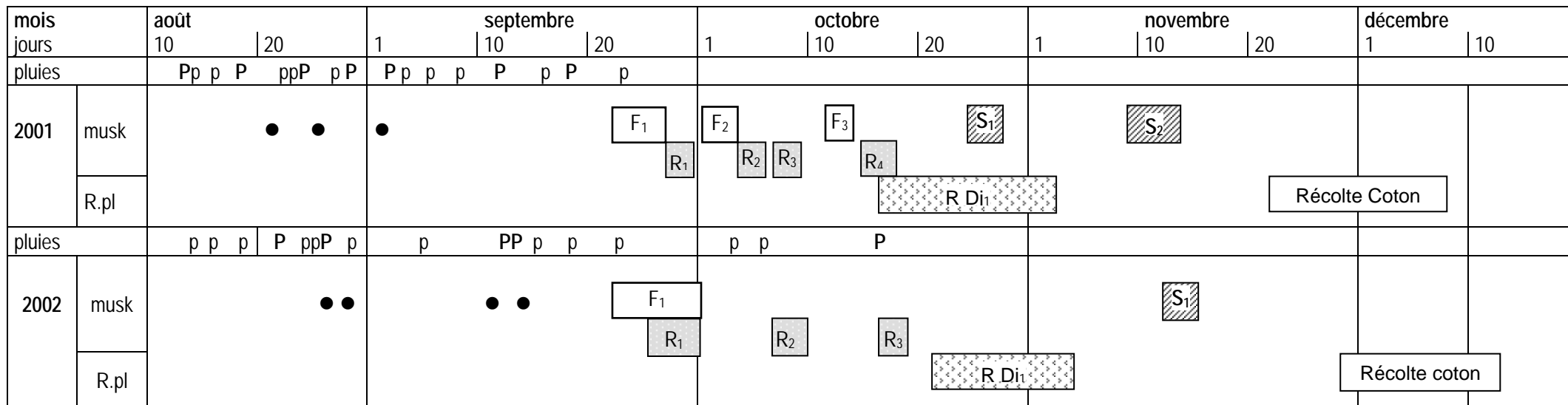
● semis pépinière

: fauchage séquence 1 et/ou traitement herbicide (Hb)

: repiquage séquence 1

: sarclage séquence 1

Figure 2 : Réalisations en 2001/2002 et 2002/2003



Légende :

p : pluie supérieure à 5mm
 P : pluie supérieure à 20mm
 ● semis pépinière
 R.pl : récoltes cultures pluviales

F₁ : fauchage séquence 1 et/ou herbicide (Hb) ou labour (L₁)

R₁ : repiquage séquence 1

S₁ : sarclage séquence 1

⊞ : opération en partie effectuée par des manœuvres temporaires

R Dj₁ : récolte *njigaari* (sorgho pluvial) séquence 1

2.4. La conduite de l'implantation et de l'entretien de la sole à *muskuwaari*

K.E ne peut pas mener ses travaux préparation et de repiquage de front. Compte tenu d'une production de plants souvent limitée, il s'arrange toujours pour repiquer ses parcelles les plus productives, et tente d'assurer l'implantation du reste de son *karal*, selon le scénario climatique et les plants dont il peut disposer.

2.4.1. Déclenchement et enchaînement des opérations d'implantation

Le déclenchement de la préparation se fait systématiquement dans la parcelle argilo-sableuse (*mohorbai*), environ 1 semaine avant que ses premiers semis n'arrivent à un stade approprié pour le repiquage. **Ce terrain peut être préparé tôt, puisque les pluies s'infiltrent bien, réduisant les risques de départ des herbes venant d'être fauchées, ou d'échec de la reprise juste après repiquage.** K.E compte beaucoup sur la bonne productivité de cette parcelle, d'autant plus que les plants repiqués tôt peuvent bien valoriser les éventuelles dernières pluies, et il est donc attentif à son implantation précoce. Sur ces terrains, la trouaison doit être réalisée en condition humide et la dose d'eau est apportée après la transplantation, car le trou a tendance à s'effondrer lorsqu'on ajoute l'eau.

Il poursuit ensuite l'implantation sur les vertisols intermédiaires avec éventuellement des portions *harde* si le sol est suffisamment humide, et termine par une parcelle argileuse et bien humide située dans le lit d'un cours d'eau temporaire et le pourtour. Dans chaque parcelle il alterne généralement chantier de préparation et de repiquage. Il peut toutefois solliciter une aide extérieure d'un proche (lien de parenté), les années les plus sèches où il doit mener de front le fauchage et le repiquage pour accélérer l'implantation.

Parfois, la trop petite quantité de semences disponible limite sa production de plants et se révèle un facteur limitant des surfaces repiquées. K.E ajuste ainsi l'ordre d'implantation et la surface cultivée selon sa fourniture en plants et le scénario climatique.

2.4.2. Articulation des sarclages avec les récoltes des cultures pluviales

Avec des surfaces relativement réduites en sorgho pluvial, le problème de concurrence entre travaux de récolte et entretien du *muskuwaari* ne se pose pas. La récolte de sorgho pluvial est initiée précocement mais l'essentiel est effectué après la période d'implantation. Si besoin, il peut toutefois libérer un peu de temps pour débiter le sarclage, d'autant plus que *karal* et parcelles pluviales sont relativement proches non seulement du siège de l'exploitation mais aussi entre elles. Le sarclage s'insère donc en général entre les 2 grandes récoltes (sorgho et coton), mais le calendrier étant assez souple, il peut ajuster les séquences de sarclage, notamment afin d'intervenir à temps dans les parcelles humides les plus enherbées.

2.5. Déroulement de l'implantation et de l'entretien en 2001 et 2002

En 2001, K.E a respecté son programme d'intervention. La bonne pluviométrie a permis un enchaînement régulier des chantiers en alternant fauchage et repiquage dans les différentes parcelles. Quelques problèmes d'approvisionnement en plants ont cependant retardé quelques peu les derniers chantiers d'implantation.

En 2002, face à une moindre recharge en eau des sols, K.E a sollicité l'aide de son beau-frère pour mener de front le fauchage et les premières séquences de repiquage. Il a pu ainsi repiquer la parcelle *mohorbai* et la partie la plus productive au bord du cours d'eau temporaire (*n'deleb* II dans Tableau IV). Les pluies tardives d'octobre, ont permis aussi le repiquage d'autres parcelles de vertisol intermédiaire, mais du fait de l'absence d'aménagement et d'une humidité résiduelle trop faible, la parcelle *hardé* n'a pas été repiquée. A l'avenir, K.E souhaite plutôt installer du sorgho pluvial dans cette portions de vertisols dégradé.

Tableau IV : Ordre de repiquage des différents terrains et pépinières utilisées

séquences repiquage	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
Enchaînement "idéal"				
Terrains	<i>mohorbai</i>	<i>harde</i>	<i>n'deleb I & II</i>	
pépinière prévue	P ₁	P ₂	P ₃	
Enchaînement en 2001				
Terrains	<i>mohorbai</i>	<i>harde</i>	<i>n'deleb I</i>	<i>n'deleb II</i>
pépinières utilisées	P ₁	P ₂ + P ₃	P ₃	P _{extérieure}
Enchaînement en 2002 <i>parcelle harde (0,25 ha) non repiquée en 2002</i>				
Terrains	<i>mohorbai</i>	<i>n'deleb II</i>	<i>n'deleb I</i>	
pépinières utilisées	P ₁ + P ₂	P ₁ + P ₂	P ₃	

3. CE QU'IL FAUT RETENIR DE L'ANALYSE DU MODE DE CONDUITE DE K.E

Le problème de sécurité alimentaire (disponibilité en semences) et une ressource limitée en travail apparaissent des contraintes fortes pour la conduite de son *karal*

- ↪ Le *muskuwaari* représente la moitié de ses surfaces céréalière, mais une faible proportion de la production de grain compte tenu de la médiocre productivité².
- ↪ La gestion des semis est perturbée par la difficulté pour K.E de conserver suffisamment de semences. Il a donc presque toujours recours à des plants à l'extérieur.
- ↪ Il ne mène pas 2 chantiers en même temps et ajuste les parcelles et surfaces repiquées au scénario climatique en privilégiant les terrains les plus humide et productif lors des années de pluviométrie déficitaire.
- ↪ Le traitement herbicide pourrait l'aider à sécuriser ses surfaces repiquées, encore faut il qu'il dispose des moyens pour acheter l'herbicide et l'épandre

² K.E a obtenu une production totale de *muskuwaari* de 2 sacs en 2002 et 1 sacs en 2003 contre 6 et 5 sacs de sorgho pluvial

ANNEXE 11

**Récapitulatif des itinéraires pratiqués dans les parcelles
expérimentales à Balaza et Mowo**

Récapitulatif des itinéraires pratiqués dans les parcelles expérimentales à Balaza lors des deux campagnes d'essais.

La date ou la nature d'une opération culturale peuvent différer selon le traitement. Dans ce cas, la modalité du traitement (t0, T, TB, ou TR) est précisée devant. Une case vide indique une donnée manquante. Une case avec "-" signifie que l'opération n'a pas lieu.

N° parcelle	Année	Type de sol (1)	Aménagement (dig, arrach, mh)	Durée inondation (j)	Enherbement avt repiquage(2)	Traitements comparés	Préparation témoin (t0)		Préparation de(s) parcelle(s) traitée(s), T, TB ou TR (3):				Repiquage :				Sarclages		Durée moyenne		Variétés (4)	Observations
							dates	fauchage et brûlis	-m.a : nom matière active	-dose glyphosate en g de m.a/ha	-brûlis(Br) ou rabattage(Rb)	date	m.a	dose	Br/Rb	date	prof.	eau	densité	S1		
B1a	01/02	s	-	-	++	t0/TB/TR	2/10	13/10	26/9	TB : glyph. TR : glyph+pr	900 1700	17/10	t0 : 15/10 TB/TR : 18/10	19	350	10500	28/11	-	46	136	Sf & Mj	repiq. t0 avant TB/TR à cause de l'ordre
	02/03	s	-	-	++	t0/TB	29/9	10/10	19/9	glyph.	720	10/10	t0 : 12/10 TB : 14/10	17	300	13000	20/11	-	45	128	Sf, Mj, Aj	d'implantation
B1b	01/02	w	23/8	47	+	t0/T	14/10	20/10	2/10	glyph.	771	15/10	t0 : 21/10 T : 17/10	30	530	8000	22/11	t0 : 28/12	60	128	Mj	traitement T permet repiq. + tôt que t0
	02/03	w	-	-	+	t0/T	16/10	25/10	25/9	glyph.	1080	-	26/10	31	760	9100	16/11	-	53	114	Mj	
B2a	01/02	s	27/8	30	++	t0/TB/TR	5/10	8/10	2/10	TB : glyph. TR : glyph+pr	1500 2200	8/10	t0 : 9/10 TB/TR : 12/10	24	380	13500	12/11	-	40	140	Sf, Mj, Bg	repiq. t0 avant TB/TR lié à ordre implant.
	02/03	s	-	-	++	t0/TB	27/9	30/9	21/9	glyph.	1470	30/9	1/10	18	15500	27/10	-	33	138		t0: Sf ; TB: Mj	
B2b	02/03	s	-	-	++	t0/TB/TR	27/9	30/9	21/9	glyph.	1470	30/9	1/10		15500	27/10	-	33	138		t0: Sf ; TB/TR: Mj	
B3	01/02	w	-	26	+	t0/T	3/10	10/10	16/10	glyph.	610	-	t0 : 12/10 T : 17/10	31	1000	11000	26/10	-	55	100		repiq. t0 avant T lié à ordre implant.
	02/03	w	-	-	+	t0/T	22/9	-	18/9	glyph.	1040	-	1/10	33	540	9000	25/11	-	33	145		t0 : "labour" manuel
B4	01/02	w	25/8	41	+	t0/TB	5/10	10/10	2/10	glyph.	840	10/10	12/10	33	750	7000		-			Mj	
	02/03	w	-	-	+	t0/T	1/10	-	26/9	glyph.	1025	-	t0 : 14/10 T : 5/10	31	850	8500	5/11	-	50	125	Mj	traitement T permet repiq. + tôt que t0
B5	01/02	dm	-	-	++	t0/TR	12/10	16/10	13/10	glyph+pr	625	-	t0 : 17/10 TR : 19/10	27	600	13000	9/11	-	42	128	Mj	& Sf mélangées
	02/03	w	-	-	++	t0/T	28/9	30/9	25/9	glyph.	825	-	5/10	25	8500	15/11	-	41	126	Mj	t0&T : pas de brûlis	
B6	01/02	w	1/9	63	++	t0/TB/T	8/10	23/10	14/10	glyph.	2880	25/10	t0 : 24/10 TB/T : 26/10	31	650	10000	26/11	t0 : 24/12	60	125	Mj	t0/TB/T : fauch. dans eau; t0 : 3 sarclages
	02/03	w	10/9	46	++	t0/T	28/10	30/10	18/10	glyph.	3100	-	6/11	33	750	13000	13/11	-	62	112	Sf	t0: abandon ap. sarcl
B7a	01/02	s	5/9	25	++	t0/TB/T	19/10	23/10	12/10	glyph+pr.	1130	27/10	t0 : 23/10 TB/T : 27/10	21	280	13000	t0:6/12 , T:19/11, TB: 0 sarclage		128		Sf, Mj, Aj	pour T, rabattage pas nécessaire
	02/03	s	-	-	++	t0/TB	18/10	21/10	5/10	pr.	400	15/10	t0 : 24/10 TB : 18/10	18	10500	23/11	-	55	125	Mj	TB : trait paraquat → repiq. + tôt que t0	
B7b	02/03	w	-	-		t0/T	30/9	4/10	18/9	glyph.	500	-	t0 : 4/10 T : 27/9	26	800	9000	11/11	-	35	135		traitement T permet repiq. + tôt que t0

(1) Les différents terrains sont indiqués selon les dénominations locales : s = sa'doore; w=baleewal; h=harde; nd=n'deleb

(2) Indications sur le recouvrement global moyen avant repiquage: "+" : recouvrement global <=50%; "++" : recouvrement global >50%

(3) T : traitement / repiq. sans brûlis; TB : traitement / brûlis / repiq; TR : traitement / rabattage / repiq. La plupart des traitements ont été effectués à l'aide du glyphosate (glyph.). Les doses sont calculées en ayant relevé le volume de bouillie effectivement épanchée. Dans le cas de certains traitements TR, une application supplémentaire de paraquat (pr) a été réalisée pour bien sécher toute la couverture végétale. Le paraquat a aussi été appliqué dans le test B7 en 2002 pour et accélérer la préparation en éliminant rapidement un couvert de graminées annuelles (herbicide de contact) et enchaîner avec le brûlis et le repiquage.

(4) Des mélanges de variétés ont parfois été constatés dans les différentes parcelles du test. Pour B2a en 2002, chaque traitement t0 et TB, a été repiqué avec des variétés différentes ce qui rend difficile la comparaison.

Récapitulatif des itinéraires pratiqués dans les parcelles expérimentales à Mowo lors des deux campagnes d'essais.

La date ou la nature d'une opération culturale peuvent différer selon le traitement. Dans ce cas, la modalité du traitement (t0, T, TB, ou TR) est précisée devant. Une case vide indique une donnée manquante. Une case avec "-" signifie que l'opération n'a pas lieu.

N° parcelle	Année	Type de sol (1)	Aménagement (dig.arrach.mh)	Durée inondation (j)	Enherbement avt repiquage(2)	Traitements comparés	Préparation témoin (t0)		Préparation de(s) parcelle(s) traitée(s), T, TB ou TR (3):				Repiquage :				Sarclages		Durée moyenne		Variétés (4)	Observations
							dates	fauchage et brûlis	-m.a : nom matière active	-dose glyphosate en g de m.a/ha	-brûlis(Br) ou rabattage(Rb)	date	m.a	dose	Br/Rb	date	prof.	eau	densité	S1		
M1a	01/02	h	1/9	-	++	t0/T	27/9	4/10	22/9	glyph	900	-	t0 : 8/10 T : 24/9			13000	8/11	-	42	145	Sf	traitement T permet repiq. + tôt que t0
	02/03	h	-	-	++	t0	30/9	3/10	-	-	-	-	4/10	20	8000	23/11	-	37	134		suivi t0 seulement	
M1b	01/02	h	-	-	++	t0/T	9/10	11/10	9/10	glyph.	938	-	12/10	27	700	13500	24/11	-	50	141	Sf	
	02/03	nd	-	-	++	t0/T	18/10	18/10	26/11	2,4 D	1400	18/10	19/10	16		15500	23/11	-	43	125	Sf	plants différents entre t0 et T
M2	01/02	nd	-	-	+	t0/T	2/10	10/10	28/9	glyph.	788	-	11/10	26	600	15000	17/11	-		134	Sf	
	02/03	nd	-	-	+	t0	30/9	-	-	-	-	-	12/10	25		16000	27/10	-	43	124		suivi t0 seulement
M3	01/02	nd	17/8	-	++	t0/T	8/10	12/10	28/9	glyph.	1200	-	t0 : 13/10 T : 20/10	26	750	16000	16/11	15/12	50	145	Sf	rep. t0 avant T lié à ordre implant.
	02/03	nd	-	-	++	t0	10/10	11/10	-	-	-	-	12/10			13200	25/11	-	36	140	Sf	absence de parcelle traitée
M4	01/02	nd	17/9	-	++	t0/TB	11/10	17/10	29/9	glyph.	900	-	t0 : 18/10 TB : 26/10	24	500	14500	24/11	-	55	135	Sf	rep. t0 avant T car terrains différents
	02/03	nd	-	-	++	t0/TB	27/9	4/10	27/9	glyph.	1190	-	5/10	24		16300	18/11	-	30	140	Sf	TB : placettes trop hétérogènes
M5	01/02	h	28/7	-	++	t0/TB/TR	8/10	11/10	24/9	glyph		11/10	13/10			16550	12/11	-	36	128	Sf	
	02/03	h	-	-	++	t0/TB	3/10	11/10	24/9	glyph.	535	2/10	12/10	23		20800	23/11	-	35	133	Sf	t0/TB : plc et sols hétérogènes
M6	01/02	nd	15/9	-	++	t0/T	27/9	3/10	8/10	glyph.	720	-	t0 : 10/10 T : 13/10			13600	12/11		33	136	Sf	rep. t0 avant T lié à ordre implant.
	02/03	nd	/9	-	++	t0/TB	4/10	7/10	27/9	glyph.	1795	7/10	12/10			14400	2/11	-	35	130	Sf	
M7	01/02	nd	28/7	49	++	t0	10/10	17/10	-	-	-	-	18/10			14300	16/11		65	138		absence de parcelle traitée
	02/03	nd	-	-	++	t0/TB	7/10	17/10	18/9	glyph.	2730	17/10	18/10	25		14250	-	-	51	126		dégâts animaux
M8	01/02	nd	29/8	42	++	t0	27/10	28/10	-	-	-	-	1/11			17000	-	-	47	130	Sf	absence de parcelle traitée

(1) Les différents terrains sont indiqués selon les dénominations locales : s = sa'doore; w=baleewal; h=harde; nd=n'deleb

(2) Indications sur le recouvrement global moyen avant repiquage: "+" : recouvrement global <=50%; "++" : recouvrement global >50%

(3) T : traitement / repiq. sans brûlis; TB : traitement / brûlis / repiq; TR : traitement / rabattage / repiq. Tous les traitements ont été effectués avec du glyphosate (glyph.). Les doses sont calculées en ayant relevé le volume de bouillie effectivement épanchée. Un traitement de post-repiquage au 2,4 D, herbicide sélectif du sorgho, a été testé dans la parcelle B1b en 2002, mais la mauvaise qualité des plants repiqués ont empêché la comparaison à t0

(4) Des mélanges de variétés ont parfois été constatés dans les différentes parcelles du test.

