

BURKINA FASO
Unité - Progrès - Justice

MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRES SUPERIEURES ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
(MESSRS)

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO (UPB) CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE (CNRST)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL

INSTITUT DE L'ENVIRONNEMENT ET DE RECHERCHE AGRICOLES (INERA)

CENTRE DE RECHERCHE ENVIRONNEMENTALE, AGRICOLE ET DE FORMATION (CREAF) DE

KAMBOINSE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : Agronomie

Mem

Thème

*21
TIE*

**PERTES EN TERRES ET REHABILITATION DES SOLS
DEGRADEES EN ZONE SAHELIENNE : CAS DU SITE DE
KATCHARI (BURKINA FASO)**

Directeur de mémoire : Dr Prosper N. ZOMBRE

Maître de Stage : Dr Lamourdia THIOMBIANO

Juin 2002

Adama TIEMTORE

Dédicace

*A notre père (TIEMTORE Koudougou Amado) et à notre
Mère (COMPAORE Tikuilga Fatti), pour leurs inestimables investissements à notre égard.*

*A Awa, notre sœur jumelle
dont la santé s'est dégradée depuis le bas âge ; que son mal puisse être combattu !*

A tous nos frères et sœurs, de qui nous avons reçu en permanence soutien et encouragement !

*A feu Professeur Siméon Tibo KABRE, de qui nous avons reçu conseils et directives,
et que la nature nous a prématurément arraché ; nous lui rendons hommage !*

A tous nos amis de par le monde !

Avant propos

L'Institut du Développement Rural (IDR) est une école qui a la noble mission de former des ingénieurs de conception en agronomie, en eaux et forêts, en élevage et en socio-économie pour le milieu rural. Au cours de la formation, les élèves ingénieurs, pour allier théories et pratiques, effectuent en plus des cours théoriques, des sorties de terrains et des stages. La fin de cycle est sanctionnée par un stage de dix (10) mois, lui-même sanctionné par la rédaction d'un mémoire. C'est dans ce cadre que nous avons travaillé avec l'INERA à la Station de Katchari sur le thème « Pertes en terres et réhabilitation des sols dégradés en zone sahélienne : cas du site de Katchari (Burkina Faso) ». Nous avons été ainsi témoin de l'impact de l'érosion et de trois techniques CES / DRS sur les sols qui sont la base de la production végétale.

La réalisation du travail a nécessité le concours de nombreuses personnes physiques. Nous nous faisons le plaisir et le devoir de remercier à travers ces lignes tous ceux qui ont contribué à la concrétisation de ce mémoire.

Nous remercions vivement :

- Dr Prosper N. ZOMBRE, enseignant, Maître Assistant à l'institut du développement rural, notre directeur de mémoire qui a su avec persévérance nous donner des conseils, des orientations et des directives fructueux. Sa constante disponibilité nous a été d'un grand apport ;

- Dr Lamourdia THIOMBIANO, Chargé de Recherches, Responsable de la Cellule Télédétection et Système d'Information Géographique (S.I.G) de l'INERA, Directeur de la Coordination et du Contrôle Scientifique du CNRST, notre maître de stage. Malgré ses multiples occupations, il a tenu à avoir un regard bienveillant sur nos travaux. Sa constante disponibilité, ses conseils, directives, et encouragements nous ont été d'un précieux concours. Il a bien voulu mettre à notre disposition la base de données et les dispositifs du site de suivi de la désertification de Katchari ;

- Dr Badiori OUATTARA, chef du CREAM (Centre de Recherche Environnementale, Agricole et de Formation) de Kamboinsé, qui a bien voulu nous accueillir dans ce centre de recherche pour notre stage.

Que chacun d'eux trouve ici l'expression de notre profonde gratitude !

Il nous est particulièrement agréable de souligner l'aimable attention que le personnel de la Cellule de Télédétection et SIG nous a toujours témoigné. Son esprit d'équipe nous a été d'un grand apport. Nous le remercions très sincèrement.

Nos sincères remerciements vont également à :

- M^{lle} MARE Gisèle, notre camarade stagiaire, qui nous a mis en contact avec notre maître de stage pour le thème ; ensemble nous avons travaillé en équipe ;

- M. KABRE Madi, chef matériels du CREAM, qui nous a encouragé et permis de travailler des jours non ouvrables ;

- l'ensemble du personnel du laboratoire GRN/SP (Gestion des Ressources Naturelle système de Production) pour les analyses de sols ;

- M. Jean Baptiste TIGNEGRE et M. Salif TRAORE pour leurs orientations combien précieuses à l'analyse des résultats ;

Nous remercions sincèrement l'ensemble du personnel et des chercheurs du CRREA (Centre Régional de Recherche Environnementale et Agricole) du nord pour l'accueil chaleureux dont nous avons bénéficié. Nos remerciements vont particulièrement à :

- M. Amidou TRAORE, Délégué Régional du CRREA, qui nous a accueilli dans ce CRREA pendant nos travaux de terrains ;
- M. Adama SOHORO et M. Boukari SAWADOGO, tous chercheurs au Programme GRN/SP, pour les moyens de travail mis à notre disposition, l'intérêt qu'ils ont porté à notre étude, et le soutien moral dont nous avons bénéficié d'eux ;
- Dr Souleymane GANABA, Attaché de Recherches pour la documentation et les entretiens qu'il nous a accordé ;
- M. SANOU Seydou et M. COULIBALY Bobo pour l'aide apportée à l'identification des herbacées recensées dans le dispositif de réhabilitation des sols ;
- DIALLO Hama Technicien du site de Katchari pour l'aide technique qu'il nous a offert sur le terrain.

Nous ne saurions terminer sans souligner l'esprit d'équipe dans lequel nous avons vécu avec l'équipe de l'IRD que nous avons trouvé sur le terrain. Leur soutien matériel sur le site, notre initiation à la lecture des pluviogrammes, nos échantillons d'aérosols qu'elle s'est chargée de nous amener à Ouagadougou au mois d'avril, nous ont beaucoup aidé. Nous la remercions cordialement.

Nous adressons nos sincères remerciements à M. NIKIEMA Michel et sa famille qui nous ont accepté dans leur salle d'étude pour nos travaux nocturnes.

A M^{me} DOUAMBA Mariam qui nous a aidé pour la saisie du document, et à M^{lle} NANA Brigitte qui nous a corrigé, nous adressons notre profonde reconnaissance.

A tous les amis (en particulier KUELA D. J. Michel, NIKIEMA René), à mes cousins, ainsi qu'à tous ceux qui nous ont soutenu et / ou nous ont corrigé, nous adressons notre profonde reconnaissance.

A tous, nous réitérons notre profonde gratitude.

Résumé

Les flux de matériaux éoliens ont été quantifiés avec un dispositif du type Katsols. La réhabilitation des sols dégradés est expérimentée avec des branchages morts, des plantations. L'érosion éolienne en inter-relation avec l'érosion hydrique dégrade les sols au Sahel en général, et dans la partie septentrionale du Burkina Faso en particulier, avec pour conséquence la désertification. La récupération des terres y est alors une condition nécessaire à l'amélioration de la production végétale, et à la survie des écosystèmes. Pour mener à bien une telle activité, il est nécessaire d'étudier les processus érosifs et de proposer des traitements appropriés.

Les flux de matériaux éoliens ont été quantifiés avec un dispositif de type KATSOLS. La réhabilitation des sols dégradés est expérimentée avec des branchages morts, des plantations d'*Acacia raddiana* et d'*Acacia senegal* et un témoin dans un Bloc Fisher à casiers d'érosion.

Le KATSOLS a piégé 245 t/ha de matériaux de terre de juillet 2001 à avril 2002, dont 391kg de matière organique. Le transport de ces matériaux hors du site s'est chiffrée à 106 t/ha. La part des tempêtes dans ces flux de matériaux s'est élevée à 135 t/ha.

Les paramètres suivis dans la réhabilitation des sols dégradés ont varié dans le temps et dans l'espace. La dynamique des états de surface, liée aux traitements, s'est caractérisée par l'apparition de nouveaux états de surface dans les parcelles, et par une évolution en faveur d'un accroissement de la croûte Sab (ou Eol). Celle de la végétation a été marquée par un plus fort recouvrement herbacé de la parcelle traitée avec les branchages durant toutes les années de mesure ; les autres traitements qui avaient des taux de recouvrements semblables en première année se sont distingués par la suite et avec les plus faibles recouvrements dans le témoin. Les ligneux ont été très peu diversifiés et en 2001 *Acacia raddianna* a constitué 97,2% des espèces présentes. Les premières années de mesures ont été en plus remarquables par les plus forts ruissellements et érosions dans le témoin, ces paramètres ayant été les plus faibles dans le traitement de branchages. Concernant particulièrement l'érosion, la parcelle de branchages a été toujours la moins érodée, et les écarts de pertes en terres entre traitements se sont réduits d'une année à la suivante.

Au vu de ces résultats, la récupération des sols dégradés de la zone sahélienne doit allier la lutte contre l'érosion hydrique et la lutte contre l'érosion éolienne. Elle passe par la création d'une rugosité de surface capable de réduire les effets érosifs des eaux de pluies et des vents, de piéger les aérosols, à travers l'utilisation de matériaux comme les branchages pour le court terme et la plantation d'*Acacia raddiana* pour le long terme.

Mots clés : érosion éolienne, érosion hydrique, sols dégradés, Sahel, réhabilitation des sols, rugosité de surface, tempêtes, ruissellement, branchages, *Acacia raddiana*, *Acacia senegal*.

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Superficies aménagées, productions et rendements de différentes cultures dans la province du Seno en 2000</i> -----	13
<i>Tableau 2 : Effectif du cheptel au Seno en 2000</i> -----	14
<i>Tableau 3 : Répartition mensuelle de la pluviosité et du nombre de jours de pluies pour les moyennes inter annuelles et l'année 2001</i> -----	38
<i>Tableau 4 : Agressivité climatique du site de Katchari en 2001</i> -----	39
<i>Tableau 5 : Teneurs en matière organique et N, P, K des éléments grossiers</i> -----	42
<i>Tableau 6 : Teneurs en matière organique et N, P, K des éléments fins</i> -----	42
<i>Tableau 7 : Teneurs moyennes en matière organique et en éléments nutritifs des éléments grossiers et des éléments fins</i> -----	43
<i>Tableau 8 : Flux totaux en éléments nutritifs et matière organique sur le site et fraction transportée hors du site</i> -----	43
<i>Tableau 9 : Superficies (%) des croûtes Dec et leur évolution selon le traitement</i> -----	48
<i>Tableau 10 : Quantité de d'aérosols (t/100 m²) dans les traitements en fonction du temps</i> -----	48
<i>Tableau 11 : Evolution de la quantité de matériaux éoliens dans parcelles des différents traitements</i> -----	49
<i>Tableau 12: Liste des herbacées présentes dans les parcelles</i> -----	52
<i>Tableau 13 : Dimensions des plants dans les parcelles de plantations.</i> -----	52
<i>Tableau 14 : Evolution mensuelle de la quantité de pieds spontanés dans les parcelles des différents traitements</i> -----	53
<i>Tableau 15 : Dimensions des pieds spontanés</i> -----	53
<i>Tableau 16 : Quantité repousses spontanées selon le traitement et l'espèce (inventaire du mois de septembre)</i> -----	54
<i>Tableau 17 : Taux de reprise (%) des plantations en fonction des années</i> -----	55
<i>Tableau 18 : Pertes en terres (kg /ha) selon le traitement</i> -----	60
<i>Tableau 19 : Perte en terre de fond et terre fine en fonction du traitement</i> -----	61
<i>Tableau 20 : Teneurs moyennes en matière organique et éléments nutritifs des terres de fond</i> ----	62
<i>Tableau 21 : Teneurs moyennes en matière organique et éléments nutritifs des terres fines</i> -----	63
<i>Tableau 22: Equivalents en coefficient de ruissellement des quantités d'eaux évaluées dans les croûtes Dec après les pluies</i> -----	75
<i>Tableau 23 : Evolution du ruissellement (%) dans les traitements de 1998 à 2001</i> -----	75

Tables des illustrations

Liste des figures

<i>Figure 1 : Pluviométrie annuelle de Dori de 1971 à 2001</i> -----	6
<i>Figure 2 : Système de collecte des matériaux érodés</i> -----	29
<i>Figure 3 : Emplacement des piquets d'érosion dans la parcelle</i> -----	30
<i>Figure 4: Schéma descriptif de la mesure du "taux d'ensablement"</i> -----	33
<i>Figure 5 : Schéma descriptif de la méthode d'évaluation de la couverture herbacée</i> -----	34
<i>Figure 6 : Pluviométrie du site de Katchari en 2001</i> -----	38
<i>Figure 7 : Flux de masse journalier des aérosols dans le Katsols en fonction du mois</i> -----	41
<i>Figure 8 : Taux de recouvrement des parcelles par la strate herbacée</i> -----	51
<i>Figure 9 : Evolution du taux de recouvrement des parcelles par les herbacées en fonction de l'année</i> -----	52

Figure 10 : Ruissellement cumulé en fonction des pluies cumulées	59
Figure 11 : Ruissellement en fonction des pluies élémentaires	60
Figure 12 : Pertes en terres cumulées en fonction des pluies cumulées	61
Figure 13 : Pertes en terres en fonction des pluies élémentaires	62
Figure 14 : Pertes totales en matière organique en fonction du traitement	64
Figure 15 : Pertes totales en éléments nutritifs en fonction du traitement	64
Figure 16 : Quantité de matériaux éoliens dans le KATSOLS et érosion hydrique dans le dispositif de réhabilitation des sols, au cours de trois tempêtes	78

Liste des photographies

Photo 1 : Structure du KATSOLS	24
Photo 2 : Vue aérienne du dispositif expérimental en 1998	27
Photo 3 : Détermination de l'épaisseur réelle du dépôt sableux	32
photo 4 : Fréquentation animale des parcelles	56
photo 5 : Parcelle d'évaluation de la biomasse	56

Liste des planches

Planche 1 : Etats de surface inventoriés dans les parcelles de réhabilitation des sols en fin de saison	67
Planche 2 : Stagnation d'eaux dans les zones à croûtes de décantation	65

Liste des annexes

Annexe 1 : Relation entre la pluie mesurée au sol (P_{sol}) et celle mesurée à 1m (P_{1m})	II
Annexe 2 : Intensité pluviométrique	II
Annexe 3 : Flux de masse des aérosols en fonction du mois	III
Annexe 4 : Qualité chimique des aérosols (Thiombiano, 2000)	III
Annexe 5 : Ensablement des parcelles	III
Annexe 6 : Fiche d'évaluation de la couverture herbacée : exemple d'application dans la parcelle de branchages	IV
Annexe 7 : Inventaire des plantations (mois de septembre)	V
Annexe 8 : Inventaire des repousses spontanées (mois de septembre)	VI
Annexe 9 : Composition floristique de la parcelle d'évaluation de biomasse	VII
Annexe 10 : Ruissellement en fonction des pluies élémentaires	VII
Annexe 11 : Volume (dm^3) d'eau mesuré dans les croûtes DEC	VII
Annexe 12 : Pertes en terres ($kg/100m^2$) en fonction des pluies élémentaires	VII
Annexe 13 : Chimie des terres érodées par l'eau	VIII
Annexe 14 : Fréquentation du site	X
Annexe 15 : Dénomination locales des vents par les agropasteurs peulh	XI

MENTION ASSEZ-BIEN

Sigles et abréviations

EE-WW : Est est- ouest ouest

CES/DRS : Conservation des Eaux et des Sols / Défense Restauration des Sols

Cf. : confère

CREAF : centre de Recherche environnementale, Agricole et de Formation

CRREA : Centre Régional de Recherches Environnementales et Agricoles

F.A.O : Food and Agriculture Organisation

GRN/SP : Gestion des Ressources Naturelles / Systèmes de Production

I.E.M.V.T : Institut d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des pays Tropicaux

I.N.S.D : Institut National des Statistiques et de la Démographie

MRA : Ministère des Ressources Animales

NW-SE : nord ouest- sud est

NN-SS : nord nord – sud sud

PSB/UNSO : Programme Sahel Burkinabe / United Nations Soudano-sahelian Office

SIG : Système d'informations géographiques

Table des matières

<i>Dedicace</i>	ii
<i>Avant propos</i>	iii
<i>Résumé</i>	v
<i>Liste des tableaux</i>	vi
<i>Tables des illustrations</i>	vi
<i>Liste des annexes</i>	vii
<i>Sigles et abréviations</i>	viii
<i>Introduction générale</i>	1
<i>Première partie : Généralités</i>	3
<i>I. Présentation du milieu physique</i>	4
1.1. Situation géographique du site d'étude	4
1.2. Caractéristiques biophysiques	4
1.2.1. Climat	4
1.2.2. Unités géomorphologiques et les états de surface	7
1.2.3. Formations géologiques	9
1.2.4. Sols	10
1.2.5. Végétation	10
1.3. Cadre socio-économique	13
1.3.1. Population	13
1.3.2. Activités socio-économiques	13
<i>II. Dégradation des sols</i>	15
2.1. Définitions	15
2.2. Formes de dégradation	15
2.2.1. Dégradation physique	15
2.2.2. Dégradation chimique et biologique	15
2.3. Facteurs de dégradation	16
2.3.1. Dégradation naturelle (ou érosion géologique)	16
2.3.2. Dégradation anthropique	20
2.4. Techniques de lutte contre la dégradation des sols	20
2.4.1. Aperçu général	20
2.4.2. Cas particulier du paillage et plantations d' <i>Acacia raddiana</i> et d' <i>Acacia senegal</i>	21
<i>Conclusion partielle</i>	22
<i>Deuxième partie : Méthodologie</i>	23
<i>I. Quantification des flux de matériaux éoliens</i>	24
1.1. Structure du dispositif (KATSOLS)	24
1.2. Principe et théorie ayant guidé sa mise au point	25
1.3. Mesures et calculs effectués	25
1.4. Difficultés	26
<i>II. Réhabilitation de sols dégradés</i>	27

2.1. Structure du dispositif.....	27
2.2. Mesures et calculs effectués.....	30
2.2.1. Erosion (ou pertes en sols).....	30
2.2.2. Ruissellement.....	31
2.2.3. Dépôts de matériaux éoliens dans les parcelles.....	31
2.2.4. Inventaire des états de surface.....	34
2.2.5. Suivi de la dynamique de la végétation.....	34
2.3. Difficultés.....	35
<i>III. Analyses chimiques et statistiques.....</i>	<i>36</i>
<i>Troisième partie : Résultats et discussions.....</i>	<i>37</i>
<i>I. Analyse de la pluviométrie.....</i>	<i>38</i>
1.1. Variation temporelle.....	38
1.2. Relation entre la pluie mesurée au sol (Psol) et celle mesurée à 1m d'altitude (P1m).....	39
1.3. Intensité pluviométrique.....	39
1.4. Discussion.....	40
1.5. Conclusion partielle.....	40
<i>II. Flux de matériaux éoliens.....</i>	<i>41</i>
2.1. Flux quantitatifs.....	41
2.1.1. Flux de masse des aérosols en fonction du temps.....	41
Figure 7 : Flux de masse journalier des aérosols dans le Katsols en fonction du mois.....	41
2.1.2. Fractions d'aérosols collectées dans le KATSOLS.....	41
2.2. Flux qualitatifs.....	42
2.2.1. Qualité des aérosols d'un même casier.....	42
2.2.2. Comparaison des teneurs entre les deux fractions d'aérosols.....	43
2.3. Bilan érosion / dépôts de particules : application du coefficient de correction.....	43
2.4. Discussion.....	43
2.5. Conclusion partielle.....	45
<i>III. Réhabilitation des sols dégradés.....</i>	<i>46</i>
3.1. Etats de surface.....	46
3.1.1. Etat de surface de type croûte de décantation (Dec).....	48
3.1.2. Etat de surface de type croûte de dépôts éoliens (Sab).....	48
3.1.3. Discussion.....	49
3.1.4. Conclusion partielle.....	50
3.2. Dynamique de la végétation.....	51
3.2.1. Strate herbacée.....	51
3.2.2. Strate arborée.....	52
3.2.3. Discussion.....	54
3.2.4. Conclusion partielle.....	58
3.3. Ruissellement et l'érosion.....	59
3.3.1. Ruissellement.....	59
3.3.2. Erosion.....	60
3.3.3. Discussion.....	65
3.3.4. Conclusion partielle.....	77
<i>IV. Interrelation érosion hydrique / érosion éolienne.....</i>	<i>78</i>
4.1. Flux de matériaux éoliens au cours des tempêtes.....	78

4.2. Flux de matériaux éoliens en dehors des tempêtes	79
4.3. Impact du dispositif de réhabilitation des sols	79
4.4. Discussion	79
4.5. Conclusion partielle	80
<i>Conclusion générale et perspectives</i>	81
<i>Références bibliographiques</i>	83
<i>Annexes</i>	1

Introduction générale

Le BURKINA FASO est un pays à économie essentiellement agricole où l'autosuffisance alimentaire n'est pas atteinte. Plusieurs facteurs parmi lesquels la perte de productivité des sols en sont les causes. Cette perte de productivité est beaucoup plus marquée dans la zone sahélienne caractérisée par une forte dégradation des sols et de la végétation.

La réhabilitation des sols dégradés est de ce fait un impératif pour l'amélioration de la production agricole au Sahel. Une telle action nécessite la connaissance des processus de dégradation (Monnier, 1990 ; Linskog et Tenberg, 1995 ; INERA, 2000). C'est ainsi que dans l'optique de découvrir les mécanismes de dégradation, divers travaux (Guinko, 1991 ; Coudé-Gaussen, 1994 ; Valentin, 1994 ; Sterk, 1997 ; Delhoume et *al.*, 1998 ; Bakiono et *al.*, 1999 ; Bassono et *al.*, 1999 ; Fall et *al.*, 2000 ; Thiombiano, 2000) ont été conduits. Ces travaux ont souligné l'importance des érosions hydrique et éolienne dans la dégradation des écosystèmes sahéliens. Ces deux (2) processus sont à l'origine d'importantes pertes en sols et en éléments nutritifs (Sterk, 1997 ; Thiombiano, *op. cit.*). La plupart des études sur deux types d'érosion ont été menées séparément, celles portant sur leur inter-relation restent peu nombreuses (Delhoume et *al.*, *op.cit.* ; Thiombiano, *op. cit.*).

Concernant particulièrement l'érosion éolienne, les recherches sur l'évaluation quantitative et qualitative des aérosols sont peu nombreuses, surtout au Burkina Faso, du fait de la difficulté méthodologique de leur quantification (Fall et *al.*, *op. cit.*). Aussi, celles qui se sont orientées vers leur quantification par un dispositif de type KATSOLS (Thiombiano et *al.*, 2001) semblent-t-elles très peu nombreuses.

Les différents travaux ont permis d'acquérir un certain nombre de connaissances. Ces dernières ont abouti à l'élaboration de mesures de lutte contre la dégradation. Plusieurs mesures CES/DRS ont été alors conçues et des études (Zougmore et *et al.*, 1994 ; Le Gallien et *al.*, 1995 ; Sterk, *op. cit.* ; Roose et Cavalie, 1988 ; Smolikowski et *al.*, 1998 ; IN.E.R.A. / F.A.O, 1999) ont été menées pour estimer leur impact sur l'érosion et la réhabilitation des sols. Diverses techniques CES/DRS ont été ainsi expérimentées. Cependant très peu de données existent sur l'effet des couverts végétaux incomplets, des plantations d'*Acacia raddiana* et des plantations d'*Acacia senegal* sur les sols dégradés dans le Sahel Burkinabe, zone de forte dégradation des ressources forestières.

C'est dans ce contexte que se justifie la présente étude qui entre dans la continuité de travaux entrepris par l'INERA en collaboration avec la FAO dans le cadre du Programme International pour la Conservation et la Restauration des Terres Africaines, dans le sens de connaître et de combattre les processus de dégradation. Loin d'aborder le thème (Pertes en terres et réhabilitation des sols dégradés en zone sahélienne : cas du site de Katchari (Burkina Faso) sur tous ses angles, cette étude est une contribution à l'évaluation des pertes en sol liées à l'érosion et au test de l'efficacité de trois techniques (paillage incomplet à base de branchages, plantation d'*Acacia raddiana* et plantation d'*Acacia senegal*) dans la réhabilitation des sols dégradés.

Les objectifs spécifiques du présent travail sont :

- quantifier les flux de matériaux éoliens à l'aide d'un dispositif de type KATSOLS ;
- déterminer l'impact des traitements sur l'érosion hydrique, le ruissellement, les états de surface, le couvert végétal ;
- étudier l'interrelation érosion hydrique / érosion éolienne.

Cette étude qui comporte des travaux de terrain et de laboratoire, pourrait contribuer à la détermination d'une méthode de récupération des sols dégradés et à la connaissance des érosions hydrique et éolienne en zone sahélienne.

Ce document qui fait la synthèse de l'étude se compose de trois grandes parties :

- une première partie qui présente les données du milieu sahélien, des généralités sur la dégradation des sols et sur les techniques CES/DRS ;
- une seconde partie qui expose la méthodologie de travail ;
- une troisième partie qui fait ressortir les résultats obtenus et les discussions.

Première partie : Généralités

I. Présentation du milieu physique

1.1. Situation géographique du site d'étude

Le site d'étude est situé à Katchari qui relève du C.R.R.E.A du Nord dans la province du Séno (cf. carte n° 1). La station expérimentale est située à 15 km à l'Ouest de la ville de Dori. Ses coordonnées géographiques sont : 14° 00' 20'' de latitude Nord et 00° 02' 50'' de longitude Ouest tandis que ceux du bassin versant sont : 0° et 0° 16' longitude Ouest ; 14°06' et 13° 57' de latitude Nord. Elle fait partie d'un grand ensemble constitué par le bassin versant de Yakouta (Niang, 2000). Le réseau hydrographique qui draine une superficie de 55 ha est peu dense.

1.2. Caractéristiques biophysiques

1.2.1. Climat

Le Sahel burkinabé est situé au Nord de l'isohyète 600 mm. Il appartient au climat (sahélien) à deux (2) saisons contrastées séparées par deux (2) périodes de transition (Bakiono et *al.*, 1999):

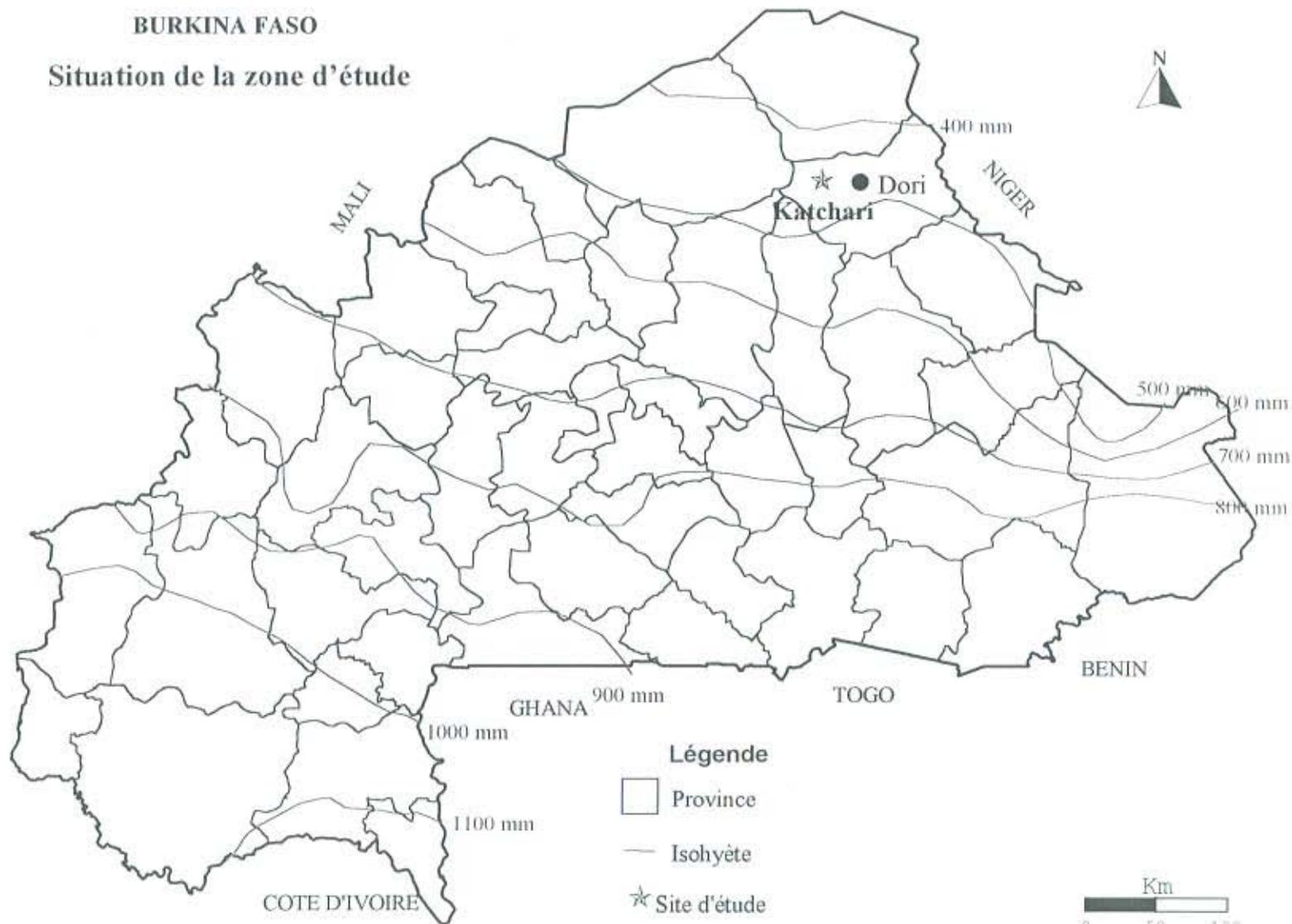
- une saison sèche froide de novembre à mi-mars ;
- une saison de transition sèche et chaude de mi-mars à mi-juin ;
- une saison pluvieuse de mi-juin à septembre ;
- une saison sèche de transition chaude et humide en octobre.

