

UNIVERSITÉ  
de BOURGOGNE

CENTRE DES SCIENCES DE LA TERRE  
UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE

FORMATION DOCTORALE  
PAL & SED  
UNIVERSITÉ DE DIJON  
LYON I, AIX-MARSEILLE I  
TOULOUSE III



INSTITUT FRANÇAIS  
DE RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE POUR  
Le DÉVELOPPEMENT  
EN COOPÉRATION



IRA

INSTITUT DE LA  
RECHERCHE  
AGRONOMIQUE  
MINREST-CAMEROUN

**FONCTIONNEMENT DES SOLS SABLEUX ET OPTIMISATION  
DES PRATIQUES CULTURALES EN ZONE SOUDANIENNE  
HUMIDE DU NORD CAMEROUN**

**(expérimentation au champ en parcelles d'érosion à Mbissiri)**

**Zachée BOLI BABOULE**

**Thèse présentée pour l'obtention du doctorat en Sciences de la Terre,  
Option Sciences du Sol et productions végétales**

**Soutenue le 31 mai 1996 devant le jury composé de :**

<b>M. ANDREUX</b>	<b>Francis .....</b>	<b>Président</b>
<b>M. FLORET</b>	<b>Christian .....</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>M. FRESSE</b>	<b>Jean-Claude.....</b>	<b>Examineur</b>
<b>M. LELONG</b>	<b>François.....</b>	<b>Directeur</b>
<b>M. PONTANIER</b>	<b>Roger.....</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>M. ROOSE</b>	<b>Eric .....</b>	<b>Directeur</b>

## AVANT-PROPOS

Etant agronome, c'est au cours de ma spécialisation professionnelle en pédologie et aménagement des sols à l'ORSTOM-Bondy, que je saisis mieux la dimension du problème de l'érosion, d'une part comme contrainte à la production agricole, déterminant fondamental de la vie des sociétés et d'autre part comme thème d'intérêt scientifique. En effet, en 1976, Mr. A. Combeau me confie, comme sujet de mémoire de DEA, la mise au point d'un simulateur de pluies de laboratoire et l'application à l'étude de l'érodibilité des sols. A cet instant, je ne m'imagine pas quel voile va tomber de mes yeux, me permettant de voir autrement les choses qui m'accompagnent depuis mon enfance. Et pourtant, les journées chaudes et humides que je passe pendant trois mois dans l'une des serres vitrées de l'ORSTOM, en cet été caniculaire de 1976, vont rester parmi les plus passionnantes de ma carrière scientifique. Ma perception de la pluie va changer, mieux s'enrichir d'une dimension maléfique que j'ignorais. La compréhension des processus de base de l'érosion hydrique va illuminer non seulement ma maigre expérience agronomique, mais surtout la mémoire d'une enfance rurale. Avec ma nouvelle clé de lecture des faits, mon champ expérimental occupe désormais toute la dimension temporelle. Remontant en particulier le passé, je comprends que les rochers qui se soulèvent sur les pistes, malgré les remblais de terre de saison sèche, ne sont pas habités par des démons. Plus important encore, je saisis le rôle de la pluie dans la dégradation des sols et la baisse de la productivité des terres et donc la culture itinérante. De la montagne où je suis né, je me revois accompagnant mon père à la recherche d'une jachère bien "mûre" pour y créer le "nouveau" champ de l'année. A travers l'histoire des vieux arbres fruitiers ou des domaines fonciers, je comprends que certains membres de la famille ont dû s'éloigner, faute d'espace pour créer leur propre parcours de culture. Je perçois en même temps le rôle refuge de la montagne qui, par sa salubrité, permettait aux rescapés des plaines insalubres, de reconstituer la tribu. Mais comme la montagne n'offrait pas assez d'espace, compte tenu de l'étroitesse de ses surfaces et de la durée de maturation des jachères, quelques générations après, les familles se disloquaient encore. Les émigrants descendaient dans la plaine, vastes espaces plus fertiles et plus giboyeux, au cours d'eau plus poissonneux, mais combien inhospitaliers ! On comprend aussi que certains groupes qui n'ont pas trouvé montagne où se réfugier, se soient complètement éteints dans ces plaines infestées d'insectes vecteurs de maladies pour l'homme.

Au terme de cette formation, le thème de l'érosion qui s'est transformé en passion, me pousse naturellement à une inscription en thèse de doctorat à l'Université de Paris VII en 1977. Mais, rentré au Cameroun, mon sujet de thèse ne s'intègre pas dans les tâches qui me sont assignées. Malgré l'absence d'un cadre expérimental précis sur l'érosion, ma réflexion sur le sujet n'est pas interrompue, tant le problème de la dégradation des terres par l'eau est omniprésent dans l'espace agricole camerounais. Je participe par ailleurs à l'un des séminaires organisés par l'IITA sur les systèmes de travail réduit du sol. Ainsi, lorsque le problème de la baisse des rendements dans le système de culture intensive vulgarisé par la Sodecoton est posé et qui en vient à préconiser la culture itinérante, je connais l'importance du problème et j'estime disposer de ressources pour contribuer significativement à la recherche de solutions durables. C'est aussi l'occasion de faire un travail plus approfondi, valorisable dans le cadre d'une thèse scientifique.

De nombreuses personnes me font alors confiance et le Projet Garoua, résultat de la coopération franco-camerounaise, m'en donne l'occasion et les moyens de me mesurer à cette tâche.

L'étude qui suit est l'un des produits attendus de ce projet. Sa réalisation a mis à contribution plusieurs institutions :

- le Ministère de la Coopération, la Caisse Française de Développement (ex CCCE), le CIRAD et l'ORSTOM, côté français ;
- le Ministère de la Recherche Scientifique et Technique, l'Institut de la Recherche Agronomique (IRA), le CRA/IRA Maroua et la SODECOTON, côté camerounais.

Agissant pour le compte de ces institutions, de nombreuses personnes ont contribué à la réalisation de cette étude.

Parmi celles-ci, je voudrais d'abord exprimer ma gratitude au Dr J.Ayuk Takem, Directeur de l'IRA, puis Ministre de la Recherche Scientifique et Technique. Il a autorisé cette formation, m'a constamment encouragé et a veillé à ce qu'il n'y ait pas de difficultés matérielles après mon départ de Maroua.

Je rends hommage au professeur Joseph Mbede, actuel Ministre de la Recherche Scientifique et Technique, d'avoir autorisé ma longue absence pour cette phase terminale de l'étude.

Le professeur Georges Pédro, alors président de la Commission Scientifique d'Hydrologie et de Pédologie, qui m'avait eu comme étudiant de DEA, a favorisé l'engagement de l'ORSTOM pour ma formation. Je lui suis particulièrement reconnaissant.

Ma profonde gratitude va à Jacques Bonvallet. Représentant de l'ORSTOM au Cameroun, il a soutenu le programme de Mbissiri sur tous les plans ; il nous a encouragé par une visite de terrain et a facilité la mise en oeuvre de mon contrat de Formation-Insertion ; comme Chef du Service des Relations Extérieures à la D.G. de l'ORSTOM, il s'est assuré que la réalisation de mon travail ne souffre d'aucun déficit logistique.

Je dois une reconnaissance toute particulière à Eric Roose qui a accepté de m'encadrer malgré un programme en coopération déjà chargé. Il m'a fait partager sa longue expérience dans la mise en place et la gestion des parcelles d'érosion. Il a multiplié les sources de motivation scientifique telle que mon introduction à l'Organisation Internationale pour la Conservation des Sols (ISCO) ; il a établi les contacts entre la FAO/UN et notre programme dans le cadre de l'étude de l'impact de l'érosion sur la productivité agricole. C'est aussi lui qui m'a introduit à l'Université de Dijon.

Je tiens d'abord à rendre un hommage aux professeurs Francis Andreux et François Lelong qui ont bien voulu m'ouvrir les portes de l'Université de Bourgogne. Grâce au professeur Lelong en particulier, j'ai pu mettre un peu plus d'ordre dans mes idées. Je le remercie plus spécialement aussi pour tout son encadrement humain et pour ses conseils, ses encouragements et les facilités de séjour à Dijon qu'il m'a assurées.

Ma reconnaissance particulière va aussi à Christian Floret, Directeur de recherches CNRS, en poste à l'ORSTOM Dakar et à Roger Pontanier, Directeur de recherches ORSTOM, en poste à Tunis, qui ont bien voulu accepter d'être les rapporteurs de cette thèse. Je suis tout aussi reconnaissant à Jean Claude Fresse, professeur à l'ENESAD, d'avoir accepté de juger ce travail.

Je ne saurais jamais assez remercier les différentes équipes dirigeantes du Projet Garoua qui, conscientes de l'importance du programme mené à Mbissiri, l'ont constamment soutenu.

J'ai une pensée particulière envers mon collègue et ami Seiny Boukar Lamine pour son soutien constant et son intérêt à tous les niveaux de l'exécution de cette étude : comme homme de terrain pour les levées topographiques, puis comme gestionnaire en tant que chef d'UR et ensuite comme Chef de Centre et chef de Projet Garoua.

Au CIRAD Montpellier, ma sincère reconnaissance va à Eric Gozé, biométricien qui m'a guidé dans l'analyse statistique, à Mr Oliver et à son équipe du laboratoire d'analyse des sols pour la diligence et la qualité des services rendus ainsi qu'à Michel Crétenet qui m'a offert un magnifique piochon de pédologue pour marquer mon retour dans les champs et les fosses.

Mes sincères remerciements vont également à Lucien Gaudard de la Sodécoton à Garoua, pour les prises de vue aérienne du dispositif expérimental, à Jean-Claude Patalé, chef de secteur à Sorombéo et à tous les responsables Sodécoton de Mayo Galké pour leur accueil et pour de nombreux services rendus.

Me retournant vers l'équipe qui a fait le travail de base de cette étude à Mbissiri, au prix de beaucoup de peine et de sacrifices, mais avec gaîté et espoir, ma première pensée va à Benjamin Bep a Ziem qu'une balle de fusil de la délinquance rurale a frappé à la jambe et maintenu à l'hôpital pendant un an. Je reste particulièrement reconnaissant à André Wahoung, chef d'antenne IRA Mbissiri, qui a su, avec Paul Domga et Djabbo Hamadjam, maîtriser le dispositif et vivre en bonne compréhension avec les populations locales. Je remercie également Alan Forbishi et Service Dansala pour l'appui qu'ils ont donné à l'équipe de Mbissiri. Puisse Denise Wahoung trouver ici ma sincère gratitude pour s'être toujours très bien occupée de nos soucis de cuisine ! J'ai aussi une pensée très particulière pour les chauffeurs Bouba Djamo et Adj Alhadji pour leur contribution efficace au bon fonctionnement de l'équipe.

J'exprime ma très sincère reconnaissance aux trois stagiaires étrangers pour leur remarquable participation au programme, en saluant d'abord la mémoire de Sanon Kalo (1992), puis en m'adressant à Florent Waechter (1993) et Pascal Zahonéro (1994 et 1995).

Ma profonde gratitude va à de nombreuses personnes des diverses structures de l'IRA qui nous ont assisté ou soutenu. A Maroua, Paul Donfack, éco-botaniste, nous a assisté dans le suivi des parcelles de savane ; à Garoua, le Dr Julius Tako, Maturin M'Biandoun, Innocent Zébazé, Gilbert Vallée ; à Yaoundé, Joseph Bindzi Tsalla, Directeur Adjoint de l'IRA pour son soutien constant, Kuoh Moukouri, René Kaiser, Michel Ndoumbe et Nestor Ngako ; à Foubot, Joseph Mouen, pour le remarquable soutien informatique qu'il m'a apporté ainsi qu'à Joseph Djokou, pour sa constante disponibilité. Cette gratitude

va aussi au personnel de la Coordination Scientifique du Projet Garoua et à celui de la représentation de l'ORSTOM à Yaoundé.

Au cours de mes trois séjours à Montpellier, je n'ai rencontré qu'estime et disponibilité auprès de l'équipe du LCSC. A toutes et à tous, j'adresse ma très sincère reconnaissance. Dans ce cadre, je voudrais plus spécialement rendre hommage aux responsables Christian Feller, Georges De Noni et Jean-François Vizier pour avoir à chaque fois trouvé une solution à mes problèmes. Cet hommage va aussi à mes deux principaux formateurs, Christine Larré Larrouy et Marc Pansu, puis à Evelyne Gavinelli qui a effectué toutes les déterminations du carbone des échantillons de suivi pédologique. Je remercie aussi Marc Viennot d'avoir spontanément offert de relire une partie de mon manuscrit. Je remercie tous mes collègues stagiaires pour leurs encouragements.

J'exprime ma gratitude à Shalini Roose qui a assuré la saisie informatique de mes tous premiers manuscrits ainsi qu'à Claire Mulanga qui a aimablement réalisé une partie des diapositives. A Suzanne Rigollet qui a fait tout le reste de la saisie jusqu'à la mise en page définitive, je ne trouverai jamais assez de mots pour lui exprimer ma sincère reconnaissance.

Au Cameroun comme en France, de nombreux amis m'ont témoigné leurs sentiments et leur solidarité en m'accueillant dans leur famille, en veillant auprès de la mienne quant j'étais absent ou en m'apportant toutes sortes de réconfort. Ma pensée va vers Aboubakar Yacoubou à Garoua, Joseph Ekorong à Maroua, Saturnin Nkoulou Ada à Yaoundé, Oscar Eyog Matig à Edéa, Bagoudou Hamadou à Bafoussam, Jacques Djoko Tamnou, pharmacien à Foumbot ; à Montpellier, les familles Deguine, Kegne et Roose, et à Arles la famille Seignobos. A tous je voudrais dire qu'il y a dans mon coeur, un hymne à l'amitié qui ne trouve pas de mots pour être écrit ou chanté. Mes sincères remerciements vont à Fotsing Jean-Marie pour tous les encouragements et les bons moments passés ensemble à Montpellier.

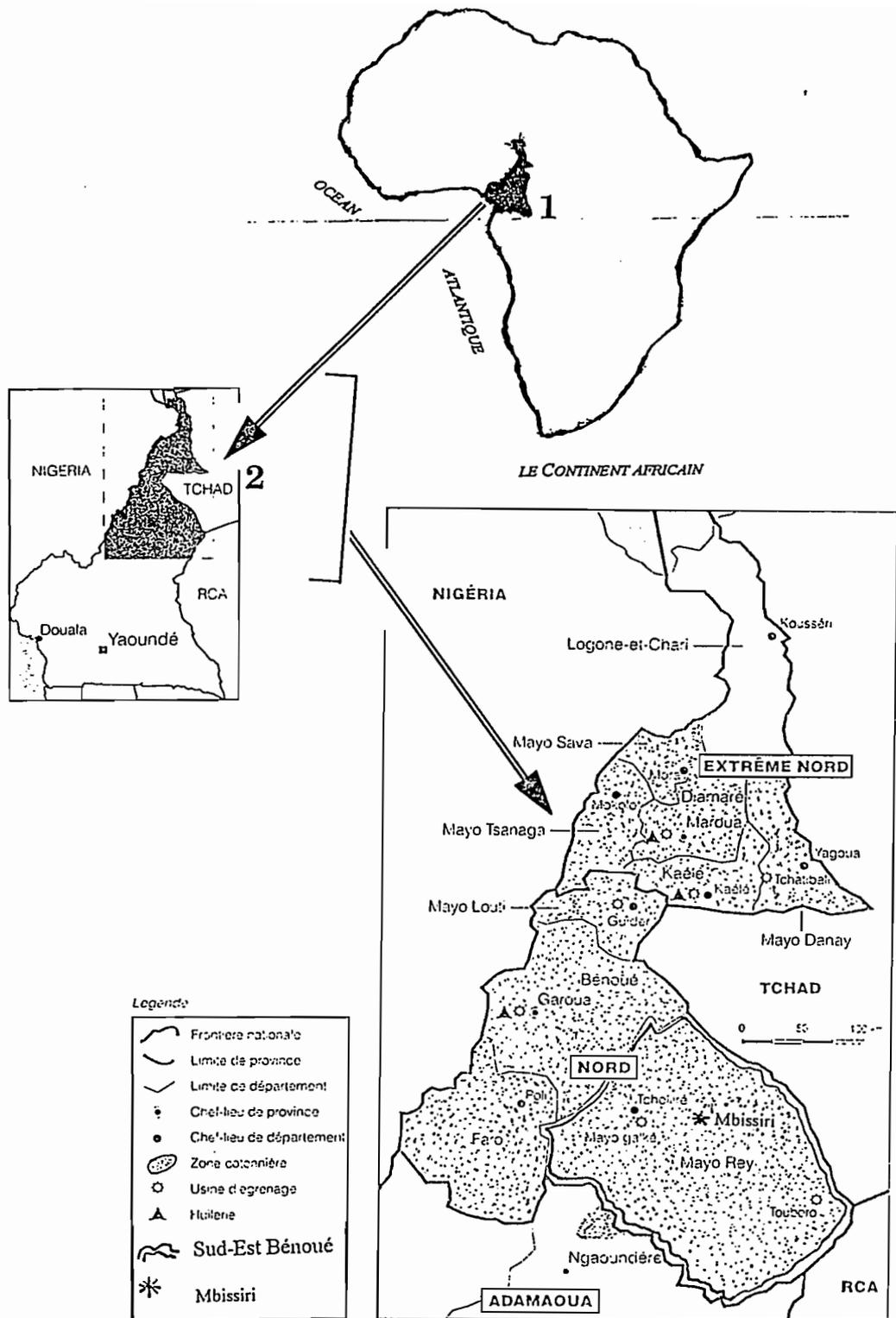
J'adresse mes chaleureux remerciements à la famille Tientcheu Charles pour tout l'encadrement qu'elle a assuré aux miens. A mes cousines Julienne Koumoli à Paris et Sophie Kouwé à Douala, j'adresse des pensées toutes particulières pour leur soutien moral et matériel.

Enfin and not the least, à ma tendre Cécile, à nos enfants Kévine (que je n'ai pas encore vue), Junior, Carine, Anne, Eric et Ruth, et à papa, je dis merci de trouver une raison pour comprendre et pardonner le mari, le père et le fils qui a sacrifié la responsabilité familiale à une formation doctorale au crépuscule de son existence. Disons humblement merci au Tout Puissant de nous avoir préservés de tout mal et de nous donner l'occasion de connaître des jours plus heureux.

*à mon grand-père, Boli Bakiti,  
à mes parents, Koumeb Anne et Baboulé Boli,  
à mon épouse, Boli Cécile, née Kéou,  
à l'amitié.*

## ACRONYMES

ARS (USDA).....	Agricultural Research Service
CFDT .....	Compagnie Française pour le Développement des fibres Textiles
CGOT .....	Compagnie Générale des Oléagineux Tropicaux
CIRAD .....	Centre International de Recherche Agricole pour le Développement
CTIC .....	Conservation Tillage Information Center
ECRAN .....	Famille de traitements avec couverture du sol immédiatement après le labour ..... par un paillage (mulch) ou une grille plastique (ombrière)
FAO .....	Food and Agricultural Organization/UN
GLASOD .....	Global Assessment of Soil Degradation
IBSRAM .....	International Board for Soil Research and Management
IFAD .....	International Foundation for Agricultural Development
IITA .....	International Institute for Tropical Agriculture
IRA .....	Institut de la Recherche Agronomique (Cameroun)
ISRIC .....	International Soil Reference and Information Center
KARAL .....	Désignation locale (fulfulde) du vertisol et de la culture ..... de sorgho de saison sèche qu'on y pratique
KRAM .....	Coefficient de ruissellement annuel moyen
KRMax .....	Coefficient de ruissellement maximum observé au cours d'un évènement
MAYO .....	Cours d'eau (rivière) en fulfulde
MES .....	Matières En Suspension
MINITIL .....	Travail à la dent sur la ligne de semis
MULCH .....	Labour + paillage
MUSKWARI .....	Appellation des sorghos de saison sèche
NEB .....	Nord-Est Bénoué (projet)
NPKSB .....	Engrais complexe contenant les cinq éléments indiqués
NUE .....	Parcelle de référence de Wischmeier
OPS .....	Organisations pelliculaires superficielles
ORSTOM .....	Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
RGPH .....	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SCS-USDA .....	Soil Conservation Service (USDA)
SD/SDC .....	Semis Direct SODECOTON : démarrage de la culture en ZT ..... puis buttage au moment de l'apport de l'urée (30-45 j. après semis)
SEB .....	Sud-Est Bénoué
SEMRY .....	Société d'Expansion et de Modernisation de la Riziculture à Yagoua
SODECOTON .....	Société de Développement de la culture Cotonnière
SWCS-USDA .....	Soil and Water Conservation Service
TRM .....	Témoin Régional Mécanisé vulgarisé (avec labour)
UN .....	Organisation des Nations Unies (ONU)
UNSO .....	United Nations Sahelian Office
USA .....	United States of America
USDA .....	United State Department of Agriculture
USLE .....	Universal Soil Loss Equation
YAERE .....	Plaine inondable pendant au moins six mois et destination de la grande transhumance
ZT .....	Zéro Tillage ou non-travail du sol
ZT Calo .....	Zérotillage + <i>Calopogonium m.</i>



**Figure 1.01 : Localisation du pays, de la région et du site d'étude**  
 (1) Le Cameroun dans l'Afrique  
 (2) La région des Savanes de basse altitude du Nord-Cameroun  
 (3) Le Sud-Est Benoué

# INTRODUCTION

Depuis que l'homme sait substituer à une végétation naturelle, une autre cultivée, dans le but de satisfaire ses besoins alimentaires, il est devenu, dans certaines conditions, la principale cause de la rupture de l'état d'équilibre entre le sol, la végétation et le climat. On sait maintenant que dans une telle situation, les effets de l'exposition directe du sol aux agressions climatiques et la non-compensation des exportations minérales par les récoltes entraînent une dégradation progressive de la qualité des terres cultivées (Harroy, 1944 ; Siband, 1974 ; Roose, 1981). Une telle situation finit par affecter les rendements des cultures. Ainsi s'est posé à l'homme, le problème de la baisse de productivité des terres. Que devrait-il faire dès lors ? La Sainte Bible nous en donne la réponse : la terre se reposera après des années de culture (Exode 23 : 10-11 ; Lévitique 25 : 2-4). Ce principe d'alternance des années de culture avec des années de repos de la terre fonda la pratique de la jachère de reconstitution du sol et, par conséquent, de la culture itinérante (Floret *et Serpenté*, 1993). Naturelle et économique, cette pratique reste la solution la plus sûre et la plus universelle au problème de la baisse de productivité des sols.

Mais l'augmentation de la population et la pression des autres activités humaines sur l'espace ne permettent pas de respecter la durée optimale de reconstitution naturelle de la fertilité du sol. Les alternatives sont alors recherchées. Lorsqu'à la suite de la révolution industrielle, Julius Hensel, 1890 (*in* CTA, 1995) montre que les plantes poussent mieux sur les sols bénéficiant d'un apport de minéraux, c'est la chimie agricole qui naît. On croit avoir trouvé la solution à la baisse de productivité des sols. Les expérimentations en vase de végétation se multiplient. Les bases scientifiques de la nutrition végétale et de la fertilisation minérale des plantes sont établies. Dans la suite de la même révolution, la mécanisation et la motorisation agricoles renforcent le sentiment d'une victoire contre la baisse de productivité des terres. Aussi, quand après la deuxième guerre mondiale, germe l'idée de moderniser l'agriculture des colonies tropicales, c'est en terme de transfert de technologie que le problème est perçu. L'ensemble technologique constitué de la charrue, du tracteur, des engrais, des pesticides et surtout du savoir-faire du travail du sol avec ces outils est considéré comme universel.

Aujourd'hui, plus d'un demi-siècle après l'introduction de cette technologie dans les régions intertropicales, la prospérité attendue d'elle pour améliorer durablement la production des vivres n'est toujours pas arrivée. Au contraire, les agricultures du Nord, qui paraissaient affranchies du problème de la baisse de productivité, aujourd'hui le semblent de moins en moins, malgré les affinements apportés dans la précision des machines, la connaissance de la solution du sol et de la physiologie des plantes (Bolline, 1982 ; De Ploey, 1990, Wichereck, 1994).

En Afrique, ce n'est pourtant ni la volonté, ni les moyens qui ont manqué pour moderniser à l'europpéenne l'agriculture des régions tropicales. De nombreux projets de modernisation de la culture des plantes annuelles y ont été initiés. Très peu ont résisté à l'épreuve du temps. L'exemple d'intensification culturale par la Société de Développement du coton (SODECOTON), au nord Cameroun, en est une illustration. L'introduction de la culture cotonnière au Cameroun remonte au 19<sup>e</sup> siècle à la suite des conquêtes des empires Bornu, Mandara et surtout de l'invasion Foulbé (Roupsard, 1987). Il s'agit surtout des cotonniers pérennes destinés à satisfaire le marché local. Après une phase de balbutiement de sa modernisation par les colonisations allemande (1912-1913) et française (1923-1940), c'est en 1951 que commence le véritable essor cotonnier du Cameroun. Il est marqué par l'implantation de la Compagnie Française pour le Développement des Fibres Textiles (CFDT) au nord Cameroun. Celle-ci organise les activités en intégrant l'ensemble des opérations de la filière, de l'encadrement agricole à l'exportation du produit. Les résultats sont très encourageants jusqu'à la campagne agricole 1969. De 1951 à 1969, les surfaces passent de 1.420 à 108.194 hectares, et les rendements, de 370 à 844 kg/ha de coton graine.

Mais en 1970, la sécheresse qui s'abat dans la zone soudano-sahélienne n'épargne pas le Cameroun. En 1973, les superficies cultivées et les rendements baissent (61.176 ha et 370 kg/ha). Les régions septentrionales de la zone cotonnière sont les plus frappées car la contrainte pluviométrique y est plus sévère, mais aussi les sols y sont plus dégradés. En effet, plus peuplées, elles présentent déjà une crise de l'espace. La descente des montagnards dans les plaines et la culture cotonnière ont entraîné la réduction de la durée de la jachère et l'utilisation des terres marginales.

Ce choc cotonnier entraîne la restructuration de la filière dans le sillage de laquelle l'Etat camerounais entend organiser le développement de cette partie du territoire. L'une des principales décisions de la restructuration est la création d'une société d'économie mixte dans laquelle l'Etat est majoritaire. La Société de Développement du Coton (SODECOTON) succède à la CFDT en 1974. Parmi ses premières mesures destinées à relancer la production, il y a la poussée de la culture dans le Sud-Est Bénoué (en zone de savane soudanienne humide) et l'intensification du système de culture. Le déplacement du centre de gravité de la zone cotonnière vers le Sud, dans le but de sécuriser la culture par rapport à l'aléa pluviométrique, est facilité par les opérations de transfert de populations des régions du Nord (65 hab/km<sup>2</sup>) vers les régions du Sud peu peuplées (5 hab/km<sup>2</sup>).

L'intensification du système de culture est basée sur une préparation mécanique du lit de semences (labour classique, propre), l'utilisation des engrais minéraux, l'emploi des variétés améliorées et une protection phytosanitaire adéquate. La liaison recherche-développement est très forte. Grâce à un encadrement dense du paysannat, la restructuration porte rapidement ses fruits. Le rendement croît de 621 kg/ha en 1974 à 1.262 kg/ha en 1978. En 1988, la superficie passe à 111.604 ha et le rendement moyen à

1.482 kg/ha (1.244 dans les régions Nord et 1.700 kg/ha dans les régions Sud). La SODECOTON détient alors le record de productivité en Afrique sub-saharienne.

Mais déjà, les responsables sont sérieusement préoccupés par la baisse de productivité observée dans certains blocs de culture intensive, malgré le renforcement de dose d'engrais minéraux de 50 à 100 %. La recherche est interpellée pour poser un diagnostic et proposer des solutions. Une enquête est conduite au cours des campagnes 1989 et 1990 dans la région cotonnière du Sud-Est Bénoué. Elle a pour but de préciser le diagnostic et d'avancer les hypothèses de recherche de solutions. De cette enquête, cinq principaux constats sont faits (Boli *et al.*, 1991) :

- 1) La dégradation et l'érosion des sols sont la principale cause de la baisse de productivité des sols dans le système intensif SODECOTON. A la contrainte érosion, s'ajoute le *Striga hermontica* pour la productivité des céréales.
- 2) L'érosion n'affecte de façon sensible la productivité qu'après un certain nombre d'années de culture continue.
- 3) Certaines pratiques culturales semblent favoriser l'érosion (labour ; orientation par rapport à la pente des opérations de labour, de semis et de buttage ; longueur de pente des parcelles cultivées et groupement des champs en blocs de culture).
- 4) L'érosion n'est pas seulement un problème de forte pente, mais aussi de situation des sols fragiles.
- 5) Le problème est très préoccupant pour la SODECOTON et pour les paysans.

La société a pris des mesures d'urgence : déclassement des blocs dégradés et désenclavement de nouveaux terrains pour l'ouverture de nouveaux blocs de culture (retour à la culture itinérante). Pour les paysans, l'éloignement des champs est une nouvelle contrainte. Dans la logique traditionnelle, on devrait maintenant rapprocher les habitations des nouveaux champs. Cette solution n'est plus applicable aujourd'hui car le village est fixé autour de certaines réalisations matérielles qui symbolisent le développement : route, forages d'eau, magasins d'intrants agricoles, bâtiments scolaires et habitations en matériaux définitifs.

Ces constats entraînent des interrogations : pourquoi les développeurs, vulgarisateurs et paysans tiennent-ils si peu compte de l'érosion alors que les effets sur les cultures sont visibles par tous ? Sous-estiment-ils l'impact à long terme de l'érosion pour ne pas tenir compte des expériences des autres, telles que l'échec de la CGOT au Sénégal (Charreau, 1968), ou des mises en garde sur le site même de Pontanier (1981) et de Brabant et Gavaud (1985) ou celle de Charrière (1984) contre la culture attelée au Tchad ? Ou bien ont-ils manqué tout simplement de solution technique adaptée, pouvant être intégrée dans leur bagage technologique d'intensification ? Auquel cas, il ne suffit pas

seulement de faire des constats et de donner des avertissements sur l'érosion ; il faut proposer des solutions techniques efficaces et adaptées à chaque situation agricole.

On voit devant quel dilemme est placé le paysan du Sud-Est Bénoué (SEB). Faut-il vivre dans les conditions précaires d'habitat et d'approvisionnement en eau, en étant toujours prêt à se rapprocher d'une parcelle de terrain dont on est sûr de la productivité ? Ou bien faut-il rester dans un cadre de vie fixe et en amélioration, quitte à dépenser beaucoup plus de temps et d'énergie pour aller jusqu'à la bonne parcelle de terrain ?

Ces constats nous révèlent le rôle que jouent les techniques de production dans la stabilité des familles et des villages. La technique de culture itinérante, grande consommatrice d'espace, pose une préoccupation plus profonde lorsqu'on sait que dans ces savanes de basse altitude du Nord-Cameroun, la pression sur la terre est chaque jour plus forte. Les perspectives d'emploi, en dehors de l'agriculture, sont très faibles. La population croît à un rythme de 3 % l'an en moyenne, indiquant qu'elle double tous les 24 ans. On sait aussi, en rapprochant les données de l'évaluation des terres arables (Brabant et Gavaud, 1985) à celles du recensement général de 1987 (Demo 87), que le rapport des terres arables à la population est de deux hectares par habitant (Boli, 1990). Enfin, les migrations des populations organisées, dirigées vers le Nord-Est Bénoué (NEB), étaient avant tout destinées à calmer la crise de l'espace dans la partie septentrionale de la zone cotonnière et des Monts Mandara. Nous sommes donc devant un problème de stabilité des sociétés rurales, si ce n'est de la société tout court. Cette stabilité apparaît liée à trois données fondamentales :

- l'espace,
- la population,
- la technique de production.

Celles-ci évoluent vers une limite de l'état d'équilibre. A cette limite, la société concernée a atteint les frontières de son espace. Les techniques culturales doivent alors permettre une production qui satisfait la demande alimentaire de sa population. Si elle ne la satisfait pas, la société entre en crise. Elle dispose de trois possibilités pour retrouver un nouvel équilibre :

1. agrandir son espace (migration vers un espace libre ou conquêtes d'autres territoires) ;
2. réduire sa population (migrations externes, contrôle des naissances, guerres...) ;
3. changer les techniques de production (innovations techniques).

Les migrations ne sont une solution durable ni pour l'espace de départ, ni pour l'espace d'arrivée des émigrants ; les guerres civiles ou de conquêtes territoriales entre

nations ne sont plus tolérées par la communauté internationale, la paix étant un objectif qu'elle cherche à imposer partout. Deux voies restent ouvertes au développement paisible et durable de la stabilité des sociétés rurales : le contrôle des naissances et l'innovation technologique. Bien plus délicat, le contrôle des naissances est une solution à long terme. Il devrait être accompagné par la recherche technologique.

La recherche sur des techniques de production agricole plus performantes et durables n'a pas seulement une portée alimentaire ; elle a aussi une dimension sociale et humanitaire. Elle n'est pas seulement importante et prioritaire, elle est urgente.

Telle est la problématique de cette étude. Il s'agit d'évaluer, vis-à-vis de la dégradation des terres, particulièrement par l'érosion en nappe et en rigoles, les techniques culturales disponibles afin d'en dégager des systèmes de cultures plus durables. Fixer les normes d'une agriculture intensive et durable est l'objectif final de cette étude.

En effet, des controverses existent entre les spécialistes de l'érosion et de la conservation des terres (El Swaïfy *et al.*, 1982) sur la validité des techniques culturales tel que le labour classique, préconisé par le CIRAD en Afrique de l'Ouest (Nicou, Charreau, Piéri) ou le travail du sol réduit sous litière, préconisé par Lal (1977) à l'ITTA. Au Zimbabwe, Hudson (1960, 1973) a préconisé l'intensification par de fortes densités de semis associées à de fortes doses de fertilisants. En Afrique de l'Ouest, Roose (1977) a proposé des semis précoces et des bandes d'arrêt végétales. Certaines techniques traditionnelles, tels les billons cloisonnés, sont revalorisées. Plus largement adoptées, les techniques de labour et d'intensification n'ont pas, dans beaucoup de cas, arrêté la dégradation et l'érosion des terres. Roose (1981) constate qu'un effort particulier est à faire pour l'adaptation des techniques culturales orientée vers les modèles naturels que représentent la forêt et la savane. Ces techniques ne sont pas généralisables à toutes les situations agricoles de la zone intertropicale où le climat et les sols, en particulier, varient beaucoup. En plus, elles ne sont pas souvent évaluées sur le long terme, tel que nous le montre l'exemple de la SODECOTON. Dans le meilleur des cas, la technique nécessitera toujours une adaptation aux conditions pédo-climatiques du milieu et à la capacité d'équipement du paysan.

Pour l'approche méthodologique de notre objectif ci-dessus indiqué, nous partons d'une enquête montrant que la terre perd progressivement ses qualités. Il s'agit donc d'un cas de **dysfonctionnement** du système qui passe d'un état de productivité satisfaisante à un état peu, puis non suffisant. Nous pouvons nous poser un certain nombre de questions : comment s'opère ce passage ? Quelles sont les causes profondes de ce dysfonctionnement et le rôle de l'érosion en nappe et en rigoles ? Peut-on éviter ce dysfonctionnement ? Comment redonner au sol dégradé sa capacité de production initiale et éventuellement l'améliorer ? Pour répondre à ces questions, nous allons examiner le système « sol » en

nous référant à la théorie générale des systèmes de Bertalanfy (1968). Selon celle-ci, un système se caractérise par sa composition, son organisation et son fonctionnement. A partir de cette définition, nous pouvons poser une question plus précise : le système initial (sol) est-il devenu dysfonctionnel par altération de sa composition, ou de son organisation, ou des deux à la fois et surtout quelles relations avec les systèmes qui sont à l'interface ?

Le sol est un système très complexe dans sa composition, son organisation et son fonctionnement. Sa composition intègre les trois états de la matière (solide, liquide, gazeux). La phase solide comprend des éléments des règnes minéral, animal et végétal (vivants ou décomposés). Son organisation en assemblages de particules élémentaires et complexes de différentes tailles met en place des pleins et des vides, ce qui permet à la fois une coexistence et une continuité des phases. Cette composition et cette organisation en font un milieu unique qui est le véritable berceau de la vie. Il est le siège d'intenses activités physiques, chimiques et biologiques caractéristiques et il en résulte des fonctions de répartition, d'échange, de production, de régulation, etc... Un milieu aussi complexe ne saurait être valablement appréhendé que si plusieurs indicateurs et révélateurs pertinents d'état et de fonctionnement sont suivis dans l'espace et dans le temps. Ainsi avons-nous opté pour un **suiti spatio-temporel** de la **composition**, de l'**organisation** et du **fonctionnement** du sol. Certes c'est une démarche lourde et coûteuse, mais elle a l'avantage d'être bien plus explicative que les essais monofactoriels classiques d'agronomie. A-t-on par exemple le droit d'interpréter un essai courbe de réponse à des doses croissantes d'un engrais dans une situation érosive, si on n'établit pas au préalable que les pertes d'engrais par l'érosion sont proportionnelles aux doses appliquées ? Devrait-on conclure, dans une telle situation, que les différences de réponse observées étant non significatives, le sol concerné ne répond pas à l'engrais ?

Il nous semble que ce n'est point la relation sol-végétation-climat, objet privilégié de nos sciences agronomiques, pédologiques, écologiques, hydrologiques, etc. qui change tant ; c'est beaucoup plus notre perception et notre interprétation de cette réalité qui doivent évoluer parmi les maillons de vérité que nous détenons à côté d'idées reçues et de préjugés.

Dans cette étude, nous privilégierons les aspects physiques et biologiques par rapport aux chimiques, laissant à d'autres, l'étude du bilan chimique.

Le cadre méthodologique principal de cette approche est celui de la parcelle d'érosion à laquelle nous appliquons le modèle USLE (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier et Smith, 1960, 1978). Secondairement, nous avons utilisé les dispositifs expérimentaux agronomiques classiques en blocs de répétitions pour simuler l'érosion par la méthode de décapage radical du sol ou pour tester les hypothèses sur des problèmes d'agronomie (disponibilité en résidus de culture, apport de l'azote sous paillis) observés sur les parcelles d'érosion.

Le domaine d'application de l'étude est défini ainsi qu'il suit :

- climat soudanien à nuance humide : pluies 1.000 à 1.500 mm en sept mois pluvieux (Suchel, 1988) ;
- sols sableux (ferrugineux tropicaux) : moins de 10 % d'argile, faiblement acide, d'épaisseur supérieure ou égale à 50 cm, cuirasse à profondeur variable ;
- peu de matières organiques, faible CEC et de stockage d'eau ;
- pente faible : moins de 3 % ;
- mode d'utilisation : rotation intensive de cultures annuelles (cotonnier-céréales, arachides), semi-manuelle où seule la préparation du sol est mécanisée (labour à la charrue à soc attelée ou tractée), herbicides, engrais minéraux et semences sélectionnées.

L'étude comprend cinq chapitres. Le premier présente le milieu physique et humain. Celui-ci déborde le cadre climatique de l'étude (zone soudanienne humide) pour englober la zone soudano-sahélienne dans le grand ensemble des "savanes de basse altitude du nord-Cameroun". Cette extension s'impose d'une part, par l'unicité de l'organisation de l'exploitation des ressources et du développement rural (SODECOTON) et, d'autre part, par la dynamique interne des populations au sein de cet ensemble dont les effets s'expriment au-delà des limites climatiques et administratives, non seulement en termes de complémentarités ou de conflits socio-économiques, mais aussi et surtout par l'accélération de la dégradation des ressources. Le deuxième chapitre fait le bilan des connaissances disponibles sur les thèmes se rapportant à cette problématique. Le troisième présente les méthodes et les dispositifs expérimentaux que nous avons utilisés. Le quatrième expose les résultats de mesures et observations visuelles sous les aspects : dynamique actuelle du milieu physique et potentialités agricoles et productivité des différentes pratiques culturales. Dans le cinquième chapitre, les résultats sont interprétés et discutés en rapport avec ce qui est connu, ce qui apparaît comme nouveau et les points qui prêtent à confusion ou qui mériteraient d'être détaillés ultérieurement.

Pour terminer, une conclusion résume les enchainements cohérents de techniques culturales qui devraient constituer des systèmes de culture plus durables dans les conditions déterminées et en réponse à l'objectif fixé plus haut.

Cette étude a déjà donné matière à des publications scientifiques ; celles-ci seront reprises dans le texte.

# CHAPITRE 1 : LE MILIEU

## 1.1. GENERALITES

Situé aux confins du Golfe de Guinée, le Cameroun a une superficie de 475 000 km<sup>2</sup> environ et s'étend entre les latitudes 1°40' N et 13°05 N et les longitudes 8°30'E et 16°10'E. Il s'ouvre sur près de 400 km de côtes sur l'océan Atlantique et partage 4700 km de frontières terrestres avec le Nigéria à l'Ouest, le Tchad et la Centrafrique à l'Est, le Congo, le Gabon et la Guinée Equatoriale au Sud.

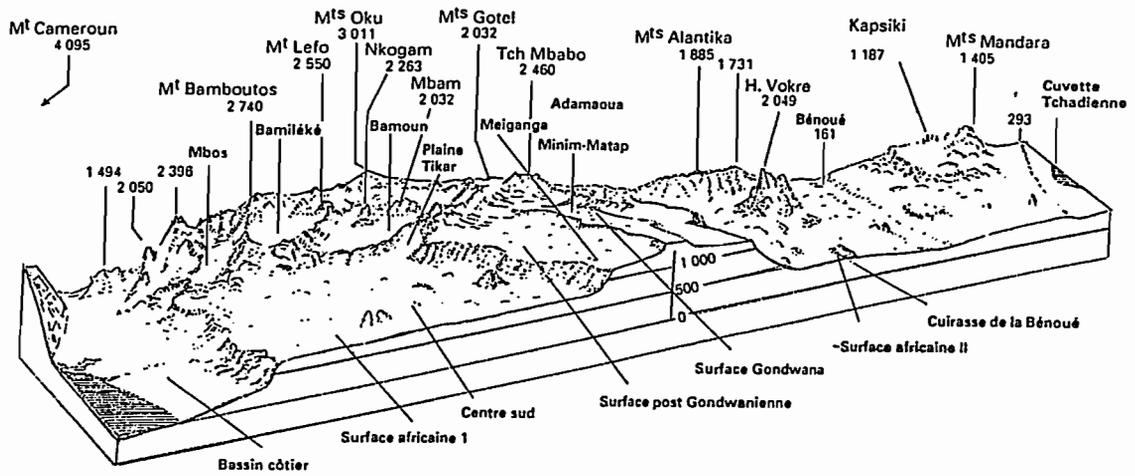
Le pays, bien connu pour la grande diversité de ses paysages, se présente sous cinq grandes régions écologiques :

- les savanes de basse altitude du nord Cameroun ;
- les savanes soudano-guinéennes d'altitude correspondant au plateau de l'Adamaoua ;
- les Hauts Plateaux de l'Ouest ;
- la forêt côtière très humide à une longue saison des pluies ;
- la forêt continentale à deux saisons des pluies.

Cette diversité est la conséquence de trois caractéristiques majeures (Olivry, 1986 ; Suchel, 1988) : l'allongement en latitude, un relief puissant et varié et l'ouverture à l'océan par là où les courants marins sont les plus puissants.

Celle-ci n'est pas seulement perceptible à l'échelle nationale. Elle se confirme à l'échelle régionale grâce soit à l'omniprésence de ces facteurs majeurs tel que le relief (la Dorsale camerounaise va de l'Océan Atlantique avec le Mont Cameroun, jusqu'à la Plaine du Lac Tchad à Mora, avec les Monts Mandara), soit à des variations sur de courtes distances de facteurs secondaires dits régionaux (Fig. 1.02).

La région du Nord Cameroun qui nous intéresse dans cette étude n'échappe donc pas à cette grande diversité de paysages.



**Figure 1.02 :** Coupe géomorphologique schématique du Cameroun suivant un axe SSW-NNE (in Olivry, 1986)

La délimitation de cette région varie selon qu'on privilégie les aspects physiques, socio- culturels, politiques ou historiques ; le problème étant le positionnement de sa limite Sud. Ici nous mettrons la limite au pied de la falaise septentrionale de l'Adamaoua comme Olivry (1986) et Suchel (1972, 1988), aux environs des cotes 600-700 m d'altitude. C'est en pratique jusqu'à cette cote que la culture cotonnière remonte le versant nord du plateau sans adaptation particulière de ses pratiques culturelles. Cette limite ne suit pas la parallèle géographique. Elle s'enfoncé plus bas à l'Est vers la latitude 7°30'N dans le bassin versant de la Vina du Nord. Comme au niveau de l'échelle nationale, la région du nord Cameroun doit d'abord sa diversité à son extension latitudinale sur plus de 5 degrés de latitude entre sa limite sud et la frontière au niveau de Lac Tchad, soit près de 600 km. Le relief n'est pas de reste, puisque la Dorsale camerounnaise se poursuit à l'ouest jusqu'au delà de 11°N de latitude, malgré l'entaille de la Bénéoué. A l'Ouest de celle-ci, un champ de formations résiduelles rompt la monotonie de la plaine du pied de l'Adamaoua jusqu'au Lac Tchad.

Le deuxième niveau de variation est induit par le climat, la géologie, la couverture pédologique, la végétation, et l'homme dans toute sa dimension dynamique. Nous présentons ci- dessous les principaux traits physiques et humains de cette région.

## 1.2. LE CLIMAT DU NORD CAMEROUN

### 1.2.1. GENERALITES

Les principales caractéristiques climatiques de ce milieu sont présentées en nous appuyant essentiellement sur les travaux de Genieux (1988) et de Suchel (1972, 1988).

D'après Genieux (1958), le climat du Cameroun est sous la dépendance étroite de deux centres d'actions :

- au sud, l'anticyclone de Sainte- Hélène débordant largement au nord de l'Equateur pendant l'été boréal, génère des alizés du S.E détournés en flux de mousson du S.W dans l'hémisphère Nord ;
- au nord, couvrant le Sahara et faisant suite à l'anticyclone des Açores, une cellule anticyclonique pendant l'hiver boréal génère les alizés du N-E constituant l'Harmattan. Elle devient zone de basses pressions en été ( dépression thermique saharienne).

Ces deux centres d'actions aboutissent à la convergence de deux masses d'air complètement différentes : l'air continental stable et très sec, au nord et l'air maritime instable et humide, au sud.

Le plan de contact de ces deux masses d'air, appelé Front intertropical (FIT), est très incliné vers le Sud, de sorte que la mousson qui est moins épaisse (3000 m), s'avance en coin sous l'harmattan. Aux niveaux supérieurs, un courant d'Est surmonte mousson et harmattan. Le FIT se déplace au cours de l'année, restant sensiblement dirigé le long des parallèles (d'où son appellation d'équateur météorologique). Il se stabilise sensiblement au 16°N mais pouvant aller jusqu'au Hoggar ; sa zone de stabilisation sud est située au sud de l'Adamaoua, elle ne va pas au dessous de 5°30 N. Dans son oscillation saisonnière, le FIT entraîne quatre zones de temps. Ce sont du nord au sud :

- la zone A : immédiatement au nord du FIT: zone de l'harmattan. Le ciel est clair, ou peu nuageux par rares cirrus aux niveaux supérieurs ;
- la zone B : immédiatement au sud du FIT (400 km de largeur environ), ciel peu nuageux, cumulus peu développés en général ;
- la zone C : plus au sud (1200 km de largeur), ciel couvert ou très nuageux par gros cumulus ou cumulo- nimbus, orages, grains, lignes de grains ;
- zone D : encore plus au sud. Nuages stratiformes. Pas ou très peu de précipitations.

Au nord de la position septentrionale extrême atteinte par la limite sud de la zone C (5°30'N) l'année comprend une saison sèche et une saison des pluies (climat tropical).

Le Nord-Cameroun entre dans cette zone où la répartition des climats par grandes zones de latitude est caractéristique de l'Afrique sub-saharienne. Cette répartition zonale y subit cependant des altérations sensibles sous l'effet des inégalités du relief. Ici la rigueur de la saison sèche accentue l'évapotranspiration potentielle et les amplitudes thermiques, augmente la durée de l'insolation et renverse radicalement le régime des vents au profit de l'Harmattan.

Le couvert végétal se déshydrate, les cours d'eau (mayos) tarissent et se réduisent à des inferoflux enfois dans leurs alluvions sableuses. L'invasion de la brume sèche et l'infiltration d'air froid provoquant une baisse de température marquée, témoignent de la forte dépendance, en cette période, à l'égard des processus dynamiques boréaux. D'une façon générale, cette région se caractérise par une ambiance chaude et sèche, une saison sèche très contrastée avec des températures élevées, dépassant 35° pendant deux mois de l'année, une saison des pluies irrégulière ( Suchel, 1988).

## **1.2.2. ZONES CLIMATIQUES DU NORD-CAMEROUN**

Dans cette région, Suchel (1988) distingue cinq types climatiques dont quatre zonaux et un montagnard. Ce sont du Nord vers le Sud :

### ***1.2.1.1. La zone à climat typiquement sahélien***

Elle est constituée de l'extrémité nord du pays autour du lac Tchad. C'est la partie la plus déprimée de la Plaine tchadienne du territoire camerounais, entre 360 m d'altitude tout au S.W. et 282 m en bordure du lac Tchad. Les caractéristiques climatiques de la zone, référées à celles de la capitale du Tchad (N'Djamena) située en latitude méridionale de la zone, sont récapitulées dans le tableau 1.01. C'est la seule zone qui soit sous l'emprise des vents de sable.

### ***1.2.1.2. La zone de climat soudanien de nuance sèche***

Elle est constituée de la Plaine de Diamaré et de ses bordures. C'est l'aire des piémonts et plaines qui s'étendent pour l'essentiel entre le 10<sup>e</sup> et le 11<sup>e</sup> parallèles Nord, à l'Est du massif des Monts Mandara. Centrée autour de la Plaine du Diamaré (Maroua, Bogo, Mindif, Sud Mora, Gazawa) elle se prolonge à Kalfou et au bec de canard dans le Mayo Danaï et enfin dans la Plaine de Kaélé au Sud.

Ses terres sont comprises entre 450 et 600 m d'altitude. Par rapport à la zone sahélienne, cette zone présente une nette atténuation de la variabilité interannuelle (tabl.1.01).

### ***1.2.1.3. Zone de climat soudanien modifié par l'altitude***

Elle correspond à la partie camerounaise du massif des Monts Mandara, sur une largeur de 50 à 60 km et une longueur d'environ 150 km (latitudes 11°05'N et 9°47'N). Les hautes terres s'étagent entre 750 et 1000 m. La pluviosité y est plus importante et plus régulière que dans la plaine qu'elle domine. Peu d'informations météorologiques sont disponibles sur cette zone qui ne manque pas d'intérêt et donc la variabilité interne n'est pas négligeable.

#### ***1.2.1.4. Zone à climat soudanien franc***

Elle correspond à la cuvette de la Bénoué. Il s'agit du bassin moyen de la Benoué dont la grande partie est à moins de 300 m d'altitude. Sa limite méridionale se situe sensiblement à la latitude de 8°30'N. Sa topographie en creux entraîne de nombreuses formes de péjoration climatique par rapport non seulement aux Monts Mandara, mais même aux plaines septentrionales. Elle détient ainsi le record de température absolu national 44°. Malgré l'équilibre entre les mois pluvieux et les mois secs, la tendance à l'aridité reste marquée.

#### ***1.2.1.5. Zone à climat soudanien de nuance humide***

Elle correspond à la partie de la région en contact avec le Plateau de l'Adamaoua. C'est un espace très hétérogène où alternent les bassins supérieurs d'une série de grands cours d'eau, à topographie calme, et de nombreux reliefs saillants, de taille et d'altitude très diverses. Seule la frange méridionale de la région se raccorde génétiquement par de longs glacis à pente douce à l'Adamaoua. Les deux milieux les plus représentatifs dans cette bordure méridionale sont les bassins plus ou moins enclavés et les massifs montagneux. Ils offrent des caractères climatiques bien tranchés. Malheureusement l'insuffisance des informations météorologiques ne permet pas de caractériser toute cette diversité de façon plus objective (tabl. 1.01). C'est dans cette zone que se situe notre étude.

En résumé, le climat du Nord-Cameroun est sous la dépendance de l'oscillation du FIT. Cet Equateur météorologique y détermine des zones climatiques sensiblement parallèles aux latitudes. Cependant, les contrastes accentués du relief induisent des perturbations dans cette zonalité. En définitive, cinq zones climatiques se partagent ce domaine sous l'emprise prépondérante de l'Harmattan.

Ambiance très chaude et sèche, irrégularité des pluies, injection d'air froid pendant l'hiver boréal, vent de poussière, puissant pouvoir dessèchant de l'atmosphère, en tout, forte variabilité du climat avec une péjoration des amplitudes de ses paramètres au fur et à mesure qu'on progresse vers le nord du domaine, telle est l'identité que le climat imprime à ce milieu et dont les paysages végétaux en particulier portent une marque indélébile.

**Tableau 1.01 : Synthèse climatique du Nord-Cameroun à partir des données de Suchel (1988) et Olivry (1986)**

Zone climatique	Paysage dominant	Précip. moy. (mm)	Nbre jours	Nbre mois	HR (%)	T° (°C)	Piche (mm)	Insol. (h)	Vent dominant (%)	Autres
Climat sahélien (282-360 m alt.)	Partie déprimée de la plaine du Lac Tchad entre 360 et 282 m. Steppe à épineux (NDjamena)	350-700	59	4	<50	28,1	3608,8	3183,7	N : 19 W : 16,7	noyée d'août à déc. tempêtes de sable
Climat soudanien sec (450-600 m alt.)	Plaine Dianaré et ses bordures : Bogo Mindif, Bec Canard, Plaine Kaélé, Piémonts, Est des Mts Mandara, Savane boisée et prairie (Maroua)	700-900	76,3	5	<50	27,7	3950,9	2942,6	N : 22,4 NE : 20,6	brume sèche
Climat soudanien modifié par altitude (750-1000m alt)	Massifs des Monts Mandara Savane soudanienne d'altitude (Mokolo)	≤ 1000	72,7	6	?	26,1	?	?	?	brume sèche
Climat soudanien franc (300 m alt.)	Bassin encaissé (cuvette) de la Benoué (Garoua)	> 1000	82,8	6	55,7	28,1	2743,2	2954,7	NW : 31,4 W : 30,4	brume sèche, très chaud, record T° 44° (péjoratif)
Climat soudanien humide (300-2000 m alt.)	Bassins ± enclavés du Mayo Rey supérieur et de la Vina Nord, par reliefs résiduels de faible étendue (300-600 m) (Tcholliré et Mbissiri)	1000-1500	107,4	7	64,8	25,8	1773,0	?	NE : 36,3 NW : 24,1	brume sèche
	Massifs montagneux de la Dorsale camerounaise et des massifs isolés (700-2000 m) (Poli)	1448		7	59,5	25,8	?	?	?	

? = non disponible

### 1.3. LA VEGETATION NATURELLE

A la création du verger de Kismatari, en 1985, on pouvait voir sur la rive droite de la Bénoué, en face de la ville de Garoua quelques spécimens de palmiers à l'huile (*Elaeis Guinensis*). Cette espèce poussant spontanément en milieu équatorial, témoignait du climat passé. Aujourd'hui, elle a disparu du lieu, la plaine ayant été proprement nettoyée pour la culture du Muskwari. Au Nord-Cameroun, outre le climat, le relief et l'homme modifient les paysages végétaux à l'échelle de la saison. Dans les basses plaines à inondation prolongée, la végétation n'est pas la même que celle de la butte exondée voisine. Les pratiques agricoles et pastorales, la valorisation des ressources en eau par des barrages de retenues, les feux de brousse et l'exploitation des ressources ligneuses elle-même affectent impitoyablement la végétation naturelle là où il n'y a pas une conscience et une volonté de conservation, de renouvellement ou de gestion conservatoire des ressources végétales.

Letouzey (1985) distingue dans cette vaste étendue latitudinale du Nord Cameroun, deux domaines de végétation : le domaine sahélien et le domaine soudanien.

#### 1.3.1. LE DOMAINE SAHELIEEN

Ce domaine comprend trois unités de paysage correspondant à deux secteurs de végétation.

##### 1.3.1.1. *Le secteur sahélo-saharien*

Il correspond à la dépression de la bordure du lac Tchad, à limite mal définie à cause de la variation du niveau du lac. Le trait caractéristique de ce secteur est la présence d'*Acacia senegal* (gommier) sur les rives du lac. Ses sols alluviaux sont cultivés en mil, sorgho et niébé au fur et à mesure que le lac se retire. Les zones de hardés sont pâturées.

##### 1.3.1.2. *Le secteur sahélo-soudanien*

Il présente deux aspects :

- a) Des steppes à épineux, occupent la plaine Maroua- Mora. L'extension récente de sa limite au sud de Maroua s'explique par une pression croissante des populations sur les vertisols et les sols alluviaux de cette partie de la plaine. Les épineux sahéliens apparaissent déjà et colonisent les sols hardés. La végétation caractéristique comprend : *Acacia seyal*, *Balanites*, *Capparis spp.*, *Combretum aculeatum*, *Ziziphus abissinica* ; le tapis graminéen dispersé est constitué essentiellement de *Loudetia togoensis*, *Schizachyrium exile*, *Schoenefeldia* à longues inflorescences tressées ; *Aristida spp* apparait. Sur les sols purement sablonneux se rencontrent le palmier fourchu *Hyphaene* et des jachères à *Guiera gelloki* avec *Calotropis*.

b) Des prairies périodiquement inondées présentent toujours une phase de destruction apparente de la végétation par pâturage, feu ou sécheresse annuelle, ou une destruction totale pour la riziculture industrielle (Yagoua, Maga). Là où l'inondation n'est que superficielle, domine le paysage boisé établi sur vertisols et formé essentiellement d'*Acacia seyal*, parfois avec *Acacia nilotica var. adansonii*. Le tapis herbacé est très développé en hauteur en saison des pluies avec en abondance : *Hygrophila auriculata*, *Sorghum arundinaceum*, *Thalia* aux larges feuilles. Ces boisements sont menacés par la culture de sorgho de saison sèche. Dans les prairies où l'inondation est importante (yaérés) *Echinochloa* vient en premier lieu, ainsi que *Hyparrhenia rufa*, *Oryza longestaminata* et *Vetiveria nigritama*. Ce sont les lieux de grande transhumance de saison sèche.

### 1.3.2. DOMAINE SOUDANIEN

Ce domaine comporte cinq unités de paysages regroupées en trois secteurs de végétation qui sont : le secteur soudanien d'altitude, le secteur soudano-sahélien et le secteur médio-soudanien.

#### 1.3.2.1. Le secteur soudanien d'altitude

Il concerne les Monts Atlantika (1885 m) et surtout les Monts Mandara (1442 m). Accidentés, rocheux et chaotiques, les Monts Mandara sont densément peuplés et cultivés. Les arbres y sont domestiqués pour la construction, l'énergie, la pharmacopée, l'entretien de la fertilité des sols, l'alimentation, etc. C'est le cas de *Acacia albida*, *Celtis integrifolia*, *Ficus spp*, *Khaya senegalensis*, *Parkia biglobosa*, *Tamarindus* etc. Sur les plateaux pénéplains déserts ou pâturés, se rencontre *Isoberlinia doka* nain, typique de la flore médio-soudanienne.

#### 1.3.2.2. Le secteur soudano-sahélien

Il s'étend du 10° au 8°30'N de latitude et englobe deux types de milieux, la savane boisée et la prairie inondable :

- a) Les savanes boisées soudano-sahélienne, voire les forêts claires sèches, sont dominées par l'extension des *Combretum* et des *Terminalia* sous les pressions agricole, pastorale et énergétique (coupe de bois de feu le long des axes routiers) qui les transforment souvent en savanes plus ou moins arbustives. Leurs principaux constituants sont : *Boswellia dalzielii*, *Commiphora africana* et *Commiphora pedunculata*, *Dalbergia melanoxylon*, *Diospeyros mespiliformis*, *Lannea fruticosa* et *Lannea microcarpa*. Le tapis herbacé de la région de Garoua comprend : *Andropogon gayanus*, *Cymbopogon giganteus*, *Hyparrhenia rufa*, *loudetia spp*.

- b) Les vallées de la Bénoué longuement inondées avec lacs permanents ou zones marécageuses possèdent une flore particulière. Le rônier (*Borassus aethiopum*) existe partout ; comme espèce arborée il y a *Myragina inermis*. La flore herbacée comporte surtout des Cypéracées.

### **1.3.2.3. Le secteur médio-soudanien**

Ce secteur correspond aux hauts bassins du Faro, de la Bénoué, du Mayo Rey, de la Vina du nord et de la Mbéré. Il est constitué de savanes boisées et de forêts claires sèches.

L'unité végétale de base de ce secteur comprend *Isoberlinia doka*, *Monotes kerstingii* et *Uapaca togoensis*. Il s'y ajoutent des espèces sporadiques telles : *Bombax costatum*, *Acacia sieberana*, *Cassia sieberana*, *Plenocarpus erineaceus*, *Sterculia setigera*, *Detarum microcarpum*, *Anageissus leiocarpus*, *Lophira lanceolata*, *Terminalia macroptera* etc.

Dans les zones de dégradation telle que la Plaine de Koum ou de Rey Bouba, *Daniella olivieri* est protégé par endroit; les combretacées deviennent de plus en plus dominants pendant que *Isoberlinia d.* et *Monotes K. disparaissent*. A côté du *Combretum* sp., on note *Poupartia birrea*, *Annona senegalensis*, *Piliostigma thonningii*, *Terminalia avicenniodes*, *Lannea velutina*, *Hymenocardia acida*, *Sterospermum kunthianum*, *Grewia* sp., *Strychnos spinosa*... Le tapis herbacé est composé surtout d'Andropogonacées.

En résumé, la descente de la steppe à épineux au sud de Maroua et la disparition des espèces climaciques de leur aire d'équilibre telles que *Isoberlinia doka* et *Monotes kerstingii* illustrent le sens de l'évolution actuelle du couvert végétal du Nord-Cameroun. Il s'appauvrit rapidement et l'homme en est le principal responsable. Certainement qu'avec le temps s'il n'en prend conscience pour changer ses techniques d'exploitation, il donnera raison au poète qui disait "la forêt précède les hommes, les déserts les succèdent." Une telle évolution du couvert végétal mettra à nu les formes de terrains déjà à peine voilées pendant la longue saison sèche.

## **1.4. PAYSAGES GEOLOGIQUES ET GEOMORPHOLOGIQUES**

### **1.4.1. PRINCIPALES FORMATIONS GEOLOGIQUES (D'APRES LA CARTE DE LASSERRE, 1958)**

Le Nord-Cameroun recouvre pratiquement toute la diversité géologique du pays au point de détenir l'exclusivité de certaines formations (marbres de Bidzar).

#### **1.4.1.1. Les formations sédimentaires**

Elles sont représentées par :

- le post-Crétacé et les alluvions récentes dans la cuvette tchadienne, la vallée inférieure de la Bénoué à partir des embouchures du Mayo Rey et du Mayo Godi ;

- le Crétacé (grès, marnes, arkoses et calcaires) du bassin de la Bénoué ;
- les conglomérats, grès et laves de la série de Mangbéi (Poli).

#### ***1.4.1.2. Les formations plutoniques***

Elles sont représentées par :

- les socles granitiques et syénitiques syntectoniques et discordants de Guider, de l'ouest Bénoué, des hauteurs du Mayo Rey et de la Vina du Nord et de la bordure de la plaine de Kaélé (LAM) ;
- les granites, syénites, diorites, gabbros syntectoniques anciens, subcordants, au NE du massif des Monts Mandara, au NE- SE entre le Mayo Kebi et la Vina.

#### ***1.4.1.3. Les formations effusives***

Elles sont représentées par les basaltes et les trachytes des Monts Mandara (Kapsiki), les roches vertes de Maroua et les formations volcaniques du bassin de la Bénoué (NE, NW et SW de Garoua).

#### ***1.4.1.4. Les formations métamorphiques***

Elles sont représentées par :

- les schistes, micaschistes et gabbro associés de la série de Poli, et à Tcholliré ;
- les micaschistes, gneiss, migmatites et granites d'anatexie du S.W., du centre et de l'ouest.

### **1.4.2. PAYSAGES GEOMORPHOLOGIQUES**

Le modelé du Nord-Cameroun reste très varié malgré la prépondérance de la Plaine (Olivry, 1986). Du sud au nord, les Monts Alantika et les Monts Mandara sont à cheval entre le Cameroun et le Nigéria. Les Monts Alantika culminent à 1885 m. Dans les Monts Mandara les pittoresques aiguilles trachytiques des Kapsiki à Rumsiki sont à 1224 m, tandis que plus au nord, le Mont Oupay culmine à 1442 m dans le massif granitique de Tourou (Mokolo). A l'est de cet alignement, de nombreux reliefs détachés ou résiduels et des inselbergs essaient la vaste plaine. C'est le cas des Monts Poli (H.Vokré 2049 m), des hossérés Tcholliré (1182 m), Koum, Tinguelin (734 m), Peské Bori (1195 m), le pic de Mindif au sud de Maroua, sans oublier le rocher granitique de Waza en plein dans les alluvions du lac Tchad. Dans la plaine, la dépression de la Bénoué quitte le Cameroun à 161 m d'altitude. A l'extrême nord, celle du lac Tchad est à 282 m, offrant une possibilité à ce dernier de se vider dans la Bénoué si l'érosion accélérée s'activait dans le bassin versant supérieur de Mayo Kébi.

Entre ces extrêmes, montagnes- dépressions, trois autres formations méritent d'être signalées. Les plateaux résiduels de cuirasses ferrugineuses sont nombreux dans les bassins versants du Faro, de la Bénoué supérieure, du Mayo Rey et de la Vina à des altitudes de 320 à 500 m. Certains sont de véritables bowé. On en rencontre aussi au sud de Maroua près de Mouda. Plus au nord, le cordon dunaire, vestige du Paléo- Lac Tchad va de Limani à Yagoua en passant par Pété. Il isole les plaines des piémonts de celles d'inondation de lac Tchad. Ces dernières appelées Yaérés, s'étendent du Bec de Canard à la dépression du lac. L'évolution de cet ensemble, à l'exception des Yaérés et des deux niveaux de base de la région est dominée par l'érosion. Les plaines de raccordement des Monts Mandara ou des reliefs isolés de la Plaine du Diamaré, subissent actuellement une érosion très active sur les sols argileux ou sablo- argileux dégradés qui les transforme en "badlands". Dans la partie sud, le Mayo Rey, bloqué par des seuils rocheux au niveau de Mayo Galké, divague dans ses sédiments. Une érosion des berges intense s'installe, réactivant à son tour le processus regressif. Les cuirasses ferrugineuses de bas de pente sont mises à nu et subissent localement leur démantèlement. Dans ces deux cas, l'agressivité des pluies n'est pas la cause exclusive de cette activité érosive. L'héritage géomorphologique qui se caractérise surtout par des matériaux d'altération très sableux (Schwoerer, 1965), des pentes des reliefs résiduels instables, des cours d'eau peu profonds, à lits démesurément larges et à pentes de berges non stabilisées, contribue largement à cette évolution. Les techniques d'exploitation inadaptées des ressources naturelles par l'homme ne font qu'accélérer le phénomène.

On se trouve donc dans une situation où les sols cultivés et ou pâturés sont pris en étau par les processus érosifs de surface et de regression descendants et remontants.

## **1.5. COUVERTURE PEDOLOGIQUE**

On dispose d'une bonne connaissance des sols du Nord Cameroun au-dessus du 8ème parallèle. Pendant près de trente ans des caractérisations et des inventaires pédologiques ont été faits à petite ou moyenne échelle. Ces informations ont été synthétisées en 1985 par Brabant et Gavaud sous forme de cartes des sols et de ressources en terre à l'échelle de 1/500 000ème.

La diversité des substrats géologiques, le climat, les facteurs de circulation des eaux de surface et de variation de nappes, ont donné naissance à des horizons et des profils de sol très variés. La désagrégation puis l'altération des minéraux primaires des roches libèrent des éléments tels que les bases, la silice, le fer, l'alumine etc. Ceux- ci sont totalement ou partiellement entraînés par les eaux de percolation ou de ruissellement. De nouvelles réorganisations donnent des produits de synthèse ferrugineux ou alumineux (argiles, hydroxydes) relativement stables qui, avec le squelette de sable et de limon deviennent

caractéristiques d'un sol donné. Des soustractions, transformations ou apports d'éléments ou de particules peuvent entraîner une évolution secondaire.

Nous donnons ci-dessous les principaux processus pédogénétiques et évolutifs représentés dans la région.

- a) La ferruginisation : l'hydrolyse des silicates est poussée avec élimination des bases alcalines et alcalino-terreuses dans les eaux de percolation. Il peut subsister des minéraux primaires résistants (orthose, muscovite). L'élimination de la silice n'est pas totale ce qui permet une neutralisation de toute l'alumine libre.

Les argiles 2/1 sont très affectées par le lessivage et deviennent minoritaires par rapport aux argiles 1/1 (kaolinite). Les oxydes de fer peuvent être rubéfiés ou non. En principe, il n'y a pas de gibbsite. C'est le processus le plus représentatif des milieux drainés du nord-Cameroun.

- b) La fersiallisation : l'altération des minéraux primaires est partielle. Il y a prédominance des argiles 2/1 riches en silice résultant à la fois de la transformation et de la néoformation. Les oxydes de fer plus ou moins rubéfiés s'individualisent. Ce sont des sols lessivés (présence d'un horizon Bt). Cette pédogénèse est surtout représentée dans la région de Guider et surtout à l'est, le long de la frontière avec le Tchad, entre les latitudes 10°15'N et 9°30'N.

- c) La vertisolisation : néoformation d'argile 2/1 et incorporation de la matière organique. : Dans les milieux confinés à fort contraste saisonnier, les alcalino-terreux (Ca<sup>+</sup> et Mg<sup>+</sup>) réagissent avec les minéraux feuilletés (micas) pour former des argiles gonflantes. Ces argiles actives forment avec la matière organique des complexes argilo-humiques spécifiques, fortement polycondensés, avec peu de matière organique. Celle-ci est répartie de façon homogène dans l'ensemble du profil grâce aux mouvements de masse lors des phases de gonflement et de retrait des argiles. Ce processus est caractéristique des vertisols appelés localement "Karals", terme qui désigne à la fois le type de sol et la culture de sorgho de saison sèche (Muskwari) qu'on y pratique. On rencontre des vertisols lithomorphes héritant leurs caractères (richesse en alcalino-terreux) des roches sur et au dépend desquelles ils sont formés. Par contre, les vertisols topomorphes sont formés dans les milieux mal drainés dits accumulatifs, tels que les dépressions, les berges des rivières planes ou fermées par le bourrelet de berge après l'inondation.

- d) L'Hydromorphie : ce processus est caractérisé par une saturation temporaire des pores par l'eau, entraînant des phénomènes de réduction, de ségrégation locale du fer et de Manganèse suite à un déficit prolongé en oxygène. Le fer ferreux peut s'accumuler dans le profil (teinte gris verdâtre) ou migrer localement formant au sein des horizons minéraux des taches rouilles ou des concrétions de fer ferrique. C'est le régime hydrique particulier (influence topographique) qui confère à ces profils leurs caractéristiques.

Parmi les processus secondaires représentés dans la région, il y a :

- le lessivage : entrainement mécanique de l'argile à l'état dispersé ou complexé à la MO, de l'horizon de surface (A\*) à l'horizon sous-jacent (B\*) ;
- l'érosion: désagrégation et entrainement des particules et/ou des agrégats fins de l'horizon superficiel du sol par les eaux ou le vent, puis dépôt de celles-ci dès que l'agent transporteur devient incompetent ;
- l'appauvrissement : soustraction des particules fines de l'horizon superficiel par les eaux de ruissellement (érosion sélective) aboutissant à une discontinuité texturale nette entre l'horizon A et l'horizon B sous-jacent.
- la hardéisation : lorsque l'appauvrissement est très marqué sur tous les éléments (argile, oxydes, fer et alumine) autres que le quartz, il y a une décoloration de l'horizon de surface. Il se forme des nappes superficielles temporaires résultant d'un mauvais drainage du profil. L'horizon Bt se caractérise par une accumulation de matières déplacées et déposées par l'eau saturante circulant dans la structure poreuse de l'horizon qui finit par devenir très cohérent. Cette évolution est caractéristique des sols hardés, qui occupent de larges superficies dans la partie nord et centrale de la région. Les matières organiques, principal support de fertilité de ces sols, sont principalement dégradées par ce processus une fois que la végétation protectrice est détruite.
- l'induration : le processus est marqué par la cristallisation et le durcissement des oxydes de fer et d'alumine libres. Lorsque la formation est relativement tendre pour être brisée à la main, on parle de carapace. Par contre, lorsqu'elle nécessite un marteau pour être brisée, on parle de cuirasse.

Les principales formations pédologiques issues de ces différents processus peuvent être regroupées en cinq grandes catégories de terre :

- les terres bien drainées, sableuses à argilo-sableuses adaptées aux cultures pluviales (sorgho, maïs, arachide, coton, etc.) ; elles présentent des nuances au niveau de la texture, du pourcentage de terre fine (présence de cailloux ou de gravillons) du lessivage et de la saturation du complexe absorbant : ce sont les plus sensibles à l'érosion hydrique ;
- les terres alluviales plus ou moins bien drainées, avec une nappe phréatique à faible profondeur. Certaines offrent la possibilité de faire une culture irriguée en saison sèche, après une culture pluviale ;
- les terres lourdes vertisoliques adaptées aux cultures de décrue et de saison sèche sans irrigation complémentaire. Leur productivité est aussi affectée par les pluies (réserves hydriques du sol) que pour les cultures pluviales ;

- les terres en pente et piémonts des Monts Mandara très pierreuses, et aménagées en terrasses et terrassettes nécessitant un entretien ;
- enfin, les immenses espaces incultes occupés par des hardés très peu perméables naturellement, et très difficiles à décompacter.

D'après Marliac (*in* Brabant et Gavaud, 1984), l'association aux hardés des sites archéologiques est un indice qu'ils constituent un terme de dégradation des sols par l'homme.

## **1.6. LES HOMMES ET LEURS ACTIVITES RURALES**

### **1.6.1. LE PEUPEMENT**

La région des savanes de basse altitude du Nord Cameroun entre approximativement dans les limites territoriales des provinces administratives du Nord et de l'Extrême-Nord. Sa superficie est d'environ 100 002 km<sup>2</sup> soit 21.4 % de l'espace national. La population estimée sur la base du dernier recensement général de la population (Démo 87) était de 3 013 000 habitants en 1991 (Boli, 1991), dont 77,6 % de ruraux. La densité moyenne de 30 hab/ km<sup>2</sup> cache une forte irrégularité dans la distribution spatiale de cette population. La province de l'Extrême-Nord, plus aride est plus densément peuplée: 62.5 hab/km<sup>2</sup> contre 13.8 hab/km<sup>2</sup> pour celle du Nord. Dans certains terroirs des hauteurs ou des piémonts (Tokombéré) des Monts Mandara, elle dépasse 200 hab/ km<sup>2</sup>. Dans la province du Nord, hormis le département de Mayo Louti (61 hab/km<sup>2</sup>) situé dans le versant Sud des Monts Mandara et celui de la Bénoué (31.7 hab/km<sup>2</sup>) qui bénéficie de l'effet du développement urbain de Garoua, le chef lieu de la province, les deux autres départements sont plutôt sous-peuplés (5 hab/km<sup>2</sup>). Les principales raisons de ce sous-peuplement sont l'inhospitalité des milieux plats et humides (endémies parasitaires : onchocercose, trypanosomiasés, paludisme etc.) et les rivalités ethno-religieuses. Le tableau 1.02 indique la répartition de la population par département.

La population est constituée d'une mosaïque d'ethnies (supérieur à 30) dont les principales sont les Mafa, Arabes choa, Foulbé, Guiziga, Kanouri, Kotoko, Mandara, Massa, Moundang, Toupouri etc.dans l'Extrême-Nord, les Fali, Foulbé, Guidar, Dourou, Mboum dans le Nord.

On peut les regrouper sur la base des terroirs traditionnellement occupés (montagne/ plaine), de la religion (musulman, chrétien, animistes) du genre d'activité ou de vie (agriculteur, éleveur, sédentaire ou nomade), de l'organisation politico-sociale, l'ancienneté de la présence du groupe dans la région etc. (Boutrais, 1973 ; Loung 1988)

**Tableau 1.02 : Répartition de la population par département dans les plaines de basse altitude du Nord Cameroun (estimation 1991)**

Département	Diamare	Kaele	Log. et. Chari	Mayo Danay	Mayo Sava	Mayo Tsanaga	Mayo Louti	Benoue	Faro	Mayo Rey.
Population (hab.)	432957	258472	309324	399247	239352	439023	253938	432046	61884	184154
Superficie (km <sup>2</sup> )	4668	5033	10183	5303	2736	4393	4162	13614	13381	36529
Densité (hab/km <sup>2</sup> )	92,7	51,3	30,3	75,3	87,5	99,9	61,0	31,7	4,6	5,0
Densité rurale (hab/km <sup>2</sup> )	58,7	43,6	20,5	65,2	78,2	92,2	48,5	18,7	4,0	4,0
Zone climatique	Plaine Diamaré et bordures (soudanien sec)	Plaine lac Tchad (sahélien)	Plaine Logone (soudanien sec)	Versants Nord Mts Mandara	Plateau Mts Mandara	Versant sud Mts Mandara	Cuvette Bénoué (soudanien franc)	Massifs montagneux (soudanien humide)	Bassins enclavés SEB (soudanien humide)	

Etabli à partir données de « DEMO. 87, rgph »

L'état d'équilibre actuel de ces populations par rapport aux ressources de leurs terroirs est nettement caractérisé par une crise de l'espace dans l'Extrême-Nord et dans une certaine mesure, dans la partie de la province du Nord au dessus de Garoua. Dans l'Extrême-Nord, la situation s'est aggravée avec la descente de près de 80000 montagnards dans les plaines en 1970 (Boutrais, 1973).

Cet état de crise a amené les autorités à initier des plans d'allègement des populations des zones saturées de l'Extrême-Nord vers les zones sous-peuplées du Nord, tout en permettant la mise en valeur des immenses ressources en terre de bassin de la Bénoué. Le projet Nord- Est Bénoué est ainsi né de cette logique. Plus tard en 1984, c'était au tour de la Sodecoton d'organiser les vagues de migrations dans le Sud- Est Bénoué. A côté de ces migrations planifiées et encadrées, un courant de migrations spontanées s'est établi, dépassant la capacité d'accueil des organisateurs (Ndoumbe Manga et al., 1990). Le problème se compliquera davantage avec le déclenchement des migrations internes impliquant à la fois les premiers migrants et les autochtones, à la recherche de "bonnes terres". Les raisons de celles-ci étant la baisse de la productivité des terres premièrement acquises. On arrive aujourd'hui à une cascade de migrations de moins en moins contrôlées dont les conséquences à court et moyen terme sont :

- les conflits sociaux entre migrants et autochtones, ou entre cultivateurs et éleveurs ;
- l'accélération de la dégradation des ressources en terre, en eau, et de la végétation.

Par ailleurs le taux de croissance de la population de 3% l'an est élevé. Il signifie que la population devra doubler tous les 20 à 25 ans. Or dès à présent, le ratio terres arables/ population de 2 ha/habitant est critique (Boli, 1991) dans une région où la création notable d'emplois non agricoles susceptibles d'alléger la pression sur la terre n'est pas envisageable de façon réaliste. Cette situation de crise ira donc en s'amplifiant, à moins qu'une volonté de recherche de solutions durables ne se manifeste.

## **1.6.2. LES ACTIVITES RURALES**

Les populations rurales de la région vivent de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche.

### ***1.6.2.1. La pêche***

Traditionnellement, la pêche est une activité réservée à certains groupes de la plaine inondable du Logone et du Chari (Mousgoum). La période d'inondation des yaérés correspondait à leur pleine activité. La construction de la retenue de Maga a

profondément affecté ces groupes. La pêche s'est plutôt déplacée dans les plans d'eau des retenues de Maga (320 km<sup>2</sup>) et de Lagdo (690 km<sup>2</sup>). Les pêcheurs nationaux peu expérimentés et mal outillés sur ces larges étendues, ont de la peine à résister à la concurrence des professionnels ouest africains.

#### *1.6.2.2. L'élevage*

L'élevage est une activité majeure du Nord Cameroun. C'est la principale justification de l'entretien de la savane par le feu. Plus de la moitié des effectifs nationaux de bovins, ovins et caprins s'y trouvent. Ce cheptel est composé de petits troupeaux de case, et de grands troupeaux menés par les arabes Choa et les Bororos (Foulbé nomades). Le troupeau de case est souvent géré en communauté pendant la période de culture; il est alimenté à partir des pâturages du terroir en saison des pluies. Le soir, les animaux rentrent dans le saré (habitat) de leur propriétaire où ils reçoivent, surtout en saison sèche, des compléments alimentaires sous forme de résidus de récoltes, des sons et des grains de sorgho. De plus en plus de personnes utilisent des aliments de complément fabriqués par la Sodecoton à base de céréales locales et de tourteaux de coton. Dans l'habitat, ils sont soit dans les cases à bétail (ovins et caprins), soit attachés au piquet (bovins) avec ou sans abri. Traditionnellement, le fumier n'est utilisé que pour les jardins de case. Les bouses séchées sont utilisées comme combustibles. Les troupeaux de case sont à l'origine d'un commerce florissant de résidus de culture, particulièrement dans les grandes agglomérations des zones où il y a une crise de l'espace.

La conduite des grands troupeaux représente tout un genre de vie basé sur l'exploitation alternée des ressources végétales naturelles et des résidus de récolte. Selon la pratique musulmane, la terre n'appartient à personne; elle est donnée en don à tous par Dieu (agriculteurs et éleveurs). Le grain appartient à l'agriculteur, mais pas la paille. Cette conception établit donc un droit de pâturage des résidus aux éleveurs (Aboubakar, 1995, communication personnelle). Les troupeaux de transhumance font de ce fait une rotation entre les pâturages des vastes plaines peu peuplées de la Bénoué pendant la saison des pluies, les champs cultivés, pendant un à deux mois après la récolte et les Yaérés de la plaine Logone-Chari. Cette ouverture de l'espace est tout aussi valable pour les troupeaux des pays voisins. Elle aboutit à une surcharge des pâturages, à la surexploitation des ressources végétales et surtout à une dégradation accélérée des terres. Cette forme d'élevage est de plus en plus conflictuelle avec l'agriculture. Dans la zone des savanes humides sous-peuplées et protégées (faune), les éleveurs Bororos ne sont guère tolérés par les propriétaires de campements de tourisme et de chasse. L'intensification de cette pression sur les éleveurs augure des conséquences non seulement sur l'élevage régional, mais aussi sur l'équilibre alimentaire des paysans

(approvisionnement en lait, viandes et oeufs) et sur l'agriculture (acquisition d'animaux de trait).

Les troupeaux sont régulièrement suivis par les services vétérinaires. En dehors des périodes de transhumance, ils passent la nuit dans des enclos faits de branchages d'épineux. Ces parcs (kraals) sont les principales sources de fumier d'élevage dans la région. En raison de son exposition aux intempéries, la terre de parc reste pauvre en azote et en phosphore (Guillonnet, 1988 *in* Lhoste et Richard, 1993). La pratique du parage rotatif permet d'améliorer la fertilité sur une aire plus importante.

### ***1.6.2.3. L'Agriculture***

Elle concerne toutes les populations sédentaires et certains éleveurs Bororos (valorisation des parcs à bétail). L'agriculture paysanne est essentiellement pluviale. La pluviosité détermine donc l'état alimentaire de cette région, caractérisée par une forte irrégularité des pluies.

Le système de production traditionnel est axé sur la production des cultures vivrières de sorgho, mil, maïs, arachide, niébé, légumes et condiments. On trouve aussi des tubercules de manioc, igname et patate douce dans la zone humide et dans les bas fonds intérieurs des plateaux du massif des Monts Mandara. En plaine, le système de culture est basé sur la pratique de la jachère. Dans les terroirs surpeuplés de l'Extrême-Nord, des améliorations sont apportées avec l'intégration de l'arbre (parcs d'*Acacia albida*) ou l'apport de fumier dans la gestion de la fertilité des terres.

Sur les vertisols, un système traditionnel original et équilibré a été développé. Le "Karal" est la culture de sorgho repiqué de saison sèche (Muskwari). Il est basé sur la valorisation des réserves hydriques des vertisols constituées pendant la saison des pluies. Les pépinières sont mises en place 30 à 45 jours avant les dernières pluies. Les parcelles sont nettoyées dès fin septembre. La maigre biomasse issue de ce défrichage est brûlée sur la parcelle pendant que les pluies se sont pratiquement arrêtées. Sur ce terrain propre, des trous de 3 à 5 cm de diamètre et de 15 à 20 cm de profondeur sont réalisés à l'aide d'un pieu. On y verse un verre d'eau et on place deux jeunes plants de sorgho habillés sans refermer le trou. Cette opération suffit pour l'établissement des plants qui pourront prélever plus tard l'humidité résiduelle du vertisol. Ce système de culture présente quatre contraintes principales : insuffisance des réserves hydriques ; la date de repiquage en rapport avec l'âge et donc la qualité des plants ; l'abaissement de la température insuffisante pendant la période de tallage (faible injection ou retard de pénétration d'air boréal) ; pénibilité du travail. Seiny Boukar (1990) a montré l'importance de la pluviosité de la phase d'installation de la saison de pluie sur la recharge hydrique du vertisol. L'aménagement des diguettes en casier améliore l'infiltration et les réserves du sol. Les semis échelonnés des pépinières

permettent de résoudre le problème de la qualité des plants au moment du repiquage. Ce système permet à la région de réaliser deux cultures du sorgho dans l'année, sur des sites différents.

L'irrigation traditionnelle à partir des puits, est pratiquée sur des sites particuliers présentant une nappe d'eau à faible profondeur. Elle est en général utilisée pour les cultures maraîchères (oignons, tomates et légumes feuilles divers) et aux vergers (manguiers, goyaviers, agrumes...) sur les sols alluviaux.

L'irrigation moderne est liée au développement des plans d'eau de Maga et de Lagdo, ainsi qu'au pompage dans le cours d'eau perenne.

Près de 11 000 hectares de rizières sont aménagés dans la vallée du Logone (Semry I, II et III). Dans la vallée de la Bénoué en aval du barrage hydro- électrique de Lagdo, il existe un potentiel de près 30 000 hectares irrigables. Leur développement est subordonné à la construction des digues de protection des terres contre les inondations du fleuve ou les lâchages d'eau du barrage de Lagdo. Actuellement à peine 100 ha sont cultivés en riziculture.

Le système pluvial "moderne" ou industriel, est vulgarisé principalement par la Sodecoton. A cause de son intérêt économique et de l'organisation qu'elle nécessite, la culture cotonnière est développée en groupements de paysans. Elle occupe plus de 200 000 paysans environ pour une superficie moyenne de 120 000 ha. Le coton est cultivé en rotation avec les cultures vivrières (sorgho, maïs, arachides, sésame etc...).

La culture cotonnière est le principal moteur de l'évolution des techniques culturales des systèmes traditionnels. Certaines pratiques simples telle que la culture en ligne sont devenues populaires dans la région. Son protocole de modernisation par l'intensification du système cultural comprend :

- le labour à la charrue à soc en traction bovine ou motorisée. Plus de 70 % des superficies sont labourées en traction animale. A la campagne agricole 1994, le nombre d'attelages actifs de la culture cotonnière était de 52400 dont 36700 de bovins, 13700 d'asins et 2000 de chevalins (Bekolo et Gaudard, 1995) ;
- la maîtrise des adventices par les herbicides et les opérations culturales. La maîtrise des adventices est indispensable avant, pendant et après le semis. Les sarclages sont manuels ( 33 % des surfaces sarclées), mécaniques, corps butteurs en traction animale (33 %), ou aux herbicides (34 %) ;
- une fertilisation minérale fractionnée entre le semis et le buttage ;
- une protection phytosanitaire contre les ravageurs (insectes en particulier) ;
- l'utilisation des variétés améliorées.

Sur le plan des structures agraires, la SODECOTON a opté pour la formule de groupement des "soles" (Boutrais, 1973). Ce regroupement s'avère désastreux pour la conservation des terres, sa rigidité n'autorisant pas de réaliser des évaluations et des traitements individualisés des parcelles du bloc de culture.

La Sodecoton reste cependant un terrain d'adaptation des techniques culturales. La technique de semis direct y est née à la fin des années 80 (Patalé, 1990, communication personnelle) suite à une indisponibilité d'animaux de trait alors que la date limite de semis approchait. Cet exemple démontre que les innovations techniques interviennent souvent lors des crises espace-population ou de catastrophes (Boutrais, 1973 ; Roose, 1994).

Le "semis direct Sodecoton" consiste en :

1. élimination du labour de l'itinéraire classique par le traitement des adventices à l'aide d'un herbicide total (glyphosate ou Paraquat) ;
2. semis direct sous la litière des adventices grillées sans aucune autre forme de travail du sol ;
3. du 30<sup>e</sup> à 45<sup>e</sup> jour après la levée, l'épandage de l'urée "de couverture" suivi d'un buttage, marque le retour au système classique. Le buttage est manuel ou au corps butteur en traction bovine. Les effets attendus du buttage sont le renforcement de l'efficacité de l'urée et le contrôle des adventices. Ce système se développe rapidement dans la région du SEB: 31 % des superficies cotonnières de cette région en 1992, 38 % en 1994.

Dans l'ensemble de la région, l'intégration de l'agriculture et de l'élevage prônée depuis si longtemps par l'encadrement technique, reste limitée au niveau de l'apport de la paire de bétail à l'agriculture, et l'utilisation des résidus de récolte (sorgho, arachide, niébé, maïs) dans l'alimentation du bétail en saison sèche. Malgré des actions de sensibilisation des paysans à l'utilisation du fumier, des contraintes persistent. Au premier rang de celles-ci, figurent le mode d'élevage "ambulant", qui ne permet pas une récupération optimale des fèces et surtout le faible développement de l'utilisation des charrettes indispensables à son transport. En 1994, la Sodecoton n'enregistrait, tout attelage confondu, qu'une charrette sur vingt unités d'attelage.

L'intégration de l'arbre est une composante essentielle du système traditionnel. A l'opposé, il est exclu dans les systèmes pluviaux et irrigués modernes, ainsi que dans le système résiduel de saison sèche. Les cultures de case, bien qu'occupant de faibles espaces, représentent une forme d'amélioration ou d'intensification du système traditionnel par l'apport de fumier de ménage. La récolte précoce et les rendements élevés du maïs et de sorgho rouge sont un appoint non négligeable pour la gestion de la

période de soudure. Le développement des vergers de manguiers et de fruitiers divers le long des mayos, de Garoua à Mora, constitue un atout économique important de la région. Auront-ils un effet de stabilisation des berges de ces mayos ?

Quant aux essences de bois de feu et de services, des initiatives privées individuelles et communautaires se multiplient. Les espèces les plus demandées sont *Eucalyptus camaldulensis*, *Azadiracta indica* (neem) et *Khaya senegal* (caïlcédrat).

Le tableau 1.03 résume les "systèmes de production" présents dans la région et regroupés sur la base de la source du facteur le plus limitant (eau).

#### ***1.6.2.4 - La gestion foncière***

Le problème foncier est à la fois complexe et épineux dans cette région. Et pour peu qu'on soit sensibilisé à l'état de dégradation accéléré des ressources, on ne peut l'éluder. Le premier niveau de complexité vient de ce qu'il y a un conflit d'autorité entre la loi d'Etat et la pratique coutumière dans ce domaine. La loi dit que la terre appartient à celui qui la met en valeur, les autres terres appartenant à l'Etat. Cette loi ne semble pas être observée dans la région. Le territoire de certaines unités traditionnelles est considéré comme une propriété personnelle du chef. Le deuxième niveau de complexité est qu'à l'échelle coutumière, la pratique foncière n'est pas la même d'un lamidat à un autre, bien qu'elle soit en principe d'émanation musulmane. Sur le terrain, c'est la pratique coutumière ou traditionnelle qui a force et vigueur de loi.

La conservation des ressources naturelles nécessite un effort de mobilisation et un investissement supplémentaire en travail, affichant un coût. Ce dernier ne peut être amorti que dans le long terme. Il y a donc lieu de s'inquiéter si les paysans accepteront cet investissement dans les zones de forte insécurité foncière.

**Tableau 1.03 :** Principaux systèmes de production dans les savanes de basse altitude du nord Cameroun

INTITULÉ DU SYSTÈME	SOURCE DE L'EAU	SOURCE D'ENERGIE DOMINANTE	SYSTEME DE CULTURE DOMINANT	PRINCIPALES CULTURES	UTILISATION ENGRAIS + PESTICIDES	RELATION AVEC ELEVAGE	INTEGRATION DE L'ARBRE	ENTRETIEN FERTILITÉ
PLUVIAL TRADITIONNEL	Pluies	Manuel	Association d'espèces et de variétés ; rotation sorgho/mil ; céréales/arachide	Sorgho, petit mil, arachide, niébé, voandzou, légumes divers, melons divers, sésame	Faible à nulle	Résidus de récolte aux animaux	Presque généralisée Parcs d'espèces bien déterminées	- jachère - intégration arbre - semis précoce - association culturelle
PLUVIAL MODERNE	Pluies	Traction animale	Monoculture rotation coton/céréales-arachide	Coton, maïs, sorgho, arachide, niébé, sésame	Optimum (en principe)	- Traction animale (labour et buttage) - résidus de récolte aux animaux	Nulle	Engrais minéraux (correction carences et compensation exportations)
RESIDUEL DE SAISON SECHE	Réserves du sol	Manuel	Monoculture	<u>Décrue</u> : sorgho, maïs, patate douce, niébé <u>Karal</u> : sorgho (muskwari)	Faible à nulle	Résidus de récolte aux animaux	Nulle	Amélioration infiltration par des micro-aménagements (diguettes)
IRRIGUE TRADITIONNEL (maraîchage ou arboriculture)	Puits	Manuel	Monoculture et association fruitiers maraîchage	Oignon, légumes divers, tomates, aubergines, fruits de maraîchage	Variable, faible à nulle	Utilisation du fumier de bétail (non généralisée)	Association vergers cultures maraîchères	Engrais et fumier
IRRIGUE MODERNE	Lacs et rivières	Grosse motorisation (aménagements) Manuel (conduite culture)	Monoculture	Riz	Optimum (en principe)	Utilisation de paille Alimentation bétail	Nulle	Engrais minéraux

Z. Boli, 1991

## 1.7. LES PARTICULARITES DU SUD EST BENOUE.

Avant de clore cette présentation de la vaste région du nord Cameroun-que nous avons trouvé indispensable pour la compréhension du cadre général de notre problématique-nous résumons ci- dessous les caractéristiques du domaine plus restreint où nous avons situé notre expérimentation.

Le Sud-Est Bénoué (SEB) est une appellation consacrée à la structuration de l'espace cotonnier camerounais. Cet espace est contenu dans la zone climatique des savanes soudaniennes à nuance humide. Hydrographiquement, il est constitué de deux entités très différentes : le sous- bassin versant de la Vina du Nord ou Logone Occidental, et le sous-bassin du Mayo- Rey, appartenant au bassin de la Bénoué. C'est la plus grande des huit régions cotonnières du nord Cameroun. Elle compte deux usines d'égrenage à Tcholliré et à Touboro ; six secteurs d'encadrement de la production (Tcholliré, Madingrin, Sorombeo, Touboro, N'Dock et Vina Sud.). Elle représente en moyenne 14% des surfaces cultivées en coton et 17% de la production de coton graine. Ses caractéristiques physiques sont :

- climat soudanien humide à 7 mois pluvieux et une pluviosité comprise entre les isohyètes 1400 et 1300 mm avec 80 à 120 jours pluvieux annuels moyens ;
- un prolongement dans les latitudes les plus basses et les longitudes les plus à l'Est de la région du nord-Cameroun, entraînant une pluviosité plus prononcée (Suchel, 1988) ; des reliefs résiduels abondants, mais de faible envergure et d'autant moins nombreux qu'on s'éloigne de la falaise
- présence de nombreuses cuirasses ferrugineuses ;
- des roches- mère et matériaux parentaux très variés ;
- une dominance des glacis et pédiplaines, à l'opposé de la partie ouest de la même zone climatique (Poli) d'où son intérêt agricole ;
- trois situations édaphiques pour les implantations agricoles (Pontanier, 1981) :
  - \* les bas-fonds d'origine alluviale, à sols hydromorphes à texture relativement équilibrée ;
  - \* les plaines, plateaux, interfluves et bas de glacis ; à sols ferrugineux sableux, plus ou moins profonds suivant la position (les plus convoités) ;
  - \* les buttes et hauts de glacis avec cuirasses affleurantes ;
- une dominance des sols ferrugineux sableux sur milieu à bon drainage ; à profondeur variable ; plus ou moins remaniés, gravillonnaires, ou graveleux, ou indurés et lessivés en général ;

- une stratégie de sécurisation alimentaire des autochtones basée sur les tubercules (manioc pour les Mboum, igname pour les Dourou) en l'absence de maîtrise de la technologie du grenier dans ce milieu relativement plus humide ;
- un vaste territoire faiblement desenclavé et peu peuplé ;
- influence d'un vaste mouvement migratoire non seulement en provenance de l'Extrême-Nord, mais aussi de la République du Tchad voisine ;
- une forte insécurité foncière;
- compétition dans l'utilisation de l'espace entre l'agriculture, l'élevage et le tourisme.

## CONCLUSION

Les savanes du Nord Cameroun recèlent sous leur grande diversité physique, de grandes richesses naturelles que la forte irrégularité de la pluviosité et l'ambiance chaude et sèche du climat tendent à voiler. L'ensoleillement n'est pas limitant. La faible hygrométrie limite la prolifération des maladies microbiennes sur les animaux et les plantes tout en facilitant le séchage des grains. Les eaux des fleuves et des lacs naturels et artificiels permettent le développement des cultures irriguées. Les sols sont variés et adaptés à la diversification des systèmes de production par des populations nombreuses et laborieuses. Tous ces éléments sont favorables au développement d'une agriculture durable et d'un tourisme florissant. Techniquement, seules les cultures pluviales posent de graves problèmes en relation avec la gestion des risques liés aux aléas climatiques.

Aujourd'hui, on assiste à un état de crise entre les ressources et les modes de gestion de l'espace. A cause de la pression démographique, de la sécheresse, de l'introduction de nouvelles cultures et de l'inadaptation des techniques culturales aux conditions climatiques, on observe de fortes migrations de population du nord vers le bassin de la Bénoué. Le Sud-Est Bénoué, enclavé et avec une agressivité climatique plus forte et des sols plus fragiles, ne les contiendra pas longtemps si dès à présent il n'y a pas un engagement ferme dans la recherche des innovations technologiques et l'organisation de la gestion de l'espace.

Nous allons voir dans le chapitre qui suit, si l'état des connaissances actuelles sur la dégradation des terres et sur les technologies de gestion durable des ressources nous donne des solutions ou des orientations d'action de recherche.

## **CHAPITRE 2 : INVENTAIRE BIBLIOGRAPHIQUE DES CONNAISSANCES**

Le problème de la dégradation et de l'érosion des terres en relation avec la productivité agricole qui est au centre de notre problématique n'est pas nouveau.

Les conséquences de l'érosion sur les civilisations passées sont connues. Hudson (1963) en fait une large rétrospective. Plus que de l'histoire, l'existence des terrasses comme celles des Monts Mandara au Cameroun ou d'ailleurs (Ambroise *et al.*, 1989) constitue une autre preuve vivante de l'ancienneté du problème. Ces ouvrages montrent aussi que l'homme n'est pas resté inactif devant la dégradation et l'érosion des terres. Cependant, le schéma moderne de la conservation des sols (Sanders, 1994), qui a la particularité d'être bien documenté, a pris de l'ampleur aux Etats- Unis d'Amérique au milieu des années 1930 pour combattre le problème du fameux nuage de poussière "Dust Bowl" qui avait surgi dans ce pays. Depuis, de nombreuses études et recherches sont menées, d'abord par le Service de Conservation des Sols et de l'Eau du Département de l'Agriculture (SWCS- USDA), et plus tard par des spécialistes du monde entier qui reconnaissent l'importance et la complexité du problème. Il en résulte une bibliographie abondante et très variée en thèmes et en langues de publication. Dans le cadre de cette étude, nous présenterons des éléments de celle qui nous a été accessible et qui intéresse notre sujet, en sept sections :

- la dégradation des sols,
- l'érosion hydrique,
- le ruissellement,
- les pertes en terre,
- les pratiques culturales et l'érosion,
- les pratiques culturales et la productivité végétale,
- l'érosion et la productivité végétale.

### **2.1. LA DEGRADATION DES SOLS**

Le terme "dégradation" indique un changement en mal par rapport à un état normal. La dégradation des sols peut être physique (érosion, compaction, appauvrissement en particules fines etc.), chimique (salinisation, lixiviation, acidification, minéralisation rapide des matières organiques, etc.) ou biologique

(destruction de la flore et de la faune actives du sol). Nombreux sont les auteurs qui parlent de dégradation des sols sans en donner une définition générale ou sans indiquer que le cas qu'ils traitent n'est qu'une forme parmi tant d'autres.

D'autres se sont cependant donné à cet exercice de définition. Ainsi, Riquier (1977) définit la dégradation des sols comme étant une résultante d'un ou plusieurs processus qui réduisent la capacité actuelle ou potentielle à produire (qualitativement et quantitativement) des biens et des services. Selon lui, les facteurs qui influencent l'intensité de la dégradation peuvent être divisés en deux groupes qui s'opposent : la vulnérabilité des sols à certaines formes de dégradation et l'influence de l'homme.

De son côté, Oldeman (1988) voit la dégradation des sols comme étant un processus qui décrit les phénomènes dus à l'homme et qui abaissent la capacité actuelle et/ou future du sol à supporter la vie humaine.

Pour Piéri (1989), la dégradation des terres apparaît comme la conséquence de techniques de culture mal appliquées ou mal adaptées et d'une productivité trop faible du travail.

L'IFAD (1992) la définit à son tour comme étant la perte de la capacité de production des terres pour soutenir la vie, due à l'érosion accélérée des terres et à la pratique d'une agriculture minière. L'IFAD précise que l'érosion des sols n'est pas synonyme de dégradation des sols. Elle est seulement la composante de la dégradation la plus documentée.

Pour Roose (1993, 1994) c'est l'évolution chimique (minéralisation des matières organiques ou salinisation) qui est à l'origine de la dégradation des propriétés biologiques et physiques, d'où l'augmentation des risques de ruissellement et d'érosion qui accélère ensuite cette dégradation.

Plus spécifique, Boiffin (1984) décrit la dégradation de l'état structural du sol, qui se caractérise par le passage d'un état fragmentaire poreux et meuble, à un état plus continu et moins perméable.

On note que les définitions qui se réfèrent à la propriété de production végétale utilisent le mot "sol" comme synonyme de "terre". L'homme ressort comme la principale cause de la dégradation des terres arables. L'étude GLASOD (ISRIC, 1992, in Sanders, 1994), indique que près de 2000 millions d'hectares de terre sont dégradés dans le monde du fait de l'homme dont 56% par l'érosion hydrique. Vingt cinq pour cent de celles-ci se trouvent en Afrique.

## **2.2. L'EROSION HYDRIQUE**

Cette section traitera des généralités sur l'érosion et l'érosion hydrique. Le ruissellement et les pertes en terre qui sont les deux grandes composantes de l'érosion hydrique feront l'objet des deux sections suivantes.

### **2.2.1. GENERALITES ET DEFINITIONS**

D'après Roose (1994), "érosion vient de "erodere", verbe latin qui signifie "ronger". C'est un processus naturel qui abaisse les montagnes et comble les vallées. Il affecte l'humanité depuis les temps les plus reculés.

Ellison (1947), l'un des pionniers de l'étude scientifique de l'érosion, la définit comme le processus de détachement et de transport de matériaux terreux par les agents de l'érosion. L'érosion est la somme de trois processus : le détachement, le transport et le dépôt des particules terreuses (Lal *et al.*, 1988 ; Roose, 1994).

Suivant l'agent de transport on distingue :

- l'érosion éolienne, dont le transport est assuré par la force du vent. La vitesse du vent, l'état de la surface du sol et la résistance du sol en sont les principaux facteurs ;
- l'érosion mécanique sèche, dont la force de transport est la gravité, à la faveur de la pente. Les opérations agricoles tels que le travail du sol et la récolte des tubercules, racines et bulbes sont les principaux facteurs de détachement dans ce cas ;
- l'érosion hydrique, dont l'énergie est apportée par les eaux de pluie sous forme de l'énergie cinétique des gouttes ou sous forme de l'énergie de ruissellement, mais aussi par la simple humectation.

### **2.2.2. LES FORMES D'EROSION HYDRIQUE**

Bennett (1939), distingue trois formes d'érosion selon le mode de circulation de l'eau de surface :

- érosion en nappe : enlèvement uniforme de minces couches de sol par un écoulement diffus ;
- érosion en rigoles : concentration d'eau dans des incisions peu profondes ;
- érosion en ravines : concentration d'eau dans des incisions profondes et larges, infranchissables par les machines agricoles.

Aujourd'hui, (Roose, 1994), les formes en griffes, rigoles et ravines sont désignées :

- Erosion linéaire, ayant pour cause commune la concentration du ruissellement dont l'énergie dépend du volume et de la vitesse de l'écoulement. La vitesse est fonction de la pente, de la rugosité de la surface. Le travail de l'énergie du ruissellement dépend de la résistance du sol.
- L'érosion en masse regroupe les formes creeping, glissement et coulée boueuse. La gravité et l'héritage géomorphologique sont les principales causes de ces formes d'érosion. L'eau intervient pour affaiblir la cohésion entre des volumes de structure et de texture différentes. Elle n'intervient pas dans toutes les formes de ce groupe d'érosion. Les racines des arbres peuvent aussi être à l'origine des détachements de blocs (Roose, 1994).

Pour tenir compte de l'intensité du phénomène de l'érosion on distingue d'habitude deux types d'érosion : l'érosion géologique et l'érosion accélérée (Smith et Stamey, 1965; Arnoldus, 1974, in EL Swaify *et al.*, 1982). L'érosion géologique est celle qui façonne le relief sous l'influence des forces naturelles d'érosion et indépendamment de l'activité humaine. Bien qu'elle soit qualifiée de lente, il est reconnu qu'elle peut prendre des formes brutales qui peuvent mettre en mouvement de grands volumes de terre et de fragments de roche. L'érosion accélérée résulte des modifications de l'équilibre naturel par l'homme (Bennett, 1939; Hudson, 1976; Bolline, 1982) et qui provoque habituellement une érosion plus rapide que la vitesse de formation du sol (Bennett, 1939).

En définitive, nous retenons que quelle que soit la vitesse du phénomène, l'érosion est l'enlèvement de la surface du sol par le courant d'eau, de vent, de la glace ou par des agents géologiques, suivi de leur transport et de leur dépôt plus ou moins lointain.

### **2.2.3. L'ÉROSION TOLÉRABLE**

Le concept de l'érosion tolérable a été introduit pour tenir compte du fait que c'était un phénomène naturel que l'homme ne pouvait arrêter totalement. Il fallait donc accepter qu'un certain degré de pertes en terre est normal et imputable aux agents de l'érosion géologique (Smith et Stamey, 1965, in El Swaify *et al.*, 1982).

La première approche de la détermination du seuil de tolérance a été pédologique. On comparait la vitesse de formation du sol à celle de l'enlèvement superficiel. Aux U.S.A, Bennett (1939) fixe cette limite à 11 t/ha/an. Plus tard,

Wischmeier (1965) la situera entre 2-11 t/ha, variable en fonction des caractéristiques des sols, du climat et du type de roche.

Par la suite, plusieurs chercheurs travaillant dans les milieux tropicaux font différentes observations : Ekern (1977 *in* El Swaify *et al.*), El Swaïfy et Cooley (1980 *in* El Swaify *et al.*), constatent que la turbidité des eaux de ruissellement sur les sols tropicaux est plus élevée que celle sur les sols tempérés ; El Swaïfy *et al.* (1982), observent que les sols des zones intertropicales sont très fragiles qu'en plus, l'agressivité climatique y est plus élevée. Ces observations conduisent à la même conclusion qu'il faut réduire la limite de tolérance dans ces zones. Pour Stocking (1978) et Mannering (1981, *in* El Swaify *et al.*), plusieurs facteurs doivent être pris en considération dans la fixation de la limite de tolérance. Il s'agit principalement, de la vitesse de renouvellement du sol, l'impact des pertes en terre sur la productivité et des effets des sédiments sur la qualité de l'environnement ou de toute autre destination.

On en arrive donc à prendre en compte à la fois le caractère sélectif de l'érosion et le fait que la fertilité des sols tropicaux est concentrée dans les premiers centimètres du sol (Roose, 1988). Pour l'Afrique de l'Ouest, Lal (1988), fixe la tolérance entre 0,05-2 t/ha/an en fonction de l'épaisseur du sol meuble.

#### **2.2.4. LES PROCESSUS D'ÉROSION HYDRIQUE**

Alors qu'il est généralement admis que le ruissellement est la cause de l'érosion hydrique, Cook (1936 *in* El Swaify *et al.*, 1982) constate qu'à côté de celui-ci, l'énergie associée à la goutte de pluie est un facteur important de l'érosion. Plus tard, Ellison (1944, 1947) étudiant le rejaillissement (splash), montre que la goutte de pluie est l'initiateur du processus d'érosion. Il indique que le détachement est dû soit aux gouttes de pluie (battance), soit au ruissellement (Ellison, 1947 *in* El Swaify *et al.*, 1982 ; Horton, 1945). Le transport se fait par le ruissellement, mais aussi à une moindre échelle sous l'effet "splash" des pluies (Ellison, 1944).

Hudson indique en 1958 que les processus d'érosion sur sol sableux sont très différents de ceux sur sols argileux. Sur les sols sableux, le détachement individualise les particules et aboutit à un processus d'érosion essentiellement sélectif des matières organiques, des argiles et limons . Par contre sur les sols argileux, la composition de la terre érodée n'est pas très différente de celle qui reste en place. L'érosion concerne donc dans ce cas plus les agrégats que les particules élémentaires.

## 2.3. LE RUISSELLEMENT

Le ruissellement est le principal agent de transport des matériaux terreux sur de longues distances (Ellison, 1947). En principe, sans ruissellement, pas de perte en terre. Il résulte de la fermeture de la surface du sol, suite à la réorganisation structurale de celle-ci sous l'effet de l'impact des gouttes d'eau (Boli, 1976; Valentin, 1981; Boiffin, 1984; Collinet, 1988) ou de la saturation du profil ou d'une partie du paysage (Roose, 1994). Le ruissellement peut aussi avoir pour origine un transfert d'eau de l'amont de la parcelle considérée.

### 2.3.1. LES ORGANISATIONS SUPERFICIELLES DE SURFACE

Malgré l'effort de description et de classification fait par Casenave et Valentin (1989), il subsiste encore une certaine confusion dans la désignation des structures issues de la réorganisation de la surface du sol cultivé exposée à la pluie. Cette difficulté est aggravée lorsqu'il faut traduire les termes français en anglais et vice-versa. Valentin (1993) définit les croûtes comme étant de minces horizons de la surface du sol, plus compacts et durs quand ils sont secs que le matériau sous-jacent. Pour Poesen (1981), les croûtes superficielles sont définies comme la résultante de l'orientation et de l'assemblage des particules de sol dispersées au sommet de l'horizon superficiel du sol, le rendant relativement imperméable à l'eau. Boiffin (1984) indique que l'évolution morphologique de la surface du sol, résulte de la redistribution spatiale d'une certaine quantité de matériaux au cours de la phase de fermeture.

