

UNIVERSITÉ MONTPELLIER III - PAUL VALÉRY
Arts et Lettres, Langues et Sciences Humaines et Sociales
- Département de Géographie -

**DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ PAUL VALÉRY -
MONTPELLIER III**
Discipline : **Géographie**

THÈSE présentée et soutenue publiquement par
LOIREAU Maud

Titre :

**ESPACES - RESSOURCES - USAGES :
Spatialisation des interactions dynamiques entre les
systèmes sociaux et les systèmes écologiques
au Sahel nigérien**

Sous la direction de **A. SAUSSOL**

MEMBRES DU JURY :

A. SAUSSOL : Professeur, Université Paul Valéry, Montpellier (HDR)
P. USSELMAN : Directeur de Recherche, CNRS, U.P.V (HDR)
J.P. DELEAGE : Professeur, Université d'Orléans (HDR)
H. BERRON : Professeur, I.A.R Aix en Provence (HDR)
A.CORNET : Directeur de Recherche, IRD Montpellier
J.P. CHEYLAN : Directeur de Recherche, CNRS, U.P.V (HDR)
J.M. D'HERBES : Chercheur, IRD Montpellier

Date de soutenance : **12 décembre 1998**

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier les personnes suivantes qui m'ont aidée, chacun à leur manière, pour la réalisation de cette thèse :

- Monsieur le **Professeur A. Saussol**, directeur de thèse, qui a bien voulu accepter de suivre mon travail de recherche et d'en assurer la responsabilité au sein de l'Université Paul Valéry de Montpellier ;
- **Jean-Marc d'Herbes**, chercheur à l'IRD¹ qui m'a tout d'abord accueilli à l'IRD² (anciennement ORSTOM), Niamey dans le cadre d'un CDD d'un an, puis m'a proposé de continuer en thèse. Depuis 1993, nous avons toujours travaillé en étroite collaboration, que ce soit sur le terrain à Niamey ou à la Maison de la Télédétection en France. Il m'a apporté un encadrement scientifique et matériel sans lequel je n'aurais pas pu aboutir cette thèse.
- **Eric Delabre**, en thèse en écologie (Paris VI) sur la dynamique des systèmes post-cultureux. Nous avons souvent travaillé ensemble sur le terrain au Niger et certains de ses résultats ont permis d'alimenter notre modèle de fonctionnement d'utilisation de l'espace et des ressources. De plus, en tant qu'époux, il a toujours su être à mes côtés et m'encourager à poursuivre, avec une confiance en moi très rassurante et stimulante.
- **Olivier Gayte** et **Stéphane Loubier**, de l'IARE, pour leur contribution technique et conceptuelle à la réalisation du Système d'Information sur l'Environnement, rendue possible grâce au soutien de l'OSS.
- **Bernard Mougenot**, chercheur à l'IRD (CESBIO, Toulouse), qui m'a tout d'abord accueilli au laboratoire de télédétection à Niamey et, d'une manière générale, m'a apporté un soutien technique pour le traitement d'images satellitales.
- **Ichaou Aboubacar**, en thèse d'écologie (Université Paul Sabatier, laboratoire d'Ecologie Terrestre, Toulouse), avec qui une collaboration scientifique a été amorcée, en ce qui concerne la dynamique et la productivité des principales structures forestières de l'ouest du Niger.
- **Anneke De Row**, chercheur à l'IRD (agronome), avec qui une collaboration a aussi été amorcée, en ce qui concerne les systèmes agraires et leurs niveaux de production.
- L'ensemble des **techniciens nigériens** avec lesquels j'ai travaillé pendant 3 années sur le terrain. Une confiance réciproque s'était installée et dans l'ensemble, ils ont tous effectué des relevés de terrain pédestres et difficiles, avec efficacité et bonne humeur. Je nommerais tout particulièrement Soumana Karimou, avec lequel j'ai le plus travaillé, et qui a su créer une véritable amitié entre nous et avec les villageois.
- L'**ensemble des villageois** de la zone d'étude, qui ont bien voulu m'accepter et qui me permettent aujourd'hui d'avoir mes meilleurs souvenirs du Niger auprès d'eux. Je voudrais particulièrement remercier les chefs de villages de Banizoumbou, Karbanga, Tondikiboro et Tiguo Tégui.

De manière moins personnalisée, je voudrais remercier également l'ensemble de l'équipe **IRD** de Niamey et l'ensemble de l'équipe de l'antenne **IRD** de la **Maison de la Télédétection** (MTD) à Montpellier, pour leur soutien logistique et moral.

¹ Tous les sigles et abréviations sont repris dans une Liste des sigles et abréviations à la fin du document.

² L'ORSTOM est devenu l'IRD depuis le 5 novembre 1998.

AVANT-PROPOS

La réalisation de cette thèse concrétise une longue réflexion antérieure personnelle, en rapport avec la dimension spatiale des interactions entre les systèmes écologiques et les systèmes sociaux.

Les premières recherches ont porté sur la compréhension des systèmes d'organisations sociales des indiens quechuas en Bolivie, à partir d'enquêtes sur le terrain (stage de fin d'études de l'ISTOM : Institut Supérieur des Techniques d'Outre mer). Elles ont fait apparaître que chaque niveau d'organisation sociale correspondait à une emprise sur une portion de l'espace bien déterminée. Les travaux de recherche suivants ont porté sur la détermination des unités paysagères sur une zone agro-pastorale au Sahel nigérien, à partir de transects cartographiques et de traitements d'images satellitales (DEA, Université Paul Valéry).

Lors de la première approche, il est apparu très clairement que la localisation et l'agencement des unités spatiales d'organisation sociales, étaient en relation étroite avec la production et la localisation des ressources naturelles exploitées par la population pour satisfaire ses besoins. Réciproquement, lors de la deuxième démarche, la compréhension de la distribution des ressources dans l'espace était étroitement liée à l'utilisation passée et actuelle de ces ressources par les populations, à leur organisation sociale, familiale et villageoise principalement.

Ces deux premières approches ont ainsi conduit à une réflexion globale sur la spatialisation des interactions entre systèmes écologiques et socio-économiques ; le paysage étant considéré comme la résultante observable de ces interactions. Cette réflexion nous a amené en particulier à nous concentrer sur l'expression ultime du fonctionnement des systèmes interactifs, c'est à dire, d'une part les ressources produites par les systèmes écologiques et d'autre part, les pratiques induites par l'utilisation du milieu par les sociétés. C'est à travers la spatialisation des relations ressources-usages qu'il paraissait possible de prendre en compte la part des facteurs anthropiques et écologiques dans la structure et la dynamique d'un paysage.

Cette réflexion globale s'insère dans le programme de recherche de Jean-Marc d'Herbes sur la « Dynamique des paysages » à l'IRD (Institut Français de Recherche pour le Développement) et s'est donc concrétisée par une thèse, réalisée à l'IRD : au Niger dans un premier temps (3 années de terrain) puis à Montpellier dans un deuxième temps, à la Maison de la télédétection (MTD). Plusieurs programmes internationaux ont également apporté leur appui scientifique et financier tout au long de l'évolution des travaux de recherche : SALT (Savanes à Long Terme ; coordinateurs : J.C. Menaut et C. Valentin) du PIGB (Programme International Géosphère Biosphère) et "Jachères" en Afrique de l'Ouest (Programme régional africain ; coordinateur : C. Floret).

Cette étude a trouvé, depuis 1996, une insertion naturelle dans le programme ROSELT (Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme) de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS). Le site de Banizoumbou, zone d'étude de la thèse, constitue l'un des observatoires pilotes de ROSELT. Ce dernier est le premier réseau en Afrique qui organise un suivi scientifique et statistique de l'environnement permettant d'une part, de caractériser les causes et les effets de la désertification des terres et, d'autre part, de mieux comprendre les mécanismes qui conduisent à ce phénomène. C'est un dispositif régional (29 observatoires labellisés dans 12 pays circum-sahéliens) visant à fournir des données fiables sur la dégradation des terres de zone aride et des indicateurs biophysiques et socio-économiques pertinents de la désertification, et un état de l'environnement de la zone OSS.

Cette insertion dans le programme ROSELT s'est concrétisée par une collaboration effective, rendue possible grâce au soutien de l'OSS, avec O. Gayte, informaticien à l'IARE (*Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement*) puis à ESRI-France, avec la mise au point progressive d'un Système d'Information sur l'Environnement (SIE), fondée sur un dialogue permanent entre thématicien et informaticien (Gayte, Libourel et al, 1997).

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
AVANT-PROPOS	5
SOMMAIRE	7
PREMIÈRE PARTIE (INTRODUCTION) : UNE MEILLEURE COMPREHENSION DE LA DYNAMIQUE DES INTERACTIONS MILIEUX-SOCIETES POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE	11
Chapitre 1 : DU DEVELOPPEMENT DURABLE A LA DIALECTIQUE RESSOURCES-USAGES	13
1.1. Le développement durable à l'ordre du jour	13
1.2. La Désertification : influence du climat et de l'homme ?	15
1.3. Un nouveau besoin de connaissance sur la dynamique interactive systèmes biophysiques (ressources) / systèmes socio-économiques (usages).....	18
Chapitre 2 : DE LA DIALECTIQUE RESSOURCES-USAGES A UNE APPROCHE SPATIALE POUR L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE DU FONCTIONNEMENT INTERACTIF MILIEUX-SOCIETES	21
2.1. Démarche globale pour l'étude de la dynamique des paysages : Espaces, Ressources, Usages	21
2.2. Une problématique géographique	26
2.3. Un Système d'Information sur l'Environnement	28
DEUXIÈME PARTIE : UNE APPROCHE GEOGRAPHIQUE INNOVANTE DE L'ENVIRONNEMENT SAHELIEEN	31
Chapitre 3 : LES MILIEUX SAHELIEENS, VARIABILITE ET FRAGILITE	33
3.1. Le Sahel : une zone éoclimatique à part entière ?	33
3.2. Un contexte biophysique spécifique contraignant	35
3.3. Les sociétés sahéniennes : adaptation à un contexte biophysique contraignant.....	38
3.4. Un contexte politico-économique défavorable	41
Chapitre 4 : APPROCHE REGIONALE (Zarmatary) ET LOCALE (Banizoumbou) D'UNE ZONE AGRO-PASTORALE AU NIGER.....	49
4.1. Pourquoi Banizoumbou ?	49
4.2. L'occupation progressive de l'espace par l'homme sur l'ensemble du site	51
4.3. Les sociétés actuelles.....	74
4.4. Le milieu biophysique et les grandes structures du paysage.....	80
Chapitre 5 : DES METHODES D'INTEGRATION DISCIPLINAIRE, UNE APPROCHE GEOGRAPHIQUE SYSTÉMIQUE.....	85
5.1. Structure du système d'information sur les interrelations milieux- sociétés	85
5.2. Les Unités Spatiales de Référence : définition appliquée à notre zone d'étude.....	91
5.3. Principes d'échantillonnages et de recueil des données.....	95
5.4. Un Système d'Information sur l'Environnement au niveau local.....	97
TROISIÈME PARTIE : FONCTIONNEMENT SPATIAL AGRICOLE D'UNE PETITE REGION SAHELIEENNE AU NIGER	105
PREAMBULE	106

Chapitre 6 : L'AGRICULTURE PLUVIALE, STRATEGIES PAYSANNES ET POLITIQUES DE DEVELOPPEMENT	107
6.1 Problématique agricole	107
6.2. Des méthodes spécifiques pour la spatialisation des pratiques agricoles et l'étude du fonctionnement des systèmes agraires	111
6.3. Les facteurs de production pour une agriculture pluviale extensive	117
6.4. Un itinéraire technique et des stratégies associées pour augmenter l'espérance de récolte d'une année donnée	123
6.5. Un système de culture extensif et des pratiques culturales, pour une gestion traditionnelle du risque (échelle de la décennie)	128
Chapitre 7 : MODELE SPATIAL DU FONCTIONNEMENT AGRICOLE	143
7.1. Principes généraux et démarche globale	143
7.2. Une typologie des pratiques culturales	144
7.3. La carte des qualités des sols	151
7.4. Nature des relations entre les paramètres déterminants de la distribution spatiale des pratiques.....	154
7.5. Conception et mise en oeuvre du modèle d'utilisation agricole de l'espace	160
7.6. Les terroirs modélisés.....	163
7.7. Paramétrisation du modèle spatial d'utilisation agricole.....	167
QUATRIÈME PARTIE : UNE NOUVELLE STRUCTURATION DE L'ESPACE POUR UNE INTEGRATION DES USAGES MULTIPLES.....	179
PREAMBULE	180
Chapitre 8 : LES UNITES DE PRATIQUES HOMOGENES (U.P.H)	181
8.1. Les cartes des Unités de Pratiques Homogènes (U.P.H).....	181
8.2. Validations et limites du modèle.....	188
Chapitre 9 : LES UNITES PAYSAGERES (U.P).....	191
9.1. Détermination des Unités Paysagères (UP).....	191
9.2. La carte des Unités Paysagères (U.P).....	199
9.3. Biomasses herbacée et ligneuse sur les différentes Unités Paysagères	202
Chapitre 10 : LES UNITES SPATIALES DE REFERENCE (U.S.R).....	209
10.1. Carte des Unités Spatiales des références (U.S.R).....	209
10.2. Les attributs des USR.....	213
10.3. Bilan de l'activité agricole sur la sensibilité des sols à la dégradation	215
CINQUIÈME PARTIE : BILAN SPATIALISE DU MULTI-USAGE SUR UN ESPACE COMMUN	223
PREAMBULE	224
Chapitre 11 : MODELISATION SPATIALE DU FONCTIONNEMENT PASTORAL.....	227
11.1. Problématique pastorale	227
11.2. Méthodes de détermination spatiale des prélèvements pastoraux.....	231
11.3. Les prélèvements fourragers dans un espace agro-pastoral	234
11.4. Détermination spatiale des ressources pastorales.....	244
11.5. Bilan pastoral spatialisé	248
Chapitre 12 : MODELISATION SPATIALE DE L'UTILISATION DU BOIS-ENERGIE	253
12.1. Problématique du bois-énergie.....	253
12.2. Méthodes de détermination spatiale des prélèvements en bois-énergie	257
12.3. Les prélèvements en bois-énergie dans un espace multifonctionnel	259
12.4. Détermination spatiale des ressources forestières.....	262
12.5. Bilan bois-énergie spatialisé.....	266
Chapitre 13 : BILAN SPATIALISE DU MULTI-USAGE : RISQUE DE DESERTIFICATION.....	271
13.1. Comparaison des bilans par module	271
13.2. Un Indice de Risque de Désertification (I.R.D).....	274

SIXIÈME PARTIE : CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	281
Chapitre 14 (conclusion générale) : COMPRENDRE UN PAYSAGE ET PRONOSTIQUER SON EVOLUTION POUR UN DEVELOPPEMENT « DURABLE »	283
14.1. Un principe méthodologique fondamental pour la compréhension d'un paysage	283
14.2. Un Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle locale	284
14.3. Application à une zone agro-pastorale du Sahel nigérien	286
14.4. Apport du SIE pour le développement « durable »	292
Chapitre 15 : PROJETS DE RECHERCHE ET D'APPLICATION.....	295
15.1. Vers une « complexification » du SIE	295
15.2. Vers une simplification du SIE.....	296
15.3. Méthodologie et projets d'application	297
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	299
LISTE DES FIGURES.....	313
LISTE DES TABLEAUX.....	319
LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS	323
ANNEXE 1 : LISTE DES ESPECES HERBACEES ET LIGNEUSES (NOMENCLATURE J. BERHAUT, FLORE DU SÉNÉGAL, EDITIONS CLAIRAFRIQUE, DAKAR).....	327
ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE POUR LES ENQUETES SOCIO-ECONOMIQUES AUPRES DES EXPLOITATIONS.....	331
ANNEXE 3 : CARTE D'OCCUPATION DES TERRES AU 1/50000 , SITE DE BANIZOUMBOU, NIGER (D'APRÈS LOIREAU, 1993).....	337
ANNEXE 4 : QUATRE EXEMPLES DU DICTIONNAIRE DES FONCTIONS (D'APRÈS BODICHON ET AL, 1997).....	343
ANNEXE 5 : DIAGRAMME FONCTIONNEL GENERAL D'UN OBSERVATOIRE ROSELT.	349
ANNEXE 6 : DIAGRAMME OBJET DU MODULE AGRICOLE	353
ANNEXE 7 : FORMULAIRE D'ENQUETES SUR PARCELLES TRANSECTS	357
ANNEXE 8 : FORMULAIRE D'ENQUETES SUR PARCELLES EXPLOITATIONS	361
ANNEXE 9 : CARTES MORPHO-PEDOLOGIQUES DE NAGUMO	369
ANNEXE 10 : ENTREES ET SORTIES DU MODELE SIGEST	373
ANNEXE 11 : COPIE D'ECRAN DU LOGICIEL SIGEST	377
ANNEXE 12 : BIOMASSES HERBACEES ET LIGNEUSES DANS LES JACHERES (D'APRES DELABRE, 1998), SELON LEUR POSITION GEOMORPHOLOGIQUE ET LEUR AGE.....	381

ANNEXE 13 : BIOMASSES EPIGEES DANS LES CHAMPS CULTIVEES (D'APRES DE ROW, 1998) SELON LEUR POSITION GEOMORPHOLOGIQUE ET LES PRATIQUES AGRICOLES APPLIQUEES (D'APRES LOIREAU)	385
ANNEXE 14 : DIAGRAMME OBJET DU MODULE PASTORAL (D'APRES FAURE, 1997)...	389
ANNEXE 15 : CARTES SAISONNIERES DE PRELEVEMENTS FOURRAGERS	393
ANNEXE 16 : FORMULAIRE D'ENQUETES AUPRES DES TROUPEAUX TRANSHUMANTS	399
ANNEXE 17 : FREQUENTATION RELATIVE DES DIFFERENTS MILIEUX POUR LA PATURE ET DUREE RELATIVE DE LA PATURE DANS CHAQUE TYPE DE MILIEU (D'APRES FAURE, 1997)	403
TABLES DE MATIERES.....	407

**Première Partie (INTRODUCTION) : UNE MEILLEURE
COMPREHENSION DE LA DYNAMIQUE DES INTERACTIONS
MILIEUX-SOCIETES POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE**

Chapitre 1 : DU DEVELOPPEMENT DURABLE A LA DIALECTIQUE RESSOURCES-USAGES

1.1. Le développement durable à l'ordre du jour

Le développement durable est aujourd'hui le concept clé, en particulier pour les pays du Sud en difficulté, spécialement en Afrique, où l'enjeu principal consiste à améliorer les revenus des populations. Le développement n'est cependant durable que s'il conduit, à long terme, à maintenir ou entretenir les processus écologiques et les fonctions qui le sous-tendent. Ce "concept" connaît un immense succès, justifié par l'importance attachée à la prise en compte de la durée et notamment du moyen et long terme (Marty, 1996). L'investissement nécessaire pour qu'un développement soit "soutenable" (*sustainable*), "durable", ne doit pas être limité aux seuls aspects monétaires, il doit inclure également l'éducation, l'amélioration des connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes, l'amélioration de la qualité de l'environnement et des normes d'existence des sociétés humaines (Young, 1992). De nombreuses définitions sont associées au terme de développement durable mais toutes expriment cependant une relation avec les idées suivantes (Young, 1992) :

- les effets ou les impacts des activités actuelles sur les conditions du futur ;
- l'importance accordée à l'entretien, à la maintenance des processus écologiques;
- les bénéfices qu'il convient de tirer d'une amélioration actuelle de la qualité de vie sans risquer de compromettre une égale opportunité pour les générations futures.

Les critères du développement durable, énoncés par Young en 1992, sont désormais largement acceptés par la communauté scientifique internationale :

- intégrité de l'environnement sur le long terme,
- efficacité économique des systèmes de production,
- équité concernant les générations actuelles et à venir aussi bien que les considérations sociales et économiques.

Pourquoi tout ce débat autour du développement durable ? Une réponse réside dans le constat actuel d'une certaine continuité de la pauvreté dans des pays qui ont pourtant bénéficié d'aides multiples et variées de la communauté internationale. Au Sahel en particulier, deux perceptions opposées dominent le bilan de l'aide : d'une part, le constat de nombreuses réalisations positives (essor de la démocratie et de la société civile), de l'autre, ce sentiment répandu de déception sur les effets globaux de l'aide, notamment sur la réduction de la pauvreté (Club du Sahel, 1997).

Au début des années 1960, le *développement rural intégré* était mis en avant, à travers les programmes de sensibilisation des populations rurales, d'animation et d'organisation des producteurs. Cependant, les attentes des projets, reposant sur une fausse interprétation des pratiques traditionnelles collectives d'entraide, ont été contrariées par le développement de la compétition pour la terre : extension rapide des terres cultivées, monétarisation de l'économie et de la vie quotidienne, appropriation privée inégale des terres, marginalisation des éleveurs, apparition de phénomènes de dégradation des terres (Rochette, 1997).

Alors, de 1965 à 1984, le *productivisme* triomphe avec le postulat suivant : les engrais, les techniques et équipements modernes et une bonne commercialisation doivent provoquer une hausse des rendements des productions et des revenus à tous les niveaux. De grands projets sont lancés et la coopération accorde un appui systématique à l'Administration et aux services nationaux de développement (Rochette, 1997). Certains sont un succès, notamment pour la culture de l'arachide et du coton. Pour réussir, les producteurs doivent être encadrés par un Etat fort, d'où le durcissement du parti unique et la bureaucratisation des services.

Cependant, cette poussée économique et la croissance démographique conduisent à une raréfaction des terres et la gestion équilibrée des ressources naturelles n'est plus assurée. De plus, de la fin des années 70 au début des années 80, le cours du marché des grandes cultures s'effondrent, la sécheresse sévit, d'où des problèmes accrus de pauvreté, voire de famines. Le CILSS et le Club du Sahel sont créés et lancent une grande politique d'aide et d'autosuffisance alimentaire. Malgré tout, le productivisme persiste, ainsi que la misère. On observe un décalage entre la réalité d'une société et de son milieu et l'adaptation d'une nouvelle politique de développement. Les ONG fleurissent alors un peu partout pour lutter contre cette pauvreté, sans concertation, sans plan de gestion global. Des ruptures dans les systèmes de gestion de l'espace et des ressources par les sociétés apparaissent inévitablement (Rochette, 1997).

En fait, tout au long de l'histoire de l'aide extérieure appliquée au Sahel, deux problèmes majeurs apparaissent. Le premier est celui du manque de liaison entre les projets locaux et les projets nationaux ou sous-continentaux. Les uns font de la gestion de terroirs en prônant l'agriculture vivrière pour satisfaire les besoins de la population rurale de manière autonome. Les autres prônent l'intégration au commerce international. Ces deux approches du développement ont pu être simultanées ou successives sur un même espace géographique.

Le deuxième problème est le manque de coordination entre les projets à finalité écologique et ceux à finalité socio-économique. Les uns s'intéressent d'abord au maintien, voire à l'amélioration des conditions du milieu biophysique environnant les sociétés, les autres d'abord à la diminution de la pauvreté et à l'amélioration du bien-être des populations en général.

D'après Naudet (1997), un double défi est posé aux acteurs de l'aide au Sahel. D'un côté, celui de ne plus considérer que les bénéficiaires sahéliens doivent s'adapter aux contraintes administratives des agences de donateurs, mais qu'au contraire ce sont ces dernières qui doivent s'ajuster aux exigences de l'accompagnement du processus sahélien. De l'autre, celui de tenter de rétablir la confiance largement entamée du dialogue de l'aide, en particulier à partir de l'expression d'une demande plus claire et responsable.

A partir du constat sahélien d'une spirale de dégradation des ressources et de risque d'aggravation de la pauvreté, la désertification devient l'une des principales préoccupations et le temps de la *gestion des ressources naturelles et des terroirs* commence. En 1984, à Nouakchott, les états membres du CILSS adopte une stratégie régionale de lutte contre la désertification. En 1989, à Ségou, le CILSS organise la première rencontre de l'atelier de Nouakchott dont l'objectif est d'élaborer une stratégie de lutte contre la désertification avec deux orientations nouvelles : la sécurisation

foncière et la décentralisation (Rochette, 1997). En 1992 à Rio, s'est tenue la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) avec, à la demande des pays affectés, la lutte contre la désertification comme un des principaux points à l'ordre du jour. A partir de là, a été élaborée, entre autres, une Convention sur la lutte contre la Désertification (CCD) adoptée à Paris le 17 juin 1994, signée par plus de 100 pays en 1995, ratifiée en 1996 par plus de 50 pays et enfin entrée en vigueur en décembre 1996. L'historique de cette convention est important pour rendre compte du temps nécessaire pour arriver à une telle entente internationale. Elle a pour objectif de *lutter contre la désertification et d'atténuer les effets de la sécheresse dans les pays gravement touchés, en particulier en Afrique, grâce à des mesures efficaces à tous les niveaux, appuyés par des arrangements internationaux de coopération et de partenariat en vue de contribuer à l'instauration d'un développement durable dans les zones les plus touchées par la désertification*. Pour atteindre cet objectif, elle s'appuie sur la nécessité *d'appliquer des stratégies intégrées à long terme axées simultanément, dans les zones touchées, sur l'amélioration de la productivité des terres ainsi que sur la remise en état, la conservation et une gestion durable des ressources en terres et en eau, et aboutissant à l'amélioration des conditions de vie, en particulier au niveau des collectivités* (article 2 de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique, 1994).

1.2. La Désertification : influence du climat et de l'homme ?

La définition même du terme désertification a évolué au cours du temps jusqu'à nos jours, où la lutte contre la désertification apparaît indissociable du concept de développement durable au Sahel.

Les climats ont constamment varié au cours de l'histoire terrestre, quoique à des vitesses différentes selon les périodes géologiques. Les zones arides n'ont pas toujours été arides, notamment à l'ère quaternaire où elles ont connu de nombreuses alternances des climats hyper-arides, arides, semi-arides et même, au cours des trois derniers millions d'années, subhumides (Le Houérou, 1993). Le Sahel en particulier, a subi des changements climatiques dans un passé relativement proche : de 20 000 à 12 000 ans BP, le Sahara s'est étendu bien plus au sud que sa limite actuelle comme en témoignent les dunes aujourd'hui fixées du Sahel. Entre 12 000 et 7 000 ans BP, les pluies redevinrent plus abondantes. Depuis environ 4 500-5 000 ans, la tendance se serait à nouveau inversée (Valentin, 1994).

Ces alternances sont synchrones des périodes de glaciation et interglaciaires des hautes latitudes : les glaciations correspondent aux périodes hyper-arides sous les tropiques et les périodes interglaciaires à des "déserts" semi-arides avec une flore et une faune de steppe, de savane ou même de forêt (Le Houérou, 1993). Cependant, il n'y aurait aucune indication d'évolution climatique depuis au moins 2500 ans, c'est à dire depuis le début de l'époque historique. *Les variations de température et de pluviosité au cours des temps historiques et de l'époque moderne (dernier siècle) paraissent appartenir aux fluctuations aléatoires, par opposition aux variations systématiques de plusieurs millénaires (histoire géologique), observées, par exemple, à l'Holocène* (Le Houérou, 1993).

Les sécheresses connues au 20^{ème} siècle (époque moderne) au Sahel, et plus particulièrement celles de 1910-15, 1972-73 et 1982-84, ont amené les spécialistes à se diviser au fur et à mesure des événements. D'après Jouve (1991), la sécheresse peut être définie de deux manières : soit comme le constat d'un manque d'eau en valeur absolue (la sécheresse du sol), soit comme la diminution des ressources en eau par rapport à celles normalement disponibles, entraînant des perturbations dans le fonctionnement du milieu naturel, biologique et humain. Certains spécialistes montraient que la période de sécheresse 1972-74 n'était pas exceptionnelle, qu'elle s'inscrivait dans un contexte climatique à pluviométrie irrégulière et que si cette période fut une phase critique pour l'Afrique sahélienne, cette dernière en avait déjà connu entre 1910 et 1916 en particulier. Ces spécialistes disaient donc ne pouvoir parler "d'aucune *tendance actuelle au dessèchement* des zones tropicales et sahéliennes" (Bernus, 1974). D'autres, par contre, climatologues et hydrologues, après la sécheresse de 1982-84, montraient que cette crise était bel et bien en relation avec un changement climatique durable (Godard, 1989). En fait, les spécialistes ne parviennent pas à s'accorder car les données pluviométriques sont trop récentes (avant 1920, les chiffres manquent) pour donner une idée précise de l'évolution du climat à l'échelle des siècles. Les observations sont insuffisantes pour faire un bilan précis des tendances générales du climat comme des oscillations interannuelles. Cependant, selon Le Houérou (1993), *l'accroissement de la pollution atmosphérique par le gaz carbonique et d'autres gaz à effet de serre pourrait provoquer des modifications du climat dans les décennies à venir, en particulier l'augmentation de la température globale*. Une telle modification, si elle survenait, ne ferait qu'aggraver le phénomène de désertification déjà observé.

Ainsi, la dernière sécheresse de 1982-84 n'est pas un phénomène nouveau, mais aujourd'hui, elle est mieux connue du fait de sa diffusion par les médias. Les terribles famines qu'elle a engendré sont devenues célèbres et gravées dans la mémoire de tous. Par contre, selon Bernus (1977), avant même la sécheresse de 1982-84, on peut affirmer que les conséquences de la sécheresse récente de 1972-74 sont beaucoup plus graves que celles du passé. *S'il n'y a pas tendance au dessèchement, tous les botanistes, écologistes, agrostologues signalent une dégradation du couvert végétal, une modification qualitative des pâturages et, au total, la progression apparente de la désertification*.

La plupart des définitions de la *désertification* font référence à la sécheresse comme facteur déterminant alors qu'en fait elle ne ferait que révéler et intensifier le phénomène (Mainguet, 1994). D'après Hare (1985 ; in Mainguet 1994), *climatic drought is the failure of expected rains : it is hence a shock to any economy that is already over-stressing its food systems and natural resources*. L'homme interviendrait de manière déterminante aussi bien au niveau des causes de la désertification qu'au niveau des mécanismes de détérioration et de leurs impacts, le plus tragique étant la famine. *Desertification comes primarily from human abuse of the land, but adverse climatic conditions, such as drought (but not only drought), are favourable circumstances that may trigger or accelerate the phenomenon* (Le Houérou, 1995). Ainsi, pour la plupart des scientifiques, le facteur anthropique apparaît comme le facteur déterminant de la désertification, le climat n'étant qu'un facteur aggravant.

Cependant un débat autour du rôle anthropique dans la désertification reste ouvert. Si des sécheresses aussi importantes ont existé par le passé, qu'est-ce qui fait qu'aujourd'hui les conséquences apparaissent plus graves ? Ces conséquences sont-elles vraiment plus graves ou seulement davantage médiatisées ? Peut-on réellement différencier la part de l'homme (entre autre, l'augmentation démographique) et la part du climat ? En fait, les conséquences ne seraient-elles pas plus graves actuellement, non pas tant par la nature même des processus qu'elles engendrent (dégradation du couvert végétal, accélération de l'érosion des sols, salinisation du sol superficiel et des eaux, modification qualitative des pâturage, ...), mais par l'extension spatiale de ces processus, via la croissance démographique, ...

Les scientifiques spécialistes des zones arides distinguent les termes de "désertification" et de "*désertisation*". Etymologiquement, la désertification est le passage d'un faciès aride à un faciès hyper-aride (= désertique), **sous l'action de l'Homme** (il y a dans le mot le radical -fi-, du latin fieri, faire, agir). La désertisation est le passage d'un faciès aride à un faciès hyper-aride quelles qu'en soient les causes : c'est au sens propre un ensemble d'actions qui se traduisent par une réduction plus ou moins irréversible du couvert végétal aboutissant à la formation de paysages désertiques nouveaux dans des zones qui n'en présentaient pas les caractères (Baumer, 1987). Pour Floret et Pontanier (1982), la désertisation est cependant un phénomène lié essentiellement à la surexploitation du milieu par l'homme.

Rognon (1989) assimile en fait la dégradation observée au Sahel à une densification de l'occupation humaine, une exploitation excessive des arbres comme pâturage de substitution et comme source d'énergie, une érosion éolienne sur des sols dénudés. Pour lui, la désertification au Sahel, la crise du Sahel, est assimilée au phénomène général de dégradation des terres cultivées due à un mauvais contrôle des techniques agricoles et de la croissance démographique. L'ampleur exceptionnelle de cette crise s'expliquerait par la fragilité des sols sableux. Ainsi, il y a confusion entre le terme de désertisation et de désertification.

Pour prendre position, il paraît raisonnable de se référer aux ententes internationales. Tout d'abord, la conférence sur la désertification à Nairobi en 1977 (UNCOD) opte pour le terme de désertification et non de désertisation avec la définition suivante : *la désertification est la diminution ou la destruction du potentiel biologique de la terre et peut conduire finalement à l'apparition de conditions désertiques. Elle est un des aspects de la dégradation généralisée des écosystèmes.* Ensuite, en 1991, la Desertification Control/ Programme Activity Centre (DC/PAC) du PNUE donne la définition suivante : *la désertification est la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-arides, résultant principalement de l'activité de l'homme. Elle intègre un certain nombre de processus qui aboutissent à l'appauvrissement des sols et de la végétation là ou l'activité humaine est le facteur principal.*

Cette réflexion internationale sur le terme de désertification aboutit actuellement à la définition adoptée par la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la Désertification : *le terme de désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches par suite de divers facteurs, parmi*

lesquels les variations climatiques et les activités humaines. La désertification équivaut donc à la dégradation des terres sèches qui constitue une menace grave au maintien de l'utilisation des ressources renouvelables (Cornet, 1996). Elle recouvre une grande diversité de processus et de niveaux de gravité dont le plus fort est associé au critère d'irréversibilité de la dégradation (Le Houérou, 1968 ; Mainguet, 1995). D'après Floret et Pontanier (1982), la désertification est considérée comme "irréversible" lorsque l'évolution de la végétation et des sols ne permet pas de prévoir un retour vers l'état primitif dans des conditions de protection totale ou quasi totale de l'environnement pendant la durée d'une génération, c'est à dire 25 ans.

Finalement, la sécheresse récente, la croissance démographique, les décisions gouvernementales, les aides internationales affluantes, la transformation du mode de vie des agriculteurs et éleveurs, tous ces éléments sont à la fois causes et conséquences de la dégradation des *ressources naturelles renouvelables* en général et du couvert végétal en particulier.

1.3. Un nouveau besoin de connaissance sur la dynamique interactive systèmes biophysiques (ressources) / systèmes socio-économiques (usages)

Face au problème de désertification, les sociétés sahéliennes ont, de longue date, développé des mécanismes pour se prémunir autant que possible des aléas : longue tradition de migration des populations en saison sèche, mobilité des troupeaux (importance de la transhumance), cultures extensives et dispersées pour réduire les risques économiques et climatiques (Club du Sahel, 1996). Cette réponse adaptative des sociétés dénote bien l'existence de liens forts entre les sociétés et leur milieu. Cependant, malgré la qualité et la quantité des travaux de recherche sur la dégradation des terres en zones sèches, les diagnostics actuels tendent à déplorer la rareté des travaux portant sur les liens dynamiques existants entre les tendances de la désertification et les modalités de vie des populations. Les lacunes les plus importantes résident dans le fossé existant entre les connaissances concernant les conditions biophysiques de la dégradation des terres et celles sur les spécificités démographiques, économiques et sociales des zones correspondantes.

Un nouveau besoin de connaissance scientifique émerge, portant sur la dynamique des relations entre les systèmes biophysiques et les systèmes socio-économiques au niveau local. De nombreux pays ont pris conscience de ce nouveau besoin et, appuyés par les instances internationales, ils se sont dotés de programmes nationaux de développement et de programmes nationaux de lutte contre la désertification (Cornet, 1998). A l'heure actuelle, il ne s'agit plus de considérer seulement l'aspect technique ou écologique du problème de la désertification mais de prendre en compte la complexité des modes d'utilisation des ressources et la dynamique des processus sociaux sous-jacents. On ne parle plus de *combattre la désertification* mais d'*améliorer la gestion des ressources naturelles* et de créer les conditions d'un *développement durable* (Cornet, 1997). Dans cette perspective, il s'agit de *rechercher comment les dynamiques sociales (pratiques familiales, culturelles, économiques) interfèrent sur les attributs vitaux (paramètres de structures ou de fonctionnement) des*

systèmes écologiques et inversement comment ceux-ci peuvent déterminer des changements sociaux et productifs (Cornet, 1998).

En effet, les sociétés rurales des zones arides dépendent en grande partie, mais pas uniquement, des ressources renouvelables pour la satisfaction de leurs besoins alimentaires et énergétiques. Ces besoins se traduisent par une utilisation de l'espace et des ressources, selon des techniques et une logique spatiale dépendant d'une organisation sociale plus ou moins complexe. Le degré d'intégration, ainsi que l'évolution interactive de ces deux processus, est le reflet des relations et adaptations progressives développées entre les différents systèmes, biophysiques et socio-économiques. Tout changement, endogène ou exogène, déterminant des changements d'états à l'intérieur de l'un des systèmes, a des répercussions sur le fonctionnement de l'autre système. Les **pressions** exercées déterminent des **réponses** qu'il importe de connaître, d'anticiper, afin de gérer harmonieusement et durablement les relations souvent conflictuelles entre systèmes. Le parti pris dans le cadre de ce travail est de focaliser nos recherches sur l'expression ultime du fonctionnement des systèmes interactifs écologiques et socio-économiques, c'est à dire sur la dynamique interactive spatiale et temporelle entre **usages** et **ressources**.

Les questions soulevées sont : Quelle est la nature de l'équilibre entre systèmes biophysiques et systèmes socio-économiques ? Jusqu'où peut-on faire confiance à cette équilibre dynamique ? Peut-on identifier des seuils de rupture ? Peut-on anticiper des crises, passagères ou durables ? Pour répondre à ces questions, l'accent est délibérément mis sur la **dimension locale**. C'est à ce niveau, en effet, qu'il est possible d'appréhender les pratiques d'utilisation du milieu naturel. Il est entendu, bien sûr, que cette conception du niveau local n'est nullement synonyme d'isolement, de repli sur soi, d'autarcie mais qu'elle traduit une relation étroite avec l'extérieur et d'autres niveaux (national, international) comme le démontre entre autres le phénomène extrêmement répandu des migrations (Marty, 1996).

Le chapitre suivant (chapitre 2) précise la démarche générale proposée dans ce document pour l'étude de la dynamique spatiale et temporelle des relations ressources-usages, et sa formalisation à l'intérieur d'un Système d'Information sur l'Environnement. Pour effectuer cette étude (approche systémique), des innovations méthodologiques d'intégrations disciplinaires ont été mises au point (chapitre 5) sur une zone d'étude particulière agro-pastorale sahélienne au Niger (chapitres 3 et 4).

Une approche modulaire a été privilégiée, chaque module (agricole, pastoral et bois énergie) est déterminé par un type d'utilisation majeur du milieu naturel par l'homme. Le fonctionnement de chacun des systèmes "ressources / usages" a fait l'objet d'une étude et d'une formalisation à travers un modèle construit sur des zones d'échantillonnage : module agricole (chapitres 6 et 7), module pastoral (chapitre 11) et module bois-énergie (chapitre 12). Ces modèles ont ensuite été spatialisés à partir des données pertinentes recueillies sur l'ensemble de la zone d'étude. Pour chacun des systèmes, un bilan actuel est proposé entre la disponibilité des ressources et l'usage correspondant ; ce qui permet de dégager les tendances globales dans chacun des

modules, "agricole" (chapitre 10), "pâturage" (chapitre 11), "bois" (chapitre 12). Ces bilans sont rendus possibles grâce à une nouvelle structuration de l'espace (chapitres 8, 9 et 10).

Un bilan global, intégrant les résultats de l'approche par module et extrapolé à l'ensemble de la zone d'étude, est proposé dans la chapitre 13. Une analyse critique des approches proposées, ainsi que des recommandations concernant leurs applications, fait l'objet de la conclusion (chapitres 14 et 15).

Chapitre 2 : DE LA DIALECTIQUE RESSOURCES-USAGES A UNE APPROCHE SPATIALE POUR L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE DU FONCTIONNEMENT INTERACTIF MILIEUX-SOCIETES

2.1. Démarche globale pour l'étude de la dynamique des paysages : Espaces, Ressources, Usages

La base de la réflexion proposée dans ce document repose sur la dynamique interactive spatiale et temporelle entre les usages et les ressources. Il paraît ici nécessaire de définir plus précisément les termes de ressources et d'usages et leur relation avec les concepts d'espace et de paysage du point de vue des acceptations des diverses disciplines, puis de notre point de vue.

2.1.1. Des disciplines et leur conception du paysage

D'après Lacoste (1986), géographe, *il importe de dissocier clairement le paysage des multiples représentations ou évocations de l'espace. Certes, espace et paysage ont des rapports étroits, mais tout espace n'est pas un paysage et les paysages les plus vastes ne correspondent qu'à une petite partie des différentes configurations spatiales. Le paysage est en effet la portion de l'espace terrestre que l'on peut voir d'un certain point d'observation.* Dans cette approche, l'aspect visuel du paysage est privilégié, mais son aspect dynamique n'est pas annoncé.

Pour les écologues, l'aspect visuel du paysage devient vite secondaire. Pour eux, *le paysage est considéré comme un système écologique, c'est à dire un ensemble d'éléments physiques, chimiques, biologiques et socio-économiques dont les interactions déterminent des possibilités de vie. L'écologie du paysage considère le développement et la dynamique de l'hétérogénéité spatiale, les interactions spatiales et temporelles et les échanges dans les paysages hétérogènes, l'influence de l'hétérogénéité spatiale sur les processus biotiques et abiotiques et l'aménagement et la gestion de cette hétérogénéité spatiale* (Baudry, 1986). De ce point de vue, le concept de paysage est assimilé au concept de système écologique doté d'une dimension et d'une dynamique spatiale et temporelle.

Bertrand (1970) définit le paysage comme une portion d'espace caractérisée par un type de combinaison dynamique, donc instable, d'éléments géographiques différenciés (physique, biologique et anthropique) qui, en réagissant dialectiquement les uns sur les autres font du paysage un "ensemble géographique" indissociable qui évolue en bloc, autant que sous l'effet de la dynamique propre de chacun de ses éléments considéré séparément. Le paysage est ainsi défini comme un "système naturel". Par rapport à la définition écologique précédente, Bertrand donne clairement une dimension géographique au paysage et se rapproche donc davantage du concept de *géosystème* développé par Blandin et Lamotte (1988). Selon eux, le géosystème sert à désigner un système géographique homogène lié à un territoire, alors que le concept d'écosystème *peut s'appliquer à tout niveau de l'échelle spatiale, depuis la taille d'une crotte de lapin à la planète entière* (Forman et Godron, 1986).

Ces deux concepts d'*écosystème* et de *géosystème* se caractérisent par une morphologie, un fonctionnement et un comportement spécifique (Forman et Godron, 1986 ; Blandin et Lamotte, 1988) mais ils se différencient dans la mesure où le géosystème est un concept plus territorial, désignant une unité spatiale bien délimitée.

Il existe un ensemble de relations entre les écosystèmes qui composent un espace donné. C'est la raison pour laquelle cet espace peut à son tour être considéré comme un système (de systèmes). Chaque écosystème devient alors un élément du "système spatial" qui l'intègre. On ne s'intéresse plus aux flux internes qui caractérisent chaque écosystème, mais aux échanges que chacun entretient avec l'ensemble des autres. Blandin et Lamotte (1985) propose de désigner ces systèmes d'écosystèmes par le terme d'*écocomplexe*. Cet écocomplexe est donc un concept écologique avec une dimension tout à la fois spatiale, temporelle et relationnelle.

Pour nous, dans une démarche qui se veut systémique à la croisée des disciplines, nous empruntons la définition d'écocomplexe aux écologues et nous gardons l'aspect visuel développé chez les géographes. Le paysage est alors défini comme l'expression observable d'un écocomplexe. Contrairement au géosystème rapporté à la notion de territoire bien délimité, la délimitation spatiale des écocomplexes est un réel problème au coeur de nos préoccupations dans ce document (cf. 2.2).

Selon Beck (1986), urbaniste paysagiste, *le paysage traduit sur le terrain les nécessités et aspirations des hommes à un moment donné. Il se présente comme un complexe dynamique, formé le plus souvent d'une mosaïque d'écosystèmes naturels ou non, plus rarement d'un seul écosystème. Il forme un tout à la manière d'un organisme vivant dont chacune des parties est en interaction avec les autres. Ce paysage peut être perçu par l'homme positivement ou négativement en tout ou en partie.*

Cette définition introduit un nouveau concept, celui de la perception du paysage. En effet, un même paysage peut être, à priori, perçu différemment selon l'observateur. Si l'observateur est un homme, il a sa propre manière de percevoir le paysage en fonction de sa culture, de son état d'esprit, ..., et surtout en fonction du type d'utilisation qu'il veut en faire. L'un des objectifs dans ce document est de parvenir à rendre compte, de manière la plus exhaustive possible, d'un paysage perçu, vu, différemment en fonction des types d'utilisation qui en sont fait par l'homme.

Selon le point de vue des agronomes, exprimé par Deffontaines (1986), *l'espace est l'espace géographique prenant en compte la configuration des objets et la distance qui les sépare. L'exploitation agricole est considérée comme un système d'espaces d'activité ou de gestion. Le paysage est une portion de territoire perçu par un observateur, où s'inscrit une combinaison de faits et d'interactions dont on ne voit, à un moment donné, que le résultat global. Il y a réduction quand on passe de la notion d'espace à celle de paysage. En effet, le paysage, manifestation visible de faits inscrits dans le territoire, ne contient que les faits qui marquent le territoire et qui sont, de plus, visibles par un observateur.*

D'après Deffontaines toujours, l'espace peut être vu comme :

- support de l'activité : l'espace est occupé par les diverses productions. Il est également le lieu où se déroulent les opérations productives.
- support des contraintes à l'activité : l'espace est alors l'ensemble des facteurs du milieu (topographique, hydrologique, climatologique,...) et des caractéristiques du parcellaire et des bâtiments.
- cadre des relations : les phénomènes de distance dominant, qui sont à l'origine des problèmes de relations entre les éléments (voisinage, contiguïté, isolement,...).
- objet d'enjeux économiques : l'espace est alors approprié selon des modalités diverses.

L'espace fonctionne comme un analyseur de divers niveaux d'organisation de l'activité agricole. L'approche par l'espace est un moyen de saisir les relations entre l'exploitation et son environnement. L'appréhension des dimensions spatiales de l'activité agricole accroît les chances de relier le développement et l'aménagement, et de restituer les faits et les phénomènes agricoles dans leur contexte rural (Deffontaines, 1986).

Ce développement sur le concept d'espace et de paysage apporte beaucoup à notre démarche. Dans un espace donné, sont en interrelations une activité et une disponibilité des ressources, fonction des contraintes biophysiques du milieu et de leur accessibilité (distance, accès foncier, ...). L'espace est le lieu où les systèmes socio-économiques et biophysiques interagissent. L'espace est la dimension spatiale de l'écocomplexe défini précédemment et le paysage en est l'expression observable à chaque instant. Cependant, nous étendons cette approche à d'autres activités que l'activité agricole.

2.1.2. Une définition du paysage : des espaces, des ressources et des usages

Après ce rapide tour d'horizon sur les différentes définitions du concept de paysage, lorsque Blandin et Lamotte (1988) parle d'"écocomplexe", nous parlerons donc de paysage en tant qu'expression observable de cet "écocomplexe". L'une des définitions du paysage qui correspond le mieux à l'approche proposée ici est finalement la suivante : *Le paysage est l'expression observable par les sens à la surface de la terre de la combinaison entre la nature (physique, biologique, climatique), les techniques (interventions passées et actuelles de l'agriculteur, de l'aménageur, du technicien,...) et la culture des hommes (les empreintes successives des civilisations passées se surimposent en s'effaçant parfois les unes les autres). Il est essentiellement changeant (nous n'avons en un lieu qu'une image instantanée d'un film dont le début se confond avec l'origine du monde) et ne peut être appréhendé que dans sa dynamique, c'est à dire l'histoire, qui lui restitue sa quatrième dimension (Guérin, 1986).* Les "sens" d'observation dont parle l'auteur seront étendus à la télédétection dans notre travail.

Lorsque Godard (1989) étudie l'environnement, nous étudions le paysage. En effet, pour lui, *étudier l'environnement, c'est prendre au sérieux la concomitance d'une appartenance (l'homme appartient à la nature) et d'une distinction (l'homme se distingue de la nature principalement par son accès au symbolique, son organisation*

économique et sociale, sa capacité technique). L'homme se trouverait à la fois en amont et en aval de l'environnement : en amont, par ses actions, facteurs majeurs de la transformation et de l'évolution du milieu; en aval, parce que c'est lui qui donne sens à cet environnement peu ou prou transformé. L'homme est à la fois "producteur" et "utilisateur" du paysage.

Nous considérons donc le paysage en tant que portion de l'espace, **résultante observable du potentiel écologique et de l'activité sociale.**

L'analyse du paysage est donc un moyen particulier d'appréhender les relations complexes et évolutives entre une activité et l'espace dans lequel elle se déroule (Deffontaines, 1986). Dans le cadre de l'étude, nous ne nous intéresserons qu'aux activités qui se traduisent par un usage, c'est à dire un prélèvement susceptible de modifier en retour la nature de l'espace et des ressources (Figure 1)

Les ressources considérées ici sont, plus précisément, les ressources dites "naturelles renouvelables" par opposition aux ressources non renouvelables (minéraux, combustibles fossiles). Celles qui sont renouvelables le sont soit sans réserve (flux de ressources abiotiques : soleil), soit sous conditions (recyclage des ressources abiotiques : eaux, nitrates,...; ressources biotiques *sensu stricto* : espèces ; ressources complexes : écosystèmes, terres, sols,...) (Young, 1992).

Les systèmes socio-économiques définissent des usages en relation avec des systèmes "écologiques" (sensu lato) ou systèmes biophysiques qui déterminent des ressources. Les usages se traduisent par des prélèvements qui eux-mêmes affectent les ressources et vice-versa. Le point de départ de toute l'étude qui suit est l'axiome suivant : la ressource ne se définit que par rapport à un usage identifié. Un arbre, entité naturelle sans affectation a priori, pourra être une ressource *énergétique* si ces composants ligneux sont récoltés dans ce but (auquel cas, la quantification de la ressource ne s'intéressera qu'à ces composants), *pastorale*, si les feuillages sont utilisés, directement ou indirectement (émondage, gaulage des fruits) par le bétail, ou présenter simultanément d'*autres aménités* (bois d'oeuvre, ombrage, agro-foresterie, herboristerie traditionnelle pour l'usage pharmaceutique ou alimentaire, etc...) (d'Herbes et al, 1997).

Dans ce contexte, la notion d'**espace-ressource** développé par O. Barrière (1997) constitue un écho juridico-foncier à notre approche. Pour lui, en effet, *les espaces sont utilisés simultanément ou diachroniquement par plusieurs types d'exploitants et c'est cette multifonctionnalité qui conduit à dégager la notion d'espace-ressource se définissant à travers l'étroite union de la ressource avec son milieu physique. Ainsi, l'espace-ressource s'exprime dans la spatialisation géographique de la ressource, sa situation, sa place physique dans le géosystème. Il se présente le plus souvent de façon discontinue ou non permanente dans le temps et dans l'espace. L'espace-ressource dépend de l'existence et de la présence de la ressource.*

A ce titre, les différents espaces-ressources sont géographiquement et écologiquement identifiables dans le paysage tel que nous l'avons défini. A l'inverse, l'historique et la dynamique actuelle des activités de gestion, qui participent à la définition du paysage, ne sont pas directement visualisables. L'analyse de l'interaction

des espaces-ressources et de leur gestion par l'homme est à la base de notre étude ; elle la structure et permet en fin de compte d'expliquer le paysage dans sa dynamique spatiale et temporelle.

A partir de là, nous parlerons de système global dont le fonctionnement est caractérisé par le triptyque ressources / usages / prélèvements et leurs espaces associés à l'échelle locale (terroirs villageois) puis régionale (sens sous-national).

Ce système, interne, est à son tour en relation avec un système global exogène à l'échelle nationale puis internationale (Figure 1), qui prend en compte des forces directrices (*driving forces*) et des *forces d'intervention*. Les forces directrices échappent au contrôle du système interne mais conditionnent son fonctionnement : les changements climatiques, l'économie des marchés et les politiques nationales et internationales en font partie. Les forces d'intervention comprennent essentiellement les projets de développement, qui agissent délibérément sur les composantes du système interne. L'intervention peut s'adresser aux systèmes biophysiques (reboisement, variétés améliorées, ...), aux systèmes socio-économiques (action sur le foncier, crédits, mouvements coopératifs, ...) ou enfin à l'interface (gestion des ressources naturelles).

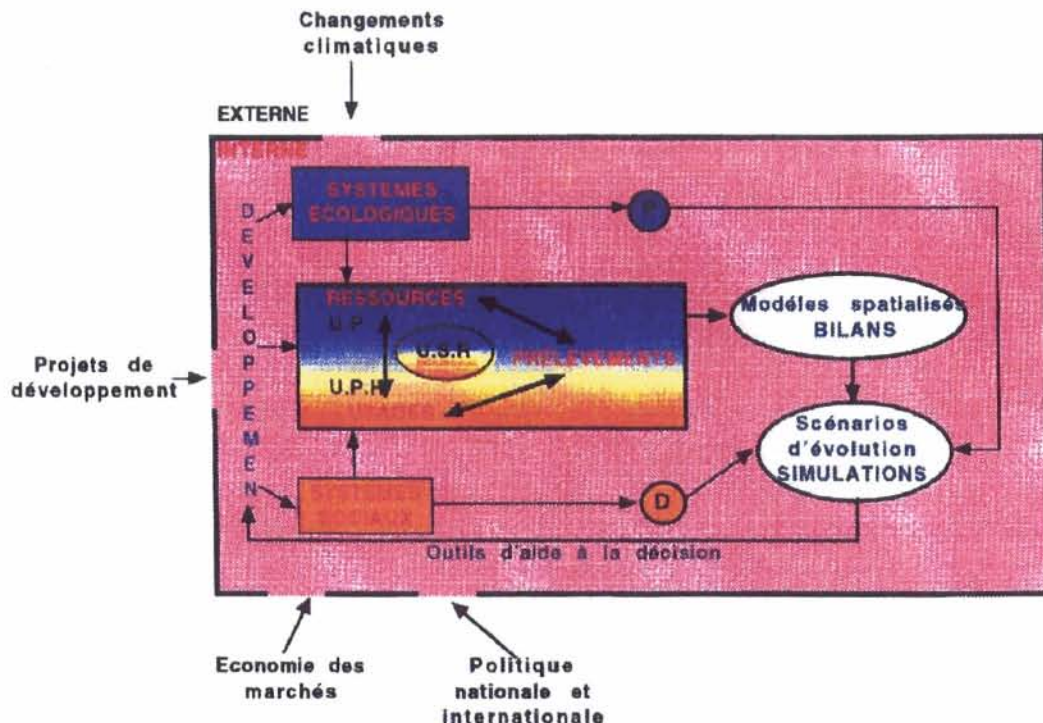


Figure 1 : Démarche générale pour l'analyse des relations entre systèmes biophysiques et socio-économiques

L'objectif proposé est la modélisation du fonctionnement interactif spatialisé d'utilisation de l'espace et des ressources pour établir un bilan à un moment donné du système global, conduisant à un diagnostic du fonctionnement global de la zone. La forme de réalisation de ce diagnostic permet, par la suite, d'envisager des scénarios d'évolutions, informations nécessaires pour une aide à la décision vers un

développement durable. Ce deuxième objectif n'est pas réalisé dans le cadre de ce travail de thèse ; il est abordé sous forme de perspectives dans le chapitre 14. Il s'insère dans un programme de recherche plus globale et dans une démarche appliquée pour le programme ROSELT (Réseau d'Observatoires et de Surveillance Ecologique à long Terme), programme de l'OSS (Observatoires du Sahara et du Sahel). L'ensemble de ces systèmes imbriqués et des produits attendus constituent le Système d'Information sur l'Environnement développé dans le paragraphe suivant (cf. 2.3.). Pour alimenter cette approche systémique, plusieurs "disciplines" interviennent en amont ou à l'interface même de la relation ressources / usages ; en amont, avec des disciplines autonomes pour analyser les processus biophysiques ou socio-économiques ; à l'interface même, avec des disciplines dont l'objectif est l'étude des systèmes agraires et des systèmes de production en général.

Toute la démarche repose sur la détermination quantifiée et spatialisée des usages et des ressources et la compréhension de leurs interactions. Il apparaît donc indispensable de chercher un espace commun et homogène tant du point de vue socio-économique que du point de vue biophysique sur lequel il sera possible de faire des bilans. Cette recherche fait partie intégrante de la proposition méthodologique que nous serons amenés à faire dans le cadre de ce travail (deuxième partie, chapitre 5).

2.2. Une problématique géographique

La problématique de notre recherche est bien d'analyser, au niveau d'un écosystème, des structures, des fonctionnements et des changements. Cette analyse nécessite de passer par la construction d'un modèle de la réalité (abstraction de la réalité) et, si cette abstraction ne peut se faire qu'à partir d'un aspect privilégié de cette réalité, un filtre logique, celui que nous privilégions est l'espace. D'après Blamont (1990), cette approche est typiquement celle d'un géographe.

Se posent alors les problèmes de délimitations. Identifiant des entités spatiales, peut-on en faire la cartographie ? Pour rejoindre les propos de Blandin et Lamotte (1988), *en réalité, la biosphère vit et se renouvelle par le jeu incessant de processus interactifs qui forment un continuum spatio-temporel : tracer une limite, que ce soit dans l'espace ou dans le temps, sera toujours un acte arbitraire. C'est pourtant aussi un acte indispensable à la recherche.*

Le paysage, résultante observable d'un écosystème, contient des informations d'origine biophysique et socio-économique avec une dynamique spatiale et temporelle incessante. Dans l'histoire des sciences, chaque discipline se pose alors, le plus souvent chacune de manière indépendante, le problème de délimitations des espaces associés aux phénomènes biophysiques (géologues, hydrologues, écologues, ...) d'une part et socio-économiques (historiens, anthropologues, ethnologues, ...) d'autre part. Les uns parleront de bassins versants, d'unités écologiques, ..., les autres parleront de cantons, de départements, de couloirs de transhumance, Idéalement, tel que le précise Blandin et Lamotte (1988), *ces délimitations font l'objet d'une explication par rapport à l'objectif poursuivi : on peut ainsi faire l'hypothèse qu'à l'intérieur d'un espace qu'on délimite, les interactions qui y jouent sont davantage déterminantes, pour le renouvellement de ses*

composantes, que les relations entretenues avec l'extérieur. Le plus important est que la désignation d'une limite ne soit plus un moyen pour négliger des phénomènes considérés comme extérieurs ; c'est au contraire obliger la recherche à tout analyser par rapport à elle.

Cependant, tant que les disciplines travaillent, d'abord, séparément sur un milieu donné et ne cherchent, que dans un deuxième temps, à se regrouper tant bien que mal pour comprendre leurs interfaces, l'effort est très important pour un résultat insatisfaisant, voire impossible à obtenir. En effet, le croisement à posteriori pose d'énormes problèmes de changements d'échelles, d'espaces délimités communs, de langages, ...

Par rapport à ces problèmes, la démarche dans ce travail consiste à se fixer volontairement comme objectif, dès le départ, celui de pouvoir "interfacer" les systèmes socio-économiques et les systèmes biophysiques. Il faut pouvoir interpréter (et anticiper) les changements biophysiques en fonction des changements socio-économiques et réciproquement. Or, le paysage est considéré comme la résultante, à chaque instant, des deux séries de facteurs. A partir de là, la question posée est : comment parvenir à différencier les influences respectives des deux séries de forces en action ?

L'espace étant le lieu où les systèmes socio-économiques et les systèmes biophysiques interagissent, la démarche adoptée pour la compréhension d'un système et sa modélisation est, de façon privilégiée, spatiale. Autrement dit, il s'agit de définir et de délimiter des espaces communs et homogènes tant du point de vue biophysique que socio-économique, possédant une stabilité relative dans le temps. Ces espaces communs délimités constituent les unités spatiales de référence sur lesquelles il est possible de faire un bilan "ressources / usages" à partir du moment où l'on en connaît la part respective des systèmes biophysiques et socio-économiques en action.

Le seul moyen d'y parvenir, selon notre point de vue, consiste à différencier, la délimitation d'une part d'espaces homogènes du point de vue "biophysique", d'autre part d'espaces homogènes du point de vue de la gestion qui en est faite par l'homme. Cette distinction à *priori* est un passage obligatoire puisqu'il est, de notre point de vue, l'unique manière de se doter des clés de compréhension et d'interprétation d'un paysage donné. L'intersection des deux espaces ainsi délimités forment des "dénominateurs spatiaux communs".

Cependant, cette démarche, qui peut paraître assez triviale d'un point de vue conceptuel, est extrêmement complexe à mettre en oeuvre d'un point de vue méthodologique. En effet, les différents espaces-ressources sont géographiquement et écologiquement identifiables dans le paysage tel que nous l'avons défini, alors que l'historique et la dynamique actuelle des activités de gestion ne sont pas directement visualisables. L'un des problèmes méthodologiques de notre démarche (cf. 5.2.3.) est alors la question suivante : comment délimiter des "unités de pratiques" qui ne se visualisent pas à priori ? Quel peut être l'apport de la télédétection et de la modélisation ?

2.3. Un Système d'Information sur l'Environnement

L'approche proposée dans ce document fait appel à des données spatialisées (biophysiques et socio-économiques), des séries chronologiques, des photos aériennes et images satellites pour définir la nature des liens entre les différents composants d'un système complexe. Cette approche systémique est facilitée par l'existence d'outils actuels de pointe (base de données, modélisation, télédétection, système d'information géographique et système d'information sur l'environnement), mais pas seulement. Elle nécessite également le développement simultané des outils existants (modélisation et système d'information sur l'environnement) et des concepts. L'objectif thématique est facilité par les outils et les outils évoluent en fonction des objectifs thématiques. C'est un service réciproque et constructif qui justifie un développement particulier.

Un Système d'Information sur l'Environnement (SIE) est pour nous un ensemble de moyens humains et informatiques dont l'objectif est de faciliter la caractérisation de l'état et de la dynamique d'un paysage donné. D'après Gayte (Gayte, Libourel et al, 1997), un Système d'Information sur l'Environnement est chargé d'assurer l'interface entre le système et l'environnement. Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but (De Rosnay, 1975). Un système vient du grec « systema » : qui tient ensemble, mais avec l'idée d'union en un tout organisé, voire stable (Brunet et al, 1992). L'environnement (unité d'exploitation, terroir villageois, petite région,...) d'un système (ménage, village, société rurale,...) est à la fois de nature biophysique (environnement naturel) et socio-économique (exemple : accès foncier, disponibilité de main d'oeuvre, ...). Le terme d'environnement est donc ici un système complexe dynamique ("*écocomplexe*") comprenant à la fois des informations d'origine biophysique et des informations d'origine socio-économique dont l'expression spatiale observable à chaque instant est le *paysage*. Suivant les échelles d'observation, il est possible de distinguer un environnement interne au système (ménage, village, société rurale,...) dont la résultante spatiale est le *territoire* (unité d'exploitation, terroir villageois, petite région,...) et un environnement externe (échelle de la nation, du continent et du monde).

D'un point de vue plus technique, un SIE est considéré comme un système informatique capable d'assurer la gestion et l'exploitation de l'information écologique et socio-économique relative à un espace. Ce n'est pas seulement un instrument d'observation mais également un instrument d'étude et de compréhension d'un thème donné. L'informatique apporte sa capacité de gestion et de synthèse des données et surtout ses possibilités d'analyse.

Pour notre étude, nous avons opté pour un outil SIE basé sur la méthode de conception par objet (cf. 5.2.) pour construire au fur et à mesure, à partir du site de Banizoumbou au Niger, un cadre général d'analyse des relations entre ressources et usages et au-delà entre milieux et sociétés. Grâce à l'outil SIE, il est plus facile d'intégrer et de gérer des données spatialisées de type biophysique (généralement quantitative) et socio-économique (généralement qualitative), des séries chronologiques, des modèles mathématiques complexes (modélisation), des images aériennes et satellitaires (télédétection) et enfin des processus de simulation dynamique (modélisation).

A travers le SIE, il s'agit de spatialiser des *modèles* interactifs d'utilisation de l'espace et des ressources. Un modèle est une représentation formalisée de la réalité. Tous les rendus scientifiques sont des modèles. La « carte n'est pas le territoire » ; elle en est à ce titre une représentation suivant des conventions établies : elle est un modèle. Les modèles interactifs d'utilisation de l'espace et des ressources ne sont pas plus qu'une formalisation, suivant des conventions établies, d'un système complexe en plusieurs dimensions et non plus en deux dimensions comme pour les cartes.

Cette modélisation est nécessaire pour établir un *bilan* fonctionnel de la situation à une date donnée, déterminer des indicateurs du système global (écocomplexe) et proposer des *scénarios d'évolution* (Figure 1).

Un indicateur est un paramètre ou valeur calculée à partir d'un ensemble de paramètres, qui fournit des informations sur un phénomène ou sur son état. Des indicateurs d'**état**, de **fonctionnement** et de **pression** peuvent alors être distingués. Un indicateur n'a de sens que si il est en relation avec d'autres éléments ou paramètres du système environnemental modélisé, clés d'interprétation dans un environnement donné. A titre d'exemple, une biomasse est une donnée brute qui ne prend le statut d'indicateur d'état que si elle est mise en relation avec la pluviométrie, la qualité des sols, la pression humaine et animale, ... A travers le SIE, cette biomasse mesurée à un instant donné acquiert une valeur relative par rapport à un référentiel local défini à travers la modélisation du fonctionnement global du système.

L'objectif final visé, à travers le SIE, est de **comprendre le présent à partir du passé pour prévoir l'avenir**. En effet, un tel système devrait permettre de dégager des logiques de fonctionnement passées et actuelles et de les appliquer de manière indicative pour l'avenir. En faisant varier des variables de forçage identifiées lors du bilan (indicateurs), il doit être possible de "prospector" des scénarios d'évolution du système global. Ces scénarios sont considérés comme les meilleures indications de l'évolution future d'un paysage si l'on en change telle ou telle donnée et non comme une certitude de ce que serait l'instant d'après. Plus la mise à jour des données du système est régulière et plus les scénarios prospectifs pourrait être fiables.

L'objectif du SIE, ainsi défini, rejoint celui du SIRS (Système d'Information à Référence Spatiale) décrit par Prélaz-Droux (1995). Pour lui, un SIRS est en effet *un type de système d'information consistant en un système d'aide à la décision qui intègre des données à référence spatiale dans un environnement informatique pour la solution de problèmes spécifiques* (Cowen, 1988 in Prélaz-Droux, 1995). Comme nous, il insiste sur la différence entre le système d'information et le système informatique, qui ne constitue que la partie informatique du système d'information.

La prétention de l'étude proposée dans ce document n'est pas d'atteindre entièrement cet objectif (nous n'irons pas jusqu'à la proposition de scénarios prospectifs), mais de se diriger vers lui. En effet, l'étude proposée apporte une réflexion méthodologique (sur une zone d'étude particulière à l'échelle locale) qui permet de définir un "tableau de bord" d'un système complexe donné, capable de fournir des

informations sur le fonctionnement et la structure d'un paysage, sur l'impact du fonctionnement interactif milieux-sociétés sur le fonctionnement et la structure des systèmes écologiques.

Toutes ces informations sont nécessaires pour une prise de décision des acteurs du développement vers un développement durable. Les acteurs du développement peuvent être aussi bien les gouvernements des pays sensibilisés et concernés par une évolution préoccupante de leur environnement (désertification) que les projets de développement (privés ou publiques) ou encore les paysans eux-mêmes. Un outil comme le SIE, considéré comme un tableau de bord, doit permettre d'orienter les décisions des acteurs et établir des priorités vis à vis de leur environnement. Les gouvernements ne vont pas vraiment intervenir directement sur leur environnement mais peuvent fournir un cadre d'intervention obligatoire afin d'harmoniser les différents acteurs du développement : services techniques, ONG, projets de développement, ... Cependant, à chaque niveau du système, il y a des prises de décision et des actions qui dépendent du territoire concerné. Ce cadre général d'analyse des relations entre ressources et usages devrait, dans un pays donné, permettre de coordonner les différentes actions de développement, d'éviter les répétitions et les incohérences d'un projet à l'autre, et de mesurer les conséquences sur le milieu biophysique et socio-économique de chaque intervention.

La finalité du SIE, tel que nous l'envisageons, est d'aider un pays, une population, un système donné, à agir vers un développement durable. Ceci signifie que les données acquises et mesurées dans un environnement donné devraient au fur et à mesure alimenter le SIE pour une mise à jour constante. La mise à disposition d'un tel outil, la formation nécessaire pour sa maîtrise et sa mise à jour régulière sont des étapes ultérieures à l'étude proposée dans ce document qui sont préoccupantes. Dans cet objectif, il est absolument nécessaire de fournir un système clair et simple, représentant au mieux la réalité, tout en sachant les limites de la modélisation. Il faut à tout prix savoir définir ses limites et les expliquer.

**Deuxième partie : UNE APPROCHE GEOGRAPHIQUE
INNOVANTE DE L'ENVIRONNEMENT SAHELIEN**

Chapitre 3 : LES MILIEUX SAHELIENS, VARIABILITE ET FRAGILITE

3.1. Le Sahel : une zone écoclimatique à part entière ?

Donner une définition du Sahel sur laquelle tout le monde s'accorde n'a pas toujours été facile. Monod (in Bernus, 1979) fait même remarquer que certains ont pu se demander *si le Sahel formait une zone originale, bien individualisée, où s'il était seulement "le territoire où un Sahara enrichi et un Soudan appauvri se rencontrent dans un no man's land hybride, sans autonomie réelle, sans caractères propres"*.

A l'heure actuelle, et surtout après les sécheresses catastrophiques des années "70 et 80", le Sahel est cependant bien reconnu comme une zone à part entière, mais les critères d'originalité mis en avant pour le caractériser sont variés. Certains sont plutôt d'ordre anthropique (*l'originalité de la zone sahélienne réside dans son exploitation par des éleveurs riches en troupeaux variés*, Bernus, 1979), d'autres d'ordre écologique (*la richesse des peuplements saisonniers de thérophytes -la prairie estivale- venant s'intercaler entre les steppes sahariennes et soudaniennes à graminées vivaces - Panicum, Stipagrostis, grandes Andropogonées- appuie la notion d'un Sahel écoclimatiquement autonome*, Monod, in Bernus, 1979)...

Au niveau de sa zonation géographique, le Sahel est situé grossièrement entre les isohyètes 100-150 mm au Nord et l'isohyète 500-600 mm au Sud. Cette zonation classique repose essentiellement sur des critères climatiques. La définition du dictionnaire encyclopédique de l'écologie (1993) est bien basée sur cette zonation géographique d'après des critères climatiques (*zone étendue d'ouest en est tout au long de la frange méridionale du Sahara. La région sahélienne se définit par la bande, dont les précipitations sont comprises entre 500 mm par an et 100 mm par an, disposée assez régulièrement entre 10° et 20° de latitude Nord. Elle est caractérisée par une aridité décroissante du nord vers le sud et aussi par des précipitations de caractère irrégulier qui peuvent varier de plus de 100% par rapport à la moyenne annuelle, des périodes bien arrosées alternant avec des phases de sécheresse*). Celle du dictionnaire de géographie (1993) est beaucoup plus écologique (*bordure méridionale du Sahara caractérisée par une steppe buissonnante plus ou moins piquetée d'arbres épineux (acacias) avec graminées pérennes*). Les phytogéographes ont, quant à eux, proposé de retenir la limite d'extension du *Cenchrus biflorus*¹ ("cram-cram") comme limite septentrionale de la zone sahélienne (Boudet, 1972).

La zone sahélienne peut être définie en fin de compte, comme une zone écoclimatique au sud du Sahara (Figure 2). La signification même du mot Sahel appuie cette définition puisque le mot "Sahel" vient de l'arabe "Es-Sahel" qui signifie "côte" (Dictionnaire de la géographie, 1993). Les termes de sa localisation sont donc assez clairs et admis de tous. Cependant, les limites à proprement parlé de la zone sahélienne, du fait de la nature même de sa définition (critères écoclimatiques) ne sont pas fixes

¹ Toutes les espèces citées dans ce document sont listées en Annexe 1, selon la nomenclature de J.BERHAUT, Flore du Sénégal, Editions CLAIRAFRIQUE, Dakar.

dans le temps. Elles varient en effet en fonction de l'irrégularité spatiale et temporelle des pluies (Bernus, 1974). La zone sahéenne est donc une zone mouvante de contact entre le Sahara et la zone agricole soudanaise. Une période sèche de plusieurs années se traduit par une avancée du Sahara et un recul parallèle du domaine sahéen. Qu'une période humide lui fasse suite et la limite du Sahara est reportée vers le nord et le Sahel regagne une frange un moment abandonnée.

Les isohyètes tracés d'après les normes (Figure 2) correspondent donc à un compromis entre deux fronts maxima et minima (Bernus, 1977). Cette mobilité des isohyètes se retrouve à toutes les échelles.

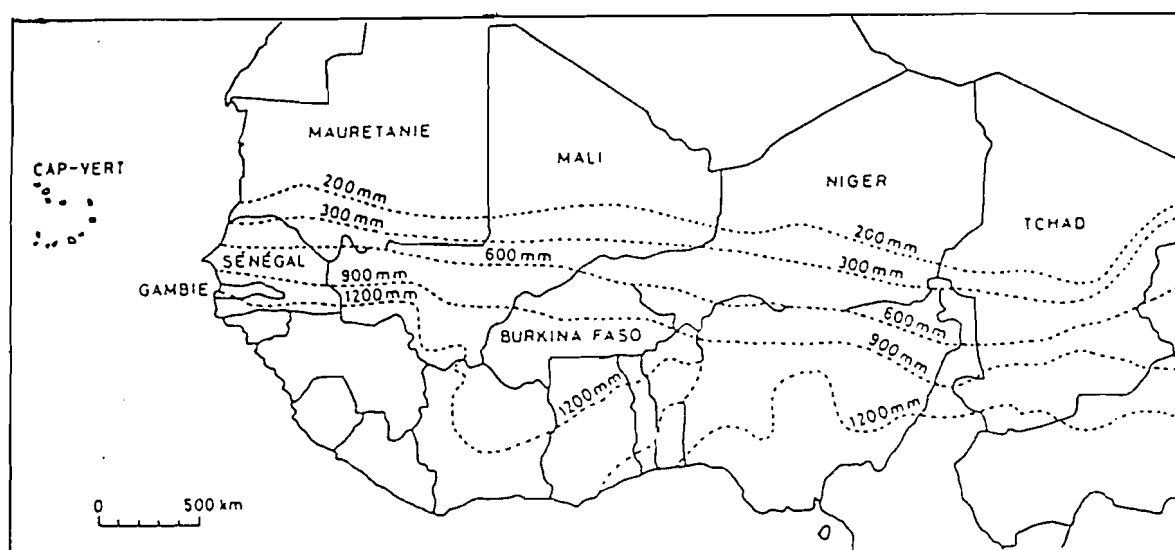


Figure 2 : Carte des isohyètes de l'Afrique de l'ouest (EPSAT, 1990)

La zone sahéenne peut être aussi définie politiquement comme l'ensemble des nations membres du Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS ; Club du Sahel, 1996) : le Cap Vert, la Mauritanie, le Sénégal, la Gambie, le Burkina Faso, le Mali, le Niger, la Guinée Bissau et le Tchad.

Si la localisation relative du Sahel est assez claire, sa caractérisation est plus complexe et plus variée (cf. 3.2). Le Sahel trouve en effet son identité par la complexité même et la diversité de chacune de ses caractéristiques (physiques et anthropiques), par les interrelations de ces mêmes caractéristiques et par ses relations avec les zones extérieures. Il s'agit d'un "système sahéen", qui, dans tous les cas, apparaît sans frontières géographiques fixes et établies.

La zone sahéenne immense peut cependant être divisée, à 150-200 mm en une partie au nord caractérisée par un pâturage à hauts rendements pendant 2 mois en saison des pluies et par des ressources en eau limitées ; et une partie au sud, caractérisée par un pâturage à moindre rendement, plus équilibré (avec une strate ligneuse et herbacée), exploité tout au long de l'année et par des ressources en eau plus importantes. Cette partie au sud peut elle-même être divisée à 350 mm en une moitié nord exclusivement

pastorale et une moitié sud agro-pastorale (Bernus, 1979). C'est dans cette dernière sous-zone du Sahel que se concentre notre recherche, et plus particulièrement au Niger.

3.2. Un contexte biophysique spécifique contraignant

Dans ce chapitre, nous nous attacherons à expliquer non seulement en quoi le Sahel est un contexte biophysique contraignant mais quelles en sont les conséquences au niveau de la variabilité spatiale et temporelle de la disponibilité des ressources et de leur utilisation par les sociétés concernées.

3.2.1. Le principal déterminant de la production végétale au Sahel : le climat

Rappelons que le climat sahélien est caractérisé par deux saisons bien tranchées : la saison sèche, sous la dominance de l'alizé continental, vent sec et chaud appelé Harmattan, et la saison des pluies durant laquelle souffle un vent chargé d'humidité (environ 70%) venant de l'hémisphère sud par l'équateur et le golfe de Guinée (Baldy, 1991). Le balancement nord-sud de la Zone Intertropicale de Convergence (ZITC) entraîne cette alternance saisonnière et conditionne tous les paramètres climatiques.

Le fait qu'il n'y ait qu'une seule saison des pluies (climat monomodal) est typique du Sahel, par opposition aux deux saisons des pluies dans les zones arides de la Corne de l'Afrique et autres régions de l'Afrique de l'Est. La saison sèche peut s'étaler d'octobre à mai-juin ; elle est très longue et difficile pour les pasteurs et leurs animaux en particulier.

La saison des pluies s'étale de juin à fin septembre. Sa durée diminue selon un gradient sud-nord ; elle varie d'une année à l'autre et peut présenter des périodes d'interruption. En fait, la remontée plus ou moins rapide vers le nord de la ZITC à partir du mois de mars et la position qu'elle atteint conditionnent l'abondance des pluies. Cette remontée est très irrégulière et a pour conséquence une grande intermittence des précipitations durant la première moitié de la saison des pluies et des gradients latitudinaux très marqués. L'irrégularité interannuelle est telle que les isohyètes ont une position qui fluctue de 200 à 300 km selon les périodes de référence, rendant trop incertaine la culture pluviale dans certaines zones. Au Niger, l'isohyète 400 mm s'est déplacé d'environ 150 km vers le sud, surtout au début des années "70", période identifiée comme une des périodes de sécheresse la plus prononcée (Ada et Rockström, 1993). Ces glissements des isohyètes ont un impact direct sur les ressources mais aussi sur les sociétés : migrations, sédentarisation (cf. 3.3.2).

Les systèmes précipitants sahéliens sont tous d'origine convective, mises à part des pluies exceptionnelles de saison sèche, appelées localement "pluies des mangues". Ces convections peuvent se confiner à une échelle locale ou peuvent se développer sur plusieurs centaines de kilomètres et s'organiser en ligne de grains. Ces lignes de grains sont constituées d'un front de cellules convectives alignées suivant une direction N-NE / S-SO, suivies par une zone de pluie stratiforme pouvant s'étendre sur plusieurs centaines

de kilomètres de profondeur. L'ensemble se déplace d'est en ouest à des vitesses comprises entre 50 et 60 km/h (Roux, 1987). En moyenne, lors d'un passage d'une ligne de grains, les deux tiers de la pluie précipitée sont associés au front convectif et le reste à la zone stratiforme. Le hyétogramme d'une telle pluie peut se schématiser de la façon suivante : une très courte période d'intensité faible (10 à 30 mm/h), une période de 5 à 20 mn constituant le corps du système convectif avec des intensités moyennes de 40 à 100 mm/h, pouvant atteindre des intensités de 150-200 mm/h, suivie enfin d'une longue traîne à faible intensité de 1 à 30 mm/h (Ambouta, 1994). De telles intensités, tombant sur des sols dont la structure superficielle a été très fragilisée par une forte dessiccation durant la saison sèche, se traduisent par une réorganisation des particules de surface des sols et la création de croûtes, pouvant conduire à des processus d'érosion (Casenave et Valentin, 1989).