ANNEXE 12: Liste des espèces identifiées dans les parcelles, et noms vernaculaires

Cette liste regroupe l'ensemble des adventices observées lors des relevés floristiques. Les noms en foulfouldé sont indiqués mis à part les espèces secondaires pour lesquelles il n'existe pas toujours de nom clairement défini. Des espèces de même apparence peuvent avoir le même nom en foulfouldé. Pour certaines adventices uniquement prélevées dans le terroir de Mowo, le nom est précisé en langue locale mofou (mf). Pour les espèces les plus communes, beaucoup d'agriculteurs de Mowo utilisent les noms en foulfouldé.

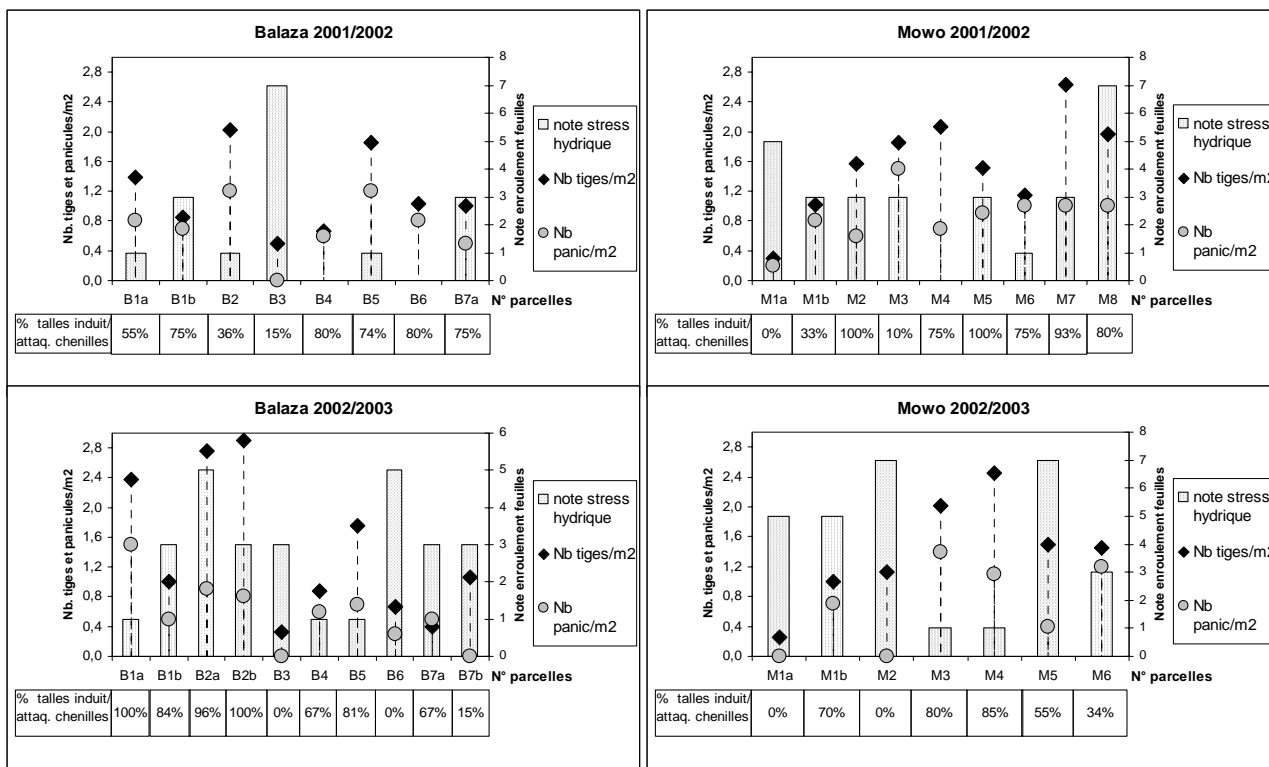
	Famille	Nom Botanique	Nom en fulfulde
MONOCOTYLEDONES	<i>Amaryllidaceae</i>	<i>Crinum sp. L.</i>	<i>gaadal</i>
	<i>Araceae</i>	<i>Stylochaeton hypogaeus</i> Lepr.	<i>nguranguraaje (noppi wamde)</i>
	<i>Commelinaceae</i>	<i>Commelina nigritana</i> Benth. var. <i>nigritana</i> <i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	
	<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus esculentus</i> L.	<i>waccuje</i>
		<i>Cyperus rotundus</i> L.	<i>gooyal</i>
		<i>Cyperus submicrolepis</i> Kük .	
		<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl	
		<i>Kyllinga tenuifolia</i> Steud.	<i>dakoucci</i>
		<i>Pycneus sp.</i> P. Beauv.	<i>maama goyal</i>
		<i>Scleria lagoensis</i> Böck.	<i>mingaw (mf)</i>
	<i>Scleria sphaerocarpa</i> (Robinson) Napper	<i>label-buraaka</i>	
	<i>Hypoxidaceae</i>	<i>Curculigo pilosa</i> (Schum. & Thonn.) Engl.	
	<i>Liliaceae</i>	<i>Anthericum sp. L.</i>	<i>gaadal</i>
		<i>Urginea sp.</i> Steinh.	<i>gaadal</i>
	<i>Marantaceae</i>	<i>Thalia geniculata</i> L. (syn. : <i>T.welwitschii</i> Ridl.)	<i>coucouli</i>
	<i>Poaceae</i>	<i>Acroceras amplexans</i> Stapf	<i>pagguri</i>
		<i>Aristida hordeacea</i> Kunth	<i>wicco jiire</i>
<i>Brachiaria lata</i> (Schumach.) C.E.Hubb.		<i>gawri-colli</i>	
<i>Chloris pilosa</i> Schumach.		<i>damaliyel</i>	
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) P.Beauv.		<i>faalaande</i>	
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.		<i>nyeryello, jeeliyaaho</i>	
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link		<i>pagguri</i>	
<i>Echinochloa obtusiflora</i> Stapf		<i>kayaari</i>	
<i>Echinochloa pyramidalis</i> (Lam.) Hitchc. & Chase		<i>kayaari</i>	
<i>Echinochloa stagnina</i> (Retz.) P.Beauv.			
<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.		<i>dadde</i>	
<i>Eragrostis tremula</i> (Lam.) Hochst. ex Steud.			
<i>Eragrostis turgida</i> (Schumach.) De Wild.			
<i>Eriochloa fatmensis</i> (Hochst. & Steud.) Clayton			
<i>Hyparrhenia sp.</i> Fourn.		<i>muldufre</i>	
<i>Loudetia togoensis</i> (Pilg.) C.E.Hubb.		<i>mubaraawal, sel'bo</i>	
<i>Oryza barthii</i> A.Chev.		<i>maroori ladde</i>	
<i>Oryza longistaminata</i> A.Chev. & Roehr.		<i>naddere</i>	
<i>Panicum pansum</i> Rendle		<i>pamyel</i>	
<i>Panicum sumatrense</i> Roth ex Roem. & Schult.		<i>süwko</i>	
<i>Panicum antidotale</i> Retz.	<i>buurdiiho</i>		
<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	<i>kumbo mbeda, mbetao (mf)</i>		

	Poaceae (suite)	<i>Pennisetum ramosum</i> (Hochst.) Schweinf. <i>Rhytachne triaristata</i> (Steud.) Stapf <i>Setaria sphacelata</i> (Schumach.) M.B.Moss ex Stapf & C.E. Hubb. <i>Urochloa trichopus</i> (Hochst.) Stapf	<i>wutalde</i> <i>gouzeryam (mf)</i> <i>wicco waandu</i>
DICOTYLEDONES	Acanthaceae	<i>Hygrophyla auriculata</i> (Schumach.) Heine <i>Nelsonia canescens</i> (Lam.) Spreng.	<i>gingilal</i> <i>manda baali</i>
	Asclepiadaceae	<i>Calotropis procera</i> (Ait.) R.Br. in Ait. f.	<i>babambi (wabambe)</i>
	Asteraceae	<i>Aspilia bussei</i> O.Hoffm. & Musch. <i>Chrysanthellum americanum</i> (L.) Vatke <i>Launaea cornuta</i> (Oliver & Hiern) Jeffrey <i>Sphaeranthus flexuosus</i> O.Hoffm.	<i>qiite gertoode</i> <i>kaatki</i> <i>beepal</i>
	Balanitaceae ou Zygophyllaceae	<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	<i>tanne</i>
	Boraginaceae	<i>Coldenia procumbens</i> L. <i>Heliotropium strigosum</i> Willd.	<i>puuri</i>
	Burseraceae	<i>Commiphora pedunculata</i> (Kotschy & Peyr.) Engl.	
	Caesalpiniaceae	<i>Cassia mimosoides</i> L. <i>Cassia obtusifolia</i> L. <i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	<i>gagam</i> <i>tasba</i> <i>barkehi</i>
	Combretaceae	<i>Combretum aculeatum</i> <i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC.	<i>lawnye, meguizbet (mf)</i>
	Convolvulaceae	<i>Ipomoea aquatica</i> Forssk. <i>Ipomoea eriocarpa</i> R.Br. <i>Merremia emarginata</i> (Burm. f.) Hall. f.	<i>boore</i> <i>boore</i> <i>ar' dadel</i>
	Cucurbitaceae	<i>Cucumis melo</i> L. <i>Melothria maderaspatana</i> (L.) Cogn.	<i>palelhi</i>
	Elatinaceae	<i>Bergia suffruticosa</i> (Del.) Fenzl	<i>mbirisi</i>
	Euphorbiaceae	<i>Acalypha segetalis</i> Müll. Arg. <i>Caperonia fistulosa</i> Beille <i>Chrozophora plicata</i> (Vahl) A. Juss. ex Spreng. <i>Euphorbia convolvuloides</i> Hochst. ex Benth. <i>Euphorbia forskalii</i> J. Gay <i>Euphorbia hirta</i> L. <i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.	<i>laalo fowru</i> <i>kossamyel</i>
	Fabaceae	<i>Aeschynomene indica</i> L. <i>Alysicarpus rugosus</i> (Willd.) DC. <i>Desmodium hirtum</i> Guill. & Perr. <i>Rhynchosia minima</i> (L.) DC. <i>Sesbania pachycarpa</i> DC. <i>Vigna chlorigitolia</i> <i>Zornia glochidiata</i> Reichb. ex DC.	<i>gagam, changii</i> <i>senkello-karal</i> <i>senkello</i> <i>nyebbe-ladde</i> <i>changel</i> <i>nyebbe-ladde</i> <i>kebbe (mf)</i>
	Lamiaceae	<i>Hyptis spicigera</i> Lam.	<i>caccu</i>
	Malvaceae	<i>Hibiscus articulatus</i> Hochst. ex A. Rich.. <i>Sida alba</i> L.	<i>selekiya</i>

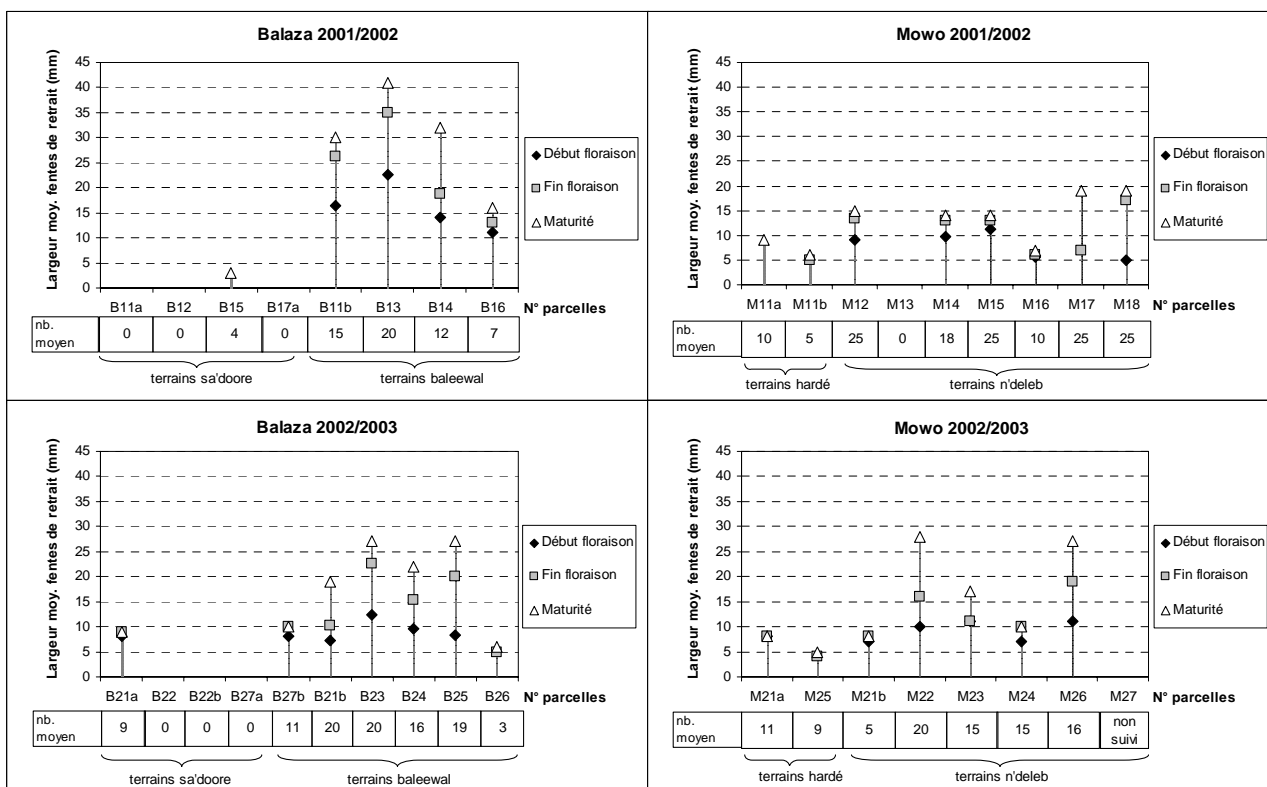
Mimosaceae	<i>Acacia seyal</i> Del. <i>Faidherbia albida</i> (Del.) A. Chev.	<i>tchaski</i>
Rhamnaceae	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	<i>jabbe</i>
Rubiaceae	<i>Spermacoce</i> sp. L. <i>Spermacoce octodon</i> (Hepper) J.-P. Lebrun & Stork (= <i>Borreria octodon</i> Hepper)	
Scrophulariaceae	<i>Rhamphicarpa longiflora</i> Benth. <i>Stemodia serrata</i> Benth. <i>Striga hermonthica</i> (Del.) Benth. <i>Striga asiatica</i> (L.) O. Ktze (syn. <i>S. lutea</i> Lour.)	<i>dulli</i> <i>dulli</i>
Sterculiaceae	<i>Melochia corchorifolia</i> L.	<i>selekiya</i>
Tiliaceae	<i>Corchorus fascicularis</i> Lam.	<i>laalo karal, memeyelho</i>
Verbenaceae	<i>Stachytarpheta angustifolia</i> (Mill.) Vahl	
Vahliaceae (= <i>Saxifragaceae</i>)	<i>Vahlia dichotoma</i> (Murray) Kuntze	

ANNEXE 13

Relations entre les nombres de tiges et panicules par m², le niveau de stress hydrique et l'importance du tallage lié à des attaques de chenilles foreuses des tiges, dans chaque parcelles témoin du dispositif



Annexe 14 : Importance et évolution de la fissuration du sol dans les parcelles témoins



ANNEXE 15

**Composition de la flore avant et après implantation
en fonction des grands types de sol**

**BALAZA - Répartition des espèces en fonction des deux grand types de sol
(flore avant implantation)**

Valeurs calculées à partir des relevés 2001/2002 et 2002/2003

Fa : fréquence absolue; Fr : fréquence relative (%); Rm : recouvrement moyen (%)

Rc : recouvrement moyen corrigé (%); RI : recouvrement local (%); (s) : sa'doore; (w) : baleewal

 Les parties grisées de chaque tableau montrent les espèces peu influencées par le type de sol.
(valeurs de recouvrement moyen corrigé proches de 100)