Poesen (1981) souligne par ailleurs que la texture du sol est le paramètre le plus important influençant la fermeture ou l'encroûtement du sol. On peut donc caractériser l'encroûtement d'un sol donné par un indice ou une intensité d'encroûtement (sealing index : SI) :

$$S.I. = \frac{\Delta P}{\Delta T}$$

P = Percolation ;      T = Temps

Cet indice est inversement proportionnel au degré de pente du terrain, c'est-à-dire plus forte est la pente, plus petite est l'intensité d'encroûtement ou de fermeture de la surface. Roose (1973) et Lafforgue et Naah (1976) avaient déjà fait une observation similaire en Côte d'Ivoire.

Valentin (1985) relève que malgré la convergence de structure, les croûtes ne correspondent pas toutes aux mêmes processus de formation. Il observe comme Perez (1994) que les croûtes se forment, se modifient ou disparaissent dans des temps très

courts en milieu cultivé. Valentin indique que l'infiltrabilité des croûtes varie de 0 à 25 mm/h. A ce sujet, Perez (1994), au Sénégal, trouve que les croûtes sableuses ont une vitesse d'infiltration 10 à 50 fois inférieure à celle du sol sous-jacent. Poesen (1981) considère que les sols limoneux sableux contenant environ 80 à 90% de sable sont extrêmement susceptibles à l'encroûtement de surface. De Ploey (1983) souligne que l'encroûtement des sols limoneux et sableux est un effet universel de l'impact des gouttes d'eau favorisant le ruissellement et le décapage de la pente.

Valentin (1985 et 1993) reconnaît cependant à l'encroûtement superficiel deux effets positifs qui sont la réduction du phénomène d'appauvrissement et la facilité de la récolte du ruissellement en régions semi-arides.

### **2.3.2. LA RUGOSITE**

Lelong *et al.* (1993) indiquent que ce sont les propriétés de l'état de surface du sol, dont la rugosité qui déterminent principalement la susceptibilité du sol au ruissellement et à l'érosion. L'indice de rugosité diminue en fonction de la lame d'eau précipitée cumulée (Perez, 1994). Boli (1976) observe que l'effacement progressif du microrelief à la surface du sol, entraîne l'augmentation de la vitesse du ruissellement.

Boiffin (1984) constate que l'épaississement des croûtes stratifiées se fait au dépens de la rugosité sans que la diminution de celle-ci présente une discontinuité avec la phase de fermeture de la surface.

Concernant les sols du nord Cameroun, Morin (1993) rapporte que la plupart d'entre eux sont peu structurés et que leurs agrégats s'effondrent vite, laissant en place une surface fort encroûtée.

En zone semi-aride de l'Inde, Rao *et al.* (1994), observent que l'extinction des effets de labour, notamment la rugosité et l'infiltrabilité, est obtenue après 350 mm de pluie. Sur les sols ferrugineux du Sénégal, Perez (1994) conclut que la rugosité est un paramètre peu descriptif et peu corrélé au ruissellement.

### **2.3.3. FACTEURS DU RUISSELLEMENT**

Le volume ruisselé est corrélé positivement à la pluviosité, à l'intensité, à la hauteur et à la durée de la pluie ; (Roose, 1976 ; Lal, 1976 ; Lelong *et al.*, 1993 ; Aina, 1993), à l'aplanissement et au passage des engins (Lelong *et al.*, 1993), à l'humidité préalable du sol (Roose, 1977 ; Govers, 1987 ; Valentin, 1984), mais aussi à la température et à la turbidité de l'eau (De Ploey, 1983) ; au temps, durée de mise en culture (Lal, 1976, De Ploey, 1983). Le ruissellement est négativement corrélé avec l'activité biologique, telle que celle des vers de terre (Roose, 1975, Roth *et al.*, 1990) et

à la couverture du sol (Roose, 1977 ; Lal, 1977 ; Seiny Boukar, 1990 ; Rao *et al.*, 1994). Ces derniers observent que les amendements de fumier ou de résidus de culture enfouis ont un effet négatif progressif sur le ruissellement. La profondeur du labour s'est montrée indifférente au ruissellement en zone semi-aride de l'Inde (Rao *et al.*, 1994).

D'autres facteurs présentent par contre des effets plutôt complexes avec le ruissellement. C'est le cas du degré de pente (Roose, 1973 ; Valentin, 1985) et de la longueur de pente (Hudson, 1957 ; Lal, 1975 ; Poesen et Bryan, 1989).

#### **2.3.4. LES EFFETS DU RUISSELLEMENT**

Le diagramme de Hjulström (fig. 2.01) montre que (Roose, 1994) :

- les matériaux les plus sensibles à la mise en mouvement par le ruissellement ont une texture voisine de 100 microns (sables fins) ;
- tant que les écoulements s'effectuent à une vitesse faible (inférieure ou égale à 25 cm/s), ils ne peuvent éroder les matériaux ;
- le transport des particules fines argileuses et limoneuses s'effectue facilement, même pour des faibles vitesses. Pour les matériaux plus grossiers que les sables fins, on passe très vite de la zone d'érosion à la zone de sédimentation.

Woodruff (1948, *in* Roose, 1994) a montré que lorsque la pente augmente et atteint 16 %, le ruissellement devient très abrasif et son énergie surpasse celle de l'impact des gouttes de pluie.

D'autres auteurs estiment que par rapport à l'impact des pluies, les pertes en terre spécifiquement liées au ruissellement sont modestes, mais sans être négligeables (Bryan, 1976, *in* Boiffin, 1984). Ils pensent que les processus de détachement sont préalables ou liés à l'effet d'imbibition, mais non pas à la force tractive de l'écoulement (Boiffin, 1984).

Le volume de ruissellement par unité de surface détermine entre autres facteurs, le développement des rigoles et le dépôt des sédiments. Bolline (1982) indique que les rigoles incisent le sol d'une façon nette et constituent l'indice d'un creusement vertical indiscutable.

Se basant sur des enquêtes aux champs, Govers (1985), conclut que sur les sols limoneux de Belgique, l'érosion en rigoles ne s'installe que lorsque la pente est supérieure à 3° (5 %), ce qui correspond à des vitesses d'écoulement de 3-3,5 cm/s. Par contre les rigoles peuvent se former sur toutes les longueurs de pente, contredisant ainsi Hudson et Moldenhauer (1975 *in* Roose 1994) qui soutenaient qu'une certaine longueur de pente était nécessaire pour révéler le cisaillement. De Ploey (1983) rapporte

l'apparition des rigoles temporaires sur des pentes égales ou supérieures à 2°-3° sur des limons ou des sols limoneux. Govers (1987) observe l'élargissement des rigoles par des mouvements de masse sur les parois de celles-ci.

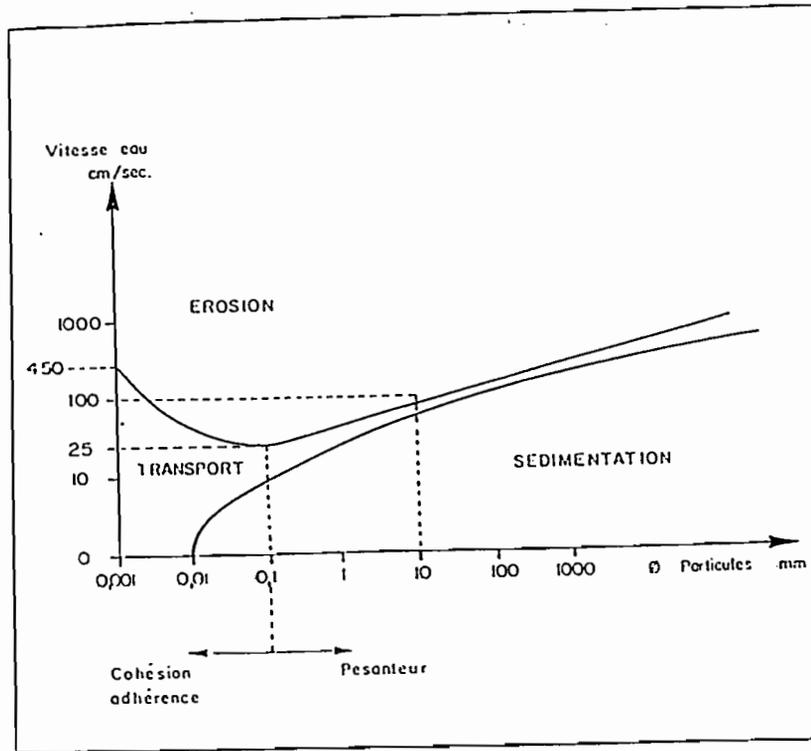


Figure 2.01 : Diagramme de Hjulström (de Roose, 1994)

## 2.4. LES PERTES EN TERRE

Avant d'être transportées par le ruissellement, les terres sont d'abord détachées de la masse ou des agrégats initiaux.

### 2.4.1. LE DETACHEMENT

Nous examinons successivement les mécanismes, puis les facteurs du détachement.

#### 2.4.1.1. Les mécanismes de détachement

Certains auteurs ont fait la revue des mécanismes de détachement des particules ou des agrégats (Boiffin, 1984; Cassenave et Valentin, 1989 ; Le Bissonnais, 1995). Il résulte de la plus récente de ces revues, qu'il y a quatre mécanismes de détachement (Le Bissonnais, 1995) :

- l'éclatement des agrégats suite à la compression de l'air contenu dans les pores par la progression des ménisques du liquide (Yoder, 1936; Henin *et al.*, 1958; Emerson, 1967 *in* Le Bissonnais, 1995) ;
- la microfissuration liée aux alternances de cycles humectation- dessiccation (Kheyrahi et Monnier, 1968 ; Le Bissonnais, 1990 *in* Le Bissonnais, 1995) ;
- la désagrégation mécanique par l'impact des gouttes de pluie sur des agrégats ou des particules périphériques (Ellison, 1947 ; Al-Durrah et Bradford, 1982 *in* Le Bissonnais, 1995) ;
- la dispersion physico-chimique résultant de la réduction des forces d'attraction entre les particules colloïdales lors de l'humectation (Emerson, 1967 ; Summet, 1992 *in* Le Bissonnais, 1995).

Cette revue ne prend pas en compte le cisaillement par la force tractive des écoulements (Poesen, 1992) ni la désagrégation, à l'échelle du champ par les outils, la pression des machines ou le piétinement du bétail. On peut toujours se demander si à d'autres échelles ou sous d'autres conditions, il n'existerait pas d'autres mécanismes de détachement.

#### ***2.4.1.2. Les facteurs du détachement***

Ellison (1944, 1947) avait montré que le détachement est lié à l'intensité et à la durée de la pluie. Plusieurs auteurs cités par Smith et Wischmeier (1962) ont constaté que le diamètre médian des populations des gouttes de pluie et donc leur masse, leur vitesse et leur énergie cinétique augmentent avec l'intensité des précipitations.

Les autres principaux facteurs corrélés positivement avec le détachement sont : l'humidité préalable du sol, la teneur en sable et en limons et les faibles pentes (Ellison, 1944, 1945 ; Poesen, 1981).

D'autres facteurs par contre sont corrélés négativement au détachement : l'existence d'une lame d'eau à la surface du sol (Palmer, 1965; Mutchler et Larson, 1971 *in* El Swaify *et al.*, 1982 ; Boli, 1976, 1981 ; Poesen et Savat, 1981), la teneur en argile et en matière organique de l'horizon de surface (Wischmeier, Johnson et Cross, 1972 *in* Roose, 1994 ; Poesen, 1981).

#### **2.4.2. EVALUATION QUANTITATIVE**

El Swaify et Dangler (1982) déplorent la confusion qu'il y a entre les spécialistes sur la terminologie dans l'estimation de l'érosion consistant à utiliser mobilisations de terre, pertes en terre et sédiments délivrés comme des synonymes.

Quantités de terre mobilisées (détachées) = sédiments délivrés (ou exportés) + sédiments redistribués (maintenus dans la parcelle).

#### **2.4.2.1. Méthodes d'estimation :**

On peut obtenir une estimation de l'érosion par plusieurs méthodes (Hudson, 1964; El Swaïfy et Dangler, 1982 ; Lal, 1988). Parmi les plus utilisées, citons : le piégeage et pesage des sédiments, le marquage de repères en couleurs (arbres ou pierres) et suivi du niveau du sol par rapport à ces points repères, les enquêtes à travers champs, à condition d'avoir côte à côte des aires érodées et des aires non érodées, la mesure de la hauteur du déchaussement des arbres. On peut aussi citer l' utilisation des piquets, des aiguilles ou des capsules de bouteilles etc. Les enquêtes de reconnaissance sur photographies aériennes ou sur images satellitaires ou la mesure des charges solides de cours d'eau sont des méthodes d'estimation à des échelles plus grandes que celle de la parcelle cultivée.

#### **2.4.2.2. Quelques données estimatives en Afrique**

En 1962, Fournier indique que la plupart des pays au sud du Sahara connaissent des pertes en terre de plus de 10 t/ha/an. En Afrique de l'Ouest, Roose (1977) observe les pertes suivantes : 0,01 à 0,07 t/ ha/ an en savane, 0,1 à 90 t/ha/an en milieu cultivé et 3 à 570 t/ha/an sur sol nu.

Charreau (1968) rapporte l'abandon de près de 1000 ha de terre au sud du Sénégal trois ans seulement après de gros investissement de défrichement par la CGOT. Au Niger, Heusch (1981) montre que même dans les zones plus arides, soumis au climat sahélien, l'eau et non le vent, était la première cause de l'érosion.

### **2.4.3. PREDICTION DE L'EROSION**

#### **2.4.3.1. Approche**

L'érosion est un processus de travail pour lequel l'énergie est fournie par la chute des gouttes de pluie et le ruissellement (Wischmeier, 1972; Romkens *et al.*, 1986).

De Ploey (1981) indique que toutes les forces géomorphologiques tirent d'abord leur origine de la gravité ou du climat. La gravité peut être considérée comme une force constante avec une composante de pente " $mgsinx$ ".

La réaction du sol à l'énergie érosive n'est ni constante, ni unique. Des fractions de cette énergie sont consommées par différentes réactions du sol ou du profil du sol (Romkens *et al.*, 1986) tel que :

$$E = E_{bl} + E_{tl} + E_{dm} + E_{ra} + E_{re} + E_{rs}$$

E : énergie totale      bl : briser les liaisons      rs : réchauffer le solide

tr : transport      dm : déformer la matrice      ra : réchauffer l'air      re : réchauffer l'eau

Wischmeier (1972) indique que le taux d'érosion sur une surface donnée est déterminée par les interactions complexes de plusieurs facteurs. Ceux-ci incluent les facteurs dont les uns influencent les forces érosives de la pluie et du ruissellement, et les autres, la résistance du sol au détachement et au transport par les agents érosifs. D'après Romskens *et al.* (1986), la distribution de l'énergie appliquée aux différents sous-processus varie avec les conditions antécédentes et la manière dont l'énergie est appliquée à la surface du sol, notamment la taille des gouttes et les régimes d'écoulement.

Lelong *et al.* (1993) notent que l'approche au champ avec simulation de pluies permet de saisir l'articulation et l'interprétation des agents météorologiques (intensité et durée), du facteur sol (texture, structure) et des variables biologiques (végétation, pratiques culturales) qui agissent interactivement.

Enfin, d'après ARS (1975 *in* El Swaify, 1982) les conditions générales à l'origine de pertes en terre élevées sont : une intensité élevée et une longue durée de pluie, des transferts importants d'eau provenant des terres en amont, une faible structuration du sol avec des taux d'infiltration faibles, le manque de cohésion entre horizons, des pentes à inclinaison élevée ou modérée, les grandes longueurs de pente, le travail du sol ou le semis parallèle à la plus forte pente et l'absence ou couvert végétal épars avec une litière de protection insuffisante.

#### **2.4.3.2. Le modèle de prédiction USLE**

Le modèle de prédiction de pertes en terre USLE (Universal Soil Loss Equation) applicable à l'érosion en nappe et en rigoles a été proposé par Wischmeier et Smith (1960, 1978) et a bénéficié des recherches d'une cohorte de chercheurs américains et autres.

Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de l'érosivité des pluies (R) que multiplie la résistance du milieu, laquelle comprend l'érodibilité du sol (K), le facteur topographique (SL), le couvert végétal et les pratiques culturales (C) et les pratiques antiérosives (P) (Roose, 1994).

L'équation USLE est :

$$E = R \times K \times SL \times C \times P$$

- E : pertes en terre en tonnes par acres (unités USA) ou en tonnes/ ha (2,5 fois les unités USA) ;
- R : facteur d'érosivité des pluies (EI30) correspond aux risques érosifs potentiels par l'énergie cinétique de gouttes de pluie et par l'énergie du ruissellement dans une région donnée, sur une parcelle nue de 9% de pente.
- K : facteur d'érodibilité des sols correspond aux pertes en terre par unité de EI30, mesurées sur une parcelle de 22,1 m de long ayant une pente de 9 %, maintenue nue et labourée dans le sens de la pente, sans avoir reçu de la matière organique depuis trois ans. Il varie de 0,70 pour les sols les plus fragiles à 0,01 pour les sols les plus stables (Roose, 1994).
- SL : facteur topographique, dépendant à la fois de l'inclinaison et de la longueur de la pente; il est sans dimension et varie de 0,1 à 5 (Afrique de l'Ouest) mais peut atteindre 20 en montagne (Roose, 1994)
- C : facteur de couvert végétal et des pratiques agricoles, est le rapport entre l'érosion sur une parcelle cultivée et l'érosion sur sol nu. Il varie de 1.0 sur sol nu à 1/100 sous plante de couverture et de 1 à 0,1 sous cultures sarclées, en fonction de l'espèce cultivée (Roose, 1994).
- P : facteur des pratiques antiérosives, est le rapport entre l'érosion sur une parcelle aménagée contre l'érosion et celle de la parcelle nue.

Wischmeier (1976), précise que si pour les estimations et la prédiction de l'érosion, on peut considérer les facteurs qui causent l'érosion comme universels, les valeurs quantitatives de chacun d'eux doivent dériver de chaque milieu.

#### A - Erodibilité des sols (K)

L'érodibilité est une mesure quantitative de la susceptibilité du sol à s'éroder en présence d'une force érosive (Romkens *et al.*, 1986). Elle est fonction des matières organiques, de la texture du sol et de la présence d'oxyde de fer et d'aluminium et de Na dans le complexe (El Swaïfy *et al.*, 1982 ; Roose, 1994).

Roose et Sarraih (1989) notent cependant que le facteur d'érodibilité est très variable dans le temps et avec le système de culture et qu'au lieu d'un indice, on devrait plutôt envisager des familles d'indices en fonction du taux de matières organiques. Pour Roose (1994), on n'a pas encore résolu le problème méthodologique d'estimation de la résistance des sols à l'érosion et de son évolution.

Alors le problème ne serait-il pas celui de l'intérêt même de caractériser une nature continuellement changeante par une constante ?

## B - Le facteur topographique

Le facteur topographique peut être obtenu soit par lecture à partir des nomogrammes de Wischmeier (1978) (Fig. 2.02), soit calculé à partir de la relation :

$$SL = \frac{\sqrt{L}}{100} (0,76 + 0,53S + 0,076S^2)$$

(Wischmeier et Smith, 1978).

On a longtemps cru que l'érosion ne constituait un problème que sur les pentes abruptes (SCS-USDA, 1950). Ce préjugé n'est pas tout à fait éteint aujourd'hui, bien qu'il soit indiqué que le déclenchement du phénomène ne nécessite pas de fortes inclinaisons de pente (Fauck, 1956 ; Fournier, 1967 ; Roose, 1973, 1994).

Concernant l'inclinaison de pentes, Zingg (1940) aux USA, trouve une relation de type exponentielle avec l'érosion :  $E = KS^{1,4}$ . En Afrique australe, Hudson et Jackson (1959) soulignent qu'à cause d'une agressivité climatique plus élevée, l'effet de pente est exagéré par rapport à celui qu'on mesure aux USA. Ils trouvent une relation exponentielle mais d'exposant moyen 1,63 ( $E = KS^{1,63}$ ). Plus tard, Hudson (1973) pense que l'exposant 2 ( $E = KS^2$ ) est plus adapté aux conditions africaines. De son côté, au Nigéria, Lal (1976) trouve que l'érosion croît avec la pente de façon exponentielle avec un exposant de 1,2.

A Séfa, au Sénégal, Roose (1967) observe que l'érosion et le ruissellement croissent de façon très rapide pour de faibles variations de pente (0,5 %). Sous culture d'ananas en Côte d'Ivoire, Roose (1980) observe des interactions entre l'effet pente, le couvert végétal et le mode de gestion des résidus de culture.

S'agissant enfin de la longueur de pente, les pertes en terre devraient en théorie (USLE) croître avec la racine carrée de la longueur de pente. Zingg (1940) aux USA, trouve une relation exponentielle d'exposant 0,6. Wischmeier *et al.* (1958), et Roose, (1994) concluent que les relations entre l'érosion et la longueur de pente varient plus d'une année à l'autre que d'un site à un autre. Aux USA, Meyer *et al.* (1976) trouvent une interaction entre la longueur de la pente et la sensibilité du matériau à l'érosion en rigoles.

### 2.4.4. STRATEGIE DE LUTTE

Roose *et al.* (1989-1990) concluent que c'est à la surface du sol que se joue la résistance à l'érosion pluviale, c'est donc là qu'il faut concentrer les moyens de lutte. En Côte d'Ivoire, Ange (1988) indique que le noeud de la gestion agricole des paysages de savane est la maîtrise des mouvements d'eau.

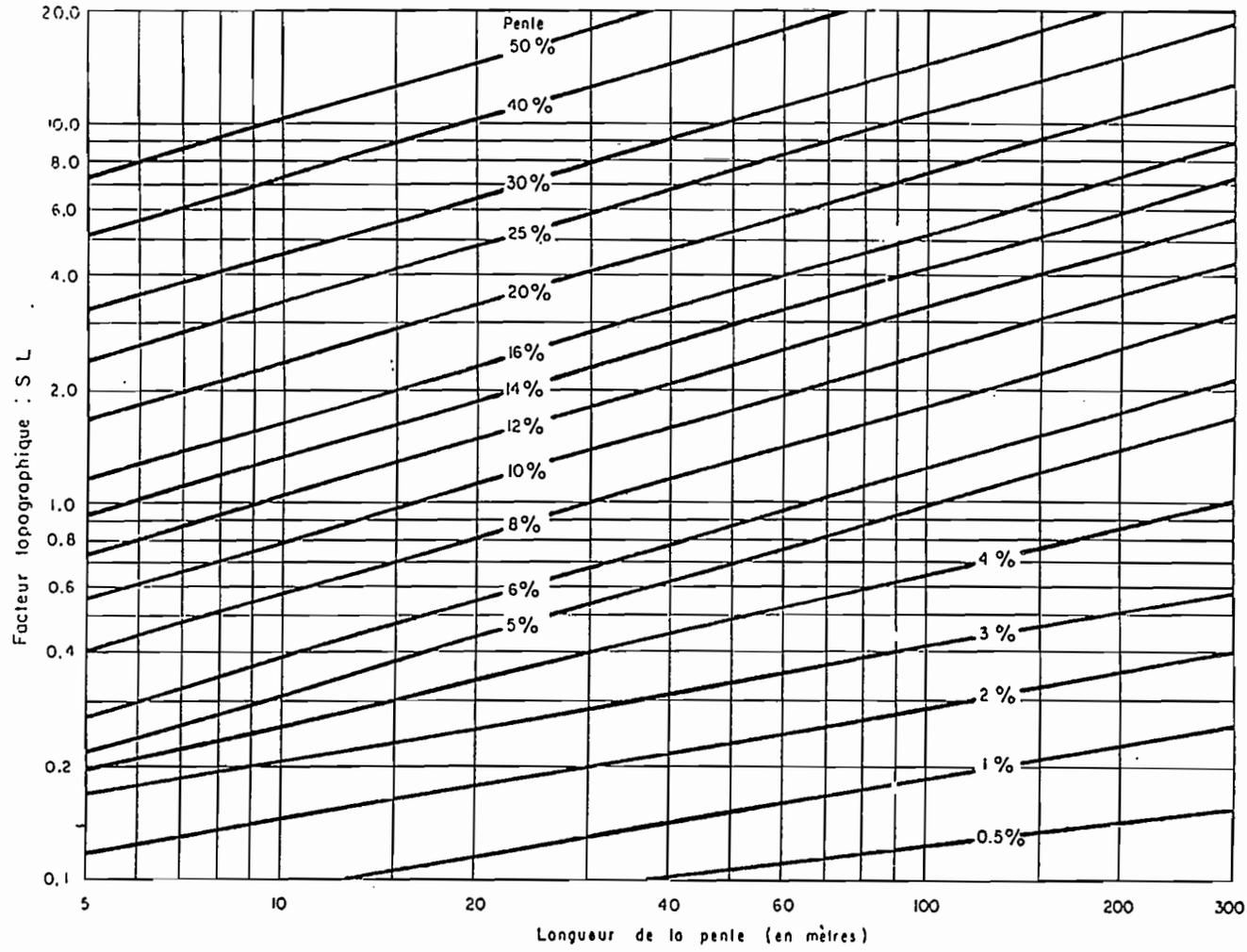


Figure 2.02 : Facteur topographique (d'après Wischmeier et Smith, 1978, in Roose, 1994)

Bolline (1982) suggère qu'il faut chercher plutôt à augmenter le stock de matières organiques du sol au lieu de la maintenir seulement, étant donné son importance dans la structuration et la stabilité du sol.

De l'analyse des processus et des facteurs de l'érosion du sol, il ressort qu'il faut lutter contre : l'énergie des gouttes de pluie en recouvrant le sol et le ruissellement en réduisant sa vitesse, soit par la réduction de la pente, soit en érigeant des obstacles perpendiculairement au sens des écoulements, mais surtout en améliorant l'infiltrabilité en favorisant l'activité biologique des sols.

## **2.5. PRATIQUES CULTURALES ET EROSION**

### **2.5.1. LE COUVERT VEGETAL**

Les pratiques culturales influencent à la fois la plante (couvert végétal) et le sol (résistance aux forces érosives).

Hudson (1957) a montré l'importance du couvert végétal dans l'interception de l'énergie des gouttes de pluie. Il montre par la suite l'intérêt d'augmenter les densités de plantation dans la lutte contre l'érosion. Charreau (1968) trouve que le couvert végétal influence considérablement les pertes en terres et souligne l'intérêt du semis précoce en zone soudanienne. Plusieurs expériences ont montré que le rôle de la végétation était variable avec le type de plante, la densité de plantation, l'architecture de la plante, la qualité des plants, les combinaisons avec d'autres cultures dans l'espace et dans le temps, le stade de la végétation au moment où intervient l'événement pluvieux érosif, etc. (El Swaïfy et Dangler, 1982 ; Roose, 1967, 1977, 1994). Lal (1976) et Roose (1977) ont calculé le facteur C des principales plantes cultivées en Afrique de l'Ouest.

Au Cameroun, Pontanier (1981) observe au Sud -Est- Bénoué que les risques et les processus d'érosion sont identiques sur culture cotonnière et sur cultures vivrières dans le système mécanisé.

### **2.5.2. LE TRAVAIL DU SOL**

#### ***2.5.2.1. Définitions***

Le travail du sol est défini par de nombreux auteurs (Henin *et al.*, 1969 ; Boone, 1988 ; Antapa et Angen, 1990 ; IBSRAM, 1990 ; Ahn et Hintze, 1990, etc.).

Nous retenons de Lal (1979, 1983) que le travail du sol est un ensemble de manipulations physiques ou biologiques pour l'optimisation de la germination, de l'établissement et de la croissance des plantes cultivées.

On distingue actuellement deux grands groupes de systèmes de travail du sol :

- le système de travail du sol classique dit "conventionnel" ;
- le système de travail de sol réduit, dit "conservateur".

Le système de travail de sol conventionnel comporte une série d'opérations aratoires dont la première et la plus déterminante est le labour. Monnier (1994) note à juste titre que la conscience collective assimile labour à agriculture.

Aux USA, le CTIC (1986, in Dickey et Shelton, 1987) définit le système de travail conservateur comme étant tout système de travail du sol ou de culture dans lequel 30 % au moins de la surface du sol est couverte par les résidus végétaux après semis et qui présente moins de pertes en terre que le système de travail conventionnel.

#### ***2.5.2.2. Le système de travail conventionnel***

A la base, il comporte un labour à la charrue qui peut être suivi par le passage d'un ou plusieurs autres outils plus légers (disques, herse, rouleau, etc.). Le résultat attendu au bout de la chaîne est un lit de semence propre, régulier et meuble. Le labour consiste à couper puis à retourner une tranche de sol (Henin *et al.*, 1969; Chabert *et al.*, 1990).

Les objectifs visés par cette opération sont multiples et variables. Mais les utilisateurs ne cherchent pas souvent à identifier la ou les contraintes les plus limitantes pour lesquelles ils font intervenir le labour ou un itinéraire conventionnel donné.

Les objectifs généralement cités sont : la préparation du lit de semence, la conservation de l'eau, le décompactage du sol, le contrôle des adventices, la prévention de l'érosion, l'incorporation des résidus de récolte et l'aération du sol (Hénin *et al.*, 1969 ; Ofori, 1993 ; Morin, 1993 ; Monnier, 1994).

Les opinions sont cependant divergentes sur l'importance et la nécessité du labour. Ofori (1993), tout en reconnaissant que les effets du labour peuvent varier d'une zone écologique à une autre, relève que dans les régions semi- arides, la conservation de l'eau est un facteur clé à considérer. En Afrique de l'Ouest, Nicou et Charreau (1985), soulignent que si le labour est accusé de favoriser l'érosion, c'est parce qu'il est mal exécuté (vitesse d'exécution élevée). Pour ces auteurs, le labour justifie à lui tout seul l'équipement de l'Afrique en charrues.

Par contre, de nombreux auteurs ont montré en Afrique et en Inde, que malgré ses effets favorables temporaires, le labour accélère la minéralisation des matières organiques et augmente les risques de ruissellement, de pertes en terre et de nutriments

ainsi que les coûts d'exploitation des terres (Lal, 1975 ; Bolline, 1982 ; Stocking, 1986 ; Birot *et al.* ; Elwell, 1989 ; Serpantié et Lamachère, 1991).

En Cote d'Ivoire, Roose (1973) a estimé que la rugosité due au labour disparaissait après 6 semaines (150 mm de pluie) ; en Inde, Rao *et al.* (1994) trouve qu'elle s'éteint après 350 mm de pluie.

Au Nord Cameroun, Pontanier (1981) note que la préparation du sol orientée vers la recherche d'une surface régulière assurant un bon contact sol-herbicide, entraîne des pertes à la levée de l'ordre de 50 %. Tout à côté au Tchad, Charrière (1984) dénonce la culture attelée qui, selon lui, stérilise les sols. Dans le même esprit, Chabert *et al.* (1990) constatent l'échec du labour en pays de coopération et suggèrent qu'on pose des questions sur sa justification et surtout qu'on entreprenne des recherches pluridisciplinaires sans préjugé.

Le billonnage, système apparenté au labour favorise l'érosion par l'augmentation de la pente locale (Roose, 1973). En Afrique de l'Ouest, plusieurs chercheurs observent que le billonnage cloisonné n'a qu'une efficacité temporaire sur la conservation de l'eau et des terres (Lafforgue et Naah, 1976 ; Roose et Asseline, 1978 ; Collinet et Lafforgue, 1979 ; Nicou et Charreau, 1985).

Concernant le paillage d'un labour (mulch), Hudson (1957) montre l'efficacité du mulch pour le contrôle de l'érosion, notamment dans les premiers stades de la végétation. En 1975, Roose constate qu'un mulch de paille de quelques centimètres suffit pour contrôler aussi efficacement l'érosion qu'une forêt plus dense. Au Nigéria, Lal (1976) obtient les mêmes résultats. Il reste cependant que si les effets du paillage sont reconnus sur la prévention de l'érosion et l'économie de l'eau par l'augmentation de l'infiltrabilité ou la limitation de l'évaporation, la difficulté réside à son approvisionnement (Roose, 1977 ; Laflen, 1990).

### ***2.5.2.3. Systèmes de travail conservateurs***

La caractéristique principale de ce groupe est le maintien des résidus sur le sol, couvrant au moins 30 % de la surface de celui-ci. La surface peut être travaillée par endroit (ligne de semis). Dans le non travail du sol (No tillage ou zéro tillage), il n'y a pas de travail préalable du sol. Celui-ci n'est ouvert que pour y déposer la semence et éventuellement les engrais. Les résidus de culture et/ou les adventices traitées aux herbicides totaux (paraquat, glyphosate) constituent la litière. Le travail du sol minimum (minimum tillage ou mini-tillage), consiste en un travail d'ameublissement sur la ligne de semis.

Ofori (1993) note qu'il y a confusion sur le traitement désigné par non travail du sol. Dans certains cas, il y a un mulch de résidus ou d'adventices traitées, dans d'autres cas, il n'y a rien à la surface du sol. Opara Nadi (1993) indique que le non travail, travail minimum, travail réduit sont des termes synonymes de travail conservateur.

Elwell (1983) rapporte que le non travail sans résidus a occasionné plus de pertes en terre (162 %) que le système conventionnel témoin, alors que les passages d'engins n'ont donné que 64 % de celles du témoin. Au Brésil, Derpsch *et al.* (1986) observent que sans couverture du sol, le ruissellement (infiltration) sur les parcelles non travaillées est le même que sur labour conventionnel.

Lal (1976) au Nigéria, obtient des pertes en terre de 0,2 t/ha/an sur le zéro tillage en deuxième année de culture de deux cycles de maïs annuels, contre 11 t/ha/an sur le labour.

Plusieurs chercheurs soulignent que les systèmes de travail réduit avec litière à la surface du sol sont la base de la conservation des sols cultivés parce qu'ils permettent de maintenir l'infiltrabilité, préviennent l'érosion, maintiennent le taux de matières organiques à un niveau élevé ainsi que la productivité économique (Greenland, 1981 ; Lal, 1973, 1979 ; Rocwood et Lal, 1974 ; Lal et Hann, 1973 ; Opara Nadi, 1993 *in* FAO, n° 69).

Unger *et al.* (1981) indiquent que les deux pratiques qui ont un impact majeur sur la conservation des sols sont la gestion des résidus et le travail du sol.

## **2.6. PRATIQUES CULTURALES ET PRODUCTIVITE**

### **2.6.1. EFFET DE LA JACHERE**

Pour Sebillote (1985), la jachère représente l'état d'un terrain laissé temporairement sans peuplement cultivé et remplissant divers rôles.

Pour Floret (1993), l'échec de nombreuses expériences d'abandon de la jachère et les graves atteintes à l'environnement...engagent à revoir le diagnostic.

Klein (1994) au Nord Cameroun indique que pour fournir des productions valorisables par le paysan, la jachère améliorée par une plante de couverture doit bénéficier d'un minimum de protection pendant les périodes de culture qui sont aussi leurs périodes de croissance .

Par contre, Charreau et Nicou (1971), Nicou et Chopart, (1979 *in* Piéri, 1989); Chopart, (1980 et 1983, *in* Piéri, 1989) trouvent qu'en Afrique de l'Ouest, les jachères de courte durée n'ont pas plus d'effet améliorant ou dégradant que la plupart des cultures en

raison de leur faible puissance d'enracinement. Piéri (1989) indique qu'il faut plus de 15 ans pour que la fertilité des terres dégradées des savanes humides se reconstitue.

Lal (1987) au Nigéria, note des vitesses d'infiltration dans la jachère 6 fois supérieures à celles des parcelles sous cotonniers ( $5,8 \text{ cm.h}^{-1}$  et  $0,9 \text{ cm.h}^{-1}$ ).

### 2.6.2. LE LABOUR

Nicou et Charreau (1988) constatent que le labour retarde la date du premier sarclage.

Letey (1985) indique que les facteurs physiques du sol qui affectent directement la croissance des végétaux sont l'eau, l'oxygène, la température et la résistance mécanique du sol.

Aux USA, Hake (1990) indique que le travail du sol (labour, binage et sarclage) est l'un des rares outils disponibles aux paysans pratiquant des systèmes pluviaux pour accroître le flux d'oxygène du sol.

En France, Caneill *et al.* (1991) trouvent une supériorité du labour sur le semi-direct en maïs de 7 à 10 q/ha, plus marquée en année humide.

En Inde, Rao *et al.* (1994) indique une supériorité du labour sur le non travail, le mini-travail du sol et le mulch.

En Belgique, sur des sols limoneux, Frankinet *et al.* (1979) in Bolline (1982) montrent qu'on peut obtenir des rendements équivalents avec des labours superficiels (plus ou moins 15 cm) à ceux obtenus avec des labours profonds (plus ou moins 30 cm).

Nicou et Chareau (1985) notent que le coton est peu sensible au labour, à l'opposé du maïs et du riz.

### 2.6.3. LE NON TRAVAIL

Pour Ofori (1993), bien que le non travail connaisse une adoption de plus en plus large, la généralisation doit être évitée.

En France, Caneill *et al.* (1991) indiquent que le rendement du semis direct (non travail du sol) est pénalisé là où les conditions anoxiques sont prolongées après la montaison. En situation mal drainé, le semis direct produit 0,5 t/ha de moins que le labour. Au Brésil, Derpsch *et al.* (1986) obtiennent des rendements supérieurs avec le non travail du sol sur soja et sur blé.

Elwell (1993) fait observer qu'en général, les rendements sont plus faibles dans les systèmes de non travail du sol que dans les systèmes conventionnels. Bien que les écarts ne soient pas très importants, il faut apporter une réponse à ce problème.

Aux USA, plusieurs chercheurs ont indiqué que le non travail du sol (avec litière) était supérieur et moins coûteux que le système conventionnel (Underwood *et al.*, 1984 ; Fregley, 1983 ; Stonehouse, 1991 *in* FAO, n° 69).

## 2.7. EROSION ET PRODUCTIVITE

La mesure de l'impact de l'érosion sur les rendements des plantes cultivées n'est pas facile. En général, l'érosion affecte indirectement la productivité. En réduisant l'épaisseur du sol ou en triant les matières les plus actives, elle induit l'instabilité du sol et diminue la capacité de stockage de l'eau et des nutriments.

Plusieurs auteurs font part de cette difficulté en précisant même qu'une mauvaise culture peut induire une forte érosion (Charreau, 1968; Lal, 1988; Stocking, 1988). Le taux de pertes en terre n'est donc pas un bon indice de la diminution de la productivité (Stocking, 1988, IFAD, 1992).

Lal (1988) fait l'inventaire des sources de pertes économiques dûes à l'érosion :

- entraînements des nutriments apportés sous forme d'engrais ou inhérents au sol ;
- enlèvement des matières organiques et des argiles qui jouent un rôle important dans la stabilité de la structure, les réserves en eau et en nutriments ;
- réduction de la capacité de stockage de l'eau par la réduction de l'infiltration ou de l'épaisseur du sol ;
- la fonte des semis ;
- l'arrachage ou l'enterrement des plants.

Stocking (1986) trouve une forte corrélation entre les pertes en terre et la teneur en azote, phosphore et carbone des sédiments.

Au Nigéria, Lal (1988) établit une relation de type exponentielle avec de très forts coefficients de corrélation (supérieur à 0,9) entre les rendements de maïs et de niébé et l'érosion antérieure cumulée. Il observe que la baisse de productivité due à l'érosion est variable selon l'épaisseur de sol exploitable par le système racinaire.

Au Zimbabwe, Stocking (1986), estime que la perte des trois éléments : azote, phosphore et carbone, dans les sédiments coûte chaque année, 20 à 50 US \$ par hectare.

En Belgique, Bolline (1982) sur des sols limoneux, évalue des pertes dues à l'érosion à 3-5% de la valeur de la récolte, soit 18 à 27 % du bénéfice net moyen à l'hectare.

Par ailleurs, l'érosion accroît les coûts de production en augmentant les temps d'exécution des travaux à travers des rigoles et dans les réparations des outils et des machines agricoles (Lal, 1988).

## **2.8. CONCLUSION**

La recherche sur l'érosion a réalisé un progrès très rapide entre la création du SCS-USDA et le développement de l'équation universelle de pertes en terre (USLE). Cet essor résulte de l'identification et de l'analyse des causes et des facteurs du phénomène de l'érosion grâce à la conjugaison des études en laboratoire et en parcelles d'érosion sous pluies naturelles et simulées.

Les stratégies de lutte antiérosive dérivées de ces résultats ont été diversement appliquées. Les trois principales options sont :

- ralentissement de la vitesse de l'écoulement des eaux par la modification du facteur topographique ou l'érection des obstacles perpendiculairement au sens des écoulements,
- protection du sol contre l'impact des gouttes de pluies par une couverture végétale ou un paillage,
- augmentation de la résistance du sol contre les forces érosives par l'amélioration de ses propriétés intrinsèques.

Ces options connaissent chacune des limitations dans leur application. Elles sont soit d'ordre socio-économique (manque de motivation, coûts de réalisation et d'entretien élevés, etc.), soit d'ordre techniques (inadaptation des solutions aux différentes situations agricoles, etc.).

Il est admis aujourd'hui que la mesure des pertes en terre n'est pas un objectif en soi. Elle doit servir à la mesure de l'impact de l'érosion sur la productivité de la ressource de base. A son tour, cet objectif devrait mobiliser beaucoup plus de consciences pour la conservation ou la restauration de celle-ci.

Les méthodes biologiques, peu coûteuses et s'intégrant mieux aux systèmes de culture existant, devraient être préférées aux aménagements impliquant du gros matériel mécanique de génie civil ou d'autres gros investissements.

Sur le plan technique, les difficultés sont nombreuses mais nous n'en relevons que trois ici :

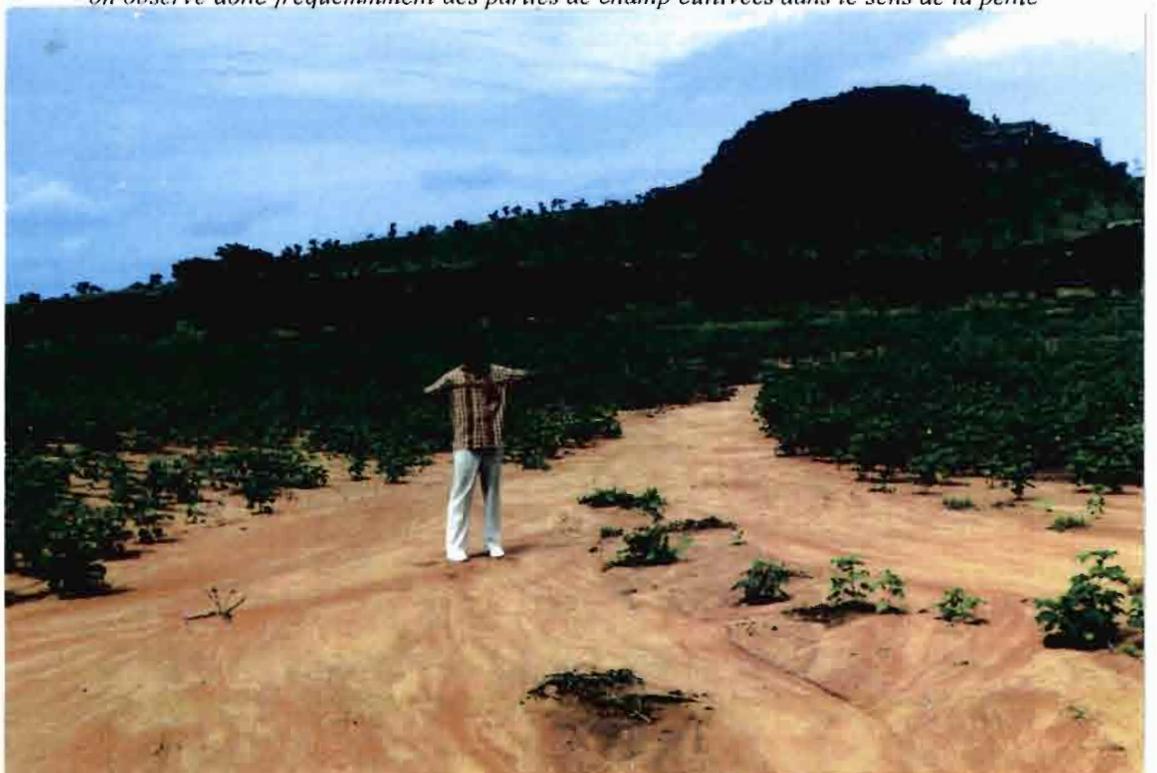
- le peu d'articulation ou d'ajustement entre les objectifs et les échelles d'espace et de temps ;
- l'absence de standardisation des approches et concepts de base ;
- l'absence d'entrée socio-économique.

Dans le premier cas, il y a un déséquilibre dans la répartition des efforts sur l'étude des processus à différentes échelles. Les échelles centimétriques et métriques sont privilégiées par rapport aux échelles parcelles et bassin versant. Cependant au niveau de l'énoncé des objectifs de recherche ou de la restitution des résultats, tout semble se passer comme si on passait d'une échelle à l'autre par un simple coefficient de multiplication, sans altération de la nature ou de l'ordre des paramètres. Il n'est pas évident, dans la bibliographie, qu'une distinction soit faite par exemple entre la stabilité des agrégats et celles des terres ou des terrains. Quant à la prise en compte du facteur temps, elle ne semble pas toujours évidente à l'échelle de l'espace métrique, où on travaille au mieux au pas de temps horaire. Dans ce cas, un facteur tel que la rugosité de la surface du sol prend une importance qu'il n'a pas en milieu réel où l'unité de temps est la saison ou l'année. En condition de sols fragiles et de climat agressif, l'effet de ce même facteur peut devenir insignifiant. Dans le second cas, les comparaisons entre techniques (labour, non labour, par exemple) ne sont pas toujours faites sur les mêmes bases : les uns s'appuient sur les rendements végétaux, les autres sur les pertes en terre et en eau. Parfois, on ne relativise pas selon le contexte pédoclimatique. S'agissant enfin du facteur humain, il est compréhensible que, si le paysan n'a pas de motivation suffisante ou si les solutions de conservation des terres proposées ne sont pas à la portée de ses moyens, il ne peut être actif vis-à-vis de cet objectif.

## Structures, pratiques agricoles et érosion



*Photo n° 1 : Vue aérienne de blocs de culture dans le Sud-Est Benoué (SEB). Au centre un bloc intensif de culture cotonnière. Les blocs rectangulaires ne peuvent suivre les ondulations du terrain : on observe donc fréquemment des parties de champ cultivées dans le sens de la pente*



*Photo n° 2 : Erosion dans un champ de cotonniers à Bocklé près de Garoua : rigole évoluant en ravine et large plage d'atterrissement de sables avec enfouissement total ou partiel de cotonniers.*

## CHAPITRE 3 : METHODES, TERRAINS ET DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

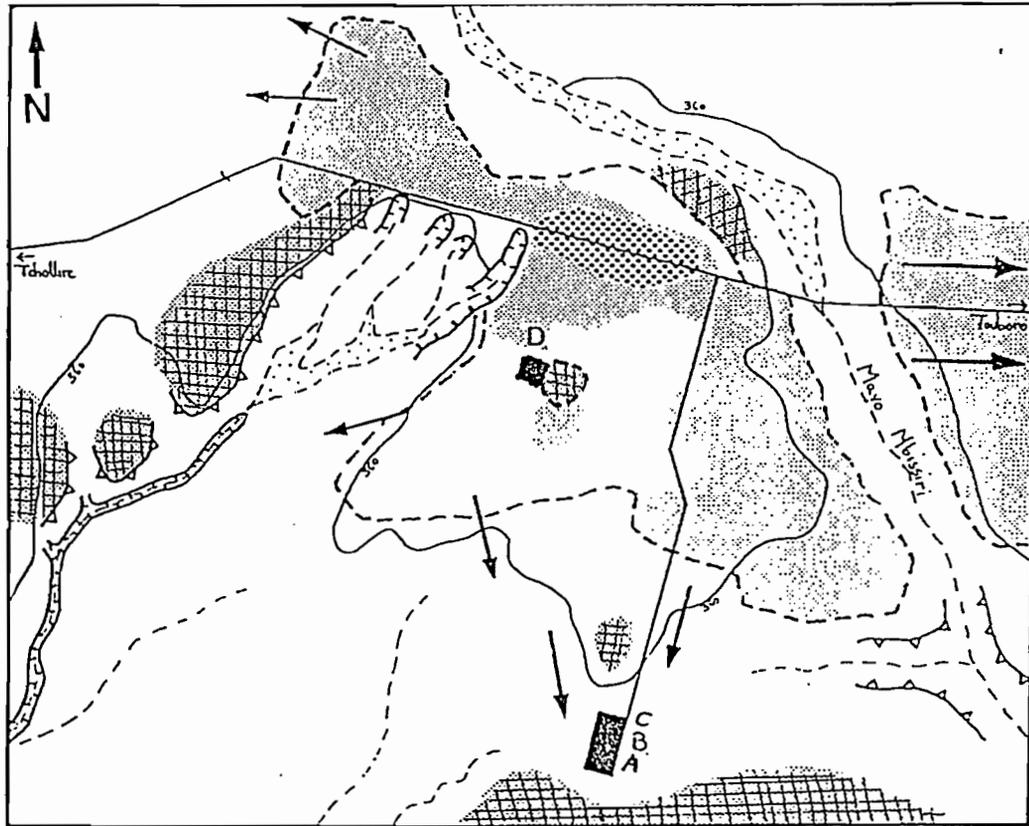
### 3.1. CHOIX ET CARACTERISATION DES SITES EXPERIMENTAUX

L'enquête diagnostic menée dans l'arrondissement de Tcholliré (Boli *et al.*, 1991) avait montré entre autres, une dégradation lente et progressive des sols et un abandon des blocs de culture, où la productivité est devenue insuffisante. Il est apparu nécessaire d'entreprendre des études à la fois dans des situations de sols dégradés et non dégradés pour nous permettre de cerner rapidement les processus qui induisent le dysfonctionnement du système sol-plante-atmosphère, et de proposer des solutions permettant la restauration de la productivité des blocs abandonnés. La condition première du choix des sites expérimentaux était donc de trouver ces deux situations dans une même localité. Parmi les villages enquêtés du secteur Sodecoton de Tcholliré, seul Mbissiri remplissait cette condition et avait un accès relativement facile en saison des pluies. Les deux situations, distantes d'1,5 km environ, y ont sensiblement la même direction sud par rapport au village.

#### 3.1.1 SITUATION DE MBISSIRI

Le village de Mbissiri (latitude 8°23' Nord, longitude 14°33' Est, altitude 370 m) est situé à 5 km au Sud du massif rocheux de Koum sur l'axe routier Tcholliré-Touboro par Sorombéo. Il est à 40 km à l'Est de Tcholliré et à 250 km au Sud Est de Garoua (Fig.3.01).

Mbissiri (en dialecte Mboum : l'eau sort du roseau) est une agglomération d'environ 1500 âmes dont près de 450 pratiquent la culture du cotonnier (en 1994). C'est un village d'autochtones de l'éthnie Mboum-Karang qui connaît une immigration d'origine tchadienne (Gambaï) assez instable. La population active se consacre principalement à la production de cultures vivrières et du cotonnier en conditions pluviales. Les principales cultures vivrières : sorgho, maïs, manioc, arachide et niébé, sont destinées à la fois à l'autoconsommation et à la commercialisation. Les Mboums ne maîtrisant pas la technique du grenier à grain, ont été déstabilisés par l'introduction de la rotation coton/céréales/arachide recommandée par la Sodecoton. Le manioc qui leur permettait de mieux gérer la soudure (mars à juillet) n'avait plus de place dans le calendrier cultural. Des crises de famine étaient fréquentes pendant la période de soudure avant la réintroduction du manioc. Certains recourent tout simplement aux ignames sauvages, alors que leurs voisins Dourous cultivent l'igname avec succès.



Source : Carte IGN 4200000 "République Tchad"

### LEGENDE

- |   |                                 |   |  |
|---|---------------------------------|---|--|
|  | Courbe de niveau                |  | Piste  |
|  | Escarpement                     |  | Village                                      |
|  | Ravine                          |  | Bloc expérimental A                          |
|  | Cours d'eau -<br>Zone inondable |  | Limite du terroir (anciens<br>défrichements) |
|  | Cuirasse affleurante            |  | Champs cultivés                              |
|   |                                 |  | Extension du terroir<br>(nouveaux champs)    |

d'après WAECHTER, 1993.

**Figure 3.01 : Carte géomorphologique du terroir de Mbissiri (1/30000)**

Le trait le plus marquant de l'agriculture du village est l'éloignement des champs par rapport à l'habitat. Les terres arables attenantes au village se sont dégradées sous la culture intensive avec labour à la charrue en traction animale ou en motorisation moyenne (tracteur Bouyer) . Depuis 1989, tous les blocs cotonniers ont migré de l'autre côté de la rivière (Mayo Mbissiri) à une distance de 2 à 5 km du village. L'apparition fréquente de cuirasses ferrugineuses affleurantes aggrave le problème de l'éloignement des champs.

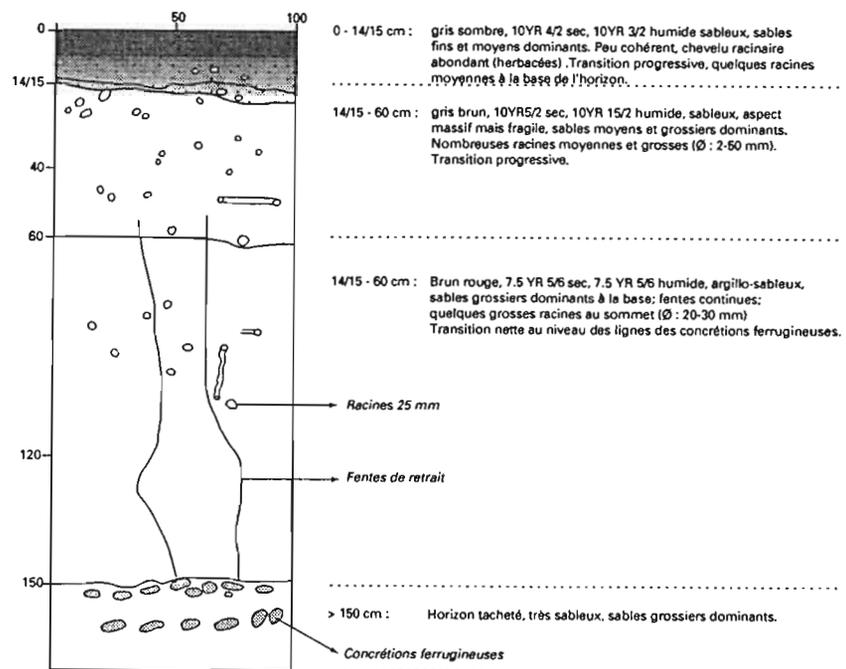
L'élevage traditionnel concerne les caprins et la volaille. Grâce à la culture attelée, le gros bétail est représenté par quelques paires de boeufs. Par contre, les nomades Bororos campent à la périphérie du village avec de grands troupeaux de bovins. Les relations commerciales entre les Bororos et les Mboums concernent les produits laitiers et les animaux de trait d'un côté, et les produits agricoles de l'autre. Mais avec la sédentarisation, les nomades font de l'agriculture, basée sur la valorisation du fumier : les échanges deviennent plutôt à sens unique. Le commerce n'est pas le seul type de relation entre ces deux groupes. Les incursions des troupeaux dans les champs sont fréquentes et à l'origine de conflits sérieux. Les éleveurs ont aussi des problèmes avec les opérateurs touristiques, détenteurs de permis de création de campements de tourisme et de chasse.

### **3.1.2. PAYSAGES GEOMORPHOLOGIQUE ET PEDOLOGIQUE**

Le village de Mbissiri est installé à proximité d'une butte de cuirasse ferrugineuse démantelée du bassin sédimentaire de Koum (Crétacé moyen)(SCHWOERER, 1965). Celle-ci domine vers le Nord un glacis inversé descendant en pente douce dans la dépression sud au pied du Mont Koum. C'est dans cette dépression que les Mayos Gouga et Mbissiri prennent leurs sources avant de se jeter dans le Mayo Rey. Vers le Sud, la butte domine un long glacis de 6 km jusqu'au Mayo Rey. Dans cette section où le Mayo Rey coule régulièrement d' Est en Ouest, on observe de longs glacis qui le relient aux formations résiduelles affleurantes et des courts glacis d'orientation Est-Ouest, issus de l'incision de ses tributaires.

La couverture pédologique dominante du territoire du village ainsi que des zones de l'axe Tcholliré-Mayo Djarendi (75 km) est constituée de sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés sur matériaux divers (Brabant, 1976). Sur les longs glacis, le sol meuble est pris en tenaille entre les cuirasses affleurantes de haut et de bas de pente. Sur les glacis courts, la cuirasse de bas de pente cède sa place soit à des badlands soit à une ligne de résurgence qui annonce la proximité de sols hydromorphes à pseudo-gley à nappes perchées et à faciès vertiques sur schistes ou grès arkosique (Brabant, 1976). Ces sols sont caractérisés par une texture très sableuse de l'horizon A, une faible teneur en matière organique, une faible capacité de rétention en eau, des propriétés chimiques

déficientes et une forte sensibilité à l'érosion. Lorsque l'horizon surmontant la cuirasse a une épaisseur suffisante pour supporter la culture, ces sols sont perméables et bien drainés, à texture homogène, sableuse, et facile à travailler. Les pentes des glacis sont inférieures à 3% sauf sur les segments de raccordement du glacis aux buttes résiduelles ou à l'axe de drainage. Le taux de gravillons du sol décroît rapidement dès qu'on s'éloigne de la cuirasse et que l'épaisseur du sol meuble dépasse 30 cm. Lorsqu'il n'y a pas d'obstacle à leur pénétration, les racines des ligneux peuvent encore être nombreuses jusqu'à 90 centimètres (fig.3.02).



**Figure 3.02 :** Profil pédologique avec distribution des racines moyennes et grosses dans le bloc Savane

La figure 3.03 représente les toposéquences où sont implantés les blocs expérimentaux.

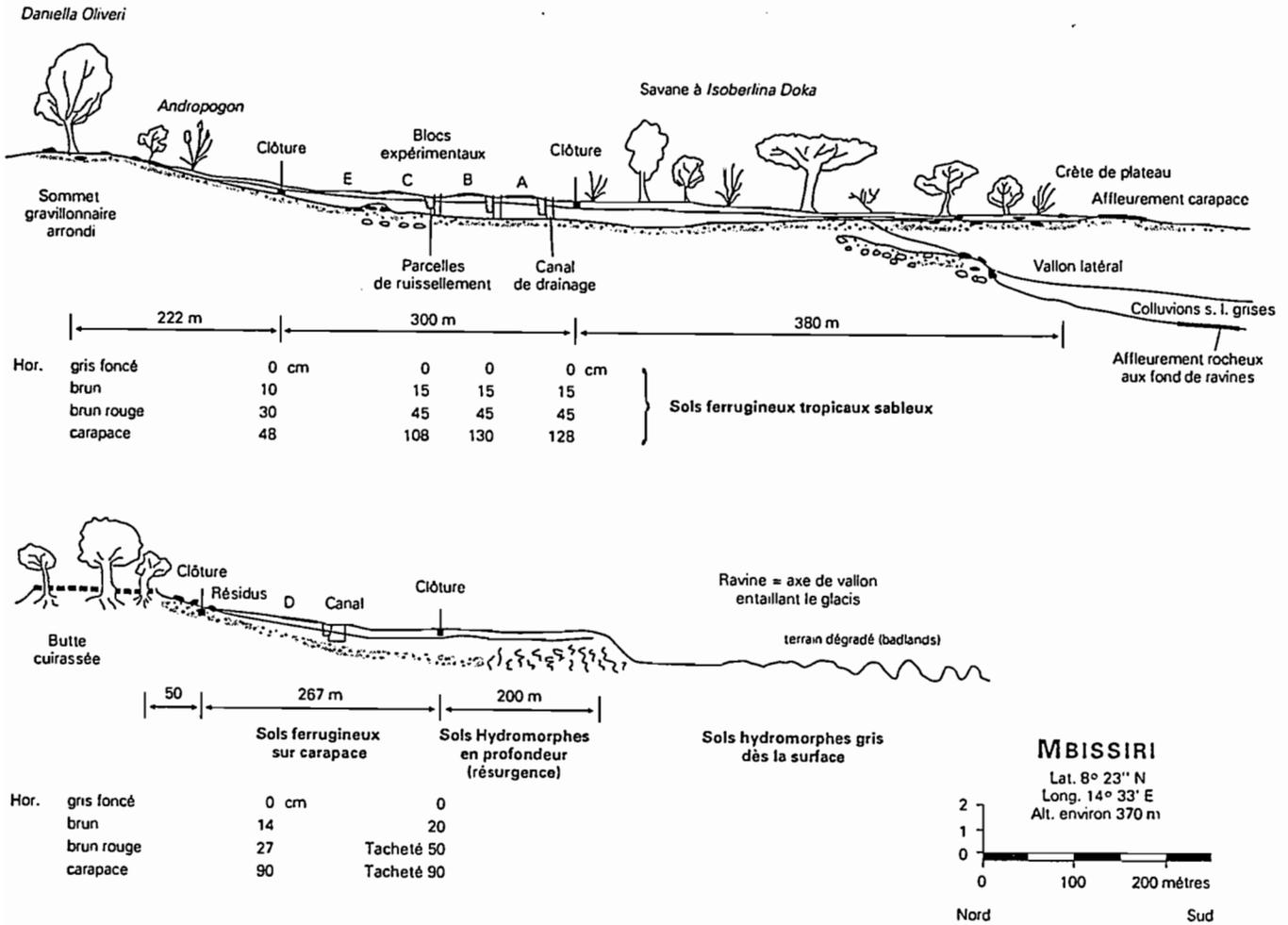


Figure 3.03 : Schéma des toposéquences de la nouvelle défriche (blocs A, B, C, E) et de la vieille défriche (bloc D) (Roose, 1992)

## Terrains et dispositifs expérimentaux.



$\frac{3 \quad | \quad 4}{5}$

- Photo n° 3 : Vue aérienne du site N, 2 mois après la récolte de maïs. De gauche à droite, les blocs A, B, C et E installés le long d'une piste de désenclavement de nouvelles terres.
- Photo n° 4 : Vue aérienne du site dégradé. Le bloc D est en forme de L retourné, au centre et à droite d'un enclos de 4ha. Les traitements Ombrière et Nue sont respectivement les plus sombre et claire. A l'extrémité droite du bloc, les parcelles de 100 m de long sont reconnaissables par leurs bandes végétales.
- Photo n°5 : Vue détaillée du dispositif expérimental. Au premier plan, de gauche à droite, la cuve de stockage (c) communique avec la cuve de partition (b) par la petite fente du partiteur, le canal de sédimentation (a) et la parcelle expérimentale d'érosion délimitée par des morceaux de tôle fichés dans le sol.

## Le milieu naturel



6	7
8	9

Photo n° 6 : Savane mise en défens depuis 3ans. Aspect général buissonnant (fermé) résultant des repousses sur souches, de germination de graines et de la poussée de branches basses de ligneux. Noter la tache de sol nu devant le canal de sédimentation.

Photo n° 7 : Savane brûlée précocement (décembre). Aspect général aéré (ouvert) dû au contrôle de la densité des ligneux et de l'élagage des branches basses par le feu. Deux strates herbacées : herbes hautes issues des repousses de souches, herbes basses issues de germination.

Photo n° 8 : Erosion remontante de la savane naturelle à partir du lit majeur du mayo Rey, en aval de Mayo Djerandi. A droite, la jeune terrasse d'érosion à végétation plus éparse que celle de l'ancienne terrasse, au fond à gauche.

Photo n° 9 : Savane brûlée précocement et pâturée à mi-juin. Aspect général aéré. Un mois après pâturage stationnaire de 3 jours par une paire de boeufs, on aperçoit des plages de sol nu, mais aussi beaucoup de résidus au sol.

### 3.2. CHOIX DES METHODES

Il s'agit d'évaluer les systèmes de culture sélectionnés vis-à-vis de la dégradation et de l'érosion par un suivi spatio-temporel des constituants, de l'organisation et du fonctionnement du système sol-pratiques culturales-climat.

La méthode des parcelles d'érosion nous est apparue la mieux adaptée pour l'évaluation du fonctionnement. Trois variables (ruissellement, pertes en terre et rendement végétal) permettent d'aborder respectivement les bilans d'eau, de matières solides et la réponse du peuplement végétal aux conditions pédoclimatiques ; nous les désignerons comme des "révélateurs de fonctionnement". De plus, nous avons réalisé chaque année, un suivi agro-pédologique des constituants et de l'organisation de l'horizon 0-10 cm du profil cultural des parcelles d'érosion. Enfin une évaluation plus globale de l'organisation a été faite après 2 ans d'expérimentation par l'observation des profils pédologiques et la mesure des densités apparentes. Les variables de caractérisation du sol seront désignées "indicateurs d'état".

La dégradation du sol étant lente, nous ne pouvions cerner certains aspects de celle-ci au bout de quatre années de mesure pour lesquelles le financement a été assuré. Nous avons donc tenté de simuler l'érosion en décapant différentes couches du sol pour évaluer l'effet à long terme de l'érosion en nappe et en rigoles sur les rendements. Plusieurs chercheurs avant nous, ont expérimenté cette méthode (Mbagwu, 1984; Lal, 1988 ; Hart *et al.*, 1980) dont l'utilisation est aussi encouragée par la FAO pour estimer l'impact de l'érosion hydrique sur la productivité.

Enfin, les problèmes de disponibilité du paillis ou de résidus de culture (Roose, 1967; Lal, 1976;) et de faible productivité des systèmes de culture conservateurs (Elwell,1993), nous ont amené à introduire deux essais agronomiques classiques :

- un essai statistique factoriel sur les potentialités de production des résidus de culture en fonction de leur conditionnement,
- un essai de fractionnement de la fumure azotée sous paillage.

### 3.3. LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

Le dispositif expérimental comprend en définitive, un noyau central constitué de parcelles d'érosion complété par des essais agronomiques statistiques.

#### 3.3.1. LES PARCELLES D'EROSION

##### 3.3.1.1. Terrains et matériels

Le dispositif des parcelles d'érosion est déployé sur 2 milieux représentant 2 modes d'utilisation des terres :

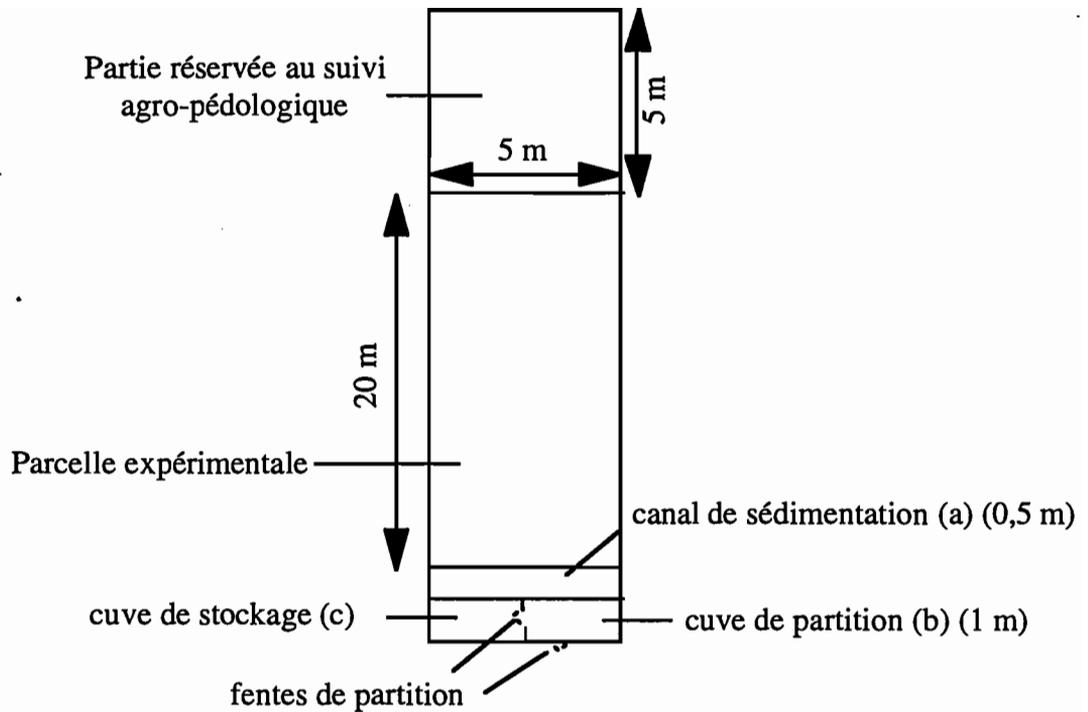
- \* un milieu de référence constitué d'une savane issue d'une mise en jachère d'environ 30 ans et désigné par la suite "bloc Savane" ;
- \* un milieu cultivé comprenant deux sites :
  - . un site récemment défriché (1990) appelé jeune défriche et comportant 3 blocs de parcelles d'érosion, notés respectivement "bloc A", "bloc B" et "bloc C" ;
  - . un site dégradé par près de 30 ans de culture, déclassé pour la culture cotonnière intensive et désigné vieille défriche ou bloc dégradé noté "bloc D".

Le milieu de référence et la nouvelle défriche font un ensemble de proximité appelé nouveau site, tandis que la vieille défriche constitue le site dégradé. Chaque site est muni d'une station de mesure de la pluviosité.

Enfin pour opérer en conditions contrôlées par rapport au bétail, chaque site a été clôturé.

##### A - La parcelle d'érosion type

La parcelle d'érosion (fig. 3.04), est constituée d'une portion de terrain allongée dans le sens de la pente, isolée de son environnement à l'amont et sur les deux côtés, et munie à l'aval d'un dispositif de collecte et de mesure des eaux et des terres érodées. L'isolement de la parcelle a été réalisé dans notre cas par des morceaux de tôles d'aluminium de 20 cm de large fichés dans le sol de la moitié de leur largeur.



**Figure 3.04 : Schéma d'une parcelle d'érosion**

Le dispositif de collecte et de mesure est en béton armé ; il comprend :

- un canal de collecte ouvert sur toute la base de la parcelle; celui-ci est muni d'un bac de sédimentation des particules grossières. Il communique par un tuyau de 10 cm de diamètre avec la cuve de partition ;
- une cuve (de partition) munie d'un système de partition composé de deux cadres métalliques placés à la même altitude; le premier est neuf fois plus large que le second. Le grand cadre déverse dans le fossé extérieur tandis que le petit verse dans la deuxième cuve (stockage). Le stockage maximum permis est de  $4.5 \text{ m}^3$ .

Les deux cuves ont des sections droites et régulières. Les tarages préliminaires permettent de déterminer le coefficient de partition de chaque couple de cadres partiteurs.

Le dispositif de mesure n'est pas couvert. La parcelle est prolongée de 5 m au-delà de la tôle d'isolement. Cette extension offre ainsi une surface de  $25 \text{ m}^2$  pour les observations du profil cultural.

### B - Le milieu de référence : le bloc "Savane"

Le bloc "Savane" comporte 3 parcelles d'érosion de 10 m de large et 20 m de longueur (200 m<sup>2</sup>). Celles-ci ont une pente moyenne de 1%. Elles sont parallèles entre elles et désignées d'est en ouest : Savane 1, Savane 2 et Savane 3. Avant l'implantation de ces parcelles, la savane était brûlée et pâturée annuellement.

### C - Le bloc A

Tous les blocs cultivés du nouveau site ont été défrichés et dessouchés en avril-mai 1990.

Le bloc A occupe le bas du segment de la toposéquence. Il a une pente moyenne légèrement inférieure à 1%. En juillet 1990, il a été nettoyé avec arrachage des touffes de graminées pérennes (*Andropogon* sp., *Pennisetum* sp.), pour un essai à blanc avec le maïs, en non travail du sol et sans engrais. Cet essai a permis de localiser un ancien parc à bétail (Kraal) que nous avons évité lors de l'implantation des parcelles. Le bloc comporte 16 parcelles d'érosion numérotées d'est en ouest. Elles ont la même largeur (5m) et une longueur de 20 m à l'exception des parcelles n° 8, 10, 11 et 12 qui mesurent 40 m de long.

### D - Le Bloc B

Le bloc B est une répétition du bloc A (donc 12 parcelles de 100 m<sup>2</sup> et 4 de 200 m<sup>2</sup>). Il a donc le même historique que ce dernier. Il s'en distingue cependant par sa pente moyenne plus forte, 2 % et par son profil pédologique. Celui-ci présente un horizon A très appauvri et sableux de 4 à 8 cm d'épaisseur. Une plante annuelle à bulbe (*Liliacées*) et à cycle très court, s'y est adaptée. Les parcelles ayant 40 m de longueur sont: n° 5, 6, 7, 8.

Le plan des blocs A, B et C est donné dans la figure 3.05.

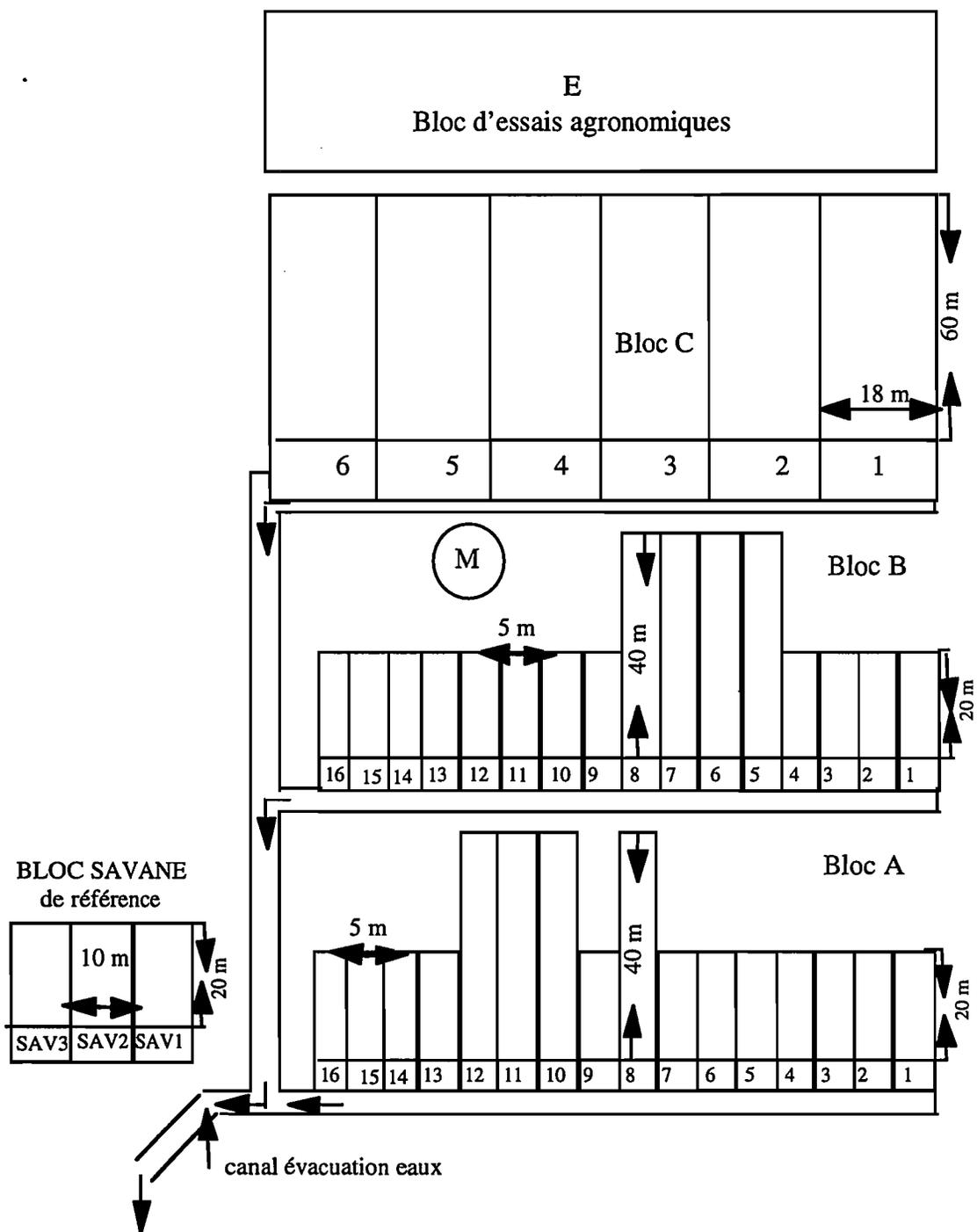


Figure 3.05 : Plan des blocs et des parcelles de la nouvelle défriche

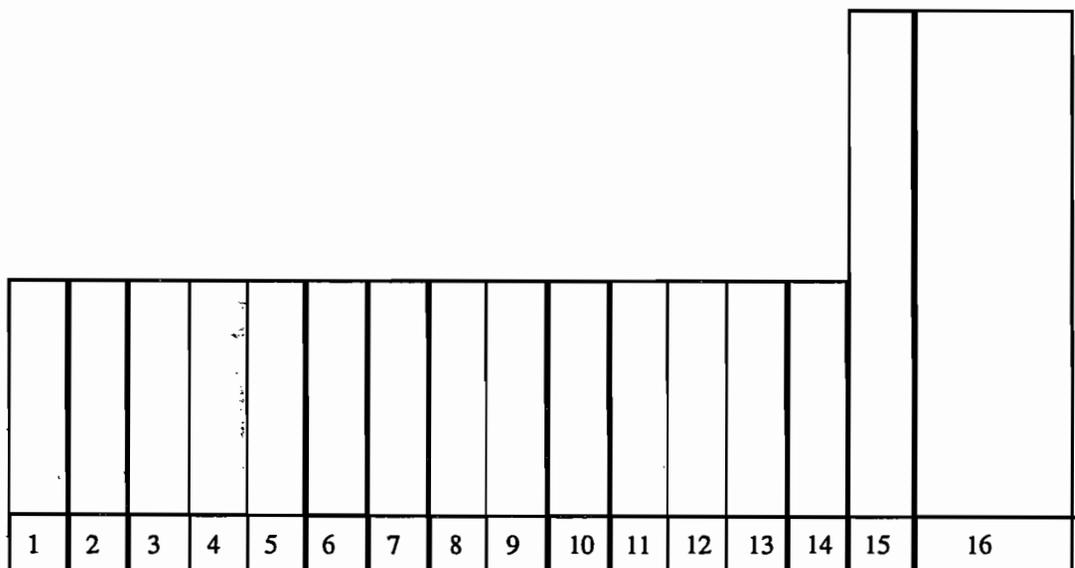
### E - Le bloc C

Ce bloc comporte 6 parcelles de 1080 m<sup>2</sup> chacune (18m x 60m), numérotées d'est en ouest. La pente moyenne est de 2 % sur un segment de la toposéquence où la cuirasse apparaît à 40 cm à l'amont et à 70 cm à l'aval. Contrairement aux blocs A et B, nous n'avons pas mis d'essai à blanc dans le bloc C. Les graminées pérennes n'y ont pas été arrachées.

### F - Le bloc dégradé D

Le bloc dégradé est à 300 m du village. Il a été déclassé après la récolte de 1989. Jusqu'à cette date, il faisait partie d'un sous- bloc carré Sodécoton de près de 6 hectares de terrain labouré et semé dans le sens de la plus forte pente. Un épandage spectaculaire de sable couvrait le bas du champ. En 1990, nous y avons fait un essai à blanc avec le maïs comme plante test, en non travail du sol et sans engrais.

Le bloc D a une pente moyenne de 2,5 %. Les deux premières parcelles sont légèrement inclinées. Le bloc comporte 16 parcelles d'érosion dont les 14 premières ont chacune 100 m<sup>2</sup> de superficie (5m x 20 m). La 15<sup>e</sup> a 500 m<sup>2</sup> (5m x 100m) et la 16<sup>e</sup> 1000 m<sup>2</sup> (10m x 100m). Elles sont parallèles et accolées deux à deux (fig.3.06).



**Figure 3.06 : Plan du bloc et des parcelles du site dégradé**

## G - Stations de mesure de la pluviosité

Chaque site est équipé de:

- un pluviomètre ordinaire à lecture directe à 1,50 m au-dessus du sol ;
- deux pluviomètres ordinaires à lecture directe à 0,40 m au-dessus du sol ;
- un pluviographe à rotation journalière et à augets basculeurs à bague de . 400 cm<sup>2</sup> située à 1,50 m au-dessus du sol.

Le pluviomètre normalisé et le pluviographe sont placés au centre de chaque site. Les pluviomètres à 0,40 cm du sol sont situés de part et d'autre de ce noyau central d'observation pour étudier à la fois l'hétérogénéité spatiale des pluies dans chaque site et l'effet du vent sur l'apport de pluie au niveau du sol.

### *3.3.1.2 - Les traitements*

Les traitements ont été choisis à la suite de nombreuses discussions avec les responsables techniques des organismes d'encadrement rural (SODECOTON et NEB), les agronomes et pédologues de l'IRA Nord, le représentant du CIRAD au projet Garoua et le Dr E. Roose, partenaire ORSTOM. Cette concertation était nécessaire pour tenir compte à la fois des problèmes théoriques et pratiques locaux, des solutions envisageables et des collaborations attendues.

#### A - En milieu de référence

Trois traitements ont été appliqués :

- la protection intégrale contre le feu et le pâturage des troupeaux (Sav.1) ;
- le feu précoce : savane brûlée 1 à 2 mois (nov- déc) après la fin de la saison des pluies (Sav. 2) ;
- le traitement au feu précoce puis pâturage (Sav. 3). Il consiste à mettre le feu le même jour qu'en sav. 2 et de faire pâturer par une paire de boeufs pendant trois jours dans la deuxième décade de juin.

#### B - Blocs cultivés A, B, C et D

Les traitements choisis entrent dans les deux groupes de systèmes de culture qui sont ressortis de la revue bibliographique (labour conventionnel et travail conservatoire).

Dans le système conventionnel, deux témoins sont définis :

+ **Le témoin international** ou parcelle de Wischmeier (NUE) est introduit pour appliquer le modèle USLE à nos résultats. Il est représenté dans les blocs A, B et D. Les

parcelles ont été piquetées et le sol maintenu nu depuis juillet 1990. Elles sont par la suite labourées le même jour que les autres du même groupe; la surface est remuée chaque fois qu'il y a une intervention aratoire dans les parcelles cultivées conventionnellement pour briser les pellicules de battance et les croûtes de sédimentation (OPS). L'enherbement est maintenu en dessous du seuil de 5% de la surface par arrachage manuel des adventices.

+ **Le témoin régional** mécanisé (TRM) représente l'application de la fiche de vulgarisation du système d'intensification de la Sodecoton. Il comporte un labour à la charrue à soc en traction bovine ou motorisé (notre option de départ étant la motorisation pour accélérer la dégradation), suivi du semis, de l'apport d'engrais, du premier sarclage, puis du sarclo-buttage après épandage de l'urée de couverture au 30-45 j après semis ; la date de buttage dépend de l'état de la végétation des jeunes plants.

Des variantes du témoin régional sont définies en fonction des thématiques : couvert végétal, matières organiques, longueur de pente, protection du sol et cloisonnement de la pente :

**TRM Dx2** : la densité double est introduite comme variante du thème couvert végétal ; l'interligne de semis est réduite à 41, 5 cm au lieu de 83 cm sur le témoin régional.

**TMR 40** : la longueur de la parcelle est portée à 40 m pour voir s'il y a un effet cumulatif du ruissellement le long de la pente (facteur SL/USLE).

Trois variantes matières organiques sont introduites :

**TRM-Fumier** (le fumier enfoui) : l'équivalent de 3 t/ha de crottes de chèvres est épandu juste avant le labour, sauf en première année où la terre de parc a été apportée en surface après le labour.

**TRM-Résidus** : Les résidus de culture enfouis ; ceux du maïs gardés en tas sont épandus juste avant le labour ; ceux du coton sont coupés en morceaux de 20 à 30 cm, puis étalés sur le sol avant le labour de la parcelle.

**TRM-paillage** (MULCH) : le paillage relève à la fois de la thématique matières organiques et de celle de la couverture du sol. L'équivalent de 5t/ha de paille est étalé sur la parcelle juste après le labour. La première année nous avons utilisé la biomasse fraîche de feuilles de graminées qui ayant séché, est devenue moins couvrante. A partir de la deuxième année, nous avons utilisé la biomasse sèche des tiges d'Andropogon devenue disponible dans nos enclos.

**TRM-Ombrière** (Ombrière) : le traitement "Ombrière" a été introduit comme variante de couverture de sol pour séparer les aspects apport énergétique et apport d'eau par la pluie. Il est réalisé par la couverture de la parcelle juste après le labour par une

double toile grillagée en polyéthylène à maille carrée de 4 mm. Les deux feuillets réunis sont tendus à 10 cm de la surface du sol pour dissiper l'énergie cinétique des gouttes de pluie.

La première année, par manque de matériel, le traitement n'était réalisé que sur le bloc D, l'ombrière étant posé à même le sol. Sur les blocs A et B, il était remplacé par le paillis. Indépendamment de la nature des matériaux, TRM-Paillage et TRM-Ombrière constituent le groupe ECRAN.

Trois variantes de cloisonnement du milieu ont été retenues :

**BILLONS Cloisonnés (BILLONS)** : après le labour, les billons sont confectionnés dans le sens de la longueur de la parcelle et les cloisons reliant les billons sont élevés tous les 2 m. Le semis est réalisé au sommet des billons.

**HAIES VIVES (HV)** : elles sont réalisées sur des parcelles de 40 m en A et B, 60 m en C et 100 m en D. La première année, une bande de haie vive de *Cassia siamea* et de *Cajanus cajan* de 2 m de largeur est installée tous les 20 m après le labour. La partie cultivée (18 m) est labourée tous les ans à la traction bovine.

**BANDES ENHERBEES (BH)**, comme les haies vives, sont implantées sur des parcelles de 40 m sur des blocs A et B. Après le labour de première année, des éclats d'Andropogon ont été plantés en ligne sur une largeur de 1 m tous les 10 m. La partie cultivée est labourée annuellement à la traction bovine. Les haies vives et les bandes enherbées sont taillées au début de chaque cycle cultural.

Ces deux dernières constituent le groupe BANDES VEGETALES.

Dans le système conservateur, la présence d'une litière est en principe obligatoire en surface. Celle-ci est constituée de résidus de culture et/ou d'adventices traitées aux herbicides totaux. Il n'y a pas d'apport extérieur de litière ou de résidus de culture sur la parcelle.

Cette condition de présence de litière implique qu'en absence de résidus de culture de la campagne précédente sur le sol, on doit attendre que les adventices poussent de 20 à 30 cm avant de les traiter. On prend de ce fait un retard au semis. Dans la savane soudanienne à nuance humide, la longueur de la saison des pluies (7 mois) ne constitue pas un obstacle pour la satisfaction de cette condition. Généralement les premières pluies d'avril ou mai permettent d'avoir dès début juin une biomasse d'adventices suffisante pour la réalisation des systèmes à travail réduit. On notera cependant qu'après une longue jachère, la levée des adventices à partir de semis est très faible si les graminées pérennes sont arrachées lors du défrichement.

Le **ZERO TILLAGE** ou **NON TRAVAIL DU SOL SOUS LITIERE (ZT)** est la référence de ce groupe. Il consiste au traitement des adventices par un herbicide total (Paraquat et/ou Glyphosate etc.) puis au semis sous la litière. Le sol n'est ouvert que pour y déposer la semence et les engrais. Sous culture de cotonniers, le désherbage est manuel. Sous maïs, on fait un traitement pré-émergent ( ex. Atrazine ) juste après le semis.

Trois variantes du système de culture conservateur sont introduites :

**ZERO TILLAGE avec le *Calopogonium mucunoïdes* (ZT-Calo.)** : la première année, le *Calopogonium mucunoïdes* est semé un mois après la culture. Les autres années il repart à partir de ses semences ( auto-régénération).

**ZT CALO 40 m** : le zéro-tillage avec *Calopogonium mucunoïdes* est appliqué sur 40 m et ne diffère du précédent que par la longueur de la parcelle qui passe de 20 à 40 m.

**MINITILLAGE (MINITIL)**: Ici le travail d'ameublissement du sol est limité à la ligne de semis sur environ 15 cm de large. La terre n'est pas retournée mais éclatée par un outil à dent (ex. cultivateur, chisel en traction, pioche en manuel).

#### C - Traitements spécifiques au bloc D

**NON BUTTAGE** : un traitement labour sans buttage est introduit après les deux premiers sarclages pour estimer par comparaison avec le TRM, l'effet du buttage.

**ZT 100 m** : un autre traitement zéro tillage est réalisé sur 100 m avec des haies vives de 2 m tous les 20 m.

Trois traitements de restauration de la productivité du sol sont introduits :

**JACHERE 1993 et 1994**). Aucune intervention humaine susceptible d'influencer la végétation ou le sol n'est faite.

**JACHERE AMELIOREE** : la jachère améliorée de 2 ans (1991 et 1992) est reprise comme la précédente en zéro tillage (93 et 94). L'amélioration consiste à implanter le *Calopogonium mucunoïdes*, une légumineuse de couverture auto-régénératrice et adaptée dans la zone soudanienne humide (Klein, 1994).

**MINITIL-SORGHO** : dans ce traitement, le sorgho est introduit en ouverture des cycles de céréales en système de travail réduit pour bénéficier des effets de ses puissantes racines pour régénérer la macroporosité du sol ainsi que de son abondante et persistante masse de résidus.

## D - Evolution des traitements

Des modifications de traitements sont intervenues après l'évaluation des résultats des deux premières années ainsi que de l'évolution des pratiques culturales chez les paysans.

Sur les blocs A et B :

**A15 et B1** : un des traitements zéro tillage est transformé dans chaque bloc en "semis direct de Sodecoton" ( SD/SDC ). Cette technique consiste à demarrer la culture en zéro- tillage en employant les herbicides totaux pour le contrôle des adventices avant le semis, puis à revenir au système conventionnel en buttant les cultures au moment de l'apport de l'urée de couverture.

Sur le bloc C :

**C1** : le billonnage cloisonné est remplacé par le buttage cloisonné après labour et semis perpendiculaires à la pente. Le billonnage cloisonné a été déclassé après confirmation de ses effets négatifs sur la productivité.

**C4** : Haie vive en zéro tillage devient en 1993, haie vive avec labour, semis et buttage perpendiculaires à la pente, les haies vives n'ayant pas montré un effet notable avec un traitement zéro tillage.

**C6** : ZT devient TRM non butté en 1993 puis ZT après décompactage en 1994 pour tenir compte de l'hypothèse d'amélioration des systèmes de travail du sol conservateurs par un décompactage compte tenu des observations faites sur les profils culturaux en 1992.

Sur le bloc D :

**D5** : à partir de 1993, le traitement Mulch (labour +paillis) devient ZT après décompactage.

**D12** : la parcelle de 20 m est prolongée pour introduire un témoin régional sur 40m (TRM40) au bloc dégradé .

**D13** : zérotillage devient mulch (labour + paillis)

**D16** : Pour améliorer l'enracinement, le traitement Haie Vive en zéro-tillage est transformé en Haie Vive en mini-tillage.

Le tableau 3.01 indique la distribution des traitements dans les différents blocs et parcelles.

**Tableau 3.01 :** Affectation des traitements dans les parcelles d'érosion (\* : parcelles ayant changé de traitement)

Savane		Bloc B		Bloc A		Bloc D	
3	Savane brûlée et pâturée	16	TRM Densité x 2	16	ZT Clao	16	Haie vive ZT / 100 m
2	Savane brûlée précocement	15	TRM	15	ZT*	15	Haie vive TRM / 100 m
1	Savane mise en défens	14	Billons cloisonnés	14	ZT	14	ZT Calo
<b>Bloc C</b>		13	TRM + Fumier	13	Minitil	13	ZT *
6	ZT *	12	TRM + Résidus	12	ZT Calo 40 m	12	ZT *
		11	MULCH	11	Haie vive	11	Minitil
5	ZT	10	Ombrière	10	Bande Herbe	10	NUE
		9	NUE	9	NUE	9	Minitil Sorgho
4	Haie vive en ZT *	8	Haie vive	8	TRM 40 m	8	Jachère améliorée
		7	Bande Herbe	7	Ombrière	7	Jachère naturelle
3	Haie vive Labour et semis II pte	6	TRM 40 m	6	Mulch	6	Ombrière
		5	ZT Calo 40 m	5	TRM + Résidus	5	Mulch *
2	TRM	4	Minitil	4	TRM + Fumier	4	TRM + Résidus
		3	ZT Calo	3	Billons cloisonnés	3	TRM + Fumier
1	Billons * cloisonnés	2	ZT	2	TRM Densité x 2	2	TRM
		1	ZT *	1	TRM	1	TRM non billonné

### 3.3.1.3. Les variables mesurées

#### A - Les pluies

La hauteur des précipitations est obtenue par lecture directe du pluviomètre, donnée en mm, au 0,1 mm près.

L'enregistrement est fait à l'aide d'un pluviographe à augets basculeurs, à rotation journalière et à bague de 400 cm<sup>2</sup>.

Deux averses sont considérées comme séparées, s'il pleut moins de 1 mm en 6 heures entre elles (Wischmeier, 1960). Les relevés sont faits le matin à 7 h.00, sauf lorsqu' intervient une pluie dans la journée laissant le temps de faire les observations et de vider les cuves.

#### B - Le ruissellement

Le ruissellement (R) est une lame d'eau qui sort au bas de la parcelle au cours d'une pluie. La différence entre les lames d'eau précipitées (P) et ruisselées (R) permet d'évaluer l'infiltration (I), en négligeant les pertes par évaporation au cours de la pluie.

$$I = P - R$$

Il est exprimé soit en hauteur de la lame d'eau pluviale ( $L_r$  en mm), soit en pourcentage par rapport à la hauteur de la pluie (coefficient de ruissellement  $KR \% = LR/P$ ).

Les cuves de notre dispositif étant rigides et parallélépipédiques, la détermination du volume ruisselé peut se faire soit par tarage préliminaire (cas bloc savane), soit par calcul à partir des hauteurs d'eau observées dans les différents compartiments. Le canal de sédimentation (compartiment a) étant de forme irrégulière, son contenu est transféré par pompage dans la cuve de partition (b).

Selon l'importance du ruissellement, les compartiments se remplissent les uns après les autres dans l'ordre a , b et c. La relation générale qui relie le volume ruisselé aux dimensions des cuves et aux hauteurs d'eau dans les compartiments est :

$$V_r = S_b(h_a+h_b) - P(S_a+S_b) + K_p S_c(h_c-P)$$

$V_r$  = volume ruisselé en  $m^3$  ;

$S_b$  = la section de la cuve b en  $m^2$  ;

$S_a$  = la section extérieure du canal a en  $m^2$  ;

$S_c$  = la section de la cuve c en  $m^2$  ;

$K_p$  = le rapport de partition des eaux en sortant de la cuve b ;

$h_a$  = la hauteur d'eau du canal dans la cuve b en m ;

$h_b$  = la hauteur d'eau dans la cuve b en m ;

$h_c$  = la hauteur d'eau dans la cuve c en m ;

$S_b (h_a+h_b)$  = volume d'eau dans le canal et dans la cuve b en  $m^3$  ;

$P (S_a+S_b)$  = pluie tombée directement dans le canal et dans la cuve b en  $m^3$  ;

$K_p S_c (h_c-P)$  = volume d'eau transité par la cuve b après son débordement en  $m^3$

$$\text{La lame ruisselée } L_r = \frac{\text{volume ruisselé}}{\text{surface parcelle}} \text{ (en mm)}$$

$$\text{Le coefficient de ruissellement } K_r = \frac{L_r}{P} \times 100$$

Le coefficient de ruissellement annuel moyen (KRAM) est égal au quotient des sommes des lames ruisselées cumulées de l'année ou du cycle d'observation, par la somme des pluies cumulées (ayant ruisselé ou pas) de l'année ou du cycle correspondant.

Les résultats globaux sont exprimés par :

KRMax : coefficient de ruissellement maximal observé au cours d'une averse importante.

$$KRAM = \frac{\text{somme des Lr sur 1 an}}{\text{somme des P sur 1 an}} \text{ (en \%)} \text{ coefficient de ruissellement annuel moyen.}$$

### C - Les pertes en terre

C'est la quantité de matières solides E qui s'échappe au bas de la parcelle. Les pertes en terre se présentent sous forme de sédiments grossiers (Sg) au fond du canal et sous forme de matières en suspension (MES) dans les eaux de ruissellement :

$$E = Sg + MES$$

Elles sont exprimées en tonnes/ha/an.

La détermination des sédiments grossiers est faite sur le terrain par la méthode de pesée des boues à volume constant rapportée du Zimbabwe par Roose (1991). Le poids sec des sédiments est obtenu grâce à une courbe d'étalonnage obtenue en pesant des poids de terre séchée croissants dans un même seau rempli d'eau à ras bord.

Les matières en suspension (turbidité) sont déterminées de la façon suivante : un échantillon de 10 l d'eau est prélevé après agitation de l'eau ruissellée dans la cuve de partition. Les matières en suspension sont floculées par une solution de sulfate d'alumine (5%) pendant au moins 48 h. Après siphonnage du surnageant, on recueille le culot dans une bouteille de 1l où l'on fait une deuxième floculation. Le culot recueilli sur un filtre préalablement pesé passe 24 heures à l'étuve à 105°C avant d'être pesé. La turbidité T est exprimée en g/l de ruissellement.

Pour des raisons de logistique, il ne nous a pas été possible de faire cette observation pour toutes les pluies ayant généré un ruissellement.

Les sédiments fins ont été cumulés par période et seront analysés dans le cadre d'un autre travail en cours.

### D - Les rendements des cultures dans les parcelles d'érosion

Le coton graine est pesé à la récolte (décembre- janvier). Les tiges sont à leur tour coupées et pesées sur la parcelle. Le maïs est récolté en épis, pesé, puis séché et égrainé. Le grain sec est pesé de même que les tiges. Les productions parcellaires sont exprimées en tonnes par hectare (t/ha).

## Les différents traitements testés



10	11
12	13

*Photo n° 10 : Fumier de chèvre épandu (3 t/ha) juste avant le labour à la charrue à soc. Noter l'importance de la phase globuleuse (crottes) de ce fumier ; la phase poudrette est dominante, mais peu visible ici.*

*Photo n° 11 : Labour à plat (25-30 cm) à l'aide d'une charrue à soc.*

*Photo n° 12 : Profil pédologique de la parcelle D10 (Nue) 11 mois après le labour. Effets du labour bien conservés sous l'organisation pelliculaire superficielle : à droite, on voit les mottes et les vides entre mottes. En bas, transition très nette entre couches travaillées et non travaillées.*

*Photo n° 13 : Vue du bloc C après labour et avant la pose des tôles d'isolement des parcelles.*

## Les différents traitements testés



14	15
16	17

Photo n° 14 : Billons cloisonnés sur le bloc B avant le semis ; écartement : 82 cm entre billons, 2 m entre cloisons. Surface des billons aplaniée à la daba pour réduire la dégradation sous le choc des gouttes de pluie.

Photo n° 15 : Vue du bloc C après le labour et le placement des tôles d'isolement. A droite la parcelle labourée perpendiculairement à la pente du terrain. Noter la dénivellée entre le bord du canal et la surface du sol. Au centre, les bandes végétales de 2 m de large tous les 20 m.

Photo n° 16 : Vue d'une parcelle de maïs en densité double (TRMx2) au début de la floraison mâle : 100.000pieds/ha (lignes à 42 cm).

Photo n° 17 : Vue d'une bande végétale mixte de *Cassia siamea*, de *Cajanus cajan* et de graminées diverses de 2 m de largeur, en fin de campagne.

## Les différents traitements testés



18	19
20	21

Photo n° 18 : Pose d'une double toile d'ombrière juste après le labour (D<sub>6</sub>) et tendu à 10 cm au-dessus du sol...

Photo n° 19 : À la levée, des trous sont percés dans l'ombrière à l'aplomb des jeunes plantules pour faciliter leur émergence.

Photo n° 20 : Etat de la surface d'une parcelle paillée (mulch) aux tiges d'Andropogon à 5t/ha. Il ne reste que quelques plages de sol nu.

Photo n° 21 : Vue des horizons superficiels du profil de sol du bloc dégradé (D) en zéro tillage. Au-dessus du couteau, horizon sableux et bouillant de 5 à 10 cm d'épaisseur, présentant une structure lamellaire. En dessous, un horizon plus cohérent ( $d_a = 1,6$  à  $1,8 \text{ kg dm}^{-3}$ ) et un peu plus sombre à sa partie supérieure : horizon humifère recouvert de sédiments sableux.

## Les différents traitements testés



22	23
24	25

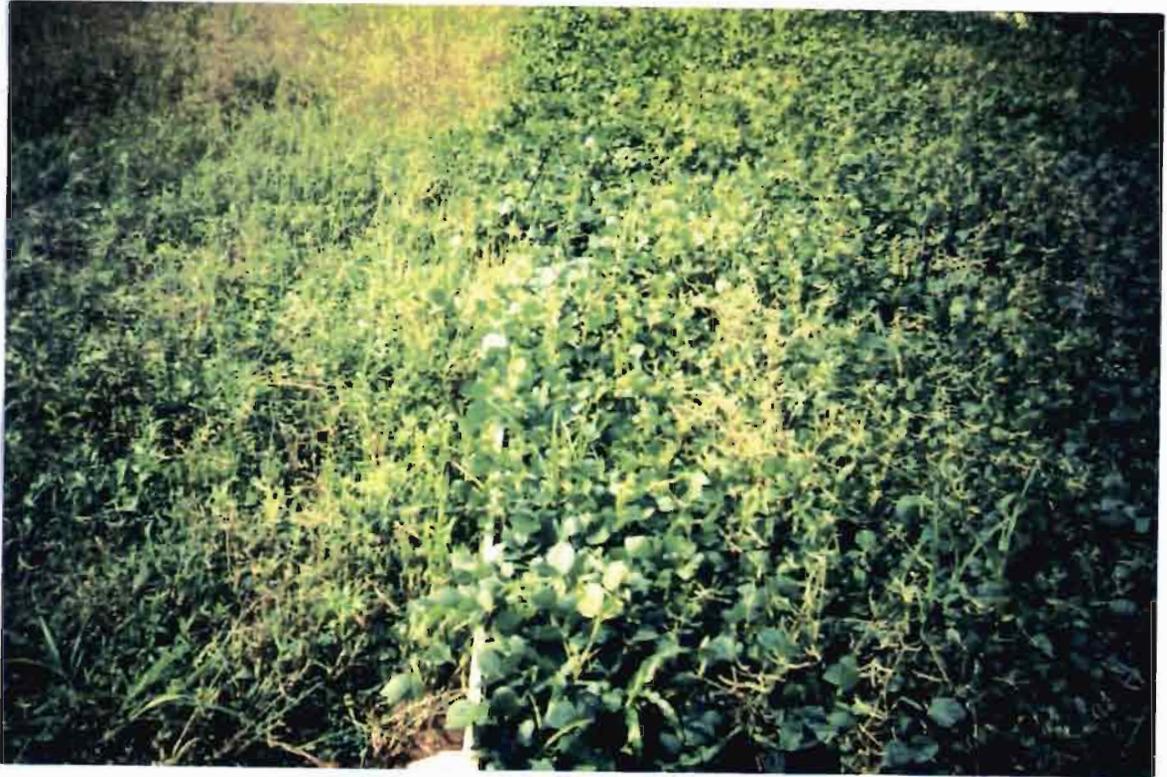
*Photo n° 22 : Parcelle de travail du sol réduit à la ligne de semis (travail minimum) réalisable à l'aide d'un outil à dent en attelage, mais aussi par un simple piochage manuel, après le traitement des adventices à l'herbicide total. La grande partie de la surface du sol reste couverte.*

*Photo n° 23 : Parcelle de Zéro tillage de 40 m de long après semis sous adventices et Calogonium m. "grillés" à l'aide d'un herbicide total. Toute la surface du sol reste couverte.*

*Photo n° 24 : A droite Semis direct Sodécoton, à gauche, Zéro tillage (ZT). Les deux parcelles étaient semblables jusqu'au jour où, après épandage d'urée en surface sur celle de droite, on l'a butté (retour au système conventionnel). A gauche sur ZT, les résidus de maïs de la campagne précédente sont encore abondants en surface.*

*Photo n° 25 : Epandage d'urée et buttage mécanique chez un paysan. A droite, la femme épand l'urée sur la ligne de cotonniers, à gauche, l'attelage suit en recouvrant l'engrais tout en sarclant l'interligne au corps sarco-butteur.*

## Les différents traitements testés



*Photo n° 26 : Parcelles en jachère après 13 mois d'établissement : à gauche la jachère naturelle, à droite la jachère améliorée au *Calopogonium mucunoides*.*



*Photo n° 27 : Une vue de l'essai fractionnement de l'azote sous Zéro tillage en année sèche. Au premier plan, la parcelle témoin sans litière en surface est la plus enherbée : la litière réduit l'enherbement.*

## E - Analyse des résultats

Les traitements définis ci-dessus s'organisent en groupes thématiques d'un ou plusieurs représentants. La comparaison des moyennes des résultats sera faite entre groupes et à l'intérieur des groupes, entre traitements, en prenant comme repère général, le TRM. Le ZT sert de référence au groupe "travail du sol réduit".

Le bloc D disposant de neuf traitements communs avec les blocs A et B, une méthode de l'analyse de la variance adaptée aux dispositifs incomplets est choisie. La méthode de l'analyse de la variance avec calcul des contrastes est utilisée.

Le tableau 3.02 donne les conditions générales de réalisation culturale sur les parcelles d'érosion.

**Tableau 3.02 :** Conditions générales de réalisation culturale sur les parcelles d'érosion

année	1991	1992	1993	9, 1944
objet				
Plante test	Cotonnier	Maïs	Cotonnier	Maïs
Labour force	Charrue à soc tractée	Charrue à soc tractée	Charrue à soc attelée	Charrue à soc tractée
Date	5-7 juillet	18 jun	18-20 juin	19 et 20 juin
Herbicide total	Glyphosphate (1l/ha) et paraquate (4 l/ha)	idem	idem	idem
Herbicide pré-émergent	-	Lasso : 6 l/ha	-	Lasso 6 l/ha
Date semis	10/7 (D) 16/7 (A, B, C)	20/6 (D) 22/6 (A, B, C)	21/6 (A, D) 22/6 (B, C)	22 juin (A, B, C, D)
Densité normale	83 cm x 25 cm	83 cm x 25 cm	83 cm x 25 cm	83 cm x 25 cm
Densité double	41,5 cm x 25 cm	41,5 cm x 25 cm	41,5 cm x 25 cm	41,5 cm x 25 cm
Engrais	200 kg/ha NPKSB (15-20-15-6-1) + 50 kg urée/ha au semis + 50 kg urée/ha au buttage	100 kg/ha NPKSB (15-20-45-6-1) + 50 kg urée/ha au semis + 50 kg urée/ha au buttage + 5 kg/ha de sulfate de zinc	200 kg/ha NPKSB (15-20-15-6-1) + 50 kg urée/ha au semis + 50 kg urée/ha au buttage	100 kg/ha NPKSB (15-20-45-6-1) + 50 kg urée/ha au semis + 50 kg urée/ha au buttage
Fumier	6 t/ha terre de parc à boeufs après labour	3 t/ha de fécès séchés caprins	idem	idem
Date buttage	8-10 août	20 et 21 juillet	2 et 3 août	25 et 26 juillet

### 3.3.1.4. Suivi agro-pédologique

Dans cette section sont indiquées les méthodes utilisées, d'une part pour repérer les hétérogénéités du terrain à éviter ou à prendre en compte, et d'autre part pour caractériser les états de constituants et de l'organisation à un moment donné, leurs variations étant les conséquences des effets des traitements.

## A - Caractérisation des blocs expérimentaux

### a) Evaluation de l'hétérogénéité des blocs :

En juillet 1990, nous avons testé l'homogénéité de chacun des blocs A, B et D en y conduisant un essai à blanc d'une culture de maïs en non labour et sans engrais. L'allure de la végétation et la productivité de la biomasse des carrés de récolte au sein du bloc devant nous renseigner sur leur homogénéité.

### b) Caractérisation pédologique :

Les profils représentatifs des blocs et les états de surface caractéristiques identifiés visuellement ou révélés par l'essai à blanc ont fait l'objet de prélèvement d'échantillons pour la détermination au temps  $t_1$  de leur textures, des matières organiques, du pH et du complexe d'échange cationique. Les échantillons n'ont pas été prélevés au moment du défrichage ( $t_0$ ).

## B - Suivi des horizons 0-10 cm (1991 : $t_1$ , 1993 : $t_3$ , 1994 : $t_4$ , 1995 : $t_5$ )

La couche superficielle du sol est celle qui subit le plus de modifications au contact des agents climatiques et anthropiques. Des prélèvements sur les 10 premiers cms de sol des traitements représentatifs des principales thématiques ont été réalisés pour les déterminations suivantes :

- texture : argile, limons, limons grossiers, sables fins, sables grossiers ;
- pF 4.2, pF 3.0, pF 1.8 ;
- Matière organique : Corg, N total ;
- Phosphore: Ptotal et Polsen modifié ;
- complexe adsorbant : Ca, Mg, K, Na, pH eau, pHKCl ;
- oligo-éléments (DTA) : Mn, Cu, Zn, Fe, B soluble.

L'échantillon soumis à l'analyse est tiré d'un échantillon, composite provenant d'environ 16 prélèvements individuels réalisés sur la diagonale de la parcelle.

Les échantillons ont été analysés au laboratoire des sols du CIRAD à Montpellier et à celui de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Dschang au Cameroun.

## C - Mesure de la capacité d'infiltration

Nous avons mesuré la capacité d'infiltration des états de surface caractéristiques des deux milieux à la méthode au monocylindre (Roose *et al.*, 1994). Elle consiste à chronométrer cm après cm, l'infiltration d'une lame d'eau de 5 cm maintenue dans un

cylindre de 10 cm de diamètre. Celui-ci est enfoncé de 1 à 2 cm dans le sol sans en perturber l'état de surface. Lorsque la lame d'eau disparaît, une coupe verticale de la tache humide dans le sens perpendiculaire à la pente permet d'observer et de dessiner la forme de tache sur cette coupe verticale. Les caractéristiques de celle-ci permettent de corriger la vitesse d'infiltration par rapport à la succion latérale (état sec seulement).

#### D - Quantification des états de surface

Selon Casenave et Valentin (1989), un "état de surface désigne une seule, une juxtaposition voire un système de "surfaces élémentaires" caractérisées par : le couvert végétal du sol, la surface du sol et les organisations pelliculaires superficielles (OPS) qui ont subi des transformations sous l'effet des facteurs météorologiques, fauniques ou anthropiques".

La méthode de quantification consiste à :

- faire un inventaire de reconnaissance des états de surfaces élémentaires ;
- tracer deux transects en diagonale au sein de la parcelle à l'aide d'un ruban décimétrique ;
- noter tous les 5 cm le type d'état de surface rencontré ;
- regrouper les états de surface élémentaires sous trois grandes familles: fermées, couvertes et ouvertes dans lesquelles on ventile les effectifs des surfaces élémentaires. L'ensemble des surfaces fermées, ouvertes et couvertes forment un total de 100 %.

Les surfaces fermées, comprennent les pellicules de battance, les croûtes de sédimentation, les sables libres peu épais reposant sur une surface fermée et les cailloux pris dans la masse du sol. Les surfaces ouvertes regroupent les nappes de gravillons ou de sables libres, les mottes, les fissures, et traces d'activités biologiques. Elles sont poreuses et très perméables.

Les surfaces couvertes enfin sont constituées de la canopée de la culture, des adventices, des litières, des cailloux ou des fragments de poteries reposant sur le sol (non pris dans la masse).