Une autre caractéristique du Sahel est donc la grande variabilité spatiale et temporelle des pluies, à l'échelle des temps géologiques comme à l'échelle historique. Variables dans le temps et dans l'espace, les pluies peuvent donc faire défaut dans une région, alors que l'ensemble de la zone a connu des précipitations normales. Des sécheresses zonales, comme celle de 1940-1943, et des sécheresses locales peuvent être dues à la seule mauvaise répartition des pluies (Bernus, 1977). Cette variabilité implique, d'une part, une distinction entre les ressources relativement stables (ligneux essentiellement) et les ressources variables dans le temps (herbacées annuelles) et, d'autre part, des discontinuités dans l'espace.

Ce climat mono-modal de saison chaude, avec une variabilité des pluies à toutes les échelles, a une implication directe sur la production agricole (essentiellement céréalière) et la productivité ou biomasse du couvert végétal en général. La température au Sahel n'est jamais un facteur limitant en soi pour la production végétale. Cependant, les effets bénéfiques des pluies estivales sont atténués par l'insolation, la température et l'évapotranspiration qui, pendant près de neuf mois, atteignent des valeurs très élevées (Courel, 1984).

La composition de la strate herbacée est dépendante des conditions pluviométriques de l'année, en particulier de la structure du régime pluviométrique en début de saison des pluies (Hiernaux, 1984 ; Séghiéri, 1996). De plus, l'allongement de la saison des pluies se traduit par de nouvelles vagues de germination et l'allongement de la durée du cycle de certaines espèces, ligneuses ou herbacées.

Cette variabilité spatiale et temporelle des pluies a des implications directes sur les systèmes de cultures et les systèmes d'élevage. Les paysans ont en effet développé traditionnellement de nombreuses stratégies pour diminuer les risques de mauvaises productions céréalières face aux aléas climatiques (cf. 6.4. et 6.5.). Au niveau du système d'élevage, le nomadisme pastoral ou le phénomène de transhumance, de coutume au Sahel, est une réponse adaptative des éleveurs pour optimiser l'exploitation des ressources végétales inégalement réparties dans le temps et l'espace, basée sur un équilibre entre les animaux et le couvert végétal.

L'histoire du climat sahélien combinée à celle de la géologie ont conduit à des formations géomorphologiques et pédologiques spécifiques, déterminant les conditions de la production et de l'utilisation des ressources.

3.2.2. Les autres caractères du milieu sahélien

Le Sahel est le domaine du sable et de la roche. L'épandage des sables est l'héritage de la phase la plus aride du quaternaire moyen. L'envahissement des sables éoliens s'est fait à plusieurs reprises (Erg ancien 80000 BP et Erg récent : 20000 et 12000) pendant le quaternaire et compose l'actuelle couverture sableuse des larges vallées sèches, des piémonts des plateaux et parfois des plateaux eux-mêmes. Il a conduit également à la mise en place d'alignements dunaires de direction E-N.-E. / O.-S.-O. Le tracé de ces dunes est partout lisible au nord d'une ligne assez tourmentée centrée sur 15° de latitude nord à l'ouest du Niger et vers 13° à l'est. Mais, sans topographie marquée, ces épandages s'avancent par plaques encore plus loin vers le sud.

Partout où ils ne sont pas fixés par la végétation, ces sables sont remaniés par le vent en saison sèche ; ils constituent des sols "ferrugineux tropicaux" au sud ou "brun-rouge" subarides au nord. Ces sols meubles et légers, permettant aux agriculteurs d'utiliser des outils de travail du sol très rudimentaires, sont cependant une proie facile pour le vent, qui exporte leurs particules fines. Par ailleurs, ils sont très pauvres en humus et en bases assimilables (Delabre, 1998).

En même temps que le rôle majeur des sables, le milieu sahélien met en évidence celui de la roche affleurante attaquée par la désagrégation mécanique et, en saison des pluies, par le ruissellement. Les cuirasses latéritiques - témoins de périodes plus humides - arment toute la dalle gréseuse du ferlo aride au Sénégal, et elles remontent loin vers le nord au Niger occidental et au Tégama, où elles donnent des reliefs tabulaires culminants (vers 250 m au Niger), recouverts par de la végétation naturelle plus ou moins contractée (la brousse tigrée en étant le faciès le plus marquant ; d'Herbes et al, 1997).

La dégradation du réseau hydrographique par écoulement temporaire est un caractère général, sauf dans le cas particulier des grands fleuves qui traversent le Sahel "en étrangers". L'écoulement de surface, du fait de l'infiltration considérable et de la forte évaporation, ne mobilise qu'une faible partie des eaux de pluie. Dans la région de Niamey au Niger, il n'existe aucun cours d'eau permanent en dehors du fleuve Niger et les rares rivières intermittentes significatives se trouvent en rive droite. Sur la rive gauche, se trouve une multitude de bassins endoreïques dont la taille est de l'ordre du km². Le point bas de la plupart de ces unités est généralement constitué par une mare temporaire qui recueille une partie du ruissellement et dont les débordements représentent l'essentiel de l'infiltration vers la nappe phréatique (Desconnets, 1994). En dehors de ces mares, il ne semble pas exister d'infiltration directe significative. Ces eaux rassemblées dans les mares peuvent persister en début de saison sèche et sont à ce moment là tout particulièrement précieuses pour l'abreuvement des animaux.

L'écoulement temporaire des oueds (*koris* en zarma) se fait ainsi généralement (cas de nombreux affluents du Niger : dallols ; ou du Sénégal : Gorgol et vallées mortes du Ferlo) par des crues violentes d'hivernage qui se perdent rapidement vers l'aval de vallées très larges héritées des périodes humides du Quaternaire. En dépit de leurs insuffisances et de leurs caprices, les cours d'eau sahéliens sont précieux pour l'homme. Par leur écoulement apparent ou souterrain (inféro-flux), ils fournissent de l'eau et permettent des cultures de décrue. Il ne faut pas négliger le rôle des nappes phréatiques, réserves profondes, pour l'approvisionnement en eau des sociétés rurales. Au Niger, entre les latitudes 13° et 14° et les longitudes 2° et 3°, le niveau des nappes varie environ entre 185 m et 210 m (Leduc et Lenoir, 1995), alors que l'altitude à la surface varie entre 200 et 250 m. Les puits ont ainsi une profondeur variable, pouvant aller de 60 à 70 m pour les plus profonds à quelques mètres pour les moins profonds. Ils sont exploités pour l'alimentation humaine et/ou l'abreuvement du bétail.

Steppe (ou savane) arbustive ou buissonnante, brousse arborée, scrub épineux, quel que soit le terme utilisé pour qualifier la formation végétale caractéristique du Sahel, référence est faite, comme pour le Soudan, à l'association de l'herbe et des arbres. Mais ici, la strate herbacée, à la différence de celle du Soudan, est une formation "ouverte" à faible taux de couverture du sol.

Les espèces herbacées et ligneuses s'associent en proportions variables suivant les conditions climatiques (degré d'aridité), topographiques, édaphiques et l'importance des activités humaines (Yamba, 1993). Les herbacées sont essentiellement des "thérophytes", graminées annuelles pour la plupart avec une régénération à la première pluie grâce à leurs graines à dormance prolongée. Ce sont aussi des "géophytes" ou "éphémères" vivaces qui, par leur bulbe ou leur rhizome, survivent à la saison sèche. Ces plantes constituent les pâturages du Sahel dont la productivité et la biomasse varient considérablement en fonction des précipitations et de la nature des sols. La strate ligneuse est le plus souvent composée d'arbustes, dénudés en saison sèche et avec des épines. Le "cram-cram" (*Cenchrus biflorus*), pour beaucoup d'auteurs, limite le Sahel vers le nord et, au sud, *Faidherbia albida* ("Gao"), *Adansonia digitata* ("Baobab") et le Karité (*Vittelaria paradoxa*) annoncent le Soudan.

3.3. Les sociétés sahéliennes : adaptation à un contexte biophysique contraignant

3.3.1. Un système d'exploitation traditionnelle

Le quasi parallélisme des isohyètes au Sahel fait se succéder suivant un gradient sud-nord, d'aridité croissante, différentes zones agro-écologiques où le domaine des cultures cède progressivement la place à celui des activités pastorales. La proximité géographique de ces deux domaines a induit les mouvements de transhumance nord-sud bien connus (Jouve, 1991).

Les troupeaux pratiquent en effet traditionnellement une migration pendant la saison des pluies vers les pâturages à haut rendements et à courte durée au nord afin de mettre à profit les très vastes ressources pastorales générées par les pluies et afin de satisfaire les besoins des animaux en sels minéraux présents dans les eaux et les terres

de cette région pré-saharienne, d'où son nom de "cure salée" (Bernus, 1979 ; Jouve, 1991). Au Niger, ils remontent jusqu'à la frontière du Mali. Grâce à cette migration, les cultures pluviales ne sont pas menacées et les parcours de saison sèche sont préservés.

Lorsque les ressources en eau et en fourrage du nord s'épuisent, les troupeaux redescendent au sud (saison post-récolte), se dispersent et font une exploitation fine des pâturages disponibles (en particulier l'exploitation des chaumes). *Ils ne se rassemblent donc vraiment autour des points d'eau que pour une courte durée, en fin de saison sèche, avant de partir en transhumance, et ce rassemblement n'est pas néfaste puisqu'à cette époque de l'année les graines des pâturages herbacés sont depuis longtemps dispersées* (Bernus, 1979). Ainsi, d'après Toupet (1975), dans la mesure où la charge des troupeaux n'est pas excessive, le nomade ou transhumant est "conservateur de la nature".

De ce double mouvement de transhumance sont nées des relations entre agriculture et élevage qui constituent un des fondements des systèmes agraires sahéliens... Elles se sont concrétisées par un certains nombres de pratiques : confiage, contrat de fumure, etc...qui ont joué, jusqu'à une date récente, un rôle important dans le fonctionnement des systèmes de production sahélo-soudaniens, que ce soit en matière d'épargne, de capitalisation, ou en ce qui concerne la gestion de la fertilité des sols (Jouve, 1991).

Le système de culture traditionnel sahélien est un système de culture pluviale plus ou moins extensif. Au sud de l'isohyète 350 mm, une rotation cultures / jachères était traditionnellement pratiquée avec un pas de temps d'une quinzaine d'années (Floret et Pontanier, 1993). Les jachères étaient utilisées comme pâturage par les animaux. L'espace agricole concernait traditionnellement d'une part les "champs de case" cultivés chaque année à la périphérie des villages sur les sols les plus légers et, d'autre part, les « champs de brousse », régulièrement mis en jachère. Beaucoup d'espaces restaient vierges. L'agriculture et l'élevage étaient complémentaires.

Cette exploitation traditionnelle, poursuivie dans ses grandes lignes jusqu'à nos jours, a cependant subi un certain nombre de perturbations qui ont des conséquences directes sur le milieu.

3.3.2. Agriculteurs et éleveurs : évolution au cours de l'histoire

Remontons jusqu'au temps de la colonisation pour comprendre l'évolution des rapports entre agriculteurs et éleveurs et son importance sur le milieu.

D'après E. Bernus (1974), la prépondérance des peuples pasteurs "nobles" (les Touareg et les Peul) sur les paysans prit fin avec l'arrivée des colonisateurs. Ces pasteurs opposèrent en effet la plus vive résistance aux nouveaux occupants et perdirent beaucoup d'hommes. On assiste alors à un déséquilibre et à un morcellement de la société pastorale, à une dispersion générale des hommes et des troupeaux.

L'accroissement naturel des paysans autochtones implique une extension parallèle des terres cultivées. De plus, cette extension est accentuée par la croissance

démographique dans la zone soudanienne, qui engendre à son tour une colonisation agricole en direction du Nord. On assiste alors à l'accaparement de tous les espaces libres par les agriculteurs, à la réduction des pâturages à l'intérieur de la zone sahéenne cultivée.

C'est pourquoi, une soixantaine d'année avant la sécheresse de 1972-74, on note une remontée générale des pasteurs peuls vers le nord, d'où surcharge des pâturages jusque là occupés de façon beaucoup moins dense par les seuls Touareg.

En retour, la frange septentrionale du domaine agricole, où les pluies sont à peine suffisantes pour des récoltes régulières, a vu converger vers elle les paysans qui cherchaient des espaces vierges, et de nombreux nomades d'origine servile (Bella et Bouzou) qui avaient quitté les campements de leurs maîtres pour défricher un champ à leur propre profit (Bernus, 1974). Ces nouveaux colons ont occupé tous les espaces intercalaires.

Ainsi, dans la zone pastorale comme dans la zone agricole sahéenne, la densité humaine et animale ne cesse de s'accroître.

Tous ces phénomènes s'intègrent, contribuent ou se superposent à l'explosion de la croissance démographique globale actuelle. En effet, la population humaine au Sahel croît globalement, depuis la seconde guerre mondiale, avec un taux soutenu d'environ 3% par an (World Bank, 1989) et ce chiffre global cache une courbe de croissance qui s'accélère au cours du temps (Figure 3). Le taux de croissance double la population tous les 22 ans. Le problème de la croissance démographique au Niger et en particulier dans la zone d'étude sont repris dans le paragraphe 4.2.1.2.

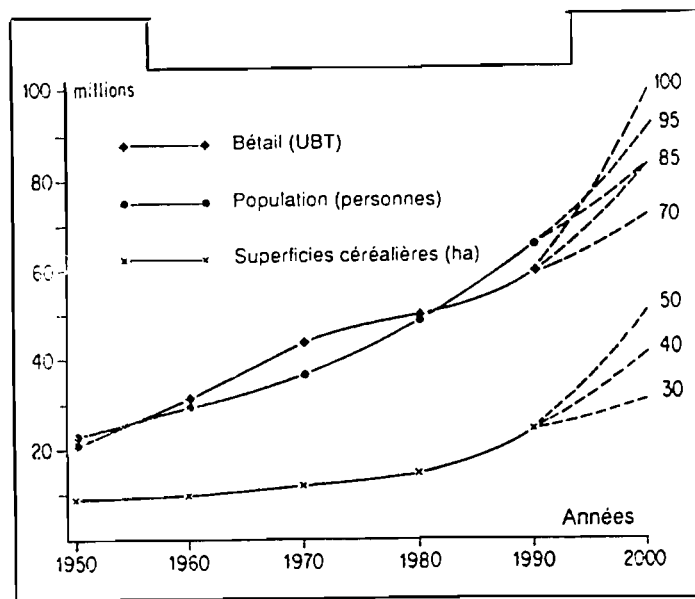


Figure 3 : Evolution des populations humaines et animales dans les pays sahéens (d'après Le Houérou, 1993)

Cette croissance démographique ne peut en aucun cas être ignorée, non pas tant par son chiffre en absolu, mais surtout parce qu'elle s'applique au Sahel, une zone à

équilibre fragile et fragilisé. De plus, c'est dans ce contexte de croissance démographique que sont intervenues les sécheresses récentes (1972-74 et 1982-84). Ces deux phénomènes conjugués ont engendrés, entre autre, une perturbation profonde des mécanismes de complémentarité entre éleveurs et agriculteurs en zone sahélienne.

Avec les sécheresses, les ressources pastorales ont diminué et les difficultés de leur utilisation ont été accentuées (pénurie d'eau). Les troupeaux ont alors séjourné plus longtemps et plus nombreux dans les zones cultivées méridionales alors que, dans le même temps, du fait de la sécheresse mais aussi de la pression foncière (croissance démographique), les cultivateurs se sont mis à récupérer les chaumes et même à récolter des fourrages naturels pour nourrir leur propres animaux domestiques et à augmenter considérablement le prix du mil. Ainsi, les éleveurs ont vu leur accès aux ressources fourragères diminuer et leur approvisionnement en mil rendu extrêmement difficile.

Ce sont les éleveurs qui ont le plus souffert de ces sécheresses récentes, avec une perte de 80 % de leur cheptel en 1972-74. En 1982-84, instruits par l'expérience, ils ont préféré vendre leurs animaux aux commerçants du sud. Dans tous les cas, ils ont perdu une grande partie de leur moyen d'existence. Dans la partie septentrionale du Sahel, ils n'ont pu survivre que grâce à l'aide alimentaire internationale et plus au sud, le mouvement de sédentarisation déjà amorcé s'est accéléré et a renforcé la pression sur la terre (Jouve, 1991).

Pour les agriculteurs sédentaires, qui possédaient déjà quelques animaux domestiques (petits ruminants essentiellement) et même quelques bovins qu'ils confiaient alors aux éleveurs transhumants (peuls au Niger), la sécheresse a accentué l'intégration de l'élevage bovin dans les exploitations (Jouve, 1991).

Les sécheresses récentes et l'idéologie des projets vers "l'autosuffisance" alimentaire, fondée sur la céréaliculture, ont accentué la vocation agricole au Sahel au détriment des éleveurs. Ces derniers ont été repoussés vers les limites nord, et, plus au sud, en dessous de l'isohyète 350 mm, la zone agro-pastorale où cohabitaient agriculteurs et éleveurs en harmonie s'est transformée au fur et à mesure en zone d'agro-pasteurs. Comme le dit Jouve (1991), on pourrait résumer un peu schématiquement ces évolutions en disant que les éleveurs sont devenus agriculteurs et les agriculteurs éleveurs. Bonfiglioli (1990) propose une typologie qui différencie actuellement 3 types d'agro-pastoralisme des pasteurs et trois types d'agro-pastoralisme des agriculteurs. Nous proposerons dans le paragraphe 4.4.2, notre propre typologie d'exploitation adaptée à notre zone d'étude, avec les systèmes de production associés.

3.4. Un contexte politico-économique défavorable

3.4.1. Facteurs politico-économiques accentuant les phénomènes de déséquilibre au Sahel

La surcharge due à la croissance démographique des hommes et des troupeaux est accrue par des facteurs politico-économiques.

En effet, à la croissance des troupeaux étrangers conduits par des éleveurs peuls venus généralement du sud s'ajoute une intensification pastorale in situ due aux grandes campagnes de vaccination, qui ont presque entièrement jugulé les épidémies (peste bovine et caprine).

Aussi, pour lutter contre cette progression vers le nord des cultures et mettre en défens cette zone à vocation pastorale, une loi fixe en 1961 au Niger la limite de 350 mm au delà de laquelle tout défrichement est interdit (Bernus, 1979).

Cette loi fut inapplicable et inappliquée et, après la sécheresse de 1972-74, la colonisation des champs de mil au nord semble même être tacitement accordée par les autorités, plus intéressés à voir croître dans l'immédiat les ressources céréalières qu'à préserver le potentiel fourrager.

D'après Bernus (1979), le danger immédiat de cette mise en culture systématique se trouve dans le fait que l'érosion éolienne sévit en saison sèche sur les sables remis à vif et l'érosion hydrique poursuit le travail amorcé, abrase, incise, transporte et dépose en contrebas les matériaux plus grossiers et plus résistants. Le défrichement, avec destruction éventuelle par le feu des arbres et des arbustes, rend les sols sensibles à l'érosion par dénudation et épuisement, et tend à la "minéralisation progressive du milieu".

L'espace cultivé augmente et, à l'intérieur de ce même espace, le système d'exploitation des champs se modifie. Cette évolution croissante des superficies cultivées globales (Figure 4) s'est appliquée tout au long de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle. Cependant, les superficies cultivées globales ont augmenté dans certaines régions moins vite que la population, et, dans ce cas, la superficie cultivée par habitant a diminué. En effet, entre 1977-88 (intervalle pour lequel on dispose de statistiques démographiques et agricoles), on observe dans la région de Niamey une diminution globale de 10% des surfaces cultivées en mil par habitant (Projet Energie II, 1991).

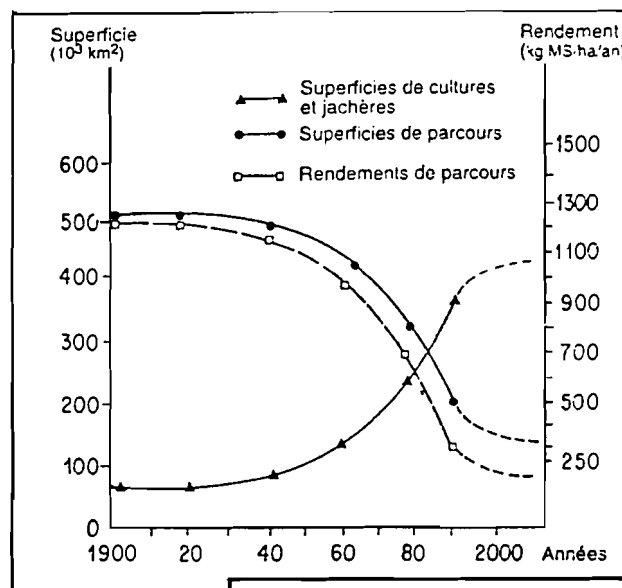


Figure 4 : Croissance des superficies cultivées au Sahel et évolution de l'utilisation des terres de 1950 à 1990 ; projections pour l'an 2000 (d'après Le Houérou, 1993)

La loi visant à empêcher les défrichements agricoles, s'accompagnait d'une politique d'hydraulique destinée à intensifier l'élevage.

Des puits profonds et des stations de pompage ont été installés un peu partout. Des deux composantes de la vie pastorale, le pâturage et l'eau, la seconde est seule susceptible de recevoir des améliorations rapides grâce à des aménagements. Les conséquences furent la désorganisation du système d'exploitation traditionnelle (disparition de la main d'oeuvre servile) et la concentration excessive des troupeaux autour des points d'eau (Bernus, 1979). En effet, la liberté d'accès aux points d'eau publics a supprimé le contrôle traditionnel des pâturages et a favorisé des concentrations de bétail jusque là inconnues. Aux abords immédiats des stations de pompage, les effets mécaniques du piétinement des animaux et les effets chimiques des déjections se sont cumulés pour créer des auréoles sans végétation (Bernus, 1979).

Ainsi, non seulement la charge des troupeaux augmente globalement (Figure 5), mais en plus cette charge est variable dans l'espace (particulièrement forte autour des points d'eau et des villages). D'après Bernus (1977), le nomadisme pastoral, souvent considéré comme un mode de vie anarchique et anachronique, est en fait la réponse des éleveurs pour l'exploitation d'une zone où la végétation est inégalement répartie : c'est une exploitation rationnelle lorsqu'elle se base sur un équilibre entre les animaux et le couvert végétal, qui se règle d'elle-même et se corrige en fonction des années sèches et des années humides. Lorsque de nouvelles techniques permettent une multiplication des troupeaux, sans pour autant assurer des ressources nouvelles de pâturages, le déséquilibre devient permanent, masqué en période humide, et dramatiquement visible en période de sécheresse.

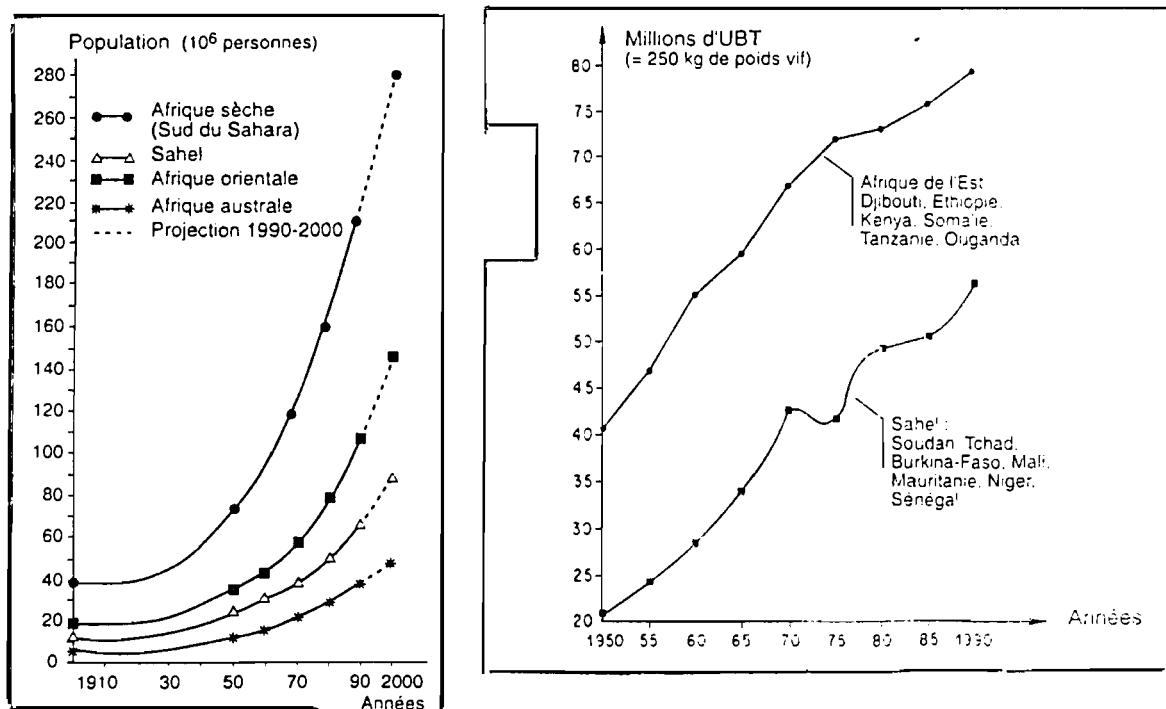


Figure 5 : Evolution des populations humaines et animales et des superficies céréalières pluviales dans les pays sahéliens de 1950 à 1990 ; projections pour l'an 2000 (d'après Le Houérou, 1993)

De plus, la mise en valeur de la zone sahéenne pastorale a provoqué d'autres types de concentration. Depuis l'indépendance, les gouvernements ont voulu fournir un maillage administratif fixe à chaque arrondissement : implantation de sous-préfectures, création d'écoles fixes, de dispensaires, de nouvelles voies de communication impliquant à son tour l'apparition de nouveaux marchés (Bernus, 1979). Le poids des installations fixes sur l'ensemble du Sahel a augmenté et a instauré un déséquilibre du milieu naturel.

Ces nouveaux marchés et donc ces nouvelles agglomérations le long des nouvelles voies de communication ont impliqué, entre autre, de nouveaux types d'habitats fixes et solides et globalement un besoin en bois considérablement accru (le "dum" pour la construction, le bois d'énergie pour approvisionner les villes). Certains nomades se spécialisent dans la vente du bois, et une nouvelle catégorie sociale apparaît: les commerçants professionnels du bois. D'après Delwaulle et Roederer (1973), on tendait déjà vers une désertification totale dans un rayon de 40 à 50 km autour de Niamey en 1973.

3.4.2. La crise en Afrique de l'ouest et au Niger

Tous les phénomènes géo-socio économiques énoncés jusqu'à présent décrivent un contexte général de crise au Sahel qui s'applique de la même façon à la frange sahéenne de l'Afrique de l'Ouest en général et du Niger en particulier, Niger au sens étatique du terme avec son propre gouvernement et sa propre politique, avec ses propres caractéristiques socio-économiques.

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, plusieurs phénomènes puissants ont contribué à transformer l'Afrique de l'ouest (dont le Niger) en profondeur (Club du Sahel, 1996) : une croissance démographique soutenue (+2,7%/an), une exposition croissante au reste du monde et un accès à la souveraineté nationale (indépendance du Niger en 1960). Les mutations profondes résultant de cette situation sont nombreuses. Toujours d'après la note de synthèse du Club du Sahel (1996), elles sont les suivantes :

- Entre 1960 et 1990, la population est passée de 85 à 193 millions d'habitants.
- L'activité économique, dominée par les exportations de matières premières, s'est développée rapidement autour du golfe de Guinée et secondairement dans le sud des pays sahéens.
- Portés par des cours élevés des matières premières et par une grande facilité d'emprunt, les jeunes états ouest-africains ont engagé des dépenses importantes, concentrées dans les villes.
- Les populations ont répondu aux transformations de l'économie par des migrations de grande ampleur : vers les zones agricoles pionnières, vers les pays les plus dynamiques et vers les villes.
- En l'espace de trente ans, 8 millions d'Africains de l'ouest ont changé de pays, tandis que la population urbaine passait de 12 à 79 millions d'habitants, soit de 13 à 40 % de la population totale, l'immigration constituant les trois quarts de cette croissance.

- Depuis le début des années 1980, ces mécanismes ont brutalement ralenti avec la chute des cours des matières premières, la montée de l'endettement et la crise financière des Etats. Ce ralentissement économique a entraîné une baisse des opportunités liées à la croissance urbaine et un durcissement social généralisé.

En ce qui concerne plus particulièrement le Niger, il connut une amélioration temporaire de ses ressources économiques dans la seconde moitié des années 70 avec une croissance temporaire du secteur rural grâce à des conditions climatiques redevenues favorables et avec la vigueur de la demande mondiale suscitant une hausse sensible de la production d'uranium, des recettes d'exportation et des recettes publiques correspondantes. En 1980, les cours mondiaux d'uranium s'effondrent et l'uranium qui rapportait 100 milliard de FCFA au Niger en 1980 n'en rapportait plus que 60 en 1989. Ce fléchissement de l'activité minière et les réductions qu'il a engendrées dans le programme d'investissements publics se sont traduits par un ralentissement des activités de construction et des travaux publics et par une forte récession du secteur moderne profitant largement au secteur informel. Par ailleurs, la production rurale a souffert à la même époque en raison de la nouvelle période de forte sécheresse de 1982-84. (Plan de Développement Economique et Social du Niger, 1987-1991, texte intégral, ordonnance N°87-015 du 30/04/87).

Cette baisse de l'activité économique eut de lourdes répercussions sur les déficits extérieurs qui n'ont fait que s'aggraver depuis, malgré les efforts de restructuration.

Ainsi, depuis le début des années 1980, la situation politico-économique du Niger est grave et ne fait qu'accentuer les problèmes de la frange sahélienne nigérienne. Les caisses de l'Etat sont vides, le commerce extérieur déficitaire. Les exportations se montent à 331 millions de dollars et les importations à 370, soit un déficit de 39 millions en 1989, le principal client étant la France à 80,1% et le principal fournisseur également la France à 32,1%. Le PIB est de 2,1 milliard de dollars en 1989, avec un taux annuel de croissance négatif, -1,6% entre 1980 et 1989. La structure du PIB se caractérise par la place encore très importante du secteur rural (68% en 1965, 45,8% en 1986 et 36% en 1989), par un secteur secondaire réduit et très dépendant de la demande extérieure (mines d'uranium) et intérieure (industrie, BTP) et enfin par un secteur tertiaire en expansion continue en raison du développement des activités marchandes et des services fournis par les administrations publiques (29% en 1965, 34,1% en 1986 et 51% en 1989). Cependant, la part du secteur informel demeure très importante (plus de 70% du PIB en 1986) et a plutôt tendance à s'accroître depuis 1981 (Plan de Développement Economique et Social du Niger, 1987-1991).

Les seules ressources en devises que possède le Niger sont les aides au développement (297 million de \$ en 1989) et celles provenant de l'uranium (250 million de \$ en 1989). La dette extérieure totale est de 1,6 milliard de dollars en 1989 contre 1,2 milliard en 1985. De plus, suite aux élections législatives de janvier 1995, la dévaluation du FCFA et la pression du Fond Monétaire International pour un réajustement structurel de l'économie se sont traduits par un blocage institutionnel total et une certaine "anarchie" dans la loi des marchés.

Le Niger, pays enclavé, est en fait un pays dans une position très critique, accumulant de nombreux facteurs biophysiques et socio-économiques défavorables :

- Pays principalement lié à l'économie française, avec 8 millions d'habitants à nourrir (1991) et un taux de croissance de 3,3% pour l'ensemble du pays (supérieur à la moyenne sahélienne de 3,0%),
- Dégradation de son espace rural,
- Un contexte ethno-politique conflictuel : démocratie récente avec Mahamane Ousmane, 1^{er} président élu démocratiquement en mars 1993, grèves répétées des étudiants, trois années successives -1992/93, 1993/94, 1994/95- déclarées années blanches, retards répétés de plusieurs mois pour le paiement des salaires des fonctionnaires, affrontements dans le nord du pays entre les Touareg et l'armée depuis novembre 1991, coup d'Etat en janvier 1996 et durcissement politique avec Barré Maïnassara élu président en juillet 1996...,
- Les caisses de l'Etat vides...

L'obstacle majeur à sa relance économique est l'absence de moteurs de croissance, et tout particulièrement depuis 1981. Le développement du secteur industriel (brasserie, savons, parfums, ...) est encore embryonnaire en raison notamment de l'étroitesse du marché intérieur, du bas niveau général des revenus (particulièrement en milieu rural) et des problèmes de concurrence aux productions locales des importations en provenance du Nigeria. Bien que demeurant le principal produit d'exportation, l'uranium ne saurait être le fondement de la stratégie de développement du Niger en raison des incertitudes pesant sur son marché. On ne peut tabler, ni sur un accroissement significatif de la production à court terme, ni sur une amélioration des prix, ceux-ci ne pouvant se maintenir en termes réels. Le développement de la production de charbon est lié à un improbable accroissement de la demande des sociétés minières adressée à la SONICHAR d'une part, à l'utilisation du charbon à des usages domestiques d'autre part. Quant aux possibilités d'exploitation rentable à moyen terme des autres ressources minérales connues, elles ne sont pas bien établies. Le secteur commercial et artisanal est dominé par l'informel mais reste le principal pourvoyeur d'emploi et de revenu, après l'Etat. La faible transformation intérieure industrielle des céréales (mil, sorgho), l'insuffisante diversification des productions et le faible pouvoir d'achat des populations obligent le maintien d'un contexte d'agriculture vivrière ne pouvant alimenter une stratégie continue de développement. L'élevage, pour des raisons de concurrence avec les cultures, pour des raisons de choix politiques et d'aides internationales, se voit incapable de transformer à court et long terme le grand espace sahélien en "grenier à viande" de l'Afrique de l'Ouest.

Cependant, le monde rural, représentant 83% de la population nigérienne en 1995 mais contribuant à peine à 38% (37,46) du PIB en 1991 contre 57,8% en 1961-63 et 39% en 1989 (FAO/GIEWS, 1997), doit se voir accorder une priorité à court terme. Il est vital de maintenir, encore mieux d'accroître la production agricole en fonction de la croissance démographique, afin de simplement satisfaire les besoins alimentaires minimum de sa population. Or, même cet objectif minimum est menacé, en raison de la dégradation des ressources naturelles du pays et de la désertification : l'espace utilisable par l'agriculture est progressivement saturé.

Dan ce contexte, afin d'améliorer la gestion des ressources (et notamment agricole) sans pour autant dégrader son environnement (physique et social), le Niger est un pays où le besoin d'améliorer la connaissance insuffisante des ressources naturelles et de leur degré d'utilisation et de développement (eau, sols, pâturage, forêts,...) est particulièrement important. Un gros effort doit être fourni pour comprendre la dynamique des relations entre systèmes écologiques et systèmes sociaux pour se doter des clés d'interprétation d'un paysage et fournir les informations nécessaires pour une prise de décision vers un développement durable.

Chapitre 4 : APPROCHE REGIONALE (Zarmatarey) ET LOCALE (Banizoumbou) D'UNE ZONE AGRO-PASTORALE AU NIGER

4.1. Pourquoi Banizoumbou ?

La zone d'étude sur laquelle porte notre recherche a été historiquement proposée par le programme international HAPEX-Sahel (Hydrologic Atmospheric Pilot Experiment) au Niger. Celui-ci est inscrit dans le cadre du Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC) dont l'un des thèmes est l'amélioration de la modélisation de l'interface continent-atmosphère au sein des Modèles de Circulation Générale Atmosphérique (MCGA). Le Sahel, constituant le plus vaste ensemble continental en zone tropicale sèche, représentait de ce fait une aire d'intérêt prioritaire pour cette question (Lebel, 1995). Dans l'espace, l'échelle de référence est la maille élémentaire des MCGA, qui mesure 100 à 200 km de côté. Pour HAPEX-Sahel, un degré carré (environ 110*110 km², Figure 6), délimité par les latitudes 13° et 14° Nord, d'une part, et par les longitudes 2° et 3° Est, d'autre part, a été instrumenté. Une des autres échelles spatiales privilégiée a été le super-site, d'une surface de quelques centaines de km². Trois super-sites destinés à rendre compte du gradient pluviométrique et de la diversité des conditions de surface ont été instrumentés densément. Le super-site central Est (SSCE) est celui que nous avons retenu, avec pour mission au départ de fournir une carte d'occupation des terres de la zone au programme HAPEX-Sahel. Le degré carré est considéré, dès le début, de ce fait, comme la zone de première spatialisation à l'échelle régionale de nos résultats locaux.

Durant la Période d'Observation Intensive (POI) HAPEX en saison des pluies 1992, les différents chercheurs de l'IRD Niamey (pédologue, écologues, hydrologues, géologues,) ont privilégié le degré carré ou le SSCE pour concentrer leur recherche. D'autant plus, qu'avant même la POI, le programme EPSAT (Estimation des Pluies par SATellite) avait déjà équipé le degré carré de 100 pluviographes pour étudier la variabilité spatiale et temporelle des pluies. Avec un effet "boule de neige", le site étant de plus en plus informé, d'autres programmes et organismes internationaux se sont intéressés à la zone d'étude :

- SALT (SAVane à Long Terme, du PIGB -Programme International Géosphère Biosphère)- s'intéresse au fonctionnement hydrologique et biologique des différents constituants du paysage (brousses sur plateaux, jachères, champs cultivés) et a fourni une paramétrisation de base pour les niveaux de production des différents milieux (Menaut et al, 1993).
- Le programme régional "gestion et amélioration de la jachère en Afrique de l'Ouest" conduit un programme de recherche destiné, d'une part à préciser le fonctionnement et la dynamique des jachères de la région écologique, d'autre part, à tester des méthodes simples de réhabilitation des jachères dégradées (Floret et al, 1997).
- ILRI (International Livestock Research Institut, ex ILCA = CIPEA) mène actuellement un programme destiné à analyser les conditions de fertilisation des champs cultivés à travers une meilleure gestion des troupeaux (Hiernaux, 1984).

- ICRISAT conduit des recherches sur l'amélioration des cultures en conditions sociales réelles, appuyé sur son centre de recherche expérimental de Sadoré.

Des étudiants et des chercheurs de l'Université de Niamey et de l'INRAN (Institut National de Recherche Agronomique Nigérienne) ont également participé à ces différents programmes. Pour finir, le site de Banizoumbou a été retenu comme un des sites pilotes du programme ROSELT (Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme) de l'O.S.S (ROSELT, 1995).

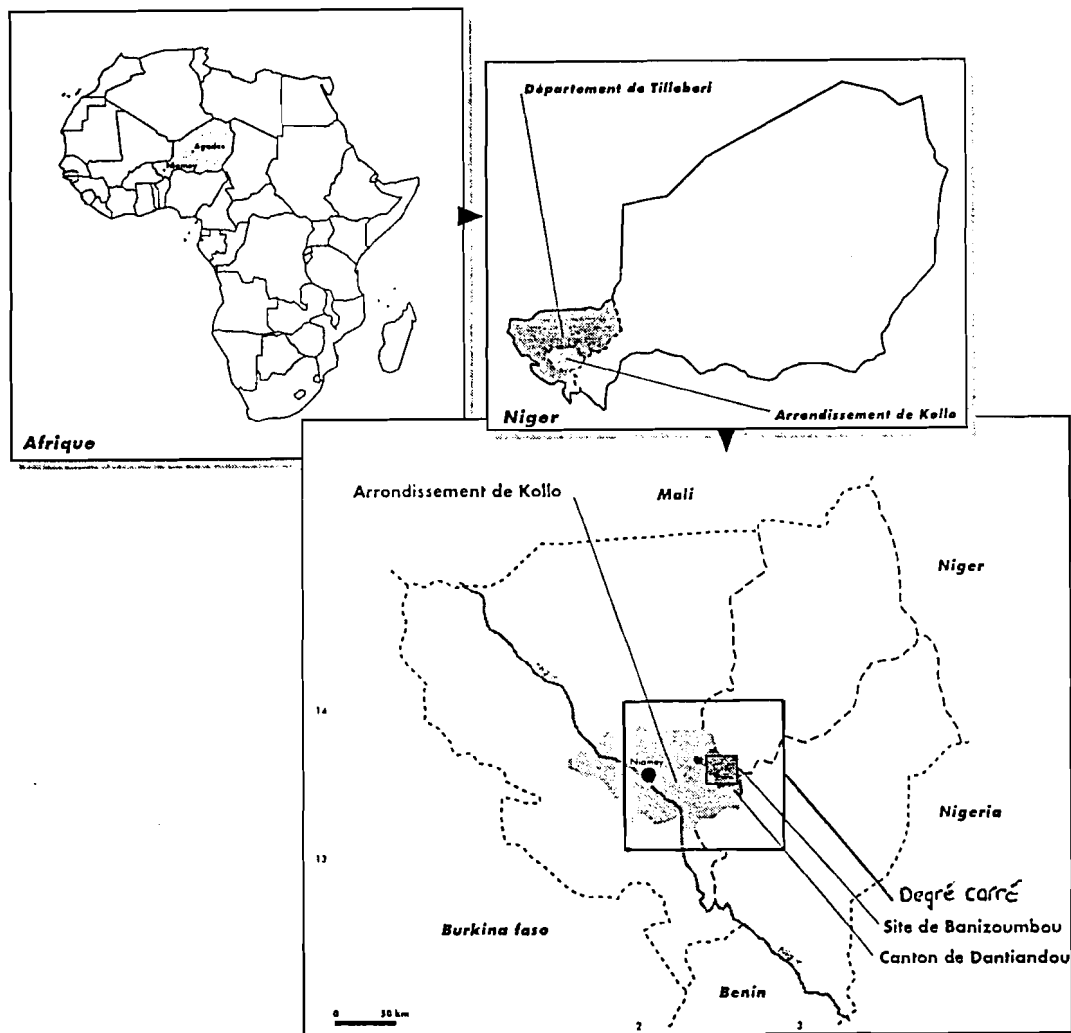


Figure 6 : Localisation du site de Banizoumbou (SSCE) et du degré carré de Niamey

L'ensemble des acquis scientifiques justifie le choix de ce site pour conduire notre démarche, par nature inter-disciplinaire. La taille du SSCE (20*20 km) est adaptée à notre sujet de recherche puisqu'elle représente une échelle intermédiaire entre le local (parcelles, terroirs villageois) et le régional (au sens sous-national). C'est une méso-échelle du point de vue écologique et une échelle intermédiaire du point de vue socio-économique dans le sens où elle représente presque un canton (canton de Dantiandou) qui regroupe plusieurs terroirs villageois. Elle se situe dans l'arrondissement de Kollo et

le département de Tillabéry (Figure 6) à environ 70 km à l'est de Niamey. Celui-ci fait environ 90300 km² et regroupe 6 arrondissements, dont celui de Kollo au centre (Gavian, 1993). L'accent est délibérément mis sur la dimension locale car c'est à ce niveau qu'il est possible d'appréhender les pratiques d'utilisation du milieu naturel.

Dans la suite de ce chapitre, concernant la présentation des différents aspects biophysiques et socio-culturels ou agronomiques de la zone d'étude, nous ferons appel à la fois à des documents existants et aux résultats de nos propres travaux considérés comme préliminaires nécessaires à l'approche principale.

4.2. L'occupation progressive de l'espace par l'homme sur l'ensemble du site

Notre zone d'étude se situe dans l'ancien canton de Fakara (actuel canton de Dantiandou), au sud du Zarmaganda proprement dit, au centre ouest du Zarmatarey (Figure 7). Etymologiquement, le suffixe "tarey" signifie en langue zarma "pays de, région de, terre de". C'est pourquoi, nous employons Zarmatarey ("pays des Zarma") pour l'ensemble du pays Zarma actuel englobant le Zarmaganda et la zone d'expansion des Zarma au sortir du Zarmaganda. Le Zarmatarey s'étend grosso modo d'est en ouest de Bobol dans la région de Dosso ou Sigi à la région du fleuve Niger, et du nord au sud, de la frontière actuelle du Mali et du Niger à Kullu sur le fleuve Niger.

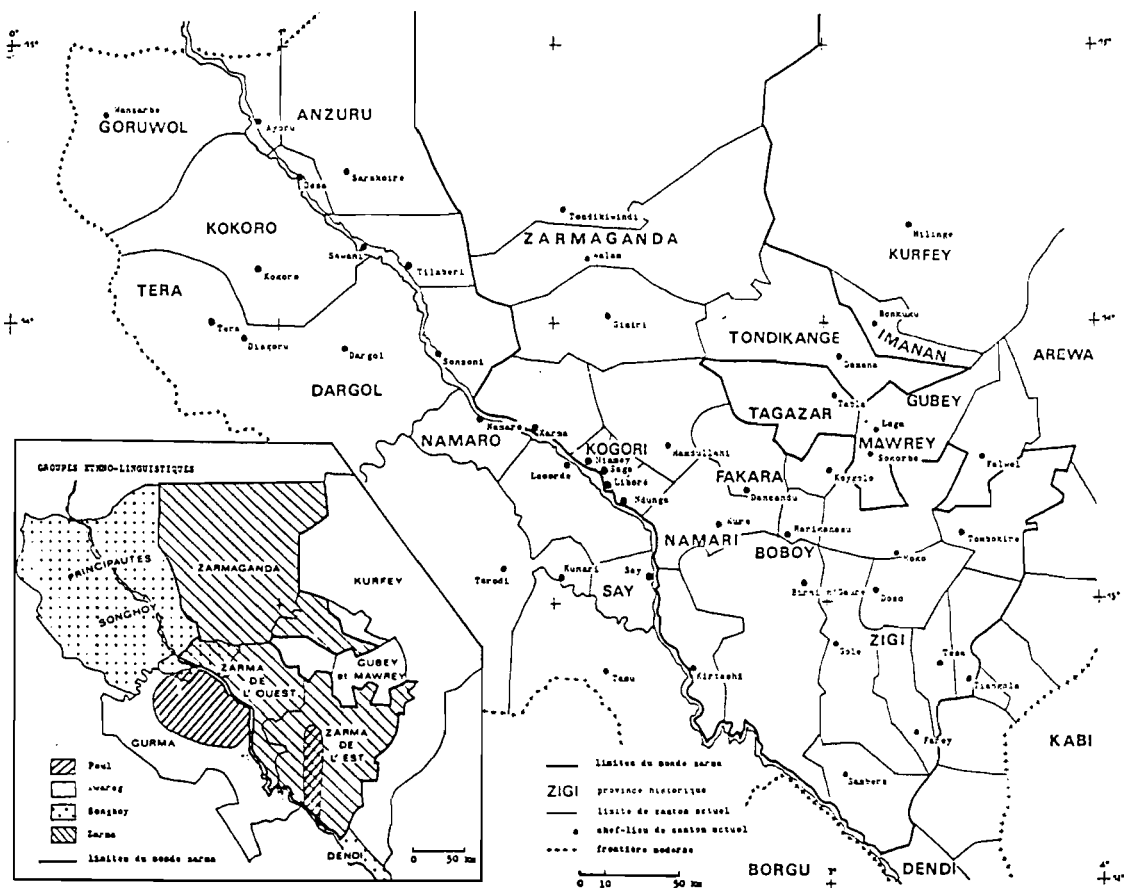


Figure 7 : Carte des communautés territoriales historiques et des cantons actuelles (d'après Gado, 1980)

4.2.1. Dynamique des populations humaines

4.2.1.1. Historique socio-ethnique du Zarmatarey

Origine et migrations des Zarma

L'origine des Zarma est complexe. Cependant, en s'appuyant sur les textes de Boubé Gado (1980), nous allons retracer rapidement l'origine et les migrations des Zarma pour s'installer dans le Zarmatarey actuel.

Dans la seconde moitié du X^e siècle, l'islamisation des Zaa (de la dynastie des Zaa, empire songhay naissant au IX^e siècle près de Kukiya et Gao dans le Mallé ou Mali) aurait eu pour conséquence deux mouvements de migrations de quelques princes Zaa ; les uns se dirigèrent vers l'Azawak, l'Anzuru et le Zarmaganda actuels avec l'épisode du prince Zwaa ancêtre des Songhay de l'Anzuru ; les autres remontèrent vers le fleuve et s'établirent dans le "Dirma" près du lac Débo (Figure 8). Ce dernier territoire n'est autre que la zone d'expansion de certains princes Zaa animistes qui auraient émigré du Songhay des Zaa musulmans, avec leur culte des Tooru (génies magistraux de la cosmogonie Songhay) s'éparpillant en petites communautés de la région de Tondirma à la région méridionale du lac Débo autour de Siini au Nord-est de Mopti. Là, il y eut un certain métissage avec des populations déjà établies, les Malinké et les Soninké. L'ancêtre des Zarma serait Zaabarkan, originaire du village Siini près de Mele ou Mali, à mi chemin entre le lac Débo et Bandiagara, et un compagnon du prophète Mahommed. Le nom des Zarma serait dérivé du nom du génie-gardien de la mare Zaa Baru, alias Zaramana, alias Zaa Beri de la cosmogonie Songhay.

Les migrations des Zarma dans le Zarmaganda et le Zarmatarey se firent ensuite par vagues successives avec des motivations politiques et religieuses variées : conquête de Ghana par Sunjata Keita (1240) puis conquête du Songhay par Walli empereur du Mali (1255-1270), décadence du Mali et premières exactions exercées contre les Songhay par les peul dans le Diagha (1360-1400), chute de la dynastie des Sonni et avènement de l'Askia (1493), défaite de Tondibi qui sonne le glas du vieux Songhay et qui précipitent le départ de Songhay vers le sud-est, soit pour organiser la résistance "nationale" (descendants des Askia), soit pour échapper aux vexations des Peul délivrés de l'Empire Songhay (Zarma de la région lacustre), dernière bataille entre les partisans Songhay et Zarma contre les marocains (1640-1660). Le peuplement humain récent du Zarmatarey date ainsi du XVI^e, XVII^e siècle.

Seule la migration des Zarma de Mali Béro (groupe de migrants depuis le Dirma le plus important) émerge nettement des traditions historiques. Lorsqu'ils arrivèrent dans le Zarmaganda par vagues successives, ils trouvèrent des Haoussa, des Gourmantchés et des nains troglodytes, les Ki, ou kim qu'ils assimilèrent.

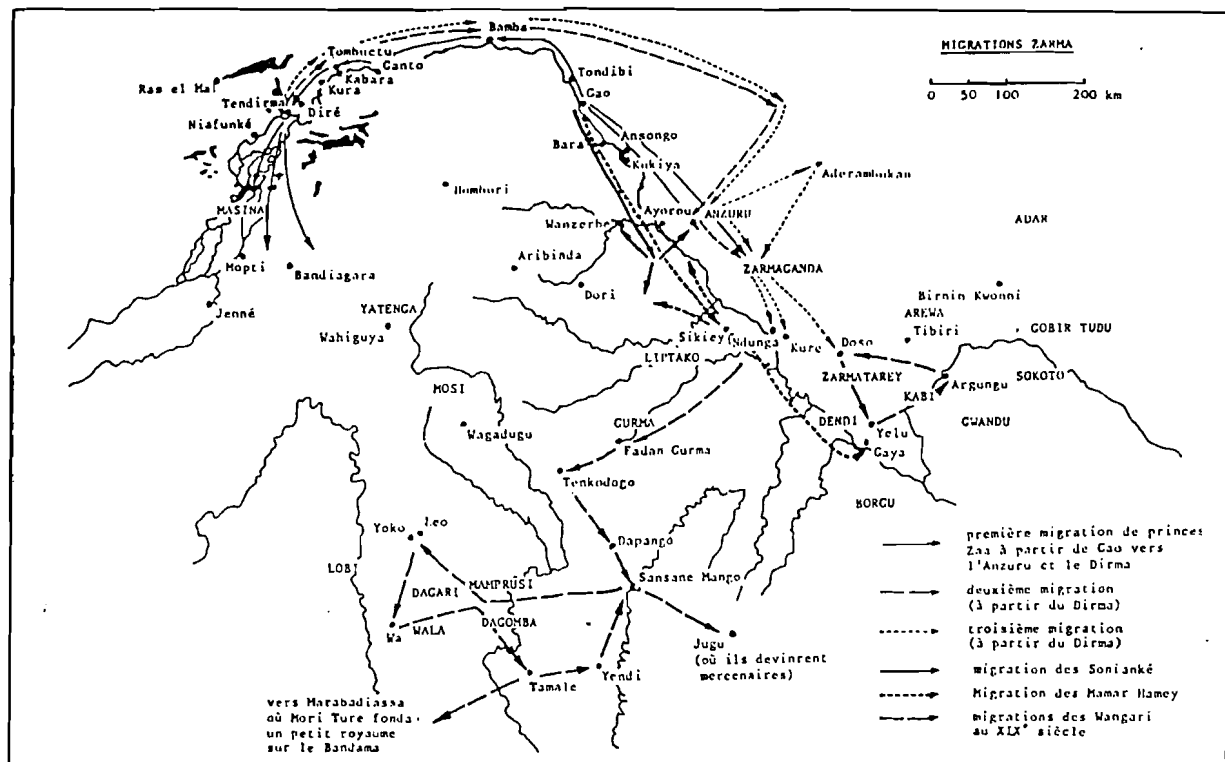


Figure 8 : Carte des migrations zarmas (d'après Gado, 1980)

Le Zarmaganda est en fait le foyer, le berceau initial d'un peuple nouveau-né de l'apport de migrations diverses et successives de Songhay Occidentaux et Orientaux et coiffé de l'autorité plus ou moins effective du groupe de Mali Béro. Mais le Zarmaganda étant un pays très pauvre qui ne suffit plus à nourrir tous les Zarma, ces derniers (descendance des Zarma de Mali Béro) cherchèrent d'autres terrains de cultures vers le sud dans le Zarmatarey primitif. Bien qu'issus d'un royaume Songhay dont leurs ancêtres furent les premiers à asseoir les bases de l'autorité et bien qu'ayant fait partie d'un ensemble aussi structuré que l'empire du Mali, les Zarma de Mali Béro écartés du pouvoir et plus ou moins influencés par la proximité des Soninké, des Malinké et des Peul, ont acquis un caractère de communauté de groupe ou de famille qui refuse toute domination et obéissance à une autorité trop centralisée. Chaque famille devait subvenir à ses besoins par le biais de l'agriculture.

Le domaine même des Zarma est un vaste plateau qui s'étend entre la vallée fossile du Dallol Bosso et le fleuve Niger. C'est dans les légères dépressions sableuses parmi lesquelles on peut retrouver les traces d'un réseau hydrographique ancien que se sont installés à diverses époques, des groupes auxquels elles ont servi soit de refuge, soit d'exutoire. Refuge contre les pillards nomades au XVIII^e et XIX^e (Touareg) empruntant le Dallol ou la vallée du Niger ; exutoire lorsque l'occupation du Dallol par les Peul (XVIII et XIX^e) a réduit les surfaces disponibles (Gado, 1978).

Dans le Zarmaganda, la "paix" règne entre tribus depuis seulement une quarantaine d'années (Baumer, 1987).

Ainsi, la grande migration zarma n'est en fait qu'un long éparpillement de familles suivant sans ordre et dans un laps de temps indéterminé une direction les conduisant dans leur habitat actuel ; là ils se superposent, en l'assimilant, à tout un fond autochtone très épars. Ayant adopté la langue Songhay, mais sans se confondre avec les songhay, les Zarma forment un groupe ethnique d'une cohérence remarquable, maintenue à travers l'espace et le temps (Séré de Rivières, 1965).

Origine et migrations des Peul

Actuellement, dans ce pays des Zarma (Zarmatarey) se trouvent également des Peul et leur origine, au Niger en général, est aussi discutée.

Ce seraient soit des somaliens, des éthiopiens, des juifs ou des métis d'arabes. L'hypothèse sur leur origine d'Israël est celle retenue par Boubé Gado (1980). Des familles de la descendance d'Isaac auraient gagné l'Ethiopie et formées des tribus dont l'une serait venue en Lybie à la suite des conquérants arabes et aurait fusionné avec les Berbères dont elle adopta la langue et les moeurs nomades, s'adonnant à l'élevage du boeuf et du mouton. Continuant sa migration à travers le Maghreb, le groupe aurait atteint le Tekrour, sur le Sénégal actuel et s'y installa avant d'essaimer, cette fois vers l'est, et de se répandre jusqu'au Niger. Il y eu alors des métissages prolongés d'où sont sortis des groupes nouveaux. L'immigration continua au XIX^e siècle. Les Peul du fleuve sont presque complètement sédentarisés et ont même partiellement adoptés la langue Songhay. Les Peul sont dans tous les cas musulmans.

Si le début de l'immigration peul est ancien, ceux que l'on rencontre aujourd'hui ont le plus souvent fait leur apparition dans le cours du XIX^e siècle. Leur immigration s'est accentuée beaucoup plus récemment, au départ du Nigeria. Ils s'infiltrèrent par les vallées en poussée continue ; beaucoup tendent actuellement à se sédentariser alors que les premiers venus sont restés nomades. C'est le cas des Peul de notre zone d'étude. Derniers venus, sans aucun droit de "propriété" sur les terres, ces Peul (issus de plusieurs tribus : Bororo, Farfarou, Tchilaoua, Ouda, Kassaoussaoua) s'installent petit à petit dans tout le pays en conservant une grande partie de leurs coutumes et leurs moeurs.

Origines et migrations des Bella

Les Bella sont la troisième ethnie présente dans notre zone d'étude et leur histoire est étroitement liée à celle des Touareg.

L'organisation des Touareg est basée sur les tribus, "taousit", composée de familles ou tentes sous la direction de l'un des chefs de tente dit "amrar". Plusieurs tribus forment un groupe, placé sous l'autorité unique d'un "aménokal". Les Touareg ne représentent originellement qu'une poignée de conquérants mais, d'une force telle, qu'ils ont imposé leur langue (tamacheek) à tout un peuple, un peuple qui s'est constitué autour d'eux, et qu'ils ont créé avec une constitution sociale originale adaptée tant aux

hommes qu'aux pays. Ils ont le prestige mystérieux du cadre saharien mais se sont surtout imposés par leur extrême énergie.

Plusieurs castes se superposent chez les Touareg. Les Bella (en songhay) ou Bouzou (en haoussa), sont à l'origine, soit des "iraouellen", anciens captifs attachés à telle tribu, aujourd'hui émancipés et libres, bergers ou cultivateurs, le plus souvent groupés eux-mêmes en tribus, soit des "iklan", anciens captifs de case, libérés mais encore souvent liés, moralement du moins, à leurs anciens maîtres. Les Touareg sont tous islamisés de longue date. (Séré de Rivières, 1965).

La pression vers le sud des Touareg sahariens commença à se faire sentir dès le milieu du XVII^e siècle, tantôt alliées (contre les Kourtey au XVII^e et les Peul au XIX^e) ou ennemis (infiltration des Touareg dans le Dallol Bosso au Niger) des peuples zarmas.

4.2.1.2. Historique récent de la population et croissance démographique

Ainsi, avant la colonisation du Niger par les européens, les peuples pasteurs nobles (les Touareg et les Peul alors guerriers) sont prépondérants. Tous musulmans, ils finissent par convertir petit à petit (métissages aidant) les peuples zarmas, initialement groupes animistes fuyant l'islamisation des Zaa. En 1983, 97,5% de la population nigérienne sont des musulmans sunnites (Encyclopédia Universalis, 1988).

D'après E. Bernus (1974), cette prépondérance des peuples pasteurs nobles sur les paysans (zarmas entre autres) prit fin avec l'arrivée des colonisateurs (cf. 3.3.2.). Depuis une soixantaine d'année, les Peul, par une remontée générale vers le nord, occupent les espaces intercalaires de la zone.

Depuis la fin de la deuxième guerre mondiale, une croissance démographique soutenue (+ 2,7%/an) contribue à transformer l'Afrique de l'ouest en profondeur. Dans les pays sahéliens en particulier, les phénomènes complexes de croissance naturelle des autochtones et des migrations (cf 3.3.2.), expliquent ce taux de croissance très élevé.

Au Niger, d'après la direction de la statistique, les taux de croissance démographique annuels depuis 1950 tournent autour de 3% (Figure 9).

Dans un rayon de 100 km autour de Niamey, le taux d'accroissement annuel est 4,84% entre 1977 et 1988, soit nettement supérieur à la moyenne nationale pour la même période (3,57%). Cet accroissement brut est cependant très disparate dans le détail spatial. Dans la canton de Dantiandou, entre 1977 et 1988, le taux de croissance est de 7,5% dans sa globalité et de 7,96% hors Dantiandou ; autrement dit, très élevé. D'après les études du Projet Energie II (1991), les zones dont le taux est supérieur à 5,5% sont caractéristiques des secteurs de nouveaux fronts pionniers agricoles.

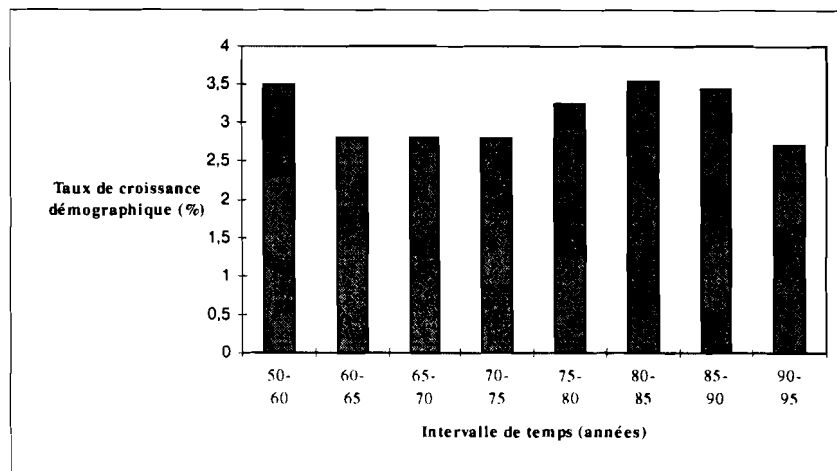


Figure 9 : Evolution des taux de croissance démographique depuis 1950 au Niger (d'après la Direction de la Statistique nigérienne)

4.2.1.3. Installation des villages de la zone

L'un des principaux déterminants de l'occupation spatiale récente au Sahel est la création d'un village.

Sur le site de Banizoumbou, nous avons effectué des enquêtes auprès des chefs de villages et du conseil des anciens pour déterminer la date de création des villages, l'origine de leurs peuplements et leur historique en général. Les villages se sont avérés d'âge très échelonné, allant de plus de 200 ans à quelques années seulement tel que Bani Koubay (Figure 10). Ils sont tous zarmas, les Peul étant installés en marge des villages, aux pieds des plateaux cuirassés pour la plupart. La Figure 10 montre que la partie sud de la zone n'a pas été informée. Nous verrons en effet par la suite, que nous réduirons la zone d'étude principalement aux 9 terroirs représentés. Ceci dit, cette figure montre une zone au sud plus intensément peuplée. Nous nous situons volontairement un peu plus au nord, dans une zone plus extensive, où la jachère est encore très pratiquée.

Les villages les plus anciens (Korto, Tondikiboro, Boundou, Maourey Kouara Zéno) se sont créés entre le XVI^e et le XVIII^e siècle (Figure 10), l'origine de leurs peuplements étant un peu plus au nord ou dans la vallée sèche du Dallol Bosso ou encore la vallée du Niger (Figure 11). Chaque nom de village a une signification précise. A titre d'exemple, Tondikiboro signifie en zarma "la personne en pierre" : de "tondi", pierre et "kiboro", personne. En fait, d'après la légende qui circule, lors d'une grande famine au siècle dernier, un paysan aurait demandé du mil à l'un de ses cousins. Ce dernier aurait refusé prétextant qu'il n'en avait plus lui-même. Mais, le paysan aurait fini par découvrir qu'en fait son cousin se cachait dans son propre grenier rempli de mil. Pris d'une grande colère, il aurait dit : *"puisque'il en est ainsi, que son grenier et lui caché dedans deviennent pierre à tout jamais"*. Ainsi fut dit, ainsi fut fait. Aujourd'hui, un pic rocheux se trouve effectivement juste à côté du village, au nord-est.

Une deuxième vague de migration entre le XVIII^e et le XIX^e, correspondant à une longue période de résistance contre les nomades, a fait apparaître de nouveaux villages (Kida tafa Kouara, Bani kanou, Banizoumbou, Komakoukou). A titre d'exemple

toujours, "Banizoumbou" signifie en zarma "la paix descend". Les villageois proviendraient essentiellement d'un groupe de dissidents, originaires de Dantiandou, que le chef de canton aurait décidé d'installer là. La décision, dans le cas de Banizoumbou, a été principalement prise par le chef de canton, ce qui pourrait éventuellement expliquer qu'aujourd'hui, les limites de terroir de Banizoumbou sont peu ou mal reconnus par les terroirs avoisinants.

Tous ces villages, issus de ces deux premières vagues de migrations, sont les villages pionniers de la zone d'étude proprement dite.

La population des villages créés au XXe siècle est originaire de ces premiers villages, plus anciens. Ces nouvelles petites agglomérations correspondent d'avantage à un phénomène de croissance démographique locale obligeant les villages à se diviser pour chercher de nouvelles terres cultivables disponibles. A titre d'exemple, tous les habitants de Sama Dey proviennent de Tondikiboro. D'après Hassane Garba (47 ans, fils du fondateur du village), *Sama Dey a été créé par des familles de Tondikiboro qui cultivaient leurs champs sur cette partie du terroir. Etant donné la grande distance qui sépare les deux lieux, ils étaient obligés de boire l'eau des mares environnantes jusqu'au jour où ils ont tous attrapés le verre de guinée. C'est alors qu'ils ont décidé de creuser un puits et, à partir de ce moment là, il n'était plus nécessaire de rentrer à TondiKiboro, d'où la création de Sama Dey ; Sama est le nom de celui qui a creusé le puits et "dey" signifie puits en zarma.*

Les villages créés il y a 40-75 ans se trouvent au nord-ouest de la zone d'étude où la proportion de plateaux cuirassés est la plus importante et donc la proportion de terre facilement cultivable la plus faible. L'historique d'installation de ces villages est souvent très complexe, liée à des querelles de familles et d'accès au foncier. L'histoire de Darey et de Karbanga en est un bon exemple. L'historique de ces deux villages est très lié. Il n'y a d'ailleurs qu'un seul chef de village qui réside actuellement à Karbanga. Ce dernier n'est "propriétaire" d'aucune terre. Cette situation à priori absurde nous a été expliquée par le chef de village de Tondikiboro :

"En fait, la famille d'Adamou Marou (chef de Karbanga) est originaire de TondiKiboro. Lors d'une grande sécheresse il y a très longtemps (+ de 60 ans, à priori celle de 1912-14), son grand frère et sa famille serait partis dans un autre terroir du canton de Taghazar (à l'est de Baleyara). Là, n'arrivant pas à s'intégrer sur un terroir étranger, ils se seraient rendu compte de leur erreur et auraient décidé de revenir dans leur région de l'actuel Darey. Leurs oncles de Fandou béri à qui "appartenaient cette terre" leur auraient donné la permission de creuser un puits et s'installer. Le grand frère d'Adamou serait alors devenu le chef du nouveau village. Seulement, une fois le puits creusé, les cousins de Fandou Béri auraient alors commencé à s'installer également à Darey et à revendiquer leurs terres. Des querelles auraient commencé et le grand frère d'Adamou auraient été envoûté au point de devenir fou. Pour le guérir, toute sa famille serait allée pendant un an à Sama dey. Quand ils ont voulu retourné à Darey, les querelles auraient été encore plus virulentes. En accord avec le chef de canton, ils se seraient alors installés à l'actuel Karbanga. Adamou Marou est donc resté le chef de village bien que toutes les terres ait été défrichées et cultivées depuis toujours par ses cousins, originaires de Fandou béri.

Les villages de moins de 40 ans (Bagoua, Gorou Yéna) sont en fait des villages nucléaires de plus grands villages (respectivement Tiguo Tégui et Korto), sans chef de village reconnu. Bani Koubay (âgé de 4 ans en 1994) est le village le plus récent de la zone. En fait, fatigué par les querelles à Darey et Karbanga, certains frères du chef de Karbanga seraient partis s'installer en toute légitimité à l'actuel Bani Koubay, qui se trouve dans leur terroir d'origine, celui de Tondikiboro.

La localisation de tous ces villages n'est pas aléatoire ; elle est directement liée au milieu, aux ressources disponibles en terres agricoles. Les plus anciens sont installés sur des sols sableux, facilement cultivables avec les techniques traditionnelles, dans les vallées sèches, sur les versants sableux ou encore les cordons dunaires. Autrement dit, ils sont installés dans les zones les plus favorables à la culture en terme de qualité des sols (sol sableux) et de disponibilité (zones avec le moins possible de plateaux cuirassés). Selon ces critères et selon la répartition des plateaux cuirassés dans la zone (Figure 10), ils se situent essentiellement dans les parties sud, sud-est et est du site. Puis, au fur et à mesure, au cours du XXe siècle, les familles zarmas, puis peuls et bellas, se sont installées dans les espaces intercalaires, de moins en moins propices à l'agriculture, avec une proportion de plateaux cuirassés de plus en plus grande (ceux-ci n'étant pas cultivables traditionnellement), selon un gradient sud-est/nord-ouest.

Cet historique détaillé pour la zone d'étude de Banizoumbou reflète bien les différentes phases de l'installation des populations zarmas dans le Zarmatarey. Il faut noter tout de même que, si la colonisation de cet espace par les populations zarmas est un processus dynamique depuis 5 siècles, elle s'est nettement accélérée au cours du dernier siècle. Les raisons du mouvement de ces populations zarmas sont principalement la recherche de nouvelles terres cultivables, les aléas climatiques et les contraintes familiales. Ces trois mots : "**terre, climat, famille**" résument bien ce qu'est un Zarma.

La création d'un village est ainsi directement liée à la recherche de terres agricoles pour subvenir aux besoins des familles. A un village est donc associé un terroir villageois, considéré comme l'ensemble des terres cultivées ou non sur lesquelles le chef de village a un pouvoir d'attribution des terres. Sa délimitation est liée à priori à l'extension des terres du village jusqu'au bordure des terres des villages avoisinants. Le terme de terroir utilisé jusqu'à présent équivaut au terme de "finage". Seulement, le terme de terroir est un terme africaniste adopté par tous le monde (Ministères, projets de développement, etc...), qui a le même sens que celui de finage pour les géographes et pas du tout celui de terroir au sens unité paysagère. C'est à cette échelle locale, échelle du terroir, que nous avons cherché à modéliser la gestion des terres agricoles. Nous ne parlons pas davantage des terroirs villageois dans ce chapitre car ils constituent un thème d'étude complexe en soi et font appel aux droits fonciers traités dans le paragraphe 4.2.3.

Ancienneté des villages

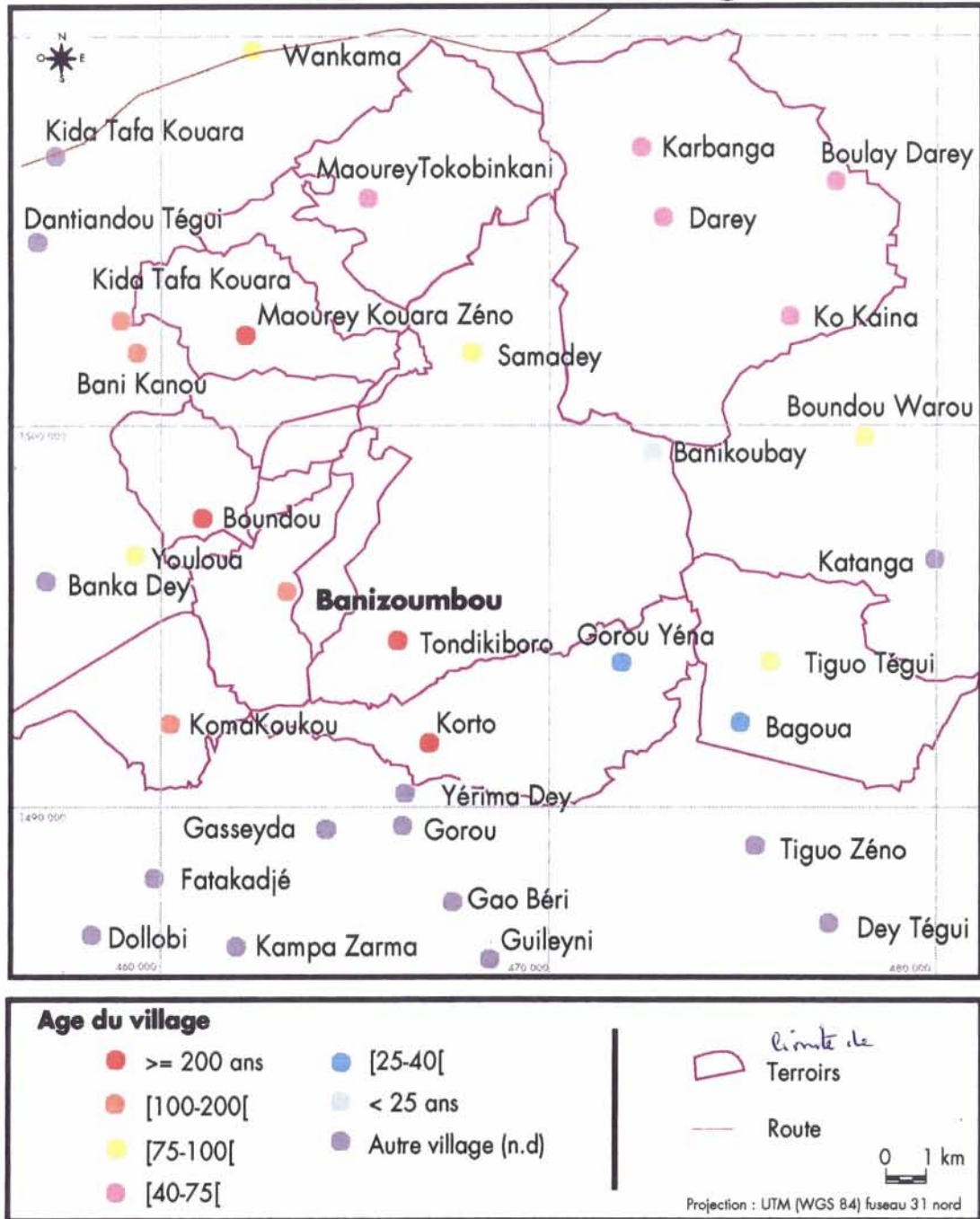
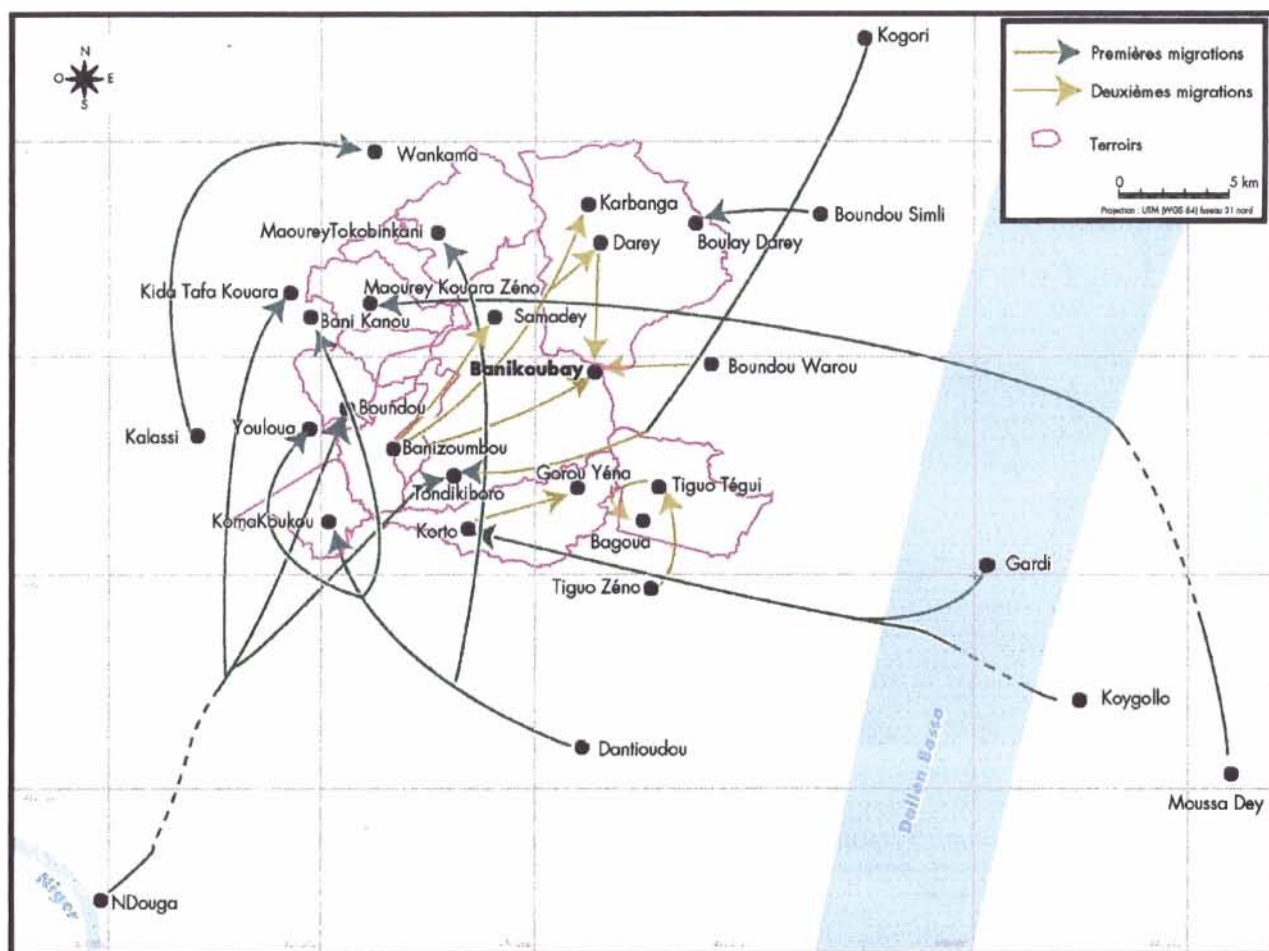


Figure 10 : Ancienneté des villages et localisation par rapport aux plateaux cuirassés sur le site de Banizoumbou, Niger (d'après enquêtes sur le terrain auprès des chefs de village)



Origines des peuplements

Figure 11 : Origine des peuplements sur le site de Banizoumbou, Niger (d'après enquêtes sur le terrain auprès des chefs de village)

4.2.2. Extension des cultures

Le résultat de cette occupation progressive de l'homme sur l'espace rural est un espace actuellement presque saturé par les cultures.

Ce constat a été réalisé, dans le cadre de ce travail, à partir de trois séries de photos aériennes prises en 1950, 1975 et 1992, couvrant l'ensemble de la zone d'étude. Après avoir été mosaïquées, corrigées géographiquement et géoréférencées, les zones sous l'emprise des cultures (champs cultivés et jachères) ont été contourées manuellement puis digitalisées (Leduc et Loireau, 1997). Le critère de reconnaissance d'un champ cultivé ou en jachère est sa forme géométrique visible.