	Fréquences				Recouvrements							
	Fa	Fr	Fr (s)	Fr (w)	Rm	Rm (s)	Rm (w)	Rc (s)	Rc (w)	RI	RI (s)	RI (w)
Enherbt global	123	100	100	100	66	84	54	126	82	66	84	54
<i>Panicum antidotale</i>	20	16	39	0	2	4	0	241	0	11	11	-
<i>Loudetia togoensis</i>	13	11	25	0	4	11	0	241	0	42	42	-
<i>Striga sp</i>	11	9	22	0	0	0	0	241	0	2	2	-
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	8	7	16	0	1	3	0	241	0	17	17	-
<i>Eleocharis setifolia</i>	7	6	14	0	1	3	0	241	0	19	19	-
<i>Hyptis specigera</i>	6	5	12	0	0	1	0	241	0	6	6	-
<i>Borreria octodon</i>	6	5	12	0	0	1	0	241	0	8	8	-
<i>Eulesine indica</i>	6	5	12	0	1	1	0	241	0	12	12	-
<i>Pycreus sp.</i>	5	4	10	0	0	1	0	241	0	9	9	-
<i>Cyperus esculentus</i>	5	4	10	0	1	3	0	241	0	30	30	-
<i>Brachiaria lata</i>	2	2	4	0	0	0	0	241	0	4	4	-
<i>Stemodia serrata</i>	1	1	2	0	0	0	0	241	0	1	1	-
<i>Cassia obtusifolia</i>	18	15	33	1	1	1	0	238	3	4	4	1
<i>Chloris pilosa</i>	26	21	49	1	5	11	0	235	4	23	23	15
<i>Setaria sphacelata</i>	61	50	82	26	14	32	1	228	10	28	39	5
<i>Desmodium hirtum</i>	57	46	75	26	11	25	2	220	15	24	33	6
<i>Corchorus sp</i>	8	7	10	4	0	1	0	219	16	4	6	1
<i>Zornia glochidiata</i>	11	9	12	7	0	1	0	218	17	5	8	1
<i>Pycreus capillifolius</i>	37	30	43	21	5	10	1	209	23	16	23	5
<i>Panicum sumatrense</i>	22	18	33	7	3	6	1	205	26	18	19	12
<i>Fymbristilis dichotoma</i>	18	15	25	7	2	4	1	201	28	12	14	7
<i>Panicum antidotale</i>	9	7	10	6	0	1	0	192	35	5	8	3
<i>Bergia sufruticosa</i>	53	43	43	43	4	7	2	187	39	9	17	4
<i>Sphaeranthus flexuosus</i>	12	10	12	8	1	1	1	147	66	9	11	7
<i>Agrostidae sp</i>	6	5	8	3	1	1	0	135	75	11	10	15
<i>Cyperus rotundus</i>	41	33	33	33	10	13	8	132	77	29	38	23
<i>Acacia seyal</i>	25	20	14	25	0	0	0	123	84	2	4	1
<i>Citrilus lanatus</i>	2	2	2	1	0	0	0	121	85	1	1	1
<i>Echinochloa colona</i>	79	64	65	64	16	15	16	95	103	24	23	25
<i>Rhamphicarpa longiflora</i>	6	5	8	3	0	0	0	80	114	2	1	4
<i>Cassia mimosoides</i>	32	26	24	28	4	3	4	80	114	14	13	15
<i>Sesbania pachycarpa</i>	36	29	24	33	3	1	4	42	141	10	5	12
<i>Urginea sp, Crinum sp</i>	57	46	24	63	5	1	8	24	154	11	5	13
<i>Stylochaeton hypogaeus</i>	10	8	2	13	1	0	1	16	160	11	7	11
<i>Ipomoea aquatica</i>	45	37	6	58	5	0	8	10	164	13	8	13
<i>Caperonia fistulosa</i>	22	18	4	28	1	0	1	4	168	5	1	5
<i>Oryza longistaminata</i>	28	23	4	36	9	0	15	2	170	38	4	40
<i>Echinochloa obtusiflora</i>	17	14	2	22	2	0	4	1	170	16	1	17
<i>Alysicarpus rugosus</i>	25	20	0	35	1	0	2	0	171	6	-	6
<i>Chrysanthellum americana</i>	25	20	0	35	1	0	2	0	171	5	-	5
<i>Merremia emarginata</i>	25	20	0	35	2	0	3	0	171	9	-	9
<i>Launoea cornuta</i>	18	15	0	25	2	0	3	0	171	12	-	12
<i>Mitracarpus vullosis</i>	14	11	0	19	1	0	1	0	171	8	-	8
<i>Euphorbia forskalii</i>	13	11	0	18	0	0	0	0	171	2	-	2
<i>Spermacoce sp</i>	11	9	0	15	0	0	1	0	171	5	-	5
<i>Ocimum canum</i>	8	7	0	11	0	0	1	0	171	7	-	7
<i>Combretum sp</i>	8	7	0	11	0	0	0	0	171	1	-	1
<i>Commelina diffusa</i>	4	3	0	6	0	0	0	0	171	3	-	3
<i>Digitaria horizontalis</i>	4	3	0	6	0	0	0	0	171	1	-	1
<i>Melochia corchifolia</i>	4	3	0	6	0	0	0	0	171	3	-	3
<i>Heliotropium strigosum</i>	4	3	0	6	0	0	0	0	171	1	-	1
<i>Ramphycarpa longiflora</i>	4	3	0	6	0	0	0	0	171	3	-	3
<i>Pennisetum ramosum</i>	3	2	0	4	0	0	1	0	171	13	-	13
<i>Vigna chlorigifolia</i>	2	2	0	3	0	0	0	0	171	1	-	1
<i>Cucumis melo</i>	1	1	0	1	0	0	0	0	171	1	-	1
<i>Ziziphus mauritiana</i>	1	1	0	1	0	0	0	0	171	1	-	1
<i>Ipomoea eriocarpa</i>	1	1	0	1	0	0	0	0	171	7	-	7
<i>Echinochloa pyramidalis</i>	1	1	0	1	0	0	0	0	171	7	-	7
<i>Hibiscus articulatis</i>	1	1	0	1	0	0	0	0	171	7	-	7

**BALAZA - Répartition des espèces en fonction des deux grand types de sol
(flore après implantation)**

Valeurs calculées à partir des relevés 2001/2002 et 2002/2003

Fa : fréquence absolue; Fr : fréquence relative (%); Rm : recouvrement moyen (%)

Rc : recouvrement moyen corrigé (%); RI : recouvrement local (%); (s) : sa'doore; (w) : baleewal

 Les parties grisées de chaque tableau montrent les espèces peu influencées par le type de sol.
(valeurs de recouvrement moyen corrigé proches de 100)

	Fréquence				Recouvrement								
	Fa	Fr	Fr (s)	Fr (w)	Rm	Rm (s)	Rm (w)	Rc (s)	Rc (w)	RI	RI (s)	RI (w)	
Enherbt global	558	100	100	100	18	20	16	113	89	18	20	16	
<i>Stemodia serrata</i>	9	2	3	0	0	0	0	211	0	1	1	-	
<i>Pycurus capillifolius</i>	2	0	1	0	0	0	0	211	0	1	1	-	
<i>Balanites Aegyptiaca</i>	3	1	1	0	0	0	0	211	0	1	1	-	
<i>Sphaeranthus flexuosus</i>	27	5	8	2	1	2	0	207	4	19	23	2	
<i>Cyperus rotundus</i>	139	25	43	9	4	8	0	204	7	15	18	3	
<i>Corchorus sp</i>	80	14	25	4	1	1	0	192	18	5	5	3	
<i>Stachytarpheta angustifolia</i>	12	2	4	0	0	1	0	184	25	19	18	30	
<i>Bergia sufruticosa</i>	307	55	63	48	6	11	2	174	34	11	17	4	
<i>Faidherbia albida</i>	88	16	20	12	0	1	0	127	76	3	3	3	
<i>Calotropis procera</i>	10	2	2	2	0	0	0	106	95	1	1	1	
<i>Piliostigma reticulatum</i>	2	0	0	0	0	0	0	106	95	1	1	1	
<i>Coldenia procumbens</i>	45	10	10	10	1	1	1	103	98	3	2	3	
<i>Combretum sp</i>	104	19	20	18	1	1	0	103	98	3	3	3	
<i>Urginea sp, Crinum sp</i>	103	18	20	17	0	0	0	90	109	2	1	2	
<i>Acacia seyal</i>	116	21	18	23	0	0	0	85	113	2	2	2	
<i>Citrilus lanatus</i>	10	2	1	2	0	0	0	63	133	1	1	1	
<i>Stylochaeton hypogaeus</i>	9	2	1	2	0	0	0	51	144	4	4	4	
<i>Desmodium hirtum</i>	29	5	6	5	0	0	0	47	147	2	1	4	
<i>Cucumis melo</i>	4	1	0	1	0	0	0	21	171	3	1	3	
<i>Acalypha crenata</i>	9	2	1	2	0	0	0	20	172	2	1	3	
<i>Echinochloa colona</i>	18	3	1	5	0	0	0	20	172	2	1	2	
<i>Zornia glochidiata</i>	9	2	1	2	0	0	0	18	173	3	1	3	
<i>Sesbania pachycarpa</i>	13	2	0	4	0	0	0	16	175	1	1	1	
<i>Heliotropium strigosum</i>	3	1	0	1	0	0	0	14	177	5	1	7	
<i>Cassia mimosoides</i>	29	5	1	9	0	0	0	6	184	4	1	4	
<i>Chrysanthellum americana</i>	20	4	0	6	0	0	0	6	185	2	1	2	
<i>Ipomoea aquatica</i>	122	22	1	40	1	0	2	3	187	6	3	6	
<i>Oryza longistaminata</i>	74	13	1	24	3	0	6	0	190	23	1	24	
<i>Launoea cornuta</i>	113	20	0	38	2	0	3	0	190	9	-	9	
<i>Euphorbia forskalii</i>	53	9	0	18	0	0	1	0	190	3	-	3	
<i>Merremia emarginata</i>	43	8	0	15	1	0	1	0	190	9	-	9	
<i>Alysicarpus rugosus</i>	22	4	0	7	0	0	0	0	190	4	-	4	
<i>Caperonia fistulosa</i>	16	3	0	5	0	0	0	0	190	3	-	3	
<i>Vigna chlorigifolia</i>	11	2	0	4	0	0	0	0	190	1	-	1	
<i>Panicum antidotale</i>	10	2	0	3	0	0	0	0	190	2	-	2	
<i>Hibiscus articulatis</i>	9	2	0	3	0	0	0	0	190	1	-	1	
<i>Rhynchosia minima</i>	9	2	0	3	1	0	1	0	190	31	-	31	
<i>Ocimum canum</i>	8	1	0	3	0	0	0	0	190	1	-	1	
<i>Eulesine indica</i>	6	1	0	2	0	0	0	0	190	9	-	9	
<i>Pennisetum ramosum</i>	5	1	0	2	0	0	0	0	190	2	-	2	
<i>Commelina diffusa</i>	4	1	0	1	0	0	0	0	190	6	-	6	
<i>Echinochloa obtusiflora</i>	4	1	0	1	0	0	0	0	190	1	-	1	
<i>Mitracarpus vullosis</i>	4	1	0	1	0	0	0	0	190	1	-	1	
<i>Rhamphicarpa longiflora</i>	2	0	0	1	0	0	0	0	190	4	-	4	
<i>Digitaria horizontalis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	190	1	-	1	

MOWO - Répartition des espèces en fonction des deux grand types de sol (flore avant implantation)

Valeurs calculées à partir des relevés 2001/2002 et 2002/2003

Fa : fréquence absolue; Fr : fréquence relative (%); Rm : recouvrement moyen (%)

Rc : recouvrement moyen corrigé (%); RI : recouvrement local (%); (h) : hardé; (nd) : n'deleb

Les parties grisées de chaque tableau montrent les espèces peu influencées par le type de sol.
(valeurs de recouvrement moyen corrigé proches de 100)

	Fréquence				Recouvrement							
	Fa	Fr	Fr(h)	Fr(nd)	Rm	Rm(h)	Rm(nd)	Rc(h)	Rc(nd)	RI	RI(h)	RI(nd)
Enherbt global	120	100	100	100	62	53	64	86	104	62	53	64
<i>Bergia sufruticosa</i>	2	2	7	0	0	0	0	444	0	4	4	-
<i>Pycneus capillifolius</i>	7	6	19	2	0	2	0	375	20	7	9	4
<i>Sesbania pachycarpa</i>	9	8	15	5	0	1	0	362	24	3	6	1
<i>Chloris pilosa</i>	51	43	89	29	5	14	3	265	52	12	16	10
<i>Digitaria horizontalis</i>	62	52	78	44	6	13	4	228	63	11	17	8
<i>Agrostidae sp</i>	24	20	22	19	2	4	1	204	70	9	16	6
<i>Acacia sp</i>	13	11	15	10	1	1	0	160	82	5	6	4
<i>Heliotropium strigosum</i>	17	14	22	12	1	1	1	157	83	5	5	5
<i>Urochloa trichopus</i>	8	7	15	4	0	1	0	143	88	7	5	10
<i>Euphorbia forskalii</i>	20	17	22	15	0	0	0	121	94	2	2	2
<i>Rhamphicarpa longiflora</i>	13	11	19	9	1	1	1	118	95	12	8	14
<i>Setaria sphacelata</i>	94	78	85	76	21	25	20	117	95	27	29	26
<i>Zornia glochidiata</i>	64	43	42	46	4	5	4	116	95	18	24	17
<i>Acacia seyal</i>	10	8	7	9	1	1	1	109	97	9	11	9
<i>Panicum sumatrense</i>	83	69	78	67	19	20	19	107	98	27	26	28
<i>Acroceras amplexens</i>	74	62	78	57	10	10	10	101	100	16	13	17
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	27	23	30	20	3	3	3	91	103	15	10	17
<i>Chrysanthellum americanu</i>	45	38	37	38	2	1	2	73	108	5	4	5
<i>Paspalum scrobiculatum</i>	26	22	30	19	1	1	1	67	110	5	3	6
<i>Urginea sp, Crinum sp</i>	59	49	59	46	3	2	3	60	111	5	3	6
<i>Acalypha crenata</i>	16	13	22	11	0	0	0	58	112	3	1	4
<i>Loudetia togoensis</i>	39	33	52	27	8	4	9	57	112	24	9	32
<i>Combretum sp</i>	15	13	11	13	0	0	0	49	115	2	1	2
<i>Fymbristilis dichotoma</i>	71	59	59	59	9	4	10	48	115	15	7	18
<i>Corchorus sp</i>	30	25	30	24	1	0	1	46	116	3	1	3
<i>Striga sp</i>	19	16	11	17	1	0	1	45	116	5	3	5
<i>Borreria octodon</i>	16	13	11	14	0	0	1	25	122	3	1	4
<i>Panicum antidotale</i>	10	8	15	6	2	0	2	23	122	19	3	30
<i>Rhynchosia minima</i>	14	12	7	13	1	0	1	14	125	5	1	5
<i>Stylochaeton hypogaeus</i>	24	20	7	24	1	0	1	9	127	4	1	5
<i>Spermacoce sp</i>	19	16	4	19	0	0	1	9	127	3	1	3
<i>Echinochloa colona</i>	61	51	19	60	13	1	17	6	127	26	5	28
<i>Ipomoea aquatica</i>	23	19	4	24	4	0	5	1	129	19	1	20
<i>Rhytachne triaristata</i>	16	13	0	17	2	0	2	0	129	13	-	13
<i>Coldenia procumbens</i>	5	4	0	5	0	0	0	0	129	3	-	3
<i>Ziziphus mauritiana</i>	5	4	0	5	0	0	0	0	129	3	-	3
<i>Hibiscus articulatis</i>	21	18	0	23	1	0	2	0	129	8	-	8
<i>Launoea cornuta</i>	20	17	0	22	2	0	3	0	129	14	-	14
<i>Cyperus rotundus</i>	19	16	0	20	3	0	3	0	129	16	-	16
<i>Scleria lagoensis</i>	19	16	0	20	2	0	3	0	129	13	-	13
<i>Acalypha crenata</i>	11	9	0	12	1	0	1	0	129	9	-	9
<i>Echinochloa obtusiflora</i>	6	5	0	6	3	0	4	0	129	66	-	66
<i>Aristida hordeacea</i>	6	5	0	6	2	0	2	0	129	37	-	37
<i>Polygala erioptera</i>	3	3	0	3	0	0	0	0	129	3	-	3
<i>Piliostigma reticulatum</i>	2	2	0	2	0	0	0	0	129	7	-	7
<i>Eleusine indica</i>	2	2	0	2	0	0	0	0	129	7	-	7
<i>Cassia mimosoides</i>	20	17	0	22	1	0	1	0	129	5	-	5
<i>Caperonia fistulosa</i>	7	6	0	8	0	0	0	0	129	2	-	2
<i>Ipomoea eriocarpa</i>	3	3	0	3	0	0	0	0	129	1	-	1
<i>kola djalau</i>	3	3	0	3	0	0	0	0	129	1	-	1

MOWO - Répartition des espèces en fonction des deux grand types de sol (flore après implantation)

Valeurs calculées à partir des relevés 2001/2002 et 2002/2003

Fa : fréquence absolue; Fr : fréquence relative (%); Rm : recouvrement moyen (%)

Rc : recouvrement moyen corrigé (%); RI : recouvrement local (%); (h) : hardé; (nd) : n'deleb

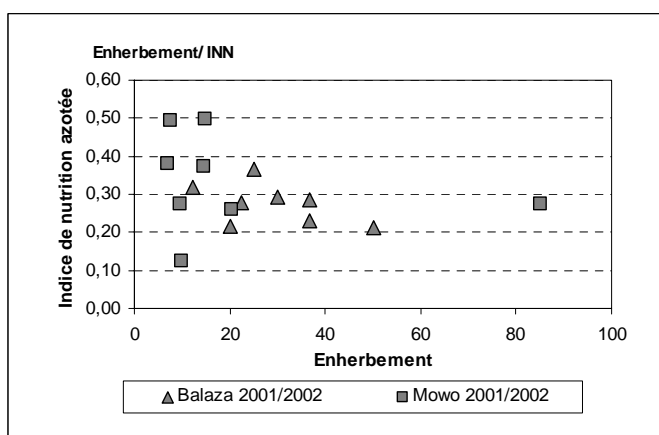
Les parties grisées de chaque tableau montrent les espèces peu influencées par le type de sol.
(valeurs de recouvrement moyen corrigé proches de 100)

	Fréquence				Recouvrement						
	Fa	Fr	Fr (h)	Fr (nd)	Rm	Rm(h)	Rm(nd)	Rc(h)	Rc(nd)	RI(h)	RI(nd)
Enherbt global	318	100	100	100	10	5	11	48	113	5	11
<i>Hibiscus articulatus</i>	45	14	0	18	1	0	1	0	125	-	5
<i>Launaea cornuta</i>	42	13	0	16	1	0	1	0	125	-	7
<i>Corchorus sp</i>	28	9	0	11	0	0	0	0	125	-	3
<i>kola djalau</i>	23	7	0	9	1	0	1	0	125	-	10
<i>Ipomoea aquatica</i>	20	6	0	8	0	0	0	0	125	-	5
<i>Acacia sp</i>	17	5	0	7	0	0	0	0	125	-	5
<i>Ziziphus mauritiana</i>	17	5	0	7	0	0	0	0	125	-	1
<i>Eleusine indica</i>	11	3	0	4	0	0	0	0	125	-	4
<i>Rhynchosia minima</i>	11	3	0	4	0	0	0	0	125	-	2
<i>Combretum glutinosum</i>	7	2	0	3	0	0	0	0	125	-	1
<i>Acalypha crenata</i>	5	2	0	2	0	0	0	0	125	-	1
<i>Merremia emarginata</i>	5	2	0	2	0	0	0	0	125	-	1
<i>Nelsonia canescens</i>	5	2	0	2	0	0	0	0	125	-	15
<i>Coldenia procumbens</i>	4	1	0	2	0	0	0	0	125	-	3
<i>Ipomoea eriocarpa</i>	4	1	0	2	0	0	0	0	125	-	1
<i>Stylochaeton hypogaeus</i>	4	1	0	2	0	0	0	0	125	-	1
<i>Caperonia fistulosa</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	125	-	1
<i>Cassia mimosoides</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	125	-	15
<i>Sphaeranthus flexuosus</i>	56	18	6	20	2	0	3	17	120	6	13
<i>Combretum sp</i>	61	19	13	21	1	0	1	18	120	1	4
<i>Bergia sufruticosa</i>	20	6	5	7	0	0	0	26	118	1	3
<i>Scleria lagoensis</i>	6	2	3	2	0	0	0	32	117	1	8
<i>Urginea sp, Crinum sp</i>	62	19	6	23	1	0	1	40	115	6	4
<i>Polygala erioptera</i>	20	6	8	6	2	1	2	45	114	9	31
<i>Euphorbia forskalii</i>	13	4	5	4	0	0	0	80	105	1	2
<i>Paspalum scrobiculatum</i>	100	31	41	29	2	2	2	103	99	5	7
<i>Pycneus capillifolius</i>	3	1	3	0	0	0	0	112	97	1	7
<i>Acacia seyal</i>	60	19	6	22	1	1	1	114	96	11	3
<i>Panicum sumatrense</i>	4	1	2	1	0	0	0	126	94	7	7
<i>Aristida hordeacea</i>	12	4	6	3	0	0	0	162	85	4	4
<i>Chrysanthellum americana</i>	2	1	2	0	0	0	0	252	62	1	1
<i>Borreria octodon</i>	24	8	16	5	0	0	0	308	48	2	1
<i>Zornia glochidiata</i>	6	2	2	2	0	0	0	379	31	15	1