#### E - Les profils pédologiques et les densités apparentes

Après les deux premières campagnes, nous avons ouvert des profils de 50 cm de profondeur dans les parcelles d'érosion. Des observations visuelles et tactiles ont été faites sur la différenciation des horizons : structure, répartition de la matière organique, conservation des effets de labour, cohésion, etc. Dans chaque horizon, nous avons effectué au minimum deux mesures de densité apparente avec le cylindre de 100 cm<sup>3</sup>.

Là où le prélèvement du sol n'était pas possible avec le cylindre (macrovides, structure bouillante), nous avons fait une appréciation globale de la porosité. Pour estimer la cohésion des volumes du profil, nous avons aussi utilisé un test de pénétration d'une lame de couteau appliquée vivement dans chaque volume homogène. La pénétration est exprimée en cm/coup.

#### F - Les profils hydriques

Le comportement hydrique des sols des traitements représentatifs a été suivi par la méthode de prélèvement des échantillons à la tarière suivi d'une pesée à l'état humide, puis d'une autre après séchage à l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant.

Les échantillons étant très sableux, le séchage était terminé après 24 h. Les prélèvements ont été effectués sur les tranches de 10 cm jusqu'à 20 cm et de 20 cm jusqu'à 100 cm de profondeur. Le suivi a été généralement réalisé avec un pas de temps décadaire ou par rapport aux pluies.

#### G - Les profils culturaux

D'après Henin *et al.* (1969), le profil cultural est un ensemble constitué par la succession des couches de terre, individualisées par l'intervention des instruments de culture, les racines des végétaux et les facteurs naturels réagissant à ces actions. Nous avons recouru à l'observation de ces ensembles aux 30<sup>e</sup> et 60<sup>e</sup> jas (jours après semis) pour chercher des facteurs explicatifs des variables mesurées (ruissellement et rendement) à travers un diagnostic sur l'infiltration et le comportement végétal. La cartographie de la répartition numérique des racines a été faite à l'aide d'une grille de maille carrée de 2 cm de côté. Les hauteurs des plantes ont été notées.

#### H - Autres suivis de fonctionnement

##### a) Suivi de la végétation du bloc savane :

La végétation des parcelles savane a été décrite en 1991 et suivie annuellement (Donfack) afin de voir d'une part, l'effet des traitements sur la végétation et d'autre part, les effets des traitements sur le ruissellement et l'érosion mesurés sur celles-ci. L'évaluation est basée sur le nombre d'individus pour les ligneux, et le nombre d'espèces pour les herbacées.

##### b) Evaluation de l'activité des vers de terre :

Les vers de terre sont très actifs dans la zone de savane soudanienne humide. En milieu naturel, ils remuent continuellement le sol au point qu'il n'est pas un décimètre de sol meuble qui échappe à leur activité. Nous avons donc systématiquement compté le

nombre de turricules par parcelles (1993 et 1994) pour voir l'effet des techniques culturales sur l'activité de cette faune.

### **3.3.2. LES PARCELLES AGRONOMIQUES**

Nous avons conduit 3 essais statistiques sur les résidus de culture, le décapage du sol et le fractionnement de la fumure azotée en présence d'un paillage frais.

#### ***3.3.2.1. Essai sur les potentialités des résidus de culture***

En climat tropical à 2 saisons, on ne peut généralement réaliser qu'un seul cycle cultural pluvial annuel. L'exploitation des résidus de culture d'une année n'intervient que pour le compte des travaux du cycle suivant, à moins qu'on envisage de les enfouir aussitôt après la récolte. Dans le cas d'enfouissement en début de campagne ou d'utilisation comme mulch, les résidus subissent une dégradation physique pendant la longue saison sèche. Il est donc indispensable de connaître la quantité de résidus disponible au moment de leur utilisation.

Cet essai avait deux objectifs :

1. Quantifier les variations de masse des résidus des principales cultures en rotation avec le cotonnier pendant l'intercampagne, les parcelles étant mises en défens vis à vis des troupeaux et du feu,
2. Trouver le mode de conditionnement optimisant leur conservation au champ.

Le dispositif statistique expérimental est un factoriel en split plot à quatre répétitions. La parcelle principale mesure 18m x 8m (144 m<sup>2</sup>) et la secondaire 6m x 8m (48 m<sup>2</sup>). Les traitements principaux sont constitués par les espèces végétales:

- arachide, plantée à la densité de 200000 pieds/ha (50cm x 10 cm)
- le niébé, planté à 50 000 pieds/ ha (80cm x 25cm)
- le maïs, planté à 62 500 pieds/ ha (80cm x 40cm, 2 plants/ poquet)
- le sorgho, planté à 93750 pieds/ ha (80cm x 40cm, 3 plants/ poquet).

Trois traitements sont appliqués aux résidus de chaque parcelle :

- résidus laissés en place sans aucun conditionnement (LP)
- résidus regroupés dans les interlignes une ligne sur deux. (RL)
- résidus regroupés en un seul tas (ET).

L'essai a été conduit dans les deux sites en 1990 et 1991. Les résidus sont pesés à la récolte (octobre- novembre) et à la fin de la saison sèche (mi- avril). Les échantillons

de résidus sont séchés à l'étuve ventilée à 105°C. Les poids sont exprimés en kg/parcelle et en t/ha de matière sèche.

### ***3.3.2.2. Essai de décapage superficiel***

La méthode de simulation de l'érosion par le décapage superficiel du sol est utilisée pour l'estimation de l'impact de l'érosion sur la productivité. Elle simule les effets de l'érosion à long terme, car le phénomène naturel n'est pas aussi brutal, mais procède plutôt par sélectivité. Le dispositif expérimental est constitué de blocs entièrement randomisés comportant 6 traitements et trois répétitions. Un essai à blanc a permis de tester l'homogénéité de la parcelle en 1991 en utilisant le maïs comme plante test en non travail du sol avec litière et une fertilisation uniforme.

Les blocs et les parcelles ont été délimités en juillet 1993. La parcelle élémentaire mesure 5m x 10m = 50 m<sup>2</sup>, la parcelle utile 5m x 6.68m = 33.4 m<sup>2</sup>.

Les traitements correspondant aux épaisseurs de sol décapé en cm : 0.0, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5 et 15.0, ont été réalisés après le piquetage, à l'aide d'outils manuels. Toutes les parcelles ont été labourées à la charrue à soc en traction bovine après le décapage. Le maïs (CMS- 8507) est utilisé comme plante test à l'écartement de 83 cm entre les lignes et 25 cm sur la ligne (48.192 pl/ha). La fumure uniforme apportée est équivalente à 100kg/ ha NPKSB (15.20.15.6.1) + 100 kg/ ha d'urée à 45% moitié au semis, moitié au buttage.

Les observations portent sur : la levée (date et pourcentage), la végétation, (vigueur, maladies, pestes, verse, etc..), la récolte (nombre de plants, nombre d'épis, remplissage et poids des épis, poids des pailles, poids des grains secs).

### ***3.3.2.3. Essai fractionnement de la fumure azotée sous un paillage frais***

Nous avons observé dès la première année sur les parcelles d'érosion que les plantes jaunissaient et manquaient de vigueur sur tous les traitements en travail de sol réduit et à un moindre degré sur la variante "labour + paillis"(mulch) et même sur le témoin labouré des blocs A, B et C. Ce problème connu de beaucoup d'agronomes opérant en milieu tropical est généralement expliqué comme étant une "faim d'azote". Nous avons cherché à apporter une solution à cette contrainte généralisée sur les systèmes de travail du sol conservatoire en essayant de modifier le fractionnement de la fumure azotée.

Le dispositif expérimental est constitué de blocs complètement randomisés comportant cinq traitements et quatre répétitions. La parcelle élémentaire est de 5m x 8m = 40 m<sup>2</sup>. La parcelle utile (lignes centrales) est de 5 m x 4.8 m = 24 m<sup>2</sup>. Les traitements comprennent :

- un témoin vulgarisé non paillé (TRM) : NPKSB + 1/2 urée au semis et 1/2 urée au buttage
- quatre variantes paillées, différant soit par la date du premier apport d'engrais, soit par le fractionnement de l'urée et les dates d'apport, comme indiqué au tableau des traitements ci- dessous (tabl. 3.03).

**Tableau 3.03 :** *Traitements de l'essai fractionnement de l'azote sur les systèmes de culture couverts (labour + paillage et zéro-tillage)*

	Semis	Levée 7è j.	21è j.	28è j.	35è j.	42è j.
T1	100 kg/ha NPKSB + 50 kg/ha urée	-	-	-	50 kg/ha urée	-
T2	-	100 kg/ha NPKSB + 50 kg/ha urée	-	-	50 kg/ha urée	-
T3*	100 kg/ha NPKSB + 50 kg/ha urée	-	-	-	50 kg/ha urée	-
T4	100 kg/ha NPKSB + 20 kg/ha urée	-	40 kg/ha urée	-	40 kg/ha urée	-
T5	-	100 kg/ha NPKSB + 20 kg/ha urée	-	40 kg/ha urée	-	40 kg/ha urée

\* : Sans paille  
 NPKSB : 100 kg/ha ---> 400 g/parcelle  
 Urée : 50 kg/ha ---> 200 g/parcelle  
 40 kg/ha ---> 160 g/parcelle

L'essai est conduit en labour + mulch et en zéro-tillage (non labour sous litière). Il a été conduit en 1993 et 1994 avec le maïs (CMS 8507) comme plante test semé à 62 500 plant/ ha (80 cm entre les lignes et 20 cm sur la ligne, demarié à un plant).

Les observations portent sur le nombre de plants à la levée et à la récolte; la vigueur générale, les maladies et les pestes; la verse; le nombre d'épis récoltés; le poids des épis et des pailles; le poids des grains secs.

### 3.4. PRECISION ET REPRESENTATIVITE DES RESULTATS

#### 3.4.1. LES PLUIES

Les pluviomètres à lecture directe utilisés sont gradués au dixième de mm. Pour une même pluie, quatre lectures sont faites par site.

\* trois sur les pluviomètres à lecture directe : une à 150 cm au-dessus du sol (standard), deux à 40 cm ;

\* une à partir du seau du pluviographe.

Les écarts moyens (4 ans) entre les deux pluviomètres au sol (40 cm) du même site puis entre leur moyenne et celle du pluviomètre standard sont respectivement de 2,5 % et 0,7 %.

Entre le pluviomètre standard et le pluviographe, l'écart moyen en 4 ans est de 1.9 % ; il est dû surtout à la rétention (0,5 mm), à l'évaporation et aux pertes lors du passage du seau à l'éprouvette graduée. Les erreurs sont par conséquent faibles sur cette observation.

Sur le plan de la représentativité, on notera qu'à court terme, les observations ne représentent que le point où est installé le pluviomètre. Les variations de pluviosité entre les sites D et N portent non seulement sur la hauteur des pluies journalières, mais aussi sur le nombre de jours de pluie à une échelle de temps considérée.

### **3.4.2. LE RUISSELLEMENT**

Les sections des cuves étant constantes, le volume ruisselé est fonction des hauteurs d'eau ( $h_i$ ) dans celles-ci. Deux principales sources d'erreurs leur sont attachées : l'erreur de lecture et l'erreur des partiteurs.

#### ***3.4.2.1. Erreur de lecture***

Les hauteurs d'eau dans les différentes cuves sont mesurées à l'aide d'un mètre gradué à 0,5 cm. La lecture est effectuée soit directement sur le plan d'eau (angle de lecture oblique), soit en repérant la trace du niveau d'eau sur le mètre, puis en le ramenant à la hauteur des yeux. L'erreur de lecture est plus importante dans la cuve. Elle n'atteint pas 0,5 cm. lorsque le plan d'eau est relativement calme. Cependant la règle n'étant pas toujours posée exactement au même endroit, on peut estimer l'erreur maximale de la lecture des hauteurs d'eau dans les cuves b et c à 1 cm. Celles-ci ayant des sections moyennes de 2 et 4 m<sup>2</sup>, cette erreur correspond à des volumes respectifs de 20 et 40 litres d'eau dans les cuves et à des lames ruisselées respectives de 0,2 et 0,4 mm. sur la parcelle de 100 m<sup>2</sup>. En cas de répartition d'eau dans les trois compartiments, les erreurs étant additives, on obtient une estimation de l'erreur de 0,8 mm. sur la lame ruisselée.

L'erreur sur la lecture des hauteurs d'eau dans les cuves, affecte très peu la mesure du volume ruisselé.

#### ***3.4.2.2. Erreur due aux partiteurs***

Les partiteurs représentent la principale source d'erreur de la mesure du volume ruisselé, une fois que la cuve b a débordé. Leur imperfection se situe à quatre niveaux :

- les partiteurs ne sont pas toujours exactement à la même altitude ;
- ils n'ont pas la même largeur (1/9) , ce qui fait que le tirant d'eau est plus important sur le partiteur le plus large ;
- l'un peut être partiellement obturé par les débris végétaux pendant que l'autre fonctionne activement ;
- étant sur deux plans orthogonaux, une direction du vent favorable à l'un, défavorise l'autre.

Seules les pluies qui produisent des ruissellements supérieurs au stockage de base sont concernées par cette erreur. Celui-ci est égal à la somme des volumes d'eau dans le canal et dans la cuve b au début du fonctionnement des partiteurs .Il est égal en moyenne à  $2,1 \text{ m}^3$  (1,8 à 2,3). La précision de la mesure du volume ruisselé est d'autant meilleure que le stockage de base est élevé.

Soit :  $L_r$  = lame ruisselée totale,

$L_{re}$  = partie de celle-ci allant à l'extérieur du dispositif,

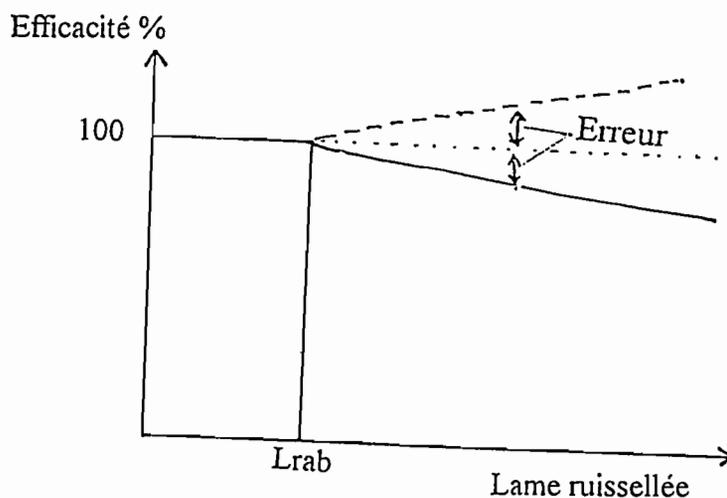
$L_{rc}$  = partie stockée dans la cuve c, diminuée de la pluie,

$L_{rab}$  = le stockage de base diminué de la pluie,

on a :  $L_r = L_{rab} + L_{rc} + L_{re}$ .

L'erreur de partition du ruissellement ne concerne que  $L_{re}$ , lié à  $L_{rc}$  par le coefficient de partition  $K_p = 1 + L_{re}/L_{rc}$ .

La figure 3.07 schématise l'efficacité de la mesure de la lame ruisselée en fonction du volume de celle-ci et du stockage de base.



**Fig.3.07 :** Efficacité et erreur sur la mesure du ruissellement en fonction de la lame ruisselée et du stockage de base

On voit que plus grand est le volume ruisselé, plus importante est l'erreur au-delà du stockage de base. On pourrait donc améliorer la précision de la mesure du ruissellement en augmentant le stockage de base : suppression du partiteur extérieur de b, élargissement de la communication entre b et c et pose d'un partiteur à la sortie de c. On aurait  $L_{rab} = 6 \text{ m}^3$ .

Pour une pluie générant un ruissellement supérieur au volume de stockage, l'erreur peut dépasser 20 % (Roose, 1973) pour des cuves et des partiteurs protégés du vent.

A défaut d'un camion citerne pour tarer les partiteurs au fur et à mesure qu'ils étaient posés, nous attendions chaque fois que le ruissellement débordait de la cuve b avant de procéder au tarage. L'annexe n° 3.01 donne les coefficients de partition des cuves qui ont pu être tarées. Il s'en distingue quatre familles de partiteurs :

- partiteurs satisfaisants :  $7 < K_p < 13$  ;
- partiteurs évalués en excès :  $K_p > 13$  ;
- partiteurs déficitaires :  $K_p < 7$  ;
- les partiteurs non tarés, cuves b rarement pleines :  $K_p = 10$ .

Comme il y a eu généralement peu de pluies entraînant le débordement de la cuve b, l'erreur sur le coefficient de ruissellement annuel moyen (KRAM %) est répartie sur les autres pluies et ne devrait dépasser guère 5 %. Le KRMAX peut par contre être apprécié avec une erreur plus forte. Le tableau 3.04 donne le nombre de pluies ayant entraîné un débordement des cuves b.

**Tableau 3.04 :** Nombre de pluies ayant ruisselé sur au moins une parcelle et nombre de cas de débordements annuels des cuves b

Blocs	Nombre de pluies ayant ruisselé (i)				Nombre de cas débordement cuve b					Traitements ayant souvent débordé	
	A	B	C	D	A	B	C	D	(3)		
Année											
1991	13	13	13	13	31	33	9	36	208 78 (C)	En N, toutes sauf Billons et ZT (C) En D, NUE et TRM	
1992	24	24	24	25	85	72	30	71	384 (N) 400 (D) 144 (C)	NUE et TRM	
1993	19	19	19	19	20	24	23	31	304 114 (C)	NUE et TRM	
1994	23	23	23	23	33	42	24	69	368 138 (C)	NUE et TRM	

(1) : sur au moins une parcelle du bloc

(3) :  $i \times 16$  = nombre de cas possible de débordement (A, B et D)

$i \times 6$  = nombre de cas possible de débordement (bloc C)

### **3.4.3. LES PERTES EN TERRE**

Les pertes en terre sont constituées de sédiments grossiers pesés au champ et des matières en suspension (MES) prélevées dans les eaux de ruissellement, flocculées puis séchées avant d'être pesées.

#### ***3.4.3.1. Les terres de fond (sédiments grossiers)***

Le poids des terres sèches est obtenu par lecture directe ou après extrapolation sur la courbe d'étalonnage.

Les pesées sont faites à l'aide d'une balance de 50 kg de portée et de 100 g de précision. Une erreur de 100 g/100m<sup>2</sup> à la pesée correspond à 10 kg/ha.

#### ***3.4.3.2. Les Matières En Suspension (MES)***

Normalement les prélèvements suivent le plus vite possible les événements pluvieux (1 à 12 h). Au-delà, les limons se sont déposés et nécessitent d'être ramenés en suspension avant l'échantillonnage. Les MES sont généralement sous-estimées du fait d'une remise en suspension insuffisante lors de l'échantillonnage. Nous avons observé que lorsque le temps était long entre le début de la pluie et la prise d'échantillon, les MES sédimentées au fond de la cuve B étaient fortement collées à cette surface. Une simple agitation avec le volume d'un seau d'eau ne les remettait pas totalement en suspension.

### **3.4.4. RENDEMENTS VEGETAUX**

Les récoltes ont été pesées à 100 g près, soit avec une erreur de 10 kg/ha. Les épis de maïs sont récoltés en novembre puis mis à sécher. Après egrenage et séchage des grains, ces derniers sont pesés. Quant au coton il est récolté et pesé en janvier. A cette période, le taux d'humidité du coton graine varie dans la région entre 6 et 7 %. Les dégâts par les animaux ont été peu importants. Ce n'est qu'en 1992 que les singes ont touché quelques parcelles de maïs sur le bloc A. Le Striga redouté sur le bloc D n'a pas fait de dégâts visibles.

La précision peut cependant être moins bonne sur les résidus de culture des parcelles d'érosion que sur les grains de maïs ou sur le coton graine. Le vent, les opérations de récolte des épis ou du coton graine et leur manipulation avant pesée peuvent constituer des sources d'erreur.

### **3.5.CONCLUSION**

#### **3.5.1. SUR LA REPRESENTATIVITE DU SITE**

Le village de Mbissiri est le deuxième plus gros groupement de production cotonnière du secteur Sodecoton de Tcholliré, après celui de Mayo Galké qui bénéficie d'un apport de population rattachée à l'usine d'égrenage de coton qu'il abrite. Mbissiri possède encore des réserves en terres importantes, malgré l'éloignement relatif de celles-ci. On sait que d'autres villages tel que Gouga ont atteint le seuil de l'éloignement, les paysans se trouvant obligés de revenir sur des jachères non "mûres".

#### **3.5.2. DU POINT DE VUE DES SOLS**

Nous relèverons tout d'abord que les ressources en terre effectives sont celles qui sont désenclavées par un axe routier économiquement viable, permettant aux paysans de vendre leurs produits ou de se déplacer facilement. En outre les sols doivent être bien drainés pour répondre aux exigences de la culture pluviale. Ces deux facteurs justifient la mise en valeur des terres marginales par leur faible profondeur (une dizaine de cm sur une cuirasse) et leur texture gravillonnaire. Les sols ferrugineux lessivés indurés et les sols ferrugineux lessivés à concrétions qui ont les mêmes caractères de profils (Brabant, 1974) sont les plus représentatifs du bassin de Koum sur la Fueille Rey-Bouba (Brabant, 1974) et d'une façon générale dans le SEB voire dans la zone de savane humide. Pontanier (1981) indique que ces sols ferrugineux sont les plus recherchés pour l'agriculture pluviale qui, dans cette région est pratiquement l'exclusivité. Ces sols se trouvent être les mieux désenclavés, car le tracé routier suit préférentiellement les milieux exondés.

La complexité des unités cartographiques de ces groupes de sols est liée à leur matériaux originels, à la profondeur des horizons indurés, à la présence de concrétions et à leur association dans l'espace avec les sols bien drainants.

Les sols de nos dispositifs ne comportaient de façon significative, ni gravillons, ni cailloux dans l'horizon meuble. La profondeur moyenne de l'apparition de la cuirasse est de 120 cm dans les blocs Savane et A, 100 cm dans le bloc B; 50 cm dans les blocs C et D, 40 cm dans le bloc des essais agronomiques (E).

#### **3.5.3. SUR LA METHODOLOGIE**

La méthode des parcelles d'érosion sous pluies naturelles est pour le moment la seule qui simule au mieux les conditions de champ (milieu réel) tout en permettant une approche multi- fonctionnelle des systèmes "sol x pratique culturale x végétal x climat".

L'estimation d'un révélateur de fonctionnement tel que le rendement végétal, n'est qu'une petite fenêtre ouverte sur un ensemble complexe et à un instant donné. Il paraît objectivement fondé de penser que plus de fonctions on suit simultanément, mieux on est renseigné sur les effets et les interactions des composantes de ces systèmes.

La référence au modèle USLE vise dans un premier temps la validation de son utilisation dans nos conditions moyennant plus ou moins d'adaptation. Une fois défini le domaine de son application, nous pourrions passer à l'évaluation des impacts des techniques culturales vis à vis de l'érosion ainsi qu'à celle des mesures antiérosives testées et plus tard à la prédiction des pertes en terre.

#### **3.5.4. SUR LA PRECISION DES OBSERVATIONS (PROBLEMES DE REPETITION)**

Devant un problème aussi complexe et un dispositif lourd, nous avons eu à choisir entre la recherche d'un grand nombre de données sur un nombre de propositions techniques très limité, et le test de plusieurs propositions techniques dérivées des facteurs de l'équation de Wischmeier et Smith (1960,1978)( USLE ).

La première voie permettait le traitement statistique des résultats, avec la possibilité d'individualiser les effets et les degrés d'intervention des facteurs par rapport à l'hétérogénéité du milieu et aux facteurs aléatoires. Elle avait par contre l'inconvénient de prendre plus de temps pour aborder les différentes thématiques contenues dans les facteurs de l'USLE et envisageables dans le contexte du Sud-Est Bénoué. En plus on perdrait beaucoup d'informations sur les interactions, conduisant au risque de réduction de la base de comparaison, la pluviosité en particulier n'étant pas la même d'une année à l'autre.

La deuxième voie, celle que nous avons adoptée, a consisté à faire un minimum de répétitions (trois blocs A B et D) et de tester le maximum de propositions techniques représentatives des principales thématiques contenues dans les facteurs de l'USLE et dont la variation pouvait être trouvée sur le terrain (SL) ou induite expérimentalement (K, C, P). Ce nombre limité de répétitions (3) pouvait cependant être compensé par la répétition d'un nombre élevé d'évènements pluviométriques (ruissellement et érosion) dont les effets moyens annuels éliminent une importante partie de la variation aléatoire et renseignent plutôt sur les relations de cause à effet entre les facteurs et les variables mesurées. Les avantages spécifiques de cette option sont :

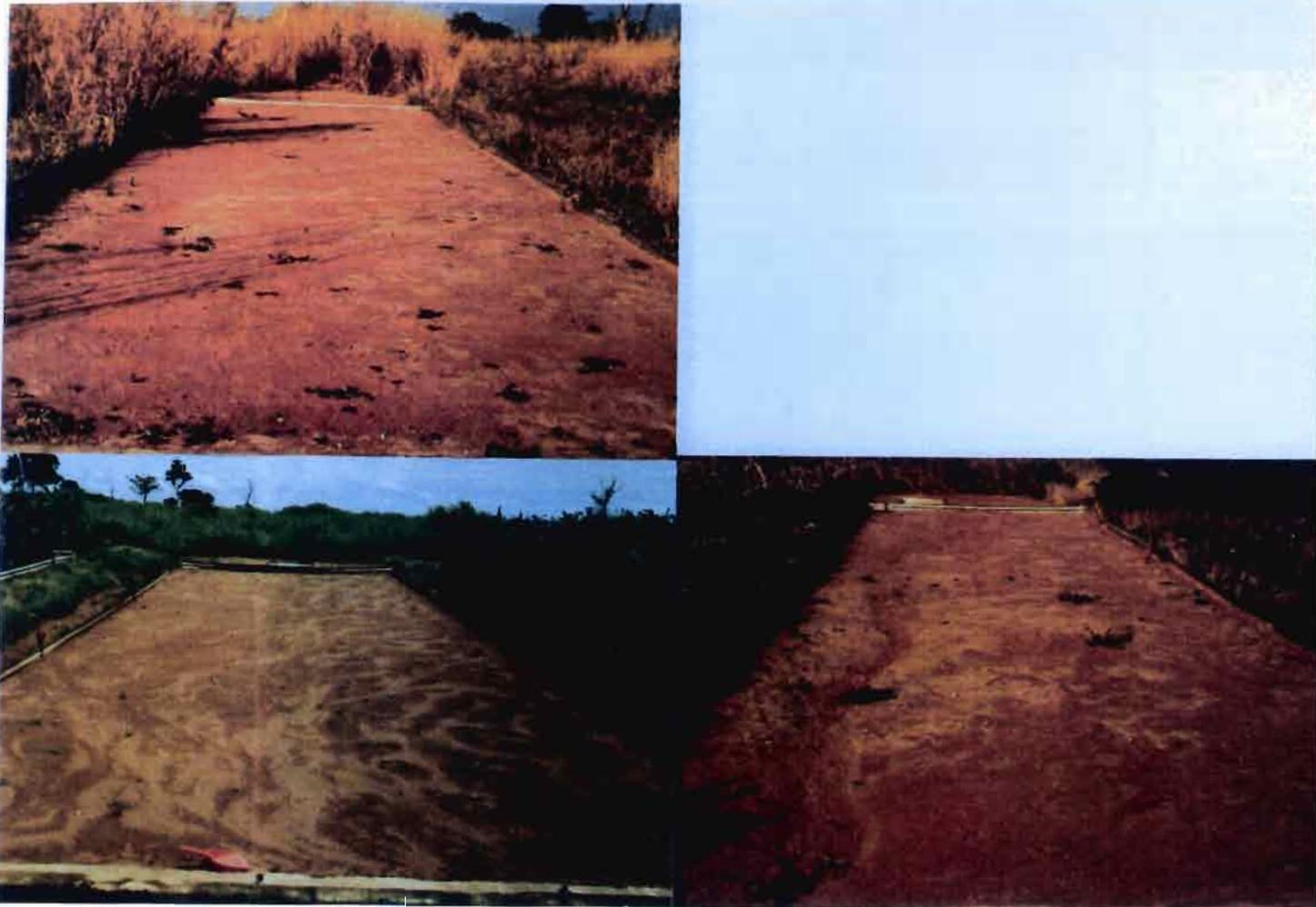
- une base de comparaison des effets et des interactions plus large,
- l'exploitation des convergences des effets qui remplaceraient valablement les répétitions,

- la souplesse du dispositif, permettant l'évaluation et l'élimination à mi-parcours d'un traitement puis l'introduction d'un autre sans altérer le plan d'analyse des résultats.

Des résultats obtenus sur ce dispositif assez complexe, nous attendons recueillir, pour les quatre cycles de cultures, une masse d'informations à travers lesquelles il sera possible de mieux comprendre les processus et d'enregistrer les interactions entre facteurs. De là, notre capacité d'explication des processus et des phénomènes observés sera renforcée, nos propositions d'itinéraires techniques ou d'hypothèses de recherches futures plus cohérentes.

Toutes les observations n'ont pas été quantifiées. Il nous arrivera donc de recourir à une photographie, à un schéma ou à une simple description de celles que nous jugerons importantes.

## Etats de surface



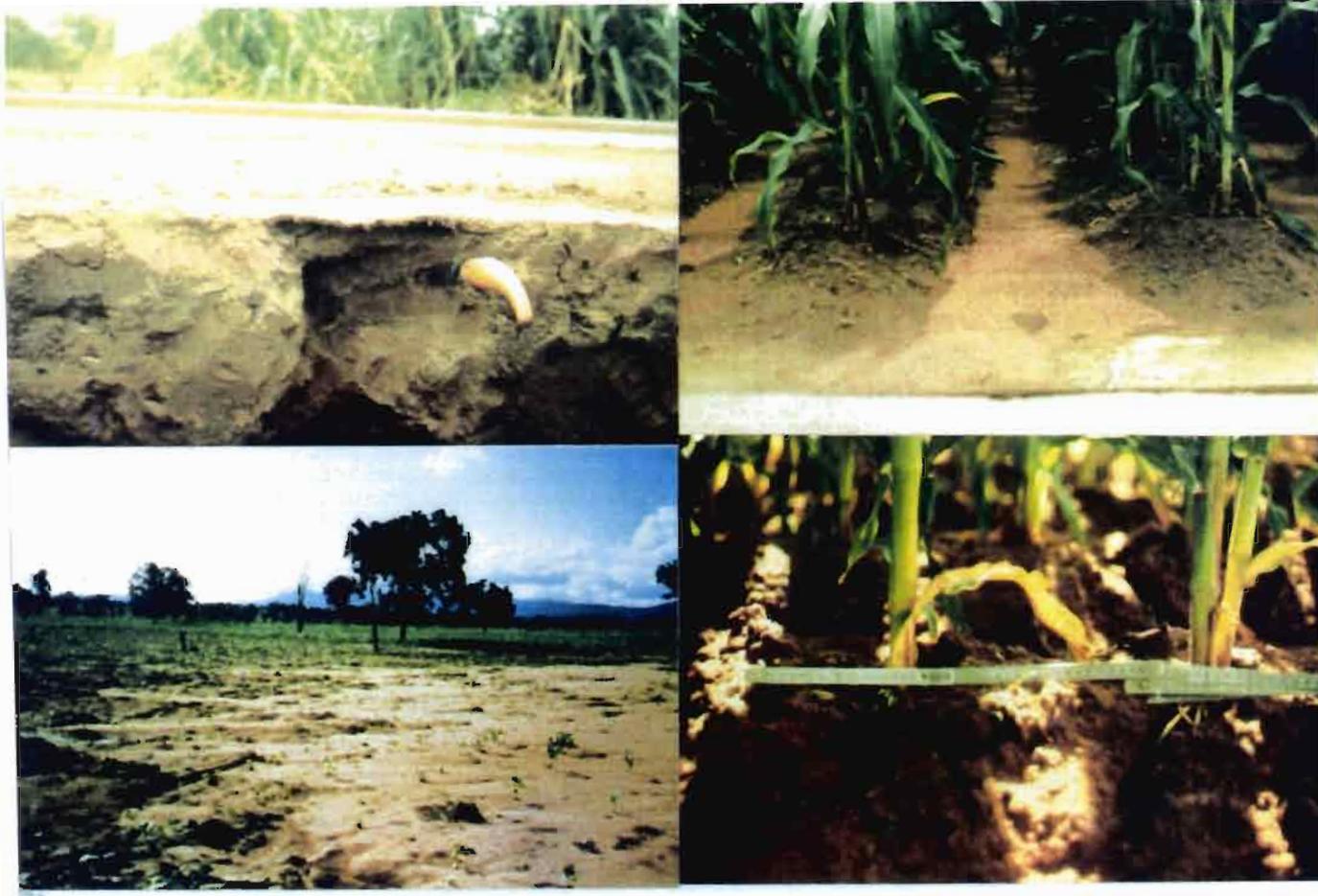
28	
29	30

Photo n° 28 : Parcelle nue  $A_9$  (pente : 1 %) avec deux états de surface caractéristiques : les aires brun rouge, sableuses, issues de processus de sédimentation, et les aires brun jaune, lisses (pellicules). A gauche, une ébauche de rigole qui n'a pu s'approfondir.

Photo n° 29 : Parcelle nue  $D_{10}$  (pente : 2,5 %) en fin de phase de la réduction de la rugosité, plus avancée à gauche qu'à droite. Dépôts de sables de plus en plus continus vers le bas. A droite, dominance des taches grises entourées de bandes sableuses. Evolution vers une surface régulière sans rigole.

Photo n° 30 : Parcelle nue  $B_9$  (pente : 2 %). On retrouve les mêmes états qu'en  $A_9$ , mais l'approfondissement de la rigole à gauche réduit les sédimentations de sables dans la parcelle et augmente fortement l'érosion.

## Etats de surface



31	32
33	34

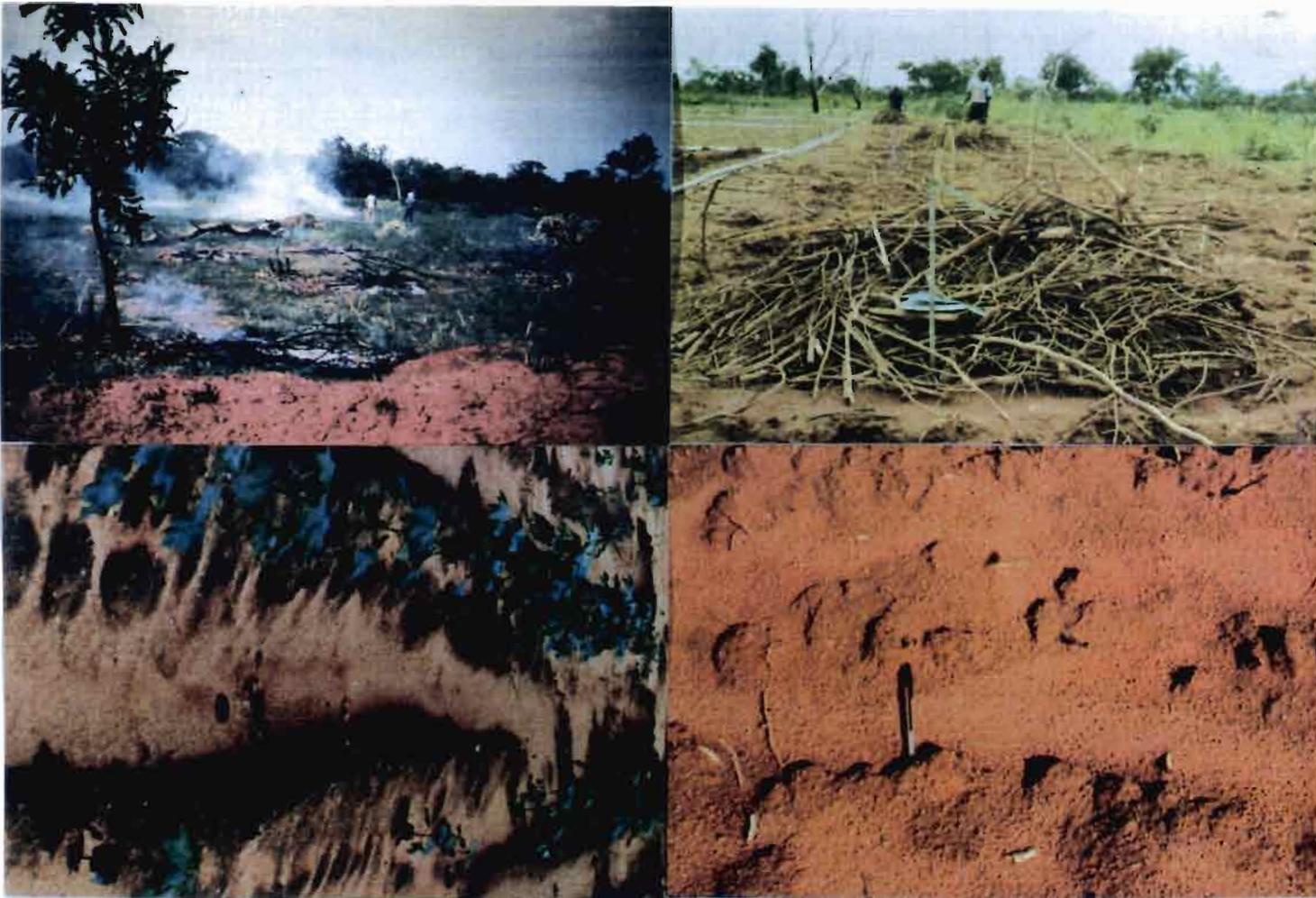
*Photo n° 31 : Croûte de sédimentation sur la parcelle D10. Elle est bien individualisée et se maintient comme une dalle bétonnée après évidement de la terre sous-jacente.*

*Photo n° 32 : Etats de surface caractéristiques des parcelles buttéées : terre grise sur les pseudo-billons plus ou moins érodés, sables brun jaunes ou roses dans les sillons sur des épaisseurs pouvant atteindre 5 cm.*

*Photo n° 33 : Au premier plan, atterrissement de sable dans la partie basse du champ avec enterrement partiel ou total de jeunes cotonniers semés tardivement. Au second plan à droite, les cultures réalisées plus tôt dans les positions topographiques similaires se portent mieux.*

*Photo n° 34 : Erosion des billons due à la concentration des eaux le long des tiges de maïs. Après 200 mm de pluie, au minimum 30 t de terre /ha ont été dégagées des chenaux creusés au pied des maïs buttés.*

## Dégradation physique des sols



35	36
37	38

*Photo n° 35 : L'élimination du couvert végétal par le défrichage, le brûlage de la biomasse et le nettoyage de la surface du sol, préparent la dégradation de celui-ci.*

*Photo n° 36 : Le labour amène la biomasse racinaire à la surface. Ici, un tas de racines provenant d'une parcelle de 100 m<sup>2</sup> à l'issue du premier labour du bloc A : une source de matière organique stable perdue, et une cause de tassement et d'évolution de la pente superficielle du sol.*

*Photo n° 37 : A toutes les échelles, c'est la rugosité de la surface du sol qui oriente les écoulements sur une pente donnée. Ici, nette bipolarité de la surface du sol en aires de production (en gris noir) et en aires d'accumulation et de transport de sédiments (sables brun roses).*

*Photo n° 38 : La fermeture de la surface du sol labouré et nu est présente à toutes les échelles : de la motte (capuchon du bic) à l'unité de rugosité référée aux plus grosses mottes. La réduction de la rugosité se fait par la battance et l'affouillement sous les mottes (bout du bic) qui s'effondrent ensuite sous leur poids.*

## CHAPITRE 4 : LES RESULTATS

Les résultats sont présentés sous deux grandes rubriques :

- la dynamique actuelle : pluviosité, états et comportements des sols, aspects biologiques naturels, ruissellement et érosion ;
- les potentialités agricoles et la productivité du sol soumis à différentes pratiques culturales.

### 4.1. DYNAMIQUE ACTUELLE

Les agents principaux de la dynamique actuelle des sols naturels et cultivés, ce sont les agents climatiques et surtout les précipitations, d'où ce sous-chapitre sur la pluviosité.

#### 4.1.1. PLUVIOSITE

Les résultats sur la pluviosité concernent :

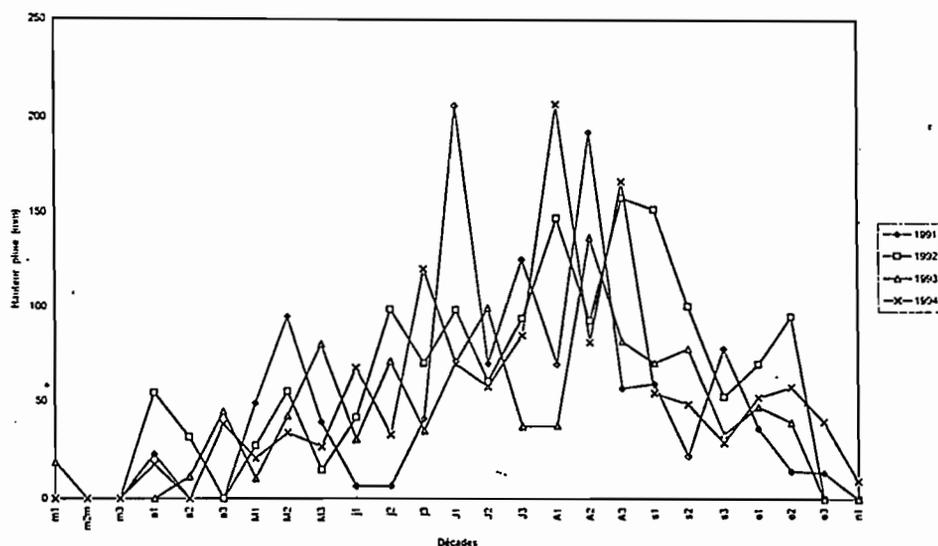
- la hauteur des pluies observées sur les pluviomètres à lecture directe ;
- les évènements à pluviosité abondante (grosses averses et séries de pluies) ;
- les types de pluies d'après les formes des pluviogrammes ;
- les intensités des pluies obtenues après le dépouillement des pluviogrammes ;
- l'agressivité des pluies, calculée selon la formule de Wischmeier et Smith (1960, 1978) et exprimée par l'indice de l'érosivité des pluies (Rusa).

Nous avons par ailleurs recouru à la chronique pluviométrique de Tcholliré (station la plus proche de notre site expérimental) de 1952 à 1980, d'une part, pour situer les quatre années d'observations pluviométriques à Mbissiri dans une échelle de temps plus longue, et, d'autre part, pour étudier les séries de pluies. Ces dernières constituent un facteur important du ruissellement et de l'érosion sur les systèmes culturaux conventionnels, et de la productivité végétale des systèmes culturaux sous litière.

##### *4.1.1.1. Hauteurs des précipitations*

Les précipitations annuelles enregistrées à Mbissiri de 1991 à 1994 sont en moyenne des deux sites (D et N) d'observation de : 1207, 1511, 1072, et 1353 mm.

Les détails journaliers et annuels sont indiqués en annexes n° 4.01. La figure 4.01 illustre les variations des pluies décadaires des quatre années.

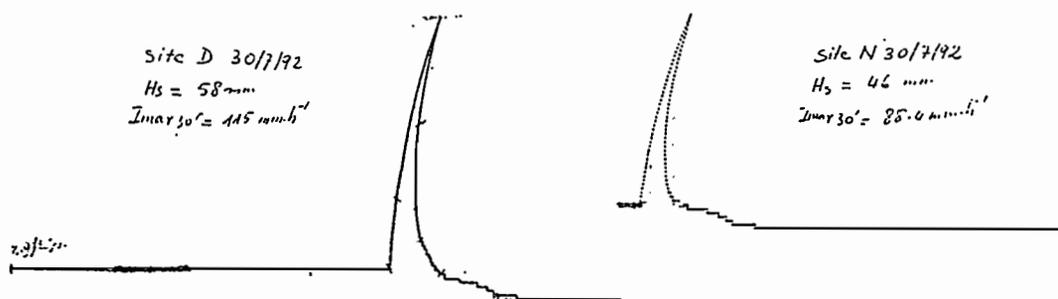


**Figure 4.01 :** Pluviométries décadaires comparées (1991-1994) à MBISSIRI

On note de fortes différences sur la distribution et sur les amplitudes des hauteurs de précipitations entre décades et années. En particulier, les périodes d'apparition des épisodes les plus pluvieux ou secs varient d'une année à l'autre.

#### Comparaison de la pluviosité entre les sites D et N

Au niveau de chaque site, on n'a pas observé de différences sensibles entre le pluviomètre standard et les pluviomètres situés à 40 cm au-dessus du sol. Les deux sites distants d'environ 1,5 km, présentent par contre des différences de hauteurs de précipitations appréciables, surtout à l'échelle journalière (fig.4.02). A cette échelle, elles peuvent atteindre 20 à 100%. Ces différences sont nettement plus atténuées à l'échelle annuelle (1 à 7 % pour les hauteurs, 1 à 9 % pour les jours pluvieux).



**Figure 4.02 :** Pluviogrammes de l'orage du 30/07/92 observés sur les sites D et N

La pluie a la même forme, mais le volume des précipitations est de 20 % inférieur au site N par rapport à D.

Cette faible variation à l'échelle annuelle par rapport aux échelles journalières ou décennales ne peut s'expliquer que par l'existence de phénomènes compensatoires dans la distribution et la précipitation des nuages dans l'espace.

Pour cette raison, nous n'envisagerons pas des comparaisons entre les deux sites à l'échelle journalière ou décennale. Seules les comparaisons à l'échelle annuelle seront envisagées. Même les très grosses averses et les pluies de mousson caractérisées par des séries de pluies montrent une variation spatiale à cette échelle.

### Comparaison régionale

Le tableau 4.01 compare les pluies moyennes mensuelles et annuelles des sites D et N (4 ans) à celles de Tcholliré et Touboro sur respectivement 38 et 37 ans. Ces stations sont situées à 40 km à l'est, et à 90 km au sud-est respectivement de Mbissiri.

**Tableau 4.01** : Pluviosité mensuelle à Mbissiri (sites D et N : 1991-1994), comparée à celles de Tcholliré (1952-1990) et de Touboro (1952-1989)

Mois	MBISSIRI (1991-94)		Tcholliré (1952-90)	Touboro (1952-89)
	Site D	Site N		
Mars	6,1	4,9	11,1	16,5
Avril	54,1	55,1	52,6	65,2
Mai	122,5	123,3	124,6	113,3
Juin	152,5	157,6	175,9	159,6
Juillet	273,8	263,1	269,8	242,8
Août	359,0	355,7	305,8	313,9
Septembre	223,7	202,4	241,6	240,7
Octobre	105,9	107,8	91,5	94,0
Novembre	2,3	2,1	2,9	5,1
<b>Année/site</b>	<b>1300,0</b>	<b>1272,0</b>		
<b>Année/localité</b>	<b>1286</b>		<b>1276,0</b>	<b>1251,0</b>

On note une équivalence de la moyenne annuelle des précipitations à Mbissiri à celles de Tcholliré et Touboro, basées sur des observations pluridécennales (Suchel, 1988 ; M'Biandoun, 1990). La région du Sud-Est Bénoué est homogène du point de vue de la pluviosité.

La courbe de fréquence des hauteurs de pluies annuelles à Tcholliré de 1952 à 1980 est présentée en annexe n°4.02. Par rapport à cette chronique, les quatre années de pluies de Mbissiri constituent deux ensembles en terme de fréquence :

- deux années moyennes, sèche 1994 ( $T^1 = 2,5$ ) et humide 1992 ( $T = 1,5$ ) ;
- deux années sèches, 1991 ( $T = 6$ ) et 1993 ( $T = 11$ ).

<sup>1</sup> T = période de retour

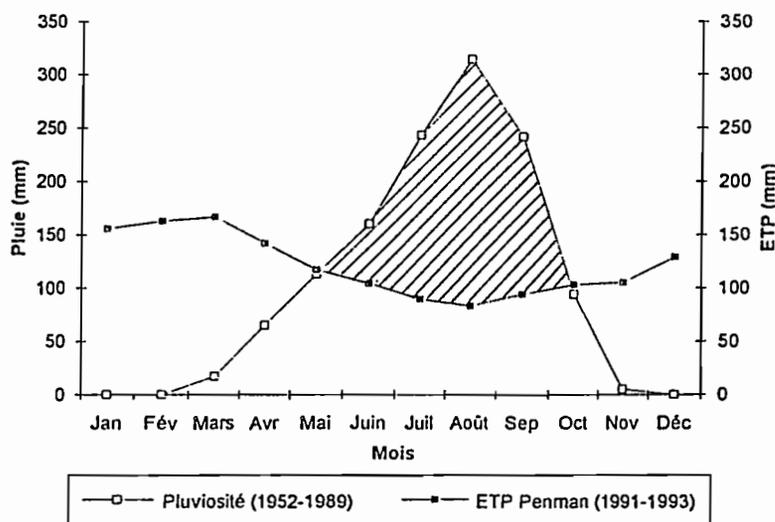
Des quatre années de mesure de la pluviosité à Mbissiri, il se dégage un certain nombre d'observations caractéristiques, ayant des conséquences sur la pratique et la productivité agricoles. Ce sont :

- une saison pluvieuse de sept mois d'avril à octobre ;
- une variation interannuelle importante ;
- une équivalence de la moyenne des hauteurs de précipitations annuelles observées à Mbissiri à celles de Tcholliré et de Touboro. Toutefois, les extrêmes du nombre de jours pluvieux observés à Mbissiri en 4 ans (59-75j.), sont inférieurs à ceux (70-80) indiqués par Suchel (1988) sur les isohyètes du nombre de jours de pluie de cette zone climatique ;
- les compensations spatiales, les écarts des totaux annuels des sites D et N étant bien inférieurs aux écarts journaliers ou décadaires.

Pour tenir compte d'une part, de l'abaissement général de la pluviosité dans la zone soudano-sahélienne d'Afrique depuis 1968 (Puech et Chabi-Goni, 1984) et d'autre part, du poids de la période humide 1952-1968 (très pluvieuse) dans la séquence de Tcholliré ci-dessus, on peut considérer 1994 comme une année moyenne normale, et 1992 comme une année humide.

#### Comparaison pluie -ETP (TOUBORO)

La figure 4.03 montre la comparaison de la pluie à l'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelles de Touboro. Les précipitations sont supérieures à l'ETP pendant six mois de l'année, de mai à octobre, et le déficit de pluies par rapport à la demande climatique atteint 750 mm, valeur sûrement bien supérieure à celle de la réserve utile (RU) du sol : il y a donc une période d'intense sécheresse édaphique.



**Figure 4.03 :** Comparaison Pluie-ETP mensuelles à Touboro

#### ***4.1.1.2. Les événements à pluviosité abondante***

Les grosses averses et les séries de pluies constituent des événements particuliers caractérisés par un abondant apport d'eau en un temps relativement court (quelques heures à quelques jours).

##### Les grosses averses

Les maxima journaliers observés chaque année au cours des quatre saisons pluvieuses ont été respectivement de 85,0 mm, 92,0 mm, 99,5 mm et 120,0 mm en D, et 80,0 mm, 109,0 mm, 90,7 mm et 119,5 mm en N. La pluie journalière de fréquence annuelle à Tcholliré, 90 mm (Puech et Chabi-Goni, 1984) a été dépassée trois années sur quatre, et la pluie journalière décennale, 120 mm, a été atteinte une fois. Ces événements ont tous été réalisés dans les deux premières décades d'août de chaque année.

##### Les séries de pluies

Les effets des séquences d'averses rapprochées sur la péjoration du ruissellement (Laforgue et Naah, 1976 ; Roose et Asseline, 1978) et de l'érosion (Roose et Asseline, 1978) sont connus. Nous avons observé en plus que le jaunissement des jeunes plantes sous les systèmes de culture couverts était lié à des séries de pluies. Nous nous sommes donc intéressés à caractériser ce phénomène, dans le but d'évaluer les risques qui lui sont attachés.

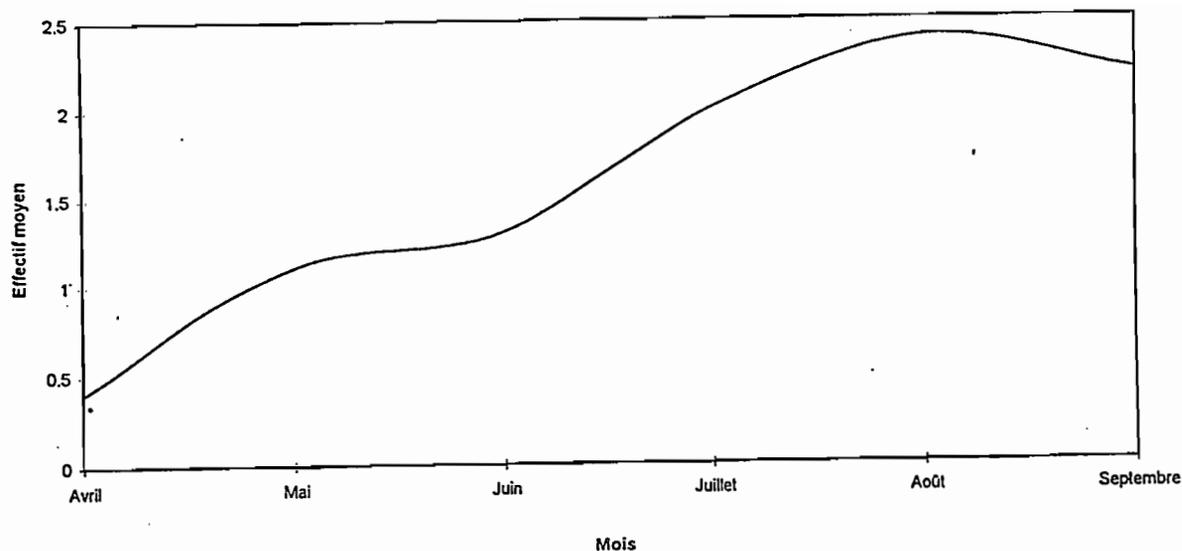
Dans ce qui suit, nous considérons que deux pluies appartiennent à une série, lorsque les effets sur le ruissellement, l'érosion ou le développement végétal sur un sol donné de la deuxième pluie, sont nettement influencés par l'humidité résiduelle de la précédente.

Les sols testés étant sableux, nous considérons que :

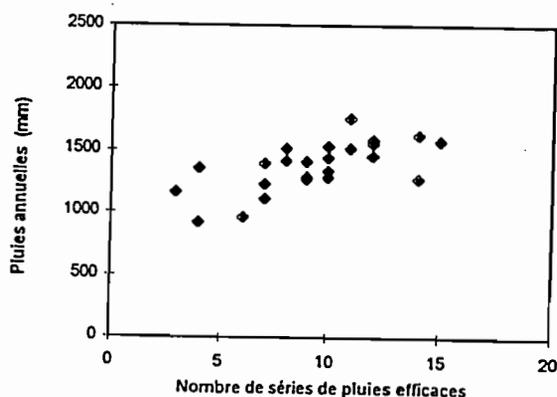
- deux pluies séparées par plus de 48 h ne peuvent appartenir à la même série ;
- la hauteur totale des précipitations d'une série de pluies efficace doit être au moins égale à dix fois le nombre de jours de la série, soit une précipitation équivalente minimale de 10 mm/j.

La structure des séries de pluies est variable. Nous l'exprimons en nombres de pluies (p) sur le nombre de jours (j) de la série considérée : p/j. Généralement, p est inférieur ou égal à j, sauf pour le cas de plusieurs pluies dans la journée (24h). Les cas extrêmes observés sont : deux pluies en 24 h (2/1) et 11 pluies en 14 jours (11/14).

On a observé que la probabilité d'apparition des séries de pluies augmentait au fur et à mesure qu'on avançait dans la saison (fig.4.04) et qu'il y avait une relation positive entre les séries de pluies et la hauteur pluviométrique annuelle (fig.4.05) .



**Figure 4.04 :** *Effectifs moyens mensuels des séries de pluies à Tcholliré (1952-1980)*



**Figure 4.05 :** *Relation entre la hauteur des précipitations (Hmm) et le nombre de séries de pluies (x) annuelles*

$$H_{mm} = 41.4 x + 988.5 \text{ mm}, \quad r^2 = 0.41$$

x = nombre de séries de pluies efficaces.

Au cours des quatre années d'observation, une pluie de fréquence décennale a été observée en 1994 (120 mm, en D). Nous avons constaté que les pluies journalières de fréquence annuelle ou pluriannuelle étaient souvent associées aux séries de pluies. Elles sont dans ce cas d'autant plus dangereuses qu'elles se situent au milieu ou en fin de série.

La fréquence des séries de pluies augmente d'autant plus qu'on avance dans la saison des pluies jusqu'au mois d'août. Les phénomènes sensibles à ces événements pluvieux tels que l'érosion sur le système de travail conventionnel ou le jaunissement des plantes sur les systèmes conservateurs, exigent des dates de semis précoces pour espérer échapper à leurs effets néfastes. La corrélation entre le nombre de séries de pluies et la pluviosité annuelle totale (H<sub>mm</sub>) ( $r^2 = 41\%$ ) n'apparaît pas très forte, probablement à cause du poids des grosses averses isolées sur H<sub>mm</sub>.

### **4.1.1.3. Analyse et dépouillement des pluviogrammes**

#### Les types de pluies

L'observation des pluviogrammes de 1992 à 1994, montre deux grands types de pluies selon la caractérisation de Roose (1974) et Suchel (1988) :

- les orages de convection ;
- les pluies de mousson.

#### a) Les orages de convection

Ce sont les averses intenses issues de nuages localisés et limitées dans le temps et l'espace (30 mn à 1 h pour la phase intense). Suivant la forme du pluviogramme, trois sous- types sont distingués (fig.4.06) :

- \* les petites averses intenses et peu abondantes (extrémités de nuages) ( $H_{mm} < 10\text{mm}$ ) présentent généralement une seule phase avec  $I_{max} > 50 \text{ mm h}^{-1}$  et durent moins de 45 mn : elles sont caractéristiques de début de saison pluvieuse.
- \* les orages localisés, très intenses ( $I_{max} > 50 \text{ mm h}^{-1}$ ), à précipitations modérées (10 à 25 mm environ), à pointe d'intensité unique dès le début et sans traîne ;
- \* les averses très intenses, à précipitations modérées à abondantes (30 à 60 mm) avec un début de phase intense instantané ou progressif et suivies d'une traîne de 1 h environ.

Les orages de convection sont surtout caractéristiques des débuts et des fins de saisons pluvieuses.

#### b) Les pluies de mousson

Elles sont issues de larges fronts nuageux, peu variables dans l'espace. Selon l'allure du pluviogramme, trois sous-types sont distingués (fig.4.07) :

- \* les pluies de faible intensité, mais longues ( $>6 \text{ h}$ ) ;
- \* les pluies avec une pointe d'intensité précédée ou pas par une phase de faible intensité et suivie généralement d'une longue traîne ;
- \* les longues pluies, avec deux pointes d'intensité séparées par une période de repos variant de 15 mn à 1 h. Les pluies de mousson sont caractéristiques de la phase de stabilisation de la saison des pluies (juillet-août). Comme elles arrivent généralement en séries, elles sont très dangereuses pour l'érosion et

pour l'engorgement des terres (anoxie racinaire). Les pluies avec une forte pointe d'intensité précédée d'une phase de faibles précipitations sont très dangereuses sur les sols non couverts car la phase préliminaire humecte le sol et diminue la résistance des mottes sableuses peu stables.

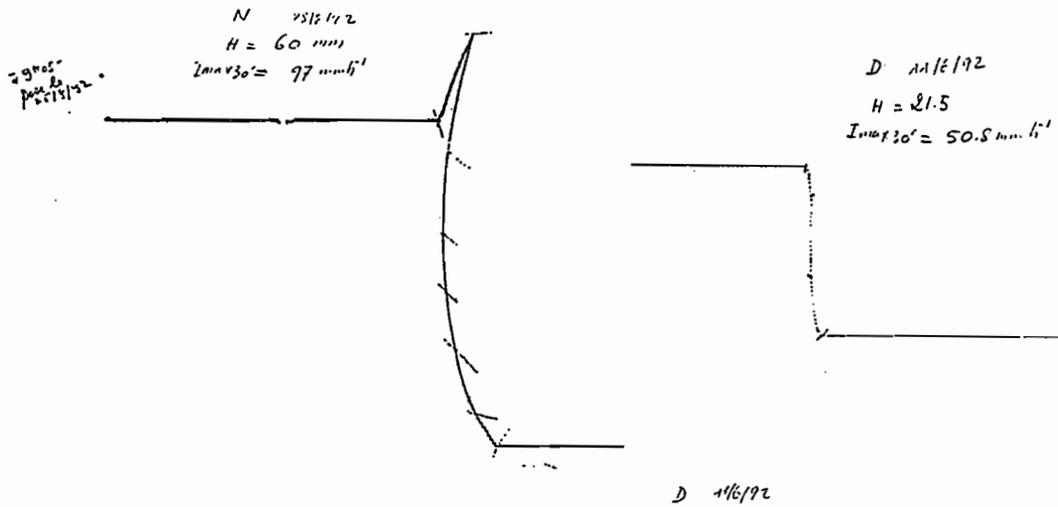


Figure 4.06 : Pluviogrammes d'orages localisés très intenses (25/08/92 et 11/06/92)

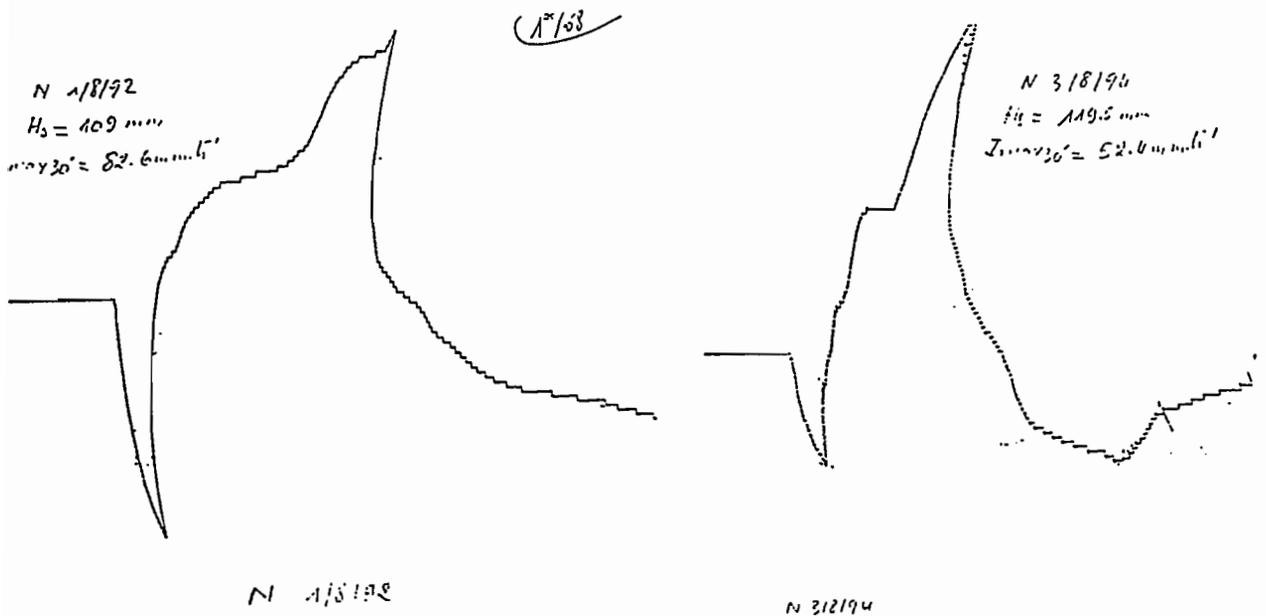


Figure 4.07 : Pluviogrammes de longues pluies avec deux pointes d'intensité (01/08/92 et 03/08/94)

### Les Intensités des pluies

Seuls les pluviogrammes du site N ont été dépouillés, son enregistreur ayant fonctionné pratiquement sans interruption pendant les quatre campagnes expérimentales, contrairement à celui du site D. L'objectif premier de cette opération est la détermination des intensités maximales des pluies. Ensuite le calcul de l'énergie totale d'une pluie demande la connaissance des intensités de toutes les phases de la pluie. On a procédé de la façon suivante :

1. le pluviogramme est divisé en autant de parties homogènes possible en fonction des points d'inflexion de la courbe ;
2. les amplitudes des coordonnées (le temps en mn, en abscisses, la pluie en mm, en ordonnées) sont portées sur deux colonnes ;
3. le quotient pluie/temps d'une même phase rapporté à 60 mn donne l'intensité en mm/ heure de la phase de pluie considérée ;
4. lorsque tout le pluviogramme est dépouillé, la détermination des intensités maximales se fait par lecture, décomposition ou recombinaison des coordonnées à la règle de trois (voir exemple tableau annexe n° 4.03).

Le résultat de ce dépouillement est illustré dans les fig. 4.08 a, b, c, d, représentant les courbes enveloppes d'intensité-durée de quelques averses caractéristiques de ces trois années. On constate que les intensités instantanées sont très élevées et se maintiennent longtemps, ce qui est très dangereux pour les sols non couverts, par exemple près de  $100 \text{ mmh}^{-1}$  pendant 30 mn pour les quatre averses analysées.

### Indice d'agressivité des pluies

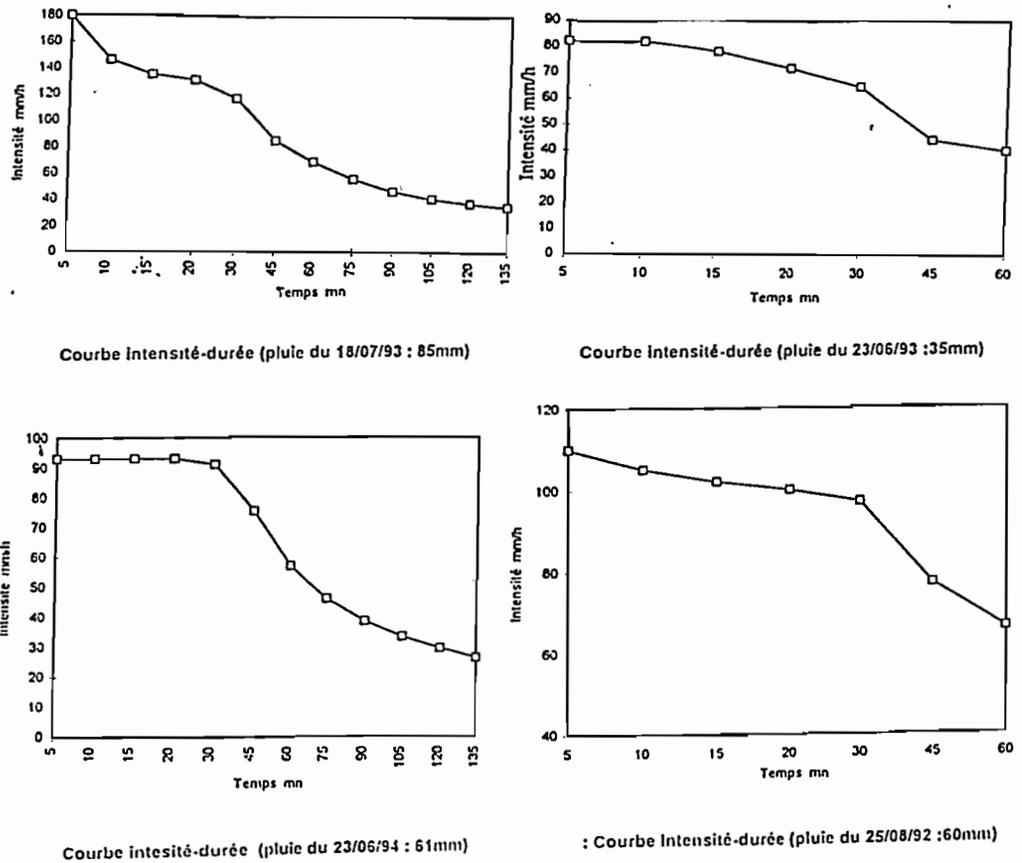
Après avoir dépouillé les pluviogrammes, pluie par pluie, nous avons calculé les indices d'érosivité des pluies Rusa, de toutes les pluies (>5 mm) de chaque année en utilisant les formules et les abaques des auteurs, Wischmeier et Smith (1978, p 56).

$$\text{Rusa} = \sum E.I^{30} \quad \text{avec } E = 210 + 89 \log_{10} I$$

$t/ha/cm \qquad \qquad \qquad cm/h$

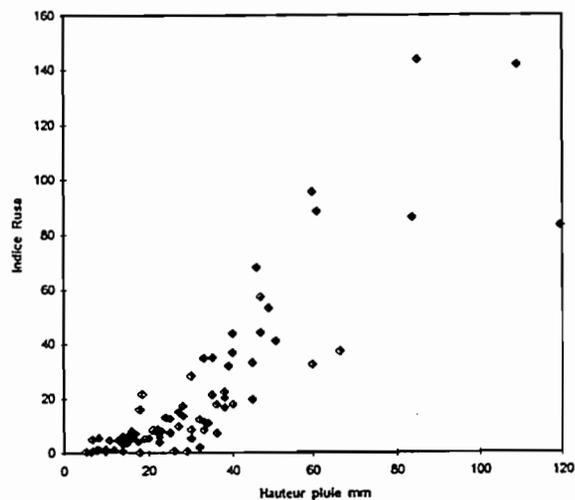
E = énergie cinétique I = intensité de la phase de pluie

Pour passer des unités métriques aux unités USA, nous avons divisé E (t/ha/cm) par 1735.6 (Roose, 1973). Du point de vue pratique, l'acquisition et l'exploitation des pluviographes étant coûteuse et le dépouillement des pluviogrammes fastidieux, nous avons cherché à établir une relation simple entre l'indice Rusa et la hauteur des pluies (H<sub>mm</sub>) journalières du site N pour une extrapolation à la région.



**Figure 4.08** a, b, c, d : Courbes intensité-durée de quelques averses caractéristiques observées à Mbissiri

Du nuage de points obtenu (fig. 4.09), trois classes de pluies ont été délimitées et leurs moyennes pondérales calculées (Roose, 1980).



**Figure 4.09 :** Relations entre l'indice d'agressivité (Rusa) et les hauteurs de pluies journalières à Mbissiri (1992-1994)

En corrélant ces points moyens par ajustement graphique, nous avons obtenu deux sections de droite, l'une pour les pluies inférieures à 25 mm :

$$Rusa = 0.5 H ;$$

et l'autre pour les pluies supérieures à 25 mm :

$$Rusa = 1,2 H - 15$$

$H$  = lame de pluie exprimée en mm

A partir de ces deux relations, nous avons estimé l'indice Rusa de 1991. Le tableau 4.02 donne l'indice annuel d'agressivité des pluies pendant les cycles expérimentaux 1991 à 1994 à Mbissiri (site N).

**Tableau 4.02 : Indice d'agressivité des pluies (Rusa) et pluies (H<sub>mm</sub>) pendant les cycles cultureux de 1991 à 1994 (site N)**

	1991	1992	1993	1994
H <sub>mm</sub>	673	1184	772	1073
Rusa	419*	785	496	433

\* estimé à partir des relations

$$0,5 H \text{ si } H < 25 \text{ mm}$$

Rusa =

$$1.2 H - 15 \text{ si } H > 25\text{mm}$$

Par rapport à l'indice Rusa, on observe que 1992 est nettement supérieure aux trois autres années ; les quatre années pluviométriques se classent par ordre d'agressivité pluviométrique décroissante comme suit : 1992 > 1993 > 1994 > 1991. On voit que ce classement ne suit pas exactement celui des hauteurs de précipitations H<sub>mm</sub>.

Les pluviogrammes donnent des informations précises sur la durée, la forme et l'intensité de la pluie tombant de jour ou de nuit. Ils montrent que les pluies localisées sont caractéristiques des phases d'installation et de fin de pluies. Quelle que soit la hauteur de leurs précipitations, elles sont très intenses. C'est généralement au cours des averses isolées que les intensités maximales annuelles sont enregistrées.

La phase de stabilisation de la saison des pluies est marquée par une fréquence relativement élevée des longues pluies, présentant un ou plusieurs pics d'intensités au début ou au milieu des précipitations. Cette phase est centrée sur le mois d'août. Au cours des trois années d'enregistrement des pluies, les plus fortes intensités ont été observées au cours de l'année la plus sèche (1993), pendant la phase de stabilisation, avec une  $I_{\max 5'} = 180 \text{ mm h}^{-1}$  et une  $I_{\max 30'} = 117 \text{ mm h}^{-1}$ . Chaque année, une  $I_{\max 30'}$  supérieure ou égale à  $90 \text{ mm h}^{-1}$  a été observée au moins une fois au cours de cette phase.

L'indice d'érosivité Rusa classe les trois années par ordre d'agressivité climatique décroissante : 1992 > 1993 > 1994. Cet ordre est inverse, pour les deux dernières années,

de celui de leur hauteur de précipitations. Rusa est donc plus influencé par l'intensité individuelle des pluies que par la hauteur totale des précipitations annuelles.

#### **4.1.1.4. Conclusion sur les pluies**

Les résultats des mesures de pluviosité à Mbissiri de 1991 à 1994 sont représentatifs de la région Sud-Est Bénoué contenue dans la zone climatique de la savane soudanienne humide (Suchel, 1988) : saison pluvieuse de sept mois ; hauteur moyenne annuelle entre 1200 à 1400 mm.

Malgré cette moyenne assez forte, la variabilité temporelle et spatiale est grande comme dans la zone soudano-sahélienne située plus au nord, entre les isohyètes 800 et 1200. Cette variabilité paraît liée à l'intensité de pénétration de l'air marin (Olivry, 1986 ; Suchel, 1988). En effet, en 1993, année la plus sèche, les longues pluies et les séries de pluies caractéristiques de la mousson ont été quasi absentes. Toutes les précipitations ont été apportées par des orages isolés dépendants de la remontée du FIT au-delà de ces latitudes.

Le système orageux dépendant du FIT se caractérise par une discontinuité dans l'espace et le temps. Il produit généralement les événements les plus agressifs en termes d'énergie cinétique liée surtout à l'intensité de la pluie. Il est prépondérant au début et à la fin de la saison des pluies.

La phase stable de la saison est caractérisée en années moyennes et pluvieuses par des pluies longues et très rapprochées. Leur intensité est variable d'une année à l'autre. Les cycles cultureux pluviaux sont, dans cette zone, sous la pression des risques liés à la pluviosité.

Au début de la saison des pluies, le caractère erratique des pluies peut être renforcé et engendrer une sécheresse (1 à 3 semaines). Pendant la même période, des averses à intensités élevées dégradent les sols et provoquent l'érosion des terres. En dépit de la couverture du sol par la canopée, la pluviosité de la phase suivante où les pluies sont plus stables, comporte aussi un risque d'érosion élevé. Sur les systèmes de culture couverts, le risque d'engorgement temporaire des horizons superficiels du sol a été observé trois années sur quatre.

#### **4.1.2. LES INDICATEURS D'ETAT DES SOLS**

Plusieurs indicateurs d'état des sols ont été suivis au cours de cette étude, tant au laboratoire (tableaux 4.03 & 4.04) que dans les parcelles expérimentales. Dans cette synthèse, ne seront présentés que ceux qui ont montré des évolutions nettes ou dont les différences ont induit des comportements de sols différents vis-à-vis du ruissellement, des pertes en terre ou des productions végétales. Les résultats sont présentés en deux groupes:

- l'évolution des constituants : texture des couches superficielles du sol (0-10 cm, 10-20, ou 20-40), la matière organique, le phosphore et le pH ;
- l'évolution des organisations pédologiques et leurs conséquences sur l'état hydrique du sol et sur l'établissement des végétaux (les états de surface, la morphologie des couches culturales, la porosité et le pF, les profils culturaux et les profils hydriques).

#### **4.1.2.1. Evolution de quelques indicateurs d'état entre février 1991 ( $t_1$ ) et février 1995 ( $t_5$ )**

##### Etat initial des horizons de surface ( $t_0$ , $t_1$ )

L'appréciation des évolutions au sein d'un système aussi complexe que le sol, exige une bonne caractérisation de ses organisations et de ses composants au moment où commencent les observations.

Le temps  $t_0$  correspond au début du défrichement du site N (blocs A, B ; C et E) en avril 1990. Les blocs A et B défrichés et dessouchés ont été cultivés à blanc en juillet 90 (maïs sans travail du sol ni engrais). Le bloc D avait reçu sa dernière culture cotonnière intensive en 1989. Les premiers échantillons de sols ont été prélevés en février 1991 ( $t_1$ ), dix mois après le défrichement, sur les blocs Savane A et D. Le bloc B, très voisin de A, était considéré semblable à ce dernier. Lorsque les différences de comportements entre A et B se sont confirmées, nous avons procédé à la caractérisation texturale du bloc B en 1993 ( $t_3$ ). Au temps  $t_1$ , la savane était encore uniformément traitée : feux de brousse et pâturage annuels. La texture des horizons de surface du bloc A étant assez semblable à celle du bloc Savane, on peut admettre la similitude initiale des sols de A et de la savane avant le défrichement. Cette hypothèse est confirmée par les résultats de la savane à  $t_5$ .

##### a) La texture

Les résultats de caractérisation de la texture des sols des blocs Savane, A, B et D, sont donnés au tableau 4-03. Ce sont des sols sableux et très pauvres en argile et limons.

**Tableau 4.03 : Comparaison des textures des deux premiers horizons pédologiques des blocs Savane, A, B et D**

	Savane		A		B		D	
	0-15	15-40	0-20	20-40	0-16	16-32	0-10	10-20
Argile %	4,0	3,1	4,0	6,0	3,0	4,0	6,2	11,6
Limon fin %	6,9	10,0	6,0	8,0	5,0	5,0	4,7	7,4
Limon gros %	9,4	8,7	11,0	12,0	8,0	8,0	3,6	3,5
Sables %	79,8	78,2	79,0	74,0	84,0	83,0	85,1	77,4
<b>A + L %</b>	<b>20,3</b>	<b>21,8</b>	<b>21,0</b>	<b>26,0</b>	<b>16,0</b>	<b>17,0</b>	<b>14,5</b>	<b>22,5</b>

Le bloc B a une texture significativement plus grossière que celle du bloc A.

Les blocs A et D ont des teneurs en argile et limons supérieures à celles du bloc B sur les deux horizons de surface. Par rapport au bloc A, le bloc B a moins de A + L et plus de sable. Malgré la proximité des blocs A et B, les sols ne sont pas texturalement semblables.

Les principales caractéristiques agropédologiques classiques des blocs Savane, A et D à  $t_1$  sont indiquées au tableau 4.04. Les faibles teneurs en matières organiques dans ces sols, à forte dominante sableuse expliquent les valeurs basses de CEC et de cations échangeables.

**Tableau 4.04 : Caractéristiques agropédologiques des blocs Savane, A et D au temps  $t_1$**

		pH	Argile %	A + L %	C %	N ‰	P2O5 Tot ppm	P2O5 ass. ppm	CEC méq/100 g	Ca méq/100g	Mg méq/100 g	K méq/100 g	Zn ppm
Savane	0-10	6,6	6,9	15,4	0,69	0,56	125,3	21,80	2,94	2,83	0,59	0,12	1,55
	10-20	6,3	6,0	11,6	0,46	0,40	99,6	8,70	2,12	1,58	0,43	0,08	1,35
	20-40	6,2	6,0	13,9	0,25	0,29	86,0	6,50	1,34	0,86	0,27	0,08	1,16
Bloc A	0-10	6,6	7,2	16,3	0,51	0,40	102,3	10,70	2,00	1,89	0,53	0,11	0,43
	10-20	6,4	6,5	16,1	0,40	0,30	83,6	5,20	1,33	0,99	0,35	0,07	0,34
	20,40	6,3	6,3	17,0	0,26	0,26	82,7	3,20	1,35	0,80	0,32	0,06	7,66
	> 45	6,4	16,0	25,2	0,10	0,22	103,7	0,78	3,04	1,33	0,53	0,14	0,24
Bloc D	0-10	6,0	5,8	14,4	0,30	0,30	101,6	6,10	1,42	0,97	0,26	0,13	0,41
	10-20	5,7	11,0	22,6	0,30	0,32	134,8	3,20	2,04	0,94	0,24	0,12	0,20
	20-40	5,7	22,0	35,3	0,27	0,35	187,7	2,53	3,15	1,40	0,51	0,14	2,90
	≥ 80	5,4	26,2	34,9	0,89	0,28	213,0	1,02	4,59	2,26	0,79	0,18	0,26
Kraal	0-10	6,8	7,0	15,2	0,89	0,74	121,0	23,60	3,16	3,27	1,23	0,24	2,64
	10-20	6,9	5,9	15,9	0,37	0,36	89,3	17,90	1,83	1,69	0,75	0,12	0,82
	20-40	6,9	6,6	18,1	0,24	0,32	84,0	11,00	1,57	0,81	0,57	0,13	2,44
Turricules ver de terre.		6,4	5,2	13,7	0,97	0,60	122,0	23,10	3,47	3,28	0,80	0,14	0,60
Termitière (glacis)		6,3	14,5	23,1	1,17	0,69	184,0	3,00	4,71	3,28	1,48	1,06	0,36
Touffe gram.		6,3	4,6	13,4	0,32	0,52	111,5	12,80	2,61	1,96	0,80	0,19	13,96

Texture (A %) Savane et bloc A semblables sur 0-40 cm (lessivé ou appauvri). Plus argileux au-delà de 45 cm ( $A \geq 16\%$ ). Très peu de limons (12 %). Kraal = parc de nuit du bétail

#### b) Le carbone organique

La similitude des textures des horizons de surface des blocs A et Savane étant admise au temps  $t_0$ , les résultats du tableau 4-04 montrent pour le carbone organique que par le simple fait du défrichage et de l'essai à blanc, le taux de carbone du sol du bloc A est passé de 0,69 % à 0,51 %, soit une diminution de 26 % en moins d'un an sur l'horizon 0-10 et de 13 % sur l'horizon 10-20. Pendant cette période, le taux de carbone n'a pas baissé sur l'horizon 20-40 cm.

En outre, on constate que les termitières et les turricules sont plus riches en carbone que le sol en place. Le parcage du bétail a enrichi, de façon durable, l'horizon 0-10 cm en carbone par rapport à la savane : 0.89 % contre 0.69 %.

Malgré une bonne structuration du sol prélevé sous la touffe d'Andropogon, le taux de carbone est faible (0.32 %). Cette structure grumeleuse fine du sol est due plus au système racinaire de la plante qu'à la teneur du sol en matières organiques. En effet, le sol de savane qui a deux fois plus de carbone que sous la touffe n'a pas une structure aussi évoluée

#### c) Fractionnement de la matière organique

Les résultats de dosage du carbone et de l'azote sur les fractions granulométriques obtenues par la méthode de fractionnement physique de la matière organique (Feller, 1991, 1994) sont présentés sur l'annexe 4.04.

On constate, sur cette annexe, que 60 à 80 % des matières organiques sont fixées sur les fractions fines (0-20 $\mu$ ). Les matières organiques incorporées au sol par les vers de terre sont principalement liées aux fractions grossières du sol. Sur les champs, on observe que les turricules ne sont pas stables sous les pluies. Ils se désagrègent après une ou deux pluies en laissant des sables libres en surface. On voit aussi que la distribution du carbone et de l'azote reste sensiblement la même dans les diverses fractions pour les trois traitements comparés.

La baisse du taux de matières organiques affecte dangereusement la capacité de production des sols car elles servent de support à la plupart des éléments nutritifs des plantes et confèrent au sol plusieurs qualités. Pour le cas de la capacité d'échange en cations, on a trouvé une liaison positive et très forte avec la teneur en carbone organique dans les blocs A et D :

$$* \text{ blocs A et savane : } \quad \text{CEC} = 3.47 \text{ C \%} + 0.14 \text{ A \%} \quad r^2 = 0.95$$

$$* \text{ bloc D : } \quad \text{CEC} = 2.57 \text{ C \%} + 0.135 \text{ A \%} \quad r^2 = 0.92$$

Ces relations signifient aussi que la charge électrique des composés carbonés est 20-25 fois plus forte que celle des argiles.

#### d) Le phosphore

La teneur en phosphore assimilable du bloc A est supérieure à celle de D. Par contre, celle en phosphore total de D (sur 0-40 cm) est supérieure à celle de A de plus de 155 ppm ainsi que la capacité d'échange en cations : +1,93 méq/100 g.

Dans le bloc D, les teneurs en phosphore total et en bases échangeables croissent avec la profondeur. Sur la savane et le bloc A, par contre, les teneurs en ces deux indicateurs décroissent avec la profondeur (fig 4.10). On peut donc penser que sur le bloc

D, ces éléments sont un héritage des fumures minérales des cultures successives, immobilisés par la fraction argileuse.

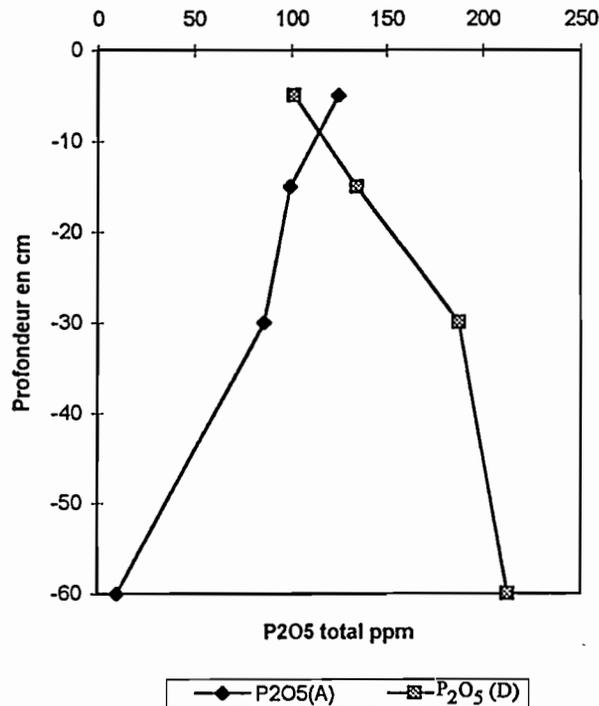


Figure 4.10 : Profils du phosphore total dans les blocs A et D à  $t_1$

### Conclusion au temps $t_1$

Malgré leur proximité spatiale, les blocs A et B sont statistiquement différents par la texture de leurs horizons de surface et leurs caractères physicochimiques à l'état initial ne peuvent donc pas être considérés comme semblables.

L'appauvrissement des sols du bloc D (C, argiles, cations échangeables...) résulte de l'érosion et de la dégradation liées aux cultures. On peut supposer qu'à l'origine, les sols A et D étaient identiques, mais les trente années environ de culture continue ont découpé toute ou une partie de la couche superficielle 0-40 cm.

Le fractionnement de la MO fait sur divers échantillons du bloc A montre que 60 à 80 % de la matière organique évoluée sont liés aux fractions minérales fines du sol (0-20 $\mu$ ). Elle constitue le principal support de la capacité d'échange cationique.

L'activité de la macrofaune et le couvert végétal sont les principaux facteurs de l'entretien de l'équilibre textural de la savane.

### Evolution des constituants entre $t_1$ et $t_5$

L'évolution des terres après quatre cycles de culture pluviale est présentée pour les thématiques des traitements les plus représentatives. On rappelle qu'au temps  $t_1$ , seul le

traitement témoin international (NUE) était assigné à une parcelle. Tous les autres n'ont été affectés aux parcelles qu'en juin 1991. L'état des sols au temps t1 est celui des parcelles sans effet des traitements.

a) La texture

Les textures à t1 et t5 de la tranche 0-10 cm sont présentées sur le tableau 4.05 pour la moyenne des traitements TRM et ZT et pour Nue et Ombrière du bloc A, et les mêmes traitements plus Jachère naturelle pour le bloc D.

**Tableau 4.05 : Evolution de la texture de la tranche 0-10 cm sur les blocs A et D en fonction des traitements entre T1 et T5**

Traitements	Temps	Argile	A + L	Sables fins	Sables gros
Savane moy. T1	T1	6,9	15,3	22,2	62,3
Savane moy. T5	T5	7,7	17,4	22,4	60,2
NUE(A)	T1	6,7	17,0	26,1	56,8
	T5	5,5	16,8	26,5	56,6
TRM(A)	T1	6,6	17,2	23,4	59,3
	T5	6,8	16,8	25,3	57,8
OMBRIERE(A)	T1	(6,6)	(17,2)	(23,4)	(59,3)
	T5	5,2	13,7	21,7	64,6
ZT(A)	T1	(6,6)	(17,2)	(23,4)	(59,3)
	T5	5,0	16,3	26,1	57,5
NUE(D)	T1	6,7	17,0	26,1	56,8
	T5	12,8	24,0	25,9	50,1
TRM(D)	T1	7,5	14,9	20,4	64,7
	T5	10,0	19,7	24,7	55,5
OMBRIERE(D)	T1	(7,5)	(14,9)	(20,4)	(64,7)
	T5	10,8	22,5	21,6	55,9
Jachère nat.(D)	T1	(7,5)	(14,9)	(20,4)	(64,7)
	T5	9,7	19,9	25,2	54,9
ZT(D)	T1	(7,5)	(14,9)	(20,4)	(64,7)
	T5	12,4	22,6	20,6	56,8

En savane, la texture moyenne est sensiblement stable, malgré des traitements très contrastés. On y observe une augmentation des fines (0-20 $\mu$ ) de 2 %, attribuable aux remontées biologiques particulièrement abondantes dans la parcelle mise en défens (8.1 % d'argile contre 6.9 % en moyenne en 1991).

Dans les parcelles labourées du site N, on n'observe pas de différence texturale notable.

Sous ombrière plastique, on note un appauvrissement plus net en argile, limons et sables fins, entraînant une augmentation relative sensible des sables grossiers (+ 5.3 %)

par rapport à  $t_1$ . L' effet "splash" semble être le principal responsable de la mobilisation des fractions  $< 200 \mu$ .

Sur le traitement ZT, on note une augmentation des sables fins de 2.7 % au détriment des fines (A+L) et des sables grossiers. Ce traitement n'ayant pas été couvert en première année, s'est comporté assez comparablement aux parcelles labourées. Il a donc pu conserver une modification de la texture acquise en cette année.

Sur le bloc D, pour les 3 traitements (Ombrière, ZT et Jachère) qui se comportent comme le TRM, on note une nette augmentation du taux d'argile (+ 6.1 % en moyenne) alors qu'il apparaît une baisse des sables grossiers sur le témoin nu (NUE). Une augmentation du taux d'argile, des limons et des sables fins au détriment de celui des sables grossiers est aussi observée sur le témoin régional mécanisé.

Ce comportement particulier du bloc D, très marqué sur la parcelle nue, s'explique en partie par la formation d'organisations pelliculaires superficielles (OPS) relativement stables. La fermeture du sol, préalable au ruissellement en situation d'absence d'engorgement du profil, nécessite l'accumulation préférentielle d'un ou deux éléments fins. Les OPS ainsi formées ont une texture différente de celles des horizons sous-jacents (tableau 4.06).

**Tableau 4.06 :** *Texture de l'OPS comparée à celles des couches 0-10 et 0-25 du même profil (parcelle nue D10 )*

	OPS	Horizon perturbé	
	0,1 à 2 cm	0 - 10	0 - 25
Argile %	10,5	9,9	17,0
Limons fins	9,8	8,5	3,5
Limons gros %	12,8	10,5	11,9
Sables %	66,9	71,1	67,6
A + Lf	20,3	18,4	20,5

Ici ce sont les limons fins qui sont préférentiellement accumulés dans le processus de la fermeture de la surface du sol.

La baisse du taux des sables grossiers sur les parcelles labourées et particulièrement sur le bloc D où les horizons 0-10 et 10-40 avaient des teneurs bien contrastées en argile, démontre le rôle homogénéisateur du labour sur la texture de la couche travaillée (tableau 4-07). La teneur en éléments fins ( $0-20\mu$ ) augmente en surface. La somme A+L est améliorée de 56 %.

**Tableau 4-07 :** *Effet du labour sur la texture de la tranche 0- 10 cm (Bloc B)*

	A	Lf	Lg	Sf	Sg	A + L
Non-labour (X)	5,5	3,1	2,0	22,6	66,7	10,6
Labour (X)	6,5	5,4	4,7	20,8	62,6	16,6

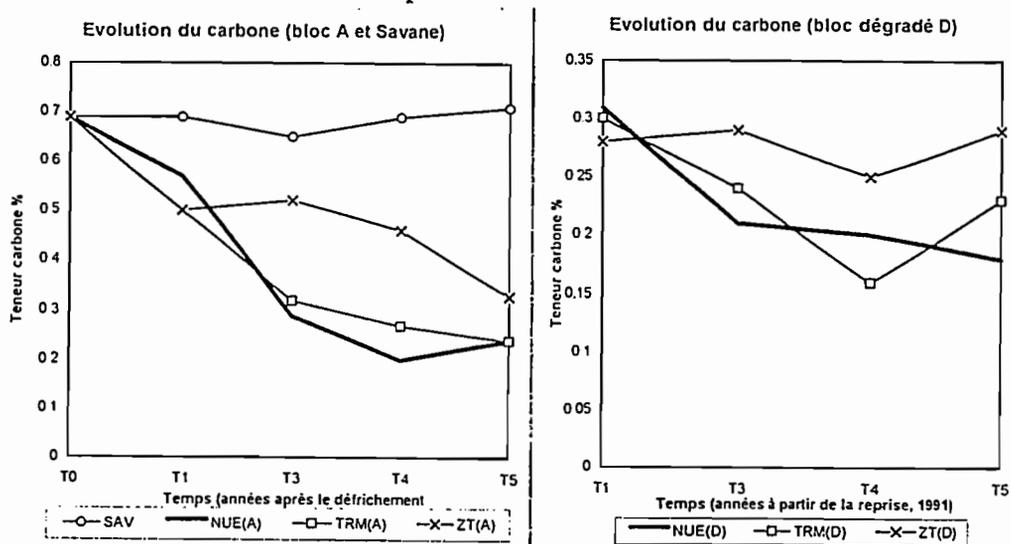
X : valeur moyenne des traitements de la famille

En conclusion, l'évolution des fractions minérales varie en fonction des traitements. D'une façon générale, elle ne semble pas brutale. Sur les parcelles labourées ou non couvertes par une litière, son appréciation est rendue difficile par la présence des OPS, les retournements incessants accompagnés de la fossilisation des fragments des OPS.

Le labour homogénéise la texture de la couche travaillée. Cependant, pour la pratique expérimentale, il est important de noter qu'après un certain nombre d'évènements pluviométriques sur un sol sableux non couvert, et surtout labouré, la texture de la couche 0-10 n'est plus représentative de celle de l'ensemble de la couche travaillée.

### b) Evolution du carbone organique

La fig 4.11 illustre l'évolution du taux de carbone organique entre  $t_1$  et  $t_5$  en savane et sur les blocs cultivés A et D pour les traitements Nue, TRM et ZT.



**Figure 4.11 :** Evolution du taux de carbone (%) en fonction du temps dans le bloc Savane et pour les traitements Nue, TRM et ZT des blocs A et D

(1) On notera que les prélèvements  $t_3$  et  $t_4$  n'ont pas été réalisés en février comme en  $t_1$  et  $t_5$ , mais plutôt à la fin de la 2<sup>nd</sup>e décennie de juin.

En savane, la moyenne des résultats des trois traitements montre qu'il n'y a pas eu de modification de la teneur du sol en carbone : l'échantillonnage et les analyses ont été stables au cours des quatre années de mesure. La fig 4.11 montre, sur les parcelles cultivées, une rapide diminution du taux de carbone au cours des deux ou trois premières années qui suivent le défrichage, suivie d'une phase de stabilisation ou d'une diminution plus lente.

Dans le bloc A, la diminution du carbone est beaucoup plus rapide sur les sols labourés (avec ou sans culture) que sur sols non labourés. Cinq ans après le défrichage, les parcelles labourées (quatre fois) ne contiennent plus que le tiers de la

teneur en carbone de la savane. Les parcelles non labourées, mais exposées à la battance la première année, ont perdu la moitié de leur carbone après cinq ans.

Le bloc D n'a pas subi de labour entre la dernière récolte de coton des cultures paysannes (1989) et le début de l'expérimentation. Après deux années de reprise de la culture, le taux de carbone des parcelles labourées passe de 0.30 à 0.22 %. A partir de ce taux, la baisse devient plus lente. Sur les parcelles en ZT du bloc D, la teneur en C s'est maintenue au cours des quatre cycles culturaux : 0.28 % contre 0.22 % pour les parcelles labourées.

On peut penser, au vu de ce résultat, que c'est l'exposition à la battance des sols des parcelles en ZT des blocs A et B en première année qui les a appauvris en carbone.

En quatre ans, les apports de matière organique enfouis sous forme de résidus de culture ou de fumier de chèvre, n'ont pas amélioré, de façon sensible, la teneur en carbone du sol. Seul le paillage a permis, sur le sol le plus battant (bloc B), le maintien d'un taux de carbone supérieur de 20 % à celui du témoin régional.

En conclusion, on relève que le taux de carbone diminue plus rapidement sur les parcelles labourées que sur celles qui sont cultivées sous litière et sans labour préalable. Le non-renouvellement des apports de matières végétales, la dilution du carbone dans l'ensemble de l'horizon travaillé, son aération accrue et surtout l'exposition à la battance, semblent être les principales causes de cette diminution.

### c) Evolution du phosphore

Le tableau 4.08 présente les teneurs en phosphore total aux temps  $t_1$  et  $t_5$ .

**Tableau 4.08 : Teneurs en phosphore total (ppm) aux temps  $t_1$  et  $t_5$  en fonction des traitements des blocs Savane, A, B et D**

	Nue	TRM	Fumier	Résidus	Mulch	Omr.	ZT	Défens.	Feu précoce	Feu précoce + Pâturage
Savane	T <sub>1</sub>	-	-	-	-	-	-	122,5	139,5	114,0
	T <sub>4</sub>	-	-	-	-	-	-	119,8	138,6	164,7
	T <sub>5</sub>	-	-	-	-	-	-	112,2	111,9	133,7
A	T <sub>1</sub>	111,8	92,4	92,4	92,4	92,4	92,4	-	-	-
	T <sub>5</sub>	92,8	107,0	95,0	91,0	94,7	85,0	?	-	-
B	T <sub>5</sub>	68,8	89,8	82,3	74,2	88,3	79,8	?	-	-
D	T <sub>1</sub>	91,2	112,1	112,1	112,1	112,1	112,1	109,6	-	-
	T <sub>5</sub>	126,6	134,4	133,8	128,1	151,6	170,6	98,7	-	-

Sur le bloc D, les parcelles labourées et protégées de la battance contiennent plus de phosphore que les autres

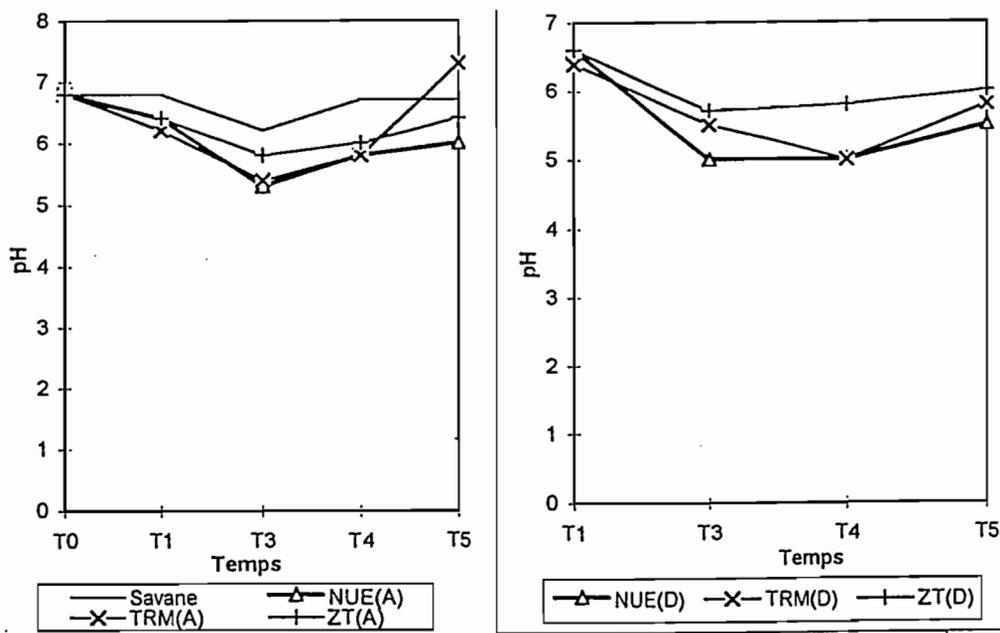
L'évolution du phosphore n'est pas nette sur les trois traitements de la savane. La date de prélèvement des échantillons paraît influencer le résultat. Les blocs A et B ont des teneurs sensiblement comparables en P Total et P assimilable. Ces teneurs varient peu avec les traitements.

Le bloc D est manifestement plus riche en P que les blocs A et B. Sur ce bloc, la teneur en phosphore sous ombrière est supérieure de 50 à 100 % de celles des autres traitements.

Les engrais minéraux apportés aux cultures sont la principale source d'entretien du statut phosphorique du sol (6.5 ppm sur parcelle nue contre 11.4 ppm en moyenne des parcelles cultivées). En D, l'héritage en P des cultures antérieures a été redistribué dans les couches superficielles par le labour. Mais seuls les traitements couverts en assurent une bonne conservation contre la battance et le ruissellement. L'érosion sous battance serait la principale cause des pertes de phosphore du sol.

#### d) Evolution du pH

Les figures 4.12a et b illustrent l'évolution du pH entre t<sub>1</sub> et t<sub>5</sub> pour les traitements Savane, TRM, NUE et ZT.



**Figure 4.12 a, b :** Evolution du pH entre t<sub>1</sub> et t<sub>5</sub> en fonction des traitements Savane, TRM, NUE et ZT dans les deux sites

Le pH a peu varié en savane entre 1991 et 1995 :

pH eau : 6.8 contre 6.6

pH KCl : 6.1 contre 5.9.

En milieu cultivé, les parcelles labourées et nues enregistrent les plus fortes baisses de pH :

bloc A : 0.8 unité par rapport à la savane

bloc D : 1.1 unité, après quatre cycles culturaux.

Sur les parcelles cultivées conventionnellement (TRM), le pH baisse de 0.6 unité après le défrichement en A, puis remonte au bout de cinq ans à 7.3. Cette remontée est attribuable aux apports de cations par les engrais minéraux.

Dans le bloc D, la remise en culture entraîne une diminution de 0.6 unité pH en quatre ans. On n'y observe pas de remontée du pH comme sur le bloc A.

Le pH diminue peu sur le ZT dans les deux sites.

En définitive, nous constatons que la date de prélèvement des échantillons semble affecter le pH du sol. Celui-ci diminue plus fortement sur les parcelles labourées que sur les non labourées. Contrairement au carbone, le pH ne baisse pas systématiquement dans les parcelles cultivées conventionnellement. Après la baisse consécutive au défrichement, il peut remonter au-dessus de sa valeur initiale, vraisemblablement en fonction de la qualité et des quantités des engrais apportés au sol.

### **Conclusion au temps $t_5$**

Les traitements appliqués à la savane (mise en défens, feu précoce avec ou sans pâturage) ne semblent pas avoir modifié sensiblement la texture du sol ni son pH. Dans le milieu cultivé par contre, le défrichement à lui tout seul entraîne au bout d'un an, une dégradation notable de la texture. Cinq ans après le défrichement, les évolutions sont encore plus nettes et variables en fonction des pratiques culturales. La matière organique montre la diminution la plus rapide et la plus intense. Elle est plus forte sur les systèmes de culture qui restituent peu de résidus végétaux au sol, diluent les matières existantes dans le profil et les exposent surtout à l'effet dégradant de diverses intempéries. Elle diminue des deux tiers sur ces systèmes et bien moins sur les systèmes peu remaniés et couverts d'une litière. La baisse du taux des matières organiques entraîne inéluctablement celle des constituants dont elles servent de support.

La fraction minérale n'évolue d'une façon sensible que sur les sols non couverts et/ou labourés. Les particules sont sélectivement mobilisées, verticalement et/ou superficiellement en fonction de leur taille. Dans la parcelle, les fines et les moyennes peuvent entrer dans des nouveaux arrangements structuraux moins perméables à l'eau tels que les OPS.

#### 4.1.2.2. *Etats de surface*

Les états de surfaces, tels que définis par Casenave et Valentin (1989), font partie du profil pédologique bien que leur étude ne nécessite pas toujours l'ouverture de profils classiques. Les observations relatives à ces formations superficielles sont présentées ici avant la caractérisation et la comparaison des profils pédologiques entre traitements.

#### Inventaire et fréquence des états de surface élémentaires

Le nombre des états de surface élémentaires sur une unité de surface donnée varie en fonction de la période d'observation, du système de culture et de la pluviosité. Six états de surface de fréquence représentative ont été recensés en deuxième année de culture, avant le labour : pellicules, croûtes, épandages de sables, manifestations biologiques, résidus végétaux (litière) et herbes.

Après le labour, d'autres états sont ajoutés en fonction des classes de taille de mottes. Enfin, le développement de la canopée de la plante cultivée ou des adventices constitue un état de couverture des états élémentaires du sol.

**Les pellicules** comprennent toutes les organisations pelliculaires de surface de la classification de Casenave et Valentin (1989), de structure continue et d'épaisseur millimétrique, sans litage apparent (pellicule de battance, surface d'érosion).

**Les croûtes** correspondent aux organisations issues de phases de sédimentation successives caractérisées par une superposition de micro-horizons.

**Les épandages de sable** représentent des surfaces recouvertes par des sables libres, non liés les uns aux autres par un ciment. Ils proviennent de deux principaux processus :

- + la sédimentation (dès que l'écoulement devient incompetent pour le transport des particules grossières) ;
- + la dispersion des mottes dans les aires de rétention d'eau.

Ces épandages peuvent reposer sur des croûtes de sédimentation ou des pellicules. Ils représentent alors une phase de sédimentation qui peut être recouverte ou mobilisée par les événements pluviaux ultérieurs.

**Les états de surfaces "biologiques"** comprennent toutes les manifestations superficielles de l'activité animale (macro-faune en particulier) : turricules, termitières, remontées par divers insectes.

**Les résidus végétaux** comprennent toute la biomasse végétale morte (racines, bois, feuilles, tiges herbacées, résidus de culture, etc.) posée à plat sur le sol.

**Les herbes** (ou adventices) représentent toutes les espèces végétales vivantes non ligneuses, poussant spontanément.

La fréquence des fissures, des cailloux et des fragments de poterie a été très faible (états non comptabilisés). Les tableaux 4.09 et 4.10 montrent respectivement les fréquences des états de surface élémentaires avant le labour (mai 92) et après les trois premières pluies suivant le semis (91,3 mm en D et 49 mm en N) sur les traitements Nue, TRM et ZT.

Les états de surface élémentaires entrent dans deux ensembles fonctionnels, vis-à-vis notamment de la dynamique de l'eau :

- les surfaces ouvertes (discontinues) : biologiques, résidus, herbes, mottes ;
- les surfaces fermées (continues) : pellicules, croûtes et épandage de sables sur croûte ou pellicules.

La somme des surfaces fermées et ouvertes est égale à 100. Dans l'un ou l'autre groupe, la surface élémentaire peut-être couverte par la canopée ou la litière.

**Tableau 4.09** : Fréquence des états de surface élémentaires (%) avant le labour (mai 92) en D et N sur les traitements Nue, TRM et ZT

	BLOC A			BLOC D		
	NUE	TRM	ZT	NUE	TRM	ZT
Pellicules	60,5	52,1	30,5	65,2	52,0	18,7
Croûtes	0,0	13,2	0,4	34,8	8,7	0,0
Sables	38,5	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
Résidus vég.	0,6	30,7	48,6	0,0	18,5	25,3
Biologiques	0,0	1,5	0,6	0,0	0,2	1,1
Herbes	0,3	2,5	19,5	0,0	20,6	54,9

Dans les deux blocs, la parcelle Nue est totalement fermée (pellicules et croûtes/épandages de sables). TRM est fermée à plus de 60 % et ZT ouvert à plus de 70 %

Avant le labour dans les deux blocs, la parcelle Nue est totalement fermée (pellicules et croûtes/épandages de sables), TRM est fermé à plus de 60 % et ZT ouvert à plus de 70 %. Le labour va conférer au sol un état motteux et créer une surface entièrement ouverte, mais cela de façon temporaire seulement.

Plus tard, dans le cycle cultural, après les 3 premières pluies suivant le semis (tabl.4.10), les parcelles Nue sont fermées dans les deux blocs (> de 93 % de pellicules, croûtes et sables). Les parcelles en TRM sont fermées à plus de 93 % et celles en ZT ouvertes à plus de 80 %. Le mulch est fermé, couvert à 70-88 % et non couvert à 11-30 %.

**Tableau 4.10 : Fréquence des états de surface élémentaires (%) après les trois premières pluies suivant le semis (D : 91.3 mm, N : 49mm)**

	BLOC A				BLOC D			
	Nue	TRM	Mulch	ZT	Nue	TRM	Mulch	ZT
Pellicules	93,5	86,2	11,4	12,6	69,8	66,1	27,0	5,5
Croûtes	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	9,1	0,0	0,0
Sables	6,0	8,2	0,0	0,0	20,6	17,9	0,7	0,3
Résidus	0,5	1,6	85,0	79,5	0,0	4,9	69,9	92,4
Biologiques	0,0	0,8	0,1	1,1	0,0	0,2	0,2	0,1
Herbes	0,0	0,1	0,0	3,3	0,2	0,2	1,2	0,0
Canopée	0,0	1,9	3,6	2,8	0,0	1,5	0,5	1,7
Motte < 3 m	0,0	1,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0
Motte > 3 m	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,5	0,0

Les parcelles nues sont totalement fermées dans les deux blocs (> de 93 % de pellicules, croûtes et sables). Les parcelles en TRM sont fermées à plus de 93 % et celles en ZT ouvertes à plus de 80 %. Le Mulch est fermé et couvert à 70-88 % et fermé non couvert à 28-11 %

On constate une évolution rapide si le sol est dénudé, surtout sur le bloc D, plus instable.

### Evolution des états de surface

Les pratiques culturales sont les principaux déterminants de la formation et de l'évolution des états de surface. Celles qui ne perturbent pas le sol tout en le protégeant des impacts des gouttes évoluent peu. Par contre, une fois que le sol est fragilisé par les retournements et les désagréations mécaniques, il y a une rapide évolution vers la fermeture de la surface (Tabl. 4.11).

Une pluie intense ( $I_{max} 30' > 67 \text{ mm h}^{-1}$  en N) après le semis, a entraîné une fermeture du sol de 87 % en A et 66 % en D sur la moyenne des TRM. Deux semaines après le sarclage et le buttage, le sol est refermé à plus de 90 % sur le TRM en A et D. Sous litière par contre, les états de surface varient peu.

**Tableau 4.11 : Fréquences des états de surface ouverts et couverts en fonction des pratiques culturales et de la pluviosité cumulée de la phase considérée sur les blocs A et D (1993)**

DATE	TRAITEMENT	Ouverture (1) %		Couverture %		Pluie cumulée (mm)	
		A	D	A	D	A	D
1ère pluie après labour 23/06/93	TRM	14,4	43,9	5,8	7,0	-	-
	TRM + fumier	11,7	22,0	4,0	7,5	35,0	12,5
	ZT	97,9	98,8	99,0	90,0	-	-
Avant sarclage et buttage	TRM	7,2	15,8	25,3	11,6	-	-
	TRM + fumier	9,1	20,1	30,7	13,1	214,6	219,4
	ZT	81,7	79,1	87,0	78,1	-	-
2 semaines après sarclage et buttage	TRM	4,3	10,8	77,6	66,0	-	-
	TRM + fumier	4,2	8,0	90,0	58,0	167,1	178,0
	ZT	82,7	74,1	99,0	99,1	-	-

(1) Surface fermée = 100 - % surface ouverte

Avant d'arriver à une bipolarité de l'état structural de la parcelle nue (pellicules et croûtes), la parcelle évolue d'un état de surface rugueux et ouvert à un état lisse et fermé.