La carte résultante est donnée Figure 12. Les tons rouge, orangé et rose correspondent à l'espace sous l'emprise des cultures visible (formes géométriques des parcelles agricoles reconnaissables) en 1950 (12 %). Les verts clairs rendent compte de l'extension des cultures de 1950 à 1975 qui, exprimée en pourcentage surfacique, représente une augmentation de la zone sous l'emprise des cultures de 20,5 % (32,5% en 1975 moins 12% en 1950). Enfin, le vert foncé correspond à l'extension des cultures de 1975 à 1992, soit une augmentation de 33,9 % (65,9% en 1992 moins 32% en 1975). Il faut savoir que, sur les 34,1% (100-65,9) restant non cultivé en 1992, 18,6% sont des plateaux cuirassés non cultivables avec les techniques traditionnelles et 15,5 % sont des sols pour la plupart peu favorables à la mise en culture. L'espace hors emprise des cultures est nommé "brousse" ou "végétation naturelle". Nous rangeons en fait dans cette catégorie les espaces effectivement jamais cultivés (raisons multiples : mauvaise qualité des terres, trop éloigné du village, etc...) et les espaces cultivés mais parfaitement cicatrisés, d'où l'absence de reconnaissance de formes géométriques.

Ainsi, certains espaces n'apparaissent cultivés qu'en 1950 ou en 1975, ou les deux, et n'apparaissent plus en 1992. Si ces surfaces (4,6% de la surface totale), dont on peut savoir qu'elles ont été cultivées à une date antérieure à 1992, sont intégrées à la zone sous l'emprise des cultures aux dates postérieures, on obtient les chiffres globaux suivants : **12%** de la surface totale sous l'emprise des cultures en 1950, **35,3%** en 1975 et **70,5%** en 1992.

Ce qu'il faut retenir ici, c'est qu'en l'espace d'un demi-siècle, le paysage dans la zone d'étude s'est complètement transformé. On passe d'un paysage peu artificialisé avec seulement 12 % des terres cultivées, concentrés autour des villages et dans les vallées sèches, à un paysage presque saturé en cultures, complètement fragmenté, mosaïqué par les contours des parcelles agricoles, exceptés sur les plateaux cuirassés et les quelques "brousses" hors plateaux.

Ces trois "instantanés" des surfaces sous l'emprise des cultures à trois dates différentes au cours du dernier demi-siècle, reflètent une dynamique interactive population-environnement que nous allons tenter d'expliquer, puis de reconstituer à l'aide d'un modèle spatialisé de la dynamique de gestion des terres agricoles, à l'échelle du terroir villageois (cf. Chapitre 6 et 7). De plus, ces photos aériennes vont servir de plan de calage et de validation à ce modèle.

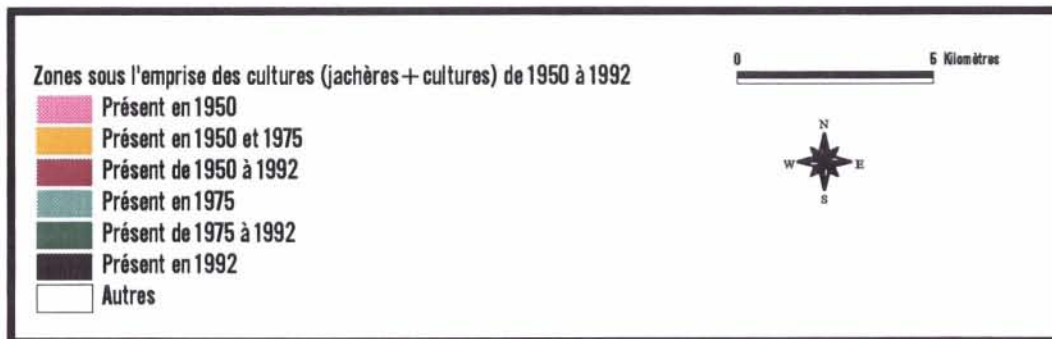
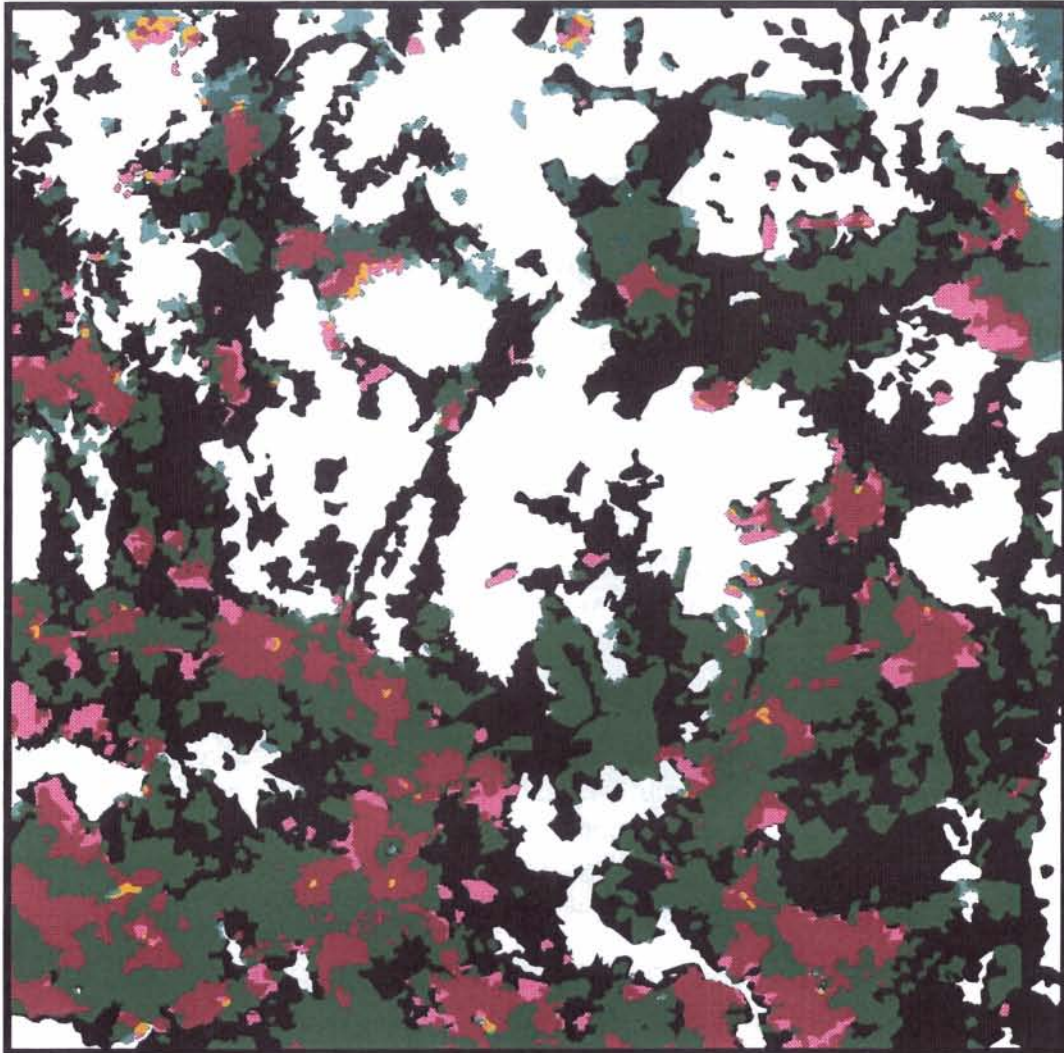


Figure 12 : Extension de la zone sous l'emprise des cultures (jachères + cultures) de 1950 à 1992 (Site de Banizoumbou, Niger)

4.2.3. Terroirs villageois et droit coutumier

4.2.3.1. Les différents niveaux de décision historiques et actuels

Les niveaux de décision coutumiers

La famille est le premier niveau d'organisation dans la plupart des sociétés africaines, dont les Zarma. D'après Villandre (1950), il est important de distinguer la *famille réduite* et la famille dite *globale* ou *étendue*.

La famille réduite est composée des époux et de leurs enfants non émancipés vivant, selon le cas, dans la maison, le groupe de huttes ou la tente désignés d'une façon générale sous le terme de *case*. Nous associons au terme de famille réduite celui de ménage.

La famille étendue regroupe originellement, en règle générale, quatre générations : le chef de famille, ses frères et cousins, leurs enfants, les enfants et les petits-enfants de ces derniers avec, éventuellement (avant la colonisation) un nombre égal de générations de serfs ou captifs de case. L'ensemble des cases servant d'habitation aux diverses familles réduites composant la famille globale constitue, chez les populations sédentaires, un quartier, placé sous l'autorité d'un chef : le patriarche, l'ancien, "celui qui tient le plus près à l'ancêtre de la famille globale, c'est à dire au fondateur de la première famille réduite primitive". Le groupement de ces patriarches constitue le conseil des anciens ou des sages du village. Le chef de quartier représente sa famille auprès du chef de village et celui-ci ne peut prendre aucune décision importante sans l'avis du conseil des anciens.

En fait, actuellement sur la zone d'étude, ces familles étendues regroupées dans un quartier se retrouvent très clairement dans les villages anciens, créés au siècle dernier. Dans les autres, plus récents, cette organisation en quartier n'est presque plus visible. Ces villages sont en fait, pour la plupart (cf. 4.2.1.2), des villages issus de la migration et de l'éclatement de certaines familles étendues d'autres villages proches, pour des raisons de recherche de nouvelles terres liées à la croissance démographique, et/ou des raisons de conflits.

Dans tous les cas, dans ces quartiers, nous distinguons un groupement intermédiaire, dite *unité d'exploitation*. Celle-ci peut regrouper trois à quatre ménages (parents, enfants et petits enfants; donc une génération de moins que pour la famille étendue), partageant une même cour, leurs repas et *cultivant ensemble les mêmes terres*. Elle regroupe un ou plusieurs ménages autour d'une exploitation agro-pastorale commune.

Le village regroupe initialement plusieurs quartiers dans un but de protection mutuelle. La nécessité de régler la vie commune et d'arbitrer les différents pouvant surgir entre les ressortissants réciproques conduit à conférer à l'un des chefs de quartier une autorité sur l'ensemble du groupement. En règle générale, le chef des premiers émigrants qui se sont installés sur une terre (avec l'accord des divinités des lieux) devient le "maître de la terre". A l'heure actuelle, le système de dévolution de la chefferie du village est encore fondé essentiellement sur un lien de parenté avec le

fondateur du groupement originel et parfois sur des considérations mystiques. Le chef de village a le droit d'affectation des terres au sein du "*terroir villageois*". Cependant, il faut indiquer que le chef de village préside l'assemblée du conseil des anciens et ne peut prendre aucune décision importante sans en référer aux chefs de quartier qui le composent.

Pour l'administration française pendant la colonisation, le chef de village représente l'unité administrative indigène, comprenant l'ensemble de la population qui y habite et les terrains qui en dépendent. Il est désigné par la majorité de la commission villageoise et nommé par le commandant de cercle. Le cercle était la cellule de base du réseau administratif français. Son rôle devient essentiellement policier, juridique et fiscal (collecte des impôts).

Le village est donc associé à un terroir villageois, considéré comme l'ensemble des terres cultivées ou non sur lesquelles un chef de village a un pouvoir d'attribution des terres. Sa délimitation est liée à l'extension des terres du village jusqu'aux bordures des terres du village avoisinant. Il est défini comme *l'espace rural géré par une communauté qui affirme y exercer des droits d'exploitation et d'occupation dans un cadre socio-économique et culturel défini. Le terroir n'est donc pas un concept de géographie physique. Il est avant tout économique, sociologique et juridique. Le terroir ne saurait donc pas se résumer à une simple addition des ressources naturelles disponibles (sol, eau, végétation...)* (Goumandakoye et Bado, 1992 in Van den Briel et al, 1994).

Les niveaux de décision administratifs

Le canton est un groupement de plusieurs villages. Il existait avant la colonisation française. En effet, les habitants d'un même village sont amenés à cultiver régulièrement des terres assez éloignées du village (cultures extensives, croissance démographique,...) et, pour éviter de continuel et longs déplacements, ils construisent des cases sur leurs nouveaux champs, qu'ils n'occupent d'abord qu'à la saison des cultures, puis toute l'année, formant ainsi le noyau d'un nouveau village. Pour s'installer dans un nouveau secteur, une famille a besoin de l'autorisation des dieux du sol par l'intermédiaire du chef de village initial, qui délimitera ensuite le territoire de la nouvelle agglomération et délèguera au chef de famille ses droits sur le sol en restant le supérieur du chef du nouveau village. Le chef du premier village devient chef de canton, qui n'est en somme qu'un chef de village promu au grade supérieur du fait de l'accroissement de son groupement. Le canton représente alors la limite supérieure à laquelle peut atteindre l'autorité patriarcale d'essence religieuse et issue de la première occupation du sol. (Villandre, 1950).

Lors de la colonisation française, cette échelle territoriale est reprise par les administrateurs. Le chef de canton est alors nommé par le gouverneur sur proposition du commandant de cercle, parmi les familles appelées traditionnellement à la chefferie. Ses attributions sont en premier lieu d'ordre administratif, servant d'intermédiaire entre les chefs de village et les chefs de circonscription. Ensuite, comme le chef de village, il a des attributions de police générale et sanitaire et des attributions financières. La commission cantonale est composée de tous les chefs de village du canton.

Les autorités supérieures actuelles sont, dans l'ordre hiérarchique, le chef d'arrondissement, le chef de département et enfin le chef d'Etat. Nous ne rentrons pas dans le détail du fonctionnement de ces niveaux supérieurs, sachant que, dans un premier temps, seules les décisions qui ont une retombée au niveau local en ce qui concerne la gestion des ressources naturelles retiennent notre attention toute particulière. Dans ce sens, ce qu'il est important de retenir ici, c'est que, selon l'ordonnance N° 93-015 du 2 mars 1993, au niveau de chaque arrondissement ou commune, une Commission Foncière est présidée par le sous-préfet ou le Maire. Au niveau de l'Etat, un Comité National du Code Rural (traitant aussi bien des problèmes agricoles, que forestiers et pastoraux) est placé sous l'autorité du Ministre de l'Agriculture et de l'Elevage, accompagné d'un secrétariat permanent départemental du Code Rural, service technique spécialisé dans la gestion des ressources rurales du département. Il existe également un secrétariat équivalent au niveau de la municipalité ou de l'arrondissement. Ces principes d'orientation du code rural nigérien seront détaillés dans le paragraphe suivant.

4.2.3.2. Les règles foncières d'accès aux ressources

La gestion des ressources naturelles est en rapport direct avec les droits fonciers sur la terre. Les droits fonciers sont un élément explicatif de la gestion des ressources.

Historique du régime foncier

Avant l'islamisation des peuples nigériens, d'après Arzika (1985), *la "propriété" foncière avait comme origine l'occupation première et, comme fondement religieux, l'accord des divinités occupant les lieux, véritables propriétaires du sol, qui déterminait le droit d'exploitation des familles*. Nul n'avait le pouvoir d'être propriétaire exclusif d'une terre, pas même le *maître de la terre* (chef de la communauté qui a sollicité l'accord des divinités). La communauté dans son ensemble détenait le privilège de cultiver la terre, d'en tirer les fruits de son labeur. Le chef de la terre avait reçu un mandat des dieux, et nul ne pouvait le remettre en question. Tout étranger reconnaissait le pouvoir religieux du chef de la terre et acceptait scrupuleusement de se soumettre à lui, pour obtenir des terres cultivables.

Les terres vierges et les forêts étaient à la libre disposition de tout le monde en ce qui concernait la chasse, le pâturage des animaux, le ramassage du bois de chauffage et de cuisine et la cueillette des fruits. La terre vierge pouvait être défrichée pour constituer de nouveaux terrains qu'exploitaient, soit des familles appartenant à la communauté, soit des étrangers admis par le village.

Tous les membres de la famille travaillaient en général dans le champ collectif en vue de tirer les récoltes nécessaires à la nourriture du groupe. Mais chaque chef de famille avait droit à un lopin de terre qu'il exploitait pour ses besoins personnels. Il y avait une exploitation à la fois collective et individuelle (un lopin de terre travaillé un jour par semaine) des terres familiales.

Ainsi, *dans la communauté nigérienne préislamique, « la terre étant inaliénable, on ne pouvait pas acquérir sa propriété effective »*. On retirait les fruits de ses multiples bienfaits. Elle appartenait à la famille et à toute la communauté. On ne pouvait point la

vendre ou la partager. Les raisons essentielles de l'inaliénabilité découlaient du caractère sacré et ancestral de la terre. Se désaisir des biens légués par les ancêtres équivalait à renier toute son ascendance. Le culte des ancêtres lié à celui des dieux assurait le renouvellement et la matérialisation du pacte primitif conclu avec les premiers occupants et garantissait la perpétuité des privilèges que les ancêtres avaient entendu léguer à leurs descendants. Aucun acte juridique ou moyen légal ne pouvait mettre fin à un droit sacré, qui était la raison d'être de toute collectivité ; aussi la *propriété foncière* était-elle un droit *imprescriptible*.

Le régime foncier actuel dans le Zarmatarey

Comme partout au Niger, la situation foncière actuelle du Zarmatarey est caractérisée par la coexistence de plusieurs types de droit : le droit coutumier régional et ethnique hérité de la période préislamique, le droit islamique et le droit moderne imposé par les colonisateurs.

Le droit coutumier

L'origine du droit coutumier au foncier remonte à l'occupation d'une terre par des familles fondatrices du village. Ce qui légitimait cette occupation, c'était soit le défrichement du sol, soit le forage d'un puits, tout ceci avec l'accord des divinités occupant les lieux. Au fur et à mesure, avec la descendance des familles fondatrices, puis avec l'islamisation, le lien avec les divinités locales s'est dissipé au profit de celui avec les ancêtres fondateurs. Les villages s'agrandissent donc graduellement et les avoirs fonciers s'étendent jusqu'aux bordures des terres des villages avoisinants.

Sous le régime foncier coutumier zarma, les règles en cours reposent donc sur la lignée - un groupe d'individus qui prétend descendre d'un même ancêtre- des premiers colons zarmas. Les terres passent de père en fils par un système d'héritage patriarcal. Lorsqu'un fils se marie et fonde un foyer, on lui attribue une partie des terres familiales. Par ce procédé, les terres passent sous la gérance de chaque chef de famille (*windi koy*) d'où la fragmentation du domaine originel. Il faut noter ici qu'une famille peut regrouper plusieurs ménages (parents, enfants directs et petits enfants). Les décisions de gestion sont prises par le cultivateur aussi longtemps que les terres sont utilisées et durant les périodes de jachère. Le domaine, néanmoins, appartient à la lignée et ne peut être vendu. Les chefs des grandes familles président les prises de décisions sur les allocations et les arbitrages des terres familiales (Van den Briel et al, 1994). Les terres non encore données en héritage et celles qui ont été reprises à la famille à cause d'un emploi inadéquat sont sous leur contrôle, avec la permission du chef de terre ou de la chefferie du village. Au sein d'une exploitation, les jeunes hommes et les femmes ont droit à un petit champ individuel, qu'ils cultivent pour leur propre compte. Les femmes reçoivent souvent de leurs maris des parcelles localisées à l'intérieur de leurs champs.

Ces familles peuvent prêter la terre aux autres familles du village ou aux étrangers. En règle générale, une famille immigrée, sans relation de parenté avec des villageois, ne peut obtenir des parcelles que par emprunt. Dans un tel cas, l'emprunteur a des droits d'usufruit sur la terre (sans droits d'y planter ou cultiver des arbres ; Taylor-Powell, 1991). D'habitude, quelques bottes de mil sont offertes au "propriétaire" du

champ en signe de reconnaissance de son droit de "propriété". Un champ emprunté doit en principe être rendu si le propriétaire le réclame. Malgré une utilisation prolongée d'un terrain, les immigrants restent toujours incertains des droits permanents sur les terres qu'ils cultivent (Van den Briel et al, 1994).

Les terres de plateaux sont un bien public. Elles sont impropres à la culture mais produisent du bois de chauffe, de construction et du fourrage. En cas de fertilité des terres de plateau, les propriétaires fonciers des terres voisines risquent de les réclamer.

Actuellement, les principaux modes d'accès à la terre sont donc l'héritage, presque exclusivement par les fils, le débroussaillage de terrains vierges (s'il en existe encore) en propriété communautaire, et l'emprunt d'un terrain auprès d'un chef de village ou d'un chef de canton. En conclusion, le droit coutumier peut être divisé en deux catégories principales selon Manoury (1990) :

- Le faire-valoir direct : le droit du *premier occupant* (exclusivité de la gestion du patrimoine foncier), l'*héritage*, le *don* (selon le lien tissé entre différentes personnes : lien de parenté, lien d'amitié, lien de mariage), l'*achat* (quasi inexistant, perçu comme inadmissible par les détenteurs fonciers).
- le faire-valoir indirect : l'*emprunt* (versement d'une dîme), le *gage* (un délai de remise de la propriété est fixé en cas de gage).

Sur les quatre terroirs échantillonnés dans la zone d'étude (cf. 5.3), soit 2437 habitants et 8 villages, les enquêtes que nous avons réalisées donnent les résultats suivants : 43% des habitants, toutes ethnies confondues ont des terres par héritage, 25% par emprunt, 30% à la fois par héritage et emprunt et 3% par don (Figure 13). Il n'y a aucun cas d'achat, ni de gage. Tous les Peul, Bella et Haoussa ont exclusivement des terres par emprunt. Sur les 25% des terres empruntées, 52% le sont par des Zarma, 32% aux Peul, 17% par des Haoussa et 13% par des Bella. Les avoirs fonciers ou "parcelles" sont délimités par des arbres (isolés ou sous forme de haies) ou des petites buttes d'herbes non sarclées, ou encore par des pistes et bordures de plateaux.

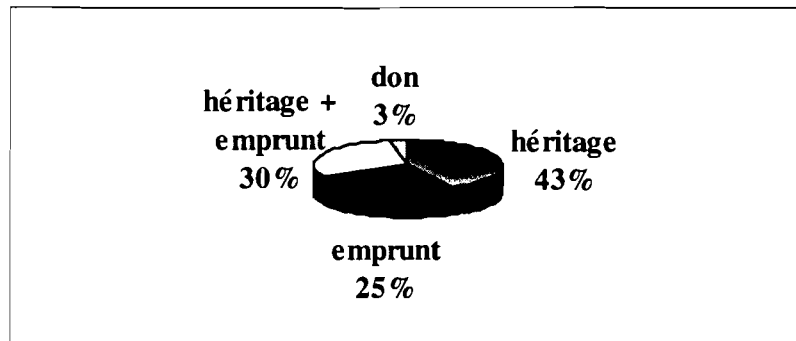


Figure 13 : Types d'accès foncier sur la zone d'étude (d'après enquêtes)

L'Islam a renforcé la puissance du droit foncier coutumier par héritage. *En effet, en matière d'héritage, les règles fixés par l'Islam sont claires et acceptées de tous. Ces règles s'appliquent en matière foncière et garantissent la transmission de la terre entre*

les héritiers. Ce qui donne à la terre une valeur spirituelle que les transactions foncières ont du mal à percer (Manoury, 1990).

Traditionnellement, les agriculteurs et les éleveurs étaient bien différenciés et leurs relations constituaient un des fondements des systèmes agraires sahéliens... Au niveau du droit coutumier foncier, l'espace était soit "approprié" par les agriculteurs, soit "libre". Les pasteurs faisaient pâturer leurs animaux sur les espaces vierges (pas de problème de saturation de l'espace agricole) ou sur l'espace sous l'emprise des cultures en respectant certaines règles d'accès très simples : champs cultivés fermés en saison des pluies, emprunt des couloirs de transhumance, des pistes,...., accès au puits après accord (de principe) avec le chef de village concerné,... Les forêts, principalement les brousses sur plateaux cuirassés dans notre zone d'étude, pouvaient être exploitées (prélèvement du bois-énergie pour la préparation des repas quotidiens) par tout le monde sans distinction.

A partir du moment où les cultures occupent presque tout l'espace, où les agriculteurs et éleveurs deviennent des agro-pasteurs, le problème d'accès aux ressources devient majeur, la notion d'espace-ressource (évoquée dans le paragraphe 2.1.2) devient cruciale, ...

Le droit moderne

Après divers textes fixant le contenant foncier du Niger, le dernier en date est l'ordonnance N° 93-015 du 2 mars 1993, texte abrogeant toutes dispositions antérieures contraires. Elle a pour objets :

- *de fixer le cadre juridique des activités agricoles, sylvicoles et pastorales dans la perspective de l'aménagement du territoire, de la protection de l'environnement et de la promotion humaine.*
- *d'assurer la sécurité des opérateurs ruraux par la reconnaissance de leurs droits et favoriser le développement par une organisation rationnelle du monde rural.*

Pour le régime des terres agricoles, ce texte reconnaît que la propriété du sol s'acquiert par la coutume ou par les moyens du droit écrit. Il admet donc complètement la "propriété" coutumière telle qu'elle est décrite précédemment.

La propriété selon le droit écrit résulte de l'acquisition à titre privé d'une propriété foncière rurale par l'un des actes ci-après :

- *immatriculation au livre foncier,*
- *acte authentique*
- *attestation d'enregistrement au dossier rural,*
- *acte au seing privé.*

Dans les faits, ce type de propriété existe essentiellement autour des grands centres urbains ou dans des zones agricoles spécialisées, tels les bords du fleuve Niger aménagés pour l'irrigation. Le plus important à retenir, étant donné les conséquences que cela engendre au niveau local sur la gestion des terres agricoles, est le contenu de l'article 19.

Article 19.- Le constat d'absence ou l'insuffisance de mise en valeur sans cause valable à l'issue de trois années successives autorise la Commission Foncière à confier l'usage du sol à un tiers désigné par le propriétaire ou à défaut par les autorités décentralisées et agréé par la Commission foncière. En aucun cas l'absence ou l'insuffisance de mise en valeur n'entraîne la perte du droit de propriété par son titulaire.

....

Le retour du droit d'usage du sol au légitime propriétaire se fait à sa demande par la Commission Foncière après un délai qui ne saurait être inférieur à trois ans. Dans ce cas, les investissements réalisés par l'exploitant reviennent au propriétaire sans paiement d'indemnité.

L'effectivité de la mise en valeur donne lieu à un contrôle périodique organisé par la Commission Foncière (article 18). Les risques d'une telle loi, même si il est dit clairement que ces mesures n'entraînent pas la perte du droit de propriété par le titulaire, sont que ce dernier ne s'en sent plus maître et, si pour des raisons familiales (augmentation de la famille, retour d'un membre émigré,...), il doit remettre brusquement sa parcelle en culture, il ne peut plus le faire avant un délai de trois ans. Pour éviter cela, il pourra préférer défricher sa parcelle (selon l'article 6, le défrichement est reconnu comme une opération de mise en valeur), sans intention de la cultiver réellement, pour en garder toute maîtrise d'usage. Ceci a des conséquences directes sur la structure du paysage et la gestion des ressources naturelles : diminution du temps de jachère et risque de mauvaise récupération de la fertilité des sols avant la prochaine mise en cultures (Delabre, 1998), ... Ce type de contournement des lois est extrêmement difficile à mesurer, mais il est déjà en vigueur sur le terrain, en tous les cas dans notre zone d'étude.

En principe, il faut distinguer deux catégories de terres. La première catégorie comprend les terres des terroirs villageois, travaillées et appropriés selon le mode coutumier, qui peuvent en théorie être ré-appropriées par l'Etat en vue de travaux d'intérêt public (pistes, aménagements rizicoles, barrages, ...). La deuxième catégorie comprend les terres qui sont le domaine de l'Etat proprement dit : les terres agricoles vacantes (sur lesquelles aucune preuve d'un droit de propriété n'a pu être établie) ; les chemins, pistes de transhumance et couloirs de passage dans le domaine pastoral ; les forêts domaniales (classées ou pas) ou non appropriées, les terres de restauration ou de récupération.

Un régime sur les terres pastorales est également prévu. Les textes administratifs ne parlent pas de droits coutumiers dans ce domaine, car ce droit est récent, directement relié aux problèmes d'accès aux ressources naturelles, conséquences de la surcharge due à l'augmentation démographique des hommes et des animaux, accrue par des facteurs politico-économiques (cf. 3.4), conséquences également de l'augmentation des terres agricoles et de la transformation progressive des systèmes de production (vers des agropasteurs). Conformément à l'ordonnance N°93-015, les pasteurs ont un droit d'usage commun sur les espaces réservés au parcours, aux pâturages et au pacage. La répartition des espaces pastoraux est déterminée par les Schémas d'Aménagement Foncier (S.A.F). Les pasteurs sont tenus de respecter la propriété privée et les espaces protégés. Ils peuvent se voir reconnaître un droit d'usage prioritaire sur les ressources naturelles situées sur leur terroir d'attache. Au cas où leurs activités nécessitent une implantation fixe et pérenne sur un fonds délimité, la propriété du sol peut leur être accordée.

En ce qui concerne les forêts, toutes (forêts domaniales classées ou pas, forêts non appropriés, terres de restauration ou de récupération), exceptées les forêts privées, font parties du domaine de l'Etat ou des collectivités territoriales. En dehors des périmètres de restauration, affranchis de tous droits coutumiers d'usage, les collectivités coutumières continuent à exercer leurs droits d'usage coutumiers dans le domaine forestier protégé, y compris les chantiers forestiers, sans que les exploitants des ces chantiers puissent prétendre, à ce titre, à aucune compensation. Les forêts domaniales sont soustraites à l'exercice des droits coutumiers d'usage autres que le ramassage du bois mort, la récolte des produits d'exsudation, des fruits, des plantes médicinales et alimentaires et ceux reconnus par les actes réglementaires de classement.

Quel que soit le type de terres, toujours d'après les textes du code rural, les populations rurales sont administrées par les autorités publiques *décentralisées et déconcentrées*. Elles exercent leurs pouvoirs avec l'assistance technique de l'Etat, des établissements publics et de la Chambre de Commerce d'Industrie, d'Agriculture et d'Artisanat. Elles *doivent créer dans leurs entités territoriales respectives les services administratifs et techniques nécessaires à l'exercice de leurs missions, tels que les Commissions Foncières et les Secrétariat Permanents du Code Rural*.

Ces autorités devraient donc exercer *les pouvoirs de police rurale*. Elles devraient assurer *la gestion et contrôler la mise en valeur des richesses agricoles, sylvicoles et pastorales*. Elles devraient *élaborer et tenir un Schéma d'Aménagement Foncier dans chaque département et des dossiers ruraux dans chaque arrondissement*.

En réalité, à l'heure actuelle, l'application effective de ces textes est faible et le droit coutumier est toujours celui qui est appliqué en priorité par les populations rurales. Les conflits fonciers, par exemple, sont d'abord gérés au niveau des autorités villageoises. Si, et seulement si, cela n'a pas été efficace ou suffisant, les parties opposantes en réfèrent aux autorités publiques.

La propriété et sa place dans les systèmes coutumier et moderne

Ainsi, le droit moderne sur le foncier, d'obédience occidentale, donne la préférence à la propriété privée et publique alors que le droit coutumier reconnaît la terre comme inaliénable, dont on ne peut acquérir la propriété effective. Le débat autour de ce thème est d'actualité et préoccupe beaucoup les états africains en général. Certaines nouvelles propositions émergent, comme celle d'Olivier Barrière (1997), juriste de l'environnement, privilégiant une approche patrimoniale.

En effet, cette notion de propriété foncière ne lui semble pas être adaptée à l'Afrique rurale pour trois raisons majeures :

- 1) *le sol dans sa superficie (terrienne, aquatique, aérienne) est considéré comme un espace, support de ressources et non comme un bien immeuble, objet de droits ; ainsi, il n'est pas conçu comme une chose matérielle, un objet de transactions commerciales, mais demeure le socle d'une multifonctionnalité (notion d'espace-ressource) ;*
- 2) *le sol dans son tréfonds(sous-sol) constitue une sphère où se manifeste des forces invisibles en relation avec le monde visible ; on ne peut ainsi le dissocier de la partie superficielle ;*
- 3) *le fonds est un tout indissociable immatériel, non appropriable. Par contre, les éléments du milieu, physiques et biologiques, constituent un ensemble matériel, faisant l'objet d'un genre de droits de superficie.*

Plutôt que la propriété foncière, cet auteur met en avant la notion de *maîtrise foncière environnementale*. Elle serait l'expression d'un pouvoir de droit sur le milieu. *On assortit ce pouvoir sur la terre, l'espace, les éléments naturels et les processus écologiques d'une obligation de comportement.*

La maîtrise foncière rassemble donc le droit (droit de passage, droit de prélèvement, droit d'exploitation, droit d'exclusion, droit de prélèvement) *et les obligations*. La terre constitue par nature le patrimoine des générations passées, présentes et futures. Le statut de la terre, proposé par ce même auteur, est celui d'un patrimoine commun de la nation. En effet, le statut patrimonial *repose sur l'affectation des droits assortis de devoirs, qui est l'objet des maîtrises foncières dont disposent les citoyens.*

4.2.3.3. Identification des terroirs villageois sur l'ensemble du site

Au Niger, ou plus généralement en Afrique, le cadastre n'existe pas. Le seul moyen de délimiter un terroir villageois est de suivre les indications du chef de village sur le terrain. Pour ce faire, nous avons parcouru en voiture l'ensemble des limites de terroirs de la zone d'étude avec chacun des chefs de villages et quelques anciens à nos côtés pour nous diriger. A chaque changement de direction, les coordonnées géographiques ont été relevées grâce à un GPS (Global Positioning System), ainsi que la nouvelle direction suivie grâce à une boussole. Toutes informations concernant des éléments remarquables du paysage repérables sur photos aériennes (plateaux, haies,...) ont été également notées.

Pour les villages les plus anciens, les repères sont essentiellement des gros arbres, des haies entre parcelles foncières, des buttes, des bords de plateaux, des crêtes ou des fonds de vallées, ..., autrement dit des éléments naturels et relativement stables structurants le paysage. Plus les villages sont récents et plus les limites se confondent avec le tracé des pistes. Les plateaux cuirassés sont intégrés au terroir alors que jusque là, ils étaient considérés comme un patrimoine collectif pour la récolte du bois et le pâturage. Dans un contexte de saturation de l'espace facilement cultivable par les cultures, les plateaux cuirassés prennent une valeur foncière qu'ils n'avaient pas jusque là, et une valeur économique avec le commerce du bois-énergie pour l'approvisionnement des villes de plus en plus exigeantes. Sur les plateaux, les limites sont généralement tracées en lignes droites entre deux mares. Les mares, elles, restent accessibles à tout le monde.

La connaissance des limites de terroirs est ainsi transmise par voie orale uniquement, ce qui favorise les hésitations, les confusions, voir même les conflits. Un chef de village et ses membres du conseil des sages peuvent ne pas être tout à fait d'accord sur les limites. Une heure de palabres est parfois nécessaire avant de continuer la route.

De plus, comme le montre la carte des terroirs résultante (Figure 14), le chevauchement des limites de terroirs est chose courante. Il est souvent lié à la non reconnaissance partielle des terroirs plus récents par les anciens, à la confusion entre le droit d'usage et le droit foncier.

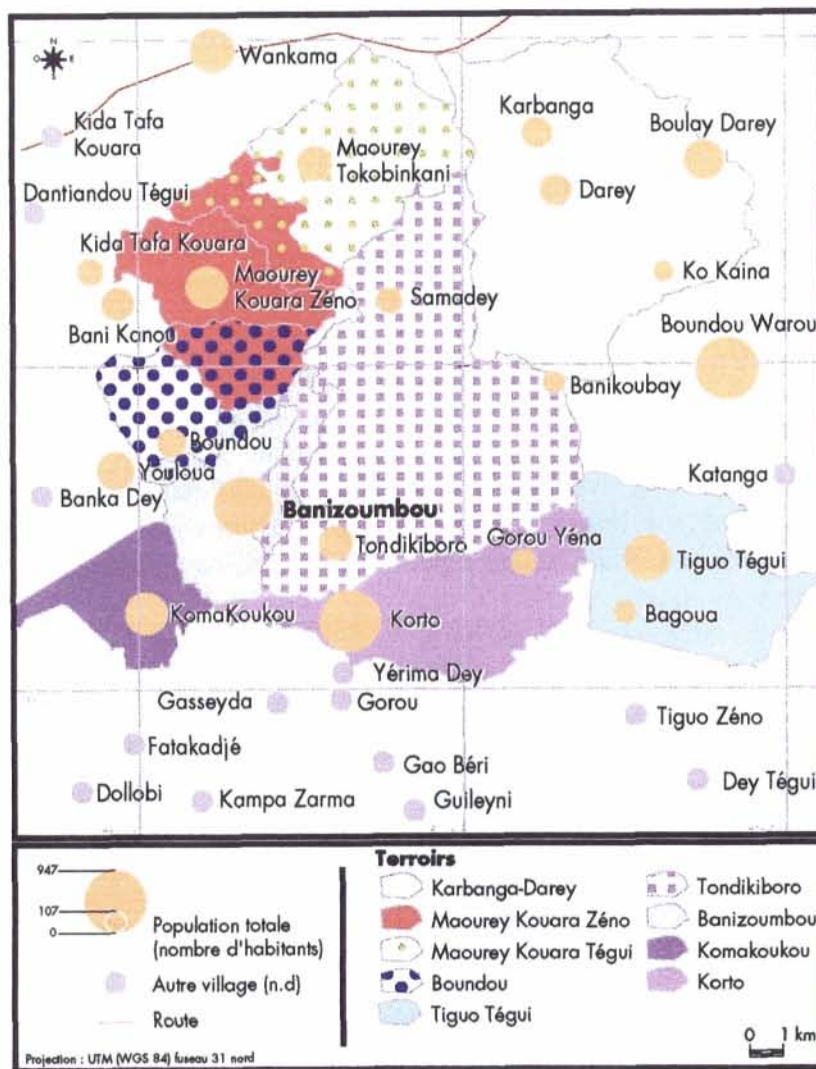


Figure 14 : Les terroirs villageois et leur population (site de Banizoumbou, Niger)

Typiquement, à titre d'exemple, le chef de Tondikiboro pousse sa limite de terroir jusqu'en bordure du village de Banizoumbou, alors que le chef de Banizoumbou se reconnaît une part du terroir revendiqué par Tondikiboro. En fait, toutes les parcelles entre ces deux villages sont effectivement, à l'origine, des terres dont la décision d'attribution dépendait du chef de Tondikiboro. Cependant, dans les faits, les parcelles cultivées depuis très longtemps par les paysans de Banizoumbou sont considérées comme leur "propriété". Certains donnent pourtant encore des bottes de mil aux propriétaires de Tondikiboro ; mais, aux portes de Banizoumbou, cette reconnaissance n'existe plus. Les paysans de Tondikiboro semblent ne pas s'en préoccuper dans un souci de bonne entente et de passivité, mais, si le débat est lancé, ils vont revendiquer leurs terres. Il en est de même entre Maourey Kouara Zéno et Maourey Tokobinkani, ou encore entre Maourey Kouara Zéno et Boundou,...

Lors de la délimitation des terroirs villageois, il faut être très prudent pour ne pas transformer ces points de vues différents (mais qui, pour le moment, cohabitent relativement bien) en conflits déclarés. Ces décalages dans l'espace des limites de terroirs retracent en fait l'histoire d'installation des villages et rend compte d'un changement progressif de la définition d'un terroir villageois. En effet, dans un contexte de croissance démographique et de saturation de l'espace par les cultures, le terroir villageois est considéré de plus en plus, de manière effective, non plus comme l'ensemble des terres sur lesquelles un chef de village a un pouvoir d'attribution mais comme l'ensemble des terres gérées par les villageois. Ainsi, dans les faits, la notion de propriété foncière s'affaiblit encore. Autrement dit, les paysans commencent déjà à appliquer ce que met en avant O. Barrière, la maîtrise foncière environnementale au détriment de la propriété foncière.

De plus, il est important de relever qu'un même terroir villageois peut comprendre plusieurs villages ou lieux-dits tel que, par exemple, le terroir de Tondikiboro comprenant les villages de Tondikiboro, Sama Dey et Bani Koubay. Un seul chef est élu pour l'ensemble des trois villages résidant à Tondikiboro. Dans ce cas, nous parlerons plutôt de "chef de terroir". Les villages de Sama Dey et Bani Koubay, plus récents, sont susceptibles de se dissocier un jour ou l'autre de Tondikiboro et donc, le terroir est susceptible de se scinder à plus ou moins longue échéance.

Le cas du terroir de Tigo Tégui ("tégui" = nouveau) et de Tigo Zéno ("zéno" = ancien) correspond à un stade intermédiaire dans le processus dynamique de scission des terroirs entre le cas de Tondikiboro (plusieurs villages, un terroir) et celui de Komakoukou par exemple (un village, un terroir). En effet, chaque village se reconnaît un chef de village mais un seul terroir commun leur est attribué. En fait, lors de l'enquête, ils étaient en pleine redéfinition de leurs limites de terroirs avec le chef de canton, si bien que le chef de Tigo Tégui ne s'est pas autorisé à nous indiquer les limites de son terroir du côté du village de Tigo Zéno.

D'une manière générale, les arbitrages rendus par le chef de canton, s'ils ont une valeur juridique, ne semblent pas forcément reconnus par la suite par le droit coutumier

: d'où les ambiguïtés dans les déclarations contradictoires des limites de terroirs par les uns ou les autres.

Tous les cas de figure des différentes étapes dans le processus dynamique de scission des terroirs villageois sont donc représentés sur notre zone d'étude. Les limites de terroirs sont variables selon qui les définit, un terroir peut comprendre plusieurs lieux-dits et la définition même du terroir villageois est en mutation. Dans le souci d'extrapoler l'étude à des zones plus vastes et en l'absence de cadastre, il est difficilement envisageable de tracer, au cas par cas, avec les autorités villageoises, les limites de terroirs. Pour ces raisons, nous avons été amenés à modéliser les terroirs villageois, comme nous le verrons dans la troisième partie de ce document (cf. 7.6.).

4.3. Les sociétés actuelles

4.3.1. Répartition des populations sur l'ensemble du site

Pour évaluer la population de la zone d'étude, un recensement a été effectué sur 21 villages. Les renseignements ont été recueillis auprès de chacun des chefs de villages. Ceci permet de calculer une densité de population de 19 hab/km². La répartition de cette population est représentée sur la Figure 14. D'après la carte de densité démographique établie par le projet Energie II (CTFT, SEED, 1991) à partir du recensement de population de 1988 au Niger, le canton de Dantiandou aurait une densité démographique de 5 à 15 hab/km² dans ses 2/3 nord et de 30 à 50 dans son 1/3 sud. Notre zone d'étude se situe dans les 2/3 nord du canton de Dantiandou. La densité moyenne de population au Niger est faible (6,5 hab/km²), mais celle-ci masque d'importantes disparités car l'essentiel de la population (75%) est concentrée sur 12% de territoire au sud de l'axe Niamey-Zinder (FAO, GIEWS, 1997).

La population de la zone d'étude compte quatre groupes ethniques, les Zarma, comme nous venons de le voir, les Peul, les Bella et quelques Haoussa, très minoritaires. La répartition de ces différents groupes ethniques a été étudiée, non plus dans les 21 villages de l'ensemble de la zone, mais dans les huit villages des quatre terroirs échantillonnés (enquêtes socio-économiques exhaustives, Annexe 2). Cette répartition ethnique est représentée sur la Figure 15. Sur une population de 2437 habitants dans les huit villages, 88% sont Zarma, 8% Peul, 3% Bella et 1% Haoussa (Figure 16).

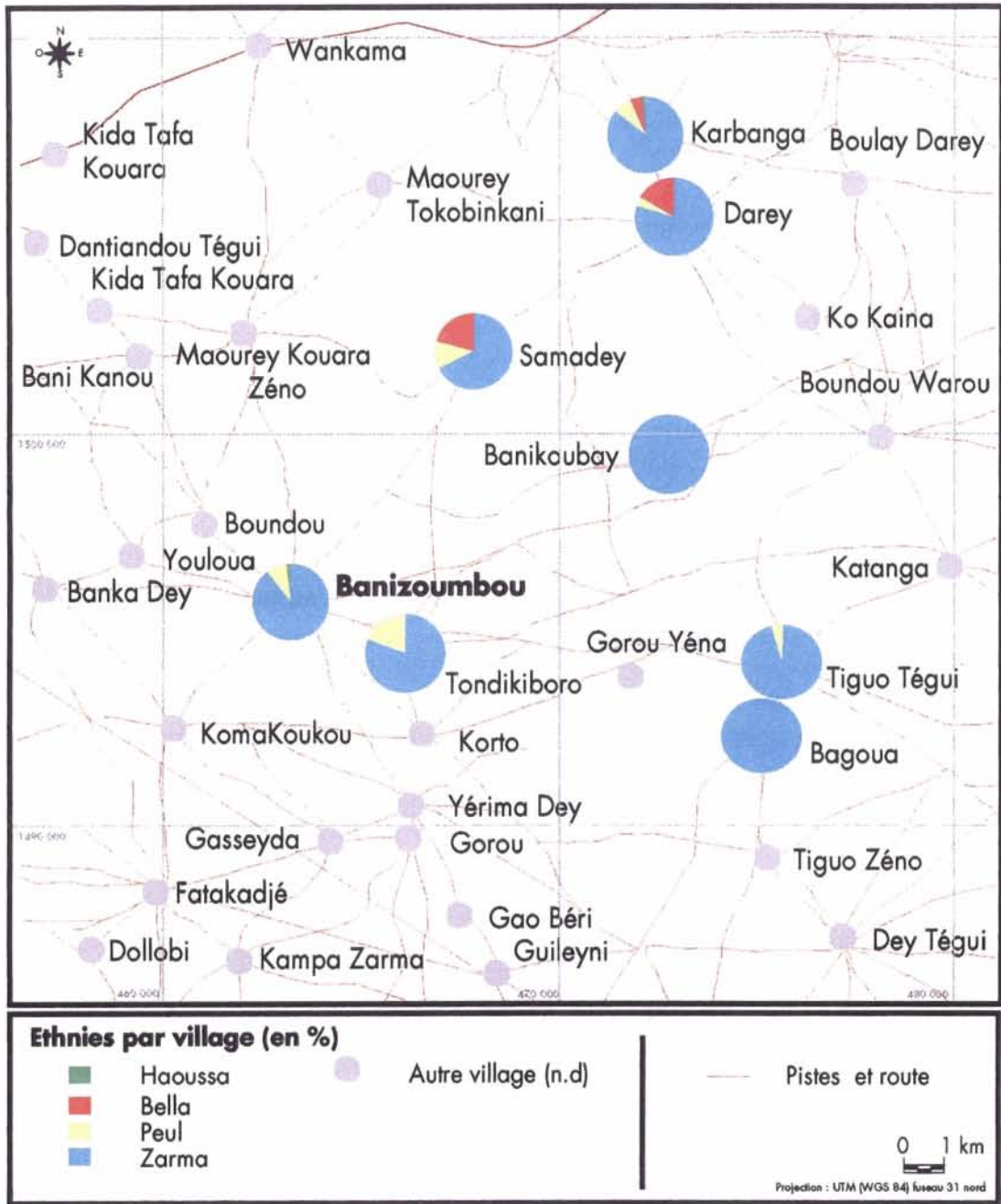


Figure 15 : Répartition des ethnies sur les huit villages échantillonnés

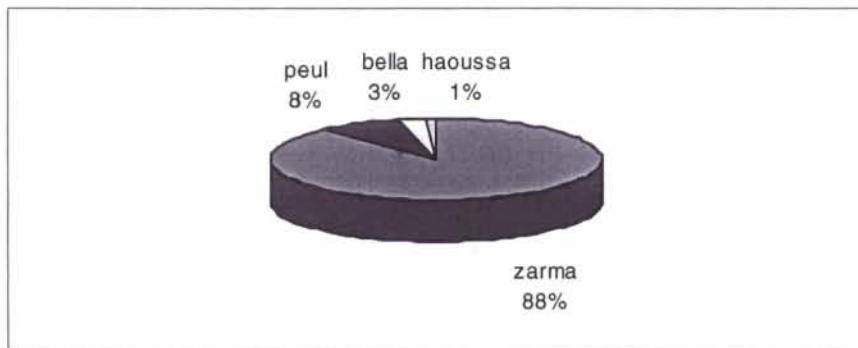


Figure 16 : Répartition ethnique sur les huit villages échantillonnés

Les huit villages échantillonnés représentent au mieux les différents cas de figure sur l'ensemble de la zone selon des critères d'ancienneté d'installation et de disponibilité en terres facilement cultivables (cf. 5.3). Les 2437 habitants représentent 31% de la population des 21 villages recensés globalement (7540 habitants). Ce qu'il faut retenir, à l'échelle de la zone, c'est la cohabitation de deux ethnies principales, les Zarma et les Peul ; les Zarma étant largement prépondérants (de l'ordre de 90%) et les Peul ne représentant qu'environ 10% de la population. Les autres ethnies, Bella et Haoussa, sont vraiment minoritaires.

Les Zarma constituent les villages. Les Peul, et les Bella (100% musulmans) sont, eux, installés à l'extérieur du village, sur le terroir villageois dont ils dépendent, sur des terres généralement marginales, le plus souvent aux pieds des plateaux cuirassés. Les Haoussa sont dans les villages et occupent des fonctions très particulières dans le commerce (tel que boucher dans le village de Banizoumbou), en plus de celle d'agriculteur.

4.3.2. Typologie des exploitations agricoles et/ou pastorales sur des terroirs échantillonnés

Dans les huit villages échantillonnés, le traitement des enquêtes socio-économiques (Annexe 2) a permis d'établir une typologie des exploitations en 5 classes, selon trois critères principaux : composition de la population, ressources en terre et animaux. Les séries de variables retenues pour déterminer les classes de la typologie sont celles indiquées dans le tableau 1. Sur les 273 exploitations recensées, seules 262 ont été retenues pour les traitements ; les autres (11) ne contenaient pas l'ensemble des informations nécessaires. Une Classification Ascendante Hiérarchique et une Analyse en Composantes Principales ont conduit à la typologie suivante.

Tableau 1 : Typologie des exploitations agricoles et/ou pastorales (site de Banizoumbou)

	Nombre E (Proportion)	Ethnies	Nombre personnes / E	Nombre d'actifs / E (%)	Exodants temporaires ou permanents / E (%)	Nombre parcelles / E	Champs en "propriété" (%)	Champs en jachère (%)	Champs fumés (%)	Nombre animaux / E	Nombre petits ruminants / E	Nombre bovins / E
1	51 (19%)	51 z	14,06 (4,28)	78,8	9,9	4,76 (2,22)	86	24	47	17 (14)	6 (7)	5 (8)
2	98 (37%)	98 z	7,35 (3,03)	74,7	13,8	3,49 (1,51)	96	29	34	2 (2)	1 (1)	0 (1)
3	35 (13%)	35 z	8,51 (2,89)	74,5	9,6	3,17 (1,04)	48	25	27	2 (2)	1 (1)	0 (1)
4	55 (21%)	37 z 3 h 10 p 5 b	7,27 (3,07)	73,3	5,4	2,15 (1,13)	0	10	40	3 (4)	1 (2)	1 (2)
5	23 (9%)	18 p 5 b	8,48 (2,84)	81,4	3,6	1,65 (0,98)	0	8	95	59 (48)	38 (42)	14 (14)

Toutes les données sont des moyennes pour chaque classe. Des écart-types sont donnés entre parenthèses pour le nombre de personnes, de parcelles, d'animaux, petits ruminants et bovins.

E = Exploitation ; UTH = Unité de Travail Humain ; z = Zarma ; p = Peul ; b = Bella ; h = Haoussa

Sur les 273 exploitations, 32 ont été sélectionnées (cf. 6.2.) selon un échantillonnage stratifié en fonction de la typologie ci-dessus. Pour ces 32 exploitations, la superficie de chacune des parcelles a été calculée. Ceci nous permet de renseigner à posteriori chacune des classes de la typologie sur la surface sous l'emprise des cultures (cultures plus jachères) / habitant actif et par exploitation (Tableau 2).

Tableau 2 : Surfaces sous l'emprise des cultures par habitant actif et par exploitation, et surface des parcelles selon la typologie d'exploitations

Types d'exploitations	Surface terres agricoles / UTH (ha)		Surface terres agricoles / exploitation		Surface parcelles	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
1	1,36	0,65	14	6	3,6	2,6
2	1,6	0,64	10	4	2,8	1,9
3	1,14	0,23	7	3	2,5	1,4
4	0,78	0,44	3	2	2,4	2,2
5	0,56	0,33	6	4	3,1	2,8

Trois types d'exploitations composées exclusivement de familles zarmas sont distinguées.

Le premier type correspond aux plus grosses exploitations zarmas, regroupant principalement les familles descendantes des familles fondatrices des différents villages. Elles regroupent souvent plusieurs ménages (4 maximum) et par conséquent un grand nombre d'individus. Ce sont les plus riches, avec le plus grand nombre de parcelles, principalement héritées, et des troupeaux constitués aussi bien de bovins que de petits ruminants. Suivant la quantité, ils s'en occupent eux-mêmes ou les font garder, au moins pendant la saison des cultures, par les Peul. Grâce à leur animaux, ils peuvent fumer leurs propres parcelles, d'où un nombre de parcelles fumées assez important. Les surfaces moyennes des parcelles de ces exploitations sont les plus grandes (3,6 ha). Ces grandes exploitations (14 ha) sont les moins touchées par le phénomène de nucléarisation familiale et de morcellement foncier. Le chef du village et l'Imam du village gèrent ce type d'exploitation qui pourrait être rangé dans la catégorie des grandes exploitations (> 10 ha) à système de production agro-pastoral.

Les deux autres types d'exploitations zarmas (type 2 et 3) sont assez proches. Elles regroupent un nombre d'individus moyen, possèdent un nombre de parcelles agricoles assez élevé mais n'ont pratiquement pas d'animaux. Les exploitations de type 2 ont cependant une superficie moyenne supérieure (10 ha contre 7 ha pour le type 3). Si ces exploitations ont quelques animaux, ce sont quelques moutons ou chèvres, élevés dans la cour et consommés annuellement à l'occasion des fêtes (mariages, fin du ramadan,...). Ce qui les différencie surtout, c'est leur type d'accès à la terre. Le type 3 est beaucoup moins "propriétaire" que le type 2. Les familles qui composent les exploitations de type 3 sont des familles plus récemment indépendantes qui ont hérité de 1 ou 2 parcelles. Pour subvenir à leurs besoins, elles sont obligées d'emprunter d'autres terres. Elles sont les derniers maillons de la chaîne de fragmentation du domaine originel. Avec la croissance démographique et l'extension des cultures vers une saturation de l'espace cultivable, il leur reste peu de terres directement héritées. Ces

exploitations peuvent être rangées dans la catégorie des exploitations à système de production agricole d'une taille moyenne pour le type 2 et d'une petite taille pour le type 3.

Les deux dernières catégories d'exploitations (4 et 5) sont toutes composées de familles "étrangères", dans le sens où elles n'ont accès à aucune parcelle héritée. Toutes les parcelles qu'elles exploitent leur ont été prêtées par les autres catégories de population.

Le type 4 regroupe toutes les ethnies présentes sur la zone. Toutes les parcelles de ces exploitations sont empruntées et elles ne possèdent quasiment pas d'animaux. Ce sont les familles les plus pauvres de la zone et les exploitations les plus petites. Elles ont peu de parcelles, peu fumées et peu mises en jachère. Ce sont des agriculteurs d'origine ou des éleveurs sédentarisés de longue date qui ont perdu leur capital en têtes de bétail. Ces exploitations peuvent être rangées dans la catégorie des très petites exploitations à système de production agricole.

Le type 5 représente les Peul ou Bella ayant une ou deux parcelles et beaucoup d'animaux, principalement des petits ruminants. Ce sont principalement des éleveurs et secondairement des agriculteurs. Leurs parcelles sont très intensément fumées et pratiquement jamais mises en jachère. Ces exploitations peuvent être rangées dans la catégorie des petites exploitations à système de production pastoral et agricole. Une partie de ces familles de pasteurs-agriculteurs partent généralement en transhumance pendant la saison des pluies.

Ainsi, sur les quatre terroirs échantillonnés, parmi la population résidant toute l'année sur ces terroirs, 70% des exploitations sont à vocation exclusivement agricole, 20% à vocation agro-pastorale et 10% à vocation "pastorale-agricole".

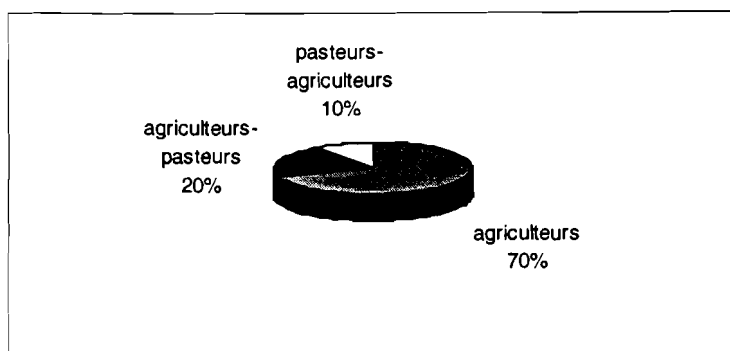


Figure 17 : Répartition des systèmes de production sur les terroirs échantillonnés

Jusqu'à présent, nous avons décrit les types d'exploitation et de système de production présents sur la zone d'étude tout au long de l'année. Par ailleurs, comme nous le verrons dans le module pastoral (quatrième partie de ce document), la zone est temporairement habitée en saison sèche par des Peul (pasteurs-agriculteurs venus de zone voisines) établissant un système de bénéfices réciproques avec les agriculteurs zarmas : ils pâturent leur espace et en échange ils parquent leurs animaux dans les champs des Zarma. D'autres familles nomades (exclusivement pasteurs) ou transhumants (pasteurs-agriculteurs) traversent également la zone en début et en fin de

saison des pluies pour exploiter les pâturages du nord et pour la cure salée (vers la frontière du Mali). Suivant la répartition des pluies et l'état des pâturages, ils peuvent séjourner dans la zone d'étude plusieurs jours à plusieurs semaines.

Les résultats de cette typologie peuvent être résumés selon le tableau 3. Les systèmes de production mis en évidence dans ce paragraphe correspondent aux exploitations recensées sur la zone d'étude. Leur fonctionnement spatial et temporel, à ce stade de l'étude, n'est pas explicité.

Dans la catégorie des **pasteurs-agriculteurs** (exploitations type 5), nous regroupons tous les pasteurs sédentarisés gardant une activité d'élevage importante sans distinction alors que Bonfiglioli (1990) distingue trois catégories :

- les agro-pasteurs d'opportunisme (ne pratiquent guère l'agriculture, mais participent activement aux activités des sociétés agricoles en période de crise),
- les agro-pasteurs d'attente ou de passage (pasteurs ayant perdu tout ou partie de leur capital animal et pour lesquels l'agriculture est un refuge dont l'issue est la reconstitution progressive du cheptel),
- les agro-pasteurs de sécurité (reconversion agricole où l'élevage reste une activité principale en vue de la survie du groupe).

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des types d'exploitations et des systèmes de production de la zone d'étude

N°	Types d'exploitations	Types de systèmes de production
1	Les plus grosses exploitations à vocation agricole et pastorale gérées par des grandes familles zarmas "propriétaires" des terres	Agro-pasteurs
2	Les exploitations agricoles de taille moyenne gérées par des Zarma "propriétaires" des terres	Agriculteurs
3	Les petites exploitations agricoles gérées par des Zarma avec un accès foncier à la terre variable	Agriculteurs
4	Les très petites exploitations agricoles gérées par des "étrangers", zarmas ou autres, sans droit de "propriété" foncière	Agriculteurs
5	Les petites exploitations à vocation pastoral et agricole gérées par des Peul ou des Bella sédentarisés, sans droit de "propriété" foncière	Pasteurs-agriculteurs
6		Pasteurs

Dans la catégorie des **agriculteurs-pasteurs** (exploitations de type 1), nous regroupons tous les agriculteurs qui font de l'élevage quand Ada et Rockström (1993), sur une zone plus au nord, à cheval sur les cantons de Simiri et Ouallam, distinguent deux catégories : les systèmes de production définis par des cultures pluviales avec élevage et ceux définis par des cultures pluviales avec élevage et maraîchage. De plus, dans chacun des systèmes de productions, ils distinguent 2 classes d'exploitations agricoles : les petites (< 20 ha) et les grandes (> 20 ha). Dans notre zone d'étude, la taille moyenne d'une exploitation agricole est de 10 ha. Dans les exploitations de type 1, nous regroupons toutes les exploitations d'une taille moyenne de 14 ha, dans une fourchette de 8 à 20 ha.

Dans la catégorie des **agriculteurs** (exploitations type 2, 3 et 4), nous regroupons tous les agriculteurs dont le seul moyen d'existence est la culture des terres, en saison des pluies principalement.

La distinction de 3 classes d'exploitations avec ce système de production est basée principalement sur la taille de la famille, la taille d'exploitation et leur type d'accès foncier. Ada et Rockström (1993) distinguent trois systèmes de production purement agricoles en fonction principalement de principes de gestion :

- Cultures pluviales de "brousse" sur des terres non fumées des deuxième (système de culture à jachères courtes) et troisième auréoles (système de culture à jachères longues),
- Cultures pluviales sur des terres en partie fumées des premières (cultures quasiment permanentes), deuxième et troisième auréoles en rotation ou non avec des friches,
- Cultures pluviales avec maraîchage.

Dans chacun de ces systèmes de production, sont toujours distinguées les petites et grandes exploitations. Ces principes de gestion, associés à leur logique spatiale, seront approfondis dans la troisième partie de ce document consacré au module "culture".

Dans la catégorie des **pasteurs**, nous regroupons tous les éleveurs qui ne vivent que de leur élevage ; ce qui ne correspond, au sens strict, qu'à la catégorie des pasteurs nomades, décrite, entre autre, par Colin de Verdière (1996). Les pasteurs transhumants sont regroupés dans la catégorie des pasteurs-agriculteurs et les pasteurs sédentarisés dans la catégorie des agriculteurs (type 4).

4.4. Le milieu biophysique et les grandes structures du paysage

4.4.1. Le climat local et sa variabilité

Comme partout au Sahel, la pluviosité de la zone d'étude est caractérisée par une très forte variabilité temporelle et spatiale.

Les extrêmes enregistrés à Niamey sont de 281 mm en 1915 et 939 mm en 1909, avec une moyenne de 560 mm pour la période 1905-1995. Pour la période 1950-1995 (Figure 18), les deux périodes de sécheresse ont été 1970-74 et surtout 1979-1988 (1982, année la plus sèche).

A partir d'un réseau de 110 pluviographes répartis selon une maille systématique sur le degré carré de Niamey, l'expérience EPSAT (Taupin et al, 1993) montre une très forte variabilité spatiale des pluies à l'échelle locale et cela malgré la pérennité de la structure convective des régimes précipitants (cf. 3.2.1). Des différences supérieures à 100 mm ont été enregistrées en termes de cumul saisonnier, entre deux points distants de quelques kilomètres : 150 mm sur 6 km en 1990 sur le site de Banizoumbou, 320 mm sur 27 km en 1991. Autrement dit, pour une saison donnée, les pluies annuelles peuvent varier du simple au double sur une faible distance (30 km en 1991 dans le sud du degré carré de Niamey d'après Taupin et al, 1993).

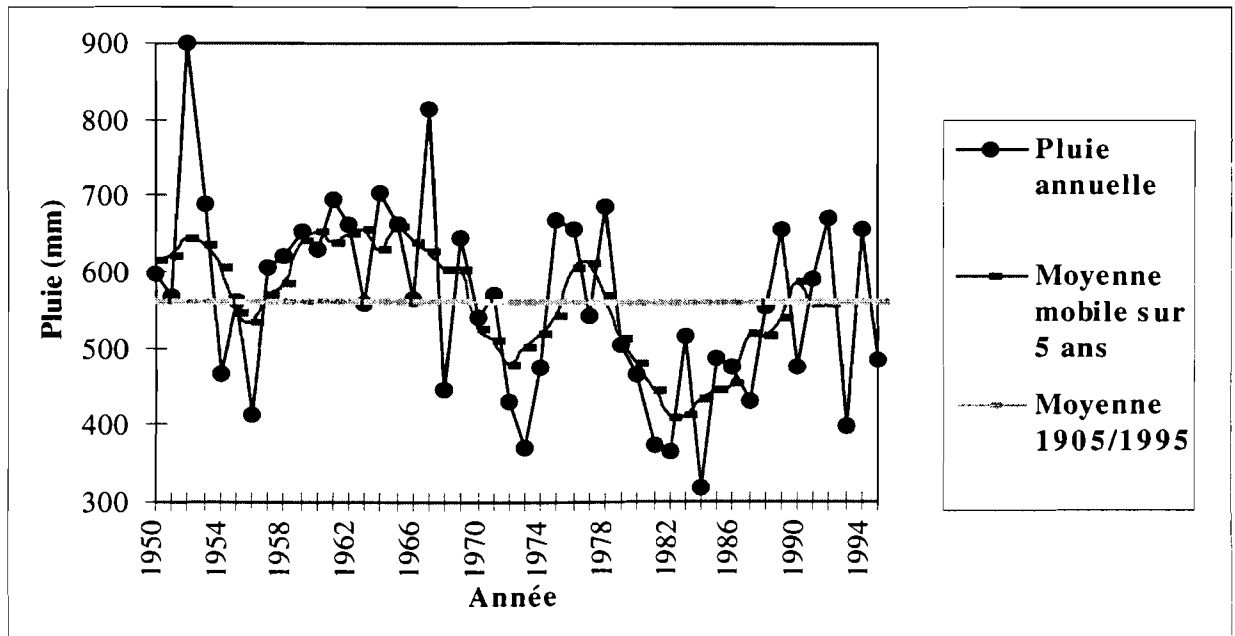


Figure 18 : Pluviosité à Niamey depuis 1950 (d'après Leduc & Loireau, 1997)

D'une façon générale, la variabilité spatiale pour une année donnée est du même ordre de grandeur que la variabilité inter-annuelle en un point (115 mm sur la série de Niamey 1950-1989).

L'extrême variabilité spatiale et temporelle de la pluviométrie se répercute sur la production végétale. La diversité et le niveau de la production naturelle fluctuent en fonction de ces aléas climatiques.

Sur le plan agricole, cette variabilité des pluies oblige parfois les agriculteurs à semer plusieurs fois (jusqu'à huit fois observées sur notre zone d'étude en 1992) sans que la production finale soit garantie. Les agriculteurs originaires du village, donc sans restriction de disponibilité des terres et d'accès foncier, préfèrent généralement avoir des parcelles assez éloignées, sur différentes positions topographiques et sur des sols présentant des réponses différentes à l'abondance et à la répartition des pluies, afin de diminuer les risques face à cette variabilité spatiale des pluies.

4.4.2. Les grands faciès du paysage

Le site de Banizoumbou se caractérise, au niveau géologique, par les formations du Continental terminal. La plupart des sols qui le caractérisent se situent sur sables éoliens. Ce sont surtout des sols ferrugineux tropicaux à oxydes de fer dominant. Ils présentent un profil ABC ou A(B)C dans lesquels il y a individualisation très importante de fer et de magnésium ; l'humus y est rapidement décomposé.

Cinq grands faciès du paysage peuvent être distingués (Loireau, 1993).

1- Les plateaux cuirassés

La cuirasse ferrugineuse qui recouvre les plateaux de grés du Continental date du Pliocène. La forme reconstituée de cette surface ancienne est celle d'une cuvette drainant vers le sud. Les pentes régulières ne dépassent pas 0.6 pour mille.

Sur ces plateaux, on trouve une formation classique constituée d'une alternance de sols nus et de zones végétalisées. Ambouta (1984 ; 1997) a caractérisé et nommé les différentes formes de contraction sur les plateaux latéritiques du sud-ouest nigérien, des brousses tigrées « typiques », présentant des alternances régulières de bandes végétalisées et de bandes nues, aux brousses « persillées » ou mouchetées ». Les espèces ligneuses les plus importantes sont des *combretaceae* : principalement *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis*. Les espèces herbacées les plus abondantes sont *Microchloa indica* (Gramineae) et *Cyanotis lanata* (Commelinaceae) (Galle et al, 1997).

Ce type de forêt naturelle constitue une part importante de l'approvisionnement en bois-énergie des centres urbains et des villages ruraux. Elles ne sont a priori jamais mises en cultures ; les sols argilo-sableux, à forte charge caillouteuse y sont peu profonds (40-80 cm) et l'effort à fournir par le paysan pour le défrichage est trop important.

Sur cette cuirasse se superposent quelques ensablements sur plateaux (dunes sur plateaux) qui eux, par contre, sont traditionnellement cultivés.

Au bord de ces plateaux, se trouve le talus, zone intermédiaire entre le plateau et la jupe sableuse. Il est constitué essentiellement de gravillons sombres et peut avoir une très forte pente (35%).

2- Les jupes sableuses et les glacis

Les jupes sableuses et les glacis sont constituées d'un ensemble sableux rouge homogène (5YR 6/4) qui se présente à la base des plateaux. Ces formations sableuses peuvent être attribuées à des dépôts éoliens de l'erg ancien daté de l'Ogolien (10 à 20000 ans) ou à des remaniements récents. Constitué d'un recouvrement sableux très épais, une distinction est faite entre la zone en amont (jupe sableuse), avec une forte pente (5%) et une zone en aval (glacis) de moins en moins pentue et moins sensible à l'érosion, qui se termine par une zone d'épandage plus ou moins large (40 m).

L'espèce ligneuse dominante sur les jupes sableuse est *Guiera senegalensis*. Ces zones sont traditionnellement cultivées. On y trouve les plus vieilles jachères qui peuvent être encore très productives ou dégradées (Delabre, 1993 ; Loireau, 1993). Les jupes sableuses sont parcourues par des ravines creusées par l'écoulement des eaux issues des plateaux.

Les glacis sont caractérisés par un « patchwork » de champs cultivés et de jachères. Plus l'on descend le long de la toposéquence, plus les champs cultivés dominant par rapport aux jachères, les ravines d'érosion deviennent de moins en moins profondes, et enfin les plages enherbées sableuses avec arbustes dominant par rapport aux plages lisses érodées (Loireau, 1993).

La zone d'épandage du glacis est délimitée en aval par une bande de ligneux, parallèle à l'axe du kori principal. La partie en amont présente un tapis herbacé important, disposé plus ou moins en forme de croissant. Ces épandages sont très localisés ou très diffus et il est difficile de les différencier du glacis lui-même.

3- Les bas-fonds

Les bas-fonds sont le plus bas niveau de la toposéquence. Ils sont sableux ou argilo-sableux et se marquent surtout par le changement de couleur des sables qui deviennent plus clairs (blanc ; 7.5YR 7/4) et par une pente très faible (< 1%).

En fait, plus précisément, dans les bas-fonds, peuvent être distingués :

- les bombements (replats et contrepentes très dégradés recueillant des sédiments grossiers et une humidité favorable au développement des ligneux),
- les chanfreins (zones de raccord entre les bombements et le kori) à forte pente (5%) et à surface très dégradée avec des croûtes d'érosion dominantes, entaillées par des griffes d'érosion. Ce sont des zones de mise en vitesse de l'eau, convexes et encroûtées. Elles sont totalement impropres à la culture.
- les koris, qui sont épisodiquement occupés par des mares temporaires. L'installation d'enclos de manioc ou d'arbres fruitiers (manguiers,...) sont assez caractéristiques des koris.

4- Les cordons dunaires

Les cordons dunaires sont des macro-structures sableuses d'origine éolienne superposées aux ensembles précédents. Ils sont intensément cultivés.

5- Les villages et savanes parcs

La zone d'étude est clairsemée de petits villages ruraux (1000 habitants au plus). Dans les alentours immédiats des villages sont conservés des ligneux hauts (d'où le nom de savane parc), principalement pour leur ombrage et leur qualité alimentaire. Plus précisément, les fonctions du parc arboré sont les mêmes que celles que décrit André Lericollais (1990) dans le pays Sereer au Sénégal. Le parc contribue à l'alimentation humaine ; la production fourragère est importante (feuillage des arbres exploité en saison de soudure) ; certaines espèces donnent le bois-d'oeuvre ; le bois de feu est fourni par la récupération des émondes sous les arbres fourragers (Lericollais, 1990).

Une carte d'occupation des terres au 1/50000 a été réalisée en 1993 (Loireau, 1993 ; Loireau & d'Herbes, 1995 ; Annexe 3). D'après cette carte, les recouvrements herbacés ne sont jamais inférieurs à 25-50%, les recouvrements ligneux jamais

supérieurs à 25-50%. L'ensemble de la zone d'étude, tous faciès du paysage confondus, est occupé à 53,8% de jachères, dont 30,6% avec un recouvrement ligneux > 15%, 13,5% avec un recouvrement ligneux compris entre 10 et 15% et enfin 9,5% avec un recouvrement ligneux < 10%. Le reste de l'espace est occupé à 24,4% par les champs cultivés (dont 19% avec un couvert herbacé dense et 5,3% avec un couvert herbacé faible) et 19,8% par les plateaux cuirassés.

Dans le cadre de ce travail, nous avons été amené à approfondir cette classification très préliminaire, pour réaliser une carte des unités paysagères, supports physiques de la production des ressources utilisées par les populations (cf. chapitre 9.).

Chapitre 5 : DES METHODES D'INTEGRATION DISCIPLINAIRE, UNE APPROCHE GEOGRAPHIQUE SYSTEMIQUE

5.1. Structure du système d'information sur les interrelations milieux-sociétés

La recherche proposée dans ce document part du postulat de base suivant : pour étudier la nature et le comportement dynamique d'un paysage en interaction avec une société donnée, il est nécessaire d'avoir une approche systémique mettant en relation les sous-systèmes socio-économiques et biophysiques. Un système est considéré comme un ensemble organisé entre des éléments. *Du grec "systema" : qui tient ensemble, mais avec l'idée d'union en un tout organisé, voire stable. Un système a une structure qui correspond à l'organisation interne des éléments et aux liaisons orientées entre ceux-ci. Le système est évidemment une construction intellectuelle, que l'on va s'efforcer de représenter sous forme de schéma ou de modèle (Walliser, 1977 et Brunet et al, 1992 in Prélaz-Droux, 1995).*

La Figure 19 (p. 78) montre les différents éléments du système étudié ainsi que la nature des relations (écritures noire et rouge, cf. 5.1.1.) et les produits attendus (écritures violette et verte, cf. 5.1.2.). Certains termes utilisés dans ce schéma, ont une définition bien précise selon différentes disciplines. Dans ce paragraphe, sans rentrer dans un débat sémantique, nous les empruntons à certaines disciplines, en précisant bien dans quel sens nous les utilisons pour les besoins de notre étude.

5.1.1. Architecture complexe du système étudié

L'articulation centrale de notre système est le triptyque ressources-usages-prélèvements (en rouge dans le cadre central de la Figure 19). Une ressource ne se définit que par rapport à un (ou plusieurs) usage(s), ou une (ou plusieurs) pratique(s) et réciproquement (Loireau & d'Herbes, 1997 ; Loireau et al, 1997). Une ressource est une notion finalisée, désignée comme l'ensemble des moyens qui se trouvent dans le milieu naturel et dont l'homme dispose pour son usage. Le terme de ressource employé dans ce schéma, et en général dans ce document, correspond au terme plus précis de **ressources "utilisables"** ou ressources disponibles.

Elles ne sont utilisées effectivement que si elles sont accessibles. Cette **accessibilité** peut être d'ordre physique (exemple : distance au village) ou d'ordre social (exemple : accessibilité foncière, disponibilité de main d'oeuvre pour son exploitation).

Ces ressources accessibles sont prélevées (**ressources utilisées**, ou **prélèvements**) selon des **pratiques** répondant aux **usages** en fonction des **besoins** de la population (c'est à dire la demande de la population exprimée sur l'espace et les ressources). Les usages sont eux-mêmes fonction des ressources disponibles et des prélèvements qui affectent ces dernières.

L'état et le fonctionnement à un moment donné de ce triptyque ressources-usages-prélèvements dépend non seulement de son état et son fonctionnement l'instant d'avant, mais aussi de l'histoire des facteurs du milieu biophysique à l'échelle géologique

et historique (siècle) en interaction avec l'histoire d'utilisation du milieu par l'homme à l'échelle archéologique et historique. Ce sous-système, mettant en relations trois éléments, évolue dans le temps sans discontinuité, avec cependant des événements majeurs (perturbations, telles que les sécheresses prolongées) pouvant déterminer des sauts brutaux.

Les ressources identifiées par les usages font partie d'un ensemble de *ressources potentielles diversifiées* dépendant du fonctionnement des **systèmes biophysiques** (sensu lato).

D'une manière générale, le terme de *ressources* employé est un raccourci quand il faudrait dire *ressources naturelles renouvelables sous conditions*. En effet, les **ressources naturelles** sont soit renouvelables, soit non renouvelables (minéraux, combustibles fossiles). Young (1992) distingue celles qui sont sans réserve (flux de ressources abiotiques : soleil) de celles renouvelables **sous conditions** (recyclage des ressources abiotiques : eaux, nitrates,...; ressources biotiques *sensu stricto* : espèces ; ressources complexes : écosystèmes, terres, sols,...). Dans notre démarche, nous nous préoccupons de ce dernier type de ressources puisque que l'un de nos objectifs est de savoir justement quelles sont les conditions de leur renouvellement. Ici, nous distinguons trois principaux types de ressources dans le sens de la définition de Young (1992) : ressources en terres, en eau et ressources végétales, eu égard à leur pertinence par rapport aux usages principaux par les populations.

Le fonctionnement de ces systèmes biophysiques est lui-même contrôlé par différentes variables : climatiques, morphopédologiques et biologiques. Il peut être altéré par une surexploitation des ressources (cf. désertification ; en orange sur la figure 19).

Les populations ont développé des mécanismes de co-adaptation à la nature et à la variabilité de la production de ces ressources, pour la satisfaction de leurs besoins sur l'environnement. Ces mécanismes passent par une organisation en **systèmes de production**, chacun caractérisé par sa propre **gestion technologique** qui définit des **pratiques** différentes ou identiques.

La demande sur le milieu (besoins) est elle-même dépendante du fonctionnement des **systèmes socio-économiques** (sensu lato) contrôlés par différentes variables démographiques, micro et macro-économiques, ethnologiques, historiques et religieuses.

Rappelons qu'au Sahel agro-pastoral, les modes dominants d'utilisation des ressources, qui déterminent un impact significatif sur le milieu, sont bien identifiés : l'usage agricole pour la céréaliculture pluviale, l'usage pastoral (en relation avec les pratiques d'élevage) et l'usage du bois-énergie (en relation avec les besoins énergétiques domestiques). Dans notre zone d'étude, les autres usages des ressources, telles que la cueillette des grandes tiges de graminées pour la fabrication des nattes, ou encore la cueillette de composants végétaux pour usage pharmaceutique ou condimentaire, ne sont pas considérés, dans un premier temps, car ils n'atteignent pas des niveaux de prélèvement significatifs sur l'ensemble de l'espace, susceptibles de participer aux

phénomènes de dégradation des terres. Ils n'en sont pas pour autant ignorés, et font partie de l'analyse des pratiques traditionnelles qui peuvent être intégrées aux activités économiques. Il en va de même pour les cultures maraîchères, dont l'importance sur l'économie alimentaire, voire monétaire, est reconnue, mais qui se pratiquent sur des surfaces réduites, à proximité des villages. Le développement de ces spéculations aurait une importance beaucoup plus grande dans les zones péri-urbaines, disposant de débouchés commerciaux significatifs. Dans notre zone, les produits du maraîchage sont auto-consommés.

Le cadre central de la Figure 19 représente les éléments du système et leurs interactions, qui font l'objet même de notre travail : c'est à dire une approche principalement centrée sur la mise au point de méthodes pour la compréhension des relations interactives entre ressources-usages et prélèvements. Les informations extérieures alimentant ce cadre (systèmes biophysiques et systèmes socio-économiques sensu lato, avec leurs variables associées) sont généralement issues de travaux effectués par d'autres chercheurs avec lesquels une collaboration a été établie, ou ayant publié des travaux concernant la même zone d'étude. Chacune des variables en amont de ce cadre central se prête en effet à des études monodisciplinaires concernant les processus.