D'importantes variabilités caractérisent les paramètres climatiques de cette partie du pays.

1.2.1.1. Pluviométrie

Le régime pluviométrique est de type unimodal et caractérisé par une grande variabilité spatio-temporelle annuelle et inter-annuelle. La figure 1 montre la variation inter annuelle de la pluviosité de Dori de 1971 à 2001. La pluviosité moyenne interannuelle est de 445,5 mm, le coefficient de variation de 20,5 %, l'écart type de 91,3 mm, avec une minimale de 259,1 mm et une maximale de 603,1 mm. Hormis les pluviosités moyenne et maximale, ces valeurs diffèrent peu de celles obtenues par (Casenave, 1998) pour la période de 1925 à 1998 et pour la même région. En effet selon cet auteur, la pluviosité moyenne inter-annuelle enregistrée à Dori au cours de cette période est de 511,3 mm, avec un coefficient de variation de 24 %, un écart type de 123,2 mm. La minimale est de 243,8 mm et la maximale de 783,8 mm.

BURKINA FASO
Situation de la zone d'étude



Source: IGB

Réalisation : CTIG / INERA

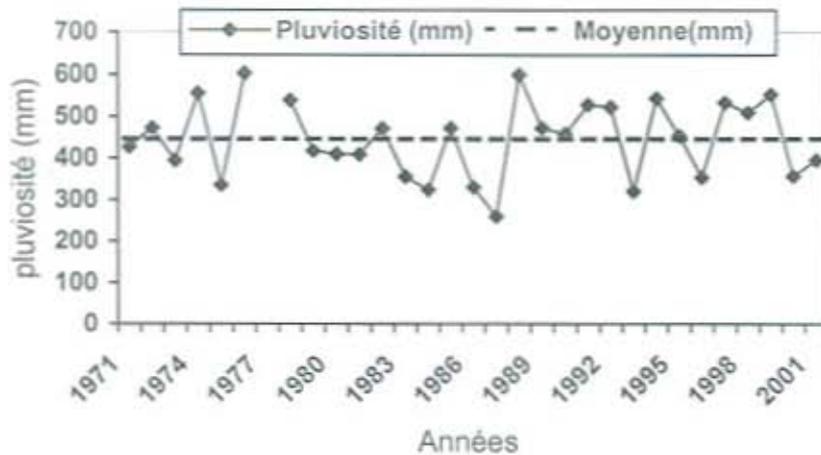


Figure 1 : Pluviométrie annuelle de Dori de 1971 à 2001

La période de 1979 à 1987 avec deux années (1982,1985) de pluviométrie moyenne est sèche ; celle de 1991 à 1999 est humide et comporte deux années (1993, 1996) de sécheresse. La tendance est à une variation autour de la moyenne.

1.2.1.2. Température

De grandes variations thermiques et de fortes amplitudes diurnes caractérisent les températures. Les moyennes varient de 23,1°C (principalement en décembre janvier) à 42°C dans la période de mars à mai.

Le taux d'humidité fluctue entre 35 et 50 %.

1.2.1.3. Vents

Le régime des précipitations est assujéti à deux types de circulation aérienne :

- l'harmattan, en provenance du Sahara, chargé de poussières, regroupe les vents du secteur Nord-Est (généralement de faible vitesse 1 à 2 m/s) qui soufflent en saison sèche. Il est de temps à autre perturbé par des rafales localisées, d'intensités variables, les tourbillons ;
- la mousson, caractérisée par de vents humides et chauds, de secteur Sud-Est. Elle est de temps à autre perturbée par les vents forts du secteur Est lors de certains épisodes pluvieux (passage de ligne de grains). Ces vents d'Est sont souvent si violents, pouvant atteindre 35 m/s en début et fin de saison selon Mando et *al.*, (2001). Ils sont à même de causer d'importants dégâts aux végétaux.

et aux animaux (Ganaba *et al.*, 1996 ; Sedogo, 1999) et sont les agents de l'érosion éolienne (Bakiono *et al.*, 1999).

Malgré la faiblesse de leurs vitesses moyennes, les vents présentent des variations inter annuelles importantes. La tendance est à la baisse de vitesse et cela est couplé d'une rotation de la composante zonale des vents dominants qui passe du secteur Est (signe -) au secteur Ouest (signe +) (Bakiono *et al.*, 1999).

1.2.2. Unités géomorphologiques et états de surface

Sur le plan géomorphologique le site de Katchari est constitué de croupes gravillonnaires, de buttes résiduelles cuirassées, de glacis, d'affleurements rocheux, de bas-fonds et mares...

1.2.2.1. Croupes gravillonnaires

Il s'agit en général d'unités isolées aux sols gravillonnaires ferrugineux ou à gravillons ferrugineux et galets de quartz leucocrates ; des blocs de cuirasses y sont parfois rencontrés. Ces unités sont des reliefs résiduels caractérisés par un sommet arrondi et des versants convexes.

1.2.2.2. Buttes résiduelles cuirassées

Moins érodées que les précédentes, leur sommet est plat et subhorizontal ou légèrement incliné, coiffé d'une cuirasse en démantèlement. Elles sont plus ou moins élevées, limitées par des versants qui, par endroit sont abrupts (3 à 4 %). Des produits sous forme de blocs ou d'un épandage de gravillons de type ferrugineux issus du démantèlement jonchent ces unités.

1.2.2.3. Affleurements rocheux

Ils sont constitués essentiellement de granito-gneiss ou de roches vertes et se présentent sous forme de blocs issus de la déségrégation et dont le diamètre peut atteindre 6 à 7 m.

1.2.2.4. Bas-fonds et mares

Un bas-fond traverse Débel (quartier du village de Dangadé) et ne dépasse guère 250 m de large. Ailleurs, la largeur ne dépasse guère 500 m. Il s'agit en général de bas-fonds peu encaissés, difficilement visibles sur photographie aérienne (Bakiono *et al.*, 1999). Ils sont parfois interrompus par les dépôts des apports latéraux, donnant un aspect discontinu aux tracés.

1.2.2.5. Les états de surface

Ils forment des ensembles appelés glacis, assez étendus et occupant la majeure partie du paysage avec pour fonction principale le raccordement entre les bas-fonds et les lignes de partage des eaux. Dans le bassin versant de Katchari ils ne dépassent guère 1 à 2 km de long, et la pente varie de 0,5 à 1%.

« Un état de surface est une surface élémentaire ou une juxtaposition de surfaces élémentaires ou encore un système de surfaces élémentaires (ensemble au sein duquel s'effectuent des interactions) ; la surface élémentaire désigne à un instant donné un ensemble homogène constitué par les éléments du milieu suivant : le couvert végétal, la surface du sol, les organisations pédologiques superficielles qui ont subi des transformations sous l'effet des facteurs météorologiques, fauniques ou anthropiques » (Casenave et Valentin, 1989). Il existe sur le site de Katchari des états de surface de types croûte d'érosion, croûte gravillonnaire, croûte de dépôts éoliens, croûte de décantation, etc, selon la terminologie de Casenave et Valentin (1989).

Les états de surface de type croûte d'érosion (Ero) : formés à la suite d'une érosion de type décapant régressif, ils constituent 20 % du site et se comportent comme impluvium, accroissant l'alimentation en eau des parties plus basses du paysage (Thiombiano, 2000). Leur bilan hydrique est extrêmement défavorable par suite d'infiltration réduite ; ce qui explique l'absence de végétation dans ces zones. La surface du sol y est compacte, caractérisée par un phénomène de glaçage et présente une couleur de type brun grisâtre. La porosité est quasi colmatée et par conséquent peu fonctionnelle.

Les états de surface de type croûte de décantation (Dec) : ils occupent 16,85 % du site et sont localisés dans les micro-dépressions des glacis. Ils se forment à la suite de la stagnation des eaux de ruissellement pendant une période plus ou moins longue de 2 à plus de 30 jours selon l'importance temporelle de la pluviométrie. La présence d'une structure de desquamation, créée à la suite de la dessiccation des sédiments déposés sous forme micro-litée est caractéristique de cet état de surface. Leur texture est de type limono-argileuse. Le sol est quasi dénudé (4 à 8 pieds /ha) malgré la présence d'une lame d'eau de 1 à 5 cm de hauteur en surface pendant la saison des pluies. En saison sèche, après la dessiccation, ces zones sont très sensibles à l'effet du piétinement qui favorise leur destruction et conduit à la création d'un faciès poudreux, donc à la production d'aérosols.

Les états de surface de type gravillonnaire (Gr) : ils représentent 47,76 % du site et se caractérisent par un épandage de graviers et de cailloux ferrugineux, de quartz et de roches diverses, recouvrant 60 à 80 % de la surface du sol. Il est possible de distinguer des variantes à graviers fins

ferrugineux, à graviers fins ferrugineux et galets de quartz, à graviers grossiers ferrugineux, à graviers grossiers ferrugineux et galets de quartz.

Ces états de surface possèdent les caractéristiques suivantes :

- faible taux d'humidité en saison sèche ;
- absence de végétation de type graminéen en saisons sèche et humide ;
- présence de quelques *Acacia* (*raddiana*, *senegal...*) ;
- porosité plus fonctionnelle que dans le cas de l'état de surface Ero ;
- infiltration faible due à des pores vésiculaires organisées en mie de pain.

Ils semblent être le produit d'une érosion hydrique sélective et d'une érosion éolienne différentielle, qui ont permis le départ des éléments fins à la surface du sol, laissant en place les éléments grossiers (Thiombiano, 2000).

Les états de surface de type dépôts éoliens (Eol) : ce sont des buttes sableuses discontinues, de faible extension spatiale et de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur. Ils constituent des dunettes ou nebkas qui créent une rupture avec le relief monotone des glacis. Leur modelé présente une rugosité notable. Ils peuvent se recouvrir de croûtes de dessiccation (Des) ou de croûtes structurales à deux microhorizons (ST2) lorsqu'ils s'enrichissent en plasma. Selon Thiombiano (2000), dans cette unité géomorphologique se rencontre une concentration relative d'arbustes et d'arbruisseaux, du point de vue quantitatif (5 à 6 pieds /ha) et qualitatif (3 à 4 espèces). La densité du tapis herbacé y est forte avec des taux de recouvrement de 80 à 90 % selon le même auteur. Les espèces identifiées sont principalement *Cenchrus biflorus*, *Cenchrus ciliaris*, *Schoenefeldia gracilis*, *Panicum laetum*, *Cassia tora*. Cette végétation, propice à l'élevage (Ganaba et al., 1996) est le facteur de la surcharge actuelle de ces milieux par le bétail.

1.2.3. Formations géologiques

De la caractérisation de la station de Katchari faite par Zerbo (1993), il ressort que deux (2) ères géologiques ont favorisé la mise en place des formations géologiques :

- le précambrien inférieur caractérisé par des épanchements orthographiques et géosynclinaux élaborés durant la période anté-birimienne. Ces formations regroupent les orthogneiss et les migmatites à amphibole et à biotite. Elles sont formées soit par migmatisation des roches volcaniques et subvolcaniques, soit par recristalisation en cours d'orogénèses d'anciens granites, diorites et granodiorites ;

- le quaternaire, représenté par les dunes et surtout par les recouvrements éoliens (ergs anciens). Ces formations constituent avec les alluvions les derniers témoins géologiques d'un dépôt en milieu continental.

1.2.4. Sols

Les études menées par Zerbo (1993), Sanou (1995), Bakiono et al. (1999), Thiombiano (2000), montrent que la station de Katchari (à l'instar du Sahel) est caractérisé sur le plan édaphique par une grande hétérogénéité des sols ; douze types de sols ont été rencontrés sur un espace de 16 ha. Au total, 14 types de sols se répartissant entre des sols ferrugineux tropicaux (57%), des sols brunifiés (25%), des sols hydromorphes et des sols polyphasés y sont rencontrés. La quasi-totalité des sols est caractérisée par de faibles teneurs en matière organique, des carences en azote et en phosphore (Thiombiano, 2000). Ils sont également caractérisés par une structure très fragile qui les rend très sensibles à l'érosion. La forte hétérogénéité des sols semble traduire une forte variabilité spatiale des paramètres physiques et chimiques ; la séquence des sols de Katchari est largement perturbée et modifiée par la forte interrelation des phénomènes de décapage, d'érosion sélective, de colluvionnement, d'alluvionnement et de dépôts éoliens.

1.2.5. Végétation

1.2.5.1. Végétation à l'échelle régionale et à l'échelle du site de Katchari

Diverses études (Guinko, 1984 a et b ; Zerbo, 1993 ; Ganaba, 1994 ; Bakiono et al., 1999 ; Thiombiano, 2000) portées sur la végétation du Sahel montrent qu'elle est constituée de steppes sahéniennes à épineux dominés par les *Mimosaceae* et d'une strate herbacée dominée par des graminées annuelles.

Divers types de végétation présents suivent dans une certaine mesure les formes du relief et les unités géomorphologiques en raison de leurs conditions édaphiques. Ce sont :

- les formations végétales liées aux glacis ;
- les formations végétales liées aux dunes et ensablements ;
- les formations végétales liées aux bas-fonds et aux axes de drainages ;
- les formations végétales liées aux affleurements rocheux et aux buttes cuirassées.

A l'échelle du site de Katchari 90% de la strate arborée est constitué par *Acacia raddiana*. Les autres espèces sont représentées par *Acacia laeta*, *Balanites aegyptiaca*, *Boscia angustifolia*, *Ziziphus mauritiana* et *Leptadenia hastata*. *Acacia raddiana* et *Leptadenia hastata* sont en

expansion tandis que les autres sont en dépérissement. Cette végétation est supportée à 88 % par les croûtes de dépôts éoliens.

1.2.5.2. Aperçu sur *Acacia raddiana* Savi et *Acacia senegal* (L.) Willd

1.2.5.2.1. *Acacia raddiana* Savi

Acacia raddiana fait partie de la famille des Mimosaceae. Il est connu sous d'autres noms tels que *Acacia tortilis* (Hayme), *Acacia faciculata* Guill. et Perrott., etc.

Au Sahel son nom local est "Kiluki" en peulh.

✓ **Caractéristiques botaniques**

Acacia raddiana est un arbre épineux de taille moyenne variant entre 8 et 10 m, rarement jusqu'à 20 m avec une couronne hémisphérique ou étalée et des rameaux pendants (Maydell, 1983). Le tronc et les branches brun foncé, sont brun roux avec de lenticelles gris clair dans la jeunesse. Les épines, 2 à 10 cm de long, parfaitement droites, blanches, sont axillaires et groupées par deux (2). Les feuilles sont alternes, bipennées, de couleur vert foncé avec 2 à 5 paires de pinnules et 6 à 15 paires de foliolules. Les fleurs, en boules blanchâtres à jaune clair sont axillaires, portées par des tiges axillaires de 3 cm au plus et très odorantes. Les fruits sont des gousses spiralées, glabres, longues de 10 à 15 cm et larges d'environ 5 mm. La période de floraison va de juin à août et la fructification d'octobre à novembre. La maturité des fruits est observée à partir de novembre / décembre.

✓ **Ecologie, distribution et dynamique**

Acacia raddiana est une espèce des régions arides et semi-arides. Il supporte une gamme très variée conditions de milieux (Maydell, 1983 ; Ganaba, 1994 ; IEMVT cité par Soubeiga, 2000).

La régénération peut se faire par rejet de souches ou par graines. Mais le second est faible à cause de la consommation précoce des jeunes plantules par les animaux. La régénération par plantation est aussi possible. Les premières plantations d'*Acacia raddiana* au Burkina Faso ont eu lieu en 1981 à Dori et à Markoye, avec un taux de succès respectif de 65,4 et 100% et en 1985 à Djibo (Sedogo, 1999).

Espèce sahélienne et saharienne, *Acacia raddiana* est répandu depuis le Sénégal jusqu'en Afrique orientale et l'Arabie du sud (Maydell, *op. cit.*).

✓ Usages

Acacia raddiana est l'un des plus grands arbres du Sahel. Son ombre sert d'abri aux hommes et aux animaux. Le bois est utilisé comme source d'énergie domestique et comme bois d'œuvre. Ses feuilles, ses jeunes rameaux, ses fleurs et ses gousses sont utilisés dans l'alimentation du bétail. L'espèce est aussi utilisée dans la médecine traditionnelle et dans les constructions.

1.2.5.2.2. *Acacia senegal* (L.) Willd.

Acacia senegal fait partie de la famille des Mimosaceae. Il est connu sous d'autres noms tels que *Acacia verek* Guill. et Perrott., *Acacia rupestris* Stokes, etc. Son nom local au Sahel est "Patuki" en peulh.

✓ Caractéristiques botaniques

C'est un arbuste de 2 à 6 m, rarement 8 m, avec une couronne en parasol. Il est très rameux, avec des branches très ramifiées, ascendantes et des rameaux supérieurs divergents. L'écorce, gris clair à brun clair, lisse sur les jeunes rameaux, plus tard très fissurée, a une tranche marbrée rouge et blanc. Les épines, griffes acérées sont regroupées par trois. Les deux latérales sont courbées vers haut et la médiane vers le bas. Les feuilles sont petites, vert gris, bipennées avec trois à six paires de pinnules ayant dix à vingt paires de foliolules. Ces foliolules sont ovales, longues de 3 à 6 mm et large de 1 à 2 mm. Les fleurs sont blanches, très odorantes, portées par des pédoncules de 3 à 8 cm ; elles sont axillaires et fasciculées (insérées par 2 ou 3 par fascicules). Les gousses, 7 à 10 cm de long, 2 cm de larges sont aplaties, finement pubescentes et de couleur grisâtre. La plupart du temps elles se rétrécissent en pointe aux 2 bouts ; chacune d'elles contient 3 à 6 graines aplaties, rondes et brun clair.

✓ Dynamique, distribution et écologie

Espèce résistante à la sécheresse, elle pousse avec 100 à 800 mm de pluies (de préférence 300 à 400 mm) et une période de sécheresse de 8 à 11 mois. Elle supporte des températures diurnes très élevées et des conditions édaphiques diverses mais avec cependant des préférences.

Suivant la région, la maturité s'échelonne entre fin novembre et début février. Les graines ne conservent leur pouvoir germinatif jusqu'à la fin de la saison sèche que si elles sont bien conservées (Maydell, 1983). La multiplication peut se faire par semi-direct et par plantation.

✓ Usages

La gomme d'*Acacia senegal* entre dans l'alimentation humaine, la médecine humaine et vétérinaire, la cosmétique, les œuvres d'arts artisanaux, les industries métallurgique, textile et celle des papiers photographiques. Elle sert également à la fabrication des produits chimiques et pharmaceutiques.

Les feuilles, les pousses fraîches, les gousses entrent dans l'alimentation du bétail.

Le bois possède un bon pouvoir calorifique. L'écorce sert à la fabrication d'attaches.

Les racines latérales très ramifiées fixent le sol. L'enrichissement en minéraux par la litière, la fixation d'azote sont des effets améliorant du sol.

1.3. Cadre socio-économique

1.3.1. Population

Le recensement de 1996 (INSD, 1998) donne pour le Sahel burkinabé 1152 895 habitants, une densité de 18,8 habitants /km² (l'une des plus faible du pays), un taux de croissance annuel de 3,5 %. La population est également caractérisée par un faible taux d'urbanisation et de phénomènes migratoires (transhumance, nomadisme, exode). Les groupes ethniques rencontrés sont les Peulhs, les Rimaïbés, les Touaregs, les Mossi, les Gourmantchés.

1.3.2. Activités socio-économiques

1.3.2.1. Agriculture

La pluviométrie laisse peu de choix aux agro-pasteurs. Ainsi la culture porte essentiellement sur le mil (cf. tableau 1).

Tableau 1 : Superficies aménagées, productions et rendements de différentes cultures dans la province du Seno en 2000

	Riz	Maïs	Mil	Arachide	Sorgho	Sésame
Rendement (kg/ha)	-	435	357	248	365	-
Production (t)	436	52	17257	42	10 523	10
Superficie (ha)	104	110	37990	138	23 404	-

Source : Ministère de l'agriculture / direction des statistiques agricoles

Les productions sont en baisse par rapport à celles des années 1998 et 1999 et les rendements sont parmi les plus faibles du pays (Ministère de l'Agriculture, 2001).

Les pratiques culturales restent encore rudimentaires ; la hiler est l'outil de travail du sol. L'exportation des résidus des cultures expose les champs à l'érosion. La fréquentation de ces champs par le bétail après les récoltes détruit la structure de leurs horizons superficiels produisant ainsi des matériaux mobilisables par le vent.

1.3.2.2. Elevage

Il est de type transhumant pour des raisons d'ordre alimentaire. Il porte sur les bovins, la volaille, les caprins, les ovins, etc. L'effectif du cheptel pour la province du Seno en 2000 (M.R.A, 2001) est présenté dans le tableau 2.

Tableau 2 : Effectif du cheptel au Seno en 2000

	Bovins	Ovins	Caprins	Asins	Equins	Porcins	camelins	volaille
Nombre de têtes	356857	387547	989608	16230	943	411	2226	665184
Part dans la production nationale (%)	7,4	5,7	11,4	3,2	3,6	0,1	15,1	3

La production de lait de vache était de 12 419 kg, soit 7,4% de la production nationale, et celle de lait de chèvre de 2 227 211 kg soit 54,4 % de la production nationale.

1.3.2.3. Artisanat

Il se résume à l'exploitation des ressources naturelles. Sa valeur économique est faible par rapport à celle de l'agriculture et de l'élevage (Ganaba et al., 1996).

1.3.2.4. Orpaillage

Des sites aurifères existent et sont des zones de production d'aérosols. Ils sont aussi la source de phénomènes migratoires.

1.3.2.5. Cueillette

Elle porte essentiellement sur la récolte de graines de fonio sauvage (*Panicum laetum*) et les fruits de *Leptadenia hastata*, *Ziziphus mauritiana*, *Tamarindus indica*... En 1980, Milleville (cité par Ganaba et al., 1996) a estimé 3,75 kg de graines récoltées par jour soit 1,5 kg de grains /heure de travail pour la cueillette de *Panicum laetum*. Cette productivité horaire était supérieure à celle de la production de mil qui se situait en moyenne à 1kg / heure selon le même auteur.

II. Dégradation des sols

2.1. Définitions

Le sol est la formation naturelle à structure meuble, d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques, et biologiques (Demolon, 1938). Les sols agricoles proviennent de la transformation des sols naturels par l'application de méthodes de l'agriculture dans un but économique (Demolon, *op.cit.*). Ainsi, en production végétale, Somé (2000) définit le sol agronomique comme tout assemblage de matériaux de terre supportant ou capable de supporter la croissance et le développement d'une plante. Un sol ayant perdu sa capacité d'assurer la vie normale d'une plante est dit "dégradé". La dégradation affecte ses propriétés et prend plusieurs formes.

2.2. Formes de dégradation

La dégradation du sol peut être physique, chimique, biologique ou une combinaison des trois (Roose, 1994 cité par Mando et *al.*, 2001; Somé, 2000).

2.2.1. Dégradation physique

La dégradation physique se traduit par une détérioration des propriétés physiques (stabilité structurale, capacité de rétention en eau, etc) suite à la destruction de la structure ou à un déplacement des couches fertiles qui expose les couches impropres à la production végétale. Elle se manifeste par la compaction, la squeletisation et l'encroûtement superficiel des sols.

2.2.2. Dégradation chimique et biologique

Cette dégradation se rapporte à la perte qualitative subite par les sols et constitue une des manifestations de la désertification. Elle correspond à une altération des qualités chimiques et biologiques, résultats des systèmes de production inadéquats. Il s'agit des évolutions négatives de certains paramètres : accroissement ou abaissement du pH, conduisant respectivement à une alcalinité ou à une acidité ; appauvrissement du milieu en éléments nutritifs ; changements quantitatifs et qualitatifs de la composition de la faune et de la flore du sol, etc (Thiombiano, 2000). Elle se produit sans déplacement apparent de matériaux.

Qu'elle soit physique, biologique ou chimique, la dégradation d'un sol se produit sous l'action d'agents moteurs naturels ou anthropiques.

2.3. Facteurs de dégradation

2.3.1. Dégradation naturelle (ou érosion géologique)

L'érosion signifie par définition détruire petit à petit. L'érosion du sol est donc un processus progressif et lent de la destruction du sol sous l'action du vent ou de l'eau. Cette dégradation se fait par déplacement de couches fertiles exposant le sous-sol moins apte à la production végétale.

2.3.1.1. Erosion hydrique

2.3.1.1.1. Définitions et concepts

L'érosion hydrique est la perte quantitative en sol et la réduction de leur potentiel de production sous l'action de l'eau. C'est non seulement un flux de particules solides arrachées à la surface du sol mais encore un flux liquide qui transporte et parfois arrache ces particules (Roose, 1981). C'est un processus qui se manifeste en deux (2) phases "successives": le **détachement** et le **transport** des particules.

Le détachement des particules résulte de l'attaque du sol par les gouttes de pluies ou du tourbillonnement de l'eau ruisselante. Il dépend ainsi de l'énergie cinétique des gouttes de pluie et de la nature du parcours de l'eau.

Le transport des particules se fait par charriage ou en suspension, par l'eau en mouvement. Il est fonction aussi bien de la vitesse d'écoulement que de la turbulence de l'eau. Les marques du ruissellement et de l'érosion à la surface du sol ont permis la définition de plusieurs formes d'érosion hydrique dont certaines peuvent être perçues comme différents stades d'un même processus.

2.3.1.1.2. Formes d'érosion hydrique

- ✓ **L'érosion splash** : elle correspond à la destruction des agrégats par l'énergie des gouttes de pluies et se produit en absence de ruissellement (Chleq et Dupriez, 1986 ; Morgan, 1986). Elle est aussi appelée érosion de rejaillissement. Les particules dispersées peuvent colmater les pores du sol, réduire ainsi sa perméabilité et favoriser le ruissellement.
- ✓ **L'érosion en nappe** : forme la plus insidieuse, elle constitue le stade initial du ravinement. Elle provoque l'ablation de la couche superficielle par un entraînement des éléments fins et un affleurement des éléments grossiers, sur toute la surface du sol. Elle provoque également le déchaussement progressif des racines des arbres et des cultures et de la base des pieux des clôtures (Cissé et Touré, 1991). Selon Nignan (1982) cette érosion affecte les trois quarts du Burkina Faso.