La réduction de la rugosité est opérée par les impacts de gouttes de pluie sur les mottes, l'affaissement de celles-ci dans les flaques d'eau, puis le creusement et les effondrements dans les axes d'écoulement linéaire lorsque les flaques deviennent coalescentes. Une fois que le profil d'équilibre est réalisé entre le haut de la parcelle et le bord du canal, les fonds des axes d'écoulements s'élargissent au détriment des parties de sol rugueuses. Le ruissellement en nappe se substitue à l'écoulement linéaire dès que le volume d'eau augmente.

Cependant sur le plan topographique, il subsiste toujours une micro-ondulation où les points bas représentent les aires de ruissellement et de transport des sédiments (croûtes) et les points hauts, les aires de production des sédiments due aux impacts des gouttes de pluie (pellicules). Cette différenciation superficielle des états de surface sur la parcelle nue n'est pas statique. L'érosion liée à la battance peut abaisser les aires hautes par rapport aux aires basses, entraînant une migration latérale de l'axe de l'écoulement ainsi que l'inversion des fonctions de "contribution/production" et de "transport" des sédiments entre ces deux surfaces. Cette migration peut être due à la stabilisation et au soulèvement d'un point bas (levée d'une adventice par exemple).

L'évolution des états de surface des parcelles cultivées est aussi affectée par les pratiques culturales post semis et les plantes cultivées. Le buttage simule un système d'érosion linéaire et produit les croûtes de sédimentation dans les sillons, et les pellicules sur les billons.

Les plantes interviennent par la concentration de l'eau le long des tiges ou en bout de feuilles. Les écoulements le long des tiges accélèrent la dégradation des billons en nourrissant les sillons en sédiments. Les gouttes d'eau qui tombent des bouts de feuilles sont plus grosses que celles des pluies ; elles creusent de véritables micro-cratères à la surface du sol.

La mise en culture des sols sableux du Sud-Est Bénoué entraîne une évolution beaucoup plus rapide de la surface qu'en milieu naturel, particulièrement lorsqu'ils sont fragilisés par le travail du sol ou ne sont pas couverts ; et dans le cas de sols cultivés, la couverture du sol évolue en fonction du végétal, du système de culture et du temps (développement de la canopée).

### **Infiltrabilité des états de surface**

Malgré leur faible épaisseur, les états de surface identifiés ci-dessus montrent des comportements très contrastés vis-à-vis de la dynamique de l'eau (tableau 4.12). Ils se

rèvent être les principaux déterminants de la répartition de l'eau de pluie entre l'infiltration et l'écoulement superficiel.

**Tableau 4.12** : Vitesse d'infiltration d'une lame d'eau de 10 cm sur différents états de surface en fonction du traitement et de la position sur la parcelle (méthode du mono cylindre : Roose et al, 1994)

Traitements	Position	Etats de surface	Durée (mn) infiltration	Vitesse d'infiltration non corrigée (mm/h)
Nue (D10).	Haut	Pellicule	71	84,5
	Bas	Croûte	82	73,2
TRM (D2)	Haut	Pellicule	>90	<66,6
	Bas	Croûte	>90	<66,6
ZT (D14)	Haut	Litière	7	857,0
	Bas	Pellicule	23	260,0

Les surfaces en ZT (nues ou couvertes) infiltrent 3 à 10 fois plus d'eau que les pellicules et les croûtes des parcelles labourées, nues ou cultivées.

En résumé, les pratiques culturales déterminent deux principaux états structuraux de la surface du sol :

- les surfaces ouvertes et couvertes par une litière sont relativement stables et peu influencées par l'impact des pluies ; leur capacité d'infiltration est trois à dix fois plus élevée que celle des surfaces non protégées ;
- les surfaces non couvertes sont très rapidement réorganisées, puis refermées par la pluie. Suivant leur position, elles s'épaississent par sédimentation, se tassent sous l'impact des gouttes ou s'érodent par rejaillissement et/ou cisaillement des écoulements. La fermeture de la surface du sol réduit l'infiltration et favorise en conséquence le ruissellement et les morsures d'érosion provoquées par le ruissellement, car la battance et le tassement diminuent aussi la détachabilité des particules.

Sur les sols sableux, le labour provoque une ouverture du sol, mais celle-ci est temporaire, car les mottes ainsi formées sont fragiles et vite détruites par la pluie. La surface ainsi battue se tasse, se ferme et s'aplanit. La couverture du sol par un paillage ou une grille ombrière, juste après le labour, présente un état de surface fermé (pellicules) bien que couvert par un écran. La fermeture de la surface de ces sols n'est pas uniquement le fait de l'impact des gouttes de pluie. Le travail du sol désagrège une partie de matériau en produisant des particules élémentaires et des mottes de tailles diverses qui commencent à se réorganiser à sec ; les premières eaux de pluie achèvent ce réarrangement lors de leur migration verticale ou superficielle.

### **4.1.2.3. Profils pédologiques**

#### **Introduction**

Nous avons observé et décrit les profils pédologiques des parcelles d'érosion en mai 1993 (annexe n° 4.05).

Pour chaque profil, on présente deux types de différenciation verticale :

#### a) Premier type, les caractéristiques morphologiques

- les organisations pelliculaires superficielles (OPS : homogénéité, épaisseur, structure) ;
- l'horizon cultural sous-jacent à l'OPS : épaisseur et morphologie ;
- la profondeur de l'apparition éventuelle des gravillons et de la carapace entre 0-50 cm.

Les OPS peuvent être continues (homogènes) ou discontinues. Leur épaisseur varie du millimètre à quelques centimètres. Lorsque celle-ci avoisine ou dépasse le millimètre, elles présentent un litage ou une superposition de micro-couches. Elles peuvent contenir des vacuoles témoignant de l'emprisonnement de l'air sous les croûtes.

La morphologie de la couche culturale des parcelles labourées est marquée par une rémanence plus ou moins accentuée des effets de labour :

- mottes et vides plus ou moins bien conservés ;
- remontées de la terre de profondeur le long du versoir de la charrue sous forme de bandes étroites et obliques (travées de terre).

#### b) Second type, la cohésion des volumes les plus représentatifs de chaque couche qui est caractérisée par deux paramètres

- la densité apparente ( $d_a$ ) mesurée au cylindre de 100 cm<sup>3</sup> ;
- la pénétration de la lame de couteau (plc) appliquée vivement par l'observateur sur l'horizon observé. Elle est exprimée en cm/coup. A défaut de mesurer la densité apparente sur tous les volumes de chaque couche, ce critère permet d'apprécier assez rapidement les différences de compacité d'un point à l'autre.

Les parcelles sont comparées de diverses manières : les comparaisons sont faites soit entre profils d'une même parcelle (haut et bas), soit entre deux traitements du même bloc et soit entre deux blocs pour le même traitement.

## Analyse des profils

### *a) Parcelles labourées*

#### Différenciation intraparcellaire

Sur la parcelle Nue du bloc dégradé (D10), les profils réalisés à 7 et 15 m du canal montrent deux différences majeures portant sur l'homogénéité des OPS et sur la présence de vacuoles d'air :

- dans la partie supérieure de la parcelle, l'OPS n'est pas homogène : il y a un relais entre les plages litées (croûtes > 1 mm) et les plages à simple pellicule de battance (inférieur ou égal à 1 mm) ; les premières plages correspondent aux aires de sédimentation dans les flaques d'eau, les dernières aux aires d'effacement de la rugosité par la battance.
- à la partie basse de la parcelle, l'OPS est homogène et caractéristique d'un régime de sédimentation (Casenave et Valentin, 1989) : épaisseur continue et piégeage d'air (croûtes de sédimentation).

Sous ces formations pelliculaires superficielles, l'effet du labour a été bien conservé dans les deux cas. L'OPS isole donc la couche labourée sous-jacente des agressions pluviales superficielles. La croûte de sédimentation repose comme une dalle bétonnée sur les mottes. A sec, elle ne s'effondre pas si on soutire localement celles-ci (photo 31). Dans cette parcelle, la différence entre le haut et le bas ne porte visiblement que sur les OPS.

#### Différenciation entre blocs

Le profil réalisé au centre de la parcelle "Nue" du bloc A (A9) montre des OPS semblables à celles de D10 "Haut" (relais entre croûtes de sédimentation et pellicules de battance). Mais au lieu d'une différenciation en deux couches comme ci-dessus, on en note trois :

- une couche superficielle d'épaisseur irrégulière ;
- une couche à structure massive, tassée ( $d_a = 1.6$ ) sans traces de labour ;
- une couche plus meuble ( $d_a = 1.40$ ) où les effets du labour (mottes et vides entre mottes) sont encore reconnaissables ainsi que les travées de terre de profondeur.

On constate qu'il y a une progression du tassement du haut vers le bas, indiquant que les forces actives sont appliquées à la surface et orientées vers le bas.

Deux facteurs pourraient expliquer ce comportement morphologique différent entre les blocs A et D : la texture et la pente. Plus argileuses, les OPS de la parcelle nue de D sont plus cohérentes et plus stables que celles du bloc A. La pente étant plus forte en D, les eaux circulent plus rapidement. L'OPS isole efficacement la couche sous-jacente contre les pressions et l'humectation superficielles. A l'opposé, la texture plus sableuse de A ne permet pas la mise en place d'une OPS solide. Ensuite, du fait d'une faible pente, l'eau séjourne plus longtemps à la surface du sol, d'où un travail de compression et de succion plus accentué.

### Comparaisons entre traitements

Ombrière : Contrairement au traitement NUE (D10) où la morphologie de l'OPS, et donc du profil, varie le long de la parcelle, le traitement OMBRIERE (D6) ne montre pas de différence entre le haut et le bas de la parcelle. L'OPS est une surface d'érosion d'épaisseur équivalente à celle d'une pellicule de battance. Ce qui fait supposer que sous Ombrière, soit qu'il n'y a pas eu sédimentation sous les flaques d'eau, soit que les croûtes ont été reprises par l'érosion. La couche labourée apparaît plus cohérente avec des mottes moins individualisées que sur le témoin de sol nu :  $da = 1,66$  ; plc très variable : de 1 à 10 cm/coup contre  $da = 1,45$  et 5 à 10 cm/coup pour D10. Les travées de terre brun rouge restent bien individualisées.

Mulch : Le mulch est comparable à l'Ombrière à l'exception de la présence de petits amas de sables propres dans les micro-dépressions sur des aires non couvertes. Ces sables sont des témoins de désagréments, voire de ruissellement localisés.

TRM non buttée : La parcelle non buttée présente un profil de bas de parcelle avec une OPS d'épaisseur régulière (0.5 - 1.0 cm) sans vacuoles d'air.

TRM : Les parcelles labourées et buttées un mois après semis se distinguent des non buttées par trois principales caractéristiques morphologiques :

- + une surface ondulée avec une dénivellation moyenne de 10 cm entre le sommet des pseudo- billons et la surface du sillon ;
- + une sédimentation de sable dans les sillons de 3 à 5 cm d'épaisseur en moyenne ;
- + un recouvrement d'une partie de l'OPS formée avant le buttage sous le pseudo-billon.

Au-dessous de la base des sillons, les parcelles labourées et buttées conservent plus ou moins les effets de labour à l'exception de TRM-Fumier qui a montré un profil très homogène, même au niveau des travées obliques.

TRM- fumier : La couche labourée de TRM-fumier est peu cohérente :  $da = 1.37$  à 1.50 et  $plc$  variable : 1 à 6 cm/ coup.

Les grains de fumier de chèvre sont reconnaissables dans la masse. La couche labourée montre une évolution nettement différente de celle des autres parcelles labourées.

#### *b) Parcelles non labourées*

Les traitements non labourés comprennent le MINTIL, le ZT, les JACHERES et la SAVANE. Dans l'ensemble de ces profils, l'état morphologique initial prime sur les effets des traitements à l'exception du MINTIL et de la jachère améliorée :

MINTIL : Ce traitement introduit une ondulation superficielle remarquable. Au cours du cycle cultural, la ligne de semis où la terre a été cassée avec soulèvement de mottes par l'outil de travail du sol, se transforme en sillon. Une partie des mottes soulevées tombe de part et d'autre de la ligne travaillée en formant de petits bourrelets de terre reposant sur la litière. Le centre de la ligne est dans un premier temps évidé par l'érosion, puis il devient une zone de sédimentation des terres provenant de l'érosion des bourrelets.

SAVANE : Dans le bloc Savane, les différenciations restent superficielles :

- + en savane mise en défens, la surface du sol est recouverte de litière ;
- + sur savane brûlée, on note un éparpillement des grains de sables roses en surface, mais sans épaisseur.

Les autres caractères morphologiques des profils sont semblables sur les trois traitements savane :

- 0-15/20 : horizon de surface gris foncé avec un chevelu racinaire très abondant et présence des galeries de vers de terre abondantes ; faible cohésion et transition graduelle vers l'horizon B ;
- 15/20-45 : horizon brun gris foncé, nombreuses racines moyennes, quelques nids de vers de terre ou tubes de termites;  $Plc$ : 3 à 5 cm/ coup ;
- au-delà de 45 cm, très cohérent,  $Plc < 1$  cm/ coup ;

ZT : La morphologie du profil ne varie pas. Celle des parcelles du bloc A est semblable à celle des profils du bloc Savane ; le bloc B est caractérisé par un profil très appauvri sur 4 à 7 cm ; une couche de sable gris et bouillant surmonte un horizon gris à gris brun de 10 à 15 cm, d'aspect massif, compact par endroits, plus au sommet que vers le bas :  $Plc$ : 3 à 10 cm/coup. Au-delà de 20 cm, la terre est brun grisâtre, à structure massive et assez compacte :  $Plc$  : 2 à 5 cm/coup. Une plante à bulbe bouclant son cycle levée-maturité graine en deux mois environ, entre les premières pluies et mi-juin (20 avril-

20 juin), s'est adaptée à ce profil et en fait une caractéristique de ce bloc. Il est fort probable que l'horizon 0-4/7 cm n'est pas un produit d'un appauvrissement local, mais plutôt celui d'un colluvionnement de sable au niveau de la rupture de pente entre les sections de la toposéquence représentées par les blocs A et C.

Dans le bloc D, la présence d'un profil typique de l'appauvrissement sur 5 à 10 cm témoigne d'une part, de l'ampleur de l'érosion au cours des cycles culturels précédents et d'autre part, de celle des redistributions de sable dans les champs cultivés.

Les parcelles non labourées du bloc D montrent un horizon de surface appauvri, mais avec une structure des sables en micro-couches parallèles entre elles. Les sables ne sont pas les résidus d'un triage local, mais des sédiments (photo n° 21).

Les profils appauvris ne résultent donc pas uniquement de triage localisé. Ils peuvent provenir aussi d'une sédimentation aboutissant à la mise en place d'un profil complexe.

JACHERE naturelle : La jachère naturelle ne semble pas apporter une modification morphologique notable du profil (couleur, structure, da) par rapport aux caractéristiques indiquées pour les parcelles en ZT du bloc D.

JACHERE améliorée : Deux ans après un semis de *Calopogonium mucunoïdes* qui a assuré une bonne couverture du sol dès la première année, on note une évolution de la morphologie du profil du sol dégradé :

- + une couleur plus foncée de l'horizon B, traduisant une incorporation de la matière organique dans le sol ;
- + une fissuration de l'horizon B et une pénétration profonde des racines ;
- + le sol restant couvert toute l'année, un état d'humidité frais y est maintenu durant toute la saison sèche.

### **Conclusion sur les états de surface et le profil pédologique**

En savane, la rugosité de la surface du sol et sa couverture par de nombreux résidus et les différents étages de la végétation assurent une couverture efficace du sol au moment où arrivent les événements pluvieux dangereux. Le profil sableux des sols de savane résulte soit d'une érosion sélective locale, soit d'un héritage de sédimentation de sables au cours d'une phase de culture antérieure ou des zones érodées à l'amont. Grâce à l'activité de la mésofaune et de la végétation, les sols sont ouverts, bien aérés et capables d'absorber la quasi totalité des pluies journalières de fréquences annuelle ou décennale. Cette aptitude reste stable tant que le sol est couvert et non perturbé. La couverture de la

surface du sol par une litière végétale absorbant les impacts des gouttes de pluie, protégeant sa porosité et nourrissant la macrofaune tellurique est l'état de surface qui entretient une ouverture optimum du sol à l'atmosphère.

Dans les sols cultivés par contre, les états de surface sont fonction des pratiques culturales appliquées. Pour les systèmes de culture qui remanient le sol par le labour ou l'expose nu à la battance des pluies, l'ouverture créée par le labour évolue très rapidement. Les matériaux détachés par le travail du sol et par les impacts des gouttes de pluie sont réorganisés à la surface sous forme de minces couches continues et tassées (OPS). Celles-ci réduisent considérablement l'infiltration de l'eau. Cette fermeture du sol entraîne un ruissellement accru et des risques d'incision et d'érosion du sol élevés. Pour les systèmes culturaux ne remaniant pas le sol et maintenant assez de litière à la surface de celui-ci, l'énergie des gouttes d'eau est dissipée par la litière et la surface du sol reste ouverte tant que se maintient cet écran. Préservé par le non-travail du sol, la macrofaune du sol se nourrissant de la litière, aère davantage le profil et en conséquence maintient son infiltrabilité dès la surface. L'évolution de l'ensemble du profil est dépendant de celle de sa surface qui détermine les flux d'eau s'infiltrant dans les horizons sous-jacents.

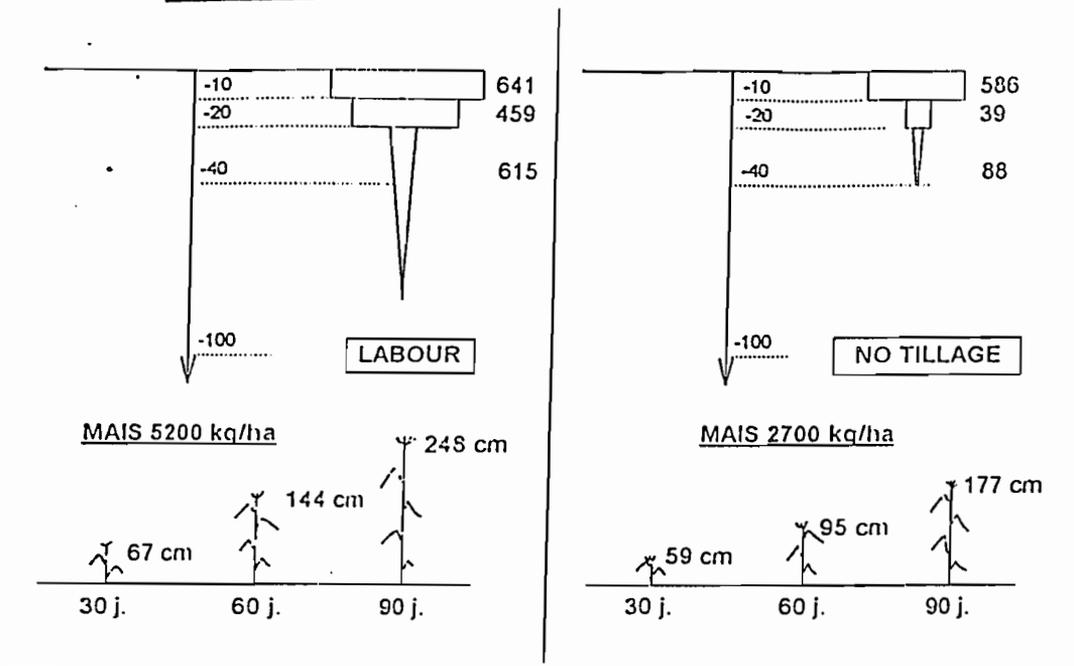
L'enfouissement du fumier de chèvre (mélange de poudrette et de crottes sphériques) réduit la recompaction et homogénéise la couche de terre à laquelle il est mélangé. Mais malgré son rôle positif dans la couche sous-jacente à l'OPS, le fumier n'a pas empêché la fermeture du sol. Le traitement Fumier est comme le TRM, sujet à un ruissellement et à une érosion intense. L'érosion puis la sédimentation de sables venus de plus haut dans la toposéquence, sont à l'origine de certains profils catalogués comme appauvris, observés notamment sur les parcelles non labourées (Savane et ZT). Les légumineuses de couverture, telle que *Calopogonium mucunoides*, aèrent plus rapidement les sols dégradés que la jachère naturelle.

#### ***4.1.2.4. Profils culturaux et hydriques***

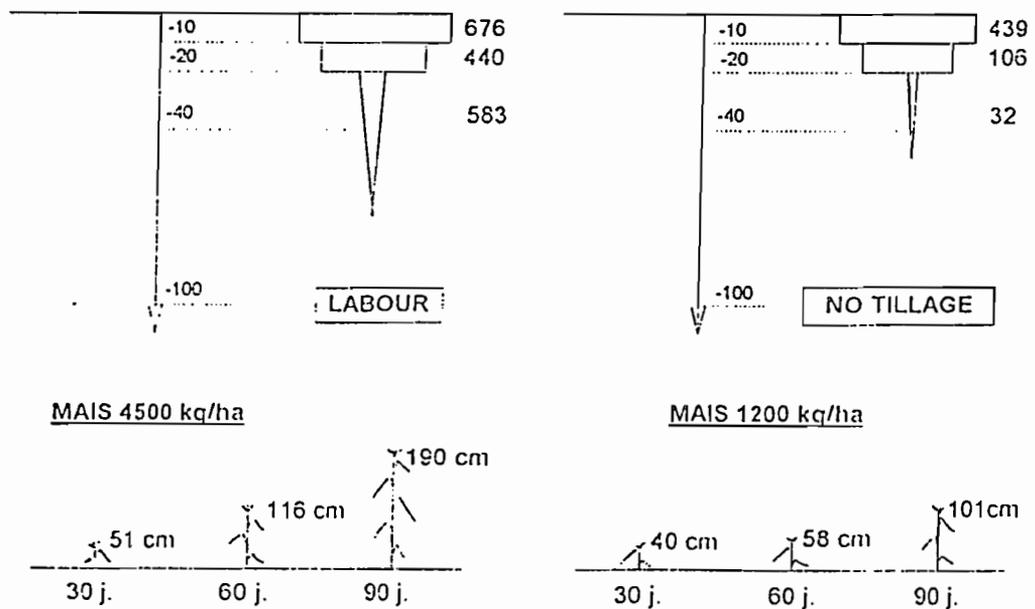
##### **Les profils culturaux**

La figure 4.13 illustre les états de l'enracinement et du développement végétatif ainsi que la productivité du maïs sur les traitements Labour et Non Labour, comparativement sur la nouvelle défriche et sur le bloc dégradé. On constate que l'enracinement du maïs est moins intense sur le non-labour que sur le labour et davantage sur sol dégradé que sur la nouvelle défriche. La croissance du maïs est réduite sur les parcelles non labourées, mais cette réduction ne paraît pas proportionnelle à celle de l'enracinement. Les rendements eux paraissent diminuer aussi intensément que la densité de l'enracinement.

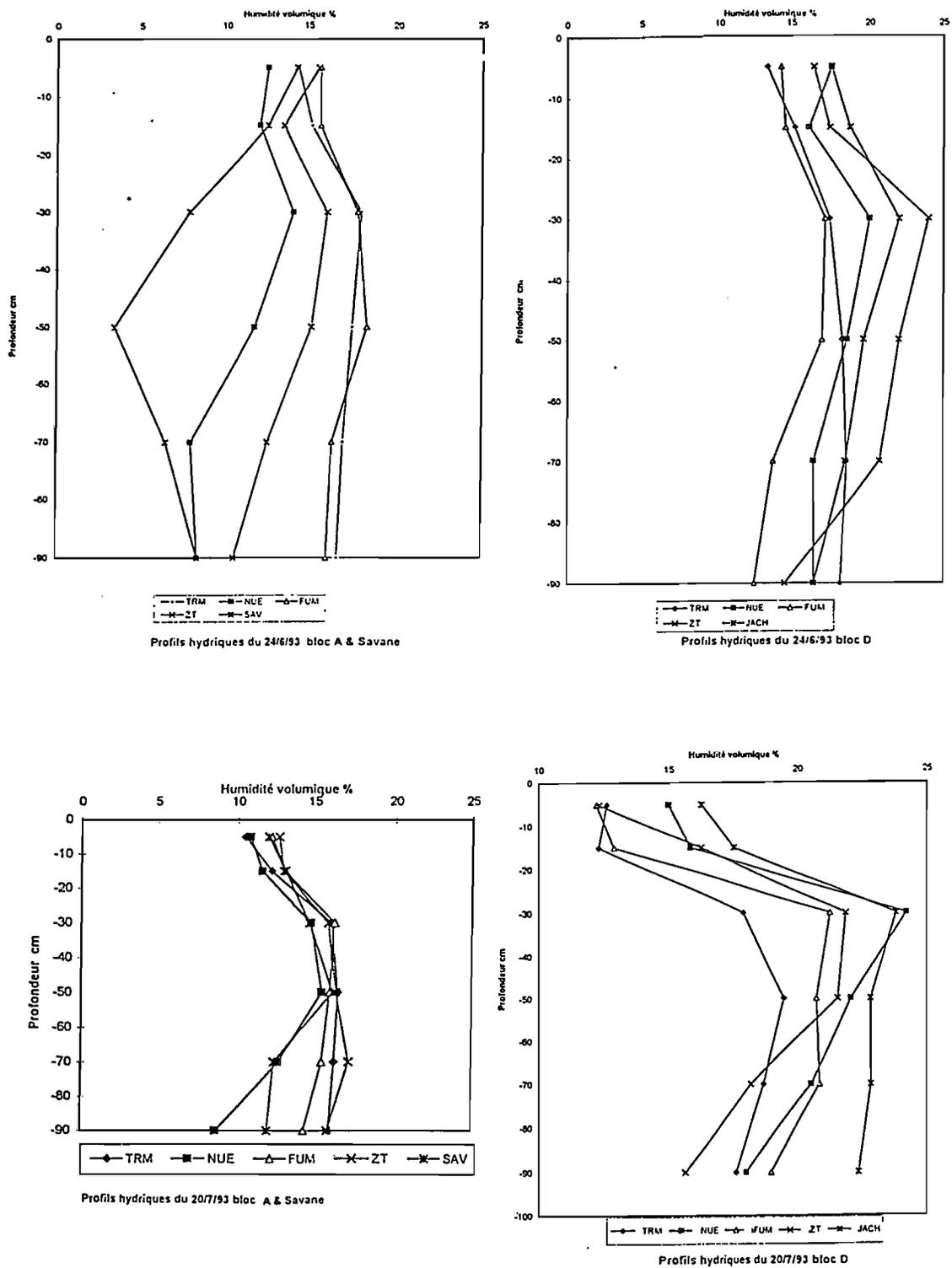
**Sol non dégradé (bloc A) - Pente  $\cong$  1 % - Pluie = 1184 mm.**



**Sol dégradé (bloc D) - Pente = 2.5 % - Pluie = 1175 mm.**



**Figure 4.13 :** Profils culturaux comparés sous maïs entre le labour (TRM) et le non-labour (ZT) sur les blocs dégradé et non dégradés. En haut, nombre de racines en fonction de la profondeur et en bas, hauteur moyenne des plants au cours du temps (Sanon, 1992).



**Figure 4.14 :** Profils hydriques observés sur les sols soumis à différentes pratiques culturales dans les blocs SAVANE, A & D (1993)

## Les profils hydriques

Les profils hydriques ont été réalisés à partir des prélèvements d'échantillons de terre à la tarière, suivis de leur pesage avant et après séchage à l'étuve à 105° C pendant 24 heures. Les figures 4.14 , donnent les résultats de quatre réalisations de profils hydriques en juin (après la première pluie suivant le semis), et en juillet (un mois après le semis), pour l'année 1993 :

- \* 24 juin 1993, après 23 mm la veille en A et 12 mm en D ;
- \* 20 juillet 1993, deux jours après une averse de 85 mm en A et 82 mm en D.

Ces profils montrent :

- \* un dessèchement rapide des horizons superficiels (0-20 cm) quel que soit le bloc ;
- \* une différence nette des stocks hydriques entre les blocs A et D sur les couches 30 à 70 cm (humidité plus élevée en D) ;
- \* un dessèchement plus rapide de la savane par rapport aux autres traitements, notamment dans la couche 30-50 cm, là où la densité des racines moyennes et grosses est la plus élevée ;
- \* dans le bloc D, le traitement JACHERE présente, sur toute la profondeur, le profil le plus humide de tous les autres traitements du même bloc.

### *4.1.2.5. Densité apparente et valeurs caractéristiques de pF- teneurs eau*

La porosité totale peut être déduite de la densité apparente<sup>2</sup> (da) et la macroporosité est indiquée par une appréciation visuelle des macropores biologiques ou hérités du labour. On constate sur le tableau 4.13 que les sols de la savane présentent les plus faibles densités apparentes entre 0-50 cm : 1.26 kg/dm<sup>3</sup> en moyenne sur 0-15 cm et 1.46 kg/dm<sup>3</sup> sur 15-45 cm. A ces densités apparentes relativement faibles, s'ajoute une macro-porosité biologique notable liée à l'activité de la macrofaune.

En milieu cultivé, les densités apparentes faibles après labour deviennent vite plus fortes : les sols labourés se recompactent vite, à l'exception du sol nu et de celui traité au fumier. La conservation des états structuraux hérités du labour est due, comme nous l'avons dit plus haut, à la protection par l'OPS qui limite la quantité d'eau mouillant le profil cultural, mais aussi pour les parcelles nues (NUE) à :

---

<sup>2</sup> Porosité totale =  $\frac{dr - da}{dr} \times 100$

- l'absence de piétinement équivalent à celui induit dans les parcelles cultivées par les opérations culturales du semis à la récolte ;
- l'absence du travail racinaire.

**Tableau 4.13 : Densité apparente et macroporosité des terres des parcelles d'érosion en fonction des différentes pratiques culturales sur les blocs Savane, B et D (Mbissiri, mai 1993)**

		Densité apparente da (kg/dm <sup>3</sup> )	Macro-porosité
BLOC B	NUE	1,5-1,6	L++
	TRM	1,4-1,6	-
	FUM	1,4-1,6	L++
	RESID.	1,4-1,6	-
	OMBR.	1,4-1,6	-
	ZT	1,4-1,6	B+
BLOC D	NUE	1,4-1,5	L+++
	TRM	1,4-1,7	-
	FUM	1,3-1,4	L++
	RESID.		-
	OMBR.	1,5-1,6	-
	ZT	1,5-1,8	-
	JACH. NAT.	1,5-1,8	-
	JACH. AMEL.	1,4-1,6	-
SAVANE	DEFENS	1,4-1,6	B++
	FEU	1,3-1,4	B++
	FEU + PAT.	1,1-1,3	B++

L+++ : importante, héritée du labour

L++ : moins importante, héritée du labour

- : non identifiée

B++ : biologique (nids et chenaux, vers de terre et insectes)

Les plus faibles densités apparentes sont observées en savane. En milieu cultivé, la plus faible densité apparente est observée sur le traitement TRM- fumier en D. La parcelle nue préserve le plus les effets de labour

La jachère améliorée présente une compacité légèrement plus faible que celle de la jachère naturelle ou du TRM. Par ses effets sur l'incorporation de la matière organique en profondeur et la protection contre l'évaporation, la plante de couverture maintient une humidité du profil qui ne permet pas une dessiccation et une prise en masse rapide du sol. Et les traitements avec le travail du sol minimum ou les jachères, ainsi que les savanes naturelles ont des densités apparentes qui sont semblables ou plus faibles que celles sur TRM malgré l'absence de travail du sol.

#### Les valeurs caractéristiques pF- teneurs en eau

Le tableau 4.14 indique les teneurs en eau des terres pour les traitements NUE, TRM et ZT des blocs A et D aux pF 1.8 et 4.2 aux temps  $t_3$  et  $t_5$ .

**Tableau 4.14 : Evolution de la teneur en eau des terres des parcelles Nue, TRM et ZT au pF 1,8 et 4,2 à T<sub>3</sub> et T<sub>5</sub> sur les blocs Savane, A et D**

	Savane		NUE(A)		TRM(A)		ZT(A)		NUE(D)		TRM(D)		ZT(D)	
	T3	T5	T3	T5	T3	T5	T3	T5	T3	T5	T3	T5	T3	T5
PF 1,8	13,7	11,5	12,1	10,9	15,0	11,9	18,5	12,2	15,9	16,0	15,0	10,9	15,9	13,2
PF 4,2	2,1	2,2	1,8	2,6	2,6	2,7	4,1	5,2	3,1	4,6	3,0	2,3	2,3	3,2

D'une façon générale, on note une tendance à la baisse de la teneur en eau à pF 1,8 à l'augmentation de celle à pF 4,2 avec le temps

D'une façon générale, on note une tendance à la baisse de la teneur en eau à pF 1.8 et à l'augmentation de celle à pF 4.2, au cours du temps.

Ce comportement peut être interprété comme une conséquence d'une évolution structurale défavorable à la porosité moyenne : c'est donc un indice de tassement progressif indiquant que la réserve utile (RU) en eau diminue, et l'alimentation des plantes est rendue plus difficile.

#### **4.1.2.6. Conclusion sur les indicateurs d'état du sol**

Les sols du Sud-Est Bénoué sont très fragiles malgré leur présentation sur des faibles pentes. Dans les conditions naturelles, la végétation (système racinaire, couvert multi-étagé, litière) et la faune améliorent et protègent continuellement leurs constituants, leurs organisations et leur ouverture à l'atmosphère. Défrichés et mis à nu, ils se désagrègent et se réorganisent superficiellement sous les effets des pluies, des pressions des outils et des machines agricoles et du piétinement par le bétail. La désagrégation individualise les constituants. Les particules fines et les moins denses sont mobilisées les premières, soit par migration verticale le long du profil, soit superficiellement dans les eaux de ruissellement. Les migrations verticales contribuent à la fermeture de la surface du sol et préparent ainsi la naissance du ruissellement et les migrations de surface.

Pendant cette évolution, les matières organiques du sol sont les plus rapidement et intensément affectées ; plus légères, elles sont mobilisées par l'eau. Les faibles restitutions de biomasse pendant les cycles culturaux, les retournements par le travail du sol ainsi que leur dilution dans le profil cultural accélèrent leur minéralisation. Les pertes de MO apparaissent ainsi comme la conséquence de divers processus de dégradation physique, mais aussi comme la cause de la baisse d'autres constituants dont elles sont le support. Ces pertes entraînent celles de nombreuses qualités physiques, chimiques et biologiques qu'elles confèrent au sol. Les fractions minérales sont sélectivement transportées et déposées dans le profil et le long de la pente. Elles rentrent dans de nouvelles organisations, en particulier dans l'édification des couches superficielles très peu perméables.

La battance du sol par les eaux de pluie constitue le principal facteur de la désagrégation et de la mobilisation de l'ensemble des constituants du sol. Elle remplace les structures ouvertes naturellement ou artificiellement (par le travail du sol) par des organisations superficielles continues et peu perméables. Le labour des sols sableux est aussi un puissant facteur de leur dégradation. Il favorise leur rapide réorganisation et leur fermeture, même en l'absence de l'énergie cinétique des gouttes d'eau.

La forte compacité des horizons sous la couche de sédimentations sableuses est caractéristique des sols dégradés par plusieurs années de culture dans le Sud-Est Bénoué. Les sols décompactés par le labour se recompactent rapidement sous culture. Dans les parcelles labourées non cultivées où les états de surface évoluent très rapidement, les effets du labour peuvent être parfaitement conservés par les organisations pelliculaires de surface. En définitive, l'évolution de l'ensemble du profil est dépendante de celle de sa surface qui détermine, en particulier, la répartition de l'eau entre l'infiltration et le ruissellement.

#### **4.1.3 LES REVELATEURS DE FONCTIONNEMENT**

Les données expérimentales sur trois révélateurs de fonctionnement, ruissellement, pertes en terre et rendements, sont analysées globalement sous cette section au pas de temps annuel. Les résultats détaillés du ruissellement et des pertes en terre sont présentés par la suite ; seuls, les résultats des pertes en terre sont présentés à des pas de temps inférieurs à l'année. Les résultats sur les rendements sont présentés ensemble avec les résultats des essais agronomiques sous la partie 4.2. : « Potentialités agricoles et Productivité des différentes pratiques agricoles ».

##### ***4.1.3.1 Analyse globale***

Les résultats des mesures de ruissellement, des pertes en terre et des rendements, sont présentés sous forme de tableaux et de figures après la comparaison statistique des moyennes des traitements, ceux-ci étant regroupés en familles.

Cette comparaison a un double but :

- distinguer les traitements qui produisent des effets significativement différents de ceux du témoin auquel ils sont comparés ;
- le résultat de ces comparaisons permet de valider le regroupement des traitements d'une même thématique en « familles », selon un critère de fonctionnement donné.

### Méthode d'analyse statistique

Nous avons été guidé dans cette opération par E. Goze, biométricien au CIRAD de Montpellier.

L'analyse de la variance est l'un des outils les plus puissants communément utilisés dans le traitement statistique des données expérimentales, en particulier dans la comparaison des moyennes (Fisher, 1937). Elle repose sur un modèle additif pour un essai en blocs complets « randomisés » (affectation des objets au hasard) :

$$Y_{ij} = m + a_i + b_j + E_{ij}$$

*y* : variable estimée

*m* : moyenne des données observées

*i* : numéro de l'objet (traitement)

*j* : numéro du bloc (répétition)

*a<sub>i</sub>* : effet de l'objet *i*,

*b<sub>j</sub>* : effet du bloc *j*

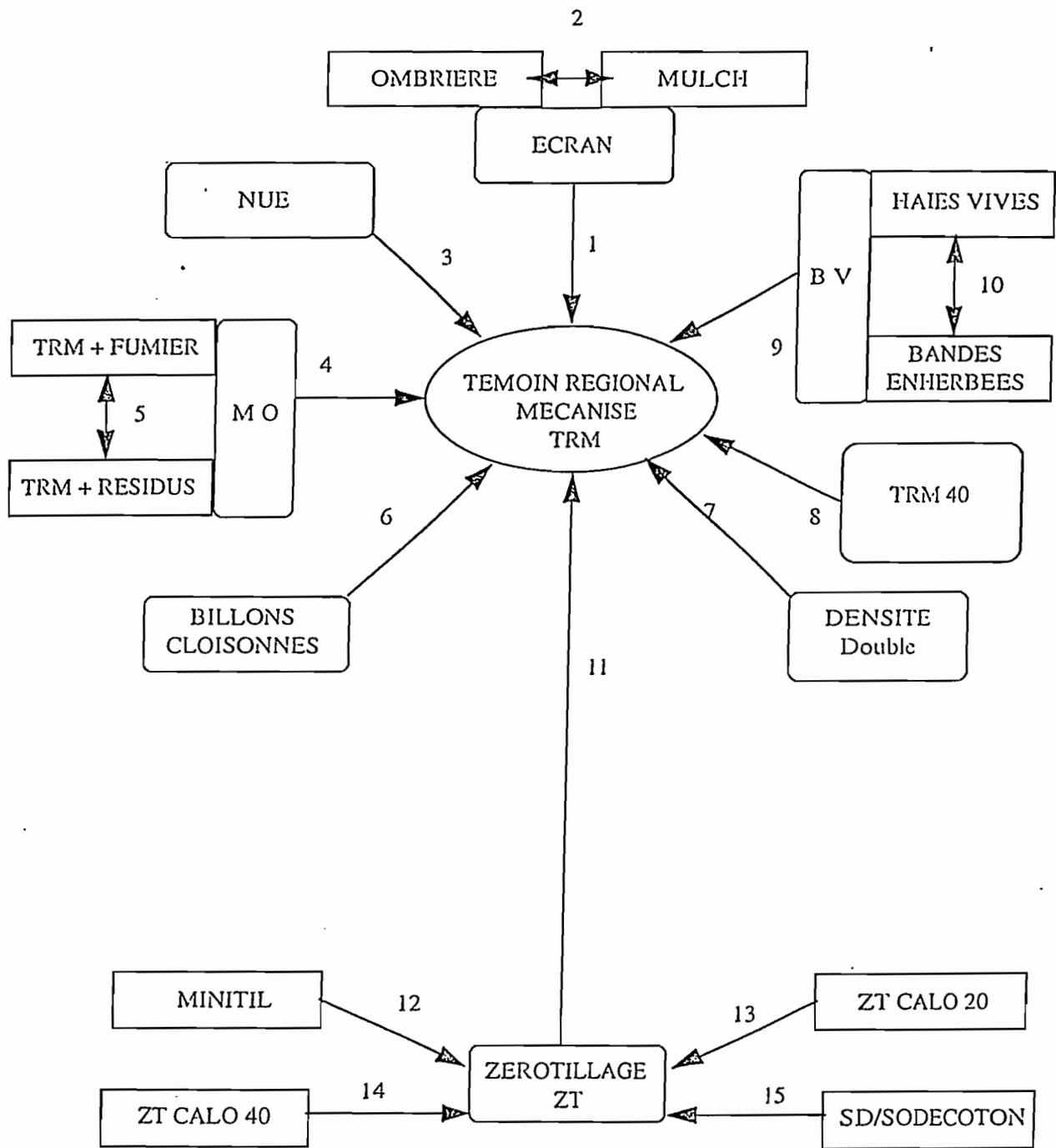
*E<sub>ij</sub>* : erreur expérimentale répartie suivant une loi normale d'espérance nulle, de variance uniforme quels que soient l'objet et le bloc, indépendante des effets *a<sub>i</sub>* et *b<sub>j</sub>* et des autres erreurs.

La dernière condition n'est réalisée que dans un essai convenablement randomisé, ce qui n'est pas le cas du nôtre, puisque pour des contraintes imposées par le dispositif et l'utilisation du tracteur, la randomisation a consisté seulement à renverser l'ordre des traitements labourés et non labourés d'un bloc à un autre. Nous avons néanmoins effectué l'analyse de la variance car elle était la mieux adaptée à ces données.

Etant donné que tous les objets ne sont pas présents dans les trois blocs, nous avons utilisé le logiciel "SAS" (permettant l'analyse des blocs incomplets) pour estimer et comparer les effets des objets ajustés aux effets des blocs.

La méthode de l'analyse de la variance avec calcul des contrastes a été utilisée. Elle est appliquée à l'analyse de la variance lorsqu'on compare des groupes de moyennes (comparaison de groupes), chaque groupe étant composé de traitements possédant quelques caractères communs. Elle convient donc bien à notre dispositif où les traitements ont été définis par thématique.

Les contrastes ont été définis en suivant le plan de comparaison des traitements (Fig. 4.15). Après un test F, de Fisher-Snedecor, qui permet de déterminer s'il y a des différences entre traitements, chaque contraste est estimé avec l'ensemble des données disponibles (il est donc ajusté de l'effet du bloc). Un test de Student permet de savoir s'il est nul ou non.



MO = Matière Organique ; BV = Bandes Végétales, Calo = *Calopogonium*

Figure 4.15 : Schéma de comparaison des traitements

Si l'on se réfère au modèle de prédiction des pertes en terre : l'USLE (Wischmeier et Smith, 1960, 1978), l'érosion serait plutôt un modèle multiplicatif qu'additif. Pour la rendre compatible avec le modèle de l'analyse de la variance qui est additif, le logarithme de l'érosion est considéré à la place de l'érosion elle-même.

Le TRM est choisi comme référence des comparaisons principales :

*1 ; 3 ; 4 ; 6 ; 11 ; 7 ; 8 et 9.*

Les comparaisons à l'intérieur des familles sont dites secondaires :

*2 ; 5 ; 10 ; 12 ; 13 ; 14 et 15.*

Les résultats de l'analyse sont donnés sous forme de listings (voir annexe n° 4.06). Les trois premières pages portent les données d'entrée avec indication des traitements sous la colonne objet, des blocs sous la colonne bloc, avec : 1 = bloc A ; 2 = bloc B ; 3 = bloc D.

Les variables comparées : coefficient de ruissellement annuel moyen (KRAM : %), pertes en terre de fonds (E : t/ha/an) et rendement (Rdt : t/ha) sont annuelles et notées respectivement KR 91, KR 92, ... E 91, E 92... et Rdt 91, Rdt 92...

Les résultats proprement dits sont présentés par variable et par année sur une même page en deux parties :

- un résumé d'analyse de la variance indiquant, sous la variable dépendante, les colonnes de la source de variation, du nombre de degrés de liberté (d. f.) de chaque source de variation, la somme des carrés, le carré moyen (somme/d. f.), la valeur "F" observée et le test de comparaison globale  $Pr > F$  (y a-t-il au moins un objet différent des autres ?) ;
- un tableau de comparaison des traitements :
  - la première colonne indique soit le traitement comparé au témoin général (comparaison principale), soit le couple de traitements de la comparaison secondaire,
  - la deuxième colonne indique l'estimation de la différence entre les deux moyennes comparées,
  - la troisième colonne donne la valeur du test de student pour l'Hypothèse ( $H_0$ ) de l'égalité des moyennes comparées,
  - la quatrième colonne, que nous avons exploitée, donne la probabilité de dépassement du traitement, si l'hypothèse nulle ( $H_0$ ) n'est pas vraisemblable (donc rejetée).

Chaque probabilité de dépassement de cette colonne est comparée au test général de comparaison  $Pr > F$  des blocs pour comparer les blocs, et des objets pour comparer des traitements.

Pour tenir compte du nombre de répétitions réduit, nous appliquons un seuil de sensibilité du test, très sévère, pour le ruissellement (5%) et sévère pour l'érosion (1 %).

Pour le rendement, il pourra être abaissé jusqu'à 15 %.

Les résumés d'analyse de la variance avec calcul des contrastes nous montrent :

- un regroupement des traitements par familles,
- des variations interannuelles de ces regroupements et de la cohésion des familles (stabilité ou disjonctions de familles),
- des variations des effets des traitements suivant les blocs (effet bloc).

Une famille est constituée par des traitements ayant au moins un caractère commun (matières organiques, couverture du sol, bandes végétales, travail du sol réduit) et se comportant de façon semblable au moins vis-à-vis d'un critère de fonctionnement (tabl.4.15 a, b, c)

L'effet bloc significatif indique que le résultat de la comparaison n'est pas le même d'un bloc à l'autre. Autrement dit, au moins un traitement produit des effets différents d'un bloc à l'autre. Ceci sous-entend, soit que les entités pédologiques représentées par les blocs sont différentes entre elles, soit que les traitements n'ont pas été appliqués de manière standard d'un bloc à l'autre (tabl.4.16).

Il y a disjonction dans une famille, lorsqu'une comparaison secondaire (par exemple MO : rendement fumier versus rendement résidus) à l'intérieur d'une famille indique une différence significative. La disjonction dénature le regroupement indiquant que chaque composante de la famille devrait entrer dans une comparaison principale. Si la disjonction apparaît comme une conséquence du temps, elle traduit l'évolution d'un des milieux (tabl.4.17).

Présentée par année, cette analyse nous indique :

- En 1991 :
  - Ruissellement :
    - \* 2 familles seulement : NUE et TRM,
    - \* 10 cas d'effets de blocs significatifs sur soixante possibles,
    - \* pas de disjonction dans les familles.
  - Erosion :
    - \* 2 familles : TRM et ECRAN,

- \* 5 cas d'effets de blocs significatifs,
- \* pas de disjonction dans les familles.
- Rendement (seuil à 13 %) :
  - \* 2 familles : TRM, Billons cloisonnés,
  - \* un effet bloc significatif : A différent de B sur billons cloisonnés,
  - \* pas de disjonction dans les familles
- En 1992 :
  - Ruissellement :
    - \* 6 familles : TRM, NUE, Billons, Bandes, ZT et ECRAN,
    - \* 5 cas d'effets blocs significatifs,
    - \* pas de disjonction de traitement dans les familles
  - Erosion :
    - \* 3 familles : TRM, Bandes et ECRAN,
    - \* 2 cas d'effets blocs significatifs,
    - \* pas de disjonction dans les familles.
  - Rendement (seuil à 17 %) :
    - \* 4 familles : TRM, ZT, MO et Billons cloisonnés,
    - \* 3 cas d'effets blocs significatifs,
    - \* 1 disjonction dans la famille M O enfouies (fumier différent de résidus)
- En 1993 :
  - Ruissellement :
    - \* 6 familles : TRM, NUE, Billons, Bandes, ZT et ECRAN,
    - \* 5 cas d'effets blocs significatifs,
    - \* pas de disjonction dans les familles
  - Erosion :
    - \* 4 familles : TRM, Bandes, ZT et ECRAN,
    - \* 13 cas d'effets blocs significatifs,
    - \* pas de disjonction dans les familles.
  - Rendement (seuil à 10 %) :
    - \* 2 familles de traitement : TRM et MO,
    - \* aucun effet bloc significatif,
    - \* 2 disjonctions dans les familles M O, ECRAN.

- En 1994 :
  - Ruissellement :
    - \* 6 familles : TRM, NUE, Billons, Bandes, ZT et ECRAN,
    - \* 7 cas d'effets blocs significatifs,
    - \* pas de disjonction de traitement dans les familles
  - Erosion :
    - \* 5 familles : TRM, ECRAN, Bandes, ZT et Billons,
    - \* 3 cas d'effet blocs significatif,
    - \* pas de disjonction dans dans les familles.
  - Rendement (seuil à 10 %) :
    - \* 6 familles : TRM, ZT, MO, ECRAN, Bandes et Billons,
    - \* 3 cas d'effets blocs significatifs,
    - \* 1 disjonction dans la famille M O enfouies

En présentant ces résultats sous forme de tableaux (n° 4.16a, 4.16b, 4.16c), nous constatons que le ruissellement dégage six groupes de traitements stables contre quatre pour l'érosion et trois pour le rendement.

**Tableau 4.15a : Familles de traitements pour le critère Ruissellement (au seuil de 5 ‰)**

Année	NUE	TRM	M.O. enf.	ECRAN	BILLONS	BANDES	ZT
1991	-	T	≈	≈	≈	≈	≈
1992	-	T	≈	+	+	+	+
1993	-	T	≈	+	+	+	+
1994	-	T	≈	+	+	+	+

T = témoin ;                                      ≈ = pas significativement différent de T ;  
 + = effet favorable (R↘) ;                      - = effet défavorable (R↗)

**Tableau 4.15b : Familles de traitements pour le critère érosion (seuil 1 ‰)**

Année	NUE	TRM	M.O. enf.	ECRAN	BILLONS	BANDES	ZT
1991	≈	T	≈	+	≈	≈	≈
1992	≈	T	≈	+	≈	+	≈
1993	≈	T	≈	+	≈	+	+
1994	≈	T	≈	+	+	+	+

T = témoin ;                                      ≈ = pas significativement différent de T ;  
 + = effet favorable (E↘)

**Tableau 4.15c : Familles de traitements pour le critère Rendement (seuil 15 ‰)**

Année	TRM	M.O. enf.	ECRAN	BILLONS	BANDES	ZT
1991	T	≈	≈	-	≈	≈
1992	T	+	≈	-	≈	-
1993	T	+	≈	≈	≈	≈
1994	T	+	-	-	-	-

T = témoin ;                                      ≈ = pas significativement différent de T ;  
 + = effet favorable (Rdt↗) ;                      - = effet défavorable (Rdt↘)

**Tableau 4.16 : Cas d'effets de blocs significatifs pour les comparaisons principales ou secondaires des ruissellements (R), de l'érosion (E) et du rendement (Rdt)**

Comparaisons	1991			1992			1993			1994		
	R	E	Rdt	R	E	Rdt	R	E	Rdt	R	E	Rdt
TRM - ECRAN	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-
Paillage - OMBR.	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-
TRM - NUE	+	-	0	+	-	0	+	+	0	+	-	0
TRM - M.O. Enf.	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+
Fumier - Résidus enf.	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+
TRM - BILLONS	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-
TRM - Densité x 2	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-
TRM 20 - TRM 40	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
TRM - Bandes Vég.	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	+	-
Bande Herb. - Haie V.	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
TRM - ZT	-	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+
ZT - Minitill	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-
ZT 20 - ZT 40 m	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
ZT - ZT Calo.	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
ZT - ZT Socec.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-
Total cas	10	5	1	5	2	3	5	13	0	7	3	3

+ = effet bloc; - = pas d'effet bloc

Les comparaisons communes aux blocs A, B et D sont : Nue, Ecran (paillage-ombrière), Matières Organiques enfouies (Fumier-Résidus), ZT (ZT-MINITIL, ZT-ZTcalo.). Les autres ne concernent que les blocs A et B : Billons, Densité x 2, TRM 40, Bandes Vég. (Haie vive-Bande Herbe), ZT 40 et SD/SDC. Le ruissellement et l'érosion sont plus sensibles aux interactions sol-pratiques culturales-pluviosité que le rendement. La comparaison des blocs pour chaque effet de bloc significatif permettra de voir les caractéristiques pédologiques qui auront influencé le ruissellement, l'érosion ou la production végétale.

**Tableau 4.17 : Cas de disjonctions de traitements dans leurs familles**

Comparaisons	1991			1992			1993			1994		
	R	E	Rdt									
Paillage - Ombrière	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Fumier - Résidus	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+
Bande enh. - Haie V.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZT - Minitill	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZT 20 - ZT 40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZT 20 - ZT Calo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZT - SD/Sodec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Total cas	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	0	1

+ = disjonction - = pas de disjonction

En dehors de la famille M O pour le critère rendement, les familles sont très stables.

Pour le critère rendement, le regroupement Fumier enfoui et Résidus de cultures enfouis n'est pas justifié. Chacune des pratiques culturales devrait être comparée séparément au TRM.

En conclusion de cette analyse globale, on retient que :

- le ruissellement est le révélateur de fonctionnement du sol le plus discriminant des pratiques culturales : dès que les traitements ont été relativement standardisés en deuxième année, il a distingué six familles stables ;
- le critère érosion fait ressortir cinq familles stables, malgré les effets de traitements non standardisés en première année et des effets du dispositif que nous aborderons plus loin ;
- le rendement fait ressortir quatre familles qui de surcroît ne sont pas stables pendant les 4 années, indiquant ainsi qu'elle est la variable la moins prévisible à partir des pratiques culturales toute seules ;
- plus un critère est complexe, moins il est discriminant et prévisible ;
- vis-à-vis de certains traitements, le ruissellement et l'érosion révèlent plus les différences entre les blocs A, B et D que le rendement : des trois critères de fonctionnement, le rendement est le discriminant le moins efficace du facteur sol ;
- les familles complexes définies sont très stables vis-à-vis de l'érosion, du ruissellement et du rendement, à l'exception de la famille matières organiques pour ce dernier critère : cette stabilité accroît la validité statistique de l'essai, les traitements étant répétés dans et entre les blocs.

Les coefficients de variation des résultats sont plus faibles pour le rendement : 20 % en moyenne pour les quatre années (15 à 26 %). Ils sont de 26 % pour la variable ruissellement (21 à 41 %) et de 42 % pour l'érosion (21 à 74 %). Les écarts maximum par rapport à la moyenne sur l'érosion et le ruissellement sont enregistrés au cours de l'année la plus sèche (1993). Ces valeurs élevées de C. V. sont dues à la fois à l'hétérogénéité des blocs et à celle de la pluviosité entre les sites D et N. Ces hétérogénéités contenues dans l'effet bloc significatif ont certainement affecté la précision des mesures et en conséquence, celle des comparaisons. C'est pourquoi nous avons appliqué des seuils très sévères pour la probabilité de rejet de l'hypothèse nulle (égalité des moyennes) en ce qui concerne le ruissellement et l'érosion (5 ‰ et 1 % respectivement).

En plaçant la barre aussi haut, nous avons pris par contre, le risque de ne pas considérer des faits et des évolutions insuffisamment contrastés eu égard au nombre réduit de répétitions et au biais dû à l'effet des blocs. Mais il nous importait de dégager d'abord les tendances incontestables.

Dans la suite de cet exposé, les six familles révélées par le ruissellement seront adoptées pour la présentation des résultats du ruissellement et de l'érosion. Lors de la comparaison des effets de traitements interannuels ou interblocs, nous utiliserons désormais les valeurs moyennes des variables mesurées pour les familles complexes définies ci-dessous :

$$\bar{X} \text{ TRM} = \frac{x \text{ TRM20} + x \text{ TRM40} + x \text{ Densite} \times 2 + x \text{ Fumier} + x \text{ Residus}}{5}$$

$$\bar{X} \text{ ECRAN} = \frac{x \text{ Paillage} + x \text{ Ombriere}}{2}$$

$$\bar{X} \text{ BandeVegetale} = \frac{x \text{ Haie Vive} + x \text{ Bande enherbee}}{2}$$

$$\bar{X} \text{ ZT} = \frac{x \text{ ZT 20} + x \text{ ZT 40} + x \text{ ZT Calo} + x \text{ Mtill} + x \text{ SD/SDC}}{5}$$

Nous ne reviendrons sur les valeurs individuelles des traitements que pour les études des effets particuliers ou de détail.

#### 4.1.3.2. Variabilité du ruissellement (pas de temps annuel)

Les résultats sont exprimés en coefficients de ruissellement annuel moyen (KRAM, %) et en coefficient de ruissellement maximum observé au cours de l'année (KRmax, %).

##### A - LES CAUSES DE LA VARIABILITE

##### En milieu Savane

En Savane, le KRAM varie de 0 à 0,7 % pour la savane "mise en défens", 0,4 à 3,0 % pour la savane brûlée précocement et de 0,5 à 1,1 pour la Savane brûlée et pâturée. Dans le même ordre, le KRMax varie de 0 à 2,6 % ; 2,5 à 4,1 % et 3,2 à 8,5 %. La fréquence et l'importance du ruissellement augmentent avec les interventions de l'homme (feu et bétail). Le tableau 4.18 donne la synthèse des ruissellements observés sur les parcelles Savane de 1991 à 1994.

**Tableau 4.18** : Ruissellements annuels moyens (%) et maximum (%) des parcelles mises en défens (savane 1), feu précoce (savane 2) et feu précoce et pâturage en mi-juin (savane 3)

	KRAM et (KRMax) en %			
	1991	1992	1993	1994
Savane 1	0,7 (2,3)	0,7 (2,6)	0,2 (0,2)	0 0
Savane 2	1,2 (4,1)	3,0 (3,4)	0,4 (2,5)	1,1 (3,0)
Savane 3	1,1 (3,2)	1,1 (8,5)	0,5 (4,5)	0,9 (4,0)

Dans la savane mise en défens, le ruissellement devient nul à la quatrième année. Déjà à la troisième année, une seule pluie avait ruisselé.

Les KRAM des savanes 2 et 3 sont semblables. Les KRMax sont généralement plus élevés sur la savane brûlée et pâturée que sur la brûlée. Pour les deux traitements, on observe que les KRMax sont réalisés durant les premiers gros orages de juin ou juillet lorsque le sol n'est pas encore bien couvert.

Les KRAM et les KRMax les plus élevés sont observés au cours de l'année la plus pluvieuse. La pluviosité apparaît comme le facteur le plus déterminant du ruissellement dans les savanes où les feux sont précoces et où le pâturage est réduit au cours de la saison pluvieuse.

### En milieu cultivé

L'analyse globale des résultats sur les révélateurs de fonctionnement a montré que le ruissellement est le critère le plus discriminant des traitements. Les effets des traitements sont très nets sur les différents blocs, les KRAM décroissant dans l'ordre des traitements : NUE, TRM, ECRAN, BANDES, Zérotillage et Billons (sauf pour les Bandes dans les blocs C et D).

Il varie en fonction :

- **des pratiques culturales**

+ labour nu (NUE)	23	à	58 %
+ labour + culture (TRM)	16	à	41 %
+ labour + couverture + culture (ECRAN)	2,6	à	32 %
+ labour et bandes	0,4	à	40 %
+ labour et billons	0,3	à	12 %
+ non labour avec litière (ZT)	0,3	à	9 %
+ non labour sans litière (ZT/A, B-1991)	13	à	15 %
+ jachère (un à deux ans)	1	à	6 %

- **des années**

+ 1991	0,3 % (billons)	à	28 % (Nue)
+ 1992	0,8 % (ZT)	à	58 % (Nue)
+ 1993	0,3 % (ZT)	à	43 % (Nue)
+ 1994	0,4 % (ZT et Bandes)	à	44 % (Nue)

- **des blocs**

+ bloc A	0,5	à	54 %
+ bloc B	0,4	à	58 %
+ bloc C	0,3	à	35 %
+ bloc D	5,0	à	52 %

Les tableaux de l'annexe n°4.07 donnent les résultats du ruissellement (KRAM %) en fonction des pratiques culturales sur les blocs A, B, C et D.

Après la présentation des résultats relatifs à ces trois principales sources de variation du ruissellement, d'autres facteurs seront recherchés dans les traitements non pris en compte par l'analyse statistique.

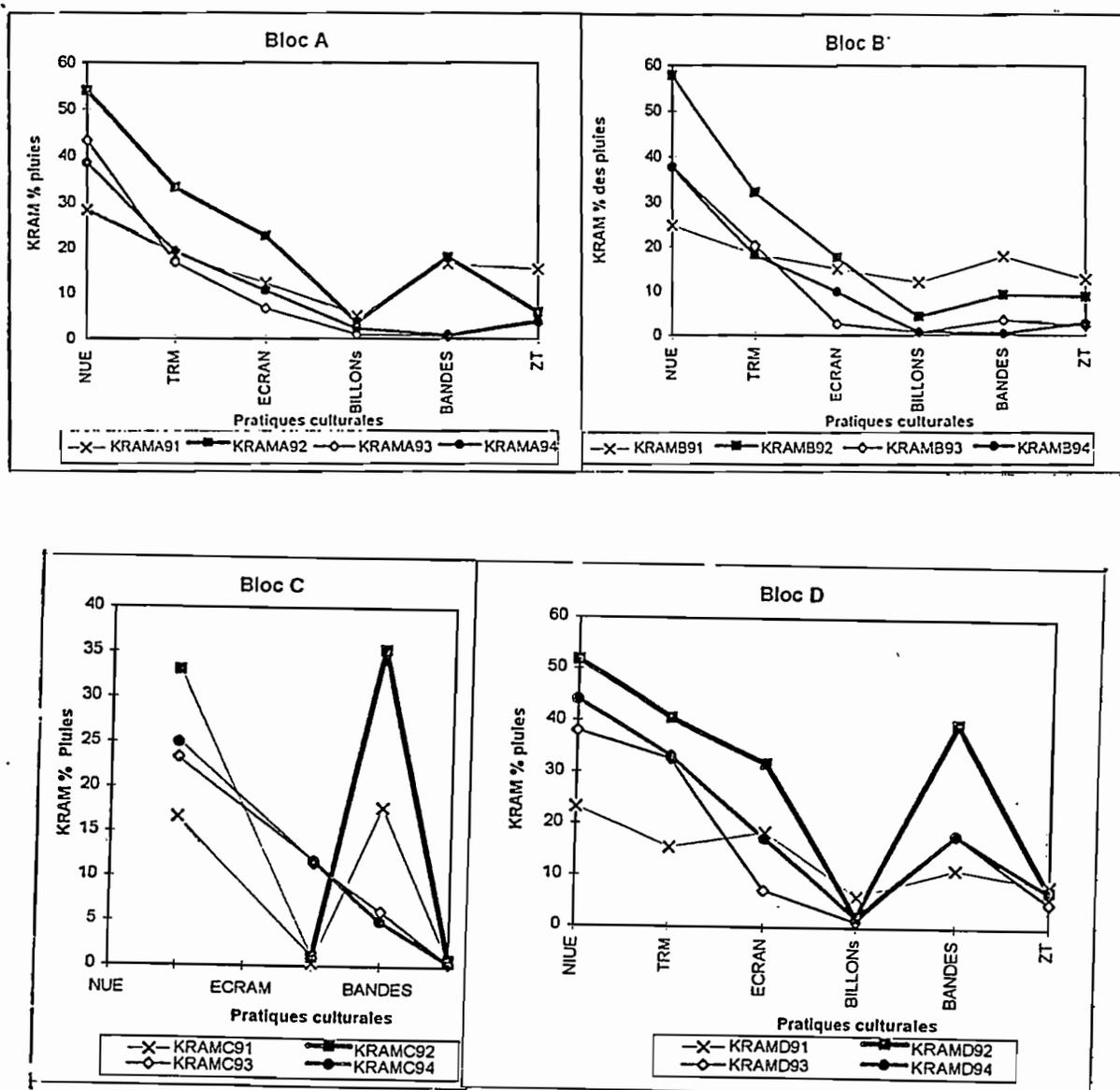


Figure 4.16 : Variation des coefficients de ruissellement annuels moyens en fonction des pratiques culturales sur les blocs A, B, C et D

## B - EFFET DES TECHNIQUES CULTURALES

Les figures 4.16 illustrent les variations des coefficients de ruissellement annuels moyens en fonction des familles de pratiques culturales et des années sur les blocs A.

Elles montrent que selon le système de culture, le ruissellement annuel moyen peut passer de moins de 1 % à près de 60 %. A l'exception des écarts dus à la non-standardisation des traitements "Bandes végétales, Ecran et ZT, etc, en première année, le ruissellement classe les systèmes de culture dans le même ordre d'une année à l'autre et d'un bloc à l'autre :

$$NUE > TRM > ECRAN > BANDES > ZT > BILLONS$$

Les parcelles labourées, portant des cultures ou non, ruissent le plus :

$$KRAM = 15 \text{ à } 60 \text{ \%}$$

La couverture ou le cloisonnement de la surface du sol réduisent le ruissellement :  
 $KRAM = 0,3 \text{ à } 40 \text{ \%}$ .

Les figures 4.16 montrent que pour les mêmes traitements ou les mêmes blocs, le KRAM a varié de façon importante (tabl.4.19) :

**Tableau 4.19** : Valeurs extrêmes des KRAM par traitements et par bloc, observées au cours des quatre années

	A	B	C	D
Nue	28 - 54	25 - 58	-	23 - 52
TRM	17 - 33	18 - 32	17 - 33	16 - 41
Ecran	7 - 23	3 - 18	-	7 - 32
Billons	1 - 5	0,7 - 12	0,3 - 1	1 - 6*
Bandes	0,5 - 18	0,4 - 18	5 - 35	11 - 40
ZT	3,5 - 6	2 - 9	0,3 - 0,8	5 - 7

\* bloc D : jachère à la place de billons cloisonnés

### Le témoin international : parcelle NUE

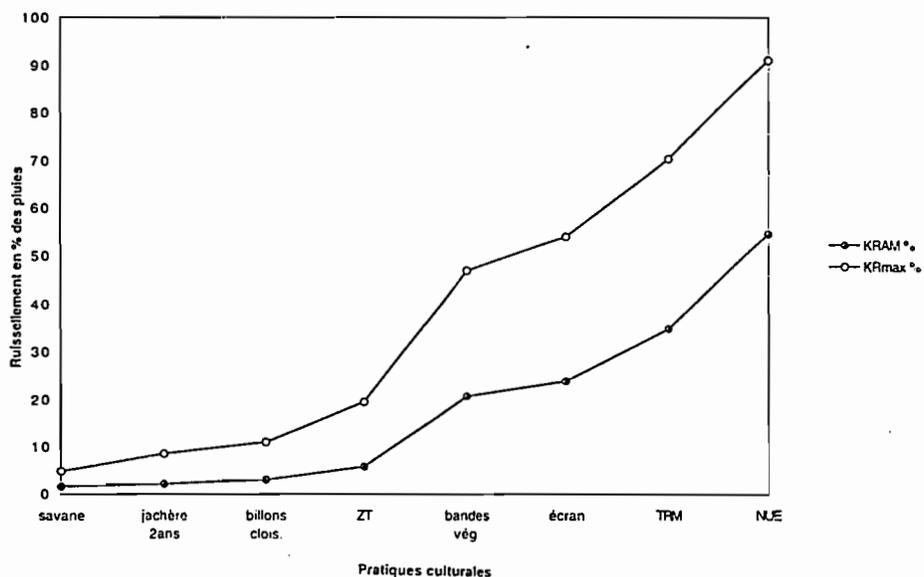
Les parcelles nues (NUE) ruissent plus que toutes les autres : 23 à 58 %. En l'absence de tout couvert, elles restent exposées à la battance des pluies. Le ruissellement maximum annuel varie de 80 à 99 %. Il est observé lors de grosses averses (80 à 120 mm) ou des séries de pluies intenses. Les grosses averses ne sont pas les seules à entraîner des ruissellements élevés sur la parcelle nue. Les pluies de faible intensité, plus nombreuses, n'arrivent généralement pas à désorganiser les croûtes superficielles dont la faible infiltrabilité est reconnue par de nombreux auteurs (Roose, 1977 ; Valentin, 1982 ; Poesen, 1984).

### Le témoin régional motorisé : TRM

Le ruissellement du TRM est inférieur à celui de la parcelle Nue : 16 à 41 %. Il varie en fonction de la pluviosité et de l'âge de mise en culture. La différence entre la parcelle nue (NUE) et le TRM est due au couvert par la canopée, aux opérations aratoires telles que le sarclage et le sarclo-buttagage, et surtout à leurs interactions avec la pluviosité. Sur ces sols sableux, l'effet de la canopée seule paraît limité et variable avec les blocs. La densité de semis double réduit le ruissellement de 2 % en année humide sur le bloc A contre 9 % sur le bloc B. Le labour et le buttagage cloisonné, perpendiculaires à la pente, réduisent le ruissellement de 50 % par rapport à celui de TRM.

Les KR max observés sur le TRM varient de 52 à 84 %. Il sont réalisés pour les mêmes évènements que pour NUE.

La figure 4.17 montre que lors des évènements exceptionnels isolés ou des séries de pluies caractérisés par des précipitations abondantes, les sols nus, cultivés ou pas, perdent la quasi totalité de l'eau reçue en surface.



**Figure 4.17 :** Ruissellements annuels moyens et maximum annuels en fonction des pratiques culturales (bloc A, 1992)

### Couverture du sol par un écran (ECRAN)

Le sol labouré est couvert avec un paillage d'herbes (5t/ha) ou d'une grille plastique. Cette famille de traitements montre des ruissellements assez variables : KRAM = 2,6 à 32 % en fonction de la pluviosité et des blocs. Ce traitement met en évidence une différence entre les blocs A et B qui n'est pas apparue sur les traitements NUE et TRM. Le bloc A ruisselle en moyenne plus que le bloc B : 2,6 fois plus en année sèche. La couverture du sol réduit plus le ruissellement en année sèche, qu'en année humide.

Les valeurs de KRmax observées sur la famille Ecran varient de 25 à 72 %, en fonction de la pluviosité et des blocs.

Une disjonction de la famille a été observée pour ce critère en 1994 (KRAM : Ombrière > KRAM Mulch).

### Les Bandes Végétales

En première année (1991), les bandes végétales n'étant pas constituées, les résultats ne sont pas représentatifs de cette famille, mais plutôt de TRM. A partir de la deuxième année, on constate que le ruissellement est plus variable sur les bandes que sur le traitement Ecran : KRAM = 0,4 à 40 %. Les deux traitements (Bandes herbacées ou arbustives) de cette famille se sont comportés de façon semblable (pas de disjonction). Ils absorbent la quasi totalité du ruissellement généré par les pluies faibles sur les bandes cultivées. Par contre, lors des averses ou des séries de pluies abondantes, le ruissellement peut être fort : KRMAX = 5 à 79 %. Les figures 4.16 montrent que la pluviosité et la longueur de pente (bloc C) sont les principaux facteurs de variation du ruissellement de ce traitement.

### Le non-travail du sol (ZT)

En première année, les blocs A et B ne disposaient pas d'assez de litière en surface, contrairement aux blocs C et D. Cette situation introduit une variante du traitement à considérer spécifiquement (tableau 4.20).

**Tableau 4.20 : Comparaison des ruissellements (KRAM %) pour les traitements ZT et TRM sur les blocs A, B, C et D en 1991 et 1994**

	A	B	C	D
TRM (1991)	18,5	18,3	16,7	15,5
ZT (1991)	15,3	12,5	0,5	8,4
ZT (1994)	4,1	2,8	0,4	7,0
TRM (1994)	19,2	18,1	25,0	33,2

En considérant les blocs A, B et C de la nouvelle défriche, les KRAM du ZT sur A et B en 1991 sont plutôt comparables à ceux du TRM des blocs correspondants. En 1994, les résidus étant disponibles sur ces blocs, leurs KRAM deviennent nettement inférieurs à ceux de TRM.

### La présence de litière à la surface du sol est la caractéristique de base du traitement ZT

Réalisé dans les conditions standard, le ZT montre un ruissellement faible : KRAM = 0,3 à 9 % et peu variable avec la pluviosité.

Une disjonction a été observée avec le traitement Semis-direct Sodécoton qui a ruisselé plus que le témoin de la famille, à partir du moment où il a été butté.

Les KRmax observés varient de 1,5 à 32 % en fonction de la pluviosité et des blocs.

### Les Billons cloisonnés

Le traitement « labour + billons cloisonnés » avant le semis, a été suivi sur les blocs A et B pendant quatre ans et deux ans sur le bloc C (1991 et 1992) avant d'être remplacé par le traitement « Labour-semis et buttage cloisonné perpendiculaire à la pente ».

Les figures 4.16 montrent que le ruissellement est faible (0,3 à 12 %) et comparable à celui du ZT pour la stabilité. Le KRAM varie en fonction de la taille des billons, de la pluviosité et des blocs :

1,0 à 5 % sur le bloc A ; 0,7 à 12 % sur le bloc B ; 0,3 à 1 % sur le bloc C.

En première année, les billons n'étaient pas très hauts. La forte sensibilité du bloc B à l'érosion entraîne une dégradation des billons plus importante et par conséquent un comblement des sillons. La réduction de la rugosité entraîne celle de la rétention de l'eau dans les sillons.

### La jachère

La jachère a été introduite dans le bloc D comme technique de restauration de la productivité des sols dégradés. Sous jachère naturelle ou améliorée par une plante de couverture (*Calopogonium m.*), le ruissellement est faible : 1 à 6 %.

Par rapport au critère ruissellement, la jachère se situe entre la savane et le ZT.

### C - EFFET ANNEE

Le tableau 4.15a (cf.§4131) montre que l'année 1991 a été la moins discriminante des traitements, les autres ayant distingué six familles de traitements. La non-standardisation des traitements Bandes, ZT et Billons en est la cause. Tous les traitements standardisés réalisent leur maximum de ruissellement en 1992, année la plus pluvieuse (cf.fig. 4.16).

Pour le critère ruissellement, la variabilité contenue dans l'effet année est principalement due au facteur pluviosité. Les composantes majeures de ce dernier qui influent sur le ruissellement sont :

- le volume total des précipitations (H<sub>mm</sub>),
- la quantité totale d'énergie apportée au sol, exprimée dans cette étude par l'indice R<sub>USA</sub>

Au pas de temps annuel, seules les deux premières composantes (volume et agressivité) peuvent expliquer spécifiquement la variabilité annuelle du ruissellement.

Pour les trois parcelles nues, les ruissellements sont classés dans l'ordre de l'indice d'agressivité climatique  $R_{USA}$  à l'exception de l'année 1994 sur le bloc D. En fonction du critère ruissellement annuel moyen, les parcelles nues ordonnent les années par ordre décroissant de l'indice d'agressivité climatique  $R_{USA}$  :

1992 > 1993 > 1994 > 1991

Pour le TRM, seule la courbe de 1992 s'écarte nettement des autres sur les parcelles de 20 m de longueur. Il ordonne les années par ordre décroissant de hauteur de précipitations totales, tombées pendant le cycle cultural :

1992 > 1994 > 1993 > 1991.

A partir de la deuxième année (1992), le ruissellement de TRM sur le bloc dégradé D est supérieur à celui de la moyenne des blocs A, B et C de la nouvelle défriche de 22 %, 65 % et 59 % respectivement pour 1992, 1993 et 1994. Les ruissellements de 1991, 1993 et 1994 sont équivalents sur les blocs A et B.

Le traitement Ecran ordonne naturellement les années en fonction de la hauteur des précipitations. Pour ce critère, il discrimine plus finement les années et les blocs que le TRM. Pour les trois années où les deux traitements de la famille ont été réalisés de façon standard, celles-ci sont classées dans les blocs A, B et D par ordre décroissant de hauteur des précipitations : 1992 > 1994 > 1993.

Les billons cloisonnés et le ZT sont relativement stables d'une année à l'autre pour le critère ruissellement.

Sur les Bandes végétales, en dehors de l'effet de non-stabilisation des traitements en 1991 et relativement en 1992, le ruissellement varie avec la pluviosité et les blocs. Dans les conditions d'établissement des bandes comparables, les courbes de ruissellement de 1992 sur les blocs A, B et C sont au-dessus de celles de 1993 et 1994.

Toutefois, ce traitement comporte une contrainte d'entretien des bandes qui, n'ayant pas été levée en 1994 après le labour, a créé des stagnations d'eau à l'amont de celles-ci. Les résultats de ce traitement ne sont pas représentatifs pour cette année.

**Tableau 4.21 : Nombre de pluies ayant généré des ruissellements sur les traitements TRM, MULCH, Bandes et ZT sur les blocs A, B et C en 1993**

	TRM	MULCH	Bandes	ZT
A	17	4	4	8
B	16	2	4	6
C	18	-	7	6

La comparaison du nombre de pluies ayant généré un ruissellement rend mieux compte du comportement de cette famille de traitements (tabl.4.21).

#### D - EFFET DES BLOCS (SOL) SUR LE RUISSÈLEMENT

L'effet « bloc » significatif indique qu'au moins un des résultats d'une comparaison principale (traitement  $X_i$  versus TRM) ou secondaire (traitement  $X_1$  versus  $X_2$ ) est significativement différent d'un bloc à l'autre.

Le tableau 4.16 montre qu'il y a eu 27 cas d'effet bloc significatif pour les comparaisons principales et secondaires au cours des quatre cycles annuels d'observations. L'année 1991, seule, en compte dix, dus pour la plupart à la non-standardisation des traitements entre les blocs. Les comparaisons secondaires dans les familles Bandes végétales, Ecran et ZT sont les plus concernées.

Les moyennes des coefficients de ruissellement annuels moyens des quatre années, montrent très peu de différence entre les blocs A, B et C pour le critère ruissellement, si l'on tient compte de la non-standardisation des traitements indiqués ci-dessus.

Le ruissellement ne montre pas une sensibilité à l'effet d'échelle pour le traitement TRM, contrairement aux traitements Billons et ZT pour lesquels le ruissellement diminue avec l'allongement de la parcelle. Le bloc D reste aussi comparable aux autres pour les traitements NUE, Billons et ZT. Il est un peu plus sensible au ruissellement que ceux-ci pour les traitements TRM et ECRAN.

#### E - EFFETS HUMIDITE INITIALE ET PRECEDENTS CULTURAUX

D'autres causes de variabilité du ruissellement ont été observées soit à une échelle de temps plus petite que l'année (effet de l'humidité initiale), soit sur des traitements n'ayant pas été pris en compte dans l'analyse statistique (effets précédents cultureaux). Un effet d'échelle ou de dispositif est identifié sur la variabilité du ruissellement.

**Tableau 4.22 : Ruissellements (KRAM %) observés sur TRM, Mulch et Ombrière à l'occasion des séries de pluies**

BLOCS	DATE	PLUIE (mm)	KRAM %		
			TRM	MULCH	OMBRIERE
A	21/8/92	38,0	A : 54,2 B : 51,3	0,5 5,5	30,8 17,3
	22/8/92	28,0	A : 61,8 B : 51,4	5,0 23,5	38,2 26,8
et	23/8/92	18,0	A : 82,7 B : 60,5	8,9 26,1	48,3 32,8
B	30/6/94	40,0	A : 38,2 B : 36,0	12,5 10,5	29,0 9,2
	01/7/94	35,5	A : 48,3 B : 53,0	16,4 14,5	38,0 27,5

### Effet de l'humidité initiale du sol (séries de pluies)

Nous avons observé que lorsque deux pluies sont très rapprochées dans le temps, le ruissellement de la deuxième est majoré par rapport à celui qu'aurait produit une pluie de même hauteur et intensité si elle tombait sur un sol relativement sec.

Les traitements « Mulch » et « Ombrière » mettent mieux en évidence l'effet des séries de pluies sur les ruissellements que TRM. Par ailleurs, les séries de pluies montrent, par leur ruissellement sur les trois traitements, que le bloc A ruisselle plus que le bloc B.

### Effets Précédents Cultureux

Deux effets (fréquence du labour et arrière-effet du labour sur un ZT) sont présentés :

#### *Effet fréquence du labour :*

A partir de la campagne 1993, la parcelle D12 en ZT (91 et 92) a été transformée en TRM 40 en récupérant le complément de terrain sur une jachère.

Le ruissellement de celle-ci est présenté, comparativement à celui de TRM 20 du même bloc (D), dans le tableau 4.23.

**Tableau 4.23 :** *Effet de la fréquence de labour sur le ruissellement dans le bloc dégradé*

Traitements	KRAM %	
	1993	1994
TRM 20 labouré depuis 91	32,7	33,2
TRM 40 non labouré de 90 à 92	12,2	23,0

La suppression du labour pendant trois ans sur le sol dégradé réduit le ruissellement de 2/3 à sa reprise et de 1/3 à la deuxième année de labour consécutif, malgré une longueur de pente double.

#### *- Arrière-effet du labour sur un ZT :*

En 1993, le traitement labour + paillage sur la parcelle D5 a été transformé en ZT (zéro tillage). En 1993, la parcelle C6 (1080 m<sup>2</sup>) en ZT (91 et 92) a été labourée en 1993, puis remise en ZT en 1994. Les coefficients de ruissellement annuels moyens de ces parcelles de ZT « décompacté » sont comparés à ceux du traitement ZT témoin non décompacté des blocs respectifs (tabl. 4.24). Le ZT décompacté ruisselle cinq à sept fois plus que le non-décompacté en première année, mais s'améliore nettement dès la seconde année, la surface fermée héritée du labour étant progressivement aérée par les activités biologiques végétales et animales.

**Tableau 4.24 : Ruissellements (KRAM %) comparés des parcelles de Zérotillage avec et sans décompactage sur les blocs D et C**

Blocs	Traitements	KRAM %	
		1993	1994
D	ZT (D14)	1,8	3,5
	ZT (93, 94)/Labour (91, 92) D (5)	8,5	4,7
C	ZT (C5)	0,3	0,4
	ZT (94)/Labour (93) (C6)	(8,8)*	2,6

\* Kram labour non butté 93

#### F - EFFET D'ECHELLE

Pour les traitements NUE et TRM, les KRAM moyens interannuels ne semblent pas dépendre de la taille de la parcelle.

La comparaison des ruissellements des traitements Billons cloisonnés et Zérotillage entre les blocs A et B d'une part et le bloc C d'autre part, montre une péjoration constante du ruissellement dans les parcelles de 100 m<sup>2</sup> par rapport à celles de 1080 m<sup>2</sup> (tableau 4.25).

**Tableau 4.25 : Ruissellements (KRAM %) comparés des traitements Billons cloisonnés et ZT sur les parcelles de 100 m<sup>2</sup> (5 m x 20 m) et de 1080 m<sup>2</sup> (18 m x 60 m) des blocs A, B et C**

Blocs	Billons		Zéro tillage (ZT)			
	1991	1992	1991	1992	1993	1994
A (5 m x 20 m)	5,1	3,8	(15,3)	(6,0)	3,5	4,1
B (5 m x 20 m)	11,9	4,3	(12,5)	(8,8)	2,1	2,8
C (18 m x 60 m)	0,3	1,0	0,5	0,8	0,3	0,4

( ) Résultat non représentatif du traitement pour litière insuffisante à la surface du sol

On a observé que les ruissellements de ces parcelles ne provenaient pas toujours d'accumulation progressive d'eau le long de la pente, mais souvent du voisinage immédiat du canal de sédimentation. Dans le cas des billons cloisonnés, à l'exception des fortes averses pour lesquelles on peut observer des débordements localisés des dernières cloisons, il s'agit plutôt de la pluie qui tombe sur la pente du dernier billon donnant vers le canal. Dans le cas du ZT, les premiers mètres des parcelles ont été piétinés, compactés et même pollués par le ciment lors de la construction des cuves bétonnées. La colonisation de ces surfaces par les adventices n'est pas satisfaisante. Elles se referment dès qu'il pleut et leur ruissellement est récupéré aussitôt par le canal.

#### G - Conclusion sur le ruissellement

Les effets des traitements sur le ruissellement sont relativement stables d'un bloc à l'autre et d'une année à l'autre, indiquant ainsi la pertinence du dispositif expérimental :

les KRAM moyens se classent dans l'ordre décroissant : NUE > TRM > ECRAN > BANDES > ZT > BILLONS de façon stable.

Cette stabilité dans l'espace et dans le temps signifie que le ruissellement est prévisible à partir des pratiques culturales préconisées par l'agriculteur. La couverture de contact du sol, le travail du sol avec soulèvement, émiettement et retournement des mottes, le cloisonnement de la surface et la mise en jachère, sont les principales considérations techniques qui influent sur le ruissellement. Dans l'ensemble de ce dispositif, l'effet bloc recouvre plusieurs facteurs : effet d'échelle, effet hétérogénéité du sol y compris sa pente, et effet hétérogénéité du dispositif (milieu Savane versus milieu cultivé, évolution de certains traitements dans le temps).

L'effet année contient principalement le facteur pluviosité. Au niveau annuel, seuls ses aspects totaux volumiques et énergétiques ont été pris en compte. Cet effet année est partiellement oblitéré par la non-standardisation des parcelles Bandes Végétales, Zéro-Tillage, Matières Organiques, Ecran et Billons cloisonnés en première année. L'évolution de certaines parcelles au cours de l'expérimentation a réduit le champ d'appréciation de la variabilité du ruissellement sur celles-ci, notamment dans les blocs où le traitement initial n'était pas répété (billons cloisonnés, bloc C). Cette évolution a permis de prendre en compte d'autres facteurs de la variabilité du ruissellement et a fourni des informations importantes sur ceux-ci (fréquence du labour, arrière-effet du labour sur le ZT, orientation des techniques aratoires par rapport à la pente, etc).

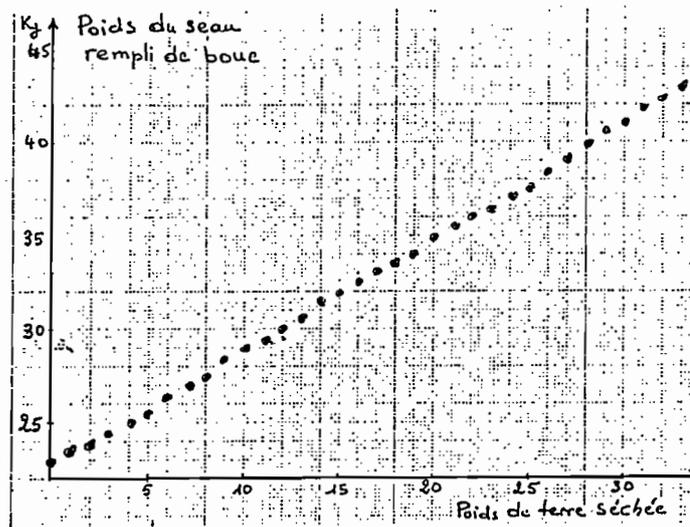
Les familles discriminées par le critère ruissellement sont restées stables tout au long de l'expérimentation. Seules, Ecran (Paillage - Ombrière) et ZT (ZT - SD/SDC) se sont disjointes en 1994. Le ruissellement étant la cause du transport à distance des terres dans le phénomène de l'érosion hydrique, nous allons examiner les autres facteurs qui expliquent la variabilité des pertes en terre.

#### ***4.1.3.3. Variabilité au pas de temps annuel des pertes en terres grossières***

Les résultats sont présentés en t/ha/an pour le pas de temps annuel et en t/ha au pas de temps décadaire ou journalier.

#### **A - LES CAUSES DE LA VARIABILITE**

Sont donnés dans cette partie, les résultats des transports solides (terres de fond) récupérés dans le canal de sédimentation, pesés humides avant obtention du poids sec sur la courbe d'étalonnage donnée sur la figure 4.18. Les pertes de matières en suspension (MES) seront données dans la partie érosion totale (sauf pour le bloc Savane).



**Figure 4.18 :** Courbe d'étalonnage des terres de fond séchées en fonction du poids des terres humides (boues) par la méthode de pesée à volume constant (Sanon, 1992).

### Milieu Savane

Au bout de quatre ans, les pertes moyennes en terre de fond en savane varient de 1,2 à 1,9 t/ha/an sur des parcelles de 200 m<sup>2</sup> (10 m x 20 m) (tableau 4.26). Les pertes en terre sont relativement élevées en première et deuxième année sur les trois parcelles en liaison avec la perturbation de la surface de la parcelle attenante au canal lors de la construction des cuves. A cet effet, s'ajoute la pluviosité abondante de 1992. Les pertes en terre sont équivalentes sur les parcelles savanes brûlées avec ou sans pâturage et supérieures à celles de la savane « mise en défens ». Les MES représentent une fraction très faible, de l'ordre du 1 %, des transports solides totaux.

**Tableau 4.26 :** Pertes de sédiments grossiers t/ha/an et (MES) dans le bloc Savane

Traitements	Poids sédiments grossiers (t/ha/an)				Moyenne (1) t/ha/an
	1991	1992	1993	1994	
Savane 1 : mise en défens	2,30	2,40 + 0,02	0,10 + 0	0,0 + 0	1,2
Savane 2 : feu précoce	2,60	3,30 + 0,07	0,40 + 0	0,55 + 0,01	1,7
Savane 3 : feu précoce + pâturage	2,70	3,60 + 0,03	0,48 + 0	0,80 + 0,01	1,9

(1) Moyenne sur 200 m<sup>2</sup> (10 m x 20 m)

Pertes en terre plus élevées les 2 premières années, Sav. 1 différent des Sav. 2 et 3.

### Milieu cultivé

L'analyse globale a montré que les pertes en terre grossière étaient moins discriminantes des traitements que le ruissellement. Malgré la non-standardisation de certains traitements au cours des deux premières années (Bandes, ZT, etc). Cette analyse montre que les effets des traitements sur l'érosion dégagent trois principales considérations (cf.tabl.4.15b) :

- la couverture rapprochée ou de contact du sol,



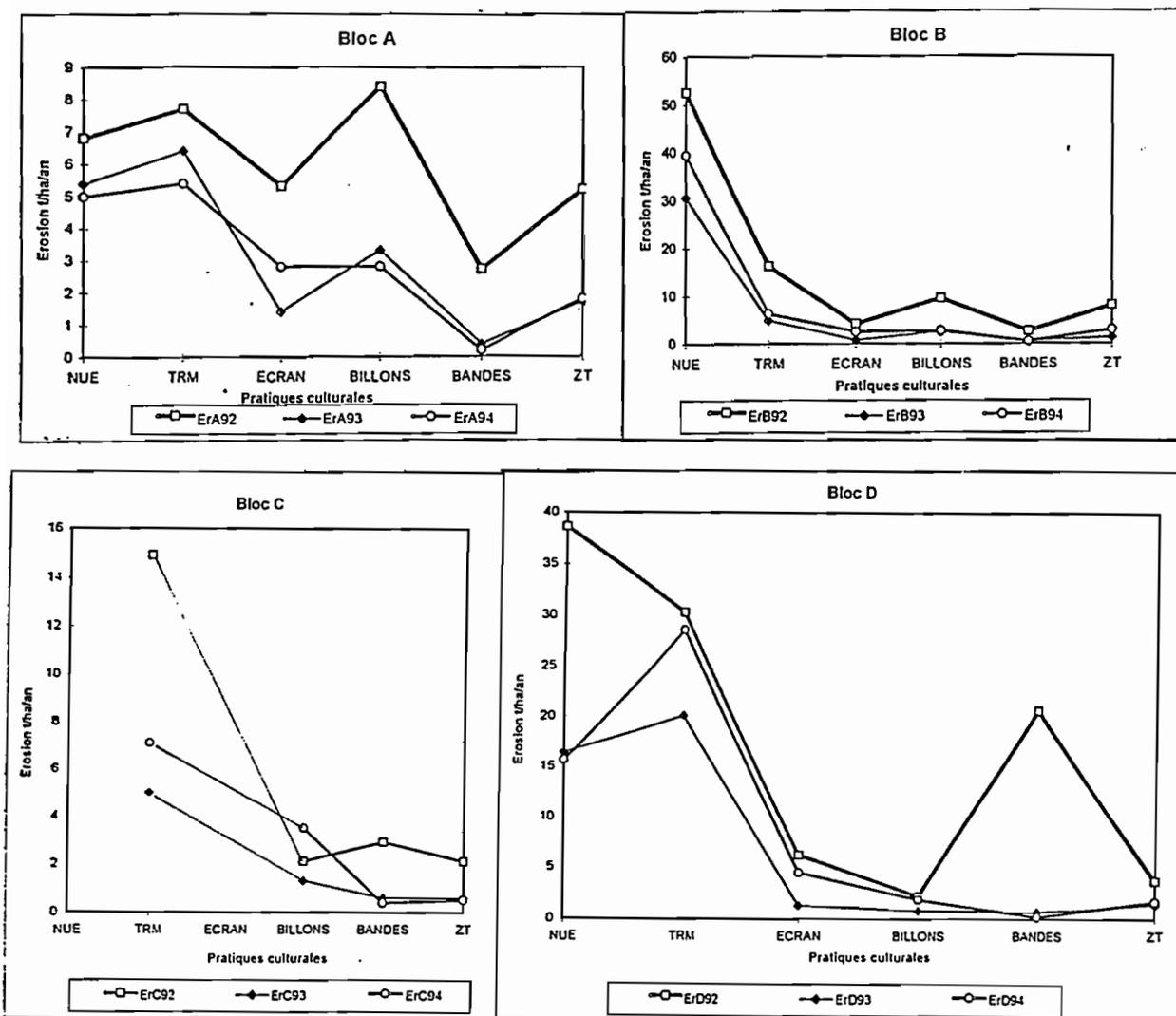


Figure 4.19 : Variations des pertes en terre grossières de 1992 à 1994 sur les blocs A, B, C et D

En considérant que les pertes en terre des blocs C et D pour le traitement ZT, sont représentatives de ce traitement sur les blocs A et B et que celles des Bandes ne le sont qu'à partir de 1992 où celles-ci étaient relativement installées, nous obtenons trois groupes de traitement :

NUE ≈ TRM > Billons ≈ ECRAN > ZT ≈ Bandes ≈ Jachère

NUE ≈ TRM (sauf bloc B) : 7 à 33 t/ha/an

Billons, ECRAN : 3 à 5 t/ha/an

ZT, Bandes, Jachère : < 3 t/ha/an

Sur le bloc B, on a NUE > TRM > Billons, ECRAN, ZT et Bandes.

Les parcelles labourées et non couvertes de façon rapprochée dès le labour s'érodent plus. L'érosion des parcelles en ZT de A et B en 1991, montrent que même non labourés, ces sols sableux perdent beaucoup de terre lorsqu'ils ne sont pas couverts de litière.

Les pertes en terre des Bandes et des Billons paraissent plus sensibles à la pluviosité que celles du ZT ou de la Jachère.

### **Le témoin international (NUE)**

Les pertes en terres grossières du témoin international varient de 5 t/ha/an à 52 t/ha/an en fonction des blocs et des années. En première année, les trois parcelles nues ont sensiblement la même érosion : 9,7 ; 10,5 et 9,0 t/ha/an respectivement dans les blocs A, B et D. Elles prennent ensuite des évolutions différentes en fonction de celles des états de surface des parcelles et de la pluviosité. On note ainsi trois tendances évolutives :

- indifférence vis-à-vis de la pluviosité : baisse des pertes de terre d'année en année (bloc A) ;
- variation en fonction de l'agressivité des pluies :  $R_{USA}$  (bloc D) ;
- variation en fonction du volume des précipitations (bloc B)

### **Le témoin régional mécanisé (TRM)**

Les pertes en terres grossières de TRM varient de 5 à 30 t/ha/an en fonction des blocs et de la pluviosité. L'effet des blocs sur les pertes en terre paraît prépondérant sur celui de la pluviosité. Vis-à-vis de cette dernière, il montre deux évolutions :

- insensibilité : baisse continue (bloc A) années classées par ordre chronologique ;
- variation en fonction du volume des précipitations (bloc B, C et D) années classées par ordre décroissant des précipitations enregistrées durant le cycle cultural.

Les opérations aratoires telles que le buttage semblent jouer un rôle complexe vis-à-vis des pertes en terre. Les plantes cultivées aussi, selon qu'elles concentrent l'eau le long des tiges ou non, ou qu'elles laissent tomber des feuilles dans les axes des écoulements, peuvent influencer considérablement les pertes en terre.

### **LE MULCH :**

La couverture d'un labour par un écran de contact ou très rapproché de la surface du sol montre des pertes en terre nettement plus faibles (4 t/ha/an) que celles du traitement TRM. Ces pertes (1 à 6 t/ha/an) sont surtout moins variables que le ruissellement. Elles paraissent plus affectées par la pluviosité (volume) que par les blocs.

### **Les Billons cloisonnés**

La figure 4.19 montre que les pertes en terre moyennes des Billons sont modestes (4 t/ha/an) mais très variables : 2,5 à 9,5 t/ha/an sur les parcelles de 100 m<sup>2</sup> contre un maximum de 2,1 t/ha/an sur le bloc C (1080 m<sup>2</sup>). Ces pertes en terre relativement élevées sur les blocs A et B semblent suspectes, compte tenu de leurs faibles ruissellements (0,3 à 12 %) : forte érosion des billons proches du canal. Les plus fortes dégradations de terre

ont été observées sur ce traitement, mais compte tenu de sa rugosité, les terres arrachées sur les billons ont été redistribuées dans les sillons.

Le labour perpendiculaire à la pente, suivi d'un semis et d'un buttage cloisonné, se montre efficace dans le contrôle de l'érosion : les pertes sont alors limitées à 2,4 t/ha/an en moyenne (1993 et 1994).

### **Les bandes végétales**

Les bandes végétales sont efficaces contre les pertes en terre de la parcelle : 0,2 à 3,0 t/ha/an sur les blocs A, B et C. Elles sont sensibles aux pluies abondantes et aux longues pentes : 8 t/ha/an en C et 20 t/ha/an en D en 1992.

Vues de près, les parties cultivées des traitements en bandes végétales subissent la même dégradation que le TRM. Elles montrent un colluvionnement au bas de la bande cultivée, qui fait évoluer la pente de celle-ci vers l'aplanissement.

### **Le Zérotillage (ZT)**

La non standardisation initiale du dispositif a affecté autant les pertes en terre que le ruissellement sur ce traitement. Celles des blocs C et D montrent par leur relative stabilité que la famille ZT perd peu de terre : 0,5 à 4,0 t/ha. Sur le bloc dégradé (parcelles de 5m de large), les pertes en terre sont majorées par rapport à celles du bloc C par les effets de la proximité du canal. Hormis les effets liés au dispositif, la variation des pertes en terre sur le ZT ne semble due qu'à la pluviosité. En année pluvieuse, le Semis direct Sodecoton et le Minitillage perdent plus de terre que le ZT témoin.

### **La Jachère**

La moyenne des pertes en terre des deux traitements (Jachère naturelle et Jachère améliorée) sur deux ans (2,1 t/ha/an), est équivalente à celle de la Savane "mise en défens" (2,4 t/ha/an).

### **C - EFFET ANNEE**

L'ensemble des traitements était relativement standardisé en 1992. On constate que les maximum et les minimum de pertes en terre correspondent aux maximum et au minimum des pluies (1992 et 1993) : la fig. 4.19 montre que la courbe de pertes en terre de 1992 est au-dessus de toutes les autres, quel que soit le traitement.

La pluviosité a une faible influence sur les pertes en terre du bloc A, et plus particulièrement sur les traitements Nue et TRM dont les pertes enregistrent une baisse continue par rapport à celles de la première année. Celle-ci est de plus en plus lente, indiquant la réalisation du profil d'équilibre en fonction du seuil.

Sur le bloc D, l'année la plus pluvieuse inverse le comportement de la parcelle Nue comparativement à celui de TRM :  $NUE > TRM$  en 92 contre  $NUE < TRM$ , les autres années.

Les forts ratios de pertes en terre entre année humide et année sèche ( $> 4$ ) sont enregistrés sur les traitements Mulch et Bandes :

Mulch 92 : 4,2 t/ha/an	Bandes 92 : 2,7 t/ha/an
Mulch 93 : 0,8 t/ha/an	Bandes 93 : 0,4 t/ha/an.

Alors que pour le traitement TRM ce ratio (bloc B et C) ne dépasse pas 3, en année humide (1992), les Bandes végétales perdent autant de terre sur les longues pentes que TRM : 8 t/ha/an et 20 t/ha/an (bloc C et D). Par contre, en année sèche, elles en perdent autant, sinon moins que le ZT sur les mêmes blocs : 0,6 versus 0,6 en C ; 0,7 versus 1,4 en D. Cela semble signifier que l'efficacité des systèmes de protection Mulch et Bandes diminue quand les pluies deviennent très abondantes.

#### D - EFFET BLOC (SOL)

Les pertes en terre apparaissent comme le critère le plus discriminant des blocs pour les traitements Nue et TRM. Les maximum des pertes en terre enregistrées sur les blocs A, B et D sont :

NUE : B >	D >	A
52	39	10
TRM : D >	B >	A
30	16	8

L'effet bloc est plus net sur le bloc A, que sur tous les autres, pour l'ensemble des traitements : les pertes en terre du bloc A baissent d'année en année, contrairement à celles des autres blocs où elles varient avec la pluviosité.

Pour le traitement Nue, les pertes en terre moyennes du bloc A sur les quatre années sont cinq et trois fois moins élevées que celles des blocs B et D. Celles de TRM(A) sont 3,6 fois moins élevées que celle de TRM(D). Le bloc D discrimine les années-pluies en deux groupes : celle pour laquelle  $NUE > TRM$  (1992) et les autres où  $NUE < TRM$ .

Sur le bloc B, par contre, l'érosion de la parcelle nue est supérieure à celles de toutes les autres parcelles.

Pour les autres traitements, l'effet des blocs est moins net, ainsi sur les blocs A et B, le traitement Billons cloisonnés donne des pertes semblables.

Contrairement à l'effet année qui ne recouvre que le facteur pluviosité, l'effet bloc comprend trois principaux facteurs à l'origine de la variabilité des pertes en terre : la pente, la texture et l'état de dégradation.

La pente apparaît comme le principal déterminant de l'évolution du bloc A. Après l'érosion de la première année, la surface a évolué vers le profil d'équilibre déterminé par le seuil et tendant vers l'aplanissement. La faible pente du bloc n'est pas favorable à l'évacuation des matériaux détachés (photo 28).

La texture plus grossière du bloc B confère à celui-ci une plus grande fragilité vis-à-vis de la battance. La rapidité avec laquelle les billons cloisonnés se dégradent est spectaculaire. Sur la parcelle nue, les OPS sont tout aussi fragiles. La surface évolue très rapidement sous la battance et sous la force tractive des écoulements. L'inclinaison secondaire a favorisé l'initiation d'une rigole qui s'est approfondie très rapidement (photo 30) par rapport au niveau moyen de la parcelle. Sur les parties les plus hautes, nous avons observé des faciès d'érosion en marches d'escalier.

Le bloc D est caractérisé par une texture moins grossière et un état de dégradation très poussé. La texture donne une cohérence et une résistance plus fortes aux croûtes superficielles. Ces dernières se forment très rapidement sous l'effet de la battance sur la parcelle Nue, et protègent le sol sous-jacent (photo 29). Son état de dégradation en fait un sol très instable à l'eau lorsqu'il n'est pas tassé et protégé par une croûte. Les particules se détachent sous simple humectation et se mettent en mouvement dès qu'il y a un écoulement, la pente y étant plus favorable (2,5 %).

**Tableau 4.27** : Pertes en terre (t/ha/an) en fonction de la longueur de la pente des parcelles pour TRM et ZT sur les blocs A, B et C

		Pertes en terre : t/ha/an							
		TRM				ZT			
Blocs	Dimension s parcelles	1991	1992	1993	1994	1991	1992	1993	1994
A	5 x 20	10,1	11,6	7,9	7,8	3,0	6,1	2,0	1,4
	5 x 40	6,1	4,6	2,4	2,7	3,9	3,3	0,7	1,0
B	5 x 20	8,7	8,5	4,7	4,7	6,7	7,6	0,9	2,1
	5 x 40	7,4	17,0	3,1	10,5	6,1	4,0	0,7	0,9
C	18 x 60	5,1	14,9	5,0	7,1	0,5	2,1	0,6	0,5

#### E - EFFET D'ECHELLE

Les pertes en terre des parcelles de 20 m, 40 m et 60 m pour les traitements TRM et ZT sont données sur le tableau 4.27. L'effet de la longueur de pente sur les pertes en terre n'est pas net pour TRM. Il paraît tantôt négatif (année à faible pluviosité), tantôt

positif (années à pluviosité abondante où l'effet cumulatif le long de la pente doit jouer). Sur le ZT, l'allongement de la pente réduit nettement les pertes en terre.

#### F - AUTRES FACTEURS DES PERTES EN TERRE

Le transport des terres est plus complexe que le ruissellement. Ainsi, à côté des facteurs principaux représentés dans les effets traitements, année et bloc, d'autres interviennent de façon secondaire, mais non négligeable pour accélérer ou ralentir les processus de détachement ou de transport de celles-ci. Deux facteurs sont présentés ici :

- les précédents culturaux,
- la plante cultivée.

##### Les Précédents Culturaux

Les effets « fréquence de labour » et « arrière-effet du labour » sur le ZT observés sur le ruissellement sont aussi présents sur les pertes en terre.

L'effet fréquence du labour ressort bien des données du tableau 4.28 : la parcelle D12, transformée en TRM 40 en 1993 après être restée trois ans sans être labourée, perd sept fois et quatre fois moins de terre que TRM 20, respectivement en première et deuxième année de sa remise en labour. Ce bloc dégradé est très sensible à l'effet d'échelle. En 1991, après labour, la parcelle D15 (Haie vive sur 100 m tous les 20 m) avait perdu 60 t/ha entre le labour et le semis, au terme d'une série de pluie 4/4, totalisant 195 mm, alors que la haie vive n'était même pas plantée. Nous avons dû recourir au paillage pour préserver la terre. En 1992, malgré la présence de la haie vive, on y a enregistré des pertes en terre de 20 t/ha/an. La suppression du labour pendant deux ans par rapport à TRM 20 a permis non seulement de supprimer la réponse positive à l'effet d'échelle, mais aussi de réduire de cinq fois l'érosion de TRM20 sur les deux ans.

**Tableau 4.28** : *Effet de la fréquence du labour sur les pertes en terre du TRM dans le bloc dégradé*

Traitements	Erosion : t/ha/an	
	1993	1994
TRM 20 m, labouré depuis 1991	20,1	28,6
TRM 40 m, non labouré de 90 à 92	2,7	7,0

L'arrière-effet du labour sur ZT apparaît dans les résultats du tableau 4.29. Comme pour le ruissellement, on voit que le labour a transmis une mémoire érosive au ZT, très nette sur le bloc dégradé et malgré la sécheresse de l'année 1993 (tabl. 4.29). Le ZT décompacté perd 2,5 fois plus de terre que le ZT standard en 1993 sur le bloc D et 41 % de plus en 1994. Cette évolution est confirmée sur le bloc C, mais avec une différence moins forte (0,2 t/ha/an).

**Tableau 4.29 : Pertes en terre (t/ha/an) comparées des parcelles de ZT décompactées et non décompactées sur les blocs D et C**

Blocs	Traitements	Erosion t/ha/an	
		1993	1994
D	ZT (D14)	0,8	1,7
	ZT* (93, 94)/Labour (91,92)	2,0	2,4
C	ZT (C5)	0,6	0,5
	ZT* (94)/Labour (93) (C6)	(1,6)	0,7

ZT\* = ZT décompacté

#### Effet de la plante cultivée

Certaines plantes peuvent avoir des effets favorables sur la dégradation et l'érosion des parcelles. L'effet direct le plus remarquable est la concentration des eaux de pluie avant leur transmission au sol. Elle se fait soit le long des tiges, soit par le bout des feuilles ou des branches. Cette eau, arrivant au même endroit, sature et creuse localement le sol. Les conséquences dépendent de l'état de surface du sol. Nous avons observé sur le maïs que les écoulements le long des tiges étaient importants et néfastes pour la conservation des terres en place. Lorsqu'ils arrivent sur une surface plane, ils y creusent une micro-cuvette. Par contre, après buttage, ils cisailent facilement la terre ameublie par cette opération en créant des chenaux qui vont du pied de la plante au sillon. La dégradation des billons est accélérée par ces dégagements de terre. Sur des tiges de maïs isolés, les dimensions moyennes des chenaux suivantes ont été observées (photo 33) :

- largeur : 3,8 cm,
- profondeur : 5,1 cm,
- longueur : 24,5 cm,

soit un volume de 475 cm<sup>3</sup> de terre dégagée par les écoulements le long de la tige de maïs après 200 mm de pluie tombés six jours après le buttage. En estimant la densité apparente du sol à 1,25 kg/dm<sup>3</sup> et la densité de population du maïs à 50.000 pieds/ha, on obtient 24 t/ha au minimum, de terre déplacée en une semaine.

Nous avons aussi observé, sur une culture de coton venant après un précédent maïs sur TRM, que les grosses mottes se dégradent moins vite, prolongeant ainsi la durée du régime d'écoulement en rigoles transitoire. Examinées de près, on constate que ces mottes doivent leur stabilité au système racinaire des souches de maïs. Une plante peut donc présenter un arrière-effet sur les pertes en terre de la culture suivante par son système racinaire.

#### **4.1.3.4. Variabilité des pertes en terre totale**

Sont présentés ici les résultats des pertes en terre totale : terre de fond + matières en suspension (MES). L'analyse de la variabilité des pertes totales concerne surtout les MES, les terres de fond étant traitées ci-dessus.

Les MES n'ayant pas été prélevées en 1991, seuls les résultats de 1992 à 1994 sont présentés ici. Les tableaux 4.30 donnent les pertes en terres totales observées respectivement sur les blocs A, B, C et D de 1992 à 1994, par famille de traitements.