Le raisonnement se complique lorsque l'on associe à la relation ressource-usage-prélèvement la dimension spatiale et temporelle. En effet, sur un même espace, une ressource peut être utilisée de plusieurs manières et à différents moments. Autrement dit, les espaces sont utilisés simultanément ou diachroniquement par plusieurs types d'exploitants. Cette multifonctionnalité nous amène à rejoindre la notion d'**espace-ressource** mise en évidence par Olivier Barrière (1997), déjà évoquée au paragraphe 4.2.3.2. Elle est définie à travers l'étroite union de la ressource avec son milieu physique, chaque type de ressource donnant lieu à un type d'exploitation ou de prélèvement. *Ainsi, l'espace-ressource s'exprime dans la spatialisation géographique de la ressource, sa situation, sa place physique dans le géosystème. Il se présente le plus souvent de façon discontinue ou impermanente dans le temps et l'espace. L'espace-ressource dépend de l'existence et de la présence de la ressource. Les usages du milieu se succèdent ou se superposent selon la ressource et l'espace concernés* (Barrière, 1997). Par exemple, l'espace de culture (champs cultivés) est constitutif d'un espace-ressource agraire, puis, après les récoltes, ce même espace devient simultanément pastoral et forestier. A une échelle supérieure, l'espace sous l'emprise des cultures (champs cultivés plus jachères) est constitué simultanément d'espace-ressources agraire, pastoral et forestier. A ces activités majeures se superposent différents droits d'usage concernant la cueillette des sous-produits.

Cette notion d'espace associé au triptyque ressources-usages-prélèvements est au centre de nos intérêts. Pour conduire à terme notre démarche pour l'analyse des interactions entre systèmes, il est indispensable de parvenir à définir, à une certaine échelle, des **unités spatiales relativement stables dans le temps** (cf. 5.1.2 et 5.2.) auxquelles rapporter les informations concernant les différents espace-ressources.

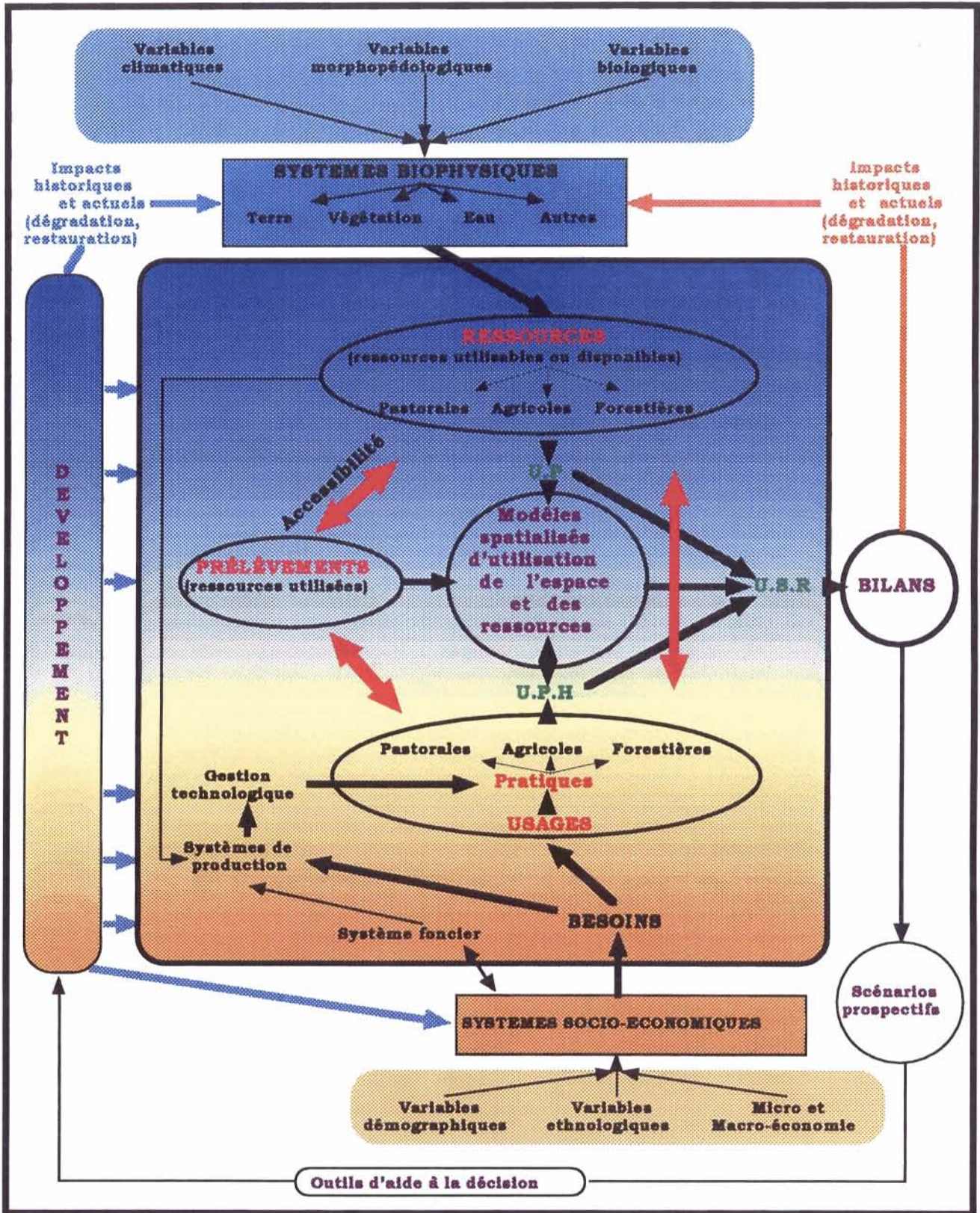


Figure 19 : Architecture complexe du système interactif ressources-usages et les produits attendus

5.1.2. Les produits attendus

Pour chaque type d'usage, des **modèles d'utilisation de l'espace et des ressources** sont élaborés. Ils établissent des lois de spatialisation des pratiques, qu'elles soient agricoles, pastorales ou forestières. Le modèle agricole est détaillé dans les chapitres 6 et 7. Le modèle pastoral et celui de l'utilisation du bois-énergie sont présentés dans les chapitres 11 et 12. Dans le cadre de ce travail de thèse, ces deux derniers ont été abordés de manière plus simplifiée et plus globalisante que le modèle agricole. Chaque usage est associé à une(des) ressource(s) et leurs relations dans le temps et l'espace sont spécifiques. C'est pourquoi, dans un premier temps, nous avons privilégié une approche dite "modulaire", c'est à dire une approche étudiant le système interactif ressources/usages pour chacun des usages. D'un point de vue méthodologique, rien n'empêche que d'autres activités que celles retenues ici (agricole, pastorale et forestière), selon leur importance dans d'autres régions, soient individualisées en un module propre.

Sur notre zone d'étude, pour chaque **module** (agricole, pastoral, forestier), un grand nombre de données ont été recueillies sur le terrain. Du point de vue de la réflexion méthodologique et de la compréhension du fonctionnement, le module agricole est celui sur lequel nous sommes particulièrement concentrés, exploitant l'ensemble des données recueillies. Les autres modules sont abordés, dans ce document, de manière moins approfondie (toutes les données ne sont pas exploitées), privilégiant une démarche systémique aboutie à l'échelle de la zone d'étude, plutôt qu'une démarche verticale approfondie dans chacun des modules. Le premier objectif est bien d'établir des bilans entre les ressources disponibles et les prélèvements.

Dans notre zone d'étude, représentative des zones agro-pastorales sahéliennes, l'agriculture est l'activité humaine qui détermine la structure fondamentale du paysage, dont dépend partiellement le fonctionnement spatial des autres activités. La délimitation des espaces communs et homogènes tant du point de vue biophysique que socio-économique est ainsi effectuée à partir du modèle agricole d'utilisation de l'espace et des ressources. Dans les zones où l'agriculture pluviale ne peut plus être pratiquée, la structuration de l'espace rural répond à d'autres composantes, pastorales le plus souvent, qu'il conviendrait d'identifier au cas par cas.

A l'aide d'outils de modélisation spatiale, les règles de spatialisation des pratiques établies par le modèle permettent de contourner des unités spatiales homogènes du point de vue des pratiques, que nous appellerons **Unités de Pratiques Homogènes** (U.P.H, cf. chapitre 8.).

Les ressources correspondant aux usages sont produites sur des **Unités Paysagères** (U.P) homogènes, définies par des paramètres biophysiques stricts (géomorphologie, pédologie, recouvrement végétal) et par l'emprise des cultures considéré comme facteur écologique structurant du paysage (*Land Use* des anglo-saxons, cf. chapitre 9.).

L'intersection des U.P et des U.P.H déterminent les espaces communs et homogènes tant du point de vue biophysique que socio-économique que nous appellerons **Unités Spatiales de Référence** (U.S.R, cf. chapitre 10.).

Ces unités spatiales constituent le support spatial du fonctionnement du système interactif ressources-usages-prélèvements et sont représentées en vert sur la Figure 19.

Ces U.S.R, objets spatiaux, ont des attributs et un fonctionnement propres (cf. 5.2).

Au rang des attributs, mentionnons l'aire de l'unité, le pourcentage surfacique des différents types d'occupation du sol (cultures, jachères, brousse) déterminés par l'activité agricole, les **biomasses** herbacées et ligneuses (en tant que ressources biologiques utilisables) (cf. chapitre 9.). Ces biomasses nous sont données par des travaux d'autres chercheurs avec lesquels nous avons établis une collaboration.

Le fonctionnement des U.S.R est inféré à partir des modèles fonctionnels établis pour chacun des usages auxquels sont associés une **disponibilité** et un **prélèvement**. La confrontation de ces deux variables spatialisées sur les U.S.R permet d'établir un bilan circonstancié dans l'espace et le temps pour l'usage agricole (cf. Chapitre 10.), l'usage pastoral (cf. chapitre 11.) et l'usage forestier (cf. chapitre 12.). Ces premiers **bilans** dit **modulaires** permettent de localiser les zones d'équilibres entre prélèvements et ressources, les zones "excédentaires" en ressources et les zones "sur-prélevées" (= surexploitées).

Ils doivent rendre compte également des flux de matières entre les différents usages inter et intra-U.S.R. Dans le cadre de ce travail exploratoire, ne pouvant exploiter l'ensemble des données existantes ou recueillies permettant de qualifier et quantifier ces flux, nous privilégions une démarche synthétique globale.

Les trois bilans modulaires sont ensuite confrontés pour établir un **bilan global** multi-usage (en violet sur la figure 19) sur l'ensemble de la zone d'étude (cf. chapitre 14.). Ce bilan permet, non seulement, de rendre compte de l'état d'un paysage à un instant donné, mais aussi, en remontant sa chaîne de construction, d'avoir les clés de compréhension et d'interprétation de cet état. Il permet donc de connaître la part respective de l'influence des systèmes biophysiques et socio-économiques sur le paysage et d'en analyser les effets rétroactifs (*feed-back*) sur le fonctionnement des systèmes biophysiques (en orange sur la figure 19).

Dans ce document, ce bilan global est effectué à l'échelle de l'année. Les variations saisonnières sont expliquées dans le fonctionnement de chacun des modules ; tout particulièrement dans le module pastoral pour lequel les ressources disponibles et les prélèvements sont extrêmement variables d'une saison à l'autre.

En modifiant la valeur des paramètres identifiés comme intervenant de manière décisive dans les différents modèles interactifs d'utilisation de l'espace et des ressources (paramètres de forçage), de nouveaux bilans pourraient (dans le cadre d'une poursuite de ce travail exploratoire) être établis à titre prospectif (cf. chapitre 15.). On parle alors de **scénarios prospectifs** (en violet sur la figure 19).

Ces scénarios prospectifs devraient fournir des informations sur les changements prévisibles du fonctionnement interactif des systèmes et du paysage en tant que résultante observable. Ils devraient permettre d'anticiper ces changements et d'aider les acteurs du développement, quelque soit leur niveau d'intervention, à orienter leurs actions en connaissance de cause pour un développement durable. Autrement dit, ces scénarios prospectifs sont des **outils d'aide à la décision** (en violet sur la figure 19).

Selon la nature des mesures prises par ces acteurs (du paysan à l'Etat), leurs impacts (flèches en bleu) affectent le système interactif à différents niveaux. Le système d'information proposé permet de les analyser.

Le noyau de notre étude, constitué par le cadre central de la Figure 19, a donc l'ambition de remplir deux fonctions essentielles :

- 1) l'analyse des impacts du fonctionnement interactif milieux-sociétés sur le fonctionnement des systèmes biophysiques ;
- 2) la constitution d'un système central pour la compréhension des interactions ressources/usages, nécessaire pour l'élaboration de scénarios prospectifs à partir de variables de forçage du système étudié ; ainsi que pour l'analyse ultérieure des impacts probables des actions de développement, spontanées ou résultantes de l'analyse prospective, sur le fonctionnement interactif milieux-sociétés.

5.2. Les Unités Spatiales de Référence : définition appliquée à notre zone d'étude

5.2.1. Une grande instabilité spatiale et temporelle des parcelles

Dans l'espace agro-pastoral sahélien, l'agriculture est l'activité humaine la plus déterminante dans la structuration fondamentale du paysage (morcellement en parcelles), les autres activités (pastorale et forestière) dépendant en grande partie du type d'occupation (jachères, cultures, brousse) de ces parcelles. La parcelle devrait donc être l'unité spatiale élémentaire homogène du point de vue des ressources et de la gestion qui en est faite par l'homme.

Néanmoins, une des caractéristiques des zones sahéliennes agro-pastorales est l'extrême instabilité spatiale et temporelle des parcelles, tout aussi bien au niveau de leur contenu (cultures, jachères, brousse) qu'au niveau de leur contenant (limites). L'affectation parcellaire, en totalité ou partiellement, peut changer au cours de l'année ou d'une année à l'autre.

L'instabilité du contenant des parcelles, autrement dit de leurs délimitations, est principalement liée à la distinction entre parcelles "foncières" et parcelles "agricoles" (Figure 20).

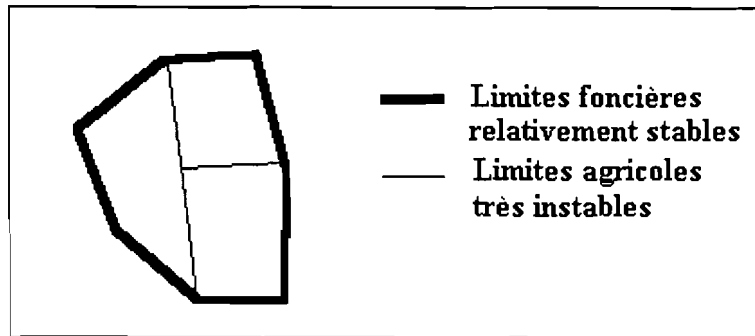


Figure 20 : Des parcelles foncières et des parcelles agricoles

Les parcelles foncières ont des limites relativement stables dans le temps, fixées lors de l'attribution des terres par le chef de village et reconnues par tous les villageois. Avec le processus de fragmentation des lignages, ces parcelles foncières peuvent être morcelées et redistribuées aux descendants. Cependant, les limites extérieures ne changent pas et sont généralement marquées par des haies d'arbustes, des petits talus d'herbes, des grands arbres ou encore des pistes.

En fonction des paramètres de production qu'il maîtrise (main d'oeuvre disponible, quantité de semences nécessaire, qualités du sol de la parcelle, etc....), le "propriétaire" peut être "stratégiquement" conduit à prêter une partie de sa parcelle (foncière) à un autre exploitant, qui la gèrera alors en fonction de ses propres critères. S'il ne la prête pas, il peut décider d'appliquer lui-même une rotation cultures/jachères interne à la parcelle foncière. Ces décisions actives de morcellement de la parcelle peuvent intervenir au cours d'une saison des pluies, ou d'une année sur l'autre.

La parcelle "agricole" est alors considérée comme une parcelle dont l'intention d'affectation en cultures ou en jachère, d'une saison des pluies à une autre, ne dépend que d'un seul centre décisionnel (l'exploitant agricole). Ses limites, contrairement à celles des parcelles foncières, sont extrêmement instables aux niveaux inter et intra-annuels.

Le système agraire de la zone est principalement basé sur l'application d'une rotation inter-annuelle cultures/jachères avec des durées plus ou moins longues. Ceci rend le contenu (type d'occupation du sol) d'une parcelle agricole très variable. En effet, chaque année, une jachère dérobée (parcelle entre deux cycles culturels) peut être remise en culture (entrée dans le cycle culturel ; étape 1 de la Figure 21), ainsi qu'une jachère jeune (étape 3 de la figure 21) ou encore une jachère ancienne (étape 7 sur la Figure 21). Un espace encore jamais cultivé (végétation naturelle) peut être affecté à un paysan par le chef de village et défriché pour être mis en culture (étape 8 de la Figure 26). Une jachère, jeune ou ancienne, peut être défrichée sans être cultivée selon le cycle culturel complet (étape 4 et 6 de la Figure 21). Enfin, une jachère dérobée peut rester en jachère plus d'un an et devenir de ce fait une jachère jeune (2), et une jachère jeune peut rester encore plusieurs années non cultivée et ainsi devenir une jachère ancienne (5).

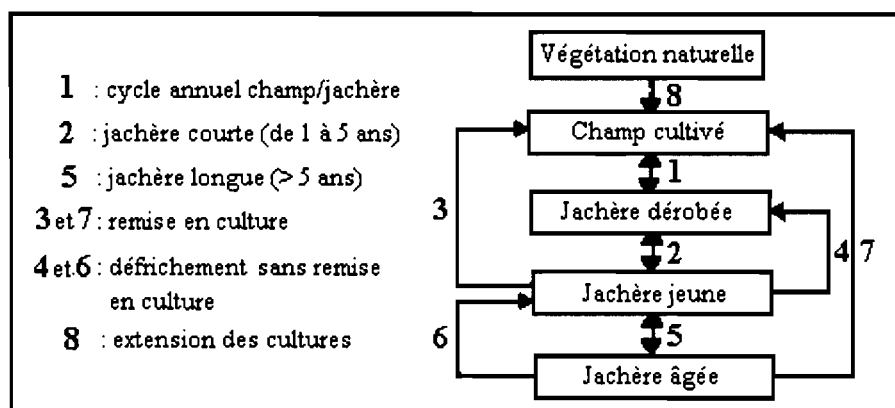


Figure 21 : Variation interannuelle de l'occupation (« contenu ») d'une parcelle agricole

De plus, cette intention d'affectation de la parcelle agricole en cultures ou en jachères par l'exploitant, peut être contrariée à tout moment au cours de la saison des cultures, par des facteurs physiques et/ou socio-économiques qui échappent à son contrôle : régime pluviométrique, capacité économique, main d'oeuvre agricole disponible, Autrement dit, le cycle cultural (cf. 6.4.) peut être interrompu à chacune de ses étapes et la parcelle agricole ramenée brutalement à l'état de jachère. De même une parcelle qui ne devait pas être cultivée peut être brutalement remise en culture. La variation du contenu de la parcelle est ainsi non seulement inter-annuelle, mais aussi intra-annuelle.

Nous pouvons alors résumer les différents états d'une parcelle en fin de saison de cultures (saison des récoltes) selon la typologie suivante :

- 1) Champs à cycle cultural ininterrompu,
- 2) Champs à cycle cultural interrompu,
- 3) Jachères cultivées non défrichées,
- 4) Jachères défrichées non cultivées,
- 5) Jachères jeunes/anciennes et végétation naturelle non cultivées, non défrichées,

Selon un cycle de culture plus ou moins accompli et une couverture végétale (quantité et qualité) qui varie non seulement en fonction de l'âge de la jachère mais aussi en fonction de sa position topographique (Delabre, 1998), il est parfois difficile de différencier les objets de la typologie ci-dessus.

Cette instabilité spatiale et temporelle (inter et intra-annuelle) de la parcelle agricole tant au niveau de son contenant que de son contenu et la difficulté même de la définir à un instant donné rendent extrêmement difficile la réalisation d'une cartographie parcellaire de manière automatique et sa réactualisation d'une année à l'autre.

5.2.2. Des unités spatiales majeures obligatoires

Face à la difficulté de définition et d'identification d'une parcelle agricole, face à cette instabilité spatiale et temporelle rendant impossible une cartographie automatique et actualisée, le changement d'échelle est apparu obligatoire afin de définir des unités spatiales majeures (agrégation d'unités élémentaires) dont on connaît le pourcentage surfacique moyen de chacun des types d'unités élémentaires (champ cultivé, jachère, végétation naturelle).

Au niveau de la parcelle agricole, les types d'exploitation ou de prélèvements (agricoles, pastorales et forestier) sont successifs ou simultanés dans le temps en fonction des ressources disponibles et de leur accessibilité. Leur gestion est directement liée à un centre décisionnel qui est l'unité d'exploitation. Un exploitant va gérer une parcelle agricole non seulement en fonction de ces caractéristiques biophysiques propres mais aussi en fonction de l'ensemble de ses parcelles agricoles et d'une stratégie globale associée.

Au niveau des unités spatiales majeures (dites Unités Spatiales de Référence), il s'agit de s'affranchir de ce seul centre décisionnel qui est l'exploitation agricole et de raisonner au niveau de l'ensemble d'un terroir villageois (cf. 4.2.1.3). Le décideur, le gestionnaire de l'espace, n'est plus seulement l'exploitant agricole (déterminant les pratiques agricoles appliquées sur quelques parcelles qui peuvent être dispersées), mais aussi les villageois, ou l'ensemble des habitants d'un terroir villageois (déterminant une logique spatiale globale d'exploitation des terres). Il s'agit alors de regrouper dans l'espace toutes les parcelles qui, en moyenne, sont exploitées de la même manière (pratiques agricoles homogènes), quel que soit l'exploitant, sur un milieu biophysique homogène, c'est à dire avec les mêmes capacités de production de ressources selon son exploitation par l'homme.

Pour les besoins de l'approche méthodologique de notre étude, visant donc à superposer dans l'espace des observations provenant à la fois du système socio-économique et du système biophysique, la définition des U.S.R doit être corrélée aux deux séries de facteurs et leur construction est, par nature, spatiale. Contrairement aux unités élémentaires qui les composent (parcelles agricoles), les U.S.R doivent être relativement stables dans le temps (de l'ordre de la décennie) tant dans leur contenu (pourcentage surfacique en cultures, jachères, brousse) que leur contenant (limites) ; le temps nécessaire à une étude pluri-disciplinaire pour alimenter un système complexe dont l'un des objectifs est d'établir un bilan entre les prélèvements et les ressources.

5.2.3. Méthodes de détermination des Unités Spatiales de Référence

Le passage des parcelles élémentaires aux U.S.R, répondant aux exigences énoncées ci-dessus, est complexe. Il s'agit bien d'établir des règles d'organisation spatiale des parcelles agricoles à partir de critères tant biophysiques que socio-économiques qui permettent de regrouper plusieurs parcelles dans une même grande unité spatiale majeure, appelée USR, dont on peut non seulement déterminer le nouveau contour mais aussi caractériser ses attributs et son fonctionnement. On connaît par

ailleurs certaines règles géographiques intangibles qui permettent de justifier cette démarche : la traditionnelle organisation auréolaire "champ de case-champ de brousse" témoigne d'une structuration géographique que l'on cherche ici à quantifier, modéliser, afin d'en comprendre les mécanismes d'évolution.

Afin de tenir compte, le plus objectivement possible, des facteurs biophysiques et socio-économiques, de connaître leur part respective dans la définition des ces USR, il a fallu différencier dans un premier temps les espaces homogènes du point de vue biophysique (**Unités Paysagères = U.P**) d'une part (cf. chapitre 9.), et les espaces homogènes du point de vue des pratiques agricoles appliquées par l'homme (**Unités de Pratiques Homogènes = U.P.H**), d'autre part (cf. chapitre 8.). Tous deux doivent avoir une certaine stabilité dans le temps.

Dans un deuxième temps, l'intersection de ces deux types d'unités spatiales permettent de définir les U.S.R. Cette distinction *à priori* est, de notre point de vue, l'unique manière de se doter des clés de compréhension et d'interprétation d'un paysage donné (Loireau et al, 1997).

Ces U.S.R sont délimitées à une échelle locale (de l'ordre du km²) mais ne constituent, en aucun cas, un espace fermé. Elles sont la résultante spatiale dans un paysage, à l'échelle locale, d'un système complexe d'interactions entre systèmes socio-économiques et biophysiques. Ces systèmes intègrent des échelles qui peuvent être très différentes, et tout particulièrement en ce qui concerne le système socio-économique. Par exemple, les migrations à l'échelle nationale ou internationale font, entre autre, varier la main d'oeuvre agricole disponible à l'échelle du terroir villageois et vont de fait influencer la quantité de parcelles mises en cultures.

5.3. Principes d'échantillonnages et de recueil des données

5.3.1. Les objectifs

Le dispositif d'échantillonnage, conduisant au recueil de données, doit être adapté aux contraintes de recherche des interactions entre les séries de variables biophysiques et socio-économiques. La notion d'échelles (de temps et d'espace) est essentielle, à différents niveaux.

En effet, l'échantillonnage choisi doit permettre la compatibilité des niveaux de perception des phénomènes socio-économiques et biophysiques. Il doit anticiper la préparation des changements d'échelle, des stations à la zone d'étude, de la zone d'étude à la petite région écologique. Enfin, il doit autoriser la prise en compte des paramètres intervenant aux différentes échelles, spécialement en ce qui concerne les variables socio-économiques (démographie-migration ; marchés ; économie locale, nationale, sous-continentale).

Au niveau du recueil des données, nous recherchons, dès que possible, des relations entre les paramètres mesurés au sol et les images aériennes et satellitaires, afin de permettre une spatialisation à des entités plus vastes et une actualisation dans le temps des dynamiques identifiables à partir de ces données télédéteçtées (Bonneton-Craponne, 1997).

5.3.2. Une caractérisation initiale nécessaire de la zone d'étude

Pour réaliser un échantillonnage et la mise en place du recueil de données adapté à nos objectifs, aux contraintes des interactions ressources/usages, il est nécessaire, avant toute chose, de procéder à une caractérisation initiale globale de la zone d'étude. Les résultats de cette caractérisation initiale ont été présentés dans le chapitre précédent (cf. 4). Elle repose essentiellement sur :

1) Une cartographie de base :

- Cartographie de l'occupation des terres (Loireau, 1993) caractérisée par la combinaison des recouvrements et hauteurs des différentes strates de végétation (herbacée, ligneuse basse et ligneuse haute), l'identification des espèces dominantes dans chacune des strates, enfin le degré d'artificialisation défini au niveau de précision requis (du village au champ cultivé jusqu'à la végétation naturelle), conformément à la méthodologie proposée par Long (1974).

Cette cartographie initiale permet de fournir :

- . un cadre d'échantillonnage pour des analyses plus précises du fonctionnement et de la production des systèmes biophysiques ;
- . une première analyse de l'hétérogénéité spatiale et de la fragmentation paysagère sous l'influence de l'artificialisation des milieux ;
- . une mise en relation des paramètres structurels élémentaires (recouvrements par strate) avec les données de la télédétection satellitaire.

- Cartographie de l'extension des cultures : utilisation de couvertures aériennes de l'ensemble du site (1950, 1975, 1992) pour une analyse historique (cf. 4.2.2.).

- Cartographies thématiques au 1/50000 : pédo-géomorphologie (Nagumo, 1992 ; cf. Annexe 9), infrastructures liées à la population (villages, lieux-dits, pistes, ...), terroirs villageois (cf. 4.2.3.3).

2) Une série d'enquêtes pour :

- l'inventaire de la population actuelle : recensement et répartition ethnique (cf. 4.3.1);
- l'analyse historique du peuplement de la zone : ancienneté d'installation des villages, origines, etc...(cf. 4.2.1) ;
- identification des principaux systèmes de production.

3) Une recherche bibliographique aux différentes échelles emboîtées : sous-continentale et nationale (cf. 3.), régionale et locale : règles foncières (cf. 4.2.3.1 et 4.2.3.2), ethnies, climat, hydrologie (cf. 4.3.1).

Ces données concernent l'ensemble de la zone d'étude et servent de base de spatialisation pour le changement d'échelle du local (station, terroir villageois) au régional (échelle du canton).

5.3.3. Un échantillonnage emboîté

Un premier type d'échantillonnage a été appliqué pour les trois modules d'utilisation de l'espace et des ressources.

Huit centres villageois, répartis dans quatre terroirs, ont été retenus selon deux critères, l'un de type biophysique : disponibilité en terres facilement cultivable (ou inversement le pourcentage des plateaux), l'autre de type social : ancienneté de l'installation des villages. Pour chaque critère, les états les plus contrastés possibles ont été privilégiés.

Il faut noter tout de suite qu'il n'y a pas une totale indépendance entre ces deux paramètres ; les villages les plus récents s'installent obligatoirement sur un espace résiduel, généralement caractérisé par un degré d'attraction plus faible vis-à-vis de la ressource première, la terre facilement cultivable.

Dans ces huit villages, une enquête socio-économique auprès de chaque chef d'exploitation a été réalisée principalement pour établir une typologie des exploitations de la zone (cf. 4.3.2). Cette typologie sert de deuxième base d'échantillonnage pour le recueil des données concernant les trois types identifiés d'utilisation de l'espace et des ressources par l'homme : agriculture, élevage, prélèvement de bois-énergie. Les échantillonnages et recueils de données spécifiques à chacun des modules sont exposés dans les paragraphes 6.4. pour l'usage agricole, 11.2. pour l'usage pastoral et 12.2. pour l'usage forestier.

5.4. Un Système d'Information sur l'Environnement au niveau local

Ce chapitre reprend en grande partie les textes d'un document rédigé en mars 1997 : SIE-ROSELT (d'Herbès J.M, Gayte O. et Loireau M., 1997) et ceux du rapport de DEA de Jean-François Faure (1997), encadré par J.M d'Herbes et moi-même.

5.4.1. Cadre d'élaboration du SIE

A titre de rappel, les objectifs d'un SIE (cf. 2.3) sont :

- Amélioration des connaissances de base sur le fonctionnement et l'évolution à long terme des systèmes écologiques et agro-écologiques et sur la co-viabilité des systèmes écologiques et des systèmes socio-économiques.
- Contribution à rendre les connaissances utilisables, par le regroupement, le traitement des données et leur mise à disposition, par l'identification d'indicateurs et de produits finalisés.

Le recueil de données pour l'amélioration des connaissances n'a pas d'utilité en dehors d'un système d'information permettant de mettre en évidence des interactions entre les séries de variables directrices. Réciproquement, le système d'information doit être alimenté et actualisé à partir de données pertinentes recueillies sur le terrain.

Un Système d'Information sur l'Environnement est un ensemble de moyens humains et informatiques permettant de caractériser l'état et la dynamique d'un territoire

donné, en référence aux problèmes environnementaux et de développement économique et social auxquels ils font face. De manière plus technique, le SIE est considéré comme un système informatique capable d'assurer la gestion et l'exploitation des données de l'information écologique et socio-économique relative à un espace. Le SIE est un système d'information qui permet de croiser des informations d'origines socio-économiques et biophysiques, informations en référence à un espace déterminé (Système d'Information à Référence Spatiale : SIRS, Prélaz-Droux, 1995), mais pas forcément localisées précisément dans cet espace.

5.4.2. Les principes généraux

Le Système d'Information sur l'Environnement (SIE) est basé sur la méthode de modélisation orientée objet, qui permet de construire au fur et à mesure de l'avancement des travaux de recherche un cadre général d'analyse de l'environnement. Dans le contexte de ce travail, ce cadre général est celui des relations entre ressources et usages. La nature des outils thématiques (modèles objets, base de données, cartes, modèles dynamiques) est définie au cours du développement du système. Dans un SIE, les données doivent être géo-référencées, traitées dans toute leur variété et leur complexité, repérées dans le temps, et associées à des "méta-données" précisant la signification et la qualité d'une donnée (Gayte et al, 1997). Le SIE est donc à différencier d'un Système d'Information Géographique traditionnel ; ce dernier étant un outil parmi d'autres permettant au premier d'atteindre ses objectifs.

D'un point de vue conceptuel, le SIE repose sur la formalisation de trois types de modèles graphiques :

- 1) Le **modèle Objet** : il décrit la structure et le comportement des objets qui le composent, ainsi que leurs relations. Il permet de *définir le contenu du système*.
- 2) Le **modèle Fonctionnel** : il décrit les services que doit rendre le système. Chacun de ces services est décomposé en fonctions du plus bas niveau jusqu'à atteindre des opérations élémentaires qu'il est possible d'associer à l'activité d'un objet. Il permet de *décrire ce que fait le système*.
- 3) Le **modèle du Système** : il décompose le système en sous-systèmes ayant une forte cohérence interne. Il permet de prendre en compte les aspects organisationnels, humains et matériels du système d'information.

Ces modèles graphiques servent à identifier les données à gérer, le type de traitement à implémenter, et les modalités de fonctionnement et d'organisation du système informatique. C'est une interface entre thématiciens, acteurs de la recherche-développement, et informaticiens.

5.4.3. Le modèle Objet : premier temps de l'élaboration du SIE

Le terme **objet** regroupe tout ce qui a un sens dans un certain contexte. Un village, une récolte, une mesure de température ou un événement climatique peuvent être considérés comme objets. Il peut s'agir d'un objet physique, d'un concept, ou d'une abstraction. Les objets constituent le support élémentaire sur lequel est basé l'ensemble

de notre compréhension du problème. Un objet possède une structure, formée par l'ensemble de ses caractéristiques statiques, et un comportement qui représente l'ensemble de ses caractéristiques dynamiques.

Le modèle objet donne lieu à l'élaboration d'un **diagramme objet** et d'un **dictionnaire des données**.

Un diagramme objet est un schéma composé de boîtes reliés par des traits (Figure 22). Chacune des boîtes correspond à une classe. La première partie de la boîte donne le nom de la classe, la seconde donne ses attributs (sa structure) et la troisième ses opérations (son comportement). Ces classes peuvent caractériser des objets réels, définis par des attributs de type "données de terrain". Elles peuvent aussi se référer à des objets virtuels, créés de toute pièce pour réaliser des opérations statistiques et mathématiques. La plus grande difficulté, une fois tous les objets d'un système identifiés, consiste à déterminer les liens sémantiques entre classes et à établir les fonctionnalités du modèle. Les relations entre classe sont représentées par des traits et des cercles entre les boîtes selon un formalisme établi (Figure 22).

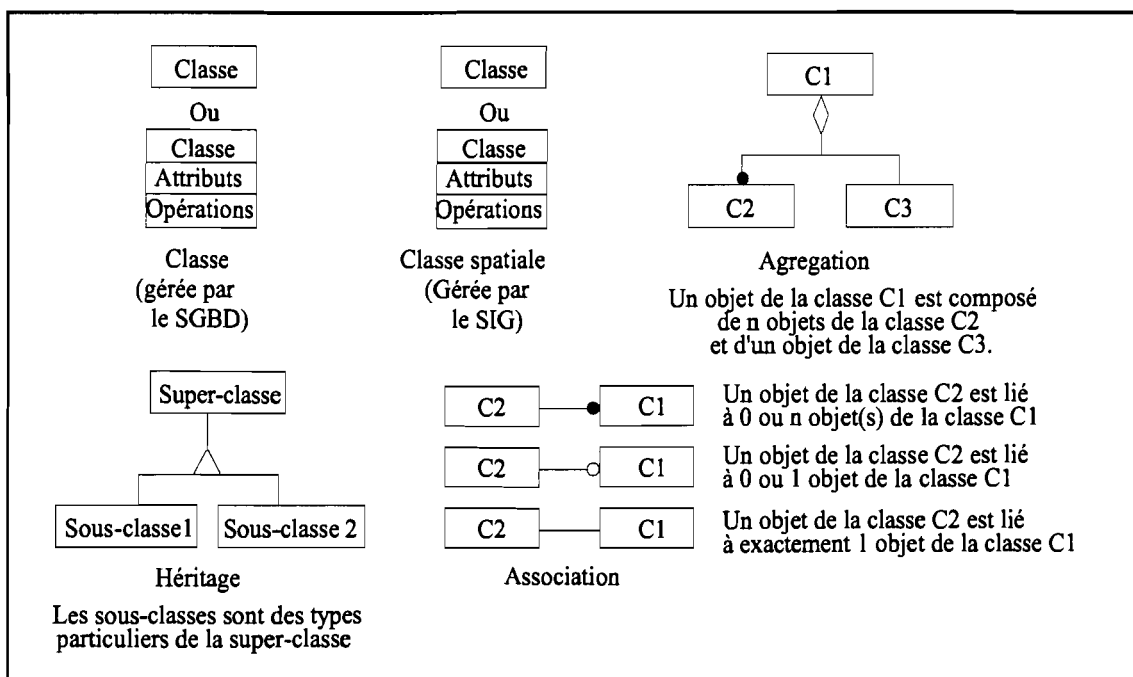


Figure 22 : Formalisme du diagramme objet (d'après Gayte et al, 1997)

La figure 23 montre le modèle objet général du site de Banizoumbou. Il exprime en quelque sorte, selon un formalisme établi, le schéma conceptuel général exposé dans la première partie de ce mémoire (Figure 1, p 23).

Les mesures (classe mesure), de type socio-économique ou biophysique, réalisées sur des Stations (unités d'espace échantillonnées) ou des Parcelles (types particuliers de stations) sont localisées à la fois dans le temps et dans l'espace. Elles

constituent l'information de base sur laquelle sera bâtie une grande partie des fonctionnalités du système.

Les Unités Spatiales de Référence (USR) sont construites par désagrégation des Unités de Pratiques Homogènes (UPH) et des Unités Paysagères (UP). Elles sont considérées comme homogènes, pendant un intervalle de temps défini, aussi bien du point de vue biophysique que socio-économique. Elles sont caractérisées à partir des stations de mesure auxquelles elles sont associées. De nombreuses opérations pour les objets de type USR, telle que la valeur d'un paramètre en un lieu et à une date donnée, peuvent ainsi être définies.

Les Unités Communautaires d'Exploitation (UCE) résultent de l'agrégation de plusieurs USR. Elles correspondent à des unités administratives ou socio-économiques de base (terroir villageois, finage,...) pertinentes pour l'analyse de la dynamique des relations entre systèmes.

Enfin, l'ensemble du territoire (site de Banizoumbou) est perçu comme l'agrégation des différentes UCE qui le composent.

Il est caractérisé par un certain nombre d'indicateurs de haut niveau qui permettent de définir son état (bilan ressources/usages), de montrer sa dynamique passée et de proposer des scénarii d'évolution. Ces différents produits passent par l'élaboration obligatoire de modèles mathématiques.

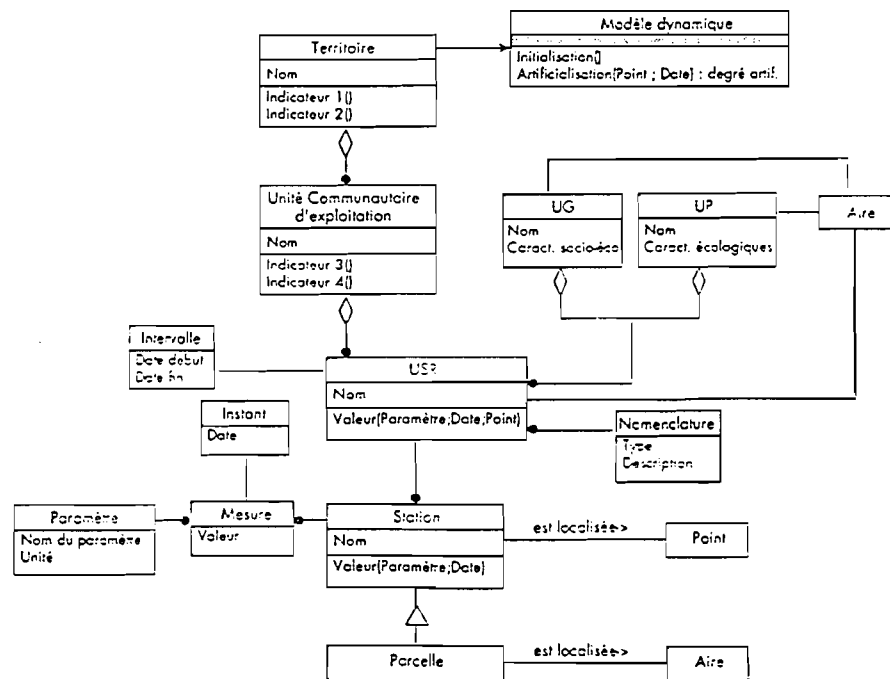


Figure 23 : Diagramme objet général du SIE de Banizoumbou (d'après Gayte et al, 1997)

Ce diagramme objet est extrêmement simplifié et définit bien les emboîtements d'échelle. Il sert de base structurante pour les diagrammes objet complexes appliqués à

chacun des modules (agricole : cf. 6. ; pastoral : cf. 11., bois-énergie pour lequel le diagramme objet n'a pas encore été établi).

5.4.4. Le modèle fonctionnel

Une fois précisée la nature des objets gérés par le SIE local, il est nécessaire de préciser les services que doit rendre le SIE. Le modèle fonctionnel donne lieu à un **diagramme fonctionnel** et à un **dictionnaire des fonctions**. Il faut distinguer en effet deux types de services : les services "de haut niveau", rendus par le SIE au sein d'un territoire et les services "de bas niveau", rendus par les objets aux autres objets, ou à l'utilisateur. La spécification de ces types de service fait appel à deux techniques différentes. Pour les fonctions de "haut niveau", il est nécessaire de construire un diagramme fonctionnel, alors que les fonctions de "bas niveau" sont décrites dans un dictionnaire des fonctions. Ce dernier, en effet, recense et décrit de manière précise l'ensemble des traitements élémentaires assurés par les objets du système (cf. Annexe 4).

Le diagramme fonctionnel est un schéma qui permet de préciser les relations entre les différentes activités du système étudié. C'est un graphe dont les noeuds sont des traitements (boîtes) et les arcs des flux de ressources (flèches). Les diagrammes fonctionnels découlent de la décomposition hiérarchique d'un diagramme de très haut niveau composé d'une seule boîte (cf. Annexe 5). La figure 24 présente de manière sommaire le formalisme utilisé. Celui-ci reprend le principe des actigrammes de la méthode SADT (Jaulent, 1989 in Gayte et al, 1997).

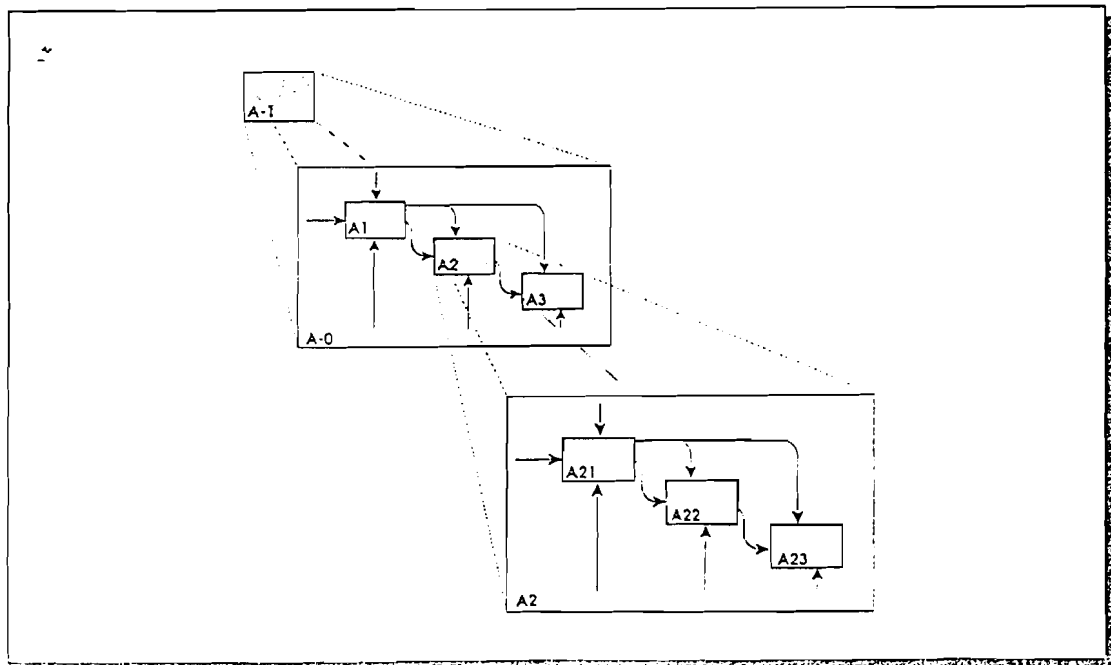


Figure 24 : Hiérarchie des actigrammes SADT (d'après Jaulent, 1989 in Gayte et al, 1997)

Les traitements transforment des *Données* sous la pression de *Contrôles* en utilisant des *Moyens* (figure 25).

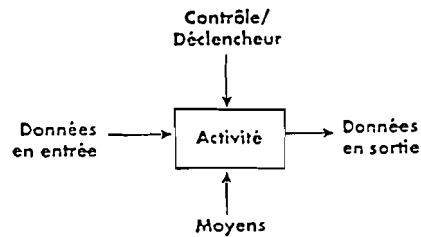


Figure 25 : Formalisme des actigrammes SADT

Une donnée "en entrée" est transformée par le traitement en une donnée "en sortie". Un contrôle est une information qui déclenche un traitement, ou qui lui impose une contrainte.

Le diagramme fonctionnel en annexe 5 montre les activités fondamentales de l'observatoire de Banizoumbou, qui devront être appliquées et adaptées au réseau d'observatoires ROSELT.

5.4.5. Le modèle du système

Une fois identifiés les objets du système d'information et les fonctions générales que doit assurer celui-ci, il est nécessaire de concevoir l'architecture générale du SIE. Cette tâche est en partie réalisée lors de l'élaboration d'un modèle du système, composé lui-même d'un diagramme du système et d'un dictionnaire des sous-systèmes qui offrent respectivement une vue synthétique et détaillée de l'organisation informatique du SIE.

Le diagramme du système est un schéma qui représente, sous la forme de boîte et de traits, les différents sous-systèmes logiciels du SIE et leurs relations. Chaque boîte correspond à un sous-système, lequel est désigné par son objectif ou sa fonction principale : gestion des données descriptives (descripteurs), gestion des données cartographiques, grapheur...

Le diagramme du système informatique du SIE de Banizoumbou (Figure 26) montre l'existence de trois sous-systèmes logiciels : le sous-système **gestion des données**, le sous-système d'**information géographique** et le sous-système de **simulation de la dynamique**.

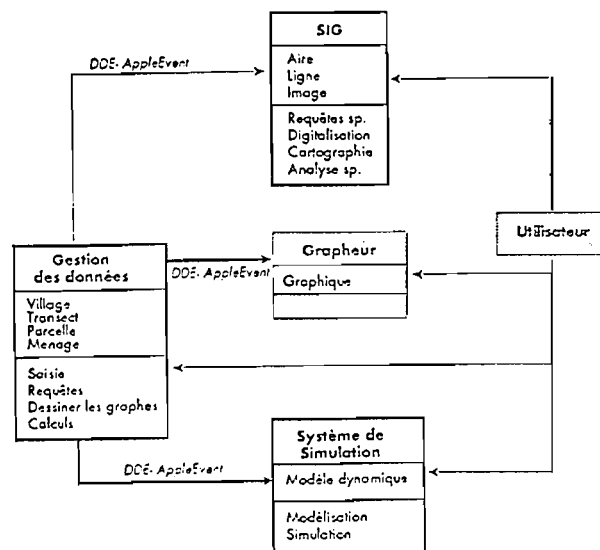


Figure 26 : Modèle du système informatique de Banizoumbou

La création du modèle objet est une étape fondamentale de la conception d'un système à caractère environnemental tel que le SIE. D'un point de vue technique, elle facilite l'implémentation du Système de Gestion de Base de Données Relationnelles (SGBDR), deuxième temps de l'élaboration du Système d'Information. La base de données est construite en fonction de la structure du modèle établi et des liens sémantiques reliant les objets entre eux. Informée puis couplée à un Système d'Information Géographique (SIG : troisième temps de la création du SIE), elle est en mesure de fournir une importante capacité d'analyse de données au service de la production de cartes thématiques. De nombreuses autres opérations peuvent être développés à partir de la base de données en fonction des besoins de l'utilisateur : calcul de variables environnementales, productions de graphiques, requêtes spécifiques...

Dans un quatrième et dernier temps, des modèles mathématiques prospectifs sont élaborés à partir des résultats obtenus afin de proposer des scénarii de gestion des ressources naturelles ou de fournir une aide à la décision en matière d'aide au développement durable.

Ces modèles sont importants car ils se basent sur l'identification d'indicateurs de l'état de l'environnement (Faure, 1997).

L'architecture physique du SIE de Banizoumbou (Figure 27) reprend ces principes. Le Système de Gestion des Données a été développé à l'aide du SGBD "4ème Dimension". Il permet de stocker, manipuler et récupérer des données contenues dans une base de données. Le sous-système d'Information Géographique est géré grâce au logiciel SIG "Arc View". Il permet la transformation et l'exploitation des données spatiales pour produire de l'information significative. Pour permettre la création de graphiques, un sous-système Grapheur a été rajouté au schéma de base. C'est le logiciel "ms-Excel" qui a été choisi pour implémenter les fonctionnalités du sous-système Grapheur. L'ensemble du système informatique tourne actuellement sous Windows 3.1.

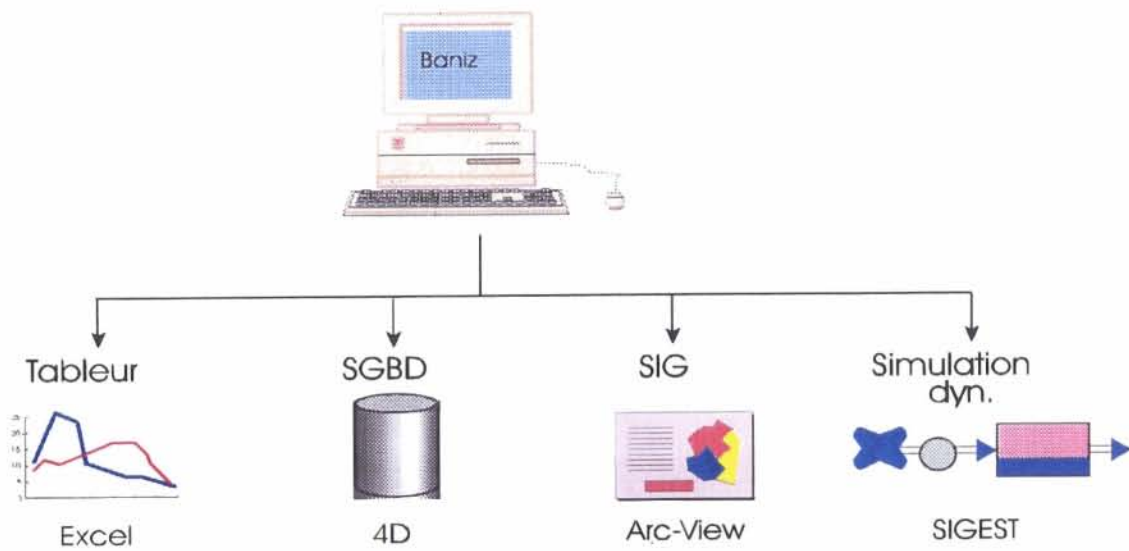


Figure 27 : Architecture physique du SIE de Banizoumbou

D'une manière générale, même si les outils informatiques et leurs mises en relations peuvent varier, les composantes informatiques du SIE sont les mêmes que celles présentées par Prélaz-Droux (1995) pour le SIRS (Système d'Information à Référence Spatiale). Comme lui (Figure 28), trois différents modules de traitements sont identifiés assurant trois rôles fondamentaux :

- L'alimentation du système des données disponibles pour décrire le territoire.
- La transformation et l'exploitation des données pour produire de l'information significative. Il peut s'agir de traitements d'images, d'analyse statistique, analyse spatiale, modélisation et/ou simulation.
- La diffusion des données et des informations qui peut se faire sous différentes formes (cartes, graphiques, tableaux, etc...).

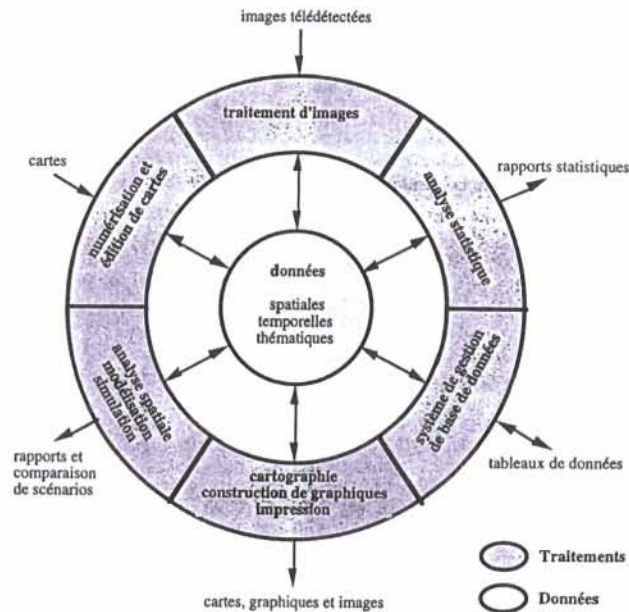


Figure 28 : Les composantes informatiques d'un Système d'Information à Référence Spatiale (d'après Prélaz-Droux, 1995)

**Troisième partie : FONCTIONNEMENT SPATIAL AGRICOLE
D'UNE PETITE REGION SAHELIENNE AU NIGER**

PREAMBULE

Toutes les informations concernant le fonctionnement agricole et la gestion agricole de l'espace sur la zone d'étude ont été formalisées sous la forme d'un diagramme objet, présenté en 6. Ces informations sont soit des paramètres issus directement des relevés de terrain, soit des paramètres élaborés (statistiques, indices, modèles, entités spatiales...). Ce diagramme a permis d'implémenter le Système de Gestion de Base de Données Relationnelles (SGBDR), mis en relation avec le Système d'Information Géographique.

Ainsi, tous les résultats présentés dans les deux chapitres suivants (chapitre 6 et 7) ont pu être obtenus, ou dans certains cas facilités, par les capacités informatiques et les capacités de gestion de multiples données spatiales et temporelles qu'offre le système d'information complexe mis au point, appelé SIE (Système d'Information sur l'Environnement).

Le chapitre 6 constitue une approche analytique descriptive du fonctionnement agricole de la zone d'étude. Le chapitre 7 pose les bases du modèle de fonctionnement agricole à partir d'une paramétrisation des différents facteurs retenus pour sa conceptualisation. Le résultat cartographique est reporté à la quatrième partie, exposant de la structuration de l'espace proposée dans le cadre de ce travail.

Chapitre 6 : L'AGRICULTURE PLUVIALE, STRATEGIES PAYSANNES ET POLITIQUES DE DEVELOPPEMENT

6.1 Problématique agricole

6.1.1. Les besoins céréaliers : une exigence fondamentale

Les économies sahéniennes sont fondamentalement des économies de subsistance à forte auto-consommation paysanne, peu intégrées au niveau national et au niveau intra-sahélien (Labonne M. et Legagneux B., 1980). Le marché des pays sahéniens reste avant tout marqué par de très forts taux d'autosuffisance, à l'exception des pays sahéniens côtiers. La part de l'alimentation fournie par le marché intérieur est au Niger de 90%, un des taux les plus élevés, avec le Burkina Faso (93%), le Tchad (93%), le Mali (90%). (Club du Sahel, 1996). Au Niger (cf. 3.4.), pays enclavé, alors que la population croît, la couverture végétale se dégrade dans un contexte politico-économique qui ne crée aucune richesse capable de se substituer à une agriculture vivrière et à un élevage extensif freiné par cette même agriculture. Afin d'éviter la famine, le Niger se trouve dans un contexte obligé, actuel et à priori à long terme, d'agriculture vivrière, malgré les conséquences sur la dégradation du couvert végétal.

Le mil est la principale culture céréalière au Niger. Dans l'arrondissement de Kollo, la superficie total en mil (pur et associé) oscille entre 70 et 100% de la surface cultivée. Jusqu'en 1982, le Ministère du Développement Rural admettait que la consommation moyenne de mil et de sorgho s'élevait au Niger à 250 kg/tête : depuis ce chiffre a été réduit pour les urbains et les nomades à 200 kg. Ces valeurs paraissent exceptionnellement élevées, comparées aux pays voisins (Burkina, 145, Mali, 135, Sénégal, 96, Mauritanie, 58). Les nigériens consomment un peu de blé et de maïs (3 à 4 kg/tête/an) et de riz (15 kg/tête/an). La consommation de mil et de sorgho n'ayant pas été évaluée par une enquête mais à partir de la production, il semble que cette dernière soit largement surestimée (de l'ordre de 20 à 25%). Le SEDES dans les produits vivriers du Niger (1987), avait proposé l'estimation plus réaliste suivante : sédentaires, 210 kg, nomades, 120 et urbains, 140) (Ministère de la Coopération, 1986).

En gardant 210 kg/tête comme chiffre de référence pour le Niger, les besoins en mil sont calculés en multipliant ce chiffre par la quantité d'habitants. La courbe résultante comparée à la courbe de production depuis 1950 (Figure 29) met en évidence deux périodes excédentaires principales, quelques années avant la sécheresse de 1984 et une dizaine d'années avant la sécheresse de 1972-74.

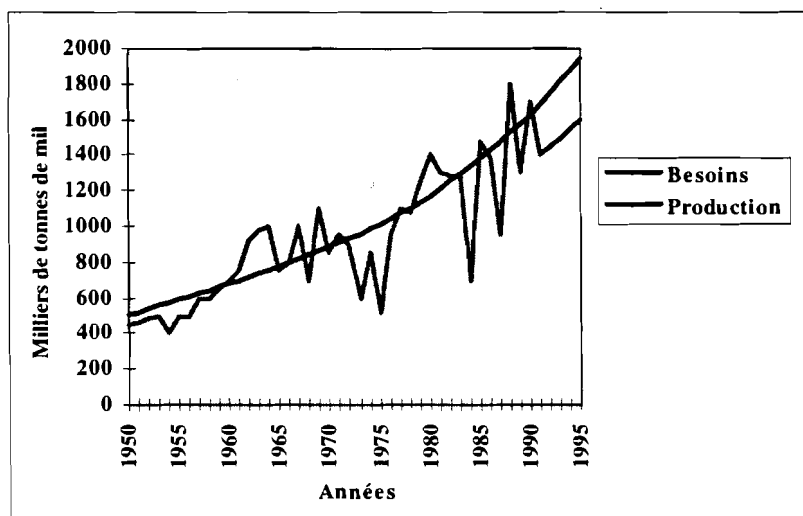


Figure 29 : Evolution des besoins et de la production en mil au Niger depuis 1950 (d'après Ministère de l'Agriculture du Niger)

A l'échelle du Niger, la population a été multipliée par 4 environ entre 1950 et 1995 (Figure 30) et les surfaces cultivées par 5 environ. Sur l'ensemble du pays, le rapport augmentation des surfaces cultivées / augmentation de la population est positif (1,25). Si l'on descend à l'échelle de la zone d'étude (site de Banizoumbou), la population est multipliée par 18 environ (Figure 30) et les surfaces cultivées par 6 (cf. 4.2.2).

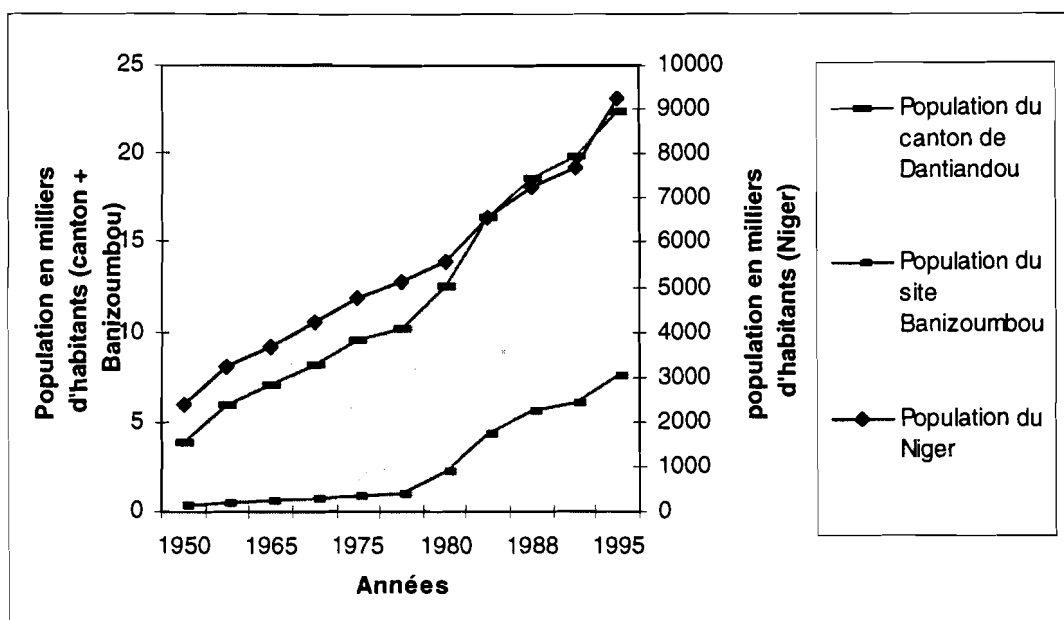


Figure 30 : Croissance démographique depuis 1950 (Niger, canton de Dantiandou, site de Banizoumbou)

La zone d'étude est une zone d'immigration, surtout depuis 1975, accueillant principalement des Zarma venus des zones voisines et des Peul, dont l'effectif des troupeaux a pu être sévèrement réduit lors des grandes sécheresses, à la recherche de

terres à cultiver pour leur sécurité alimentaire. L'ensemble des Peul sédentarisés du site représente environ 8% de la population actuelle. Leur installation a débuté il y a une vingtaine d'années au plus, après la première période de sécheresse.

Contrairement au pays pris dans son ensemble, le rapport "augmentation des surfaces cultivées / augmentation de la population" dans la zone étudiée est inférieur à 1 (0,33) ; autrement dit l'augmentation de la population est bien supérieure à l'augmentation des surfaces cultivées. De plus, l'espace facilement cultivable est actuellement saturé et l'extension des surfaces cultivées n'est plus possible, sauf changements majeurs des techniques agricoles (par exemple introduction des charrues) pour mettre en valeur des zones jusque là protégées, comme les plateaux cuirassés. Il n'y a donc pas correspondance entre les deux facteurs, surtout depuis 1975 et, ceci ne peut que s'accroître à l'avenir, étant donnée la saturation actuelle de l'espace par les cultures malgré une population qui continue à croître.

La question qui se pose dans ce type de zone est la suivante : comment cette population croissante peut satisfaire ses besoins croissants en céréales sans pouvoir augmenter proportionnellement ses surfaces cultivées ? Quelles sont les relations espace/gestion et production agricole/population ? L'augmentation des besoins en céréales ne signifie pas seulement extension des cultures, mais aussi intensification et/ou réorganisation spatiale des modes de gestion agricole (augmentation des productions, diminution des durées des jachères, cultures permanentes de plus en plus éloignées du village,). Quelle est la place de l'émigration ?

Cette problématique agricole est typique des zones sahéliennes, avec une croissance de la population extrêmement forte, non proportionnelle à la croissance des surfaces cultivées. Dans ces zones sahéliennes, où l'autosuffisance alimentaire domine, le maintien d'une production agricole minimale pour satisfaire les besoins croissants et son éventuelle augmentation demeure une priorité en terme de développement. La prise en compte de ces problèmes et de l'enjeu agricole au niveau de l'aide internationale n'est pas récente ; elle a été amorcée au lendemain de la seconde guerre mondiale, renforcée par les indépendances puis par les sécheresses. Selon le comité d'Aide au développement de l'OCDE, l'aide au Sahel, qui a effectivement été multipliée par 4,6 en valeur constante entre le début des années 1970 et le milieu des années 1990, a surtout augmenté après les deux crises climatiques de 1973-74 et 1984-85. Elle était inférieure à 10% du Produit brut régional sahélien au début des années 1970, atteint 20% dans la seconde moitié des années 1980, et redescend à 17% entre 1990 et 1994 (Giri, 1996).

De plus, toujours d'après Giri, l'aide s'oriente de plus en plus, comme partout ailleurs, vers les services financiers, l'appui à la gestion, les services sociaux. Les aspects les plus matériels de l'aide - aide alimentaire, infrastructures, appui aux services productifs (y compris l'agriculture)- seraient en régression relative. Les Organisations Non Gouvernementales (ONG) nigériennes ou étrangères, par contre, fleurissent. Sur 74 ONG recensées en 1994 au Niger, seulement 5 ont été créées avant 1985, 16 entre 1985 et 1990, toutes les autres après 1990. Avant 1985, elles sont presque toutes orientées vers des problèmes de santé, éducation, niveau de vie. Après 1990, 60 à 70% d'entre elles ont une problématique de développement rural, de gestion de l'espace rural,

d'agriculture et d'impact sur l'environnement, de satisfaction des besoins alimentaires. Enfin, des centres de recherches internationaux ou étrangers, tels que l'ICRISAT ou l'IRD, travaillent également sur ces mêmes problématiques. Ainsi, la prise de conscience du problème agricole et, de manière plus large, de la gestion de l'espace rural dans un souci de satisfaction des besoins de la population en même temps qu'une lutte contre la désertification, est réelle et d'actualité. Nombreuses sont les initiatives et nombreux les acteurs sur le terrain.

6.1.2. L'agriculture pluviale et ses enjeux dans un milieu naturel contraignant

Au plan agricole, le système de culture prédominant au Sahel en général et à fortiori au Sahel nigérien est le système de culture pluviale : une seule saison des pluies, un seul cycle cultural, du semis en juin à la récolte en septembre, octobre.

Les cultures sont le mil, le sorgho, et le niébé, généralement pratiquées par les hommes et, le gombo, le sésame, l'oseille et l'arachide par les femmes (Van den Briel et al, 1994).

Le mil (*Pennisetum spp.*), principale culture céréalière, est cultivé en monoculture ou en association avec le niébé (*Vigna unguiculata*). L'oseille (*Hibiscus sabdarifa*) est souvent associée au mil et au mil/niébé. Les micro-environnements les plus favorables du champ (zones d'humidité et de teneur en éléments nutritifs favorables) sont parfois semés de sorgho (*Sorghum bicolor*), de gombo, d'oseille. Les femmes cultivent des petites parcelles d'arachide (*Arachis hypogaea*) et de sésame, et établissent des potagers non loin de leur cour durant la saison des pluies (Taylor-Powell, 1991). Il semble que peu de jardins de contre-saison existent à cause de la profondeur de la nappe phréatique. Certains jardins de manioc sont dans les zones les plus basses. D'après Ada et Rockström (1993), 95% de l'assolement est consacré à la culture du mil. L'association mil/niébé représente environ 10% de cet assolement. La part de l'assolement réservée au sorgho ne dépasse guère 2%. Le restant est affecté à la culture pure du niébé et aux cultures condimentaires.

Les contraintes majeures à cette agriculture pluviale sont nombreuses : insuffisance ou irrégularité des pluies, baisse de fertilité des sols, oiseaux et autres prédateurs (acridiens,...), érosion éolienne et hydrique, manque de semences... Pourtant, pour les paysans, l'enjeu est grand : il s'agit, au minimum, de récolter en 4 mois suffisamment de mil pour subvenir aux besoins de leur famille tout au long de l'année jusqu'à la récolte suivante.

Face à ces contraintes et ces objectifs, les paysans ont développé traditionnellement des stratégies (cf. 6.3.) destinées à accroître les productions agricoles, à diminuer les risques, ou tout simplement des stratégies de survie en périodes de soudure (Van den Briel, 1994). Ce sont ces stratégies, déterminant un mode d'utilisation de l'espace et des ressources, que nous cherchons à identifier, afin d'en analyser les pertinences et les dysfonctionnements dans le contexte d'un accroissement démographique continu.

6.2. Des méthodes spécifiques pour la spatialisation des pratiques agricoles et l'étude du fonctionnement des systèmes agraires

L'ancienneté d'installation des villages et la proportion de terres facilement cultivables (proportion de terres sableuses en dehors des plateaux cuirassés) dans le terroir villageois ont été retenus comme les critères principaux déterminant l'exploitation des ressources par les villageois, quelque soit l'usage : agricole, pastoral, prélèvement de bois-énergie (cf. 4.2.1.3). Quatre terroirs ont été retenus sur le territoire de Banizoumbou, les plus contrastés possibles, afin de préparer l'extrapolation à la petite région. A l'intérieur des ces quatre terroirs villageois, un double échantillonnage a été effectué, l'un de type "géographique" localisé pour rendre compte de l'organisation spatiale des différentes pratiques agricoles autour d'un village ; l'autre fondé sur la typologie des exploitations agricoles pour l'étude des modes de gestion agricole.

6.2.1. Un échantillonnage géographique

6.2.1.1. Hypothèse forte d'organisation spatiale des pratiques agricoles autour d'un village

L'hypothèse forte posée au départ est que la distance de la parcelle agricole au village est déterminante et, qu'en fonction de cette contrainte d'accessibilité, différents modes d'exploitation s'organisent en auréoles plus ou moins concentriques autour du village.

En effet, d'après Sidikou (1974), l'habitat dans le Zarmaganda est très groupé pour faciliter au départ la défense contre les Tamachek, et les modes d'exploitation du sol forment des zones concentriques autour des villages. *Cette organisation en auréole concentrique autour d'un village est classiquement reconnue chez les Zarma* (Sidikou, 1974), mais ils n'en ont pas l'exclusivité.

Les agriculteurs haoussas par exemple organisent également leur espace en fonction d'une distance et d'un point focal (le village). Trois auréoles sont distinguées : la première constituée de champs cultivés en permanence ("gona guida") autour du village, généralement sur les terres les plus fertiles, la seconde intermédiaire, appelé "maïssou" et la troisième appelée "komonina", la plus éloignée. Plus on est loin du village, plus le système de culture est extensif.

Chez les Zarma, le système traditionnel des cultures, décrit par Sidikou (1974), découpe l'espace autour du village en cercles concentriques chaque cercle correspondant à un type de gestion agricole. Le premier cercle ou "*kali*" est constitué de jardins intensément fumés où se pratiquent les cultures délicates comme le gombo, et où sont conservés des arbres spécialement intéressants pour leur valeur alimentaire (*Tamarindus indica*) ou fourragère (*Faidherbia albida*). Ce premier cercle correspond aux jardins de case et ne dépasse pas les limites du village. Le second cercle ou "*koiratié*" est formé de champs cultivés en permanence ou durant 6 ou 7 ans, mêlés à des jachères courtes (2 à 3 ans). Il entoure le village dans un rayon de 1,5 à 2 km et il est généralement le premier à

être sarclé. Beaucoup d'arbres utiles sont conservés dans ce second cercle, comme l'*Acacia nilotica* et le *Balanites aegyptica* pour les feuilles et les fruits qui sont appréciés du bétail, le *Faidherbia albida* pour son pouvoir fertilisant et pour les bonnes et grosses gousses qui sont disponibles pour le bétail vers le milieu de saison sèche, mais souvent stockées jusqu'en fin de saison sèche pour la période de soudure fourragère, le *Sclerocarya Birrea* qui sert à faire des manches d'outils et toutes sortes d'objets usuels. Au delà, se trouve le cercle plus mal dessiné, le cercle des "zighi" ou champs éloignés, qui étaient dangereux du temps de l'insécurité, et qui, maintenant, sont seulement difficiles à surveiller, ce qui explique qu'on y place souvent une hutte sommaire pour servir d'abri à un membre de la famille qui servira de gardien pendant la saison des cultures. Les "zighi" sont déplacés au bout de quelques années, et tendent à devenir de plus en plus nombreux depuis une quarantaine d'années que la paix règne entre tribus. Au-delà encore, se trouvait la "forêt", qui fournissait en cas de disette de nombreux fruits, des feuilles et des graines comestibles.

Mais cette gestion équilibrée et stratégique des paysans zarmas, qui leur permettait apparemment de survivre aux sécheresses (1911-1915) et aux destructions de récoltes par sauterelles (1913-1914, 1926-1927, 1929-1931, 1944-1955, 1969-1973), est en mutation avec l'augmentation incessante de la pression humaine. Parallèlement, le cheptel a considérablement augmenté, dans une mesure telle que ses besoins en affouragement entraînent des déplacements plus longs, une perte de fumure, un indispensable gardiennage soit par des bergers villageois, soit par des Peul avec, dans les deux cas, une perte pour le propriétaire d'une quantité de lait appréciable... et de quelque animal de temps en temps. On assiste à un changement sensible dans les systèmes de culture. Les "fils de femme", c'est à dire les descendants des fils de femmes mariées à des étrangers (ce qui est de plus en plus fréquent), n'ayant pas le droit de s'installer dans le finage du village, vont s'établir au delà des "zighi", et la "forêt" disparaît, qui constituait la sécurité alimentaire en période de disette (Baumer, 1987). Nous verrons en effet dans le paragraphe 6.3 que, sur la zone d'étude, les "forêts" disparaissent et la durée des jachères diminue, mais que le processus historique de changement des systèmes de culture ne peut être réduit à une simple diminution des temps de jachère.

Dans un tel système de culture extensif, les productions en mil sont étroitement liées à la qualité des terres, au régime pluviométrique, et aux différents modes de gestion plus ou moins extensifs pratiqués par le paysan en fonction, principalement, d'une distance au village. Ada et Rockström (1993) distinguent, pour le mil dans le Zarmaganda, des rendements en mil différenciés selon trois auréoles concentriques autour du village :

- première auréole : 300-400 kg/ha
- deuxième auréole : 100-200 kg/ha
- troisième auréole : 70-150 kg/ha

Cette organisation en auréole est ainsi conceptuellement admise par tous. Notre objectif est de spatialiser et localiser ces auréoles. Il s'agit de passer du conceptuel au spatial, de trouver, à l'aide de la modélisation et du Système d'Information sur

l'Environnement, une manière automatique de contourner ces zones, afin de pouvoir en pronostiquer l'évolution et les seuils de rupture...

6.2.1.2. Echantillonnage et recueil de données

Pour rendre compte de cette organisation spatiale, un premier échantillonnage de type géographique a donc été effectué.

Il consiste, le long de transects radiaux aux villages, à informer chaque parcelle traversée sur son historique d'occupation des sols (cultures, jachères, brousse), l'identification de son cultivateur et/ou propriétaire, et ce, depuis mémoire d'homme (environ deux générations, soit 40 à 50 années) selon le formulaire présenté en annexe 7. Ces transects ont été effectués pendant la saison de culture 1994. Les parcelles alors identifiées sont des parcelles agricoles (identiques ou différentes des parcelles foncières) dans le sens où le passage d'une parcelle à une autre est déterminé par le passage d'un cultivateur à un autre (même si le "propriétaire est le même) et/ou le passage d'un type d'occupation du sol majeur (cultures, jachères, végétation naturelle) à un autre, l'année de l'enquête. Etant donnée l'instabilité des limites des parcelles agricoles d'une année à l'autre (cf. 5.2.1.), leur historique d'occupation des terres pose parfois quelques problèmes. Le type d'occupation retenu, pour chaque année antérieure à 1994, est le type d'occupation qui occupe la plus grande surface de la parcelle agricole définie en 1994.

Rappelons ici qu'un des principaux attributs des Unités Spatiales de Référence (U.S.R) que nous cherchons à déterminer est son pourcentage en cultures, jachères d'âge différent et végétation naturelle, ce qui nous permet de nous affranchir de l'impossible localisation de chacune des parcelles agricoles du terroir.

L'enquête est menée auprès du chef de village et de quelques anciens, en parcourant ensemble le transect. A chaque entrée dans une nouvelle parcelle, les coordonnées géographiques sont notées grâce au GPS, ainsi que la nouvelle direction à suivre. De plus, un schéma cartographique est effectué manuellement en notant tous les éléments remarquables du paysage (piste, bordures de plateaux, haies, ravines,...) pouvant aider au repérage géographique ainsi qu'un plan de localisation reporté sur photos aériennes. Chaque transect commence à la sortie du village (les jardins de cases ne sont donc pas pris en compte dans l'échantillonnage) et se termine en bordure d'un plateau cuirassé ou aux limites réelles du finage. Ainsi, les parcelles échantillonnées concernent uniquement l'espace "facilement cultivable", c'est à dire l'espace hors plateaux cuirassés. 25 transects ont été parcourus (Figure 31), 273 parcelles informées.

Les transects et parcelles ont ensuite été reportés sur images satellitales SPOT de la même année (1994). Une image de fin de saison des pluies (début octobre) a été utilisée car cette date est favorable à la distinction entre cultures (en principe récoltées) et les jachères au pic de production.

6.2.2. Un échantillonnage basé sur la typologie des exploitations

Les mécanismes de co-adaptation à la nature et à la variabilité des ressources, pour satisfaire les besoins de la population sur l'environnement, passent par une organisation en systèmes de production, caractérisés par leurs propres gestions technologiques qui définissent des pratiques propres ou identiques. Toutes les données concernant les critères de changement d'affectation parcellaire, l'intensité des intrants, la main d'oeuvre disponible, l'accès foncier, entrent dans la définition du fonctionnement du système agricole. La gestion de ces différents facteurs de production agricole est spécifique des différents types d'exploitations agricoles de la zone. L'organisation spatiale des pratiques agricoles qui en découlent résulte non seulement de cette gestion au niveau des exploitations, mais aussi d'une logique spatiale globale d'exploitation des terres du village sur son terroir villageois appréhendée par le premier type d'échantillonnage.

6.2.2.1. Echantillonnage

Un second type d'échantillonnage a ainsi été réalisé, fondé sur une typologie des exploitations, avec leur système de production associé (cf. 4.3.2).

Dans chacun des huit villages, un échantillonnage stratifié a été effectué. A partir des 261 exploitations retenues pour la typologie des exploitations (sur les 273 recensées) sur l'ensemble des villages, une petite quarantaine, soit une taille d'échantillon d'environ 15%, a été retenue. La répartition par type d'exploitation et par terroir villageois avait été prévue comme indiqué dans le tableau 4 .

Cependant, pour diverses raisons, liées généralement au chef d'exploitation (absence, problèmes de santé, occupé aux travaux des champs,...), les exploitations réellement informées sont distribuées un peu différemment selon le tableau 5. En fait, la taux d'échantillonnage réel global est de 12%, au lieu des 15% escompté au départ. Les exploitations un peu sous représentées sont celles de type 5, présentes presque qu'exclusivement sur les terroirs de Banizoumbou et de Tigo Tégui.

Les 32 exploitations sélectionnées représentent 87 parcelles agricoles, toutes localisées et informées (figure 31).