- ✓ **L'érosion en rigole** : elle est remarquable par le décapage du sol suivant les lignes d'écoulement ; l'eau de ruissellement se concentre dans les accidents de terrain, trouve un chemin d'écoulement et très vite creuse de petits canaux qui se rassemblent en rigoles. La profondeur des rigoles se limite dans la couche arable (Soltner, 1986 ; Cissé et Touré, *op. cit.*).
- ✓ **L'érosion en ravine** se manifeste au-delà des rigoles. Elle intéresse non seulement la terre arable mais aussi des couches plus profondes jusqu'à la roche-mère (Soltner, *op. cit.* ; Cissé et Touré, *op. cit.*).

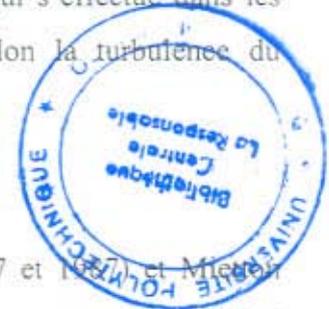
Outre ces formes d'érosion il y a les mouvements de masse, l'érosion torrentielle et l'érosion des berges.

Lorsque l'énergie de l'eau devient insuffisante pour entraîner les particules une troisième phase intervient pour stopper le processus. C'est le dépôt des particules qui s'effectue dans les zones basses suivant un tri granulométrique plus ou moins marqué selon la turbulence du ruissellement (Casenave et Valentin 1989).

2.3.1.1.3. Facteurs d'érosion hydrique

- ✓ **Les précipitations atmosphériques** : des auteurs tels que Roose (1977 et 1981) et Mietton (1988) ont montré que la pluie influe sur l'érosion par sa hauteur, sa fréquence, son intensité et sa durée. Roose (1977) stipule que l'agressivité climatique est le principal facteur de perte en sols en Afrique occidentale. Concernant, particulièrement le Burkina Faso, les indices d'érosion sont destructeurs (Galabert et Millogo, 1972).
- ✓ **La pente** : l'érosion croît exponentiellement avec l'inclinaison de la pente (Roose, *op. cit.*). Elle est également fonction de sa longueur selon le même auteur.
- ✓ **Le couvert végétal** : selon Roose (1983), le défrichement a pour conséquence une augmentation de l'érosion. Celle-ci croît exponentiellement lorsque le couvert végétal baisse (Valentin, 1994). Selon Piéri (1989), le défrichement et la mise en culture ont pour effet l'augmentation de l'érodibilité des sols.
- ✓ **L'érodibilité du sol** : l'érodibilité d'un sol varie avec sa nature, sa rugosité, sa cohésion, et sa résistance. Les sols ferrugineux tropicaux sont nettement moins résistants que les sols ferrallitiques après deux (2) ou trois (3) ans de culture (Roose, 1977). Pour un même sol, l'efficacité de l'érosion dépend des caractéristiques de l'averse (Mietton, 1988).

Ces facteurs agissent en inter-relation les uns avec les autres. Par exemple « un couvert végétal complet (peu importe sa nature et son architecture) assure une excellente protection du sol contre l'érosion et le ruissellement, quelles que soient la pente, les techniques culturales et



l'agressivité climatique » (Roose, 1977). Ils font de l'érosion hydrique un phénomène variable dans le temps et dans l'espace (Morgan, 1986). Il en est de même pour les facteurs d'érosion éolienne.

2.3.1.2. Erosion éolienne

2.3.1.2.1. Définitions et concepts

L'érosion éolienne consiste au transport par le vent de particules du sol (sable, limon, argile, matière organique, etc), éléments constitutifs du complexe absorbant. Elle est définie par Clark et *al.* (1997) comme étant le résultat des actions du vent au sol. Ces actions sont entre autre :

- la déflation directe de substrats meubles (sols pulvérisants, évaporites, dépôts alluviaux, et lacustres, etc) ;
- le prélèvement direct de matériaux sur sol cohérent par abrasion (corrasion) éolienne ;
- le vannage de la fraction fine des sables mobiles.

Celles-ci sont suivies de l'accumulation des matériaux transportés dans les zones de dépôt.

L'érosion éolienne, pour se produire, nécessite un certain nombre de conditions. Elle a besoin d'un relief avec de grandes étendues plates, de sols meubles, de vents suffisamment forts, d'une végétation absente ou clairsemée, d'un climat à longue saison sèche (Soltner, 1986 ; Cissé et Touré, 1991).

Plusieurs dispositifs de mesure de l'érosion éolienne ont été conçus dont les MWAC (*Modified Wilson And Cooke sediment catcher*) (Wilson and Cooke, 1980), les BSNE : *Big Sprig Number Eight* (Fryrear et *al.*, 1986), les CAPYR (Orange et *al.*, 1990), les Saltiphones (Spaan and Van Den Abeele, 1991), le Katsols (Thiombiano, 2000), les piquets d'érosion, etc.

Le phénomène concourt à la désertification des zones sources et à la fertilisation des zones puits et constitue de ce fait l'une des causes de l'appauvrissement ou de l'enrichissement des sols (Monnier, 1990 ; Lundholm cité par Clark et *al.*, 1997; Fall et *al.*, 2000). L'essentiel des éléments nutritifs, liés aux argiles et à la matière organique est renfermé dans la terre fine (Valentin, 1994 ; Rognon et *al.*, 1997). Selon Soltner (1986), les éléments entraînés sont plus riches en matière organique, potassium, azote que le sol originel.

L'importance de l'érosion éolienne varie dans le temps (Sterk, 1997 ; Delhoume et *al.*, 1998) et dans l'espace (Clark et *al.*, 1997 ; Sterk, *op.cit.* ; Rajot, 2000) ; Ouagadougou et Dori sont des zones de déflations faibles voire négligeables (Clark *al.*, *op.cit.*). Plusieurs facteurs interviennent dans sa manifestation.

2.3.1.2.2. Facteurs d'érosion éolienne

- ✓ **L'érodibilité du sol** : la résistance d'un sol à la dégradation dépend de ses propriétés physiques. Coudé-Gaussen (1994) ; Rognon et al., (1997) ont montré que la rugosité (états de surface, granulométrie globale de la couche superficielle), la cohésion (densité apparente, porosité, humidité du sol, etc), sont des paramètres importants d'érosion éolienne. Ils ont également montré l'importance de la résistance à la déflation (agrégats, teneurs en matière organique et en carbonates), et du stock de particules mobilisables dans les actions du vent au sol.
- ✓ **La vitesse du vent** : la capacité d'un vent à produire des actions érosives est une fonction de sa vitesse. La vitesse minimale de déflation est de 5 m/s selon Bertrand et al.,(1997), 5 km/h selon (Rognon et al., *op. cit*). Les vents accompagnant les lignes de grains du fait de leurs fortes vitesses sont très érosifs (Mietton, 1988).
- ✓ **Le couvert végétal** : l'érosion éolienne augmente exponentiellement lorsque la couverture végétale baisse (Valentin, 1994). La frange de la végétation la plus efficace contre les agents atmosphériques est la strate herbacée (Mietton, *op. cit*).

En somme, « l'érosion éolienne ne devient dangereuse que lorsque les précipitations annuelles sont inférieures à 600 mm, que la saison sèche dure plus de six (6) mois, que les sols sont poudreux, riches en limons, sables fins mais pauvres en matière organique et instables, lorsque la végétation est clairsemée et que les vents soufflent à plus de 20 km/h » (Roose,1987).

2.3.1.2.3. Aérosols

C'est l'ensemble des matériaux en suspension ou transportés par les vents, les brumes sèches, les tourbillons. Monnier (1990) affirme que les vents de poussière peuvent générer :

- des brumes sèches, constituées de particules très fines transportées sur de très grandes distances dans les couches supérieures de l'atmosphère par les courants aériens. Le 10 avril 2002, une partie du Burkina dont la ville de Ouagadougou a été couverte par des particules en provenance du Sahara (boucle du Niger, Mauritanie, Mali, etc). Cette suspension a été provoquée par un dénivellement de pressions qui a augmenté la vitesse du vent au sol selon la météorologie nationale ;
- des tempêtes de sables, constitués d'éléments fins et grossiers pouvant atteindre 2 mm. La chute de vitesse des vents ou des turbulences thermiques favorise la retombée des grains de sable sous l'effet de leur propre poids, les éléments fins restant longtemps en suspension.
- ils peuvent aussi générer des tourbillons (Roose, 1987).

La taille des aérosols qui décroît avec l'altitude définit leur mode de transport (Sterk,1997) : les plus grosses rampent ou glissent (c'est la reptation) ; les moyennes se déplacent par bonds

successifs (c'est la saltation) ; les plus fines sont mises en suspension. Leur richesse en nutriments (N, P, K, C) croît avec l'altitude tandis que le flux de masse de nutriments baisse (Sterk, *op. cit.*).

Les aérosols sont arrachés à de sols lointains ou environnants (Bakiono et *al.*, 1999 ; Monnier, 1990). C'est la saltation et la reptation, qui conduisent à la redistribution locale des particules et la suspension à leur redistribution régionale (Sterk, *op. cit.*). Le Sahara est une zone source d'aérosols selon Valentin (1994).

Ces matériaux sont d'origine terrigène, marine ou biogénique (Modi et *al.*, 1995). Ils véhiculent des agents pathogènes nuisibles à la santé humaine (Coudé-Gaussen 1992).

2.3.2. Dégradation anthropique

De par ses activités : pratiques culturelles inappropriées, feux de brousse, déforestation, surpâturage, en somme sa gestion inadéquate du milieu, l'homme induit ou accélère les processus de dégradation.

L'incidence de la dégradation des sols sur les productions agricoles a eu pour conséquence la conception des techniques de conservation et de restauration des eaux et des sols.

2.4. Techniques de lutte contre la dégradation des sols

« La réhabilitation des sols est l'ensemble des processus qui conduisent à l'arrêt de la dégradation d'une part et au rétablissement de la résistance résiliente et à la réparation des fonctions du sol qui avait été détruites par les processus de dégradation d'autre part » (Mando et *al.*, 2001). Plusieurs techniques ont été mis en œuvre pour lutter contre la dégradation des sols.

2.4.1. Aperçu général

Les techniques de lutte contre la dégradation des sols sont nombreuses et peuvent se répartir en deux grands groupes selon qu'elles utilisent ou non du matériel organique : les procédés biologiques et les procédés mécaniques.

2.4.1.1. Procédés biologiques

Ce sont des procédés qui visent un équilibre entre la minéralisation et la synthèse organique, favorable à la fertilité du sol à sa capacité de résistance à l'érosion. Les techniques utilisées sont fonction des stratégies suivies. Delaite et Pastor (1997) distinguent les stratégies suivantes :

- la protection maximale du sol dans le temps et dans l'espace par une couverture végétale qui fait appel aux techniques de paillage, d'association des cultures, de rotations culturales.
- l'amélioration de la résistance du sol à l'érosion par rétablissement, entretien et accroissement de ses réserves organiques et de sa fertilité. Elle utilise les techniques d'enfouissement de résidus de cultures, de compostage, de jachères et de fertilisation organique.
- le freinage du ruissellement des eaux et de la vitesse des vents pour une diminution de l'érosion et une "augmentation de l'infiltration ". Les bandes enherbées, les brises vents, servent à la création des obstacles.

Lorsque les procédés biologiques se révèlent insuffisants (ou difficiles à réaliser) pour lutter contre l'érosion les procédés mécaniques entrent en application.

2.4.1.2. Procédés mécaniques (ou procédés physiques)

Ils permettent un contrôle du ruissellement et de l'érosion par la réduction ou la suppression des effets de la pente ou des vents. Les techniques mises en œuvre peuvent être regroupées en deux (2) catégories : **les techniques culturales et les ouvrages anti-érosifs.**

Les techniques culturales utilisées ici peuvent être groupées sous l'appellation travail du sol. Parmi elles, il y a le labour en courbe de niveau, le billonnage en travers de la pente, le buttage, le scarifiage, le sous-solage, etc. Leurs actions consistent en une restructuration des horizons "superficiels" du sol. Elles diminuent temporairement l'érosion et le ruissellement, mais augmentent la détachabilité des particules et donc à long terme les risques d'érosion (Roose , 1977).

Les ouvrages anti-érosifs sont des obstacles physiques aménagés avec des pierres et ou avec de la terre. Ils sont mis au point pour maîtriser les phénomènes d'érosion tandis que les pratiques culturales affectent d'abord l'alimentation hydrique et minérale des cultures (Roose, *op. cit.*). Les digues filtrantes, les diguettes en terre, les cordons pierreux, les demi-lunes, le zaï sont des ouvrages anti-érosifs en vigueur au Burkina Faso.

2.4.2. Cas particulier du paillage et plantations d'*Acacia raddiana* et d'*Acacia senegal*

2.4.2.1. Paillage (*mulch*)

Le paillage est l'épandage à la surface du sol de débris végétaux tels que les résidus de cultures, les pailles, les branchages ou la combinaison des trois. C'est une technique de récupération des terres dégradées (Delville, 1996 ; Rochette, 1989) largement diffusée et adaptée aux moyens dont disposent les paysans du plateau central du Burkina Faso (Scoones et *al.*, 1996, Rochette, *op.*

cit.). Il s'est rapidement répandu depuis 1992. C'est une technique qui améliore les propriétés biologiques, physiques et chimiques du sol, et les rendements des cultures.

Sur le plan biologique, son action sur la faune et la flore du sol sont très remarquables ; il attire les termites (Mando,1997), assure un bon développement des racines, induit l'activité biologique (Ambouta et al., 2000)

Au niveau physique, les travaux de Roose (1983), Zougmoré et al. (1994) , Smolikowski et al. (1998), Bassono et al. (1999), Kieppe et al. (2001), Mando et al. (2001), ont en somme montré que le paillage augmente la porosité, la perméabilité, l'infiltration, réduit l'encroûtement et l'érosion. Le mode d'épandage des débris végétaux (couverture complète ou partielle de la surface du sol) est un facteur déterminant du niveau d'efficacité du paillage (Roose, 1977).

D'un point de vue chimique, la décomposition des débris végétaux augmente la teneur du sol en matière organique et en éléments nutritifs.

En définitif le paillage améliore la structure du sol, augmente sa résistance à la dégradation, sa disponibilité en eau et en éléments nutritifs.

2.4.2.2. Plantations d'*Acacia raddiana* et d'*Acacia senegal*

Acacia raddiana a été utilisé dans la lutte contre la désertification au Burkina Faso.

Son utilisation dans l'agroforesterie au niveau des sols légers et sableux, et celle de l'espèce *Acacia senegal* ont été conseillées par Brandjes et al., (1995). Bassono et al (1999) et Thiombiano (2000) ont trouvé un impact positif de ces espèces dans la réhabilitation des sols dégradés. Ils ont en effet obtenu une réduction du ruissellement et de l'érosion, une réhabilitation de la végétation et une amélioration des états de surface.

Conclusion partielle

Le milieu sahélien est caractérisé par une forte dégradation des ressources naturelles, due aux facteurs naturels, induite ou accélérée par les facteurs anthropiques. Il est caractérisé par une extrême fragilité. Ce milieu, complexe, hétérogène et variable est très fragile, donc susceptible à la dégradation. L'action humaine de restauration et de conservation des sols est alors une condition nécessaire pour la survie des écosystèmes de cette zone. C'est ainsi que des travaux ont été menés et continuent d'être menés dans le sens de comprendre et combattre les processus de dégradation. De nos jours pluridisciplinaires ces travaux sont bâtis autour d'une gamme variée de méthodes. Parmi ces méthodes se comptent celles qui s'intéressent aux érosions hydrique et éolienne, à la récupération des sols dégradés, dont quelques-unes font l'objet de la présente étude.

Deuxième partie : Méthodologie

I. Quantification des flux de matériaux éoliens

1.1. Structure du dispositif (KATSOLS)

Le KATSOLS a été mis au point par Thiombiano (2000). La photo 1 montre sa structure.

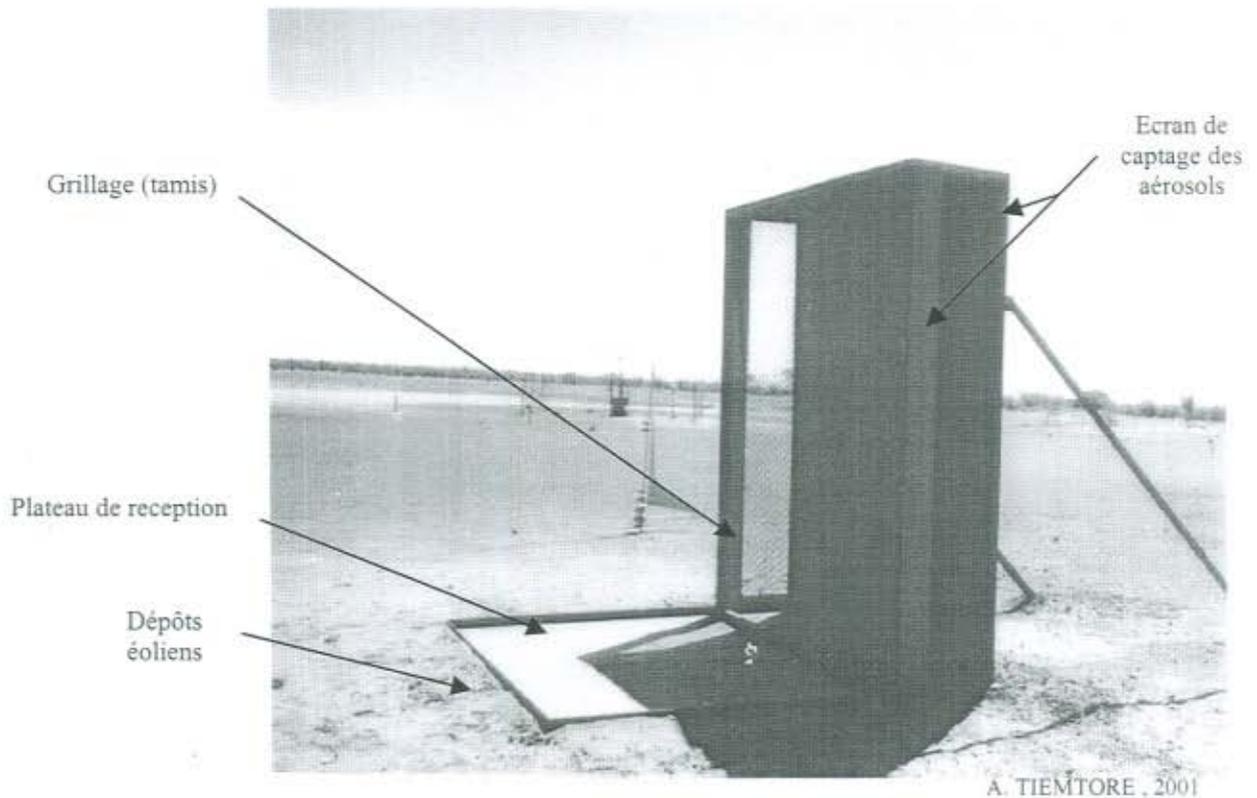


Photo 1 : Structure du KATSOLS

Il comporte quatre composantes dont les éléments constitutifs sont confectionnés avec des feuilles (de 5 mm d'épaisseur) et des tubes (de 5 cm de diamètre) en acier. Ce sont :

- un écran de captage des aérosols de direction NW-SE et d'une superficie de 4 m^2 ($2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$) comportant un tamis à mailles de 1 mm, pour la séparation granulométrique des matériaux éoliens. Cet écran est fixé verticalement à l'aide de vis sur un plateau de réception ;
- un plateau de réception qui présente une surface utile de 4 m^2 ($2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$). Il est fixé au ras du sol avec des piquets de base, et possède un rebord de 5 cm permettant de limiter les pertes liées à la remobilisation des dépôts par le vent. Ce plateau de réception est divisé en deux (2) par le tamis en grand casier (GC) et en petit casier (PC) ;
- des pieds de fixation à l'arrière du dispositif, qui permettent de consolider sa résistance compte tenu de la violence de vents ;

MENTION ASSEZ-BIEN

- quatre (4) tubes de fixation de 50 cm de longueur permettant l'immobilisation du plateau de réception. Ces tubes sont enfouis dans le sol à une profondeur de 50 cm et immobilisés avec du béton

1.2. Principe et théorie ayant guidé sa mise au point

Ce dispositif est dénommé KATSOLS par analogie au nom des concepteurs (Thiombiano et *al.*, 2001), du site d'implantation (Katchari), à la nature des matériaux captés (les aérosols). Il est conçu comme un écran fixe de piégeage des matériaux emportés par le vent, l'objectif étant l'évaluation des pertes en sols liés à l'érosion éolienne. Les matériaux éoliens concernés sont essentiellement ceux transportés par saltation et par reptation qui représentent 62 à 97 % selon Chepil (1945). Divers travaux ont montré que ces matériaux sont transportés dans une zone qui s'étend de la surface du sol à 1 m de hauteur (Bagnolds, 1973) ou à 1,6 m (Rognon et *al.*, 1997) voire 2 m (Shao et *al.*, 1998).

Au total le dispositif est conçu comme un écran frontal fixe par rapport aux vents dominants dans la zone d'orientation EE-WW et NN-SS qui permet le piégeage du maximum de matériaux transportés par saltation ou par reptation.

Afin d'assurer une bonne couverture de captage de ces aérosols, la hauteur totale retenue pour le KATSOLS est de 2 m.

1.3. Mesures et calculs effectués

L'écran de captage du KATSOLS est orienté perpendiculairement aux vents dominants. A Kachari, la direction de l'écran est NW-SE, permettant ainsi de piéger les flux de matériaux transportés par les vents dominants d'orientation EE-WW et NN-SS.

Le KATSOLS a été implanté sur un glacis, de faible pente (1 %), présentant des états de surface dénudés à plus de 90% sur une distance frontale de 300 m.

Les matériaux éoliens captés par le dispositif ont été collectés toutes les 30 mn. et après les épisodes pluvieux et éoliens, débutant à 7 heure du matin et s'achevant à 17 heure. Cette tranche horaire a été retenue en fonction des probabilités d'obtention de vents de vitesse supérieure à 2 m/s. Les prélèvements des aérosols sont effectués séparément au niveau du plateau, en éléments grossiers et en éléments fins respectivement avant et après le tamis. Les aérosols prélevés soigneusement à l'aide de pinceaux sont recueillis dans des sachets plastiques avec des références précises sur la date et l'heure du vent, la date et l'heure de collecte. Les échantillons de saison pluvieuse sont séchés à l'air libre.

Afin d'obtenir le poids de matériaux captés par le KATSOLS pour une période donnée, la quantification des matériaux éoliens piégés est déterminée par la méthode pondérale par unité de surface et par unité de temps. Cette méthode permet d'estimer les dépôts éoliens accumulés du fait de la présence d'un obstacle statique.

La quantité de matériaux piégés à l'hectare est estimée par la formule suivante (Thiombiano, 2000):

$A = Pk \times 25 \cdot 10^2 / nj$: quantité totale de dépôt éolien /hectare exprimé en t/ha/j ;

Pk = poids des aérosols piégés par le KATSOLS ;

$25 \cdot 10^2$ = ratio 1ha /4 m² (surface du KATSOLS) ;

nj = nombre total de jours cumulés avant le prélèvement.

Des études ont montré qu'une grande partie des terres « perdues » est redistribuée à l'intérieur du paysage et non définitivement perdues (Bojo et Casell cités par Scoones et *al.*, 1996). Ainsi, Thiombiano (2000) étudiant les quantités d'aérosols transportées par le vent et celles déposées dans le site de Katchari, a introduit un coefficient de correction dans l'estimation des pertes en sol par le vent. De l'ordre de 56,7%, ce coefficient (Cr) est une possible expression du rapport dépôt / remobilisation des matériaux éoliens au niveau d'un site en zone sahélienne. Il exprime le bilan des flux de matériaux éoliens notamment le taux d'accumulation réel des aérosols. Il permet alors, à partir d'une quantité d'aérosols en déflation, d'estimer la fraction définitivement perdue par le paysage, d'où sa prise en compte dans la présente étude.

1.4. Difficultés

La collecte de données sur les caractéristiques (vitesse, directions, durée) des vents a échoué du fait des pannes de l'appareillage. Ceci constitue une limite aux analyses des résultats. En effet l'étude n'a pu combiner flux de matériaux éoliens et vitesse du vent.

La collecte des données sur l'érosion éolienne qui devraient couvrir une année n'a pu se réaliser que sur dix (9) mois. Cela a entraîné la perte de données sur une partie de l'année, surtout pour les mois de mai, juin et juillet où se produisent les actions érosives de début de d'hivernage. cette situation a été une limite à l'analyse de la variation annuelle et inter-annuelle de l'érosion éolienne sur le site.

II. Réhabilitation de sols dégradés

2.1. Structure du dispositif

Le dispositif est installé sur un glacis de 2,5 km de long dans le bassin versant du site de Katchari. Dans la moitié amont du glacis, la topographie est plane avec une pente générale de 1%, alors qu'à mi-versant apparaît un micro relief sous forme de dunes sableuses d'origine éolienne. Les sols sont de types sols ferrugineux tropicaux lessivés (lixisols eutriques) et sols bruns eutrophes ferruginisés (cambisols eutriques). Ils présentent un état de surface dénudé décrit selon Casenave et Valentin (1989). Cet état de surface est de type Ero, marqué par un glaçage et une dénudation quasi totale du sol (80 à 90 %).

Ce dispositif est de type Bloc Fisher et comporte quatre (4) traitements en trois répétitions (cf.photo2) :

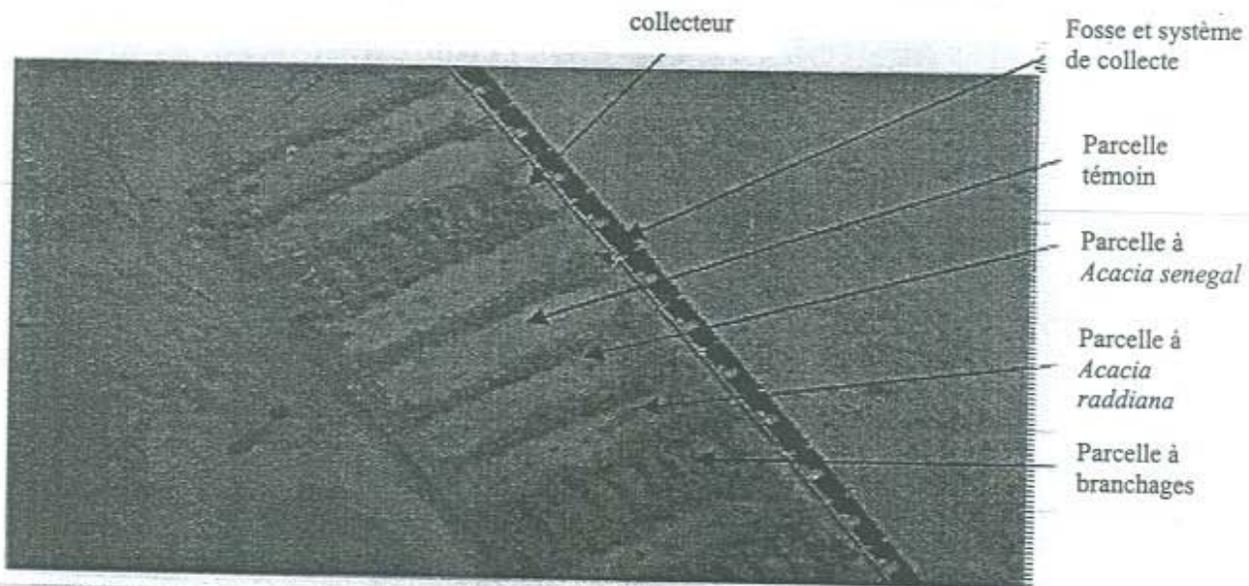


Photo 2 : Vue aérienne du dispositif expérimental en 1998

Source : Thiombiano et al., 2000

La présente étude porte sur les parcelles indiquées :

- T0 : témoin ;
- T1 plantation de 30 pieds d'*Acacia senegal*;
- T2 branchages morts rangés sur une largeur de 40 cm et une hauteur d'environ 40 cm.

L'écartement entre les rangées est de 2 m ;

- T3 plantation de 30 pieds d'*Acacia raddiana*.