**Tableau 4.30 : Comparaison interannuelle des pertes en terre totales (t/ha/an) en fonction des pratiques culturales sur les blocs A, B, C et D de 1992 à 1994**

**Bloc A**

Traitements Années	NUE	TRM	ECRAN	BILLONS	BANDES	ZT
1992	6,8 + 4,2	7,7 + 5,6	5,3 + 1,3	804 + 0,6	2,7 + 2,0	5,2 + 0,2
1993	5,4 + 1,2	6,4 + 1,2	1,4 + 0,2	3,3 + 0,1	0,4 + 0,0	1,7 + 0,2
1994	5,0 + 2,3	5,4 + 1,2	2,8 + 0,3	2,8 + 0,2	0,2 + 0,1	1,8 + 0,2
Moyenne	5,7 + 2,6	6,5 + 2,7	3,2 + 0,6	4,8 + 0,3	1,1 + 0,7	2,9 + 0,2
Total	8,3	9,2	3,8	5,1	1,8	3,1
% MES	46	42	19	6	63	7

**Bloc B**

Traitements Années	NUE	TRM	ECRAN	BILLONS	BANDES	ZT
1992	52,5 + 4,8	16,2 + 4,7	4,2 + 1,1	9,5 + 0,7	2,7 + 1,1	8,0 + 0,2
1993	30,7 + 1,3	4,9 + 1,1	0,8 + 0,1	2,5 + 0,0	0,5 + 0,1	1,3 + 0,1
1994	39,5 + 2,3	6,3 + 1,1	2,5 + 0,2	2,8 + 0,0	0,5 + 0,0	2,9 + 0,1
Moyenne	40,9 + 2,8	9,1 + 2,3	2,5 + 0,5	4,9 + 2,2	1,2 + 0,4	4,1 + 0,1
Total	43,7	11,4	3,0	5,1	1,6	4,2
% MES	7	25	20	4	33	2

**Bloc C**

Traitements Années	-	TRM	-	BILLONS	BANDES	ZT
1992	-	14,9 + 5,9	-	2,1 + 0,3	2,9 + 5,0	2,7 + 0,0
1993	-	5,0 + 1,8	-	1,3 + 0,7	0,6 + 0,3	0,6 + 0,0
1994	-	7,1 + 1,7	-	3,5 + 0,8	0,4 + 0,0	0,5 + 0,0
Moyenne	-	9,0 + 3,1	-	2,3 + 0,6	3,9 + 1,8	1,3 + 0,0
Total	-	12,1	-	2,9	5,7	1,3
% MES	-	34	-	26	46	0

**Bloc D**

Traitements Années	NUE	TRM	ECRAN	BILLONS	BANDES	ZT
1992	38,6 + 10,9	30,3 + 12,4	6,2 + 6,7	2,2 + 0,0	20,6 + 9,2	3,3 + 0,5
1993	16,5 + 3,3	20,1 + 7,1	1,3 + 1,5	0,8 + 0,1	0,7 + 2,9	0,9 + 0,1
1994	15,7 + 6,2	28,6 + 7,6	4,5 + 1,1	1,9 + 0,1	0,2 + 2,2	1,7 + 0
Moyenne	23,6 + 6,8	26,3 + 9,0	4,0 + 3,1	1,6 + 0,1	7,2 + 4,8	2,0 + 0,2
Total	30,4	35,3	7,1	1,7	12,0	2,2
% MES	29	34	77	6	67	10

La prise en compte des MES, dans l'estimation des pertes en terre, majore celles-ci de 0 à 50 % en moyenne. Le classement des traitements par rapport aux sédiments grossiers ne change pas à l'exception des Bandes végétales qui voient leur érosion majorée avec l'augmentation de la longueur de pente.

Les pertes par MES sont beaucoup plus fortes en milieu cultivé que pour la Savane (0,1 %). Elles varient en fonction des traitements, des années et des blocs.

#### A- EFFET DES TRAITEMENTS SUR LES MES

La participation des MES aux pertes totales est en moyenne de :

- 30 % pour NUE et TRM,
- 20 % pour ECRAN en nouvelle défriche, mais 77 % sur sol dégradé;
- 26 % pour labour et buttage cloisonné perpendiculaire à la pente,
- 52 % pour les Bandes,
- 5 % pour Billons, ZT et Jachère.

Les pertes en MES ordonnent les traitements en deux groupes principaux :

- les parcelles labourées, couvertes ou non : 20 à 77 % ;
- les parcelles non labourées et couvertes : 0 - 5 %.

Les Bandes végétales montrent moins d'effet sur les MES sur les sédiments grossiers.

#### B - EFFET ANNEE SUR LES PERTES EN MES

L'année 1992 enregistre les plus fortes pertes de MES sur tous les traitements, y compris le ZT. La turbidité la plus élevée est obtenue avec l'année qui a eu la pluie annuelle la plus intense (fig.4.20).

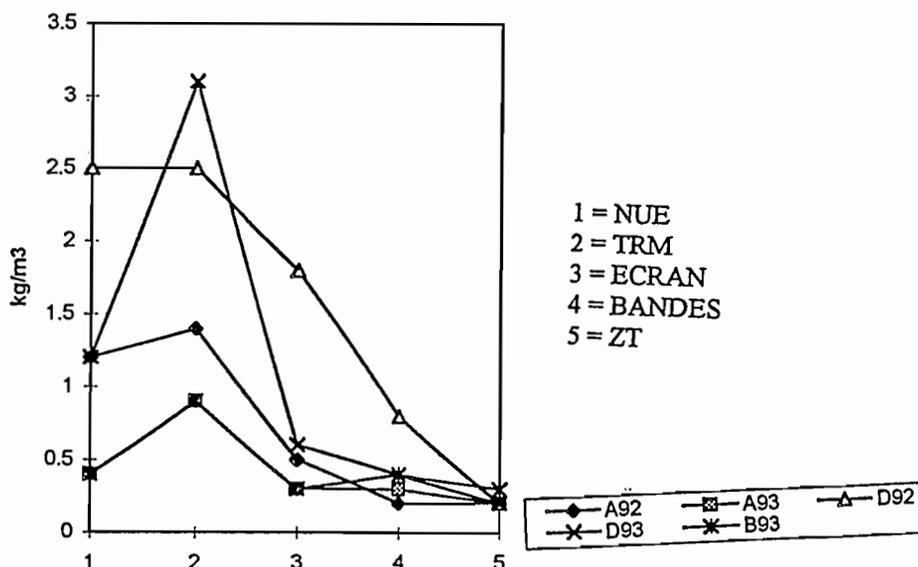


Figure 4.20 : Variation de la turbidité des eaux de ruissellement en fonction des pratiques culturales (1992 et 1993)

L'augmentation de l'agent érosif P (hauteur et intensité) se répercute plus intensément sur les transports des MES que sur les sables, tous traitements confondus.

C - EFFET BLOC

Les pertes en terre par MES sont très variables d'un bloc à l'autre :

NUE :	4 à 46 %
TRM :	25 à 42 %
ECRAN	19 à 77 %
Billons/Buttage cloisonnés	4 à 26 %
Bandes végétales	33 à 67 %
ZT	0 à 10 %

Sur le bloc A, la prise en compte des MES dans le transport solide total majore les pertes grossières de :

- 44 % en moyenne pour sol nu et TRM ;
- 20 % pour ECRAN ;
- 63 % pour Bandes ;
- 6 % pour Billons et ZT.

Sur le bloc B, à texture plus sableuse, la participation des MES est plus faible que celle du bloc A :

NUE	7 %
TRM	25 %
ECRAN	19 %
Bandes	33 %
Billons et ZT	4 et 2 %

La participation des MES dans les pertes totales sur le bloc C est intermédiaire entre celles des blocs A et B :

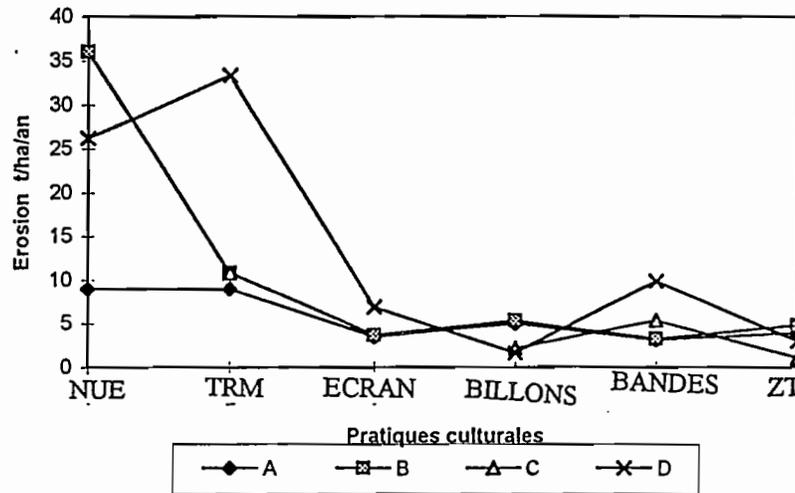
TRM	34 %
Billons/Buttage	26 %
Bandes	46 %
ZT	0 %

Enfin, sur le bloc D, les MES participent pour :

- 30 % en moyenne pour NUE et TRM,
- 77 % pour Ecran,
- 67 % pour Bandes et
- 6 à 10 % pour Billons et ZT.

La figure 4.23, comparant l'érosion totale des six familles de traitements pour les quatre blocs, confirme l'analyse précédente. Le poids relatif des MES est notable sur les

sols labourés nus, cultivés ou pas, mais aussi sur Ecran, puis Bandes végétales en années pluvieuses et sur grandes longueurs de pente. Il est faible sur Billons, ZT et Jachère.



**Figure 4.21** : Pertes en terre totale moyennes (4ans) en fonction des pratiques culturales.

#### D - CONCLUSION PARTIELLE

Les traitements conservateurs de la structure des états de surface du sol donnent des pourcentages des MES très inférieurs à ceux des autres traitements.

La variabilité de de l'agent érosif se répercute plus intensément sur la variabilité des MES que sur celle des pertes en terres grossières. Les MES apparaissent comme un bon test de dégradation lié au travail du sol.

En terme de transports totaux, la prise en compte des MES renforce :

- le contraste entre parcelles labourées et non labourées et recouvertes de litière,
- les spécificités des blocs A, B et D, dont les sols se distinguent par la texture ou l'état de dégradation.
- l'existence d'une interaction entre la longueur de pente et la pluviosité pour l'expression de l'effet d'échelle.

Compte tenu de leur importance agronomique, d'une part, et de leur facile transportabilité, leur conservation exclut toute forme de détachement préalable ou en cours de pluie.

#### 4.1.3.5. Les pertes en terre décadaires et journalières

Les figures 4.22 à 4.25 illustrent les variations des pertes en terre décadaires et journalières sur les blocs A (1992, 1993), B (1994) et D (1993) pour les traitements NUE, TRM, ECRAN et ZT.

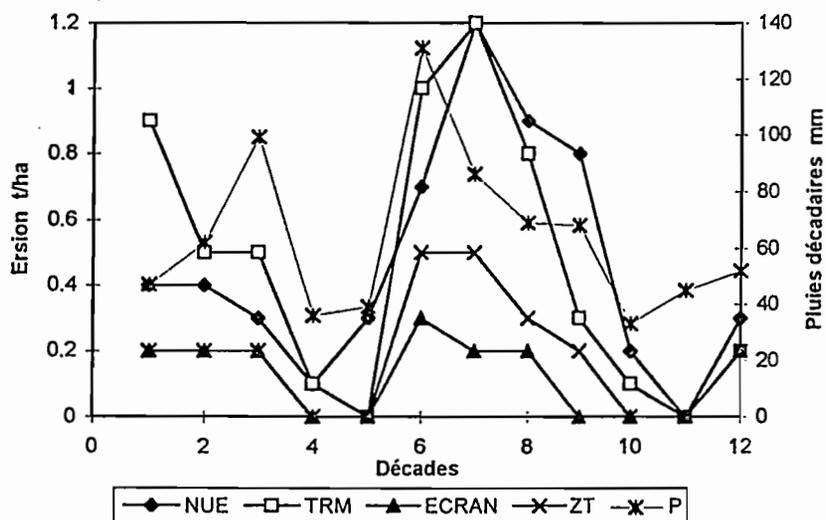


Figure 4.22 Pertes en terre décadaires sur le bloc A pour les traitements NUE, TRM, ECRAN et ZT (1992)

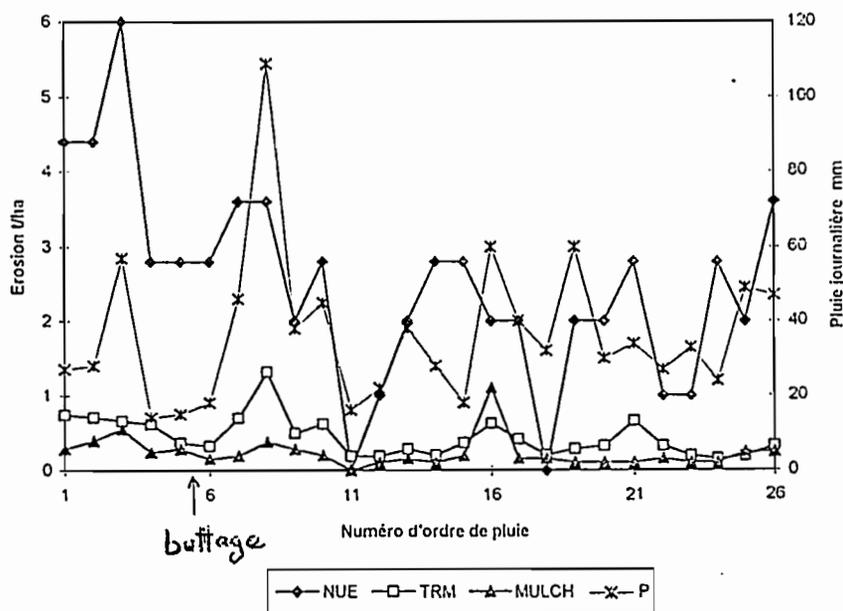


Figure 4.23 Pertes en terre journalières pour les traitements NUE, TRM et MULCH sur le bloc A (1992)

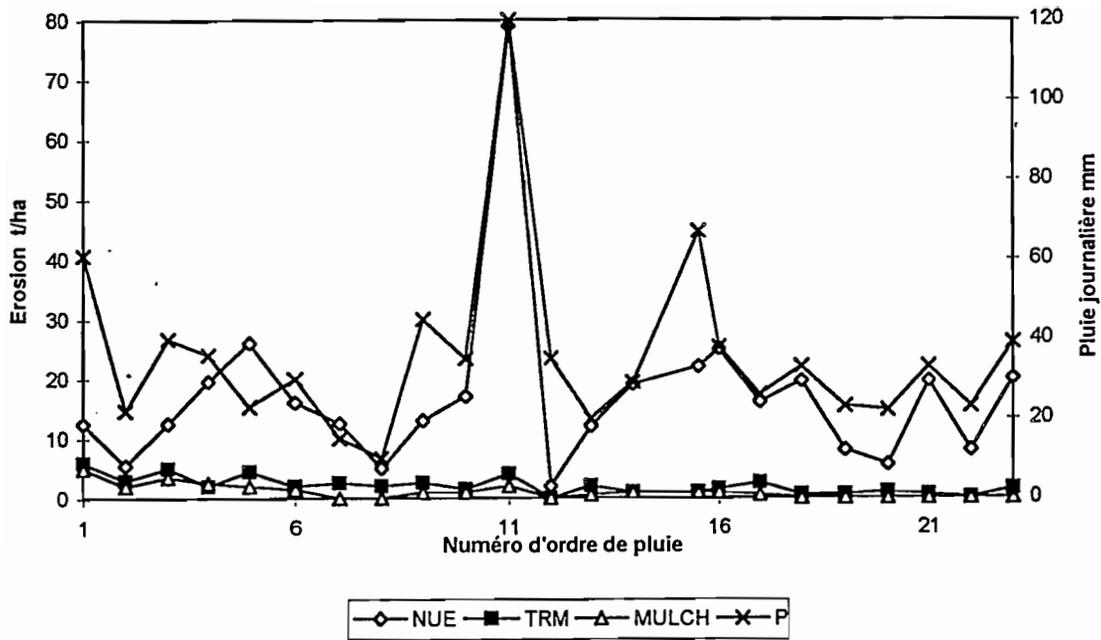


Figure 4.24 Pertes en terre journalières pour les traitements NUE, TRM et MULCH sur le bloc B (1994)

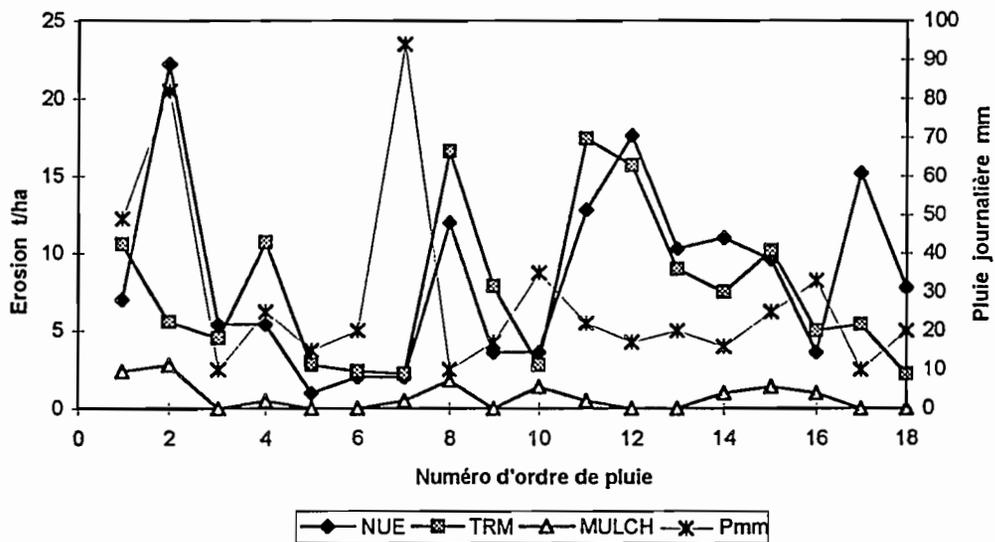


Figure 4.25 Pertes en terre journalières pour les traitements NUE, TRM et MULCH sur le bloc D (1993)

De ces figures, les observations suivantes sont relevées :

1° - D'une façon générale, on observe sur les parcelles labourées, couvertes ou non, deux phases d'érosion :

- une première phase de durée courte, variable avec les traitements et les blocs, mais avec des taux d'érosion élevés, quelle que soit l'évolution de la pluviosité,

- une deuxième phase, plus longue, où les pertes en terre répercutent assez fidèlement les variations de la pluviosité, en terme de volume ou de fréquence.
- 2° - Si les grosses averses produisent en général de fortes érosions sur les sols sableux, ces dernières ne sont pas proportionnelles à la hauteur des précipitations. La phase, au cours de laquelle les fortes pluies interviennent, compte beaucoup. Les figures 4.23 et 4.25 ci-dessus illustrent ce fait sur les parcelles nues des blocs A (1992) et sur le bloc D (1993) :
- sur le bloc A, la troisième pluie de la campagne expérimentale (57 mm) a produit une érosion de 6 t/ha contre 3,6 t/ha pour la huitième pluie (109 mm),
  - sur le bloc D, la deuxième pluie (82 mm) a produit une érosion de 22,2 t/ha, contre 12 t/ha pour la huitième pluie (94 mm) tombée un mois plus tard.
- 3° - Dans la deuxième phase de l'érosion, les séries de modestes pluies produisent des pertes en terre qui peuvent être supérieures à celles des averses trois à quatre fois plus fortes (ex : 1993 : 11ème et 12ème pluie en D ; 13 à 16ème, et la 21ème pluie en 1992 sur le bloc A).
- 4° - Après le buttage, les pertes en terre sont ralenties sur la ou les trois premières pluies suivantes pour repartir de plus belle avec des taux supérieurs à ceux de la parcelle nue (fig.4.25).

### ***Conclusion sur les pertes en terre***

Les pertes en terre sont très influencées par la pluviosité (hauteur, intensité et fréquence). Mais celle-ci ne détermine pas seule la détachabilité des matériaux. L'état de la surface du sol, couvert ou rugueux, ainsi que sa stabilité, peuvent diminuer ou augmenter le détachement et la transportabilité des terres. Les pratiques culturales qui sont les principaux déterminants des états de surface apparaissent ici comme une cause d'érosion, du moment que sous la même pluviosité et sur le même sol, une parcelle s'érode activement pendant que l'autre se conserve bien. Le traitement ZT est toujours le plus conservatif, suivi de Bandes et Ecran dont l'efficacité diminue les années très pluvieuses.

Le suivi à pas de temps journalier ou décadaire montre une évolution dans le temps, de la susceptibilité des sols à l'érosion au cours de la saison de culture : les premières semaines après les opérations aratoires sont les périodes où le sol est le plus vulnérable, notamment aux séries de pluies.

Les MES, dont la transportabilité ne dépend que du ruissellement, apparaissent comme les meilleurs descripteurs de la dégradation des terres, contrairement aux pertes grossières dont le transport est soumis à une vitesse minimum du ruissellement.

#### **4.1.3.6. Conclusion sur les révélateurs de fonctionnement**

L'analyse statistique confirme le regroupement thématique des traitements en familles de comportement vis-à-vis des trois critères de fonctionnement (ruissellement, perte en terre et rendement) à l'exception de la famille M O pour le critère rendement. Ce regroupement renforce la valeur statistique des résultats.

Le nombre de familles stables varie en fonction du critère de fonctionnement. Il est plus élevé pour le ruissellement, faisant de lui le révélateur de fonctionnement le plus sensible au critère famille de traitement.

Le regroupement en familles et la variation du nombre de familles selon le critère de fonctionnement, indiquent qu'il y a, pour chacun de ceux-ci, un nombre minimum de conditions qui doivent être réalisées avant leur manifestation. Ainsi, pour le critère ruissellement (le plus sensible) ne nécessitant que la fermeture du sol, toute modification de l'état de surface par rapport à l'état de référence, apporte une différence significative de comportement. Le degré de contraste entre familles varie en fonction du révélateur de fonctionnement, de la pluviosité et des sols.

Les familles de pratiques culturales forment globalement deux grands groupes très contrastés du point de vue du fonctionnement :

- sol travaillé et/ou nu,
- sol non travaillé couvert de litière.

Le travail du sol est à l'origine de ruissellement et de pertes en terre élevés. Les sols labourés et maintenus nus ruissellent plus que les labourés et cultivés. Leurs pertes en terre sont semblables et supérieures à celles occasionnées par toutes les autres pratiques culturales testées. Le labour recouvert de paille ou d'une grille plastique ruisselle à peine moins que le témoin labouré et cultivé, mais les pertes en terre y sont 3 à 5 fois moins élevées et plutôt proches de celles du zéro tillage. Dans ce groupe de sol labouré, le cloisonnement de la pente par les bandes végétales perpendiculaires à la pente ou par les billons cloisonnés, réduit fortement le ruissellement et les pertes en terre. Les systèmes conservateurs basés sur un moindre remaniement du sol et le maintien d'une couverture à la surface, ruissellent et perdent peu de terre ; leurs pertes en terre sont d'autant plus faibles que la parcelle est longue.

La variabilité du ruissellement et des pertes en terre due à l'effet bloc est liée principalement à la pente, à la texture et à l'état de dégradation du sol. Le ruissellement est peu sensible à l'inclinaison de la pente ; mais il est par contre sensible à la texture lorsque

le sol est couvert et très sensible à l'état de dégradation du sol. Sur les faibles pentes (<math>\leq 1\%</math>), l'exportation des terres grossières est faible ; sur des pentes supérieures à 1 %, les pertes sont élevées lorsque le sol n'est pas couvert. Sur les sols dégradés par plusieurs années de culture continue, les pertes en terre sont 3 fois plus élevées que sur les nouvelles défriches, pour le système de culture vulgarisé.

Les plus forts ruissellements et pertes en terre sont observés au cours des années les plus pluvieuses, et les plus faibles au cours des années sèches. En années humides, les bandes végétales de 2 m de large, contrôlent moins efficacement le ruissellement et les pertes en terre ; il en est de même des traitements de travail du sol réduit à la ligne de semis ou de semis direct SODECOTON dans la famille des systèmes conservateurs.

Au cours du cycle cultural, les processus de détachement, de la fermeture de la surface du sol et de l'effacement de la rugosité, sont prépondérants sur les systèmes de culture conventionnels. Ils sont liés aux toutes premières pluies tombant après le labour ou toute autre opération aratoire. Il en résulte une forte réduction de l'infiltrabilité du profil. Sur les systèmes conservateurs par contre, les processus dominants sont la dissipation de l'énergie cinétique des pluies sur la litière et les interactions positives de cette dernière avec la macrofaune, d'où la très forte infiltrabilité de ces systèmes culturaux.

En définitive, dans le Sud-Est Bénoué, le travail du sol est défavorable à la conservation du sol et de l'eau, particulièrement sur les blocs dégradés. Il est la cause de l'appauvrissement de ces sols. Les sols non ou peu travaillés et recouverts de litière sont caractérisés par une forte infiltrabilité. Ils sont la base de la conservation des sols, de l'eau et de la fertilité.

#### **4.1.4. ASPECTS BIOLOGIQUES**

La savane soudanienne est un milieu productif (pâturage, bois, etc) et une réserve en terres. Les modes de gestion de celle-ci affectent le couvert végétal. Le couvert végétal et les activités de la faune du sol jouent un rôle important dans les phénomènes du ruissellement et de l'érosion. Nous présentons dans la section suivante les résultats du suivi de la végétation des savanes (1992 à 1994) et ceux du comptage de turricules de vers de terre sur les parcelles cultivées en 1993 et 1994.

##### ***4.1.4.1. Suivi de la végétation des parcelles savane***

Les parcelles expérimentales sont devenues opérationnelles en juillet 1991 après avoir subi les feux de brousse traditionnels.

P. Donfack, écologue-botaniste à l'IRA Maroua, nous a assisté pour le suivi de la végétation.

Une caractérisation de la végétation naturelle du site expérimental a montré que l'écosystème de référence était une savane arborée comprenant un couvert ligneux en assez bon état et différencié en trois strates :

- une strate arborée, dominée par *Anogeissus leiocarpus* et *Terminalia avicennioides*, représentant 20 % du couvert ligneux ;
- une strate arbustive dominée par *Annona senegalensis* et *Piliostigma thonningii* ;
- une strate ligneuse basse, constituée de jeunes repousses de l'ensemble des espèces et témoignant d'une régénération constante.

La strate herbacée recouvre le sol presque à 100 % en fin de saison des pluies. Elle est dominée par les graminées hautes telles que *Andropogon gayanus* et *Cymbopogon giganteus*. En-dessous de ces graminées hautes, on trouve *Andropogon pseudapicus* qui a un couvert très dense.

Les suivis de peuplement par le comptage des individus ont été réalisés à partir de 1992 en fin de saison de pluie.

#### Couvert ligneux

Pour chaque date, les comptages de ligneux ont été réalisés trois fois. Les résultats donnés dans les tableaux qui suivent représentent la moyenne de ces trois comptages. Ils sont donnés en nombre d'arbres pour chacune des trois strates ci-dessous dans les tableaux 4.31a, b et c :

- Strate I :       basse  
 Strate II :      intermédiaire  
 Strate III :     haute

**Tableaux 4.31a, b et c : Evolution du peuplement ligneux dans les parcelles (200 m<sup>2</sup>) Savane en nombre d'individus de chaque strate (1992-1994).**

#### a) Savane mise en défens

	1992	1993	1994
Strate I (basse)	62,6	85,3	171,0
Strate II	35,6	47,6	33,0
Strate III (haute)	9,0	27,0	22,0
Total des ligneux	107,3	160,0	227,0

#### b) Savane brûlée précocement

	1992	1993	1994
Strate I (basse)	70,0	80,0	114,2
Strate II	15,0	24,0	27,0
Strate III (haute)	9,6	15,0	14,5
Total des ligneux	94,6	119,0	155,7

### c) Savane brûlée précocement et pâturée

	1992	1993	1994
Strate I (basse)	45,3	144,3	140,5
Strate II	16,1	25,0	31,5
Strate III (haute)	12,0	13,6	18,7
Total des ligneux	73,5	183,0	190,7

Des tableaux 4.31 a, b, c, on peut conclure à une augmentation progressive du nombre de ligneux en fonction du temps. Elle est surtout due à un envahissement des ligneux de la strate basse, traduisant une forte régénération. La plupart des ligneux supplémentaires inventoriés en 1993 et 1994 dans la strate haute ou intermédiaire, appartiennent aux espèces *Cajanus kerstingii* et *Desmodium* sp., pluriannuelles, renouvelant leurs tiges régulièrement.

L'augmentation des ligneux de 1993 et 1994 par rapport à 1992 signifierait que les feux précoces ont été moins agressifs que les feux traditionnels (plus tardifs).

#### Le couvert herbacé

Le peuplement herbacé a été suivi dès 1991. Les résultats du comptage des quatre années sont donnés en nombre d'espèces rencontrées dans le tableau 4.32.

**Tableau 4.32 : Nombre d'espèces herbacées dans les parcelles de savane**

	1991	1992	1993	1994
Mise en défens	31	31	28	22
Brûlée	27	29	24	17
Brûlée et pâturée	14	28	32	17

On note une nette diminution du nombre d'espèces des herbacées dans la parcelle mise en défens, tandis que les autres parcelles montrent plutôt une fluctuation avec le temps. On a observé une forte variation des espèces dans la parcelle mise en défens en fonction des années. Cinquante espèces différentes y ont été recensées contre 37 et 33 respectivement en savane brûlée et savane brûlée puis pâturée. Ceci traduit, entre autre, la disparition dans la savane mise en défens des espèces héliophiles et le remplacement par des ombrophiles plus diversifiées telles que *Pennisetum pedicellatum* et les euphorbes. Les espèces héliophiles telle *Andropogon gayanus* n'étaient plus représentées qu'en bordure de parcelle.

#### **4.1.4.2. Activité des vers de terre**

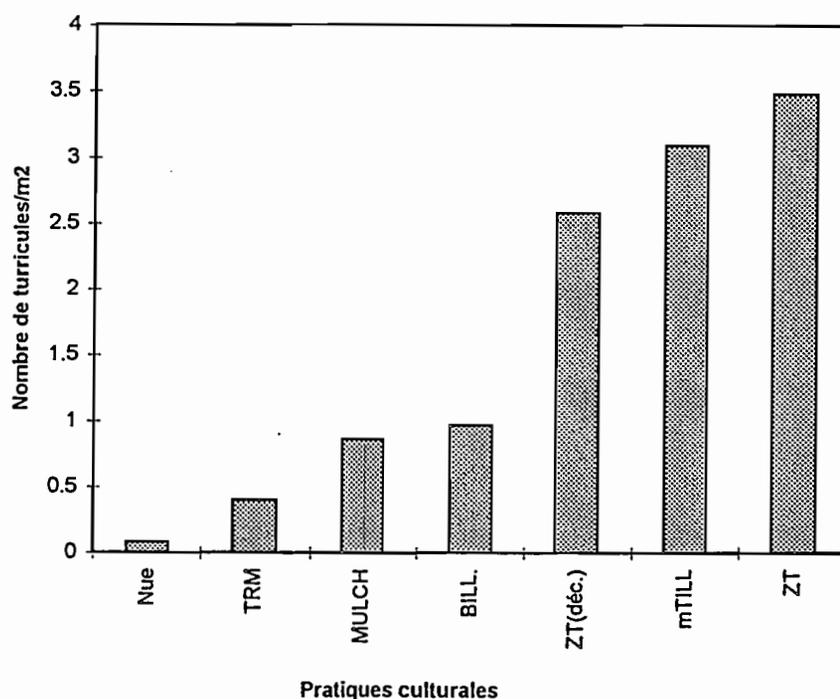
Plusieurs auteurs reconnaissent le rôle positif de la macrofaune du sol en général et des vers de terre en particulier dans l'organisation, les remaniements et la stabilité structurale du sol.

Certains ont utilisé le comptage des turricules pour évaluer l'activité des vers de terre : au Cameroun, Kollmansperger (1956) *in* Roose (1976); en Côte d'Ivoire, Roose (1976) a utilisé cette méthode en forêt dense humide.

Nous avons donc utilisé cette méthode pour évaluer l'effet des pratiques culturales testées sur l'activité de cette faune favorable à la fertilité des sols. On a réalisé un comptage systématique le 2 août 1993 sur toutes les parcelles des blocs A, B et D. En 1994, les comptages ont été réalisés à trois dates : 13 juillet, 29 août et 23 septembre. Un contraste de taille des turricules étant apparu, nous avons pris des échantillons représentatifs (cinq turricules) des classes de tailles de chaque site d'observation (parcelle) pour séchage à l'étuve et détermination du poids moyen.

Les figures 4.26, 4.27 et 4.28 donnent respectivement les densités moyennes au mètre carré des turricules par famille de traitement en 1993 tous blocs confondus, le poids moyen sec (105° C) d'un turricule pour chaque parcelle et l'évolution du nombre de turricules en fonction des pratiques culturales entre juillet et septembre 1994 sur le bloc B.

On constate que le labour, mais surtout l'absence de litière sur le sol, réduit considérablement l'activité des vers de terre. En effet, l'apport d'une litière sur un sol labouré entraîne une rapide recolonisation de celui-ci (Mulch et ZT décompacté). Sur ces parcelles labourées puis paillées, les turricules sont environ de moitié plus petits que ceux qui sont produits sur des parcelles de zéro tillage.



**Figure 4.26 :** Densité des turricules en fonction des pratiques culturales (juil. 1993)

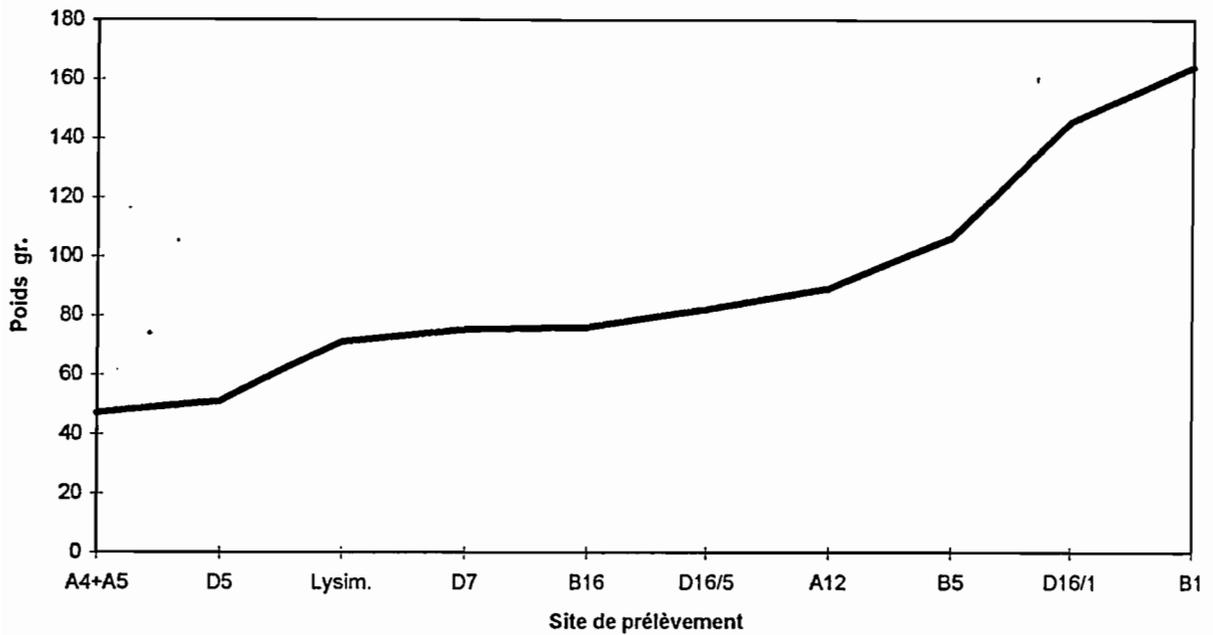


Figure 4.27 : Poids moyen d'un turricule de vers en fonction du site de prélèvement

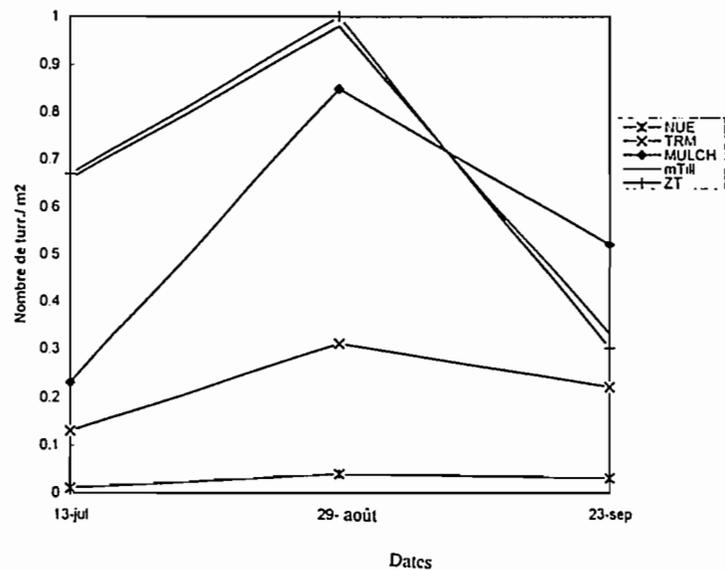


Figure 4.28 : Evolution de l'activité des vers de terre entre juillet et septembre 1994

Ce qui signifierait que la colonisation est faite par des individus juvéniles, nés sur place et non par une migration d'adultes. L'augmentation du peuplement entre juillet et août 1994 sur les parcelles nues ou cultivées conventionnellement (fig. 4.28) illustre cette dynamique.

L'activité des vers de terre et les caractéristiques de leurs turricules semblent varier en fonction des sites. La densité la plus forte et le poids moyen de turricule le plus élevé ont été observés sur la parcelle B1 (zéro tillage en bordure de Savane) et la densité la plus

faible sur  $D_{10}$  (NUE). Pour le traitement zéro tillage, on a observé des variations en fonction des sols, de la position sur la pente et de la proximité de la savane.

Nous avons observé que l'ouverture de la surface du sol par cette faune n'était pas seulement liée à l'orifice par lequel les turricules étaient rejetées. Lors de leur déplacement hypodermique, la terre soulevée au-dessus de la galerie se fissure sur plusieurs centimètres de longueur (photos 43 à 45). Ce réseau de macro porosité (ouverture, fissures et galeries) constitue un puissant facteur de réduction du ruissellement.

Les vers de terre incorporent la litière dans le sol en la recouvrant de turricules. Localement, ils augmentent l'épaisseur du sol. Ils constituent ainsi le principal facteur de l'aération et de l'incorporation de la matière organique dans le sol. Leurs effets sont de ce point de vue opposés à ceux de l'homme dont la résultante est la réduction de l'épaisseur du sol par le compactage et l'érosion.

#### **4.1.4.3. Conclusion**

Au total, l'évolution observée de 1991 à 1994 se traduirait, pour les trois parcelles Savane, par une augmentation du couvert végétal, surtout de la strate basse, et donc, une interception de l'énergie de gouttes de pluie plus grande.

La disparition des espèces herbacées dans la parcelle mise en défens a contribué à la production de la litière à la surface du sol. Celle-ci a stimulé l'activité de la macrofaune du sol.

Contrairement aux traitements avec feu précoce, la surface de la parcelle mise en défens était couverte toute l'année dès fin 1992. Tous les facteurs de réduction du ruissellement étaient donc réunis sur ce traitement.

L'activité des vers de terre (densité, taille des turricules) dépend beaucoup du traitement des parcelles : elle est maximum pour le ZT, minimum pour le sol nu, et leur contribution au développement de la macroporosié de l'horizon de surface explique les forts contrastes d'infiltrabilité selon les traitements.

## Effets de l'érosion sur la productivité végétale



39	40
41	42

*Photo n° 39 : Au centre (côté capuchon du bic), les semences mises à nu par une pluie intense sécheront ou seront emportées par la pluie suivante : une des principales causes de manquants à la levée allant à plus de 50 %.*

*Photo n° 40 : Le fumier de chèvre enfoui par le labour est érodé : ici une partie délaissée au bord du canal de sédimentation bien avant le buttage. Il ne suffit pas d'apporter des fertilisants au sol, on doit s'assurer qu'ils y resteront à la disposition des plantes.*

*Photo n° 41 : Le buttage stimule le développement du système racinaire fin. L'érosion provoquée par le ruissellement le long des tiges de maïs et dans les sillons le dénude.*

*Photo n° 42 : La décoloration des feuilles de jeunes plants de maïs a été observée sur toutes les parcelles décapées artificiellement (sur 5 à 15 cm). Elle correspond à une carence en zinc.*

## 4.2. POTENTIALITES AGRICOLES ET PRODUCTIVITES DES DIFFERENTES PRATIQUES AGRICOLES

Sont étudiés sous cette section, les rendements obtenus sur :

- les parcelles d'érosion traditionnelles (sous pluies naturelles) ;
- l'essai décapage (érosion décapante simulée) ;
- l'essai fractionnement de la fumure azotée sous paillage (parcelles agronomiques) ;
- l'essai potentialités de production des résidus de culture (parcelles agronomiques) ;
- conclusion.

### 4.2.1. PRODUCTIVITE SOUS EROSION NATURELLE (PARCELLES D'EROSION)

La comparaison statistique des moyennes des effets des traitements par la méthode des contrastes a montré pour les six familles de traitement que le rendement est la variable la moins dépendante des familles de traitements considérés.

Pour cette variable rendement, on observe en effet plus souvent que pour les variables érosion et ruissellement, des disjonctions de comportement à l'intérieur des familles, selon les années et selon les blocs.

Cependant, des écarts de productivité significatifs existent d'une famille à l'autre et ils deviennent très nets si on pousse l'analyse plus en détail à l'intérieur des familles.

#### 4.2.1.1. *Effet des Pratiques Culturelles sur la variabilité des rendements*

##### A - Comparaison des familles de traitements sur la variabilité des rendements

Le tableau 4.33 regroupe les résultats de rendements obtenus sur les cultures de cotonnier et de maïs pour les six grandes familles de traitements.

Pour le rendement en coton graine, les différences de rendement moyen (sur deux ans) ne sont pas très fortes d'un traitement à l'autre : ce sont les familles MO et TRM qui donnent les meilleurs résultats (1,7 t/ha), ceux obtenus avec les familles Ecran et ZT sont à peine inférieurs (1,6 t/ha) ; ils dépassent nettement les rendements des traitements Bandes et Billons (1,4 t/ha).

Pour le maïs, les différences sont plus marquées : c'est encore la famille MO qui est en tête (6 t/ha) devant les traitements TRM, puis Ecran, Bandes et Billons (4,4 à 3,4 t/ha) et plus loin derrière, le traitement ZT (2,0 t/ha).

**Tableau 4.33 : Rendements en coton graine et maïs grain (t/ha) en fonction des six familles de traitements**

Familles de Traitements		Coton graine : t/ha			Maïs grain : t/ha		
		1991	1993	1992	1994		
TRM	A	1,0	2,3	5,1	4,2		
	B	1,3	1,7	4,9	3,8		
	C	1,2	2,0	3,8	3,1		
	D	1,7	1,8	4,6	5,4		
Moyenne		1,3	1,7	2,0	4,6	4,4	4,1
TRM + MO	A	1,0	2,7	7,5	5,6		
	B	1,3	2,5	5,9	5,4		
	C	-	-	-	-		
	D	1,1	1,7	5,3	5,7		
Moyenne		1,1	1,7	2,3	6,2	5,9	5,6
ECRAN	A	0,9	1,8	4,8	2,7		
	B	1,5	1,8	4,4	3,1		
	C	-	-	-	-		
	D	1,1	1,5	4,7	4,1		
Moyenne		1,2	1,5	1,7	4,6	4,0	3,3
BILLONS	A	0,9	2,1	3,9	3,5		
	B	1,0	1,2	3,3	2,7		
	C	1,0	1,8	3,1	3,9		
	D	-	-	-	-		
Moyenne		1,0	1,4	1,7	3,4	3,4	3,4
BANDES	A	1,3	1,8	4,4	2,8		
	B	1,2	1,8	4,0	3,1		
	C	1,1	1,6	3,2	2,7		
	D	1,3	1,3	3,9	4,1		
Moyenne		1,2	1,4	1,6	3,9	3,6	3,2
ZT	A	1,6	2,3	2,2	1,7		
	B	1,5	2,3	2,6	2,0		
	C	0,8	2,1	1,7	1,5		
	D	0,7	1,4	1,4	3,0		
Moyenne		1,2	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0

En résumé, on obtient les classements de productivité suivants :

Coton : MO = TRM > ZT > ECRAN > Bandes, Billons  
(1991 + 1993) 1,7 t/ha 1,6 t/ha 1,5 t/ha 1,4 t/ha

Maïs : MO > TRM > ECRAN > Bandes, Billons > ZT  
(1992 + 1994) 6,0 t/ha 4,4 t/ha 4,0 t/ha 3,6 t/ha 3,4 t/ha 1,7 t/ha

Le TRM se situe en bonne position, il donne des rendements stables ; les variations de rendement interannuelles restent inférieures à 30 %. Les Billons cloisonnés

par contre, donnent des résultats faibles, comme ZT, même en année sèche où le ZT est relativement plus productif.

### B - Comparaisons des variantes (à l'intérieur des familles)

Les deux variantes considérées dans le traitement MO sont le fumier et les résidus de culture enfouis. Le tableau 4.34 présente les rendements de ces deux variantes comparativement à ceux du témoin TRM. On voit que le Fumier de chèvre enfoui est la meilleure amélioration du TRM pour les deux cultures et pour tous les blocs : ce gain de productivité par rapport au TRM est de 35 % pour le coton et de 40 % pour le maïs.

**Tableau 4.34 : Productivité en coton graine et maïs grain des traitements Fumier enfoui et résidus de culture enfouis en fonction des blocs (t/ha)**

	Blocs	TRM	FUMIER	RESIDUS
1993 COTON	A	2,3	3,0	2,5
	B	1,7	2,7	2,2
	D	1,8	2,1	1,3
Moyenne blocs		1,9	2,6	2,0
1992 MAÏS	A	5,1	9,6	5,4
	B	4,9	5,8	4,1
	D	4,2	5,3	5,2
Moyenne blocs		4,7	6,9	4,9
1994 MAÏS	A	4,3	6,5	4,7
	B	3,8	5,9	4,0
	D	5,4	6,0	5,4
Moyenne blocs		4,5	6,1	4,7
Moyenne deux cycles maïs		4,6	6,5	4,8

Le traitement Fumier produit toujours plus que TRM et Résidus. Et le bloc A produit toujours plus que les blocs B et D

Dans la famille de traitement Ecran, il y a un écart sensible, notamment en année sèche, et variable avec les blocs entre les deux variantes considérées Ombrière et Mulch. Le Mulch donne des résultats aussi bons ou meilleurs que le témoin tant pour le coton que pour le maïs sur les blocs A et B, alors que la variante Ombrière est nettement moins productive ; les jeunes plants reçoivent une lumière insuffisante tant qu'ils ne sont pas sortis de l'ombrière et filent. Cette contrainte expérimentale pénalise donc la famille Ecran dans les comparaisons de rendements.

Les principales variantes de la famille Zéro tillage sont le Minitillage, le Zéro tillage et le Semis direct Sodecoton. Le Minitillage et Zéro tillage donnent des rendements proches l'un de l'autre ; le ZT est encore moins favorable que le Minitillage sur sol dégradé. C'est seulement en année sèche (sans série de pluies) et sur sol non compacté que les rendements de ces traitements deviennent relativement intéressants. Le Semis direct Sodecoton, système intermédiaire entre le ZT et le TRM, semble intéressant, particulièrement pour le coton, lorsqu'il n'y a pas de séries de pluies entre la levée et le buttage.

Le ZT décompacté produit une amélioration nette sur les parcelles du bloc D (tableau 4.35).

**Tableau 4.35 : Comparaison de rendements (t/ha) entre le ZT et le ZT décompacté sur les blocs C et D**

	Bloc D		Bloc C
	Coton 93	Maïs 94	Maïs 94
ZT	1,2	2,1	1,5
ZT décompacté	1,9	3,6	1,6

Le doublément de la densité de semis a été étudié pendant les quatre années sur deux parcelles des blocs A et B. On voit que (tabl. 4.36) :

- pour le coton, le doublement de la densité augmente la production des tiges, mais n'améliore pas celle du coton graine qu'il semble plutôt réduire en 1993 (année sèche) ;
- pour le maïs, l'effet du doublement de la densité est encore positif pour les pailles, mais pas net pour les grains.

**Tableau 4.36 : Effet de la densité de semis sur le rendement en coton graine et maïs grain en t/ha sur les blocs A et B**

		COTON				MAÏS			
		1991		1993		1992		1994	
		grain	tiges	grain	tiges	grain	paille	grain	paille
TRM	A	0,9	3,5	2,3	5,7	5,2	7,9	4,0	6,7
	B	1,3	3,1	2,0	4,4	4,8	5,4	3,4	3,6
Moy. blocs		1,1	3,3	2,2	5,1	5,0	6,7	3,7	5,2
Moy. années		Grain : 1,7		Tiges : 4,2		Grain : 4,4		Paille : 6,0	
TRM		0,8	4,9	1,6	8,4	5,0	9,9	4,6	8,4
Densité	A	1,3	4,5	1,2	5,0	5,0	8,3	4,2	5,0
	B								
Moy. blocs		1,1	4,2	1,4	6,7	5,0	9,1	4,4	6,7
Moy. années		Grain : 1,3		Tiges : 5,5		Grain : 4,7		Tiges : 7,9	

La production de coton graine diminue et celle des tiges augmente avec le doublement de la densité

La jachère courte, naturelle ou améliorée par l'introduction de *Calopogonium* constitue un précédent qui améliore de façon sensible (au moins deux ans) les rendements obtenus avec le Zéro tillage. Ceux-ci deviennent plus proches ou même dépassent ceux obtenus avec TRM (tabl. 4.37).

**Tableau 4.37 : Rendements comparés (t/ha) des traitements TRM, ZT et ZT/jachère (ZT sur précédent jachère de 2 ans) sur le bloc D (1993 et 1994)**

	1993 / Coton graine	1994 / Maïs
TRM bloc D	1,8	5,4
ZT bloc D	1,4	2,8
ZT/jachère améliorée	2,2	3,8
ZT/jachère naturelle	2,0	3,3

On voit en conclusion qu'à court terme, les systèmes conservateurs (ECRAN et ZT) sont en général nettement moins productifs que les systèmes traditionnels. L'addition à ceux-ci de MO enfouies sous forme de fumier, qui apporte beaucoup d'éléments nutritifs lentement libérés et qui freine la recompaction rapide du sol labouré, permet des gains de productivité pratiquement dans tous les cas observés ; ces gains sont d'autant plus importants que la terre et le fumier ne sont pas enlevés par l'érosion. C'est seulement en année sans séries de pluies importantes que les systèmes conservateurs (Ecran, ZT) rivalisent avec le labour vulgarisé.

#### ***4.2.1.2. Effet des années sur la productivité***

L'influence des années sur les rendements résulte des variations interannuelles des conditions climatiques donnant des déficits ou des excès de pluies qui affectent la production de plusieurs manières :

- par la sécheresse, comme en 1993, année sèche de fréquence 1/11 ;
- par des pluies violentes causant des pertes de semences et de terres liées aux phénomènes de désagrégation et d'érosion du sol ;
- par les séries de pluies provoquant des phénomènes d'asphyxie dans le sol et entraînant des troubles de croissance des végétaux.

#### Effet sécheresse

On a vu que les traitements Minitillage et ZT deviennent relativement intéressants en année sèche comme 1993, où les rendements obtenus avec ceux-ci atteignent ou dépassent les rendements des traitements naturellement plus favorables (TRM et ECRAN).

La sécheresse provoque aussi, semble-t-il, une disjonction de comportement dans la famille de traitement ECRAN : les rendements sous Mulch en 1993 sont comparables à ceux obtenus avec TRM, mais ils sont presque deux fois plus forts que ceux obtenus sous ombrière. Il semble que celle-ci protège moins bien le sol contre le dessèchement que le Mulch posé en contact direct avec le sol ; cet effet fragilise davantage les jeunes plantes souffrant de l'insuffisance de la lumière sous ombrière.

#### Effet pertes de semences

L'année 1993 s'est illustrée aussi par les pluies les plus violentes ( $I_{\max 5'} = 180 \text{ mm h}^{-1}$  et  $I_{\max 30'} = 117 \text{ mm h}^{-1}$ ). Trois jours après semis, un orage violent ( $I_{\max 30'} = 67 \text{ mm h}^{-1}$ ), d'une hauteur de 35 mm au site N et 12,5 en D, s'est abattu sur les parcelles, causant de nombreuses pertes à la levée. Après le resemis, deux autres orages sont tombés deux et trois semaines après le premier.

Le tableau 4.38 donne les pourcentages des plants levés après le semis et le premier resemis.

**Tableau 4.38 : Pourcentage de plants levés après semis et resemis sur les blocs A, B et D (Mbissiri, 1993)**

	Bloc A		Bloc B		Bloc D	
	1	2	1	2	1	2
TRM	44,4	85,6	42,5	74,3	31,0	71,3
BILLONS	41,5	86,8	20,5	68,0	-	-
ZT	41,0	85,9	59,0	93,0	55,0	84,0

1 : premier comptage après semis

2 : comptage après le resemis

Le second comptage est meilleur sur le ZT dans tous les blocs. On observe des différences entre les blocs et entre les traitements. La première levée a été mauvaise pour tous les traitements et tous les blocs. La seconde levée donne des résultats meilleurs et plus contrastés. Sur le bloc A, il n'y a pas eu de différence entre les traitements. Sur les blocs B et D par contre, les traitements non couverts ont eu des levées très défavorables, en relation avec leur forte érodibilité.

Ces manquants à la levée ( et donc à la récolte) sont dus :

- à l'entraînement des semences dans les eaux de ruissellement et les terres érodées,
- à leur enterrement dans des croûtes superficielles très résistantes,
- à leur mise à nu à la surface du sol où elles se dessèchent (photo 39).

La battance est aussi le facteur principal de la faible productivité des billons cloisonnés. En raison de leur pentes locales élevées, les billons cloisonnés sont sous l'impact des gouttes, le siège d'une désagrégation accélérée des parties hautes au profit de la sédimentation dans les sillons. Les jeunes plantules se trouvent partiellement ou totalement déracinées du sol.

#### Effet pertes de terre

L'érosion, en amenant hors de la parcelle les semences ou les plantules déterrées par la battance, participe à la réduction du rendement. Il en va de même lorsqu'elle

emporte hors du champ les facteurs de fertilité tel que le fumier enfoui (photo 40). Nous avons vu ci-dessus que la pluviosité est la principale cause de la variabilité de l'érosion.

Sur les parcelles Fumier, la comparaison des blocs chaque année montre que l'érosion et le rendement varient de façon inverse (tabl. 4.39) : plus les pertes en terre et en fumier sont fortes, plus les rendements sont faibles. Le bloc A perd moins de terre et donne les rendements les plus élevés.

**Tableau 4.39 : Erosion (t/ha/an) et rendements (t/ha) sur les traitements Fumier en fonction de la hauteur des précipitations durant le cycle cultural**

Année	Pluie (mm)	Bloc A		Bloc B		Bloc D	
		E	Rdt	E	Rdt	E	Rdt
1992 (maïs)	1184	6,3	9,6	21,1	5,8	31,4	5,3
1994 (maïs)	1073	4,2	6,5	6,0	5,9	21,6	6,0
1993 (coton)	772	3,2	3,0	6,2	2,7	15,6	2,1

E : t/ha/an ; Rdt : t/ha

#### Effet Asphyxie

Nous avons observé que l'interaction entre la présence d'une litière à la surface du sol et les pluies abondantes et durables, était la principale cause du jaunissement de plants observé sur les parcelles couvertes : familles ZT et ECRAN, mais aussi TRM en première année après une longue jachère (l'abondant chevelu racinaire résiduel se comportant comme un mulch). Plus les séries de pluies sont intenses et précoces par rapport au semis, plus intense est le trouble physiologique sur les plantes, et plus bas le rendement. Le Mulch, qui infiltre moins d'eau que ZT et possède une réserve de macroporosité élevée due au labour, est moins affecté que le ZT.

Les trois cycles de culture : coton 91, maïs 92 et 94 ont subi l'effet des séries de pluies. La comparaison des rendements de ZT, Minitil et Mulch en 1991 et 1993 sur cotonnier montre une réduction importante de productivité en 1991 (tabl.4.40). L'effet des séries de pluies se traduit par une réduction des rendements de 50 %.

**Tableau 4.40 : Comparaisons des rendements (t/ha) en coton graine des traitements couverts par une litière entre une année comportant des séries de pluies (1991) et une n'en comportant pas (1993)**

	ZT		MINITIL	MULCH	TRM	
	C	D	D	D	D	C
1991	0,8	0,5	0,9	1,0	1,7	1,2
1993	2,1	1,2	1,6	1,6	1,8	2,0

En 1994, les séries de pluies ont été plus intenses pendant la phase critique dans le site N (blocs A, B, C) qu'en D. Sur le tableau 4.41, sont comparés les rendements des traitements couverts des deux sites. On voit que cela se traduit par une baisse sensible des rendements pour tous les traitements du site N.

**Tableau 4.41 : Comparaison des rendements des traitements ZT, Minitil, Mulch et TRM des sites N et D en 1994 (t/ha de maïs grain)**

	BLOCS	ZT	MINITIL	MULCH	ZT*	TRM
Site D	D	2,1	2,9	3,9	3,6	5,4
Site N	A	1,7	2,6	2,9	-	4,3
	B	2,0	1,8	3,7	-	3,8
	C	1,5	-	-	1,6	3,1

ZT\* : ZT décompacté - Pour tous les traitements, les meilleurs rendements sont observés sur le bloc D

### Conclusion sur les effets année

La sécheresse n'est pas le seul risque lié à la pluviosité dans les zones soudano-sahéliennes humides. Par l'effet de la battance ou d'entraînement de terre, une seule pluie peut compromettre une récolte. Les grosses averses longues et les séries de pluies ont des effets très négatifs sur la production végétale et particulièrement dans le cas des systèmes de culture protégeant le sol : ainsi, le traitement ZT, favorable à l'infiltration, est alors le plus exposé au risque d'asphyxie provoquant le jaunissement des plantes et de fortes chutes de rendement.

C'est alors beaucoup plus l'interaction litière-sol-pluie qui détermine le niveau de productivité que les caractéristiques des profils de sol en elles-mêmes.

#### *4.2.1.3. Effet hétérogénéité des sols et des parcelles*

L'effet des blocs résulte de l'influence des caractéristiques pédologiques de chaque bloc et de ceux des sites, en particulier l'aspect variabilité de la pluviosité que nous venons de traiter ci-dessus (tabl.4.41). Nous ne présenterons ici que les différences dues aux caractéristiques pédologiques intrinsèques des blocs qui influent sur la productivité. Parmi ceux-ci, trois nous semblent avoir produit des effets notables sur les rendements des parcelles. Ce sont :

- l'érodibilité des sols et l'érodabilité des parcelles,
- le tassement/compacité,
- la profondeur du sol meuble.

#### Le facteur érodabilité des parcelles et érodibilité des sols sur les rendements

L'aptitude des particules du sol à se détacher sous l'effet de l'énergie cinétique des gouttes de pluie ou de la force tractive du ruissellement pour se prêter au transport par ce dernier, affecte la productivité végétale. Nous avons indiqué ci-dessus comment la battance réduit la population des plants à la récolte ou entraîne le fumier et spolie le sol de ses facteurs de fertilité.

L'érodabilité différente de parcelles peut être due aux différences plus ou moins perceptibles existant dans la réalisation des dispositifs expérimentaux, qui se superposent aux différences de caractéristiques pédologiques : pente et texture du sol.

Le facteur pente est contenu dans l'érodabilité des parcelles. Il est la principale cause d'une faible érosion sur le bloc A. L'autre facteur, c'est la texture dont on voit l'effet sur les différences de productivités entre les blocs A et B pour les traitements Ecran, Densité x 2 et Semis direct/SDC : les sols du bloc A sont plus riches en particules fines et moins filtrants, mais à plus forte réserve hydrique que les sols du bloc B. Cela

explique que pour le traitement MULCH par exemple, les rendements du bloc A sont inférieurs à ceux du bloc B chaque fois qu'il y a eu des séries de pluies (91, 92, 94). Inversement, le rendement du bloc A sur ce traitement est supérieur ou égal à celui de B en année sèche (cf.tabl.4.33).

C'est ce que confirment les rendements des traitements ZT en 1992 et 1994 et Semis direct Sodécoton en 94 sur maïs :

	(ZT 92)	(ZT 94)	(SD/SDC 94)
Bloc A	2,2	1,7	1,8
Bloc B	2,6	2,0	2,9

Rendements en t/ha

A l'opposé de l'effet favorable de la texture de B sur son drainage, celle-ci confère à ce bloc une instabilité plus élevée, responsable d'une plus forte réduction du rendement des Billons cloisonnés sur ce bloc :

	1992	1993	1994
Bloc A	3,9	2,1	3,5
Bloc B	3,3	1,2	2,7

Rendements en t/ha

#### Effet de la compacité du sol

D'après Morel (1989), le tassement est un phénomène naturel de réorganisation des agrégats et des particules sous l'effet de leur poids, alors que la compacité est un état de réorganisation qui résulte d'une pression extérieure sur le sol. Ce dernier phénomène opère de façon prépondérante dans les sols sableux cultivés : pressions des outils et machines, piétinements, travail racinaire, gonflement, retrait, etc.

Tassement et compacité concourent au même résultat : la réduction de l'espace poral et l'augmentation de la résistance à la pénétration racinaire. Ce facteur s'est manifesté sur les rendements du traitement ZT dans le site dégradé (D). En année sèche, les rendements de la famille ZT ont été en moyenne les meilleurs des blocs A et B à l'exclusion de la famille MO. Sur le bloc D, ils sont restés nettement plus faibles que ceux du TRM (cf.tabl. 4.33).

#### Effet profondeur du sol au-dessus de la carapace

Sur le bloc D, nous avons observé qu'à partir de la parcelle n° 10 (témoin Nue), la carapace apparaissait à 45 cm dans la moitié supérieure de la parcelle. Dans les parcelles D<sub>12</sub> à D<sub>16</sub>, elle a été observée à 16 cm par endroits. Parallèlement, on note une baisse de rendement avec la remontée de l'horizon ferrugineux induré pour des traitements équivalents. La diminution du rendement du bloc C par rapport à ceux des blocs A et B doit trouver sa principale explication dans ce facteur car la carapace apparaît à 40 cm dans la partie supérieure de ce bloc.

## Conclusion

L'effet de la variabilité spatiale des parcelles et des sols sur la productivité végétale, illustré ici par la comparaison entre les blocs, apparaît plus ou moins clairement quand le facteur météorologique n'est pas prépondérant.

Le bloc A est caractérisé par une pente très faible et une texture légèrement fine. Ces caractéristiques limitent l'érosion des terres tout en favorisant une bonne productivité du TRM. Mais sur les systèmes couverts, elles ne favorisent pas un drainage et une aération rapides du profil lors des événements à pluviosité abondante : l'asphyxie racinaire induite affecte alors défavorablement le rendement végétal. En conditions sèches, elles produiraient plutôt un effet favorable sur celui-ci, grâce à une réserve utile en eau (RU) plus élevée que celle du bloc B.

La texture du bloc B est relativement plus grossière que celle de A. Elle favorise un drainage rapide et une bonne productivité en années à pluviosité nuisible sur les systèmes couverts. En année sèche, il produit moins que A sur ces systèmes. Cette texture confère au bloc B une plus forte fragilité vis-à-vis de l'agressivité des pluies, fragilité qui défavorise sa productivité sur le TRM et plus particulièrement sur le traitement Billons cloisonnés.

Le bloc C se caractérise, pour les parties les plus en amont de ses parcelles, par une assez faible épaisseur de sol meuble (< 40 cm) expliquant les plus faibles rendements.

Le bloc dégradé (D) se caractérise par :

- une forte instabilité du sol à l'eau, qui favorise l'érosion et réduit la productivité des fertilisants minéraux et des amendements organiques ;
- une forte compacité du profil réduisant la productivité du ZT même en conditions de pluviosité favorables ;
- une épaisseur assez faible.

Un bon sol doit être à la fois stable pour maintenir en place les semences, les plantes et les fertilisants minéraux et organiques apportés, aéré, pour favoriser un développement optimum du système racinaire et un meilleur équilibre dans la répartition des fluides au sein du profil, et suffisamment épais pour permettre la pénétration des racines en profondeur.

### ***4.2.1.4. Effet d'échelle sur le rendement***

Trois traitements, communs aux blocs A et B, sont représentés sur le bloc C : TRM, Bandes travaillées dans le sens de la pente et ZT. Les traitements Bandes et ZT n'ayant pas été standardisés la première année, nous limiterons l'analyse de l'effet d'échelle au traitement TRM (tableau 4.42).

**Tableau 4.42 : Rendements en coton graine et maïs grain (t/ha) en fonction de la longueur de pente des blocs cultivés A, B, C pour TRM.**

	1991	1992	1993	1944
A 20	0,9	5,1	2,3	4,3
A 40	1,4	5,2	2,3	4,0
B 20	1,3	4,9	1,4	3,8
B 40	1,4	4,8	2,3	3,9
C 60	1,2	3,8	2,0	3,1

Les rendements ne semblent pas nettement influencés par la taille des parcelles sauf pour le maïs en 1992 et en 1994 dont le rendement est de 25 % plus faible dans les grandes parcelles (C) que dans les parcelles de 20 et 40 m des blocs A et B, mais cela peut tenir aussi à la plus faible profondeur des sols du bloc C comme on vient de le voir. Les rendements sont comparables, pour les parcelles de 20 et 40 m des blocs A et B sur les quatre cycles culturaux, aux interactions pluviosité - bloc près.

Il ne semble donc pas que le rendement soit influencé notablement par la taille des parcelles, sinon indirectement par suite de l'effet taille sur le ruissellement et les transports de terre.

#### **4.2.1.5. Conclusion partielle**

En zone soudanienne humide, la productivité des systèmes culturaux pluviaux n'est pas prévisible par la considération des techniques culturales, de la pluviosité ou de la nature du sol prise séparément. Lorsque la résistance mécanique n'est pas un facteur limitant à l'établissement du peuplement végétal, le rendement résulte de l'interaction sol - technique culturale - climat.

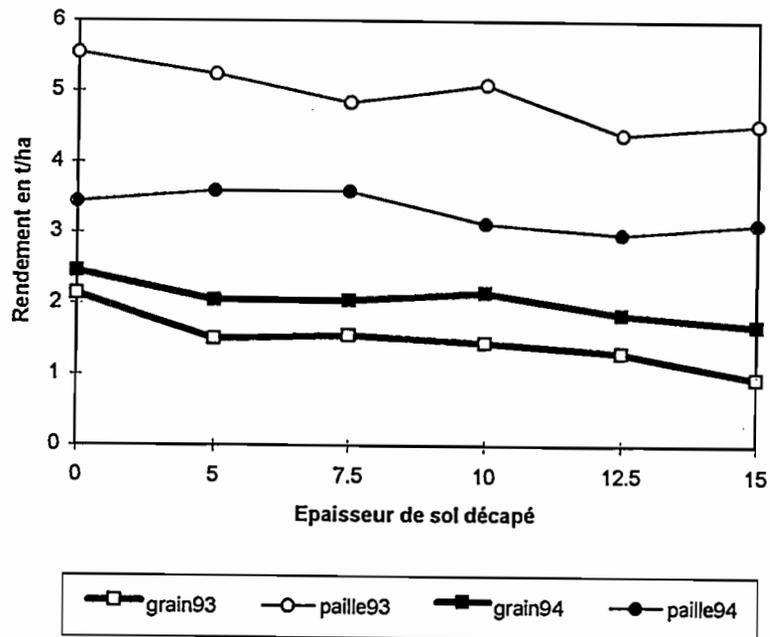
De l'évolution de l'état de surface du sol au cours du cycle cultural dépendent l'établissement, la croissance et la productivité du peuplement végétal.

La connaissance des caractéristiques physiques du sol permet de choisir les techniques culturales en fonction des risques climatiques que l'on veut minimiser. Pour les sols sableux fragiles ou dégradés, l'enfouissement de fumier de ferme s'est montré la meilleure pratique pour améliorer le rendement du TRM. La présence d'un mulch à la surface du sol préserve le sol contre les risques de sécheresse, de battance et d'érosion, assurant ainsi des rendements plus stables. Cependant, ces systèmes couverts comportent un risque d'asphyxie racinaire qui est très pénalisant les années où se présentent des séries de pluies abondantes.

#### **4.2.2. PRODUCTIVITE SOUS EROSION DECAPANTE SIMULEE**

On a comparé, dans cet essai, cinq épaisseurs (5, 7,5, 10, 12,5 et 15 cm) de décapage de sol total et homogène à un témoin non décapé. Les parcelles labourées après décapage ont été plantées en maïs.

Les résultats de cet essai, conduit en 1993 et 1994, sont donnés sous cette section. La figure 4.29 illustre les variations des rendements de maïs grain et paille en fonction de l'épaisseur de décapage.



**Figure 4.29 :** Rendement de maïs grain et paille (t/ha) en fonction de l'épaisseur de décapage artificiel du sol (cm)

La première année, l'analyse statistique des résultats a montré des différences très hautement significatives pour le rendement grain, et hautement significative pour le rendement paille. Les traitements sont classés pour cette année dans l'ordre suivant : T1 > T2,T3 (T4, T5) > T6 pour le rendement grain, T1 > T2,T3,T4 > T5,T6 pour le rendement paille.

La seconde année, l'influence du décapage est moins nette. On observe aussi une baisse très rapide du rendement en grain consécutive au décapage des cinq premiers centimètres, une baisse plus lente entre 5 cm et 12.5 cm, puis une deuxième baisse rapide après le décapage des quinze premiers centimètres du sol. Pour les pailles, la baisse est moins abrupte.

D'après le tableau 4.43, la baisse de rendement correspond, non pas à une diminution de poquets levés et récoltés, mais à une diminution des épis productifs. Des décolorations foliaires ont été observées à partir du stade trois feuilles sur toutes les parcelles décapées (Photo 42) suggérant une carence en zinc. Les analyses des terres à différentes profondeurs prélevées juste avant le semis montrent bien l'appauvrissement graduel avec la profondeur des différents paramètres de la fertilité : C, N, S, CEC, P, et Zn. Compte tenu des apports d'engrais NPKSB, la carence en zinc semble être le principal facteur de la variation de rendement au cours de cette année particulièrement sèche.

**Tableau 4.43 :** Effets de l'épaisseur de décapage (cm) sur le % de poquets levés, de poquets récoltés par rapport aux levés et sur le % d'épis vides (1993)

Décapage (cm)	Poquets levés %	Poquets récoltés %	Epis vides %
0,0	94,3	9938	5,6
5,0	96,4	100,0	12,5
7,5	95,6	99,1	9,3
10,0	96,5	99,5	13,7
12,5	96,5	99,7	10,6
15,0	96,5	99,7	11,5

Le décapage semble n'avoir eu d'effet que sur le remplissage des épis.

Après la deuxième année de l'essai, un étonnant enrichissement des parcelles en zinc est observé (tabl. 4.44) : au début de l'expérimentation, les teneurs mesurées en zinc allaient de 2,0 ppm pour le témoin non décapé à 1,2 ppm après le décapage de 5 cm puis à 0,4 ppm après 15 cm. Le laboratoire ayant reconfirmé ces résultats analytiques, on pense que cet enrichissement serait dû aux apports atmosphériques (cendres de feux de brousse) et colluviaux à partir des terres environnantes, les parcelles n'étant pas isolées.

**Tableau 4.44 :** Teneur en carbone (%) et en Zinc (ppm) sur la couche 0 - 10 cm après décapage, en fonction de l'épaisseur de sol décapé en fin du deuxième cycle cultural (1994)

Epaisseur sol décapé (cm)	0,00	5,00	7,50	10,00	12,50	15,00
% C	0,54	0,49	0,49	0,38	0,35	0,30
Zinc ppm*	9,46	2,43	8,97	8,11	4,60	5,44

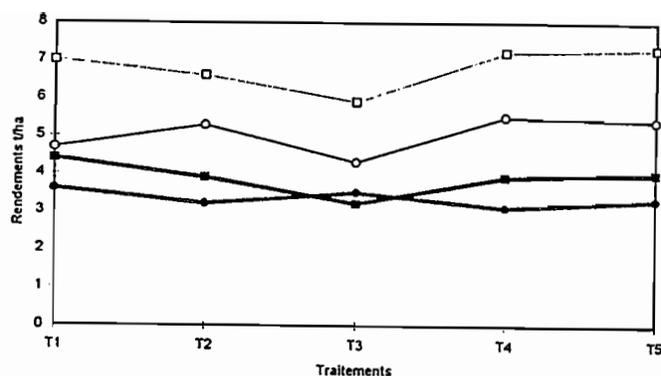
\* Les teneurs élevées de zinc ont été reconfirmées par la laboratoire  
Le carbone baisse malgré les apports d'engrais.

#### 4.2.3. FERTILISATION AZOTEE DES SYSTEMES DE CULTURE SOUS LITIERE

Les résultats des essais de fractionnement de la fumure azotée sous labour couvert d'un paillage et sous zéro tillage conduits en 1993 et 1994, sont présentés dans cette section. Les rendements grains et paille de maïs sur les deux systèmes culturaux sont représentés dans la figure 4.30, en fonction du fractionnement des apports d'azote ( $T_1$  à  $T_5$ ).

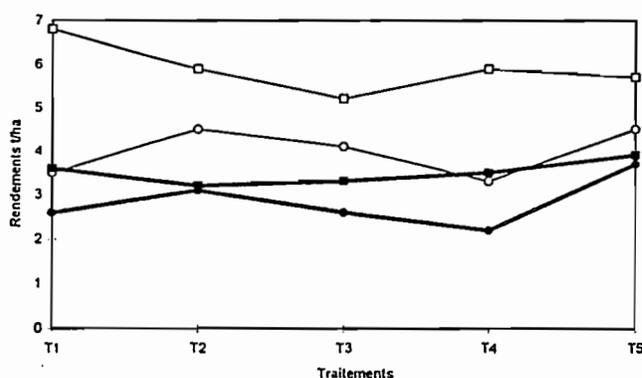
On relève que sous labour, en 1993 (année sèche), il n'y a pas de réponse à l'engrais, mais plutôt à l'absence de paillage : le rendement du témoin non paillé ( $T_3$ ) est seul significativement différent de ceux des autres traitements. Il montre une diminution de 20 % en rendement grain, et de 16 % en rendement paille. Un résultat similaire est observé avec le zéro tillage pour le rendement paille seulement.

En 1994, année plus humide, l'absence de paillage ( $T_3$ ) ne se traduit pas par une baisse de rendement comme en 1993 sur le labour paillé. Les rendements, équivalents dans les deux systèmes de culture pour les traitements  $T_2$  et  $T_5$  dépassent sensiblement ceux obtenus avec les traitements  $T_1$  et  $T_4$  pour le système Zéro tillage.



T1 = NPKSB + 50kg/ha Urée au semis + 50 kg/ha Urée 35 j.a.s ;  
 T2 = NPKSB + 50kg/ha Urée à la levée + idem.  
 T3 = T1 mais sans paillage  
 T4 = NPKSB +20kg/ha Urée au semis + 40kg/ha, 21j.a.s. + 40kg/ha 35j.a.s.  
 T5 = NPKSB +20kg/ha Urée au semis + 40kg/ha, 28j.a.s. + 40kg/ha, 42j.a.s.  
 J.a.s. = jours après semis.

**Figure 4.30 :** Effet du fractionnement de l'azote sur le rendement de maïs grain et paille (t/ha) sur Mulch et sur Zéro Tillage (1993)



T1 = NPKSB + 50kg/ha Urée au semis + 50 kg/ha Urée 35 j.a.s ;  
 T2 = NPKSB + 50kg/ha Urée à la levée + idem.  
 T3 = T1 mais sans paillage  
 T4 = NPKSB +20kg/ha Urée au semis + 40kg/ha, 21j.a.s. + 40kg/ha 35j.a.s.  
 T5 = NPKSB +20kg/ha Urée au semis + 40kg/ha, 28j.a.s. + 40kg/ha, 42j.a.s.  
 J.a.s. = jours après semis.

**Figure 4.31 :** Effet du fractionnement de l'azote sur le rendement du maïs grain et paille (t/ha) sur Mulch et sur Zéro Tillage (1994)

Cette amélioration se marque en deux temps :

- \* apport de l'engrais NPKSB à la levée et non au semis,
- \* apport d'une fraction de l'urée juste à la fin de la série de pluies (28ème jour).

On peut conclure sur cet essai que :

- les systèmes culturaux couverts réduisent les effets des déficits de pluviosité sur les rendements ;
- mais les séquences des pluies abondantes induisent, par la présence de la litière sur le sol, une indisponibilité en azote pour la plante ;

- l'apport d'engrais NPKSB à la levée et non au semis, ainsi que l'apport de l'urée, juste à la fin de la série de pluies, permettent d'obtenir sur ceux-ci un rendement équivalent à celui du TRM ;
- les effets de réduction de rendements sur le zéro tillage en sol non compacté sont d'autant plus importants que les séries de pluies sont intenses et précoces par rapport à la date de semis.

On voit en définitive que la productivité des systèmes couverts, peut être améliorée par une fertilisation adaptée à la pluviosité.

#### **4.2.4. POTENTIALITES DE PRODUCTION DES RESIDUS DE CULTURE**

Le souci de simplification de la présentation des résultats des parcelles d'érosion nous a amené à peu exploiter les données sur les résidus de culture, obtenus dans ces parcelles.

Bien que représentant une production secondaire par rapport aux grains, les résidus de culture ne sont pas moins importants au Nord-Cameroun. Les variétés nouvelles d'espèces couramment cultivées ne sont pas acceptées si elles sont sélectionnées pour leurs caractères de grain sans pouvoir satisfaire un optimum de productivité en biomasse. L'élevage des petits et grands troupeaux en dépend, en ville comme en campagne, même si dans la zone soudanienne humide, le producteur de résidus n'en est pas souvent le bénéficiaire. Mais la valorisation des résidus peut favoriser le rapprochement entre les cultivateurs et les éleveurs.

Nous donnons un extrait des résultats des résidus obtenus sur les parcelles d'érosion avant de présenter ceux de l'essai potentialités de production des résidus de cultures en rotation avec le cotonnier, conduit en 1990 et 1991.

##### ***4.2.4.1. Productivité des résidus de culture sur parcelles d'érosion***

Le tableau 4.45 donne les rendements des tiges de cotonniers et des pailles de maïs séchées au champ pour les traitements TRM, MULCH et ZT en 1992 et 1993, et dans la deuxième colonne, le rapport grain/résidus est donné.

Les traitements TRM et Mulch ont à peu près les mêmes rendements en résidus. Par contre, les traitements ZT en produisent moins, surtout en année humide comme 1992 où l'on a observé le jaunissement et la perte de vigueur des plantes. Les ratio grain/résidus sont assez stables pour une production donnée et donc les traitements ZT sont pénalisants aussi dans l'optique de valorisation des résidus de culture.

**Tableau 4.45 : Rendements des résidus de cultures de cotonnier et de maïs (t/ha) et rapport grain/résidus en fonction des systèmes de culture TRM, MULCH et ZT (maïs en 1992, coton en 1993)**

		MAÏS 1992		COTON 1993	
		Paille t/ha	Grain/pailles	Tiges t/ha	Cot. gr./tiges
A	TRM	6,2	0,82	5,7	0,41
	MULCH	4,8	0,85	5,8	0,46
	ZT	4,1	0,83	4,3	0,56
B	TRM	5,2	0,79	4,7	0,43
	MULCH	5,3	0,92	5,0	0,44
	ZT	3,5	0,74	4,2	0,52
C	TRM	4,4	0,86	4,6	0,43
	MULCH	-	-	-	-
	ZT	1,7	1,0	4,0	0,50
D	TRM	5,0	0,94	4,0	0,41
	MULCH	4,3	0,93	2,9	0,55
	ZT	1,3	0,77	2,9	0,55

Les rapports grains/tiges sont plus stables en année sèche qu'en année humide.

#### 4.2.4.2. Potentialités de production des résidus de cultures des espèces en rotation avec le cotonnier

La production moyenne des résidus de culture sur deux ans varie de 3 t/ha de matière sèche pour l'arachide à 10 t/ha pour le sorgho. Elle est intermédiaire pour le niébé et le maïs. Les faibles valeurs de production pour le maïs et le sorgho sur le site dégradé (D) sont dues à de sévères attaques de *Striga hermontica*. C'est donc le sorgho qui est la culture à introduire prioritairement en rotation avec le cotonnier pour produire le maximum de résidus récupérables.

La productivité des fanes d'arachide est meilleure sur le bloc dégradé (D) que sur nouvelle défriche, et stable d'une année à l'autre. Celle du niébé est variable avec l'année et le site. Les productivités du maïs et du sorgho ont été affectées par *Striga h.* sur le bloc D : une densité de *Striga* de 120 pieds/m<sup>2</sup> a été relevée en début novembre 1990 sur le site dégradé contre 0,04 pied/m<sup>2</sup> sur la nouvelle défriche. Le sorgho ayant un cycle plus long que celui du maïs a été le plus affecté. Le tableau 4.46 donne les productions moyennes des résidus de culture (t/ha m. s.) de ces espèces, observées en 1990 et 1991 sur les sites D et N.

**Tableau 4.46 : Productions moyennes des résidus de culture (t/ha m.s.) de l'arachide, du niébé, du maïs et du sorgho sur les sites D et N en 1990 et 1991**

	1990		1991		Moyenne
	Site D	Site N	Site D	Site N	
Arachide	3,6	2,9	3,4	2,4	3,1
Niébé	7,4	4,5	3,1	8,8	6,0
Maïs	5,0	4,8	4,3	5,7	5,0
Sorgho	6,6	8,6	11,0	15,7	10,4

Les pertes de matières pendant l'intercampagne varient avec l'espèce cultivée, le mode de conditionnement au champ, l'année et le site (tableau 4.47). Le sorgho perd moins de matières : 4 à 20 % en nouvelle défriche contre 23 à 42 % sur le site dégradé. L'arachide en perd plus (78 %) quel que soit le site. De ce point de vue, c'est encore le sorgho qui est l'espèce de rotation la plus avantageuse lorsqu'on a un objectif de production de résidus important. Les modes de conditionnement sont peu discriminants avec un certain avantage cependant pour le regroupement des résidus en tas, sauf pour le sorgho.

**Tableau 4.47 : Pourcentage de perte de masse des résidus de cultures de l'arachide, du niébé, du maïs et du sorgho en fonction des modes de conditionnement**

		Arachide	Niébé	Maïs	Sorgho
D	LP	64-78(1)	82-51	59-33	19-23
	RL	37-44	38-36	44-33	5-24
	ET	37-56	39-29	54-31	12-23
N	LP	47-20	50-73	53-23	8-38
	RL	78-58	33-61	55-22	4-42
	ET	59-21	22-62	42-24	12-32

(1) : 64 % (1990) ; 78 % (1991)

LP : résidus laissés en place après la récolte du grain

RL : résidus roulés sur une interligne sur deux

ET : résidus regroupés en tas

Les résultats des masses de résidus en fin de saison sèche ont été analysés statistiquement selon le dispositif principal en "factoriel" à quatre facteurs en « randomisation » complète :

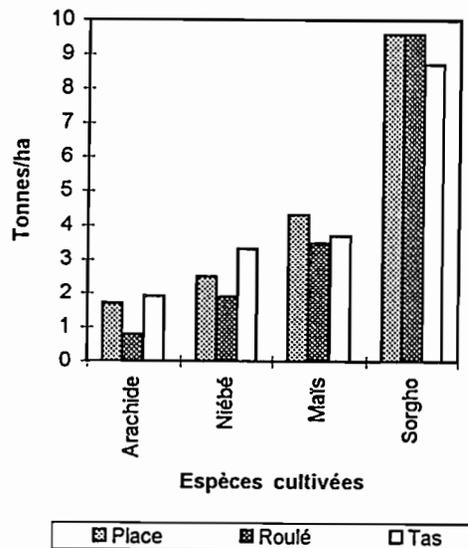
- deux sites (D et N) ;
- quatre cultures (arachide, niébé, maïs et sorgho) ;
- quatre blocs de répétitions ;
- trois traitements (LP = laissés en place, RL = regroupés dans les interlignes, ET = entassés).

Le tableau 4.48 présente le résumé d'analyse de la variance (résultats 1991) ; il indique en particulier des effets site et espèce cultivée très hautement significatifs, de même que leurs interactions. L'effet traitement est significatif seulement à 4 %.

Les moyennes des masses de résidus en fin de l'intercampagne sont données dans la figure 4.32. A l'abri du feu et des troupeaux, on peut disposer de 10 t/ha de matière sèche de résidus de sorgho et de 4 t/ha de résidus de maïs. Les principales causes de dégradation des résidus de culture pendant l'intercampagne sont climatiques (vent, humidité, etc.), biologiques (termites et insectes divers) et humaines (feu et pâturage).

**Tableau 4.48 : Résumé de l'analyse de la variance pour l'essai résidus de culture 1991)**

	S. C. E.	DDL	Carrés moyens	Test F	PROBA	E. T.	C. V.
Var. totale	1066,99	95	11,23				
Var. facteur 1	47,46	1	47,46	72,29	0,0000		
Var. facteur 2	866,05	3	288,68	439,73	0,000		
Var. facteur 3	4,11	3	1,48	2,25	0,1162		
Var. facteur 4	5,26	2	2,63	4,00	0,0358		
Var. inter F1,2	18,07	3	6,02	9,17	0,0007		
Var. inter F1,3	2,70	3	0,90	1,37	0,2835		
Var. inter F1,4	4,01	2	2,00	3,05	0,0710		
Var. inter F2,3	19,29	9	2,14	3,27	0,0157		
Var. inter F2,4	13,66	6	2,28	3,47	0,0187		
Var. inter F3,4	9,41	6	1,57	2,39	0,0708		
Var. inter F1,2,3	10,14	9	1,13	1,72	0,1570		
Var. inter F1,2,4	6,80	6	1,13	1,73	0,1716		
Var. inter F1,3,4	13,09	6	2,18	3,32	0,0222		
Var. inter F2,3,4	34,80	18	1,93	2,94	0,0138		
Var. résiduelle 1	11,82	18	0,66			0,81	18,9 %



**Figure 4.32 : Moyennes de la masse de résidus de culture d'arachide, maïs, niébé et sorgho disponible en fin de saison sèche, en fonction des modes de conditionnement**

#### 4.2.5 CONCLUSION

Les résultats des quatre essais :

- productivité sous érosion naturelle,
- productivité sous érosion décapante simulée,
- fertilisation des systèmes de culture sous litière, et
- potentialités de production des résidus de culture

apportent des informations importantes et complémentaires sur la forte variabilité des rendements observée en fonction des traitements appliqués sur les parcelles d'érosion. Celle-ci apparaît liée à la variabilité de la pluviosité et à ses interactions multiformes avec les techniques culturales et la nature des sols (blocs). On se rend compte que contrairement aux critères ruissellement et érosion pour lesquels les facteurs pluviosité, blocs et techniques culturales sont monovalents, ces facteurs deviennent complexes et interactifs, voire polyvalents (pluviosité) pour le critère rendement. Ainsi, une technique culturale favorable au rendement en année sèche tel le ZT, ne l'est plus en année humide. De même, l'effet bloc varie en fonction de la pluviosité. Celle-ci affecte directement ou indirectement le rendement : semences emportées ou mises à nu, arrachage ou déchaussement des plants, spoliation du sol de ses facteurs de fertilité ou perturbation physiologique. La pluviosité représente de ce fait plusieurs formes de risques : battance, érosion, sécheresse et asphyxie racinaire qui s'expriment plus ou moins nettement selon les blocs et selon les pratiques culturales.

Le TRM montre la meilleure productivité mais avec une stabilité relative car sensible à la sécheresse et à l'érosion du sol. Sa productivité est améliorée de façon constante par l'enfouissement du fumier de chèvre, à condition que ce dernier soit préservé de l'érosion. A court terme, les autres formes de matières organiques ne sont intéressantes pour le rendement du TRM que si elles sont disposées à la surface du sol (MULCH) où elles protègent efficacement contre les risques de battance, d'érosion et de sécheresse. Le risque d'érosion sur le rendement apparaît lié à la répartition verticale de la matière organique dans ces sols. Le décapage induit, entre autres, des carences d'éléments nutritifs qui sont stockés par celles-ci.

Le MULCH apparaît comme le traitement le plus favorable en terme de stabilité du rendement grâce aux effets du labour sur l'accroissement de la macroporosité et la limitation de l'infiltration et à ceux de la paille sur le contrôle des risques d'érosion et de sécheresse.

Le ZT montre une productivité très variable. Sa mauvaise productivité en maïs est liée en particulier à des apports d'eau abondants et prolongés, causant une asphyxie racinaire. Celle-ci induit un trouble physiologique et une indisponibilité en azote qui s'extériorise par un ralentissement de la croissance et le jaunissement de l'appareil foliaire de la plante. Ce risque peut être corrigé par une fertilisation azotée de la plante adaptée à la pluviosité si le trouble physiologique n'a pas franchi un seuil critique. Ce résultat conforte les possibilités que nous offre l'utilisation de la biomasse végétale dans le contrôle des risques de pluviosité sur la productivité agricole. La Jachère de courte, reprise en ZT, s'est montrée très intéressante pour la restauration de la productivité des terres dégradées.

Pour une espèce végétale donnée, le rapport de la productivité des parties grainées à la biomasse varie avec la pluviosité, le sol et l'environnement au sein du peuplement végétal. Le sorgho et le maïs ont des potentialités de restitution des résidus respectives de 10 et 4 t/ha de matière sèche en fin de saison sèche, si maintenus à l'abri du feu et du pâturage. Les résidus de niébé et de l'arachide se conservent moins bien. La dégradation de la biomasse de résidus de culture pendant l'intercampage varie en fonction des espèces végétales, du site et de leur conditionnement.

En définitive, la cohérence des objectifs des quatre essais et la convergence de leurs résultats en font une base objective et fiable non seulement de l'interprétation de la variabilité du rendement, mais aussi de proposition de systèmes de culture adaptés à une productivité agricole durable sur les sols sableux de la zone soudanienne humide du Nord Cameroun.

## Activités des vers de terre dans l'aération du sol



43 | 44  
45

*Photo n° 43 : Dans le déplacement hypodermique du vers de terre, la terre soulevée au-dessus de sa galerie se fissure : l'action de cette faune dans l'aération superficielle du sol ne se limite pas seulement à l'orifice de déjection des turricules.*

*Photo n° 44 : Un vers de terre type de nos parcelles pourchassé par les fourmis : un allié agricole et écologique à protéger.*

*Photo n° 45 : Etat de surface d'une parcelle de Zéro tillage : noter la densité des turricules et le recouvrement de la litière par ceux-ci.*

## Rôle des racines des herbacées dans la stabilité des terres



46  
47 | 48



*Photo n° 46 : La souche de la graminée, ici Andropogon g. retient beaucoup de terre agrégée, grâce à son abondant système racinaire...*

*Photo n° 47 : Après une longue agitation dans l'eau, les racines, très nombreuses, retiennent encore quelques mottes.*

*Photo n° 48 : Sur un sol labouré issu d'une jachère de quatre ans, les racines des herbacées évoluent progressivement vers un mulch sous pluie simulée, au fur et à mesure que les terres qu'elles retenaient sont détachées. Leur élimination du sol constitue une étape importante de la dégradation.*

## **CHAPITRE 5 : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS**

La complexité du problème de la baisse de la productivité des sols, liée au dysfonctionnement du système sol-plante-climat, et le souci d'apporter des réponses techniques cohérentes et durables aux paysans, nous ont amené à diversifier des expérimentations pour mieux comprendre les phénomènes et les processus mis en jeu.

Il en est résulté de nombreux résultats exposés dans le chapitre 4. Nous y avons commenté brièvement certains points, sachant qu'on n'y reviendrait plus par la suite (cas de la pluviosité par exemple).

Dans le présent chapitre consacré à l'interprétation et à la discussion des résultats, ce sont sept thèmes majeurs, sélectionnés pour leur intérêt scientifique et/ou pratique que nous allons examiner plus en détail :

- influence de la gestion de la savane sur son fonctionnement ;
- pratiques culturales et bilan hydrique de surface ;
- essai d'application du modèle USLE ;
- pratiques culturales et dégradation du sol par l'érosion ;
- avantages et inconvénients des pratiques agricoles conventionnelles et conservatrices vis-à-vis des risques liés aux aléas climatiques ;
- dégradation des terres et restauration de la productivité végétale ;
- gestion durable de l'espace agricole.

Cette discussion reste dans le cadre du système de culture intensive et semi-manuelle avec apport de fertilisants minéraux. Nous n'aborderons donc pas de façon spécifique les aspects chimiques du sol que nous estimons importants, mais secondaires par rapport à l'organisation des constituants, dans le fonctionnement du système sol-plante-climat.

### **5.1. INFLUENCE DE LA GESTION DE LA SAVANE SUR SON FONCTIONNEMENT**

Les terres couvertes de savanes soudaniennes constituent un réservoir de ressources agricoles, forestières, pastorales et touristiques. Ces savanes, naturellement arborées, sont enrichies en herbacées par l'usage régulier du feu, le pâturage et l'agriculture. L'agriculture se substitue temporairement ou définitivement à la savane ; le feu et le pâturage interviennent dans la gestion saisonnière de la savane.

Dans cette section, nous allons commenter les effets du mode de gestion de la savane sur les indices de productivité des sols, puis sur la végétation.

### 5.1.1. EFFETS DE LA MISE EN DEFENS, DU FEU PRECOCE ET D'UN PATURAGE MODERE SUR LES PARAMETRES DE LA PRODUCTIVITE DU SOL

Les résultats de ruissellement et de pertes en terre des trois parcelles de savane (mise en défens, feu précoce et feu précoce + pâturage) sont variables avec le temps du fait de l'évolution du dispositif et de la pluviosité.

Dès la troisième année, le ruissellement s'annule sur la parcelle mise en défens et devient faible sur les parcelles brûlées et/ou pâturées ( $KRAM = 0,2$  à  $3 \%$ ). La pluviosité est apparue comme le principal facteur de variation du ruissellement sur les trois traitements.

Les pertes en terre sur ces parcelles de  $200 \text{ m}^2$  ( $10 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ ) varient de  $3,6$  à  $0,4 \text{ t/ha}$ . Le maximum ( $3,6 \text{ t/ha/an}$ ) est observé au cours de l'année la plus pluvieuse (1992) ; elles sont inférieures à  $1 \text{ t/ha/an}$  en année sèche. Ces chiffres quoique modérés, paraissent élevés par rapport aux valeurs observées en Côte d'Ivoire sur des forêts secondaires et des savanes par Roose (1973, 1980) ( $E = 0,01$  à  $1,5 \text{ t/ha/an}$ ). Ces pertes en terre artificiellement élevées les deux premières années, proviennent de l'érosion générée sur les taches de sol nu devant le canal (héritées de sa construction) et de la mobilisation de terre par les vers de terre et les termites directement sur la bordure de celui-ci.

La suppression du ruissellement, consécutive à la mise en défens, résulte du couvert végétal bas, et surtout de l'effet de la litière apportée par la disparition des herbacées héliophiles et les chutes de biomasse des ligneux. Cet effet « litière » a stimulé l'activité de la macrofaune du sol, en particulier celle des vers de terre, qui a créé à son tour une macroporosité plus importante. Ce remaniement de terre expliquerait l'augmentation de la teneur en argile de  $1,2 \%$  après quatre ans de mise en défens. La protection intégrale contre le feu et le pâturage est donc très efficace pour la conservation de l'eau et du sol. Roose (1994) indique que la mise en défens n'a d'intérêt que si le sol n'est pas dénudé ni totalement encroûté.

Sur le traitement "feu précoce", les résultats de ruissellement journalier montrent que les maxima sont liés aux premières pluies importantes de fin juin début juillet. Celles-ci tombent sur un sol relativement nu, mais à rugosité élevée, par suite de plusieurs facteurs (présence de souches de graminées, de turricules des vers de terre, de termitières, les débris végétaux ligneux et herbacés à différents stades de la décomposition). L'intérêt des feux précoces réside en ce qu'ils interviennent quand les pailles des graminées sont encore fraîches. Elles sont donc séchées au lieu d'être totalement calcinées comme c'est le cas lors des feux tardifs trouvant les herbes déjà séchées.

Sur le traitement feu précoce plus pâturage, la présence des boeufs sur la parcelle pendant trois jours, deux mois environ après le retour des pluies, entraîne des

ruissellements comparables à ceux de la parcelle brûlée et non pâturée, malgré la présence de plages de sol nu (photo n° 8). L'observation des états de surface du sol montre une augmentation des résidus végétaux au ras du sol, dus au pâturage ainsi qu'à l'ouverture de macropores par un coléoptère à l'endroit des déjections de bouses. Ces deux facteurs, l'un jouant sur le ralentissement des écoulements, l'autre permettant une infiltration rapide, ont contribué à la réduction du ruissellement sur cette parcelle.

Tout comme la mise en défens, le feu précoce seul et le feu précoce plus le pâturage n'ont pas entraîné des pertes d'eau et de terre notables. Les résultats du suivi agropédologique de l'horizon 0-10 cm nous ont montré que la texture, la structure, la matière organique, les bases échangeables, le pH, etc, n'ont pas changé de façon sensible après les quatre années d'observation.

Le feu précoce et le pâturage modéré n'affectent que très faiblement les bilans superficiels des eaux et des terres des savanes soudaniennes. Par conséquent, ils ne perturbent pas leur capacité de production agricole. Cependant, on sait, comme l'a démontré Valentin (1985) au nord du Sénégal, en étudiant les variations de la texture et de la compacité du sol autour des mares d'eau, que le piétinement provoqué par le surpâturage, accélère la dégradation des sols, la déflation éolienne et l'érosion hydrique (photo 51 et 52).

#### **5.1.2. EFFETS DE LA MISE EN DEFENS, DU FEU PRECOCE ET D'UN PATURAGE MODERE SUR UNE SAVANE ARBOREE EN ZONE SOUDANIENNE**

Les effets des traitements sont nettement plus marquants sur la végétation. La suppression du feu et du pâturage entraîne une disparition progressive de la strate herbacée héliophile, principale source fourragère pour la production animale des savanes. Cette élimination est consécutive à l'évolution rapide du couvert ligneux, jadis aéré, vers un état buissonnant fermé, dû :

- à une forte régénération des individus jusque là maintenus sous forme de souches par le feu,
- à une levée de nouveaux individus à partir des graines ;
- à la poussée des ramifications basses sur les tiges élaguées par le feu.

A ce moment, le peuplement herbacé s'efface à l'avantage des strates arborées et l'espace devient moins productif pour l'élevage.

L'effet de la mise en défens sur la rapidité de la reconstitution de la savane, caractérisée par la disparition des espèces héliophiles telle qu'*Andropogon gayanus*, est fonction de la dégradation du sol et de la végétation de départ. En Côte d'Ivoire, grâce à la mise en défens, César *et al* (1990), obtiennent à partir des pâturages dégradés, une

augmentation du pourcentage des graminées à bonne valeur fourragère. D'après ces mêmes auteurs, la savane est reconstituée lorsque *Andropogon gayanus* disparaît.

L'évolution de la végétation sur les traitements « feu précoce » avec ou sans pâturage est semblable. C'est certainement le feu qui est le principal déterminant de l'état de celle-ci. Contrairement à la savane mise en défens où le peuplement ligneux de la strate basse est conservé selon le cycle de chaque espèce, sur les traitements au feu, celui-ci est à la portée des flammes. Le taux de mortalité, des suites du feu, peut être total ou partiel en fonction de l'intensité des flammes. Le peuplement varie donc en fonction de la date d'observation. On voit, sur la photo n° 7, des individus brûlés, mais encore sur pied.

Les feux précoces étant moins violents, un certain nombre d'individus en réchappent et participent à l'accroissement du couvert végétal, mais pas totalement car les individus morts et restés sur pied sont un facteur d'activation des flammes lors du prochain feu qui peut alors détruire les rescapés de l'année précédente.

Par le contrôle du peuplement des ligneux et des espèces volubiles maintenus dans le sol en bulbe ou en tubercule, le feu entretient un état d'aération du paysage (photos n° 6 et 8) qui permet à la végétation herbacée de redémarrer sur souches puis sur graines dès le retour des pluies.

### **5.1.3. CONCLUSION**

Dans les savanes soudaniennes humides, les feux précoces et les pâturages modérés entretiennent un équilibre entre les ressources ligneuses hautes et les fourragères basses par l'élimination d'un certain nombre de ligneux, l'élagage des branches basses ou par leur maintien à l'état de souches. Ils n'altèrent pas notablement la capacité de production agricole des terres. Les graminées étant la base de la production pastorale dans cette zone, les savanes constituent un milieu idéal pour une nécessaire intégration agriculture-élevage à condition que tous les utilisateurs de l'espace rural s'accordent à gérer socialement les feux et le bétail.

## **5.2. PRATIQUES CULTURALES ET BILAN HYDRIQUE DE SURFACE**

Parmi les trois critères de fonctionnement du sol mesurés (ruissellement, pertes en terre et rendement végétal), le ruissellement s'est montré le meilleur révélateur du fonctionnement du sol en fonction des pratiques culturales. Il est très sensible aux états de surface du sol (ouvert ou fermé) et au cloisonnement du milieu. Des trois critères, il est le plus facile à prévoir en fonction des pratiques culturales ou du système de culture appliqué au sol.

Les pratiques culturelles déterminent avant tout les états structuraux de la surface du sol qui influencent à leur tour la dynamique de l'eau. En particulier, l'état de surface commande la répartition de l'eau à la surface du sol entre l'infiltration et le ruissellement ( $I = P - R$ ) (Boli, 1976 ; Valentin, 1981 ; Boiffin, 1984 ; Collinet, 1988).

Il est aujourd'hui largement reconnu qu'il y a deux grandes familles de systèmes culturaux :

- le "système conventionnel", caractérisé dans sa réalisation par le labour du sol, et l'existence d'une surface nue après le semis, et dans ses conséquences par des pertes en terre élevées;
- le "système conservateur" du sol, caractérisé par la présence de litière recouvrant au moins 30 à 50 % de la surface du sol (peu perturbé) après semis, système réputé très efficace pour la conservation de l'eau et du sol ((CTIC, *in* DICKEY and Shelton, 1987 ; Mannering et Fenster, 1983 ; Laflen *et al.*, 1980) ; Lal, 1976).

Les résultats de comportements de nos parcelles sont très contrastés pour ces deux groupes de traitements :

labour = (TRM) : KRAM = 16 à 41 % et KRmax = 52 à 95 %

semis direct sous litière = (ZT) : KRAM = 0,3 à 9 % et KRmax = 1,5 à 32 %

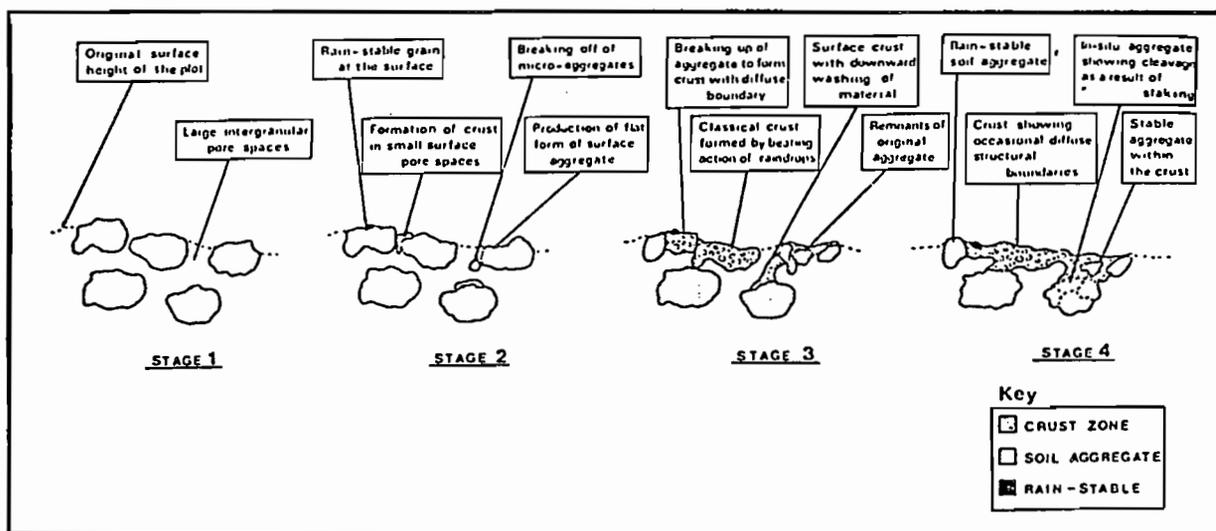
Ils sont comparables à ceux observés en Côte d'Ivoire et au Burkina par Roose (1977, 1979).

L'impact des techniques culturales sur le ruissellement tient au fait que celles-ci entraînent deux effets qui s'ajoutent : désagrégation et fermeture du sol d'une part, pénélplanation et effacement de la rugosité, obstacle au ruissellement d'autre part.

### **5.2.1. LA FERMETURE DE LA SURFACE DU SOL SUR LE TRM**

Le mécanisme de la formation des croûtes sous l'impact des pluies a été étudié au laboratoire à l'aide d'un simulateur de pluie par Farres (1978). Il observe qu'il y a un remplissage des vides entre les mottes par du matériau arraché sur celles-ci (fig. 5.01).

BOIFFIN (1984), étudiant le comportement des sols limoneux sous conditions naturelles, observe qu'une surface initialement motteuse et ouverte est progressivement occupée par une croûte structurale de quelques millimètres d'épaisseur, à compacité élevée et à infiltrabilité de plus en plus faible. L'excès d'eau qui en résulte donne lieu à la formation des flaques, puis au ruissellement. Commence ensuite la phase de formation des croûtes de dépôts. L'auteur introduit dans le modèle de colmatage interstitiel de Farres (1978), un indicateur morphologique du stade de dégradation : la taille limite ( $D_{lim}$ ) séparant les mottes qui sont déjà - ou pas encore - incorporées aux croûtes structurales.



**Figure 5.01 :** Diagramme schématique du remplissage interstitiel (Farres, 1978) montrant le passage d'une surface fragmentaire à une surface continue suite à la fermeture des espaces entre les mottes par du matériaux arraché au-dessus de celles-ci.

De son côté, Poesen (1981) définit les croûtes superficielles comme la résultante de l'assemblage des particules de sol dispersées au sommet de l'horizon superficiel du sol, le rendant relativement imperméable.

Nos observations sur les sols sableux montrent que la fermeture de la surface concerne, non pas seulement l'espace entre les mottes, mais aussi la surface des mottes elles-mêmes. L'observation attentive (à l'oeil nu ou à la loupe) de la surface d'une motte centimétrique d'un sol de moins de 20 % d'argile + limons, montre que même à cette échelle, on a une surface aussi rugueuse que celle de l'unité de rugosité définie autour de la classe de mottes moyennes du champ. Le modèle de remplissage interstitiel est donc aussi applicable à la surface de la motte. A cette échelle, ce sont les vides structuraux ou inter-agrégats qui sont remplis par du matériau constitué de particules élémentaires ou de micro-agrégats situés à des cotes supérieures à celles des vides. Le détachement de ce matériau est dû à l'impact des gouttes qui en assurent en même temps le tassement, ou par simple rupture sous l'effet de leur poids à la suite de l'humectation.

Dans les espaces entre mottes des sols travaillés mécaniquement, le remplissage interstitiel des vides commence à sec. En effet, le travail mécanique (labour) et le piétinement lors du semis, sont les premières étapes de la dégradation des sols sableux. Le labour libère non seulement des mottes de différentes tailles, mais aussi des particules élémentaires. Les éléments de plus petite taille se logent selon leur diamètre dans les vides laissés par la disposition des plus gros éléments. Avec ou sans énergie, les premières eaux de pluie trouvent dans ces microdépressions une charge importante qu'elles

entraînent dans leur infiltration gravitaire ou capillaire. Ces matières en suspension se déposent progressivement en réduisant la porosité et l'infiltration.

D'après les résultats d'analyse de la croûte de sédimentation de la parcelle D10 (cf. tab. 4.07), il y aurait toujours au moins une taille de particules qui est préférentiellement accumulée pour réaliser la fermeture du sol. Si on ne regarde que le sol, on convient avec Poesen (1981) que la texture du sol est le paramètre le plus important dans la fermeture de la surface de celui-ci. D'après cet auteur, on peut caractériser la fermeture d'un sol donné par une intensité d'encroûtement.

Cependant, en considérant le comportement des sols des blocs A et B pour le traitement TRM (labour non couvert), on voit que leurs KRAM sont comparables d'une année à l'autre et supérieurs à ceux de la famille de traitement Ecran dans chaque bloc. La fermeture du sol est donc plus intense sous pluie battante (tassement continu et production renouvelée de fines pour le remplissage des vides).

Par contre, en comparant les ruissellements du traitement Ecran dans les deux blocs, on s'aperçoit que le ruissellement sur le bloc A est supérieur à celui du bloc B dont le sol est plus riche en sables. On a pour :

$$\text{TRM : } \quad \text{KRAM}_A = \text{KRAM}_B$$

$$\text{ECRAN : } \quad \text{KRAM}_A > \text{KRAM}_B$$

Ce changement de comportement des sols des deux blocs (à texture statistiquement différente) en fonction du mode d'apport de l'eau de pluie (avec ou sans énergie) montre qu'il y a deux principaux facteurs qui commandent la perméabilité (fermeture du sol) : l'état de surface et la texture du sol.

Ici, les deux facteurs de la fermeture du sol sont hiérarchisés en changeant le mode d'apport de la pluie. Sous pluie battante, c'est l'état de surface nu qui contrôle la fermeture du sol ; il prime sur la texture, et la différence texturale entre les deux blocs est occultée pour le critère « ruissellement ». Par contre, en dissipant l'énergie de la pluie dans un écran, la texture contrôle seule la fermeture du sol et la différence entre les sols (blocs A et B) traduit l'influence de la texture sur l'infiltrabilité. On confirme ainsi l'observation de Römskens *et al.* (1986) selon laquelle la réaction du sol à l'énergie érosive dépend aussi de la manière dont celle-ci est appliquée à la surface du sol.

Ici, les techniques culturales orientent le fonctionnement du sol selon une relation d'ordre hiérarchique entre l'état de surface et la texture du sol.

### 5.2.2. LA RUGOSITE, DETERMINANT PARTIEL DU RUISSELLEMENT

L'une des caractéristiques du système conventionnel est de créer une rugosité de la surface du sol après labour et semis. Il est classiquement admis que cette rugosité favorise l'infiltration (Lelong *et al.*, 1993). Dans le modèle de remplissage interstitiel décrit par Farres (1987), et par Boiffin (1984, 1985), le flaquage n'intervient que si la surface du sol est rugueuse, c'est -à-dire quand il y a des surfaces hautes (mottes) et des surfaces basses (dépressions).

Dès la première pluie, la surface du sol se ferme. Les flaques se forment et deviennent coalescentes par là où la rugosité est la plus faible (petites mottes entourant la flaque). C'est donc la distribution des mottes les plus grosses qui détermine celle du ruissellement sur la parcelle (photo 37). Sur les sols sableux, les plus grosses mottes initialisent l'écoulement linéaire. Plus les mottes résistent à la dégradation, plus l'écoulement linéaire est maintenu. Sur ces sols sableux, les fortes intensités des orages et la faible stabilité des sols sont à l'origine d'un effacement rapide de la rugosité. La réduction du ruissellement due à celle-ci n'est sensible que sur la première pluie succédant le travail du sol. A l'échelle du cycle cultural, son rôle n'est pas sensible sauf les premières années de reprise de jachère où les racines de graminées maintiennent une bonne stabilité du sol (cf. tabl. 5.10).

Rao *et al.* (1994) en Inde, et Pérez (1994) au Sénégal, ont montré que la rugosité n'influait pas de façon significative le ruissellement à l'échelle annuelle. Nous verrons plus loin qu'elle est responsable d'une phase d'érosion accélérée.

### 5.2.3. RUISSELLEMENT SUR LE SYSTEME CONSERVATEUR

Le système de travail du sol conservateur, aussi appelé « non travail » ou « travail réduit du sol », pose avant tout un problème de standardisation parce qu'il comporte de nombreuses variantes, ce qui entretient une certaine confusion comme le constate Ofori (1993). Ce concept de non travail du sol, nous apparaît soutenu par deux idées : l'une littérale, l'oppose au travail de retournement du sol, caractéristique du système conventionnel, l'autre matériel, le subordonne à la présence d'une litière recouvrant au moins 30 % de l'unité de surface considérée (CTIC, 1986 *In* Dickey and Shelton, 1987).

Dans les milieux agricoles contrôlés, comme en Europe, le non travail du sol peut implicitement indiquer la présence de résidus de la culture précédente. En milieu ouvert tel qu'en Afrique soudano-sahélienne, le pâturage libre, les feux de brousse et les vents tourbillonnants ne laissent que bien peu de chance de retrouver dans la parcelle, les résidus de la culture précédente. Dans ces conditions, les concepts de non travail du sol, semis direct, travail minimum ou travail réduit, ne comportent pas nécessairement la

présence d'une litière sur le sol. Cette dernière doit être apportée, sinon il faut attendre que les adventices poussent jusqu'à un niveau désiré avant de les « griller » par un herbicide total. Il y a donc une nécessité de spécification de ces notions, car l'absence d'une litière suffisante enlève au système de culture son rôle « conservateur ».