Tableau 4 : Echantillonnage prévu des exploitations

	Terroirs	Banizoumbou	Tiguo Tégui	Darey	Tondikiboro	Tous
	Villages	Banizoumbou	Tiguo Tégui, Bagoua	Karbanga, Darey	Tondikiboro, Bani Koubay, Sama Dey	Tous
Exploitation type 1	Total	19	10	10	13	52
	Sélection prévue	3	2	2	2	8
	Taille de l'échantillon	15	15	15	15	15
Exploitation type 2	Total	20	42	13	23	98
	Sélection prévue	3	6	2	3	15
	Taille de l'échantillon (%)	15	15	15	15	15
Exploitation type 3	Total	18	12	2	3	35
	Sélection prévue	3	2	0	0	5
	Taille de l'échantillon (%)	15	15	15	15	15
Exploitation type 4	Total	15	14	16	8	53
	Sélection prévue	2	2	2	1	8
	Taille de l'échantillon (%)	15	15	15	15	15
Exploitation type 5	Total	5	2	10	6	23
	Sélection prévue	1	0	2	1	3
	Taille de l'échantillon (%)	15	15	15	15	15
Tous types	Total	77	80	51	53	261
	Sélection prévue	12	12	8	8	39
	Taille de l'échantillon (%)	15	15	15	15	15

Tableau 5 : Echantillonnage effectué des exploitations

	Terroirs	Banizoumbou	Tiguo Tégui	Darey	Tondikiboro	Tous
	Villages	Banizoumbou	Tiguo Tégui + Bagoua	Karbanga + Darey	Tondikiboro + Bani Koubay + Sama Dey	Tous
Exploitation type 1	Total	19	10	10	13	52
	sélection effective	3	2	1	3	9
	Taille de l'échantillon (%)	15	20	10	23	17
Exploitation type 2	Total	20	42	13	23	98
	sélection effective	1	5	1	3	10
	Taille de l'échantillon (%)	5	12	8	13	10
Exploitation type 3	Total	18	12	2	3	35
	sélection effective	1	1	0	0	2
	Taille de l'échantillon (%)	6	8	15	15	6
Exploitation type 4	Total	15	14	16	8	53
	sélection effective	1	3	1	2	7
	Taille de l'échantillon (%)	7	21	6	25	13
Exploitation type 5	Total	5	2	10	6	23
	sélection effective	1	0	1	2	4
	Taille de l'échantillon (%)	15	15	10	33	18
Tous types	Total	77	80	51	53	261
	sélection effective	7	11	4	10	32
	Taille de l'échantillon (%)	9	14	8	20	12

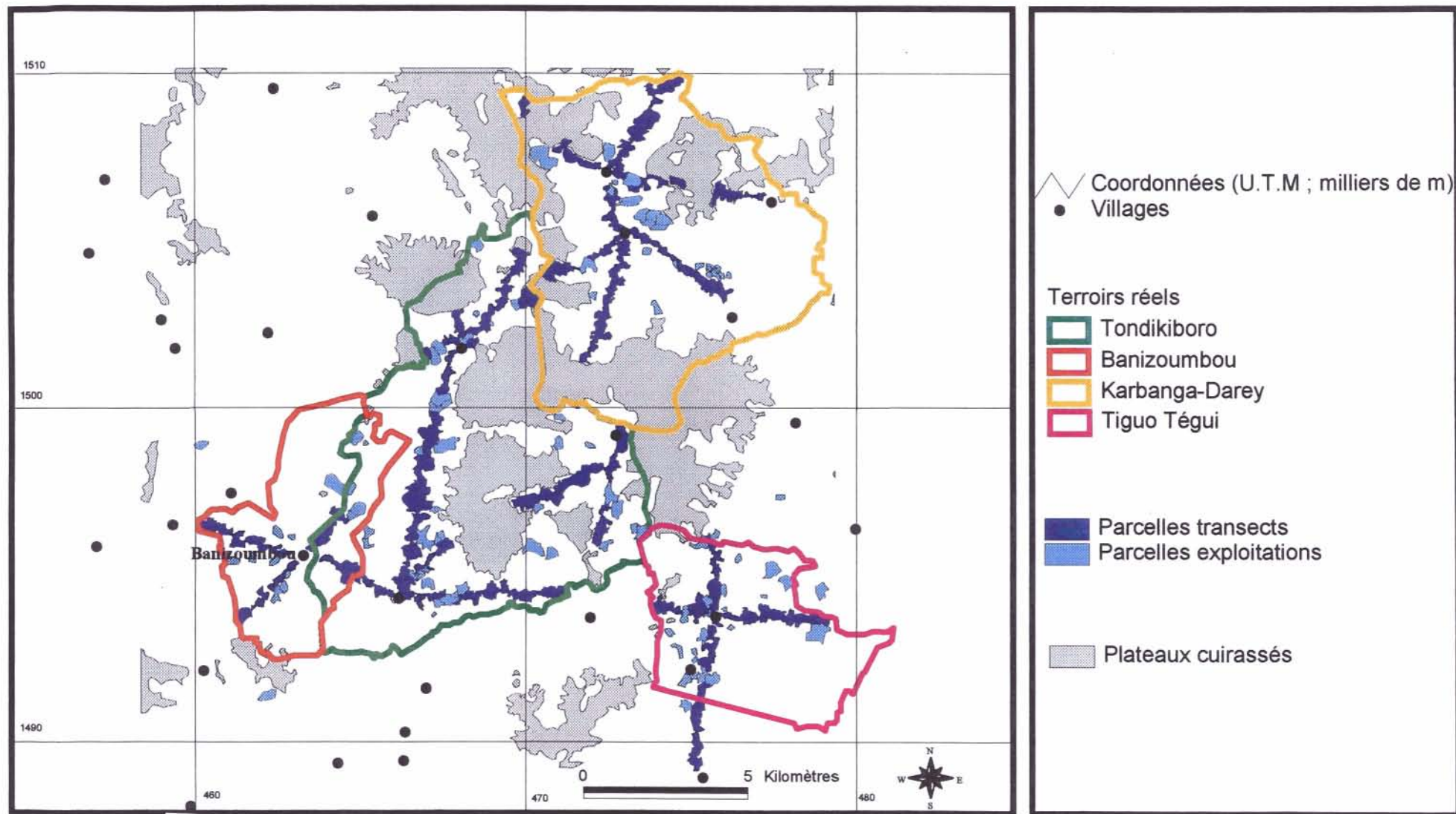


Figure 31 : Répartition spatiale des parcelles informées sur transects et par type d'exploitation (Banizoumbou, Niger)

6.2.2.2. Recueil de données

Toutes les parcelles des exploitations sélectionnées, réparties sur l'ensemble des terroirs, ont été informées, à partir d'une enquête auprès de leur cultivateur et/ou "propriétaire". Ces parcelles sont, comme pour les parcelles "transects", des parcelles agricoles pour l'année 1994, qui peuvent ou non correspondre aux parcelles foncières.

Les enquêtes portent non seulement sur l'historique d'occupation des terres des parcelles, pour faire le lien avec le premier type d'échantillonnage, mais aussi sur leur accès foncier et les techniques agricoles employées, selon le formulaire présenté en annexe 8. Les questions principales posées concernent les points suivants :

- 1) Au niveau de l'exploitation : les critères de changement d'affectation parcellaire
- 2) Au niveau de chaque parcelle :
 - type d'accès foncier,
 - historique d'occupation des sols,
 - itinéraire technique : variétés cultivées, semis, sarclage, apport de fumier, coupes, utilisation du feu, calendrier et utilisation de main d'oeuvre extérieure,...
 - terminologie pédo-rurale,
 - prélèvements de bois,
 - pâturage ,
 - nombre de bottes de mil récoltées.

Chaque contour de parcelles a été parcouru à pied en prenant, à chaque changement de direction, les coordonnées géographiques au GPS. Un dessin cartographique manuel et un plan de localisation reporté sur photo aérienne ont également été réalisés, afin de faciliter le report sur les images satellitales.

6.3. Les facteurs de production pour une agriculture pluviale extensive

6.3.1. La terre

La terre est le premier facteur de production. Les exploitants agricoles disposent de terre selon différentes règles d'accessibilité foncière (cf. 6.3.1.1). L'ensemble de leur terre (ou parcelles) compose la capital foncier de leur exploitation agricole (6.3.1.2). Enfin, ces parcelles ont différentes qualités pour la mise en culture (6.3.1.3).

6.3.1.1. L'accès foncier

Rappelons ici que, selon le paragraphe 4.2.3.2., toutes les terres (exceptés quelques morceaux de plateaux cuirassés) de la zone d'étude sont rattachées à un terroir villageois ; elles sont travaillées et appropriées selon un mode coutumier. Les modes coutumiers d'accès à la terre pour un exploitant agricole sont l'héritage (43%), l'emprunt (25%), l'héritage + l'emprunt (30%) et enfin le don + emprunt (3%).

Sur les 32 exploitations sélectionnées, la répartition de ces différents modes d'accès foncier varie selon le type des exploitations.

Rappelons ici les 5 grands types d'exploitations agricoles et/ou pastorales décrites dans le paragraphe 4.3.2. :

- Type 1 : Les plus grosses exploitations à vocation agricole et pastorale gérées par des grandes familles zarmas "propriétaires" des terres.
- Type 2 : Les exploitations agricoles de taille moyenne gérées par des Zarma "propriétaires" des terres.
- Type 3 : Les petites exploitations agricoles gérées par des Zarma avec un accès foncier à la terre variable.
- Type 4 : Les très petites exploitations agricoles gérées par des "étrangers", zarmas ou autres, sans droit de "propriété" foncière.
- Type 5 : Les petites exploitations à vocation pastorale et agricole gérées par des Peul ou des Bella sédentarisés, sans droit de "propriété" foncière.

Au vue du tableau 6, les exploitations qui n'ont que des terres par héritage sont des exploitations gérées exclusivement par des Zarma (type 1, 2 et 3). Parmi ces 3 types d'exploitations, celles qui ont le plus de terres à la fois par héritage et par emprunt sont les très grosses exploitations (type 1) et les petites (type 3) : les premières pour des raisons de besoins récents d'agrandissement du capital foncier, les seconds pour des raisons de manque de terres familiales dont ils auraient pu hériter.

Tableau 6 : Proportion des modes d'accès foncier par type d'exploitation

Type d'exploitations	Parcelles exclusivement hérités (%)	Parcelles exclusivement empruntées (%)	Parcelles héritées et empruntées (%)	Parcelles empruntées et données (%)
1	50	0	50	0
2	70	0	30	0
3	50	0	50	0
4	0	75	0	25
5	0	100	0	0

Les très petites exploitations agricoles de type 4 n'ont pas de terres héritées. Elles ont majoritairement des terres exclusivement empruntées (75%) et minoritairement des terres à la fois données et empruntées (25%).

Enfin, les exploitations des pasteurs-agriculteurs Peul ou Bella n'ont que des terres exclusivement empruntées.

6.3.1.2. Taille des exploitations et des parcelles agricoles

Tous types d'exploitation confondus

D'après le Ministère de l'agriculture du Niger (1990), la taille moyenne d'une exploitation au Niger est 4,9 ha, les plus grandes n'excédant pas 10 ha. Sur le site de Banizoumbou, la taille des exploitations se situe autour des limites supérieures.

En effet, elle est de 10 ha en moyenne, tous types d'exploitations confondus, 57% des exploitations étant inférieures à 10 ha, dont 23% inférieures à 4 ha (tableau 7).

La taille moyenne d'une parcelle agricole varie entre 2 et 3 ha dans l'arrondissement de Kollo et elle est d'environ 3 ha (tableau 7) sur le site de Banizoumbou. En fait, 73% des parcelles sont inférieures à 4 ha. La moyenne est "tirée vers le haut" en raison de quelques parcelles très grandes (> 10 ha).

Tableau 7 : Taille des parcelles agricoles et des exploitations agricoles sur le site de Banizoumbou

Classes de taille (ha)	Parcelles		Exploitations	
	NB	%	NB	%
< 1 ha	16	16,16	1	3,33
[1-4[ha	56	56,57	6	20,00
[4-7[ha	22	22,22	3	10,00
[7-10[ha	3	3,03	7	23,33
>= 10 ha	2	2,02	13	43,33
Total	99	100,00	30	100,00

Moyenne (ha)	3,03
Ecart-type (ha)	2,28

10
6,46

Analyse par type d'exploitation

Selon, non plus une analyse globale (toutes exploitations confondues), mais une analyse en fonction de la typologie des exploitations, la répartition des parcelles agricoles, selon ces 5 classes de taille, est variable.

Au vue du tableau 8, les parcelles supérieures à 10 ha concernent uniquement les grosses exploitations agro-pastorales gérées par des Zarma (type 1).

Parmi les exploitations à vocation exclusivement agricole (type 2, 3 et 4), plus la taille de l'exploitation est petite et plus la proportion des petites parcelles (< 4 ha) est importante : 72 % pour les exploitations de type 2, 78 % pour celles de type 3 et 92 % pour celles de type 4. Ces petites parcelles appartiennent principalement à la classe [1-4[ha. Les exploitations de pasteurs-agriculteurs (type 5) ont, par rapport aux autres exploitations, la plus grande proportion de parcelles inférieures à 1 ha.

Tableau 8 : Répartition des 5 classes de taille des parcelles agricoles selon le type d'exploitation

Classes de taille des parcelles (ha)		Exploitations type 1 (%)	Exploitations type 2 (%)	Exploitations type 3 (%)	Exploitations type 4 (%)	Exploitations type 5 (%)
		< 1	21 (33)	10 (23)	22 (38)	13 (21)	33 (58)
[1-4[	41 (20)	62 (30)	56 (51)	79 (25)	33 (29)
[4-7[	32 (22)	24 (24)	22 (19)	-	17 (29)
[7-10[	-	4 (10)	-	8 (20)	17 (29)
> ou = 10	6 (13)	-	-	-	-	
Taille moyenne des parcelles (ha)		3,6 (2,6)	2,8 (1,9)	2,5 (1,4)	2,4 (2,2)	3,1 (2,8)
Taille moyenne des exploitations (ha)		14 (6)	10 (4)	7 (3)	3 (2)	6 (4)

6.3.1.3. La qualité des terres

La qualité des terres, avec l'accès foncier, sont les deux facteurs de production principaux. En fonction de la qualité des terres, les techniques agricoles (cf. 6.4) et les pratiques culturales (cf. 6.5.) vont varier. Les niveaux de production ne vont pas être les mêmes selon qu'une terre est de bonne ou de mauvaise qualité.

Une carte de qualité des terres pour la mise en culture en fonction des techniques agricoles traditionnelles a été réalisée sur l'ensemble de la zone d'étude. Sa construction et le résultat obtenu sont présentés dans le paragraphe 7.3. La qualité des terres est une information localisée dans l'espace, qui servira de base pour la spatialisation du modèle de fonctionnement agricole, exposée dans le chapitre 7.

6.3.2. La force de travail

En milieu rural, l'enfant commence en général à prendre part aux activités de production dès l'âge de six ans. En dehors de leur participation aux travaux des champs, les enfants ont souvent à charge toutes les activités de cueillette du bois et des différentes herbes sauvages pour l'élaboration des sauces. Les femmes participent aux travaux des champs, essentiellement pour les semis, la récolte, le battage et vannage du mil et du niébé. Elles ont souvent leur propre petit champ sur lequel elles cultivent de l'arachide, du sésame, ... En dehors de ces travaux agricoles, elles assument tous les travaux ménagers. En fonction de leurs diverses activités, les femmes sont occupées à plein temps tout au long de l'année. Les hommes, quant à eux, ne sont occupés à plein temps qu'un maximum de six mois (de mai à octobre), le temps de la campagne agricole. En saison sèche, ils s'occupent de la préparation de leur champ et peuvent participer, au village, à la construction des maisons et des greniers. Certains partent en exode durant cette même période.

La force de travail disponible au niveau des exploitations agricoles est avant tout de la main d'oeuvre familiale. En moyenne, à l'échelle du Niger, 3,8 paysans par exploitation cultivent 1,3 ha chacun (Ministère de l'agriculture, 1990). Sur la zone d'étude, le nombre de personnes par exploitation est en moyenne 9,6, dont 7,7 actifs du point de vue de l'activité agricole (Tableau 9). Si ces chiffres sont rapportés à la superficie des terres agricoles, ces 7,7 paysans par exploitation cultivent 1,4 ha chacun (Tableau 9), ce qui correspond à la moyenne du pays.

Tableau 9 : Main d'oeuvre agricole et superficie cultivée par exploitation dans la zone d'étude

	Moyenne	Ecart-type
Nombre d'habitants / exploitation	9,6	4,1
Nombre d'habitants actifs (6-60 ans) / exploitation	7,7	3,3
Main d'oeuvre agricole / exploitation (en pourcentage)	77,7	12,5
Superficie des terres agricoles (ha) / habitant	1,1	0,7
Superficie des terres agricoles (ha) / habitant actif	1,4	1,0

Certains hommes dans une exploitation agricole peuvent partir en exode pendant la saison sèche (exode saisonnier) ou en exode pérenne, c'est à dire plusieurs années (exode de longue durée). Les migrations saisonnières sont possibles en raison du sous-emploi en saison sèche de la population active masculine. Les migrants saisonniers sont pris en compte dans la main d'oeuvre agricole active alors que ceux de longue durée ne le sont pas. Au vu du tableau 10, sur les quatre terroirs échantillonnés représentatifs de la zone d'étude, les migrations saisonnières sont beaucoup plus importantes (13 % de la population active) que les migrations de longue durée (2 % de la population active).

Tableau 10 : Pourcentage global des migrants (saisonnier et de longue durée) par rapport à la population active sur les quatre terroirs échantillonnés

	Moyenne	Ecart-type
Exodants de longue durée / population active (en pourcentage)	2,0	6,1
Exodants saisonniers / population active (en pourcentage)	13,4	16,4

D'après la typologie des exploitations (cf. 4.3.2), ces migrations touchent essentiellement les exploitations agricoles moyennes gérées exclusivement par des Zarma (type 2 ; 14 % de la population active). Dans les grosses exploitations agropastorales (type 1) et les petites exploitations agricoles (type 3) gérées par des Zarma, seulement 10 % de la population active est concernée. Les très petites exploitations agricoles gérées par des étrangers (type 4) et les exploitations de pasteurs-agriculteurs (type 5) sont peu touchées par le phénomène d'exode (respectivement 5 % et 4 %).

Les "migrants" vont généralement dans les grands centres urbains au Niger même (Niamey) ou dans les pays côtiers, tel que la Côte d'Ivoire et le Bénin. A partir d'une enquête, effectuée seulement auprès des habitants du village de Banizoumbou, leurs activités sont principalement commerciales (vente de tissus le plus souvent) et leur destination privilégiée est la Côte d'Ivoire (Tableau 11). Presque toutes les activités décrites dans le tableau 11 peuvent être saisonnières ou de longue durée. Seules les activités d'ordre médical ou en relation avec les forces de l'ordre (police, militaire) sont, de par leur nature même, permanentes.

La raison de ces migrations est la recherche de revenus extérieurs pour améliorer l'économie de l'exploitation. En effet, une partie des revenus perçus par les migrants est ramenée ou envoyée chaque année à la famille dans le village d'origine. Au village de Banizoumbou, 190 000 FCFA en moyenne sont ramenés annuellement au sein de l'exploitation agricole (tous types confondus), ce qui représente environ 25 000 FCFA/UTH. Cet apport financier n'est pas négligeable quand on le compare avec la fourchette des revenus agricoles annuels (issus uniquement des récoltes) proposée par Ada et Rockström (1993) pour le Zarmaganda : soit de 20000 à 65000 FCFA/UTH.

Les surplus financiers d'une exploitation agricole proviennent essentiellement de la vente du surplus de mil et/ou de l'exode. Ces surplus peuvent servir à la rémunération des contrats de fumure avec les éleveurs et/ou à la rémunération d'une main d'oeuvre agricole autre que familiale (main d'oeuvre extérieure).

Tableau 11 : Types d'activité et destinations des migrants pour les les habitants du village de Banizoumbou

Types d'activité	Niger (Niamey)	Côte d'Ivoire	Bénin	Ghana	Togo	Cameroon	Nigeria	Mali	Total par activité
Commerçants (s+p)	3 (4,5 ; 20)	56 (80 ; 100)	4 (5,5 ; 100)	2 (2,5 ; 100)	2 (2,5 ; 100)	1 (1,5 ; 100)	1 (1,5 ; 100)	1 (1,5 ; 100)	70 (100 ; 87)
Artisans (s+p)	3 (100 ; 20)	-	-	-	-	-	-	-	3 (100 ; 3)
Forces de l'ordre (p)	4 (100 ; 26)	-	-	-	-	-	-	-	4 (100 ; 5)
Enseignants (s+p)	1 (100 ; 7)	-	-	-	-	-	-	-	1 (100 ; 1)
Corps médical (p)	1 (100 ; 7)	-	-	-	-	-	-	-	1 (100 ; 1)
Marabout (s+p)	1 (100 ; 7)	-	-	-	-	-	-	-	1 (100 ; 1)
Chauffeur (s+p)	2 (100 ; 13)	-	-	-	-	-	-	-	2 (100 ; 2)
Total par pays	15 (18 ; 100)	56 (70 ; 100)	4 (5 ; 100)	2 (2 ; 100)	2 (2 ; 100)	1 (1 ; 100)	1 (1 ; 100)	1 (1 ; 100)	82 (100 ; 100)

s = saisonnier (main d'oeuvre disponible pour les travaux des champs) ; p = permanent (main d'oeuvre indisponible) ; les chiffres entre parenthèses correspondent aux pourcentages (par type d'activité ; par pays).

En effet, lorsque la main d'oeuvre agricole familiale ne suffit pas, notamment lors des gros travaux des champs (sarclage essentiellement), le recours à la main d'oeuvre extérieure est traditionnellement pratiqué, soit sous forme de "youbi" (entraide communautaire), soit sous forme de main d'oeuvre agricole salariée (rémunération en FCFA : 750 FCFA/homme/jour, ou l'équivalent en bottes de mil). Cette dernière est issue généralement d'autres exploitations agricoles voisines qui ont peu de terres ou qui n'ont pas tout à fait le même calendrier agricole (étant donné la variabilité spatiale des pluies) et qui recherchent, par tous les moyens, à augmenter leurs revenus. Elle provient ainsi essentiellement des petites et très petites exploitations agricoles (type 3 et 4).

6.3.3. Le matériel agricole

Le matériel agricole sur notre zone d'étude est uniquement constitué d'outils traditionnels manuels tels que l'iler (fer en V au bout d'un long manche, pour un grattage superficiel du sol lors du sarclage), la daba (houe pour le semis en poquets ; pour un petit labour effectuée par les femmes dans leurs champs), le coupe-coupe, la hache et la faucille (pour la préparation des champs). La culture attelée n'est pas pratiquée sur la zone d'étude.

6.4. Un itinéraire technique et des stratégies associées pour augmenter l'espérance de récolte d'une année donnée

Dans le Zarmaganda, les agriculteurs suivent traditionnellement un itinéraire technique annuel assez précis que l'on peut schématiser selon la figure 32.

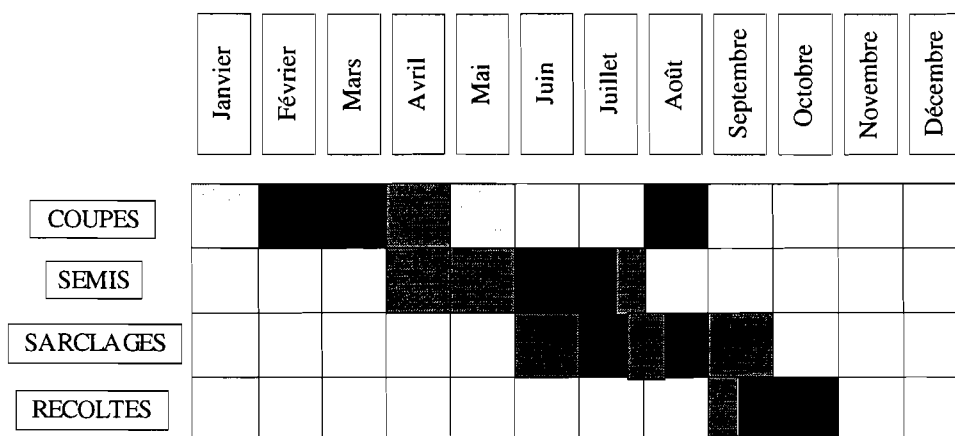


Figure 32 : Itinéraire technique agricole des Zarma

6.4.1. La préparation des champs

La préparation du champ dans notre zone d'étude consiste à défricher ; il n'y a pas de labour. Il s'agit essentiellement de couper les arbustes ou tiges de mil. Cette activité se déroule de manière assez indifférenciée pendant la saison sèche selon la disponibilité de main d'oeuvre.

Quand la parcelle n'a pas été cultivée pendant plusieurs années, le paysan a l'habitude de tout couper et de brûler, le tapis herbacé étant assez dense pour permettre au feu de se propager. Le feu dans ce cas contribue à éliminer une végétation dense en restituant les cendres, à détruire les parasites dans le sol, ...

S'il ne s'agit que d'une remise en culture d'une année sur l'autre, les tiges des arbustes et de mil coupées peuvent avoir différentes utilisations suivant les besoins du paysan. En général, elles sont rassemblées et brûlées (feu sélectif) à côté ou sur les souches. Les raisons de cette pratique, formulées par les paysans eux-mêmes, sont multiples : élimination des arbustes, enrichissement du sol par les cendres, repousse moins rapide des herbacées. Une autre pratique consiste à laisser les tiges des arbustes en bordure du champ pour que les femmes et les enfants puissent les ramasser. Enfin, ces tiges peuvent également être laissées au sol pour retenir le sable ou récupérer des zones érodées du champ.

Selon la dynamique des ligneux, une deuxième coupe peut être effectuée au cours de la saison des pluies, après le premier sarclage, juste avant le deuxième sarclage ou pendant le deuxième sarclage suivant la main d'oeuvre disponible et le nombre de parcelles de l'exploitant. Lors de cette deuxième coupe, les tiges d'arbustes, alors toutes de petites tailles, sont laissées au sol.

6.4.2. Les semis

Certains semis sont effectués à sec, avant la tombée des premières pluies, dès l'apparition des grands nuages. Un semis précoce se trouve à priori affecté d'une espérance de rendement élevé, mais en contrepartie d'une forte incertitude quant à la réussite d'implantation du peuplement végétal. Plus fréquemment, les semis s'effectuent dès la première pluie significative. Dans les sols sableux très filtrant à faible capacité de rétention, le temps disponible pour le semis après une pluie d'une vingtaine de millimètres est réduit, d'autant qu'en tout début d'hivernage le pouvoir évaporant de l'air reste très intense. L'agriculteur ne dispose que de 1 ou 2 jours pour effectuer cette opération. Afin de profiter au mieux des premières pluies, la cellule familiale mobilise, pour cette activité, toute la force de travail disponible sur l'ensemble de ses terres.

Etant donné la variabilité spatiale et temporelle des pluies, surtout en début de saison, il n'est pas rare que les semis ne lèvent pas du premier coup et que le paysan soit obligé de semer à nouveau. Certaines années, un champ peut être semé jusqu'à huit fois si le paysan possède assez de semences, comme nous avons pu l'observer sur notre zone d'étude en 1992.

La technique du semis doit être ainsi d'exécution rapide et de coût limité, de manière à minimiser les conséquences d'un échec d'autant plus probable que le semis est précoce. L'homme muni d'une daba à manche longue (houe dotée d'une lame perpendiculaire) creuse les poquets tous les pas ou les deux pas (selon l'écartement souhaité) dans lesquels les femmes et les enfants sèment les graines. Quatre personnes peuvent semer une parcelle de 2,5 ha (taille moyenne d'une parcelle de mil) en une journée. D'après Pétrie van Gent (1993), le nombre de poquets par ha est de 7500 pour les semis traditionnels. Rapporté au kg de grains de mil par hectare, nous retenons l'estimation de 5kg/ha, proposée par Ada et Rockström (1993).

En cas de cultures associées (le niébé par exemple), les seconds semis s'effectuent entre les poquets des premiers semis, en particulier dans les zones d'échec des semis de mil.

Face aux risques de semis avortés, le paysan fait généralement des semis peu denses pour ne pas risquer de perdre trop de semences si les premières pluies sont tardives : si ces semis germent, il les complète ; s'ils ne germent pas, il en fait d'autres. L'ensemencement se fait sur plusieurs champs, à des intervalles d'une ou plusieurs semaines, pour étaler les chances de reprises (Baumer, 1987). Les semis peuvent s'étaler ainsi sur plusieurs mois, principalement centrés sur le mois de juin.

6.4.3. Les espèces cultivées

Diverses variétés de mil sont cultivées et le choix de l'espèce fait partie intégrante des stratégies des agriculteurs face aux conditions difficiles et aléatoires de leur milieu physique.

L'un des principaux critères de choix de l'espèce est la durée de son cycle et sa productivité selon la qualité des terres pour la mise en culture. En effet, certaines

variétés de mil, comme le "*n'bounga*", ont un cycle court (60 à 70 jours) et peuvent être ainsi semées et récoltées soit très tôt pour apporter un aliment en période de soudure soit, au contraire, très tard dans des champs qui ont pu être défrichés au cours de la période des pluies pour tirer partie des pluies tardives. Les espèces à cycle moyen (90 à 100 jours) sont principalement le "*hainikiré*", bien adaptées aux sols sableux très fins ou le "*darankolé*" pour les sols sableux plus grossiers. La seule variété tardive (cycle de 120 jours) utilisée est le "*somno*". Il supporte bien la sécheresse après la saison des pluies, et peut être sarclé tardivement. Il est généralement semé sur des sols plus durs, les premières années après une longue jachère ou sur les micro-reliefs érodés d'un grand champ.

Le choix de l'espèce cultivée peut être aussi simplement lié à la disponibilité des semences. Les graines sont généralement récupérées sur les plus beaux épis de la récolte précédente. En cas de rupture de stock, elles peuvent être prêtées ou données par un autre cultivateur. Ce choix peut encore être du à un souci d'harmonisation du cultivateur avec ses voisins. Ainsi, en cas de rupture de stock, il peut facilement se faire prêter des graines sans changer de culture.

Outre le mil semé, deux autres types de mil sont importants dans le système de production. Le "*diaraou*" (mil sauvage) est en concurrence avec le mil semé mais mûrit le premier, d'où son importance alimentaire en période de soudure. Son résidu sert à la construction et à la pâture. Le "*sunne*" est un épi de mil non développé produit par les variétés locales. Il est récolté souvent par les femmes, avant la récolte normale et est utile pendant la période de soudure.

Les espèces cultivées sont ainsi, avant tout, des variétés locales. Les variétés de mil amélioré (HKP) et de niébé (TN578) sont rarement utilisées étant donné leur coût élevé et leur accessibilité difficile (vente dans les grandes villes : Kollo, Niamey,...).

Le sorgho est généralement cultivé sur des sols plus lourds, plus argileux, ou en bordure des plateaux.

6.4.4. Les sarclages

Le sarclage est l'opération la plus contraignante des travaux des champs. Deux sarclages sont effectués : le premier 10 à 20 jours après le premier semis ou la première pluie et le second quand le mil atteint environ 1 mètre de haut. Si le paysan a plusieurs parcelles, il va sarcler tous ses champs les uns après les autres une première fois suivant un ordre de priorité et peut commencer le deuxième sarclage sur le premier champ sans qu'il y ait eu d'interruption. Ceci peut prendre plusieurs mois, centré principalement sur les mois de juillet et août.

Le sarclage se fait avec une houe à long manche (*iler*) que le paysan pousse devant lui en position debout. Plus le sol est sableux (léger) et fin et plus l'*iler* est adaptée et efficace. Quand les paysans n'ont pas assez de main d'oeuvre familiale disponible et/ou quand ils en ont les moyens, ils font appel à cette occasion à de la main d'oeuvre extérieure, rémunérée en FCFA (un minimum de 750 FCFA/jour) ou en bottes de mil. Les foyers peuvent participer également au "*youbi*", travail collectif réciproque,

lors du sarclage ou de la récolte. Les femmes préparent à cette occasion à boire et à manger pour tout le monde.

6.4.5. Les récoltes

Quand les épis de mil et de sorgho sont mûrs, ils sont récoltés à l'aide d'une petite faucille munie d'un manche en bois. Les épis ainsi coupés, sont entassés et regroupés en une botte à l'aide d'une liane, ce qui facilite le transport. Le poids moyen d'une botte de mil sur la zone d'étude est de 17 kg (chiffre calculé à partir de la pesée de 55 bottes récoltées à différents endroits de la zone d'étude), ce qui représente en moyenne 440 épis de mil. Si un kg d'épis correspond à 0,6 kg de grains de mil, en moyenne, l'équivalent en grains d'une botte de mil est de 10 kg.

Les rendements sont très variables en fonction du régime pluviométrique, de la qualité des terres et des soins plus ou moins intensifs du cultivateur (qualité des sarclages, intensité des intrants, etc...). D'après les statistiques agricoles du ministère de la Coopération (1986), les rendements moyens en mil pour l'ensemble du Niger sont d'environ 250 kg/ha. Nous verrons dans le chapitre 7, quels chiffres de production nous retiendrons, en fonction de la qualité des terres, du cycle de rotation cultures/jachères et des pratiques culturales en général.

Les résidus de cultures (chaumes) sont un important sous-produits de la production agricole. Sur pied, ils jouent un rôle de capteur d'éléments fins des aérosols (Gavian, 1993). Ils peuvent servir également de matériaux de construction, voire de paillage. Enfin et surtout, ils constituent un aliment fourrager très important pour les animaux.

Une fois les récoltes effectuées, les vivres sont stockés dans des greniers en banco à toit de chaume, de forme ovoïdale, situés dans les concessions ou à la périphérie des habitations. En fonction des besoins de consommation, les épis sont battus et vannés par les femmes. A ce stade, les graines peuvent être mises en sac si elles sont destinées au marché. Le son produit lors de la battue et du vannage des épis de mil est un sous-produit de la récolte, qui peut constituer un apport alimentaire non négligeable pour les animaux en saison sèche chaude et en période de soudure.

6.4.6. Un itinéraire technique tout ou partie accompli : définition de la surface cultivée

Comme nous venons de le voir en décrivant les différentes étapes de l'itinéraire technique de cette agriculture pluviale, l'ensemble des travaux agricoles est manuel. Cet itinéraire technique est appliqué par toutes les exploitations agricoles (cf. 4.3.2). Les pratiques agricoles associées dépendent de l'exploitant.

Dans d'autres zones du Zarmaganda ou dans les régions cultivées par les haoussas, l'utilisation de la charrue attelée peut apparaître, mais, dans tous les cas, de manière encore très marginale. D'après le Ministère de l'agriculture, 98% du travail agricole au Niger, la production du riz irrigué exclu, est en effet manuel.

Chaque année, un paysan a une intention d'affectation en cultures ou en jachères de ses parcelles agricoles. Son intention de mettre en culture peut être contrariée à tout moment au cours de la saison de culture en fonction de facteurs physiques et/ou socio-économiques qui échappent à son contrôle (cf. 5.2.1) :

- **régularité des pluies dans la saison** : le paysan peut avoir à semer plusieurs fois dans l'année sur un même champ s'il a les semences nécessaires ;
- **précocité des pluies** : le paysan peut décider des parcelles les plus aptes à valoriser l'espérance d'une bonne saison des pluies ou les risques d'une mauvaise saison ;
- **capacité économique du paysan** : abandon par manque de semences ;
- **présence de main d'oeuvre** : une famille peut avoir des membres expatriés en ville pour la recherche de revenus extérieurs ;
- **système foncier** : le paysan peut défricher sa jachère sans la mettre en culture, uniquement dans le but de "marquer son territoire".

A chaque étape de l'itinéraire technique, il peut y avoir rupture du cycle et retour de la parcelle à l'état de jachère dérobée (Figure 33).

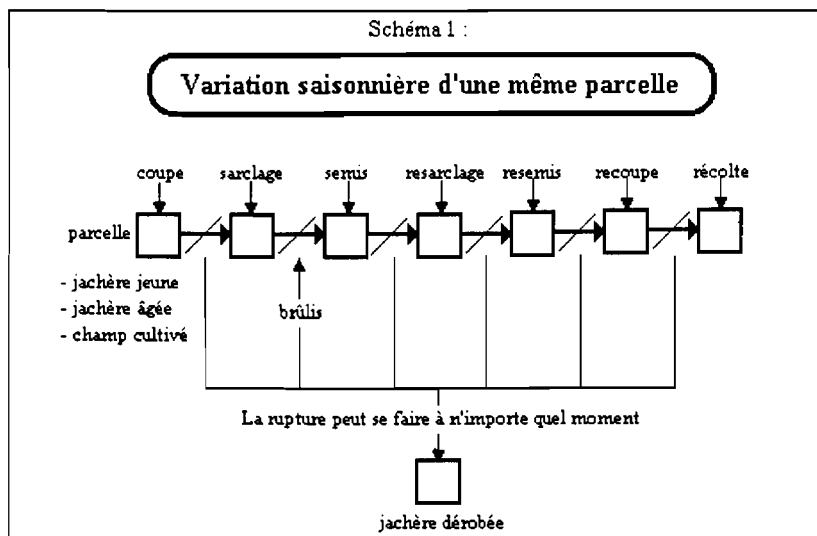


Figure 33 : Variation saisonnière d'une même parcelle (d'après Loireau, 1996)

En fonction de cet itinéraire technique, qui peut être plus ou moins achevé, il est important, dans le cadre de notre étude, de préciser ici la notion de surface cultivée. En effet, lorsqu'on parle de surfaces cultivées, il s'agit généralement de surfaces semées.

D'après le BDPA (Bureau pour le Développement de la production agricole) et le SCET AGRI (Aménagement Inventaire et Gestion des Ressources ; 1989), cette notion de surface cultivée est très justement précisée. Il faut en effet distinguer (Figure 34) la surface cultivable de la surface agricole effectivement utilisée (ou zone sous l'emprise des cultures : jachères + cultures), de la surface semée, la surface sarclée et

enfin la surface récoltée. Estimée sur l'ensemble du Niger, la surface semée serait égale à deux fois la surface récoltée. Les estimations de productions agricoles que nous serons amenées à faire dans le chapitre 7 sont ramenées à la surface semée et non à la surface récoltée.

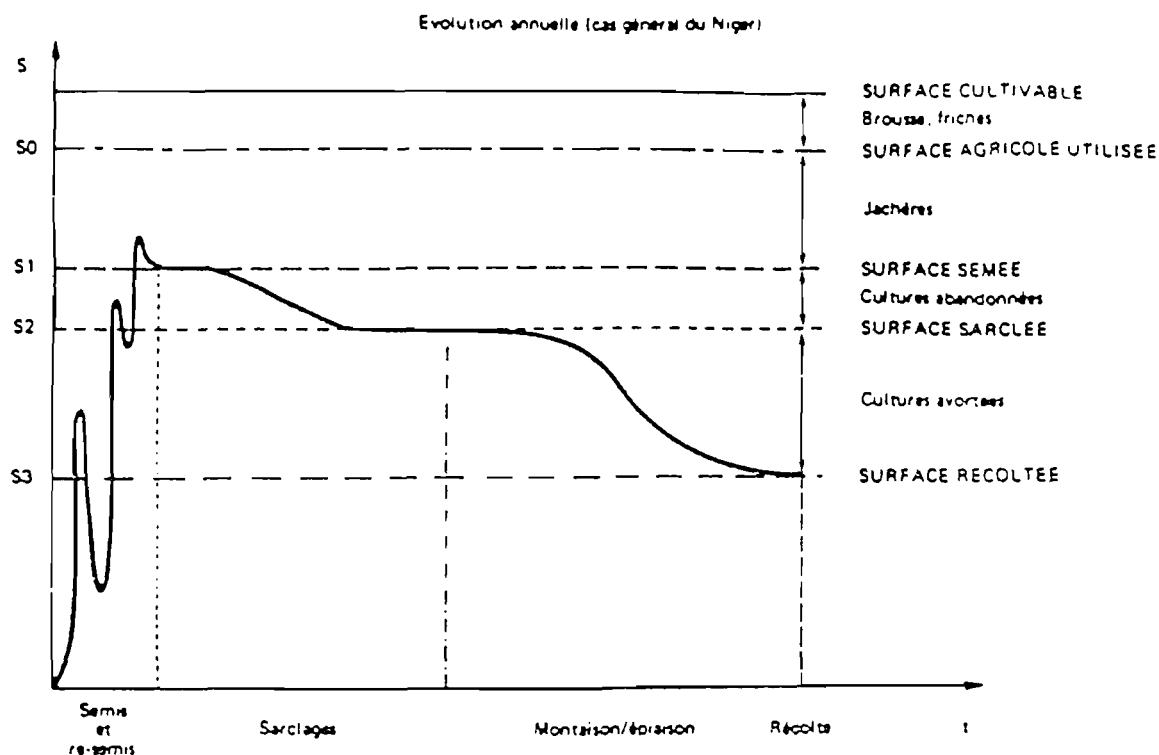


Figure 34 : La notion de surface cultivée (d'après BDPA et SCET AGRI, 1989)

6.5. Un système de culture extensif et des pratiques culturales, pour une gestion traditionnelle du risque (échelle de la décennie)

Le système de culture dans le Zarmaganda au Niger, décrit aussi par Sidikou (1974), Gavian S. (1993), Baumer M, (1987) Taylor-Powell (1991) est un bon exemple de stratégie traditionnelle pour faire face aux problèmes posés par un environnement difficile.

L'utilisation de fertilisants chimiques est rare à l'échelle du Niger : moins d'un kg/ha est utilisé pour la production de céréales non-irriguées (SEDES, 1987). L'utilisation de fertilisants organiques est par contre traditionnellement très répandue (cf. 6.5.1). Cependant, la jachère reste la première technique pour la récupération de la fertilité des sols. Elle appartient à un cycle cultural inter-annuel, mais elle ne remplit pas seulement un rôle agricole (cf. 6.5.2). Ces différentes pratiques peuvent être qualifiées et quantifiées à l'échelle de la zone d'étude, quel que soit le type des exploitations. Elles peuvent aussi présenter des spécificités selon les types d'exploitations et leur système de production.

6.5.1. Utilisation de fertilisants organiques

6.5.1.1. Description des pratiques

L'utilisation de fertilisants organiques est une pratique traditionnelle de restauration de la fertilité des sols. Cette pratique est plus ou moins intensive. L'apport de fumier est le principal type d'apport de nutriments dans le sol (deux types : parcage en saison sèche, fumier transporté ; Gavian, 1993).

La pratique la plus courante est celle qui consiste à transporter et à épandre sur les champs la fumure organique. Ceci concerne essentiellement les parcelles agricoles à proximité du village. Le fumier est récupéré librement autour des points d'eau ou dans la cour de la concession quand la famille possède quelques animaux. La logique spatiale de cette pratique est liée principalement à un centre villageois. Plus on s'éloigne du village, moins elle est pratiquée.

L'autre pratique usuelle est le contrat de parcage. Il s'agit d'un contrat entre un agriculteur et un berger (Peul ou Zarma) qui, pendant la saison sèche, fait séjourner son troupeau dans le champ de l'agriculteur en échange de quelques bottes de mil. La rémunération en nature dépend de la durée du séjour et de l'importance du troupeau. Ceci signifie que l'agriculteur doit forcément cette année là être excédentaire. Cette pratique existe de moins en moins souvent sur la zone d'étude car d'une part, les Peul se sédentarisent de plus en plus et utilisent leurs troupeaux pour leurs propres champs et d'autre part, les Zarma ont de plus en plus d'animaux en propriété.

La dernière pratique pour la restauration de la fertilité des sols est celle qui consiste à laisser les tiges de mil dans les champs après les récoltes. Celles-ci sont ensuite pâturées en saison sèche par les animaux qui laissent leurs déjections sur place. L'apport de fumier par cette méthode est, dans la plupart des cas, peu significatif (Hiernaux, 1997). Il peut le devenir lorsque les grands troupeaux transhumants passent dans les champs en début et en fin de saison sèche.

6.5.1.2. Analyse par type d'exploitation des surfaces agricoles concernées

Sur la zone d'étude, le pourcentage des parcelles fumées par parcage ou transport de fumier par exploitation agricole est non négligeable : 42% (tableau 12). Ce chiffre élevé cache cependant des disparités selon le type des exploitations.

Au vu du tableau 12, une étroite relation est mise en évidence entre les exploitations à vocation pastorale (type 1 et 5) et leur pourcentage estimé des surfaces recevant un apport de fumure (respectivement 45% et 95%). Ces chiffres sont obtenus par enquête auprès de chaque chef d'exploitation des huit villages échantillonnés, chacun estimant le pourcentage des parcelles fumées sur l'ensemble des parcelles de leur exploitation. Ainsi, plus l'exploitation possède d'animaux et plus ses parcelles sont fumées.

Tableau 12 : Pourcentage estimé des surfaces recevant un apport de fumure par type d'exploitation

Type d'exploitations	Pourcentage des surfaces fumées des parcelles agricoles	NB d'exploitations
1	47 (26)	51
2	34 (27)	98
3	28 (21)	35
4	40 (43)	55
5	95 (15)	23
Toutes exploitations confondues	42 (34)	162

Parmi les exploitations à "vocation agricole", les plus défavorisées sont les petites exploitations zarmas (type 3 : 28%). Elles ne possèdent pas forcément des parcelles près du village et/ou elles ne produisent pas ou peu d'excédents en mil qui pourraient être donnés à un propriétaire d'animaux en échange du parcage de ces derniers dans ses champs (contrat de parcage). Le pourcentage pour les exploitations de type 4 peut paraître élevé (40%). Ce chiffre est en fait gonflé par les exploitations peuls qui le composent. En effet, même si celles-ci ne possèdent pas eux-mêmes des animaux, leurs gestionnaires peuls peuvent avoir des rapports privilégiés (liens parentaux par exemple) avec les autres peuls propriétaires d'animaux.

6.5.2. Pratique de la jachère

6.5.2.1. Analyse globale à l'échelle de la zone d'étude

Dans la zone d'étude, la jachère reste la première technique utilisée pour la récupération de la fertilité des sols dans un système extensif de culture pluviale.

Description de la pratique

Dans le langage agronomique actuel, la jachère constitue l'état d'un terrain (ou la période correspondante) entre la récolte d'une culture et les semis de la culture suivante (Cornet et al, 1991). La pratique de la jachère répond en fait, pour le paysan zarma, à de multiples objectifs. Le principal est bien un objectif agronomique (gestion de la fertilité, élimination des adventices,...), mais les objectifs secondaires peuvent être des objectifs d'ajustement à la main d'oeuvre familiale agricole disponible au moment des grands travaux, ou encore fonciers, afin de marquer ses droits sur les parcelles annuellement défrichées sans être nécessairement semées par la suite. On peut voir ainsi la jachère sous l'angle d'une pratique sociale, d'une technique agricole, d'une période privilégiée dans la dynamique de la végétation spontanée et des sols. On peut la considérer également comme un pâturage ou encore d'un point de vue forestier. Les rôles qu'elle remplit sont multiples et les fonctions qu'on lui assigne (et qui expliquent son existence) sont plus difficiles à identifier.

Un programme spécifique a porté sur la caractérisation, par échantillonnage stratifié régional, de la structure et des niveaux de production en fonction de l'âge d'abandon de la culture et de la situation géomorpho-pédologique (Delabre, 1993 ; 1998). La quantification des ressources végétales a été réalisée en combinant des techniques d'analyse de la composition de la strate herbacée (points-quadrats), des coupes de carrés pour la détermination de la matière sèche herbacée, des mesures biométriques des arbustes sur des parcelles d'1/4 d'hectare, enfin des coupes d'arbustes pour la pesée de la matière sèche des différents constituants ligneux et foliaires.

La typologie résultante nous permet de disposer de données quantitatives (phytomasse des différents constituants végétaux aériens, herbacés, ligneux, foliaires), pour l'un des attributs des U.S.R (cf. 5.1.2). Les mesures ont été réalisées en 1992 et 1993.

Par ailleurs, un protocole expérimental, destiné à préciser les conditions de production dans les jachères d'âge différent, sur les principaux types géomorphologiques, a été mis en place en 1993 sur 7 parcelles d'un hectare mises en défens. Le suivi des paramètres de la production végétale, des conditions d'infiltration hydrique (états de surface) et de l'humidité volumique dans le sol (techniques neutroniques), de 1993 à 1996, permet de disposer d'informations concernant les relations entre les précipitations et la production végétale, sous conditions de mises en défens (Delabre, 1998).

Ce programme de recherche permet entre autre, pour nous, de distinguer des classes d'âge de jachères qui ont un comportement significativement différent en terme de production végétale, de récupération de la fertilité des sols,... Ces classes sont]0-3 ans] pour les jachères très courtes,]3-5 ans] pour les jachères courtes,]5-10 ans] pour les jachères longues et > 10 ans pour les jachères très longues et/ou friches.

Surface globale concernée

En octobre 1992, sur l'ensemble de la zone d'étude, 54% de l'espace est hors culture (jachères + friches + végétation naturelle), 27% en cultures et les 19% restant sont les plateaux cuirassés (Loireau, 1993).

A partir des 360 parcelles informées (transects et type d'exploitations) et localisées, un travail de classification d'images satellitales SPOT XS en 3 classes (plateaux, jachères et cultures) a été effectué par Bonnefon Craponne (1997) sur 6 images satellitales SPOT XS de 1986, 1988, 1990, 1992, 1994 et 1996. Les dates de prise de vue de ces 6 images sont toutes en fin de saison des pluies (septembre, octobre) afin d'améliorer la distinction entre les différents types d'occupation du sol.

Les parcelles informées ont été utilisées comme parcelles d'apprentissage, en considérant le type d'affectation parcellaire décrit lors des enquêtes ; ce qui pose parfois quelques problèmes de reconnaissance. En effet, étant donné l'instabilité intra-annuelle du contenu des parcelles agricoles, ces parcelles localisées n'ont pas toujours un contenu numérique très homogène l'année même de l'enquête (1994). De plus, en remontant dans l'histoire, s'ajoute à cette instabilité intra-annuelle du contenu de la parcelle, l'instabilité inter-annuelle du contenu et du contenant de la parcelle (cf. 5.2.1) et les incertitudes

attachées aux réponses des utilisateurs. Dans les limites des parcelles définies en 1994, nous retiendrons, pour chaque année, l'affectation de la parcelle en culture ou en jachère qui occupe la plus grande surface.

Une première classification supervisée (méthode du maximum de vraisemblance) a été effectuée en utilisant toutes les parcelles, en apprentissage, comme en contrôle, sur les canaux XS1, XS2 et XS3. Puis, une sélection des parcelles considérées comme homogènes, c'est à dire présentant plus de 70% de pixels bien classés, a été imposée. Enfin, une nouvelle classification supervisée a été effectuée sur les canaux XS1, XS2 et XS3 en n'utilisant plus que les parcelles sélectionnées en apprentissage et en contrôle. On obtient ainsi, sur le 6 images, la répartition cultures/jachères présentée dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Répartition surfacique des plateaux, cultures et jachères

	Plateaux	Cultures	Jachères
1986	19 %	46 %	35 %
1988	19 %	48 %	33 %
1990	19 %	46 %	35 %
1992	19 %	35 %	46 %
1994	19 %	45 %	36 %
1996	19 %	40 %	41 %

Evolution de l'âge moyen des jachères

Les informations recueillies sur l'ensemble des parcelles (360) à propos de leur historique d'occupation des sols permettent de retracer l'évolution de l'âge moyen des jachères entre 1950 et 1995, à travers une simple analyse statistique. L'évolution surfacique des différents types de jachères (âge, position topographique), relativement aux autres types d'occupation du sol (cultures, végétation naturelle) ne peut pas être rendue par cette simple analyse statistique, car les parcelles, du fait de leur localisation en transects radiaux aux villages, sont d'autant plus représentées qu'elle sont proches du village où le système de culture est plus intensif. Autrement dit, les parcelles en culture sont plus représentées que celles en jachère. Le seul moyen de passer aux surfaces est la classification d'images, comme celle effectuée par O. Bonnefon Craponne. L'analyse présentée ci-dessous ne concerne donc que l'espace "jachère".

Au vue de la figure 35, trois phases peuvent être distinguées :

- Première phase (1950-1965) : augmentation de l'âge moyen des jachères (de 3 ans à 9 ans),
- Deuxième phase (1965-1973) : stabilisation du processus (âge moyen autour de 8 ans),
- Troisième phase (1973-1995) : diminution de l'âge moyen des jachères et retour à la situation de 1950.

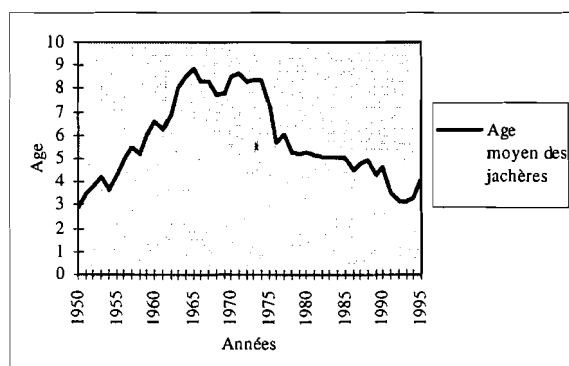


Figure 35 : Evolution de l'âge moyen des jachères entre 1950 et 1995

En fait, d'après les figures 36 et 37, l'évolution de cette courbe d'âge moyen des jachères est essentiellement due à l'apparition progressive des jachères anciennes (> 10 ans) dans les premières phases, puis à leur disparition progressive dans la troisième phase.

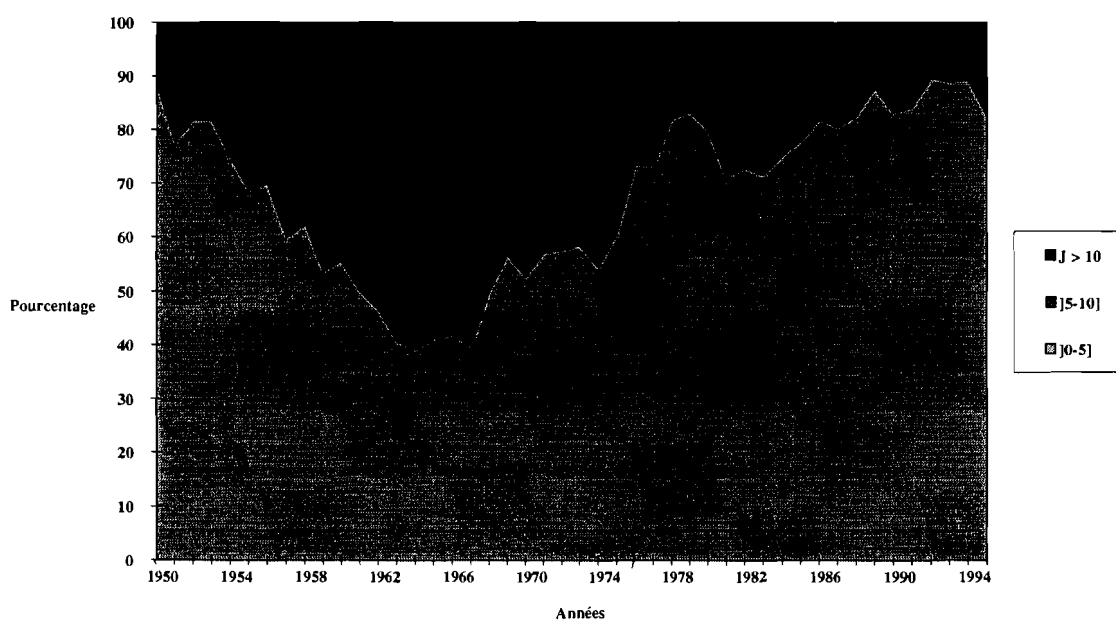


Figure 36 : Evolution de 1950 à nos jours de la proportion des jachères anciennes (> 10 ans), des jachères longues ([5-10 ans]) et des jachères courtes ([0-5 ans])

De plus, l'âge moyen des jachères de plus de 10 ans est de plus en plus élevé au cours de la première phase et inversement dans la troisième phase (figure 37). Les moyennes d'âge dans les autres classes de jachères ne sont pas significativement variables au cours du temps.

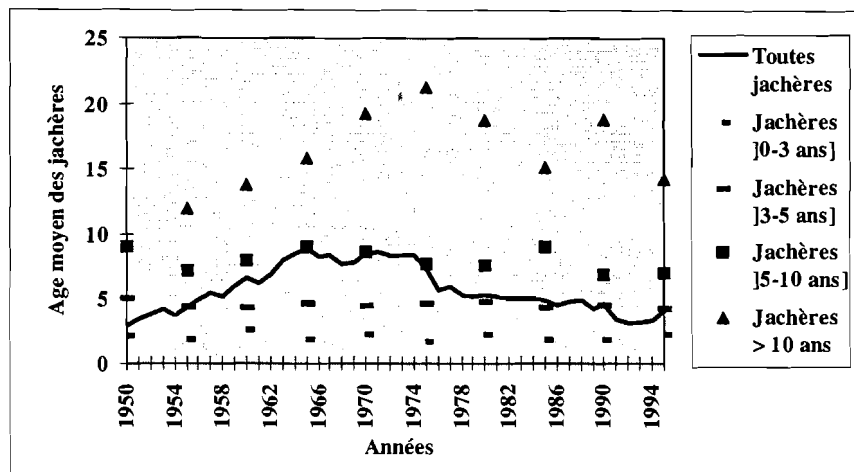


Figure 37 : Evolution des classes d'âge des jachères depuis 1950 à nos jours

En fait, cette évolution de l'âge moyen des jachères peut expliquer en partie une évolution des systèmes de cultures zarma. En effet, en 1950, les Zarma, avec beaucoup d'espace cultivable disponible et une population réduite, cultivaient intensément autour du village (système à cultures permanentes dans une première auréole et système à jachères courtes dans une deuxième auréole). Les champs éloignés du village, avec une gestion à jachères longues, étaient très rares car non indispensables pour subvenir à leurs besoins en mil et posant des problèmes d'insécurité dans une période où les conflits ethniques étaient encore réels. Ainsi était le système traditionnel zarma dans la première moitié du siècle (Baumer, 1987).

Puis au fur et à mesure, avec le problème de l'insécurité levé, avec la forte croissance démographique, les cultures ont dépassées les deux premières auréoles pour envahir progressivement l'espace encore disponible. La troisième auréole, avec un système de culture extensif à jachères longues, s'est agrandie. On arrive à un système plus ou moins en équilibre dans la deuxième phase, de 1965 à 1973. Enfin, l'espace disponible se réduisant, la pression démographique croissante et des sécheresses sévères dans les années 70 et 80, les jachères de plus de 10 ans ont diminuées au profit des cultures et des jachères plus courtes. La durée moyenne de ces jachères de plus de 10 ans a été elle-même diminuée. En fait, la plupart des jachères anciennes de nos jours sont des *friches* sur sols dégradés et non pas des jachères dans le sens où elles participent à un cycle culturel ; c'est à dire des espaces dégradés dont la remise en culture est "définitivement" compromise (dégradation ?) ou soumise à des durées de régénération naturelle très longue (> 25 ans, désertification ? ; Delabre, 1993).

Ainsi, dans la première phase, les jachères de plus de 10 ans apparaissent dans un processus dynamique d'extension des cultures sur un espace cultivable encore disponible, alors que dans la troisième phase, elles disparaissent dans un processus dynamique de saturation de l'espace face à des besoins croissants en mil. Si l'âge moyen des jachères en 1950 et en 1995 sont les mêmes, le système de culture associé des zarma est différent.

Ces trois phases d'évolution des temps de jachères peuvent être résumées de la manière suivante :

- 1) **Système traditionnel stable** à cultures permanentes et jachères courtes.
- 2) Conquête agricole de l'espace disponible (**extensification**) : apparition des jachères longues ;
- 3) **Stabilisation** d'un nouveau système de culture plus complexe à jachères courtes et jachères longues ;
- 4) Saturation de l'espace "facilement" cultivable et **intensification** : diminution générale de la durée des jachères.

Le modèle agricole d'utilisation de l'espace et des ressources que nous cherchons à établir doit établir les lois de spatialisations de ces pratiques et permettre de retracer spatialement l'historique d'occupation des terres, dont la jachère est l'un des éléments principaux.

6.5.2.2. Analyse de la jachère au niveau des exploitations agricoles

Si l'on raisonne non plus au niveau de la surface globale des terres en jachère sur la zone d'étude, mais au niveau des surfaces en jachère pour la gestion de la fertilité des sols au sein d'une exploitation, environ 21 % des surfaces d'exploitations sont mises en jachère (cf. tableau 14). Ce chiffre global cache des disparités d'un type d'exploitation à un autre. Les résultats du tableau 14 sont obtenus à partir du calcul réel des surfaces mises en jachères en 1994 dans 30 exploitations échantillonnées (cf. 6.2.).

En considérant que l'agriculture est d'autant plus extensive que la surface en jachère d'une exploitation est grande, les exploitations gérées exclusivement par les Zarma (type 1, 2 et 3) appliquent globalement une agriculture plus extensive que les autres. Plus ces exploitations sont petites ($3 < 2 < 1$) et "pauvres", plus les surfaces en jachère au sein de l'exploitation sont faibles. Autrement dit, moins les exploitations zarmas disposent de terre, moins ils possèdent d'animaux (type 2 et 3) et plus l'apport en fumure est faible, plus les gestionnaires de ces exploitations réduisent les surfaces en jachère. Dans ce cas, le risque d'une mauvaise récupération de la fertilité des sols, et donc d'une dégradation, est maximal.

Tableau 14 : Pourcentage calculé de la surface en jachère par type d'exploitation

Type d'exploitations	NB exploitations	Pourcentage des surfaces en jachère
1	9	29 (43)
2	10	23 (35)
3	2	17 (23)
4	6	8 (24)
5	3	0 (0)
Toutes exploitations	30	21 (36)

Le pourcentage de surfaces en jachère pour un type d'exploitation est la moyenne des pourcentages calculés dans chaque exploitation, quelle que soit la classe de taille des parcelles. Le pourcentage pour toutes les exploitations confondues est la moyenne des pourcentages calculés dans toutes les exploitations, quelles qu'elles soient. Les chiffres entre parenthèses sont les écart-types.

Les très petites exploitations agricoles gérées par des "étrangers" (type 4) ont des surfaces en jachère très réduites (8%). Leur superficie globale très petite (3 ha contre 14 pour les plus grandes exploitations de type 1; cf. 4.3.2) les oblige à intensifier leur mode de culture pour satisfaire leur besoin céréalier en diminuant les surfaces en jachère et en augmentant les surfaces fumées (principalement par le biais des contrats de parcage).

Les exploitations gérées exclusivement par des Peul ou des Bella sont celles qui appliquent l'agriculture la plus intensive. Toutes leurs parcelles sont cultivées et fumées grâce à leurs propres animaux.

Pour chaque type d'exploitation, le pourcentage des surfaces mises en jachères varie selon la classe de taille des parcelles agricoles (tableau 15).

Tableau 15 : Répartition des surfaces en jachère selon la taille des parcelles par type d'exploitation

Taille des parcelles	Exploitations type 1		Exploitations type 2		Exploitations type 3		Exploitations type 4		Exploitations type 5	
	(ha)	% en culture	% en jachère	% en culture	% en jachère	% en culture	% en jachère	% en culture	% en jachère	% en culture	% en jachère
< 1	63 (48)	37 (48)	75 (35)	25 (35)	100 (0)	0 (0)	100 (0)	0 (0)	100 (0)	0 (0)
[1-4[	93 (16)	7 (16)	87 (24)	13 (24)	58 (5)	42 (5)	88 (30)	12 (30)	100 (0)	0 (0)
[4-7[	67 (47)	33 (47)	76 (20)	24 (20)	100 (0)	0 (0)	-	-	100 (0)	0 (0)
[7-10[	-	-	0 (0)	100 (0)	-	-	100 (0)	0 (0)	100 (0)	0 (0)
> ou = 10	50 (7)	50 (7)	-	-	-	-	-	-	-	-
Toutes parcelles	71 (43)	29 (43)	77 (35)	23 (35)	83 (23)	17 (23)	92 (24)	8 (23)	100 (0)	0 (0)

Le pourcentage de surfaces en jachère pour un type d'exploitation et pour une classe de taille de parcelle est la moyenne des pourcentages calculés dans cette classe de toutes des exploitations de ce type. Les chiffres entre parenthèses sont les écart-types.

Globalement, quel que soit le type d'exploitation, les grandes parcelles sont de manière privilégiée mises en jachère. Pour les grandes (type 1) et moyennes (type 2) exploitations zarmas, les parcelles > 7 ha sont mises en jachère de manière privilégiée. Les gérants de ces exploitations ont un droit de "propriété" important sur leur terre : respectivement 86 % et 98 %. Pour les petites exploitations agricoles (type 3), seules les parcelles entre 1 et 4 ha sont mises en jachère. Etant donnée le faible pourcentage des terres en "propriété" de ce type d'exploitation (48 %), il est fort probable que les quelques parcelles > 4 ha (22 %) soient en "propriété" et donc, de manière privilégiée mise en culture. Les parcelles prêtées sont en effet plutôt de petites et moyennes tailles. Pour les très petites exploitations agricoles sans (ou très peu de) droit de "propriété" foncière, seules les parcelles entre 1 et 4 ha sont également mises en jachère. L'explication pourrait être la même que pour les exploitations de type 3.

Lorsque nous parlons de surface en jachère au sein d'une exploitation, nous parlons également, par différence, de surface en culture. La surface dite en culture correspond en fait à la surface semée (cf. 6.3.6)

6.5.3. Les critères de décision d'affectation parcellaire en culture ou en jachère

La décision d'affecter une parcelle agricole, en culture ou en jachère (affectation parcellaire), est prise par le chef d'exploitation. Cette affectation est le résultat marquant le paysage d'un système de culture et d'une gestion agricole complexe. Les critères de cette décision, prise *in fine* par l'exploitant de la parcelle (gestion agricole), dépendent en effet de facteurs différents déterminant le fonctionnement agricole : variables biophysiques, facteurs de production, techniques agricoles et pratiques culturales et enfin climat. Ces variables sont liées à différentes échelles spatiales (elles-mêmes reliées à différents centres de décision) : la parcelle (exploitant), l'exploitation agricole (exploitant), le terroir villageois (village) et même parfois au delà : le canton (chef de canton), l'arrondissement, l'Etat (cf. 4.2.3.1).

Cinq types de critères peuvent ainsi être distingués :

- 1) Critères liés aux caractéristiques biophysiques de la parcelle (Indicateurs agro-écologiques) : état de la végétation, qualité du sol (échelle de la parcelle). cf. Tableau 16.
- 2) Critères liés aux facteurs de production : disponibilité en terre, disponibilité en main d'oeuvre agricole (échelle de la parcelle, de l'exploitation agricole, du terroir villageois,... : échelle micro et macro-régionale) : cf. 6.3. Tableau 17.
- 3) Critères liés à l'itinéraire technique et les techniques agricoles associées (échelle de la parcelle, de l'exploitation agricole et du terroir villageois) : cf. 6.4. Tableau 18.
- 4) Critères liés aux pratiques culturales (échelle de la parcelle, de l'exploitation agricole et du terroir villageois) : cf. 6.5. Tableau 19.
- 5) Critères liés au climat (échelle micro et macro-régionale) : cf. Tableau 20.

La liste de indicateurs agro-écologiques (1) que nous proposons est issue des enquêtes socio-économiques dans les 32 exploitations sélectionnées. Ces indicateurs sont ceux décrits par les paysans eux-mêmes et traduisent leur propre perception du milieu et de sa capacité de production : récupération de la fertilité des sols pour les critères de remise en culture et dégradation des sols pour les critères de remise en jachère (Tableau 16).

Tableau 16 : Critères de changement d'affectation parcellaire liés aux caractéristiques biophysiques de la parcelle

Indicateurs écologiques	Critères de remise en culture	Critères de remise en jachère
Herbacées	. Apparition de certaines espèces herbacées dans les jachères : <i>Cenchrus biflorus</i> , <i>Digitaria horizontalis</i> , <i>Commelina forskalei</i> , <i>Alysicarpus ovalifolius</i> , <i>Zornia glochidiata</i> , <i>Panicum anabastistum</i> , <i>Cassia mimosoides</i> , <i>Crotalaria macrocalyx</i> , <i>Borreria stachydea</i> .	. Apparition de certaines espèces herbacées dans les champs cultivés : <i>Mitracarpus scaber</i> , <i>Striga hermonthica</i> , <i>Jacquemontia tamnifolia</i> , <i>Eragrostis tremula</i> .
Ligneux	. Hauteur (> ou = 1,5 m) . Diamètre des tiges (> ?)	
Sol	. Apparition de croûtes alguales, . Accumulation de sable aux pieds des ligneux.	. Apparition de loupes d'érosion.

Tableau 17 : Critères de changement d'affectation parcellaire liés aux facteurs de production

Facteurs de production	Critères de remise en culture			Critères de remise en jachère		
	Parcelle	Exploitation	Terroir villageois et plus	Parcelle	Exploitation	Terroir villageois et plus
Terre	. Location de la parcelle	. Manque de terre disponible	. Manque de terre disponible	. Distance au village trop importante . Location de la parcelle	. Excès de terre disponible	. Excès de terre disponible
Main d'oeuvre agricole		Augmentation de la main d'oeuvre familiale	. Croissance démographique . Accès à de la main d'oeuvre extérieure		. Manque de main d'oeuvre familiale	. Manque de main d'oeuvre extérieure

Tableau 18 : Critères de changement d'affectation parcellaire liés à l'itinéraire technique et ses techniques associés

Techniques agricoles	Critères de remise en culture			Critères de remise en jachère		
	Parcelle	Exploitation	Terroir villageois et plus	Parcelle	Exploitation	Terroir villageois et plus
Défrichement		Extension des terres cultivées	Extension des terres cultivées		Marquage foncier	Marquage foncier
Sarclage				Abandon		
Semis				Abandon		
Récolte	. Bon rendement l'année précédente	. Baisse des rendements dans les autres parcelles		. Baisse des rendements	. Production suffisante sur les autres parcelles	

Tableau 19 : Critères de changement d'affectation parcellaire liés aux pratiques culturales

Pratiques culturales	Critères de remise en culture			Critères de remise en jachère		
	Parcelle	Exploitation	Terroir villageois	Parcelle	Exploitation	Terroir villageois
Cycle cultural (rotation cultures/ jachères)	. Rotation cultures/ jachères "intra-parcelle" . Cycle cultures/ jachères inter-annuel imposé par l'exploitant	. Rotation cultures/ jachères "inter-parcelles"	. Harmonisation avec les parcelles voisines	. Rotation cultures/ jachères "intra-parcelle" . Cycle cultures/ jachères interannuel imposé par l'exploitant	. Rotation cultures/ jachères "inter-parcelles"	. Harmonisation avec les parcelles voisines
Fertilisants organiques	Apport suffisant pour une bonne récupération de la fertilité des sols.			Pas d'apport et donc appauvrissement du sol.		

Tableau 20 : Critères de changement d'affectation parcellaire liés au climat

Climat	Critères de remise en culture			Critères de remise en jachère		
	Parcelle	Exploitation	Terroir villageois et plus	Parcelle	Exploitation	Terroir villageois et plus
Variabilité temporelle des pluies	. Bonne année pluviométrique		. Bonne année pluviométrique	. Sécheresse . Inondation		. Sécheresse
Variabilité spatiale des pluies		. Gestion "inter-parcelles" de la variabilité spatiale des pluies	. Appartenance à une zone favorisée du point de vue du régime pluviométrique		. Gestion "inter-parcelles" de la variabilité spatiale des pluies	. Appartenance à une zone défavorisée du point de vue du régime pluviométrique

La décision d'un exploitant d'affecter une parcelle en culture ou en jachère peut être liée tout ou partie aux critères énoncés ci-dessus.

Ces critères peuvent être simplifiés en trois grandes catégories :

- 1) Critères liés aux données socio-économiques : facteurs de production.
- 2) Critères liés aux données biophysiques : état de la végétation, sol, climat.
- 3) Critères liés aux pratiques culturelles : itinéraire technique et pratiques culturelles.

Les critères liés aux données socio-économiques et biophysiques déterminent une gestion dite "passive", relativement aux critères liés aux pratiques culturelles elles-mêmes qui déterminent une gestion dite "active". En effet les deux premiers types de critères sont des données du milieu socio-économique et biophysique, quelle que soit leur échelle associée, dont le paysan dispose pour prendre la décision d'affecter une de ses parcelles agricoles en culture ou en jachère. Le dernier type est une décision "active" du paysan d'appliquer un cycle culturel déterminé, d'utiliser ou non des fertilisants organiques, sur une de ses parcelles agricoles, quelles que soient (ou presque) les données biophysiques et socio-économiques dont il dispose. En d'autres termes, dans le premier cas, le paysan "subit" les variations de son environnement et réagit par des décisions adaptées. Dans le second cas, le paysan gère sa parcelle en fonction d'un objectif de production pérenne. On trouve ici des caractéristiques d'agriculture "minière" (simple exploitation du milieu) opposée à une agriculture de gestion, les deux types pouvant être pratiqués simultanément par le même paysan sur des parcelles différentes.

Les critères liés aux données socio-économiques sont principalement les critères liés aux facteurs de production (tableau 14) : accès foncier, disponibilité de main d'oeuvre agricole. Les critères liés aux facteurs biophysiques sont les critères liés aux caractéristiques biophysiques de la parcelle (tableau 13), les critères liés à l'itinéraire technique (tableau 15), les critères liés au climat (tableau 17). Les critères liés aux pratiques culturelles ont été décrits dans la tableau 16.

Un même paysan n'applique pas, la plupart du temps, les mêmes critères d'affectation parcellaire sur chacune de ces parcelles. En effet, selon l'accessibilité (distance au village), la distribution sur des sols de qualité différente, les critères changent. Les parcelles voisines du village, sur les terres les plus facilement cultivables du terroir (cf. 4.2.1.3) et sans contrainte de distance au village, sont généralement mises en culture ou en jachère selon un cycle cultural imposé par le paysan lui-même. En s'éloignant du village, quelle que soit sa disponibilité en main d'oeuvre familiale et son accès à la terre, il pourra décider de cultiver ses parcelles selon leur distribution sur des sols de qualité plus ou moins bonnes, selon l'intensité et la répartition des pluies,...La production qu'il obtient sur ces parcelles lui est nécessaire pour satisfaire au mieux ses besoins alimentaires. S'il manque de parcelles, il est prêt à en emprunter ; s'il manque de main d'oeuvre familiale, il est prêt à faire appel à de la main d'oeuvre extérieure. Au delà d'une certaine distance et selon que ses besoins en mil sont satisfaits sur les parcelles précédentes, le paysan pourra mettre en culture une parcelle en fonction de sa disponibilité en main d'oeuvre et en terre agricole.

L'objectif du modèle spatial proposé dans le chapitre suivant est de formaliser l'ensemble de ces critères, afin de tenter de rendre intelligible l'évolution du milieu sous l'impact des pratiques et des décisions complexes.

Chapitre 7 : MODELE SPATIAL DU FONCTIONNEMENT AGRICOLE

7.1. Principes généraux et démarche globale

Pour notre démarche sur l'étude des interactions hommes-milieu (usages-ressources), il s'agit, entre autre, de déterminer des espaces communs et homogènes du point de vue des pratiques et des ressources (U.S.R), à partir d'une étude spatiale du système agricole (le plus structurant du paysage dans une zone agro-pastorale sahélienne) à l'échelle du terroir villageois. Le terroir villageois est considéré comme le territoire de référence (cf. 4.2.1 et 4.2.3.) pour une modélisation du système agricole, puisqu'il résulte de la dynamique d'installation et de croissance d'une population résidant dans un village à la recherche de terres agricoles pour subvenir au mieux à ses besoins (céréaliers principalement).

La définition des Unités Spatiales de Référence (cf. chapitre 10.) est le résultat du croisement d'Unités Paysagères (cf. chapitre 9.) et d'Unités de Pratiques Homogènes (cf. chapitre 8.).

Pour ces dernières, il s'agit de s'affranchir d'un seul centre décisionnel de gestion agricole, l'exploitation agricole, pour définir des secteurs (supérieurs à la parcelle agricole et à l'exploitation agricole) qui, en moyenne, subissent des pratiques agricoles identiques, quel que soit l'exploitant, selon des règles d'organisation spatiale à l'échelle du terroir villageois. Les pratiques et techniques agricoles sont issues d'une gestion de l'exploitant agricole en fonction de multiples facteurs, socio-économiques comme biophysiques, qui peuvent être reliés à différentes échelles spatiales (cf. chapitre 6.). La distribution spatiale de ces pratiques et techniques, sur un terroir villageois, répond à une logique commune à l'ensemble des exploitants d'un terroir villageois, à savoir la distribution spatiale des terres de qualité différente, leur capacité de production en fonction des pratiques et techniques qui peuvent être appliquées, leur accessibilité.

Le choix d'affectation d'une parcelle agricole en culture, jachère ou végétation naturelle et la durée de cette affectation (cycle cultural) est donc le résultat de la prise en compte par l'exploitant, à la fois de ses propres critères de gestion au sein de son exploitation, et des critères spatiaux d'application des pratiques agricoles de l'ensemble des villageois sur leur territoire, c'est à dire le terroir villageois. Cette affectation parcellaire et sa durée selon un cycle cultural, est celle qui marque le paysage et conditionne la disponibilité des ressources pour les autres usages : pastoral, prélèvement de bois-énergie. L'un des principaux attributs des Unités de Pratiques Homogènes est une proportion surfacique des différents types d'occupation des terres (culture, jachère, végétation naturelle) déterminée par un cycle cultural.

Avant d'établir les lois de spatialisation des pratiques agricoles, il a été nécessaire d'établir une typologie de ces pratiques (cf. 7.2). Chaque classe de cette typologie est définie par des pratiques culturales combinées dont la principale retenue, étant donné son implication sur la structure du paysage, est la durée des différents types d'affectation parcellaire. Chaque parcelle informée issue des deux types

d'échantillonnage (transect et exploitation agricole) est alors associée à un cycle cultural. Ces parcelles localisées, avec leurs pratiques associées, sont mises en relation avec la qualité des sols, leur accessibilité (distance au village) et leur capacité de production. Ces mises en relation statistique, sur les quatre terroirs échantillonnés, permettent non seulement d'établir les règles de spatialisation des pratiques, mais aussi de paramétrer le modèle d'utilisation de l'espace et des ressources. A partir d'outils de modélisation spatiale, ces règles permettent de contourner les Unités de Pratiques Homogènes pour tous les terroirs villageois de la zone d'étude, au delà donc des quatre terroirs échantillonnés. Les déterminants du modèle, définis à partir de l'étude du fonctionnement agricole sur quatre terroirs échantillonnés, sont en effet choisis parmi les données relativement faciles à obtenir, quelque soit le terroir villageois, pour permettre de spatialiser le modèle sur l'ensemble des terroirs de la zone d'étude.

7.2. Une typologie des pratiques culturelles

7.2.1. Construction de la typologie des pratiques culturelles

Les pratiques culturelles sont celles qui vont marquer le paysage en déterminant l'affectation d'une parcelle en culture ou en jachère. Tel que nous l'avons vu dans le paragraphe 6.5., il s'agit essentiellement de la pratique de la jachère et de l'utilisation de fertilisants organiques. Ces pratiques sont appliquées sur une parcelle agricole par un paysan selon sa propre gestion agricole de l'ensemble des parcelles de son exploitation. La distribution spatiale de ces pratiques est liée à des données spatiales, communes à l'ensemble des villageois sur un même terroir. Nous parlons ainsi de gestion agricole par le paysan au sein d'une exploitation agricole et de gestion de l'espace agricole par les villageois au sein d'un terroir villageois.

La typologie des pratiques agricoles a pour objectif de trouver une relation entre les différents types de pratiques combinés et leur localisation dans l'espace (terroir). La pratique de la jachère a, entre autres, un objectif de récupération de la fertilité des sols. A la pratique de la jachère est donc associée une *durée de la jachère*. Entre deux jachères, la parcelle agricole est cultivée. La durée de la jachère varie, non seulement selon les techniques agricoles pendant les années de culture et l'utilisation de fertilisants organiques, mais aussi selon la *durée des cultures* avant la mise en jachère. A une durée de jachère est ainsi associée une durée de culture selon les techniques agricoles utilisées et l'*intensité des intrants*. La décision d'un paysan de mettre en culture ou en jachère une parcelle agricole dépend enfin de facteurs multiples liés à plusieurs échelles spatiales.

Ces pratiques culturelles, ainsi que les critères de leur application, sont à l'origine de l'organisation de l'espace agricole (terroir villageois) en auroles plus ou moins concentriques autour du village (cf. 6.2.1.1).

Les quatre éléments choisis pour la typologie des pratiques sont en fin de compte les suivants :

- 1) et 2) : La **durée des jachères** et la **durée des cultures**. Elles rendent compte d'un cycle cultural qui va déterminer le type d'occupation parcellaire. Elles sont indicatrices d'une gestion agricole plus ou moins

intensive (plus la durée des jachères est longue, plus la gestion est extensive ; cf. 6.5.2). Elles déterminent en partie la production en mil, que ce soit la production l'année de mise en culture (qui sans apport de fumier, diminue au fur et à mesure des années de cultures successives) ou que ce soit, à fortiori, la production annuelle ramenée à l'ensemble du cycle (c'est à dire en tenant compte des années de jachère). Ces durées peuvent à la fois être un des critères de décision d'affectation parcellaire et dépendre de ces mêmes critères. A priori, plus on s'éloigne du village, plus la durée des jachères est longue.