Les différentes espèces sont plantées en quinconce avec un écartement de 2m afin d'éviter la création de chenaux d'eaux.

Les lignes de branchage et de plantation sont d'orientation Nord-sud, perpendiculairement à la pente et à la direction des vents dominants.

L'espèce *Acacia raddiana* a été retenue à la suite d'entretiens dans le cadre d'une enquête MARP (Méthode Active de Recherche et de planification Participative) avec les agropasteurs de Djebel et de Katchari. *Acacia senegal* a été sélectionné compte tenu de la mise en œuvre d'une politique nationale concernant cette espèce dans le cadre du développement de la production de la gomme arabique. En ce qui concerne les branchages, ils se sont révélés constituer un moyen de reconstitution de la rugosité du sol dans le cadre du suivi environnemental de la dynamique des pédopaysages (Thiombiano, 2000).

Les parcelles de 100 m^2 ($20 \text{ m} \times 5 \text{ m}$) sont délimitées par des tôles d'une hauteur d'environ 20 cm, possèdent un système de collecte des matériaux érodés et un réseau de piquets d'érosion.

Le système de collecte des matériaux érodés (cf. figure 2) se compose d'un collecteur, d'un réservoir équipé d'un robinet à sa base servant au vidage de l'eau, et d'une barrique ; ces deux derniers étant logés dans une fosse de 1,5 m de profondeur. Les collecteurs se situent en aval de parcelle sur toute leur largeur. Ils ont chacun une largeur de 50 cm et sont munis d'un exutoire fermé par un piège à sédiments en grillage.

Les réservoirs ont un volume de 300 dm^3 (60 dm^2 de surface de base et 5 dm de hauteur) chacun et comportent à leur bord supérieur 34 partiteurs par lesquels le plein d'eau s'écoule.

D'une capacité de 230 dm^3 ($3,14 \times 2,9^2 \times 8,7$), les barriques sont reliées aux réservoirs par l'intermédiaire d'un partiteur et recueillent une partie des eaux débordantes.

Les exutoires, les réservoirs et les barriques sont munis de couvercles permettant d'éviter tout apport extérieur.

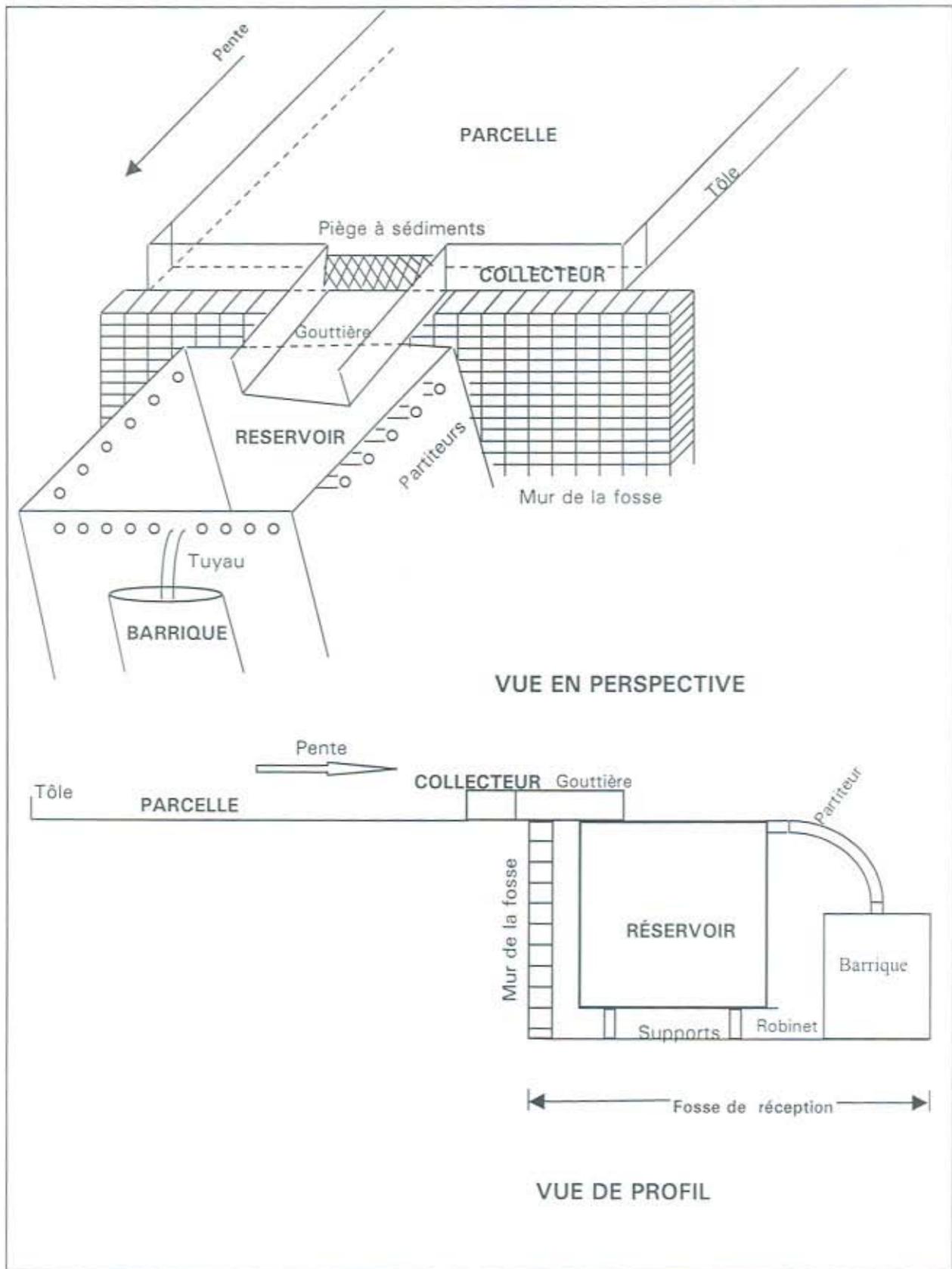
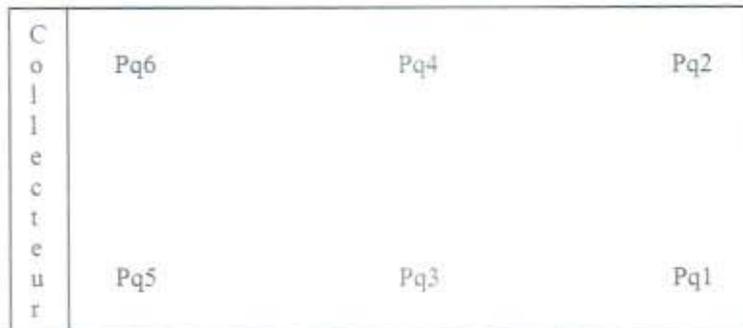


Figure2: Système de collecte des matériaux érodés

Source: Bassono 2001

Le réseau de piquet se compose de six (6) piquets par parcelle, comme le montre la figure 3.



Pq = piquet

Figure 3 : Emplacement des piquets d'érosion dans la parcelle

Les piquets sont munis de cales, et sont installés à une distance variant de 50 à 60 cm des tôles. Ils ont été fixés de sorte les cales touchent le sol. La cale est fixée sur le piquet de sorte à donner à celui-ci une hauteur de 15,5 cm au-dessus d'elle. Depuis leur installation en 1997, certains piquets existaient toujours ; d'autres par contre ont été réinstallés en septembre 2001 parce qu'ils étaient soit arrachés complètement couverts par les dépôts éoliens.

Le dispositif comporte enfin un pluviographe (PG4) permettant d'avoir les caractéristiques des pluies : hauteur, intensité, durée, etc.

Mis en place depuis 1997, une seule répétition de ce Bloc Fisher est fonctionnelle depuis la saison pluvieuse 2000.

2.2. Mesures et calculs effectués

2.2.1. Erosion (ou pertes en sols)

Dans les expériences à casier d'érosion, la terre est collectée sous forme de terre de fond et de terre en suspension. Elle est soigneusement collectée à l'aide de pinceaux et de pelles et mise dans des sachets en plastiques.

Les opérations de collecte sont précédées d'un étiquetage des sachets à des fins de différenciation des échantillons. Sur l'étiquette sont inscrites la date de pluie et la parcelle concernée.

2.2.1.1. Collecte de la terre de fond

La terre de fond est celle qui est transportée par charriage par les eaux de ruissellement et déposée dans les collecteurs. Elle est récoltée après les pluies et est ensuite séchée à l'air libre.

Pq = piquet

Figure 3 : Emplacement des piquets d'érosion dans la parcelle

Les piquets sont munis de cales, et sont installés à une distance variant de 50 à 60 cm des tôles. Ils ont été fixés de sorte les cales touchent le sol. La cale est fixée sur le piquet de sorte à donner à celui-ci une hauteur de 15,5 cm au-dessus d'elle. Depuis leur installation en 1997, certains piquets existaient toujours ; d'autres par contre ont été réinstallés en septembre 2001 parce qu'ils étaient soit arrachés complètement couverts par les dépôts éoliens.

Le dispositif comporte enfin un pluviographe (PG4) permettant d'avoir les caractéristiques des pluies : hauteur, intensité, durée, etc.

Mis en place depuis 1997, une seule répétition de ce Bloc Fisher est fonctionnelle depuis la saison pluvieuse 2000.

2.2. Mesures et calculs effectués

2.2.1. Erosion (ou pertes en sols)

Dans les expériences à casier d'érosion, la terre est collectée sous forme de terre de fond et de terre en suspension. Elle est soigneusement collectée à l'aide de pinceaux et de pelles et mise dans des sachets en plastiques.

Les opérations de collecte sont précédées d'un étiquetage des sachets à des fins de différenciation des échantillons. Sur l'étiquette sont inscrites la date de pluie et la parcelle concernée.

2.2.1.1. Collecte de la terre de fond

La terre de fond est celle qui est transportée par charriage par les eaux de ruissellement et déposée dans les collecteurs. Elle est récoltée après les pluies et est ensuite séchée à l'air libre.

2.2.1.2. Collecte des suspensions (la terre fine)

La terre fine est celle qui a pu par suspension se retrouver dans les réservoirs. Sa collecte se fait après décantation du contenu du réservoir ; l'eau surnageant est vidée et les sédiments du fond sont collectés puis séchés.

L'estimation des pertes quantitatives en terres est effectuée par la méthode pondérale après séchage.

2.2.2. Ruissellement

Elle débute par la prise des hauteurs d'eau dans les réservoirs et les barriques après les pluies. Ces hauteurs sont ensuite converties en volume.

Le volume d'eau ruisselée (V) s'obtient par la formule :

$V = V1 + 34 V2$ (Bassono, 2001) avec

V1 = volume d'eau dans le réservoir ;

V2 = volume d'eau dans la barrique

La lame d'eau ruisselée (Lr) s'obtient par la formule :

$Lr \text{ (mm)} = V \text{ (dm}^3) \times 10^{-2}$ avec

10^{-2} = ratio d'une pluie de 1 mm de hauteur /100m²

Le coefficient de ruissellement est obtenu par la formule :

$Kr = Lr / P$ avec

Kr = coefficient de ruissellement ;

P = hauteur de pluie en mm.

En plus du ruissellement, il a été constaté une stagnation d'eau dans certaines parcelles après les pluies. Les quantités d'eau ainsi retenue ont été évaluée. La méthode utilisée consiste à mesurer à différents points de la lame d'eau (au moins trois), sa hauteur, sa largeur et sa longueur et à en faire des moyennes.

2.2.3. Dépôts de matériaux éoliens dans les parcelles

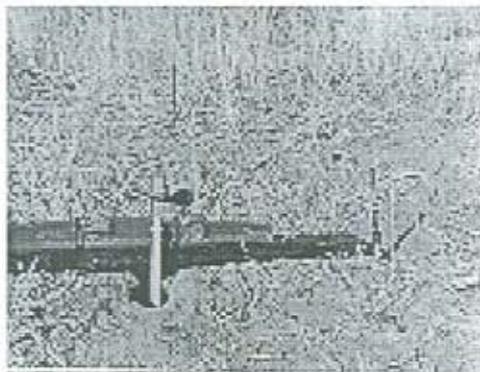
L'objectif est quantifier les dépôts éoliens dans les parcelles. Pour cela il a été procédé dans chaque parcelle à l'évaluation de l'épaisseur (E) de ces dépôts et de la surface (S) qu'ils occupent. Dans une parcelle donnée, le produit $E \times S$ donne le volume des dépôts éoliens. Ce volume est

converti en masse en le multipliant par 2,5 (densité des aérosols). Afin d'estimer l'évolution de la quantité de matériaux éoliens avec le temps les mesures sont se sont étalées dans le temps.

2.2.3.1. Epaisseur des dépôts éoliens

Il est mesuré grâce au dispositif de piquets d'érosion (figure 2). Il s'est agi de mesurer la hauteur restante des piquets. L'épaisseur des matériaux éoliens au niveau de chaque piquet est obtenue en ôtant la hauteur restante de la hauteur initiale (15,5 cm). Cependant les valeurs obtenues au niveau des nouveaux piquets qui reposent déjà sur des matériaux éoliens d'une certaine épaisseur, ne correspondent pas à l'épaisseur des matériaux éoliens accumulés depuis le début de l'expérimentation. Ainsi en décembre, il a été procédé à la détermination de l'épaisseur réelle au niveau de ces piquets. La méthode utilisée (cf. photo3) a consisté à creuser à une trentaine centimètres du piquet un trou qui descend jusqu'à la limite inférieure des dépôts éoliens, et de mesurer à l'aide d'un niveau à eau et d'une règle graduée le dénivellement entre le fond du trou et la base du niveau à eau (l'horizontal), qui est l'épaisseur recherchée. Il faut noter que la limite inférieure des dépôts éoliens une surface brun grisâtre, difficile à pénétrer (caractéristique des croûtes d'érosion) comparativement aux matériaux éoliens.

Pour une parcelle donnée, la moyenne des épaisseurs obtenus au niveau des six (6) piquets constitue l'épaisseur des dépôts éoliens.



A. TIEMTORE, 2001

Photo 3 : Détermination de l'épaisseur réelle du dépôt sableux

2.2.3.2. Surface occupée par les matériaux éoliens

Les surfaces des parcelles sont marquées par des étalements de matériaux éoliens qui évoluent des tôles vers l'intérieur des parcelles, et qui entourent (ou non) une surface non couverte par ces matériaux. Cette dernière surface est actuellement une croûte de décantation. Pour l'évaluation du taux de couverture de la parcelle par les dépôts éoliens, huit (8) points du front d'ensablement sont identifiés tout autour du front de progression des dépôts éoliens pour des

mesures. Il s'est agi précisément de mesurer la distance qui sépare la tôle de ces points. L'emplacement des points est représenté par la figure 4.

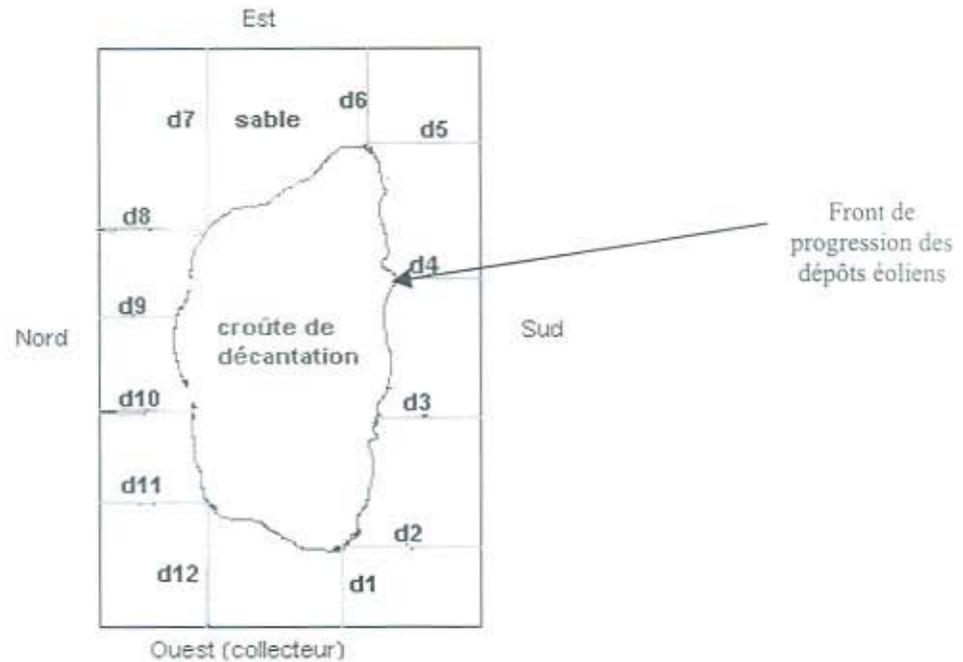


Figure 4: Schéma descriptif de la mesure du "taux d'ensablement"

Les mesures ont d'abord concerné les points situés aux angles de la parcelle, soit quatre (4) points. Deux mesures (l'une dans la direction de la longueur et l'autre dans la direction de la largeur) ont été faites pour chaque angle. Elles ont ensuite porté sur les quatre autres restants. Ces points sont repartis deux à deux et régulièrement sur la distance séparant deux points d'angles, prise sur la longueur.

La surface couverte par les dépôts éoliens (S) est obtenu par la formule suivante:

$$S = D_L \times 5 + D_l \times (20 - D_L) \text{ avec}$$

$$D_L = (d1 + d6 + d7 + d12) / 2$$

$$D_l = (d2 + d3 + d4 + d5 + d8 + d9 + d10 + d11) / 4$$

D_L = distance sur laquelle la surface de la parcelle est couverte de matériaux éoliens sur toute sa largeur.

D_l = distance sur laquelle la surface de la parcelle est couverte de matériaux éoliens sur une partie de sa largeur.

MENTION ASSEZ BIEN

2.2.4. Inventaire des états de surface

Ce travail avait pour but de dessiner chaque parcelle avec les différents états de surface qui la composent tout en respectant leurs proportions et leurs contours. Il s'est d'abord agi d'une reconnaissance de ces états de surface grâce aux descriptions de Casenave et Valentin (1989), de leur caractérisation, puis enfin de leur représentation.

2.2.5. Suivi de la dynamique de la végétation

2.2.5.1. Strate herbacée

Le suivi de la dynamique des herbacées s'est fait par estimation du taux de couverture herbeuse qui est obtenu par méthode des segments continus. Cette méthode consiste à tendre perpendiculairement deux (2) fils dans la parcelle et à en mesurer les segments nus ou les couverts. Ainsi 11 fils ont été tendus dans chaque parcelle, soit 1 dans le sens de la longueur et divisant la parcelle en 2 sous parcelles égales, et 10 dans le sens de la largeur avec un écartement de 2 m (cf. figure 5).

Le taux de couverture (ou de nudité) est finalement obtenu en faisant le produit de la somme des segments mesurés sur la longueur par la moyenne des sommes de ceux mesurés sur les largeurs.

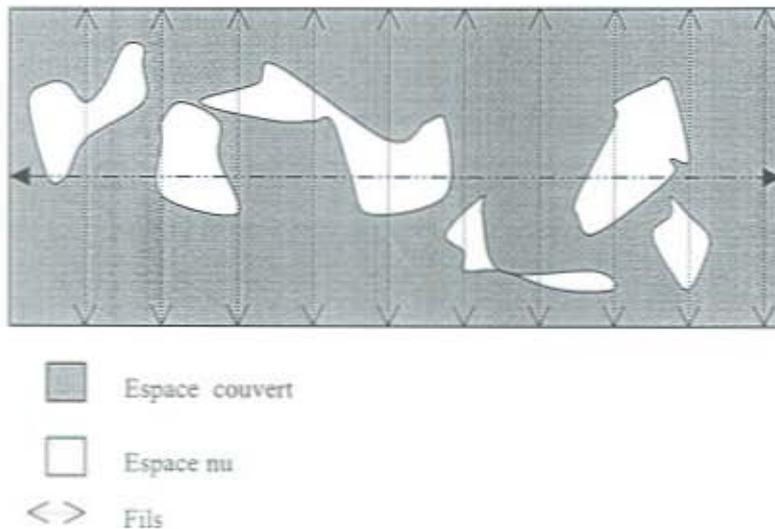


Figure 5 : Schéma descriptif de la méthode d'évaluation de la couverture herbacée

La diversité floristique est évaluée le long des lignes de mesure.

2.2.5.2. Espèces ligneuses

Le suivi de la dynamique des espèces ligneuses a consisté en l'inventaire des plantations et des pieds spontanés. Les mesures ont porté sur la hauteur des pieds la longueur et la largeur de

leurs houppiers ; elles ont permis d'estimer leur niveau de croissance et de développement. Des taux de reprise des plantations ont été calculés à la suite de cet inventaire.

2.3. Difficultés

Les mesures de l'érosion hydrique et du ruissellement n'ont pu se faire que pour un nombre réduit de pluies du fait du retard accusé dans le démarrage du stage. Ce qui a entraîné la perte des données d'une grande partie de la saison, notamment pour les mois de juin, juillet et août, qui sont d'un intérêt certain en matière d'estimation de ruissellement et d'érosion.

La conjugaison des actions de l'érosion éolienne et de l'érosion hydrique dans les pertes en terres était aussi une difficulté notable. Les systèmes de collecte des eaux et des terres ont été nettoyés après les vents afin d'éviter des mélanges des terres érodées par l'eau et d'aérosols. Cependant ce mélange n'a pu être évité lors des événements pluvieux où les vents précédant et / ou accompagnant les averses déposent des aérosols dans les collecteurs. Après le premier nettoyage du dispositif le 05/09/01, un vent survenu le 09/09/01 a déposé dans les collecteurs 1.9 kg, 3.2 kg, 5.6 kg et 10 kg de terres respectivement pour les parcelles T2, T3, T0 et T1 pendant que le KATSOLS piégeait 23,96 kg de terres érodées. Le dépôt de ces grandes quantités d'aérosols pourrait être en grande partie facilité par une destruction de la structure des dépôts éoliens bordant les collecteurs lors des travaux de ce premier nettoyage. Car une surveillance des collecteurs par la suite a montré par estimation à l'œil nu la présence d'infimes quantités de dépôts de matériaux. La même chose a été constatée avant les débuts de ruissellement au cours des tempêtes. En somme l'estimation de la part réelle des pertes en terres liées au ruissellement n'a pu être réalisée.

La densité et le développement du tapis herbacé en certains endroits des parcelles ; et l'épaisseur des dépôts éoliens aux pieds des espèces n'ont pas permis de déterminer l'apport de chaque espèce à la composition floristique. En effet, le tapis herbacé était pendant la période de mesure à son développement maximum. Les premiers centimètres (cm) des parties aériennes des herbacées étaient en certains endroits couverts par des matériaux éoliens atteignant parfois 5 cm d'épaisseur et rendant ainsi très complexe, l'individualisation des pieds surtout dans les zones de forte densité de peuplements.

Le dispositif de réhabilitation des sols n'a pas été mis en défens. Ouvert alors à la pâture animale, les végétaux y sont broutés. Brouts et piétinements ont de ce fait eu des effets sur la végétation, rendant difficile l'évaluation de l'expression réelle des traitements.

III. Analyses chimiques et statistiques

Les analyses chimiques ont concerné trente six échantillons de sol dont douze d'aérosols et vingt et quatre d'érosion hydrique.

Les paramètres étudiés sont :

- le **taux de matière organique** (MO) : Méthode Walkey et Black
- le **taux de phosphore total** (P total): Minéralisation par la méthode Kjeldhal et détermination par colorimétrie automatique
- le **taux de phosphore assimilable** (P ass): méthode Bray I
- le **taux d'azote total** (N total): Minéralisation par la méthode Kjeldhal et détermination par colorimétrie automatique
- le **potassium total** (K total): Minéralisation par la méthode Kjeldhal et détermination par photométrie de flamme
- le **potassium disponible** (K dispo): Méthode par photométrie de flamme

Les données ont été traitées avec le logiciel EXCEL pour ce qui est des analyses statistiques

Troisième partie : Résultats et discussions

I. Analyse de la pluviométrie

La pluie étant la cause première du ruissellement et de l'érosion il apparaît intéressant d'analyser la pluviométrie de la saison, avant de s'intéresser à ces processus en tant que tels.

Les données pluviométriques ont été collectées avec 13 pluviomètres, 7 pluviographes, 2 snowdons. En raison d'un manque de données sur la répartition spatiale de ces appareils de mesure, il ne sera pas traité la variation de la pluviométrie du site sur la composante horizontale de l'espace.

1.1. Variation temporelle

La première pluie est survenue le 7 juin 2001 et la dernière le 04 octobre 2001. Le nombre de jours de pluie varie d'un mois à l'autre (cf. tableau 3). Il en est de même pour les hauteurs de pluies.

Tableau 3 : Répartition mensuelle de la pluviosité et du nombre de jours de pluies pour les moyennes inter annuelles et l'année 2001

		J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	Année
Nombre de jours de pluies du mois	Moyenne interannuelle	0,1	0,1	0,4	0,8	0,5	6,6	10,8	13,2	8,0	2,2	0,1	0,1	45,5
	2001	0	0	0	0	0	9	11	7	3	1	0	0	31
Pluviosité du mois	Moyenne interannuelle	0,4	0,5	1,9	4,4	25,5	62,7	133,4	181,1	84,5	15,5	0,6	0,2	511,6
	2001	0	0	0	0	0	33,2	85,9	137,1	43,2	15,7	0	0	0

La répartition du total pluviométrique (314,3 mm) en fonction du mois est donnée par la figure 6. Elle est de 1% pour le mois de juin, 28% pour juillet, 45% pour août et 2% pour octobre.

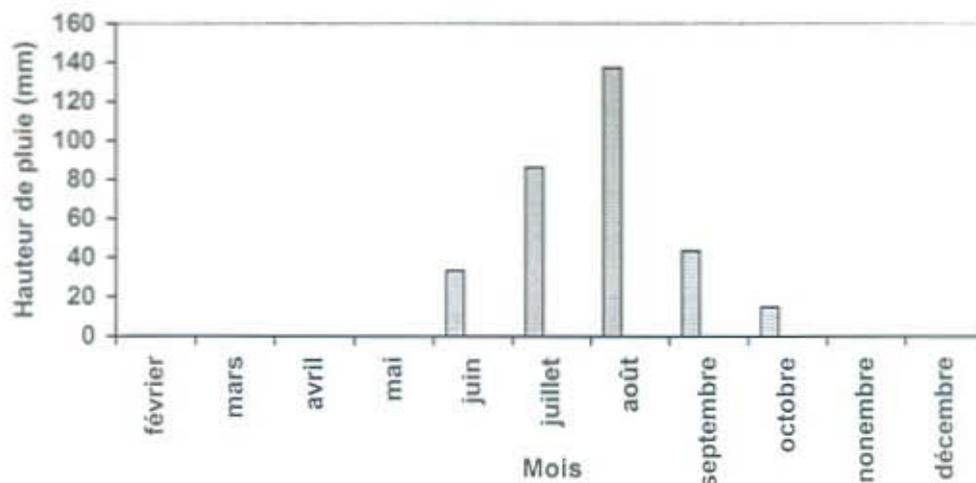


Figure 6 : Pluviométrie du site de Katchari en 2001

La première pluie supérieure à 10 mm est survenue le 02 juillet. La classe des pluies [0 ; 10] représente 68% de l'ensemble des pluies. Toutes les pluies de juin ont été de cette classe. Celle des pluies [10 ; 20] représente 13%. Les pluies des classes [20 ;30], [30 ;40] et [40 ; 50] représentent respectivement 13%, 3% et 3%.

1.2. Relation entre la pluie mesurée au sol (P_{sol}) et celle mesurée à 1m d'altitude (P_{1m})

L'analyse de la relation entre P_{sol} mesuré avec un pluviomètre de type Snowdon (SND1) et P_{1m} mesurée avec un pluviographe (PG2) montre l'existence d'une régression linéaire d'équation $Y = 1.96x$ avec $R^2 = 0.90$. Ce qui veut dire que 90% de P_{sol} est expliqué par P_{1m}.