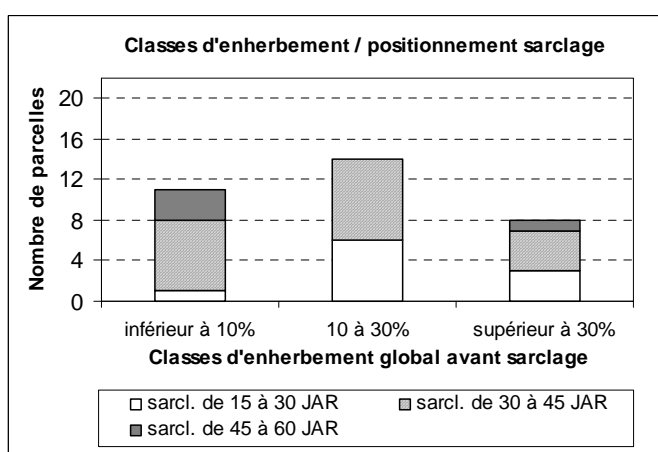
ANNEXE 16

Analyse des effets de l'enherbement sur la nutrition azotée et le nombre de grains par panicule; Positionnement du sarclage par rapport au cycle cultural et à l'enherbement

A. Relation entre l'enherbement global avant sarclage (15, 30 ou 45 JAR) et l'indice de nutrition azotée (en 2001/2002 seulement)



B. Répartition des parcelles par classes d'enherbement global (avant sarclage) en fonction du positionnement du sarclage dans le temps en nombre de Jours Après Repiquage (JAR)



ANNEXE 17

**Récapitulatifs des résultats sur la dynamique des attaques
des foreurs des tiges et les pertes de rendements à Balaza et Mowo**

Tableau 1 : Evolution des attaques des foreurs des tiges et pertes de rendements en parcelles paysannes à Balaza et Mowo, campagne 2001/2002

Parcelle	Variété ^a	Taux reprise	Attaques au cours du cycle (en % de pieds repris)			Total pieds attaqués (CV ^c)	% pieds attaqués improductifs ^d	Rendt moy (kg/ha) (CV)	Rendt pieds sains (CV)	Rendt pieds attaqués (CV)	Signifi-cation test T ^e	Perte rendt estimée (kg/ha)	Poids tiges pieds sains kg MS/ha	Poids tiges p.attaqués (CV)	Estim.perte fourrage
			45 JAR ^b	60JAR	90JAR										
B1a	Sf&Mj	100%	15%	28%	30%	35% (26%)	23%	513 (8%)	676 (7%)	187 (91%)	**	489	1080 (12%)	457 (49%)	623
B1b	Mjc	100%	22%	28%	28%	43% (30%)	7%	944 (23%)	1013 (7%)	735 (84%)	NS	278	1651 (27%)	1443 (77%)	208
B2	Sf&Bg	95%	10%	15%	15%	20% (74%)	5%	1036 (35%)	1153 (41%)	621 (69%)	NS	532	2090 (51%)	1878 (60%)	215
B4	Mjc	100%	11%	11%	22%	33% (43%)	0%	836 (16%)	879 (31%)	706 (49%)	NS	173	1721 (53%)	2360 (18%)	-639
B5	Mj&Sf	100%	16%	20%	21%	21% (47%)	5%	1000 (18%)	1062 (19%)	650 (39%)	NS	412	2826 (25%)	3123 (16%)	-297
B6	mélange	100%	23%	25%	25%	33% (36%)	16%	448 (38%)	560 (38%)	229 (31%)	*	332	1064 (45%)	690 (4%)	374
B7	Mjd	95%	9%	18%	26%	43% (14%)	27%	148	137 (86%)	168 (143%)	NS	-32	260 (74%)	567 (150%)	-307
M1b	Sf	88%	2%	2%	5%	10% (87%)	0%	687 (34%)	544 (21%)	2437 (95%)	NS	-1893	784 (12%)	1327 (12%)	-543
M2	Sf	84%	15%	26%	30%	43% (50%)	30%	315 (26%)	475 (43%)	123 (57%)	*	352	968 (51%)	950 (42%)	19
M3	Sf	100%	7%	8%	11%	30% (135%)	8%	355 (26%)	334 (11%)	160	NS	174	728 (55%)	320	408
M4	Sf	86%	13%	20%	20%	23% (97%)	9%	867 (33%)	806 (33%)	1931 (112%)	NS	-1125	954 (47%)	2098 (44%)	-1144
M5	Sf	88%	25%	32%	52%	52% (29%)	28%	477 (54%)	528 (46%)	425 (62%)	NS	103	905 (28%)	1080 (45%)	-175
M6	Sf	97%	4%	4%	8%	12% (118%)	0%	796 (3%)	825 (4%)	592 (5%)	**	233	1103 (15%)	1472 (34%)	-369
M7	Sf	96%	43%	45%	42%	47% (33%)	20%	930 (19%)	1187 (18%)	688 (29%)	*	499	2405 (37%)	2007 (60%)	398
M8	Sf	95%	5%	21%	31%	39% (24%)	11%	533 (19%)	193 (44%)	1159 (28%)	*	-966	479 (80%)	1408 (29%)	-930

^a Variétés: Sf : *safraari turiingel* (panicule compacte, crossée); Mjc : *majeeri tamiindi* (panicule compacte, crossée); Mjd : *majeeri tcheleeri* (panicule droite et lâche); Mj : mélange de Mjc et Mjd; Bg : *burguuri*; Aj : *ajagamari*

^b Jours Après Repiquage; ^c CV : Coefficient de Variation; ^d absence de production de grains (destruction du bourgeon apical ou panicule improductive)

^e Comparaison de moyennes selon le test T de Student : NS = différence non significative ; "*" = significatif au seuil de probabilité de 0,05 ; "*" = significatif au seuil de probabilité de 0,01.

Tableau 2 : Estimation des pertes de rendement liées aux attaques de foreurs et analyse des composantes du rendement – Balaza et Mowo, campagne 2001/2002

Variétés/ Parcelles	Moy. pieds repris	Moy. pieds attaqués	Moy pieds attaqués improductifs	Rendt moy pieds sains (kg/ha) CV	Rendt moy pieds attaqués (kg/ha) CV	Signifi- cation test T ^a	Perte rendt estimée	Nb. panicule/m ² pieds sains	Nb. panicule/m ² pieds attaqués	test T	Nb. grains/m ² pieds sains	Nb. grains/m ² pieds attaqués	test T	poids moy. 1 grain pieds sains	poids moy. 1 grain pieds attaqués	test T
Mjc (majeeri "crossé" ou majeeri tamiind)																
B1a	11	4	2	800 10%	320	*	480	1,1	0,6	NS	1864	716	NS	42,9	44,7	NS
B4	11	4		995 18%	706 49%	NS	289	0,6	0,7	NS	2099	1457	NS	47,5	47,4	NS
B5	14	3	1	1182 11%	690 16%	**	491	1,3	1,0	NS	2805	1772	*	42,2	39,8	NS
Mjd (majeeri "droit" ou majeeri tcheleeri)																
B1b	12	5		1023 8%	872 17%	NS	152	0,8	0,9	NS	2055	2089	NS	50,6	42,1	NS
B6	14	5	1	643 38%	314 13%	*	329	1,0	0,7	*	1370	712	NS	48,1	44,4	NS
Safraari																
B2	14	4	1	1034 30%	469 60%	*	565	1,4	1,1	NS	2507	1143	*	41,3	41,0	NS
M2	22	10	6	647 17%	156 55%	**	491	1,3	0,6	**	1779	449,9	**	40,7	40,0	NS
M5	24	13	6	770 7%	469 60%	NS	300	1,5	0,8	*	2353	1122	*	32,7	41,0	*
M6	18	4		998 10%	541 8%	**	457	1,1	1,0	NS	2197	1279	**	45,4	42,4	NS
M7	18	9	4	1711 25%	733 27%	*	978	1,3	0,8	NS	4164	1163	*	42,0	42,0	NS

^a Comparaison de moyennes selon le test T de Student :

NS = différence non significative ;

* = significatif au seuil de probabilité de 0,05 ;

** = significatif au seuil de probabilité de 0,01.

Remarque :

Les rendements par variétés apparaissent plus élevés que les rendements globaux. En effet, les variétés étant seulement identifiables à partir de la panicule, en cas de mélange de variétés, les calculs par variété n'intègrent pas les échecs de certains plants avant floraison.

Tableau 2bis : Estimation des pertes de rendement et fourrage liées aux foreurs par variété- Balaza et Mowo, campagne 2001/2002

Variétés/ Parcelles	Nb total de pieds repris		Total pieds attaqués (CV ^c)		Nb. pieds attaqués improductifs		Rendt moy pieds sains		Rendt moy pieds attaqués		Signifi- cation test T ^a	Perte rendt estimée	Poids MS ^b pieds sains		Poids MS pieds attaqués		Signifi- cation test T	Perte fourrage estimée (kg/ha)
	CV	CV	CV	CV	(kg/ha)	CV	(kg/ha)	CV	(kg/ha)	CV			(kg/ha)	CV				
Mjc (majeeri "crossé" ou majeeri tamiindi)																		
B1a	11	20%	4	61%	2	0%	800	10%	320		*	480	1571	13%	550	64%	*	1021
B4	11	9%	4	43%			995	18%	706	49%	NS	289	1911	42%	2360	18%	NS	-449
B5	14	47%	3	58%	1	0%	1182	11%	690	16%	**	491	3495	13%	3632	32%	NS	-138
Mjd (majeeri "droit" ou majeeri tcheleeri)																		
B1b	12	8%	5	53%			1023	8%	872	17%	NS	152	1784	27%	1920	23%	NS	-136
B6	14	11%	5	45%	1	43%	643	38%	314	13%	*	329	1214	42%	957	23%	NS	257
Safraari																		
B2	14	19%	4	43%	1	43%	840	30%	382	59%	*	457	2017	41%	1520	40%	NS	497
M2	22	28%	10	57%	6	44%	647	17%	156	55%	**	491	1286	17%	1182	33%	NS	103
M5	24	18%	13	16%	6	67%	770	7%	469	60%	NS	300	1387	25%	1201	42%	NS	186
M6	18	14%	4	61%			998	10%	541	8%	**	457	1276	4%	1379	46%	NS	-104
M7	18	24%	9	52%	4	81%	1711	25%	733	27%	*	978	3167	20%	1520	55%	*	1704

^a Comparaison de moyennes selon le test T de Student :

NS = différence non significative ;

* = significatif au seuil de probabilité de 0,05 ;

** = significatif au seuil de probabilité de 0,01.

^b Poids de Matière sèche en kg/ha

Remarque :

Les rendements par variétés apparaissent globalement plus élevés que les rendements globaux. En effet, les variétés étant seulement identifiables à partir de la panicule, les calculs par variété n'intègrent pas toujours les échecs de certains plants avant floraison.

Tableau 3 : Evolution des attaques des foreurs des tiges et pertes de rendements en parcelles paysannes à Balaza et Mowo, campagne 2002/2003

N° parcelle & variété dominante		Taux reprise à 15JAR	Attaques au cours du cycle cultural (en % de pieds repris)			Total pieds attaqués (CV ^c)	% pieds attaqués improductifs	Rend moyen kg/ha (CV)	Rendt pieds sains en kg/ha (CV)	Rendt pieds attaqués en kg/ha (CV)	Perte rendt estimée kg/ha	Signification test T ^d	Rendt pieds attaqués avt et à 60 JAR (CV)	Rendt pieds attaqués à p. de 60 JAR	Signification test T ^d
			45 JAR ^a	60JAR	90JAR										
B1a	Aj	100%	62%	70%	77%	84% (17%)	17%	575 (30%)	458 (19%)	585 (32%)	-127	NS	538 (35%)	912 (10%)	*
B1b	Mj	100%	18%	18%	22%	51% (13%)	16%	197 (43%)	210 (42%)	186 (47%)	24	NS	115 (25%)	264 (57%)	NS
B2a	Sf	99%	27%	38%	45%	46% (11%)	23%	616 (77%)	768 (76%)	425 (83%)	343	NS	397 (70%)	1163	NS
B2b	Sf	100%	35%	61%	69%	72% (8%)	20%	308 (55%)	544 (44%)	225 (71%)	319		195 (48%)	617 (146%)	NS
B4	Mjc	95%	7%	11%	13%	30% (76%)	13%	557 (71%)	597 (63%)	342 (80%)	255	NS	1083	283 (35%)	NS
B5	Mjc	95%	22%	40%	43%	50% (33%)	31%	520 (57%)	666 (52%)	358 (82%)	308	NS	368 (70%)	1474 (5%)	*
B6		70%	0%	0%	4%	6% (173%)	0%	71 (111%)							
B7a	Mj	95%	6%	14%	16%	25% (87%)	8%	192 (20%)	211 (41%)	169 (44%)	42	NS			
B7b		33%	0%	8%	8%	14% (76%)	0%								
M1a		81%	2%	8%	11%	13% (173%)	6%								
M1b		86%	0%	0%	0%	2% (173%)	0%								
M2		99%	12%	17%	20%	21% (77%)	10%								
M3	Sf	97%	25%	29%	38%	38% (40%)	6%	983 (8%)	925 (21%)	1154 (17%)	-229	NS	1491 (49%)	906 (27%)	NS
M4	Sf	70%	25%	33%	34%	38% (14%)	11%	1128 (17%)	1069 (11%)	1339 (51%)	-270	NS	1253 (47%)	2154 (19%)	NS
M5	Sf	80%	6%	18%	18%	24% (51%)	16%	118 (14%)	106 (90%)	137 (86%)	-30	NS	160 (142%)	105 (141%)	NS
M6	Sf	97%	2%	5%	8%	13% (51%)	5%	915 (24%)	913 (25%)	959 (42%)	-46	NS	555 (41%)	840 (88%)	NS
Moyennes			16%	23%	27%	33%	11%	489 (43%)	514 (47%)	508 (48%)	2		577 (58%)	748 (59%)	

^a Jours Après Repiquage; ^b destruction du bourgeon apical ou panicule improductive; ^c CV : Coefficient de Variation

^d Comparaison de moyennes selon le test T de Student : NS = différence non significative ; "*" = significatif au seuil de probabilité de 0,05 ; "*" = significatif au seuil de probabilité de 0,01.

Tableau 4 : Estimation des pertes de rendement liées aux attaques de foreurs et analyse des composantes du rendement – Balaza et Mowo, campagne 2002/2003

Variétés/ Parcelles	Moy. pieds repris	Moy. pieds attaqués	Moy pieds attaqués improductifs	Rendt moy pieds sains (kg/ha) CV	Rendt moy pieds attaqués (kg/ha) CV	Signifi- cation test T ^a	Perte rendt estimée	Nb. panicule/m ² pieds sains	Nb. panicule/m ² pieds attaqués	test T	Nb. grains/m ² pieds sains	Nb. grains/m ² pieds attaqués	test T	poids moy. 1 grain pieds sains	poids moy. 1 grain pieds attaqués	test T
Mjc (<i>majeeri</i> "crossé" ou <i>majeeri tamiindi</i>)																
B1b	13	7	2	256 42%	217 56%	NS	39	1,4	1,4	NS	1420	1517	NS	31,3	37,5	NS
B4	16	5	4	686 62%	342 80%	NS	344	0,7	0,5	NS	1914	1453	NS	36,2	38,2	NS
B5	10	5	2	663 50%	446 71%	NS	217	0,8	0,7	NS	1559	1033	NS	43,5	43,5	NS
B2	21	8	3	926 48%	451 66%	NS	475	1,5	1,1	NS	2151	1207	NS	42,2	36,0	NS
B2b	17	12	10	604 52%	265 86%	NS	339	1,3	0,8	NS	1468	660	NS	40,6	39,7	NS
M3	19	7	1	1127 15%	1314 14%	NS	-187			NS	2480	2917	NS	45,5	45,2	NS
M4	17	9	1	2385 27%	1669 50%	*	715	1,5	2,6	NS	4456	3720	*	53,0	43,5	NS
M6	28	4	1	1018 24%	1014 33%	NS	4	1,4	1,3	NS	2642	2653	NS	38,8	41,5	NS

^a Comparaison de moyennes selon le test T de Student :

NS = différence non significative ;

* = significatif au seuil de probabilité de 0,05 ;

** = significatif au seuil de probabilité de 0,01.

Tableau 4bis : Estimation des pertes de rendement et fourrage liées aux foreurs par variété– Balaza et Mowo, campagne 2002/2003