3) **L'intensité des intrants.** Elle rend compte, comme la durée des jachères, d'une gestion agricole plus ou moins intensive (cf. 6.5.1). Elle détermine en partie une production en mil. Elle peut à la fois être un des critères de décision d'affectation parcellaire, et à la fois dépendre de ces critères. A priori, plus on s'éloigne du village et plus l'intensité des intrants diminue.

4) **Les critères de décision d'affectation parcellaire.** Ils sont liés à l'ensemble des éléments déterminants du fonctionnement agricole : variables biophysiques, facteurs de production, pratiques culturales et techniques agricoles, climat (cf. 6.5.3). Ces critères déterminent des pratiques agricoles qui déterminent à leur tour une gestion agricole. Pour une même durée de jachères et/ou de cultures, pour une même intensité d'intrants, les critères de décision d'affectation parcellaire peuvent être différents, selon notamment la distribution spatiale des parcelles agricoles sur le terroir villageois (cf. 6.5.3).

La durée des cultures et la durée des jachères sont des informations recueillies à partir de l'historique d'occupation des terres de l'ensemble des parcelles (273 parcelles), que ce soit sur transects radiaux aux villages ou par exploitation agricole échantillonnée. L'information historique remonte à 1950 environ. Sur chaque parcelle, de 1950 à 1994 (année de l'enquête), les durées de cultures et de jachères ont pu évoluer. Une parcelle peut également avoir été défrichée (passage de la végétation naturelle à une culture ou une jachère) pendant cette même période. L'intensité des intrants et les critères de mise en culture sont recueillis uniquement sur les parcelles des exploitations agricoles (87 parcelles) et leurs relations avec les durées de jachères et de cultures ont été extrapolées aux "parcelles transects".

Au cours des 44 années informées, des changements radicaux de pratiques et de systèmes de culture (cf. 6.5.2.1.) ont pu être identifiés. A chaque changement majeur de l'un des éléments retenus pour la typologie, une période de pratiques homogènes est identifiée. Ainsi, sur les 360 parcelles informées, 895 périodes de pratiques homogènes ont été définies, à raison de 1 à 4 périodes par parcelle. Chaque parcelle est considérée comme un objet différent pour chacune de ses périodes.

A partir des 895 objets différenciés, une typologie de pratiques culturales a été réalisée par classification hiérarchique des différents critères. La durée des jachères est

le premier facteur qui a été hiérarchisé, la durée des cultures le deuxième, l'intensité des intrants le troisième et enfin les critères de mise en culture le dernier.

7.2.2. Les classes de la typologie des pratiques culturelles associées à un degré d'artificialisation

La typologie des pratiques culturelles, ainsi établie, distingue 11 classes (tableau 21). Chaque classe est caractérisée par plusieurs pratiques combinées, indicatrices d'une intervention de l'homme plus ou moins intensive sur le milieu biophysique. A chaque élément déterminant cette typologie a donc été associé un *degré d'artificialisation*. Ce dernier est d'autant plus fort que :

- la durée des jachères est courte,
- la durée des cultures est longue,
- l'intensité des intrants est forte,
- les critères de décision d'affectation parcellaire sont liées aux pratiques elles-mêmes.

Pour la durée des jachères et des cultures, le degré d'artificialisation est calculé à partir de la durée moyenne pour chaque classe de la typologie. Pour l'intensité des intrants, les degrés d'artificialisation sont calculés à partir de la distinction des cinq classes suivantes d'intensité:

- intensité 4 = apport de fumier transporté ou parcages annuels,
- intensité 3 = apport de fumier transporté ou parcages occasionnels
- intensité 2 = parcages occasionnels
- intensité 1 = parcages très occasionnels et/ou apport par pâturage extensif
- intensité 0 = pas d'apport de fertilisants organiques

Pour les critères de décision de changement d'affectation parcellaire, le calcul est effectué à partir des trois types de critères retenus dans le paragraphe 6.5.3, issus d'une simplification des multiples critères énoncés.

Les degrés d'artificialisation relatifs à chaque composant sont exprimés sur une échelle de 0 à 100. Ils sont calculés et répartis en fonction d'un minimum (0 pour : 13 ans de jachères, 0 ans de cultures, intensité d'intrant de 0, pas de critères de décision d'affectation parcellaire) et d'un maximum (100 pour : 0 ans de jachères, 35 ans de cultures, intensité d'intrant de 4, critères de décision d'affectation parcellaire = rotation active). Un degré d'artificialisation global pour chaque type de pratiques combinées est calculé en faisant la somme des degrés d'artificialisation des différents composants (Tableau 21).

Tableau 21 : Typologie des pratiques culturelles combinées et définition d'un degré d'artificialisation combiné

Classes de pratiques combinées	Durée jachères			Durée cultures			Intensité des intrants		Critères de décision d'affectation parcellaire		Degré artif global
	Classe	Moy	Degré artif	Classe	Moy	Degré artif	Classe	Degré artif	Type	Degré artif	
1	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	aucun	0	0,00
2	> 5	13 (5)	0,00	0	0	0,00	0	0	socio-économique	33	33,00
3	> 15	22 (6)	4,55	]3-20]	9 (4)	25,71	1	25	socio-économique	33	88,26
4	]5-10]	9 (2)	11,11	]3-20]	12 (6)	34,29	1	25	socio-économique	33	103,40
5	]5-10]	7 (1)	14,29	]0-10]	7 (3)	20,00	1	25	biophysique	67	126,29
6	]3-5]	5 (1)	20,00	]0-10]	6 (2)	17,14	1	25	biophysique	67	129,14
7	]0-3]	3 (1)	33,33	]0-10]	7 (3)	20,00	1	25	biophysique	67	145,33
8	]3-5]	4 (1)	25,00	]0-5]	5 (1)	14,29	2	50	rotation active	100	189,29
9	]3-5]	4 (1)	25,00	]5-10]	8 (1)	22,86	1	25	rotation active	100	172,86
10	]0-3]	2 (1)	50,00	> 10	31 (31)	88,57	3	75	rotation active	100	313,57
11	0	0	100	infini	35 (35)	100	4	100	rotation active	100	400,00

Moy = Moyenne ; artif = artificialisation ; les chiffres entre parenthèses correspondent aux écart-types des durées moyennes des jachères et des cultures.

Chaque classe de pratiques combinées est spécifique et correspond *à priori* à une logique d'exploitation agricole du terroir villageois différente.

- **Classe 1** : Caractérisée par l'absence de pratiques culturelles avec un degré d'artificialisation nul. Cette classe se traduit dans le paysage par de la végétation naturelle.

- **Classe 2 :** Caractérisée par la seule pratique de la jachère, avec une longue durée. Ces pratiques combinées correspondraient à une logique d'exploitation agricole du terroir villageois qui consiste à défricher une parcelle, sans la mettre en culture, dans un objectif de marquage foncier, généralement aux limites du terroir.
- **Classe 3 :** Caractérisée principalement par des jachères de très longues durées (>15ans), des cultures assez longues et un apport de fertilisants organiques très occasionnel. Ces pratiques combinées correspondraient à une logique d'exploitation agricole du terroir villageois qui consiste à prêter occasionnellement des parcelles assez éloignées du centre villageois, sur un espace dit "réserve foncière", à des "étrangers" zarmas ou peuls. Ces derniers les mettent alors en culture pendant une dizaine d'année en moyenne.
- **Classe 4 :** Caractérisée principalement par des jachères de longue durée, entre 7 et 11 ans. Les durées des cultures sont longues en moyenne mais très variables : durée moyenne de 12 ans avec un fort écart-type de 6. Ces pratiques combinées correspondraient à une logique d'exploitation agricole du terroir villageois identique à la classe 4, mais avec une intensification du processus.
- **Classe 5 :** Caractérisée par des durées de jachère et de culture relativement équilibrées et longues, un apport de fertilisants organiques toujours très faible. Ces pratiques combinées correspondraient à une logique d'exploitation agricole du terroir villageois qui consiste, sur des qualités de sols assez médiocres pour la mise en culture, sur des terres assez éloignées du village, avec le moins possible d'investissement en temps et en technique de la part des exploitants, à maintenir les parcelles en jachère jusqu'à ce que des critères biophysiques indiquent une certaine récupération de la fertilité des sols, et donc une possibilité de remise en culture.
- **Classe 6 :** Caractérisée par des durées de jachères courtes et des durées de cultures moyennes, un apport de fertilisants organiques toujours très faible. Cette classe correspondrait à peu près à la même logique d'exploitation que le type 5, mais avec une intensification du processus qui pourrait être due à une meilleure qualité des terres et/ou, une distance au village inférieure.

- **Classe 7 :** Caractérisée principalement par des jachères de très faible durée et un apport de fertilisants organiques toujours très faible. Cette classe correspondrait à la même logique d'exploitation que les type 5 et 6, mais avec une intensification du processus encore plus importante qui pourrait être due essentiellement à la proximité du village et donc à une pression humaine supérieure.
- **Classe 8 :** Caractérisée par des durées de jachère et de culture courtes et équilibrées, avec un apport de fertilisants organiques un peu plus important. Ces pratiques culturales combinées correspondent à une logique d'exploitation agricole du terroir villageois qui consiste, sur des qualités de terres assez bonnes, et encore plus près du village, à imposer un cycle cultural, quitte à apporter en temps voulu un peu de fumier pour maintenir une certaine fertilité des sols.
- **Classe 9 :** Caractérisée par des durées de jachères courtes et des durées de cultures doubles, avec un apport de fertilisants organiques très faible. Ces pratiques culturales combinées correspondent à une logique d'exploitation agricole du terroir villageois qui consiste, sur des qualités de terres assez bonnes, et relativement près du village, à imposer une rotation cultures/jachères à une parcelle. Généralement le 1/3 de la parcelle est mise en jachère et les 2/3 en culture. La pratique de la jachère est, contrairement à la classe 8, la seule pratique de récupération de la fertilité des sols.
- **Classe 10 :** Caractérisée par des durées de jachère extrêmement courtes (les plus courtes, < ou = 3 ans) et des durées de cultures très longues. Ces pratiques culturales combinées correspondent à une logique d'exploitation agricole du terroir villageois qui consiste, sur des terres proches du village et de bonne qualité, à investir du temps et des techniques pour assurer une bonne production annuelle en mil, quelle que soit l'année.
- **Classe 11 :** Caractérisée par un système de cultures permanentes et une intensité d'intrants maximum pour la zone. Ces pratiques combinées se traduisent dans le paysage par une première auréole concentrique autour des centres villageois entièrement mise en culture, quelle que soit l'année. Elles correspondent à la même logique d'exploitation que la classe 10, mais avec une intensification maximum du processus, c'est à dire allant jusqu'à la totale disparition des jachères.

De la classe 1 à 11, le degré d'artificialisation augmente en marquant 5 sauts de valeurs importants entre les classes 2 et 3, les classes 4 et 5, les classes 7 et 8, les classes 9 et 10 et les classes 10 et 11.

A partir de cette première analyse de la typologie des pratiques culturelles, des regroupements ont été effectués sur deux critères principaux : les logiques d'exploitation agricole du terroir villageois associées aux différentes classes et leur position sur une échelle d'artificialisation (de 0 à 400). Sept nouvelles classes de pratiques combinées, dont la distribution spatiale est susceptible de répondre à une logique à l'échelle du terroir villageois, ont ainsi été définies. Elles sont décrites de la manière suivante :

- **Classe X** : (= classe 1 + classe 2) : Pas de pratiques culturelles. Degré d'artificialisation nul.
- **Classe A** : (= classe 3 + classe 4) : Jachères longues à très longues (> 7 ans, moyenne de 16 ans), cultures plutôt longues mais très variables (moyenne de 10 ans), très faible apport de fertilisants organiques, critères de décision d'affectation parcellaire d'ordre socio-économique et/ou biophysique. Degré d'artificialisation très faible.
- **Classe B** : (= classe 5) : Jachères longues (moyenne de 7 ans) et cultures longues (moyenne de 7 ans), très faible apport de fertilisants organiques, critères de décision d'affectation parcellaire d'ordre biophysique. Degré d'artificialisation faible.
- **Classe C** : (= classe 6 + classe 7) : Jachères courtes (moyenne de 5 ans) et cultures longues (moyenne de 6 ans), très faible apport de fertilisants organiques, critères de décision d'affectation parcellaire d'ordre biophysique. Degré d'artificialisation faible à moyen.
- **Classe D** : (= classe 8 + classe 9) : Jachères courtes (moyenne de 4 ans), cultures longues (moyenne de 6 ans), faible apport de fertilisants organiques, rotation active imposée par le paysan. Degré d'artificialisation moyen.
- **Classe E** : (= classe 10) : Jachères très courtes (moyenne de 2 ans), cultures très longues (moyenne de 31 ans), apport de fertilisants organiques moyen, rotation active imposée par le paysan. Degré d'artificialisation fort.
- **Classe F** : (= classe 11) : Cultures permanentes (moyenne de 35 ans), apport de fertilisants organiques maximum, rotation active imposée par le paysan. Degré d'artificialisation très fort.

Chaque parcelle informée, pour une année donnée, entre 1950 et 1994, peut être associée à l'une des classes de la typologie des pratiques culturales. La distribution spatiale de ces pratiques est en partie liée à la distribution spatiale des sols de qualité différente, dont il a fallu dresser la carte.

7.3. La carte des qualités des sols

La carte des qualités des sols est construite selon une interprétation de la qualité physique des sols pour une mise en culture en fonction des techniques agricoles traditionnelles, à partir de la carte morphopédologique de Nagumo (Annexe 9). A partir des 21 classes de cette carte, nous avons procédé à un premier regroupement en 16 classes (Tableau 22). Ces dernières sont décrites selon les 4 variables principales suivantes : géomorphologie, pente, épaisseur du sol, texture du sol.

Trois indicateurs de la qualité des sols pour une mise en culture en fonction des techniques agricoles traditionnelles ont été identifiés :

- **La fertilité des sols** : Elle tient compte à la fois de la texture des sols, de leur teneur en matière organique, de leur épaisseur,.... Plus la fertilité est bonne et plus l'espérance de récolte est importante.
- **Le comportement hydrique des sols** : Il tient compte à la fois de la pente, de l'épaisseur du sol, de la texture et structure du sol,...
- **La facilité à cultiver selon les techniques agricoles traditionnelles** : Elle tient compte de la nature du sol et de la végétation. Plus la végétation (et tout particulièrement la strate ligneuse) est dense et plus il est difficile de défricher. Plus le sol est lourd et plus il est difficile de sarcler avec l'iler.

Pour chacune des classes de la carte de Nagumo (1992), une description qualitative de ces 3 indicateurs est donnée, selon une expertise collective des chercheurs ayant travaillé sur le site, tenant compte également des perceptions paysannes. Il faut en effet savoir que les agriculteurs ont une perception qualitative de leurs terroirs en fonction de l'aptitude à la culture : les différents secteurs du terroir reçoivent ainsi un nom exprimant cette perception (Seybou, 1993). A chacune de ces descriptions est associée une note de qualité des sols sur une échelle de 0 à 5. Plus la note est élevée, plus elle contribue à augmenter la qualité globale des sols. Une somme pondérée de ces trois notes (coefficient 1 pour la fertilité des sols, 1 pour le comportement hydrique et 2 pour la facilité à cultiver) permet de donner une note globale de qualité des sols pour les 16 classes différenciées au départ. Par ce procédé, l'échelle théorique de 0 à 20 ($5+5+(2*5)$) est ensuite ramenée à une échelle indiciaire de 0 à 5, qui permet de dresser une carte en 6 classes d'indices de qualité des sols (ou d'intérêt) pour la mise en culture, de la plus faible (0) à la plus forte (5 ; Tableau 22).

Tableau 22 : Construction de la légende de la carte des qualités des sols

Classes morpho-pédo de Nagumo	Géo-morphologie (donnée)	Pente (%) (donnée)	Epaisseur du sol (m) (donnée)	Texture du sol (donnée)	Fertilité des sols		Comportement hydrique des sols		Facilité à cultiver selon les outils agricoles traditionnels		Classes de qualité des sols	
					Qualité (expertisée)	Note = Fe	Qualité (expertisé)	Note = Co	Qualité (expertisée)	Note = Fa	Qualité (calculée)	Note = $(Fe+Co+(2*Fa))/5$
1a	Plateaux	0	< 1 m	argileuse	Moyenne à bonne	2	moyen à bon	3	nul	0	Très faible	1
1b	Ensablements sur Plateaux	< 0,5	1 à 2 m	sableuse	faible	1	très moyen	1	fort	5	Moyenne	3
1c	Dunes sur plateaux	variable moyenne	0 à 2 m	sableuse	faible	1	faible	0	très fort	5	Moyenne	3
2a	Jupes	2 à 4	> 2 m	très sableuse	bonne	4	moyen à bon	3	moyenne à faible	4	Bonne	4
2b	Jupes	< 2	> 2 m	très sableuse	bonne	4	bon à très bon	5	fort	5	Très bonne	5
3a	Piémonts érodés	< 2	> 1 m	très sableuse	faible	1	faible à moyenne	2	moyenne	3	Faible	2
3b	Piémonts non érodés	< 2	> 2 m	très sableuse	bonne à très bonne	5	bon	4	moyenne à faible	4	Bonne	4
4a	Chanfreins érodés	2 à 4	< 1 m	argileuse	très faible	0	faible	0	très faible	1	Nulle	0
4b	Chanfreins non érodés	2 à 4	> 2 m	sableuse	moyenne à bonne	2	moyen à bon	3	moyenne à faible	4	Moyenne	3
4c	Chanfreins non érodés	< 2	> 2 m	sableuse	bonne	4	bon	4	fort	5	Très bonne	5
5c+6c+9	Terrasses alluviales	< 1	> 2 m	sableuse	bonne	4	moyen à bon	3	moyenne à faible	4	Bonne	4
6a	Vallées étroites en "V"	variable forte	> 2 m	sableuse	très variable	3	faible	1	très faible	1	Faible	2
6b	Koris	< 1	> 2 m	argilo-sableuse	bonne	4	moyen	2	faible	2	Moyenne	3
7a+7b+7c	Dépôts sableux éoliens	variable faible	> 2 m	très sableuse	bonne	4	bon	4	fort	5	Très bonne	5
8	Dépressions	< 1	1 à 2 m	argileuse	bonne	4	moyen	2	faible	2	Moyenne	3
10	Buttes	-	-	-	aucune	0	nul	0	non cultivable	0	Nulle	0

La carte résultante est la figure 38 présentée à la page suivante.

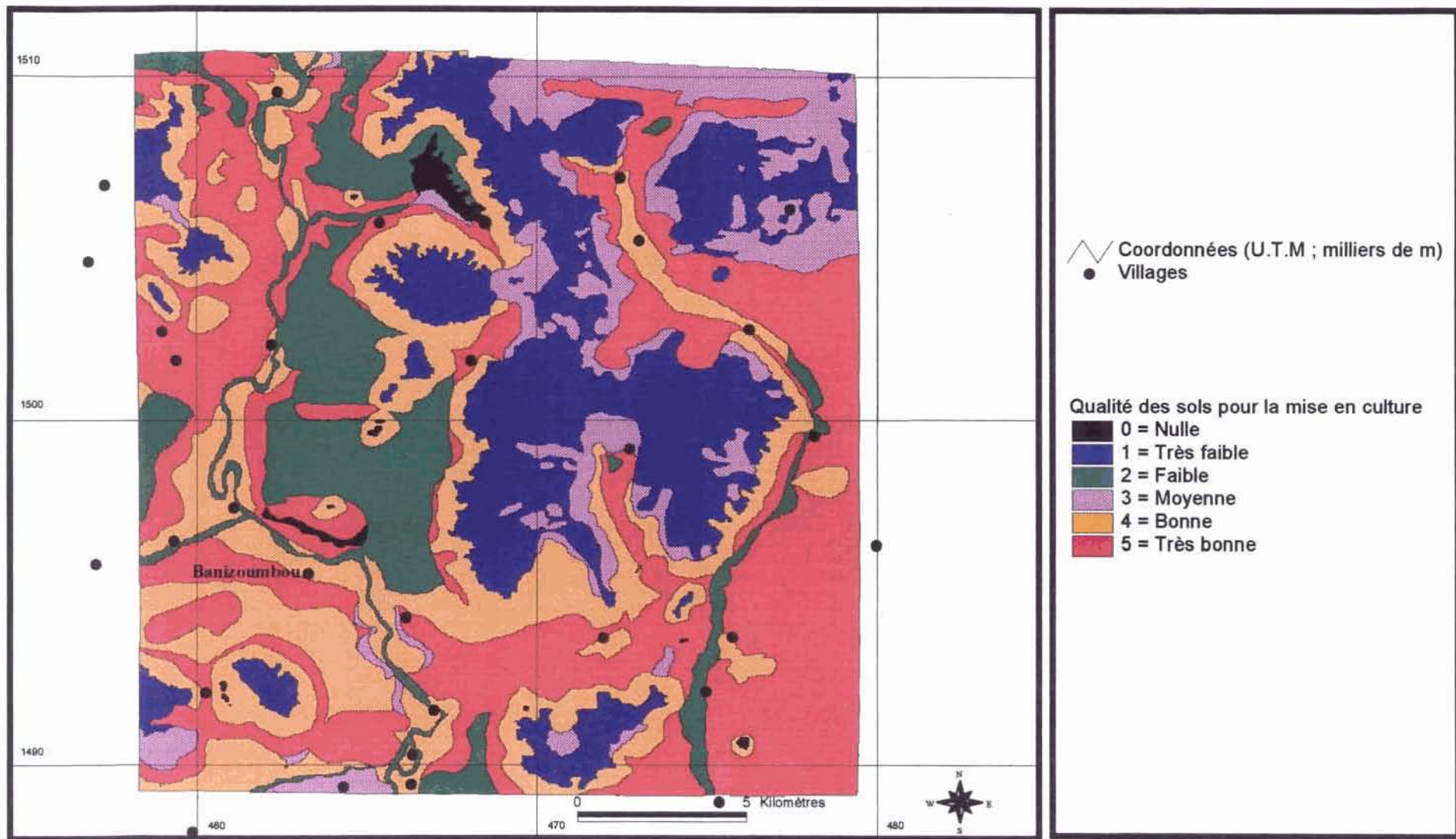


Figure 38 : Carte des qualités des sols (site de Banizoumbou, Niger)

Tableau 23 : Surfaces des différentes qualités de sols

Notes de qualité de sol	Surface (ha)	Pourcentage surfacique (%)
0	300	1
1	8899	20
2	5562	12
3	4854	11
4	10502	23
5	15156	33

Exceptés les buttes et les chanfreins très érodés non cultivables, les plateaux cuirassés, recouverts de végétation naturelle plus ou moins organisée en bandes, sont les moins aptes à la mise en culture (qualité 1). Ceci est dû essentiellement à la difficulté de défricher les bandes de végétation très dense et aux sols peu épais, argileux et très caillouteux, issus de la dégradation des cuirasses latéritiques. Les meilleurs sols (qualité 4 et 5), sableux et profonds, sont principalement les jupes et les chanfreins non érodés, les dépôts sableux éoliens en général (cordons dunaires ou versants sableux entre les jupes et les bas-fonds), et enfin les terrasses alluviales. Ils représentent plus de 50 % du territoire (56 %). Les sols dans le fond des vallées sèches (Koris, qualité 3) sont généralement plus riches mais plus lourds et donc plus difficiles à cultiver avec les techniques traditionnelles. Les sols dans les dépressions et les chanfreins non érodés (qualité 3) sont sur des pentes assez importantes, très soumis à l'érosion, avec un recouvrement ligneux assez important, tout ceci les rendant également plus difficiles à cultiver. Les ensablements sur plateaux et les dunes sur plateaux ont une qualité également moyenne (3) due essentiellement à leur pauvreté et leur mauvais comportement hydrique. Enfin les sols des vallées étroites en "V" ont une qualité encore moins bonne pour la mise en culture (qualité 2), étant donné leur pauvreté, leur exposition à l'érosion, leur fort recouvrement de ligneux.

Cette carte des qualités des sols constitue la *carte de disponibilité en terre* entrant dans l'élaboration du modèle d'utilisation de l'espace agricole.

7.4. Nature des relations entre les paramètres déterminants de la distribution spatiale des pratiques

Les règles du fonctionnement spatial des exploitations agricoles sont celles qui vont déterminer la distribution spatiale des pratiques agricoles sur un territoire donné. Un certain nombre de relations statistiques, issues des informations recueillies sur les 360 parcelles informées, sont testées, toutes parcelles confondues dans un premier temps, pour mettre en évidence les grandes tendances d'organisation spatiale et guider les règles adoptées *in fine* dans le modèle (cf. 7.3.2).

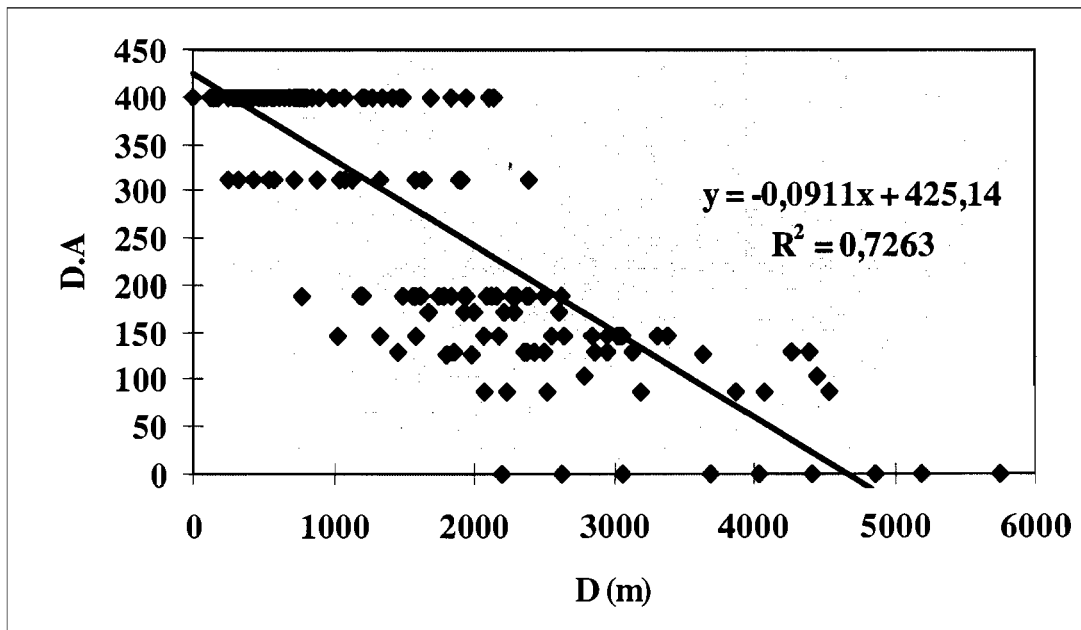
L'hypothèse de base, selon notre analyse du système agricole (chapitre 6), est que les classes de pratiques agricoles combinées (typologie des pratiques) se répartissent dans l'espace en fonction de la **disponibilité des terres** (carte de qualité des terres), de leur **accessibilité** (distance au village) et d'une espérance de **production** selon les besoins céréaliers de la population. Rappelons que nous cherchons à modéliser la

répartition spatiale des pratiques agricoles en fonction de paramètres aisément obtensibles, ce qui invalide par exemple les aspects d'accès foncier. Ces derniers, loin d'être négligés, sont utilisés pour interpréter a posteriori les résultats de la modélisation.

Dans un premier temps, sans distinguer les terroirs villageois, nous prenons ces trois éléments deux à deux pour appuyer nos hypothèses et surtout analyser la nature de leurs relations effectives. Cette analyse statistique de corrélation simple a pour objectif de décomposer les règles du modèle d'utilisation de l'espace agricole.

7.4.1. Influence de la distance au village sur les pratiques culturelles

La mise en relation des degrés d'artificialisation (associés aux classes des pratiques de la typologie ; cf. 7.7.2) et de la distance au village établit une courbe (Figure 39) qui met en évidence une relation linéaire simple. Autrement dit, la distance d'une parcelle agricole au village a bien une influence sur l'intensité de l'investissement (en temps, en techniques) que l'exploitant va fournir, quel que soit le village. Plus la distance est élevée, plus l'investissement agricole humain est faible. Les parcelles appartenant à une exploitation gérée par des Peul ou des Bella, ont été écartées, étant donné que le lieu de résidence de l'exploitant n'est pas le village zarma, mais des petits campements à proximité des parcelles. Dans ce cas, la distance au village principal zarma n'a en effet aucun sens. Ces parcelles représentent un faible pourcentage et leur exclusion n'entache pas le raisonnement spatial global sur la zone d'étude. Ceci dit, à l'avenir, pour préciser la complexité du fonctionnement spatial agricole, il serait intéressant de localiser ces campements peuls et de les intégrer dans le modèle comme points focaux, au même titre que les villages zarmas.



D = Distance au village en mètres ; D.A = Degré d'Artificialisation lié aux classes de pratiques combinées. A partir des 360 parcelles informées sur transects et par type d'exploitation

Figure 39 : Relation entre la distance au village et le degré d'artificialisation

La relation retenue ne permet pas de mettre en évidence de seuil, à proprement parlé, au delà duquel le degré d'artificialisation chuterait brutalement. Pour un même type de sol, les différentes pratiques combinées identifiées dans la typologie se succèdent, le long d'un gradient kilométrique autour des villages, des plus artificialisées au moins artificialisées. La plupart des parcelles cultivées, quelque soit le cycle cultural, se situent à moins de 3500 m des villages. Plus précisément, à chaque type de pratiques (6 classes de pratiques combinées : Classe A, la moins artificialisée à F, la plus artificialisée) peut être associé un intervalle de distance sur lequel elles dominent (Tableau 24). En effet, en dessous de 1500 m, 100 % des parcelles ont des pratiques de type E et F ; 75 % de type D entre 1500 et 2500 m ; 87 % de type C entre 2500 et 3000 m ; 66 % entre de type B entre 3000 et 3500 m et 98 % de type A au delà de 3500 m.

Tableau 24 : Fréquence des différentes pratiques appliquées sur les parcelles selon 5 intervalles de distance

	A	B	C	D	E	F	Total
<1500 m	0	0	0	0	5	95	100
]1500-2500 m]	4	1	11	75	7	2	100
]2500-3000 m]	9	0	87	4	0	0	100
]3000-3500 m]	16	66	18	0	0	0	100
> 3500 m	98	0	2	0	0	0	100

L'intervalle de distance pour chaque degré d'artificialisation est, malgré la tendance générale établie (figure 39), relativement important quelque soit le type de pratiques. L'explication de cette variation réside dans les autres facteurs de répartition spatiale des pratiques, à savoir d'une part la qualité et la répartition spatiale des sols, d'autre part la production escomptée selon les besoins céréaliers de la population. Chaque village est associé à un terroir villageois qui a une disponibilité et une répartition des terres agricoles spécifiques. Chaque village est associé à une population globale qui détermine un besoin spécifique de production céréalière.

7.4.2. Influence de la qualité des sols sur le choix des pratiques culturales

Globalement, sur l'ensemble des terres des quatre terroirs échantillonnés, les sols totalement érodés (qualité 0) et les plateaux cuirassés (qualité 1) ne sont pas cultivés. Les différentes classes de pratiques combinées se répartissent donc sur les sols de qualité 2, 3, 4 et 5. Il ressort de la figure 40 que la qualité du sol a bien une influence sur le choix des pratiques appliquées, à distance au village égale. Les données utilisées pour cette courbe sont celles recueillies sur l'ensemble des parcelles (transects et exploitations). Les calculs ont été faits pour l'année de l'enquête, c'est à dire 1994.

La gestion agricole est d'autant plus intensive que la qualité du sol est meilleure. Seuls 15 % des sols de qualité 2 subissent des pratiques très intensives de type E et F, contre 40 % pour les sols de qualité 3, 50 et 70 % pour les sols de qualité 4 et 5.

Inversement, les pratiques de type A sont celles qui sont majoritairement appliquées sur les sols 2.

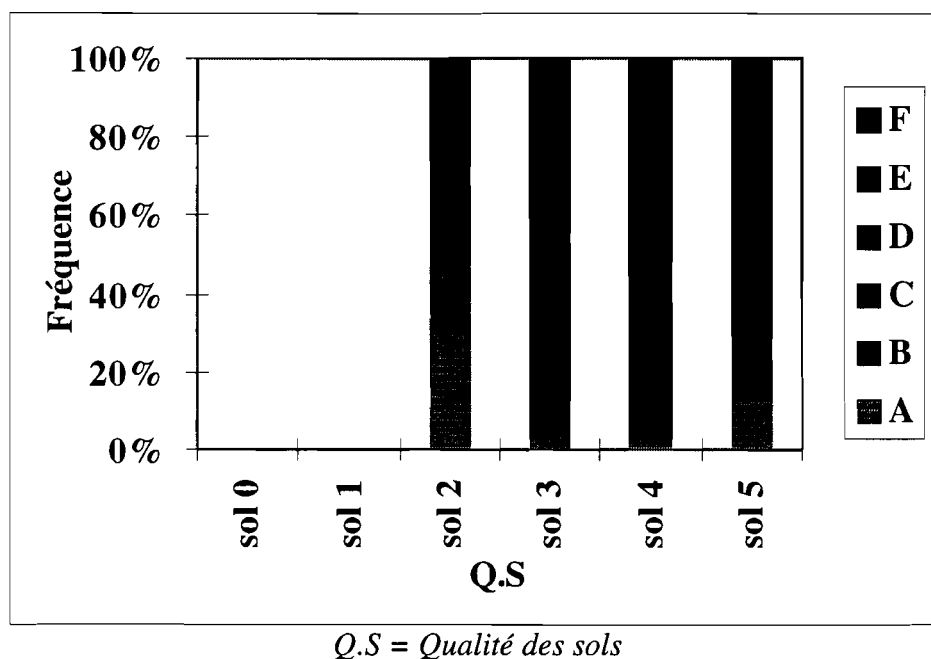


Figure 40 : Relation entre la qualité des sols et les pratiques agricoles appliquées

Il semblerait que les sols 5 soient un peu moins intensément cultivés que les sols 4, mais ceci peut être dû à d'autres facteurs déterminant la répartition spatiale des pratiques. Par exemple, les pratiques de type E et F sont appliquées près des villages. Or, autour des villages des terroirs échantillonnés, la qualité de sol la plus représentée est la qualité 4.

Ainsi, la répartition des différentes pratiques sur les sols ne dépend pas seulement de leur qualité, mais aussi de leur répartition spatiale sur le terroir villageois. Une terre de bonne qualité, mais loin du village, ne sera pas forcément intensément cultivée. La densité de population du village va déterminer un besoin céréalier plus ou moins fort et donc une extension des zones cultivées et une intensification de l'exploitation agricole plus ou moins forte.

7.4.3. Influence des pratiques culturales sur la production moyenne annuelle sur la zone d'étude

Etant donnée la prépondérance de la culture du mil et la priorité donné au mil dans l'alimentation des populations en zone rurale (cf. 6.1.1), les productions dont nous parlons ne concernent que les productions en mil. A l'avenir, il pourrait être envisagé de complexifier le système en intégrant d'abord les productions de sorgho, et, au delà, les productions de niébé, d'oseille, les cultures maraichères (sésame, arachide,...). Cette simplification dans les chiffres de production n'est pas gênante dans un premier temps, car les cultures autre que le mil sont, soit peu représentées en terme de superficie, soit associées à la culture du mil. Leur exclusion n'empêche pas de comprendre, à l'échelle du terroir villageois, la logique d'utilisation de l'espace agricole. Leur intégration serait

cependant fructueuse pour la compréhension du comportement alimentaire de la population et de la logique d'exploitation agricole tenant compte de la micro-économie agricole.

Il est nécessaire de bien définir la différence entre la production moyenne annuelle du cycle cultural (PMAC) et le rendement annuel (R). La PMAC est calculée en tenant compte des années de jachère (production de mil nulle) et de culture (à rendement R). Le rendement annuel est la production annuelle moyenne des années de cultures. Sur une parcelle agricole où il y a peu d'apport de fertilisants organiques, où la jachère est la principale technique de récupération de la fertilité du sol, les rendements durant la première année de remise en culture sont bons ; ils diminuent au fur et à mesure des années de culture jusqu'à une remise en jachère. Les cultivateurs zarmas ont une terminologie précise pour désigner les différentes années de mise en culture après une jachère en relation avec l'évolution de leur production annuelle. La première année de mise en culture, après une jachère où la production est assez bonne, est appelée "*Sakara*". La deuxième année est celle où la production est maximale : elle est appelée "*Lalibanda*". La troisième année, la production commence légèrement à diminuer : elle est appelée "*Lalibanda keyna*". A partir de la quatrième année, les productions diminuent significativement et ces différents états sont appelés globalement "*Koari-koari*".

Les cycles de culture appliqués sur différents espaces dans un terroir villageois définissent des surfaces en jachère et en culture. Ces surfaces (espace sous l'emprise des cultures), d'une année donnée, déterminent la production en mil de l'année. C'est bien en fonction de la PMAC et non seulement en fonction de R que l'exploitant va gérer ces parcelles et que les villageois vont gérer leur espace agricole dans l'objectif de satisfaire au mieux leurs besoins céréaliers pour une année donnée.

Plus la durée de la jachère est longue dans le cycle cultural, plus la PMAC va diminuer. Plus l'intensité des intrants est faible, plus le rendement annuel va diminuer et donc la PMAC. Le résultat de la mise en relation entre la PMAC et les degrés d'artificialisation associés aux différentes classes de pratiques combinées est une courbe exponentielle avec un coefficient de corrélation de 0,67 (Figure 41). Autrement dit, plus le degré d'artificialisation est fort et plus la PMAC augmente rapidement. Les données utilisées pour établir ce graphique ne concernent que les 87 parcelles des 32 exploitations sélectionnées. Sur les parcelles transects, nous n'avons en effet aucune information concernant la production en mil.

Au delà d'un degré d'artificialisation (300), la PMAC augmente brutalement. Les jachères ne sont en effet quasiment plus pratiquées et l'intensification des intrants en particulier et du travail des hommes en général, assure un rendement annuel plus stable d'une année sur l'autre, sans diminution ou presque au cours des années de culture.

Ceci dit, pour un même degré d'artificialisation, malgré la tendance générale établie (figure 40), les valeurs de PMAC sont variables. La PMAC résulte en effet non seulement des pratiques appliquées par le paysan, mais aussi de la qualité des sols.

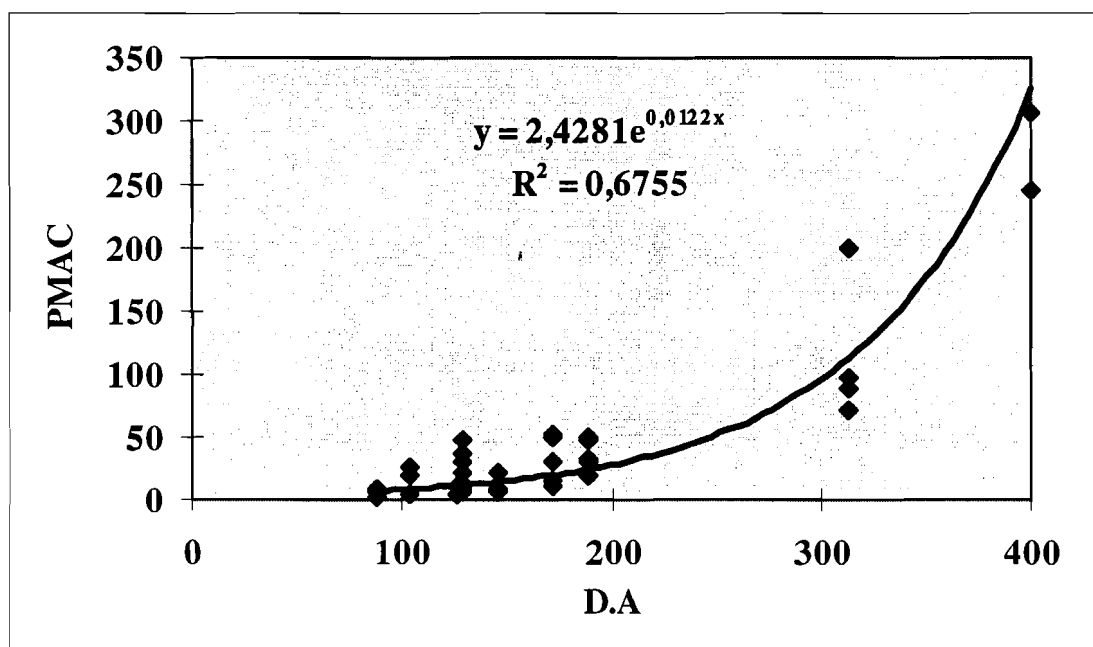
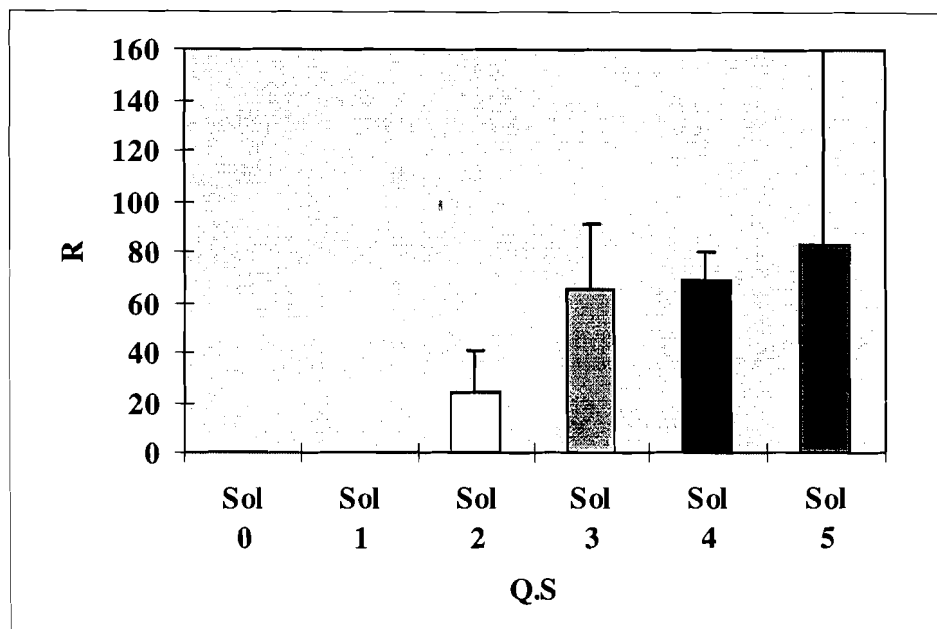


Figure 41 : Relation entre le degré d'artificialisation et la Production Moyenne Annuelle par Cycle culturel (PMAC, en kg/ha/an)

7.4.4. Influence de la qualité des sols sur le rendement annuel dans la zone d'étude

La Figure 42 met en relation la qualité des sols et le rendement annuel des parcelles mises en cultures de 1989 à 1993, quelque soit le cycle culturel auquel elles appartiennent, quelle que soit l'intensité des intrants. Les productions n'ont pas été mesurées mais calculées à partir du nombre (annoncé par les cultivateurs eux-mêmes) de bottes de mil récoltées par parcelle agricole (les 87 parcelles des 32 exploitations sélectionnées) pour les 5 années précédant l'année de l'enquête (1994), délai au delà duquel les paysans ne gardent pas une mémoire fiable de leur récolte. Les rendements annuels ont été ainsi calculés à partir de la surface de chaque parcelle. Des pesées effectuées chez les paysans ont permis de déterminer la relation entre botte de mil et kilogrammes de grains : 1 botte représente en moyenne 10 kg de grains de mil (cf. 6.4.5).

Sur les sols de qualité 0 et 1, le rendement est nul puisqu'il n'y a pas de cultures. Sur les sols de faible qualité (2), les rendements moyens sont très faibles (environ 20 kg/ha). Dès que l'on passe à des qualités de sols supérieures, les rendements augmentent rapidement. Ils sont multipliés par trois en moyenne entre les sols de qualité 2 et 3. Par contre, entre les sols de qualités moyenne à très bonne (3, 4 et 5), les rendements varient peu. La qualité des sols n'est plus aussi contraignante que pour les sols de qualité inférieure. Le rendement va dépendre d'avantage des autres facteurs de production, en particulier les pratiques agricoles.



R = Rendement annuel ; Q.S = Qualité des sols

Figure 42 : Relation entre le rendement annuel (kg/ha/an) et la qualité des sols

7.5. Conception et mise en oeuvre du modèle d'utilisation agricole de l'espace

A partir de l'analyse du fonctionnement du système agricole (chapitre 6) et des lois établies entre les différents paramètres déterminant la distribution spatiale des pratiques agricoles sur les terroirs villageois échantillonnés, il s'agit de déterminer des règles d'utilisation agricole de l'espace au sein d'un terroir villageois, suffisamment simples pour construire un logiciel de simulation du fonctionnement spatial agricole applicable à l'ensemble des terroirs villageois de la zone d'étude. Autrement dit, il s'agit à la fois de prendre du recul par rapport aux données recueillies, afin d'identifier les relations fondamentales entre les différents éléments du système agricole, et de s'appuyer sur des techniques simples de modélisation.

7.5.1. Conception du modèle d'utilisation agricole de l'espace

Trois principes fondamentaux, concernant le fonctionnement agricole au sein des terroirs villageois, ont été privilégiés pour la conception du modèle :

- 1- Les villageois ont la volonté de satisfaire au mieux leurs besoins céréaliers sur leur propre terroir villageois. Les besoins peuvent ou non être satisfaits.
- 2- Les villageois cherchent à optimiser le rapport entre:

- . la **production** en mil obtenue selon les pratiques culturales appliquées sur une parcelle de superficie constante, et d'une qualité de sol déterminée.

- . l'"**effort**" nécessaire pour atteindre cette production, en fonction des pratiques appliquées sur la parcelle et de sa distance au village.

3- Il existe une **distance seuil** (distance au village) au delà de laquelle l'effort nécessaire pour appliquer des pratiques culturales intensives devient très important par rapport aux autres pratiques. Cette distance seuil varie en fonction des besoins totaux en mil de la population. Autrement dit, plus ces besoins sont importants, plus la zone des pratiques intensives autour du village s'agrandit. Il y a intensification agricole sur le territoire.

Ces règles proviennent d'un raisonnement simple, qui considère que le paysan va privilégier les parcelles proches du village, sur les sols les meilleurs, en y appliquant le maximum de soins (apport de fumier, sarclage, meilleurs semences, surveillance, etc...). Au contraire, il n'utilisera les parcelles éloignées et/ou sur des sols de moindre qualité qu'en cas de besoin absolu (pression démographique par exemple) ou par « opportunisme » (abondance de main d'oeuvre, début de saison pluviométrique prometteuse, etc...)

A partir de ces principes de base, pour chaque point de l'espace (dont on connaît la distance au village et la qualité du sol) sur un terroir villageois, le modèle doit être capable d'évaluer l'**intérêt** pour un paysan d'appliquer chacune des pratiques combinées de la typologie. Il doit ensuite être capable d'associer à ce point de l'espace, la classe de pratiques pour laquelle l'intérêt est maximum. Une carte d'Unités de Pratiques Homogènes (U.P.H) peut ainsi être générée automatiquement (cf. chapitre 8.).

7.5.2. Formalisation du modèle théorique et développement du logiciel de simulation SIGEST

Le modèle théorique apparaît sous la forme d'un diagramme objet dont le formalisme a été présenté dans le paragraphe 5.2.3. Cette formalisation a été réalisée en collaboration avec Olivier Gayte (Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement, actuellement à ESRI-France). Le développement du logiciel de simulation a été entièrement réalisé par ce dernier.

Le diagramme objet est nécessaire car il structure le modèle théorique. Il représente un modèle conceptuel structuré (Figure 43) qui permet le développement des outils informatiques.

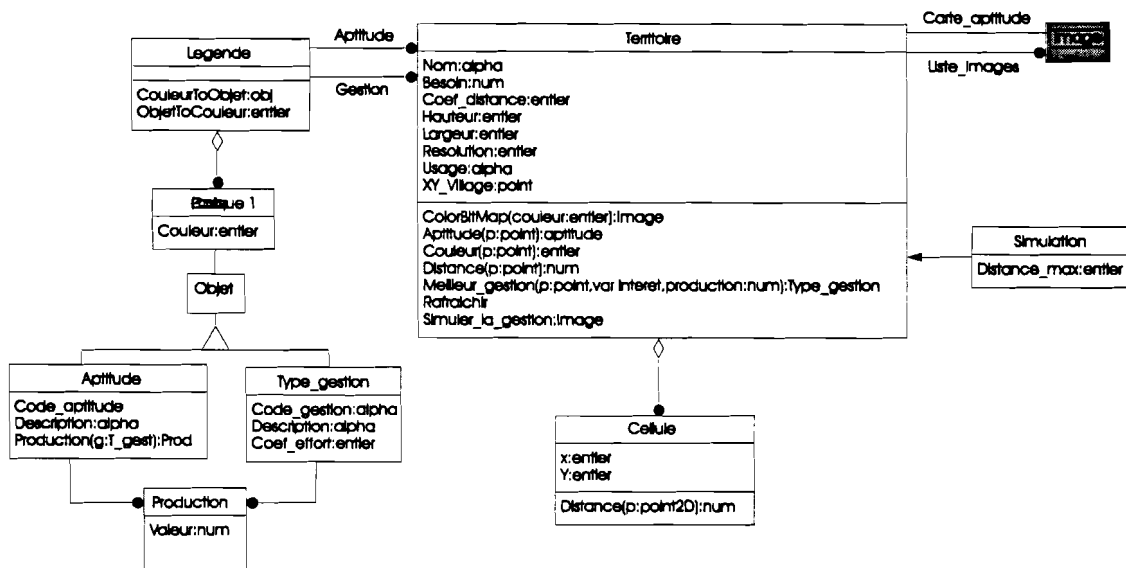


Figure 43 : Diagramme objet du modèle de simulation d'utilisation agricole de l'espace sur un terroir villageois

Ce modèle objet conceptuel a ensuite été implémenté à l'aide du langage Delphi 2 (Pascal objet) de Borland sur Windows 95. Le logiciel développé (Figure 43) a été baptisé SIGEST (Simulation de la GESTion). Il s'applique à un territoire donné (dans notre cas, un terroir villageois), décrit par :

- des attributs fixes et propres à chaque territoire :
 - . limites du territoire (cf. 7.6),
 - . localisation du centre villageois,
 - . carte des qualités de sol (cf. 7.3).
- des paramètres de simulations modifiables :
 - . les besoins en mil, liés à la population, propres à chaque territoire (cf. 7.7.1) ;
 - . la production en mil (Pm), liée aux pratiques et à la qualité des sols, identique pour tous les territoires de la zone d'étude (cf. 7.7.4) ;
 - . l'effort (E) lié aux pratiques culturales (variables selon le degré d'artificialisation lié aux pratiques et selon la distance au village), identique pour tous les territoires de la zone d'étude (cf. 7.7.3) ;
 - . la distance seuil (k) liée à la population (à travers les besoins en production céréalière), donc propre à chaque territoire (cf. 7.7.2).

Le logiciel SIGEST calcule l'intérêt (I) pour un paysan d'appliquer chacune des pratiques combinées de la typologie pour chaque point de l'image selon la formule suivante :

$$I = P_m / (E^{d/k})$$

P_m = Production en mil

d = distance au village du point de l'image

E = Effort ; doit avoir une valeur comprise entre 1 et 2.

k = distance seuil

Le logiciel SIGEST permet d'obtenir rapidement, une fois tous les intrants du modèle paramétrisés (cf. 7.3.2.3.), une carte des Unités de Pratiques Homogènes (U.P.H) en format raster, c'est à dire sous forme de pixels (.BMP) sur un territoire donné. Il permet également de modifier rapidement les paramètres de simulation ; ce qui facilite l'aller-retour entre le résultat de la simulation et les intrants du modèle, nécessaire au calage du modèle. Ce logiciel utilise en effet un fichier texte (extension .ter) qui décrit le territoire et donne les paramètres de simulation.

Pour chacun des terroirs, il y a donc une *carte de structure* du territoire (limites, localisation du centre villageois), une *carte de qualité des sols* et un *fichier texte*. Les annexes 10 et 11 montrent respectivement les entrées et sortie du modèle SIGEST (Annexe 10) et une copie d'écran du logiciel SIGEST (Annexe 11).

7.6. Les terroirs modélisés

Le village est l'unité sociale privilégiée dans notre démarche de spatialisation des pratiques agricoles. A un village est associée une population qui détermine un besoin global en mil. La création d'un village est directement liée à la recherche de terres agricoles pour subvenir aux besoins des familles. A un village est associé un *terroir villageois*, considéré comme l'ensemble des terres cultivées ou non sur lesquelles le *chef de village* a un pouvoir d'attribution des terres. Sa délimitation est liée à priori à l'extension des terres du village jusqu'aux bordures des terres des villages avoisinants. C'est à cette échelle que nous opérons pour la modélisation spatiale d'utilisation des terres agricoles. (cf. 4.2.1.3).

Les règles du modèle d'utilisation agricole décrites dans le chapitre précédent supposent qu'à un terroir villageois est associé un et un seul village et que chaque terroir est bien individualisé. Or, comme nous l'avons décrit dans le chapitre 4.2.3.3, les terroirs réels, définis par les chefs de village eux-mêmes, ne répondent pas forcément à ces exigences du modèle. En effet, selon leur état correspondant aux différentes étapes du processus dynamique de scission des terroirs villageois, nous sommes la plupart du temps confrontés aux deux problèmes suivants :

- le chevauchement de leurs limites : souvent lié à la non reconnaissance des terroirs plus récents par les plus anciens.
- le fait que plusieurs villages peuvent être situés dans un même terroir ; ce qui pose un problème pour connaître, au sein d'un même terroir, la limite d'exploitation de l'espace entre les villages.

Au moyen d'une modélisation empirique, nous avons donc cherché à construire de nouvelles unités, fondées sur le principe : un terroir, un village, correspondant mieux à la zone *réelle* d'exploitation des terres agricoles par un village et plus seulement à la zone sur laquelle un chef de village a un pouvoir d'attribution des terres.

Pour ce faire, nous avons cherché à construire des polygones centrés sur les villages, dont la surface et les limites sont pondérées par le "poids" de chacun des villages et la distance des villages entre eux. Le poids de chaque village est exprimé par le nombre d'habitant, c'est à dire par le besoin en mil, et donc par des surfaces agricoles. Chaque point de l'espace a ainsi été associé au village dont la valeur ($\sqrt{\text{population}}/\text{distance au village}$) est maximale.

Plus précisément, les étapes techniques pour la construction de ces terroirs modélisés sont les suivantes :

- Création d'un plan raster pour chaque village de la zone d'étude, la valeur des pixels étant $(1/\text{distance au village})$. Autrement dit, plus on s'éloigne du village, plus la valeur est faible.
- Multiplication de cette valeur par $\sqrt{\text{population du village}}$. Autrement dit, plus la population est forte, plus la valeur du pixel est forte. Ceci dit l'importance donnée à la distance est supérieure à celle donnée à la population puisque l'on prend la racine de la population.
- Création d'une seule image raster, dont la valeur du pixel est la valeur la plus forte du même pixel dans les n plans associés aux n villages. Le pixel est alors associé au village dont dépend cette valeur maximale.

Cette série de traitement d'images et d'opérations numériques a été élaborée par Sylvain Labbé (Laboratoire Commun de Télédétection CEMAGREF/ENGREF, Maison de la Télédétection), avec le logiciel Arcinfo, à partir de la carte de localisation des villages de la zone d'étude et de la population associée. La figure 44 donne la carte des terroirs ainsi modélisés sur le site de Banizoumbou, superposée à la carte des terroirs réels.

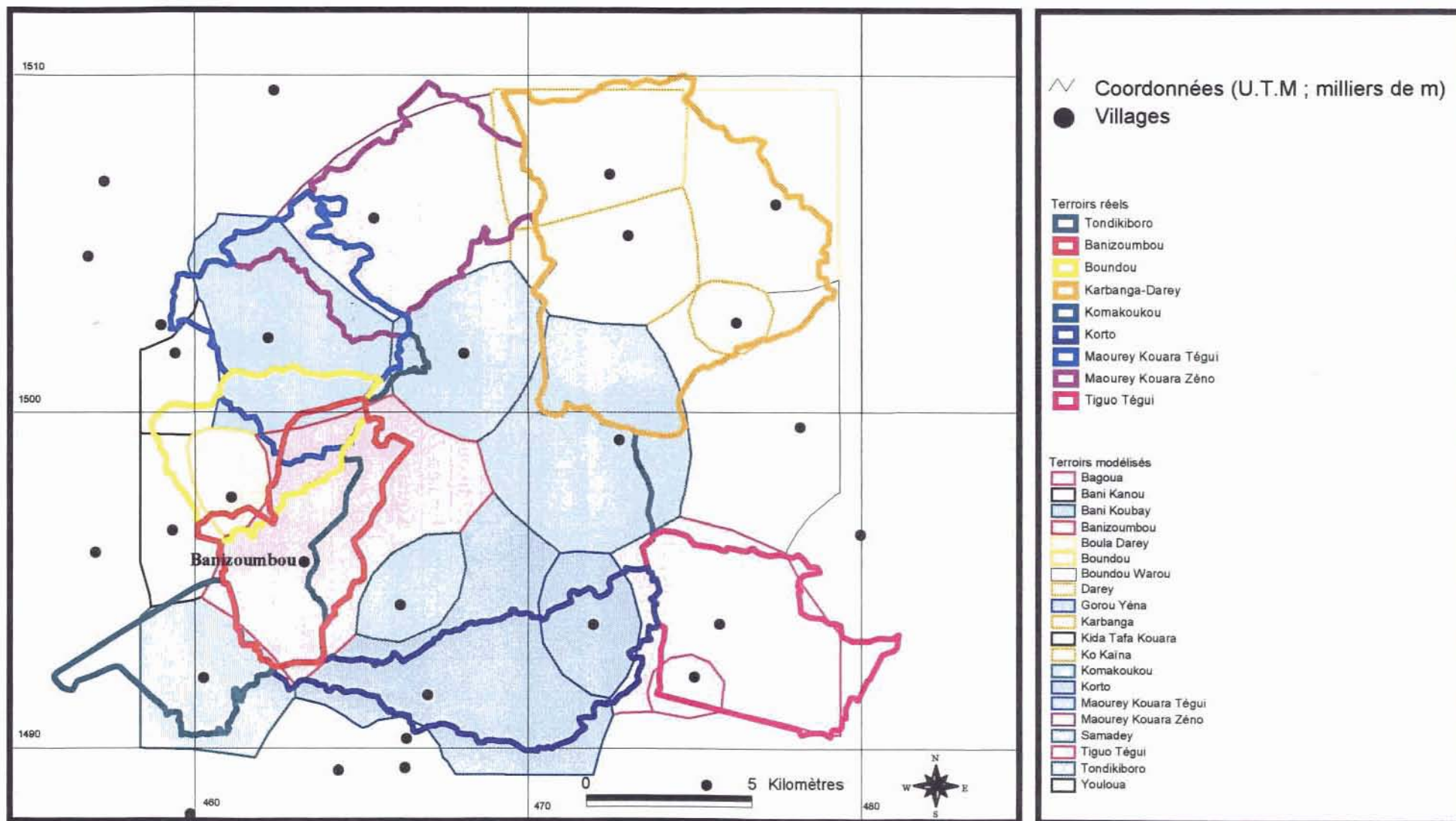


Figure 44 : Carte des terroirs modélisés superposés aux terroirs réels (site de Banizoumbou, Niger)

La coïncidence entre les terroirs modélisés et les terroirs réels (calculée tel que le montre la figure 45) est satisfaisante.

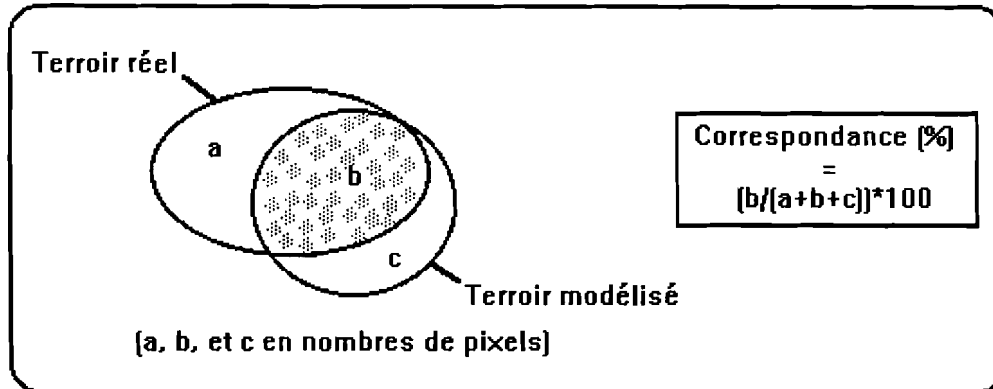


Figure 45 : Mode de calcul de la correspondance entre les terroirs réels et les terroirs modélisés

En effet, les taux de recouvrement ainsi établis sont en moyenne de 65 à 70%, les plus élevés pouvant atteindre environ 90% (Tableau 25).

Les plus faibles taux de recouvrement correspondent en fait aux villages dont les limites de terroirs sont conflictuelles avec les terroirs voisins (chevauchement des limites réelles ; cas de Banizoumbou et de Boundou) ou encore aux terroirs réels incluant plusieurs villages (cas de Tondikiboro comptant actuellement 3 villages : Tondikiboro installé depuis près de 2 siècles, Sama Dey installé depuis environ 80 ans et Bani Koubay installé seulement en 1992).

Tableau 25 : Correspondance entre terroirs modélisés et terroirs réels (%)

Terroirs	Correspondance (%)
Tiguo Tégui	89
Komakoukou	89
Maourey Kouara Zéno	73
Maourey Kouara Tégui	73
Darey	72
Korto	64
Banizoumbou	58
Tondikiboro	46
Boundou	27

Cette modélisation des terroirs, à partir d'une équation extrêmement simple, est très instructive.

Globalement, dans le contexte actuel de la zone d'étude (croissance démographique, saturation de l'espace agricole,...), la complexité des facteurs socio-économiques et culturels, qui vont définir les limites d'un terroir réel, pourrait être réduite (à 65-70%) à la pression des hommes sur le milieu pour satisfaire leurs besoins en cultures, aux forces de pression pour l'exploitation des terres se propageant à partir d'un centre villageois jusqu'à la limite des forces de pression des villages avoisinants.

Dans l'optique d'une modélisation, cette correspondance est satisfaisante dans un premier temps. Les contre-exemples permettent de mettre en évidence des phénomènes connus, tels que les conflits fonciers ou le processus dynamique de scission des terroirs anciens ("un terroir, plusieurs villages" vers "un terroir, un village", cf. 4.2.3.3.). De plus, cette modélisation rend possible l'extrapolation à des zones plus vastes en gardant la même précision sur les phénomènes observés. Il suffit de localiser les villages et d'en connaître la population. Rappelons qu'au Niger, et en Afrique en général, il n'y a pas de cadastre et que la délimitation d'un terroir réel est un travail pénible et délicat, étant donné les conflits sous-jacents.

Cependant, des améliorations pourraient être envisagées à l'avenir en tenant compte de l'ancienneté des villages (augmenter le poids du village avec son ancienneté = poids des lignages) et de la distribution spatiale des terres non cultivables ou non cultivées (qualité de sols = 0 et 1). En effet, certains terroirs modélisés, comme celui de Bani Koubay, sont surdimensionnés car ils englobent des surfaces importantes de plateaux cuirassés.

7.7. Paramétrisation du modèle spatial d'utilisation agricole

7.7.1. Le fichier de description de territoire utilisé par SIGEST

La structure du fichier texte de description de territoire utilisé par SIGEST permet de mieux comprendre le fonctionnement de l'application et les besoins de paramétrisation du modèle (cf. 7.7.2 à 7.7.5). La figure 46 montre la structure du fichier texte à partir de l'exemple du terroir (modélisé) de Banizoumbou.

```

1 // Fichier Baniz Version 1.0
2 // 1997/04/24
3
4 Begin
5 banizoumbou // Nom du territoire
6 Agriculture // Usage
7 C:\Banizoumbou\Dynamique\Baniz Delphi\Data\banizoumbou\bani.bmp //
8 Localisation de la carte d'aptitude
9 10000 // Largeur de l'image en m
10 174920 // Besoins
11 10 // Distance de doublement de l'effort
12 141 // X Village
13 214 // Y Village
14
15 // Gestion
16 // Couleurs disponibles clAqua, clBlack, clBlue, clDkGray,
17 // clFuchsia, clGray, clGreen, clLime, clLtGray, clMaroon,
18 // clNavy, clOlive, clPurple, clRed, clSilver, clTeal, clWhite, clYellow
19 Begin
20 clGray A Artificialisation très faible 1,043
21 clBlue B Artificialisation faible 1,07
22 clTeal C Artificialisation faible à moyenne 1,108
23 clPurple D Artificialisation moyenne 1,198
24 clFuchsia E Forte artificialisation 1,78
25 clRed F Artificialisation max 1,99
26 End
27
28 // Aptitude
29 // Code couleur -> Code aptitude -> Aptitude ->Type gestion i -> Production pour i
30 Begin
31 16760832 2 Faible à moyennel 19 2 22 3
32 25 4 31 5 118 6 128
33 32768 3 Moyenne 1 20 2 25 3 29 4
34 35 5 123 6 133
35 16761024 4 Bonne 1 22 2 28 3 35 4
36 48 5 128 6 143
37 8429823 5 Très bonne 1 24 2 29 3 37
38 4 53 5 145 6 165
39 End

```

Figure 46 : Structure du fichier texte utilisé par SIGEST (exemple du terroir de Banizoumbou)

Le commentaire de chaque ligne est donné ci-dessous : la colonne de gauche correspond aux numéros des lignes et la colonne de droite aux commentaires.

Lignes	Commentaires
1-4	Entête
5	Nom du territoire (terroir modélisé)
6	Type d'usage modélisé (pour l'instant il s'agit toujours d'utilisation agricole)
7-8	Localisation de la carte des qualités des sols
9	Largeur de l'image en mètres
10	Besoins du terroir en kg de mil par an (cf. 7.7.2)
11	Distance seuil k (cf. 7.7.3)
12-13	Coordonnées X et Y du village
14-18	Commentaires (aucun rôle)
19-26	<p>Typologie des pratiques culturelles combinées.</p> <p>Chaque ligne décrit une classe de pratiques combinées avec la codification suivante : Premier paramètre (ex : clGray) : Couleur qui doit être utilisée par le logiciel pour représenter l'Unité de Pratiques Homogènes à la sortie. Par exemple, la classe A (artificialisation très faible) sera représentée en gris (code clGray). Deuxième paramètre (ex : A) : La classe de pratiques combinées Troisième paramètre (ex : Artificialisation très faible) : description succincte du degré d'artificialisation correspondant aux pratiques Quatrième paramètre (ex : 1,043) : L'effort que le paysan doit fournir pour cultiver une parcelle selon les pratiques qu'il applique et la distance au village de la parcelle (cf. 7.7.4).</p>
27-29	Commentaires (aucun rôle)
30-39	<p>Tableau des valeurs de production moyenne annuelle par cycle cultural (PMAC ; cf. 7.7.5).</p> <p>Chaque ligne décrit un type de qualité de sols avec la codification suivante : Paramètre 1 (ex : 16760832) : Code de la couleur utilisée sur la carte de qualités des sols pour décrire la classe de qualité des sols. Paramètre 2 (ex : 2) : Code de la qualité des sols Paramètres 3 (ex : Faible à moyenne) : Description de la qualité des sols Paramètre 4 (ex : 1 19) : Production (ex : 19) sur une qualité de sol (ex : 2) donnée avec l'application de pratiques culturelles spécifiques (ex : 1). Les pratiques de type 1 correspondent à la classe de pratique A et ainsi de suite ; les pratiques de type 6 correspondant à la classe de pratiques F.</p>

7.7.2. Paramétrisation des besoins en mil par terroir villageois

Les besoins en mil en zone rurale correspondent à la quantité de mil consommée plus la quantité de mil nécessaire pour les semences. La consommation de mil est estimée à 210 kg par habitant et par an (cf. 6.1.1). La quantité de mil pour les semences est estimée à 5 kg/ha/an, sachant qu'il n'y a qu'une seule période de culture par an. Sur l'ensemble d'un terroir villageois, les besoins en mil sont donc calculés selon la formule suivante :

$$B_t = (210 * P) + (5 * S_c)$$

B_t = Besoins en mil pour un terroir (kg de grains de mil) ; P = Population du village ; S_c = Surface mise en culture (= surface semée en ha).

D'après les surfaces mises en culture en 1994 sur les 87 parcelles des 32 exploitations échantillonnées, et connaissant la population que représentent ces 32 exploitations, la surface mise en culture par habitant est calculée à une valeur de 0,82 ha/hab. Pour l'ensemble d'un terroir villageois, la surface totale mise en culture est estimée à : $0,82 * P$.

7.7.3. Paramétrisation de la distance seuil

L'une des hypothèses du modèle est qu'il existe une distance seuil, variable selon le village, au delà de laquelle l'effort à fournir pour les pratiques à fort degré d'artificialisation est beaucoup plus important. Cette distance seuil varie en fonction de la population du village, qui détermine une pression plus ou moins grande sur son territoire.

Sur les 360 parcelles des huit villages échantillonnés, la distance moyenne au village a été mesurée pour les parcelles sur lesquelles sont appliquées les classes de pratiques F (degré d'artificialisation maximum = 400) et les classes de pratiques E et F confondues (degré d'artificialisation encore très fort pour la classe E = 303). Les autres classes de pratiques ont un degré d'artificialisation très nettement inférieur (189 pour la plus élevée). A chaque village, est donc associée une distance moyenne au village (mesurée sur la carte) des pratiques à fort degré d'artificialisation (Tableau 26). Plus la population du village est importante, plus cette distance seuil devrait être importante.

Le rapport (population du village / distance seuil du village) a été calculée pour chacun des huit villages. La mise en relation de ce rapport avec la population donne une équation linéaire avec une coefficient de corrélation de 0,8 pour la classe de pratique F, et de 0,6 pour les classes de pratiques E et F confondues (Figure 47). La relation est ainsi, malgré un degré d'artificialisation peu différent, nettement meilleure pour les pratiques de type F exclusivement. Pour la paramétrisation qui s'en suit, nous ne travaillerons plus que sur la classe de pratiques F, c'est à dire avec le degré d'artificialisation maximal.

Tableau 26 : Relations entre la distance moyenne des pratiques à fort degré d'artificialisation (E et F), la population et le rapport « population/distance moyenne », pour les 8 villages échantillonnés

Villages échantillonnés	Population = P	Distance moyenne des pratiques de type E et F = $d_c(E,F)$	$P/d_c(E,F)$	Distance moyenne des pratiques de type F = $d_c(F)$	$P/d_c(F)$
Banizoumbou	817	1325	0,62	980	0,83
Bagoua	128	438	0,29	438	0,29
Darey	227	1432	0,16	1503	0,15
Karbanga	221	2060	0,11	1964	0,11
Samadey	156	662	0,24	657	0,24
Tondikiboro	283	640	0,44	615	0,46
Tiguo Tégui	523	669	0,78	680	0,77
Bani Koubay	107	1730	0,06	1704	0,06
Moyenne	307,75	1119,50	0,34	1067,63	0,36

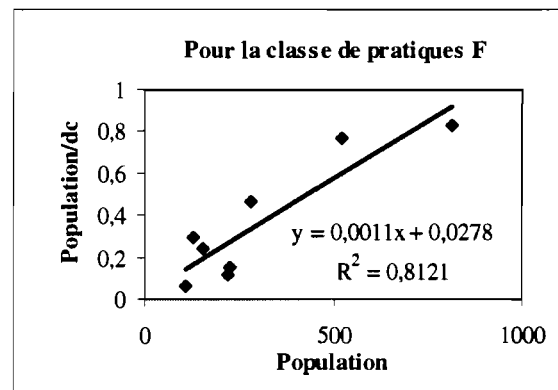
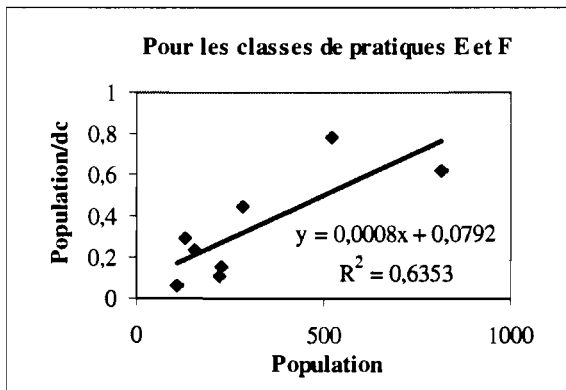


Figure 47 : Relation linéaire entre population et le rapport « population/distance moyenne des pratiques à fort degré d'artificialisation », pour les villages échantillonnés

A partir de cette vérification de notre hypothèse, il s'agissait de déterminer de manière automatique un coefficient (k_s) qui réponde à l'équation suivante :

$$D_s = k_s * P$$

D_s = Distance seuil appliquée dans le modèle ; k_s = coefficient variable selon le village ; P = Population du village.

A une population correspond un besoin en mil, satisfait ou non sur une surface agricole. A partir des distances moyennes mesurées sur les huit villages pour les parcelles sur lesquelles sont appliquées la classe de pratiques F, une surface est calculée selon la formule de la surface d'un cercle (πr^2 ; r = distance moyenne mesurée), conformément à l'hypothèse d'organisation en cercles concentriques des pratiques agricoles autour d'un village (Tableau 27).

Tableau 27 : Construction du coefficient ks

Villages échantillonnés	Distances moyennes mesurées pour la classe de pratiques F	Surfaces correspondantes autour des villages (ha)	Populations des villages	Coefficient = ks
Banizoumbou	980	302	817	2,709
Bagoua	438	60	128	2,125
Darey	1503	709	227	0,32
Karbanga	1964	1211	221	0,182
Samadey	657	136	156	1,151
Tondikiboro	615	119	283	2,383
Tiguo Tégui	680	145	523	3,602
Bani Koubay	1704	912	107	0,117
Moyenne	1067,625	449	307,8	1,574

La mise en relation de ce coefficient, calculé à partir de données mesurées avec la population des villages donne une équation logarithmique avec un coefficient de corrélation de 0,45 (Figure 4). Malgré ce coefficient assez faible (la courbe n'est établie qu'à partir de huit points correspondant aux huit villages), cette courbe est celle que nous retenons comme courbe d'abaque pour le calcul des coefficients de tous les villages de la zone d'étude.

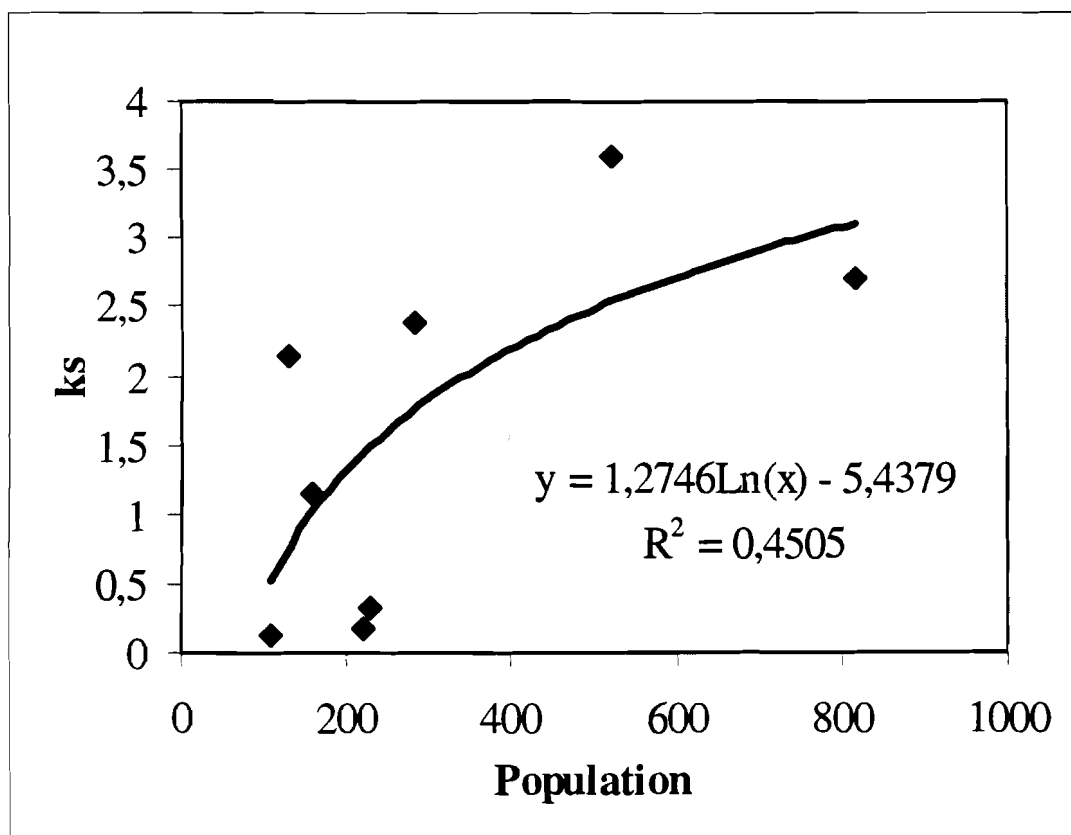


Figure 48 : Courbe d'abaque pour le calcul de ks de chacun des villages de la zone d'étude

Le coefficient k_s augmente rapidement avec la population puis, plus la population est importante, moins son augmentation est déterminante.

La distance seuil (k dans le fichier texte) appliquée dans le modèle est ainsi calculé de la manière suivante :

- détermination de k_s selon la courbe d'abaque ;
- détermination de la distance seuil appliquée ($ds = P \cdot k_s$) en mètres ;
- détermination par calcul de la distance seuil en pixels, sachant que dans le logiciel SIGEST, un pixel = 26,46 m* 26,46 m ;
- détermination, par itération entre le résultat de la simulation et la valeur de la distance seuil calculée, du k appliqué "in fine" dans le modèle.

En faisant des allers et retours entre le résultat de la simulation et la ds calculée sur les différents terroirs modélisés, nous avons en effet déterminé, par expertise, que ce k n'avait pas de sens en dessous de la valeur 6. Ainsi, tous les ds calculées inférieures à 6 ont été ramenées à la valeur 6, correspondant à 1510 mètres.

Tableau 28 : Liste des coefficients k appliqués dans le modèle pour chaque terroir villageois

Terroirs villageois modélisés	k_s	ds (m)	ds (10 pixels)	k
Maourey Kouara Zéno	2,29	1968	7	7
Maourey Kouara Tégui	1,78	1525	6	6
Boundou	1,31	1124	4	6
Boundou Warou	3,30	2832	11	11
Ko Kaïna	0,30	256	1	6
Boula Darey	2,11	1809	7	7
Gorou Yéna	0,99	851	3	6
Kida Tafa Kouara	1,11	952	4	6
Korto	3,26	2797	11	11
Komakoukou	2,33	2006	8	8
Youloua	2,01	1727	7	7
Bani Kanou	1,62	1396	5	6
Banizoumbou	3,11	2671	10	10
Bagoua	0,75	641	2	6
Tondikiboro	1,76	1510	6	6
Samadey	1,00	858	3	6
Karbanga	1,44	1239	5	6
Darey	1,48	1269	5	6
Bani Koubay	0,52	445	2	6
Tiguo Tégui	2,54	2182	8	8

7.7.4. Paramétrisation de l'effort lié aux pratiques culturelles appliquées

L'effort (E) du paysan, pour l'application des différentes pratiques culturelles, à une certaine distance du village, doit être compris entre les valeurs 1 et 2.