1.3. Intensité pluviométrique

Sur vingt et neuf pluviogrammes (les deux dernières pluies n'ont pas eu de pluviogrammes pour cause de dysfonctionnement du pluviographe), seize ont donné des intensités bien supérieures à zéro. Les intensités maximales (I_{max}) varient d'une pluie à l'autre. La minimale 12 mm/h a été enregistrée le 20 juin et la maximale (180 mm/h) le 19 août. Les moyennes mensuelles de ces I_{max} sont de 36 mm/h pour juin, 65.5 mm/h pour juillet et 96 mm/h pour août, soit une moyenne annuelle de 75.5 mm/h. La plupart des averses (81%) ont duré au moins une heure de temps. A l'exception de celles des 20 et 21 juin qui ont mis respectivement 1 h 05 mn et 27 mn, elles ont mis au plus 15 mn pour atteindre leurs I_{max} . Les plus fortes I_{max} ont été enregistrées lors des fortes pluies.

L'agressivité climatique étant plus ou moins liée à l'intensité, les mois de juillet et août ont été les plus agressifs (cf. tableau 4).

Tableau 4 : Agressivité climatique du site de Katchari en 2001

Mois	juin	juillet	août	septembre	octobre	total
Agressivité (R en points USA)	1,27	50,79	155,41	18,29	-	225,76

- non mesuré

Ces valeurs ont été obtenues grâce à la formule de Gallabert et Millogo (1972) soit

$$R = 0,01572 H. I_{30} - 1,179 \text{ avec}$$

R = agressivité ;

H = hauteur de pluie (mm);

I_{30} = intensité de la pluie à 30 mn (mm/h).

MENTION ASSEZ-BIEN

1.4. Discussion

Divers auteurs ont déjà souligné la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie au Sahel. Cette variation est aussi vécue au site de Kachari.

Une comparaison de la pluviométrie 2001 avec les résultats obtenus par Casenave (1998) dégage les constats suivants :

- la pluviosité annuelle (314,3 mm) est inférieure à la moyenne interannuelle (511.6 mm) et proche de la minimale interannuelle (243,8 mm) ;
- la pluie maximale a été de 44.3 mm contre 56,2 mm donnée par Casenave (op.cit.) ;
- le nombre de jours de pluie dans le mois connaît une baisse à l'exception des mois de juin et juillet, qui ont connu une hausse (cf. tableau 3) ;
- du point de vue pluviosité tous les mois ont été déficitaires. Mais la répartition de la pluviosité en fonction du reste sans changement ;
- enfin le début de la saison connaît un recul.

La relation entre P_{sol} et P_{1m} a été sujette à plusieurs études. Casenave et al., (1998), Chevalier et al., (1985) utilisant les mêmes appareils que la présente étude s'accordent sur l'existence de la régression linéaire entre ces deux pluies et sur la supériorité de P_{sol} à P_{1m} . Les derniers auteurs ont également montré que l'écart entre ces deux (2) pluies varie en fonction de la nature du sol, de l'intensité de l'averse, du vent et de la couverture végétale.

Les pluies inférieures à 20 mm, plus intéressantes sur le plan agronomique (Casenave, 1998) ont présenté un pourcentage important (81%). Cependant leur répartition et la hauteur de certaines d'entre elles ont été limitant pour la production végétale.

En ce qui concerne l'intensité, la correspondance entre les fortes pluies et les fortes intensités est conforme aux résultats de Zougmore (1991). Les pluies de fortes intensités (≥ 30 mm/h) qui ont un impact sur l'érosion des sols constituaient 38 % des pluies.

1.5. Conclusion partielle

Le site de Kachari connaît une variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie. La pluie au sol s'est révélée supérieure à celle à un mètre d'altitude ; les calculs de ruissellement utilisant la pluie à 1 m conduiraient à des surestimations de résultats et à des relations entre ruissellement et érosion peu exactes. Une grande partie des pluies s'est caractérisée par de faibles hauteurs et par de faibles intensités maximales. Aussi, la plupart des pluies ont-elles mis peu de temps pour atteindre leurs intensités maximales. Ceci serait l'une des raisons des forts coefficients de ruissellement et de fortes érosions au Sahel.

II. Flux de matériaux éoliens

2.1. Flux quantitatifs

2.1.1. Flux de masse des aérosols en fonction du temps

Durant la période de juillet 2001 à avril 2002, le KATSOLS a piégé 245 t/ha de terre. La répartition dans le temps de cette quantité (en T /ha /j) est présentée par la figure 7.

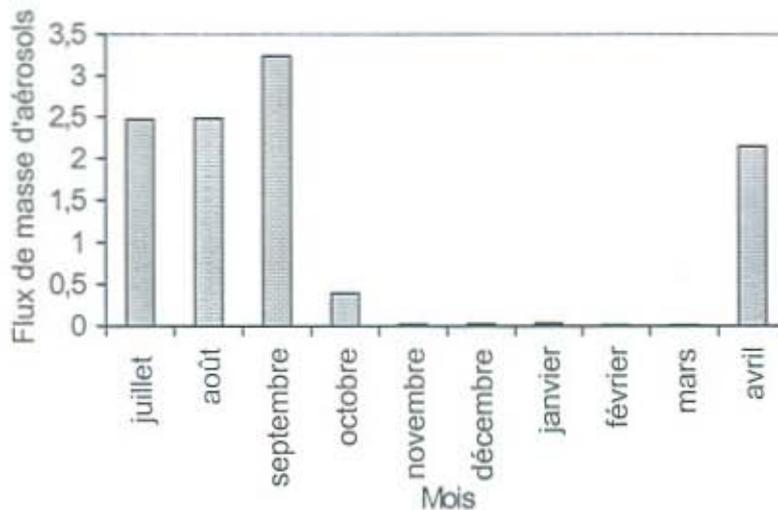


Figure 7 : Flux de masse journalier des aérosols dans le Katsols en fonction du mois

Quatre périodes d'érosion se dégagent de l'analyse de ce graphique :

- une première période de forte érosion de juillet à septembre (2,73 t/ha/j). Certains événements survenus au cours de cette période ont été remarquables. C'est le cas des vents des 15 et 27 août, et du 09 septembre qui ont entraîné dans le KATSOLS respectivement 25 t/ha, 52 t/ha et 60 t/ha de matériaux ;
- une période de faible en octobre (0,39 t/ha/j) ;
- une période de très faible érosion de novembre à mars (0,020 t/ha/j) ;
- une seconde période de forte érosion avril (2,16 t/ha/j).

2.1.2. Fractions d'aérosols collectées dans le KATSOLS

La séparation granulométrique réalisée par le tamis sur le terrain a donné pour les deux fractions d'aérosols. La quantité d'aérosols avant le tamis (73,16 kg/4 m²) est plus de deux fois supérieure à celle qui est passée à travers les mailles de ce tamis (24,16 kg/4 m²). Cela signifie qu'il y a plus de particules de taille > 1 mm que de particules de taille ≤ 1 mm.

2.2. Flux qualitatifs

2.2.1. Qualité des aérosols d'un même casier

2.2.1.1. Qualité des éléments grossiers

Le tableau 5 présente les richesses en matière organique, en azote, en phosphore et en potassium de quelques échantillons d'éléments grossiers (aérosols collectés dans le grand casier).

Tableau 5 : Teneurs en matière organique et N, P, K des éléments grossiers

Date des Vents	N° échantillon.	M.O (%)	N-total (g-N/kg)	P-total (mg-P/kg)	K-total (mg-K/kg)
29/07/01	1	0,15	0,09	96	270
15/08/01	3	0,11	0,11	108	214
27/08/01	5	0,20	0,09	108	349
09/09/01	7	0,15	0,11	120	383
04/10/01	9	0,17	0,08	150	304
09/10/01	12	0,27	0,13	126	259
moyenne		0,17	0,10	117,91	296,31
Ecart type		0,05	0,02	18,75	61,96
Coefficient de variation (%)		32	15	16	21

Pour l'ensemble des éléments analysés les valeurs varient d'un échantillon à l'autre (cf. tableau 5). Les teneurs en matière organique et en éléments nutritifs sont relativement faibles.

2.2.1.2. Qualité des éléments fins

La qualité des aérosols collectés dans le petit casier (éléments fins) est consignée dans le tableau 6.

Tableau 6 : Teneurs en matière organique et N, P, K des éléments fins

Date des vents	N° échantillon.	M.O (%)	N-total (g-N/kg)	P-total (mg-P/kg)	K-total (mg-K/kg)
29/07/01	2	0,11	0,09	102	281
15/08/01	4	0,13			
27/08/01	6	0,21	0,18	102	349
09/09/01	8	0,11	0,09	120	310
04/10/01	10	0,22	0,18	120	334
09/10/01	11	0,13	0,06	108	213
moyenne		0,15	0,12	110,35	297,43
Ecart type		0,05	0,06	9,05	53,74
Coefficient de variation (%)		32	49	08	18

Seules les teneurs en azote sont très variables, doublant pour certains échantillons. Les teneurs obtenues sont dans l'ensemble relativement faibles.

2.2.2. Comparaison des teneurs entre les deux fractions d'aérosols

La qualité des éléments grossiers est comparée à celle des éléments fins dans le tableau 7.

Tableau 7 : Teneurs moyennes en matière organique et en éléments nutritifs des éléments grossiers et des éléments fins

	MO (%)	N total (g/kg)	P total (mg/kg)	K total (mg/kg)
Éléments grossiers	0,17	0,10	117,91	296,31
Éléments fins	0,15	0,12	110,4	297,43
Moyenne	0,16	0,11	114,15	296,87

Les teneurs moyennes sont légèrement différentes entre les deux casiers. Toutefois un retour au niveau des teneurs pour les échantillons élémentaires montre des écarts importants de teneurs en azote pour les échantillons collectés "simultanément". Certains échantillons d'éléments fins ont des valeurs doublant celles des échantillons d'éléments grossiers.

Les flux totaux en éléments nutritifs et en matière organique, dus à l'érosion éolienne sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : Flux totaux en éléments nutritifs et matière organique sur le site et fraction transportée hors du site

	MO (kg/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
Sur le site	391,36	26,89	27,90	72,57
Hors du site	169,36	11,64	12,08	31,42

2.3. Bilan érosion / dépôts de particules : application du coefficient de correction

L'application du coefficient de correction (56,7%) a donné pour le flux de masse des aérosols un transport hors du site de 105,85 t/ha pour l'intervalle de temps considéré. Les flux de matière organique et de nutriment qui s'en suivent sont présentées dans le tableau 8 ci-dessus.

2.4. Discussion

Le flux de masse total en aérosols mesuré en 2001/2002 est inférieur à la moyenne inter-annuelle mesurée durant la période 1997-1999. La cause pourrait être la non couverture de certains mois de l'année par la collecte des données. En effet cette collecte n'a pas couvert les mois de mai, juin et une partie de juillet 2001 ; or les mois de début de saison sont très érosifs surtout lors des évènements pluvieux.

La variation temporelle de l'érosion a aussi connu des changements tant dans les périodes de déflation que dans les flux de masse de matériaux transportés. En effet, Delhoume et *al.* (1998) ont

estimé pour la période d'octobre à avril 0,22 à 1,18 t/ha/j et 5,61 à 10,83 t/ha/j pour la période de mai à septembre ; Thiombiano (2000) a obtenu 0,2 t/ha/j ; 2,2 t/ha/j et 1,1 t/ha/j respectivement pour les périodes de décembre à mai, juin à août et septembre à novembre. Ces auteurs ont travaillé sur le même dispositif que la présente étude. Des variations de la vélocité et de la périodicité des vents sont des hypothèses explicatives de ces variations.

En outre l'érosion mesurée semble inférieure à celle vécue par le milieu dans la réalité. En effet le rebord du KATSOLS (5 cm de hauteur), empêche les matériaux transportés à une altitude inférieure à cette hauteur de se déposer dans le plateau de réception. Cet obstacle piège ces matériaux qui se déposent tout autour du plateau de réception (cf. photo1). Aussi, faut-il ajouter que le dispositif ne piège qu'une partie des éléments en suspension et que la variation de la direction des vents occasionnent des dépôts qui ne sont pas mesurés par le KATSOLS.

Les caractéristiques biophysiques du milieu constituent des facteurs importants d'érosion éolienne (Roose, 1987 ; Soltner,1986 ; Cissé et Touré 1991). Au regard des conditions de ce type d'érosion, de la variabilité du milieu sahélien, il est possible d'émettre l'hypothèse d'une variation spatiale de l'érosion éolienne sur le site d'étude. En exemple, la fréquentation humaine et animale des milieux est productrice de matériaux mobilisables. Or les milieux ne subissent pas la même intensité de fréquentation : les placages sableux sont les plus fréquentés ; la zone d'implantation du dispositif, caractérisée par une forte nudité en surface est parmi les moins fréquentées.

La différence de quantité entre les deux fractions d'aérosols récoltées dans le dispositif n'était pas prévisible. Car dans le processus de déflation, les éléments fins sont mobilisés les premiers. Ainsi, ce qui était prévisible était la supériorité de la quantité d'aérosols après le tamis (éléments fins) par rapport à celle avant le tamis (éléments grossiers). Les hypothèses suivantes peuvent être émises pour expliquer résultats présents:

- une présence d'agrégats de particules parmi les éléments grossiers.
- un faible stock de particules fines mobilisables dans le milieu ;
- un dépôt d'aérosols de taille ≤ 1 mm directement dans le GC sans tamisage, sous l'action d'une perte de vitesse de ces aérosols.

Contrairement aux flux de masse des deux (2) fractions d'aérosols, leurs qualités chimiques moyennes sont pratiquement les mêmes. Partant du fait que l'essentiel de la matière organique et des éléments nutritifs est renfermé dans la terre fine (Valentin 1994), ces résultats semblent confirmer les hypothèses selon lesquelles il y a des agrégats de particules parmi les éléments grossiers et / ou il y a chute d'aérosols dans le GC sans tamisage.

La variation de la qualité des aérosols avec le temps dans ces casiers serait liée à une variation spatio-temporelle des teneurs en éléments organiques et minéraux (cycle de la matière organique) dans les zones sources.

Cependant, la grande variation de la teneur en azote des échantillons pris dans le PC et les grandes différences de cette teneur entre les échantillons d'éléments grossiers et ceux d'éléments fins de même date de collecte seraient causées par les différences de climat qui a régné dans le KATSOLS pendant les collectes des aérosols. En effet les échantillons présentant les fortes teneurs ont été prises après des tempêtes. Ainsi la fraction de terre collectée dans le PC (un peu plus fine, pouvant donc bien former une pâte peu poreuse), immergée dans l'eau aurait pu piéger de l'azote déposé par la pluie.

Les pertes totales en matière organique et en éléments nutritifs qui résultent des pertes moyennes sont énormes pour des sols sahéliens, très dégradés. Si ces pertes sont réduites à l'échelle du paysage par l'application du coefficient de correction, le recyclage de matériaux à l'intérieur de ce paysage constitue un facteur qui limite l'utilisation des 56,7 % restant par les plantes.

En comparant cette qualité de celle obtenue par Thiombiano (2000) les conclusions suivantes peuvent être retenues :

- la teneur en matière organique est environ plus de six (6) fois plus faible que celle obtenue par Thiombiano (2000); cette chute serait liée à une dégradation plus poussée du milieu.
- la teneur en azote s'est maintenue.
- celles de phosphore et de potassium ont nettement diminué et cela s'expliquerait par un appauvrissement du milieu en ces éléments.

2.5. Conclusion partielle

L'érosion éolienne provoque la perte de grandes quantités de terre. L'étude de sa variation dans le temps a permis la définition de quatre périodes : deux périodes de forte érosion (juillet – septembre et avril), une période de faible érosion (octobre) et une période d'érosion très faible (novembre –mars). A cette variation annuelle s'ajoute une variation inter-annuelle. Trois quarts des matériaux érodés ont été collectés dans le KATSOLS ont été collectés dans le grand casier du KATSOLS. Les teneurs en matière organique et en éléments nutritifs (N, P, K) des aérosols sont relativement faibles, mais sont importantes pour des sols comme ceux du Sahel.

La lutte contre l'érosion et la remobilisation par la formation d'une rugosité sur la surface du sol contribuerait à relever la fertilité du milieu.

III. Réhabilitation des sols dégradés

La réhabilitation des sols dégradés est menée dans un Bloc Fisher avec un traitement témoin, un traitement d'une plantation d'*Acacia senegal*, un traitement de branchages et un traitement d'*Acacia raddiana*. Dans ce dispositif, il a été mesuré l'impact de ces traitements sur la restauration du sol et de la végétation à travers le suivi de paramètres que sont les états de surface, la végétation, le ruissellement et l'érosion.

3.1. Etats de surface

Deux types d'états de surface ont été rencontrés cette année : le type Dec et celui Eol (cf. planche 1). L'appellation Eol (croûte de dépôts éoliens) de la terminologie de Casenave et Valentin (1989), sera utilisée à la place de l'appellation Sab qui a été utilisée par les travaux antérieurs ont utilisé pour désigner le même état de surface.

La végétation partie intégrante des états de surface sera développée ultérieurement.

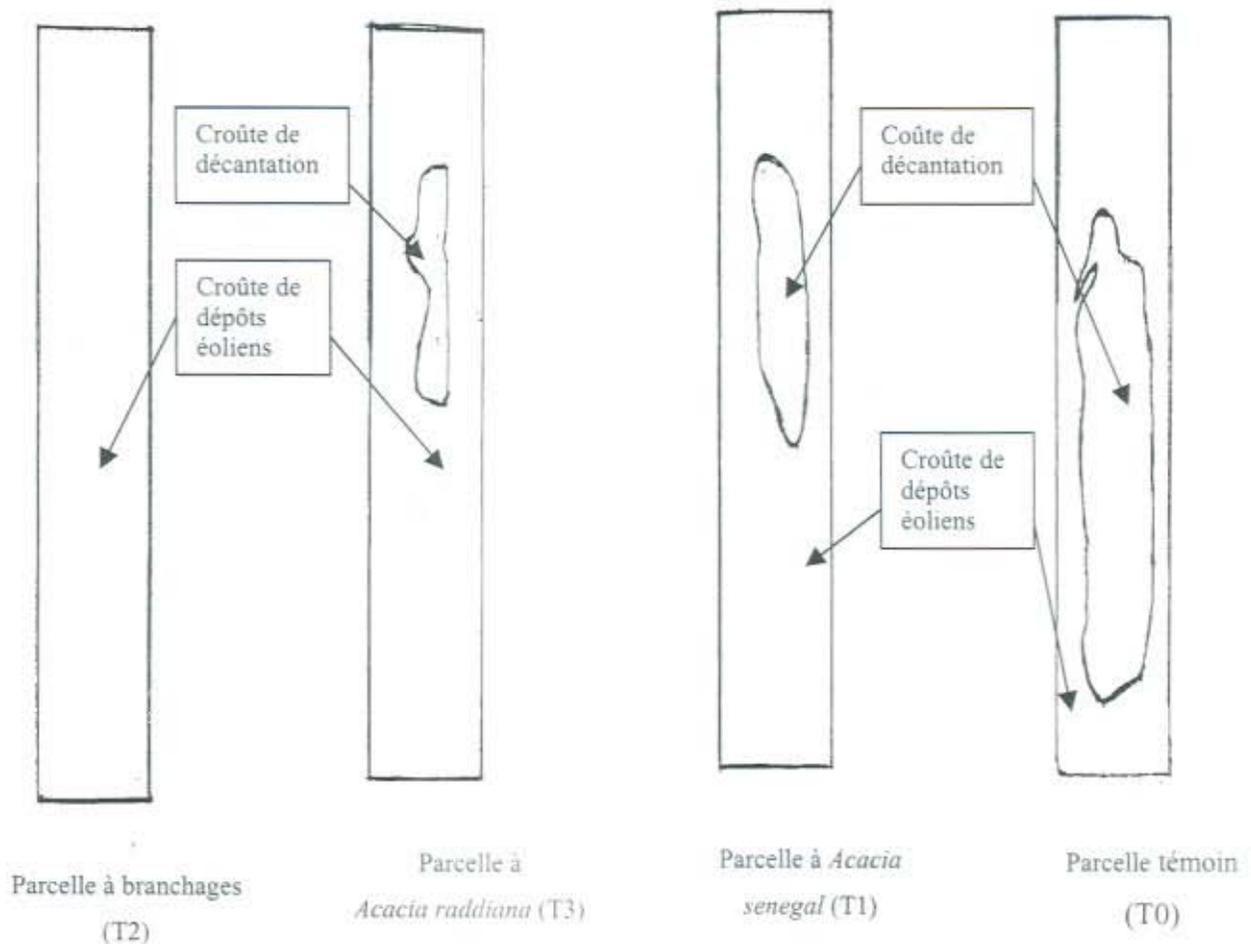


Planche 1 : Etats de surface inventoriés dans les parcelles de réhabilitation des sols en fin de saison

Erratum

Les pages :

47 ;

57 ;

66 à 74

qui manquent,

n'existent pas en réalité



3.1.1. Etat de surface de type croûte de décantation (Dec)

L'état de surface de type Dec a été marqué par une quasi-absence de la végétation et par sa structure desquamante caractéristique. Les eaux de pluies y ont stagné pendant un temps variable. Le tableau 9 montre les superficies occupées par cet état de surface selon le traitement à deux dates différentes : au début de la prise de données et à la fin de la saison.

Tableau 9 : Superficies (%) des croûtes Dec et leur évolution selon le traitement

Traitements Date	Témoin (T0)	<i>Acacia senegal</i> (T1)	Branchages (T2)	<i>Acacia raddiana</i> (T3)
10/09/01	26,38	10,96	0	7,83
05/10/01	26,81	10,15	0	6,19

Cet état de surface est absent en T2. En T0, il occupe une superficie de plus de deux (2) fois qu'en T1 et plus de quatre fois en T3. Ces proportions ont subi une légère baisse en T1 et T3 et une légère hausse en T0 dans l'intervalle de temps considéré. Les restes des superficies des parcelles sont occupés par les dépôts éoliens.

3.1.2. Etat de surface de type croûte de dépôts éoliens (Eol)

Il a été rencontré dans l'ensemble des traitements, et s'est caractérisé par un fort développement de la végétation. En effet il a été colonisé par les repousses spontanées et les herbacées s'y sont fortement développées saison de pluie. Aussi, a-t-il connu un développement de termites, surtout en fin de saison pluvieuse, lors du dépérissement des "herbacées annuelles". L'accumulation des dépôts éoliens s'est effectuée aussi bien sur la verticale que sur l'horizontal ; la quantité de dépôts sableux qui en ont résulté et son évolution avec le temps sont présentés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Quantité de d'aérosols ($t/100 m^2$) dans les traitements en fonction du temps

Traitements Date	Témoin (T0)	<i>Acacia senegal</i> (T1)	Branchages (T2)	<i>Acacia raddiana</i> (T3)
10/09/01	22,95	33,39	39,55	33,40
05/10/01	25,68	34,14	42,15	33,95
04/01/02	26,10	35,64	41,83	35,05
28/02/02	23,63	35,62	41,63	34,13
25/03/02	24,8	34,15	41,18	33,80

Le traitement de branchages a enregistré les plus fortes accumulations d'aérosols. Le témoin en a enregistré les plus faibles. De septembre à octobre (saison des pluies) la quantité de matériaux éoliens a augmenté dans tous les traitements. Cette augmentation a continué jusqu'en janvier pour les traitements d'*Acacia* et le témoin ; à partir de ce mois la quantité a baissé jusqu'en mars. Dans les branchages la quantité a baissé d'octobre à mars.

3.1.3. Discussion

Le nombre d'états de surface a connu une évolution au fil des années. Parti d'une croûte d'érosion 1997, la parcelle à branchages était totalement couverte d'une croûte de dépôts éoliens en fin de saison pluvieuse 1998 ; à ce moment les parcelles des autres traitements présentaient une croûte Ero et une croûte Eol. Les résultats se sont maintenus jusqu'en 2002 pour le traitement de branchages. En 2000, il y avait des états de surface de types Dec et Eol dans la parcelle à *Acacia raddiana* ; à ces deux états de surface s'ajoutait une croûte Ero pour les parcelles à *Acacia senegal* et témoin. De 1997 à 2002, dans toutes ces parcelles les dépôts éoliens ont connu des évolutions en épaisseur et / ou en superficie (cf. tableau 11).

Tableau 11 : Evolution de la quantité de matériaux éoliens dans parcelles des différents traitements

Parcelles	Paramètres	1998	1999	2000	2001	2002*
Témoin (T0)	Épaisseur (cm)	1	-	-	14,05	13,09
	Superficie (m ²)	-	-	25,5	73,11	71,41
<i>Acacia senegal</i> (T1)	Épaisseur (cm)	2	-	-	15,20	15,68
	Superficie (m ²)	5,3	-	57,5	89,85	87,13
Branchages (T2)	Épaisseur (cm)	-	-	-	16,83	16,47
	Superficie (m ²)	100	-	100	100	100
<i>Acacia raddiana</i> (T3)	Épaisseur (cm)	2	-	-	14,48	14,52
	Superficie (m ²)	-	-	75	93,81	93,15

*mesuré en avril 2002

-non mesuré

L'accumulation des dépôts éoliens (apports en matériaux allochtones) semble être le facteur d'évolution des états de surface. Cette évolution serait en relation avec la rugosité de la surface du sol. L'unicité de la croûte Eol au niveau de la parcelle de branchages serait liée à l'écartement entre les rangées de branchages. Cet écartement a créé une rugosité de surface qui aurait favorisé une jonction rapide des fronts de progression des dépôts éoliens. Au niveau des plantations la présence actuelle de la croûte Dec serait due aux espaces nus provoqués par la mortalité des espèces. Cette mortalité, plus prononcée dans la partie Est des parcelles a créé une zone nue, basse, favorable à la stagnation de l'eau et défavorable au piégeage des aérosols.

Pour ce qui concerne les quantités d'aérosols dans les traitements, elles peuvent être plus ou moins surestimées parce que l'ensablement vertical est très hétérogène. En effet dans la partie Est des parcelles, les épaisseurs de dépôts éoliens sont plus importantes ; les faibles épaisseurs sont mesurées dans la partie Ouest. Ces épaisseurs décroissent des bordures des parcelles vers les centres. En terme de taux de couverture des parcelles par les dépôts éoliens, les traitements T1 et T3 sont voisins.

MENTION ASSEZ BIEN

La variation des quantités de dépôts éoliens avec le temps semble être causée par les variations de la rugosité de surface (couverts végétaux surtout) qui seront développées ultérieurement.

3.1.4. Conclusion partielle

L'ensemble des traitements a eu un effet sur l'évolution des états de surface ; mais cette évolution diffère selon ces traitements. Elle est rapide pour le traitement de branchages et lente pour les autres traitements. Les apports en matériaux allochtones, source d'expansion des dépôts éoliens dans les parcelles est le moteur d'évolution des états de surface. A long terme les dépôts éoliens pourraient occuper la totalité des surfaces parcelles non encore totalement couvertes.

La mise en place de dispositifs favorisant l'accumulation des aérosols serait un facteur intéressant de réhabilitation des sols en zone sahélienne.

3.2. Dynamique de la végétation

3.2.1. Strate herbacée

3.2.1.1. Taux de recouvrement des parcelles

Les traitements ont présenté un taux de couverture variable (cf. figure 8).

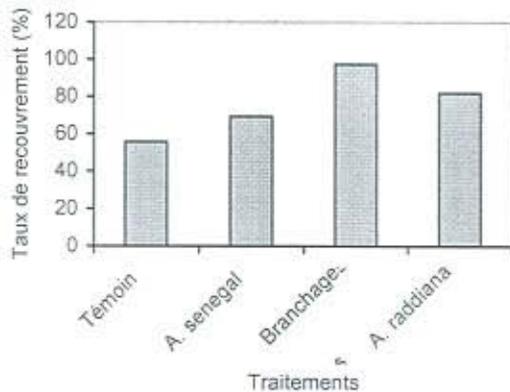


Figure 8 : Taux de recouvrement des parcelles par la strate herbacée

La parcelle témoin a présenté le plus faible taux de couverture (55,81 %) et les branchages le plus fort (97,5 %, presque deux fois celle du témoin). Les parcelles à *Acacia* ont été couvertes à 69,3 % et 82 % respectivement pour *senegal* et *raddiana*.