Variétés/ Parcelles	Nb total de pieds repris		Total pieds attaqués (CV ^c)		Nb. pieds attaqués improductifs		Rendt moy pieds sains		Rendt moy pieds attaqués		Signifi- cation test T ^a	Perte rendt estimée	Poids MS ^b pieds sains		Poids MS pieds attaqués		Signifi- cation test T	Perte fourrage estimée
	CV	CV	CV	CV	(kg/ha)	CV	(kg/ha)	CV	(kg/ha)	CV			(kg/ha)	CV	(kg/ha)	CV		
Mjc (majeeri "crossé" ou majeeri tamiind)																		
B1b	13	23%	7	14%	2	71%	256	42%	217	56%	NS	39	408	66%	407	35%	NS	1
B4	16	4%	5	76%	4	61%	686	62%	342	80%	NS	344	332	35%	589	57%	NS	-256
B5	10	15%	5	0%	2		663	50%	446	71%	NS	217	1519	57%	2168	75%	NS	-649
Safraari																		
B2	21	38%	8	83%	3		926	48%	451	66%	NS	475	2109	72%	5274	59%	NS	-3165
B2b	17	14%	12	22%	10	7%	604	52%	265	86%	NS	339	1358	33%	1757	83%	NS	-398
M3	19	23%	7	44%	1		1127	15%	1314	14%	NS	-187	2369	28%	3226	6%	*	-857
M4	17	31%	9	19%	1	100%	2385	27%	1669	50%	*	715	5030	52%	4831	11%	NS	199
M6	28	16%	4	57%	1	0%	1018	24%	1014	33%	NS	4	1578	27%	2656	27%	NS	-1078

^a Comparaison de moyennes selon le test T de Student :

NS = différence non significative ;

* = significatif au seuil de probabilité de 0,05 ;

** = significatif au seuil de probabilité de 0,01.

^b Poids de Matière sèche en kg/ha

ANNEXE 18

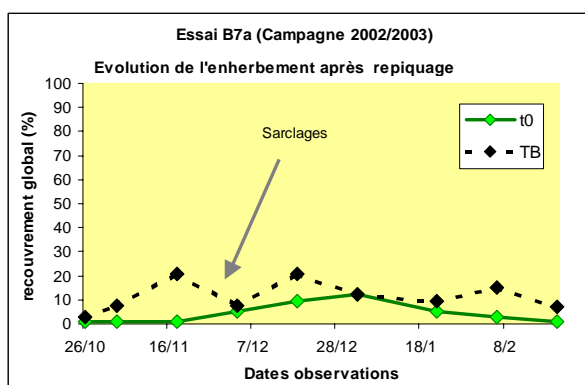
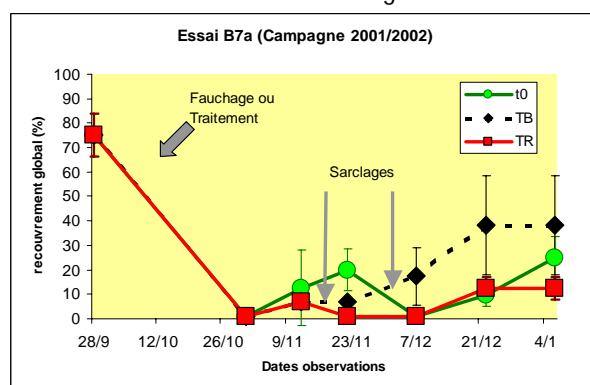
Evolution de l'enherbement au cours du cycle cultural et caractéristiques de l'élaboration du rendement dans les expérimentations en situation 2 (graminées annuelles, recouvrement global avt repiq.> 50%)

Essais B7a, campagnes 2001/2002 et 2002/2003 : Elaboration du rendement et évolution de l'enherbement

Type de sol	B7a (2001/2002)			B7a (2002/2003)	
	<i>sa'doore</i>			<i>sa'doore</i>	
Traitements	t0	TB	TR	t0	TB
Dose glyphosate (g/ha)		1130	1130		
Dose paraquat			300		400
Date repiquage	23/10	27/10	27/10	24/10	18/10
Biomasse couverture végétale (t/ha)			1,8		
Densité repiquage	13 000	13 100	13 300	9 100	12 000
Taux de reprise	90%	88%	97%	95%	100%
Sarclage	6/12	-	19/11	23/11	23/11
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	148 (112%)	236 (80%)	127 (136%)	192 (20%)	75 (59%)
Composantes du rendement					
Nb panicules/m ²	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5
Nb grains/m ²	451	575	394	442	186
Poids moyen 1 grain (mg)	30,0	39,1	35,1	43,8	40,5
Poids tiges (kg/ha)	375	353	213	280	638
Indicateurs de stress hydriques et nutrition azotée					
% enroutement à 60 JAR	100%	88%	58%	13%	56%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	8 (18%)	7 (28%)	7 (21%)	9 (0%)	9 (6%)
Nb. fentes/m ²	Pas de fentes de retrait				
Largeur fentes (cm)	Vertisol intermédiaire tendant vers le hardé (surface assez compact)				
Indicateur de Nutrition Azotée	0,22	0,17	0,20		
Parasitisme par <i>Sesamia cretica</i>					
% attaques à 60JAR	18%	34%	25%	14%	15%
% moyen attaques à la récolte	43%	57%	49%	25%	38%
% pieds attequés improductifs	27%	31%	37%	8%	15%
Rendement moyen pieds sains	137	280	151	211	91
Rendement moyen pieds attequés ⁽²⁾	168	212	53	169	48
Observations	Problème général d'alimentation en eau (stress hydriques élevés dans toutes les parcelles) → Réserve en eau du sol, 1 ^{er} facteur limitant avant enherbement			Problème de stress hydrique plus important dans TB peut être lié en partie à moins bonne maîtrise de l'enherbement avec paraquat et brûlage (effet "parapluie")	

⁽¹⁾ CV : coefficient de variation.

Courbes de suivi de l'enherbement global dans les deux essais B7a

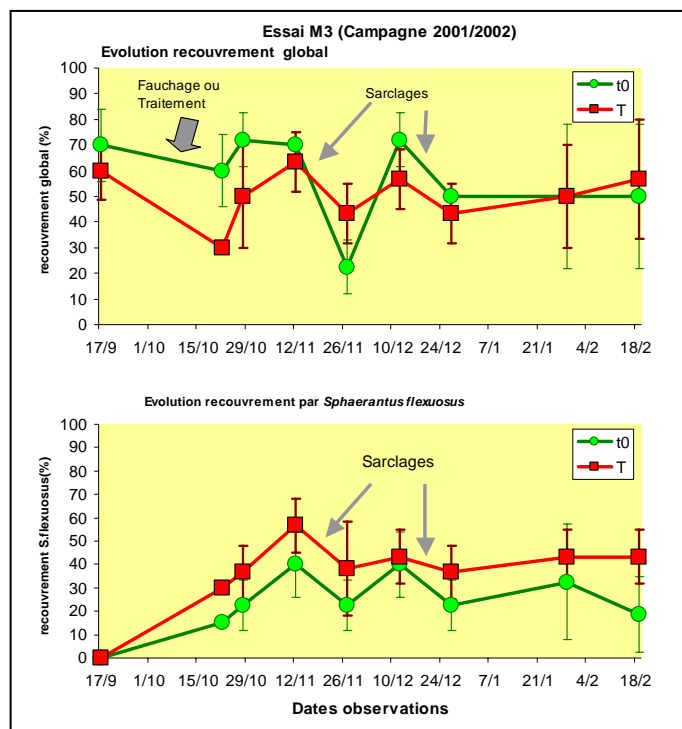


Essai M3, campagne 2001/2002 (sol : n'deleb) : Elaboration du rendement et évolution de l'enherbement

Traitements	t0	T
Dose glyphosate (g/ha)		1200
Fauchage ou traitt (j avant repiq.)	5	22
Date repiquage	13/10	20/10
Biomasse couverture végétale (t/ha)		1,5
Densité repiquage	16 600	15 000
Taux de reprise	100%	78%
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	355 (26%)	93,3 (70%)
Composantes du rendement		
Nb panicules/m ²	1,5	0,4
Nb grains/m ²	893	240
Poids moyen 1 grain (mg)	39,6	35,9
Poids tiges (kg/ha)	830	200
Indicateurs de stress hydriques et nutrition azotée		
% enrroulement à 60 JAR	3%	0%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	8 (18%)	7 (9%)
Nb. fentes/m ²	24	12
Indicateur de Nutrition Azotée (INN)	0,23	0,30
Largeur fentes (cm)	1,3	1,0
Parasitisme par <i>Sesamia cretica</i>		
% attaques à 60JAR	8%	6%
% moyen attaques à la récolte	27%	19%
% pieds attequés improductifs	8%	10%
Rendement moyen pieds sains	334	98
Rendement moyen pieds attequés	160	30

⁽¹⁾ CV : coefficient de variation.

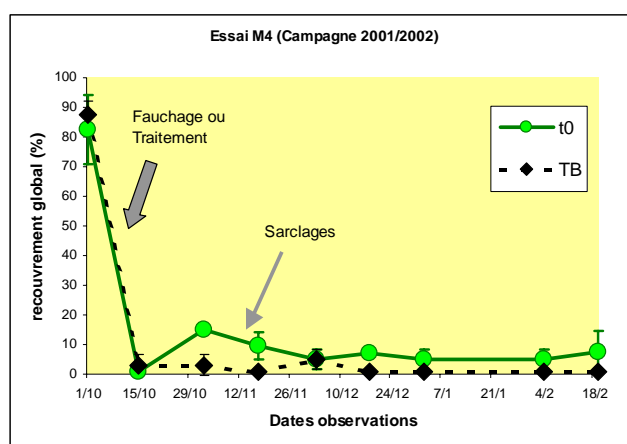
Observation : Quel que soit le mode de préparation, l'enherbement constitue le premier facteur limitant. Différence significative des rendements entre t0 et T (seuil 0,05) : Problèmes de retard de repiquage (plants non disponibles) et de mauvaise reprise dans parcelle T liée aux attaques de criquets accentués par la présence de la couverture végétale. La Concurrence de *S. flexuosus* est moins bien maîtrisé avec T (absence de brûlage).



Essai M4, campagne 2001/2002 (sol : n'deleb) : Elaboration du rendement et évolution de l'enherbement

Traitements	t0	TB
Dose glyphosate (g/ha)		900
Date repiquage	18/10	26/10
Densité repiquage	15 800	13 900
Taux de reprise	78%	77%
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	867 (33%)	553 (37%)
Nb panicules/m ²	0,7	0,9
Nb grains/m ²	1938	1227
Poids moyen 1 grain (mg)	48,1	45,5
Poids tiges (kg/ha)	1219	835
Indicateurs de stress hydriques et attaques <i>Sesamia</i>		
% enrroulement à 60 JAR	0%	0%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	13 (9%)	9 (25%)
Nb. fentes/m ²	19	
Largeur fentes (cm)	1,3	
% moyen attaques <i>Sesamia</i>	23%	30%

Observation : Différence de rendement entre les traitements surtout liées à l'hétérogénéité du terrain entre t0 et TB : stress hydrique plus important à la floraison dans parcelle TB avec terrain sans doute un peu moins argileux (absence de fentes)



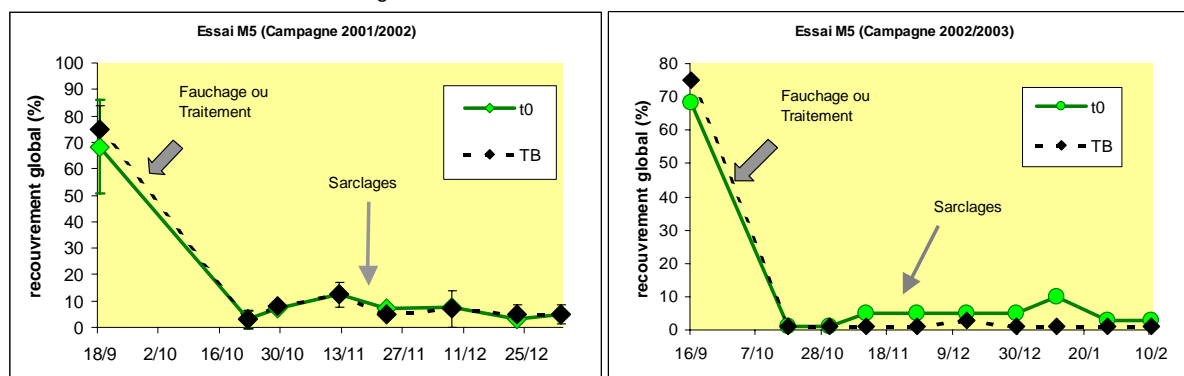
Essais M5, campagnes 2001/2002 et 2002/2003 : Elaboration du rendement et évolution de l'enherbement

Type de sol	M5 (2001/2002)		M5 (2002/2003)	
	<i>n'deheb</i>		<i>n'deheb</i>	
Traitements	t0	TB	t0	TB
Dose glyphosate (g/ha)		870		540
Date repiquage	11/10	11/10	12/10	12/10
Densité repiquage	15500	16900	20 900	18 100
Taux de reprise	88%	84%	80%	96%
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	477 (54%)	483 (20%)	118 (74%)	92 (67%)
Composantes du rendement				
Nb panicules/m ²	0,9	0,7	0,4	0,4
Nb grains/m ²	1232	1211	295	376
Poids moyen 1 grain (mg)	37,7	40,4	37,1	27,2
Poids tiges (kg/ha)	957	921	705	1192
Indicateurs de stress hydriques				
% enroulement à 60 JAR	0%	0%	23%	22%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	6 (10%)	7 (9%)	9 (27%)	9 (13%)
Nb. fentes/m ²	26	25	8	13
Largeur fentes (cm)	1,3	1,5	0,4	0,7
Parasitisme par <i>Sesamia cretica</i>				
% attaques à 60JAR	32%	43%	18%	22%
% moyen attaques à la récolte	52%	59%	24%	31%
% pieds attequés improductifs	28%	42%	16%	26%
Rendement moyen pieds sains	528	732 <i>a</i>	160	108
Rendement moyen pieds attequés ⁽²⁾	425	212 <i>b</i>	137	19
Observations	Impact des attaques de chenilles constitue principal facteur limitant surtout dans TB		Essai sur terrain hardé (différent de expérimentation en 2001/2002) → premier facteur limitant	

(1) CV : coefficient de variation.

(2) Différence significative (seuil 0,05) entre rendements pieds sains et pieds attequés dans la parcelle TB en 2001/2002

Courbes de suivi de l'enherbement global dans les deux essais M5



ANNEXE 19

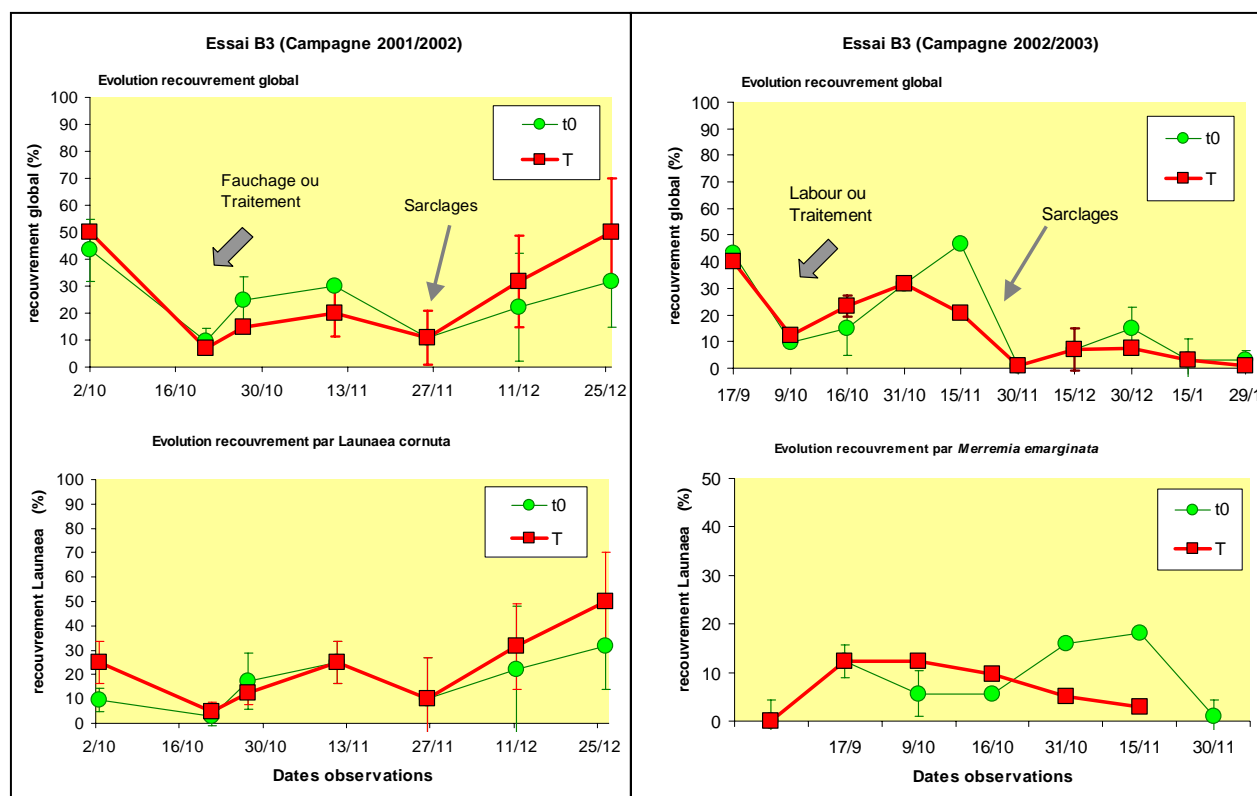
Evolution de l'enherbement au cours du cycle cultural et caractéristiques de l'élaboration du rendement dans les expérimentations en situation 3 (adventices vivaces et recouvrement avt repiq. < 50%)

Essais B3, campagnes 2001/2002 et 2002/2003 : Elaboration du rendement et évolution de l'enherbement

Type de sol	B3 (2001/2002)		B3 (2002/2003)	
	<i>baleewal</i>		<i>baleewal</i>	
Traitements	t0	T	t0	T
Dose glyphosate (g/ha)		610	Labour manuel	1040
Date repiquage	12/10	17/10	1/10	1/10
Densité repiquage	11 500	10 900	8 800	9 400
Taux de reprise	97%	93%	81%	88%
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	0	0	0	0
Poids tiges (kg/ha)	380	440	170	250
Indicateurs de stress hydriques et nutrition azotée				
% enroulement à 60 JAR	100%	90%	53%	45%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	5 (25%)	6 (17%)	5 (35%)	7 (21%)
Nb. fentes/m ²	21	18	20	18
Largeur fentes (cm)	3,5	3,6	2,3	2,1
Indicateur de Nutrition Azotée (INN)	0,29	0,33		
Observations	Insuffisante réserve en eau du sol induit stress hydriques élevés et explique l'absence de production de grains lors des deux campagnes			

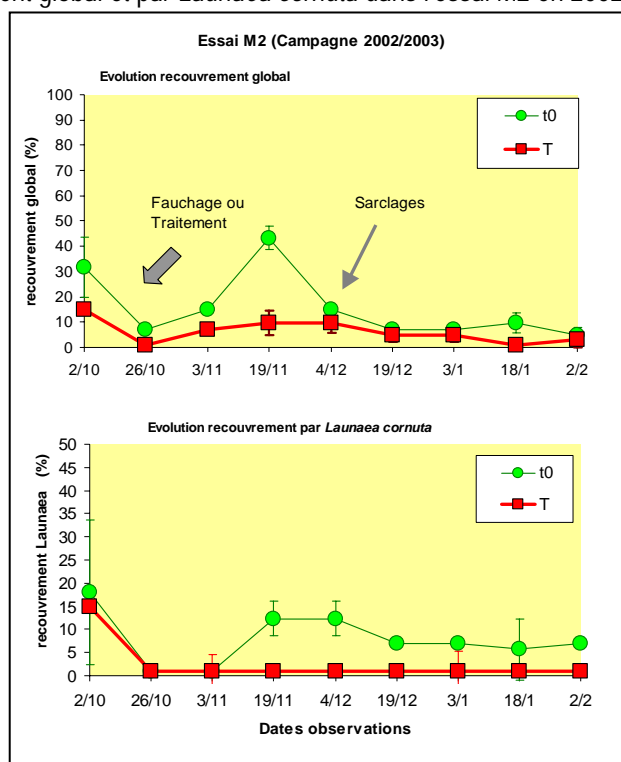
⁽¹⁾ CV : coefficient de variation.