Nos résultats illustrent bien l'importance de ce facteur sur le ruissellement. En 1991, les parcelles en ZT ne disposaient pas d'assez de litière sur les blocs A et B. Leurs ruissellements n'étaient pas statistiquement différents de celui de TRM. Par contre, sur les blocs C et D où il y avait assez de litière sur les traitements ZT, les différences étaient très contrastées (KRAM moy. A/B = 14 % ; KRAM C = 0,5 % ; KRAM D = 8 %). Au Brésil, Derpsch *et al.* (1986) ont observé que sans couverture du sol, l'infiltration sur un sol non travaillé était comparable à celle d'un sol travaillé sur la ligne de semis ou celle d'un labour conventionnel.

L'efficacité du système conservateur résulte surtout de la présence d'une litière à la surface du sol et de ses interactions avec l'absence de perturbation et l'activité de la macrofaune. La présence de la litière dissipe l'énergie des pluies sans modification de l'état structural du sol. Elle protège donc l'ouverture de la porosité à l'atmosphère. Le non travail du sol préserve la continuité des pores et particulièrement ceux de la macroporosité. Ce facteur est très important. Nous avons observé que les OPS des parcelles Nue (photo 12 et 31) isolaient la macroporosité sous-jacente des flux d'eau superficiels. Par contre, bien que les densités apparentes les plus élevées du sol soient observées sur les parcelles non labourées du bloc D, elles ruissellent toujours moins que les parcelles décompactées par le labour et maintenues nues ou couvertes. Leur macroporosité d'origine biologique ouverte à la surface, est stable et continue jusque dans les couches profondes du sol. Elle constitue un puissant facteur de l'infiltration (Roose, 1976). Darcy et Poiseuille (in Hénin, 1977) ont montré que la capacité d'infiltration des macropores cylindriques était proportionnelle à la quatrième puissance de leur diamètre.

Cette macroporosité biologique a une origine racinaire ou macrofaunique : termites et vers de terre (Lavelle *et al.*, 1990). L'activité des vers de terre est particulièrement remarquable. Les comptages des turricules effectués en août 1993 et 94 sur les parcelles cultivées montrent que ceux-ci sont très abondants sur le ZT (12,5/m<sup>2</sup>) et très rares dans les parcelles labourées et nues (0,2/m<sup>2</sup>) (cf. fig.4.28).

De cette figure, on déduit trois groupes de traitements en fonction de la densité et de la taille des turricules :

	Nbre/m <sup>2</sup>	Pds moyen (gr/turricule)
- labouré, nu ou cultivé sans litière	0,2	61,0
- labouré avec litière (Mulch)	0,9	51,0
- non labouré, avec litière	12,5	126,0

Les parcelles en contact avec la savane ont montré des densités de turricules plus élevées que celles des parcelles de plein champ pour un même traitement. Dans les savanes du Nord Cameroun, l'activité des vers de terre, estimée par les déjections superficielles, correspond à 25-30 t/ha (Kollmansperger, 1956, *in* Lavelle *et al.*, 1990). Cette évaluation donne une idée du nombre d'ouvertures à la surface du sol. Elle renseigne aussi sur la longueur des galeries sachant que les vers de terre ne repassent pas par les vieilles galeries pour rejeter la terre ou s'alimenter en surface (Lavelle *et al.*, 1990).

En plus de ces observations, les photos (43 à 45) montrent que dans leur déplacement hypodermique, les vers de terre soulèvent le sol au-dessus de la galerie. Celui-ci se fissure tout le long de ce trajet. La porosité créée par la fissuration peut être plus efficace dans la réduction du ruissellement que les ouvertures des galeries à la surface ; les fissures occupent une surface plus grande que l'ouverture de la galerie qui est souvent en situation plus haute par rapport à la surface du sol environnante. L'ensemble de la porosité liée à l'activité des vers de terre (galeries, ouvertures et fissures sur le toit des galeries) contribuent de façon déterminante à la réduction du ruissellement telle que l'ont vérifié plusieurs auteurs (Wilkinson, 1975 ; Lal, 1974 ; Roose, 1975 ; Aina, 1984 ; Valentin, 1988, *in* Lavelle, 1990) à travers des mesures d'infiltrabilité.

Il y a donc une interaction favorable pour la réduction du ruissellement entre :

- le non-travail du sol qui préserve à la fois la population des vers de terre et la continuité du réseau des macropores,
- la présence de la litière à la surface qui attire les vers aérateurs du sol et qui protège les ouvertures superficielles du sol contre la battance des pluies.

Cet interaction avec la macrofaune s'ajoute à l'effet de ralentissement des écoulements favorisant ainsi l'infiltration.

#### **5.2.4. BILAN HYDRIQUE ET BILAN HYDROLOGIQUE (A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT)**

Ces résultats sur la variabilité du ruissellement en fonction des systèmes de culture n'ont pas seulement un intérêt agricole. Ils ont des implications sur la gestion régionale de l'eau. En effet, l'eau qui ruisselle à la surface du sol rejoint rapidement les cours d'eau où elle accroît des débits de pointe : celle-ci est perdue pour la parcelle et la région en quelques heures. Par contre, celle qui s'infiltré peut être totalement ou partiellement stockée dans les horizons profonds. La partie qui rejoint les cours d'eau participe à l'écoulement de base des rivières. Ceci est important pour la gestion du barrage de Lagdo dont le bassin versant d'alimentation est situé dans la savane soudanienne. Des caractéristiques physiques de cette zone et des enjeux qui y sont liés découle l'importance d'une bonne gestion de ce barrage :

- la forte variabilité de la pluviosité n'exclut pas des saisons de sous-alimentation de la retenue ;
- la mise en valeur des terres en aval du barrage dépend de la maîtrise de la gestion hydraulique de celui-ci, les lâchers d'eau non programmés ne permettant pas de maîtriser le calendrier agricole dans les zones d'inondation ;
- or ces surfaces comportent une importante proportion de sols à faible perméabilité et capacité de stockage (sols peu profonds : minéraux bruts, peu évolués ou indurés) ;
- à moyen terme, ce sera l'unique terre d'accueil de migrants.

Compte tenu de l'influence des pratiques culturales en amont sur le ruissellement et les débits des cours d'eau tributaires du barrage, la mise en valeur agricole de la plaine inondable en aval va dépendre des choix opérés pour la mise en valeur agricole des terres amont. Il est donc important de discuter de la relation entre la dynamique de l'eau dans les parcelles cultivées et la gestion hydraulique du barrage, et de voir s'il peut y avoir concordance d'intérêts entre la production agricole durable (en amont et en aval) d'une part, et la gestion efficiente et durable du barrage d'autre part.

En France, Leynaud (1992) constate la dégradation de la capacité de régulation des ressources en eau des bassins versants sous l'influence des activités humaines et notamment agricoles. Il fait observer que "le recours systématique aux barrages de retenue ne permet que d'atteindre des objectifs limités avec des graves inconvénients d'établissement et de gestion de ceux-ci".

Il est donc évident que l'augmentation de la surface cultivée dans le bassin versant et surtout les systèmes de culture pratiqués, influenceront la gestion du barrage. En effet, dans une récente étude à paraître, intitulée "manuel de prédétermination des crues de fréquence décennale et des apports annuels de petits bassins versants d'Afrique sahélienne et tropicale sèche" (FAO), il est indiqué que, la mise en culture tend à augmenter le coefficient de ruissellement ( $K_r$ ), et que si 50 à 20 % des surfaces sont cultivées sur des sols propices à la formation de croûtes superficielles, on devra majorer le ruissellement décennal de 60 à 40 %.

Voyons l'impact des pratiques culturales en amont du bassin versant sur la vitesse de remplissage de la retenue de Lagdo. Pour cela, nous simulons la contribution des champs cultivés en TRM et ZT pour une pluie de fréquence journalière annuelle à Tcholliré qui est de 90 mm (Puech et Chabi Goni, 1984) avec les hypothèses suivantes :

- superficie cultivée : 10, 20, 30 et 50 % de celle du BV ;
- ruissellement  $K_r$  :
  - cas TRM :  $K_{r1} = K_{RAM} = 30\%$  ;  $K_{r2} = K_{R\ Max} = 90\%$
  - cas ZT :  $K_{r'1} = K_{RAM} = 2\%$  ;  $K_{R'2} = K_{R\ Max} = 10\%$

- Le ruissellement observé à l'échelle de la parcelle cultivée n'arrive pas jusqu'à la rivière ; nous appelons coefficient de contribution (CT), la proportion des eaux de ruissellement sorties des parcelles cultivées, qui atteignent la rivière. Dans cette simulation, nous retenons les valeurs de : CT1 = 100 % et CT2 = 50 %

Les caractéristiques du bassin sont :

- superficie du BV = 30650 km<sup>2</sup> (arrondie à 30.000) ;
- superficie de la retenue :
  - minimum = 220 km<sup>2</sup>
  - maximum = 690 km<sup>2</sup>
  - différence = 470 km<sup>2</sup> (confondue à la superficie moyenne)

Les tableaux 5.01 et 5.02 montrent que dans le système conventionnel, et pour l'hypothèse basse d'un taux de surface cultivée de 10 %, la seule pluie observée tous les ans peut contribuer pour 10 à 50 cm, au remplissage de la retenue, contre 0,5 à 6 cm si ce sont les systèmes conservateurs qui sont appliqués.

**Tableau 5.01** : Contribution de l'augmentation de la surface des champs cultivés au relèvement [H(m)] du niveau du lac de Lagdo à l'occasion d'une pluie journalière de fréquence annuelle de 90 mm (à Tcholliré) : cas d'un labour et d'un sol nu après semis

Superficie en % BV culture TRM	Volume d'eau pour Lt = 1 mm (m <sup>3</sup> )	Kr'1 = 30 %			Kr'2 = 90 %		
		Volume (m <sup>3</sup> )	H (m) CT = 100 %	H (m) CT = 50 %	Volume m <sup>3</sup>	H (m) CT = 100 %	H (m) CT = 50 %
10	3,10 <sup>6</sup>	81,10 <sup>6</sup>	0,17	0,09	243,10 <sup>6</sup>	0,52	0,26
20	6,10 <sup>6</sup>	162,10 <sup>6</sup>	0,34	0,17	486,10 <sup>6</sup>	1,03	0,52
30	9,10	243,10 <sup>6</sup>	0,52	0,26	729,10 <sup>6</sup>	1,55	0,78
50	15,10	405,10 <sup>6</sup>	0,86	0,43	1215,10 <sup>6</sup>	2,59	1,30

H(m) : élévation du niveau d'eau dans la retenue

Comme les pluies ne se produiront pas forcément quand le lac sera à son minimum de superficie tel que nous l'avons considéré, l'effet des événements individuels sera d'autant plus décisif que celui-ci sera haut.

Par ailleurs, le risque d'installation d'une sécheresse derrière un événement de fréquence annuelle ou décennale n'est pas à écarter dans cette région climatique. Au lieu d'être amené à lâcher une eau qu'on ne pourra pas récupérer, il vaut mieux la stocker en amont et dans le sol, pour relever les débits de base en particulier en début d'étiage.

**Tableau 5.02 : Contribution de l'augmentation de la surface des champs cultivés au relèvement du niveau du lac de Lagdo à l'occasion d'une pluie journalière annuelle de 90 mm à Tcholliré : cas du semis direct sous litière**

Superficie BV sous culture ZT		Kr'1 = 2 %			Kr'2 = 10 %		
		Volume	H (m) CT 100 %	H (m) CT 50 %	Volume	H (m) CT 100 %	H (m) CT 50 %
10	3,10 <sup>6</sup>	54,10 <sup>5</sup>	0,01	0,005	27,10 <sup>6</sup>	0,06	0,03
20	6,10 <sup>6</sup>	108,10 <sup>5</sup>	0,02	0,01	54,10 <sup>6</sup>	0,11	0,06
30	9,10 <sup>6</sup>	162,10 <sup>5</sup>	0,03	0,015	81,10 <sup>6</sup>	0,17	0,09
50	15,10 <sup>6</sup>	270,10 <sup>5</sup>	0,06	0,03	135,10 <sup>6</sup>	0,29	0,15

Les 10 % de la superficie représentent 300.000 hectares de cultures annuelles. A raison de 2 ha (cotonniers et cultures vivrières) par exploitant, ce taux d'occupation correspond à 150.000 exploitants. Ce chiffre ne nous paraît pas utopique par rapport au taux de croissance démographique (3 %), à la dynamique migratoire en cours et au contexte économique actuel (rareté des emplois non agricoles).

Cette contribution est d'autant plus importante qu'elle comporte un risque de répétition ou d'occurrence en milieu ou en fin de série de pluies (péjoration du ruissellement).

### 5.2.5. CONCLUSION

Grâce à la rapidité des processus de dégradation des sols labourés, par suite de l'agressivité des pluies, outre la pluie, le ruissellement est la conséquence directe des états de surface créés par les pratiques culturales. Celles-ci constituent le facteur déterminant de la répartition de l'eau entre le ruissellement et l'infiltration.

Les systèmes culturaux qui retournent le sol et le laissent nu après le semis favorisent la désagrégation et la fermeture rapides de la couche superficielle de celui-ci. L'infiltration est réduite au profit du ruissellement qui peut atteindre les taux de 20 à 95 % des pluies, variables en fonction de la pluviosité et de l'intensité de la fermeture du sol.

A l'opposé, les systèmes culturaux basés sur des moindres remaniements du sol et le maintien d'une litière à la surface, réduisent le ruissellement à un niveau très bas : 0,5 à 10 %. La présence de la litière attire la macrofaune dont l'activité contribue à l'aération du sol. Elle protège les ouvertures du sol contre les impacts des gouttes de pluie, assurant ainsi la continuité des flux de fluides entre l'atmosphère et les horizons profonds du sol.

Les effets des pratiques culturales sur la dynamique de l'eau ne se limitent pas seulement à la parcelle cultivée. Les eaux infiltrées sont conservées plus longtemps pour

la parcelle et le terroir que celles qui ruissellent. Elles participent à l'étalement dans le temps et au relèvement des débits de base des cours d'eau du bassin versant. Grâce aux systèmes culturaux conservateurs, les sols cultivés jouent le rôle de véritables réservoirs pour les cours d'eau et les retenues.

Par contre, dans le cas des systèmes culturaux conventionnels, les eaux de ruissellement rejoignent rapidement les cours d'eau et relèvent brutalement leurs débits de pointe. Les inondations qui en résultent contribuent au sapement des berges et au comblement des lits des cours d'eau et des retenues dont elles pénalisent la gestion.

Dans cette zone soudano-sahélienne où le risque de sécheresse est élevé, l'adoption des systèmes de culture conservateurs doit être soutenue par toute la communauté et prioritairement, par tous les utilisateurs du même bassin versant. Ceux-ci doivent se définir des objectifs de gestion conservatoire des ressources de base et organiser en même temps les participations et les solidarités nécessaires à la durabilité de la productivité de toutes les activités initiées dans le bassin versant.

### **5.3. APPLICATION DU MODELE DE WISCHMEIER ET SMITH**

Nous rappellons d'abord l'Equation Universelle des Pertes en Terre : USLE (Wischmeier et Smith, 1960, 1978) :

$$E = R.K.LS.C.P. \quad (\text{voir } \S 2432)$$

Wischmeier (1976), Roose (1977), El Swaify et Dangler (1982), Risse *et al.* (1993) rappellent les conditions d'utilisation du modèle USLE.

- C'est un modèle statistique empirique, destiné à prédire les pertes en terre résultant de l'érosion en nappe et rigole et de la redistribution le long des segments de pente régulière.
- L'équation est valable pour la prédiction des pertes moyennes annuelles sur le long terme et non pour des événements individuels.
- L'utilisation de l'équation nécessite une sélection soigneuse de données, limitée aux zones où la battance des pluies est la source d'énergie principale.
- Le domaine de définition, donc d'application préférentielle de l'équation, est (Risse *et al.*, 1993) :
  - sols à texture moyenne,
  - pente de 3 à 18 %,
  - longueur de pente inférieure à 122 m.

Nous noterons d'abord que nous sommes, par certains aspects, en dehors du cadre standard d'application de ce modèle :

- sur le plan durée, nous n'avons que des résultats sur quatre années : c'est un début ;
- le facteur pente est proche de la limite inférieure pour les blocs B et D (2 et 2,5 %) et en dehors du cadre de définition pour le bloc A (0,9 %) ;
- la texture du sol est franchement dans le pôle sableux (< 10 % d'argile et < 20 % argile + limon)

Cependant, d'autres auteurs (Roose, 1973, 76 et 84 ; Lal, 1976 ; Charreau, 1968) ont travaillé en dehors de ce cadre standard de définition de l'USLE car on n'a rien de mieux à proposer ; les modèles déterministes exigent de nombreuses données et ne semblent guère plus praticables ou efficaces que l'USLE en conformité duquel nous avons monté notre dispositif.

L'autre considération préalable concerne les difficultés rencontrées au cours de l'expérimentation dont certains aspects ont été évoqués plus haut (comportement du bloc A vis-à-vis des pertes en terre par exemple) et plus spécifiquement en rapport avec la gestion de la parcelle nue.

Dans le bloc A, les pertes en terre de la parcelle nue ont diminué continuellement à partir de la deuxième année. A chaque fois, une rigole d'érosion initiée à gauche de la parcelle n'a pu s'approfondir après la réduction de la rugosité à cause du canal collecteur. Une grande partie des sables détachés est redistribuée à la surface de la parcelle sous forme de sédiments. Pendant ce temps, les parcelles butées du même bloc fonctionnent en régime d'érosion en rigoles à cause de la rugosité créée par le buttage.

Le sol du bloc B, plus sableux ( $A + L < 20\%$  sur 0-40 cm) a posé un problème différent. La griffe d'érosion initiée à la gauche de la parcelle a évolué en rigole favorisant une forte évacuation de sédiments de la parcelle.

Sur le bloc D, il n'y a pas eu d'initiation de rigole après la réduction de la rugosité, mais plutôt une sédimentation progressive de la gauche vers la droite de la parcelle au fur et à mesure que la rugosité disparaissait, puis du bas vers le haut.

### **5.3.1. CALCUL DU FACTEUR D'ERODIBILITE K DES SOLS DES BLOCS A, B ET D**

Pour la parcelle nue, travaillée dans le sens de la pente, l'équation ci-dessus s'écrit :

$$E = R.K.LS.$$

Les valeurs des facteurs C et P étant chacune égale à l'unité puisque le sol est nu et n'a pas reçu de préparation particulière pour réduire les transports solides (labour dans le sens de la pente).

Le facteur d'érodibilité devient :

$$K = \frac{E}{R \times LS \times 2,24}$$

en unités USA (Roose, 1973-74).

Nous avons calculé et commenté le facteur de l'érosivité des pluies R plus haut (cf. § 411). En raison des faibles pentes de nos terrains expérimentaux, le poids du facteur R est déterminant sur la valeur de l'érodibilité du sol. R varie plus avec les intensités (Imax30') des pluies qu'avec les hauteurs de pluies totales annuelles (H<sub>mm</sub>)

Le facteur topographique SL est obtenu soit par lecture à partir des nomogrammes de Wischmeier (1960, 1978) soit en le calculant à partir de la formule :

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (0,76 + 0,53S + 0,076S^2) \text{ (Wischmeier et Smith, 1960, 78)}$$

Les blocs A, B et D ayant les pentes moyennes respectives de 0,9%, 2% et 2,5%, leur facteurs topographiques SL respectifs calculés sont de : 0,110, 0,180 et 0,205

En reportant les valeurs de R et SL sur l'équation de K ci-dessus, on obtient les valeurs d'érodibilité ci-dessous indiquées sur le tableau 5.03.

**Tableau 5.03 : Facteur K des sols des blocs A, B et D de 1991 à 1994**

Année	1991	1992	1993	1994
H <sub>mm</sub> (1)	700	1184	772	1073
RUSA	419*	785	496	433
BLoc A	0,11	0,06	0,05	0,07
Bloc B	0,08	0,18	0,16	0,24
Bloc D	0,07	0,14	0,09	0,11

(1) Hauteurs des précipitations durant le cycle cultural

\* RUSA estimé

Le facteur K du bloc A baisse dès la deuxième année et se stabilise en moyenne à la valeur de 0,06 durant les trois dernières années. Cela s'explique par le fait qu'après l'érosion de la première année, l'aplanissement du sol amène le facteur topographique à une valeur où l'exportation des sables par le ruissellement devient limitée. Les terres détachées se redéposent dans la parcelle et les valeurs de K peuvent être fortement sousestimées.

Sur la parcelle nue du bloc B, l'évolution semble normale pour 1992 et 1994 ; K atteint la valeur de 0.24 au bout de la quatrième année, ce qui traduit un accroissement rapide de la sensibilité à l'érosion liée à l'augmentation de l'instabilité (appauvrissement et élimination des racines).

L'évolution du facteur K du bloc D n'est pas nette. Le passage de sa valeur de 0.07 à 0.11 au bout de 4 ans, ne correspond pas aux fortes pertes en terre observées sur les parcelles cultivées de ce bloc.

### 5.3.2. QUANTIFICATION DES FACTEURS C ET P

Le tableau 5.04 donne le résumé des valeurs des facteurs C et P de l'Equation Universelle des Pertes en Terre (Wischmeier et Smith, 1978) pour les systèmes de culture testés les plus représentatifs.

**Tableau 5.04 : Valeurs des facteurs C et P de l'USLE observées de 1993 à 1994 à partir des valeurs annuelles de E prises séparément**

Facteurs	Famille traitements	BLOC A	BLOC B	BLOC D
C	TRM	0,6 - $\geq 1$	0,1 - 0,3	$\geq 1$
C	Billons clois.	0,4 - 0,5	0,07 - 0,08	-
C	ECRAN	0,2 - 0,5	0,03 - 0,1	0,1 - 0,3
C	Minitil	0,15 - 0,18	0,04 - 0,06	0,02 - 0,12
C	ZT	0,1 - 0,2	0,02 - 0,05	0,04 - 0,08
	Jachère	-	-	0,03 - 0,1
P	Bande végétale	0,0 - 0,06	0,0 - 0,02	0,00 - 0,2

On observe que toutes les parcelles labourées du système de culture vulgarisé, peuvent présenter un facteur cultural (C) égal ou supérieur à l'unité. Théoriquement, ces cas ne devraient pas se présenter, l'hypothèse de base étant que la parcelle nue perd plus de terre que toutes les autres parcelles cultivées. Ces anomalies proviennent des différents comportements des parcelles nues des blocs A, B et D. Celles-ci sont dues :

- aux effets du système de culture comportant une modification profonde de l'état de surface (buttage) de la parcelle cultivée par rapport à la parcelle nue ;
- à la formation d'organisations pelliculaires superficielles (OPS), stables sur la parcelle nue (bloc D), (photo 31) ; celles-ci réduisent considérablement les pertes en terre sur ce bloc.

La gestion de la parcelle nue pose donc des problèmes d'adaptation au système de culture à évaluer et aux OPS. Sur ce dernier point, certains auteurs brisent les croûtes chaque fois qu'il y a une intervention aratoire dans les parcelles cultivées, tels que le sarclage et le buttage (Wischmeier, 1960, Roose, 1968) ; d'autres le font après chaque pluie de hauteur supérieure à 20mm (Some, 1989). Ces deux anomalies tendent toutes les deux à donner des valeurs de K par excès. Quoiqu'il en soit, on voit l'efficacité relative des divers traitements conservateurs. Vis-à-vis du traitement conventionnel : les traitements Ecran, Minitil et ZT réduisent par deux à dix l'érosion provoquée par TRM.

### 5.3.3. CONCLUSION

Si les parcelles d'érosion sont un outil irremplaçable de l'étude des bilans liés au fonctionnement des sols, l'application du modèle USLE apparaît délicate même lorsqu'on travaille dans le cadre de définition de celui-ci. Il y a une nécessité d'adaptation de la gestion des parcelles nues aux pratiques culturales à évaluer d'une part, et à la gestion des organisations pelliculaires de surface d'autre part. Sur les parcelles cultivées, des sous-estimations ou des surestimations des pertes en terre sont tout aussi possible que sur les parcelles nues.

En général, il apparaît qu'il y a un risque potentiel d'une mauvaise interprétation ou application des facteurs de l'USLE sur des parcelles à faible pente (< 3 %) et à texture très sableuse, même dans les situations où les résultats semblent conformes à la logique.

Sur les sols sableux et fragiles de moins de 1 % de pente, l'évolution rapide de la surface favorise des redistributions au lieu de l'exportation des particules transportées. Il est difficilement envisageable d'espérer appliquer USLE sur une base pluriannuelle telle que préconisée par les auteurs de ce modèle (Wischmeier et Smith, 1960, 1978).

### 5.4. PRATIQUES CULTURALES ET DEGRADATION DES TERRES CULTIVEES PAR L'EROSION

La sensibilité du ruissellement aux pratiques culturales exige, sur le plan expérimental, une rigoureuse standardisation de la réalisation effective des traitements. Il s'en suit que les observations relatives aux phénomènes de ruissellement et à ceux encore plus complexes comme l'érosion, nécessitent plus de soins dans leur collecte et de critiques dans leur interprétation. Wischmeier (1978), Risse *et al.* (1993) insistent sur la sélection des données d'observation destinées au traitement par le modèle USLE.

C'est dans ce souci que nous traitons sous le thème effet d'échelle, la variabilité des pertes en terre qui est liée au dispositif.

Nous traiterons les points suivants :

- relation entre le ruissellement et les pertes en terre,
- les facteurs du comportement du TRM,
- les facteurs du comportement du ZT,
- l'effet d'échelle,
- l'effet des matières organiques,
- l'évolution de la pente (effet seuil).

### 5.4.1. RELATION ENTRE LE RUISSELLEMENT ET LES PERTES EN TERRE

Dans le phénomène de l'érosion hydrique, le transport au-delà de l'échelle décimétrique est assuré par le ruissellement (Ellison, 1944, 1945).

Mais la relation entre ces deux révélateurs de fonctionnement du sol n'est pas simple. Dans l'étude statistique des effets des pratiques culturales ci-dessus (chap.4, §3), le ruissellement est apparu dès la deuxième année d'expérimentation avec des valeurs distinctes et stables sur six familles de traitements contre trois familles pour les pertes en terre. Ce qui indique que l'érosion est moins bien prévisible à partir des pratiques culturales que le ruissellement. A partir des couples ruissellement -érosion des traitements NUE, TRM, ECRAN et ZT, on obtient une relation linéaire assez forte, reliant les pertes en terre grossière (y) au coefficient de ruissellement annuel moyen (x) de la forme :

$$Y = 0,546 X - 1,55 ; \quad r^2 = 0,74$$

$$Y = E(t/ha/an) \quad X = KRAM (\%).$$

La figure 5.02 montre une forte dispersion des points, en particulier pour des ruissellemements de 15 à 45 %. Globalement, aux faibles ruissellemements correspondent des faibles pertes en terre, cas des traitements à surface de sol couverte ; les valeurs élevées de ruissellement entraînent les fortes érosions, mais on observe aussi des ruissellemements élevés correspondant à des pertes en terre faibles, cas de très faibles pentes où la vitesse du ruissellement n'est pas suffisante pour transporter tous les matériaux détachés, ou bien cas des surfaces aplanies et encroûtées. Nous avons vu au chapitre 4 (pertes en terre à l'échelle journalière), que le rang de la pluie compte beaucoup pour les pertes en terre, particulièrement sur les parcelles labourées et on peut donc observer des pertes en terre élevées pour des ruissellemements modérés.

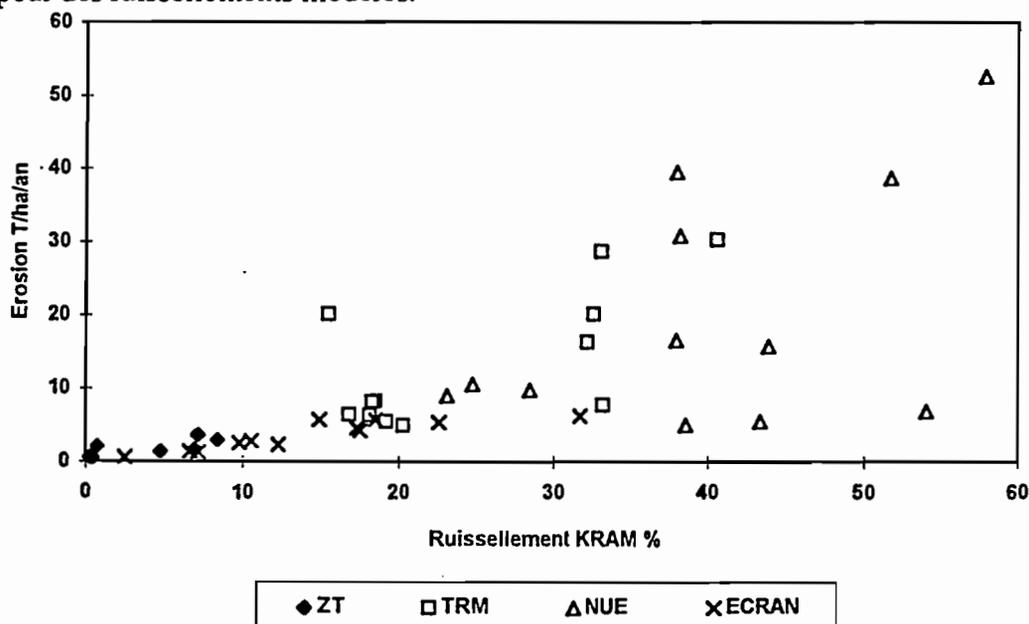


Figure 5.02 : Relation entre le ruissellement et l'érosion

Le ruissellement et les pertes en terre sont faibles pour le zéro tillage. Ils sont par contre très élevés pour la parcelle nue. Les parcelles labourées et cultivées donnent des ruissellements nettement moins élevés que ceux de la parcelle nue ; mais leurs pertes en terre, variables en fonction de la pente, de la texture et surtout de l'âge de la mise en culture continue, peuvent être fortes. Le labour recouvert d'un écran donne des ruissellements à peine plus faibles que ceux du témoin labouré vulgarisé, mais ses pertes en terre sont plus faibles et se rapprochent davantage de celles du zéro tillage. Ce traitement démontre d'une part, le rôle favorable du labour sur le ruissellement, et d'autre part celui d'un couvert sur le sol, dans la réduction de la mobilisation des terres.

Le comportement de ce traitement vis-à-vis des deux critères de fonctionnement nous confirme que le ruissellement est un processus relativement simple, ne dépendant principalement que de la fermeture de la surface du sol et secondairement, de l'absence d'obstacles dans la direction des écoulements. Il montre que l'érosion est plus complexe. L'érosion exige en effet non seulement un ruissellement, mais aussi un détachement des particules de terre et une compétence du ruissellement à transporter les terres détachées, tel que le montre le diagramme de Hjulström (1935 *in* Roose, 1994) selon lequel la taille maximale des particules transportées est liée à la vitesse des écoulements. La photo 37 montre une accumulation de sédiments dans les aires de transport indiquant l'incompétence du ruissellement généré dans celles-ci à transporter toute la production de sédiments. La détachabilité peut donc être supérieure à la capacité de transport sur de longues distances. On aboutit ainsi à des ensablements qui rappellent les cours d'eau de la région (mayo) dont l'une des caractéristiques est de couler sous leurs alluvions sableux pendant une partie de l'année (Suchell, 1988).

En définitive, la relation ruissellement-érosion peut se présenter dans cette zone sous les trois cas les plus représentatifs suivants :

1. Un ruissellement peut être abondant avec une érosion faible en l'absence de facteurs de détachement du sol (cas du sol nu recouvert d'une croûte de battance).
2. La désagrégation peut être intense et le ruissellement incompétent si la pente est très faible (< 1%) ou s'il y a des obstacles dans l'axe des écoulements : on aboutit alors à des épendages de sables. La forte productivité de sédiments est liée à une forte rugosité associée à une instabilité élevée du matériau (cas du traitement Billons cloisonnés).
3. Le ruissellement est abondant et compétent et entraîne beaucoup de sédiments. C'est le cas de fortes érosions avec transport plus ou moins lointain de sédiments par rapport à leur lieu de production. Ce cas est favorisé par la rugosité du terrain, une pente modérée à élevée, l'instabilité du matériau et donc par toutes les pratiques culturales qui pèsent sur ces paramètres.

#### 5.4.2. LES FACTEURS DU COMPORTEMENT DU TRM

Le labour consiste à couper, soulever et retourner une tranche de terre qui se brise plus ou moins en retombant. Il est la principale caractéristique du système de travail du sol classique ou conventionnel.

Nous avons vu que les systèmes de culture comportant un labour perdent plus de terre que les systèmes sans travail du sol. Les moyennes des quatre années tous blocs confondus sont de : 23 t/ha/an sur le sol nu, 16t/ha/an pour le témoin régional mécanisé (TRM) contre 3 t/ha/an sur le zéroillage sur les blocs C et D. En tenant compte de l'état de dégradation des sols, nous constatons un fort contraste entre les pertes en terre de TRM et celles du ZT :

TRM :	6 à 16 t/ha/an sur sol non dégradé
	20 à 30 t/ha/an sur sol dégradé
ZT :	0,5 à 2 t/ha/an sur sol non dégradé
	1,4 à 4 t/ha/an sur sol dégradé

Plusieurs auteurs ont obtenu des résultats comparables : Roose (1967) à Séfa, Sénégal, sur sols ferrugineux tropicaux avec des pentes de 1,25 à 2 % obtient 5 à 12 t/ha/an pour le TRM ; Lal (1975), au Nigéria, obtient sur une rotation maïs/niébé en doubles campagnes annuelles : 1 à 33,3 t/ha/an pour le TRM variable en fonction de la pente (1 à 15 %) et 0,01 t/ha/an pour le ZT. Roose (1977) en Côte d'Ivoire sous ananas, a obtenu : TRM : 23 t/ha/an et ZT : 0,4 t/ha/an.

En Afrique de l'Ouest par contre, Nicou et Charreau (1985) indiquent que le labour ne favorise l'érosion que quand il est mal exécuté, en particulier à vitesse élevée. Mais, par rapport à la conservation de l'eau et du sol, certains auteurs estiment qu'un labour de retournement n'est pas différent d'un autre (Chabert *et al.*, 1990).

A Mbissiri, nous avons observé que le labour favorisait l'érosion principalement par deux effets :

- la désagrégation physique du sol,
- la création de la rugosité à la surface de celui-ci

##### 5.4.2.1. Le travail du sol, facteur de désagrégation

Sur les sols sableux, le travail du sol est la première étape de la dégradation. Les pressions des outils, des pneumatiques ou du piétinement lors des opérations de semis désagrègent le sol.

Hudson (1958) souligne que la désagrégation des sols sableux libère les particules élémentaires, contrairement à celle des sols argileux qui libèrent des agrégats.

La libération d'éléments fins produit deux effets remarquables:

- la fermeture rapide du sol, même en l'absence de l'énergie cinétique des gouttes de pluie (cas traitement Ecran) ;
- des pertes élevées en matières en suspension sur les parcelles labourées.

Les parcelles sous traitement ECRAN se sont refermées et ont ruisselé, en moyenne :

KRAM = 13 %, 11 % et 19 % sur les blocs A, B, D

contre 22 %, 22 % et 31 % pour TRM et contre 4 %, 2,5 % et 7 % pour le ZT sur les mêmes blocs. On voit sur les figures 4.22 à 4.25 montrant les pertes en terre décadaires ou journalières, que les pertes en terre sous traitement « ECRAN » correspondent à peu près à une espèce de balayage de particules déjà détachées.

On a aussi vu plus haut que la turbidité des eaux de ruissellement est cinq à quinze fois plus élevée sur les parcelles labourées que sur celles qui ne sont pas labourées : 0,4 à 1,4 kg/m<sup>3</sup> sur le TRM(A) ; 1,2 à 3,1 kg/m<sup>3</sup> sur le TRM(D) contre 0,2 kg/m<sup>3</sup> sur le ZT. La couverture du sol après le labour (ECRAN) réduit la turbidité de 30 à 70 % en fonction des blocs, mais celle-ci reste toujours très élevée par rapport à celle des parcelles non labourées ou celles de la savane (0,01 kg/m<sup>3</sup>).

Généralement, la turbidité diminue au cours du cycle cultural. Les maxima sont observés juste après les opérations de manipulation du sol (labour, buttage et sarclage) qui favorisent l'émiettement de celui-ci. En Côte d'Ivoire, Roose (1973) a observé que la turbidité était maximale (10 à 100 fois) après les premières pluies suivant le labour ; puis elle décroît lentement à mesure que la surface se referme et s'aplanit.

#### ***5.4.2.2. La rugosité, facteur de détachabilité des particules***

Les parcelles labourées possèdent après semis une rugosité héritée de ces deux opérations (labour et semis).

L'examen des courbes des pertes en terre, décadaires et journalières (fig. 4.22 à 4.25), montrent pour tous les traitements labourés nus ou couverts, une érosion très intense et décroissante au cours des quatre à cinq premières décades suivant le semis.

On note en particulier :

- les pertes en terre d'une pluie sont fonction du rang d'occurrence de celle-ci par rapport à la date du labour;
- dans les deux à cinq premières décades, l'érosion baisse sur les traitements labourés, relativement indépendamment de la variation de la hauteur des précipitations.

Sous Ecran, la quasi totalité des pertes en terre est réalisée au cours de cette période tout comme s'il s'agissait d'un « effet de chasse », de balayage par les eaux.

Après cette phase, ce traitement ne réagit plus qu'aux averses abondantes. Sur le TRM, les pertes en terre peuvent atteindre leur intensité maximale au cours de cette première phase, si la pluviosité n'est pas très agressive au cours de la seconde.

Bien qu'évoluant de façon différente sur l'ensemble du cycle, le comportement des deux familles de traitements vis-à-vis des pertes en terre, met en évidence l'existence de deux phases érosives définies par rapport à TRM :

- la première phase d'érosion est relativement indépendante de la pluviosité de cette période,
- la deuxième suit assez bien les variations de la pluviosité.

On constate que la première phase érosive correspond à la réduction, voire l'effacement de la rugosité qui libère une grande quantité de particules mobilisables, tandis que la seconde correspond à l'érosion en nappe d'une surface sensiblement plane et fermée (encroûtée).

Au cours de cette dernière phase, des crises érosives peuvent se manifester lors des pluviosités abondantes si le sol est très instable. Dans ce cas, on peut observer un déphasage de la courbe de l'érosion par rapport à celle de la pluviosité.

La mise en évidence des deux phases érosives en relation avec la rugosité du sol étant faite, nous allons expliquer l'indépendance relative de la première phase par rapport à la pluviosité. On a observé dans les parcelles labourées, des rigoles temporaires et des micro-effondrements de terre au niveau de ces rigoles. La présence de ces rigoles avec les micro-effondrements liés, participe, à côté de l'énergie cinétique des gouttes, à la phase accélérée de la réduction de la rugosité de la surface du sol (photo 38).

On a vu ci-dessus comment la rugosité influençait la formation des rigoles. L'approfondissement de celles-ci est bloqué par le bord du canal de sédimentation qui détermine ainsi le profil d'équilibre de la surface de la parcelle. Le fond de la rigole s'élargit davantage (Govers, 1987), notamment par le sapement de la base des mottes qui s'effondrent par la suite sous leur propre poids. A un certain stade de la réduction de la rugosité, les micro-effondrements disparaissent, la taille et la forme plus arrondie des mottes ne permettent plus leur manifestation. L'étape ultime de l'effacement de la rugosité est réalisée par le travail des gouttes d'eau et le ruissellement. Pendant ce temps, le régime de l'écoulement concentré disparaît aussi progressivement au profit d'un écoulement diffus.

Les micro-effondrements associés au régime de ruissellement concentré transitoire participent efficacement à la phase accélérée de la réduction de la rugosité de la surface du sol. Ils tirent principalement leur force de la pesanteur.

Ces faits d'observation semblent contradictoires à ceux rapportés en Belgique par Govers (1985) qui a conclu, après enquête sur des exploitations sur sols limoneux

presqu'aussi battants que les nôtres, que les rigoles ne se forment pas sur des pentes de moins de trois degrés (5 %). Pour cet auteur, la formation des rigoles n'est pas dépendante de la longueur de la pente, mais plutôt de l'inclinaison de celle-ci. Les photos 28 et 29 montrent, dans un cas, l'absence d'approfondissement d'une griffe d'érosion bien dessinée, en rigole sur la parcelle A9 de pente  $1 \leq \%$ , et dans l'autre, le développement d'une rigole sur une parcelle de pente moyenne de 2 % (B9).

Deux hypothèses peuvent justifier à notre avis, la conclusion de Govers :

- soit que le système de culture concerné dans son enquête n'a pas généré une rugosité du sol après semis ;
- soit qu'il a fait les enquêtes lorsque les rigoles (transitoires) avaient disparu.

Nous avons observé deux autres situations, apparemment contradictoires, dans nos parcelles :

- dans le premier cas, le ruissellement le long des tiges de maïs provoque, après buttage, la formation des chenaux ou des rigoles sur une distance de moins de 50 cm (photo n° 33) ;
- dans le second, une fois la rugosité résiduelle du labour effacée, sur la parcelle non buttée, les écoulements concentrés le long des tiges de maïs ne forment pas de rigoles. Ils creusent plutôt des demi-cuvettes au pied de la plante. L'eau débordante de cette micro-cuvette s'étale à la surface sous forme d'écoulement en nappe, tendant à montrer qu'en l'absence de rugosité et de pente suffisamment développée, il n'y a pas formation de rigole.

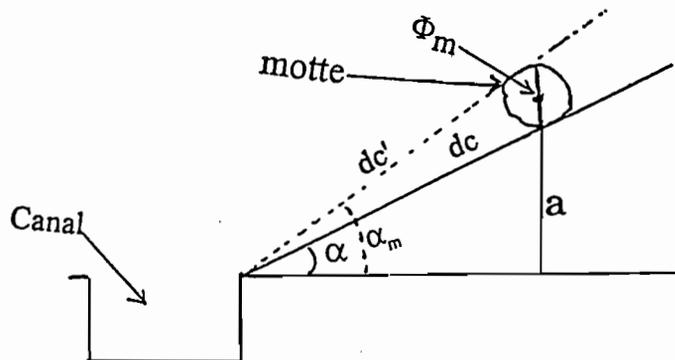
Comment expliquer l'apparition, puis la disparition ou le maintien (B9), des rigoles dans nos parcelles de moins de 3 % de pente ?

Des observations ci-dessus, nous retenons que :

- les rigoles se forment et se maintiennent à la faveur des grosses mottes, donc de la rugosité du sol, et des micro-pentes créées par celle-ci ;
- la concentration des écoulements entraîne préférentiellement un approfondissement de la rigole si la cohésion du sol n'est pas trop forte ;
- l'approfondissement est par la suite bloqué par le bord du canal de sédimentation qui définit le profil d'équilibre de l'ensemble de la parcelle ;
- stable, le bord du canal de sédimentation est une pièce importante du fonctionnement de la parcelle d'érosion : c'est le repère de l'aplanissement.

Comme le labour du sol correspond à un foisonnement de celui-ci, et comme le repère de la parcelle reste fixe pendant le labour, la pente du terrain labouré par rapport au repère est augmentée. On obtient une pente apparente du sol labourée par rapport au bord du canal pouvant atteindre ou dépasser le seuil de 5 % indiqué par Govers (1985).

Pour rendre compte mathématiquement de cette réalité physique, nous avons imaginé un modèle représenté par un plan incliné d'angle  $\alpha$  et de dénivellation  $a = dc \sin\alpha$  au-dessus duquel on déplace une motte de terre de diamètre  $\varnothing_m$ , sur une distance  $dc$  (m) comptée à partir du bord du canal de sédimentation (fig.5.03), la pente initiale est donnée par l'angle  $\alpha$ .



**Figure 5.03 :** Schéma de représentation d'une motte de terre après labour par rapport à la pente d'équilibre du sol définie par le bord du canal de la parcelle d'érosion

La pente apparente  $\alpha_m$  de la motte est égale à la dénivellation du plan initial augmentée du diamètre de la motte ( $\varnothing_m$ ) et divisée par la distance apparente  $dc'$  séparant le bord du canal et le sommet de la motte :

$$\alpha_m = \frac{a + \varnothing_m}{dc'}, \quad dc' \cong dc \Rightarrow \alpha_m = \frac{a + \varnothing_m}{dc} = \alpha_i + \frac{\varnothing_m}{dc}$$

Nous obtenons une relation hyperbolique de la pente apparente en fonction de la distance de la motte au canal. En appliquant à cette relation trois pentes : 1, 2 et 3 % puis trois tailles de mottes : 2,5, 5 et 10 cm, nous obtenons trois familles d'hyperboles « taille de mottes/pente initiale » représentées dans la figure 5.04.

En traçant une parallèle à l'axe des abscisses à partir de l'ordonnée de pente 5 %, on constate qu'un certain nombre de points se retrouvent au-dessus de cette parallèle. Ceux-ci correspondent à des tailles de mottes les plus élevées. Nous vérifions ainsi nos observations visuelles selon lesquelles :

- les mottes sont à l'origine du ruissellement concentré ;

- plus grosses et plus résistantes sont les mottes, plus profond et plus durable sera le régime d'écoulement linéaire.

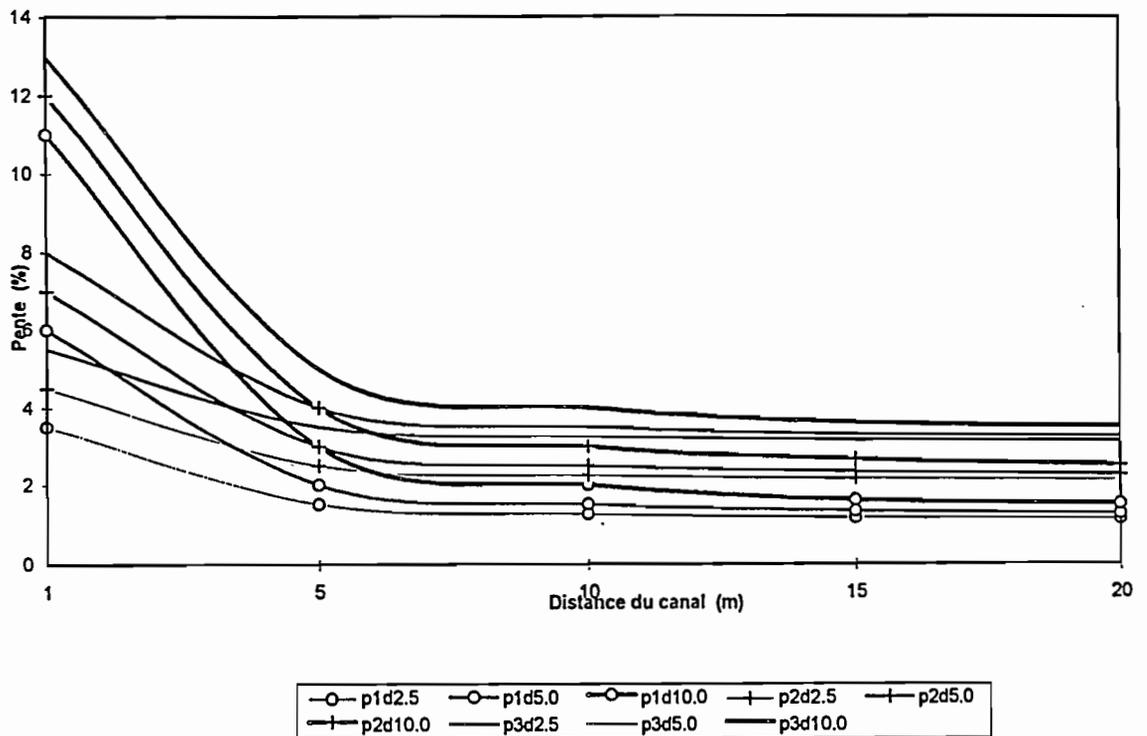


Figure 5.04 : Courbes des pentes apparentes des mottes de 2,5, 5 et 10 cm de diamètre en fonction de la distance par rapport au bord du canal et de la pente du terrain (1, 2 et 3 %)

Ces courbes montrent que les mottes les plus proches du canal présentent les pentes apparentes les plus élevées. Ce qui veut dire que la capacité de formation des rigoles est plus forte à proximité du canal. L'érosion est donc plus élevée à la proximité du canal. On confirme ainsi l'effet de proximité du canal discuté plus loin. La figure 5.05 montre l'évolution du profil de la surface du sol après le labour.

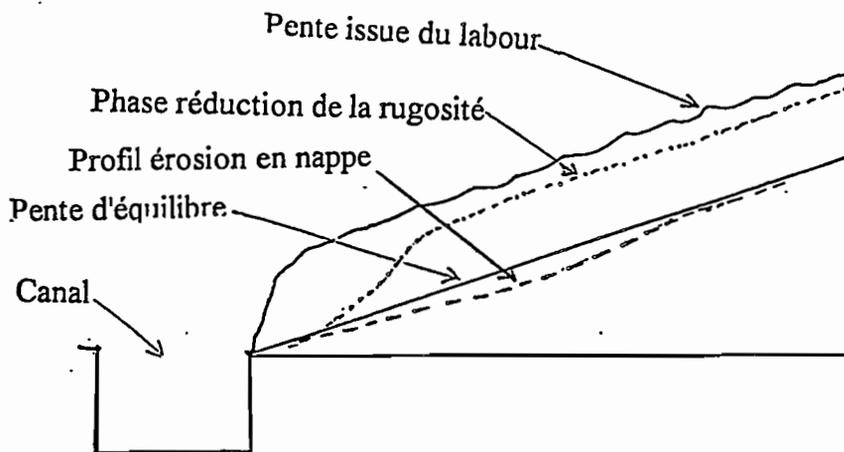


Figure 5.05 : Schéma d'évolution de la pente d'une parcelle labourée par rapport à un seuil

Cette relation peut être généralisée en considérant non pas une motte individuelle, mais l'ensemble de la rugosité de la parcelle. Sur les sols sableux à faible pente, l'initiation des rigoles dépend plus de la rugosité de la surface que du degré d'inclinaison de la pente.

Beaucoup d'auteurs ont discuté de l'importance de la rugosité vis-à-vis du ruissellement ou des pertes en terre. Lelong *et al.* (1993) indiquent que pour les sols à bon drainage interne considérés, c'est l'état de surface du sol, et en particulier sa rugosité, son humidité initiale et la présence ou l'absence de végétation, qui déterminent principalement la susceptibilité au ruissellement et à l'érosion. Alors que Rao (1994), en Inde, et Pérez (1994) au Sénégal, concluent que le rôle de la rugosité sur le ruissellement annuel moyen n'est pas significatif, Sibiri *et al.* (1995), dans une récente étude au Burkina Faso (P=800 mm), concluent que la rugosité est un facteur essentiel de la diminution du ruissellement. Cette conclusion pourrait impliquer qu'elle est aussi un facteur de réduction de l'érosion car en ralentissant la vitesse de l'écoulement elle abaisse sa capacité de transport. Comme on a vu plus haut, le principal facteur du ruissellement au niveau du sol est l'intensité de la fermeture de sa surface. Si celle-ci est élevée sur tout le trajet de l'écoulement, la vitesse du ruissellement importe peu. Par contre, si l'intensité de la fermeture de la surface du sol est faible, l'infiltration n'est pas négligeable ; tout ralentissement de la vitesse du ruissellement se répercute sur son volume.

Le rôle de la rugosité sur les pertes en terre est moins discuté que celui sur le ruissellement où les conclusions sont divergentes. S'agissant des pertes en terre, l'effet de la rugosité dépend de la stabilité du sol. Si celle-ci est suffisante pour s'opposer au creusement du lit de l'écoulement entre les mottes et à l'effondrement de celles qui sont humectées, la rugosité réduira l'érosion d'autant plus que le trajet de l'eau sera tortueux. Par contre, si le sol est instable, la rugosité favorise le détachement et les pertes en terre : les mottes - qui dans tous les cas - orientent le ruissellement, seront plus ou moins rapidement effacées en fonction de leur taille et de leur cohésion interne. En même temps, les axes des écoulements s'approfondiront jusqu'au profil d'équilibre de la parcelle ou à la surface d'un horizon stable. La rugosité apparaît comme un facteur complexe pour les pertes en terre dont l'effet est fonction de la stabilité du sol. La vitesse d'effacement de la rugosité peut être utilisée comme un indicateur de l'état de dégradation des sols sableux.

La pratique du buttage, qui est une forme de rugosité, a été comparée au non-buttage sur le bloc D. Les pertes en terre moyennes respectives sont de 34 et 40 t/ha/an. Les différences varient avec les années. En 1994, le buttage a perdu plus de terre que le non-buttage. Mais l'examen des états de surface du sol sur les deux traitements montre bien plus de dépôts de sable sur la parcelle buttée que sur la parcelle non buttée : le détachement est donc plus fort s'il y a des buttes. Par ailleurs, la modification du profil d'équilibre de la parcelle lors du buttage, en l'amenant au-dessous du niveau du bord du

canal, favorise la redistribution des sédiments dans la parcelle. Ainsi avons-nous observé qu'après une mobilisation de terre par le ruissellement le long des tiges de maïs estimée à 30 t/ha après 200 mm de pluie tombée après le buttage, les pertes en terre mesurées dans le canal pour la période correspondante n'ont été équivalentes qu'à 4 t/ha, soit 13 %.

Nous avons aussi observé que les pluies modérées, qui ne produisent que peu de pertes en terre sur les parcelles nues, provoquent sur les parcelles buttées des érosions deux à quatre fois plus élevées. En pratique, si le semis et le buttage sont réalisés perpendiculairement à la pente, les pertes en terre seront moins élevées. Mais l'accumulation de l'eau à l'amont des billons accélère la dégradation autant que les écoulements le long des tiges. Ces effets s'ajoutent à ceux des multiples remaniements du sol (labour, premier sarclage et sarclo-buttage). Au bout d'une dizaine d'années, les sols deviennent très instables : les pseudo-billons de buttage s'affaissent peu de temps après l'opération et les eaux peuvent déborder et provoquer des ravines plus graves que sur les parcelles non buttées. En Côte d'Ivoire, Roose (1977) est arrivé à la conclusion que les techniques de buttage et de billonnage étaient dangereuses pour la conservation des sols, car elles augmentent localement la pente du terrain. Au Sénégal, Nicou et Charreau (1985) ont observé que sur les sols sableux, les billons étaient progressivement détruits par les pluies. Nos observations confirment ce constat.

Bref, sur les sols sableux, la rugosité favorise le détachement des particules et la dégradation du sol, et, selon les cas, elle réduit ou majore les pertes en terre ; néanmoins le sol est dégradé.

#### **5.4.3. LES FACTEURS DU COMPORTEMENT DU ZT**

Sur les systèmes de « travail du sol réduit » ou non-travail du sol, représentés ici par la famille zérotillage (ZT), l'érosion a atteint 0,5 à 2,1 t/ha/an sur les parcelles de 1080 m<sup>2</sup>, représentatives du milieu réel. Ces pertes de terre correspondent à des ruissellements moyens annuels de 0,3 à 0,8 %. On peut penser que ces pertes en terre sont essentiellement constituées par l'érosion de la bordure de la parcelle le long du canal de sédimentation.

Si, à l'occasion des événements à pluviosité abondante, des ruissellements effectifs sont observés sur ces traitements, leur vitesse ne leur confère pas une capacité de charriage d'éléments grossiers.

Les faibles turbidités observées (0,2 kg/m<sup>3</sup> en moyenne) n'indiquent pas non plus des pertes significatives en MES au regard des coefficients de ruissellement ci-dessus.

La présence de la litière constitue le principal facteur de la protection du sol dans les systèmes de travail du sol réduit. La litière agit à la fois comme écran protégeant le sol

vis-à-vis de l'effet splash des pluies, obstacle à la concentration et à l'accélération des écoulements, et couche favorisant l'activité biologique et la macroporosité liée à celle-ci.

#### 5.4.4. EFFET D'ECHELLE

L'effet de la longueur de pente sur le ruissellement et les pertes en terre a été testé sur 20, 40 et 60 m pour les traitements Labour conventionnel et Zérotillage, et sur 20 et 60 m pour les Billons cloisonnés.

La figure 5.06 montre que pour le ruissellement, il n'y a pas d'effet d'échelle pour le labour : KRAM A/B (20, 40 m) = KRAM C (60 m). Par contre, l'allongement de la pente réduit le ruissellement de 75 % sur les billons cloisonnés et de 83 % sur le zérotillage.

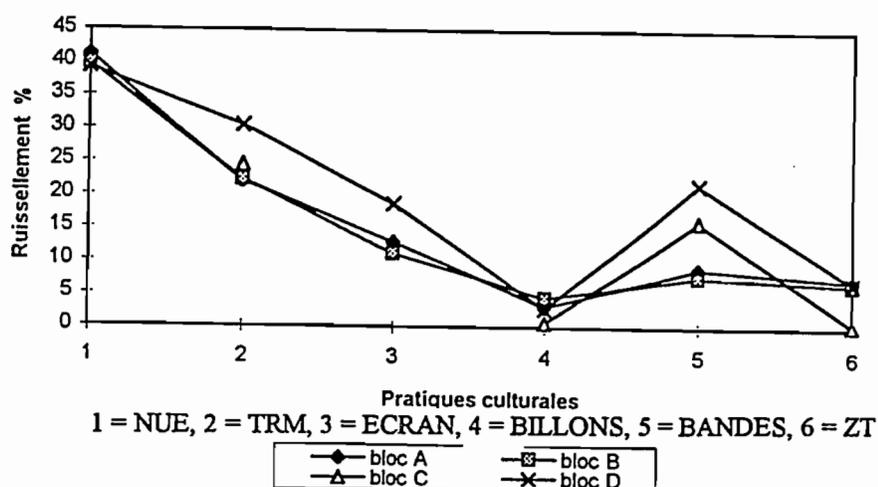


Figure 5.06 : Effet des blocs sur le ruissellement moyen annuel

Selon Bennet (1939) et Wischmeier (1978), les pertes en terre devraient augmenter avec la longueur de la pente. Les figures 5.07 a et b montrent un effet longueur de pente plutôt variable selon les années et les blocs. On voit que la réponse à l'effet d'échelle n'est stable que pour le traitement zérotillage où les pertes en terre diminuent avec la longueur de la pente quels que soient l'année ou le bloc. Cette instabilité suggère qu'il y a plusieurs facteurs qui influencent l'effet d'échelle pour la longueur de la pente.

Les premiers facteurs explicatifs sont liés aux causes de la variation de l'énergie de ruissellement le long de la pente. L'énergie de l'écoulement est liée à la relation :  $E_c = 1/2 m'V^2$

avec :

$$m' = mg \sin a,$$

m = masse d'eau ruisselante,

- a = l'angle d'inclinaison du terrain par rapport à l'horizontale,
- g = la constante de gravité,
- V = la vitesse de l'écoulement.

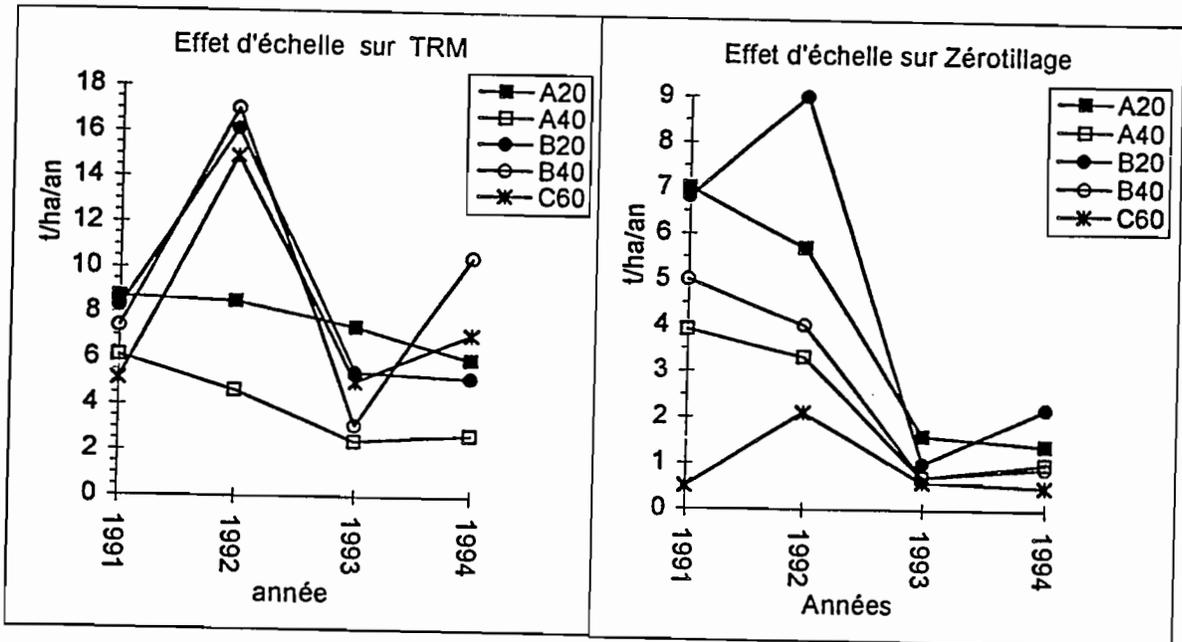


Figure 5.07 : Effet d'échelle sur les pertes en terre

Sur un terrain d'inclinaison de pente d'angle  $\alpha$ , l'énergie varie parce que la masse d'eau ou la vitesse de l'écoulement varie. A l'exclusion d'un transfert de ruissellement provenant de l'amont de la parcelle, la masse d'eau dépend uniquement de la hauteur des précipitations et de la capacité d'infiltration du sol. La pluviosité est donc un facteur de variation de l'énergie du ruissellement. On voit sur le bloc B qu'au cours des années les plus pluvieuses, le traitement labour sur 40 m, qui a le plus grand facteur d'allongement ( $L/l$ ), perd plus de terre que les autres.

L'autre facteur de variation de l'énergie du ruissellement est sa vitesse. Celle-ci dépend, pour une pente donnée, de la résistance que la surface du sol oppose à l'écoulement, principalement par sa rugosité. Comme la vitesse du ruissellement augmente au fur et à mesure que la rugosité est effacée (Boli, 1976), elle est donc liée à l'augmentation de l'érodibilité du sol. Ceci peut expliquer qu'en 1994, les pertes en terre sur les parcelles de 40 et 60 m sont supérieures à celles de la parcelle de 20 m sur le bloc B. Mais ce facteur énergie n'explique pas l'effet contraire que nous observons sur les traitements zérotillage et Billons cloisonnés sur les blocs A et B, ni sur le traitement Labour des blocs A (20 et 40 m) et B (en années peu pluvieuses).

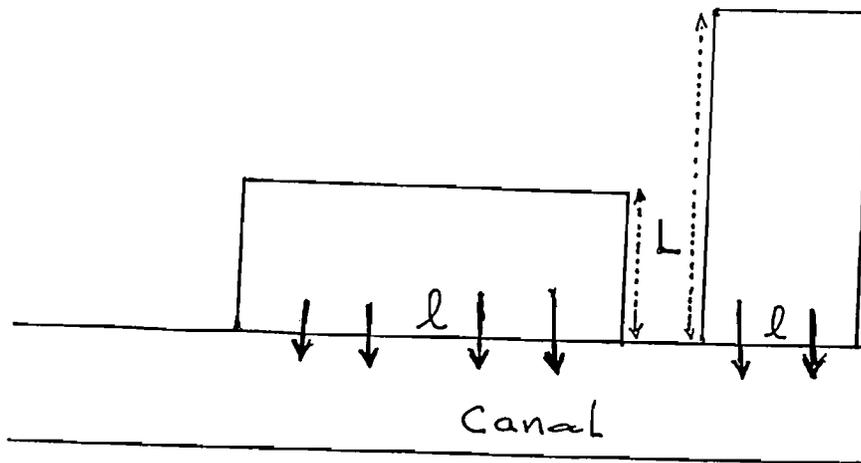
Le second facteur explicatif de la variation de l'effet d'échelle est recherché dans les caractéristiques géométriques des parcelles. Pour les billons cloisonnés en année la plus pluvieuse, le tableau 5.05 montre que les rapports des pertes en terre sont plutôt liés à ceux des largeurs des parcelles qu'à ceux des longueurs, ce qui signifie que les pertes en terre pourraient bien dépendre de la proximité du canal vis-à-vis de la surface de la parcelle.

**Tableau 5.05 :** Comparaisons des pertes en terre (t/ha/an) des parcelles de 100 et 1080 m<sup>2</sup> pour le traitement « Billons cloisonnés » aux différentes caractéristiques géométriques de ces parcelles (1992)

Blocs	Erosion 92 t/ha/an	Erosion C		Long. A ou B		Largeur A ou B	
		Erosion A ou B	Surf. C	Long. C	Largeur C		
A (100 m <sup>2</sup> )	8,4	0,25	0,09	0,33	0,27		
B (100 m <sup>2</sup> )	9,5	0,22	0,09	0,33	0,27		
C (1080 m <sup>2</sup> )	2,1	1,00	1,00	1,00	1,00		

La figure 5.08 montre que toutes choses étant égales par ailleurs, pour deux parcelles de même surface, mais orientées différemment, par rapport au canal de collecte des sédiments, celle qui a le plus petit L/l, donc le plus grand contact avec le canal, perd plus de terre.

Les terres qui sont mobilisées au voisinage du canal ont plus de chance de tomber dans celui-ci que celles qui sont plus en amont. Cet effet de la proximité du canal de collecte est prépondérant lorsque le ruissellement est incompetent (faible pente ou faible pluviosité) pour assurer l'exportation des terres transportées dans la parcelle. Ce facteur explique la variation de l'effet d'échelle pour les cas non liés à l'accumulation de l'énergie le long de la pente.



**Figure 5.08 :** Schéma de l'effet de coefficient d'allongement de la parcelle (L/l) ou de la proximité du canal de collecte sur les pertes en terre.

En résumé, l'allongement de la pente réduit le ruissellement sur les billons cloisonnés et sur le Zéroillage, mais pas sur le labour. L'effet d'échelle sur les pertes en terre est principalement influencé par la pluviosité et l'érodibilité du sol. Lorsque ces deux facteurs de l'augmentation de l'énergie du ruissellement sont peu actifs, les redistributions des terres sont privilégiées dans la parcelle. L'effet de la proximité du canal sur les pertes en terre mesurées peut alors devenir prépondérant et voiler ou inverser l'effet d'échelle. On devrait comparer les pertes en terre de parcelles ayant des facteurs d'allongement semblables

#### **5.4.5. EFFET DES MATIERES ORGANIQUES**

La restitution des résidus de culture et les apports de fumier sont généralement recommandés pour l'entretien du bilan minéral et l'amélioration des propriétés physiques des sols : augmentation de la capacité d'échange en cations, de la capacité de rétention en eau, de la stabilité structurale et de la résistance à la compaction (Ohu *et al.*, 1994). Plusieurs études montrent de fortes corrélations positives entre la teneur en matière organique et la stabilité du sol (Combeau et Quantin, 1963, 1964).

Cependant, nos résultats montrent qu'au bout de quatre ans, l'enfouissement de fumier ou de résidus de culture (maïs, cotonnier) n'améliore pas toujours de façon significative le taux de carbone du sol ni ne réduit le ruissellement et l'érosion, ou du moins que le résultat dépend des blocs : positif pour le bloc A, plutôt négatif pour le bloc B (fig. 5.09) ci-dessous.

Ces résultats montrent que des trois formes d'utilisation des matières organiques testées : paillage, enfouissement des résidus ou de fumier, seules les matières organiques posées en surface assurent de façon instantanée, la protection du sol contre l'érosion. Les formes fumier et résidus enfouis semblent avoir des effets, mais très progressifs à partir de la troisième année.

En Inde, Rao *et al.* (1994) ont observé sur des sols sableux en zone semi-aride, que l'effet des amendements organiques sur la réduction du ruissellement et de l'érosion ne se faisait sentir que graduellement. La durée d'essais semble avoir été trop courte pour permettre de conclure sur ce point. La poursuite des observations sur ce point est tout à fait importante.

#### **5.4.6. EVOLUTION DE LA PENTE DU SOL PAR RAPPORT AU SEUIL**

Le phénomène de l'érosion est défini comme étant l'ensemble des processus de détachement, de transport et de dépôts des particules terreuses sous l'impact de différentes énergies. Le dépôt peut avoir lieu dans le champ ou au-delà de celui-ci. Déposés dans le champ, les sédiments peuvent être une source de baisse de rendements (Lal, 1988). Les photos n° 2 et 34 montrent l'enfouissement partiel ou total de plants, conduisant à la baisse de la productivité.

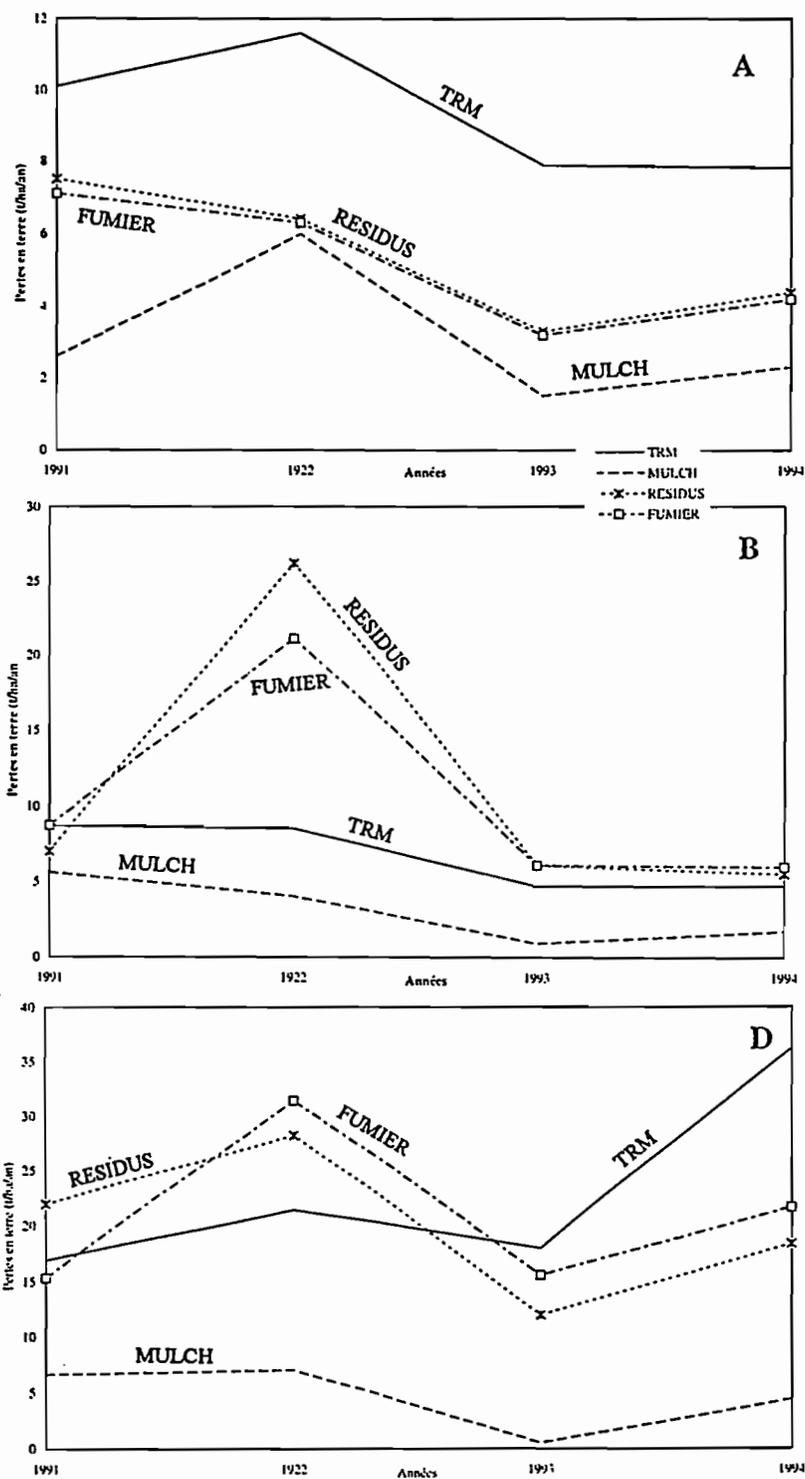


Figure 5.09a, b, d : Effets des différentes formes de matière organique sur les pertes en terre

D'après Risse *et al.* (1993), le modèle USLE est destiné seulement à la prévision des pertes en terre sur des segments de champs rectilignes. Il ne permet pas de prévoir la sédimentation dans les segments à pentes complexes, tels que le bas de champ.

L'analyse, la compréhension et la prédiction de l'érosion, et particulièrement des dépôts dans les champs à pentes complexes, nécessitent l'exploration de facteurs complémentaires à ceux de l'USLE.

Les faits d'observation suivants nous amènent à proposer la notion de « seuil » comme un facteur d'analyse et de prévision de l'érosion en champ.

1. Chaque labour remonte le profil topographique par rapport au seuil ;
2. Dans le bloc D, à sol très instable, l'approfondissement des rigoles a été freiné par le bord du canal (seuil), lequel a réglé la pente d'équilibre de la parcelle ;
3. Sur les parcelles non labourées, chaque fois que le bord du canal est au-dessous du niveau de la surface du sol, il s'installe une érosion décapante remontante à partir du bord du canal jusqu'à l'alignement de la pente sur celui-ci ;
4. Par contre, si le bord du canal se trouve au-dessus du niveau de la pente d'équilibre de la parcelle, il y a sédimentation devant le canal.
5. On peut définir le facteur « seuil » comme étant un volume de matière stable qui, placé perpendiculairement au sens des écoulements de l'eau et pris dans la masse du sol, fait obstacle au creusement des rigoles.

Ces observations nous amènent à tirer deux conclusions.

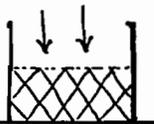
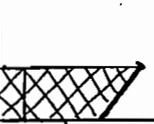
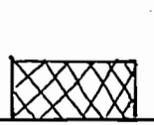
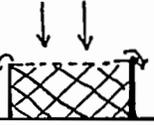
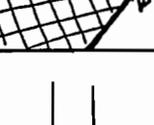
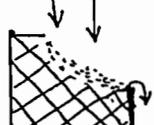
Premièrement, la gestion des parcelles d'érosion, particulièrement sur des sols fragiles, est une opération délicate, très sensible à la micro-topographie.

Deuxièmement, le seuil se distingue ainsi des structures de ralentissement de la vitesse des écoulements (haies vives, bandes enherbées), mais une structure de ralentissement des écoulements peut aussi jouer le rôle de seuil.

La considération du seuil comme facteur d'érosion à l'échelle de la parcelle est analogue à la notion de niveau de base des géomorphologues.

Pour illustrer l'effet « seuil » (tableau 5.06), nous nous référons à un modèle commun et simple en agronomie, celui du vase de végétation. Dans ce modèle, les agronomes ne s'intéressent qu'à la solution du sol et au support qui peut être du sable, de la terre ou une matière organique. Ils s'intéressent rarement au vase, c'est-à-dire au contenant, celui-ci étant presque toujours tenu verticalement.

**Tableau 5.06 : Evolution de la pente du sol par rapport au seuil**

Niveau du seuil	Inclinaison ( $\alpha$ )	Forme initiale	Initialisation du processus	Forme d'équilibre	Processus géomorphologique	Processus pédologique
au-dessus	$\alpha = 0$			inchangé	endoréisme	salinisation et/ou hydromorphie
du niveau du sol	$\alpha > 0$				colluvionnement et aplanissement	érosion en nappe ou rigole colluvionnement
au niveau	$\alpha = 0$			inchangé	battance et triage	appauvrissement
du sol	$\alpha > 0$				aplanissement	érosion en nappe ou rigole appauvrissement et pertes en terre
au-dessous	$\alpha = 0$				affouillement inclinaison aplanissement	appauvrissement érosion décapante érosion en nappe
du niveau du sol	$\alpha > 0$				affouillement	érosion accéléré en nappe, linéaire et décapante

D'après Boli, 1996

Si par contre, nous inclinons le vase de végétation d'un angle  $\alpha$ , et que nous l'agrandissons, nous nous retrouvons dans les situations de terrain naturel. Les principales variables de l'évolution de ce système sont alors :

- l'inclinaison du terrain a par rapport à l'horizontale ;
- la cohésion du support ;
- les niveaux relatifs du support et du vase.

On constate que si le seuil est stable, l'érosion assure une fonction d'aplanissement, quel que soit l'état initial de la surface du sol.

La considération de ce facteur permet de prévoir et de gérer la sédimentation en bout de champ.

#### **5.4.7. CONCLUSION**

Le comportement des deux grandes familles de systèmes de culture vis-à-vis de l'érosion, le système traditionnel et le système conservateur, montre que les pratiques culturales sont la principale cause de ruissellement, d'érosion et de la dégradation des sols sableux des glacis de la région.

Le travail du sol laissant le sol nu après le semis entraîne des pertes en terre grossières et de matières en suspension très élevées, respectivement dix et trente fois de plus que sur les systèmes non travaillés et recouverts d'une litière. Ces pertes en terre élevées déséquilibrent le bilan de matières et l'organisation du sol. Elles remettent en cause la durabilité des systèmes culturels conventionnels.

La fragilité d'un sol est fonction du système de culture. On peut donc stabiliser un sol dégradé en changeant de système cultural. Sur les sols sableux, sols à faible stabilité structurale, le billonnage et le buttage accélèrent le détachement. La rugosité n'est pas en elle-même un facteur suffisant de protection vis-à-vis du ruissellement et de l'érosion : elle réduit et ralentit le ruissellement si le sol est stable, mais par contre, favorise la désagrégation et le détachement, si le sol est instable. La pluviosité et la stabilité du sol, qui sont les principaux facteurs de la variation de l'énergie du ruissellement le long d'une pente, interviennent interactivement avec la rugosité.

Les pratiques culturales qui respectent les organisations naturelles du sol (non dégradé) et maintiennent une litière à la surface, réduisent les risques érosifs à un niveau tolérable.

#### **5.5. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES PRATIQUES AGRICOLES CONVENTIONNELLES ET CONSERVATRICES VIS-A-VIS DES RISQUES LIES AUX ALEAS CLIMATIQUES**

Les résultats présentés au chapitre 4 montrent quatre principaux risques liés aux aléas de pluviosité, en relation avec le sol : sécheresse, battance, érosion et asphyxie racinaire. Ces risques sont discutés sous deux groupes : les effets de sécheresse et les excès de pluviosité. Nous n'aborderons pas les risques phytosanitaires liés à la pluviosité que nous n'avons du reste pas rencontrés au cours des quatre années.

##### **5.5.1. EFFET DE SECHERESSE**

Ce risque est le plus reconnu et le plus médiatisé en Afrique soudano-sahélienne sans qu'il soit établi qu'il est le plus généralisé dans l'espace et/ou le plus fréquent.

Pour les cycles culturaux pluviaux, la sécheresse est plutôt due à une mauvaise répartition des précipitations qu'à une insuffisance de celles-ci. Le déficit hydrique entraîne une réduction des flux d'eau et des nutriments entre le sol et la plante. La croissance est réduite ou stoppée, le flétrissement et la dessiccation pouvant intervenir si l'état de sécheresse persiste.

Les besoins respectifs minima du maïs et du cotonnier sont de 200 mm et 400 mm ; ils ne représentent que le 1/5 et les 2/5 de la pluviosité de l'année sèche de fréquence décennale sèche que nous avons enregistré en 1993. Dans cette étude, une année sèche correspond à celle où il n'y a pas de séries de pluies intenses au cours des deux premiers mois suivant le semis. Au cours de cette année sèche, une disjonction est apparue sur la famille Ecran pour le critère rendement, due partiellement à une plus forte sensibilité du cotonnier à la réduction de l'éclairement sous l'ombrière. En ne considérant que les résultats du traitement Mulch (2,6 ; 2,2 et 1,6 t/ha de coton graine pour les blocs A, B et D) à la place de la famille Ecran sur le tableau 4.33 (§ 4.2.1.1), nous constatons :

- sur les parcelles d'érosion (cf. tabl. 4.33), que les moyennes des rendements sont très comparables pour les traitements labour conventionnel (TRM), labour +paillage (MULCH) et zéro tillage (ZT) : TRM = MULCH = ZT (2 t /ha de coton graine) ; pour chaque traitement, on note cependant des différences sensibles entre blocs ;
- le TRM donne un rendement inférieur à celui du MULCH de 0,3 et 0,5 t/ha sur les blocs A et B ; le MULCH donne le meilleur rendement sur le bloc A (2,6 t/ha) après le traitement Fumier ;
- le ZT donne un rendement nettement moindre sur le bloc dégradé (D) (1,2 t/ha) par rapport à la moyenne des rendements des 4 blocs (2 t/ha) ; le ZT décompacté sur ce bloc donne par contre un rendement de 1,9 t/ha, mettant en évidence que la compaction est une contrainte dans le bloc D ;
- la comparaison des rendements des 3 traitements sur les blocs A et B, montre une supériorité des traitements couverts (MULCH et ZT) sur le TRM en année sèche. L'essai fractionnement de la fumure azotée confirme ce résultat. En cette année, il n'y a pas de réponse à la fumure, mais plutôt à la couverture du sol ; la moyenne des rendements du MULCH (4 t/ha de maïs grain) est statistiquement supérieure au rendement de TRM (3,2 t/ha). La même réponse à la couverture du sol plutôt qu'à l'engrais, est aussi observée sur le ZT.

On peut expliquer cet avantage du traitement couvert par l'apparition d'un déficit hydrique plus accentué sur les parcelles non couvertes que sur les parcelles couvertes. De nombreux facteurs concourent à la péjoration de ce déficit :

1. d'abord, l'infiltration est plus faible sur les systèmes non couverts (TRM) ;

2. en se desséchant, le sol nu de TRM se fissure (OPS), offrant une plus grande surface d'échange direct entre le sol et l'atmosphère, et l'échauffement de la surface du sol est plus grand ;
3. les plantes, généralement plus vigoureuses sur TRM du fait de l'effet favorable du labour sur le système racinaire, doivent satisfaire une demande évaporative plus élevée.

On comprend donc qu'une pluviosité déficitaire pénalise plus la productivité du système conventionnel que celle des systèmes couverts où les pertes d'eau par ruissellement et par évapotranspiration sont minimisées. Toute action tendant à la limitation de ces pertes participe de la gestion du risque de sécheresse.

La couverture du sol par un paillage s'est montrée très efficace pour la réduction des pertes par ruissellement et par érosion, ce d'autant que le profil n'est pas perturbé par un travail du sol ou par une compaction. L'incorporation de la matière organique dans le sol réduit aussi les pertes, la capacité de rétention étant améliorée. Cependant, dans les zones climatiques plus sèches de l'Afrique de l'Ouest, certains auteurs (Nicou *et al.*, 1990 ; Ofori *in* FAO, 1993) ont trouvé que le labour était plutôt une pratique favorable à l'économie de l'eau.

Il est très difficile de corriger le risque de sécheresse dans les systèmes agricoles pluviaux. On peut seulement le prévenir en semant aux dates pour lesquelles la probabilité d'apparition des séquences de sécheresse est la plus faible. Cette solution atténue les effets de ce risque sur un long terme. Mais les semis retardés vers la phase la plus stable de la saison des pluies, exposent la culture aux risques des excès de pluviosité. Le recours à la couverture du sol par une litière, là où celle-ci est disponible, paraît le meilleur moyen pour le contrôle de ce risque.

### **5.5.2 EFFETS DES EXCES DE PLUVIOSITE**

Les risques liés aux excès de pluviosité sont dus à l'intensité ou à la hauteur des pluies individuelles, à la hauteur totale des précipitations durant le cycle cultural ou aux séries de pluies. Ici nous étudierons les risques de battance, d'érosion et d'asphyxie racinaire liés respectivement aux fortes intensités des pluies, à l'énergie globale apportée par les pluies et aux séries de pluies.

#### **5.5.2.1. Risque de battance**

Par battance, il faut entendre le travail des gouttes de pluie et les restructurations de l'horizon superficiel qu'elles impriment au sol. Les effets de la battance se produisent sur un sol nu et sont fonction de l'intensité de la pluie.

Les résultats présentés au § 4.11, montrent combien les orages sont intenses dans cette région. Des intensités de pluie maximum durant 30 minutes ( $I_{\max 30'}$ ) égaux ou supérieurs à  $60 \text{ mmh}^{-1}$  sont observées plusieurs fois pendant la période de semis. Une seule pluie peut compromettre une récolte dès la levée. Les effets de la battance se manifestent par le tassement du sol au-dessus des semences ou par la mobilisation des agrégats de terre recouvrant celles-ci par l'effet "splash". Ce risque est particulièrement dangereux entre le semis et les premières semaines qui suivent la levée. Sur les sols sableux, son effet consiste à la diminution du pourcentage de plants à la levée, résultant soit du recouvrement des semences par des organisations pelliculaires superficielles (OPS) induites qu'elles ne peuvent briser pour émerger (Boiffin, 1984 ; Letey, 1985), soit de la mise à nu des semences ou de l'arrachement des jeunes pousses exposées au soleil ou au ruissellement. Le résultat final est la réduction du nombre de plants à la récolte, s'il n'y a pas de resemis.

Le tableau (cf. 4.38) montre que les traitements non couverts sont les plus vulnérables au risque de battance. Les jeunes plants sont surtout affectés sur les sols fragiles lorsque la couverture du sol n'est pas suffisante. Il est la principale cause de la réduction des rendements sur les billons cloisonnés par rapport au TRM. Nous avons observé que cet effet battance affectait plus les blocs *B* et *D* que *A* et *C*, relevant ainsi la fragilité du bloc *B*, liée à sa texture et l'instabilité du bloc *D*, due à son état de dégradation très avancé.

Dans cette zone climatique, ce risque de battance entraînant la fonte des semis n'est pas rare. Pontanier (1981), avait déjà observé des pertes à la levée de plus de 50 % sur les parcelles en système intensif de la Sodecoton.

La battance du sol par les pluies intenses est le principal facteur de la désagrégation, du détachement et de la mobilisation initiale des agrégats ou des particules de terre. Elle constitue la phase initiale du phénomène de l'érosion. Si l'on opte, sur ces sols sableux, pour le système de culture comportant un labour, on aura donc intérêt à semer après une pluie qui aura relativement stabilisé le sol après le labour. La solution la plus efficace est dans ce cas aussi le maintien d'une litière à la surface du sol.

#### **5.5.2.2. Le risque d'érosion**

Le risque d'érosion consiste ici en des pertes en eau et en terre par une parcelle cultivée. Il constitue pour la productivité végétale, certainement, le risque le plus permanent et le plus dangereux. Sur le système conventionnel maintenant le sol nu, il se caractérise par une spoliation des facteurs de fertilité du sol (eau, matière organique, argile, limons, nutriments naturels, engrais minéraux et organiques, etc.), l'entraînement des semences, l'arrachage et l'enterrement des plants. Il accentue les effets de la sécheresse et modifie la topographie du sol.

On a vu sur le tableau 4.39 que les pertes en terre augmentent avec la pluviosité et que plus une parcelle perd son fumier (photo 40) dans les terres érodées, plus son rendement est réduit, d'où l'intérêt des systèmes de culture « conservateurs » du sol (MULCH, ZT...) :

- pour un labour recouvert d'une litère (MULCH), on constate que les pertes en terre totales sont faibles (3 t/ha/an) sur la nouvelle défriche et modérées (7 t/ha/an) sur sol dégradé avec une participation des MES de 77 % ; ces pertes en terre sont trois à cinq fois plus fortes sur le témoin conventionnel ;
- pour les systèmes conservateurs (ZT), les pertes en terre sont encore plus faibles (2,7 t/ha/an), soit quatre fois moins que sur le labour témoin en nouvelle défriche et treize fois moins sur le sol dégradé ;
- on peut dire que lorsque le mulch et les systèmes conservateurs sont bien couverts de litière, le risque d'érosion ne les affecte pas de façon sensible.

L'érosion naturelle est généralement lente et insidieuse. Pour étudier les effets à long terme que nous ne pouvions pas observer sur les parcelles d'érosion naturelle en quatre ans, nous avons recouru au décapage centimétrique des horizons superficiels.

Les résultats de cet essai confirment les observations obtenues sur le traitement Fumier des parcelles d'érosion. Le décapage des cinq premiers centimètres entraîne une baisse de rendement de 30 % par rapport au témoin non décapé, contre 4% seulement pour les 5 cm. suivants, malgré l'apport de l'engrais NPKSB. Les observations au champ et les analyses de laboratoire montrent que la matière organique et le zinc, sont les éléments dont les teneurs ont baissé dans le même sens que celui du rendement. L'impact de l'érosion sur le rendement consiste donc bien, dans ce cas, à priver le sol de ses facteurs de fertilité (MO, engrais minéraux, argile, limon, fumier, etc.). Tous les horizons du sol n'ont pas la même valeur et l'impact de l'érosion dépend donc de la répartition des facteurs de fertilité limitants sur le profil. Cet impact est variable en fonction de la partie du végétal concernée. Dans l'essai décapage, l'amplitude maximale de variation du rendement grain entre le témoin non décapé et les traitements décapés est de 56 %, contre 21 % pour les pailles.

L'érosion naturelle est très préjudiciable à la productivité, car les facteurs de fertilité limitants sont concentrés dans l'horizon de surface d'une part, et les engrais minéraux vulgarisés épandus à la surface ou enfouis à faible profondeur, ne compensent pas tous les effets des terres perdues. Pour des sols dont l'essentiel de la fertilité est concentré à la surface, on ne peut pas valablement estimer l'impact de l'érosion à partir du tonnage ou de l'épaisseur de terre perdue. Nous avons comparé les baisses de rendement dues à l'érosion naturelle dans les parcelles traitées au fumier, à celles observées après le décapage des cinq premiers centimètres du sol (0.013 t/ha/mm). On a pu calculer avec les données des blocs B et D du traitement TRM-Fumier que pour une perte en terre donnée,

les pertes en rendement sont 17 fois plus élevées sous érosion naturelle que sous érosion simulée, et plus de 100 fois si on raisonne sur le bloc A.

La relation de causalité entre l'érosion hydrique et le rendement n'est pas toujours aisée à définir. En Afrique de l'Ouest, Charreau (1968) constate qu'aux érosions élevées correspondent des rendements faibles ou nuls. Mais il indique en outre que cette relation peut être bi-univoque, une culture ratée pour une autre cause pouvant être à l'origine d'une forte érosion. Au Nigéria, Lal (1988) a quantifié les effets de l'érosion sur les rendements de maïs et de niébé. Il montre que les rendements des deux cultures baissent de façon exponentielle avec les augmentations de l'érosion cumulative des parcelles. Il indique que les coefficients de corrélation élevés obtenus (0,85 à 0,99) témoignent de l'ampleur des modifications des propriétés du sol induites par l'érosion. Selon cet auteur, en plus d'une réduction drastique de l'eau disponible, le décapage a contribué à la réduction du rendement par l'apparition des carences en oligoéléments et des toxicités d'aluminium et/ou de manganèse. Toujours au Nigéria, Lal (1988), comparant l'effet du décapage superficiel à celui de l'érosion naturelle sur le rendement de maïs grain, trouve que l'érosion naturelle sélective réduit de 16,2 fois plus vite le rendement que le décapage artificiel.

Nous pensons cependant que la comparaison entre les résultats obtenus sur les parcelles soumises à l'érosion naturelle à ceux obtenus avec le décapage artificiel n'est pas objective, en particulier sur les sols sableux où les redistributions dans la parcelle peuvent être prépondérantes. L'érosion évaluée dans ce cas à partir des terres exportées, sous-estime la dégradation dans la parcelle dont seuls les produits fins et la MO sont quasi totalement exportés dissous ou en suspension.

En définitive, le labour conventionnel, bien que donnant des rendements élevés à court terme, est très sensible à moyen terme au risque d'érosion. Le paillage du sol et l'enfouissement de fumier constituent sa meilleure amélioration.

En raison de ses effets dans les champs et des conséquences dans l'environnement global, ce risque est de plus en plus reconnu. Dans son bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara, Piéri (1989) indique que l'érosion et le déficit du bilan organique sont les deux causes fondamentales de la dégradation de la productivité agricole des terres de cultures pluviales en zone de savane au Sud du Sahara. Il ajoute que sans la maîtrise de l'érosion, il est vain de tenter de contrôler le bilan organique des sols cultivés par quelque technique que ce soit. En Europe, De Ploey (1990) a estimé le coût annuel de l'érosion à dix milliards de Francs français, non compris la valeur propre du sol. Wichereck (1994), étudiant l'érosion des grandes plaines de l'Europe, relève que la maîtrise de l'érosion est l'une des clés du développement agricole durable.

La reconnaissance de ce risque, aussi vieux que l'agriculture, ne suffit pas pour l'enrayer ou le contrôler. Il est important d'orienter les actions. Hudson (1988), dans une étude sur les stratégies futures de la conservation des terres, indique que la base de celle-ci doit être l'amélioration de la gestion des terres à travers des systèmes de vulgarisation et de recherche intégrés, et non à travers des services séparés de conservation des sols.

L'érosion est donc un problème agronomique qui doit trouver la réponse dans la parcelle cultivée, d'où le concept de la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (Roose, 1994).

### 5.5.2.3. *Le risque d'asphyxie racinaire*

Le risque d'asphyxie ou d'anoxie racinaire résulte des effets des séries de pluies sur les systèmes couverts. Il correspond à l'engorgement de la macroporosité pendant des temps courts (moins de 48 heures) et se produit sur toutes les situations où la pluviosité est étalée et la porosité du sol protégée par un écran vis-à-vis de l'impact des gouttes de pluie, ou bien lorsque les conditions de sol et de terrain ne permettent pas un drainage rapide. Il se manifeste par la perte de vigueur et le jaunissement des plantes cultivées. Celles-ci sont d'autant plus sensibles à ce risque qu'elles sont jeunes, car leur système racinaire est encore peu diversifié. L'asphyxie racinaire peut se manifester sur le labour conventionnel (TRM), après un labour de reprise d'une jachère ; l'abondant système racinaire des graminées évolue dans ce cas en mulch au fur et à mesure qu'il est mis à nu par la battance. Hormis ce cas, les systèmes conservateurs sont les plus sensibles à ce risque. En années comportant des séries de pluies, le rendement du ZT est très réduit par rapport à celui de TRM ou du MULCH :

	Rendements (en t/ha/an)	
	Années avec séries de pluies (maïs, moy. 1992 et 1994)	Années sans séries de pluies (coton, 1993)
Zéro tillage	1,9	2,0
Labour témoin	4,3	2,0
Mulch	3,9	2,1

Le labour recouvert d'une litière qui limite la baisse de rendement en année sèche, n'est pas très affecté par l'effet des séries de pluies. Au total, il paraît être le traitement le plus favorable pour la stabilité des rendements.

Les essais de fractionnement de l'engrais azoté confirment ce constat en année sèche comme en année humide (avec séries de pluies). Ils montrent aussi qu'en année comportant des séries de pluies, le risque d'asphyxie racinaire peut être corrigé sur le zéro tillage, grâce à une fertilisation azotée adaptée à la pluviosité.

	Rendements (t/ha/an)		
	ZT	TRM	MULCH
Fertilisation vulgarisée (TRM)	2,5	3,3	3,6
Fertilisation adaptée (ZT)	3,4	-	-

Deux autres résultats de cet essai indiquent que les facteurs de variation de l'effet des séries de pluies, sont le volume cumulé des eaux apportées par les pluies de la série et la vitesse d'aération ou le drainage du sol.

Les résultats précédents montrent que :

1. C'est l'interaction de la couverture du sol avec la pluviosité qui détermine la productivité des systèmes conservateurs. L'infiltration pour le traitement ZT est de 94 % du volume des précipitations contre 65 % pour le TRM et 85 % pour le Mulch. Des événements pluvieux très rapprochés créent d'abord un engorgement temporaire du ZT avant celui du Mulch. Le ZT ne disposant pas de réserve de macroporosité ni de mécanisme de fermeture de sa surface, subit intégralement l'intensité des pluviosités abondantes, d'où un engorgement plus précoce et prolongé de sa macroporosité et des conséquences plus sévères sur les plantes. Celles-ci pâlisent et jaunissent quelques jours après, en fonction de l'intensité de l'engorgement. La croissance est ralentie et les feuilles de coloration normale ne réapparaissent que lorsqu'une période sèche s'installe. Ce phénomène, connu des agronomes et souvent rencontré en première année de défriche sur sol labouré, est désigné par certains comme une « faim d'azote », par d'autres comme un « arrière effet jachère ».
2. Dans ces systèmes de culture, le rendement dépend plus de l'équilibre de la répartition des fluides (eau et air) dans la macroporosité du sol disponible que des techniques culturales ou des espèces végétales cultivées. Cet équilibre est exprimé par une intensité d'asphyxie des plantes ou d'engorgement de la macroporosité. Elle est fonction de l'intensité des séries de pluies et des caractéristiques de drainage du profil.
3. Le labour couvert d'une litière, intermédiaire entre TRM et ZT, a plus d'eau disponible par rapport à TRM en année sèche, et moins d'excès d'eau en année humide que ZT. Le comportement de ce traitement dégage deux fonctions spécifiques du labour dans cette zone climatique : la création d'une macroporosité à l'air, fonctionnelle pendant la phase la plus sensible des plantes, et la contribution à la fermeture rapide du sol, limitant l'infiltration.
4. On peut corriger les effets du risque d'asphyxie racinaire par une fertilisation azotée adaptée à la pluviosité, si l'intensité de l'asphyxie n'a pas atteint un seuil critique. La date d'apport de la fumure azotée par rapport aux séries de pluies est déterminante pour la correction de ce risque.

De nombreux chercheurs ont publié des résultats sur la productivité des systèmes conservateurs. Nous comparons certains d'entre eux aux nôtres malgré la difficulté due au

manque d'indication sur le traitement exact utilisé (présence d'une litière suffisante sur le sol ou non). Comme le dit Ofori, *in* FAO (1993), ce manque de précision entretient une confusion et limite l'exploitation des résultats publiés.

En Afrique de l'Ouest, Nicou et Charreau (1985) indiquent que le cotonnier est moins sensible à la résistance mécanique du sol que le maïs et le riz. Par rapport au témoin labouré, le cotonnier en semis direct accuse une diminution de rendement graine de 17 % contre 50 et 103 % pour le maïs et le riz respectivement.

Au Brésil, Séguy et Bouzinac (1995) ont comparé semis direct sous paillis (ZT), labour à soc, travail aux disques « offset » et scarification profonde sur des cultures de maïs, soja et riz. Après six ans, ils concluent que le maïs est la plante la moins sensible au mode de travail du sol, les variations de productivité ayant été inférieures à 10 %. Pour le riz, le rendement obtenu avec le labour peut quadrupler par rapport aux disques « offset » et au semis direct en année à pluviosité excédentaire. Au Nigéria, Couper, Lal et Classen (1979), comparant le zéroillage au travail du sol conventionnel en système intensif mécanisé sur des parcelles de maïs de cinq hectares, trouvent en années à pluviosité non déficitaire, une supériorité du ZT (4,5 à 5 t/ha de maïs grain) sur le système conventionnel (4,0 t/ha). Ils indiquent que la perte de rendement observée dans le système conventionnel est due à l'érosion malgré l'aménagement du terrain en terrasses. Toujours au Nigéria, Rodriguez et Lal (1979) ont trouvé, dans des rotations maïs-maïs et maïs-niébé, que le ZT était dans les deux cas supérieur au système conventionnel : 5,1 contre 4,0 t/ha et 5,3 contre 4,5 t/ha de maïs grain dans les deux rotations respectives.

En France, Caneill et Bodet (1991), se basant sur des résultats de longue durée sur diverses cultures, trouvent, pour le maïs, que le labour est supérieur au semi-direct de 0,7 à 1,0 t/ha. Ils indiquent que les moyennes sur de longues durées cachent certaines interactions année-traitement. En général, ils constatent que le rendement du semis direct est pénalisé dans les conditions anoxiques prolongées induites par le climat ou le sol après la montaison (cas du blé).

Ces résultats sont concordants avec les nôtres. En particulier, il ressort, tant au Brésil qu'en France, que les baisses de rendements observées avec le zéroillage, sont dues à des conditions de pluviosité excédentaires. Lorsque le sol ne présente pas une contrainte mécanique particulière (dégradation par compaction), la productivité est égale dans les deux systèmes (que ce soit pour le maïs ou pour le coton).

Aux USA, Letey (1985) indique que toutes les plantes cultivées sont sensibles aux flux d'oxygène, bien avant que des conditions de restriction sévères ne s'installent dans le sol. Toujours aux USA, plusieurs auteurs (Huck, 1970 *in* McMichael Whitney, 1941 ; Hake *et al.*, 1990, 1992) ont étudié le rôle de l'oxygène dans la croissance des racines et

les conséquences d'un faible renouvellement de l'air sur la plante, particulièrement sur le cotonnier. On en retient :

- que la croissance des racines du cotonnier est très sensible aux variations de flux de O<sub>2</sub> dans le sol ; que celle-ci s'arrête lorsque le taux de O<sub>2</sub> tombe à 5 % et elle meurt après trois heures de purge d'O<sub>2</sub>. Elle est aussi sensible à l'air chaud et à l'humidité ;
- l'état d'asphyxie racinaire induit une carence en azote. Elle se caractérise par la décoloration des feuilles basses et une croissance retardée (entre-noeuds courts).

Au Nord Cameroun, Ekorong (1995), étudiant l'incidence de la pluviosité sur la teneur en nitrates des sols ferrugineux tropicaux, trouve que la baisse des nitrates intervient à partir d'une humidité du sol pondérale supérieure à 12 %. Cette condition est généralement remplie aux dates de semis vulgarisées : fin mai-fin juin. Au cours d'une série de pluies de trois jours, les nitrates ont diminué en fonction de la teneur en eau du sol. L'auteur n'a pas observé une baisse de nitrates après une pluie isolée.

Nos observations et nos résultats agronomiques sont concordants avec ces résultats physiologiques. L'effet des séries de pluies apparaît donc nettement comme la cause principale de la variabilité de la productivité des systèmes de culture couverts. Elles induisent dans les conditions de pH de nos sols, une carence en azote qui peut être corrigée par l'apport de l'engrais azoté. Dans les situations climatiques où les risques de pluviosités abondantes et longues sont présents, la fertilisation des systèmes de culture conservateurs doit être adaptée à la pluviosité et aux caractéristiques de ruissellement et le drainage des sols. Deux solutions sont envisageables pour la prévention ou la réduction de ce risque :

- L'apport de l'azote, de préférence sous forme d'engrais foliaire (liquide). Cette solution peut être inefficace si la série de pluies est très longue. Dans ce cas, si on apporte l'engrais au sol entre deux pluies, celui-ci peut être réduit autant que les nitrates du sol. Si on attend la dernière pluie de la série, l'intensité du trouble physiologique peut avoir franchi le seuil de réponse à l'engrais azoté.
- On arrive à la deuxième solution qui consisterait à semer tôt pour échapper aux séries de pluies très longues. Cette solution n'est possible pour ce système que s'il y a des résidus de culture en surface, ce qui dans les conditions actuelles, n'est pas réaliste.

Tout comme pour les risques de sécheresse, de battance et d'érosion, le labour recouvert d'une litière se montre comme le principe le plus efficace de la stabilité des rendements. Les solutions au problème de la disponibilité de la biomasse végétale au moment des semis faciliteront la vulgarisation de cette pratique.

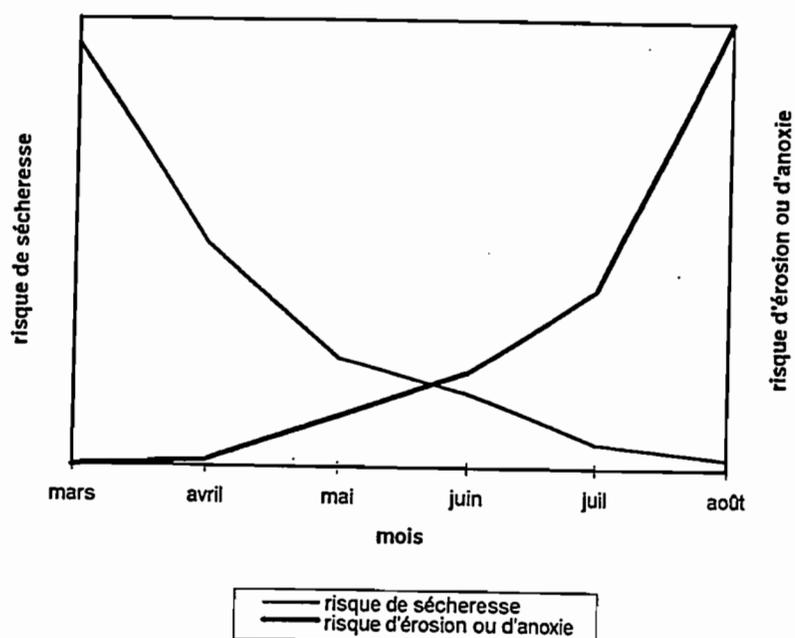
Ce résultat sur l'effet d'excès d'eau temporaire sur la productivité de ce système de culture, nous amène à soulever la question de la pertinence de certaines corrélations

entre des variables relevant de systèmes complexes. Nous voulons parler ici de l'"effet de nuage" en rapport avec de nombreux essais date de semis très pratiqués en agronomie. En Afrique tropicale humide et soudanienne où les pluies de mousson sont fréquentes, on constate presque toujours que les dates de semis retardées donnent des rendements plus faibles. L'explication généralement avancée est la baisse de l'ensoleillement, suggérant soit une baisse de la température du sol, soit celle de la luminosité. Nous venons d'ajouter à ces deux facteurs la pluviosité. On a vu que plus on avance dans la saison des pluies, plus la probabilité d'occurrence des séries de pluies augmente. Il y a un risque d'expliquer par un faible ensoleillement, un effet dû aux séries de pluies. Le principal facteur est en effet le nuage qui s'interpose entre le soleil et le sol. Dès qu'il s'installe, la luminosité diminue, la température peut baisser, il peut pleuvoir ou non. A chaque fois, il y a possibilité d'avoir deux ou trois facteurs indépendants induits par le même nuage. Il est important qu'on s'assure que la valeur du facteur explicatif a vraiment atteint le seuil de nuisance avant de lui attribuer l'effet observé sur le développement végétal.

### *5.5.3. Recherche de compromis*

Les stratégies de gestion des risques de la sécheresse, de l'érosion et de l'asphyxie racinaire, apparaissent comme antagonistes vis-à-vis de la date de semis. Pour le premier risque, il faut retarder le semis au-delà de la phase la plus incertaine de l'installation de la saison des pluies. D'après M'Biandoun (1990) et Talleyrand (1990) (communication personnelle), la date de semis favorable dans le Sud-Est Benoué se situe autour de la mi-juin. Cela correspond à un retard de semis de un à deux mois par rapport aux premières pluies de la saison qui initient la levée des adventices. En tenant compte de ce risque, il nous est arrivé de voir qu'au moment où on préparait les terrains (début troisième décennie de juin), les repousses de maïs ou d'arachides entraient déjà en floraison. En outre, en semant entre le 20 et le 23 juin en 1993, cela ne nous a pas empêché d'enregistrer 14, puis 9 jours consécutifs sans pluie, dans le premier mois qui a suivi le semis. Pour les systèmes sous litière, les séries de pluies ont perturbé la productivité trois années sur quatre. On devrait donc, pour ce cas, semer plus tôt pour échapper ou minimiser ce risque.

En Côte d'Ivoire, Roose (1977) a observé que les séries de pluies augmentaient les pertes en terre. Nous avons fait des observations similaires dans nos parcelles. Il se trouve donc que l'assurance contre un risque, entraîne des risques plus accrus sur les autres. Ceux-ci présentent des exigences opposées en ce qui concerne la date de semis. Théoriquement, la date de semis doit donc être pour le système conventionnel, un compromis entre les risques d'érosion et de sécheresse, et, pour les systèmes couverts, un compromis entre les risques de sécheresse et d'anoxie racinaire (Fig. 5.10).



*Figure 5.10 : Domaine théorique de définition de la date de semis des systèmes pluviaux en fonction des risques de sécheresse et d'érosion (pour les systèmes non couverts) ou d'asphyxie racinaire (pour les systèmes couverts)*

Les tableaux 5.07 et 5.08 résument les caractéristiques des différents risques liés aux aléas climatiques, ainsi que leurs relations avec les deux principaux systèmes culturaux (couverts et non couverts).

En résumé, les systèmes de culture basés sur la couverture du sol avec une litière (paille, résidus de culture, adventices grillées aux herbicides), sont ceux qui réduisent le mieux les risques liés aux aléas de pluviosité sur la productivité. Le risque d'asphyxie racinaire qu'ils comportent peut trouver une réponse dans l'adaptation de la fertilisation à la pluviosité ou dans les dates de semis précoces à condition que les résidus de la culture précédente soient préservés du feu et du pâturage.

Au niveau de la parcelle cultivée, les techniques culturales donnent au paysan la possibilité de mieux gérer, à l'échelle de temps journalier ou du cycle cultural, les risques des aléas climatiques, contrairement aux approches fréquentielles des pluies qui sont essentiellement statistiques et par conséquent, difficilement utilisables par le paysan. En effet, jusqu'à présent, on cherche à minimiser le risque de sécheresse en conseillant au paysan des dates de semis statistiquement optimisées. Cela n'empêche que l'aléa climatique s'écarte de temps en temps, des dates recommandées et dans ce cas le paysan n'y peut plus rien. Si ce dernier opte pour les systèmes de culture conservateurs, il réduit davantage les risques de sécheresse, de battance et d'érosion ; pour le risque d'anoxie racinaire, il peut intervenir à l'échelle de temps journalier par un apport d'azote. Dans le premier cas le paysan est passif devant les risques, dans le second, il peut agir. On devrait donc privilégier la vulgarisation des systèmes conservateurs, là où la litière est disponible.

**Tableau 5.07 : Risques liés aux aléas de pluviosité en cultures pluviales dans les savanes soudaniennes humides**

Nature du risque	Phase végétale la plus sensible	Conséquences primaires	Conséquences secondaires	Manifestations sur la plante	Solutions de base
Sécheresse	de la germination au remplissage des graines	déficit eau par rapport à la demande évapotranspirative	réduction ou arrêt alimentation en eau et nutriments	perte vigueur, flétrissement, dessiccation	couverture du sol par une litière et/ou semis tardif
Asphyxie racinaire	de la germination à la floraison	déficit oxygène	réduction nitrates et carence en N et incapacité alimentation en eau éventuelle	manquants à la levée, jaunissement, rabougrissement, dessiccation	semis précoce, adaptation fertilisation N à la pluviosité
Battance tassante	levée	désagrégation, formation et induration O.P.S.	résistance mécanique élevée à la levée	manquants à la levée	couverture du sol par litière
Battance décapante	levée	désagrégation, mobilisation localisée des terres	mobilisation ou mise à nu des semences	manquants à la levée, déracinement des plants	couverture du sol par litière
Erosion en nappe et rigoles	tout le cycle	désagrégation, fermeture surface du sol, ruissellement, mobilisations des terres	soustraction facteurs fertilité, arrachage et/ou enterrement de plants	manquants à la récolte, faible vigueur, rabougrissement des plantes	couverture du sol par litière, réduction pente <1%, semis précoce,

**Tableau 5.08 : relations entre les risques physiques liés aux aléas de pluviosité et les systèmes de culture couverts et non couverts**

Risques	Sécheresse	Asphyxie	Battance	Erosion
Systèmes cultures				
Labour non couvert	+	0	++	++
Non labour sous litière	0	+	0	0

+ : risque élevé à très élevé ++

0 : risque faible à nul

## 5.6. DEGRADATION DES SOLS ET RESTAURATION DE LA PRODUCTIVITE VEGETALE

### •5.6.1. DIAGNOSTIC ET DEFINITION DE LA DEGRADATION DES SOLS DANS LE SUD-EST BENOUE

Selon le dictionnaire Petit Robert (Rey et Rey-Debove, 1987), « la dégradation est un changement en mal par rapport à l'état normal ». Les aléas climatiques ne sont pas le seul facteur de dégradation des sols malgré les nombreux risques qu'ils comportent. La diversité des causes et des formes de dégradation des sols justifie sans doute celle des définitions qui en sont données par différents auteurs (cf. chap. 2). Ces dernières ne

nous éclairent pas suffisamment pour répondre à notre question fondamentale : le dysfonctionnement est-il lié à l'évolution des constituants, de leur organisation ou des deux à la fois ? Répondre à cette question nous semble indispensable pour savoir si l'on peut envisager la restauration de la productivité sans reconstituer l'état initial du sol. Dans ce paragraphe, nous passons d'abord en revue les principaux faciès de dégradation observés durant cette étude, avant d'essayer d'en esquisser une définition fonctionnelle.