La couverture herbacée n'a pas été homogène à l'intérieur d'une même parcelle. L'essentiel des plantes a colonisé la croûte Eol ; la végétation a été quasi absente dans les croûtes de décantation. Au sein même de la croûte Eol, la couverture a été hétérogène. Elle était très forte à l'Est des parcelles et forte à moyenne à l'Ouest.

En outre cette couverture a été variable avec le temps. Elle n'a pas été mesurée pour différentes périodes de l'année. Cependant des observations à l'œil nu ont révélé les constats suivants :

- pendant les poches de sécheresse et en fin de saison pluvieuse, des herbacées ont séché et ont été décomposées par les termites ; cette situation contribue à la diminution du taux de couverture ;
- en saison sèche, les animaux broutent les herbes à même le sol, les piétinent, les exposent au transport par le vent (qui les arrache parfois). Il en résulte une "nudité" des parcelles, qui se maintiendrait jusqu'à l'installation prochaine de nouvelles plantes herbacées.

Plusieurs espèces forment cette couverture végétale

3.2.1.2. Diversité floristique

Le tableau 12 montre que les parcelles des différents traitements étaient peuplées de diverses espèces d'herbes.

Tableau 12: Liste des herbacées présentes dans les parcelles

N° de l'espèce	Nom de l'espèce	Témoin	<i>Acacia senegal</i>	Branchages	<i>Acacia raddiana</i>
1	<i>Panicum laetum</i>	1	1	1	1
2	<i>Schoenefeldia gracilis</i>	1	1	1	1
3	<i>Cassia tora</i>	1	1	1	1
4	<i>Digitaria horizontalis</i>	0	1	1	1
5	<i>Eragrostis tremula</i>	1	1	1	1
6	<i>Cenchrus biflorus</i>	1	1	1	1
7	<i>Tribulus terrestris</i>	0	0	1	0
8	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	0	1	1	1
9	<i>Borreria radiata</i>	1	1	1	1
10	<i>Aristidas adscensionis</i>	1	1	1	1
11	<i>Eragrostis pilosa</i>	1	1	1	1
12	<i>Indigofera sp</i>	1	1	0	1
13	<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	1	1	1	1
14	<i>Corchorus tridens</i>	0	1	1	1
15	<i>Evolvulus alsinoides</i>	0	1	1	1
16	<i>Leptadenia hastata</i>	1	0	1	0
17	<i>Mollugo nudicaulis</i>	1	1	1	1
18	<i>Kyllinga squamulata</i>	1	1	1	1
19	<i>Polycarpeae eriantha</i>	0	1	0	1
20	<i>Brachiaria ditycophylla</i>	0	0	0	1
Nombre total d'espèces		13	17	17	18
Pourcentage		0,65	0,85	0,85	0,9

1 = présence

0 = absence

A l'exception du témoin, les parcelles étaient peu différentes du point de vue composition floristique. Si les contributions spécifiques de ces espèces n'ont pu être évaluées l'observation directe sur le terrain a montré que l'essentiel de cette frange de la végétation était constitué par *Panicum laetum* et *Schoenefeldia gracilis*.

3.2.2. Strate arborée

3.2.2.1. Plantations d'*Acacia raddiana* et d'*Acacia senegal* : taux de reprise, croissance et développement

Le taux de reprise des plantations a été de 73,33% pour *Acacia raddiana* et de 66,66% pour *Acacia senegal*. Le tableau 13 donne le niveau de croissance et de développement des plantations.

Tableau 13 : Dimensions des plants dans les parcelles de plantations.

	<i>Acacia raddiana</i>			<i>Acacia senegal</i>		
	Lh (cm)	lh (cm)	H (cm)	Lh (cm)	lh (cm)	H (cm)
Minimale	17	13	20	7	5	7
Moyenne	83,59	67,23	49,41	33,75	23,05	16,9
Maximale	160	120	142	62	50	41
Coef. Var (%)	40,7	44,79	58,96	49,38	60,06	53,35

Lh = longueur du houppier, lh = largeur du houppier, H = hauteur du plant, coef. var = coefficient de variation

L'analyse du tableau montre une grande variation des dimensions entre les plants d'une même plantation. Les dimensions sont plus importantes pour *Acacia raddiana* par rapport à *Acacia senegal*. Elles ont donné des recouvrements ligneux de 12,36 m² pour la première espèce et 1,56 m² la seconde. Ce qui est synonyme d'une plus grande croissance et d'un plus grand développement de *Acacia raddiana*.

3.2.2.2. Pieds spontanés

3.2.2.2.1. Quantité de pieds par traitement et évolution dans le temps

Sur un total de 143 pieds au mois de septembre, il a été recensé 26,2% ; 24,8% ; 30,5% ; et 18,4% respectivement T0, T1, T2, et T3. Il y a eu une tendance à la stabilisation des quantités à partir de février (cf. tableau 14).

Tableau 14 : Evolution mensuelle de la quantité de pieds spontanés dans les parcelles des différents traitements

Traitement Mois	Témoïn (T0)	Acacia senegal (T1)	Branchages (T2)	Acacia raddiana (T3)
Août	22	22	19	14
Septembre	37	35	43	26
Octobre	34	34	41	26
Novembre	32	30	39	20
Décembre	27	28	37	20
Janvier	22	25	24	20
Février	22	22	24	18
Mars	22	22	24	17

✓ Dimensions des pieds spontanés

Le tableau 15 montre le niveau de croissance et de développement des espèces ligneuses spontanées dans les différents traitements.

Tableau 15 : Dimensions des pieds spontanés

Traitements	Témoïn			<i>Acacia senegal</i>			Branchages			<i>Acacia raddiana</i>		
	Lh (cm)	lh (cm)	H (cm)	Lh (cm)	lh (cm)	H (cm)	Lh (cm)	lh (cm)	H (cm)	Lh (cm)	lh (cm)	H (cm)
Minimale	8	5	2	17	8	2	14	8	2	18	6	3
Moyenne	62,1	42,8	25,6	55	36,1	19,6	46,6	27,7	15,3	46,7	32	13,7
Maximale	144	110	86	98	88	70	75	55	51	88	71	50
Coef.var	59,6	68,6	101,8	42,7	59,2	85,5	44	61,1	78,2	57,1	68,6	85,4
Recouvrement (m ²)	9,83			6,95			5,55			3,87		

Au sein d'un même traitement, les dimensions sont très variables. Les hauteurs sont les plus variables. D'un traitement à l'autre les moyennes varient peu.

✓ Diversité floristique

Du point de vu composition floristique les repousses spontanées sont très peu diversifiées (cf. tableau 16). Elles étaient à 97,2 % constituée par l'espèce *Acacia raddiana*.

Tableau 16 : Quantité repousses spontanées selon le traitement et l'espèce (inventaire du mois de septembre)

Traitments Espèces	Témoin	Acacia senegal	Branchages	Acacia raddiana
<i>Acacia raddiana</i>	37	35	41	26
<i>Acacia senegal</i>	0	0	1	0
<i>Calotropis procera</i>	0	0	1	1
<i>Balanites aegytiaca</i>	0	0	0	1

3.2.3. Discussion

L'étude a révélé une différence de la couverture herbacée entre les différents traitements, qui serait liée à la différence de taux de couverture des parcelles par les dépôts éoliens. En effet les dépôts éoliens ont créé une rugosité qui piège les graines, favorise l'infiltration et donc le développement de la végétation. Une régression entre le taux d'ensablement (T_e) et le taux de couverture végétale herbacée (T_{cv}) a donné, $T_e = 0,62T_{cv} + 42$ avec $R^2 = 0,92$. Leprun (1977), Bakiono et al. (1999), Thiombiano (2000) s'accordent sur ce rôle très positif des dépôts éoliens dans la régénération des herbacées.

La différence de couverture végétale entre les traitements avait été constatée lors des travaux antérieurs (Bassono et al, 1999 ; Thiombiano, 2000 ; Ouédrogo, 2000) (cf. figure 9).

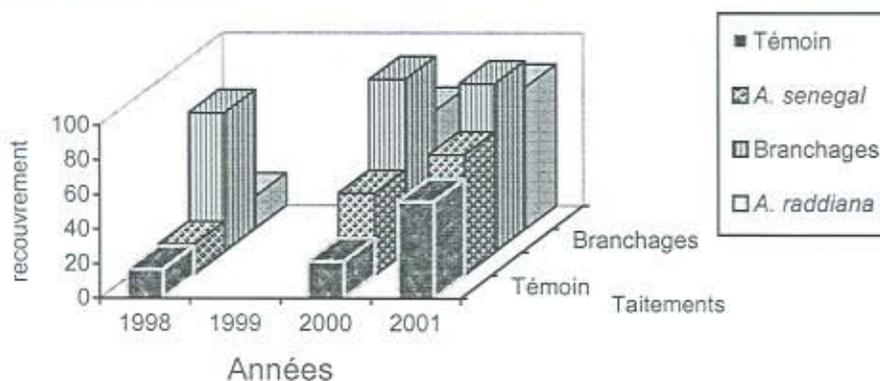


Figure 9 : Evolution du taux de recouvrement des parcelles par les herbacées en fonction de l'année

Ce graphique montre pour chaque traitement une augmentation du taux de recouvrement de 1998 à 2001. Cependant les écarts de couverture entre les traitements ont baissé progressivement. Cette baisse serait provoquée par l'augmentation du taux de couverture des parcelles par les dépôts éoliens dans les traitements témoin, d'*Acacia senegal*, et d'*Acacia raddiana*, due aux effets à long

terme des traitements. Particulièrement pour l'année 2000, la couverture obtenue dans le traitement de branchages est supérieure à celle de l'année 2001. A l'origine de ce fait, se trouverait la période de mesure (mi-août pour 2000 et mi-septembre pour 2001) et la pluviométrie. En effet les deux premières semaines de septembre 2001 ont été marquée par une poche de sécheresse ; certaines herbes avaient séchées et commençaient à être arrachées par le vent.

L'hétérogénéité de la couverture au sein d'une même parcelle, serait liée aux états de surface. Au sein de la croûte Eol, cette hétérogénéité serait liée à l'hétérogénéité de l'épaisseur des dépôts éoliens et à la répartition des graines. La dissémination des graines est liée aux vents, au ruissellement, et aux animaux ; la partie est des parcelles qui s'oppose le plus aux vents piégerait le maximum de graines. Aussi aurait-elle provoquée le plus d'accumulation de semences au fil des ans.

Le taux de reprise des plantations est en baisse par rapport aux résultats de 2000 (cf. tableau 17) ; cela serait dû aux aléas climatiques. Ce taux est peu différent entre les deux traitements et serait dû au fait que ces deux espèces sont résistantes aux conditions pédoclimatiques sahéliennes (Maydell, 1983). En revanche les écarts entre les dimensions seraient liés à la différence d'adaptation du milieu par les deux espèces soulignée par Bakiono et *al.* (1999), et Thiombiano (2000). Ces auteurs soulignent que *Acacia raddiana* est en expansion tandis *Acacia senegal* est en régression. Cette différence d'adaptation des espèces jointe à l'adaptation ou non des semences à la dissémination par le vent et les animaux expliquerait la faible diversité des pieds spontanés.

Tableau 17 : Taux de reprise (%) des plantations en fonction des années

Année	<i>Acacia raddiana</i>	<i>Acacia senegal</i>
1997	27,77	82,22
1998	15,55	31,11
1999	100*	100*
2000	80	73,33
2001	73,33	66,66

* = obtenu après plantation complémentaire

L'importance d'*Acacia raddiana* parmi ces repousses serait également liée au fait que ses gousses sont très appréciées par les animaux ; ses graines se dissémineraient ainsi à travers les fèces des animaux. Cette importance confirme l'expansion de l'espèce.

L'augmentation des quantités de pieds spontanés d'août à septembre s'expliquerait par de nouvelles pousses. Ces nouvelles repousses expliqueraient la baisse observée par la suite.

La grande variabilité des dimensions des ligneux dans une même parcelle serait liée pour les plantations d'*Acacia* à la plantation complémentaire réalisée en 1999, et pour les pieds

spontanés à une évolution inter-annuelle de leur nombre. Elle peut être aussi due à de possibles dégénération des parties aériennes en saison sèche succédées par des rejets de souches en saison pluvieuse, sous l'action des aléas climatiques.

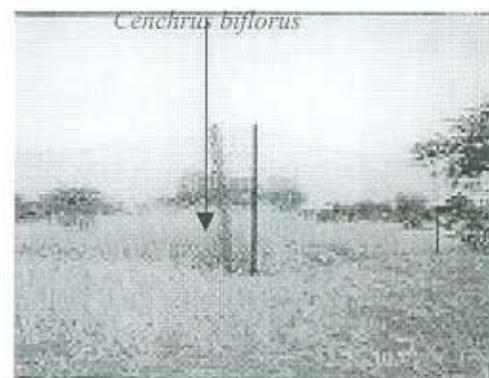
La variation de la végétation dans le temps serait à l'origine de la variation de la quantité de dépôts éoliens dans les parcelles. En saison de pluies la couverture végétale formée essentiellement par la couverture herbacée piège des aérosols qui contribuent à augmenter la quantité de matériaux éoliens dans toutes les parcelles. Après la disparition de cette frange de la végétation en saison sèche seuls subsistent les ligneux et l'effet protecteur de la végétation se trouve diminué. C'est ainsi que la parcelle de branchages caractérisée par une faible quantité de ligneux à faible niveau de développement a vu sa quantité de dépôts éoliens baisser à partir le mois d'octobre.

Enfin il faut noter que pour chaque traitement les résultats restent sous-estimés par rapport à la réalité. La presque totalité des espèces rencontrées dans les parcelles est appâtée (PSB/UNSO, 1992). Ainsi brout et piétinement par les animaux (cf. photo3) ont eu un effet certain sur le taux de recouvrement et sur la diversité floristique. Cet effet s'observe aisément en comparant ces résultats à celles obtenues dans une parcelle mise à l'abri des animaux dans le but d'une évaluation de la biomasse, et où cette biomasse n'a pas été récoltée ces dernières années (cf. photo4). Dans cette parcelle, *Cenchrus biflorus* (44,4% des espèces présentes) atteignait une hauteur de 65 cm et y étouffe les autres espèces. Tout autour d'elle, dans les placages de sables c'est le *Panicum laetum* et *Schoenefeldia gracilis* qui sont plus abondants (Thiombiano 2000).



A. TIEMTORE, 2001

Photo 4 : Fréquentation animale des parcelles



A. TIEMTORE, 2001

Photo 5 : Parcelle d'évaluation de la biomasse

3.2.4. Conclusion partielle

Le dispositif a été caractérisé par une variation spatio-temporelle de la végétation concernant aussi bien les ligneux que les herbacées, provoquée par la présence des traitements, l'adaptation des espèces au milieu et les variations du climat. Le couvert végétal a évolué en baisse successivement de la parcelle à branchages à la parcelle témoin en passant par la parcelle à *Acacia raddiana*, puis à *Acacia senegal*.

Ces résultats sont influencés par la fréquentation animale. Ainsi une mise en défens des parcelles et l'intervention de pratiques culturales (grattage en début de saison pluvieuse par exemple) les améliorerait très positivement.

La réhabilitation des sols ayant pour finalité une hausse de la production végétale, l'impact des traitements sur la régénération des végétaux peut être pris comme indicateur d'augmentation de la productivité.

3.3. Ruissellement et l'érosion

3.3.1. Ruissellement

Pour l'ensemble des trois pluies le coefficient de ruissellement est faible pour tous les traitements. Il est de 1,1% pour le traitement témoin, de 2,2% pour le traitement d'*Acacia senegal*, de 5% pour le traitement de branchages et de 3,8 % pour le traitement d'*Acacia raddiana*. Le graphique 10 illustre bien ces différences de ruissellement.

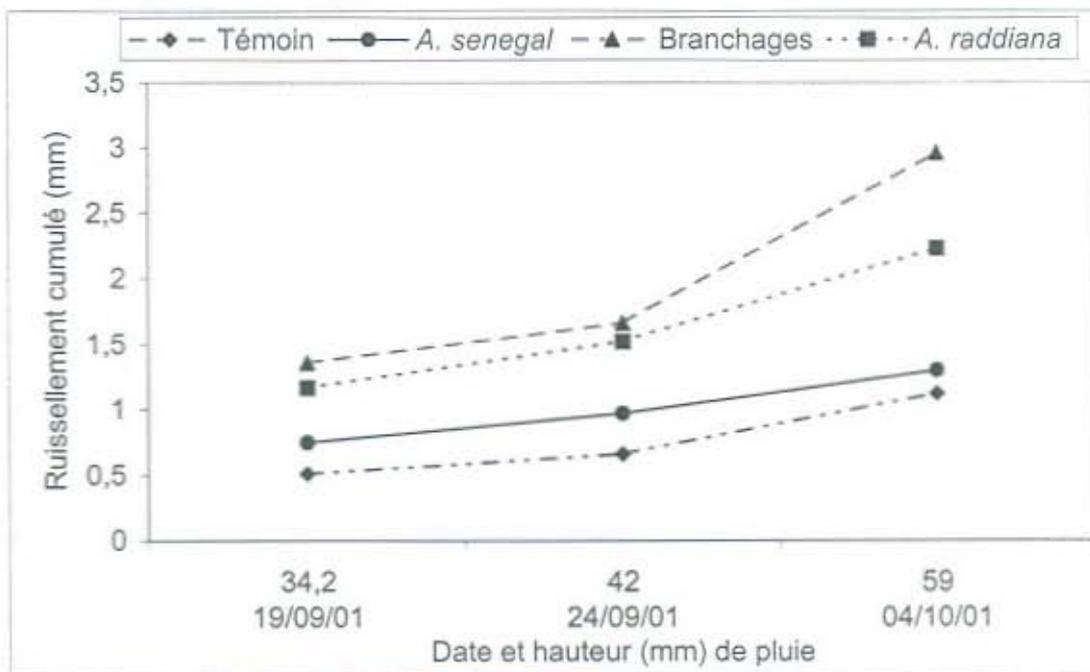


Figure 10 : Ruissellement cumulé en fonction des pluies cumulées

Les courbes cumulées sont bien distinctes les unes des autres. Leurs positions les unes par rapport aux autres se sont maintenues de la première à la dernière pluie. Cependant, la variation du ruissellement en fonction du traitement n'est pas stable d'une pluie à l'autre (cf. figure 11).

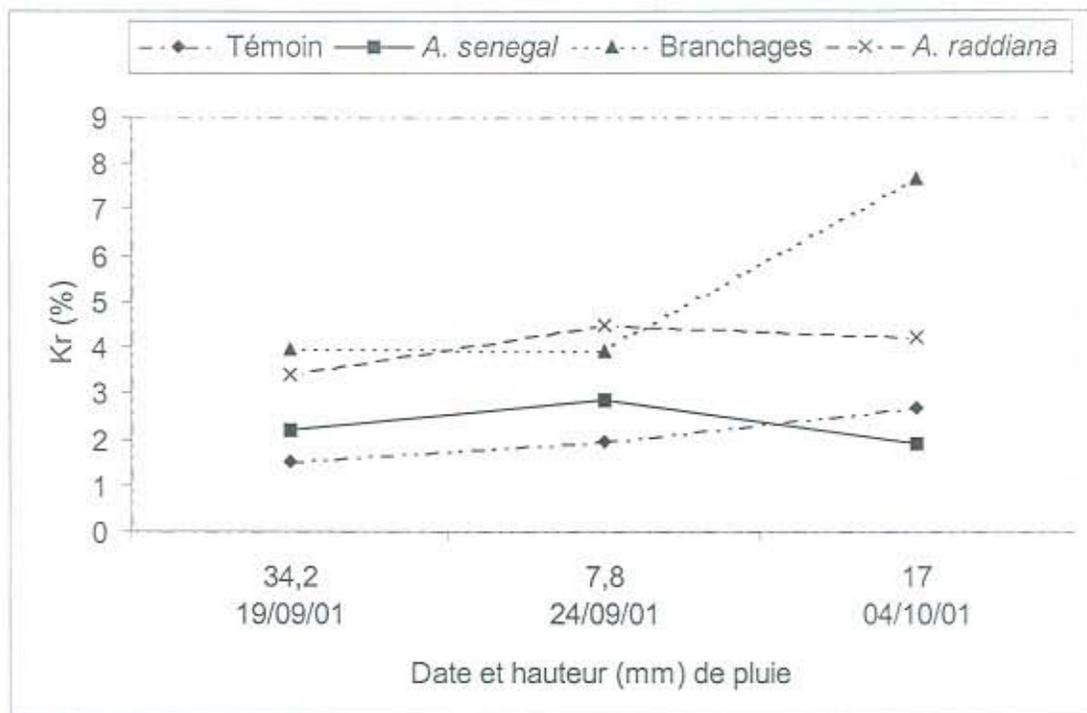


Figure 11 : Ruissellement en fonction des pluies élémentaires

Aucun ruissellement maximal dans la parcelle à branchages (T2) n'a été observé lors de la pluie de plus grande hauteur, qui a donné les plus faibles coefficients de ruissellement dans la parcelle à *Acacia raddiana* (T3) et dans la parcelle témoin (T0). La pluie de faible hauteur a donné les plus forts coefficients de ruissellement en T3 et T1 (parcelle à *Acacia senegal*), et le ruissellement minimal en T2. La dernière averse a donné le ruissellement le plus faible en T1 et ceux les plus forts en T0 et T2.

3.3.2. Erosion

3.3.2.1. Pertes quantitatives en terres

Le tableau 18 montre les quantités de terres érodées par les trois pluies pour les différents traitements.

Tableau 18 : Pertes en terres (kg /ha) selon le traitement

Témoin (T0)	<i>Acacia senegal</i> (T1)	Branchages (T2)	<i>Acacia raddiana</i> (T3)
1267,6	1410,6	872	1121

Les parcelles de branchages et d'*Acacia raddiana* ont réduit respectivement l'érosion de 8% et 3% par rapport au témoin, tandis que le traitement d'*Acacia senegal* l'a augmentée de 3%. La

figure 12 montre ces écarts d'érosion. Il montre également que la réaction l'un par rapport à l'autre des traitements T3 et T0 à l'érosion ne se conserve pas pour une seule pluie.

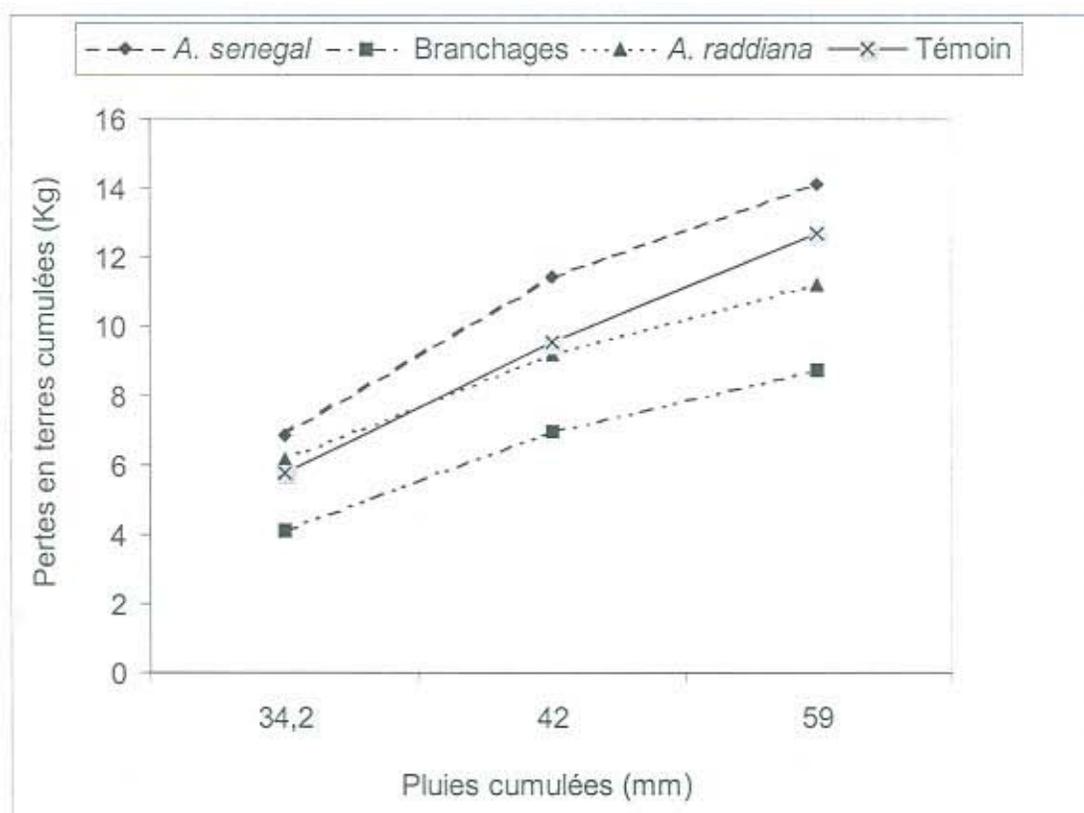


Figure 12 : Pertes en terres cumulées en fonction des pluies cumulées

Les terres érodées sont essentiellement constituées de terre de fond (96,6%). La fraction fine ou suspension (3,4%) est sensiblement la même pour tous les traitements (cf. tableau 19).

Tableau 19 : Perte en terre de fond et terre fine en fonction du traitement

	Témoin		<i>Acacia senegal</i>		Branchages		<i>Acacia raddiana</i>	
	kg/100m ²	%	kg/100m ²	%	kg/100m ²	%	kg/100m ²	%
Terre de fond	12.28	96.88	13.73	97.33	8.28	94.95	10.83	96.61
Terre fine	0.396	3.12	0.376	2.67	0.44	5.05	0.38	3.39

L'érosion a été décroissante avec le temps au cours de ces trois pluies dans tous les traitements (figure 13). Cette figure montre que comme pour le ruissellement, réaction des traitements les uns par rapport aux autres vis à vis de l'érosion n'est pas stable d'une pluie à l'autre.

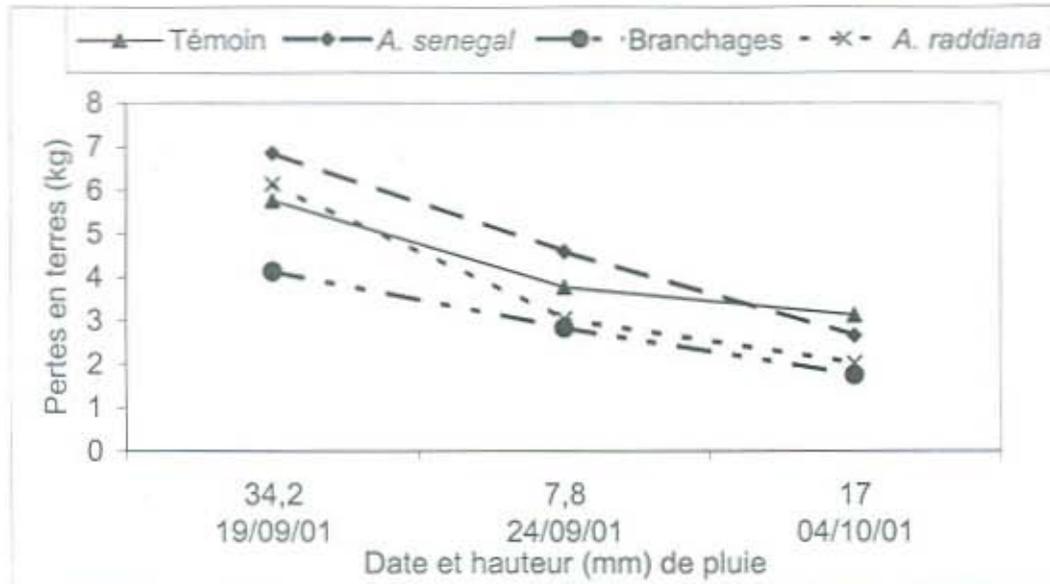


Figure 13 : Pertes en terres en fonction des pluies élémentaires

3.3.2.2. La qualité chimique des terres érodées

3.3.2.2.1. La qualité des terres érodées dans un même traitement.

Dans un même traitement, et pour l'ensemble des traitements, la grande partie de la fertilité (richesse en matière organique et N, P, K) est contenue dans la terre fine quelle que soit la pluie élémentaire. Les teneurs des éléments analysés sont très variables au niveau de la terre fine (ou suspension) et les derniers échantillons présentent les teneurs les plus élevées. Les teneurs en potassium disponible et en phosphore assimilable se situent très loin en dessous des valeurs totales.