Courbes de suivi de l'enherbement dans les deux essais B3



Essais M2, campagnes 2002/2003 : Elaboration du rendement et évolution de l'enherbement

Type de sol	<i>n'deleb</i>	
Traitements	t0	T
Dose glyphosate (g/ha)		1600
Date repiquage	12/10	19/10
Densité repiquage	13 600	16 000
Taux de reprise	99%	63%
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾		
Composantes du rendement		
Nb panicules/m ²		
Nb grains/m ²		
Poids moyen 1 grain (mg)		
Poids tiges (kg/ha)	350	130
Indicateurs de stress hydriques		
% enroutement à 60 JAR	73%	83%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	7 (9%)	4 (35%)
Nb. fentes/m ²	23	19
Largeur fentes (cm)	1,6	1,2
Parasitisme par <i>Sesamia cretica</i>		
% attaques à 60JAR		
% moyen attaques à la récolte		
% pieds attequés improductifs		
Rendement moyen pieds sains		
Rendement moyen pieds attequés		
Observations	Problème de disponibilité en plants : retard repiquage dans T et mauvaise qualité des plants → échec reprise Réserve en eau du sol insuffisante → pas de production de grains Eau, déjà facteur limitant année précédente (cf annexe 10)	

Courbes de suivi de l'enherbement global et par *Launaea cornuta* dans l'essai M2 en 2002/2003

ANNEXE 20

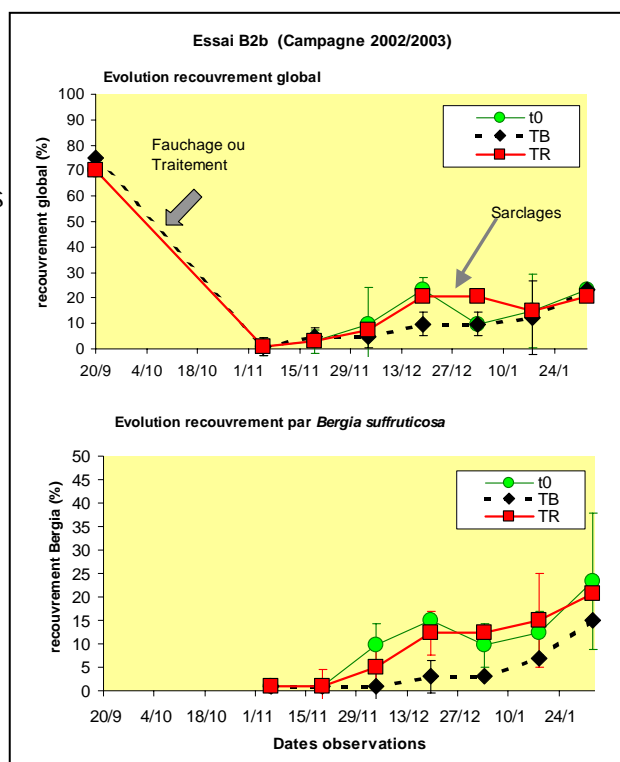
Evolution de l'enherbement au cours du cycle cultural et caractéristiques de l'élaboration du rendement dans les expérimentations en situation 4 (adventices vivaces et recouvrement avt repiq. > 50%)

Essai B2b, campagne 2002/2003 : Elaboration du rendement et évolution de l'enherbement global

Type de sol	<i>sa'doore</i>		
Traitements	t0 (Sf)	TB (Mj cr)	TR (Mj cr)
Dose glyphosate		1400	1400
Date repiquage	1/10	1/10	1/10
Biomasse couverture végétale (t/ha)			2,1
Densité repiquage	15 000	15 000	15 000
Taux de reprise	100%	100%	85%
Sarclage 1	27/10		27/10
Sarclage 2			
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	308 (55%)	1017 (60%)	510 (57%)
Composantes du rendement			
Nb panicules/m ²	0,8	1,1	1,0
Nb grains/m ²	763	2715	1301
Poids moyen 1 grain (mg)	40,0	37,6	39,6
Poids tiges (kg/ha)	1436	1572	1278
Indicateurs de stress hydriques			
% enroulement à 60 JAR	22%	17%	10%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	10 (17%)	8 (13%)	8 (13%)
Parasitisme par <i>Sesamia cretica</i>			
% attaques à 60JAR	61%	30%	9%
% moyen attaques à la récolte	72%	35%	24%
% pieds attequés improductifs	20%	11%	4%
Rendement moyen pieds sains	544	1468	502
Rendement moyen pieds attequés	225	570	553

Observations :

Meilleure maîtrise de *Bergia suffruticosa* avec le traitement/brûlage, et rendement plus élevé, mais différences non significatives



Essais M2, campagnes 2001/2002 : Elaboration du rendement et évolution de l'enherbement

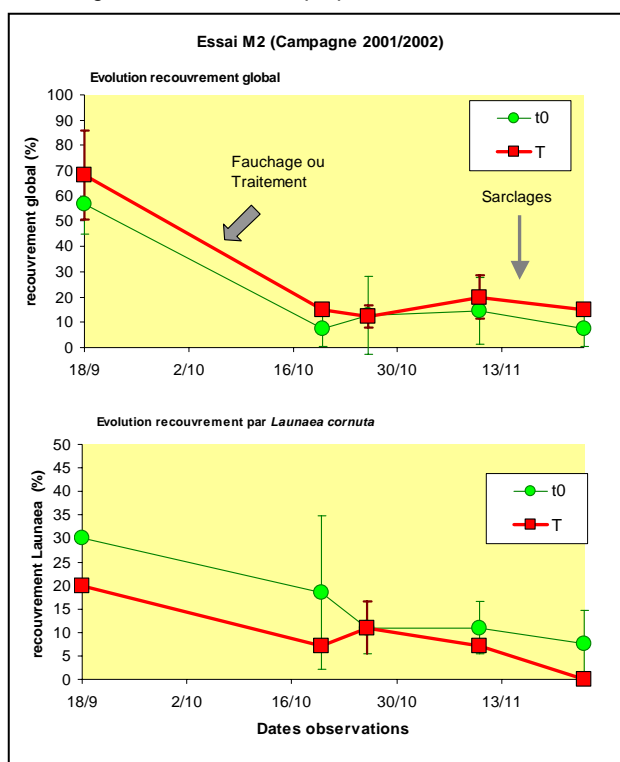
Type de sol	<i>n'deieb</i>	
Traitements	t0	T
Dose glyphosate (g/ha)		790
Date repiquage	11/10	11/10
Biomasse couverture végétale (t/ha)		0,75
Densité repiquage	16 600	16 000
Taux de reprise	97%	93%
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	315 (20%)	204 (117%)
Composantes du rendement		
Nb panicules/m ²	0,6	0,5
Nb grains/m ²	859	536
Poids moyen 1 grain (mg)	40,4	39,2
Poids tiges (kg/ha)	948	822
Indicateurs de stress hydriques et nutrition azotée		
% enroutement à 60 JAR	5%	16%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	5 (11%)	5 (0%)
Nb. fentes/m ²	29	23
Largeur fentes (cm)	1,3	1,6
Indicateur de Nutrition Azotée (INN)	0,37	0,40
Parasitisme par <i>Sesamia cretica</i>		
% attaques à 60JAR	26%	18%
% moyen attaques à la récolte	43%	30%
% pieds attequés improductifs	30%	27%
Rendement moyen pieds sains	515 <i>a</i>	233
Rendement moyen pieds attequés ⁽²⁾	132 <i>b</i>	95

(1) CV : coefficient de variation. (2) Différence significative (seuil 0,05) entre rdt pieds sains et pieds attequés dans parcelle 10

Observations :

Forte variabilité des rendements dans parcelle T, sans doute liée à micro-variation du terrain et attaques *Sesamia*. Essai sur vertisol modal mais l'insuffisante recharge en eau du sol explique la faiblesse des rendements (envisager aménagement diguettes et réduire densité de repiquage).

Dose de traitement assez faible → maîtrise équivalente de enherbement entre T et t0

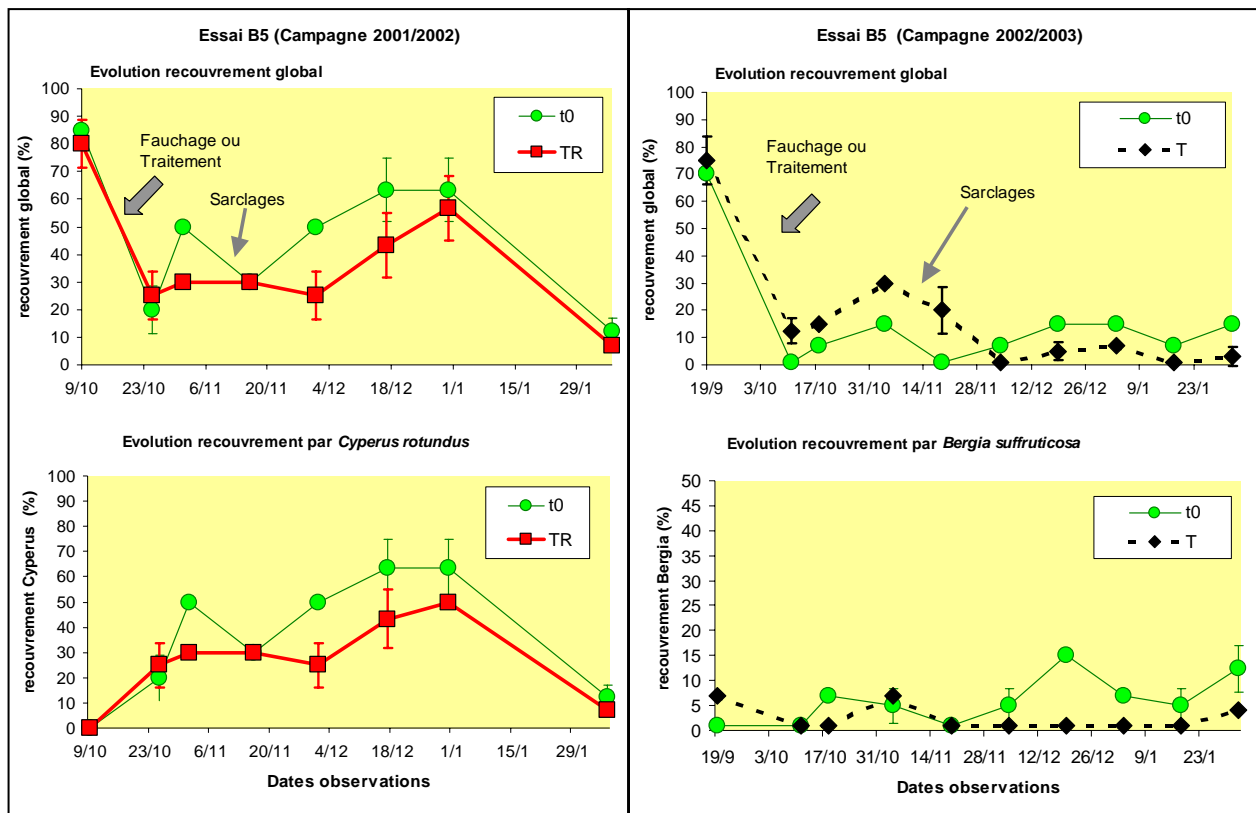


Essais B5, campagnes 2001/2002 et 2002/2003 : Elaboration du rendement et évolution de l'enherbement

	B5 (2001/2002) mélange variétés		B5 (2002/2003)	
Type de sol	<i>daande maayo (≈sa'doore)</i>		<i>baleewal</i>	
Traitements	t0	TR	t0	T
Dose glyphosate (g/ha)		625 (+300 paraq.)		820
Date repiquage	17/10	19/10	5/10	5/10
Biomasse couverture végétale (t/ha)		2,5		0,4
Densité repiquage	12 800	14 300	9 700	11 000
Taux de reprise	99%	97%	95%	94%
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	1000 (18%)	1184 (20%)	520 (57%)	440 (54%)
Composantes du rendement				
Nb panicules/m ²	1,2	1,3	0,7	0,7
Nb grains/m ²	2298	2683	1230	1041
Poids moyen 1 grain (mg)	43,4	43,9	43,0	41,5
Poids tiges (kg/ha)	2904 <i>b</i>	4406 <i>a</i>	1085	1510
Indicateurs de stress hydriques et nutrition azotée				
% enroutement à 60 JAR			5%	15%
Nb. feuilles vertes fin floraison (CV)	10 (6%)	10 (6%)	10 (6%)	8 (13%)
Indicateur de Nutrition Azotée (INN)	0,21	0,35		
Parasitisme par <i>Sesamia cretica</i>				
% attaques à 60JAR	20%	2%	40%	10%
% moyen attaques à la récolte	21%	5%	50%	11%
% pieds attaqués improductifs	5%	1%	31%	7%
Rendement moyen pieds sains	1182 <i>a</i> (Mj cr)	1292 <i>a</i> (Mj cr)	666	465
Rendement moyen pieds attaqués ⁽²⁾	690 <i>b</i> (Mj cr)	712 <i>b</i> (Mj cr)	358	382
Observations	Moindre concurrence <i>Cyperus</i> dans TR surtout en début de cycle → nb grains/m ² plus élevé		Dose traitement insuffisante pour bien maîtriser enherbement → pas de différences rendement significatives	

⁽¹⁾ CV : coefficient de variation. ⁽²⁾ Différence significative (seuil 0,05) entre rdt pieds sains et attaqués dans t0 et TR(2001/02)

Courbes de suivi de l'enherbement dans les deux essais B5



ANNEXE 21 :

Suivi de l'arrière effet des traitements dans les deux grandes situations d'enherbement

Indicateurs de fréquence / recouvrement global et par espèces

Annexe 21a : Suivi de l'arrière-effet du traitement sur l'enherbement dans 7 essais en situation 1 et 2. Indicateurs des principales espèces (fréquence ou recouvrement local supérieurs à 20%) calculés à partir des relevés floristiques effectués avant repiquage dans les mêmes parcelles témoins (t0) et traitées (TB et T) en 2001/2002 et 2002/2003.

Année	2001/2002						2002/2003						
	Espèces	Fréq. relative	Recouvrements				Fréq. relative	Recouvrements					
			moyen	moyen corrigé		Local		moyen	moyen corrigé		Local		
				t0	T(B)	t0			T(B)	t0	T(B)	t0	T(B)
Enherbement global	100	69	96	103	67	72	100	60	98	102	59	61	
<i>Fymbristilis dichotoma</i>	82	12	105	95	14	14	17	1	75	120	5	6	
<i>Chloris pilosa</i>	80	16	86	112	20	21	35	4	71	123	7	13	
<i>Panicum sumatrense</i>	76	18	84	114	23	25	44	10	89	109	28	22	
<i>Echinochloa colona</i>	58	13	114	87	28	18	31	7	71	123	15	28	
<i>Setaria sphacelata</i>	53	17	109	92	32	31	88	23	105	96	30	24	
<i>Acroceras amplexens</i>	51	7	89	109	12	16	33	3	72	122	6	11	
<i>Urginea spp., Crinum spp.</i>	49	2	98	102	4	7	31	1	173	44	5	2	
<i>Digitaria horizontalis</i>	44	6	114	87	15	13	38	2	88	109	7	6	
<i>Loudetia togoensis</i>	44	12	103	97	26	28	44	14	165	49	56	16	
<i>Pycurus capillifolius</i>	44	1	101	99	4	13	27	4	152	60	17	10	
<i>Ipomoea aquatica</i>	38	5	96	103	12	13	2	0,1	229	0	7		
<i>Zornia glochidiata</i>	36	6	78	119	11	20	21	2	65	127	8	13	
<i>Desmodium hirtum</i>	33	13	88	110	41	39	33	14	72	122	43	43	
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	29	4	116	86	15	11	8	1	90	108	15	8	
<i>Agrostidae sp</i>	27	3	128	76	15	10	44	5	76	119	12	10	
<i>Acacia seyal</i>	24	2	142	63	9	4	23	1	124	83	6	5	
<i>Paspalum scrobiculatum</i>	24	1	81	116	2	3	15	2	145	65	17	8	
<i>Corchorus sp</i>	18	1	102	98	7	5	21	0,5	197	24	3	1	
<i>Chrysanthellum americana</i>	16	1	82	115	5	6	27	1	76	119	2	3	
<i>Cyperus rotundus</i>	16	3	56	139	12	26	29	8	96	103	38	21	
<i>Hibiscus articulatis</i>	13	2	118	85	15	12	13	1	133	74	7	5	
<i>Heliotropium strigosum</i>	7	0,3	214	0	5		35	5	38	148	7	15	

Annexe 21b : Evaluation de l'arrière effet sur la production dans quelques essais en situations 1 et 2

Essais en 2001/2002	B1a			B7a			M4		M6	
	t0	TB	TR	t0	TB	TR	t0	TB	t0	TB
Nb panicules/m ²	0,8	1	1	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4
Poids tiges (kg/ha)	873	1096	1550	375	353	213	1219	835	1650,6	1687
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	513 (8%)	467 (20%)	667 (28%)	148 (112%)	236 (80%)	127 (136%)	867 (33%)	553 (37%)	915 (24%)	1022 (15%)
Campagne 2002/2003										
Nb panicules/m ²	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6	0,5	0,5	1,2		
Poids tiges (kg/ha)	1194	1041	472	524	415	202	444	1470	1229	729
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	616 (54%)	480 (15%)	207 (173%)	247 (21%)	235 (66%)	104 (25%)	205 (18%)	874 (70%)	638 (32%)	588 (87%)

(1) CV : coefficient de variation

Annexe 21c : Suivi de l'arrière-effet du traitement sur l'enherbement dans 5 essais en situation 3 et 4. Indicateurs des principales espèces (fréquence ou recouvrement local supérieurs à 20%) calculés à partir des relevés floristiques effectués avant repiquage dans les mêmes parcelles témoins (t0) et traitées (TB et T) en 2001/2002 et 2002/2003.