- Sur les sols ferrugineux cultivés de la zone soudanienne humide du nord Cameroun, l'abondance des sables libres à la surface constitue l'une des premières manifestations de la dégradation.
- Le suivi pédologique des parcelles d'érosion au cours des quatre années d'étude a montré que ces sables se sont individualisés à la suite d'une désorganisation des structures initiales (mottes) suivie d'un entraînement sélectif de certains constituants. La matière organique et les particules fines (argile et limon), qui représentent les éléments les plus actifs du sol, sont prioritairement concernées par cette mobilisation.
- La matière organique passe de 1,20 % dans la savane à 0,86 % un an après défrichage, puis à 0,41 %, cinq ans après, dans les parcelles cultivées conventionnellement. Sur les parcelles en non-travail du sol du bloc dégradé, le taux de matière organique n'a pas varié sensiblement pendant les quatre ans de suivi (0,50 %).
- Les pertes de matières en suspension (MES), matière organique, argile et limons, ont été en moyenne de 3 à 9 t/ha/an sur les parcelles labourées non couvertes selon qu'on est en nouvelle défriche ou sur le site dégradé, 0,6 à 3 t/ha/an si le sol est labouré et recouvert d'un écran (en N ou D) et 0,2 t/ha/an pour les systèmes de culture conservateurs. Différents auteurs ont trouvé que la matière organique était le constituant le plus labile. En Côte d'Ivoire, sur sol ferrallitique sableux (P = 2 000 mm), le taux de matière organique dans l'horizon superficiel du sol varie de 1,8 % sous forêt, de 1 à 1,2 % sous culture et de 0,7 % sous sol nu depuis cinq ans. Dans les mêmes conditions, l'azote a diminué de 0,14 ‰ à 0,06 ‰ (Roose, 1973-77). Feller *et al* (1991), comparant les sols cultivés aux sols non cultivés, trouvent des diminutions du taux de carbone de 30 à 40 % après dix ans de mise en culture des sols ferrugineux et ferrallitiques. Au Brésil, Séguy et Bouzinac (1995) observent après six ans de monoculture continue avec labour profond ou « offset », que le taux de matière organique passe de 2,5 % à 1,4 % avec restitution de paille et en-dessous de 1 %, dans le cas d'une monoculture de soja.
- A côté de l'évolution des constituants, on a observé une évolution des états de surface marquée par la réduction de la rugosité et la diminution de la porosité du sol. Les sols labourés couverts de paillis ou de plastique, se sont « refermés », même en l'absence de la battance. Ces surfaces fermées se distinguent des autres par leur

aspect aplani (manque de rugosité) et surtout, par leur faible infiltrabilité qui va de pair avec un ruissellement et des pertes en terre élevées. Alors que les parcelles ouvertes et couvertes infiltraient en moyenne annuelle 94 % des pluies, les parcelles labourées cultivées et non couvertes n'en infiltraient plus que 65 % en moyenne.

- Le bloc dégradé, déclassé pour la culture intensive, a perdu sous culture, en moyenne quatre fois plus de terre sur les parcelles labourées et cultivées que les blocs de la nouvelle défriche. Ces pertes en terre de 35 t/ha/an du bloc D, ne constituent qu'une partie de la dégradation, l'autre étant redistribuée dans la parcelle. A cause de cette forte dégradation, l'effet du fumier y a toujours été le plus faible en conditions de pluviosité comparables. Ce bloc a montré des compactations plus fortes ( $da \cong 1,8$ ) que celles des blocs A et B ( $da \cong 1,6$ ). Cette compacité élevée y a maintenu des rendements bas sur le zéro tillage, même en années à pluviosité favorable.
- L'évaluation de l'activité des vers de terre a montré, à travers le comptage du nombre de turricules, un grand contraste entre les parcelles labourées et nues, et les parcelles non labourées avec une litière à la surface où on a dénombré 8 fois plus de turricules.
- Dans le tableau 5.09 ci-après, nous résumons les caractéristiques de la dégradation des sols sableux en indiquant :
  - la nature (physique, biologique, biochimique) ;
  - la voie (en surface, *in situ* ou mixte) ;
  - le ou les processus mis en jeu ;
  - les conséquences dans la parcelle ;
  - les conséquences sur le bilan hydrique ;
  - les conséquences pédogénétiques.

Partant des processus de dégradation différents, on observe sur le tableau 5.09 qu'il y a une convergence vers un terme commun : la réduction de la macroporosité et de la capacité d'infiltration du profil. Celle-ci affecte le bilan hydrique en faveur du ruissellement et l'évolution pédogénétique vers l'appauvrissement et l'érosion.

La dégradation se fait par une évolution régressive de la stabilité du milieu (organisation et constituants du sol). Elle amène la cohésion du sol vers l'un ou l'autre de ses pôles extrêmes (état particulaire ou état compacté) où la coexistence des phases liquide et gazeuse et l'installation des végétaux deviennent très difficiles (semences ou plantules emportées ou enterrées, enracinement réduit).

A ce niveau, nous définissons la dégradation du sol comme étant l'action par laquelle un ou plusieurs processus physiques, chimiques, biologiques et/ou biochimiques, désorganisent les couches superficielles du sol, réduisant les flux des fluides entre l'atmosphère et les horizons sous-jacents.

**Tableau 5.09 : Processus de dégradation des sols sableux (défrichés et cultivés conventionnellement)**

NATURE voie	PHYSIQUE colonne de sol	PHYSIQUE surface	BIOLOGIQUE mixte	BIOCHIMIQUE mixte
Processus	Compaction, tassement	Détachement, désagrégation et érosion en nappe et concentrée	Elimination de la flore et de la macrofaune	Déséquilibre biomasse végétale et microbienne
Mécanismes	- pressions machines et outils, - piétinements, - travail de l'eau, - travail racinaire, - semelles labour	- réorganisations - fermeture surface, - effacement rugosité, - redistribution - transports sélectifs (m.o., argile, limons.) - dépôts sélectifs, ravinement	- élimination directe, - destruction des nids, - suppression aliments	- minéralisation m. o. - perturbation des cycles biogéochimiques, - diminution du recyclage de nutriments
Conséquences dans la parcelle	- réduction de la macroporosité -> diminution de l'infiltrabilité	- OPS -> réduction échanges avec atmosphère (O <sub>2</sub> et H <sub>2</sub> O) et compaction -> diminution infiltrabilité - modification microrelief	- réduction de la macroporosité -> diminution d'eau et des échanges d'O <sub>2</sub> avec l'atmosphère -> activité biologique réduite	- augmentation instabilité - réorganisations superficielles - tassement -> diminution infiltrabilité - baisse CEC et carences minérales
Conséquences sur le bilan hydrique	- ruissellement privilégié - diminution capacité rétention en eau	- réduction de l'infiltrabilité, remaniement	reduction de l'infiltrabilité	reduction de l'infiltrabilité
Conséquences pédogénétiques	- appauvrissement - «hardéisation» éventuelle	- lavage éléments minéraux - colluvionnement - troncature de profil - hardéisation éventuelle	- hardéisation éventuelle	- ralentissement ou blocage des cycles biogéochimiques - désaturation - acidification - hardéisation éventuelle

La réduction des flux des fluides a pour conséquences éventuelles :

- l'accumulation de l'eau en surface pouvant s'écouler à la faveur de la pente et entraîner l'appauvrissement et l'érosion ; si la pente ne permet pas un écoulement de surface, il s'installe un régime endoréique avec des accumulations éventuelles de sels en surface ;
- le déséquilibre dans l'occupation de la macroporosité par l'eau et l'air peut induire l'apparition de carences et des troubles physiologiques sur les plantes ou une sécheresse.

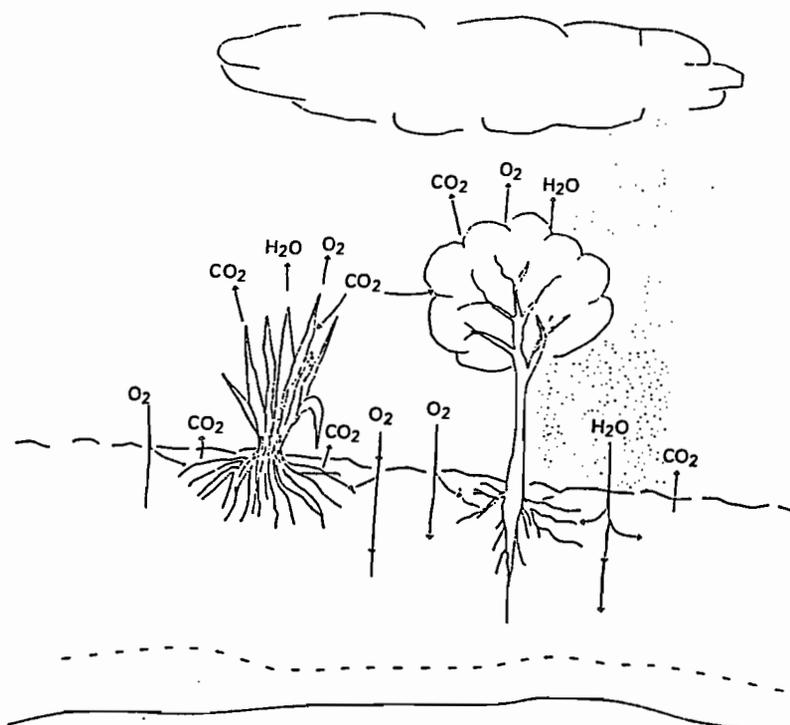
Contrairement à certaines définitions de la dégradation qui se basent sur les conséquences sur la productivité végétale, sur une cause ou un processus donné de la dégradation, celle que nous proposons est fonctionnelle.

Elle complète les définitions écologiques qui ont le mérite de considérer le sol comme un tout. En effet, selon que l'on considère le sol comme un volume de matériaux inertes juxtaposés ou associés, ou comme un milieu caractérisé non seulement par des constituants et par une organisation, mais aussi par une activité biologique spécifique, la définition de la dégradation de celui-ci varie.

En prenant l'exemple de la définition du sol donnée par Demolon (1966) : « formation naturelle de surface à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche-mère sous-jacente sous l'influence des divers processus physiques, chimiques et biologiques », on voit essentiellement un matériau minéral ou organo-minéral structuré, meuble et d'épaisseur variable. Les organismes vivants du sol se situent seulement parmi les facteurs de sa formation.

Or, si l'on considère l'état normal de l'écosystème comme étant celui de l'équilibre sol-végétation-climat, on constate que la faune et la flore du sol jouent un rôle indispensable dans l'organisation du sol, le recyclage des éléments, la production de réactifs pour la pédogenèse. Cette population tellurique participe donc à l'entretien de cet équilibre caractérisé par :

- une stabilité physique assurée par le sol,
- les transferts, assurés par l'atmosphère et la végétation,
- le renouvellement, assuré essentiellement par l'activité biologique dans le sol, les réactions physico-chimiques dans les altérites et au contact des roches.



**Figure 5. 11** : Schématisation de la continuité atmosphère-sol-plante-atmosphère comme critère de fonctionnement des sols

La continuité de la pédogenèse nécessite l'humidité, de l'oxygène et des réactifs. De même, l'activité biologique nécessite de l'eau et de l'oxygène pour dégrader les restitutions végétales, construire ou aménager le sol ou libérer des nutriments et des réactifs nécessaires à l'altération des minéraux primaires des roches.

Le climat commande les flux descendants d'oxygène, d'eau et d'énergie, tandis que la plante, tout en réinjectant l'oxygène et l'eau dans l'atmosphère, restitue au sol, par l'intermédiaire de la biomasse morte, les éléments puisés en profondeur.

On peut considérer que la continuité des flux de fluides entre l'atmosphère et les horizons sous-jacents à la surface du sol et l'équilibre de la répartition de ces fluides dans la macroporosité du sol, sont les meilleurs indicateurs du fonctionnement de celui-ci. La continuité des flux de fluides entre l'atmosphère et les horizons de profondeur n'est possible que si l'organisation favorable des horizons du sol (naturelle ou provoquée) est stable.

A quoi tient donc la stabilité des organisations pédologiques superficielles? Plusieurs études ont été consacrées à cette question, particulièrement sur des agrégats de terre au laboratoire.

Henin (1976) définit la stabilité de la structure du sol comme étant la résistance des agglomérats de terre à l'action de l'eau. Il trouve qu'elle est liée à la texture du sol (limons/argile), mais surtout plus particulièrement, à la teneur en matières organiques. Dans un test de prétraitement des agrégats au benzène (liquide non polaire), entrant dans la détermination de l'indice de la stabilité (IS) de la structure du sol, il a montré que :

$$Ag B = 13,3 + 2,81 MO$$

Ag B étant le taux d'agrégats stables après le prétraitement au benzène.

D'autres auteurs ont confirmé cette forte relation entre la teneur en matière organique du sol et la stabilité de sa structure : en Afrique, Combeau (1960, 1961), Combeau et Quantin (1963, 1964) ; en France, Duchaufour (1979), aux USA, Russell (1961, 1973).

Bien que certains auteurs aient trouvé des correspondances entre les résultats de détermination de l'indice de la stabilité de la structure (IS) des agrégats avec le comportement des terres *in situ*, Hénin *et al.* (1969) indiquent que ces comparaisons n'ont de sens que pour un climat donné, puisque IS varie avec la saison. Ils suggèrent que IS soit combiné à d'autres mesures de terrain pour servir de base fiable de prédiction de la dégradation des sols *in situ*.

La plupart des méthodes de détermination de la stabilité de la structure des sols portent sur des mottes ou sur des agrégats tamisés à 2 mm. Cette échelle n'est pas représentative des conditions de terrain. La stabilité des agrégats ne peut être assimilée à celle des mottes des terrains. L'une des critiques qu'on peut formuler envers cette approche,

est l'élimination d'une partie des constituants du sol lors du tamisage, tels que cailloux, et surtout les racines des herbacées. En effet, aux USA, Russell (1973) rapporte que les racines de certaines graminées se développent dans les mottes de sol en tenant ces dernières comme les maillons d'une chaîne et ceci, même après leur mort. Au Japon, Kobayashi (1994) montre que les jeunes racines secrètent des substances pectidiques grâce auxquelles elles retiennent solidement des fragments ou des particules terreuses. En plus du rôle physique dû à la présence de nombreuses racines des herbacées, on peut compter sur l'apport biochimique dans la cohésion des mottes.

La parcelle d'érosion constitue donc l'une des seules méthodes de l'évaluation de la stabilité des terrains (par opposition à celle de la structure des agrégats). Les résultats ci-dessous, ainsi que les photos 46 à 48, illustrent le rôle des racines dans la stabilisation des terres *in situ*.

**Tableau 5.10 : Ruissellement (KRAM %), Erosion (t/ha/an), teneur en carbone (%) et réponse au test de simulation de pluie (coefficient ruissellement Kr % et % de résidus en surface) comparés entre TRM20m et TRM40m sur le bloc dégradé D en 1993 et 1994**

Traitements	Pluies habituelles				Carbone % (0-10 cm)		Pluie simulée	
	KRAM %		EROSION (1) t/ha/an		1993	1994	Kr % 1995	Etat surface (2) % résidus
TRM 20 Labour depuis 91	34,3	34,7	15,0 + 7,0	25,4 + 7,7	0,25	0,31	a) : 4,5 b) : 60,0	3,0
TRM 40 Non- labour avant 93	12,2	23,0	2,7 + 0,8	7,0 + 3,6	0,29	0,25	1) : 0,0 2) : 6,2	11,0

(1) Erosion = sédiments grossiers + MES ;

(2) Etat de surface : % résidus végétaux ;

Protocole d'aspersion : première pluie : 60 mm en une heure sur sol sec > 30 jours ; deuxième pluie identique une heure après

En 1993, la parcelle D12, jusque là en zéro-tillage, a été transformée en parcelle labourée et butée sur une longueur de 40 m dans le but de mesurer l'effet d'échelle sur le TRM dans le bloc dégradé et de le comparer à celui des blocs A et B. Le tableau 5.11 montre un comportement inattendu de cette parcelle pour le ruissellement et les pertes en terre, comparativement à celui des parcelles du même traitement, longues de 20 m, labourées et butées depuis 1991.

On constate :

1. Que la parcelle de 40 m labourée après trois ans de non-labour, ruisselle et s'érode bien moins que celle de 20 m labourée chaque année depuis 1991.
2. Le ruissellement de la parcelle de 40 m double la deuxième année (dégradation rapide) tout en restant nettement inférieur à celui de la parcelle de 20 m.

3. Les teneurs en carbone de ces deux parcelles du bloc dégradé D sont semblables (<0,30 % sur la moyenne des deux années). La teneur en matière organique évoluée ne peut donc pas expliquer la grande différence de comportement observée sur les deux parcelles.
4. Les résultats du test au simulateur de pluie (sur 1 m<sup>2</sup>) sont tout aussi contrastés que ceux du comportement des parcelles d'érosion sous conditions naturelles. Les résidus sont différents en quantité, mais aussi en nature. Les résidus végétaux existant dans les sols des deux traitements de la parcelle « labour après trois ans de jachère » sont trois fois plus nombreux et constitués de racines de graminées mises progressivement à nu en surface et formant une litière évoluant vers un mulch (photo 48).

La stabilité relative de la parcelle de 40 m est due aux racines. Les racines assurent trois principales fonctions :

- la cohésion des mottes, tant que la terre qu'elles retiennent n'est pas dégagée ;
- la rugosité de la surface s'opposant à l'accélération de l'écoulement et au charriage des agrégats et des sables ;
- la couverture du sol (mulch racinaire) contre la battance des pluies et l'énergie du ruissellement.

La multiplication des opérations aratoires accélère leur morcellement et leur élimination. Celle-ci marque une étape importante de la dégradation des sols sableux. En effet, dans ces sols sableux, le complexe argilo-humique n'est pas assez fort pour résister à l'impact des gouttes, ni aux détachements des agrégats ou particules dûs à la simple humectation.

C'est certainement l'effet des racines qui explique le mieux le comportement des parcelles nues pour le critère érosion en 1991 : 9,7 ; 10,5 et 9,0 t/ha/an respectivement sur les blocs A, B et D, ce dernier ayant été en jachère en 1990. En deuxième année, leurs pertes en terre ne sont plus comparables (respectivement = 6,8, 52,5 et 38,6 t/ha/an).

Il apparaît donc que la terre tamisée, excluant les racines des plantes herbacées, en particulier les graminées, n'est pas représentative de l'analyse de la stabilité des terrains. Malgré une relation de cause à effet évidente entre la teneur en carbone évolué et la stabilité de la structure des agrégats au laboratoire, les tests de laboratoire s'exercent sur des volumes élémentaires de sol relativement petits qui ne permettent pas la prise en compte de facteurs de terrains tel que le système racinaire.

En définitive, la dégradation est un phénomène très complexe qui se manifeste dans le pédon par des modifications mesurables de la composition et de l'organisation. Mais elle n'a souvent des effets mesurables à travers le rendement, le ruissellement ou l'érosion sur le champ, que lorsqu'elle a franchi certains seuils.

Du point de vue du fonctionnement, si les matériaux et les structures hérités de phases de dégradation antérieures peuvent évoluer vers de nouvelles organisations relativement stables et aérées, la productivité des terres peut être rétablie sans avoir à reconstituer tout le sol (à condition que celui-ci puisse nourrir la plante).

### 5.6.2. LA RESTAURATION DE LA PRODUCTIVITE

La définition de la dégradation que nous avons donnée ci-dessus est fonctionnelle. Même si elle se traduit par une baisse de productivité, un sol dégradé n'est pas définitivement perdu pour la production végétale tant qu'il dispose encore d'une épaisseur de sol meuble acceptable.

Nous avons justifié le déclassement du bloc D pour la culture intensive par des pertes en terre trois à quatre fois plus élevées que sur les blocs A, B et C. Par contre, on note dans l'ensemble, que les rendements du bloc D (à l'exception du traitement fumier en 1992 et 1993) ne sont pas significativement différents de ceux des blocs de la nouvelle défriche. On peut donc restaurer la capacité de production d'un sol dégradé, sans nécessairement avoir à reconstituer sa texture, son taux de carbone et son organisation initiaux.

La récapitulation des indices de dégradation et la comparaison des rendements des traitements du bloc dégradé D, nous permettent de dégager les contraintes principales et les actions à entreprendre pour restituer aux sols dégradés leur potentialité de production.

Le bloc D a présenté sur l'ensemble des parcelles :

- une faible teneur en carbone (< 0,3 %) et en azote (< 0,3 ‰) ;
- un horizon d'atterrissement de sable sur 4 à 10 cm ;
- les plus fortes pertes en terre sur les parcelles cultivées : 35 t/ha/an), indiquant une forte instabilité à l'eau du sol de ce bloc ;
- un enracinement moins développé sur les parcelles non labourées ;
- les densités apparentes les plus fortes, jusqu'à 2 kg/dm<sup>3</sup> sur certains horizons non labourés ;
- des rendements en maïs toujours plus faibles sur des parcelles non décompactées sous litière même en année favorable, indiquant que la compacité est une contrainte sur ce bloc ;
- les plus fortes densités de *Striga* ont été observées sur le bloc D ;
- le pH le plus faible.

Le dysfonctionnement du bloc D, malgré les apports d'engrais, résulte donc du développement d'une instabilité à l'eau très élevée et d'une forte compacité du profil non travaillé.

La restauration des sols sableux dégradés comprendra les principales actions suivantes :

1. Décompacter la couche culturale (25-35 cm) avec des outils mécaniques ou par les plantes améliorantes à l'exemple du *Calopogonium mucunoides* (installation d'une jachère améliorée).
2. Stabiliser le sol en le recouvrant d'une litière ou en installant des seuils pour éviter l'approfondissement des rigoles s'il est labouré, ou le mettre en jachère de courte durée pour obtenir une stabilisation par le système racinaire. Ces mesures de stabilisation du sol sont dirigées contre les effets des impacts des gouttes d'eau et de l'accélération du ruissellement.
3. Enfouir du fumier lors du labour de décompactage pour empêcher une rapide recompaction du profil et pour restituer les éléments biogènes variés.
4. Apporter des engrais et des amendements en tenant compte des besoins des plantes et des carences éventuelles en éléments majeurs, secondaires ou mineurs ou de l'acidification.
5. Choisir les rotations et les plantes d'ouverture de rotation en tenant compte de la production des résidus de chaque espèce et de la rupture des cycles de parasites tel que le *Striga* (utilisation d'une plante-piège comme le cotonnier).

Roose (1994) a décrit de façon plus détaillée, certains aspects de ces règles de restauration de la productivité.

### 5.6.3. LE ROLE DE LA JACHERE

Les résultats de fonctionnement des deux parcelles soumises à la jachère courte de 2 ans (naturelle et améliorée) montrent que le ruissellement et l'érosion ont été réduits, en moyenne des deux parcelles, de 70 % pour le ruissellement, et de 80 % pour l'érosion par rapport à la parcelle nue en première année de jachère. En deuxième année, la réduction moyenne a été de 97 % pour le ruissellement et de 95 % pour les pertes en terre.

Remises en culture en 1993 en zéro-tillage, ces parcelles présentent un ruissellement et une érosion réduits de 96 % par rapport au témoin labouré et butté (TRM). Le meilleur rendement du bloc a été obtenu sur la jachère améliorée : 2,2 t/ha de coton graine. La jachère naturelle a donné 2,0 t/ha. La moyenne du traitement « précédent jachère » de 2,1 t/ha améliore de 17 % le rendement du témoin labouré et butté, de 50 % celui du ZT non décompacté, et de 10 % du zéro-tillage décompacté.

En deuxième année (1994), les parcelles de zéro-tillage sur précédent jachère se sont montrées conservatrices pour l'eau et le sol comme tous les autres traitements de la même famille (réduction de KRAM et de E de 95 % par rapport à TRM). Leur rendement moyen (3,6 t/ha) est équivalent à celui du zéro-tillage décompacté, mais inférieur à celui de

TRM de 34 % à cause de l'effet d'engorgement superficiel du sol lors des séries de pluies.

Sur le plan physique, ces rendements sont un indice montrant que la jachère de deux ans a apporté les deux améliorations principales :

- la décompaction (aération) du profil, suffisante pour le cotonnier et insuffisante pour le maïs (difficile à apprécier à cause de la série de pluies) ;
- la stabilisation du sol à la fois par la couverture de la surface et par le système racinaire.

L'examen des profils pédologiques a montré comment la plante de couverture améliorante, par sa pénétration racinaire profonde et le maintien d'une humidité satisfaisante, a favorisé la pénétration de l'eau et de la matière organique en profondeur. Mais l'aération des racines concerne avant tout les horizons superficiels où elles sont plus nombreuses (profondeur 0 à 10 cm).

Les bons rendements du traitement zéroillage en année sèche en général et particulièrement sur bloc dégradé après deux années de jachère, nous amènent à tempérer la justification du labour pour son effet sur la formation d'une biomasse racinaire abondante certes, mais qui ne semble pas indispensable pour la réalisation d'un bon rendement. Certes au Sénégal, sur sols sableux,  $P \approx 600-1000$  mm, Nicou et Charreau (1985) ont obtenu des corrélations très fortes entre la biomasse racinaire et le rendement. Ces résultats présentent le labour comme une stratégie de gestion du stress hydrique de sécheresse puisque la plante exploite un volume plus important de sol, donc une réserve hydrique plus élevée. Mais dans notre cas, au cours de l'année la plus sèche, les parcelles compactées mais aérées seulement superficiellement par le système racinaire, ont infiltré plus d'eau et produit plus de coton graine que les systèmes comportant le labour. Nous avons vu que le rapport rendement-grain / rendement-biomasse était plus stable sur le zéroillage que sur les parcelles labourées. Cela suppose que l'efficacité de l'utilisation de l'eau est plus élevée sur ce système que sur le TRM. Ces résultats indiquent que dans les systèmes pluviaux, la biomasse racinaire n'est pas une condition suffisante pour un bon rendement. La plante « pourrait » compenser la production de racines de taille plus grosses exploitant un volume plus important de terre par un nombre élevé de plus petites racines, exploitant plus intensément un volume de sol plus superficiel.

Aux USA, Hake *et al.* (1990) ont en effet montré que lorsque les racines rencontraient un obstacle (compacité) à leur progression en profondeur, elles réagissaient par une production de racines superficielles plus nombreuses. D'après ces auteurs, le cotonnier fait peu de compensation comparativement aux céréales (orge, blé et maïs).

Il semble évident que pour une plante, ce qui compte avant tout, c'est d'avoir en permanence assez d'oxygène et d'eau, là où elle peut déployer une surface racinaire nécessaire à la satisfaction de ses besoins.

L'intérêt des jachères courtes est très discuté. En République Centre Africaine, Morel et Quantin (1972) montrent que deux années de jachère derrière les cultures continues suffisent pour améliorer notablement les stabilités structurales des sols ferrallitiques sableux en surface. Valentin *et al.* (1990) retrouvent les mêmes tendances au Nord de la Côte d'Ivoire pour les systèmes paysans traditionnels. Ils concluent que les jachères, même de courte durée (<5 ans) par l'importance de leurs restitutions organiques et leur effet stimulant sur l'activité de la microflore et de la faune du sol, jouent un rôle essentiel dans les interactions bioorgano-minérales. En Afrique de l'Ouest, Charreau (1973) indique que la jachère de deux ans, alternant avec trois ans de cultures vivrières, assure, avec engrais complémentaires, le maintien d'un niveau de production que la culture continue ne permet pas. Par contre, d'autres auteurs indiquent qu'il n'y a pas d'amélioration tangible à attendre d'une jachère de moins de 10-15 ans (Piéri, 1989 ; Hien *et al.*, 1991 ; Roose, 1993).

Cette contradiction pose les problèmes de fond que sont la définition du concept de la fertilité du sol et/ou de l'efficacité de son utilisation pratique, puis celui du choix des indicateurs de la fertilité ou de la productivité des techniques culturales en fonction des échelles de diagnostic. Les indicateurs d'état classiques, tels que le taux de carbone, la somme de bases échangeables, la texture, l'indice Is, etc, ne renseignent que très insuffisamment sur l'organisation du sol, l'action des racines, les interactions ou les relations d'ordre hiérarchique que le climat et les pratiques culturales impriment au sol.

#### 5.6.4. CONCLUSION

L'exposition directe du sol aux aléas du climat, la non-préservation de la faune et de la flore du sol, les perturbations mécaniques et les pressions diverses appliquées à la surface du sol sont les principales causes de la dégradation. Les désorganisations qui en résultent individualisent les particules dont les plus légères (matière organique, argile, limons) sont éliminées sélectivement par l'eau ou par la minéralisation (MO).

La redistribution des particules et leur réorganisation sous le choc des gouttes d'eau, l'humectation, le piétinement des animaux ou les pressions des outils et des machines, aboutissent à la formation de couches superficielles inertes ou profondes peu perméables. L'augmentation du ruissellement majore l'érosion sélective. Les dépôts de sable libre se développent alternativement avec des surfaces « fermées ». Les états dégradés sont caractérisés par une forte instabilité de l'horizon de surface, reposant sur un horizon très compacté. Ces perturbations peuvent être réparées plus ou moins vite par la jachère

ou par une couverture de paille après décompaction, apport de fumier et d'engrais minéraux.

Ce n'est pas la masse de chaque constituant ou celle du sol, considéré globalement, ou l'état de leur organisation au moment où nous prélevons l'échantillon de terre, conditionnant plus ou moins le fonctionnement du sol, qui doit orienter en priorité l'action. Ce sont plutôt les facteurs de préservation d'une organisation favorable donnée ou de réorganisation des états dégradés vers les états favorables à la continuité des flux des fluides entre l'atmosphère et les horizons du sol qui sont prioritaires. La recherche agronomique gagnerait à faire évoluer son champ d'investigation des constats d'états à l'analyse et à la simulation de fonctionnement des systèmes climat-sol-plantes-pratiques culturales.

## **5.7. GESTION DURABLE DE L'ESPACE AGRICOLE DU SUD-EST BENOUE**

Sur une superficie de 36.500 km<sup>2</sup> environ et avec une densité de population de cinq hab/km<sup>2</sup>, la vaste région du Sud-Est Bénoué donne, à première vue, l'impression d'un réservoir de terre illimité. Pourtant, non seulement elle est faiblement désenclavée, mais surtout, les terres arables ne représenteraient, pour les systèmes pluviaux, que 50 % (Brabant et Gavaud, 1985) de la superficie totale à cause de l'étendue des zones de montagne, des sols cuirassés superficiellement, de sols minéraux bruts, peu évolués ou à mauvais drainage. L'agriculture, l'élevage et le tourisme (réserves de faune et de chasse) sont les principales activités qui occupent ces espaces.

La pression croissante des courants migratoires venant des zones plus sèches du nord et de la République du Tchad, et les conflits fréquents entre agriculteurs et éleveurs ou éleveurs-opérateurs touristiques, indiquent qu'il y a un besoin de gestion organisée des ressources pour qu'à la place des conflits, se développent des complémentarités.

Une gestion organisée nécessitant la maîtrise des techniques de production, nous essayons de valoriser dans cette section, les résultats acquis ci-dessus en centrant notre réflexion sur les trois thèmes suivants :

- les pratiques culturales pour une agriculture durable ;
- l'association agriculture-élevage ;
- l'intégration de l'arbre.

### **5.7.1. LES PRATIQUES CULTURALES POUR UNE AGRICULTURE DURABLE**

Kang *in* FAO (1993) définit simplement la durabilité comme la capacité d'un système de culture à produire un rendement annuel satisfaisant et stable d'une espèce cultivée

donnée sur une longue période de temps. Ainsi défini, le concept de durabilité soumet le système de culture ou de production à trois principales exigences :

- la satisfaction agronomique et économique (quantité, qualité, rentabilité) ;
- la stabilité de la production ;
- la conservation de la ressource en sol.

Dans le Sud-Est Bénoué, le système de culture durable vise à donner une production élevée et maintenir le sol dans les conditions où la couverture de la surface, la cohésion des horizons et la stabilité des organisations sont comparables à celles des parcelles de la savane.

Des deux grands groupes de systèmes de culture étudiés, aucun n'a répondu à toutes les conditions définies ci-dessus.

Le système de culture conventionnel (labour et sol nu après le semis) a montré à court terme :

- des rendements élevés : 1,3 à 2,1 t/ha de coton graine et 4 à 5 t/ha de maïs grain ;
- par contre, les ruissellements sont élevés :  $KRAM \approx 30 \%$  et  $KRAMax > 70 \%$  ;
- l'érosion est aussi très élevée : 10 à 35 t/ha/an de sédiments grossiers et surtout 1 à 12 t/ha/an de pertes sous forme de suspensions.
- la diminution rapide de la productivité (après une dizaine d'années de culture continue)

Ces eaux et ces terres érodées emportent avec elles les facteurs de productivité des sols, ne laissant sur place que des amas de sable instables après 10-15 ans.

Après un certain nombre d'années, variable avec l'intensité d'application des pratiques aratoires, le sol se tasse en profondeur et développe, en surface, une forte instabilité à l'eau. L'implantation des cultures devient difficile, les intrants agricoles ne peuvent plus être rentabilisés. Les terres dégradées sont abandonnées, comme dans les systèmes traditionnels pour de nouvelles défriches. Le système conventionnel n'est pas durable ; il réintroduit la culture itinérante ou le parcours de culture.

Le système conservateur (travail du sol réduit sous litière) s'est montré très efficace pour le contrôle du ruissellement et de l'érosion :

Ruissellement faible ( $KRAM < 5 \%$  ;  $KRAMax = 10 \%$ )

Erosion faible : moins de 3 t/ha/an de sédiments grossiers et moins de 1 t/ha/an de matières en suspension.

Mais le rendement est très variable en fonction de la pluviosité. En année sèche, il produit bien et valorise mieux les pluies en favorisant l'infiltration et en protégeant le sol

contre l'évaporation. En années comportant des séries de pluies, il produit trop peu, ce d'autant plus que les sols drainent moins vite.

Cependant, les deux systèmes peuvent être améliorés.

#### *5.7.1.1. Amélioration du système conventionnel*

Le système conventionnel peut être amélioré par le fumier et le paillage.

- **Le fumier de ferme** : le traitement "Fumier" (1,7 à 3 % d'azote, mélange de poudrette et de crottes de chèvres) a donné les meilleurs rendements avec des records de 9,6 t/ha de maïs grain et 3 t/ha de coton graine sur le bloc A, respectivement en 1992 et 1993 ; mais l'amélioration par le fumier n'est garantie que si le sol est préservé du risque d'érosion.
- **Le paillage** : cette technique s'est montrée comme la meilleure amélioration du TRM contre les risques d'érosion, de sécheresse et de battance sans réduction significative du rendement.
- **Fumier et paillage associés** : la combinaison des deux améliorations permettrait des résultats meilleurs en terme de quantité et de stabilité.

Plusieurs auteurs ont démontré l'efficacité du mulch (paillage) pour le contrôle du ruissellement et de l'érosion. En Côte d'Ivoire, Roose (1973-77) a montré que 4 à 6 t/ha de débris végétaux permettent de réduire l'érosion à 40 kg/ha/an et le ruissellement à 0,5 % sur des sols ferrallitiques de 4 à 20 % de pente. Des résultats similaires ont été obtenus au Nigéria par Lal (1976). Kang et Ghuman (1991) in FAO (1993) rapportent qu'après sept cycles culturaux annuels, le rendement du maïs sur le traitement "Alley Farming"<sup>1</sup> a été supérieur à ceux du témoin conventionnel et du zéro-tillage.

Cependant, la grande difficulté à la diffusion de cette technique est sa rentabilité vu les opérations de coupe, transport et étalage de la paille. Cette contrainte trouve maintenant une solution avec la mise au point de la technique d'agroforesterie qui permet, par l'élagage des ligneux de haies vives, de disposer du paillis nécessaire pour couvrir la bande cultivée.

Nous avons obtenu de bonnes productions de biomasse dans les haies vives mixtes et dans les bandes enherbées capables de couvrir les besoins de paillage des bandes cultivées. Les risques majeurs restent le feu et les mouvements non concertés du bétail entre agriculteurs et éleveurs. D'autres voies d'amélioration peuvent être recherchées dans

---

<sup>1</sup> Alley Farming : Culture en couloir ou haies vives avec utilisation de la biomasse des émondes des haies pour couvrir les bandes cultivées

la réalisation du labour lui-même. Les photos 53 et 54 montrent qu'en labourant sous des adventices assez hautes (20 à 40 cm), sans objectif de les enfouir totalement, on peut, dans le cadre d'une culture semi-mécanisée, récupérer ces adventices après la levée de la plante cultivée et les étaler sur le sol. On obtient un paillage *in situ* qui n'aura pas coûté une opération supplémentaire puisque s'intégrant dans le premier sarclage. Cette pratique paysanne observée dans le Sud-Est Bénoué, peut être améliorée par le traitement des adventices à l'herbicide total avant ou après le labour. Une modification des charrues peut éventuellement être envisagée au cas où celles qui sont commercialisées ne permettraient pas d'obtenir les objectifs recherchés : créer une macroporosité et tailler la souche des adventices sans les enfouir. Cette technique, que nous désignons par « labour sous adventices », est beaucoup plus une voie de recherche à explorer qu'une technique à vulgariser.

### 5.7.1.2. Amélioration des systèmes conservateurs

Deux contraintes ont été identifiées sur les systèmes de non-travail du sol sous litière : l'asphyxie racinaire due à une pluviosité défavorable (séries de pluies) et la résistance mécanique sur des sols dégradés compacts à l'enracinement.

Pour les sols compactés, il faudrait d'abord les décompacter par un labour profond de 20-25 cm si le sol s'est dégradé sous travail du sol à la traction bovine et de 30-35 cm, si la compaction s'est produite en motorisation. Pour limiter une rapide recompaction du profil, on devra enfouir le fumier à l'occasion de cette décompaction précédant l'installation du zéro tillage. Ce résultat est concordant avec la recommandation de Lal (1977) au Nigéria, sur la nécessité de décompacter les sols présentant une contrainte mécanique avant l'installation du zéro tillage.

Vis-à-vis des séries de pluies, nous avons vu que l'apport d'azote permettait de réparer le trouble physiologique tant qu'un seuil d'asphyxie n'était pas franchi. Il faudra donc adapter la fertilisation des systèmes couverts en fonction de la pluviosité. Les engrais foliaires, par leur rapidité d'adsorption, semblent les mieux indiqués sur ce système lorsqu'il y a risque de pluviosité défavorable. En règle générale, Hake *et al.* (1992) indiquent que dans ces conditions d'anoxie racinaire, plus il y aura de l'eau (ici de séries de pluies), plus il faudra apporter d'engrais azoté. Mais la meilleure amélioration consisterait à semer plus tôt, par exemple dès mi-mai, puisque la probabilité d'occurrence des séries de pluies augmente avec l'installation de la saison des pluies.

La mise en oeuvre de cette stratégie implique la présence d'une litière indépendante de la biomasse des adventices levées la même année. L'intérêt des résidus de culture et du choix des rotations apparaît ici dans la recherche de la durabilité de l'agriculture. Nous avons vu que les sorghos locaux pouvaient produire 10 t/ha de résidus de culture (matière sèche) très durable. Le maïs en procure 4 t/ha.

Les systèmes conservateurs se trouveraient nettement améliorés vis-à-vis des risques d'excès de pluie si cette solution était adoptée. Mais la pérennité des résidus de culture au champ pendant la saison sèche n'est pas assurée actuellement face au risque de feu et de pâturage par le bétail. Bien que la solution technique au problème de la durabilité des systèmes de culture existe pour les savanes soudaniennes, la réalité des comportements sociaux vis-à-vis de la gestion du feu et du bétail ne permet pas actuellement la mise en oeuvre de cette solution. On sait que le feu est une technique de gestion des pâturages puisque la mise en défens entraîne, après trois ans, une reconstitution de la forêt avec disparition des graminées fourragères.

Dans les savanes soudaniennes, le développement des systèmes de cultures durables, basés sur l'utilisation des résidus de culture comme couverture du sol, paraît difficile s'il n'y a pas une évolution parallèle des systèmes d'élevage.

Nous pensons que les systèmes d'élevage ont intérêt à évoluer pour la durabilité même de cette activité. Actuellement, les pressions démographiques et agricoles se font au dépens de l'élevage extensif. Au nord de la Côte d'Ivoire, Landais (1985) observe que le nombre de têtes de bétail par habitant diminue lorsque la population augmente dans un espace fermé. Roose (1994) rapporte qu'au Rwanda, les grands troupeaux ont disparu des collines pour des raisons historiques et d'une forte démographie humaine ; ils ont été remplacés par l'élevage d'une ou deux vaches, plus du petit bétail, sur 50 % des exploitations. Le nombre total d'animaux n'a pas diminué, mais le système d'élevage s'est fortement intensifié (stabulation presque totale).

Le succès de la durabilité des systèmes cultureux profitera donc d'abord à l'élevage qui n'aura plus à souffrir de la pression agricole, mais qui pourra disposer de plus d'espace aménageable en pâturages.

#### *5.7.1.3. Les systèmes mixtes*

Nous avons vu, sur le bloc dégradé, que la suppression du labour suivie d'une mise en jachère ou d'une culture en zéro tillage, augmentait rapidement la stabilité du sol grâce à l'effet des racines et à l'activité de la faune du sol.

On peut donc envisager des systèmes mixtes :

- labour alternant avec non-labour un an sur deux ou sur quatre, avec le coton l'année de non-labour ; on devra préconiser un enfouissement de fumier pendant l'année de labour ;
- labour alternant avec jachère de courte durée : la pratique de la jachère améliorée avec des espèces fourragères peut partiellement contribuer à l'alimentation du bétail sans trop perturber les améliorations du sol attendues de la plante de couverture.

### 5.7.2. ASSOCIATION AGRICULTURE-ELEVAGE (COMPLEMENTARITES ET INCOMPATIBILITES)

L'intégration de l'agriculture et de l'élevage est pour beaucoup d'observateurs une voie incontournable du développement de l'agriculture des pays sous-développés. Les exemples de réussite de la mise en oeuvre d'un tel programme sont rares dans les différentes échelles d'organisation de l'activité rurale africaine.

Quand les techniciens ont une bonne perception du problème, l'ignorance, le poids des traditions, quand ce n'est pas le sous-équipement des paysans, font obstacle à la mise en oeuvre des actions appropriées.

Pourtant, c'est un objectif qui ne manque pas d'intérêt. Les éleveurs ont besoin des produits agricoles tels les céréales pour leur alimentation, des marchés pour écouler leurs productions et s'approvisionner en produits manufacturés de première nécessité. Ils ont aussi besoin des résidus de culture et de parcours pour l'alimentation de leur bétail. De leur côté, les agriculteurs ont besoin des produits d'élevage pour leur alimentation, des animaux de trait et du fumier pour l'entretien de la fertilité des sols. Pour les agriculteurs des savanes soudaniennes, les engrais minéraux coûtent très cher à la fois par rapport à leur pouvoir d'achat et aux revenus que les ventes des productions peuvent générer. Pourtant, l'effet du fumier qui est riche en éléments fertilisants (cf. tableau 5.11), est tel que ce dernier peut réduire significativement, sinon remplacer, la charge des fertilisants minéraux du paysan et lui donner l'opportunité d'augmenter ses revenus. Vu sous cet angle, chaque paysan devrait avoir un « objectif fumier » en qualité et quantité, produit par lui-même ou acquis contractuellement avec un éleveur.

Actuellement, le paysan du Sud-Est Benoué ne tire presque rien de ses résidus de culture. Laissés au champ, ceux-ci sont consommés par des troupeaux qui lui sont étrangers ou consommés par le feu. Lors du pâturage des résidus, qui se fait en plusieurs passages, le piétinement répété du bétail dégrade le sol en le réduisant en poussières (photos n° 51). Celles-ci sont facilement transportées hors du champ par l'Harmattan et les vents tourbillonnants.

Que le bétail appartienne à l'agriculteur-éleveur ou à un éleveur, les questions techniques qui se posent sur la destination des résidus sont les mêmes :

- quels résidus pour les animaux ?
- où et quand les donner ?

Landais *et al.* (1990) montrent que pour des animaux tropicaux effectuant des déplacements importants pour ingérer des rations de faible qualité sur des pâturages peu productifs ainsi que pour chercher de l'eau, les besoins d'entretien peuvent augmenter jusqu'à 100 % ou davantage. A la fin de la journée, les animaux peuvent donc accuser une perte de poids au lieu d'en gagner. Pendant ces déplacements, dégradants pour le sol,

le fumier n'est pas récupérable pour l'agriculture. La contribution de l'élevage est, de ce point de vue, très négative.

**Tableau n° 5.11 : Composition de fumier en éléments minéraux (% de la MS)**

	1	2	3	4	5	6	7
Humidité	-	-	-	21,1	57,4	66,2	37,4
N	2,47	1,44	0,89	1,50	1,45	1,28	0,72
P2 O5	0,51	0,80	0,30	0,50	0,45	0,40	0,29
K 2O	4,26	0,70	0,30	2,48	2,02	1,19	0,85
Ca O	1,00	} 1,37*	} 73*	1,43	1,29	0,87	0,62
Mg O	0,67			1,22	0,36	0,58	0,46
Na	0,25						
Cendres	37,90	10,80	49,60	15,90	54,00	60,30	86,80
Cendres insolubles	18,50	5,40	45,70	7,40	47,30	55,40	82,50

\* Méq./100 g

1 - Fumier de ferme fabriqué à la station de Saria (Haute-Volta)

2 - Bouses fraîches (Hamon, Sénégal)

3 - Bouses séchées et termitées (Hamon, Sénégal)

4 - Fumier de ferme fabriqué à Bambey (Hamon) : couche supérieure

5 - Fumier de ferme fabriqué à Bambey (Hamon) : couche moyenne supérieure

6 - Fumier de ferme fabriqué à Bambey (Hamon) : couche moyenne inférieure

7 - Fumier de ferme fabriqué à Bambey (Hamon) : couche inférieure

In Lhoste et Richard (1993)

In Coulomb J. et al., 1980, p. 98

La stabulation du bétail ne manque pas d'attrait pour l'éleveur qui évaluerait sa productivité au poids et non au nombre de têtes. Les besoins énergétiques d'entretien sont réduits. Les résidus de cultures plus riches en azote tels que les fanes d'arachide et de niébé, seraient mieux valorisés (leur meilleure destination étant l'alimentation animale) au niveau des gains de poids et de la qualité du fumier qui peut être utilisé par le producteur lui-même, vendu aux agriculteurs ou échangé contre d'autres résidus de culture. Les tableaux 5.11 et 5.12 montrent que la terre tirée des parcs de nuit du bétail, est presque aussi riche en éléments fertilisants que le fumier.

**Tableau n° 5.12 : Composition minérale de la terre de parc de stabulation de nuit du bétail (in Guillonau, 1988)**

	N %	P %	K %	Ca
Terre de parc sans paille (IRAT Mali)	1,30	0,66	2,04	-
Déjections termites après 45 j (Hamon, Sénégal)	0,89	0,30	0,30	73 meq/100 g
Terre de parc (Milleville, Burkina)	1,28	0,25	0,56	-
Terre de parc (Schleich, RCI)	1,50	0,26	0,90	0,5 %
Terre de parc (CIDT, Côte d'Ivoire)	2,23	0,36	3,08	-
Bouses fraîches (Hamon, Sénégal)	1,44	0,80	0,70	Ca + Mg : 1,37 meq/100g

S'agissant des résidus devant entrer dans les systèmes de culture (sorgho et maïs), on peut penser que lorsqu'une épaisseur de mulch sera bien constituée sur le sol, on n'aura pas besoin d'y laisser tous les ans les 10 t/ha de matière sèche que laissera une culture de sorgho.

Comme le rapportent Séguy et Bouzinac (1995) du Brésil, lorsque les grains sont mal rémunérés au marché, ils sont avantageusement transformés en viande.

La stabilisation des productions agricoles représente un grand atout pour l'amélioration des techniques pastorales.

En retour, les paysans pourront non seulement disposer de quantités plus importantes de fumier, mais aussi acquérir ou renouveler leurs animaux de trait à temps. Car, même si les systèmes de cultures sous litière étaient généralisés, les problèmes de transport du fumier de l'étable au champ et des récoltes de grains, de bois et de résidus de culture du champ à l'habitat, demeureront.

Les résidus de cultures et les grains ne sont pas les seuls produits que l'agriculture peut apporter dans le cadre de la quête de la durabilité. Les bandes végétales des systèmes agroforestiers et les plantes de couvertures fourragères sont aussi des sources de productions alimentaires importantes.

### 5.7.3. INTEGRATION DE L'ARBRE DANS LA GESTION DES TERROIRS

L'intérêt de l'arbre dans les milieux ruraux n'est pas à démontrer, tant il remplit de multiples rôles dans la satisfaction des besoins les plus fondamentaux de l'homme (source d'énergie, matériaux de construction, aliments, pharmacopée, entretien de la fertilité des terres, pâturage aérien, ombrage, etc). On oublie hélas trop souvent que les problèmes alimentaires ne sont pas tout à fait résolus s'il n'y a pas de source d'énergie pour cuire les aliments. Et nombreux sont les projets de développement dits « intégrés » où le volet arbre n'est pas pris en compte suffisamment.

Dans le Sud-Est Bénoué, le système de culture intensif vulgarisé n'intègre pas l'arbre dans sa réalisation. L'agriculture et les feux de brousse tardifs éloignent de plus en plus l'arbre des habitations. Les corvées de récolte de bois de feu et de construction deviennent de ce fait de plus en plus pénibles dans un milieu où il n'y a pas d'autres moyens de transport que le portage humain. Il n'y a pas encore ici « d'élevage » d'arbres comme dans les terroirs des Monts Mandara ou de la plaine du Diamaré : dans ces zones plus au Nord, les populations ont appris à sélectionner, protéger, planter et tailler différentes espèces arborées pour la satisfaction de leurs divers besoins. Dans le Sud-Est Bénoué, il n'y a pas l'équivalent des parcs d'*Acacia albida*. L'une des rares espèces que l'on trouve épargnée dans les parcelles est *Daniella oliveiri* qui procure un bon ombrage. On s'étonne de voir que dans une région aussi humide, il y ait si peu d'arbres fruitiers.

La recherche de la durabilité ne saurait se limiter aux productions agricoles. Les productions ligneuses doivent être envisagées d'une part, pour la satisfaction des besoins fondamentaux faisant appel à l'arbre, et d'autre part comme moyen de réalisation de la durabilité des systèmes de production des cultures annuelles.

Dans le contexte actuel du Sud-Est Bénoué, l'arbre apparaît comme un intermédiaire incontournable dans l'association de l'agriculture et de l'élevage. En effet, quelle que soit la bonne volonté des éleveurs pour contenir le bétail hors des champs, les animaux pourront toujours s'échapper et se retrouver dans les cultures. L'établissement des haies vives devrait être un objectif souhaité et réalisé par tous les paysans. Pour les rentabiliser davantage, les haies arborées devraient être mixtes pour répondre en même temps à différents usages. Indépendamment des parcelles forestières pures (ex. Eucalyptus) dont il faut encourager la plantation autour des villages, on peut envisager trois niveaux d'insertion des arbres dans la gestion durable de l'espace :

- dans la parcelle cultivée, comme mesure de la gestion conservatoire des terres (agro-foresterie : haies vives),
- autour des parcelles individuelles pour renforcer la protection contre le bétail,
- autour des blocs comme des brise-vents ou comme des stratégies de contrôle des feux de brousse et de marquage du domaine mis en valeur par un groupe.

L'arbre en lui-même n'arrête pas le feu ; mais il peut réduire le développement des herbes, donc réduire les risques de feu. Ce travail correspond à un investissement rentable à moyen terme, une épargne au moins aussi sécurisante que le bétail. Il n'y a pas meilleur signe d'appropriation de terrain rural que des arbres plantés. On peut espérer que le statut foncier évoluera résolument dans le sens du développement et de la préservation des ressources naturelles.

#### **5.7.4. CONCLUSION**

Les cortèges de migrations poussées par la recherche de terres productives ne peuvent être brisées que si les systèmes cultureux durables sont adoptés, conduisant à une pérennisation des exploitations. Sinon, la dégradation des ressources en terre, eaux et végétaux ira en augmentant. A ces techniques durables, les agriculteurs doivent associer l'établissement des clôtures autour de leurs exploitations pour mieux gérer les feux et surtout les mouvements de bétail.

Les éleveurs doivent être conscients que l'augmentation de la population et la capitalisation foncière se font d'abord au dépens de leur activité.

Il y a aujourd'hui un besoin pressant de prise de conscience et d'organisation collective de la gestion de l'espace.

L'inadaptation des techniques culturelles et pastorales demande des changements urgents face à la détérioration rapide des ressources et de l'environnement, et face à leurs conséquences sociales que sont les migrations et les conflits. Les systèmes cultureux du-

rables sont disponibles, mais leur application nécessite un contrôle social et communautaire de feux de brousse et du bétail, ce qui exige un nouvel équilibre social et un effort de toute la communauté rurale.

La gestion conservatoire des ressources naturelles (eau, sol, végétaux, animaux) impose le changement comme un impératif absolu. Agriculteurs et éleveurs doivent changer les techniques de production si on veut passer d'une agriculture minière à une agriculture assez intensive et durable. Les responsables des communautés doivent adapter la gestion des hommes et des ressources aux enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Chacun doit comprendre que s'il n'y a pas de changement aujourd'hui, on ne peut attendre une amélioration durable demain.

## **5.8. CONCLUSION**

Au terme de cette étude, il apparaît nettement qu'il est possible de promouvoir une agriculture durable dans les savanes humides du nord Cameroun. Les solutions techniques résident dans l'amélioration des systèmes cultureux vulgarisés par le fumier et le paillage, dans l'adoption des systèmes cultureux conservateurs tels le Zéro tillage ou le Minitillage, ou mieux dans les systèmes mixtes (alternance labour-zéro/Minitillage ou agroforesterie) incluant aussi la jachère de courte durée. Plus que toutes les autres techniques, la jachère remplit plus durablement les fonctions de stabilisation et d'aération des sols.

Mais outre le choix de pratiques culturelles adaptées, cela suppose, avant tout, la sensibilisation des opérateurs ruraux aux risques de dégradation des sols et de la productivité, et aux possibilités de leur contrôle ; cela suppose ensuite le développement complémentaire de l'agriculture et de l'élevage, et le réajustement des habitudes des paysans et des éleveurs ainsi que la juste prise en compte par les uns et les autres du rôle de l'autre.

Outre les aspects socio-économiques que ce développement suppose - qui sont hors du sujet de ce travail - il reste pour cet objectif, la durabilité agricole, un certain nombre de recherches à poursuivre et des expérimentations à mener. C'est le cas de l'effet des matières organiques enfouies pour l'amélioration des systèmes conventionnels : la durée d'essai de quatre ans n'ayant pas donné des résultats nets pour des effets qui semblent progressifs. C'est aussi le cas des aspects phytosanitaires ou de la mécanisation des systèmes conservateurs. Il ne fait pas de doute que l'adoption des systèmes conservateurs pourrait amener à modifier les fiches techniques de culture pouvant aller jusqu'à l'adaptation des cultivars.

Compte tenu de la diversité des situations agro-pédologiques, agro-économiques ou agro-sociales, il apparaît en définitive, qu'on devrait s'orienter plutôt vers des stratégies de gestion durable des terres que vers des choix uniques de systèmes cultureux.

## Association agriculture - élevage



49	50
51	52

Photo n° 49 : Après les feux de brousse de décembre, ces troupeaux mixtes de gros et petit bétail vivent des résidus de cultures pendant deux mois environ avant le départ en grande transhumance.

Photo n° 50 : Etat de surface du sol après le rabattage des tiges de sorgho, et avant le passage des troupeaux. Le sorgho donne une biomasse abondante et durable, très convenable pour les systèmes de culture conservateurs. Si l'on veut diffuser ceux-ci, on doit changer le mode de gestion du bétail et régler l'usage du feu.

Photo n° 51 : Etat de surface du sol après le deuxième passage de troupeau de bétail. Le sol est réduit en poussières qui seront mobilisées par les vents tourbillonnants de la saison sèche.

Photo n° 52 : Après un passage de troupeau de bétail, toutes les feuilles des résidus de sorgho ont été pâturées : seules subsistent les cannes. La dégradation du sol par le piétinement est entamée.

**Une voie de recherche : le labour sous adventices pour réaliser le "mulch" *in situ***



*Photo n° 53 : Créer une macroporosité par un travail du sol qui arrache sans totalement enfouir les adventices. Dans la partie de la parcelle travaillée sous adventices à droite, le maïs a déjà levé...*



*Photo n° 54 : Lors du premier desherbage manuel, les adventices sont retirées et étalées sur le sol. Un paillage est ainsi réalisé, comme dans ce champ de paysan, sans opérations de coupe et de transport de la paille.*

## **CONCLUSIONS GENERALES**

L'étude de la dégradation et de l'érosion des terres soumises à une culture intensive de cotonnier en rotation avec les céréales, a été initiée à la demande de la Société de Développement de la Culture Cotonnière du Cameroun (SODECOTON) afin d'apporter des solutions à la baisse des rendements malgré l'intensification. Nous avons cherché à comprendre pourquoi les rendements diminuent dans les systèmes de culture intensive, quelles actions on doit entreprendre pour, d'une part prévenir la baisse dans les nouveaux blocs de culture et d'autre part restaurer la productivité des blocs dégradés.

Une enquête préliminaire a permis d'identifier le problème comme étant un dysfonctionnement du système sol-plante-atmosphère s'accéléralant avec le temps. Nous l'avons abordé en cherchant les causes du dysfonctionnement dans l'évolution des constituants et des organisations de la couche superficielle du sol en fonction des pratiques culturales et de la pluviosité. Au terme de cette première phase de l'étude, nous nous retrouvons avec une moisson d'informations abondantes, relatives à la pluviosité, aux sols, aux plantes, aux techniques culturales et à leurs interactions. Cette diversité de facteurs traduit en particulier la complexité des processus de la production végétale.

Nous les résumons ci-après.

### **1 - LES RISQUES LIES A LA PLUVIOSITE DANS LE SUD-EST BENOUE**

De Tcholliré à Touboro, le Sud-Est Benoué est homogène en ce qui concerne le critère de la pluviosité annuelle : 1250 mm en moyenne (1000 à 1500 mm), entre avril et octobre. Mais les pluies, si indispensables pour l'agriculture pluviale, ne sont pas seulement dangereuses par leur insuffisance et par la sécheresse. Elles peuvent l'être aussi, lorsqu'elles tombent abondamment, pour le sol et les cultures. Elles sont agressives pour le sol par leur volume, leur intensité ou leur distribution temporelle. Durant les quatre années d'observation à Mbissiri, on a relevé les pluies représentatives de la région : la pluie journalière, de fréquence annuelle ( $\geq 90$  mm en 24 h à Tcholliré), a été observée trois fois, et la pluie décennale (120 mm), une fois. Les intensités maximales instantanées sont très élevées et stables : on a observé un maximum de 180 mm/h durant cinq minutes tandis que sur certaines pluies, des intensités de plus de 90 mm/h se maintiennent pendant trente minutes. Les séries de pluies, caractéristiques de la pénétration de la mousson au Cameroun se sont montrées très dangereuses par l'augmentation du ruissellement et de l'érosion sur les systèmes de culture conventionnels, mais aussi par l'asphyxie des racines des plantes sur les systèmes de culture couverts. Enfin, on a observé des périodes de sécheresse d'une à trois semaines après les semis entre mi-juin et mi-juillet.

Par ces différentes caractéristiques, les pluies dégradent le sol en emportant ou en enterrant les semences, les plantules et les fertilisants, ou en perturbant l'activité physiologique de la plante. La sécheresse n'est donc pas le seul risque de pluviosité dans cette zone et la date de semis, statistiquement optimisée, seule, ne peut valablement contrôler tous ces risques.

## 2 - LE FONCTIONNEMENT DES SOLS SABLEUX CULTIVES

Le comportement des sols sableux cultivés est fonction des états de surface du sol hérités des pratiques culturales. Les trois critères de fonctionnement étudiés (ruissellement, érosion et rendement) montrent que plus un critère est sensible aux états de surface, plus il est dépendant des pratiques culturales appliquées. Cette sensibilité aux pratiques culturales se manifeste très nettement pour le ruissellement, à un degré moindre pour les pertes en terre et moins nette sur les rendements.

La variation du critère de ruissellement est intense sur les systèmes de culture conventionnels : KRAM = 16-60 %. Il est principalement fonction de l'intensité de la fermeture du sol et secondairement du cloisonnement de la pente. Le ruissellement est faible sur les systèmes de culture conservateurs : KRAM = 1 à 10 %. Le principal facteur de ce comportement est la présence de la litière à la surface du sol peu remanié par les outils de travail du sol ou de semis ; elle intercepte l'énergie cinétique des gouttes d'eau et du ruissellement et attire la macrofaune à la surface du sol. Celle-ci aménage une macroporosité stable qui est préservée par le non-travail du sol. Le ruissellement sur un sol labouré et recouvert d'un paillage est variable : KRAM = 3 à 32 %. Il est fonction de la texture du sol qui conditionne l'intensité de la fermeture de sa surface. Le critère ruissellement est fortement dépendant de la pluviosité (hauteur, intensité et séries de pluies).

Les pertes en terre varient de 5 à 35 t/ha/an sur le système de culture conventionnel, de 0,2 à 3 t/ha/an sur le système conservateur et de 3 à 5 t/ha sur le labour paillé. Les variations de ce critère dépendent de la pluviosité, mais aussi des caractéristiques du sol (pente, texture, stabilité, rugosité) et des particularités des dispositifs (effets de bordure, cloisonnement de la pente).

Dans les systèmes de travail du sol réduit sous litière, les pertes en terre sont faibles et constituées essentiellement de l'érosion de la parcelle sur la bordure du canal. Sur les sols labourés ou nus, elles deviennent très fortes et sont fonction de l'ancienneté de la mise en culture continue, de la pluviosité, de la stabilité des terres et de la rugosité de la surface. La stabilité observée au cours des premières années de la mise en culture après une jachère est fortement liée à la présence des petites racines (herbacées surtout). Le

travail du sol est la principale cause des pertes élevées en MES pouvant atteindre 5 à 9 t/ha/an contre 0,01 à 0,2 t/ha/an dans le cas de non travail du sol.

Pour le critère rendement, le coton s'est montré peu sensible au système de culture lorsque le sol n'était pas dégradé par la compaction et en l'absence des séries de pluies. Le maïs a par contre donné des résultats plus contrastés d'autant que sa culture a eu lieu au cours des années présentant des séries de pluies. Le système conventionnel a donné 4-5 t/ha de grain sec contre 2-2,6 t/ha pour les systèmes conservateurs et 3,5-4,3 t/ha pour le labour paillé. Le semis direct Sodécoton, activement vulgarisé, a produit 2,6 t/ha de coton graine et 2,4 t/ha de maïs grain ; il est sensible comme le témoin des systèmes conservateurs aux séries de pluies lorsque celles-ci interviennent avant son buttage. Le rendement est difficile à prévoir du fait des interactions entre la pluviosité, le sol et les pratiques culturales qui apparaissent comme des facteurs complexes, ayant des effets antagonistes ou additifs.

Cependant, le rendement paraît être prioritairement fonction de deux groupes de facteurs :

- facteurs mécaniques : ceux qui assurent la stabilité de l'établissement du végétal dans le sol, du semis à la récolte ;
- facteurs physico-bio-chimiques : ceux qui contrôlent la continuité et l'équilibre dans l'occupation de l'espace poral entre l'air et l'eau.

D'une façon générale, on constate que les pratiques culturales, par les états de surface qu'elles déterminent, orientent le fonctionnement soit vers des relations d'ordre hiérarchique, soit vers des interactions, entre les facteurs météorologiques, les états de surface et les facteurs pédologiques. La pluviosité et l'état de surface du sol priment sur les facteurs pédologiques et voilent des différences sensibles entre les sols pour certains critères de fonctionnement, notamment le ruissellement et le rendement. En définitive, ce sont les relations d'ordre hiérarchique et les interactions entre les facteurs météorologiques, pédologiques et culturels qui déterminent prioritairement le rendement végétal. Les indications d'état des constituants ou des organisations déterminées au champ ou sur des échantillons au laboratoire sont peu efficaces dans la prédiction des rendements.

La recherche des solutions les plus efficaces en terme de niveau et de stabilité de la productivité sur une même parcelle devrait être basée sur l'enfouissement du fumier et la couverture du sol par une litière. Le fumier est le principal facteur d'amélioration des rendements, la couverture du sol, celui qui contrôle très efficacement les risques de dégradation des sols et de la productivité là où le drainage est satisfaisant. L'utilisation complémentaire alternée des systèmes de culture conventionnels (enfouissement de fumier et décompactage du sol) et conservateurs (conservation de l'eau, du sol et des matières

organiques grâce à la présence d'une litière à la surface) constituerait la meilleure option pour atteindre l'objectif de la durabilité des productions agricoles.

L'efficacité des systèmes de travail réduit pour la conservation du sol et de l'eau donne aux résidus de culture une grande importance dans le développement de la durabilité de la production agricole dans le SEB. Leurs principales destinations sont la couverture du sol pour l'implantation des systèmes de culture conservateurs et l'alimentation du bétail pour la production du fumier. Ces deux considérations devraient orienter le choix des espèces et des variétés cultivées ainsi que celui des rotations pratiquées.

### **3 - LA DEGRADATION DES SOLS SABLEUX**

Dans le milieu de Savane (référence), on n'a pas observé en cinq ans, d'évolution sensible des constituants et des organisations du sol sur les parcelles soumises aux traitements modérés du feu et du pâturage. On en déduit que le feu et le pâturage modérés n'affectent pas de façon sensible la capacité de production agricole des sols sous savane. Par contre, le simple défrichement suivi d'un nettoyage laissant le sol nu, entraîne, au bout d'une seule saison de pluies, des modifications notables de l'organisation superficielle et de certains constituants. On note ainsi en une seule année, une diminution de 26 % du taux de la matière organique par rapport à celui de la savane témoin et une augmentation considérable du ruissellement et des pertes de terre. C'est donc la mise en culture qui déclenche la dégradation accélérée du sol.

La dégradation physique des sols peut avoir des origines très différentes : désagrégation et érosion sélective des fractions fines les plus fertiles du sol, ablation de l'horizon de surface et mise à nu des horizons sous-jacents moins fertiles, plus compacts ou peu stables, formation des organisations pelliculaires superficielles (OPS). Toutes ces actions concourent à la désorganisation de la couche superficielle et induisent une discontinuité des flux d'eau et d'air entre l'atmosphère et les horizons sous-jacents aux OPS. L'accumulation et les mouvements superficiels d'eau qui s'ensuivent accroissent la désagrégation et le triage des constituants. Après 40 à 100 mm de pluie, variables avec la fragilité du sol et l'intensité des pluies, la surface des sols cultivés conventionnellement est recouverte d'une mince couche de sable tassée, reposant sur un horizon qui se recompacte rapidement. Le travail du sol constitue une phase de désagrégation intense, accélérant le détachement des particules par les eaux de pluie même lorsque celles-ci sont peu agressives.

Les pertes en terre issues du détachement des particules dépendent du ruissellement et de la compétence du ruissellement pour leur transport. Elles dépendent en conséquence moins directement des pratiques culturales que le ruissellement. Sur les sols

sableux à faible pente du SEB, les redistributions d'éléments grossiers sont très abondants et font des pertes en terre un descripteur peu efficace de la dégradation totale dans la parcelle. Les pertes en particules fines, matières organiques, argiles et limons (MES), plus liées au ruissellement que les pertes en terre grossière, seraient un critère plus efficace pour décrire la dégradation du sol. La vitesse d'effacement de la rugosité de la surface paraît aussi un descripteur efficace de l'état de dégradation d'un sol.

La vitesse de dégradation et l'état de fragilité des sols cultivés dépendent non seulement du type de sol, mais surtout du système de culture appliqué. Les systèmes culturaux qui remanient faiblement le sol en laissant une abondante litière à la surface évoluent lentement, en aérant davantage le sol et en recyclant les matières organiques grâce à la faune du sol. Par contre, avec les systèmes de culture laissant le sol nu, les couches superficielles se réorganisent vite après avoir perdu sélectivement une partie de leurs constituants. Les nouvelles couches issues des réorganisations sous l'impact des gouttes de pluie sont tassées et peu perméables. La désagrégation et les mobilisations sont accrues par le travail du sol, amenant une rapide fermeture de la surface, même lorsque le sol est couvert par un écran.

Les traitements efficaces pour limiter la dégradation sont incontestablement ceux qui maintiennent une litière suffisante sur le sol et qui le remanient peu. Il convient ensuite de les adapter dans chaque situation agricole de façon que les objectifs de productivité et de préservation contre la dégradation du sol soient compatibles.

#### **4 - EVALUATION DES PRATIQUES CULTURALES VIS-A-VIS DES RISQUES LIES A LA PLUVIOSITE**

Le labour conventionnel produit bien tant que le sol n'a pas franchi le seuil d'instabilité nuisible à la culture, en augmentant temporairement la macroporosité à l'air, en modérant ensuite l'infiltration (OPS) et en favorisant une implantation profonde du végétal. Etant le principal facteur de la dégradation de ces sols sableux, il devient, à moyen terme, la cause d'une forte sensibilité du sol et de la culture aux risques d'érosion, de battance et de sécheresse. L'érosion affecte le rendement en réduisant la population des plants récoltés ou en privant le sol de ses facteurs de fertilité.

Sur les sols à pente proche de l'aplanissement ( $\leq 1\%$ ), le fumier enfoui constitue une amélioration spectaculaire du système de culture conventionnel. Au-delà de 1 % de pente, toute amélioration nécessite une maîtrise préalable du ruissellement. Le paillage peut ainsi constituer une amélioration durable, s'il est précédé d'une réduction de la rugosité après le labour. Les bandes végétales de 2 m de largeur tous les 20 m peuvent devenir plus intéressantes si elles produisent assez de biomasse pour pailler la bande cultivée, cet important rôle s'ajoutant à l'absorption partielle ou totale du ruissellement et à

l'aplanissement des parties cultivées. Elles nécessitent toutefois la gestion du système racinaire des ligneux et l'entretien de leur perméabilité au ruissellement.

Les systèmes conservateurs sont peu sensibles aux risques de sécheresse, d'érosion et de battance, mais très sensibles au risque d'anoxie racinaire. L'adaptation de la fertilisation azotée à la pluviosité et les semis précoces là où la disponibilité de la litière ne pose pas de problème permettent de minimiser ce risque.

On constate que la production agricole est affectée soit par des événements pluviaux individuels (exceptionnels ou modérés), soit par les séries de pluies se produisant à une phase donnée du cycle cultural. L'optimisation des dates de semis basées sur l'analyse fréquentielle des pluies est peu efficace pour la prévention ou la réparation de ces risques. Les pratiques culturales offrent par contre la possibilité de gérer plus efficacement l'ensemble des risques liés à la pluviosité que les approches statistiques.

## **5 - RESTAURATION DE LA PRODUCTIVITE DES SOLS DEGRADÉS**

Nous avons objectivement justifié le déclassement de sols dégradés (bloc D) pour la culture intensive par la SODECOTON (forte instabilité des sols entraînant des pertes en terre toujours élevées quelle que soit la pluviosité : 20-35 t/ha/an). Mais nous y avons produit, à l'échelle des parcelles de 100 m<sup>2</sup>, autant de maïs et de coton que dans les parcelles de la nouvelle défriche traitée avec un labour conventionnel : il suffit de stabiliser le sol en appliquant des systèmes de culture conservateurs (ZT) et/ou en introduisant des jachères courtes. On peut donc dire que lorsque les sols dégradés par le système de culture conventionnel disposent encore d'un horizon de sol meuble d'au moins 50 cm, ils peuvent retrouver leur potentialité de production. On peut alors changer le système de culture dans le sens d'une maîtrise du ruissellement, de la stabilisation du sol, et en le décompactant.

Ces étapes de restauration comprennent :

- un labour de décompaction accompagné d'un enfouissement de fumier (3 t/ha/an ou plus) avant de passer aux systèmes conservateurs ;
- le maintien d'une litière à la surface du sol ou en le laissant en jachère pendant un ou deux ans avant de le décompacter ;
- la correction des carences minérales et éventuellement du pH.

## **6 - CONCLUSIONS PRATIQUES**

La maîtrise de la productivité agricole sur les sols sableux de la région du Sud-Est Bénoué exige une bonne prise de conscience des quatre principaux risques liés à la

pluviosité que sont : l'érosion, la battance, la sécheresse et l'anoxie racinaire. La lixiviation des nutriments en solution pourrait aussi demander des actions spécifiques. Le choix des systèmes de culture et des dates de semis devra tenir compte des risques les plus redoutés.

Les sols sableux non dégradés ne présentent pas de contraintes mécaniques à l'infiltration et surtout à l'installation optimum des plantes. Les systèmes conservateurs ne nécessitent donc pas de décompactage préalable sur les sols non dégradés. La pente, la texture et la position topographique du terrain sont des facteurs pédologiques importants à considérer car ils conditionnent le drainage du sol. Les sols à drainage lent doivent être semés plus précocement.

La multiplication des travaux aratoires accroît la susceptibilité à la dégradation des terres (désagrégation + transport sélectif). Le labour ne se justifie que pour la décompactation des sols dégradés. L'augmentation de la rugosité par le buttage accroît aussi la dégradation car sur ces sols, les pertes en terre peuvent varier plus avec la rugosité qu'en fonction du temps d'exposition aux pluies. On a ainsi observé qu'en année pluvieuse, le semis direct Sodécoton (intermédiaire entre les systèmes non-labour et labour) pouvait perdre autant de terre que le témoin labouré, bien que transformé d'un zéro tillage par le buttage un mois et demi après le semis.

La couverture du sol par la biomasse végétale est la base de la conservation des terres et de l'eau. Cependant, lorsque les pluies sont très rapprochées (deux pluies en moins de 48 heures) les parcelles recouvertes de litière sont temporairement et superficiellement engorgées. Cet état se caractérise par le jaunissement des plantes et une perte de vigueur. L'apport de l'urée juste à la fin de la série de pluies réduit l'incidence de ce risque sur le rendement à condition que le trouble physiologique n'ait pas franchi le seuil de correction. L'intensité de l'asphyxie racinaire est fonction de celle des séries de pluies et de la qualité du drainage des sols. Plus précoces et plus intenses sont les séries de pluies par rapport au semis, plus importants seront les effets sur les plantes et sur les rendements.

Sur les sols non dégradés, une fertilisation du zéro tillage adaptée à la pluviosité permet de réaliser les mêmes rendements que sur le labour. Celle-ci pourrait être fractionnée en apport de base à la levée et en fertilisation d'intervention. Cette dernière étant constituée d'une fraction de l'urée à apporter à la fin de la série de pluies de courte durée (2 pluies). La fertilisation d'intervention pour des séries de longue durée est un objectif que la recherche doit préciser. L'utilisation de l'urée foliaire pourrait s'avérer plus adaptée à la fertilisation des systèmes de culture conservateurs que l'urée granulée disposée dans le sol.

L'alternance labour-zéro tillage, une année sur deux ou une année de labour et deux années de zéro tillage, devrait réduire la dégradation du sol.

## 7 - EVALUATION DES METHODES UTILISEES

Du problème posé par la Sodécoton au bilan que nous venons d'esquisser, c'est plutôt une démarche qu'on devrait présenter, laissant aux résultats et au temps d'évaluer les méthodes et de justifier les coûts.

La préparation de l'étude a consisté en une enquête sur le terrain au cours des campagnes agricoles 1989 et 1990. Elle a été déterminante pour la suite : confirmation et identification du problème comme étant un dysfonctionnement de système dû à la dégradation physique et à l'érosion ; identification des facteurs cultureux et pédologiques influant sur le phénomène, degré d'application du système vulgarisé, etc.

Nous avons ensuite adopté une approche théorique systémique en considérant que le dysfonctionnement est la conséquence d'une évolution défavorable soit des constituants, soit des organisations ou des deux à la fois. Des bilans de fonctionnement du sol, relatifs à trois grands critères : ruissellement, pertes de terre et rendement, ont été établis sur des parcelles expérimentales comparatives pour quantifier à différentes échelles spatiales et temporelles, l'effet des facteurs « pratiques culturelles, pluviosité ».

Une approche expérimentale centrée sur les parcelles d'érosion a été retenue. Nous avons ainsi mis en place 54 parcelles d'érosion de 100 à 1000 m<sup>2</sup> pour étudier le maximum de systèmes de culture (douze au départ) dans un dispositif comportant des répétitions et trois parcelles pour le suivi de l'évolution de la savane. Les parcelles d'érosion du milieu cultivé ont été complétées par des dispositifs d'essais agronomiques classiques pour répondre à des problèmes précis rencontrés dans les parcelles d'érosion. Malgré l'apparente complexité du dispositif global, l'ensemble expérimental a gardé une forte cohérence avec l'objectif général de l'étude qui est la recherche de la durabilité de la production agricole intensive.

Nous pensons que la résolution de problèmes complexes (à court terme) ne peut pas facilement se contenter d'expérimentations simples et isolées. Nous aurions bien pu nous limiter à observer que les plantes jaunissaient sur le traitement zéro tillage et que la productivité de cette pratique était inférieure à celle du labour classique trois années sur quatre : c'était un bon résultat scientifique, mais pas une solution proposable au paysan. Autrement dit, lorsque les moyens ne sont pas limitants, la finalité de la recherche pour le développement n'est pas de constater, mais d'expliquer et de proposer des solutions.

La méthode des parcelles d'érosion nous semble être l'un des meilleurs outils dont dispose actuellement la recherche agronomique pour comprendre le fonctionnement des

systèmes pluviaux au travers d'études de bilans de matières. Elle permet d'évaluer plusieurs révélateurs de fonctionnement et d'étudier des processus dans les conditions naturelles et surtout à des échelles représentatives des exploitations paysannes (l'unité de surface de production dans le système SODECOTON est le quart d'hectare : 50 m x 50 m et nos parcelles d'échelle : 18 m x 60 m).

Le cadre expérimental constitué de sols très fragiles, de pentes faibles, d'un climat très agressif et d'une intervention technique énergique (labour au tracteur) a permis sans doute une expression des processus et des phénomènes plus intense. Ceci nous a donné l'opportunité d'observer des faits que nous n'avons pas relevés dans la bibliographie exploitée.

Par ailleurs, ce cadre s'est retrouvé pour plusieurs points en dehors de celui de la définition de l'USLE (pente > 3 %, texture moyenne), ce qui, ajouté à l'inadaptation de la gestion des OPS par rapport au système de culture, ne nous a pas permis d'évaluer plus précisément le poids des pratiques culturales en tant que facteur d'érosion à l'aide de ce modèle. Nous croyons cependant avoir contribué à une utilisation plus prudente des parcelles d'érosion en général et du modèle USLE en particulier par la mise en évidence des effets de la proximité du canal de collecte des sédiments : cela crée des risques d'erreur dans la comparaison de parcelles de largeurs différentes ou dans l'interprétation des effets d'échelle. L'effet de "seuil" participe aussi à ces détails qu'il faut connaître, surtout sur les sols sableux afin de prévenir ou de repérer des résultats aberrants.

## **8 - OUVERTURE SUR LE FUTUR**

Le dispositif de Mbissiri est un outil précieux pour l'étude de comportements des sols et du fonctionnement des systèmes sol-techniques culturales-plante-atmosphère. On devrait donc essayer de le préserver à tout prix et d'optimiser son utilisation.

La deuxième phase de l'étude sur le bilan chimique et l'arrière-effet de l'érosion se poursuit en ce moment. Elle doit déboucher, dans les deux à trois prochaines années, sur deux autres synthèses :

- bilan des pertes chimiques en fonction des systèmes de culture ;
- arrière-effet de l'érosion sur les rendements.

Après ces deux aspects en cours, nous percevons quatre grandes orientations :

- la poursuite des observations sur les traitements dont les effets sur le fonctionnement des sols n'ont pas donné de résultats nets au cours de ces quatre premières années : cas des matières organiques enfouies en particulier ;

- recherches complémentaires sur les systèmes de production conservateurs :
  - disponibilité précoce des résidus et dates de semis ;
  - fertilisation et gestion de l'anoxie racinaire ;
  - contrôle des adventices ;
  - aspects entomologiques et sanitaires en général ;
  - mécanisation ;
  - amélioration du labour sous adventices.
- Améliorations des matières organiques et activités biologiques :
  - augmentation quantitative et qualitative du carbone du sol ;
  - amélioration de l'activité de la macrofaune ;
  - réduction des pertes en nutriments ;
  - améliorations physiques du sol par les matières organiques, la macrofaune et les plantes de couverture.
- Activités hors station :
  - faisabilité et rentabilité de systèmes durables proposés ;
  - complémentarité agriculture-élevage ;
  - intégration de l'arbre dans les systèmes agro-pastoraux ;
  - organisation de la production et amélioration de la qualité du fumier d'étable ;
  - gestion de l'eau sur le versant.

## 9 - CONCLUSION

De ce qui précède, nous en concluons d'abord que la lutte antiérosive n'est pas une science à part. La dégradation et l'érosion des terres étant toujours omniprésentes dans les systèmes de culture pluviaux, l'agronome ne devrait pas l'ignorer ou l'occulter. On sait depuis longtemps que l'érosion est la cause de la spoliation du sol de ses facteurs de fertilité naturels ou apportés sous forme de fertilisants. Comment ces derniers ont-ils reçu plus de publicité et d'intérêt de la part des agronomes ?

Comme toutes les autres contraintes agronomiques ou les autres risques liés à la pluviosité, la dégradation et l'érosion des sols cultivés doivent trouver leurs solutions dans le système de culture. Elles doivent être prises en compte dès la conception du projet d'exploitation et non lorsqu'elles se manifestent, ayant déjà causé de gros dégâts.

Malgré leur faible pente, les sols sableux du SEB subissent une dégradation et une érosion intense, dangereuses pour une productivité rentable et durable. Il apparaît cependant qu'on peut y organiser une production durable grâce à l'adoption de systèmes de culture conservateurs, appliqués de préférence en combinaison avec les systèmes de

culture conventionnels. La minimisation du risque d'anoxie racinaire qu'ils comportent peut être assurée par une fertilisation adaptée à la pluviosité et surtout par des dates de semis précoces (mai). Cette dernière solution implique la résolution du problème de la disponibilité des résidus de culture de céréales en fin de saison sèche.

A ce niveau, les questions sur la gestion des feux de brousse et des pâturages deviennent centrales pour la résolution des problèmes de mouvements de population actuels et de dégradation accélérée des ressources en eau et en sol.

Dans cette zone, l'adoption des systèmes de culture durables implique une évolution simultanée des systèmes d'élevage. La promotion de complémentarités entre les trois secteurs ruraux (agriculture-élevage-forêt) apparaît comme la meilleure voie pour un développement rural durable.

En définitive, on constate que le problème technique de la baisse de la productivité agricole, qui entraîne des migrations de populations, trouve une solution dans la gestion sociale et durable de l'espace rural entre agriculteurs et éleveurs. Elle implique impérativement des systèmes de production agricoles et pastoraux nouveaux. Il appartient aussi aux responsables de la gestion des communautés et des ressources, de favoriser ces évolutions par un système foncier sécurisant et un cadre réglementaire adapté à la gestion durable des ressources.

Ce n'est pas uniquement un problème technique, mais un problème de société en crise. La capacité de résolution des graves problèmes sociaux d'aujourd'hui et du développement en général, réside plus dans la volonté d'innovation des hommes que dans les possibilités techniques.

## **LISTE BIBLIOGRAPHIQUE**

- Ahn P.M., Hintze B., 1990 - No tillage, Minimum tillage and their influence on soil properties. In Organic matter management and tillage in humid and sub-humid Africa.: 341-349 IBSRAM.Proceedings n°10. Bangkok.
- Aina P.O., 1993 - Soil tillage in Africa : needs and challenges. FAO Soils Bulletin n° 69 : 1-10.
- Ambroise R., Frapa P., Giorgis S., 1989 - Paysages de terrasses. Edisud, 189 p.
- Ange A.,1988 - Objectifs, méthodes et moyens pour une cellule de Direction et Contrôle des travaux de conservation des sols sous savane en culture mécanisée. Rapport mission en Côte d'Ivoire ; CIRAD MPL,53 p.
- Antapa P.L., Angen T.V., 1990 - Tillage practices and residue management in Tanzania. In Organic Matter Management and Tillage in Humid and Sub-Humid Africa. pp 49-57 IBSRAM proceedings n°10. Bangkok.
- ARS (Agricultural Research Service, USDA), 1975 - Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. USDA-ARS-5-40. Washington, DC govt. Printer.
- Baver L.D., Gardner W.H., Gardner W.R., 1972 - Soil Physics, fourth edition, 498 p.
- Bekolo M., Gaudard L., 1995 - Rapport semestriel mai 94 - octobre 94. SODECOTON. 24 p.
- Bennett H.H., 1939 - Elements of Soil Conservation. 2nd edit. Mac Graw-Hill, New York
- Bertalanfy L.V., 1973 - Théorie générale des systèmes. Traduction française, 296 p.
- Birot Y., Galabert T., Roose E., Arrivets J., 1968 - Deuxième campagne d'observations sur la station de mesure de l'érosion de Gampéla : CTFT- Ouagadougou, Burkina Faso., 40p.
- Boiffin J., 1984 - La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Paris, 320 p.
- Boli Z., 1976 - Mise au point d'un simulateur de pluie de laboratoire. Essai d'application à l'étude de l'érodibilité des sols. Mémoire DEA, Un. Paris VII, 19 p.
- Boli Z., 1991 - L'Agriculture et la désertification au Nord Cameroun. P.A.L.C.D., MINAT/UNSO. Rapport Tech. Sect.n°3 : 41 p.
- Boli Z., Bep à Ziem, Roose E., 1991 - Enquête sur l'érosion pluviale sous rotation coton/céréales dans la région de Tcholliré (Sud-Est Bénoué), Nord-Cameroun.Bull.Rés.Erosion n°11, 127-138.

- Bolline A., 1982 - Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en moyenne Belgique. Thèse, Un.de Liège.
- Boone F.R., 1988 - Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. *Soil and Tillage Research* 11 : 283-324.
- Boudjemline D, Roose E.J., Lelong F., 1993 - Effect of cultivation technics on the hydrodynamic and mechanical behaviour of the "Lauragais-Terreforts". In "Farm Land Erosion" ; S. Wicherek Edit., Elsevier : 31- 46.
- Boutrais J., 1973 - La colonisation des plaines par les montagnards au nord du Cameroun (Monts Mandara). Travaux et documents de l'ORSTOM n° 24-Paris, 1 vol.277 p.; 31fig. 16pl. hors texte.
- Brabant P., 1976 - Notice explicative n° 62, Carte Pédologique de Reconnaissance : Feuille Rey-Bouba à 1/200.000<sup>e</sup>
- Brabant P., Gavaud M., 1985 - Les sols et les ressources en terre du Nord-Cameroun. (Provinces du Nord et de l'Extrême-Nord). Cartes à 1/500.000<sup>e</sup> éd.ORSTOM; 285 p
- Breton R., 1979 - Ethnies et Langues. Atlas de la République -Unie du Cameroun, éd.J.A.73 p.
- C.T.A., 1995 - SPORE, 55 : 11.
- Cameroun/FNUAP, 1991 - Démo 87 : "7 millions et demi en 1976, 10 millions et demi d'habitants en 1987", SPP; 2è rgph; SOPECAM Yaoundé.
- Caneill J., Bodet J.M., 1991 - Simplification du travail du sol et rendement des cultures. in simplification du travail du sol, éd.INRA, Paris n° 65 : 63-82.
- Casenave A., Valentin C., 1989 - Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Paris 229 p.
- César J., Coulibaly Z, 1990 - Le rôle de la jachère et des cultures fouragères dans le maintien de la fertilité des terres. In "La jachère" : 415-434
- Chabert J.P., Hervé D., Milleville P., 1990 - Labours en pays de coopération. Catalogue pour une exposition itinérante, 107 p.
- Charreau C., 1968 - Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance.Comm.7<sup>o</sup> Congrès inter.génie rural : 836-842.
- Charreau C., Nicou R., 1971 - L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sableux argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine et ses incidences agronomiques. *Agronomie Tropicale* : 26 : 903-978 and 1183-1247.
- Charrière G., 1984 - Culture attelée : un progrès dangereux. Cah.ORSTOM, sér.Sc.Hum.,vol.XX, 3-4 : 647-656.

- Collinet J., 1988 - Etude expérimentale de l'érosion hydrique de sols représentatifs de l'Afrique de l'Ouest. Cah.ORSTOM, sér.Pédol. VOL.XXIV, 3, : 235-254.
- Collinet J., Lafforgue A., 1979 - Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. ORSTOM Abidjan, 129 p.
- Combeau A., Ollat C., Quantin P., 1961 - Some characteristics of ferralitic soils. Relations between crop yields and soil analysis. Fertilité 13 : 27-40.
- Combeau A., Quantin P., 1965 - Observation sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. C.S.T Bondy, 11 p.
- Combeau A., Quantin P., 1966 - Observations sur les relations entre stabilité structurale et matière organique dans quelques sols d'Afrique Centrale. C.S.T. Bondy, 8 p.
- De Ploey J., 1981 - The ambivalent effects of some factors of erosion. Mem. Inst. géol.Un. Louvain, tXXXI : 171-181.
- De PLoey J., 1983 - Runoff and rill generation on sandy and loamy topsoils. Z.Geomorph.N.F. suppl. Bd 46 : 15-23 Berlin.Stuttgart.
- Démolon A., 1966 - Principes d'Agronomie. T1 : Dynamique du sol. 5è éd. Dunod, Paris, 519 p.
- Derpsch R., Sidiras N., 1986 - Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Parana', Brazil. Soil & Tillage Resarch, 8 (1986) : 253-263.
- Dickey E.C., Shelton D.P., 1987 - Targeted educational programs to enhance the adoption of conservation practices. Optimum Erosion Control at Least Cost Proceedings, 1987.
- Duchaufour P., 1987- Pédologie : 1 Pédogenèse et classification. éd. Masson, 477p.
- Ekern P.C., 1977 - Turbidity and sediment-rating curves for streams on Oahu, Hawaii. In : SCSA pp242-254.
- Ekorong J., 1995 - Dynamique du nitrate dans le sol : incidence de la pluviosité. Rapport de campagne 1994-1995 à la réunion de présentation des résultats, IRA-Maroua, 12 p.
- El Swaify S.A., Cooley K.R., 1980 - Sediment losses from agricultural watersheds in Hawaii. Agricultural Reviews and Manuals n°17. SEA-USDA-W series.Oakland, CA : USDA.
- El-Swaify S.A.; Dangler E.W., and Armstrong C.L., 1982 - Soil Erosion by Water in the Tropics. University of Hawaiï, 173 p.
- Ellison W.D., 1944 - Study on raidrop erosion. Agric. Eng. 25 : 131-136.
- Ellison W.D., 1947 - Soil erosion studies, pt.2. Soil detachment hasard by raindrop splash. Agric. Eng. 28 : 197-201.

- Ellison W.D., Ellison O.T., 1947 - Soil erosion studies, pt.7. Soil transportation by surface flow. *Agric. Ing.* 28(10) : 442-444, 450.
- Elwell H.A., 1983 - Some important information from erosion research. *Agritex Advisory note 15/8*, Harare 8p.
- Elwell H.A., 1989 - Soil structure under conservation Tillage. a Handbook for Commercial farmers in Zimbabwe. Commercial Grain Producers Association, Harare pp 33-39.
- Elwell H.A., 1993 - Development and adoption of conservation tillage practices in Zimbabwe. *FAO Soils Bulletin n°69* ; pp .129-165.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)- 1993 Soil Tillage in Africa : needs and Challenges. *FAO Soil Bulletin n°69*.
- Farres P.J., 1976- The role of time and aggregate size in the crusting process. *Earth Surface Processes*, Vol.3, 243-254 (1978).
- Fauck R., 1956 - Erosion et mécanisation agricole. Bureau des sols sur le continent africain. *Sols Africains* 12(1) : 5-53.
- Feller C., 1979 - Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols : application aux sols tropicaux à textures grossières, très pauvres en humus. *Cah.Orstom, Sér. Pédol.*, 17 : 339-346.
- Feller C., 1994 - Fritsch E., Poss R., et Valentin C. 1991 - Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans les sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest en particulier). *Cah.ORSTOM, Sér. Pédol.vol.XXVI*, 1 : 25-36.
- Feller C., La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1 : recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse, UN. Strasbourg, 393p.
- Fisher R.A., 1937 - The design of Experiments. 2nd edition Oliver and Boyd.
- Floret C., Serpentié G., 1993 - La jachère en Afrique de l'Ouest. Atelier international, Montpellier, 2-5 déc.1991.494p.
- Fournier F., 1962 - Carte de l'érosion des sols de l'Afrique. CEE, Commission pour la Coopération Technique avec l'Afrique.
- Fournier F., 1967 - "La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain". *Sols africains*, vol.12, n°1 : 5-53.
- Gautronneau Y., Manichon H, 1987 - Guide méthodique du profil cultural. Ceref-Isara, Gera.71 p.
- Génieux M., 1958 - Climatologie du Cameroun. IRCAM, Yaoundé 7p.

- Germon J.C., Taureau J.C., Thomas J.M., 1991 - Effets des méthodes simplifiées de travail du sol sur les transformations de l'azote et leurs conséquences sur le lessivage des nitrates. In Simplification du travail du sol, éd. INRA Paris, 1994, Les Colloques, n°65.
- Govers G., 1987 - A regional study of rill patterns in the Flemish Loam and sand loam region. Bulletin de la soc. Belg. Etudes géogr. SOBEG, 1987-1 : 75-89.
- Govers G., 1987 - Spatial and temporal variability in rill development processes at the Hundenberg experimental site. Catena supplement 8.
- Govers J.C., 1985 - Selectivity and transport capacity of thin flows in relation to rill erosion. Catena. Vol.12.35-49.
- Guérif J., 1991 - Influence de la simplification du travail du sol sur l'état structural des horizons de surface: conséquences sur leurs propriétés physiques et leurs comportements mécaniques. Colloque sur simpl. trav;sol, INRA Paris, 1994, 172 p.
- Hake K., Cassman K., Whisler F., Upchurch D., 1990 - Root physiology and management. In Physiology Today. Newsletter of the Cotton Physiology Educational Program. Nat. Cotton Council, Technical Services, April 1990.
- Hake K., Krieg D., 1992 - Plant water relations ; Cotton Physiology Today. Newsletter of the Cotton Educational Program. Nat. Cotton Council, July 1992, vol.3 n°7.
- Harroy J.P., 1944 - Afrique, terre qui meurt. Bruxelles, Edit. Marcel Hayez, 558 p.
- Hart P.B.S., Healy N.B., 1980 - Topsoil removal and the restoration of pasture and soil productivity. Int. Rep., Soil Bureau, Dept. of Scientific and Industrial Research, New-Zeland.
- Hénin S., 1976 - Cours de physique du sol. Tome I. ORSTOM-EDISET ; 159 p.
- Hénin S., Gras R., Monnier G., 1969 - Le Profil Cultural. Masson, édit. 332 p.
- Hénin S.; 1977 - Cours de physique du sol. Tome II. ORSTOM-EDISET; 221 p.
- Heusch B., Etude de l'érosion et des transports solides en zone semi-aride. Rech. biblio. sur l'Afrique du Nord. Projet PNUD Rab/80/04 : 83p.
- Hien V., Sédogo M.P., Etude des effets de la jachère de courte durée sur la production et l'évolution des sols dans différents systèmes de culture du Burkina Faso. In La jachère en Afrique de l'Ouest pp 221-232.
- Horton R.U., 1945 - Erosional development of streams and their drainage basins : hydrological approach to quantitative morphology. Geol. Soc. Amer. Bull. 56 : 275-370.
- Hudson N.W., 1961 - An introduction to the mechanics of soil erosion under tropical rainfall. Proc. of Rhodesian Scientific Assoc. : XLIX, 1 : 15-25.

- Hudson N.W., 1963 - Rainfall intensity and erosivity. Advisory notes, Dept. of Conservation, Rhodesia, 5 p.
- Hudson N.W., 1973 - Soil conservation. Batsford, London, 320p.
- Hudson N.W., 1988 - Soil conservation strategies for the future. Proceedings of the 5th intern.soil conser.Conference: Land Conservation for the Future Generations; 18-29 January 1988, Bangkok, Thailand vol.667 p.
- Hudson N.W., The effect of ploughing methods on the slope of the between contour ridges. Rhod. Agricult.J.Bull. 2247,3 p.
- Hudson N.W., Jackson D.C., 1959 - Results achieved in the measurement of erosion and run-off in the Southern Rhodesia. 3rd inter-african Soils Conference. Dalaba, 15 p.
- IBSRAM (International Board for Soil Research and Management) 1990. Organic Matter Management and Tillage in Humid and Semi-Humid Africa. IBSRAM Proceedings n°10 Bangkok, sp.
- IFAD , 1992 - Soil and water conservation in Sub-Saharan Africa. Towards sustainable production by rural poor. 110 p.
- Kang B.T., 1993 - Potential for sustainable agroforestry and alley farming in tropical Africa. FAO Soils Bulletin n°69 ; 11-18.
- Klein H.D., 1994 - Introduction des légumineuses dans la rotation Céréales/Cotonnier au Nord-Cameroun : gestion et utilisation. Maisons-Alfort (France), 184p.
- Kobayashi H., 1994 - The significance of grass roots for soil conservation. Soil particle holding function with pasture grass roots.8th ISCO Conference, New-Delhi,4-8 Dec.1994, 12 p.
- La Sainte Bible - Traduction Louis Second. Nouvelle Edition, Trinitarian Bible Society-London.
- Lafforgue A., Naah E., 1976 - Exemple d'analyse expérimentale des facteurs du ruissellement sous pluies simulées. Cah. ORSTOM Hydrol. 13(3) : 195-237.
- Laflen J.M., Lal R., Swaify S.A., 1990 - Soil erosion and sustainable agriculture systems. SWCS : 569-581, 696 p.
- Lal R., 1979 - Soil érosion problems on an alfisol in Western Nigeria and their control, IITA Monograph n°1. 207P
- Lal R., 1977 - Importance of tillage systems in soil and water management in the tropics. In Soil Tillage and Crop Production. R. Lal (ed.) 25-32, IITA, Ibadan, Nigeria.
- Lal R., 1983 - No-Till farming. Soil and water conservation and management in the humid and subhumid tropics. Monograph n° 2. IITA, Ibadan-Nigeria,64p.

- Lal R., 1988 - Monitoring soil erosion's impact on crop productivity. Soil Erosion Research Methods Soil and Water Conservation Society : 188-200.
- Lal R., Hahn S.K., 1973 - Effects of methods of seedbed preparation, mulching and time of planting on yam in western Nigeria. Symp.Proc. Int.Soc. Trop. Root Crops.IITA Ibadan, Nigeria. 2-12 December 1973.
- Lamachère J.M., Serpantié G., 1990 - Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne. Burkina Faso, Province du Yatenga- Région de Bidi.VI journées hydrologiques de l'Orstom, 12-15 septembre 1990 : 259-276.
- Landais E., Lhoste P., Guérin H., 1990 - Systèmes d'élevage et transferts de fertilité : 219-270.
- Lavelle P., Martin A., Blanchart E., Gilot C., Melendez G., Pashanasi B., 1990 - Conservation de la fertilité des sols de Savane par la gestion de l'activité de la macrofaune du sol. In Savanes d'Afrique terres fertiles ? Ministère de la Coopération et du Développement, : 371-396.
- Le Bissonais Y., 1989 - Expérimental study and modelling of surface crusting processes. Accepté pour le 5 décembre 1989 pour publication
- Le Bissonais Y., Le Souder C., 1985 - Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. Etudes et gestion des sols, 2, 1, 1995 : 43-56.
- Lelong F., Roose E., Dartout R. Trevisan D. 1993 - Susceptibilité au ruissellement et à l'érosion en nappe de divers types texturaux de sols cultivés ou non cultivés du territoire français. Expérimentation au champ sous pluies simulées. Science du sol- 1993-vol.31.4.251-279.
- Letey J., 1985 - Relationships between soil physical properties and crop production. Advance in Soil Science, vol.1.
- Letouzey R., 1985 - Carte phytogéographique du Cameroun au 1/500.000<sup>e</sup>. Yaoundé-IRA/Toulouse-ICIV.
- Leynaud M., 1992 - Méthodes et techniques alternatives ou complémentaires aux barrages de retenue pour la régularisation des ressources en eau. 22<sup>e</sup> journées de l'Hydraulique (France) 9 p.
- Lhoste P., Richard D., 1993 - Contribution de l'élevage à la gestion de la fertilité à l'échelle du terrain. Bulletin du Réseau Erosion n°14 : 464-489.
- Loung J.F., 1979 - Population. Atlas de la République-Unie du Cameroun, éd.J.A., 73 p.
- M'Biandoun M., 1990 - Zonage agroclimatique du risque de sécheresse régionale, le cas du Nord Cameroun. Mémoire Diplôme d'Ing. Agronomie Trop. CNEARC-ESAT, Montpellier, 36 p.

- Mannering J.V., Fenster C.R., 1983 - What is conservation tillage ? Journal of Soil and Water Conservation 38 : 141-143.
- Mbagwu J.S.C., Lal R., Scott T.W., 1984 - Effect of artificial desurfacing on alfisols and ultisols in Southern Nigeria : I Crop performance. Soil Sci.Soc.AM.J.,vol.48.
- Meyer L.D., De Coursey D.G., Romkens M.J., 1976 - Soil erosion concepts and misconcepts. Proc. Third Fed. Inter. agency sed. Conf. US Geol. Survey, Denver, USA. sp.
- Moby Etia , 1979 - Climat. Atlas de la République-Unie du Cameroun, éd.J.A. 73 p.
- Monnier G., Boiffin J., Papy F., 1986 - Reflexions sur l'érosion hydrique en conditions climatique et topographique modérées : cas des systèmes de grande culture de l'Europe de l'Ouest. Cah.ORSTOM, sér.Pédol.,vol.XXII, n°2,123-131.
- Monnier G.,Thevenet G, Lesaffre B,1994 - Simplification du travail du sol. Coll. INRA, ITCF, CEMAGREF. sp.
- Morel J., 1989 - Les Sols cultivés. Techniques et documentations - Lavoisier éd. 373 p.
- Morel R., Quantin P.,1972 - Observation sur l'évolution à long terme de la fertilité des sols cultivés à Grimari (Rép.Centrafricaine). Agrn.Trop.27(6) : 667-739.
- Morin J. 1993 - Rainfall analyses for tillage management decisions. FAO Soils Bulletin n°69 ; pp27-39.
- Morin S., 1979 - Géomorphologie. Atlas de la République-Unie du Cameroun, éd.J.A 73p.
- Ndoubé-Manga S., Hengue P.,Bikoï S.A., Koulandi J., 1990 - Etude de la situation foncière et domaniale dans le Périmètre Nord-Est Bénoué. Rapport définitif. MESIRES/ISH-CRESS; 113 p.
- Nicou R., Charreau C., 1985 - Soil tillage and water conservation in semi-arid West-Africa.Comm.présentée au Séminaire :Appropriate technologie for farmers in semi-arid and West-Africa. Ouagadougou April 1985.24p.
- Nougier J., 1979 - Géologie. Atlas de la République-Unie du Cameroun, éd.J.A. 73p.
- OFORI C.S., 1993 - The challenge of tillage development in African agriculture. FAO Soils Bulletin n° 69 ; pp. 77-82.
- Ohu J.O., Ekwe E.J., Folorunso O.A.,1994 - The effect of addition of organic matter on the compaction of a vertisol from Northern Nigeria. Soil Technology 7 (1994)155-162.
- Oldeman L.R.,1988 - Directives pour une évaluation générale de l'état de la dégradation des sols par l'homme. Document de travail et première épreuve GLASSOD, n°88/4, 12 p.

- Olivry J.C., 1986 - Fleuves et rivières du Cameroun. MESIRES-ORSTOM. Ed. ORSTOM, 733 p.
- Opara-Nadi O.A. 1993 - Conservation tillage for increased crop production. FAO Soils Bulletin n° 69 : 83-93.
- Perez P., 1994 - Genèse du ruissellement sur les sols cultivés du Sud Saloum (Sénégal). Du diagnostic à l'aménagement de parcelle. Thèse Un. Montpellier, 250 p.
- Piéri C., 1989 - Fertilité des terres de Savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au Sud du Sahara. Ministère de la Coopération et du développement, 444 p.
- Poesen J., 1984 - The influence of slope angle on infiltration rate and hortonian overland flow volume. Z. Geomorph. N.F. suppl. Bd. 49 : 117-131. BERLIN ; Stuttgart.
- Poesen J., Bryan R.B., 1989-90 Influence de la longueur de pente sur le ruissellement: rôle de la formation des rigoles et des croûtes de sédimentation. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXV, n° 1-2, 71-80.
- Poesen J., Savat J., 1981 - Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash Part II. Detachability and transportability measurements. CATENA, vol. 8. 19-41.
- Poesen J.W.A., 1992 - Mechanisms of overland-flow generation and sediment production on loamy and sandy soils with and without rock fragments. Overland flow hydraulics and erosion mechanics, sp.
- Poesen J., 1985 - Surface sealing on loose sediments: the role of texture, slope and position of stones in the top layer. Proceedings of the Symposium held in Ghent, Belgium. sp.
- Pontanier R., 1981 - Rapport de mission d'expertise auprès des projets de développement intégré du Sud-Est Bénoué et Centre-Nord. 12-28 juillet 1981 ; 17 p.
- Puech C., Chabi-Gonni D., 1984 - Courbes Hauteur de pluie- Durée - Fréquence. Afrique de l'Ouest et Centrale pour les pluies de 5 minutes à 24 heures. C.I.E.H. Ouagadougou. 35 p.
- Rao K.P.C., Cogle A. L., Srinivasan S.T., Yule D.F., Smith G.D., 1994 - Effect of soil management practices on runoff and infiltration processes of an hardsetting in the Semi-arid tropics. 8th Isco Conference, 1994, New-Delhi, INDIA, 14p.
- Rey A., Rey-Debove J., 1987 - Le Petit Robert : Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française, 2172p.
- Riquier J., 1977 - Philosophy of the world assessment of soil degradation and items for discussion. Assessing soil degradation, FAO Soils Bulletin n°34 , sp.

- Risse L.M., Nearing M.A., Nicks A.D., Laflen J.M., 1993 - Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci.SOC.AM.J.*, 57 : 825-833.
- Romkens M.J.M., Prasad S.N., Poesen J.W.A., 1986 - Soil erodibility and properties. Transaction of the XIII Congres of Intern.SOIL Society of Science. Hamburg 13-20 August 1986.
- Roose E.J., 1967 - Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. *Agron. Trop.* 22(2) : 123-152.
- Roose E.J., 1973 - Dix-sept années de mesure expérimentale de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de Basse Côte d'Ivoire. Thèse Doct. Ing. n° 20, Abidjan, ORSTOM : 125 p.
- Roose E.J., 1975 - Natural mulch or chemical conditioner for reducing erosion in humid tropical areas. In : *Soil Conditioners.SSSA Special Publ.*404 : 131-138.
- Roose E.J., 1977 - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. *Travaux et documents de l'ORSTOM n°78*, 108 p.
- Roose E.J., 1980 - Approach to the definition of rain erosivity and soil erodibility in West Africa. In *Assessment of Erosion*. De Boodt et Gabriels (eds). John Wiley : 153-164.
- Roose E.J., 1980 - Etude de la methode des bandes d'arrêt pour la conservation de l'eau et des sols. ORSTOM, Adiopodoumé, Cote d'Ivoire. 23 p.
- Roose E.J., 1983 - Ruissellement et érosion avant et après défrichement en fonction du type de culture en Afrique Occidentale. *Cah. ORSTOM sér.Pédol.*20, 4 : 283-309.
- Roose E.J., 1988 - Diversité des stratégies traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et de la fertilité des sols en milieu soudano-sahélien d'Afrique occidentale. In : "L'aridité, contrainte au développement". ORSTOM Montpellier, Série Didactique : 481-506.
- Roose E.J., 1977 - Adaptation des méthodes de conservation des sols aux conditions écologiques et socio économiques de l'Afrique de l'Ouest. *Agron. Trop.* 33 (2) : 132-140.
- Roose E.J., Asseline J., 1978 - Mesures des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux cases d'érosion d'Adiopodoumé : I Les charges solubles et solides sous diverses cultures. *Cah. ORSTOM Pédol.* 161 : 43-72.
- Roose E.J., Asseline J., 1978 - Mesures des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux parcelles d'érosion d'Adiopodoumé : II- les charges solides et solubles des eaux de ruissellement sur sol nu et diverses cultures d'ananas. *Cah. ORSTOM Pédol.* 16(1) : 43-72.

- Roose E.J., Sarrailh J.M., 1989-90 - Erodibilité de quelques sols tropicaux . Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. Cah.ORSTOM,sér.Pédol.,volXXV,n°1-2, : 7-30.
- Roose E.J., Dugue P., Rodriguez L., 1980 - Une nouvelle stratégie de lutte antiérosive appliquée à l'aménagement de terroirs en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. Bois et Forêts des Tropiques, n°233, 3: 49-63.
- Roose E.J., 1968 - Mesure de l'érodibilité d'un sol : facteur K sur la parcelle de référence de Wischmeier. Protocole standard et discussion. ORSTOM, Abidjan, 10p, revue en 1988.
- Roose E.J.,1980 - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. Thèse Doc. ès Sciences, Université d'Orléans, 587p. in "Travaux et Documents" de l'ORSTOM, Paris, n°130, 569 p.
- Roose E.J., Piot J., 1984 - Runoff, erosion and soil fertility restoration on the Mossi Plateau, Upper-Volta. Symposium Harare. AISH n°144 : 485-498.
- Roose E.J.,1990 - Méthodes traditionnelles de gestion de l'eau et des sols en Afrique Occidentale Soudano-Sahélienne. Définitions, fonctionnement, limites et améliorations possibles. Bull.Réseau Erosion, 10 : 98-107.
- Roose E.J.,1994 - Introduction à la gestion conservatoire de l'eau , de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin Pédologique FAO n°70, 420 p.
- Roth C.H.; Joschko M., 1990 - A note on reduction of runoff from crusted soils by earthworm burrows and artificial channels. Z.Pflanzenerahr- Bodenk.,154, 101-105(1991)
- Roupsard M., 1981 - Les étapes de la culture cotonnière au Nord-Cameroun. Revue de géographie du Cameroun.22p.
- Russel E.W.,1973 - Soil conditions and plant growth.3th edition ; Longman N.Y. 810p.
- Sanders D.W., 1994 - Soil erosion. FAO's propositions. Workshop on "Erosion Under Global Change" ORSTOM, Paris, sp.
- Sanon K., 1992 - Etude du bilan hydrique en fonction des techniques culturales dans un système de culture intensif coton/maïs sur sol ferrugineux sableux du Nord-Cameroun. Mémoire Diplôme d'Agronomie Trop., CNEARC-ESAT, Montpellier, 52 p.
- Schwoerer P., 1965 - Notice explicative sur la Feuille Garoua-EST. Carte Géologique de Reconnaissance à l'échelle du 1/500.000
- SCS-USDA., 1950 - "Manuel de conservation du sol".éd.en français, 359 p.