3.3.2.2.2. Comparaison de la qualité des terres érodées dans les différents traitements

a. Qualité de la terre de fond

Les qualités des terres de fond des différents traitements sont comparées dans le tableau suivant.

Tableau 20 : Teneurs moyennes en matière organique et éléments nutritifs des terres de fond

	MO (%)	N total (g/kg)	P total (mg/kg)	P ass (mg/kg)	K total (mg/kg)	K dispo (mg/kg)	C/N
Témoin (T0)	0,26	0,15	89	2,62	226	29,94	9,9
<i>Acacia senegal</i> (T1)	0,16	0,15	85	2,37	204	23,82	6,21
Branchages (T2)	0,17	0,15	101	2,57	222	25,18	6,72
<i>Acacia raddiana</i> (T3)	0,14	0,17	94	2,37	213	22,97	4,94

Les terres érodées en T0 ont la plus forte teneur en matière organique. Pour l'azote, le phosphore et le potassium, il existe peu ou pas de différences entre les traitements. Pour tous les traitements, les teneurs en matière organique, azote et phosphore sont relativement faibles.

b. Qualité de la terre la terre fine

Le tableau 21 qui compare teneurs moyennes en matière organique et en nutriments des différents traitements permet de ressortir les informations suivantes :

Tableau 21 : Teneurs moyennes en matière organique et éléments nutritifs des terres fines

	MO(%)	N total (g/kg)	P total (mg/kg)	P ass (mg/kg)	K total (mg/kg)	K dispo (mg/kg)	C/N
Témoin	1,49	0,98	160	8,11	555	64,31	8,81
<i>Acacia senegal</i>	1,06	0,49	114	3,62	370	43,90	12,70
Branchages	1,76	0,85	144	4,91	512	49,34	12,08
<i>Acacia raddiana</i>	1,12	0,55	117	4,32	393	38,11	11,85

La parcelle à branchages (T2) a la plus forte teneur en matière organique. Par contre c'est dans le témoin que les teneurs en éléments nutritifs sont les plus fortes mais ces teneurs ne sont pas très loin de celles du traitement T2 comme elles le sont pour les autres traitements. Toutes les variables ont des teneurs très voisines pour les plantations d'*Acacia senegal* et d'*Acacia raddiana*. Les teneurs en matière organique sont moyennes pour les traitements témoin, d'*Acacia senegal* et d'*Acacia raddiana*.

c. Pertes totales en matière organique et nutriments

Les pertes totales (somme des pertes au niveau des deux fractions de terre) sont données par les figures 14 et 15.

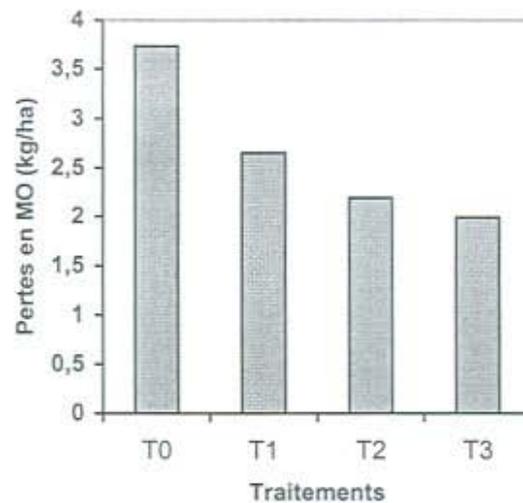


Figure 14 : Pertes totales en matière organique en fonction du traitement

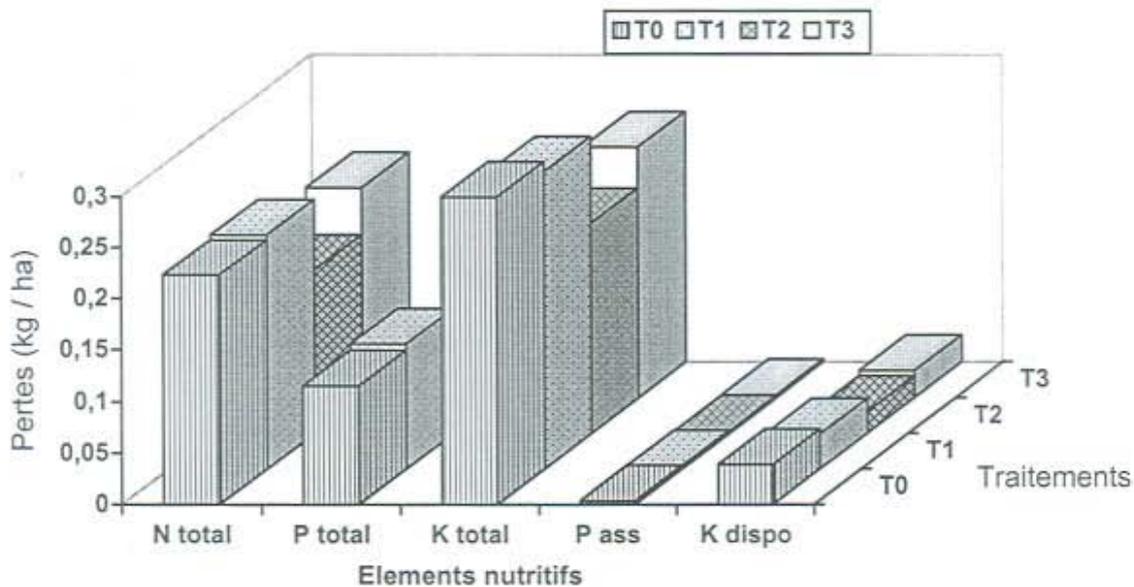


Figure 15 : Pertes totales en éléments nutritifs en fonction du traitement

Le traitement de branchages (T2) a enregistré les plus faibles pertes en nutriments. Il a perdu un peu plus de matière organique (0,19kg/ha) que la parcelle d'*Acacia raddiana* (T3). Ces deux parcelles ont subi des pertes voisines. La plus forte perte en matière organique a été enregistrée dans le témoin (T0), dont les pertes sont plus proches de celles de la parcelle à *Acacia senegal* (T1) que des autres traitements.

3.3.3. Discussion

La variation du ruissellement d'un traitement à l'autre proviendrait des états de surfaces et de leurs proportions. Des auteurs ont souligné l'importance des dépôts sableux et des couverts végétaux dans la réduction du ruissellement. Cependant, la parcelle de branchages, le plus couvert par les végétaux et les dépôts éoliens, a connu le plus fort ruissellement, tandis que la parcelle témoin avec les plus faibles couverts végétaux et taux de couverture par les dépôts éoliens a été remarquable par le plus faible ruissellement. La présence des croûtes de décantation dans les traitements T0, T1, et T3 qui illustre une stagnation des eaux, causerait ces différences de ruissellement par le stockage des eaux de pluie (cf. panche2).



A. TIEMTORE, 2001

Parcelle témoin (T0)



A. TIEMTORE, 2001

Parcelle à *Acacia senegal* (T1)

A. TIEMTORE, 2001

Parcelle à branchages (T2)



A. TIEMTORE, 2001

Parcelle à *Acacia raddiana* (T3)

Planche 2 : Stagnation d'eaux dans les zones à croûtes de décantation

En effet au cours des trois averses des quantités d'eau équivalentes aux coefficients de ruissellement suivants (tableau 22) ont été évaluées.

Tableau 22: Equivalents en coefficient de ruissellement des quantités d'eaux évaluées dans les croûtes Dec après les pluies

	Témoin	Acacia senegal	Branchages	Acacia raddiana
19/09/01	28,5	19,2	0	9,9
24/09/01	41	28	0	15,6
04/10/01	37,5	28	0	17,3

La réaction des parcelles les unes par rapport aux autres vis à vis du ruissellement n'a pas été la même pour les différentes pluies élémentaires. Des différences de degré d'attaque des parcelles par les termites avant les deux dernières pluies seraient la cause de cette variation de réaction. Cette action des termites aurait favorisé au cours des deux dernières pluies, beaucoup plus d'infiltration dans les parcelles de certains traitements. Ceci expliquerait la descente des courbes de ruissellement de ces traitements en dessous des courbes des autres traitements. L'augmentation de l'infiltration par l'action des termites a été montrée par Mando (1997) et Mando *et al.* (2001).

Les résultats actuels sont très différents de ceux des années antérieures (cf. tableau 23).

Tableau 23 : Evolution du ruissellement (%) dans les traitements de 1998 à 2001

Traitements Années	Témoin (T0)	Acacia senegal (T1)	Branchages (T2)	Acacia raddiana (T3)
1998	76,15	16,31	9,41	18,65
1999	93,53	40,97	15,20	61,17
2000	5,4	2,67	5,9	2,91
2001	1,1	2,2	5	3,8

Ce tableau montre des ruissellements faibles dans tous les traitements pour les dernières années. Ces baisses de ruissellement sont beaucoup plus marquées pour les traitements T0, T1 et T3 et seraient liées à l'augmentation des taux de couverture des parcelles par les dépôts éoliens, des couverts végétaux, et la naissance des états de surface Dec dans ces parcelles. En ce qui concerne particulièrement le traitement T2, les branchages installés depuis 1997 se sont complètement décomposés, réduisant ainsi la rugosité de surface. L'augmentation de son ruissellement par rapport au témoin est en accord avec les résultats de Ambouta *et al.* (2000) obtenu en deuxième année de mesure de ruissellement sur traitement de paillage.

Contrairement au ruissellement, la perte en terre la plus faible est enregistrée en T2. T1 qui était plus proche de T2 pour le ruissellement a enregistré la plus forte érosion. Comme pour le ruissellement l'action des termites expliquerait cette variation de l'érosion en fonction du

traitement; en attaquant les herbacées en décomposition ils rendraient facile le transport du produit de leur transformation par l'eau de ruissellement. Quant à la décroissance de l'érosion avec le temps elle serait causée par la fréquence des pluies, plus précisément l'humidité initiale du sol. Cette humidité aurait réduit l'éclatement des agrégats et par la même la détachabilité des particules du sol.

La part des suspensions dans les terres érodées a été en baisse par rapport à celle obtenue par Bassono et *al.* (1999). Ceux-ci avaient estimé 6,95 % de terre fine ; cette terre provenait de 12% des terres érodées en T0, 23% de celles de T1, 1.4% de celles de T2 et enfin de 3.5% de l'érosion en T3. Selon Roose (1967), Roose et Godefroy (1967), les grandes quantités de suspensions sont synonymes d'érosion en nappe. Cependant dans les parcelles de l'étude actuelle où de faibles quantités de suspensions ont été mesurées, une autre forme d'érosion hydrique n'a pas été observée. L'effet traitement serait alors à l'origine de ces quantités.

Enfin, le comportement des branchages et vis à vis de l'érosion est accord avec les résultats obtenu par Bassono et *al.* (1999), Thiombiano (2000). En tant que paillage, ce comportement est également en accord avec ceux obtenus par Zougmore et *al.* (1994), Ballif (1995), Roose et *al.* (1998), Ambouta et *al.* (2000). Rochette (1989) a montré que la conservation des branches au sol est un facteur de régénération du sol et de la végétation.

En ce qui concerne la qualité des terres érodées, la plus grande richesse de la terre fine par rapport à la terre de fond est en accord avec les résultats de Valentin (1994).

Les teneurs des différents éléments analysés chimiquement ont été variables d'un échantillon à l'autre ; cela serait en liaison avec l'évolution de ces éléments dans le recyclage de la matière organique. Cette évolution se traduirait par les différences de rapport C/N.

Les derniers échantillons (surtout ceux de terre fine) se sont caractérisées par de fortes teneurs en matière organique et éléments nutritifs. A l'origine de ces teneurs se trouverait la décomposition des herbacées en fin de cycle par les termites au cours du temps qui s'est écoulé entre l'avant dernière et la dernière pluie. Il y a eu non seulement augmentation des teneurs dans le sol, mais aussi réduction du nombre d'utilisateurs de cette fertilité.

Les terres érodées dans le témoin et dans la parcelle de branchages ont été les plus riches en matière organique et en nutriments. Les sources de la matière organique et des nutriments et leur utilisation dans chaque traitement semblent être les facteurs de différenciation des teneurs. En effet la matière organique et les nutriments présents dans les parcelles ont deux sources certaines : les aérosols qui sont des matériaux allochtones et la décomposition des végétaux qui se trouvent même dans les parcelles. Il va s'en dire que la parcelle de branchages caractérisée par les plus forts couverts végétaux et accumulations de dépôts éoliens s'enrichit le plus. Les nutriments sont utilisés

par deux types de végétaux dans les parcelles : les ligneux et les herbacées. L'utilisation par les ligneux est continue tout au long de la saison ; tandis que celle par les herbacées est discontinue, car quasi-inexistante en saison sèche. Ainsi dans les parcelles de plantation, les richesses du sol seraient plus utilisées grâce à la présence de ligneux plantés et non plantés et d'herbacées.

En somme, si dans la parcelle de branchages la fertilité est due au fait que le milieu s'est enrichi de sorte à ne pouvoir la protéger contre l'érosion, dans la parcelle témoin elle est due au fait qu'elle est très peu utilisée.

La variation des pertes totales en fonction du traitement est semblable à celle de 1998 obtenue par Bassono et al., (1999).

3.3.4. Conclusion partielle

Ruissellement, érosion et qualité des terres érodées ont connu une variation dans le temps et dans l'espace dans le dispositif de réhabilitation des sols. C'est dans le témoin que le faible coefficients de ruissellement a été mesuré ; le plus fort a été estimé dans la parcelle à branchages. Cette parcelle a été la moins érodées, et celle d'*Acacia senegal* la plus érodées. Les croûtes de décantation, résultats de la sédimentation à la suite de la stagnation de l'eau du fait de la microtopographie créée par les accumulations de matériaux éoliens, sont intéressantes pour la réduction du ruissellement, donc de l'érosion. Mais du point de vue agronomique, la productivité de cet état de surface est négligeable. Les pertes totales en matière organique et en nutriments sont faibles dans la parcelle de branchages, mais ne sont pas très différentes de celles de la parcelle à *Acacia raddiana*. Les plus grandes pertes ont été enregistrées dans le témoin et dans la parcelle à *Acacia senegal*.



IV. Interrelation érosion hydrique / érosion éolienne

4.1. Flux de matériaux éoliens au cours des tempêtes

Les tempêtes sont de violentes perturbations atmosphériques dépressionnaires sur terre ou sur mer, accompagnées de vents et de précipitations. Les flux de matériaux éoliens et l'érosion hydrique survenus au cours des tempêtes sur le site d'étude ont été collectées après les précipitations. Au cours de la saison 2001, les flux éoliens ont été estimés à un total 134 625 kg/ha pour onze (11) tempêtes; l'érosion hydrique n'a pu être évaluée que pour trois pluies. La figure 16 illustre les flux de matériaux éoliens et l'érosion hydrique de ces trois tempêtes dans le KATSOLS et dans les parcelles de réhabilitation des sols.

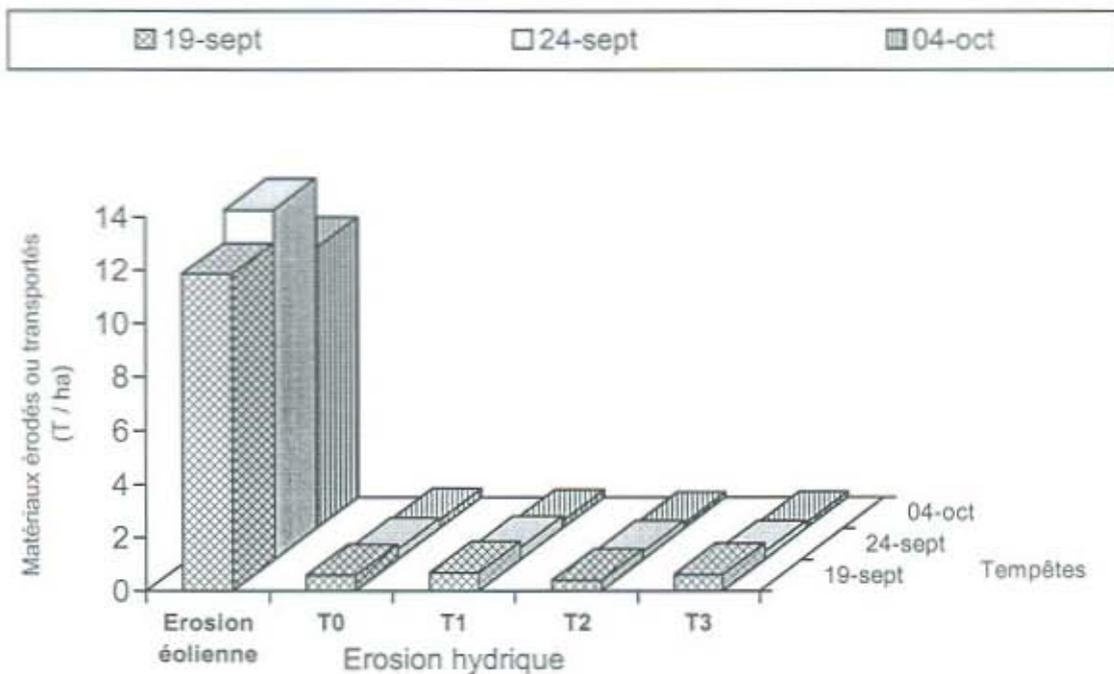


Figure 16 : Quantité de matériaux éoliens dans le KATSOLS et érosion hydrique dans le dispositif de réhabilitation des sols, au cours de trois tempêtes

L'analyse de cette figure montre une supériorité des flux de matériaux éoliens à l'érosion hydrique.

4.2. Flux de matériaux éoliens en dehors des tempêtes

En dehors des tempêtes, des flux éoliens sont également observés. Ils sont produits aussi bien en hivernage qu'en saison sèche. Ils se sont chiffrés pour la période de juillet 2001 à avril 2002 à 109,83 t/ha, dont 77,1 t/ha en hivernage et 32,73 t/ha en saison sèche. Il semble alors que ces pertes sont plus forte en saison pluvieuse.

4.3. Impact du dispositif de réhabilitation des sols

Dans le dispositif de réhabilitation des sols, deux processus contraires sont observés :

- des sorties de terres des parcelles ou pertes en terres ;
- des entrées de terres dans les parcelles ou dépôt de terres.

Les dépôts de terres sont d'origine éolienne et les pertes d'origine à la fois hydrique et éolienne. Il résulte finalement de ces processus une accumulation de matériaux éoliens dans les parcelles (cf. croûte de dépôts éoliens).

4.4. Discussion

Delhoume et *al.*, (1998) à travers la collecte d'aérosols dans le KATSOLS, et dans deux microbassins de piégeage où l'érosion hydrique a été également quantifiée avaient mis en évidence l'inter-relation entre les types d'érosion au Sahel. La présente étude a renforcé cette mise en évidence ; en plus elle a distingué l'érosion au cours des tempêtes de celle en dehors des tempêtes, et a fait le bilan entre pertes et dépôts de terres dans des espaces bien définis.

Dans les processus d'érosion, les matériaux pour être transportés doivent être au préalable désagrégés (Valentin, 1994). Ainsi, les particules de sol détachées par l'un des deux types d'érosion seraient exposées au transport par l'autre et vice-versa. De ce fait, au cours des 11 tempêtes, l'érosion éolienne a exposé au transport par le ruissellement 12,24 t/ha /tempête de particules libres. En dehors des tempêtes et au cours de la saison des pluies, elle lui aurait exposé 77,1 t/ha de particules ; en saison sèche (d'octobre à avril) 32,73 t/ha de particules libres attendraient les 1^{er} ruissellements de l'hivernage prochain. Pendant les trois dernières pluies, l'érosion hydrique dans le dispositif de réhabilitation des sols aurait mis à la disposition de la déflation une moyenne de 1,17 t / ha de particules libres si ces particules n'avaient pas été collectées.

Cependant, les zones de dépôts de ces matériaux sont le plus souvent caractérisées par une certaine rugosité qui pourrait limiter leur reprise par l'érosion. Aussi, les remobilisations de particules par le même type d'érosion que celui qui les avait déposées réduiraient-elles les stocks de particules mobilisables par l'autre type d'érosion. Ces mises en mouvement de matériaux de

terre, alternativement par le ruissellement et les vents, sont surtout observées dans les axes de drainage (ravines, rigoles..) et dans les croûtes de décantation.

La supériorité des flux éoliens à l'érosion hydrique aurait pour origine les sources des matériaux érodés et l'effet des traitements. Les aérosols ont des origines locales, régionales, voire mondiale. Quant aux terres érodées par l'eau, elles proviennent de la surface de 100 m². Aussi, l'effet traitement aurait-elle réduit l'érosion par rapport à ce qui se serait produit en milieu naturel.

Dans le dispositif de réhabilitation des sols, l'accumulation de dépôts éoliens est le résultat d'une supériorité des dépôts par rapport aux pertes en terres et dont l'origine est la source des matériaux ci-dessus évoquée. La contradiction de phénomènes qui s'y déroulent serait liée aux traitements. La dynamique des parcelles (évolution des états de surface et des végétaux) est soumise à cette contradiction. Ailleurs les deux types d'érosion peuvent avoir des effets synergiques. C'est le cas notamment dans les croûtes d'érosion qui subissent des balayages par les vents et les eaux ruissellement (Thiombiano, 2000).

4.5. Conclusion partielle

Les sols sahéliens subissent des érosions hydrique et éolienne dont les manifestations sont alternatives et parfois simultanées. Ces deux érosions conduisent à des pertes et ou à des accumulations de particules érodées au niveau de ces sols selon les conditions de milieu, entraînant leur enrichissement ou leur appauvrissement. Leur succession dans le temps accroît les pertes en terres ; car chacune d'elle met à la disposition l'une pour l'autre et vice-versa de particules de terres libres facilement transportables. La saison pluvieuse et plus particulièrement les tempêtes sont les périodes les plus érosives du fait de la présence à la fois des deux types d'érosion.

Vents et ruissellement agissent de façon plus ou moins synergiques selon l'état de la surface du sol.

La lutte contre l'érosion en zone sahélienne doit alors allier la lutte contre l'érosion hydrique et la lutte contre l'érosion éolienne.

Conclusion générale et perspectives

L'étude a permis de mettre en évidence l'impact de l'érosion et des trois mesures de récupération des terres sur les sols de la zone sahélienne.

L'érosion éolienne qui met en mouvement des centaines de tonnes / hectare de matériaux par an a connu une variation aussi bien annuelle qu'inter-annuelle, tant au niveau des périodes de déflations qu'au niveau des quantités de matériaux érodés. Sur le plan qualitatif, les matériaux transportés sont d'une faible richesse en matière organique, en azote, en phosphore et potassium. Ces éléments minéraux perdus par les sols est cependant importante pour des sols dégradés comme ceux sahéliens. A l'image des parcelles du dispositif de réhabilitation des sols dégradés, les zones d'accumulation des aérosols s'enrichissent en matière organique, en azote, en phosphore et en potassium, et ce au détriment des zones des zones sources.

Dans ce dispositif, les états de surface, la végétation, le ruissellement et l'érosion ont varié dans l'espace et dans le temps. Les dépôts éoliens y constituent le moteur d'évolution des états de surface. Le traitement de branchages s'est révélé très efficace pour la restauration du sol et de la végétation. Il améliore très rapidement les états de surface en piégeant de grandes quantités d'aérosols qui stimulent le développement de la végétation. Il améliore ainsi la résistance du sol à l'érosion. Les traitements d'*Acacia raddiana* et d'*Acacia senegal* se sont révélés également efficaces mais dans un temps plus long que la technique de branchages, et avec une légère avance de la première espèce sur la seconde. Sur le plan qualitatif, dans tous les traitements, les suspensions qui ont constitué une infime quantité des terres érodées ont été remarquables par leurs plus fortes teneurs en matière organique et en nutriments que la terre de fond. En somme, une association de la technique de branchages à celle de la plantation d'*Acacia raddiana* ou d'*Acacia senegal* serait alors l'idéal pour combiner les efficacités à court et long termes de ces traitements dans la réhabilitation des sols.

L'érosion hydrique et l'érosion éolienne se produisent simultanément et alternativement sur les sols en zone sahélienne, et remobilisent du même coup des matériaux érodés, ces deux processus mettant à la disposition l'un pour l'autre et vice-versa de matériaux (particules) libres, facilement transportables.

La création ou l'augmentation d'une rugosité de surface efficace pour le piégeage et l'accumulation des aérosols, et pour la réduction de l'impact de l'érosion est nécessaire pour la restauration et la protection sols en zone sahélienne.

A l'issue de cette étude les perspectives sont les suivantes :

- le KATSOLS, implanté avec son écran de piégeage face à la direction des vents dominants, ne capte pas les aérosols provenant de toutes les directions. La réalisation d'un KATSOLS de type rotatif pourrait combler cette insuffisance. Mais des travaux doivent être entrepris pour évaluer les possibilités de confection d'un tel dispositif.
- les branchages sont un moyen efficace à court terme pour la restauration du sol et de la végétation ; leur efficacité diminue dans le long terme, nécessitant ainsi leur réinstallation après une certaine période d'application pour le maintien de cette efficacité dans le temps. L'application de cette technique en zone sahélienne se heurte un à un facteur limitant. En effet, la disponibilité en ressources branchages est très faible au Sahel et rend impossible l'application de cette méthode à grande échelle. Les cordons pierreux qui peuvent se substituer à ces matériaux sont également difficiles à réaliser par absence de pierres dans la zone d'étude. La réalisation de bandes végétatives (ou bandes enherbées) à l'aide des herbacées pourrait être un palliatif du manque de branchages dans le court terme ;
- les plantations d'*Acacia raddiana* et d'*acacia senegal* sont des moyens efficaces à long terme pour la restauration du sol et de la végétation, avec une plus intéressante efficacité de la première espèce par rapport à la seconde. Mais la réussite de ces techniques est partiellement dépendante de la pluviométrie. Or le Sahel est une zone de sévères conditions climatiques. De ce fait, l'intégration de ces espèces dans les systèmes de gestion agro-sylvo-pastorale des terres leur permettrait de bénéficier de conditions favorables à leur épanouissement et donc à une plus grande réussite des techniques ;
- *Leptadenia hastata* est une espèce en expansion dans le site d'étude, qui couvre bien le sol, reste verte toutes les saisons, mais rejetée par les agropasteurs parce qu'elle aurait des effets négatifs sur la reproduction des petits ruminants (IN.E.R.A., 2000). L'orientation d'une recherche vers la compréhension des effets de cette espèce sur les animaux et vers la résolution des problèmes de fécondité serait la bien venue pour une valorisation de l'espèce dans la réhabilitation des sols ;
- aussi, une réalisation de la chimie des eaux de ruissellement est-elle une donnée utile pour faire le point les éléments organiques et minéraux perdus par les parcelles.

Références bibliographiques

Ambouta J-M., Moussa I. B., Ousmane S. D., 2000 - Réhabilitation de jachère dégradée par les techniques de paillage et de zaï au Sahel. In Floret Ch. et Pontanier R. - La jachère en Afrique tropicale. Rôles, Aménagement, Alternatives. Volume 1 : Actes du séminaire international. Dakar (Sénégal), 13-16 avril 1999. John Libbey Eurotext. Paris. pp 751-759.

Baboulé Z B., Ziem B. B. A., Roose E., 1995 – Impact de l'érosion sur la productivité végétale sur sols sableux en zone soudanienne du Nord Cameroun. Réseau érosion, bulletin 15 : 204-213.

Bakiono G., Casenave A., Delhoume J-P., Ganaba S., Gathelier R., Kabore O., Kiéma A., Ouedraogo K. D., Ribolzi O., Thiombiano L., 1999 - Caractérisation biophysique des sites de recherches du programme pour les zones en marges du désert (DMP) : bassin versant de KATCHARI. Rapport de synthèse. INERA, IRD. 69 p.

Ballif J-L. 1995 – Réduction de l'érosion hydrique d'un sol viticole champenois : conséquences des couvertures de composts urbains et d'écorces broyées, Dispositif de Moussy (51) ; 1985-1994. Réseau érosion, bulletin 15 : 437-448.