Chaque classe de pratiques combinées est associée à un degré d'artificialisation sur une échelle de 0 à 400. L'effort nécessaire (ep) pour l'application de ces pratiques,

quelle que soit la distance, est déterminé par le rapport : degré d'artificialisation/401. Cet effort augmente lorsque la distance au village augmente. L'effort total (E) lié aux pratiques culturelles et à la distance au village est calculé de la manière suivante :

$$E = \text{PUISSANCE} (1+ep; 1/c_d)$$

c_d = coefficient de distance ; ep = effort lié aux pratiques

Le coefficient de distance varie pour chacune des 6 classes de pratiques simplifiées. Il augmente quand le degré d'artificialisation diminue. Selon le tableau 28 du paragraphe 7.4.1., à partir des données récoltées, sur les premiers 1500 m autour des villages, 100 % des pratiques appliquées sont de type E et F (10 et 11) ; de 1500 à 2500 m, 75 % sont de type D (8 et 9) ; de 2500 à 3000 m, 87 % sont de type C (6 et 7) ; de 3000 à 3500, 66 % sont de type B (5) ; et au delà de 3500 m, 98 % sont de type A (3 et 4). Il y donc une certaine dominance de chacune de ces 6 classes de pratiques combinées sur des auroles concentriques différenciées autour des villages. A chacune de ces 6 classes de pratiques est associé un coefficient de distance de 1 à 5 (tableau 29).

Tableau 29 : Calcul de l'effort total (E) pour chaque classe de pratiques combinées

Classes de pratiques combinées	Classes simplifiées de pratiques combinées	Degré d'artificialisation global = D.A	D.A/401 = ep	Coefficient distance = c_d	Effort (E) = PUISSANCE(1+ep;1/ c_d)
1	0	0	0,00	5	
2		33	0,08	5	
3	A	88,2597	0,22	5	1,040588
4		103,397	0,26	5	1,046949
5	B	126,286	0,31	4	1,070842
6	C	129,143	0,32	3	1,097529
7		145,333	0,36	3	1,10859
8	D	189,286	0,47	2	1,213274
9		172,857	0,43	2	1,196271
10	E	313,571	0,78	1	1,781974
11	F	400	1,00	1	1,997506

Pour chacune des 6 classes simplifiées de pratiques combinées, il y donc une valeur d'effort (E) minimum et maximum. Plusieurs allers et retours entre le résultat de la simulation et les valeurs de E choisies, sur l'ensemble des terroirs modélisés, nous ont amené à retenir, *in fine*, les valeurs suivantes.

Tableau 30 : Valeurs de E pour le modèle

Classes de pratiques combinées	Effort (E)
A	1,043
B	1,07
C	1,108
D	1,198
E	1,78
F	1,99

7.7.5. Paramétrisation de la production en mil

L'objectif de la simulation est de retracer l'extension des zones sous l'emprise des cultures (cultures + Jachères) autour d'un village dans un terroir villageois. La production que nous cherchons à déterminer est donc la Production Moyenne Annuelle par Cycle de culture (PMAC ; cf. 7.4.3) par hectare semé et pour une année pluviométrique faible (mais non "catastrophique"). La logique des calculs décrits ci-dessous fait partie des hypothèses fortes du modèle ; les chiffres annoncés sont par contre d'une précision dépendante des différentes sources bibliographiques utilisées et adaptées à notre démarche. Ces chiffres de production pourront être améliorés à l'avenir avec les données sur les rendements en mil et les systèmes agraires obtenues par Anneke De Row, agronome (IRD) sur la même zone d'étude. Une collaboration dans ce sens est en cours.

Les différentes étapes (Tableau 31) pour la paramétrisation des productions sont les suivantes :

- 1) R : Association des rendements en mil (kg/ha/an) estimés par Ada et Rockström (1993 ; cf. 6.2.1.1) aux différentes classes de pratiques combinées.
- 2) p : Application sur ces rendements du cycle cultural pour calculer la PMAC/ha récolté/an. A été calculé à partir des données de production en mil présentées par Sarah Gavian (1993) sur l'ensemble du Niger de 1950 à 1995, avec des années pluviométriques plus ou moins bonnes pour la culture du mil. Ces données nous ont permis de calculer une production moyenne annuelle, ainsi qu'un écart-type. Le rapport ((production moyenne - écart-type)/production moyenne) nous donne la valeur de 83 %. P₁ serait la PMAC pour les années pluviométriques peu favorables à la culture du mil. Ces années sont celles qui vont déterminer l'emprise des cultures d'un village sur un territoire.
- 3) p₁/2 : Division par deux de la PMAC pour les années pluviométriques peu favorables.

Ce qui marque le paysage (formes géométriques des parcelles agricoles), ce sont les hectares semés et non les hectares récoltés. Or, d'après le BDPA et SCET AGRI (1989, cf. 6.4.6), la surface semée correspond, en moyenne au Niger, à deux fois la

surface récoltée. Ce rapport est probablement d'autant plus important que l'on s'éloigne du village et que les pratiques appliquées témoignent d'une artificialisation faible. A l'heure actuelle, nous n'avons pas mis en oeuvre les moyens de pondérer ce rapport « surface semée/surface récoltée » en fonction de ces deux paramètres. Nous appliquons ainsi dans un premier temps le même rapport, quelles que soient les pratiques appliquées. A l'avenir, il faudrait envisager d'affiner la paramétrisation des productions en fonction de la pondération de ce rapport.

Tableau 31 : Calcul de la PMAC par hectare semé et par an pour chaque classe de pratiques culturales combinées

Classes de pratiques culturale combinées	Rendement (kg/ha/an) d'après Ada et Rockström (1993) = R	Durée du cycle cultural (durée des cultures/durée des jachères)	PMAC (kg/ha récolté) = p	PMAC (kg/ha récolté) pour les années peu favorables = p_1 = 83% de p	PMAC (kg/ha semé) = $p_1/2$
A	]70-150]	10,4/16	]28-59]	]23-49]	]12-25]
B	]70-150]	7,1/6,7	]34-77]	]28-64]	]14-32]
C	]100-200]	5,9/4,6	]56-112]	]47-93]	]24-47]
D	]100-200]	6,5/3,9	]62-125]	]52-104]	]26-52]
E	]300-400]	31,2/2,3	]279-375]	]232-309]	]116-155]
F	]300-400]	toujours cultivé	]300-400]	]249-332]	]125-166]

Les chiffres de production obtenus sont des fourchettes de production par classe de pratiques. Cette fourchette correspond à la variation de la PMAC selon la qualité des sols. La production est d'autant plus faible que la qualité des sols est faible (cf. 7.4.4). Plusieurs allers et retours, entre le résultat de la simulation sur l'ensemble des terroirs modélisés et les valeurs de production choisies, nous ont amené à retenir, *in fine*, les valeurs suivantes (Tableau 32).

Tableau 32 : Valeurs de production moyenne annuelle/ha semé (en fonction des classes de pratiques et des qualités de sols) retenues pour le modèle (kg/ha/an)

Qualités de sol	Classes de pratiques culturales combinées					
	A	B	C	D	E	F
1	0	0	0	0	0	0
2	19	22	25	31	118	128
3	20	25	29	35	123	133
4	22	28	35	48	128	143
5	24	29	37	53	145	165

A partir des règles du modèle spatial du fonctionnement agricole et de la paramétrisation du modèle, les Unités de Pratiques Homogènes (UPH) sont déterminées

(cf. 8.), grâce à une simulation automatique du territoire (modèle informatique SIGEST).

Nous avons choisi de détailler l'ensemble des hypothèses et des étapes nécessaires à l'élaboration d'un modèle complexe, afin de rendre transparente la démarche de spatialisation du fonctionnement agricole, qui nous semble fondamentale pour comprendre les logiques d'exploitation et surtout pronostiquer l'évolution du système.

Cette présentation détaillée permet de détecter les améliorations à apporter au modèle, à partir d'un recueil de données bien ciblé.

Il faut cependant retenir que la conception du modèle, une fois les hypothèses admises et validées, ne requiert que des paramètres aisément obtensibles, tels que la carte des sols, la localisation et la population des villages ; ce qui permet d'envisager son application à un niveau régional.

**Quatrième partie : UNE NOUVELLE STRUCTURATION DE
L'ESPACE POUR UNE INTEGRATION DES USAGES
MULTIPLES**

PREAMBULE

Nous nous proposons dans cette partie de présenter les résultats de nos travaux en terme de spatialisation, conduisant en particulier à une structuration de l'espace compatible avec les perceptions de diverses disciplines, et surtout l'expression spatiale du fonctionnement tant des systèmes socio-économiques qu'agro-écologiques.

Rappelons en effet que les Unités Spatiales de Références (U.S.R) sont construites à partir du croisement entre les Unités de Pratiques Homogènes (U.P.H ; chapitre 8) et les Unités Paysagères (U.P ; chapitre 9.). Les U.P déterminent les ressources (nature et quantité à l'hectare) suivant les différents types d'occupation du sol différenciés sur la zone d'étude : cultures, jachères, végétation naturelle. Les U.P.H résultent de la spatialisation du modèle de fonctionnement agricole présenté au chapitre précédent (chapitre 7). Elles permettent de déterminer les prélèvements et de quantifier les ressources sur une U.S.R en fonction du pourcentage surfacique des différents types d'occupation du sol qui les caractérisent.

Chapitre 8 : LES UNITES DE PRATIQUES HOMOGENES (U.P.H)

8.1. Les cartes des Unités de Pratiques Homogènes (U.P.H)

Comme le montre l'architecture physique du SIE Banizoumbou (Figure 27, cf. 5.2.5.), le logiciel SIGEST est conçu pour communiquer avec la base de donnée (SGBD) et le logiciel de gestion et traitement d'informations géographiques (S.I.G). Ce logiciel, comme nous l'avons déjà dit, a été créé par Olivier Gayte, informaticien à l'I.A.R.E. Pour des raisons de coûts et de délais, SIGEST est actuellement utilisé de manière autonome. Ce manque de communication avec les autres parties du système nous contraint à de nombreuses manipulations manuelles pour créer le fichier de description de chacun des terroirs modélisés, pour exporter les résultats de simulation par terroir vers le SIG, réaliser la carte des U.P.H sur l'ensemble de la zone, la valider et l'utiliser pour les divers traitements de croisements d'informations spatiales qui permettent de construire les Unités Spatiales de Référence. Nous ne rentrerons pas dans les détails techniques du transfert entre les résultats de simulation dans SIGEST et le SIG (Arcview) puisque cette démarche, à l'heure actuelle longue, est destinée à être améliorée dans le cadre du SIE-Roselt. Il s'agit dans tous les cas d'exporter les résultats de la simulation de chaque terroir dans le SIG, en gardant le géoréférencement, puis de rassembler tous les terroirs simulés sur une même couche d'information.

La simulation de l'exploitation de l'espace a été effectuée sur les 20 terroirs modélisés (20 villages) de la zone d'étude, dont on connaît la population et pour lesquels la carte de qualité des sols existait. Les résultats des simulations effectuées dans SIGEST, transférés dans le SIG, donnent une première carte des U.P.H en 8 classes (Figure 49) : les 6 types d'U.P.H correspondant aux 6 classes de pratiques culturales (de A à F) ; l'unité de type X représentant les zones pour lesquelles le modèle n'a simulé aucune intervention agricole de l'homme ("végétation naturelle"), et les plateaux cuirassés sur lesquels il n'y a pas encore de cultures.

Une simplification en 5 classes a été ensuite effectuée (Figure 50), dans l'objectif de croiser la carte des U.P.H avec la carte des Unités Paysagères (U.P ; 17 unités). L'unité de type 1 (rassemblant les types de gestion E et F) est caractérisée par une forte artificialisation, avec des cultures quasiment permanentes. La classe 2 (correspondant au type de gestion D) est caractérisée par une artificialisation moyenne, avec des jachères courtes (4 ans en moyenne). La classe 3 (regroupant les types de gestion B et C) est caractérisée par une artificialisation faible, avec des jachères assez longues, entre 5 et 7 ans. La classe 4 (regroupant les types de gestion A et X) est caractérisée par une artificialisation très faible avec des cultures sporadiques et aléatoires.

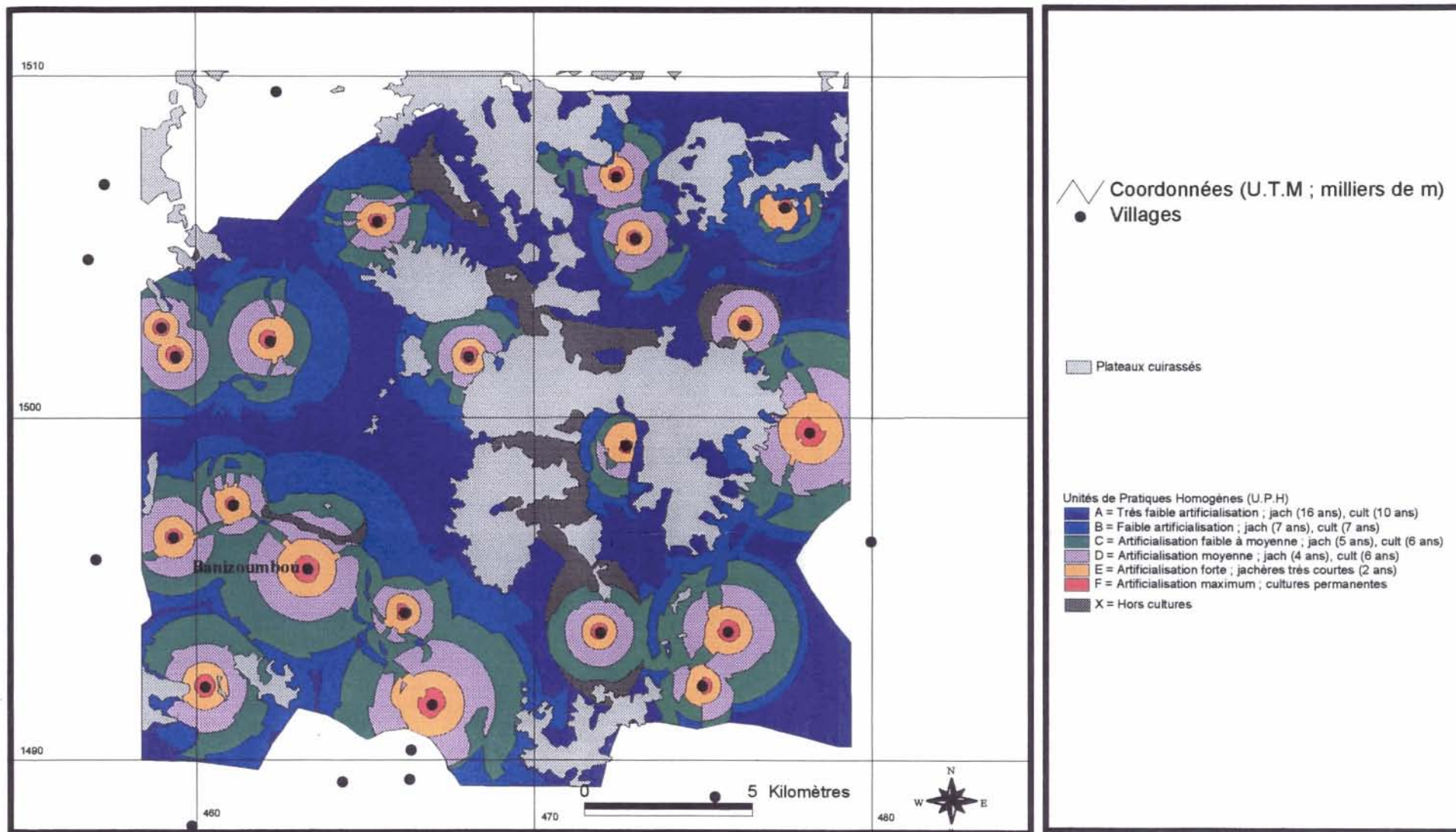


Figure 49 : Carte des Unités de Pratiques Homogènes en 8 classes (site de Banizoumbou, Niger)

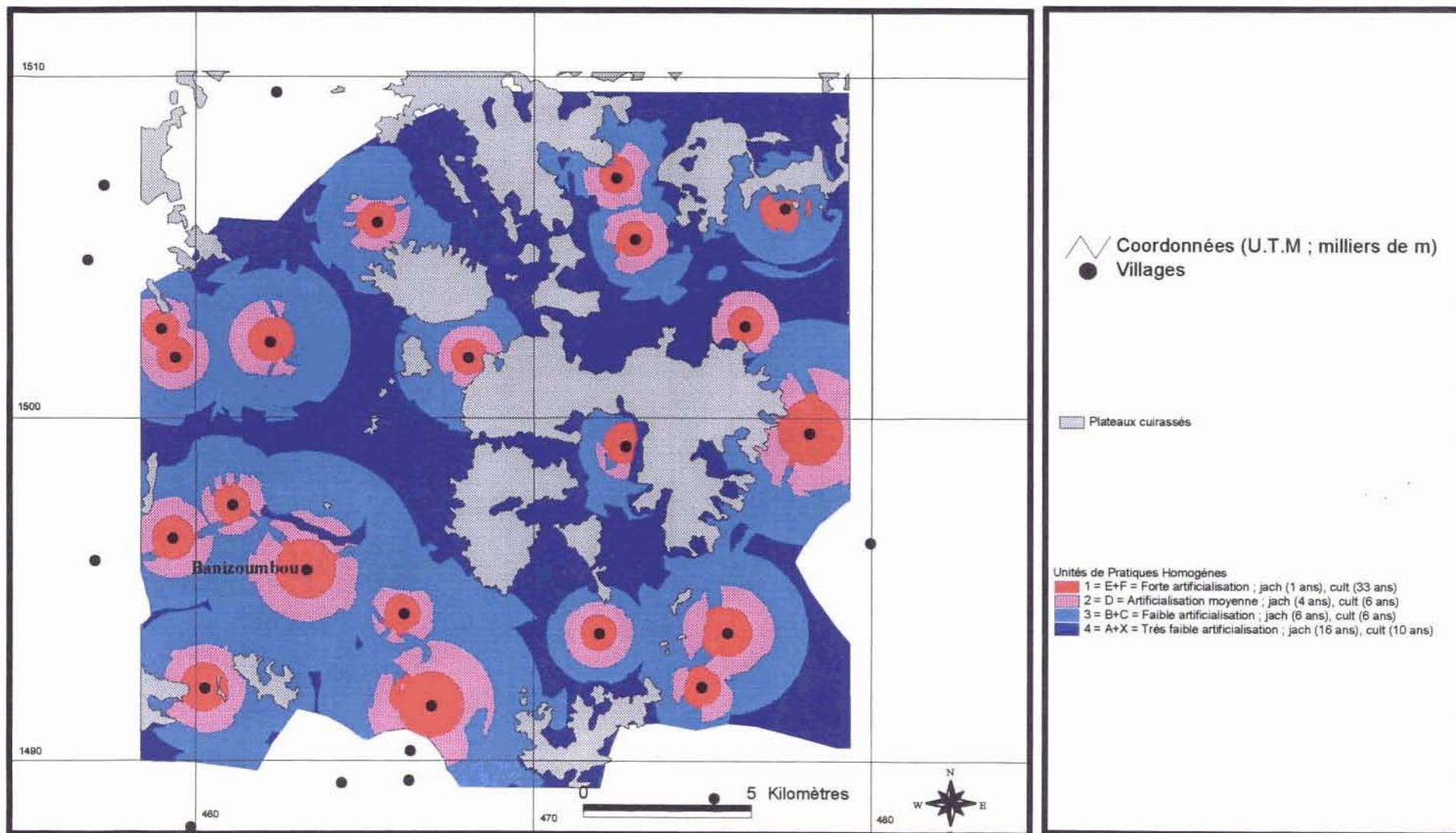


Figure 50 : Carte des Unités de Pratiques Homogènes en 5 classes (site de Banizoumbou, Niger)

Plus la qualité des sols pour la culture du mil est homogène autour du village et plus les U.P.H retracées par le modèle ont des contours lisses, selon des cercles concentriques autour du village car déterminés par les seuils de distance.

Les surfaces occupées par ces différentes Unités de Pratiques Homogènes (U.P.H) sont données dans le Tableau 33. L'unité A, prise individuellement, est la plus représentée (23%). Mais, globalement les unités à jachères assez longues (B+C) sont celles qui occupent la plus grande partie de l'espace (34 %). Dans la zone d'étude, l'espace agricole est encore assez peu intensément cultivé, et la jachère tient encore une place prioritaire dans le système de culture. Elle est encore très présente dans le paysage.

Tableau 33 : Surfaces occupées par les Unités de Pratiques Homogènes (UPH)

U.P.H (8 types)	Surface (ha)	Surface relative (%)	U.P.H (6 types)	Surface (ha)	Pourcentage surfaccique (%)
F	414	1	1	2529	7
E	2114	6			
D	4295	12	2	4295	12
C	6259	17	3	1280	34
B	6540	17			
A	8467	23	4	10117	27
X	1650	4			
Plateaux cuirassés	7438	20	Plateaux cuirassés	7438	20

En effet, à chacune des ces U.P.H est associé des surfaces relatives en cultures, jachères et "végétation naturelle" (Tableau 34) qui varient, selon les U.P.H, entre 0 et 62 %.

Tableau 34 : Pourcentage en cultures, jachères et végétation naturelle par UPH

U.P.H (8 types)	Surface semée (%)	Surface en jachères (%)	Surface en végétation naturelle	Total
F	100	0	0	100
E	97	3	0	100
D	60	40	0	100
C	55	45	0	100
B	50	50	0	100
A	38	62	0	100
X	0	0	100	100
Plateaux cuirassés	0	0	100	100

U.P.H (5 types)	Surface semée (%)	Surface en jachères (%)	Surface en végétation naturelle	Total
1	97	3	0	100
2	60	40	0	100
3	50	50	0	100
4	38	62	0	100
Plateaux cuirassés	0	0	100	100

Plus le degré d'artificialisation est faible et plus les surfaces en jachères sont importantes, la plus importante étant 62 % sur les U.P.H de type 4.

Une répartition plus fine des surfaces par type d'occupation du sol est effectuée en partant de l'hypothèse que, par exemple, pour une U.P.H caractérisée par un cycle cultural de 4 ans de jachères et 6 ans de cultures, sa composition du point de vue des surfaces en jachères/cultures est la suivante : 1/10 de jachères de 1 ans, 1/10 de jachères de 2 ans, 1/10 de jachères de 3 ans et 1/10 de jachères de jachères de 4 ans, et 6/10 de cultures (Tableau 35).

Cette composition est celle que nous utiliserons pour attribuer un chiffre de biomasse globale (cf. 10.) par Unité Spatiale de Référence (U.S.R), ces dernières étant obtenues par l'intersection des U.P.H et des U.P (Unité Paysagères).

Tableau 35 : Surfaces relatives en cultures, jachères d'âge différent, végétation naturelle dans les UPH

U.P.H (5 types)	Surfaces en jachères (%)								Surfaces en cultures (%)	Surfaces en végétation naturelle (%)	Total
	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans	6 ans	]6-10]	> 10 ans			
1	3	0	0	0	0	0	0	0	97	0,00	100
2	10	10	10	10	0	0	0	0	60	0,00	100
3	8	8	8	8	8	8	0	0	50	0	100
4	4	4	4	4	4	4	15	23	38	0	100
Plateaux cuirassés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
Total zone d'étude	5	5	5	5	4	4	4	7	41	20	100

Globalement sur la zone d'étude, toutes U.P.H confondues, 39 % de l'espace serait en jachères, 41 % en cultures et 20 % en végétation naturelle. Ce dernier calcul est effectué en pondérant chaque U.P.H par sa surface relative. Parmi les 39 % en jachères, 25 % serait des jachères de moins de 5 ans et 14 % des jachères supérieures à 5 ans, dont seulement 6 % supérieures à 10 ans. Autrement dit, avec les pratiques agricoles actuelles appliquées sur la zone d'étude, 64 % des jachères auraient moins de 5 ans, 21 % entre 6 et 10 ans et 15 % supérieures à 10 ans.

Selon les terroirs villageois, les proportions des différentes U.P.H varient. Plus la population du village est importante (et/ou plus la disponibilité en terres facilement cultivables est faible), plus la surface des U.P.H caractéristiques d'une artificialisation forte augmente et se dilate autour du village. Il y a intensification agricole du terroir villageois.

Ces U.P.H ont été conçues par modélisation de manière à retracer au mieux l'extension spatiale des zones sous l'emprise des cultures (jachères + cultures) autour des villages sur un territoire qui leur est propre (terroir modélisé). C'est pourquoi, lors de la paramétrisation du modèle, nous avons retenu les chiffres de production les plus bas, correspondant à une production moyenne par cycle cultural en kg/ha semé et non récolté

(cf. 7.7.4). Le résultat de la simulation rend compte de l'extension maximale spatiale des cultures, qui est celle qui marque le paysage, et d'une répartition spatiale des différentes pratiques culturales.

Cependant, selon cette hypothèse de production basse, sur la plupart des territoires simulés, l'ensemble de l'espace est saturé par les différentes U.P.H sans que les besoins en mil des villageois soient satisfaits. Si l'on change les chiffres de production dans le fichier texte alimentant le modèle en les multipliant par deux (c'est à dire en considérant que toutes les surfaces semées sont récoltées), le résultat, du point de vue satisfaction des besoins, est très différent. Dans ce cas, tous les villageois satisfont leurs besoins sur leur territoire sans même utiliser forcément l'ensemble des terres dont ils disposent sur leur territoire. L'exemple du terroir de Banizoumbou est présenté sur la Figure 51, avec le résultat de la simulation du modèle pour des années favorables à la culture du mil (PMAC multiplié par 2) et le résultat tel qu'il a été intégré dans la carte des U.P.H.

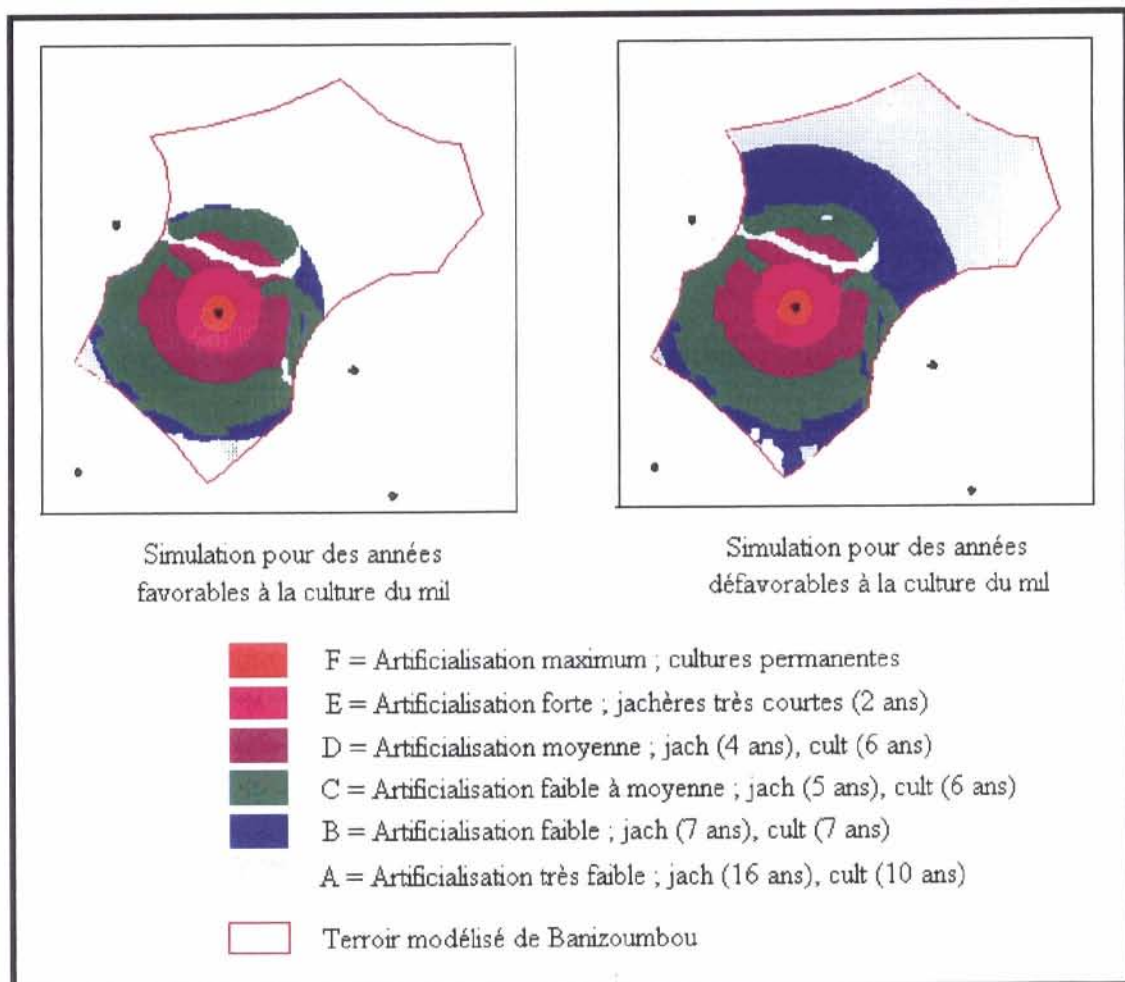


Figure 51 : Simulation de l'extension des UPH pour des années favorables (à gauche) et pour des années défavorables (à droite) à la culture du mil

Ces deux types de simulation rendent compte de deux situations extrêmes : l'une considérant un niveau de production en mil à l'hectare semé très faible (mais pas catastrophique) et donc une extensification des cultures autour du village, l'autre considérant un niveau de production en mil à l'hectare semé très fort et donc une réduction des surfaces cultivées.

Les U.P.H représentées sur la carte sont caractérisées par des pratiques culturales appliquées par les cultivateurs en moyenne sur plusieurs années. D'une année sur l'autre, selon le régime pluviométrique principalement, l'extension des U.P.H relativement loin du village, caractérisées par une artificialisation faible à moyenne (type A, B et C), peut être plus ou moins complète. En effet, elles sont caractérisées par des pratiques culturales "passives" opportunistes, très dépendantes des conditions biophysiques du milieu (type B et C), ou par des pratiques dépendantes de facteurs socio-économiques (type A). D'une année sur l'autre, ces U.P.H peuvent donc être plus ou moins "remplies", mais leur extension maximale est celle que nous retenons pour croiser les U.P.H avec les U.P. C'est cette extension maximale qui rend compte, sur une période de temps de plusieurs années, de la logique spatiale d'exploitation agricole d'un territoire par les villageois.

Tel que nous avons paramétrisé le modèle, de manière à avoir l'extension maximale des cultures, 50 % à 100 % des besoins en mil des villageois seraient satisfaits selon les terroirs (Tableau 36).

Tableau 36 : Niveaux de satisfaction des besoins en mil des villageois sur leur territoire (terroirs modélisés)

Terroirs	Besoins en mil (kg/an)	Production en mil (kg/an)	Niveau de satisfaction des besoins (%)
Boundou Warou	202758	101861	50
Tondikiboro	60590	30545	50
Boula Darey	79645	43456	55
Kida Tafa Kouara	36397	19981	55
Youloua	73865	43356	59
Komakoukou	95275	56777	60
Korto	196330	118838	61
Boundou	42610	25926	61
Bani Kanou	54596	33259	61
Banizoumbou	174920	123912	71
Karbanga	47316	35865	76
Bagoua	27405	21024	77
Darey	48601	39629	82
Tiguo Tégui	111975	97766	87
Maourey Kouara Zéno	92063	82202	89
Maourey Kouara Tégui	61447	58766	96
Bani Koubay	22909	22909	100
Gorou Yéna	33186	33186	100
Ko Kaïna	19269	19269	100
Samadey	33400	33400	100

Chaque année, la situation, du point de vue de la satisfaction des besoins en mil par terroir villageois, oscillerait entre cette situation défavorable et la situation où tout les besoins seraient satisfaits. Dans le cas où ils ne le sont pas, les villageois ont des stratégies connues de survie : exode temporaire, travail agricole salarié, exploitation de parcelles sur d'autres terroirs villageois, etc... A l'avenir, il serait nécessaire d'intégrer une étude approfondie du système socio-économique à notre démarche et de simuler plusieurs scénarios possibles en fonction de données socio-économiques et climatiques bien identifiées.

8.2. Validations et limites du modèle

La validation d'un modèle est toujours complexe. A l'heure actuelle, nous avons deux moyens de valider la carte des U.P.H : la première est la comparaison avec des traitements d'images satellitales SPOT XS ; la seconde est la comparaison avec les relevés de terrain.

Les classifications en cultures/jachères d'images SPOT XS, effectuées par Bonnefon Craponne (1997 ; cf. 6.5.2.1), donnent les proportions des surfaces en jachères et en cultures suivantes : entre 33 et 46 % de jachères suivant les années (moyenne de 39 %), entre 35 et 48 % de cultures suivant les années (moyenne de 41 %). Or, les chiffres globaux calculés à partir du résultat du modèle d'utilisation de l'espace agricole est de 39 % de jachères et 41 % de cultures (Tableau 37). Ainsi, la proportion surfacique des jachères et des cultures sont les mêmes, qu'elles aient été calculées à partir du traitement d'images satellitales ou à partir de la modélisation. Ceci constitue d'ores et déjà un premier niveau de validation du modèle, à l'échelle de la zone d'étude. Cette comparaison valide en partie le contenu (les attributs) des U.P.H et leur superficie, mais elle ne valide pas leur localisation dans l'espace.

La deuxième forme de validation consiste à superposer les parcelles informées (et localisées) avec les U.P.H issues du modèle afin d'évaluer leur degré de correspondance. Sont comparées les classes de pratiques qui caractérisent les U.P.H avec les classes de pratiques qui caractérisent les parcelles durant leur dernière période de pratiques homogènes. Etant donné que des parcelles se trouvent à cheval sur deux U.P.H différentes, nous avons admis un premier seuil de tolérance de confusion égal à une classe. Un seuil de tolérance égal à 2 classes a également été testé. Les résultats de cette comparaison sont présentés sur la figure 52 pour la carte des U.P.H en 7 classes (plateaux exclus) et sur la figure 53 pour la carte des U.P.H en 4 classes (plateaux exclus).

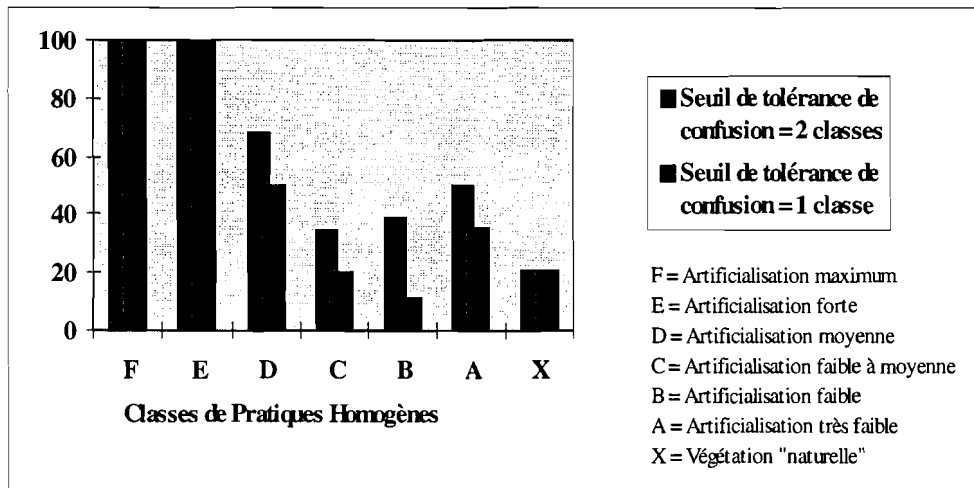


Figure 52 : Degré de correspondance (%) entre les UPH modélisés (7 classes) et les parcelles informées

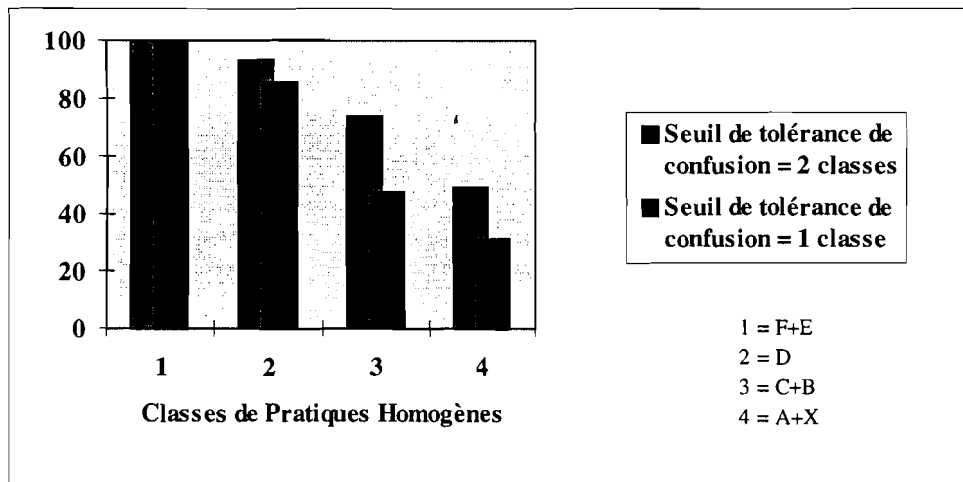


Figure 53 : Degré de correspondance (%) entre les UPH modélisés (4 classes) et les parcelles informées

La correspondance pour les pratiques culturelles révélatrices d'un fort degré d'artificialisation (E et F) est très bonne (100 % de correspondance). Ensuite, globalement, le degré de correspondance décroît progressivement au fur et à mesure que le degré d'artificialisation diminue et que la distance au village augmente. La classe 4, qui regroupe les classes A et X, a le degré de correspondance le plus faible (31 % avec le seuil de tolérance égal à une classe), mais ce chiffre est abaissé par la classe X. En effet, si l'on sépare ces 2 types de pratiques, le degré de correspondance pour la classe A (degré d'artificialisation le plus faible) est de 55 % et pour la classe X (pas de pratiques culturelles) de 25 %. Autrement dit, jusqu'aux pratiques les moins artificialisées (classe A), le degré de correspondance est au minimum de 55 %. La correspondance est donc relativement satisfaisante pour un premier modèle qui se veut encore exploratoire à l'heure actuelle.

Ceci dit, plusieurs raisons peuvent expliquer cette diminution du degré de correspondance :

- Plus on s'éloigne du village, plus le nombre de parcelles sur lesquelles la validation est faite est faible. En effet, la plus grande partie des parcelles informées sont des parcelles sur des transects radiaux aux villages. Plus on s'éloigne du village, moins leurs surfaces globales sont représentatives d'une unité spatiale de pratiques homogènes.
- Plus le degré d'artificialisation est faible, plus les pratiques appliquées sont aléatoires car fortement dépendantes de paramètres socio-économiques (main d'oeuvre disponible, accès foncier,...) et climatiques.
- Les campements peuls sont généralement situés sur des terres éloignées du village zarma, près des limites de terroirs ou des plateaux cuirassés. Ils recréent à une moindre dimension, la même dynamique spatiale d'exploitation des terres agricoles que les villages zarmas. Ces campements peuls expliquent la plupart des parcelles éloignées du village central intensément cultivées. Ils font beaucoup diminuer le degré de correspondance pour les classes de pratiques B, A et X.
- Plus on s'éloigne du village, plus les limites des U.P.H dépendent des limites des terroirs modélisés. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe 7.6., ces limites de terroirs modélisés correspondent à 70 % en moyenne aux limites de terroirs réels.

Au vu de ces résultats, des améliorations du modèle pourraient être envisagées à l'avenir, telles que :

- Augmentation de l'échantillonnage des parcelles exploitations ;
- Intégration plus complexe du fonctionnement socio-économique dans les hypothèses du modèle sur la logique spatiale d'exploitation des terres agricoles ;
- Amélioration de la paramétrisation des facteurs du modèle actuel (notamment en ce qui concerne la production en mil et le coefficient de distance)
- Intégration des campements peuls comme nouveaux centres focaux ;
- Amélioration de la détermination des terroirs modélisés.

Ainsi, tout en gardant en mémoire les améliorations qui pourraient être apportées, la carte des UPH présentée sur la figure 50 est celle que nous avons croisée avec la carte des UP (cf. chapitre 9.) pour la détermination des USR.

Chapitre 9 : LES UNITES PAYSAGERES (U.P)

La diversité des types d'unités du paysage est à la fois fonction des conditions physiques du milieu (types de sols, micro-climats,...), de facteurs biogéographiques (types de végétation) et de facteurs humains (pression sur l'occupation du sol,...) (Baudry, 1986). Les ressources, quels que soient les usages (agricole, pastoral, prélèvement de bois-énergie) sont produites sur les unités du paysage ou "Unités Paysagères" (U.P).

9.1. Détermination des Unités Paysagères (UP)

9.1.1. Principes de détermination des Unités Paysagères

Dans l'objectif d'établir *in fine* un bilan entre les ressources et les usages, selon une approche écologique du paysage, nous avons déterminé les U.P à partir de quatre informations spatiales principales :

- 1 - **La géomorpho-pédologie**, en tant que paramètre physique du milieu le plus déterminant dans la zone d'étude pour la quantification des ressources végétales.
- 2 - **Le recouvrement végétal**, en tant que facteur biogéographique **pour les zones hors plateaux cuirassés**. En effet, dans la zone d'étude, le type de végétation est assez homogène hors plateaux cuirassés, quel que soit le type géomorphologique. Par contre, les variations du recouvrement végétal (herbacées et ligneux) peuvent être importantes, selon le milieu physique (géomorphologie, qualité du sol, micro-relief,...) et la pression humaine.
- 3 - **La structure horizontale et la densité de la végétation naturelle sur plateaux cuirassés**, en tant que facteur biogéographique. En effet, sur cette grande unité géomorphologique de la zone (19% de l'espace), la végétation naturelle est plus ou moins contractée et s'organise en bandes plus ou moins visibles.
- 4 - **La structure globale du paysage, morcelé ou non en parcelles agricoles**. En effet, les parcelles agricoles sont considérées comme un facteur structurant du paysage. La présence ou l'absence de parcelles agricoles facilement identifiables (formes géométriques reconnaissables) rend compte de l'intensité de la pression humaine et façonne différents paysages. Etant donné la grande instabilité de ces parcelles, tant dans leur contenu que leur contenant, seule la présence (ou l'absence) de formes géométriques est retenue.

Quatre cartes intermédiaires ont ainsi été établies : une carte géomorphologique, une carte d'indices de végétation, une carte des différentes formations végétales sur plateaux cuirassés, et une carte d'emprise des cultures (cf. 9.1.2.). Le croisement de ces quatre informations spatiales nous a permis de déterminer les différentes unités paysagères. Il y a *à priori* autant d'unités paysagères que de combinaisons possibles. Nous verrons en fait dans le paragraphe 9.2 que des simplifications et regroupements ont été nécessaires selon des critères de représentativité et de répartition spatiale.

Rappelons ici que les U.S.R sont *a priori* des unités relativement stables dans le temps, tout au moins à l'échelle de la décennie. Etant issues du croisement des U.P.H et des U.P, ces dernières doivent présenter la même caractéristique. Les U.P.H sont en effet construites en fonction de l'historique de l'occupation des terres, en fonction d'un cycle cultures/jachères caractéristique, pouvant même dépasser largement la décennie. Le même effort pour introduire la notion de temps dans la définition des U.P a été fourni.

9.1.2. Cartes intermédiaires pour la construction des U.P

La carte géomorphologique a été établie à partir de la carte dressée par Nagumo (1992), simplifiée en 7 classes. Le choix de ces 7 grands types géomorphologiques découle de la volonté de ne pas multiplier les petites unités à l'échelle du site et de la volonté d'homogénéiser notre approche avec celle des autres travaux réalisés sur le même territoire, desquels nous tirons des données quantitatives concernant les productions des jachères (Delabre, 1998), des cultures du mil (De Row, 1998) et des végétations naturelles des plateaux (Ichaou, 1995). La carte résultante est présentée à la page suivante (Figure 54).

Les jupes sableuses constituent l'unité la plus représentée du point de vue des surfaces (25%) et sont dispersées sur l'ensemble de la zone autour des plateaux cuirassés. Ensuite, apparaissent les plateaux cuirassés eux-mêmes (19%), les cordons dunaires (18%) au sud et à l'est de la zone et les glacis (16%) de part et d'autre de la vallée sèche nord-sud reliant Wankama à Dantiandou. Les ensablements sur plateaux (11%) se trouvent essentiellement dans le quart nord-est de la zone. Les koris (cours d'eau temporaires) représentent 10% de la zone : ils regroupent en fait le kori lui-même avec les chanfreins de part et d'autre du kori. Enfin, les zones dégradées (pas de végétation) sont très minoritaires (1%).

A part quelques éventuelles variations mineures des limites de ces unités géomorphologiques à l'échelle du décimètre sur plusieurs années, ces unités spatiales sont considérées comme stables dans le temps à l'échelle de la zone d'étude.

La carte d'emprise des cultures (Figure 55) est en fait la reconstitution à partir des 3 séries de photos aériennes (1950, 1975 et 1992) de l'ensemble des parcelles agricoles identifiables aux trois dates (cf. Figure 12, paragraphe 4.2.2.). Autrement dit, elle correspond à l'ensemble des terres sous l'emprise des cultures (cultures + jachères) depuis 1950. Cette représentation est considérée comme relativement stable dans le temps, pour quelques années avant 1992 et quelques années après 1992.

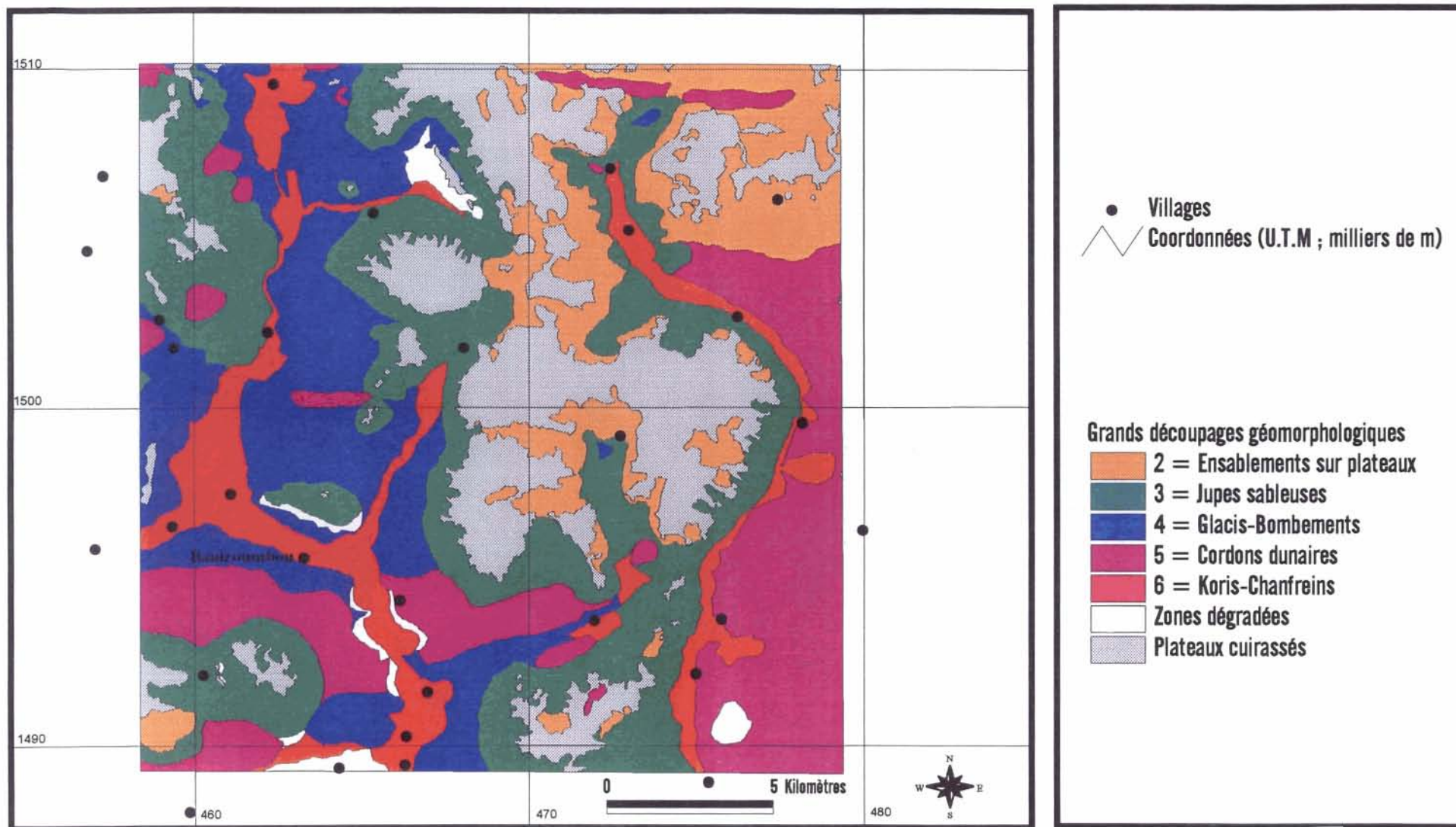


Figure 54 : Carte géomorphologique (site de Banizoumbou, Niger)

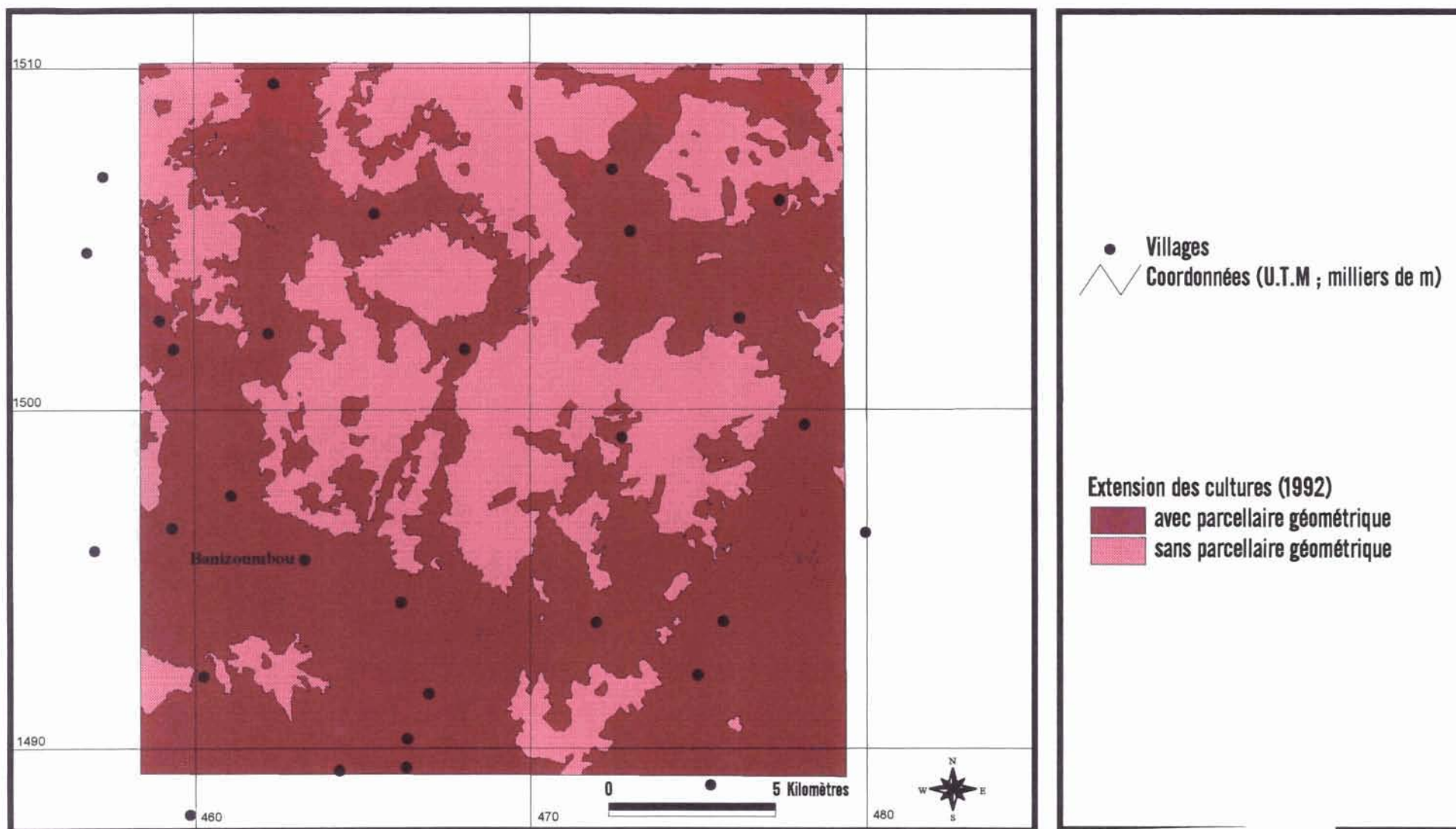


Figure 55 : Carte d'emprise des cultures (site de Banizoumbou, Niger)

La carte d'indices de végétation (NDVI = Normalized Difference Vegetation Index) est issue d'une construction plus complexe. Dans le cadre de notre étude, elle a pour objectif principal de différencier, à l'intérieur des unités géomorphologiques, des zones plus ou moins densément végétalisées et ainsi, de pondérer les chiffres globaux de production donnés par type géomorphologique.

Cinq images satellitales SPOT XS ont été choisies. Elles ont toutes été prises à la même saison (période post-récolte où les champs sont récoltés et les jachères à leur pic de production) sur cinq années différentes (tous les deux ans de 1986 à 1994) : septembre 1986, octobre 1988, 1990, 1992 et 1994. Les plateaux cuirassés ont été masqués et les calculs ont été effectués seulement sur les zones hors plateaux cuirassés.

Sur chacune des images, le NDVI ($= (\rho_{\text{PIR-prouge}})/(\rho_{\text{PIR-prouge}})$; Kriegler et al, 1969 ; Rouse et al, 1973 ; Tucker, 1979) a été calculé (valeur entre 0 et 255), puis la somme des valeurs sur les cinq images a permis de créer une nouvelle image monospectrale. Les valeurs de NDVI comprises alors entre 0 et (5*255) ont ensuite été « ré-étalées » entre les valeurs 0 et 255. Cette méthode de calcul a été choisie, non pas pour retracer l'historique de la couverture végétale sur 9 ans, mais pour différencier des zones qui, globalement sur plusieurs années (de l'ordre de la décennie), ont une couverture végétale plutôt forte, moyenne ou faible. Avec ce procédé, une parcelle sur dune, cultivée pendant 2 ans (faible NDVI) et en jachère pendant 7 ans (fort NDVI) peut très bien avoir la même valeur de NDVI global qu'une parcelle en jachère pendant 4 ans, puis en culture pendant 2 ans et à nouveau en jachère pendant 3 ans. Suivant la productivité du milieu physique et le cycle de culture, toutes les combinaisons sont possibles. A ce stade de l'étude, nous ne cherchons pas encore à interpréter l'historique d'une parcelle à l'aide de la télédétection, mais seulement à savoir si une zone (échelle supérieure à la parcelle agricole) est plutôt productive ou non, quel que soit le cycle cultural sur une période donnée qui la caractérise.

A partir de l'histogramme des valeurs de NDVI, 5 classes ont été retenues :

- 1 : Indice très faible : valeur inférieure à 50
- 2 : Indice faible : valeur entre 50 et 70
- 3 : Indice moyen : valeur entre 70 et 90
- 4 : Indice fort : valeur entre 90 et 110
- 5 : Indice très fort : valeur supérieure à 110

A ce stade du traitement d'images, les informations sont encore sous forme de pixels. Un contourage manuel des zones, ayant visuellement la même composition des 5 classes décrites ci-dessus, a ensuite été effectué. Six zones ont ainsi été différenciées (Figure 56) et décrites selon leur composition surfacique des 5 classes initiales (Tableau 37).

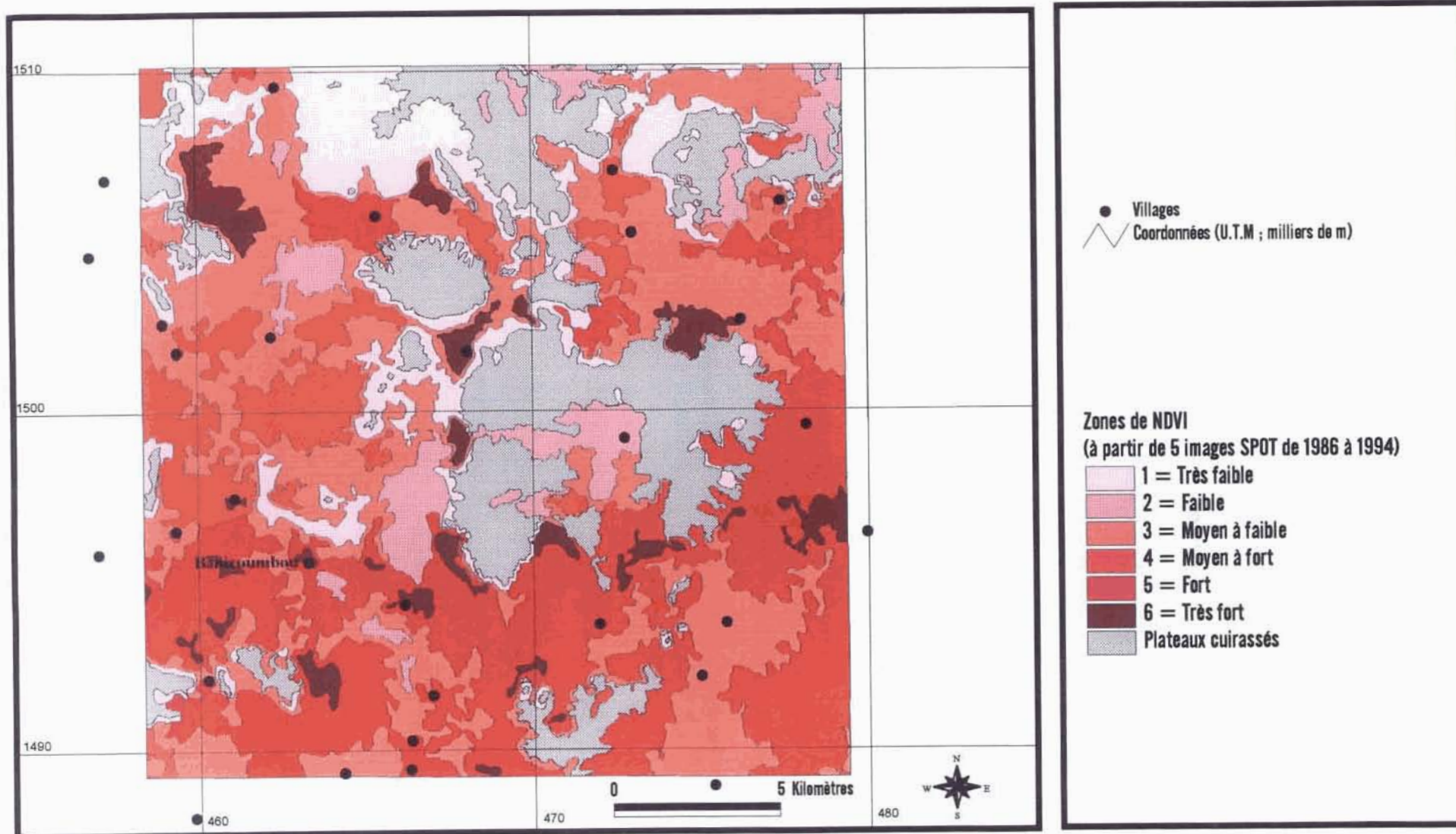


Figure 56 : Carte d'indice de végétation (NDVI), sur le site de Banizoumbou, Niger

Tableau 37 : Composition (% surfacique) des unités avec des indices de végétation différenciés selon 5 classes d'indice

	Classes de NDVI					Surfaces (%)
	< ou = 50	]50-70]	]70-90]	]90-110]	> 110	
Unité 1	14	74	11	1	0	11
Unité 2	2	54	42	2	0	5
Unité 3	0	2	95	3	0	28
Unité 4	0	0	12	88	0	8
Unité 5	0	0	4	95	1	25
Unité 6	0	0	1	47	52	4
Plateaux cuirassés	-	-	-	-	-	19
Total						100

Ainsi, 28% de l'espace hors plateaux cuirassés est caractérisé par un indice de végétation globalement moyen (unité 3) et 25% par un indice globalement fort. Les 11% caractérisés par l'indice le plus faible (unité 1) peuvent être aussi bien des zones érodées, peu productives, que des zones cultivées en permanence. Encore une fois, seul le croisement de cette information avec les U.P.H pourra donner des éléments de réponse.

Sur les plateaux cuirassés, **la détermination et localisation des différentes structures végétales suffit à déterminer les U.P** ; il n'y a pas de cultures et à chaque type de structure est associé une biomasse moyenne. La carte résultante (Figure 57) est issue du travail de Mougenot & Hamani (1997), et Mougenot et Ichaou (non publié) à partir des travaux de Delbaere (1994) sur la reconnaissance de formes, sur photos aériennes et satellitales, des différentes structures de végétation sur plateaux.

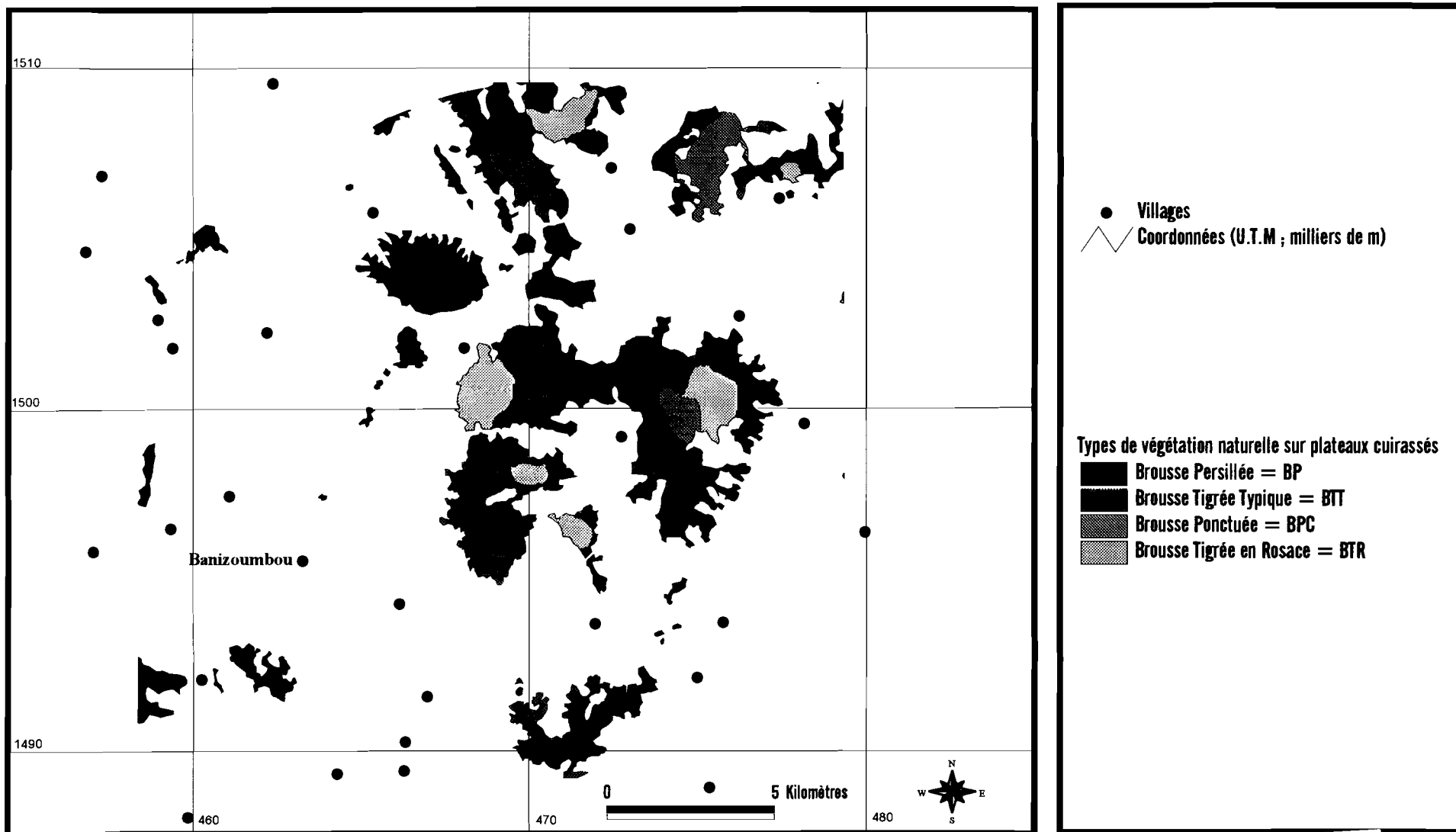


Figure 57 : Carte des Unités Paysagères sur plateaux cuirassés (site de Banizoumbou, Niger)

9.2. La carte des Unités Paysagères (U.P)

En croisant les 4 cartes intermédiaires précédemment exposées, nous avons obtenue la carte des Unités Paysagères (UP) de la zone d'étude (Figure 58) en 20 classes, dont 4 sur plateaux cuirassés. Le premier chiffre du code des U.P hors plateaux correspond au code géomorphologique (figure 54), le deuxième au code binaire du parcellaire géométrique (Figure 55) et le troisième au code de NDVI (Figure 56).

En principe, il pourrait y avoir 7 (géomorphologie) * 2 (parcellaire) * 6 (zone de NDVI) = 84 combinaisons possibles. Un certain nombre de simplifications ont été faites pour obtenir un nombre d'U.P raisonnable (20), relativement à l'échelle de la zone étudiée. Ces simplifications sont de 4 types :

- 1 - Simplification des 6 zones d'indice de végétation identifié en 3 zones :
 - . code 1 : regroupe les zones 1 et 2
 - . code 3 : regroupe les zones 3 et 4
 - . code 5 : regroupe les zones 5 et 6
- 2 - Toutes les U.P représentant moins de 1% de la surface totale de la zone ont été systématiquement rattachées à d'autres U.P sur des critères géomorphologiques prioritairement et sur le critère « emprise des cultures » secondairement, quelle que soit la classe d'indice de végétation. Par exemple, les unités 511, puis 501, 503 et 505 ont été rattachées à l'unité 513.
- 3 - Pour les unités représentant plus de 1% de la surface totale, si leur distribution spatiale était très éclatée, elles ont été rattachées aux UP ayant tant que possible la même caractéristique géomorphologique et la même présence ou absence de géométrie parcellaire. Par exemple, l'unité 311 (2,4%) a été regroupée avec l'unité 313 (7,7%).
- 4 - Sur les glacis, dans les zones à faible ou à fort indice de végétation, la distinction d'un géométrique parcellaire sur photos aériennes a été considérée comme assez aléatoire, étant donné que les glacis de la zone d'étude sont parcourus par de nombreuses ravines, ou zones privilégiées d'écoulement d'eau. Selon notre propre expertise, les unités a priori non cultivées sur glacis (401 et 405) ont respectivement été regroupées avec les unités 411 et 415, c'est à dire cultivées.

Enfin, un lissage de la carte a été opéré en dissolvant toutes les unités inférieures à 1 ha dans l'unité voisine la plus grande.

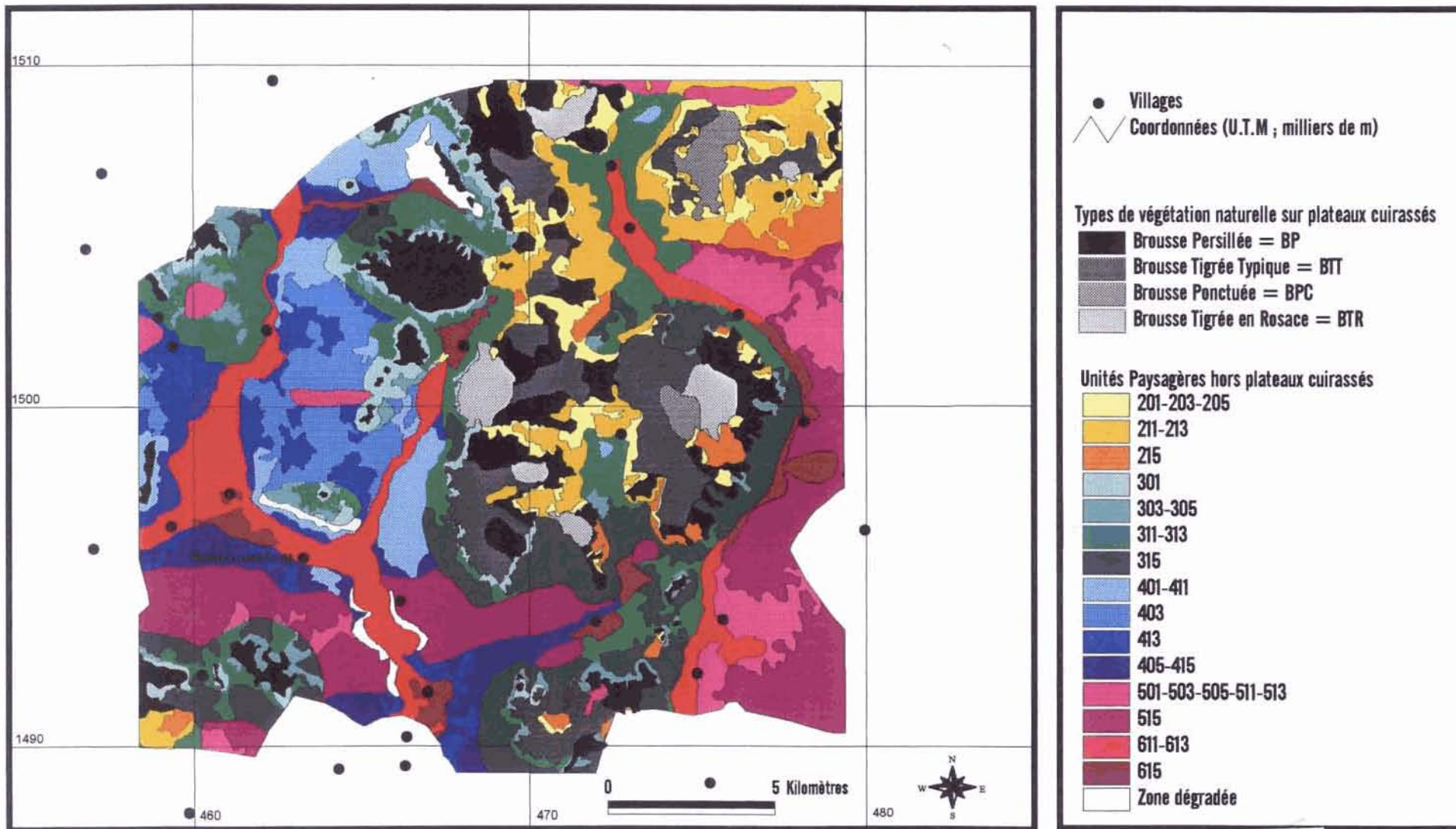


Figure 58 : Carte des Unités Paysagères (UP) sur le site de Banizoumbou, Niger

Relativement à l'ensemble de la zone d'étude, les jupes sableuses occupent la plus grande surface (24% ; Figure 59). Ensuite, ce sont les plateaux cuirassés (20%), les cordons dunaires (17%), les glacis (16%), les ensablements sur plateaux (12%), les bas-fonds (10%) et les zones dégradées (1%). Les zones sous l'emprise des cultures occupent 66% de l'espace et concernent principalement les jupes sableuses (19% de l'espace) et les cordons dunaires (17%), entièrement sous l'emprise des cultures. Les bas-fonds occupent une faible surface mais sont entièrement sous l'emprise des cultures. Seuls les plateaux cuirassés sont , pour le moment, exclus de l'espace agricole.

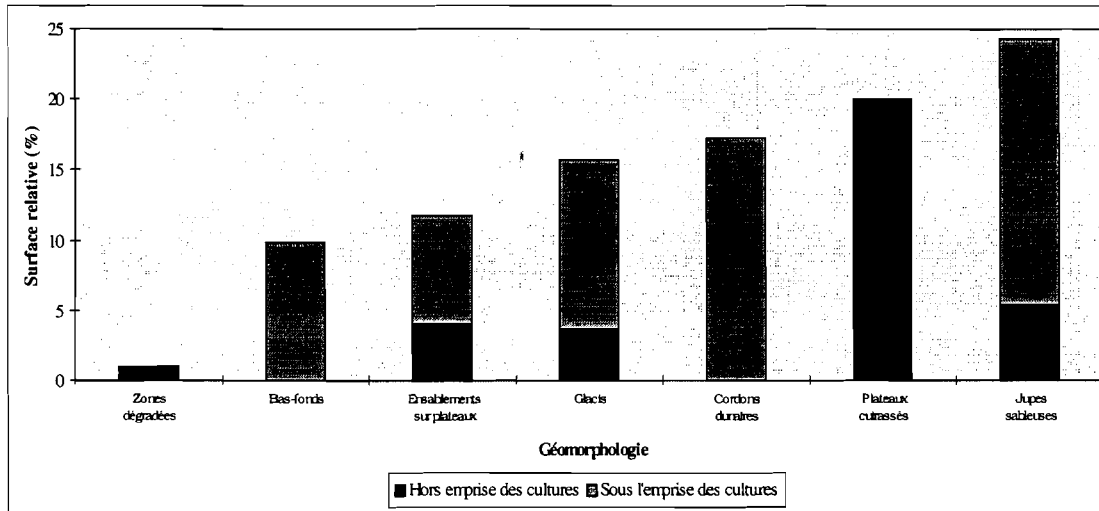


Figure 59 : Surfaces relatives (%) des zones sous l'emprise des cultures par type géomorphologique

Hors plateaux cuirassés (80% de l'espace), 40% de l'espace est caractérisé par un indice de végétation moyen (figure 60), 12% par un indice faible et 28% par un indice relativement fort. Les indices faibles concernent principalement les glacis et les ensablements sur plateaux (8%), alors que les indices forts concernent principalement les cordons dunaires et les jupes sableuses (21%).

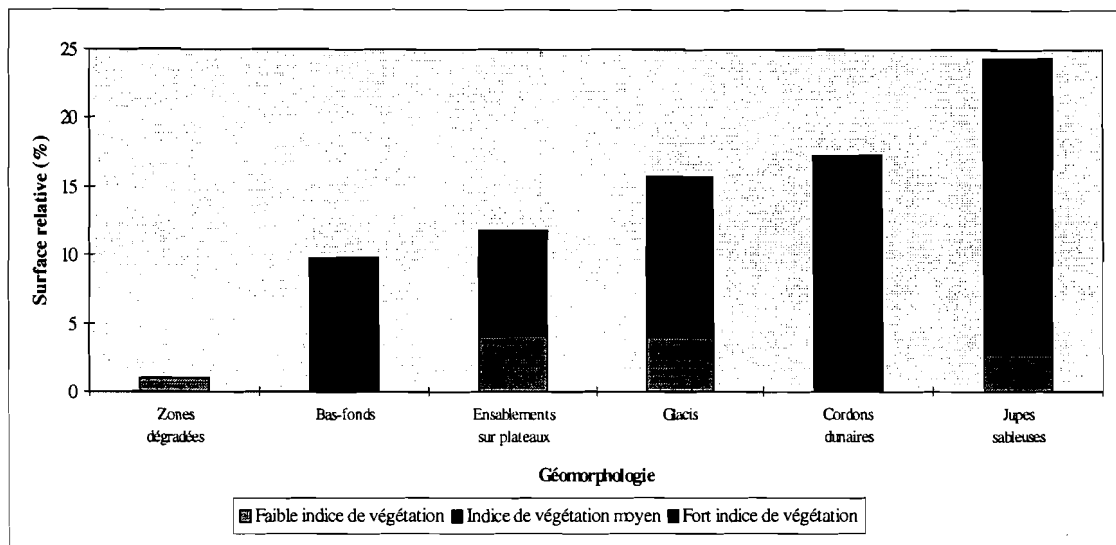


Figure 60 : Surfaces relatives (%) des classes d'indice de végétation par type géomorphologique

9.3. Biomasses herbacée et ligneuse sur les différentes Unités Paysagères

L'estimation des biomasses sur les différentes occupations du sol des UP est issue de biomasses mesurées sur le terrain par différents chercheurs qui ont bien voulu collaborer avec nous, voyant l'intérêt et le moyen de spatialiser leurs données et de les mettre en relation avec d'autres éléments des systèmes en interaction, milieux-sociétés. Des publications communes sont prévues dans un proche avenir.

9.3.1. Estimation des ressources végétales dans les jachères

Dans l'objectif d'établir une typologie régionale des jachères, Delabre (1998) a échantillonné 72 jachères sur l'ensemble du degré carré de Niamey, selon deux variables jugées actives : l'âge de la jachère et les conditions géomorphologiques.

Dans chaque station échantillonnée, deux lignes de points quadrats, de 10 m de longueur chacune, ont été mesurées (Delabre, 1998). La phytomasse épigée du tapis herbacée a été mesurée sur des carrés de 1 m² coupés à ras au pic de production (septembre et octobre 1992). Trois répétitions ont été réalisées le long de chaque ligne points quadrats. Les échantillons prélevés ont été pesés verts, séchés à l'étuve, puis pesés secs. Les résultats de phytomasse herbacée épigée sont exprimés en kilogramme de matière sèche par hectare (kg.M.S/ha).

La couverture ligneuse a été estimée à partir de l'échantillonnage d'un 1/16 hectare (cercle d'un rayon de 14,1 m) dans chaque station. Les différents paramètres mesurés sur tous les arbustes de l'aire échantillonnée sont la densité arbustive par espèces, la hauteur des individus, la surface du houppier, le nombre de tiges par individu et par classe de diamètres. A partir d'une relation allométrique calculée par Karimou (1993), reprise par Delabre (1998), entre le diamètre équivalent des tiges et la biomasse

épigée des ligneux, une biomasse ligneuse épigée est calculée en kilogramme/hectare pour chaque station.

Les résultats complets des biomasses calculées sont présentés en annexe 12. Globalement, ces résultats indiquent une augmentation de la biomasse épigée totale en fonction de l'âge de la jachère, principalement due à l'augmentation de la biomasse épigée ligneuse (Figure 60). Cette dernière augmente très nettement jusqu'à l'âge de 5 ans, puis se stabilise, voire diminue, au delà. Comme l'indique Delabre (1998), cette tendance moyenne au delà de 5 ans est plus complexe, car la valeur moyenne des biomasses résulte de la combinaison de chiffres de biomasses sur des jachères anciennes et productrices et sur des friches très peu productrices.

Les résultats indiquent également un niveau de biomasse variable d'un type géomorphologique à un autre (Figure 62). Les chiffres moyens de biomasse épigée sont plus faibles sur les glacis (dont 67% de la surface est caractérisé par un indice de végétation moyen à fort), les jupes sableuses (dont 88%) et les ensablements sur plateaux (dont 67%). Ils augmentent significativement sur les cordons dunaires et les bas-fonds, caractérisés à 100% par des indices de végétation moyens à forts. Les différences de biomasse sont là aussi dues essentiellement à la biomasse épigée ligneuse.