- Sebillotte M., 1985 - La jachère. Eléments pour une théorie. In "Dynamique des systèmes agraires. A travers champs, agronomes et géographes". ORSTOM Paris, sp.
- Séguy L., Bouzinac S., 1995 - Modélisation et mise en pratique des systèmes de culture mécanisés en milieu réel, pour, avec et chez les producteurs, en zone tropicale humide : l'expérience de la Fazenda Progresso, un exercice pratique, pérennisé sur 6ans, riche en Enseignements pour la Recherche-Action en milieu réel. Programme Zap-CIRAD-CA, n°20 ; 47 p.
- Séiny Boukar L., 1990 - Régimes hydriques et dégradation des sols dans le Nord-Cameroun. Thèse 3è cycle ; UN.Yaoundé, 226 p.
- Siband P., 1972 - Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. Agron. Trop. 29(12) : 1228-1248.
- Sibiri J-B., Bertand R., Dickey J, Morel J-L., Sanon K. 1995- Dégradation des sols et agriculture au Burkina Faso. Cahiers Agricultures ; 4: 363-369.
- Smith D.D., Wischmeier W.H., 1957 - Factors affecting sheet and rill erosion. American Geophysical Union Transactions 38 : 889- 896.
- Some L., 1989 - Diagnostic agropédologique du risque de sécheresse au Burkina Faso. Etude de quelques techniques agronomiques améliorant la résistance pour les cultures de Sorgho, de Mil et de Maïs. Thèse de Doctorat Un. Montpellier II, 312 p.
- Stocking M., 1978 - A dilemma for soil conservation. AREA 10 : 306-308.
- Stocking M., 1984 - Erosion and soil productivity : A review consultants'working paper n°1. Soil conservation Programms, FAO/AGLS, Rome.102p.
- Stocking M., 1986 - The cost of soil erosion in Zimbabwe in terms of the loss of three major nutrients.Consultant working paper n°3 AGLS.FAO. Rome, 164 p.
- Stocking M., 1988 - Quantifying the onsite impact of soil erosion. Proceedings of the 5th ISCO Land Conservation for the Future Generations. 18-23 January 1988, Bangkok, Thailand, vol.1.607p.pp137-161.
- Suchel J.B., 1988 - Les climats du Cameroun. Thèse de doctorat d'Etat. Tome I pp.1-443 ; Tome III pp.791-1188.
- Trevisan D., Lelong F., 1992 - Influence de la dégradation structurale superficielle sur le ruissellement enregistré sous pluies simulées. Science du sol.Vol. 30, 4, 249-261.
- Unger P.W., McCalla T.M., 1980 - Conservation Tillage Systems. Adv. Agron. 33 : 1-58.

- Valentin C., 1985 - Effects of grazing and trampling on soil deterioration around recently drilled water holes in the sahelian zone. In El-Swaify and al, : 55-65.
- Valentin C., 1985 - Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-République du NIGER). Editios de l'ORSTOM:coll.Etudes et Thèses, Paris, 229 p.
- Valentin C., 1989 - Etat de dégradation de 2 terroirs Sénoufo- Nord Cote d'Ivoire. Abidjan IIRSDA, 9p multigr.
- Valentin C., 1993 - Soil crusting and sealing in West Africa and possible approaches to improved management. FAO Soils Bulletin n°69 ; : 95-128.
- Valentin C., Roose E.J., 1980 - Soil and water conservation problems in the pineapple plantations of South Ivory Coast. In : Soil Conservation : Problems and Prospects. R.P.C. Morgan (ed) pp 239-246. John Wiley, New-York.
- Waechter F., 1993 - Comportement hydrique d'un sol ferrugineux sableux sous rotation coton/maïs à Mbissiri (Nord-Cameroun). Mémoire D.E.S.S. Un. Paris XII Val de Marne, 73 p.
- Wicherek S., 1994 - L'Erosion des grandes plaines agricoles. La Recherche.268. Septembre 1994,volume 25 : 881-888.
- Wilkinson G.E., 1975 - Rainfall characteristics and soil erosion in the rainforest area of western Nigeria. Exp. Agric. 11 : 247-255.
- Wischmeier W.H., Uhland R.E., 1958 - Evaluation of factors in the soil-loss equation. Agricultural Engineering 39 : 458- 462, 474.
- Wischmeier W.H., 1959 - A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Science Society of America.Proceedings 23 : 246-249.
- Wischmeier W.H., 1960 - Cropping management factor evaluation for a universal soil-loss equation. Soil Science Society of America. Proceedings 23 : 322-326.
- Wischmeier W.H., 1962 - Storms and soil conservation. Journal of Soil Water and Conservation 17(2) : 55-59.
- Wischmeier W.H., 1965 - Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for soil and water conservation. Agricultural Handbook n°282.
- Wischmeier W.H., 1969 - Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. American Society of agricultural Engineers. Transactions 12 : 754-758, 762.
- Wischmeier W.H., 1972 - Upslope erosion analysis. In Environmental Impact on Rivers. Water Ressources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.

- Wischmeier W.H., 1976 - Use and misuse of the Universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation. 31(1) : 5-9.
- Wischmeier W.H., Johnson C.B., Cross B.V., 1971 - A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation 26 : 189- 193.
- Wischmeier, W.H., and Smith, D.D.1978 - Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. 58 p
- Zingg A.W., 1940 - Degree of length of land slope as it affects soil loss and runoff. Agric. Eng.21 p.59-64.

## TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS.....	2
LISTE DES ACRONYMES.....	7
INTRODUCTION .....	9
<b>CHAPITRE 1 : LE MILIEU .....</b>	<b>16</b>
1.1. GENERALITES .....	16
1.2. LE CLIMAT DU NORD CAMEROUN 17	
1.2.1. Généralités .....	17
1.2.2. Zones climatiques du nord Cameroun.....	19
1.2.1.1. La zone à climat typiquement sahélien .....	19
1.2.1.2. La zone de climat soudanien de nuance sèche .....	19
1.2.1.3. Zone de climat soudanien modifié par l'altitude.....	19
1.2.1.4. Zone à climat soudanien franc.....	20
1.2.1.5. Zone à climat soudanien de nuance humide.....	20
1.3. LA VEGETATION NATURELLE.....	22
1.3.1. Le domaine sahélien.....	22
1.3.1.1. Le secteur sahélo-saharien.....	22
1.3.1.2. Le secteur sahélo-soudanien.....	22
1.3.2. Domaine soudanien .....	23
1.3.2.1. Le secteur soudanien d'altitude .....	23
1.3.2.2. Le secteur soudano-sahélien.....	23
1.3.2.3. Le secteur médio-soudanien .....	24
1.4. PAYSAGES GEOLOGIQUES ET GEOMORPHOLOGIQUES .....	24
1.4.1. Principales formations géologiques (d'après la carte de Lasserre, 1958).....	24
1.4.1.1. Les formations sédimentaires sont représentées par : .....	24
1.4.1.2. Les formations plutoniques .....	25
1.4.1.3. Les formations effusives.....	25
1.4.1.4. Les formations métamorphiques .....	25
1.4.2. Paysages géomorphologiques .....	25
1.5. COUVERTURE PEDOLOGIQUE.....	26
1.6. LES HOMMES ET LEURS ACTIVITES RURALES .....	29
1.6.1. Le Peuplement .....	29
1.6.2. Les Activités Rurales.....	31
1.6.2.1. La pêche.....	31
1.6.2.2. L'élevage.....	32
1.6.2.3. L'Agriculture .....	33
1.6.2.4 - La gestion foncière .....	36
1.7. LES PARTICULARITES DU SUD-EST BENOUE.....	38
CONCLUSION.....	39
<b>CHAPITRE 2 : INVENTAIRE BIBLIOGRAPHIQUE DES CONNAISSANCES .....</b>	<b>40</b>
2.1. LA DEGRADATION DES SOLS.....	40
2.2. L'EROSION HYDRIQUE.....	42
2.2.1. Généralités et définitions.....	42
2.2.2. Les formes d'érosion hydrique.....	42
2.2.3. L'érosion tolérable.....	43
2.2.4. Les processus d'érosion hydrique.....	44
2.3. LE RUISSELLEMENT .....	45
2.3.1. Les organisations superficielles de surface.....	45
2.3.2. La rugosité .....	46
2.3.3. Facteurs du ruissellement.....	46
2.3.4. Les effets du ruissellement .....	47
2.4. LES PERTES EN TERRE.....	48
2.4.1. Le détachement.....	48
2.4.1.1. Les mécanismes de détachement.....	48
2.4.1.2. Les facteurs du détachement .....	49

2.4.2. Evaluation quantitative.....	49
2.4.2.1. Méthodes d'estimation :.....	50
2.4.2.2. Quelques données estimatives en Afrique.....	50
2.4.3. Prédiction de l'érosion .....	50
2.4.3.1. Approche .....	50
2.4.3.2. Le modèle de prédiction USLE.....	51
2.4.4. Stratégie de lutte.....	53
2.5. TECHNIQUES CULTURALES ET EROSION.....	55
2.5.1. Le couvert végétal.....	55
2.5.2. Le travail du sol.....	55
2.5.2.1. Définitions .....	55
2.5.2.2. Le système de travail conventionnel .....	56
2.5.2.3. Systèmes de travail conservateurs.....	57
2.6. TECHNIQUES CULTURALES ET PRODUCTIVITE.....	58
2.6.1. Effet de la jachère.....	58
2.6.2. Le labour .....	59
2.6.3. Le non travail .....	59
2.7. EROSION ET PRODUCTIVITE.....	60
CONCLUSION.....	61
<b>CHAPITRE 3 : METHODES, TERRAINS ET DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX.....</b>	<b>64</b>
3.1. CHOIX ET CARACTERISATION DES SITES EXPERIMENTAUX.....	64
3.1.1 Situation de Mbissiri.....	64
3.1.2. Paysages géomorphologiques et pédologiques .....	66
3.2. METHODES .....	71
3.3. LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX.....	72
3.3.1. Les parcelles d'érosion.....	72
3.3.1.1. Terrains et matériels .....	72
3.3.1.2. - Les traitements .....	77
3.3.1.3. Les variables mesurées.....	82
3.3.1.4. Suivi agro-pédologique .....	90
3.3.2. Les parcelles agronomiques .....	94
3.3.2.1. Essai sur les potentialités des résidus de culture .....	94
3.3.2.2. Essai de décapage superficiel .....	95
3.3.2.3. Essai fractionnement de la fumure azotée sous un paillage .....	95
3.4. PRECISION ET REPRESENTATIVITE DES RESULTATS .....	96
3.4.1. Les Pluies .....	96
3.4.2. Le ruissellement.....	97
3.4.2.1. Erreur de lecture .....	97
3.4.2.2. Erreur due aux partiteurs .....	97
3.4.3. Les pertes en terre .....	100
3.4.3.1. Les terres de fond (sédiments grossiers).....	100
3.4.3.2. Les Matières En Suspension (MES).....	100
3.4.4. Rendements Végétaux.....	100
3.5. CONCLUSION.....	101
3.5.1. Sur la représentativité du site.....	101
3.5.2. Du point de vue des sols .....	101
3.5.3. Sur la méthodologie.....	101
3.5.4. Sur la précision des observations (problèmes de répétition).....	102
<b>CHAPITRE 4 : LES RESULTATS.....</b>	<b>107</b>
4.1. DYNAMIQUE ACTUELLE.....	107
4.1.1. Pluviosité .....	107
4.1.1.1. Hauteurs des précipitations.....	107
4.1.1.2. Les événements à pluviosité abondante.....	111
4.1.1.3. Analyse et dépouillement des pluviogrammes .....	113
4.1.1.4. Conclusion sur les pluies .....	118
4.1.2. Les indicateurs d'état des sols.....	118
4.1.2.1. Evolution de quelques indicateurs ( $t_1$ à $t_3$ ).....	119
4.1.2.2. Etats de surface.....	129

4.1.2.3. Profils pédologiques .....	134
4.1.2.4. Profils culturaux et hydriques.....	139
4.1.2.5. Densité apparente et valeurs caractéristiques de pF- teneurs eau .....	142
4.1.2.6. Conclusion sur les indicateurs d'état du sol .....	144
<b>4.1.3 Les révélateurs de fonctionnement .....</b>	<b>145</b>
4.1.3.1 Analyse globale .....	145
4.1.3.2. Variabilité du ruissellement (pas de temps annuel).....	154
4.1.3.3. Variabilité au pas de temps annuel des pertes en terres grossières .....	165
4.1.3.4. Variabilité des pertes en terre totale .....	174
4.1.3.5. Les pertes en terre décadaïres et journalières .....	179
4.1.3.6. Conclusions sur les révélateurs de fonctionnement.....	182
<b>4.1.4. Aspects biologiques .....</b>	<b>183</b>
4.1.4.1. Suivi de la végétation des parcelles savane.....	183
4.1.4.2. Activité des vers de terre .....	185
4.1.4.3. Conclusion.....	188
<b>4.2. POTENTIALITES AGRICOLES ET PRODUCTIVITES DES DIFFERENTES PRATIQUES AGRICOLES .....</b>	<b>190</b>
<b>4.2.1. Productivite sous érosion naturelle (parcelles d'érosion) .....</b>	<b>190</b>
4.2.1.1. Effet des Pratiques Culturelles sur la variabilité des rendements.....	190
4.2.1.2. Effet des années sur la productivité.....	194
4.2.1.3. Effet hétérogénéité des sols et des parcelles .....	197
4.2.1.4. Effet d'échelle sur le rendement .....	199
4.2.1.5. Conclusion partielle.....	200
<b>4.2.2. Productivité sous érosion decapante simulée.....</b>	<b>200</b>
<b>4.2.3. Fertilisation azotée des systèmes de culture sous litière .....</b>	<b>202</b>
<b>4.2.4. Potentialités de production des résidus de culture.....</b>	<b>204</b>
4.2.4.1. Productivité des résidus de culture sur parcelles d'érosion .....	204
4.2.4.2. Potentialités de production des résidus de cultures des espèces en rotation avec le cotonnier .....	205
<b>4.2.5 Conclusion .....</b>	<b>207</b>
<b>CHAPITRE 5 : INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>212</b>
<b>5.1. INFLUENCE DE LA GESTION DE LA SAVANE SUR SON FONCTIONNEMENT.....</b>	<b>212</b>
5.1.1. Effets de la mise en défens, du feu précoce et d'un pâturage modéré sur les paramètres de la productivité du sol .....	213
5.1.2. Effets de la mise en défens, du feu précoce et d'un pâturage modéré sur une savane arborée en zone soudanienne.....	214
5.1.3. Conclusion .....	215
<b>5.2. PRATIQUES CULTURALES ET BILAN HYDRIQUE DE SURFACE.....</b>	<b>215</b>
5.2.1. La fermeture de la surface du sol sur le TRM .....	216
5.2.2. La rugosité, déterminant partiel du ruissellement .....	219
5.2.3. Ruissellement sur le système conservateur.....	219
5.2.4. Bilan hydrique et bilan hydrologique (à l'échelle du bassin versant) .....	222
5.2.5. Conclusion .....	222
<b>5.3. APPLICATION DU MODELE DE WISCHMEIER ET SMITH.....</b>	<b>225</b>
5.3.1. Calcul du facteur d'érodibilité K des sols des blocs A, B et D.....	226
5.3.2. Quantification des facteurs C et P.....	228
5.3.3. Conclusion .....	229
<b>5.4. PRATIQUES CULTURALES ET DEGRADATION DES TERRES CULTIVEES PAR L'EROSION.....</b>	<b>229</b>
5.4.1. Relation entre le ruissellement et les pertes en terre .....	230
5.4.2. Les facteurs du comportement du TRM.....	232
5.4.2.1. Le travail du sol, facteur de désagrégation.....	232
5.4.2.2. La rugosité, facteur de détachabilité des particules .....	233
5.4.3. Les facteurs du comportement du ZT .....	239
5.4.4. Effet d'échelle.....	240
5.4.5. Effet des Matières Organiques .....	243
5.4.6. Evolution de la pente du sol par rapport au Seuil.....	243
5.4.7. CONCLUSION .....	247
<b>5.5. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES PRATIQUES AGRICOLES CONVENTIONNELLES ET CONSERVATRICES VIS A VIS DES RISQUES LIES AUX ALEAS CLIMATIQUES .....</b>	<b>247</b>

5.5.1. Effet de sécheresse.....	247
5.5.2 Effets des excès de pluviosité.....	249
5.5.2.1. Risque de battance.....	249
5.5.2.2. Le risque d'érosion.....	250
5.5.2.3. Le risque d'asphyxie racinaire.....	253
5.5.3. Recherche de compromis.....	257
5.6. DEGRADATION DES SOLS ET RESTAURATION DE LA PRODUCTIVITE VEGETALE.....	259
5.6.1. Diagnostic et définition de la dégradation des sols dans le Sud-Est Bénoué.....	259
5.6.2. La restauration de la productivité.....	267
5.6.3. Le rôle de la jachère.....	268
5.6.4. Conclusion.....	270
5.7. GESTION DURABLE DE L'ESPACE AGRICOLE DU SUD-EST BENOUE.....	271
5.7.1. Les pratiques culturales pour une agriculture durable.....	271
5.7.1.1. Amélioration du système conventionnel.....	273
5.7.1.2. Amélioration des systèmes conservateurs.....	274
5.7.1.3. Les systèmes mixtes.....	275
5.7.2. Association agriculture-élevage (complémentarités et incompatibilités).....	276
5.7.3. Intégration de l'arbre dans la gestion des terroirs.....	278
5.7.4. Conclusion.....	279
5.8. CONCLUSION.....	280
<b>CONCLUSIONS GENERALES.....</b>	<b>283</b>
1 - LES RISQUES DE PLUVIOSITE DANS LE SUD-EST BENOUE.....	283
2 - LE FONCTIONNEMENT DES SOLS SABLEUX CULTIVES.....	284
3 - LA DEGRADATION DES SOLS SABLEUX.....	286
4 - EVALUATION DES PRATIQUES CULTURALES VIS-A-VIS DES RISQUES LIES A LA PLUVIOSITE.....	287
5 - RESTAURATION DE LA PRODUCTIVITE DES SOLS DEGRADES.....	282
6 - CONCLUSIONS PRATIQUES.....	288
7 - EVALUATION DES METHODES UTILISEES.....	290
8 - OUVERTURE SUR LE FUTUR.....	291
9 - CONCLUSIONS.....	292
<b>LISTE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>294</b>
<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>308</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>312</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>315</b>
<b>LISTE DES PHOTOS.....</b>	<b>317</b>
<b>LISTE DES ANNEXES.....</b>	<b>320</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

<i>Tableau 1.01 : Synthèse climatique du nord-Cameroun à partir des données de Suchel (1988) et Olivry (1986).....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 1.02 : Répartition de la population par département dans les plaines de basse altitude du nord Cameroun (estimation 1991)Etabli à partir données de « DEMO. 87, 2e rgph »....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 1.03 : Principaux systèmes de production dans les savanes de basse altitude du nord Cameroun.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 3.01 : Affectation des traitements dans les parcelles d'érosion (* : parcelles ayant changé de traitement).....</i>	<i>82</i>
<i>Tableau 3.02 : Conditions générales de réalisation culturale sur les parcelles d'érosion.....</i>	<i>90</i>
<i>Tableau 3.03 : Traitements de l'essai fractionnement de l'azote sur les systèmes de culture couverts (labour + paillage et zéro tillage).....</i>	<i>96</i>
<i>Tableau 3.04 : Nombre de pluies ayant ruisselé sur au moins une parcelle et nombre de cas de 113débordements annuels des cuves B.....</i>	<i>99</i>
<i>Tableau 4.01 : Pluviosité mensuelle à Mbissiri (sites D et N : 1991-1994), comparée à celles de Tcholliré (1952-1990) et de Touboro (1952-1989).....</i>	<i>109</i>
<i>Tableau 4.02 : Indice d'agressivité des pluies (Rusa) et pluies (Hm) pendant les cycles culturaux de 1991 à 1994 (site N).....</i>	<i>117</i>
<i>Tableau 4.03 : Comparaison des textures des deux premiers horizons pédologiques des blocs Savane, A, B et D.....</i>	<i>119</i>
<i>Tableau 4.04 : Caractéristiques agropédologiques des blocs Savane, A et D au temps t<sub>1</sub>.....</i>	<i>120</i>
<i>Tableau 4.05 : Evolution de la texture de la tranche 0-10 cm sur les blocs A et D en fonction des traitements entre T1 et T5.....</i>	<i>123</i>
<i>Tableau 4.06 : Texture de l'OPS comparée à celles des couches 0-10 et 0-25 du même profil (parcelle nue D10 ).....</i>	<i>124</i>
<i>Tableau 4.07 : Effet du labour sur la texture de la tranche 0- 10 cm (Bloc B).....</i>	<i>124</i>
<i>Tableau 4.08 : Teneurs en phosphore total (ppm) aux temps t<sub>1</sub> et t<sub>5</sub> en fonction des traitements des blocs Savane, A, B et D.....</i>	<i>126</i>
<i>Tableau 4.09 : Fréquence des états de surface élémentaires (%) avant le labour (mai 92) en D et N sur les traitements Nue, TRM et ZT.....</i>	<i>130</i>
<i>Tableau 4.10 : Fréquence des états de surface élémentaires (%) après les trois premières pluies suivant le semis (D : 91.3 mm, N : 49mm).....</i>	<i>131</i>
<i>Tableau 4.11 : Fréquences des états de surface ouverts et couverts en fonction des pratiques culturales et de la pluviosité cumulée de la phase considérée sur les blocs A et D (1993).....</i>	<i>131</i>
<i>Tableau 4.12 : Vitesse d'unfiltration d'une lame d'eau de 10 cm sur différents états de surface en fonction du traitement et de la position sur la parcelle (méthode du mono cylindre : Roose, 1991).....</i>	<i>133</i>
<i>Tableau 4.13 : Densité apparente et macroporosité des terres des parcelles d'érosion en fonction des différentes pratiques culturales sur les blocs Savane, B et D (MBissiri, mai 1993).....</i>	<i>143</i>
<i>Tableau 4.14 : Evolution de la teneur en eau des terres des parcelles Nue, TRM et ZT au PF 1,8 et 4,2 à T3 et T5 sur les blocs Savane, A et D.....</i>	<i>144</i>
<i>Tableau 4.15a : Familles de traitements pour le critère Ruissellement (au seuil de 5 ‰).....</i>	<i>151</i>
<i>Tableau 4.15b : Familles de traitements pour le critère érosion (seuil 1 ‰).....</i>	<i>151</i>
<i>Tableau 4.15c : Familles de traitements pour le critère Rendement (seuil 15 ‰).....</i>	<i>151</i>
<i>Tableau 4.16 : Cas d'effets de blocs significatifs pour les comparaisons principales ou secondaires des ruissellements (R), de l'érosion (E) et du rendement (Rdt).....</i>	<i>152</i>
<i>Tableau 4.17 : Cas de disjonctions de traitements dans leurs familles.....</i>	<i>152</i>
<i>Tableau 4.18 : Ruissellements annuels moyens (%) et maximum (%) des parcelles mises en défens (savane 1), feu précoce (savane 2) et feu précoce et pâturage en mi-juin (savane 3).....</i>	<i>154</i>
<i>Tableau 4.19 : Valeurs extrêmes des KRAM par traitements et par bloc, observées au cours des quatre années.....</i>	<i>157</i>
<i>Tableau 4.20 : Comparaison des ruissellements (KRAM ‰), traitements ZT et TRM sur les blocs</i>	

A, B, C et D en 1991 et 1994.....	159
Tableau 4.21 : Nombre de pluies ayant généré des ruissellements sur les traitements TRM, MULCH, Bandes et ZT sur les blocs A, B et C en 1993.....	161
Tableau 4.22 : Ruissellements (KRAM %) observés sur TRM, Mulch et Ombrière à l'occasion des séries de pluies .....	162
Tableau 4.23 : Effet de la fréquence de labour sur le ruissellement dans le bloc dégradé.....	163
Tableau 4.24 : Ruissellements (Kram %) comparés des parcelles de Zéro-tillage avec et sans décompactage sur les blocs D et C.....	164
Tableau 4.25 : Ruissellements (Kram %) comparés des traitements Billons cloisonnés et ZT sur les parcelles de 100 m <sup>2</sup> (5 m x 20 m) et de 1080 m <sup>2</sup> (18 m x 60 m) des blocs A, B et C.....	164
Tableau 4.26 : Pertes de sédiments grossiers t/ha/an et (MES) dans le bloc Savane .....	166
Tableau 4.27 : Pertes en terre (t/ha/an) en fonction de la longueur de la pente des parcelles pour TRM et ZT sur les blocs A, B et C.....	172
Tableau 4.28 : Effet de la fréquence du labour sur les pertes en terre du TRM dans le bloc dégradé .....	173
Tableau 4.29 : Pertes en terre (t/ha/an) comparées des parcelles de ZT décompactées et non décompactées sur les blocs D et C .....	174
Tableau 4.30 : Comparaison interannuelle des pertes en terre totales (t/ha/an) en fonction des pratiques culturales sur les blocs A, B, C et D de 1992 à 1994.....	175
Tableaux 4.31a, b et c : Evolution du peuplement ligneux dans les parcelles (200 m <sup>2</sup> ) Savane en nombre d'individus de chaque strate (1992- 1994).....	184
Tableau 4.32 : Nombre d'espèces herbacées dans les parcelles de savane.....	185
Tableau 4.33 : Rendements en coton graine et maïs grain (t/ha) en fonction des six familles de traitements .....	191
Tableau 4.34 : Productivité en coton graine et maïs grain des traitements Fumier enfoui et résidus de culture enfouis en fonction des blocs (t/ha).....	192
Tableau 4.35 : Comparaison de rendements (t/ha) entre le ZT et le ZT décompacté sur les blocs C et D .....	193
Tableau 4.36 : Effet de la densité de semis sur le rendement en coton graine et maïs grain en t/ha sur les blocs A et B .....	193
Tableau 4.37 : Rendements comparés (t/ha) des traitements sur précédent TRM, ZT et ZT/jachère (ZT sur précédente jachère de 2 ans) sur le bloc D (1993 et 1994).....	193
Tableau 4.38 : Pourcentage de plants levés après semis et resemis sur les blocs A, B et D (MBissiri, 1993).....	195
Tableau 4.39 : Erosion (t/ha:an) et rendements (t/ha) sur les traitements Fumier en fonction de la 217hauteur des précipitations durant le cycle cultural.....	196
Tableau 4.40 : Comparaisons des rendements (t/ha) en coton graine des traitements couverts par une litière entre une année comportant des séries de pluies (1991) et une n'en comportant pas (1993) .....	196
Tableau 4.41 : Comparaison des rendements des traitements ZT, Minitil, Mulch et TRM des sites N et D en 1994 (t/ha de maïs grain).....	196
Tableau 4.42 : Rendements en coton graine et maïs grain (t/ha) en fonction de la longueur de pente des blocs cultivés A, B, C pour TRM.....	200
Tableau 4.43 : Effets de l'épaisseur de décapage (cm) sur le % de poquets levés, de poquets recoltés par rapport aux levés et sur le % d'épis vides (1993).....	202
Tableau 4.44 : Teneur en carbone (%) et en Zinc, en fonction de l'épaisseur de sol décapé en fin du deuxième cycle cultural (1994).....	202
Tableau 4.45 : Rendements des résidus de cultures de cotonnier et de maïs (t/ha) et rapport grain/résidus en fonction des systèmes de culture TRM, MULCH et ZT (maïs en 1992, coton en 1993) .....	205
Tableau 4.46 : Productions moyennes des résidus de culture (t/ha m.s.) de l'arachide, du niébé, du maïs et du sorgho sur les sites D et N en 1990 et 1991 .....	205
Tableau 4.47 : Pourcentage de perte de masse des résidus de cultures de l'arachide, du niébé, du maïs et du sorgho en fonction des modes de conditionnement.....	206
Tableau 4.48 : Résumé de l'analyse de la variance pour l'essai résidus de culture 1991).....	207
Tableau 5.01 : Contributions des champs cultivés au relèvement [H(m)] du niveau du lac à	

	<i>l'occasion d'une pluie journalière de fréquence annuelle de 90 mm (à Tcholliré) : cas labour et sol nu après semis.....</i>	<i>223</i>
<b>Tableau 5.02 :</b>	<i>Contribution des champs cultivés au relèvement du niveau du lac à l'occasion d'une pluie journalière annuelle de 90 mm à Tcholliré : cas du semis direct sous litière.....</i>	<i>224</i>
<b>Tableau 5.03 :</b>	<i>Facteur K des sols des blocs A, B et D de 1991 à 1994 .....</i>	<i>227</i>
<b>Tableau 5.04 :</b>	<i>Valeurs des facteurs C et P de l'USLE observées de 1993 à 1994 à partir des valeurs annuelles de E prises séparément.....</i>	<i>228</i>
<b>Tableau 5.05 :</b>	<i>Comparaisons des pertes en terre (t/ha/an) des parcelles de 100 et 1080 m<sup>2</sup> pour le traitement « Billons cloisonnés » aux différentes caractéristiques géométriques de ces parcelles (1992).....</i>	<i>242</i>
<b>Tableau 5.06 :</b>	<i>Evolution de la pente du sol par rapport au seuil.....</i>	<i>246</i>
<b>Tableau 5.07 :</b>	<i>Risques liés aux aléas de pluviosité en cultures pluviales dans les savanes soudaniennes humides .....</i>	<i>259</i>
<b>Tableau 5.08 :</b>	<i>relations entre les risques physiques liés aux aléas de pluviosité et les systèmes de culture couverts et non couverts.....</i>	<i>259</i>
<b>Tableau 5.09 :</b>	<i>Processus de dégradation des sols sableux (défrichés et cultivés conventionnellement .....</i>	<i>262</i>
<b>Tableau 5.10 :</b>	<i>Ruissellement (KRAM %), Erosion (t/ha/an), teneur en carbone (%) et réponse au test de simulation de pluie (coefficient ruissellement Kr % et % de résidus en surface) comparés entre TRM20m et TRM40m sur le bloc dégradé D en 1993 et 1994 .....</i>	<i>265</i>
<b>Tableau n°5.11 :</b>	<i>Composition de fumier en éléments minéraux (% de la MS).....</i>	<i>277</i>
<b>Tableau n°5.12 :</b>	<i>Composition minérale de la terre de parc de stabulation de nuit du bétail (in Guillonnet, 1988).....</i>	<i>277</i>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 101 :</b>	<i>Localisation du pays, de la région et du site d'étude.....</i>	<b>8</b>
<b>Figure 1.02 :</b>	<i>Coupe géomorphologique schématique du Cameroun suivant un axe SSW-NNE (in Olivry, 1986) .....</i>	<b>17</b>
<b>Figure 2.01 :</b>	<i>Diagramme de Hjulström (de Roose, 1994) .....</i>	<b>48</b>
<b>Figure 2.02 :</b>	<i>Facteur topographique (d'après Wischmeier et Smith, 1978, in Roose, 1994).....</i>	<b>54</b>
<b>Figure 3.01 :</b>	<i>Carte géomorphologique du terroir de Mbissiri (1/30000) .....</i>	<b>65</b>
<b>Figure 3.02 :</b>	<i>Profil pédologique avec distribution des racines moyennes et grosses dans le bloc Savane.....</i>	<b>67</b>
<b>Figure 3.03 :</b>	<i>Schéma des toposéquences de la nouvelle défriche (blocs A, B, C, E) et de la vieille défriche (bloc D).....</i>	<b>68</b>
<b>Figure 3.04 :</b>	<i>Schéma d'une parcelle d'érosion.....</i>	<b>73</b>
<b>Figure 3.05 :</b>	<i>Plan des blocs et des parcelles de la nouvelle défriche.....</i>	<b>75</b>
<b>Figure 3.06 :</b>	<i>Plan du bloc et des parcelles du site dégradé.....</i>	<b>76</b>
<b>Figure 3.07 :</b>	<i>Efficacité et erreur sur la mesure du ruissellement en fonction de la lame ruissellée et du stockage de base .....</i>	<b>98</b>
<b>Figure 4.01 :</b>	<i>Pluviométries décennales comparées (1991-1994) à MBISSIRI .....</i>	<b>108</b>
<b>Figure 4.02 :</b>	<i>Pluviogrammes de l'orage du 30/07/92 observés sur les sites D et N.....</i>	<b>108</b>
<b>Figure 4.03 :</b>	<i>Comparaison Pluie-ETP décennales à Touboro.....</i>	<b>110</b>
<b>Figure 4.04 :</b>	<i>Effectifs moyens mensuels des séries de pluies à Tcholliré (1952-1980) .....</i>	<b>112</b>
<b>Figure 4.05 :</b>	<i>Relation entre la hauteur des précipitations (H<sub>mm</sub>) et le nombre de séries de pluies (x) annuelles.....</i>	<b>112</b>
<b>Figure 4.06 :</b>	<i>Pluviogrammes d'orages localisés très intenses (25/08/92 et 11/06/92).....</i>	<b>114</b>
<b>Figure 4.07 :</b>	<i>Pluviogrammes de longues pluies avec deux pointes d'intensité (01/08/92 et 03/08/94).....</i>	<b>114</b>
<b>Figure 4.08 a, b, c, d :</b>	<i>Courbes intensité-durée de quelques averses caractéristiques observées à Mbissiri.....</i>	<b>116</b>
<b>Figure 4.09 :</b>	<i>Relations entre l'indice d'agressivité (Rusa) et les hauteurs de pluies journalières à Mbissiri (1992-1994).....</i>	<b>116</b>
<b>Figure 4.10 :</b>	<i>Profils du phosphore total dans les blocs A et D à t<sub>1</sub>.....</i>	<b>122</b>
<b>Figure 4.11 :</b>	<i>Evolution du taux de carbone (%) en fonction du temps dans le bloc Savane et pour les traitements NUE, TRM et ZT des blocs A et D.....</i>	<b>125</b>
<b>Figure 4.12 a, b :</b>	<i>Evolution du pH entre t<sub>1</sub> et t<sub>5</sub> en fonction des traitements Savane, TRM, NUE et ZT dans les deux sites .....</i>	<b>127</b>
<b>Figure 4.13 :</b>	<i>Profils culturaux comparés sous maïs entre le labour (TRM) et le non-labour (ZT) sur les blocs dégradé et non dégradés.....</i>	<b>140</b>
<b>Figure 4.14 :</b>	<i>Profils hydriques observés sur les sols soumis à différentes pratiques culturales dans les blocs SAVANE, A &amp; D (1993).....</i>	<b>141</b>
<b>Figure 4.15 :</b>	<i>Schéma de comparaison des traitements .....</i>	<b>147</b>
<b>Figure 4.16 :</b>	<i>Variation des coefficients de ruissellement annuels moyens en fonction des pratiques culturales sur les blocs A, B, C et D.....</i>	<b>156</b>
<b>Figure 4.17 :</b>	<i>Ruissellements annuels moyens et maximum annuels en fonction des pratiques culturales (bloc A, 1992) .....</i>	<b>158</b>
<b>Figure 4.18 :</b>	<i>Courbe d'étalonnage des terres de fond séchées en fonction du poids des terres humides (boues) par la méthode de pesée à volume constant (Sanon Kalo, 1992) t.....</i>	<b>166</b>
<b>Figure 4.19 :</b>	<i>Variations des pertes en terre grossières de 1992 à 1994 sur les blocs A, B, C et D ..</i>	<b>168</b>
<b>Figure 4.20 :</b>	<i>Variation de la turbidité des eaux de ruissellement en fonction des pratiques culturales (1992 et 1993).....</i>	<b>176</b>
<b>Figure 4.21 :</b>	<i>Pertes en terre totale moyennes (4ans) en fonction des pratiques culturales.....</i>	<b>178</b>
<b>Figure 4.22</b>	<i>Pertes en terre décennales sur le bloc A pour les traitements NUE, TRM, ECRAN et ZT (1992) .....</i>	<b>179</b>
<b>Figure 4.23</b>	<i>Pertes en terre journalières pour les traitements NUE, TRM et MULCH sur le bloc A (1992) .....</i>	<b>179</b>
<b>Figure 4.24</b>	<i>Pertes en terre journalières pour les traitements NUE, TRM et MULCH sur le bloc B (1994) .....</i>	<b>180</b>

<i>Figure 4.25 Pertes en terre journalières pour les traitements NUE, TRM et MULCH sur le bloc D (1993).....</i>	<i>180</i>
<i>Figure 4.26 : Densité des turricules en fonction des pratiques culturales (juil. 1993).....</i>	<i>186</i>
<i>Figure 4.27 : Poids moyen d'un turricule de vers en fonction du site de prélèvement.....</i>	<i>187</i>
<i>Figure 4.28 : Evolution de l'activité des vers de terre entre juillet et septembre 1994.....</i>	<i>187</i>
<i>Figure 4.29 : Rendement de maïs grain et paille (t/ha) en fonction de l'épaisseur de décapage artificiel du sol (cm).....</i>	<i>201</i>
<i>Figure 4.30 : Effet du fractionnement de l'azote sur le rendement de maïs grain et paille (t/ha) sur Mulch et sur Zéro Tillage (1993).....</i>	<i>203</i>
<i>Figure 4.31 : Effet du fractionnement de l'azote sur le rendement du maïs grain et paille (t/ha) sur Mulch et sur Zéro Tillage (1994).....</i>	<i>203</i>
<i>Figure 4.32 : Moyennes de la masse de résidus de culture d'arachide, maïs, niébé et sorgho disponible en fin de saison sèche, en fonction des modes de conditionnement.....</i>	<i>207</i>
<i>Figure 5.01 : Diagramme schématique du remplissage interstitiel (Farres, 1978).....</i>	<i>217</i>
<i>Figure 5.02 : Relation entre le ruissellement et l'érosion.....</i>	<i>230</i>
<i>Figure 5.03 : Schéma de représentation d'une motte de terre après labour par rapport à la pente d'équilibre du sol définie par le bord du canal de la parcelle d'érosion.....</i>	<i>236</i>
<i>Figure 5.04 : Courbes des pentes apparentes des mottes de 2,5, 5 et 10 cm de diamètre en fonction de la distance par rapport au bord du canal et de la pente du terrain (1, 2 et 3 %).....</i>	<i>237</i>
<i>Figure 5.05 : Schéma d'évolution de la pente d'une parcelle labourée par rapport à un seuil.....</i>	<i>237</i>
<i>Figure 5.06 : Effet des blocs sur le ruissellement moyen annuel.....</i>	<i>240</i>
<i>Figure 5.07 : Effet d'échelle sur les pertes en terre.....</i>	<i>241</i>
<i>Figure 5.08 : Schéma de l'effet de coefficient d'allongement de la parcelle (L/l) ou de la proximité du canal de collecte sur les pertes en terre.....</i>	<i>242</i>
<i>Figure 5.09a, b, d : Effets des différentes formes de matière organique sur les pertes en terre.....</i>	<i>244</i>
<i>Figure 5.10 : Domaine théorique de définition de la date de semis des systèmes pluviaux en fonction des risques de sécheresse et d'érosion (pour les systèmes non couverts) ou d'asphyxie racinaire (pour les systèmes couverts).....</i>	<i>258</i>
<i>Figure 5.11 : Schématisation de la continuité atmosphère-sol-plante-atmosphère comme critère de fonctionnement des sols.....</i>	<i>263</i>

## LISTE DES PHOTOGRAPHIES

<i>Photo n° 1 : Vue aérienne de blocs de culture dans le Sud-Est Benoué (SEB). Au centre un bloc intensif de culture cotonnière. Les blocs rectangulaires ne peuvent suivre les ondulations du terrain : on observe donc fréquemment des parties de champ cultivées dans le sens de la pente</i>	63
<i>Photo n° 2 : Erosion dans un champ de cotonniers à Bocklé près de Garoua : rigole évoluant en ravine et large plage d'atterrissement de sables avec enfouissement total ou partiel de cotonniers. Une voie de recherche : le labour sous adventices pour réaliser le "mulch" in situ</i>	63
<i>Photo n° 3 : Vue aérienne du site N, 2 mois après la récolte de maïs. De gauche à droite, les blocs A, B, C et E installés le long d'une piste de désenclavement de nouvelles terres.</i>	69
<i>Photo n° 4 : Vue aérienne du site dégradé. Le bloc D est en forme de L retourné, au centre et à droite d'un enclos de 4ha. Les traitements Ombrière et Nue sont respectivement les plus sombre et claire. A l'extrémité droite du bloc, les parcelles de 100 m de long sont reconnaissables par leurs bandes végétales.</i>	69
<i>Photo n° 5 : Vue détaillée du dispositif expérimental. Au premier plan, de gauche à droite, la cuve de stockage (c) communique avec la cuve de partition (b) par la petite fente du partiteur, le canal de sédimentation (a) et la parcelle expérimentale d'érosion délimitée par des morceaux de tôle fichés dans le sol.</i>	69
<i>Photo n° 6 : Savane mise en défens depuis 3ans. Aspect général buissonnant (fermé) résultant des repousses sur souches, de germination de graine poussée de branches basses de ligneux. Noter la tache de sol nu devant le canal de sédimentation.</i>	70
<i>Photo n° 7 : Savane brûlée précocement (décembre). Aspect général aéré (ouvert) dû au contrôle de la densité des ligneux et de l'élagage des branches basses par le feu. Deux strates herbacées : herbes hautes issues des repousses de souches, herbes basses issues de germination.</i>	70
<i>Photo n° 8 : Erosion remontante de la savane naturelle à partir du lit majeur du mayo Rey, en aval de Mayo Djerandi. A droite, la jeune terrasse d'érosion à végétation plus éparse que celle de l'ancienne terrasse, au fond à gauche.</i>	70
<i>Photo n° 9 : Savane brûlée précocement et pâturée en mi-juin. Aspect général aéré. Un mois après pâturage stationnaire de 3 jours par une paire de boeufs, on aperçoit des plages de sol nu, mais aussi beaucoup de résidus au sol.</i>	70
<i>Photo n° 10 : Fumier de chèvre épandu (3 t/ha) juste avant le labour à la charrue à soc. Noter l'importance de la phase globuleuse (crottes) de ce fumier ; la phase poudrette est dominante, mais peu visible ici.</i>	85
<i>Photo n° 11 : Labour à plat (25-30 cm) à l'aide d'une charrue à soc.</i>	85
<i>Photo n° 12 : Profil pédologique de la parcelle D10 (Nue) 11 mois après le labour. Effets du labour bien conservés sous l'organisation pelliculaire superficielle : à droite, on voit les mottes et les vides entre mottes. En bas, transition très nette entre couches travaillées et non travaillées.</i>	85
<i>Photo n° 13 : Vue du bloc C après labour et avant la pose des tôles d'isolement des parcelles.</i>	85
<i>Photo n° 14 : Billons cloisonnés sur le bloc B avant le semis ; écartement : 82 cm entre billons, 2 m entre cloisons. Surface des billons aplaniée à la daba pour réduire la dégradation sous le choc des gouttes de pluie.</i>	86
<i>Photo n° 15 : Vue du bloc C après le labour et le placement des tôles d'isolement. A droite la parcelle labourée perpendiculairement à la pente du terrain. Noter la dénivellée entre le bord du canal et la surface du sol. Au centre, les bandes végétales de 2 m de large tous les 20 m.</i>	86
<i>Photo n° 16 : Vue d'une parcelle de maïs en densité double (TRMx2) au début de la floraison mâle : 100.000 pieds/ha (lignes à 42 cm).</i>	86
<i>Photo n° 17 : Vue d'une bande végétale mixte de Cassia siamea, de Cajanus cajan et de graminées diverses de 2 m de largeur, en fin de campagne.</i>	86
<i>Photo n° 18 : Pose d'une double toile d'ombrière juste après le labour (D<sub>6</sub>) et tendu à 10 cm au-dessus du sol.</i>	87
<i>Photo n° 19 : A la levée, des trous sont percés dans l'ombrière à l'aplomb des jeunes plantules pour faciliter leur émergence.</i>	87
<i>Photo n° 20 : Etat de la surface d'une parcelle paillée (mulch) au tiges d'Andropogon à 5t/ha. Il ne reste que quelques plages de sol nu.</i>	87
<i>Photo n° 21 : Vue des horizons superficiels du profil de sol du bloc dégradé (D) en zéro tillage.</i>	

<i>Au-dessus du couteau, horizon sableux et boulant de 5 à 10 cm d'épaisseur, présentant une structure lamellaire. En dessous, un horizon plus cohérent (<math>d_a = 1,6</math> à <math>1,8 \text{ kg/dm}^3</math>) et un peu plus sombre à sa partie supérieure : horizon humifère recouvert de sédiment sableux. ....</i>	87
<i>Photo n° 22 : Parcelle de travail du sol réduit à la ligne de semis (travail minimum) réalisable à l'aide d'un outil à dent en attelage, mais aussi par un simple piochage manuel, après le traitement des adventices à l'herbicide total. La grande partie de la surface du sol reste couverte. ....</i>	88
<i>Photo n° 23 : Parcelle de Zéro tillage de 40 m de long après semis sous adventices et Calogoponium m. "grillés" à l'aide d'un herbicide total. Toute la surface du sol reste couverte. ..</i>	88
<i>Photo n° 24 : A droite Semis direct/Sodecoton, à gauche, Zéro tillage (ZT). Les deux parcelles étaient semblables jusqu'au jour où, après épandage d'urée en surface sur celle de droite, on l'a butté (retour au système conventionnel). A gauche sur ZT, les résidus de maïs de la campagne précédente sont encore abondants en surface. ....</i>	88
<i>Photo n° 25 : Epandage d'urée et buttage mécanique chez un paysan. A droite, la femme épand l'urée sur la ligne de cotonniers, à gauche, l'attelage suit en recouvrant l'engrais engrais tout en sarclant l'interligne au corps sarclo-butteur.....</i>	88
<i>Photo n° 26 : Parcelles en jachère après 13 mois d'établissement : à gauche la jachère naturelle, à droite la jachère améliorée au Calogoponium mucunoïdes.....</i>	89
<i>Photo n° 27 : Une vue de l'essai fractionnement de l'azote sous Zéro tillage en année sèche. Au premier plan, la parcelle témoin sans litière en surface est la plus enherbée : la litière réduit l'enherbement. ....</i>	89
<i>Photo n° 28 : Parcelle nue A9 (pente &lt; 1 %) avec deux états de surface caractéristiques : les aires brun rouge, sableuses, issues de processus de sédimentation, et les aires brun jaune, lisses (pellicules). A gauche, une ébauche de rigole qui n'a pu s'approfondir. ....</i>	104
<i>Photo n° 29 : Parcelle nue D10 (pente = 2,5 %) en fin de phase de la réduction de la rugosité, plus avancée à gauche qu'à droite. Dépôts de sables de plus en plus continus vers le bas. A droite, dominance des taches grises entourées de bandes sableuses. Evolution vers une surface régulière sans rigole. ....</i>	104
<i>Photo n° 30 : Parcelle nue B9 (pente = 2 %). On retrouve les mêmes états qu'en A9, mais l'approfondissement de la rigole à gauche réduit les sédimentations de sables dans la parcelle et augmente fortement l'érosion. ....</i>	104
<i>Photo n° 31 : Croûte de sédimentation sur la parcelle D10. Elle est bien individualisée et se maintient comme une dalle bétonnée après évidement de la terre sous-jacente. ....</i>	105
<i>Photo n° 32 : Etats de surface caractéristiques des parcelles buttées : terre grise sur les pseudo-billons plus ou moins érodés, sables brun jaunes ou roses dans les sillons sur des épaisseurs pouvant atteindre 5 cm. ....</i>	105
<i>Photo n° 33 : Au premier plan, atterrissement de sable dans la partie basse du champ avec enterrement partiel ou total de jeunes cotonniers semés tardivement. Au second plan à droite, les cultures réalisées plus tôt dans les positions topographiques similaires se portent mieux. ....</i>	105
<i>Photo n° 34 : Erosion des billons due à la concentration des eaux le long des tiges de maïs. Après 200 mm de pluie, au minimum 30 t de terre /ha ont été dégagées des chenaux creusés au pied des maïs buttés. ....</i>	105
<i>Photo n° 35 : L'élimination du couvert végétal par le défrichage, le brûlage de la biomasse et le nettoyage de la surface du sol, préparent la dégradation de celui-ci. Croûte de sédimentation sur la parcelle D10. Elle est bien individualisée et se maintient comme une dalle bétonnée après évidement de la terre sous-jacente. ....</i>	106
<i>Photo n° 36 : Le labour amène la biomasse racinaire à la surface. Ici, un tas de racines provenant d'une parcelle de 100 m<sup>2</sup> à l'issue du premier labour du bloc A : une source de matière organique stable perdue, et une cause de tassement et d'évolution de la pente superficielle du sol. ....</i>	106
<i>Photo n° 37 : A toutes les échelles, c'est la rugosité de la surface du sol qui oriente les écoulements sur une pente donnée. Ici, nette bipolarité de la surface du sol en aires de production (en gris noir) et en aires d'accumulation et de transport de sédiments (sables brun roses). ....</i>	106
<i>Photo n° 38 : La fermeture de la surface du sol labouré et nu est présente à toutes les échelles : de la motte (capuchon du bic) à l'unité de rugosité référée aux plus grosses mottes. La réduction de la rugosité se fait par la battance et l'affouillement sous les mottes (bout du bic) qui s'effondrent ensuite sous leur poids. ....</i>	106

<i>Photo n° 39 : Au centre (côté capuchon du bic), les semences mises à nu par une pluie intense sécheront ou seront emportées par la pluie suivante : une des principales causes de manquants à la levée allant à plus de 50 %.</i>	189
<i>Photo n° 40 : Le fumier de chèvre enfoui par le labour est érodé : ici une partie délaissée au bord du canal de sédimentation bien avant le buttage. Il ne suffit pas d'apporter des fertilisants au sol, on doit s'assurer qu'ils y resteront à la disposition des plantes.</i>	189
<i>Photo n° 41 : Le buttage stimule le développement du système racinaire fin. L'érosion provoquée par le ruissellement le long des tiges de maïs et dans les sillons le dénude.</i>	189
<i>Photo n° 42 : La décoloration des feuilles de jeunes plants de maïs a été observée sur toutes les parcelles décapées artificiellement (sur 5 à 15 cm). Elle correspond à une carence de zinc.</i>	189
<i>Photo n° 43 : Dans le déplacement hypodermique du vers de terre, la terre soulevée au-dessus de sa galerie se fissure : l'action de cette faune dans l'aération superficielle du sol ne se limite pas seulement à l'orifice de déjection des turricules.</i>	210
<i>Photo n° 44 : Un vers de terre type de nos parcelles pourchassé par les fourmis : un allié agricole et écologique à protéger.</i>	210
<i>Photo n° 45 : Etat de surface d'une parcelle de Zéro tillage : noter la densité des turricules et le recouvrement de la litière par ceux-ci.</i>	210
<i>Photo n° 46 : La souche de la graminée, ici Andropogon g. retient beaucoup de terre agrégée, grâce à son abondant système racinaire.</i>	211
<i>Photo n° 47 : Après une longue agitation dans l'eau, les racines, très nombreuses, retiennent encore quelques mottes.</i>	211
<i>Photo n° 48 : Sur un sol labouré issu d'une jachère de quatre ans, les racines des herbacées évoluent progressivement vers un mulch sous pluie simulée, au fur et à mesure que les terres qu'elles renaient sont détachées. Leur élimination du sol constitue une étape importante de la dégradation.</i>	211
<i>Photo n° 49 : Après les feux de brousse de décembre, ces troupeaux mixtes de gros et petit bétail vivent des résidus de cultures pendant deux mois environ avant le départ en grande transhumance.</i>	281
<i>Photo n° 50 : Etat de surface du sol après le rabattage des tiges de sorgho, et avant le passage des troupeaux. Le sorgho donne une biomasse abondante et durable, très convenable pour les systèmes de culture conservateurs. Si l'on veut diffuser ceux-ci, on doit changer le mode de gestion du bétail et régler l'usage du feu.</i>	281
<i>Photo n° 51 : Etat de surface du sol après le deuxième passage de troupeau de bétail. Le sol est réduit en poussières qui seront mobilisées par les vents tourbillonnants de la saison sèche.</i>	281
<i>Photo n° 52 : Après un passage de troupeau de bétail, toutes les feuilles des résidus de sorgho ont été pâturées : seules subsistent les cannes. La dégradation du sol par le piétinement est entamée.</i>	281
<i>Photo n° 53 : Créer une macroporosité par un travail du sol qui arrache sans totalement enfouir les adventices. Dans la partie de la parcelle travaillée sous adventices à droite, le maïs a déjà levé.</i>	282
<i>Photo n° 54 : Lors du premier desherbage manuel, les adventices sont retirées et étalées sur le sol. Un paillage est ainsi réalisé, comme dans ce champ de paysan, sans opérations de coupe et de transport de la paille.</i>	282

## **LISTE DES ANNEXES**

<i>Annexe 3.01 : Coefficients de partition (Kp) des cuves b.....</i>	<i>321</i>
<i>Annexe 4.01 a : Pluviosité journalière (en mm) à Mbissiri (1991).....</i>	<i>322</i>
<i>Annexe 4.01 b : Pluviosité journalière (en mm) à Mbissiri (1992).....</i>	<i>323</i>
<i>Annexe 4.01 c : Pluviosité journalière (en mm) à Mbissiri (1993).....</i>	<i>324</i>
<i>Annexe 4.01 d : Pluviosité journalière (en mm) à Mbissiri (1994).....</i>	<i>325</i>
<i>Annexe 4.01 e : Pluviosité de Mbissiri ; variation interannuelle de la hauteur des précipitations sur les sites D et N.....</i>	<i>326</i>
<i>Annexe 4.02 : Courbe de fréquence des hauteurs de pluie à Tcholliré de 1952 à 1980.....</i>	<i>327</i>
<i>Annexe 4.03 : Dépouillement de pluviogrammes de trois averses pour la détermination des intensités partielles des pluies et de l'indice RUSA.....</i>	<i>328</i>
<i>Annexe 4.04 : Positionnement du carbone et de l'azote dans les fractions granulométriques.....</i>	<i>369</i>
<i>Annexe 4.05 : Schéma des profils pédologiques des parcelles d'érosion.....</i>	<i>330</i>
<i>Annexe 4.06 : Listings de l'analyse statistique globale du ruissellement des pertes en terre et des rendements.....</i>	<i>331</i>
<i>Annexe 4.07 : Ruissellements annuels moyens de 1991 à 1994 pour les blocs A, B, C et D.....</i>	<i>343</i>
<i>Annexe 4.08 : Caractéristiques analytiques agronomiques des terres (0-10) de l'essai décapage avant le semis et l'épandage des engrais (juillet 1993).....</i>	<i>344</i>

**Annexe 3.01 : Coefficients de partition (Kp) des cuves b**

	$K \leq 7^{(1)}$	$7 < K < 13^{(2)}$	$K > 13^{(3)}$	Non tarées
Blocs	Parcelle Kp	Parcelle Kp	Parcelle Kp	Parcelles Kp = 10
A	A1 3,2	A4 7,6	A11 21,3	A12 A13 A14 A15 A16AB
	A2 4,6	A7 11,2		
	A3 5,4	A8 7,6		
	A5 6,7	A9 8,6		
	A6 3,4			
	A10 4,6			
B	B6 6,1	B12 8,2	B5 84,4	B1 B2 B3 B4 B6
	B8 3,9	B15 7,7	B4 54,8	
	B10 4,7		B7 31,6	
	B11 3,0		B9 13,8	
	B13 3,8			
C	C3 4,0	C1 10,2	C10 13,4	C11 C12 C13 C14 C15 C16
	C6 6,1	C4 11,0	C7 31,7	
	C8 4,7	C5 11,6	C2 16,2	
		C9 8,9		
D	D1 2,5	D3 8,3	D4 21,0	D7 D8 D13 D14
	D2 7,0	D5 10,8	D10 28,0	
	D11 2,9	D6 8,9	D15 34,3	
	D12 3,9	D9 9,0		
		D16 9,2		

- (1) Sous-estimation de Kp
- (2) Partiteurs normaux
- (3) Surestimation de Kp

Annexe 4.01 a : Pluviosité journalière (en mm) à Mbissiri (1991)

J	SITE D									SITE N								
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	M	A	M	J	J	A	S	O	N
1	-	-	-	-	-	7.0	18.0	7.0	-	-	-	-	-	-	7.5	13.0	8.0	-
2	-	-	-	-	-	2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	12.0	26.0	-	-	-	-	-	-	-	10.0	15.5	-
4	-	-	-	-	9.0	32.0	17.0	-	-	-	-	-	12.0	30.0	24.0	-	-	-
5	-	-	-	-	-	3.0	-	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	4.2	-
6	-	10.5	14.5	-	73.0	-	-	3.0	-	-	13.5	17.5	-	65.0	-	-	4.0	-
7	-	-	-	-	47.0	-	10.5	-	-	-	-	-	-	50.0	-	14.0	-	-
8	-	12.5	26.5	12.0	57.0	4.0	-	-	-	-	8.5	24.5	0.6	63.0	-	-	-	-
9	-	-	-	-	17.5	-	-	-	-	-	-	-	-	19.0	20.0	-	-	-
10	-	-	7.0	-	-	20.0	-	-	-	-	-	7.5	-	-	6.5	-	-	-
déc	0.0	23.0	48.0	12.0	203.5	68.3	57.5	40.0	-	0.0	22.0	49.5	0.6	209.0	71.0	61.0	31.7	-
11	-	-	-	7.0	-	39.0	-	-	-	-	-	-	3.0	-	30.0	-	-	-
12	-	-	13.0	3.0	-	-	-	-	-	-	-	13.0	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	23.5	-	-	-	-	-	-	-	-	22.0	-	-	-
14	-	-	35.0	-	26.0	85.0	-	-	-	-	-	35.0	-	26.0	80.0	-	-	-
15	0.5	-	15.0	-	-	19.0	-	5.0	7.0	7.0	-	15.0	-	-	15.0	-	7.0	-
16	-	-	-	-	-	-	26.0	8.0	-	-	-	-	-	-	-	18.0	8.0	-
17	-	-	-	-	-	8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	8.0	-	-	-
18	-	-	-	-	42.0	31.0	-	-	-	-	-	-	-	46.0	25.0	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	33.0	-	-	-	-	-	-	-	-	30.0	-	-	-	-	-	-
déc	0.5	0.0	96.0	10.0	68.0	205.0	26.0	13.0	7.0	7.0	0.0	93.0	3.0	72.0	180.0	18.0	15.0	-
21	-	-	-	-	16.0	-	10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	10.0	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	0.8	-	-	-	-	10.0	-	-	-	13.0	-	-	-	-	14.0	-
24	-	-	-	-	32.0	5.0	-	-	-	-	-	-	-	11.0	5.0	-	-	-
25	-	-	-	-	3.0	30.0	40.0	-	-	-	-	-	-	5.0	32.0	27.0	-	-
26	-	-	12.5	6.5	-	-	4.0	-	-	-	-	14.5	6.5	-	-	-	-	-
27	-	-	-	28.0	76.0	-	4.0	-	-	-	-	-	32.0	77.0	-	5.0	-	-
28	-	-	-	-	-	15.0	33.0	1.2	-	-	-	-	-	-	27.0	23.0	1.2	-
29	-	-	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	15.0	-	5.0	-	-	-	-
30	-	-	-	4.5	8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
déc	0.0	0.0	35.5	39.0	144.0	50.0	91.0	11.2	0.0	0.0	0.0	42.5	43.0	106.0	64.0	65.0	15.2	-
TOT	0.0	23.0	179.5	61.0	415.5	323.3	174.5	64.2	-	7.0	22.0	185.0	46.6	387.0	320.0	144.0	61.9	-

TOTAL annuel : 1241.5  
Nbre jours de pluie ≥ 0.5 mm : 65

TOTAL annuel : 1173.5  
Nbre jours de pluie ≥ 0.5 mm : 59

Annexe 4.01 b : Pluviosité journalière (en mm) à Mbissiri (1992)

J	SITE D									SITE N								
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	M	A	M	J	J	A	S	O	N
1	-	-	-	19.0	27.5	92.0	30.0	-	-	-	-	-	24.5	27.5	109.0	40.0	-	-
2	-	-	-	-	-	-	8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	3.4	-	-
3	-	-	-	15.0	-	-	29.5	-	-	-	-	-	12.5	-	-	32.0	-	-
4	-	-	-	-	48.0	6.0	11.0	-	-	-	-	-	-	57.0	6.8	8.0	-	-
5	-	-	-	-	-	-	69.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	36.0	-	-	-	-	-	-	-	60.0	33.0	-
7	-	-	-	-	11.0	35.0	-	-	-	-	-	4.0	-	11.5	38.0	-	-	-
8	-	27.5	4.0	-	-	-	5.7	15.0	-	-	27.5	-	-	-	-	5.0	24.0	-
9	-	-	-	6.5	6.0	-	1.0	16.5	-	-	-	28.0	5.4	8.0	-	0.3	15.0	-
10	-	27.0	18.0	-	-	3.0	-	-	-	-	27.0	-	-	-	4.0	-	-	-
déc	0.0	54.5	22.0	40.5	92.5	136.0	154.2	67.5	-	-	54.5	32.0	42.4	104.0	157.8	148.7	72.0	-
11	-	-	-	40*.0	-	60.0	8.7	52.0	-	-	-	-	24*.0	-	45.1	9.0	49.0	-
12	-	14.0	35.0	-	-	75.0	-	-	-	-	14.0	41.0	-	-	16.0	-	-	-
13	-	-	-	7.5	25.0	-	4.0	-	-	-	-	-	4.5	14.0	-	5.0	-	-
14	-	-	-	-	22.5	-	-	-	-	-	-	-	18.5	10.0	-	23.0	-	-
15	-	-	-	8.0	-	-	14.0	-	-	-	-	-	13.0	-	-	-	-	-
16	-	17.5	-	-	-	2.0	22.5	-	-	-	15.0	-	-	-	10.5	30.4	-	-
17	-	-	-	35.0	-	-	30.0	-	-	-	-	-	47.5	-	-	34.0	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	41.5	-	-	2.0	-	-	14.5	-	-	47.0	-
19	-	-	-	-	8.5	22.5	2.0	-	-	-	-	-	-	14.5	21.5	3.0	-	-
20	-	-	34.0	-	5.3	-	7.4	-	-	-	-	-	-	7.0	-	7.4	-	-
déc	0.0	31.5	69.0	90.0	61.3	92.0	88.6	93.5	-	-	31.0	41.0	107.5	60.0	93.1	111.8	96.0	-
21	-	-	-	-	9.0	30.0	-	-	-	-	-	-	-	17.5	38.0	-	-	-
22	-	-	15.0	-	-	28.0	18.0	-	-	-	-	-	-	-	28.0	15.5	-	-
23	-	-	-	36.5	5.2	21.0	-	-	-	-	-	13.0	17.5	5.2	18.0	-	-	-
24	-	-	-	51.3	6.0	12.0	10.0	-	-	-	-	-	27.5	6.0	4.4	13.0	-	-
25	-	-	-	-	2.0	43.0	-	-	-	-	-	-	-	1.4	60.0	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	3.5	10.3	-	-	-	-	-	-	-	4.0	9.0	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	19.0	21.0	-	-	-	-	-	-	-	14.0	27.5	-	-
30	-	-	0.5	-	58.0	-	-	-	-	-	-	0.5	-	46.0	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
déc	0.0	0.0	15.5	91.3	96.5	153.0	49.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	49.0	91.0	162.4	56.0	0.0	0.0
TOT	0.0	86.0	106.5	221.8	250.3	381.0	291.8	161.0	0.0	85.5	86.5	198.9	255.0	413.3	316.5	168.0	0.0	0.0

TOTAL annuel : 1498.4  
 Nbre jours de pluie  $\geq 0.5$  mm : 71

TOTAL annuel : 1523.7  
 Nbre jours de pluie  $\geq 0.5$  mm : 73

Annexe 4.01 c : Pluviosité journalière (en mm) à Mbissiri (1993)

J	SITE D									SITE N								
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	M	A	M	J	J	A	S	O	N
1	-	-	-	-	10.0	-	16.8	19.0	-	-	-	-	4.0	-	12.0	15.0	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-	6.0	30.0	-	-	-	-	-	-	5.0	29.5	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	12.5	6.0	-	16.0	11.0	-	-	-	-	8.0	-	17.5	12.2	-	
6	-	-	7.0	-	5.8	15.0	-	10.0	-	-	8.0	-	2.5	12.5	2.0	6.5	-	
7	-	-	-	20.0	-	-	-	-	-	-	5.2	28.0	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	49.0	15.0	8.7	9.1	-	-	-	-	51.0	21.5	8.0	11.3	-	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	-	-	-	-	3.0	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-	-	-	-	
déc	0.0	0.0	7.0	32.5	73.8	36.0	71.5	49.1	-	0.0	0.0	13.2	28.0	68.1	39.0	69.0	45.0	
11	-	-	3.5	3.0	12.4	-	-	-	-	-	-	1.8	6.0	7.0	-	-	-	
12	24.5	-	-	-	-	-	9.3	-	-	12.5	-	-	-	-	-	5.3	-	
13	-	-	-	-	-	12.5	2.0	-	-	-	-	-	-	10.0	2.0	-	-	
14	-	-	5.0	18.0	6.0	-	24.5	20.0	-	-	-	25.0	6.5	-	20.5	47.0	-	
15	-	-	-	-	-	-	9.8	-	-	-	-	-	-	-	11.5	-	-	
16	-	-	37.0	23.0	-	20.0	-	-	-	-	37.0	25.0	-	24.5	-	-	-	
17	-	-	-	-	-	-	33.0	-	-	-	-	-	-	20.5	-	-	-	
18	-	10.0	-	3.8	82.0	99.5	-	-	-	-	11.0	-	8.0	85.0	90.7	-	-	
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9	-	-	-	
20	-	-	-	14.0	-	9.9	9.5	6.5	-	-	-	16.0	-	3.0	8.1	4.9	-	
déc	24.5	10.0	45.5	61.8	100.4	141.9	88.1	26.5	-	12.5	11.0	38.8	80.0	98.5	131.1	67.9	51.9	
21	-	17.5	12.5	3.0	-	17.0	-	-	-	-	10.5	32.0	-	19.5	-	-	-	
22	-	-	-	-	-	-	9.5	-	-	-	-	-	-	-	13.0	-	-	
23	-	-	-	12.5	-	38.0	-	-	-	-	-	35.0	-	43.0	-	-	-	
24	-	-	-	-	3.2	-	-	-	-	-	-	-	3.0	4.0	-	-	-	
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26	-	25.0	-	-	-	22.3	-	-	-	-	36.0	-	-	15.5	-	-	-	
27	-	-	-	-	-	-	5.0	-	-	-	-	-	-	-	5.2	-	-	
28	-	-	25.5	-	10.0	-	19.0	0.0	-	-	-	17.5	16.0	-	14.5	-	-	
29	-	-	15.0	2.0	25.0	-	-	-	-	-	-	15.0	4.0	17.0	14.0	27.5	-	
30	-	-	22.5	5.0	-	-	-	-	-	-	-	20.0	8.0	-	4.1	-	-	
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
déc	0.0	42.5	75.5	22.5	38.2	77.3	33.5	0.0	-	0.0	46.5	84.5	47.0	36.0	86.1	32.7	0.0	
TOT	24.5	52.5	128.0	116.8	212.4	255.2	193.1	75.6	-	12.5	57.5	136.5	155.0	202.6	256.2	169.6	96.9	

TOTAL annuel : 1058,1 mm  
 Nbre jours de pluie ≥ 0.5 mm : 63 j

TOTAL annuel : 1086,8 mm  
 Nbre jours de pluie ≥ 0.5 mm : 65 j

Annexe 4.01 d : Pluviosité journalière (en mm) à Mbissiri (1994)

J	SITE D									SITE N								
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	M	A	M	J	J	A	S	O	N
1	-	-	8.5	-	25.0	9.0	13.5	2.4	-	-	-	9.0	-	35.5	4.0	10.0	7.0	-
2	-	-	-	-	21.5	5.0	-	30.0	-	-	-	-	-	-	12.5	-	22.5	-
3	-	10.0	-	-	-	-	17.5	10.0	-	-	-	-	-	119.5	12.0	8.0	-	-
4	-	-	-	-	-	120.0	43.0	-	-	-	-	-	-	-	33.0	-	-	-
5	-	7.0	-	-	-	-	4.0	5.0	9.0	-	7.0	-	-	-	5.5	2.5	8.5	-
6	-	-	-	6.0	-	36.5	-	-	-	-	-	-	8.0	-	35.0	14.0	-	-
7	-	-	-	-	6.3	-	20.0	-	-	-	-	-	-	5.5	-	4.0	-	-
8	-	-	-	65.0	-	-	-	-	-	-	-	-	55.0	-	-	22.5	-	-
9	-	-	8.5	-	22.5	25.9	33.0	6.0	-	-	-	15.0	0.0	23.5	20.0	8.0	6.0	-
10	-	-	-	-	-	22.0	20.0	3.0	-	-	-	-	-	-	5.8	-	1.9	-
déc	0.0	17.0	17.0	71.0	75.0	217.5	151.0	56.4	9.0	0.0	17.5	24.0	64.0	64.5	196.8	109.0	47.9	8.5
11	-	-	-	-	-	22.0	0.1	-	-	-	-	-	-	-	5.0	-	-	-
12	-	-	14.0	-	23.5	10.6	-	10.0	-	-	-	2.5	0.0	30.0	12.0	-	6.0	-
13	-	-	6.5	-	3.0	-	0.2	11.0	-	-	-	15.0	-	2.5	2.5	1.0	8.5	-
14	-	-	-	-	14.0	-	20.0	-	-	-	-	-	-	10.0	-	22.0	-	-
15	-	-	-	12.5	-	35.0	7.5	-	-	-	-	-	11.0	-	28.5	6.6	-	-
16	-	-	-	-	-	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	11.0	-	-	-
17	-	-	4.0	16.0	-	9.0	-	-	-	-	-	10.0	9.0	-	10.0	-	-	-
18	-	-	-	11.5	4.0	2.0	4.5	1.2	-	-	-	-	5.5	10.0	-	0.3	1.2	-
19	-	-	7.1	-	12.5	-	-	38.0	-	-	-	8.0	-	6.0	-	-	39.0	-
20	-	-	-	-	-	35.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
déc	0.0	0.0	31.6	40.0	57.0	93.6	67.3	60.2	0.0	0.0	0.0	35.5	25.5	58.5	69.0	29.8	54.7	-
21	-	-	-	5.0	50.0	59.0	-	-	-	-	-	-	-	45.0	66.5	33.0	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	-	-	-
23	-	-	-	45.0	-	-	-	-	-	-	-	-	61.0	-	38.0	-	-	-
24	-	-	-	-	-	36.0	-	-	-	-	-	-	-	4.6	-	-	-	-
25	-	-	-	13.5	-	22.5	-	-	-	-	-	-	17.0	-	18.5	-	-	-
26	-	-	9.3	-	-	26.0	4.5	-	-	-	-	8.0	-	-	26.0	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-
28	-	38.0	-	-	-	19.0	12.0	4.5	-	-	38.0	-	22.5	-	16.5	7.0	1.9	-
29	-	-	-	36.0	-	-	-	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	18.0	-	35.0	-	-	-	-	-	-	17.5	40.0	35.0	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
déc	0.0	38.0	27.3	99.5	85.0	165.5	17.1	6.0	0.0	0.0	38.0	25.5	140.5	84.6	167.5	40.5	1.9	-
TOT	0.0	55.0	75.9	210.5	217.0	476.6	235.4	122.6	9.0	0.0	55.5	85.0	230.0	207.6	433.3	179.3	104.5	8.5

TOTAL annuel : 1402,3 mm  
 Nbre jours de pluie ≥ 0.5 mm : 75 j

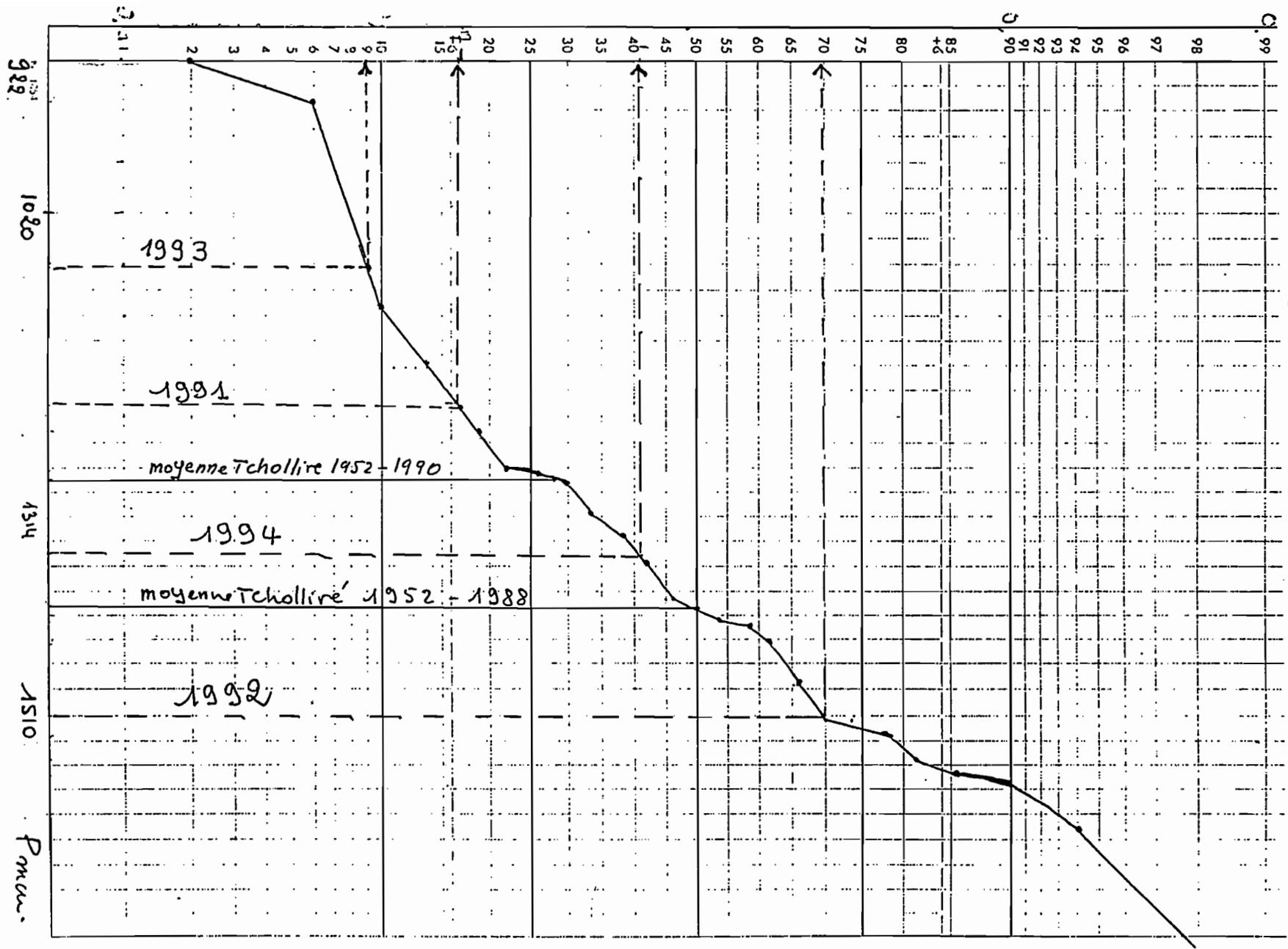
TOTAL annuel : 1303.7 mm  
 Nbre jours de pluie ≥ 0.5 mm : 74 j

**Annexe 4.01 e : Pluviosité de Mbissiri ; variation interannuelle de la hauteur des précipitations sur les sites D et N**

Année	SITE D		SITE N	
	hauteur (mm)		hauteur (mm)	n. jours
1991	1241		1173	59
1992	1498		1523	73
1993	1058		1086	65
1994	1402		1303	74
Moyenne	1300		1271	67.7

La moyenne de la pluviosité des deux sites est de : 1286 mm en 68 jours

Annexe 4.02 : Courbe de fréquence des hauteurs de pluie à Tcholliré de 1952 à 1980



**Annexe 4.03 : Dépouillement de pluviogrammes de trois averses pour la détermination des intensités partielles des pluies et de l'indice RUSA**

Date	Hauteur (mm)	Temps partiel (mn)	Hauteur partielle (mm)	Intensité partielle (mm/h)	Energie unitaire (t/ha/cm)	Energie globale (t/ha/tranche de pluie)	I30' x 2 (mn/h)	RUSA $\Sigma EI_{30}$ 1735,6
18/07/93	85,0	6	11,8	118,0	289	341,0		
		9	16,8	112,0	289	485,5		
		5	15,0	180,0	289	433,5	117,2	
		10	15,0	90,0	289	433,5		
		30	10,3	20,6	239	246,1		143,8
		45	2,4	3,2	163	39,1		
		30	6,8	13,6	223	151,6		
		123	1,5	0,7	0	0		
					2130,3			
25/08/92	60,0	7	10,5	90,0	289	303,4	97,0	95,5
		8	13,0	97,5	289	375,7		
		6	11,0	110,0	289	317,9		
		9	14,0	93,3	289	404,6		
		10	8,0	48,0	271	216,8		
		15	4,0	16,0	228	91,2		
					1709,6			
23/06/94	61,0	10	14,5	87,0	289	419,0	91,0	88,4
		20	31,0	93,0	289	895,9		
		10	11,0	66,0	283	311,3		
		127	4,0	1,9	148	59,2		
					1685,4			

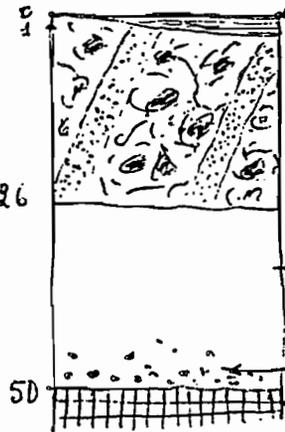
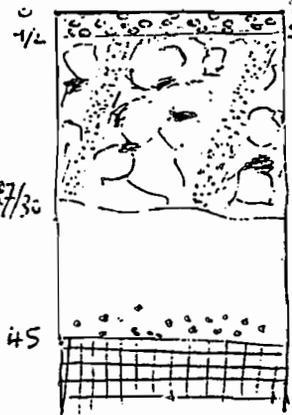
**Annexe 4.04 : Positionnement du carbone et de l'azote dans les fractions granulométriques (0-2000 µ)**

Origine échantillon	Fraction granulo (µm)	Masse fraction/100 g sol (1)	C		N	
			mg/g fraction (2)		mg/g sol (3 = 2 x 1)	
Savane	2000-200	66,1	0,8	0,1	0,52	0,07
	200-50	14,4	3,8	0,1	0,54	0,01
	50-20	5,6	3,0	0,1	0,18	0,01
	20-2	8,2	20,5	1,3	1,68	0,10
	2-0	5,4	48,0	4,1	2,59	0,22
	H2O	-	-	-	-	-
	Total		99,7	-	-	5,51
Sol non fractionné		100,0	-	-	6,5	0,49
A12 (zéro travail)	2000-200	65,4	1,4	0,1	0,89	0,06
	200-50	14,8	3,9	0,6	0,57	0,08
	50-20	5,8	2,1	0,1	0,12	<0,01
	20-2	8,6	12,8	1,4	1,10	0,12
	2-0	5,1	48,7	3,4	2,48	0,17
	H2O	-	-	-	-	-
	Total		99,7	?	?	5,16
Sol non fractionné		100,0	-	-	5,0	0,43
Bande Herbe A 10	2000-200	66,6	2,4	0,1	1,59	0,07
	200-50	12,7	4,4	0,2	0,55	0,02
	50-20	6,1	2,4	0,1	0,14	<0,01
	20-2	8,9	13,5	0,8	1,20	0,07
	2-0	5,5	45,9	3,8	2,52	0,21
	H2O	-	-	-	-	-
	Total		99,8	-	-	6,0
Sol non fractionné		100,0	-	-	5,5	0,42
A 9 Sol nu	2000-200	69,9	0,5	0,1	0,35	0,07
	200-50	17,5	1,7	0,1	0,29	0,02
	50-20	6,3	2,1	0,1	0,13	<0,01
	20-2	7,7	8,9	0,9	0,68	0,07
	2-0	5,5	38,3	4,3	2,10	0,023
	H2O	-	-	-	-	-
	Total		106,9	-	-	-
Sol non fractionné		100,0	-	-	3,32	0,37
A 4 TRM + fumier	2000-200	66,6	2,4	0,1	1,59	0,07
200-50	12,7	4,4	0,2	0,55	0,02	
50-20	6,1	2,4	0,1	0,14	<0,01	
20-2	8,9	13,5	0,8	1,20	0,07	
2-0	5,5	45,9	3,8	2,52	0,21	
H2O	-	-	-	-	-	
Total		99,8	-	-	6,0	0,38
Sol non fractionné		100,0	-	-	5,5	0,42
Turricule vers de terre	2000-200	66,8	5,8	0,1	3,87	0,07
	200-50	15,5	13,0	0,9	2,01	0,14
	50-20	4,7	7,8	0,5	0,36	0,02
	20-2	7,7	48,8	2,0	3,75	0,15
	2-0	5,1	77,8	7,0	3,96	0,35
	H2O	-	-	-	-	-
	Total		99,8	-	-	13,89
Sol non fractionné		100,0	-	-	13,70	0,66

\* Les turricules sont plus riches en carbone et en azote

+ Les vers de terre enrichissent principalement les fractions granulométriques grossières

Annexe 4.05 : Schéma des profils pédologiques des parcelles d'érosion

Traitement	Position	Profil	da	Observations
Témoin nu D10 "Haut"	-20 m 		1.39 1.45 1.45	OPs d'épaisseur discontinue, sans vacuoles. Aspect caractéristique couche labourée. Mottes bien conservées et vides entre mottes. PLC : 5 à 10 cm/cp. Horizon non perturbé. PLC < 1 cm/cp. Concrétions Carapace
Témoin nu D10 "bas"	-20 m 		1.49 1.63 1.46	0-1 à 2 cm : OPs d'épaisseur continue. Sables lités avec de nombreuses vacuoles. Très bonne conservation structure héritée du labour.
Témoin nu Ag	-20 m 		1.61 1.40 1.88	OPs d'épaisseur discontinue Couche tassée sans traces de labour. PLC : 1 à 3 cm/cp. Couche avec effets de labour. PLC : 3 à 10 cm/cp. Couche non perturbée.

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 4

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: KR91 Coeff.ruissell. 1991 (%)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	724.52110417	42.61888848	3.76	0.0021
Error	22	249.20864583	11.32766572		
Corrected Total	39	973.72975000			

R-Square	C.V.	Root MSE	KR91 Mean
0.744068	21.13776	3.36565977	15.92250000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	7.14787500	3.57393750	0.32	0.7327
OBJET	15	717.37322917	47.82488194	4.22	0.0012

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	12.88802083	6.44401042	0.57	0.5743
OBJET	15	717.37322917	47.82488194	4.22	0.0012

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par ecran	-0.0333333	-0.01	0.9890	2.37988085
Paillage-Ombriere	-4.4666667	-1.63	0.1183	2.74804970
TRM - parcelle nue	-10.2333333	-3.72	0.0012	2.74804970
Stabilisation par MO	2.8000000	1.18	0.2520	2.37988085
Fumier - Residus enf	-3.6666667	-1.33	0.1958	2.74804970
Billons cloisonnes	-7.2437500	-2.33	0.0295	3.11058105
Doublement densite	4.3562500	1.40	0.1753	3.11058105
TRM40 m - TRM 20 m	1.8562500	0.60	0.5568	3.11058105
Bandes vegetales	1.3062500	0.50	0.6225	2.61606537
Bande enh.-Haie vive	-6.3000000	-1.87	0.0746	3.36565977
TRM - Otilage	0.1437500	0.05	0.9636	3.11058105
Minitil - Otilage	-4.4562500	-1.43	0.1660	3.11058105
Otilage 40m- Otil.	-0.3500000	-0.10	0.9181	3.36565977
Otil. Calo.- Otil.	-3.9229167	-1.26	0.2205	3.11058105
Otil. Sodec.-Otil.	-1.7500000	-0.52	0.6083	3.36565977

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 5

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOG\_E91 Log [Erosion 1991 (t/ha)]

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	5.71382035	0.33610708	1.98	0.0662
Error	22	3.73276120	0.16967096		
Corrected Total	39	9.44658155			

R-Square	C.V.	Root MSE	LOG_E91 Mean
0.604856	21.71038	0.41191135	1.89730145

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	0.47849052	0.23924526	1.41	0.2653
OBJET	15	5.23532983	0.34902199	2.06	0.0605

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	0.45855278	0.22927639	1.35	0.2796
OBJET	15	5.23532983	0.34902199	2.06	0.0605

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par écran	-0.99925453	-3.43	0.0024	0.29126531
Paillage-Ombrière	0.20602446	0.61	0.5464	0.33632421
TRM - parcelle nue	0.14444962	0.43	0.6717	0.33632421
Stabilisation par MO	-0.10159646	-0.35	0.7305	0.29126531
Fumier - Residus enf	-0.06534306	-0.19	0.8477	0.33632421
Billons cloisonnes	-0.70731643	-1.86	0.0766	0.38069316
Doublement densite	-0.10022049	-0.26	0.7948	0.38069316
TRM40 m - TRM 20 m	-0.45514225	-1.20	0.2446	0.38069316
Bandes vegetales	-0.47989504	-1.50	0.1481	0.32017111
Bande enh.-Haie vive	-0.34155339	-0.83	0.4159	0.41191135
TRM - Otillage	0.54031335	1.42	0.1698	0.38069316
Minitil - Otillage	-0.34188234	-0.90	0.3789	0.38069316
Otillage 40m- Otill.	-0.33450605	-0.81	0.4254	0.41191135
Otill. Calo.- Otill.	-0.24762020	-0.65	0.5221	0.38069316
Otill. Sodéc.-Otill.	0.25185408	0.61	0.5472	0.41191135

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 12

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: RDT91 Rendement 1991 (qx/ha)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	202.21275658	12.63829729	1.24	0.3181
Error	21	214.26862500	10.20326786		
Corrected Total	37	416.48138158			
	R-Square	C.V.	Root MSE	RDT91 Mean	
	0.485527	26.03919	3.19425545	12.26710526	

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	48.17829825	24.08914912	2.36	0.1189
OBJET	14	154.03445833	11.00246131	1.08	0.4264
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	45.34429167	22.67214583	2.22	0.1332
OBJET	14	154.03445833	11.00246131	1.08	0.4264

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par ecran	-1.08333333	-0.48	0.6364	2.25867969
Paillage-Ombriere	-2.16666667	-0.83	0.4155	2.60809865
Stabilisation par MO	-1.50000000	-0.66	0.5138	2.25867969
Fumier - Residus enf	1.33333333	0.51	0.6145	2.60809865
Billons cloisonnes	-4.69791667	-1.59	0.1265	2.95216722
Doublement densite	-3.44791667	-1.17	0.2559	2.95216722
TRM40 m - TRM 20 m	0.15208333	0.05	0.9594	2.95216722
Bandes vegetales	-1.21041667	-0.49	0.6309	2.48283595
Bande enh.-Haie vive	-1.52500000	-0.48	0.6380	3.19425545
TRM - Otillage	0.16666667	0.06	0.9497	2.60809865
Minitil - Otillage	2.66666667	1.02	0.3182	2.60809865
Otillage 40m- Otill.	-0.03125000	-0.01	0.9917	2.95216722
Otill. Calo.- Otill.	-3.33333333	-1.28	0.2152	2.60809865
Otill. Sodec.-Otill.	3.46875000	1.17	0.2532	2.95216722

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 6

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: KR92 Coeff.ruissell. 1992 (%)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	9403.49166667	553.14656863	23.14	0.0001
Error	22	525.94208333	23.90645833		
Corrected Total	39	9929.43375000			
	R-Square	C.V.	Root MSE		KR92 Mean
	0.947032	21.29308	4.88942311		22.96250000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	967.43125000	483.71562500	20.23	0.0001
OBJET	15	8436.06041667	562.40402778	23.53	0.0001
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	159.68458333	79.84229167	3.34	0.0541
OBJET	15	8436.06041667	562.40402778	23.53	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par écran	-11.0166667	-3.19	0.0043	3.45734424
Paillage-Ombrière	-5.1000000	-1.28	0.2147	3.99219725
TRM - parcelle nue	-19.5333333	-4.89	0.0001	3.99219725
Stabilisation par MO	4.1833333	1.21	0.2391	3.45734424
Fumier - Residus enf	-2.9666667	-0.74	0.4653	3.99219725
Billons cloisonnes	-29.1666667	-6.45	0.0001	4.51886046
Doublement densite	-5.9666667	-1.32	0.2003	4.51886046
TRM40 m - TRM 20 m	-1.7666667	-0.39	0.6996	4.51886046
Bandes vegetales	-19.6666667	-5.17	0.0001	3.80045856
Bande enh.-Haie vive	-8.5000000	-1.74	0.0961	4.88942311
TRM - Otillage	27.9666667	6.19	0.0001	4.51886046
Minitil - Otillage	2.6666667	0.59	0.5611	4.51886046
Otillage 40m- Otill.	1.4500000	0.30	0.7696	4.88942311
Otill. Calo.- Otill.	0.9666667	0.21	0.8326	4.51886046
Otill. Sodéc.-Otill.	1.8500000	0.38	0.7088	4.88942311

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 7

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOG\_E92 Log [Erosion 1992 (t/ha)]

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	17.92863226	1.05462543	3.19	0.0058
Error	22	7.26959461	0.33043612		
Corrected Total	39	25.19822687			
	R-Square	C.V.	Root MSE		LOG_E92 Mean
	0.711504	27.96061	0.57483573		2.05587720

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	3.64904050	1.82452025	5.52	0.0114
OBJET	15	14.27959176	0.95197278	2.88	0.0120
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	2.11912543	1.05956271	3.21	0.0600
OBJET	15	14.27959176	0.95197278	2.88	0.0120

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par écran	-1.15224999	-2.83	0.0096	0.40647024
Paillage-Ombrière	0.13197262	0.28	0.7812	0.46935141
TRM - parcelle nue	-0.35174192	-0.75	0.4615	0.46935141
Stabilisation par MO	0.02193043	0.05	0.9575	0.40647024
Fumier - Residus enf	-0.02771502	-0.06	0.9534	0.46935141
Billons cloisonnés	-0.48009300	-0.90	0.3760	0.53126972
Doublement densité	-0.44992437	-0.85	0.4062	0.53126972
TRM40 m - TRM 20 m	-0.48559125	-0.91	0.3706	0.53126972
Bandes végétales	-1.65768826	-3.71	0.0012	0.44680923
Bande enh.-Haie vive	-0.00832501	-0.01	0.9886	0.57483573
TRM - Otillage	0.78594800	1.48	0.1532	0.53126972
Minitill - Otillage	-0.21672732	-0.41	0.6873	0.53126972
Otillage 40m- Otill.	-0.58260219	-1.01	0.3218	0.57483573
Otill. Calo.- Otill.	-0.22868117	-0.43	0.6711	0.53126972
Otill. Sodec.-Otill.	-0.00685222	-0.01	0.9906	0.57483573

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 13

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: RDT92 Rendement 1992 (qx/ha)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	7274.25175439	454.64073465	5.26	0.0003
Error	21	1815.11666667	86.43412698		
Corrected Total	37	9089.36842105			
	R-Square	C.V.	Root MSE	RDT92 Mean	
	0.800303	23.39641	9.29699559	39.73684211	

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	445.16008772	222.58004386	2.58	0.1000
OBJET	14	6829.09166667	487.79226190	5.64	0.0002
Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	539.71666667	269.85833333	3.12	0.0650
OBJET	14	6829.09166667	487.79226190	5.64	0.0002

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par écran	-2.1666667	-0.33	0.7450	6.57396863
Paillage-Ombrière	-0.3333333	-0.04	0.9654	7.59096511
Stabilisation par MO	13.3333333	2.03	0.0554	6.57396863
Fumier - Residus enf	20.0000000	2.63	0.0155	7.59096511
Billons cloisonnes	-12.2083333	-1.42	0.1700	8.59238908
Doublement denseite	1.7916667	0.21	0.8368	8.59238908
TRM40 m - TRM 20 m	1.7916667	0.21	0.8368	8.59238908
Bandes vegetales	-6.4583333	-0.89	0.3816	7.22638349
Bande enh.-Haie vive	-1.5000000	-0.16	0.8734	9.29699559
TRM - Otillage	20.0000000	2.63	0.0155	7.59096511
Minitil - Otillage	2.3333333	0.31	0.7616	7.59096511
Otillage 40m- Otill.	1.2916667	0.15	0.8819	8.59238908
Otill. Calo.- Otill.	-8.3333333	-1.10	0.2847	7.59096511
Otill. Sodec.-Otill.	-4.7083333	-0.55	0.5895	8.59238908

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 8

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: KR93 Coeff.ruissell. 1993 (%)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	6216.79443750	365.69379044	14.70	0.0001
Error	22	547.27531250	24.87615057		
Corrected Total	39	6764.06975000			

R-Square	C.V.	Root MSE	KR93 Mean
0.919091	41.48555	4.98759968	12.02250000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	-2	601.15037500	300.57518750	12.08	0.0003
OBJET	15	5615.64406250	374.37627083	15.05	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	253.59802083	126.79901042	5.10	0.0152
OBJET	15	5615.64406250	374.37627083	15.05	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par ecran	-17.9833333	-5.10	0.0001	3.52676556
Paillage-Ombriere	-10.1000000	-2.48	0.0213	4.07235809
TRM - parcelle nue	-16.4000000	-4.03	0.0006	4.07235809
Stabilisation par MO	-1.2000000	-0.34	0.7369	3.52676556
Fumier - Residus enf	-0.4000000	-0.10	0.9226	4.07235809
Billons cloisonnes	-20.3187500	-4.41	0.0002	4.60959636
Doublement densite	-1.2687500	-0.28	0.7857	4.60959636
TRM40 m - TRM 20 m	1.0312500	0.22	0.8250	4.60959636
Bandes vegetales	-19.2437500	-4.96	0.0001	3.87676940
Bande enh.-Haie vive	0.4500000	0.09	0.9289	4.98759968
TRM - Otillage	20.3187500	4.41	0.0002	4.60959636
Minitil - Otillage	-1.9145833	-0.42	0.6819	4.60959636
Otillage 40m- Otill.	-0.4500000	-0.09	0.9289	4.98759968
Otill. Calo.- Otill.	-1.7812500	-0.39	0.7029	4.60959636
Otill. Sodec.-Otill.	9.4000000	1.88	0.0728	4.98759968

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 9

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOG\_E93 Log [Erosion 1993 (t/ha)]

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	49.04584952	2.88504997	8.21	0.0001
Error	22	7.72975170	0.35135235		
Corrected Total	39	56.77560122			
	R-Square	C.V.	Root MSE		LOG_E93 Mean
	0.863854	74.60038	0.59274982		0.79456676

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	1.77478579	0.88739289	2.53	0.1029
OBJET	15	47.27106374	3.15140425	8.97	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	0.26622775	0.13311388	0.38	0.6890
OBJET	15	47.27106374	3.15140425	8.97	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par écran	-2.26069485	-5.39	0.0001	0.41913742
Paillage-Ombrière	-0.36337646	-0.75	0.4607	0.48397820
TRM - parcelle nue	-0.37336408	-0.77	0.4486	0.48397820
Stabilisation par MO	-0.43076512	-1.03	0.3152	0.41913742
Fumier - Residus enf	0.08026902	0.17	0.8698	0.48397820
Billons cloisonnes	-1.17898366	-2.15	0.0426	0.54782613
Doublement densite	-0.64697631	-1.18	0.2502	0.54782613
TRM40 m - TRM 20 m	-1.19117938	-2.17	0.0407	0.54782613
Bandes vegetales	-3.08195867	-6.69	0.0001	0.46073352
Bande enh.-Haie vive	0.08633565	0.15	0.8855	0.59274982
TRM - Otillage	1.92199474	3.51	0.0020	0.54782613
Minitil - Otillage	-0.69610903	-1.27	0.2171	0.54782613
Otillage 40m- Otill.	-0.61607184	-1.04	0.3099	0.59274982
Otill. Calo.- Otill.	-0.32010210	-0.58	0.5650	0.54782613
Otill. Sodéc.-Otill.	0.80058940	1.35	0.1905	0.59274982

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 15

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: RDT93 Rendement 1993 (qx/ha)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	694.12898842	43.38306178	4.12	0.0018
Error	20	210.77371429	10.53868571		
Corrected Total	36	904.90270270			

R-Square	C.V.	Root MSE	RDT93 Mean
0.767076	16.49696	3.24633420	19.67837838

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	203.34555985	101.67277992	9.65	0.0012
OBJET	14	490.78342857	35.05595918	3.33	0.0072

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	193.44795238	96.72397619	9.18	0.0015
OBJET	14	490.78342857	35.05595918	3.33	0.0072

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par ecran	-1.98333333	-0.86	0.3978	2.29550492
Paillage-Ombriere	9.63333333	3.63	0.0017	2.65062077
Stabilisation par MO	4.35000000	1.90	0.0726	2.29550492
Fumier - Residus enf	5.76666667	2.18	0.0418	2.65062077
Billons cloisonnes	-3.80476190	-1.27	0.2201	3.00552145
Doublement densite	-2.80476190	-0.93	0.3618	3.00552145
TRM40 m - TRM 20 m	2.64523810	0.88	0.3892	3.00552145
Bandes vegetales	-2.32976190	-0.92	0.3680	2.52952323
Bande enh.-Haie vive	0.15000000	0.05	0.9636	3.24633420
TRM - Otillage	-3.79523810	-1.26	0.2212	3.00552145
Minitil - Otillage	-2.79523810	-0.93	0.3634	3.00552145
Otillage 40m- Otill.	-4.40000000	-1.36	0.1904	3.24633420
Otill. Calo.- Otill.	-4.96190476	-1.65	0.1144	3.00552145
Otill. Sodex.-Otill.	1.35000000	0.42	0.6819	3.24633420

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 18

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: KR94

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	6008.75143910	353.45596701	34.71	0.0001
Error	21	213.86445833	10.18402183		
Corrected Total	38	6222.61589744			
	R-Square	C.V.	Root MSE	KR94 Mean	
	0.965631	23.36808	3.19124142	13.65641026	

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	1019.53218910	509.76609455	50.06	0.0001
OBJET	15	4989.21925000	332.61461667	32.66	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	428.67720833	214.33860417	21.05	0.0001
OBJET	15	4989.21925000	332.61461667	32.66	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par écran	-13.8166667	-6.12	0.0001	2.25654845
Paillage-Ombrière	-9.3000000	-3.57	0.0018	2.60563771
TRM - parcelle nue	-13.7333333	-5.27	0.0001	2.60563771
Stabilisation par MO	-3.4166667	-1.51	0.1449	2.25654845
Fumier - Residus enf	1.7666667	0.68	0.5052	2.60563771
Billons cloisonnes	-21.8104167	-7.39	0.0001	2.94938163
Doublement densite	-6.2104167	-2.11	0.0474	2.94938163
TRM40 m - TRM 20 m	-3.7604167	-1.27	0.2162	2.94938163
Bandes vegetales	-22.5087500	-8.21	0.0001	2.74056857
Bande enh.-Haie vive	-0.2966667	-0.08	0.9409	3.95164524
TRM - Otillage	22.6604167	7.68	0.0001	2.94938163
Minitil - Otillage	-2.0729167	-0.70	0.4899	2.94938163
Otillage 40m- Otill.	0.6500000	0.20	0.8406	3.19124142
Otill. Calo.- Otill.	-1.3062500	-0.44	0.6624	2.94938163
Otill. Sodec.-Otill.	11.5500000	3.62	0.0016	3.19124142

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 10

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: LOG\_E94

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	43.51731688	2.55984217	10.46	0.0001
Error	22	5.38180084	0.24462731		
Corrected Total	39	48.89911771			

R-Square	C.V.	Root MSE	LOG_E94 Mean
0.889941	41.84755	0.49459813	1.18190475

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	7.68665768	3.84332884	15.71	0.0001
OBJET	15	35.83065920	2.38871061	9.76	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	3.04141998	1.52070999	6.22	0.0072
OBJET	15	35.83065920	2.38871061	9.76	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par écran	-1.53420340	-4.39	0.0002	0.34973369
Paillage-Ombrière	-0.56222769	-1.39	0.1778	0.40383768
TRM - parcelle nue	-0.13339357	-0.33	0.7443	0.40383768
Stabilisation par MO	-0.48109264	-1.38	0.1828	0.34973369
Fumier - Residus enf	0.06694467	0.17	0.8699	0.40383768
Billons cloisonnés	-1.29737303	-2.84	0.0096	0.45711322
Doublement densité	-0.84178521	-1.84	0.0791	0.45711322
TRM40 m - TRM 20 m	-0.65467893	-1.43	0.1661	0.45711322
Bandes végétales	-3.12860577	-8.14	0.0001	0.38444202
Bande enh.-Haie vive	0.00621126	0.01	0.9901	0.49459813
TRM - Otillage	1.80333295	3.95	0.0007	0.45711322
Minitil - Otillage	-0.03274431	-0.07	0.9435	0.45711322
Otillage 40m- Otill.	-0.56889545	-1.15	0.2624	0.49459813
Otill. Calo.- Otill.	-0.23248984	-0.51	0.6161	0.45711322
Otill. Sodéc.-Otill.	1.13615337	2.30	0.0315	0.49459813

ESSAI DE PROTECTION CONTRE L'EROSION A MBISSIRI  
 ANALYSE DE VARIANCE ET ESTIMATION DES CONTRASTES

16:54 Friday, April 5, 1996 16

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: RDT94

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	16	6400.16381467	400.01023842	15.01	0.0001
Error	20	533.07942857	26.65397143		
Corrected Total	36	6933.24324324			

R-Square	C.V.	Root MSE	RDT94 Mean
0.923113	15.59106	5.16274844	33.11351351

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	715.08800515	357.54400257	13.41	0.0002
OBJET	14	5685.07580952	406.07684354	15.24	0.0001

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
BLOC	2	360.84057143	180.42028571	6.77	0.0057
OBJET	14	5685.07580952	406.07684354	15.24	0.0001

Parameter	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std Error of Estimate
Protection par écran	-9.4333333	-2.58	0.0177	3.65061443
Paillage-Ombrière	2.4666667	0.59	0.5650	4.21536645
Stabilisation par MO	11.8333333	3.24	0.0041	3.65061443
Fumier - Residus enf	14.0000000	3.32	0.0034	4.21536645
Billons cloisonnés	-8.4857143	-1.78	0.0911	4.77977627
Doublement densité	4.7642857	1.00	0.3308	4.77977627
TRM40 m - TRM 20 m	0.6142857	0.13	0.8990	4.77977627
Bandes végétales	-10.1357143	-2.52	0.0204	4.02278117
Bande enh.-Haie vive	-6.5000000	-1.26	0.2225	5.16274844
TRM - Otillage	22.2357143	4.65	0.0002	4.77977627
Minitil - Otillage	4.0690476	0.85	0.4047	4.77977627
Otillage 40m- Otill.	1.1000000	0.21	0.8334	5.16274844
Otill. Calo.- Otill.	-5.0976190	-1.07	0.2989	4.77977627
Otill. Sodec.-Otill.	6.0000000	1.16	0.2588	5.16274844

**Annexe 4.07 : Ruissellements annuels moyens de 1991 à 1994 pour les blocs A, B, C et D**

(a)

Traitements	Nue	TRM	ECRAN	Billons	Bandes végétales	Zéro-Till
1991 (774)	28.4	18.5	12.3	5.1	16.5	15.3
1992 (1200)	54.0	33.3	22.7	3.8	18.0	6.0
1993 (772)	43.4	16.8	6.7	1.0	0.5	3.5
1994 (1074)	38.6	19.2	10.6	2.3	0.8	4.1
Moyenne	41.1	22.0	14.3	3.1	9.0	7.2

(b)

Traitements	Nue	TRM	ECRAN	Billons	Bandes	Zéro-Till
1991	24.8	18.3	14.9	11.9	17.7	12.5
1992	57.9	32.2	17.5	4.3	9.1	8.8
1993	38.2	20.3	2.6	0.7	3.4	2.1
1994	37.7	18.1	9.8	0.9	0.4	2.8
Moyenne	39.7	22.3	11.2	4.5	7.7	6.6

(c)

Traitements	TRM	ECRAN	Billons	Bandes	Zéro-Till
1991	16.7	-	0.3	17.8	0.5
1992	33.0	-	1.0	35.3	0.8
1993	23.3	-	11.5*	6.2	0.3
1994	25.0	-	11.8*	5.0	0.4
Moyenne	24.5	-	6.2	16.1	0.5

\* Billons cloisonnés remplacés par buttage cloisonné perpendiculaire à la pente, un mois après semis

(d)

Traitements	Nue	TRM	ECRAN	Jachère deux ans puis ZT	Bandes* 100 m	Zéro-Till
1991	23.2	15.5	18.5	6.1	11.4	8.4
1992	51.7	40.6	31.8	2.1	39.5	7.2
1993	38.0	32.7	7.2	1.2	18.0	4.9
1994	44.0	33.2	17.3	1.9	18.0	7.0
Moyenne	39.2	30.5	18.7	2.8	21.7	6.9

\* Haie vive mixte de 2 m tous les 20 m sur 100 m

**Annexe 4.08 :** Caractéristiques analytiques agronomiques des terres (0-10) de l'essai décapage avant le semis et l'épandage des engrais (juillet 1993)

	0,0	5,0	7,5	10,0	12,5	15
<b>Texture</b>						
Argile %	8,80	6,60	7,50	7,70	8,80	9,60
Limons %	11,10	9,30	12,70	8,30	9,00	10,80
Sables %	80,10	84,10	79,80	84,00	82,20	82,40
<b>M. O.</b>	1,34					
C %	0,78	0,63	0,52	0,29	0,32	0,36
N ‰	0,68	0,56	0,48	0,33	0,30	0,35
<b>Phosphore</b>						
Total ppm	170,40	126,70	142,05	103,35	105,21	131,20
Assimilable " Olsen-Dabin	22,60	14,50	13,92	6,72	5,33	9,45
<b>Complexe d'échange</b>						
S meq/100 g	4,43	3,37	3,08	2,27	2,00	1,92
CEC "	4,73	3,43	3,36	2,43	2,14	2,33
<b>Oligo-éléments</b>						
Zinc ppm	1,60	1,20	0,63	0,42	0,29	0,46
Cu ppm	0,29	0,29	0,25	0,24	0,16	0,26
B	0,16	0,19	0,17	0,13	0,14	0,14
pF 4.2	4,30	3,70	3,30	3,20	4,00	3,90
pH	6,63	6,15	6,30	6,45	6,85	6,30

Compte tenu de l'apport des engrais NPKSB sur la culture de maïs après le prélèvement des échantillons, les seuls éléments qui baissent de façon constante avec la profondeur de décapage sont : la m. o., le zinc et le pF.

## RESUME :

Au Nord Cameroun, du fait de la pression démographique, de l'introduction de nouvelles cultures, de la sécheresse et des pratiques culturales mal adaptées, on observe une baisse continue des rendements entraînant des migrations de population en cascade et une détérioration des ressources en sol et en eau. En effet, sur les sols sableux à faible pente (1 à 2,5%) de la zone soudanienne humide, l'intensification de la culture du cotonnier en rotation avec le maïs ou le sorgho aboutit, après 10 à 15 ans de culture continue, à la baisse de rendements obligeant les paysans à retourner à la culture itinérante.

*Cette étude a pour objet une meilleure compréhension du fonctionnement des systèmes agro-pédo-climatiques, afin de prévenir la diminution des rendements sur les nouvelles terres et de restaurer la productivité sur celles qui sont déjà dégradées.*

Un suivi spatio-temporel des constituants, des organisations et du fonctionnement des sols a été effectué sur 57 parcelles d'érosion de 100 à 1080 m<sup>2</sup> pendant 4 années consécutives à Mbissiri, sur une savane, une nouvelle défriche et une défriche dégradée par environ 30 années de culture. Trois descripteurs de fonctionnement sont quantifiés : ruissellement, pertes en terre et rendement.

La pluviosité est très agressive pour le sol et pour la culture du fait des caractéristiques des pluies individuelles (pluie de fréquence annuelle = 90 mm ; Imax5' = 180mm/h) ou des séries de pluies. Elle entraîne 4 principaux risques : battance, érosion, sécheresse ou asphyxie racinaire.

Les pratiques culturales conditionnent les états de surface ; ceux-ci orientent le fonctionnement du système sol-plante-atmosphère et déterminent plus ou moins directement l'intensité du ruissellement, des transports et des pertes de terre et l'importance des rendements. Les pratiques culturales commandent les flux d'eau et d'air dans le sol et par là, pré-déterminent les processus responsables de la production végétale et de la dégradation des sols.

Ainsi, partant du système de culture conventionnel vulgarisé basé sur le labour, on observe que le dysfonctionnement intervient lorsque le sol est fragilisé par le travail du sol et qu'il est laissé nu après le semis. Ce système permet une bonne production à court terme (1,5-2,5t/ha de coton graine et 4-5 t/ha de maïs grain) ; mais comme il favorise l'appauvrissement du sol, celui-ci devient très instable et très sensible aux risques de battance, d'érosion et de sécheresse. Les valeurs moyennes annuelles du ruissellement (16-41%) et l'érosion (6-30t/ha/an) deviennent dangereuses pour les cultures et affectent le rendement en réduisant le nombre de plants récoltés et en spoliant le sol de ses facteurs de fertilité.

Les systèmes de culture basés sur le travail minimum du sol laissant une litière à sa surface, réduisent fortement le ruissellement (0,3-9%) et l'érosion (1-4t/ha/an). Mais leur forte infiltrabilité induit, à l'occasion des séries de pluies, une asphyxie des racines et secondairement, une indisponibilité en nitrates. Le rendement peut alors baisser de plus de la moitié de celui du labour conventionnel. Une fertilisation azotée adaptée à la pluviosité et les semis précoces permettent de minimiser ce risque.

Entre le labour conventionnel et les systèmes de travail minimum du sol, le paillage d'un labour montre des ruissellements annuels variables (2,6-32%), des pertes en terre modérées (3-5 t/ha/an) et des rendements peu différents de ceux du labour classique. L'enfouissement du fumier de ferme et des résidus de culture n'a pas montré d'amélioration nette sur le ruissellement et les pertes en terre au bout des quatre années ; mais le fumier améliore spectaculairement le rendement si l'érosion n'est pas forte.

Les sols dégradés se caractérisent par une forte instabilité à l'eau et une compacité élevée. On les remet en conditions de productivité optimale en les stabilisant, soit par une jachère de courte durée, de préférence améliorée à l'aide d'une légumineuse de couverture, soit en les recouvrant d'une litière après un labour profond accompagné d'une incorporation d'un bon fumier.

En définitive, les systèmes de travail réduit du sol sous litière apparaissent comme la principale base du développement d'une agriculture durable dans la savane soudanienne humide. Mais pour disposer des résidus de culture nécessaires aux semis précoces, il est indispensable que les pratiques pastorales évoluent en même temps. Les questions de l'intégration de l'agriculture et de l'élevage, ainsi que la gestion sociale des feux et des pâturages se situent ainsi au-delà des simples préoccupations techniques.

**Mots clés :** Nord Cameroun, zone soudanienne humide, fonctionnement des sols sableux, systèmes de culture, érosion, dégradation des sols, restauration de la productivité, risques liés à la pluviosité.