Bassono J. C. B., 2001 – Ruissellement, érosion et ses conséquences sur la qualité des sols sur quatre types de parcelles en zone sahélienne : Le cas de Katchari (région de Dori). Mémoire géographie/ UFR SH, Université de Ouagadougou. 102p.

Basson J.C., Bakyono G., Kabore O., Thiombiano L., Sant'anna R., 1999 - Evaluation de la perte de productivité des sols en zone sahélienne. Rapport de synthèse présenté à l'Atelier sous régional WASCOM sur l'impact de l'érosion sur la productivité des terres. Ouagadougou du 18/08/99 au 20/08/99. 10p.

Brandjes P., Dogen P. V., Veer A. V. D., 1995 – Engrais verts et autres formes d'amélioration du sol dans les pays tropicaux. CTA. Agromisa, serie Agrodok n°28, 4^{ème} édition. 52p.

Casenave A., 1998 - Dynamique des milieux de savane sèche au Burkina Faso : dégradation des systèmes écologiques et conséquences sur le cycle de l'eau. Analyse de la pluviométrie. Rapport préliminaire. ORSTOM. 30p + Annexes.

Casenave A., Delhoume J-P., Gathelier R., Ribolzi O. 1999 – Programme DMP : rapport de campagne 1998. IRD. Ouagadougou. 28p.

Casenave A., Valentin C., 1989 - Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration. Collections didactiques ORSTOM. Paris. 229p.

Chleq J-L., Dupriez H., 1986 – Métiers de l'eau du Sahel : eau et terre en fuite. Terre et vie, ENDA, L'harmattan. 125p.

Chevallier P., Claude J., Pouyaud B., Bernard A., 1985 – Pluies et crues au Sahel : hydrologie de la mare d'Oursi (Burkina Faso) 1976 – 1981. Travaux et documents de l'ORSTOM n° 190. 251p.

Cissé A., Touré I. A., 1991 - La conservation du milieu et des ressources naturelles au Sahel. Renforcement des capacités scientifiques des pays du Sahel dans le domaine Agro-sylvo-Pastoral. RCS – Sahel. Projet 509 / RAF/ 42. 139p.

Clark I., Abdourahamane K., Bertrand J-J., 1997 - Caractérisation des zones potentielles de déflation dans onze stations en Afrique au sud du Sahara. Note originale. *Sécheresse* 8 : 227-239.

Coudé – Gaussen G., 1992 – Les poussières éoliennes présentent –elles un risque pour la santé ? *Sécheresse* 4 (3) : 260-264.

Coudé – Gaussen G., 1994 – Erosion éolienne au Sahel et sécheresse. *Sécheresse* 5 : 199-210.

Delaite B., Pastor M., 1997 - Manuel des techniques de conservation des eaux et des sols (CES) au Sahel. CILSS, PRECONS. 345p.

Delhoume J. P., Thiombiano L., Bakiono G., Gathelier R., Kabore O., 1998 - L'interrelation érosion hydrique /érosion éolienne en milieu sahélien : Cas de la zone Nord du Burkina Faso. Poster, Symposium n°31. 16^{ème} Congrès Mondial de la science du sol. Montpellier, AISS. 7p.

Delville P L., 1996 - Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel : diagnostic et conseils aux paysans. Collection le point sur. GRET, CF, CTA . 397p.

Demolon A., 1938 – Principes d'agronomie. Tome 1 : la dynamique du sol. Dunod. Paris. 414p.

Fall D. R., Beye A., El Hadj Niang., 2000 – Mode, dynamique et état de dégradation des terres en Afrique de l'ouest : l'érosion éolienne au Sénégal. In Thiombiano L., De Blic P., Bationo A. - Gestion durable des sols en Afrique intertropicale. Actes du 1^{er} colloque international. Ouagadougou du 6 au 10 décembre 1993. CTA , IVC / CBF, IRD. pp 126-132.

Galabert J. Millogo E., 1972 - Indice d'érosion par la pluie en Haute-Volta : équation universelle des pertes de sols de Wischmeier : le facteur R en en Haute Volta, agressivité du climat due aux précipitations. CTF. Ouagadougou. 57p.

Gallien E., Le Bissonnais Y., Eimberck M., Benkadra H., Ligneau L., Ouvry J F., Martin P., 1995 - influence des couverts végétaux de jachère sur le ruissellement et l'érosion diffuse en sol cultivé. Réseau érosion, bulletin 15 : 437-448

Ganaba S., 1994 - Rôle des structures racinaires dans la dynamique du peuplement ligneux de la région de la mare d'Oursi (Burkina Faso) entre 1980 et 1992. Thèse de doctorat troisième cycle en biologie et écologie végétale. Université de Ouagadougou, Burkina Faso. 135 p + Annexes.

Ganaba S., Bognounou O., Ouabda J-M., 1996 – Ecologie et gestion des ressources naturelles en région sahélienne : description du milieu d'étude. Rapport technique n° 1. Projet gestion des terroirs, viabilité du ménage et migration au Sahel, CNRST / IRBET. 52 p.

Guinko S., 1984a – Les territoires phytogéographiques. In Guinko S. - Contribution à l'étude de la végétation et de la flore du Burkina Faso(ex Haute Volta). 12p.

Guinko S., 1984b – Végétation de la Haute volta. Thèse de Doctorat ès Science Naturelle. UFR Aménagement et Ressources naturelles, Université de Bordeaux 3 (France). 318p + Annexes.

Guinko S., 1991 – L'érosion éolienne et la végétation dans le nord du Burkina Faso. Université de Ouagadougou (Burkina Faso). Acta-biol-Benrodis 3 : 155-169.

INERA., 2000 – Bilan de dix années de recherche :1988-1998. CNRST, INERA, CTA. Ouagadougou (Burkina Faso). 115p.

INERA / FAO., 1999 – Etude de l'impact de l'érosion sur la productivité des terres dans le Sahel burkinabé. Rapport de synthèse 1997-1999. 14p + annexes

INSD., 1998 - Recensement général de la population et de l'habitation du Burkina Faso (du 10 au 20 décembre 1996) : Population résidente des départements, communes, arrondissements et provinces. Résultats définitifs. 46p.

Kieppe P., Ridder N., Stroosnijder L., De Graff J., Slingerland M., Hien F., 2001 – Soil and water conservation in sahelian villages . In Stroosnijder L. and Rheenen T. V. – Agro-silvo-pastoral land use in sahelian villages. IUSS, UISS, IBU. *Advances in geoecology* 33 : 237-254.

Leprun J. C., 1977 – Lutte contre l'aridité dans l'Oudalan (Haute Volta) : Rapport de la mission pédologique. ORSTOM, ACC, délégation à la recherche scientifique et technique. 19p.

Lindskog P. et Tengberg A., 1995 – Les causes physiques et humaines de l'érosion dans le Sahel : proposition d'un modèle. *Réseau érosion* ; 15 : 232-246.

Mando A., 1997 – The role of termites and mulch in the rehabilitation of crusted sahelian soil. *Tropical Resources Management Papers* 16. Wageningen Agricultural University. 101p

Mando A., Zougmore R., Zombré N P., Hien V., 2001 - Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne. In Floret Ch., Pontanier R. - La jachère en Afrique tropicale, Volume 2 : de la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances. John Libbey Eurotext, Paris. pp311-339

Maydell H. J. V., 1983 – Arbres et arbustes du Sahel : leurs caractéristiques et leurs utilisations. GTZ. Eschborn. 531p.

Mietton M., 1988 - Dynamique de l'interface lithosphère- atmosphère au Burkina Faso : l'érosion en zone de savane ; Volume 1. Thèse d'Etat en géographie. Université de Grenoble1 (France). 511p + carte.

Ministère de l'agriculture / Direction des statistiques agricoles, 2001 – Les cultures du Burkina Faso : production, rendement et superficie par culture de 1984 à 2000 (fichier Agristat3.1.xls).

Ministère des ressources animales / services des statistiques, 2001 - Les statistiques du secteur d'élevage au Burkina Faso. 86p.

Modi A. I., Lacaux J-P., Labroue L., Baudet J-G. R., 1995 - La chimie des aérosols et des pluies dans la savane semi-aride du Niger pendant la saison humide 1989. Etude originale. *Sécheresse* 6 :331-335.

Monnier Y., 1990 - La poussière et la centre : Paysages, dynamique des formations végétales et stratégies des sociétés en Afrique de l'ouest. Ministère de la coopération et du développement Agence culturelle et technique. 2^{ème} édition. Focal Coop. 262p.

- Morgan R. P. C., 1986** – Soil erosion and conservation. Longman scientific and technical. 298p.
- Niang D., 2000** – Variations saisonnières des propriétés hydrodynamiques des micro dunes de la zone sahéenne du Burkina Faso. Analyse sous plusieurs succions en utilisant un infiltromètre multidisques (TRIMS). Mémoires EIER. 70p + Annexes.
- Nignan I. J., 1982** - La lutte contre l'érosion (DRS / CES). Ministère du développement rural / Direction de l'hydraulique et équipement rural. 24p.
- Ouedraogo I., 2000** - Mission de recherche à Katchari (juin – octobre 2000). Rapport d'activités. INERA / CTIG. 7p.
- Piéri C., 1989** – La fertilité des terres de savanes : bilan de trente ans de recherches et de développement au Sud du sahara. CF, CIRAD. 444p.
- PSB / UNSO., 1992** - Guide de terrain pour les espèces indicatrices ou utiles. Version 1. 92p.
- Rajot J. L., 2000** - Bilan de masse de l'érosion éolienne à l'échelle d'un terroir sahéen : rôle des jachères. In Floret Ch., Pontanier R. - La jachère en Afrique tropicale. Volume 1 : rôle aménagement et alternatives. John Libbey Eurotext, Paris. pp 155-163.
- Rochette R. M., 1989** – Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expériences. Ouvrages collectif CILSS, PAC. Editions GTZ. 592p.
- Rognon P., Arrue J. L., Coude-Gaussen G., 1997** - Paramètres pédologiques intervenant dans l'érosion éolienne en régions sèches méditerranéennes. Synthèse. Sécheresse 8 : 227-239.
- Roose E. J., 1967** - Erosion, ruissellement et lessivage oblique sous une plantation d'hévéa en basse Côte d'Ivoire : 1- Milieu, dispositif et résultats en 1966. ORSTOM, IRCA . 46p.
- Roose E. 1977.**, Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest : vingt années de mesure en petites parcelle expérimentales. Travaux et documents de l'ORSTOM n°78. 108p.
- Roose E., 1981** - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matière sous végétations naturelles ou cultivées . Thèse Doctorat ès Sciences. Université d'Orléans. Travaux et documents de l'ORSTOM n°130. 569p.
- Roose E., 1983** - Ruissellement et érosion avant et après défrichement en fonction du type de culture en Afrique occidentale. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, Volume 20, n°4. Paris. pp 327-339.
- Roose E., 1987** – Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale. In Roose E. - Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens. Soil, crop and water management systems for rainfed agricultural in the soudano-sahelian zone. Niamey (Niger) 7 – 11 janvier 1987. Icrisat, Patancheru(IND). pp 52-72.
- Roose E., 1990**- L'érosion : un problème actuel d'équilibre du milieu aménagé - La GCES : une nouvelle stratégie pour résoudre ce problème de société. In Ministère de la coopération et du

développement (CF), CIRAD - Savanes d'Afrique, terres fertiles ? Actes des rencontres internationales. Montpellier 10 – 14 décembre 1990. Focal Coop. pp 584-585.

Roose E., Cavalié J., 1988 – Nouvelle stratégie de gestion conservatoire des eaux et des sols : GCES. Application en France et en Afrique occidentale. Communication à la 5^{ème} conférence internationale ISCOS. Bangkok 18-29/01/1998. 13p.

Roose E., Godefroy J., 1967 - Erosion ruissellement et drainage oblique sous une bananeraie de basse Côte d'Ivoire : Milieu, dispositif et résultats en 1966. ORTOM, IFAC. 72p.

Sanou S., 1995 – Etude des sols et de leurs potentialités pastorales au Sahel burkinabé : Cas de la zone de Katchari. Mémoires IDR. 74p + annexes.

Scoones I., Reij C., et Toulmin C., 1996 – Gestion des terres : Pratiques locales de conservation de l'eau et des sols en Afrique. In Scoones I., Reij C., et Toulmin C -Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. CTA, CDCS, KARTHALA. pp 11-48.

Sedogo E., 1999 – Effets de l'utilisation des gousses d'*Acacia raddiana* et du mode de conduite en pre-sevrage sur la croissance des agneaux. Mémoires IDR. 47p + Annexes.

Smolikowski B., Roose E., Lopez J-M., Querbes M., Querido A., Barry O., 1998 - Utilisation du paillage léger et de la haie vive dans la lutte contre l'érosion en semi-aride de montagne (Cap – Vert). Note originale. Sécheresse 9 (1) : 13-21.

Soltner D., 1986 – Les bases de la production végétale. Tome II : Le climat : Météorologie, Pédologie, Bioclimatologie. Editions sciences et techniques agricoles, série agronomie. 328p.

Somé S., 2000 – Cours de défense restauration des sols / conservation des eaux et des sols (DRS/CES). IDR. 22p + Annexes

Soubeiga W. J-P., 2000 - Etude technico-économique comparée de cinq rations d'embouche à base de gousses d'*Acacia raddiana savi*. Mémoires IDR. 57p + Annexes.

Sterk G. 1997 - Wind erosion in the sahelian zone of Niger- processes, models and Control techniques. Tropical Resources Management Papers 15. Wageningen Agricultural University. 151p.

Valentin C., 1994 - Sécheresse et érosion au Sahel. Sécheresse 5 : 191-198.

Thiombiano L., 2000 – Etude des facteurs édaphiques et pédopaysagiques dans le développement de la désertification en zone sahélienne du Burkina Faso. Thèse d'Etat (mention pédologie) UFR Sciences de la terre et des ressources minières - Université de Cocody, Abidjan, (Côte d'Ivoire) Volume 1. 209p.

Thiombiano L., 2000 – Etude des facteurs édaphiques et pédopaysagiques dans le développement de la désertification en zone sahélienne du Burkina Faso. Thèse d'Etat (mention pédologie) UFR Sciences de la terre et des ressources minières - Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire). Volume 2. Annexes.

Thiombiano L., Kaboré O., Bakiono G., Sant'Anna R., Assa R., Sedogo M., Bassono J. C., Ouédraogo I. – Utilisation des branchages pour la récupération des terres dégradées au Sahel. Fiches techniques. INERA. 2p.

Thiombiano L., Bakiono G., Kaboré O., Assa A., Sedogo M. 2001 – Utilisation du KATSOLS pour l'évaluation des pertes en sol liées à l'érosion éolienne. Fiche technique. INERA. 2p.

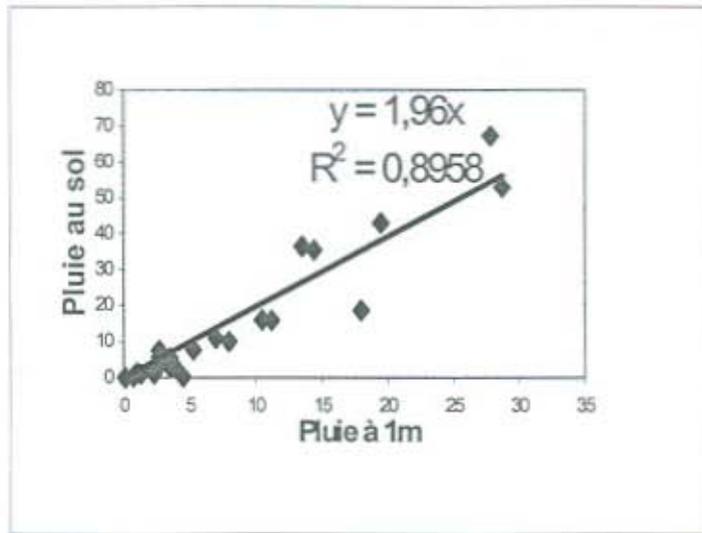
Zerbo L., 1993 - Caractérisation des stations de recherche agricoles : DI, KOUARE, KATCHARI. INERA. 106p + Annexes.

Zougmore R., 1991 - Contribution à l'étude du ruissellement et de l'érosion à la parcelle, influence des paramètres principaux précipitations, rugosité du sol, états de surface, humidité du sol en surface. Mémoire IDR. 89p + Annexes.

Zougmore R., Thiombiano L., Kambou N. F., 1994 - Etude du ruissellement, de la dégradation (désertisation) et des techniques de récupération des milieux dégradés. Rapport d'activités 1992-1993. Equipe CES. Commission du programme ESFIMA les 22-23 et 24 mars 1994 (documents présentés). INERA. Ouagadougou (Burkina Faso). 79p.

Annexes

Annexe 1 : Relation entre la pluie mesurée au sol (Psol) et celle mesurée à 1m (P1m).



Annexe 2 : Intensité pluviométrique

Date de pluie	Hauteur (mm)	Temps d'atteinte de I _{max} (mn)	I _{max} (mm/h)	Durée de pluie (mn)
20/6	6.2	65	12	148
21/6	7.3	27	18	57
23/6	10.1	5	78	92
02/7	31.4	5	120	193
04/7	10.1	10	36	40
10/7	8.8	5	24	100
15/7	2.7	5	24	45
20/7	5.1	2	135	10
25/7	30.6	7	54	265
04/8	14	10	30	227
15/8	42.6	15	156	210
19/8	54.1	8	180	221
20/8	40.4	8	132	66
28/7	7.5	10	66	22
2/9	13.7	10	24	260
19/9	34.2	7	114	243
24/9	7.8	-	-	-
04/10	17	-	-	-

- non mesuré

Annexe 3: Flux de masse des aérosols en fonction du mois

Mois	T/ha/mois	T/ha/j
Juillet	27.150	2.468
Août	77.000	2.483
Septembre	97.100	3.237
Octobre	12.135	0.391
Novembre	0.515	0.019
Décembre	0.758	0.024
Janvier	1.055	0.034
Février	0.272	0.010
Mars	0.363	0.012
Avril	28.050	2.157

Annexe 4 : Qualité chimique des aérosols (Thiombiano, 2000)

MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (ppm)
1,09	0,012	0,012	33,5

Source : Thiombiano 2000

Annexe 5 : Ensablement des parcelles

Annexe 5a : Ensablement vertical (cm)

Date	T0	T1	T2	T3
10/09/01	12,47	15,00	15,82	14,35
05/10/01	14,05	15,20	16,83	14,48
04/01/02	14,27	16,07	16,73	14,97
28/02/02	14,02	16,05	16,65	14,67
25/03/02	13,09	15,68	16,47	14,52

Annexe 5b : Ensablement latéral (m²)

Date	T0	T1	T2	T3
10/09/01	73,62	89,04	100	93,12
05/10/01	73,11	89,85	100	93,81
04/01/02	73,19	88,78	100	93,74
28/02/02	70,97	87,78	100	93,08
25/03/02	71,41	87,13	100	93,15

MENTION ASSEZ BIEN

Annexe 6 : Fiche d'évaluation de la couverture herbacée : exemple d'application dans la parcelle de branchages

SEGMENTS NUS (cm)	Lignes de mesure										
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	L
	13	8	10	5	8	50	10	9	10	8	16
	8	9	13	12	13	6	10	14	8	7	35
	11	7	7	14	7	48	20	14	8	29	58
	18		10	7	11	16	23	10	24	13	12
	15			9	9	19	12	9	12	106	20
				11				20	13	33	14
				10					19	36	18
									10	9	14
									10	26	10
									8	10	20
								16		13	
								13		11	
								12		12	
SOMME	65	24	40	68	48	139	75	76	163	277	253

l = ligne dans le sens de la largeur

L = ligne dans le sens de la longueur

Annexe 7 : Inventaire des plantations (mois de septembre)

Numéro du pied	<i>Acacia raddiana</i> (T3)			<i>Acacia senegal</i> (T1)		
	Longueur du houppier (Lh)	Largeur du houppier (lh)	Hauteur du pied (H)	Longueur du houppier (Lh)	Largeur du houppier (lh)	Hauteur du pied (H)
1				26	15	10
2						
3						
4	88	85	27,5			
5				38	15	22
6				30	22	10
7				60	50	34
8				25	22	13
9	37	34	25			
10	80	60	50			
11	49	17	20			
12	97	80	41	45	40	20
13	85	70	43	22	17	16
14				20	12	7
15	84	56	47	7	5	7
16	90	83	52			
17	86	73	27,5	18	12	9
18	85	50	45	27	20	11,5
19	160	116	95	11	5	9
20	110	110	66	18	12	12
21	56	50	37,5	57	50	17
22	55	42	25	41	30	15
23	110	99	56	40	27	18
24	124	90	142			
25	145	120	80	60	40	41
26	63	50	40			
27	49	43	21	62	30	28,5
28	17	13	20,5			
29	99	90	79	28	7	18
30	70	48	47	40	30	20

Annexe 9 : Composition floristique de la parcelle d'évaluation de biomasse

Espèces	%
<i>Cenchrus biflorus</i>	44,4
<i>Schoenefeldia gracilis</i>	13,0
<i>Aristida adscensionis</i>	13,2
<i>Digitaria horizontalis</i>	3,2
<i>Panicum laetum</i>	1,4
<i>Borreria radiata</i>	24,2
<i>Indigofera sp</i>	0,3
<i>Eragrostris tremula</i>	0,3

Annexe 10: Ruissellement en fonction des pluies élémentaires

Date	Pluie (mm)	T0	T1	T2	T3
19/09	34,2	0,51	0,75	1,36	1,17
24/09	7,8	0,15	0,22	,31	0,35
04/10	17	0,46	0,32	1,30	0,71

Annexe 11: Volume (dm³) d'eau mesuré dans les croûtes DEC

Date de pluie	T0	T1	T2	T3
19/09/01	320	218,4	0	121,68
24/09/01	975	657,72	0	338,91
04/10/01	637,5	486,2	0	29,00

Annexe 12 : Pertes en terres (kg/100m²) en fonction des pluies élémentaires

Date de pluie	T0		T1		T2		T3	
	TF	tf	TF	tf	TF	tf	TF	tf
19/09/01	5,66	0,112	6,66	0,192	3,96	0,166	5,96	0,185
24-sept	3,56	0,214	4,46	0,132	2,76	0,073	2,96	0,08
04/10/01	3,06	0,07	2,61	0,052	1,56	0,201	1,91	0,115
Total	12,28	0,396	13,73	0,376	8,28	0,44	10,83	0,38

TF = terre de fond ; tf = terre fine ou suspension

Annexe 13 : Chimie des terres érodées par l'eau

Fractions de terre	Date de pluie	N° éch.	C-total (g/kg)	M.O (%)	N-total (g-N/kg)	C/N	P-total (mg-P/kg)	K-total (mg-K/kg)	K-dispo (mg-K/kg)	Pas (mg-P/kg)
Traitements témoin (T0)										
Terre de fond (TF)	19/09/01	16	1,25	0,22	0,16	7,6	90	164	22,46	1,52
	24/09/01	24	1,49	0,26	0,15	10,2	129	283	35,22	3,02
	04/10/01	32	1,71	0,29	0,14	12,2	47	230	32,16	3,32
Terre fine (tf)	19/09/01	20	4,74	0,82	0,46	10,3	161	364	51,55	3,77
	24/09/01	28	2,98	0,51	0,22	13,7	63	256	30,62	4,07
	04/10/01	36	18,13	3,13	2,256	8,0	255	1045	110,76	16,48
Traitement d'<i>Acacia senegal</i> (T1)										
Terre de fond (TF)	19/09/01	15	0,78	0,13	0,07	10,5	96	213	26,54	1,52
	24/09/01	23	0,91	0,16	0,17	5,3	96	185	23,48	2,57
	04/10/01	31	1,16	0,20	0,21	5,4	63	214	21,44	3,02
Terre fine (tf)	19/09/01	19	5,19	0,89	0,38	13,5	140	319	35,22	3,92
	24/09/01	27	2,36	0,41	0,20	11,7	85	243	28,07	2,72
	04/10/01	35	10,98	1,89	0,871	12,6	118	547	68,39	4,21

Annexe n°13a : suite

Fractions de terre	Date de pluie	N° éch.	C-total (g/kg)	M.O (%)	N-total (g-N/kg)	C/N	P-total (mg-P/kg)	K-total (mg-K/kg)	K-dispo (mg-K/kg)	Pas (mg-P/kg)
Traitement de branchages(T2)										
Terre de fond (TF)	19/09/01	13	0,93	0,16	0,07	12,5	132	237	17,86	1,67
	24/09/01	21	1,01	0,17	0,20	5,1	118	223	23,99	2,57
	04/10/01	29	1,04	0,18	0,17	6,1	52	204	33,69	3,47
Terre fine (tf)	19/09/01	17	1,99	0,34	0,16	12,2	126	310	28,07	2,12
	24/09/01	25	4,45	0,77	0,35	12,6	118	340	31,13	2,87
	04/10/01	33	24,25	4,18	2,022	12,0	190	885	88,81	9,75
Traitement d'<i>Acacia Raddiana</i>(T3)										
Terre de fond (TF)	19/09/01	14	0,82	0,14	0,23	3,5	102	225	18,89	1,67
	24/09/01	22	0,75	0,13	0,14	5,3	129	229	21,95	2,42
	04/10/01	30	0,95	0,16	0,14	7,0	52	185	28,07	3,02
Terre fine (tf)	19/09/01	18	2,13	0,37	0,20	10,6	138	315	27,56	3,02
	24/09/01	26	6,37	1,10	0,37	17,0	96	310	41,85	3,62
	04/10/01	34	10,91	1,88	1,061	10,3	117	555	44,92	6,31

Annexe 14 : Fréquentation du site

Annexe 14a:Fréquentation animale

2001	BOVINS	OVINS	ASINS	CAPRINS	CAMELINS
JANVIER	1200	690	0	1173	12
FÉVRIER	890	360	2	585	0
MARS	870	410	5	526	0
AVRIL	132	252	0	183	0
MAI	280	305	0	312	0
JUIN	390	530	10	905	0
JUILLET	480	532	0	850	0
AOÛT	845	1655	20	2405	0
SEPTEMBRE	1326	1257	14	2274	0
OCTOBRE	1554	1150	3	2710	0
NOVEMBRE	265	150	1	948	0
DÉCEMBRE	300	335	0	1440	0
2002					
JANVIER	140	54	3	136	3
FÉVRIER	296	132	0	131	0
MARS	411	215	0	329	0

Annexe 14 b : Fréquentation humaine

2001	NOM BRE	MOYENS DE DEPLACEMENT						
		cheval	dromadaire	âne	vélo	mobylette	charrette	ped
JANVIER	602	0	9	53	159	19	24	311
FÉVRIER	537	0	0	63	140	29	12	242
MARS	559	0	2	40	174	18	20	252
AVRIL	334	0	0	11	83	20	9	184
MAI	392	0	0	20	83	15	12	223
JUIN	360	0	1	22	116	12	1	153
JUILLET	229	0	0	14	78	7	8	98
AOÛT	265	0	0	21	60	7	14	131
SEPTEMBRE	481	0	0	18	143	14	10	277
OCTOBRE	734	1	0	10	248	44	14	378
NOVEMBRE	540	0	1	27	132	21	33	276
DÉCEMBRE	839	1	6	23	210	43	29	348
2002								
JANVIER	194	0	2	14	55	14	10	70
FÉVRIER	244	0	1	28	77	9	15	88
MARS	355	0	4	39	102	12	25	151

Annexe 15 : Dénomination locales des vents par les agropasteurs peulh

Vents	Période	Direction	Autres caractéristiques
-Doulourou (tourbillon)	Tout moment	Tout sens	-
-Doulourou (Djèdou)	Avril surtout		
-Mollourou -Tchèdou	Saison pluvieuse	Imprécise	Prévient l'arrivée de la pluie Frais et violent
-N'doungou -Hendougahadjè	Saison pluvieuse Juillet - août	Direction des nuages, Est- ouest.	Fort, chargé de poussières
			Fort, chaud, chargé de poussières
-Daboundè -Biffol daboundè	Pendant le froid Décembre à février	Est - ouest	Froid et calme
-N'jambè	Début de saison sèche	Est - ouest	Frais
-N'gttadjè	Début de saison pluvieuse	Est - ouest	Fort, parfois humide, chargé de sables

Source : Thiombiano 2000