Année	2001/2002						2002/2003						
	Espèces	Fréq. relative	Recouvrements				Fréq. relative	Recouvrements					
			moyen	moyen corrigé		Local		moyen	moyen corrigé		Local		
				t0	T(B)	t0			T(B)	t0	T(B)	t0	T(B)
Enherbement global	100	65	96	103	63	67	100	66	125	82	82	54	
<i>Echinochloa colona</i>	92	22	87	109	22	25	56	18	65	125	35	32	
<i>Cassia mimosoides</i>	81	8	126	82	14	8	50	10	162	56	26	12	
<i>Setaria sphacelata</i>	67	19	103	98	30	28	39	16	145	68	58	29	
<i>Bergia suffruticosa</i>	53	4	121	85	8	7	56	7	140	71	19	9	
<i>Ipomoea aquatica</i>	53	10	101	99	21	17	33	2	173	48	9	3	
<i>Desmodium hirtum</i>	53	4	90	107	7	9	31	3	145	68	10	11	
<i>Oryza longistaminata</i>	42	13	63	126	21	39	25	12	142	70	88	30	
<i>Urginea spp., Crinum spp</i>	33	4	118	87	11	11	33	7	136	74	24	18	
<i>Chloris pilosa</i>	33	5	129	79	21	13	6	0,2	210	21	7	1	
<i>Sphaeranthus flexuosus</i>	33	3	111	92	8	10	0						
<i>Alysicarpus rugosus</i>	31	3	119	87	9	8	0						
<i>Caperonia fistulosa</i>	28	1	137	73	4	2	8	0,3	187	38	7	1	
<i>Fymbristilis dichotoma</i>	25	2	86	110	10	9	0						
<i>Panicum sumatrense</i>	25	7	60	129	20	30	0						
<i>Acacia seyal</i>	22	1	60	129	1	5	11	1	76	117	7	5	
<i>Echinochloa obtusiflora</i>	11	1	191	35	16	4	11	2	44	140	15	22	
<i>Cyperus rotundus</i>	8	1	10	164	1	11	50	16	177	45	47	17	
<i>Launaea cornuta</i>	8	1	160	57	20	15	14	1	188	37	10	4	

Annexe 21 d : Evaluation de l'arrière effet sur la production dans quelques essais en situation 4 (absence de cas en situation 3 car toutes les parcelles témoins ont été traitées l'année suivante)

Essais en 2001/2002	B2a			B5		B6		
	t0	TB	TR	t0	TR	t0	TB	TR
Nb panicules/m ²	1,2	1,4	1,3	1,2	1,3	0,8	0,7	0,9
Poids tiges (kg/ha)	2056	2484	2846	2904	4406	908	1473	3134
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	1036 (37%)	1198 (12%)	1283 (4%)	1000 (18%)	1184 (20%)	448 b (38%)	746 a (1%)	880 a (5%)
Campagne 2002/2003								
Nb panicules/m ²	1,2	1,6	1,2	0,9	1,0	0,7	0,9	
Poids tiges (kg/ha)	2590	2600	1260	1262	1939			
Rendement grains en kg/ha (CV) ⁽¹⁾	966 a (24%)	1270 a (23%)	574 b (20%)	721 (18%)	942 (14%)	360 b (20%)	1290 a (15%)	

(1) CV : coefficient de variation. Les rendements signalés par des lettres distinctes sont significativement différents selon le test T de Student de comparaison de moyennes au seuil de probabilité de 0,05.

ANNEXE 22: Modules de Conseil aux Exploitations Familiales

Aperçu des séances de conseil initié dans le cadre du projet ESA
Conception : M.Alifa, M.Havard, A.Legile, P.Djamen Nana, B.Mathieu

Programme prévisionnel de campagne et conduite technique pour la culture du sorgho *muskuwaari*

Quelques indications pour mieux situer les Conseillers Paysans sur les séances de conseil qu'ils vont avoir à animer dans les prochaines semaines.

A partir de la page 2, il s'agit du guide à l'usage des conseillers pour le déroulement de chaque séance avec les paysans.

Objectif général des séances de conseil :

- Aider l'agriculteur à mieux cultiver son karal selon ses moyens¹ et les conditions climatiques de l'année (la pluie surtout)

Comment arriver à cet objectif ?

- Le CP ne vient pas apprendre aux agriculteurs à produire le muskuwaari, beaucoup parmi eux cultivent le karal depuis bien longtemps et ont l'expérience. Ce que l'on voit malgré tout c'est que certains réussissent mieux que d'autres; suivant les années aussi les paysans s'en sortent plus ou moins bien.
- Le but des séances de conseil est donc de **discuter avec les paysans sur leurs façons de faire et de voir ensemble comment il est possible de les améliorer.**
- Nous avons vu lors des séances sur la sécurité alimentaire que prévoir ce que l'on va utiliser comme quantité de céréales sur une année peut aider à mieux gérer le grenier. On va essayer de faire la même chose pour la conduite de la culture du muskuwaari : c'est-à-dire **aider les paysans à mieux programmer les travaux champêtres** pour ne pas être dépassé à un moment ou à un autre et arriver à une bonne production.
 - Pendant ces réunions on va aussi parler des techniques qui permettent de **réaliser ces travaux champêtres dans les meilleures conditions possibles.** Par exemple comment préparer son karal en fonction des moyens que l'on a, des mauvaises herbes qu'il y a, des pluies...Quelle surface herbicider ? Comment faire face aux attaques de chenilles ? ...ect
 - Ce qui est très important c'est que **les solutions vont sortir des discussions et des échanges avec les paysans.** Bien sûr le CP a son expérience et il va en faire profiter les agriculteurs mais il n'est pas le seul à avoir des bonnes idées. En plus chacun va prendre dans les débats ce qui est intéressant pour lui et l'adapter à son propre cas.

¹ Ce n'est pas seulement l'argent, la main d'œuvre fait aussi partie des moyens à prendre en compte.

Séance n°1 : Séance d'introduction/sensibilisation

Le CP va commencer par présenter les **objectifs de la séance** :

- Réfléchir aux surfaces que l'on veut faire en muskuwaari et à la production espérée pour voir si cela peut satisfaire les besoins.
- Rechercher ce qui peut aider à obtenir un bon résultat mais aussi quels sont les problèmes qu'il faudra surmonter.

Pour cela le CP va poser des questions aux paysans pour les faire réagir sur les différents points :

① Discuter sur les surfaces et la production attendue

Dans tous les cas, le CP va essayer d'attirer l'attention du paysan sur le **problème de sécurité alimentaire** :

ce qu'il a eu l'an passé, est-ce que ça a suffi ? Est-ce qu'il connaît la quantité de muskuwaari utilisée pour la nourriture de la famille sur une année ?

Demander si parmi les participants il y en a qui ont eu à suivre les séances de conseil sur la sécurité alimentaire et qui se rappellent combien ils ont besoin ?

Le CP va ensuite montrer que pendant ces séances on avait appris à gérer le grenier mais la première chose c'est qu'il faut **avoir quelque chose à gérer c'est à dire qu'il faut tout faire pour avoir une bonne récolte**.

② Discuter de ce qui permet d'avoir une bonne récolte et des problèmes

Demander aux agriculteurs si l'année passée ils étaient contents de leur production : est-ce qu'ils ont eu ce qu'ils espéraient ? Quelque soit la réponse (oui ou non) voir pourquoi ils ont réussi ou pas.

Dans tout ce que les paysans vont dire on va sûrement se rendre compte qu'être prêt à temps (ex : pour les pépinières ou le repiquage) est important pour la réussite de la culture. Pour aider les paysans à faire chaque opération au meilleur moment il existe plusieurs solutions :

- tout d'abord essayer de faire un programme prévisionnel de la campagne muskuwaari : c'est-à-dire réfléchir à l'avance à toutes les opérations culturales, à quelle date et avec quels moyens pour voir si ça peut passer et sinon trouver d'autres façons de faire.
Ex : chercher à adapter la surface cultivée à sa capacité de travail et ses moyens, pour éviter des retards pour le repiquage et le sarclage dans le cas d'une année avec de fortes pluies ;
- à partir de ce programme prévisionnel on peut voir s'il n'y a pas des solutions techniques qui permettent d'améliorer la conduite de la culture

Terminer la réunion en précisant que dans les prochaines séances, nous proposerons aux participants de :

- mieux prévoir la campagne du muskuwaari,
- d'échanger des solutions concernant les techniques culturales du sorgho repiqué

L'objectif est d'aider **chaque agriculteur à trouver les moyens d'adapter les solutions à sa situation** (ses différents types de karal, la main d'œuvre disponible...).

D'ici la prochaine réunion il serait donc important que **chacun réfléchisse à la surface qu'il veut faire, à ses objectifs de production en fonction de ses besoins en nourriture et autres**. Ceux qui ont participé aux séances sur la sécurité alimentaire et qui se rappellent ce qui a été dit là-bas peuvent éventuellement aider les autres qui le souhaitent à calculer leurs besoins. De toutes façons cela sera repris au début de la séance n°2 !

Séance 2 : Définition de l'itinéraire technique et mise en place des pépinières

Comme à chaque fois le CP va présenter les **objectifs de la séance** :

- définir les objectifs de production de sorgho muskuwaari, et en fonction de cela les surfaces à repiquer ;
- réfléchir à l'itinéraire technique qui peut permettre d'atteindre ces objectifs et discuter plus particulièrement des dates de semis des pépinières (ex : aider l'agriculteur à bien choisir les différentes dates de semis notamment pour la première pépinière).

① Définition de l'objectif de production et des besoins

Demander si un des participants connaît ses besoins en muskuwaari. Voir ensuite si les surfaces qu'il a prévu seront suffisantes. Si personne ne connaît comment faire ou si personne ne veut donner son cas, on peut reprendre les calculs avec un volontaire :

De quelles quantités de muskuwaari j'ai besoin pour nourrir ma famille ? Ceci correspond à quelle superficie en muskuwaari ?

De combien de superficies je dispose pour cultiver le muskuwaari ? C'est combien de parcelles dans quels types de sols ? Combien je peux espérer obtenir de sacs ?

Comparer les besoins en sacs aux superficies que je peux cultiver. Si cela ne correspond pas comment faire ?

② Définition de la conduite de la culture et gestion des pépinières

Une fois que les participants ont une idée des superficies et des parcelles qu'ils veulent cultiver on peut définir l'itinéraire technique (conduite de la culture) :

- Qu'est-ce que je vais faire comme travaux (opérations culturales) et à quel moment ?

Il s'agit de la préparation du karal (diguettes), du fauchage, du labour, du séchage, du brûlis, du repiquage, du sarclage, de la récolte, du battage et du transport.

- Préciser ce qui est nécessaire pour chaque opération, c'est-à-dire les besoins en main d'œuvre, intrants, plants...

Demander si un paysan veut donner son cas et essayer de remplir un tableau comme celui-ci :
Remarque : *c'est peut-être mieux si pour le premier cas on choisit quelqu'un qui n'utilise pas l'herbicide*

Parcelle	Type d'opération	Date ou période	Besoins
Champ n° 1 5 q 15 à 20 sacs	Arrachage arbustes	janvier	1 manœuvre
	Semis pépinière	15 août / 10 septembre	8 kg semences
	Fauchage	mi-septembre	1 manœuvre
	Repiquage	15 / 20 octobre	Famille / 15 bottes
	Sarclage	janvier	Famille
	Récolte	mars	Famille + 1 personne
	Battage/transport	mars	Sacs vides / famille
Champ n°2			

Dans ce tableau on écrit ce que le paysan pense faire réellement dans son champ.

Voir avec lui si c'est ce qu'il fait habituellement ou s'il a prévu de changer quelque chose cette année par rapport aux autres années.

A partir de ce que le paysan a dit on va remonter de la date de repiquage à la date de semis en pépinière pour voir si ça peut correspondre.

Suivant les pluies il peut se poser différents problèmes d'approvisionnement en plants pendant la période de repiquage. La décision de la date du premier semis est très importante pour être sûr d'avoir des plants, même si la

pluviométrie est limitée après. Or, certains agriculteurs n'ont pas de règle précise ni de véritable repères dans le temps et se contentent parfois d'imiter les agriculteurs voisins sans trop réfléchir.

Pendant la séance il est donc important de discuter avec les agriculteurs de la façon dont ils organisent les pépinières :

- Comment les agriculteurs décident du déclenchement du premier semis?
- Existe t-il dans le village un calendrier local ou un autre moyen pour déclencher le premier semis?

Pour faire prendre conscience des risques de ne pas avoir les plants au bon moment ou encore pour proposer des pistes d'amélioration le CP peut s'aider de la **fiche n°2**.

L'important est de favoriser les échanges entre agriculteurs sur leurs pratiques concernant cette première date de semis et ensuite sur les différentes manières de faire les autres semis, en parlant aussi des quantités et de la qualité de semences :

- plusieurs petites pépinières espacées dans le temps ou une ou deux grandes pépinières. Pourquoi l'une ou l'autre des méthodes ? Avantages / inconvénients de chaque méthode ?
- choix des variétés pour les différentes pépinières?
- quantité de semences : en général on retient 2 kg de semences par quart repiqué, mais il faut voir si les producteurs sont d'accord avec ce chiffre de 2 kg. Il faudra d'ailleurs sûrement le traduire dans l'unité de mesure des paysans (nombre de tasses, *mudoore*?). Est-il facile de garder des semences de bonne qualité ? Comment faire si on n'a pas assez ? Il est mieux d'acheter des semences ou des plants ?

Si le CP voit que la conduite de la pépinière ne semble pas être un énorme problème, il peut commencer à discuter sur les autres opérations prévues et voir si cette conduite technique va permettre d'atteindre les objectifs fixés.

Le CP peut aussi attirer l'attention du paysan sur le travail à réaliser et sur les possibilités qu'il a de le faire au bon moment.

Le CP peut terminer la séance en demandant à chacun de réfléchir à la conduite qu'il veut adopter cette année, comme ça lors de la prochaine réunion un autre participant pourra donner son cas. La discussion concernera surtout le repiquage et le sarclage en essayant de voir comment l'herbicide peut aider pour l'implantation de la culture.

Séance n°3 : La conduite de la culture avec traitement herbicide

Objectifs de la séance

Dans cette séance, le CP accordera une attention particulière à l'utilisation des herbicides dans les itinéraires techniques de la culture du muskuwaari. Il s'agira en particulier de :

- Apprendre aux paysans à bien utiliser le traitement herbicide pour faciliter l'implantation du muskuwaari, parvenir à repiquer à temps dans les différents types de sols, et limiter les travaux de sarclage en concurrence avec les autres travaux (récolte sorgho pluvial et coton)
- Faire prendre conscience aux agriculteurs des risques de l'utilisation excessive de l'herbicide

Déroulement de la séance

- Élaboration du programme et du calendrier de travail

1. Quels travaux sont prévus et à quelles dates sur les différentes parcelles réservées au muskuwaari ?.

Il s'agit de la préparation du karal (diguettes), du fauchage, du labour, du séchage, du brûlis, du traitement herbicide, du repiquage, du sarclage, de la récolte, du battage et du transport

2. Quels sont dans chaque cas les besoins en plants, en main d'œuvre, traitement herbicide et intrants (produits phytosanitaires, engrais, sacs...) ?.
3. Avec les réponses et les discussions autour de ces questions, le CP pourra remplir le tableau qui suit, et orientera les discussions sur le traitement herbicide dans la conduite de la culture du muskuwaari.

Tableau 1. Exemple de programme et besoins prévisionnels, -

Parcelles	Opérations prévues	Dates ou période	Besoins
Parcelle n°1 2 q 5 sacs	Préparation diguettes	10-20 juillet	3 personnes 3 jours
	Fauchage	25 au 28 sept	3 personnes
	Séchage	25/09-4/10	
	Brûlis	5-6/10	
	Repiquage	8 et 9/10	10 000 plants 4 personnes 2 jours
	Sarclage	Décembre	3 personnes 3 j
	Récolte	Février	2 personnes 2 j
	Battage	Février	3 personnes 2 j 5 sacs
	Transport	février	Pousse
Parcelle n°2 1 q 3 sacs	Préparation diguettes	25-30 juin	2 personnes 2 jours
	Traitement herbicide	20 septembre	1 personne, 1 l glyphosate
	Brûlis	2-3/10	
	Repiquage	4/10	5 000 plants 3 personnes
	Sarclage	Décembre	2 personnes 3 j
	Récolte	Février	1 personnes 2 j
	Battage	Février	2 personnes 2 j 3 sacs
	Transport	février	Pousse

Dans cet exemple, pour réussir sa deuxième parcelle de karal, le paysan fait appel en plus de la main d'œuvre familiale à de la main d'œuvre salariée. Comme il n'aura plus de plants bon à repiquer à la date prévue, il va prendre les plants chez un ami.

- Le traitement herbicide

Pour les discussions sur le traitement herbicide avec les paysans, le CP partira des raisons avancées par le paysan pour la réalisation du traitement herbicide sur son karal.

Le CP peut faciliter la discussion avec les questions suivantes :

1. Pourquoi cette année le paysan veut utiliser le traitement herbicide ?-
2. Quels avantages il voit au traitement herbicide ?

Des réponses peuvent être :gagner du temps, économiser de l'argent...

Il ne faut pas vouloir faire sortir tous les avantages du traitement herbicide, mais seulement ceux que le paysan voit pour son propre cas...

3. Pour le paysan, quels sont les risques qu'il voit à l'utilisation de l'herbicide dans son karal ?

Ensuite, le CP fera discuter les paysans sur les conditions du traitement herbicide dans leurs parcelles, c'est-à-dire :

4. Comment le paysan va faire pour bien utiliser l'herbicide à la bonne dose et au bon moment ? Il faut tenir compte des conditions climatiques :

- S'il ne pleut pas beaucoup, faire d'abord un traitement dans les premiers terrains à repiquer, en position haute (hardé, sa'doore...), pour pouvoir repiquer à temps avant que le karal ne soit trop sec
- S'il pleut beaucoup, faire surtout les traitements pour les parties les plus humides, où les repousses de mauvaises herbes seront importantes.

5. Comment il compte placer le traitement herbicide dans les opérations culturales qu'il a prévu ? Comment il prend en compte les types de sol et l'enherbement :

- Va-t-il faire varier les doses d'herbicide ?
- Faire suivre ou non le traitement herbicide du brûlis ?

Pour les différentes possibilités d'utilisation du traitement herbicide, le CP pourra s'appuyer sur la fiche N°3 et les schémas.

Séance 4 : Bilan de la conduite de la culture du muskuwaari

Objectifs

- Faire le bilan prévisionnel de la conduite technique du muskuwaari avec les conséquences sur l'organisation des travaux et les charges pour les différentes parcelles.

Déroulement de la séance

S'appuyer sur les exemples de conduite du muskuwaari des séances précédentes (itinéraire traditionnel et itinéraire avec utilisation d'herbicide).

Pour chaque opération culturale de ces exemples :

- Reprendre les besoins en main d'œuvre et intrants et voir comment ils vont pouvoir être couverts (ressources disponibles) ;
- Comparer les besoins et les ressources et rechercher les solutions appropriées à chaque situation.

Pour cette séance, vous pouvez vous aider des tableaux qui suivent :

Exemple. Itinéraire technique avec utilisation des herbicides

Rappel des objectifs

Superficie (en quart)	2
Production (en sacs)	7
Date début semis en pépinière	17/08
Nombre de pépinières	2

Calendrier de travail et besoins prévisionnels pour la conduite du muskuwaari

Opérations		Dates/périodes	Besoins	Origine	Coût (Fcfa)	Solutions
Pépinières	Semis	17 au 20/08	4 kg semences	Stock personnel	0	
	Traitement semences	14/08	1/2 sachet	Marché	250	Vente bois
	Labour pépinières	13 et 14/08	2 personnes 1 jour	Famille	0	
	Fumure minérale pépinière	30/08	10 tasses NPK 1 personne 1 jour	Marché Famille	2 500 0	Vente sorgho
Parcelles de muskuwaari	M.O prép. karal (diguettes...)	Mai	2 personnes 2 jour	Famille	0	
	Fauchage et brûlis (1 q)	29 et 30/09	3 personnes 1 jours	3 manœuvres	3 000	Vente sorgho
	Traitement herbicide (1 q)	28/09	1 personne 1 jour 2 sachets	1 manœuvre Marchés	500 3 000	Vente sorgho
	Repiquage	1 au 3/10	2 personnes 2 jours	Famille	0	
	Sarclage, entretien	Décembre	3 personnes 1 jours	3 manœuvres	3 000	Vente arachide
	Récolte	Février	2 personnes 2 jours	Famille	0	
	Battage et vannage	Février	2 personnes 2 jours	2 manœuvres	0,5 sac	Prélèvement récolte
	Transport et sacherie	Février	1 personne 1 jour Voiture 7 sacs	Loue voiture Sacs au marché	½ sac 1 750	Prélèvement récolte
Coût total					18 500 1 sac	

ANNEXE 23

**Fiche technique à l'usage de conseillers paysans sur la mise en oeuvre
du traitement herbicide selon les situations d'enherbement**

LA GESTION DE L'ENHERBEMENT DU *MUSKUWAARI*



Orienter les changements techniques vers des systèmes de production durables

Dans le Nord du Cameroun, le traitement herbicide de préparation pour la culture du sorgho repiqué est adopté rapidement et de façon massive. Un conseil technique diversifié apparaît indispensable pour prévenir les risques d'une utilisation abusive en aidant les agriculteurs à mieux raisonner les applications et à alterner les modes de préparation. Cette démarche de recherche-développement ouvre des perspectives pour la mise au point et la diffusion d'autres changements techniques avec les agriculteurs et leurs organisations.

Dans les plaines de l'Extrême-Nord Cameroun, le sorgho repiqué de saison sèche (muskuwaari) connaît une forte extension. Les surfaces cultivées sont estimées à plus de 150 000 ha. Les agriculteurs ont adapté ce système de culture dans une gamme variée de terrains argileux (karal), et sont confrontés à divers problèmes de gestion de l'enherbement.

Contrôler les mauvaises herbes pour économiser la réserve en eau du sol

La gestion du couvert herbacé développé pendant la saison des pluies constitue un des facteurs déterminant de la réussite du muskuwaari.

Les contraintes liées à l'enherbement

- La préparation du terrain, généralement par fauchage et brûlis des herbes, doit être effectuée rapidement pour ne pas retarder le repiquage et permettre aux plants de profiter au mieux de l'humidité du sol.
- Après le repiquage, la concurrence pour l'eau entre les plants et les repousses de mauvaises herbes peut fortement limiter la production. L'infestation empêche parfois la mise en culture des parcelles.

Avantages du traitement herbicide, adoption récente et risques d'une utilisation excessive

L'emploi d'herbicide présente des intérêts agronomiques et économiques. En limitant les repousses des vivaces, il permet des gains de production de 400 kg/ha en moyenne. Le temps de préparation des parcelles et le coût sont réduits par rapport au fauchage souvent effectué par des saisonniers. Entre 1998 et 2003, l'épandage d'herbicide total à base de glyphosate est passé de 0,3% à environ 20% des surfaces cultivées. Un emploi mal contrôlé peut avoir des conséquences néfastes à moyen et long terme :

- Pour l'environnement, en favorisant l'apparition de résistances de mauvaises herbes, d'éventuelles pollutions et des problèmes de toxicité pour les usagers.
- Pour l'économie des exploitations en créant une dépendance des agriculteurs vis à vis de l'approvisionnement en herbicide.

Autres clés de la réussite du muskuwaari

D'autres pratiques culturales liées à la gestion de l'eau se révèlent déterminantes :

- favoriser la recharge en eau du sol, à travers l'aménagement de diguettes, l'arrachage des arbustes et mauvaises herbes au cours de la saison des pluies, la mise en défens pour éviter le piétinement du sol par les animaux en fin de saison pluvieuse
- repiquer au bon moment en ajustant la croissance des plants, élevés en pépinières sans irrigation, et le repiquage dans un sol ni trop humide ni trop sec, en tenant compte des différents types de terrains qui composent le karal de l'agriculteur.



Aménagement de diguettes dans un karal

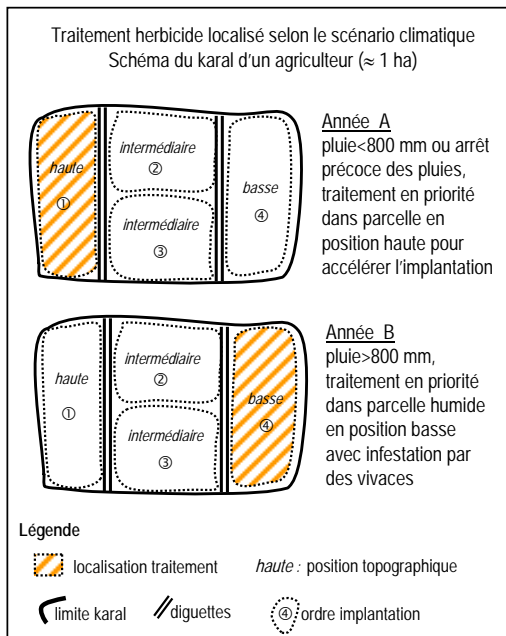
Raisonnement des traitements selon le scénario climatique

Pour favoriser une utilisation modérée de l'herbicide, les différents avantages du traitement sont à faire valoir en fonction du scénario climatique :

- privilégier le traitement dans les parcelles en position haute lors des années peu pluvieuses, pour réduire le temps de préparation et augmenter les chances de repiquer à temps dans les portions du karal qui s'assèchent le plus vite.
- en cas de bonne pluviométrie, traiter plutôt dans les parcelles les plus humides en position basse pour contrôler les adventices vivaces.

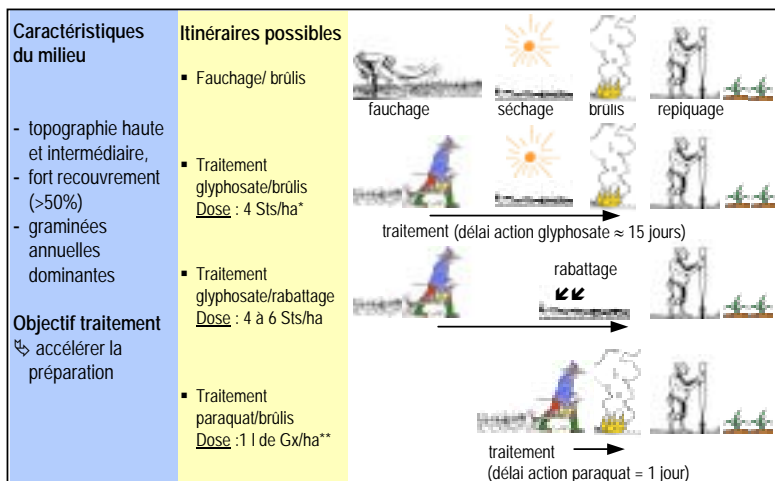
Ajuster les techniques selon le type d'enherbement et l'objectif du traitement

Des solutions variées sont disponibles face à la diversité des situations. Pour éviter les traitements systématiques et généralisés au glyphosate, d'autres herbicides peuvent être utilisés, en alternance avec les modes de préparation habituels. Le conseil doit guider les agriculteurs dans le choix de la matière active, les conditions d'application (dose, moment du traitement) et l'adaptation de l'itinéraire technique (repiquage dans la couverture végétale, brûlis, ...).



Situations 1&2: Possibilité d'accélérer la préparation dans un couvert dominé par des graminées annuelles

Le fauchage reste à privilégier lorsque l'enherbement est dominé par des graminées annuelles. Cependant, l'herbicide constitue un ajustement intéressant si l'agriculteur est pris par le temps et doit rapidement réaliser l'implantation. L'emploi du gramoxone dont le délai d'action est très court, s'avère bien approprié à condition de sensibiliser les agriculteurs sur les précautions d'usage, étant donné l'importante toxicité de la matière active (paraquat).



*Sts : Sachets Roundup biosec; ** Gx : gramoxone



- ① Fauchage d'un couvert dominé par des graminées annuelles.
- ② Traitement herbicide à l'aide d'un pulvérisateur à dos (pression entretenue). Ces appareils facilitent l'épandage (largeur de traitement plus élevée), mais la qualité de pulvérisation est moins bonne que pour les appareils de type Handy.
- ③ Traitement avec un pulvérisateur à disque rotatif de type Handy. Ces appareils assurent une bonne efficacité du traitement contre les mauvaises herbes vivaces.

Caractéristiques des différents herbicides proposés

Nom produit commercial (p.c)	Matière active (m.a)	Formulation	Coût en 2003	Doses recommandées
Roundup Biosec	glyphosate	granulés dispersibles : sachets de 250 g dont 180 g de glyphosate	1500 Fcfa par sachet	4 à 16 sachets/ha
Gramoxone	paraquat	liquide (200 g de m.a par litre de p.c)	3600 Fcfa/l	1 à 2l/ha
Calliherbe	2,4-Dimethyl amine	liquide (720 g de m.a par litre de p.c)	4000 Fcfa/l	1 à 2l/ha

Situation 3 : Contrôle des adventices vivaces dans les parcelles à faible recouvrement

L'usage de l'herbicide dans les situations de faible recouvrement est très apprécié, car il évite les travaux pénibles de labour ou d'apport de paille de graminées prélevées en brousse pour permettre le brûlis. Cependant, les traitements répétés chaque année comportent des risques :

- réduction de la diversité des herbes présentes et envahissement progressif par des espèces résistantes à l'herbicide.
- diminution du recouvrement avec des conséquences sur la dégradation des sols.

Il est donc préférable d'inciter les agriculteurs à alterner les itinéraires, les matières actives et à maintenir un certain recouvrement avec par exemple l'introduction d'espèces fourragères facilement maîtrisables au moment de l'implantation du muskuwaari.

Caractéristiques du milieu	Itinéraires possibles	
<ul style="list-style-type: none"> - topographie haute et intermédiaire - recouvrement faible (<50%) - adventices vivaces: <i>Launaea spp (kaatki)</i>, <i>Merremia sp (ar'dadel)</i>,... 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Apport graminées pour brûlis ■ Labour / repiquage ■ Traitement glyphosate / repiquage (pas de brûlis) <u>Dose</u> : 8 sachets/ha 	
Objectif traitement ☞ contrôler les vivaces		

Situation 4 : Maîtrise des mauvaises herbes vivaces et récupération de parcelles dans les terrains inondés

Dans les terrains inondables, le traitement doit se faire avant la crue, sur un couvert végétal suffisamment développé pour garantir l'efficacité de l'herbicide. L'application évite ainsi le travail difficile de fauchage dans l'eau. La dose est élevée (16 sachets de roundup biosec) pour assurer l'élimination des vivaces et éviter la reprise du traitement les années suivantes.



Caractéristiques du milieu	Itinéraires possibles	
<ul style="list-style-type: none"> - topographie basse - inondation (> 20 jours) - fort recouvrement (>50%) - adventices vivaces : riz sauvage à rhizome (naddere), <i>Cyperus rotundus (goyal)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fauchage dans l'eau + fauchage / brûlis (selon importance des herbes) ■ Traitement glyphosate/ repiquage (petit fauchage parfois) <u>Dose</u> : 12 à 16 schts/ha ■ Fauchage dans l'eau + traitement glyphosate/ (brûlis si herbes importantes) <u>Dose</u> : 12 sachets/ha 	
Objectif du traitement ☞ contrôler les vivaces (parfois, récupération parcelles infestées)		

Option à évaluer : Traitement post-repiquage pour le contrôle de certaines dicotylédones

Certaines mauvaises herbes à feuilles large comme *Sphaeranthus flexuosus* (beepal) ne sont pas présentes dans le couvert herbacé qui pousse en saison des pluies. Elles apparaissent après le repiquage, particulièrement lors des années très pluvieuses. D'autres espèces comme *Merremia emarginata* (ar'dadel) sont naturellement peu sensibles au glyphosate. Dans ces situations, l'utilisation après le repiquage du 2,4 D, herbicide sélectif pour le contrôle des dicotylédones, s'avère plus approprié.



Caractéristiques du milieu	Itinéraires possibles	
<ul style="list-style-type: none"> Bonne pluviométrie (>800mm) → risque d'infestation par <i>Sphaeranthus flexuosus (beepal)</i>, <i>Ipomoea aquatica (boore)</i>,... 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fauchage/brûlis puis traitement post-repiquage <u>Dose</u> : 1 à 2 l/ha de 2,4D ■ Repiquage sans préparation si enherbement dominé par dicotylédones, puis traitement post-repiquage 	
Objectif du traitement ☞ contrôler la prolifération de dicotylédones apparaissant surtout après repiquage		

Un conseil technique diversifié, mis en œuvre par les APROSTOC

Les références techniques sur la gestion de l'enherbement dans les cultures de muskuwaari ont été élaborées dans le cadre des projets DPGT (Développement Paysannal et Gestion de Terroirs), puis ESA, en partenariat avec les APROSTOC (Association de Producteurs-Stockeurs de Céréales). Ces associations, à travers un réseau d'une dizaine de Conseillers Paysans, proposent actuellement des modules collectifs de conseil sur la conduite technico-économique de la culture du muskuwaari. Les séances, menées autour de discussions et d'échanges d'expériences entre agriculteurs, ont pour objectifs :

- de mettre en évidence la diversité des situations et des options techniques qui s'offrent à eux et de sensibiliser sur les risques d'une utilisation abusive des herbicides,
- d'aider les agriculteurs à adapter les choix techniques à leur situation particulière, en particulier selon les types d'enherbement et la configuration de leur karal, mais aussi le scénario climatique et l'organisation du travail pour l'implantation.



Séance collective de conseil sur l'adaptation du traitement herbicide dans les systèmes de culture muskuwaari

Cette démarche de recherche-développement a contribué à l'identification de divers problèmes techniques et organisationnels. Différents aspects d'amélioration des systèmes de culture à muskuwaari sont abordés avec le projet ESA, pour accompagner les innovations paysannes et enrichir les services d'appui/conseil gérés par les APROSTOC. Par ailleurs, ces associations envisagent de développer des services d'approvisionnement pour assurer la fourniture de certains intrants de qualité et à moindre coût.



Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement



Projet ESA (Eau Sol Arbre)



Association des producteurs stockeurs de céréales

Realisation : Bertrand Mathieu et Mahamat Allia; Dessins : Mathieu Mbairi; Photos : B. Mathieu et A. Rahmadass
Conception : Cathy Rollin

Perspectives pour l'appui technique des producteurs de muskuwaari

Favoriser la diffusion de variétés locales



A partir d'un travail d'inventaire et de caractérisation des variétés locales de muskuwaari à dire d'agriculteurs, une intervention a été engagée pour soutenir la diffusion de variétés reconnues localement et pouvant intéresser d'autres zones de production.

Améliorer les aménagements dans le karal

Des améliorations sont possibles pour pérenniser les aménagements et les rendre plus efficaces :

- Fixation des diguettes avec des espèces végétales
- Aménagement en courbe de niveau, à l'échelle du karal ou du bassin versant, avec lorsque c'est possible, des systèmes d'orientation des eaux de crues pour favoriser la recharge en eau des sols



Dégâts de chenilles à l'intérieur d'une tige de sorgho

Gestion intégrée des ravageurs du sorgho

Les dégâts des chenilles foreuses des tiges (*Sesamia cretica* essentiellement) constituent une préoccupation croissante des producteurs. Il semble que l'infestation a augmenté dans les 10 dernières années, en particulier dans les terres à muskuwaari plus récemment exploitées, à proximité des cultures pluviales. Les générations de l'insecte se succèdent vraisemblablement en fin de saison des pluies, en passant des parcelles de sorgho pluvial vers le muskuwaari. Le taux de plants atteints dépasse régulièrement 30%. Dans ce cas, les pertes moyennes sont estimées à 400 kg/ha, soit une baisse de près de 50% du rendement. L'importance des attaques et des dégâts apparaît très variable entre différents kare villageois et d'une année sur l'autre. Des travaux spécifiques sont en cours pour :

- mieux connaître la biologie de *Sesamia* et la dynamique d'infestation au cours du cycle cultural
 - mesurer les pertes de rendement selon les années et évaluer des méthodes de lutte
- Une approche intégrée est privilégiée en explorant les méthodes de lutte biologique (virus, préservation des parasites naturels,...) et le recours à des traitements chimiques lorsque la pullulation est trop importante.

Mieux valoriser le karal en saison des pluies

Certains agriculteurs développent la culture du riz pluvial dans les terres à muskuwaari inondables, puis repiquent le sorgho, après la récolte du riz. Cette pratique augmente depuis l'introduction du traitement herbicide pour la récupération de parcelles infestées par le riz



Riz pluvial dans un karal inondable

sauvage à rhizome. Des tests de variétés et d'itinéraires culturaux sont menés pour perfectionner ce système de double culture riz-muskuwaari. Les tests ont été étendus dans d'autres types de terrains, non inondables, afin d'évaluer l'introduction de nouvelles variétés de riz ainsi que des espèces fourragères.