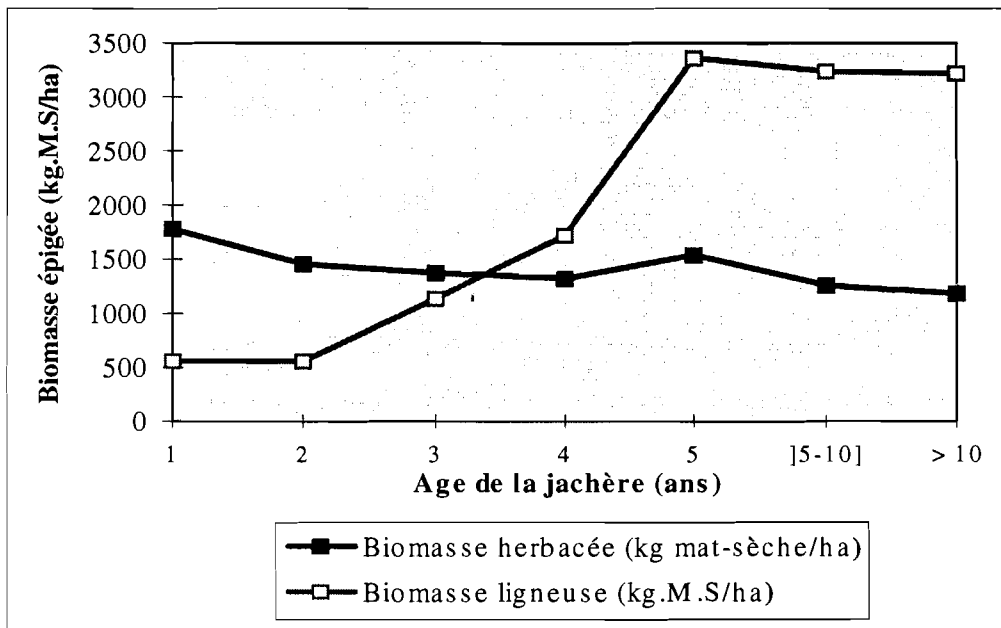


Figure 61 : Biomasses épigées (kg M.S/ha), herbacée et ligneuse, des jachères en fonction de leur âge (d'après Delabre, 1998)

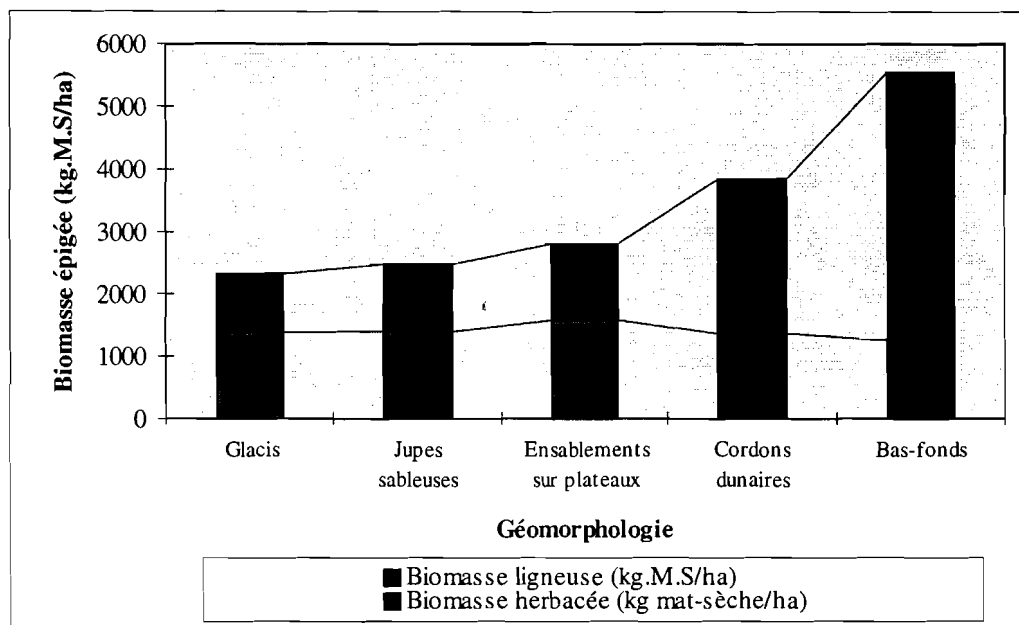


Figure 62 : Biomasses érigées moyennes (kg M.S/ha), herbacée et ligneuse, des jachères en fonction de la géomorphologie (d'après Delabre, 1998)

Chaque chiffre moyen de biomasse à l'hectare par type de jachère, en fonction de la géomorphologie et de son âge, est accompagné d'un écart-type (cf. Annexe 12). Cet écart-type n'est pas à négliger, car il nous permettra d'adapter le chiffre moyen de biomasse retenu par USR, selon la classe d'indice de végétation qui caractérise l'unité paysagère (UP). En effet, nous retiendrons le chiffre moyen de biomasse si la classe d'indice de végétation est moyenne, le chiffre moyen de biomasse moins l'écart-type si la classe d'indice de végétation est faible, et enfin, le chiffre moyen de biomasse plus l'écart-type si la classe d'indice de végétation est forte.

9.3.2. Estimation des ressources végétales dans les champs cultivés

Anneke De Row, agronome de l'IRD, a suivi, de 1992 à 1996, les composantes du rendement dans des champs cultivés en mil, dont elle connaît la localisation et les pratiques agricoles appliquées par le cultivateur. En effet, sur 14 champs suivis pendant 1 an, 2 ans ou 4 ans, 40 petites placettes de 25 m² (1126 au total) étaient disposées en 2 transects, sur lesquelles elle a mesuré les composantes du rendement chaque année (De Row, 1998). A partir de 20 parcelles par champ, elle donne les rendements pour un champ, à l'hectare. Elle distingue, entre autre, la biomasse, à l'hectare semé, des grains de mil (rendement agricole), des chaumes de mil et des chaumes de faux-mil.

Un premier rapprochement, du point de vue spatial, entre ses parcelles mesurées au sol et les unités paysagères telles que nous les avons déterminées, a été effectué par elle-même, selon sa propre expertise. A chaque champ, elle a ainsi pu associer un type géomorphologique, selon notre propre carte géomorphologique.

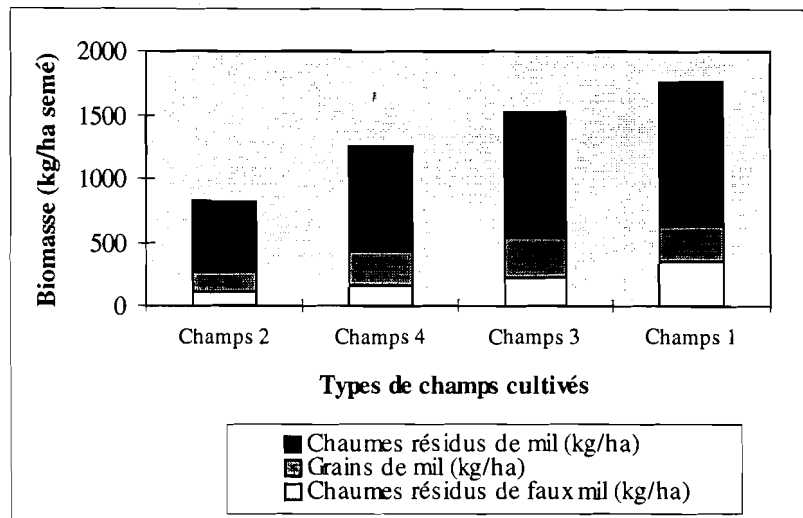
De plus, chacune de ses parcelles mesurées est caractérisée par un type de gestion agricole selon sa propre typologie. A nouveau, selon son expertise, elle a pu

rapprocher chacune des gestions agricoles caractéristiques de ses parcelles à une des quatre classes de la typologie des pratiques combinées que nous avons retenues (cf. 7.2).

Cependant, l'ensemble des parcelles échantillonnées par Anneke De Row, ne représente pas l'ensemble des combinaisons possibles entre types de pratiques agricoles et types géomorphologiques. Dans le cas d'une donnée absente, nous avons pris le chiffre moyen des biomasses mesurées selon le type de pratiques agricoles, quelle que soit la géomorphologie, et nous l'avons appliqué aux champs sur les types géomorphologiques dont la biomasse, issue de ce type de pratiques agricoles, n'a pas été mesurée. Ce choix de calcul est un artefact, obligatoire à l'heure actuel, qui diminue la validité des biomasses retenues, en favorisant le poids du critère gestion agricole par rapport au critère géomorphologie sur la biomasse épigée d'un champ cultivé. Il faudrait envisager, à l'avenir, de compléter l'échantillonnage sur le terrain, et de faire de nouvelles mesures de biomasses.

Les résultats complets des biomasses retenues sont présentés en annexe 13. Connaissant les limites des données, une première tendance peut être mise en évidence (Figure 63). Les champs presque toujours cultivés avec apport de matières organiques, ont une biomasse moyenne à l'hectare semé la plus importante, quel que soit le type géomorphologique, constituée essentiellement par les chaumes de mil. Ensuite, les biomasses les plus importantes sont dans les champs cultivés plusieurs années (environ 6 ans) entre des jachères longues (environ 6 ans) ou des jachères très longues (> 10 ans). Les champs avec la plus faible biomasse sont ceux qui sont cultivés en alternance avec des jachères courtes (environ 4 ans), avec peu ou pas d'apport de matières organiques, quel que soit le type géomorphologique.

Les résultats retenus indiquent également que la biomasse moyenne (kg/ha semé) dans les champs cultivés, quelles que soient les pratiques agricoles, est plus forte sur les ensablements sur plateaux, puis sur les jupes sableuses, les glacis, les cordons dunaires et enfin les bas-fonds (Figure 64). Ceci dit, cette différence de production selon la géomorphologie est beaucoup plus faible que celle mise en évidence en fonction des pratiques agricole. En effet, dans un cas, les valeurs varient de 1250 kg/ha dans les bas-fonds à 1500 kg/ha sur les ensablements sur plateaux (variation maximale de 250 kg/ha) et dans l'autre cas, les valeurs varient de 820 kg/ha pour les pratiques de type 2 à 1760 kg/ha pour les pratiques de type 1 (variation maximale de 940 kg/ha).



*Champs 1 = champs presque toujours cultivés, avec apport de fumier ;
 Champs 2 = champs cultivés environ 6 ans (jachères courtes, avec peu ou pas d'apport de fumier) ;
 Champs 3 = champs cultivés environ 6 ans (jachères longues, sans apport de fumier) ;
 Champs 4 = champs cultivés environ 10 ans (jachères très longues, sans apport de fumier).*

Figure 63 : Biomasse épigée (kg/ha semé) dans les champs cultivés selon les pratiques agricoles

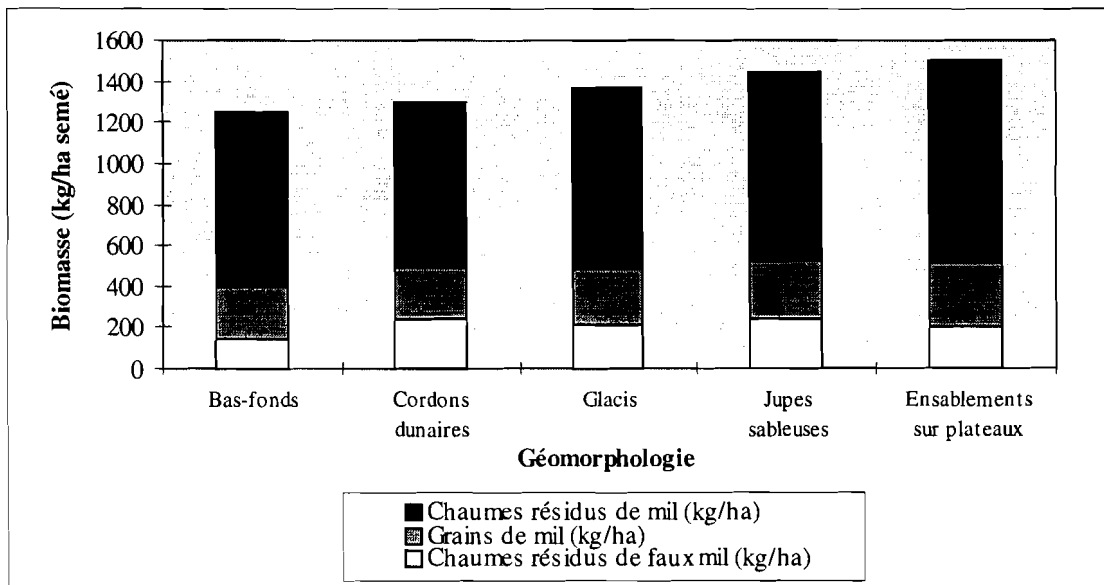


Figure 64 : Biomasse épigée (kg/ha semé) dans les champs cultivés selon le type géomorphologique

9.3.3. Estimation des ressources végétales sur les plateaux cuirassés

Ichaou Aboubacar étudie d'une manière générale, la productivité comparée des différentes formations contractées des formations forestières dans l'ouest du Niger. Dans le cadre d'un premier mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieurs de l'IFR de Katibougou (Ichaou, 1995), il a travaillé sur 2 sites précis, dont celui de Banizoumbou. Il continue actuellement ses travaux de recherche dans le cadre d'une

thèse en écologie (Université Paul Sabatier, Laboratoire d'Ecologie Terrestre, Toulouse). Son objectif actuel est d'étendre ses travaux à l'échelle régionale pour étudier la dynamique et productivité des principales structures forestières de l'ouest du Niger. Une dizaine de sites ont été sélectionnés, sur lesquels plusieurs parcelles de 20m*50m, selon un échantillonnage systématique de type forestier, ont été suivies. Ces parcelles ont été coupées (mesures exhaustives des composantes du stock de biomasse) et leur productivité, sous régime de coupes sélectives, a été suivie. La mise en oeuvre de ce réseau de parcelles de suivi suit les recommandations de l'atelier sur le fonctionnement et la gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens, réalisé à Niamey en novembre 1995 et dont les actes ont été publiés par d'Herbes et al (1997).

La moyenne des chiffres de biomasse, obtenus sur plusieurs parcelles par plateaux, a été calculée pour chaque type de plateaux en kg/ha végétalisé, puis ramenée à un chiffre global par hectare de plateaux en fonction du pourcentage de la surface végétalisée par plateaux (Tableau 38).

Tableau 38 : Les composantes de la biomasse (kg/ha de plateaux) suivant les différents types de brousses (d'après Ichaou, 1998)

Type de brousses sur plateaux cuirassés	Brousse tigrée typique	Brousses persillée et en rosace	Brousse ponctuée
Biomasse verte (feuilles + tiges) en kg/ha	18000 (+/- 4000)	22000 (+/- 2000)	16000 (+/- 3000)
Biomasse sèche (feuilles + tiges) en kg/ha	13500	14960	12600
Feuilles + brins de diamètres < 2 cm (en % de la biomasse totale sèche)	12 %	10 %	9,2 %
Tiges > 4 cm (kg M.S/ha)	8900	9200	6912
Tiges > ou + 6 cm (kg M.S/ha)	5200	7000	6000

Ces données de biomasses, que ce soit sur les jachères, dans les champs cultivés ou sur les plateaux seront utilisées pour attribuer une disponibilité en ressources par Unités Spatiales de Référence : ressources fourragères (cf. 11.4.), ressources en bois-énergie (cf. 12.4).

Chapitre 10 : LES UNITES SPATIALES DE REFERENCE (U.S.R)

10.1. Carte des Unités Spatiales des références (U.S.R)

10.1.1. Construction de la carte des USR

Les USR sont déterminées (Figure 65) à partir du croisement entre les U.P et les U.P.H. Ce croisement permet de délimiter les USR et de définir leurs attributs, tant du point de vue des ressources que du point de vue des usages.

Sur les plateaux cuirassés, il n'y a pas à proprement parlé de croisements d'informations spatiales puisqu'ils sont caractérisés par l'absence d'activité agricole. Ainsi, les USR sur plateaux cuirassés sont équivalentes aux U.P définies sur ces mêmes plateaux. Quatre U.S.R sont donc retenues sur les plateaux cuirassés, en fonction du type de végétation naturelle qui les caractérise (Figure 57) : les brousses persillées, les brousses tigrées en rosace, les brousses tigrées typiques et les brousses ponctuées.

Par contre, dans les zones hors plateaux cuirassés, le croisement est effectué entre les 4 classes simplifiées de pratiques agricoles combinées et les 16 classes d'unités paysagères.

En principe, il pourrait donc y avoir 4 (pratiques agricoles)*16 (unités paysagères) combinaisons possibles (64). En réalité, 10 combinaisons ne se présentent pas dans la zone d'étude : notamment les pratiques agricoles 1 et 2 sur les ensablements sur plateaux et les pratiques 1 et 2 sur les jupes sableuses ou glacis hors emprise des cultures (UP 303-305 et 403). De plus, un certain nombre de simplifications ont été faites pour obtenir un nombre d'U.S.R raisonnable (29 hors plateaux), relativement à l'échelle de la zone étudiée.

Ces simplifications sont de 4 types :

1- Les unités caractérisées par des systèmes de cultures relativement extensifs (pratiques 3 et 4), sur jupes sableuses avec un faible indice de végétation (3,2 % de l'espace) ont été regroupées avec les zones dégradées. En effet, étant donné leur position topographique, en haut des jupes sableuses, directement au pied des plateaux cuirassés, elles correspondent aux piémonts dégradés, avec une forte pente et de nombreuses ravines et pierres (issues de l'érosion des plateaux latéritiques).

2 - Les unités caractérisées par une des classes de pratiques agricoles, quelle qu'elle soit, et par l'absence de géométrie parcellaire ont été systématiquement regroupées avec les USR ayant les mêmes caractéristiques (pratiques agricoles, géomorphologie, classe d'indice de végétation), mais avec un géométrie parcellaire.

Les unités de pratiques agricoles relativement intensives (pratiques 1 et 2), ayant cette caractéristique, ne concernent que 0,6% de l'espace. Etant donné l'intensité de l'activité agricole dans ces zones à proximité des villages, il n'était à priori pas concevable de prendre en compte des zones hors emprise des cultures. Elles ont ainsi été considérées comme une erreur due à l'interprétation des photos aériennes.

Les unités de pratiques agricoles de type 3, sans géométrie parcellaire, n'existent que sur les glacis (2% de l'espace) sur lesquels (comme nous l'avons déjà signalé dans le paragraphe 9.2.) la distinction du géométrique parcellaire sur photos aériennes a été considérée comme assez aléatoire, en raison des nombreuses ravines, ou zones privilégiées d'écoulement d'eau qui les parcourent.

Les unités de pratiques agricoles extensives de type 4, sans géométrie parcellaire, ne représentent que 2,6% de l'espace. Dans ce cas, leur regroupement avec les USR sous l'emprise des cultures implique un changement dans la définition des unités de pratiques 4. En effet, l'une des caractéristiques de ces zones devient alors la possibilité d'inclure de petites surfaces jamais mises en cultures. Cette possibilité est minime du point de vue de la surface relative, d'autant plus que, les vieilles jachères, caractéristiques de ces zones, sont difficiles à distinguer de la végétation naturelle sur photos aériennes car elles perdent leur forme géométrique. Quelle est la limite entre une très vieille jachère et la végétation naturelle ? Ne sachant pas y répondre du point de vue spatial, nous les avons regroupé dans des USR, considérées alors comme des zones sur lesquelles il peut y avoir encore une forte intensification de l'activité agricole.

3 - Pour les unités spatiales caractérisées par des pratiques agricoles relativement intensives à proximité des villages (pratiques 1 : cultures quasi-permanentes avec apport de fumier ; pratiques 2 : caractérisés principalement par des jachères courtes), la distinction des différentes classes d'indice de végétation a été négligée, étant donné les petites surfaces concernées (6,8% de l'espace pour l'ensemble des unités caractérisées par les pratiques 1, et 11,7% pour celles caractérisées par les pratiques 2). Ainsi, les USR retenues dans ce cas de figure, à proximité des villages, sont déterminées exclusivement par leur classe de pratiques agricoles et leur appartenance à un type géomorphologique.

4 - Pour les unités spatiales caractérisées par des pratiques agricoles relativement extensives (pratiques 3 et 4), toutes les unités représentant moins de 2% de la surface totale, avec une distribution spatiale très éclatée, ont été rattachées aux USR ayant, dans l'ordre de priorité, la même caractéristique géomorphologique et la même présence ou absence de géométrie parcellaire. Ainsi, par exemple, les unités caractérisées par des pratiques de type 3 sur cordons dunaires ont toutes été regroupées sans distinction de classes d'indice de végétation. Il en est de même pour les pratiques de type 4 dans les bas-fonds.

Enfin, un lissage de la carte a été opéré en dissolvant toutes les unités inférieures à 1 ha dans l'unité voisine la plus grande.

10.1.2. Carte des USR

Les différentes USR obtenues (Figure 65) sont identifiées selon un code en trois chiffres : le premier chiffre correspond au code des pratiques agricoles (de 1 à 4), le deuxième à la géomorphologie (de 2 à 6) et le troisième à la classe d'indice de végétation (1 pour un indice faible, 3 pour un indice moyen, 5 pour un indice fort, x pour un indice variable).

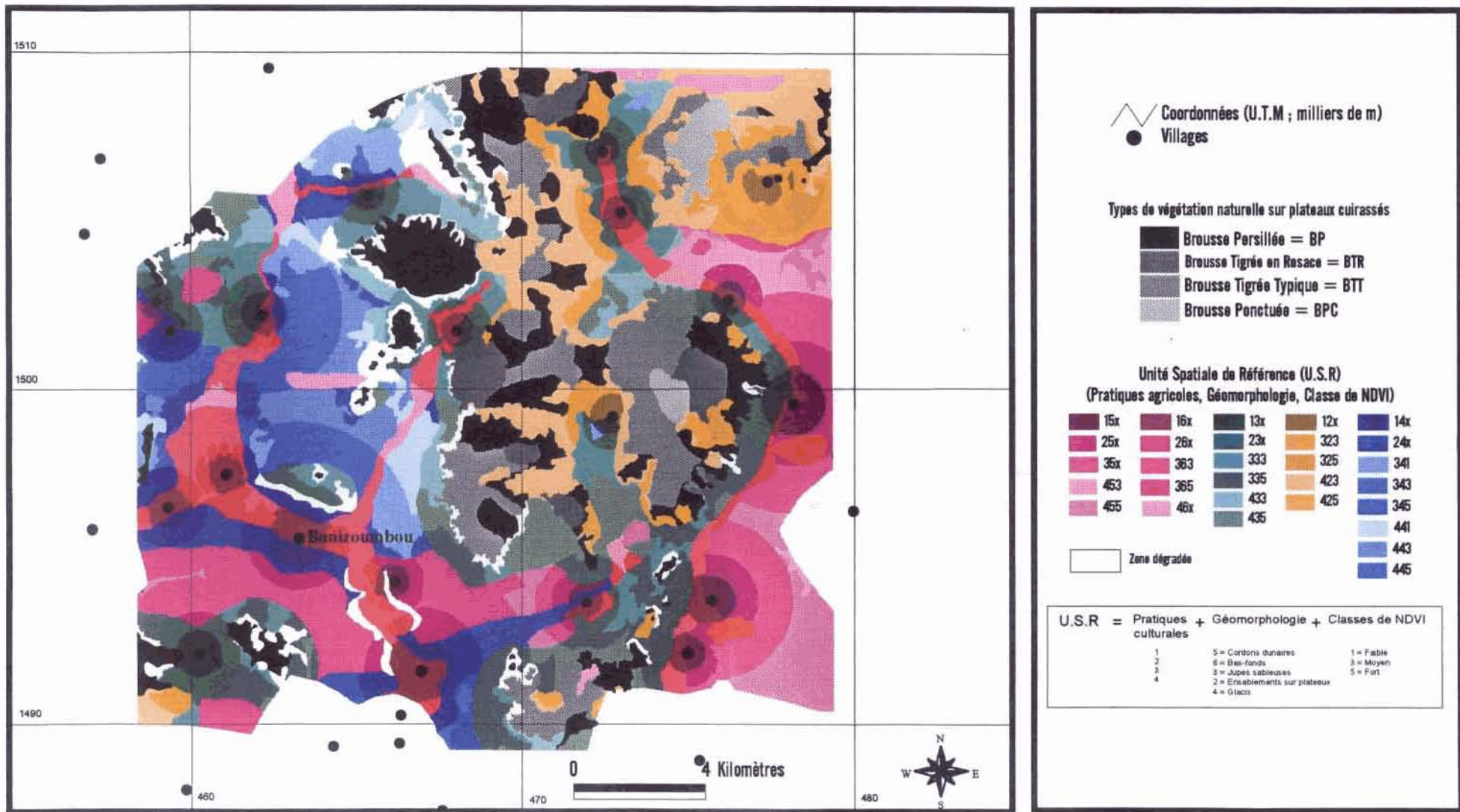


Figure 65 : Carte des Unités Spatiales de Référence (USR), site de Banizoumbou, Niger

Hors plateaux cuirassés et zones dégradées, les cultures quasi-permanentes se situent principalement dans les bas-fonds (4% de l'espace ; Figure 65), les systèmes de cultures à jachères courtes (4 ans) et à jachères longues (6 ans) sur les jupes sableuses (respectivement 6% et 12%), les cultures extensives à jachères très longues (> 10 ans) sur les ensablements sur plateaux.

Du point de vue de la distribution des pratiques agricoles par type géomorphologique (Figure 66), les bas-fonds, glacis, cordons dunaires et jupes sableuses sont tous majoritairement occupés par les systèmes de cultures à jachères longues (respectivement 5% de l'espace, 10%, 11% et 12%). Seuls les ensablements sur plateaux sont majoritairement occupés par les systèmes de cultures à jachères très longues (10%).

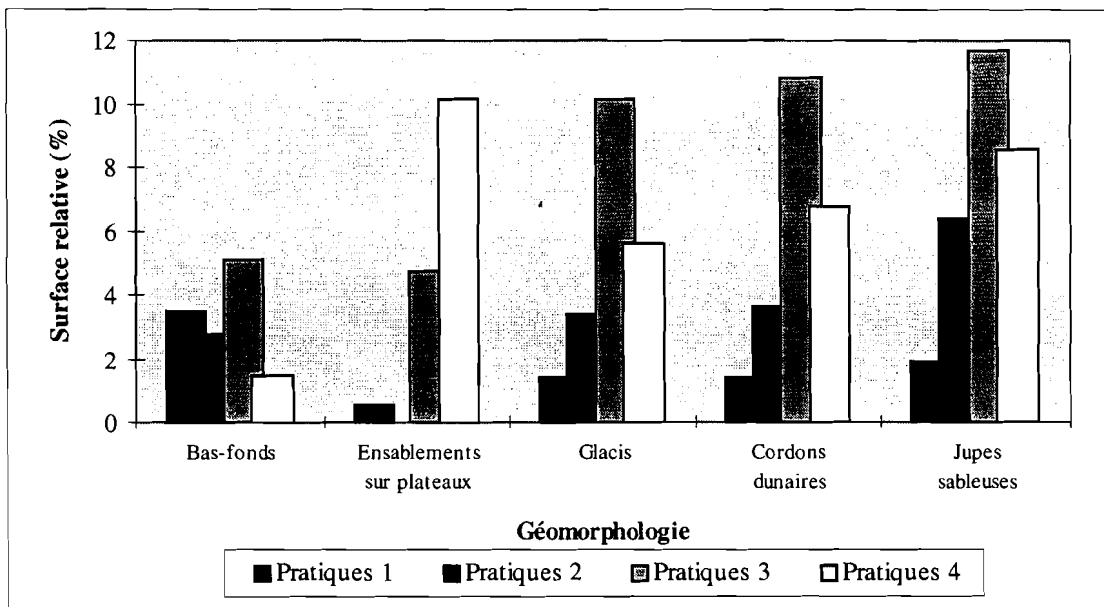


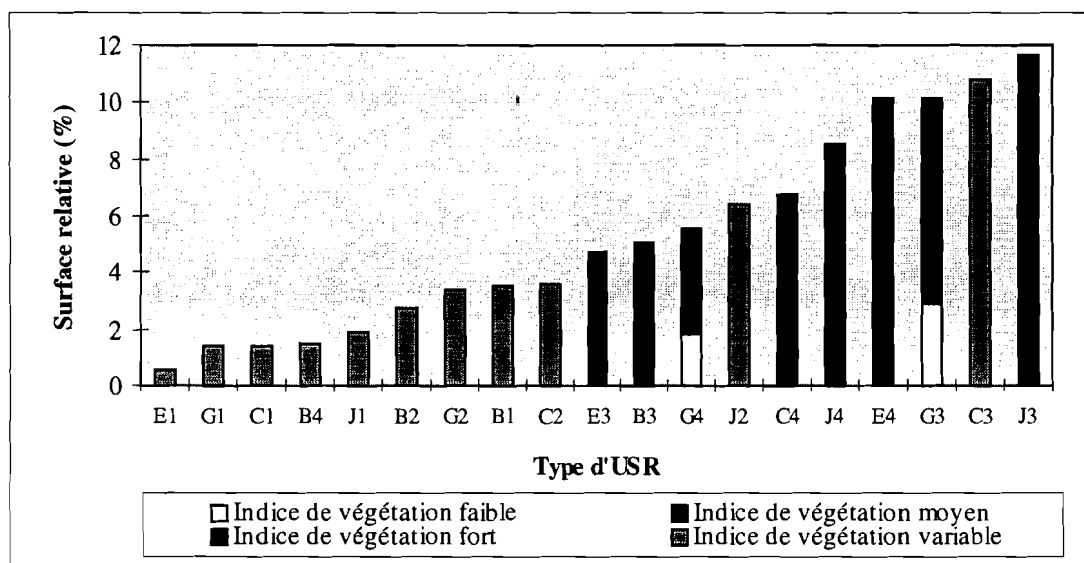
Figure 66 : Surfaces relatives des différentes USR hors plateaux cuirassés et zones dégradées, sans distinction des classes d'indice de végétation

Les USR les plus importantes, du point de vue de leur surface (Figure 67), sont celles sur cordons dunaires avec un système de culture à jachères longues (6 ans) et un indice de végétation fort (10,8 % de l'espace), et celles sur les ensablements sur plateaux avec un système de culture extensif (jachère > 10 ans) et un indice de végétation moyen (8,7 %).

Ensuite, les USR occupant entre 5 et 7% de l'espace sont, dans l'ordre décroissant :

- les systèmes de cultures à jachères courtes (4 ans) sur les jupes sableuses avec un indice de végétation variable (6,4 %) ;
- les systèmes de cultures à jachères longues sur jupes sableuses avec un indice de végétation moyen (6 %) et fort (5,7 %) ;
- les systèmes de cultures extensifs sur jupes sableuses avec un indice de végétation fort (5,4 %) ;
- les systèmes de cultures à jachères longues sur glacis avec un indice de végétation moyen (5%).

Toutes les autres USR occupent moins de 4 % de l'espace, la moins importante, du point de vue de la surface relative toujours, étant les systèmes de cultures quasi-permanentes sur les ensablements sur plateaux (0,6 %).



B = Bas-fond ; C = Cordons dunaires ; E = Ensablements sur plateaux ; G = Glacis ; J = Jupes sableuses ; 1 = Pratiques 1 ; 2 = Pratiques 2 ; 3 = Pratiques 3 ; 4 = Pratiques 4.

Figure 67 : Surfaces relatives des différentes USR, hors plateaux cuirassés et zones dégradées

Les USR avec un indice de végétation variable occupent 37 % de l'espace hors plateaux cuirassés et zones dégradées, celles avec un indice de végétation moyen 35 %, un indice fort 23 %, un indice faible 5 %.

10.2. Les attributs des USR

Chaque USR ainsi déterminée est définie par une surface, un contour, une localisation dans l'espace des pratiques agricoles combinées, une situation géomorphologique, et une indication sur l'intensité du recouvrement végétal à travers un indice de végétation.

Les durées des jachères et des cultures qui caractérisent les USR permettent de donner un équivalent en surfaces des différents types d'occupation du sol (jachères d'âge différent, champs cultivés, végétation naturelle) dans chaque USR (cf. Tableau 37, paragraphe 7.8.1), sans localisation précise des parcelles à l'intérieur de l'USR.

En fonction de ce type d'occupation du sol, de la situation géomorphologique et de la classe d'indice de végétation, il est alors possible d'attribuer des biomasses ligneuses et herbacées moyennes, par hectare, pour chaque USR.

Les ressources sont définies sur les Unités Paysagères selon les différents types d'occupation des sols (cf. 9.3.) ; la proportion surfacique de ces différentes unités élémentaires définie par les Unités de Pratiques Homogènes (UPH) permet de pondérer

les chiffres de biomasses des unités élémentaires par leur surface relative dans l'USR et de calculer (somme des biomasses pondérées) ainsi des chiffres moyens de biomasses en kg/ha sur l'USR (Tableau 39).

Chaque chiffre moyen de biomasse à l'hectare par type de jachère, en fonction de la géomorphologie et de son âge, est accompagné d'un écart-type (cf. Annexe 12). Le chiffre moyen de biomasse est retenu si la classe d'indice de végétation est moyenne, le chiffre moyen de biomasse moins l'écart-type si la classe d'indice de végétation est faible, et enfin, le chiffre moyen de biomasse plus l'écart-type si la classe d'indice de végétation est forte. Ainsi, les classes d'indice de végétation, qui caractérisent les USR, permettent d'ajuster les biomasses moyennes mesurées au sol en fonction de la répartition spatiale des ressources sur un type géomorphologique et avec un système de culture déterminé.

Tableau 39 : Biomasses herbacées et ligneuses (kg MS/ha) pour chaque USR

USR	Toutes jachères rapportées au cycle cultural (kg M.S/ha)			Toutes cultures rapportées au cycle cultural (kg M.S/ha)				Biomasse totale
	Biomasse totale	Herbacées	Ligneux	Biomasse totale	grains mil	chaumes mil	chaumes faux mil	
12x	76	65	12	1858	350	1320	276	1934
13x	68	57	11	1805	324	1301	603	1873
14x	77	59	18	1529	276	1090	423	1605
15x	59	59	44	1529	276	1090	423	1587
16x	64	38	27	911	148	644	0	976
23x	961	657	304	476	94	334	67	1437
24x	1006	627	378	476	94	334	67	1481
25x	1039	527	513	256	61	173	-	1295
26x	967	478	489	695	126	496	67	1661
323	1359	826	533	733	159	490	110	2092
325	1706	1039	598	733	159	490	110	2439
333	1335	803	532	733	159	490	110	2068
335	1716	1046	610	733	159	490	110	2449
341	926	603	321	733	159	490	110	1659
343	1255	698	557	733	159	490	110	1988
345	1584	792	794	733	159	490	110	2317
35x	1781	792	1096	733	159	490	110	2514
363	1897	639	1258	733	159	490	110	2630
365	3298	873	2509	733	159	490	110	4031
423	1822	888	934	475	107	313	60	2297
425	2601	1199	1370	475	107	313	60	3076
433	1758	824	934	475	107	313	60	2233
435	2735	1352	1380	475	107	313	60	3210
441	940	610	328	475	107	313	60	1415
443	1608	853	756	475	107	313	60	2083
445	2443	1095	1348	475	107	313	60	2918
453	2644	743	1901	475	107	313	60	3119
455	4657	995	3787	475	107	313	60	5132
46x	4509	704	3805	475	107	313	60	4984
Moyenne	1617	688	936	745	152	511	129	

Les biomasses apportées par les surfaces en jachères sont, par définition, plus élevées dans les USR caractérisées par un système de culture extensif (pratiques 4), étant donné la surface occupée par les jachères (62 %). La biomasse herbacée est maximum sur les glacis caractérisés par un fort indice de végétation ; la biomasse ligneuse dans les bas-fonds, quelle que soit la classe d'indice de végétation.

Les productions de grains de mil et de chaumes de mil sont maximales sur les ensablements sur plateaux avec un système de culture intensif (cultures quasi-permanentes).

La biomasse épigée totale par hectare dans une USR est produite sur les cordons dunaires, avec un système de culture extensif (pratiques 4) et une classe d'indice de végétation fort.

A partir du cadre spatial fourni par les USR et les attributs de chacune d'entre elles, des bilans spatialisés de l'utilisation des ressources sont élaborés par type d'usage dans un premier temps : pour l'activité agricole (cf. 8.4), pour l'activité pastorale (cf. 11.), pour l'activité de prélèvements de bois-énergie (cf. 12.). Un bilan spatialisé du multi-usage sur un espace commun est élaboré dans un deuxième temps (cf. 13.).

10.3. Bilan de l'activité agricole sur la sensibilité des sols à la dégradation

10.3.1. Construction d'un indice de sensibilité des sols à la dégradation par USR

La spatialisation de l'activité agricole fournit un cadre spatial (espace découpé en Unités Spatiales de Référence) sur lequel il est possible de calculer un indice de sensibilité des sols à la dégradation, considéré comme la somme des sensibilités des sols à la dégradation dues au type géomorphologique d'une part, et aux pratiques agricoles qui y sont appliquées d'autre part.

D'après les travaux de Delabre (1998), chacune des 5 classes de jachères qu'il identifie dans la zone d'étude a pu être située, en fonction de la classification de Piéri (1989), sur une échelle de sensibilité physique des sols à la dégradation, construite à partir de la confrontation de la texture (Argiles + limons fins) et des teneurs en matière organique des sols. L'indice de sensibilité moyen de 8 est attribué à la classe 1, 10 à la classe 2, 8 à la classe 3, 6 à la classe 4 et 3 à la classe 5. Plus l'indice est faible et plus la sensibilité physique des sols à la dégradation est forte.

La classe 1 correspond aux jachères les plus jeunes (2 ans en moyenne), situées préférentiellement sur les dunes et les jupes ; la classe 2 aux jachères de 4 ans en moyenne, préférentiellement sur les cordons dunaires et dans les bas-fonds ; la classe 3 aux jachères de 5 ans en moyenne, préférentiellement sur les glacis et dans les bas-fonds ; la classe 4 aux jachères d'âge moyen entre 6 et 10 ans, préférentiellement sur les jupes sableuses ; la classe 5 aux plus vieilles jachères (> 10 ans), préférentiellement sur les glacis.

Toutes les stations échantillonnées par Eric Delabre appartiennent à l'une des classes de la typologie des jachères et sont situées sur un type géomorphologique déterminé. Il est ainsi possible de calculer une importance relative des différentes classes de jachères selon les types géomorphologiques (Tableau 40).

Tableau 40 : Importance relative (%) des classes de jachères de la typologie de Delabre (1998), associées à un indice de sensibilité physique des sols à la dégradation, sur les différents types géomorphologiques

Classes de la typologie des jachères d'Eric Delabre	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Indice moyen de sensibilité physique des sols à la dégradation	8	10	8	6	3
Glacis	7	0	36	0	57
Jupes sableuses	24	0	16	50	10
Cordons dunaires	26	51	7	8	8
Bas-fonds	11	33	40	16	0
Ensablements sur plateaux	38	0	0	31	31

Ensuite, un indice de sensibilité physique des sols à la dégradation par type géomorphologique est construit en faisant la somme des indices de sensibilité physique des sols à la dégradation multipliés par leur importance relative dans chaque classe de la typologie des jachères. Par exemple, l'indice de sensibilité pour les glacis est égal à : $(8*7)+(10*0)+(8*36)+(6*0)+(3*57) = 5$.

Construit de cette manière, plus l'indice est faible et plus la sensibilité à la dégradation est forte. Pour la suite des calculs, nous avons préféré construire un indice qui soit d'autant plus fort que la sensibilité à la dégradation l'est, sur une échelle de 0 à 100 : valeur 100 pour un indice selon Piéri (1989) de 3 ; valeur 0 pour l'indice maximum de 8,5 sur les cordons dunaires. Les indices de sensibilité physique des sols à la dégradation par type géomorphologique retenus in fine sont présentés dans le tableau 41.

Tableau 41 : Indice de sensibilité physique des sols à la dégradation par type géomorphologique

Type géomorphologique	Indice de sensibilité physique des sols à la dégradation
Cordons dunaires	0
Bas-fonds	6
Jupes sableuses	31
Ensablements sur plateaux	42
Glacis	70

D'autre part, nous posons l'hypothèse forte que plus les différentes pratiques agricoles combinées correspondent à un degré d'artificialisation fort, plus leur application contribue à augmenter la sensibilité physique globale des sols à la dégradation, exceptées pour les pratiques intensives de type 1, caractérisées par un apport de matière organique dont l'objectif est d'entretenir une bonne fertilité des sols.

Nous avons donc été amené à construire un indice de sensibilité des sols à la dégradation, selon les pratiques agricoles, inversement proportionnel aux degrés d'artificialisation, sur une échelle de 0 à 100 (les pratiques de type 1 exclues) : valeur 0 pour un degré d'artificialisation de 33, valeur 100 pour un degré d'artificialisation de 455. Les indices de sensibilité des sols à la dégradation, par classe de pratiques agricoles, retenus in fine sont présentés dans le tableau 42.

Tableau 42 : Indice de sensibilité des sols à la dégradation par classe de pratiques agricoles

Classes de pratiques agricoles	Degré d'artificialisation	Indice de sensibilité des sols à la dégradation
1	455	0
4	82	18
3	200	44
2	244	54

L'indice global de sensibilité des sols à la dégradation (ISSD) par USR est la somme des indices de sensibilité par type géomorphologique et par classe de pratiques agricoles combinées, les deux attributs principaux de chaque USR. Les indices ainsi obtenus sont ré-étalés sur une échelle de 0 à 100 et donnent le résultat suivant (Tableau 43).

Tableau 43 : Indice global de sensibilité des sols à la dégradation (ISSD) par USR (géomorphologie, pratiques agricoles combinées)

	Classes de pratiques agricoles	1	4	3	2
Types géomorphologiques	Indice de sensibilité des sols à la dégradation	0	18	44	54
Cordons dunaires	0	0	15	35	43
Bas-fonds	6	5	20	40	48
Jupes sableuses	31	25	39	60	
Ensemblements plateaux	42	34	48		
Glacis	70	56			

Les sols les plus sensibles à la dégradation sont ceux qui à la fois sont sur les glacis et sur lesquels le système de culture appliqué par les agriculteurs est un système à jachères courtes sans (ou peu) apport de matières organiques. Les moins sensibles sont les sols qui à la fois sont sur cordons dunaires et sur lesquels le système de culture appliqué est un système à cultures quasi-permanentes avec apport annuel de matières

organiques. Entre ces deux extrêmes, une série de situations intermédiaires est mise en évidence dans le tableau 43.

10.3.2. Carte d'indice de sensibilité des sols à la dégradation

La classe d'indice de végétation, attribuée à chaque USR, sert essentiellement à calibrer les chiffres de biomasses, herbacées et ligneuses ; seuls le type géomorphologique et la classe de pratiques agricoles servent à construire l'indice de sensibilité des sols à la dégradation. Ainsi, le nombre d'unités spatiales, sur lesquelles un indice de sensibilité à la dégradation est attribuée, est diminué car on ne tient pas compte des variations de classe de NDVI selon la géomorphologie et les pratiques agricoles.

A partir des indices de sensibilité des sols à la dégradation présentés dans le tableau 43, des regroupements ont été effectués afin de construire 5 classes d'indices, auxquelles peuvent être associées un qualificatif, indicateur du degré de sensibilité des sols à la dégradation :

[0-30]	: sensibilité très faible ;
]30-45]	: sensibilité faible ;
]45-60]	: sensibilité moyenne ;
]60-80]	: sensibilité forte ;
]80-100]	: sensibilité très forte.

Ces différentes classes sont représentées selon un gradient de gris dans le tableau 43.

La carte résultante est présentée sur la figure 68 selon un gradient de couleurs allant des couleurs froides (bleu) pour les indices de sensibilité faible à des couleurs chaudes (rouge) pour les indices forts.

Plus de la moitié de l'espace (55 %), sur la zone d'étude, est caractérisée par des sols peu ou moyennement sensibles à la dégradation, étant donné leur situation géomorphologique et les pratiques agricoles qui y sont appliquées : 29 % avec un ISSD faible et 26 % avec un ISSD moyen (Tableau 44).

Tableau 44 : Surfaces relatives (%) des différentes classes d'indice de sensibilité des sols (ISSD), hors plateaux cuirassés et zones dégradées

Classe de ISSD	Surface relative (%)
[0-30] : indice très faible	15
]30-45] : indice faible	29
]45-60] : indice moyen	26
]60-80] : indice fort	17
]80-100] : indice très fort	14

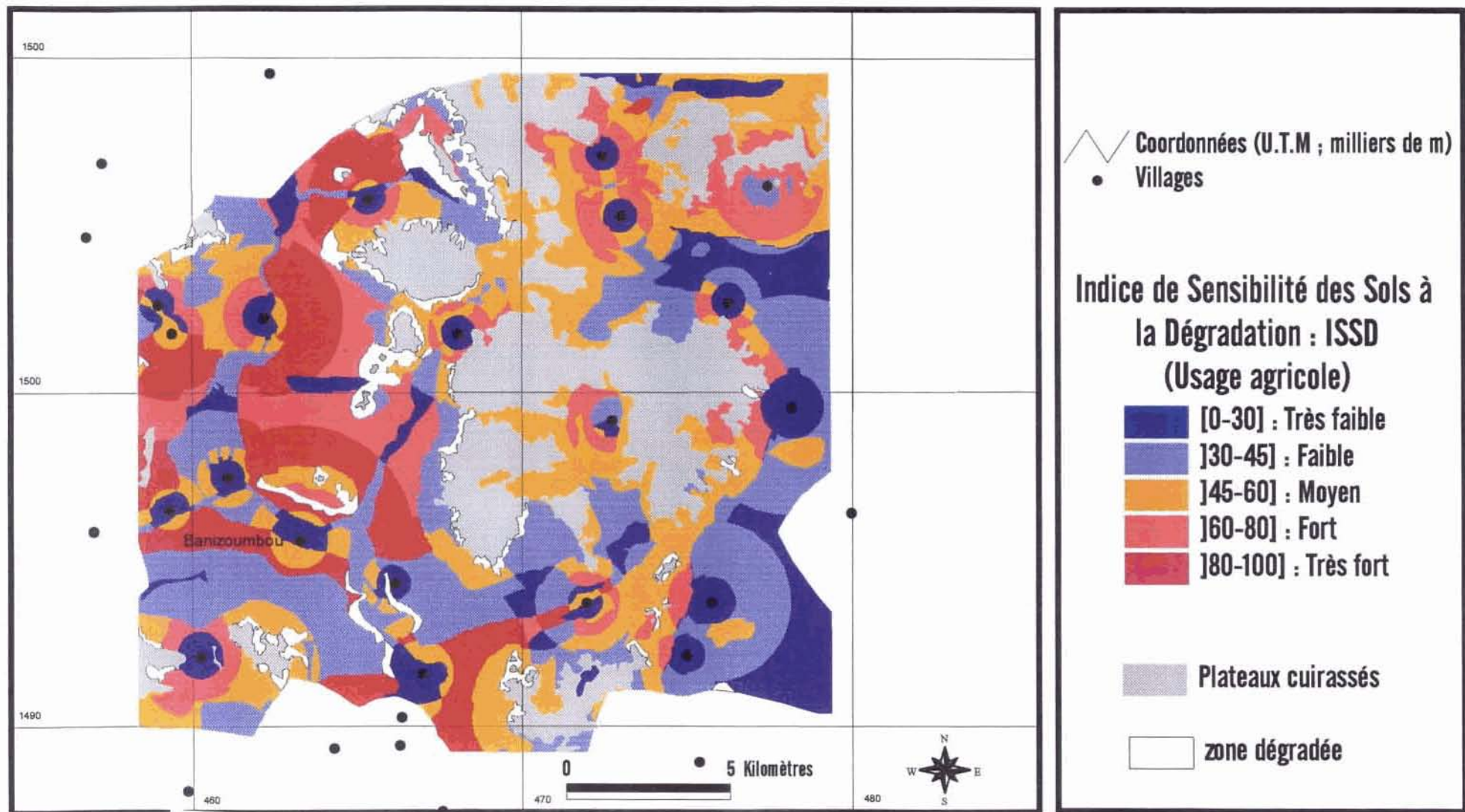


Figure 68 : Carte d'Indice de Sensibilité des Sols à la Dégradation (ISSD), site de Banizoumbou, Niger

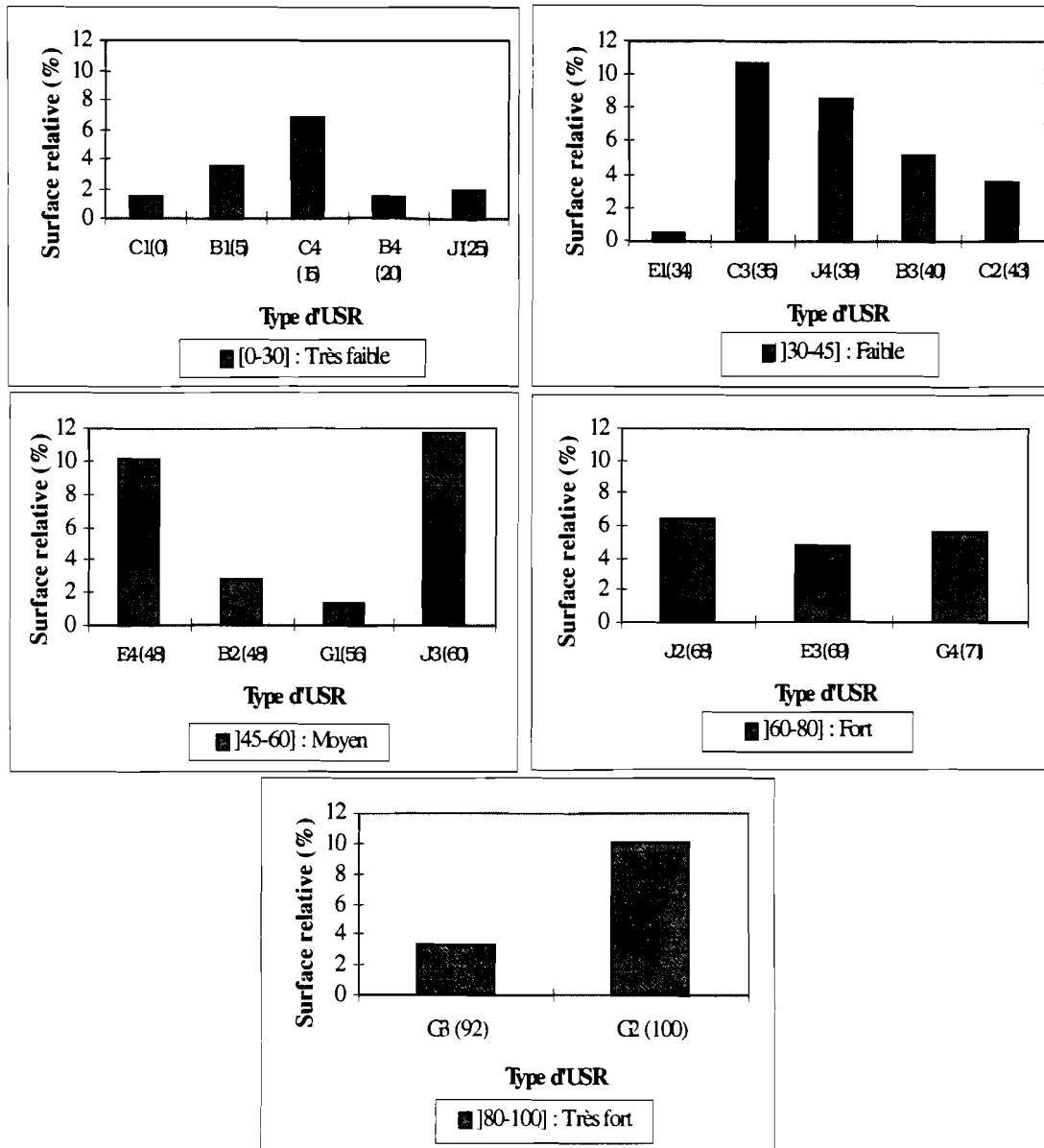
Les indices très faibles ne correspondent jamais à des sols sur ensablements sur plateaux et sur glacis, ni à des pratiques agricoles de type 2 et 3 (Figure 69). La plus grande surface avec un ISSD très faible correspond aux cordons dunaires avec les pratiques agricoles les plus extensives, type 4 (C4 : 6,7 % de l'espace hors plateaux cuirassés et zones dégradées).

Les indices faibles ne correspondent jamais à des sols sur ensablements sur plateaux et sur glacis, mais tous les types de pratiques agricoles sont concernés : type 1 sur ensablements sur plateaux, type 2 sur cordons dunaires, type 3 sur cordons dunaires et bas-fonds, type 4 sur jupes sableuses. La plus grande surface avec un ISSD faible correspond aux cordons dunaires avec les pratiques agricoles à jachères longues (6 ans), type 3 (C3 : 10,7 %).

Les indices moyens ne correspondent jamais à des sols sur cordons dunaires, mais tous les types de pratiques agricoles sont concernés : type 1 sur glacis, type 2 dans les bas-fonds, type 3 sur les jupes sableuses et type 4 sur les ensablements sur plateaux. La plus grande surface avec un ISSD moyen correspond aux ensablements sur plateaux avec les pratiques agricoles les plus extensives, type 4 (E4 : 10,1 %).

Les indices forts ne correspondent jamais à des sols sur cordons dunaires et dans les bas-fonds, ni à des pratiques agricoles de type 1. La plus grande surface avec un ISSD fort correspond aux jupes sableuses avec les pratiques agricoles à jachères courtes (4 ans), type 2 (J2 : 6,4 %).

Les indices très forts ne correspondent qu'aux sols sur glacis avec des pratiques agricoles de type 2 (jachères courtes, 4 ans) et 3 (jachères longues, 6 ans), sans apport de matières organiques. La plus grande surface avec un ISSD très fort correspond aux glacis avec les pratiques agricoles à jachères courtes (4 ans), type 2 (G2 : 10,2 %).



B = Bas-fond ; C = Cordons dunaires ; E = Ensablements sur plateaux ; G = Glacis ; J = Jupes sableuses ; 1 = Pratiques 1 ; 2 = Pratiques 2 ; 3 = Pratiques 3 ; 4 = Pratiques 4.
 Les chiffres entre parenthèses sur l'axe des X correspondent aux indices précis de sensibilité des sols à la dégradation pour chaque type d'USR.

Figure 69 : Surfaces relatives (%) des types d'USR, hors plateaux cuirassés et zones dégradées, selon leur classe de sensibilité des sols à la dégradation (site de Banizoumbou, Niger)

L'indice de sensibilité des sols à la dégradation est un indice élaboré en combinant plusieurs paramètres. La spatialisation de cet indice permet de produire une carte d'ISSD, susceptible de :

- mesurer l'intensité et l'ampleur (surfaces relatives) des risques de dégradation des sols,
- de donner des éléments de décision pour une localisation optimale des productions dans l'espace.

**Cinquième partie : BILAN SPATIALISE DU MULTI-USAGE SUR UN
ESPACE COMMUN**

PREAMBULE

Par rapport au schéma traditionnel d'exploitation des ressources par l'homme au Sahel agro-pastoral avant 1950 (un centre villageois, des terres cultivées aux abords du villages, puis un espace pastoral et forestier en périphérie), on assiste depuis 50 ans à une progressive interpénétration des espaces-ressources, agricole, pastoral et forestier, de part l'extension (saturation de l'espace par les parcelles agricoles, exceptée sur les plateaux cuirassés) et l'intensification (diminution du temps de jachère) de l'activité agricole. Dans cet espace multi-fonctionnel, l'agriculture devient l'activité structurante dominante du paysage dont dépend en grande partie la disponibilité des ressources pastorales et forestières. En effet, les jachères et les résidus de récolte représentent le potentiel fourrager dont dépend majoritairement la survie du troupeau. La végétation naturelle sur plateaux cuirassés est aussi un potentiel fourrager suivant les saisons et la plus importante réserve de bois pour l'approvisionnement en bois-énergie des ménages en zone rurale et des grands centres urbains. Les jachères sont également une importante source de bois au niveau des familles en zone rurale.

En fonction de l'utilisation agricole des sols, différentes sensibilités à la dégradation des sols ont été mises en évidence. La probabilité pour le renouvellement des ressources ne serait a priori pas la même, dans l'espace étudié, suivant l'intensité de l'activité agricole et le type de sols. Autrement dit, plus la sensibilité à la dégradation des sols est forte, plus la production et le renouvellement des ressources seraient compromises. Or, les usages pastoral et forestier dépendent de l'occupation agricole des sols.

L'objectif que nous avons cherché à atteindre dans les chapitres 10 et 11 est la réalisation d'un bilan spatialisé entre les ressources et les prélèvements pastoraux et forestiers. Où sont les ressources, quels sont les prélèvements et où s'opèrent-ils et selon quelles règles de gestion. Dans cet espace multifonctionnel, les mêmes ressources sont utilisées synchroniquement ou diachroniquement pour subvenir à différents besoins des sociétés. Y a-t-il un équilibre entre les ressources et les prélèvements à court terme ?

Dans le chapitre 12, nous chercherons à savoir dans quelle mesure ces multiples activités, sur un même espace, contribuent ou non à un risque de désertification. Quelle est la responsabilité de chacune des activités pour la définition des conditions de renouvellement et de production des ressources.

Ainsi, l'objectif principal de cette partie est de quantifier et qualifier l'impact des activités pastorale, forestière et agricole sur la production et l'utilisation des ressources naturelles sur le site de Banizoumbou. A l'échelle locale, l'ensemble des activités pastorales, forestières et agricoles, y compris les modalités de la production de biomasse végétale en amont et l'usage des ressources, sont prises en compte dans notre analyse.

Pour ce faire, nous nous appuyons sur des travaux et études qui ont été réalisés conjointement au travail de cette thèse, sur la même zone d'étude : les travaux de Faure (1997) en ce qui concerne le module pastoral et ceux de d'Herbes (1997) en ce qui concerne le module bois-énergie. En effet, Jean-François Faure a exploité, sous notre

supervision, une partie des données, concernant l'usage pastoral, que nous avons recueillies sur le site de Banizoumbou ; travail qu'il a valorisé dans le cadre d'un DEA intitulé : "Logiques de l'utilisation de l'espace pastoral dans le Sahel nigérien" (Faure, 1997). En ce qui concerne l'usage forestier, et plus particulièrement la végétation de plateaux, de nombreux travaux ont été conduits entre 1991 et 1996 sur le fonctionnement, la structure et la gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. Un atelier a été réalisé à Niamey en novembre 1995, dont les actes ont été publiés par d'Herbes et al (1997).

Les problématiques pastorales et forestières seront exposées de manière synthétiques. L'analyse développée est essentiellement spatiale (utilisation d'un SIG). Les données dont nous disposons, que ce soit pour le module pastoral ou bois-énergie, ne sont pas toutes utilisées à l'heure actuelle. Leur exploitation est encore partielle. Tout en s'inscrivant dans une même recherche méthodologique visant une formalisation d'indicateurs bio-sociologiques de la désertification en zone agro-pastorale, ces données pourraient alimenter, pour chacun des modules, le sujet d'une thèse à part entière.

Pour le module pastoral, un modèle objet a été élaboré (cf. Annexe 14), à partir duquel la base de données a été implémentée, en relation avec le système d'information géographique. Tous les traitements présentés dans le chapitre 11 découlent de cette implémentation.

Pour le module "bois-énergie", un modèle objet équivalent n'a pas encore été élaboré à l'heure actuelle.

Chapitre 11 : MODELISATION SPATIALE DU FONCTIONNEMENT PASTORAL

11.1. Problématique pastorale

11.1.1. Deux ressources obligatoires : l'eau et le fourrage

Le pasteur, quel qu'il soit, où qu'il soit, a besoin d'accéder à deux types de ressources pour la bonne conduite de son troupeau : l'eau directement pour l'abreuvement des animaux et la végétation pour leur alimentation ; végétation dont la répartition, la qualité et la quantité dépendent elles-mêmes en grande partie de l'eau précipitée.

L'eau représente au Sahel une contrainte majeure, tant d'un point de vue écologique et agro-économique, que social et politique. Les déplacements constants dans le temps et l'espace des pluies influent sur l'état des couvertures végétales, sur leurs distributions spatiales ainsi que sur les états de surface du sol (Courel, 1984, Casenave et Valentin, 1989).

L'eau précipitée produit un système hydrologique assez particulier dans les zones arides et semi-arides en général : la région est pauvre en grands fleuves, mais riche en petits bassins endoréïques, de superficie allant de quelques hectares à quelques kilomètres carrés. La disponibilité des ressources du réseau endoréïque demeure largement inféodée à la dimension temporelle : elle est bonne en saison humide où l'eau est fournie par des mares naturelles alimentées par les pluies ; elle est quasi-nulle en période sèche où seuls les puits et forages rejoignant les nappes souterraines et quelques mares permanentes répondent aux besoins (Bernus, 1981).

Cette précarité des ressources concerne tous les hommes du Sahel, qu'ils soient agriculteurs ou éleveurs. En effet, tous dépendent des espèces végétales, cultivées ou naturelles, qui elles-mêmes dépendent du régime pluviométrique, de la qualité des sols et des états de surface.

Potentiellement exploitée par les pasteurs, la biomasse produite par les différents types de végétation varie donc considérablement dans le temps et l'espace. Les jachères et les résidus de récolte représentent le potentiel fourrager dont dépendra la survie du troupeau. Les bergers exploitent des espèces végétales qui se succèdent dans l'espace et le temps selon l'abondance et la distribution des pluies. Les deux strates -herbacées et ligneuses- sont consommées par les animaux. Chaque espèce est caractérisée par un indice de qualité fourragère propre. Les graminées présentent généralement des qualités nutritionnelles (teneur en matières azotées) plus faibles que les produits des ligneux ou les légumineuses. En saison sèche, elles ne constituent plus qu'une alimentation de lest en complément de la consommation des arbustes. Pendant cette période, les feuilles et les fruits de certains ligneux sont particulièrement recherchés : c'est le cas de *Balanites aegyptiaca*, de *Maerua crassifolia* ou encore *Boscia angustifolia*. Ces arbustes ont souvent la forme de boules, toutes les jeunes pousses étant systématiquement consommées par le bétail (Bernus, 1981, Boudet, 1985). Les mouvements de transhumance sont assez réguliers : dès l'arrivée de la saison humide, les bergers emmènent les troupeaux au nord pour permettre la mise en culture des champs et pour

profiter des vastes ressources pastorales générées par les pluies ; c'est également la période de la cure salée, nécessaire à la bonne santé des animaux. En saison sèche le mouvement inverse est suivi, les animaux pâturent essentiellement dans les jachères et les zones cultivées une fois faite la récolte des cultures (Jouve, 1991).

11.1.2. Les méthodes d'élevage : incidence sur les productions pastorales

Afin de réguler l'accès aux ressources pastorales et aux points d'eau, l'adoption de pratiques pastorales particulières et l'élaboration de codes sociaux ont été mis en place. Les peuples pasteurs du Sahel ont contribué et contribuent encore à forger l'identité culturelle de la région, qui se définit parfois en fonction de la présence et de l'absence des grands troupeaux transhumants ou nomades.

La **mobilité** des éleveurs dépend de facteurs de natures très différentes. La forte variabilité spatio-temporelle des pluies est certainement le facteur principal. Elle oblige les pasteurs à une nécessaire recherche de disponibilités en eau et en pâture pour leurs troupeaux. D'un point de vue écologique, cette mobilité permet l'exploitation pastorale d'espaces naturels faiblement productifs tout en garantissant la reconstitution de la biomasse consommée, dans la mesure où la charge animale n'est pas excessive. La stratégie itinérante autorise par ailleurs la conservation d'un effectif animal maximal, objectif essentiel pour les pasteurs. Elle favoriserait une reconstitution plus rapide des troupeaux -donc du capital- après d'éventuelles épizooties par rapport à des conditions d'élevage sédentaires (Bernus, 1981). La mobilité est aussi l'expression de relations sociales et économiques établies entre peuples éleveurs et peuples agriculteurs au cours de l'histoire. Ces relations complexes ont conduit à la constitution de systèmes agropastoraux ou de systèmes plus spécifiquement pastoraux. Un droit coutumier ordonne les conditions d'accès à la terre et aux ressources en eau, fixe les modalités de passage et de pâturage des animaux transhumants. Ce droit varie localement en fonction des groupes ethniques impliqués. Les Peul et Touareg constituent les principaux peuples nomades ou transhumants du Niger, bien qu'une certaine fraction des Peul soit sédentaire.

Leur différentes méthodes d'élevage obéissent à des règles invariables qui ont une incidence importante sur les productions pastorales :

- Les terres appartiennent aux groupes sociaux et ne deviennent jamais propriété individuelle.
- Les puits appartiennent à ceux qui les ont construits.
- La mobilité des troupeaux représente le fondement des systèmes d'exploitation et rythme la vie des sociétés humaines.
- La bétail revêt une importance économique centrale parce qu'il représente la principale source de subsistance et qu'il constitue l'unique capital dans un contexte d'insécurité financière. La gestion du capital animal au sein d'un troupeau est conditionnée par deux contraintes : les risques de décroissance rapide et une croissance naturelle lente. On estime à plus de 20 ans le temps de doublement d'un troupeau de femelles bovines reproductrices.

- La taille et le type du troupeau sont des signes distinctifs dans les statuts sociaux. Les modalités de transferts de propriété des animaux sont codifiées.
- L'élevage est destiné avant tout à la production de lait et de ses dérivés ; la viande n'est consommée qu'à l'occasion de fêtes religieuses ou sociales.
- Les unités domestiques de production sont réduites, mobiles et indépendantes, mais s'insèrent nécessairement dans un ensemble social plus large en mesure de les soutenir : échange d'animaux, reconstitution de troupeaux.

La conduite des troupeaux n'est pas simplement fonction de la qualité des pâturages ; elle s'organise en fonction de la composition et de la taille du troupeau, des ressources en eau, de la main d'oeuvre disponible dans chaque unité familiale, de l'emplacement des marchés ou de la distance aux champs. Si l'accès aux ressources pastorales est collectif, la gestion de l'espace n'en est pas moins rationnelle, définie entre groupes sociaux occupant et exploitant un territoire ou terroir commun (Thebaud, 1988).

11.1.3. Evolution des systèmes pastoraux au Sahel et au Niger

Le nomadisme et le pastoralisme transhumant se heurtent aujourd'hui à de fortes contraintes humaines liées aux évolutions structurelles globales des sociétés sahéniennes. Sous la pression de la croissance démographique, l'expansion d'une agriculture de subsistance modifie les rapports entre pasteurs et agriculteurs. L'accès aux ressources devient de plus en plus problématique à partir d'une situation foncière qualifiée par Boudet en 1990 "d'imbroglio socio-culturel et juridique". Les conflits naissent entre pasteurs et agriculteurs, entre pasteurs et forestiers, dans des espaces où l'agriculture pluviale extensive est en train de s'intensifier. Les systèmes pastoraux du Sahel semblent évoluer vers une marginalisation des activités traditionnelles, vers une sédentarisation des pasteurs et vers le développement d'activités combinant agriculture et élevage (Faure, 1997).

Le mode nomade "pur" tend à disparaître au profit de stratégies mixtes : éleveurs sédentaires et/ou transhumants, éleveurs-agriculteurs ou agriculteurs-éleveurs (Jouve, 1991). La sédentarisation est un phénomène multifactoriel. Une simple stabilisation des ressources fourragères peut par exemple amener certains groupes à exercer un contrôle durable sur leur territoire ; mais c'est en général la concordance des politiques administratives volontaristes, de l'extension des terres agricoles et des pertes de revenus purement pastoraux, qui conduit à la fixation des éleveurs et à la diversification de leurs activités. En effet, les politiques nationales récentes du Niger, concernant les activités pastorales, ont généralement visé la sédentarisation des peuples pasteurs car souvent considérés par les pouvoirs comme groupes mal contrôlables. Bernus note en 1994 une attitude de méfiance de la part de l'administration nigérienne envers *les sociétés pastorales, leur gestion des parcours, leur exploitation des troupeaux et leur économie*. La mobilité des pasteurs peut par ailleurs donner lieu à des conflits ethniques frontaliers, notamment en zone septentrionale, compliquant de fait la gestion par les autorités des modalités de la production animale (Schmidt, 1990). Appuyées par les organisations internationales, des politiques d'association d'éleveurs ont vu le jour après la sécheresse

de 1984-85 ; au Niger, le programme appelé *Groupements mutualistes pastoraux* fut un échec étant donné la difficulté de sa mise en oeuvre.

Bonfiglioli (1990) distingue 3 grands types de dynamique agro-pastorale caractéristiques des pasteurs sédentarisés : l'agro-pastoralisme d'opportunisme, l'agro-pastoralisme d'attente ou de passage et l'agro-pastoralisme de sécurité. Sur la zone d'étude, d'après notre typologie d'exploitations (cf. 4.3.2.), nous regroupons, sans distinction, ces trois grands types dans la catégorie des pasteurs-agriculteurs, essentiellement peuls et bellas. Cette catégorie concerne 10 % des exploitations de la zone.

A ces pasteurs sédentarisés, s'ajoutent des agriculteurs pratiquant l'élevage. Par la possession d'animaux, l'agriculteur transforme sa position sociale : le bétail constitue une alternative et une chance, dans un contexte économique sahélien où l'argent n'est pas un moyen sûr de thésauriser. Hors période de sécheresse, le bétail procure, en tant que capital, prestige, ressources alimentaires et stabilité financière. Pendant les phases post-sécheresse, caractérisées par la flambée des cours céréaliers, l'acquisition de bétail est l'une des rares possibilités d'investissement. La reproduction naturelle des animaux est une source d'accumulation de richesses immédiatement convertible en argent, non soumise à l'inflation, car les produits d'origine animale ont généralement plus de valeur marchande que les produits céréaliers. L'agro-pastoralisme d'intérêt, ou l'agro-pastoralisme de reconversion, concurrence les pasteurs tout en établissant des liens de coopération forts sous la forme de gardiennage ou de gérance. Sur la zone d'étude, 20 % des exploitations sont gérées par des agriculteurs (essentiellement zarmas) pratiquant l'élevage (cf. 4.3.2.). La majorité des exploitations sont à vocation exclusivement agricole (70%).

En plus de ces trois catégories, la zone d'étude est traversée en début et en fin de saison des pluies par des grands troupeaux transhumants venus de régions plus au Sud.

11.1.4. Problématique pastorale au Niger et sur le site de Banizoumbou

Parallèlement à l'extension des superficies cultivées au Niger (doublement en 25 ans), l'élevage, qui représente un tiers de la part agricole du PNB nigérien, connaît actuellement un accroissement significatif des cheptels, qui correspond à une tendance affectant l'ensemble du Sahel. Trois éléments explicatifs de cette croissance des cheptels peuvent être avancés : d'abord les bonnes conditions sanitaires de lutte contre les épizooties mises en place dans les années 60 ; ensuite, les politiques de développement hydraulique conduites au Niger depuis une quinzaine d'années. Les points d'accès à l'eau se sont multipliés en zone rurale, avec toutefois des effets pervers : une concentration excessive des troupeaux aux points d'eau provoquant surpâturage et dégradation des sols, et une désorganisation du système traditionnel de gestion des ressources en eau, source de conflits (Bernus, 1979 ; Thebaud, 1988). Enfin, la multiplication des nouvelles formes et méthodes d'élevage pratiquées par les cultivateurs.

Les conséquences de ce constat sont nombreuses, notamment en terme d'organisation sociale et de gestion de conflits d'usages des terres. Il semble que, dans ces conditions, la dégradation des ressources pastorales pourrait prendre des proportions alarmantes : la fragilité des systèmes pastoraux et agro-pastoraux face aux aléas

climatiques devrait s'accroître. Une étude publiée en 1996 dans la revue *Parcours* (Colin de Verdière et al) a en effet montré qu'au Niger, seuls les systèmes mobiles permettaient l'exploitation des ressources naturelles des espaces recevant moins de 300 mm/an de pluie tout en supportant une population en constante augmentation. Selon les auteurs, la productivité des systèmes pastoraux mobiles est 10 à 20 fois supérieure à celle des systèmes sédentaires. Les nouvelles formes d'élevage, de moins en moins mobiles, s'exposent aux dangers de la raréfaction des ressources, dangers qui se manifestent dramatiquement en période de sécheresse.

Dans ce contexte, ce que nous cherchons à savoir, ce sont les conséquences écologiques de ces évolutions. Evolue-t-on vers une rupture progressive des disponibilités fourragères offertes par les espaces pastoraux traditionnels ?

11.2. Méthodes de détermination spatiale des prélèvements pastoraux

11.2.1. Les données disponibles

Le thème des prélèvements pastoraux a été abordé à plusieurs niveaux de perception :

- a- l'ensemble de la zone d'étude,
- b- le village ou terroir villageois,
- c- le troupeau
- d- l'individu animal.

a- Au niveau de l'ensemble du territoire, un recensement saisonnier des points d'eau, utilisés ou non pour l'abreuvement du bétail, a été réalisé durant 2 années. Ces points d'eau ont été classés selon une typologie simple définissant leur degré de fréquentation par les animaux (pas de fréquentation, 0 à 200 têtes, 200 à 400, 400 à 800 et supérieur à 800). 76 points d'eau ont ainsi été recensés, toutes saisons confondues. Leur nature (mare, puits cimenté ou traditionnel, forage) a également été notée. Un échantillonnage respectant cette typologie sélectionne 3 points d'eau par classe de fréquentation, inspectés deux fois une journée par mois : l'ensemble des animaux fréquentant le point d'eau est recensé, par type (bovins, caprins, ovins, ânes et autres : le stade physiologique des 3 premières catégories est également noté), provenance et destination, propriétaire, berger. Cinq points correspondants aux différentes saisons sont réalisés dans l'année : saison des pluies (août à septembre), saison post-culturale (octobre à novembre), saison sèche froide (décembre à février), saison sèche chaude (mars à mai) et saison de soudure (juin à juillet). La moyenne des comptages, obtenus aux points d'eau sélectionnés, est calculée à l'intérieur de chaque classe avant d'être affectée aux autres points d'eau, classe par classe.

Ce type de récolte de données permet d'obtenir une image instantanée, actualisée dans l'année, de la répartition des troupeaux sur l'ensemble du territoire, ainsi que leur rattachement à un ou plusieurs points d'eau. Il permet également de détecter les troupeaux transhumants, peu pris en compte dans le niveau d'échantillonnage suivant.

- b- **Au niveau des terroirs villageois**, le recensement exhaustif des exploitations dans les huit villages des quatre terroirs échantillonnés pour la délimitation des Unités de Pratiques Homogènes, permet de préciser les modes de conduite de chaque troupeau, ainsi que son importance économique pour le ménage. Chaque village peut ainsi être caractérisé par sa *composition en éleveurs de différents types* (propriétaires sédentaires, transhumants, bergers, etc.), ainsi que par son *effectif animal* rapporté à la population totale.
- c- Dans deux villages échantillonnés (Banizoumbou et Karbanga), des **troupeaux** de composition diverse (bovins ; caprins ; ovins ;mixtes) ont été suivis durant les mêmes cycles saisonniers évoqués précédemment. Le suivi concerne le *comportement au pâturage de l'ensemble du troupeau* : circuit de pâturage, types de milieux traversés (unités cartographiques) et temps de passage dans chaque unité, déterminants du circuit (points d'eau, jachère ou champs sous contrat de parcage, etc.). Ces suivis, effectués à pas de temps réguliers durant le cycle saisonnier et annuel, permettent d'obtenir une image précise de la répartition de l'effectif animal dans le temps et dans l'espace.
- d- **Au niveau d'individus animaux échantillonnés dans les troupeaux**, des suivis individuels, réalisés au cours des suivis de troupeaux, permettent de préciser les activités réalisées par les animaux dans chaque unité écologique traversée, ainsi que les espèces ou groupes d'espèces végétales pâturées en fonction de leur disponibilité (abondance relative dans l'unité) et de leur état phénologique. La ressource pastorale est alors parfaitement définie dans le temps et dans l'espace, la carte des ressources pastorales correspond réellement à la ressource disponible pour les activités d'élevage.

Construit à partir de quelques troupeaux, puis par agrégation, rapporté au village-échantillon, le modèle devrait permettre de calculer les prélèvements effectués par les animaux domestiques sur l'ensemble du territoire, enfin de localiser dans le temps et dans l'espace ces prélèvements.

Ceci dit, dans le cadre de cette thèse, les données récoltées n'ont pas été exploitées dans leur totalité, notamment les données à l'échelle de l'individu et du terroir villageois. Notre approche est avant tout une approche spatiale visant à quantifier et localiser les prélèvements sur l'ensemble de la zone d'étude, sans entrer dans les détails du fonctionnement à l'échelle de l'unité cartographique ou même du terroir villageois, afin de les confronter à une estimation des ressources disponibles sur les Unités Spatiales de Référence. Dans un objectif de bilan spatialisé global à l'échelle du site entre les ressources et les prélèvements, nous ne descendons pas, à ce stade de l'étude, à l'échelle de l'individu animal et à l'unité cartographique traversée. Nous cherchons à obtenir une première estimation des prélèvements réalisés par les animaux à l'échelle de la zone d'étude et à l'échelle d'une année. Une exploitation plus approfondie des données, dans le cadre d'une poursuite de ce travail, peut permettre une estimation plus fine des ressources disponibles (cf.1.1.2.2.2.) dans le temps (échelle de la saison) et dans l'espace.

11.2.2. Chaîne de traitements des données

Les séries de données réellement utilisées pour l'estimation des prélèvements fourragers saisonniers sont de cinq ordres :

- Effectifs des animaux aux points d'eau ;
- Valeurs UBT des différentes espèces animales dans leurs stades physiologiques identifiés ;
- Valeur théorique → Kg/Matière Sèche consommée/jour ;
- Nombre de jours par saison ;
- Rayon maximal d'exploitation pastorale autour des points d'eau : calculé à partir des photographies aériennes sur lesquelles ont été reportées 106 parcours journaliers des troupeaux échantillonnés.

Les troupeaux, suivis pendant leur parcours journalier, pâturent dans un **rayon d'exploitation** maximal autour de chaque point d'eau. Dans la majorité des cas, ce rayon correspond à la distance séparant le point d'eau et le coral (campement). La valeur moyenne de ce rayon a été calculée pour chacune des saisons par Jean-François Faure (1997). A l'intérieur de ce rayon, les formations végétales naturelles, les jachères et les résidus de récoltes sont physiquement accessibles aux animaux : elles sont donc considérées comme des ressources pastorales potentielles. Elles ne seront exploitées par les animaux que sous la conduite du berger, en fonction des règles sociales d'accessibilité aux parcelles, de la qualité de la pâture et de la composition du troupeau.

Ce périmètre d'exploitation diffère à chaque saison et un **effectif animal** y est rapporté à partir des comptages aux points d'eau. Cet effectif a été converti en **UBT** (Unités Bovines Tropicales) à partir des valeurs fournies par le Mémento de l'agronome (1993) (Faure, 1997). Nous disposons alors d'une valeur en UBT de la charge animale saisonnière globale autour de chaque point d'eau. L'origine des troupeaux ayant été notée, il est possible à ce stade de distinguer une **charge animale** provenant d'animaux originaires de la zone d'étude et une charge animale provenant d'animaux de passage (transhumants) (Figure 72).

Cette charge animale est convertible en kg de matière sèche consommée par jour. A partir d'une fourchette théorique fournie par le Manuel des pâturages (de 5,5 à 6 kg M.S (Matière Sèche) consommée/j/UBT), la valeur moyenne de 5,75 kg de M.S consommée/j/UBT a été utilisée par Jean-François Faure (1997). Ce chiffre correspond à un ratio alimentaire moyen nécessaire à l'entretien des processus physiologiques et au déplacement d'une UBT. Il a ensuite été extrapolé à l'effectif global d'un point d'eau et à la saison, par l'intermédiaire du calcul du nombre de jour par saison.

Ce procédé permet d'obtenir une estimation des **prélèvements fourragers saisonniers** à chaque point d'eau de notre zone d'étude, à l'intérieur d'un périmètre d'exploitation. Toutes les données ont été implémentées dans la base de données du SIE par Jean-françois Faure. L'exploitation de cette base donne lieu à des traitements spécifiques afin de qualifier et quantifier les consommations des cheptels en fonction de

leur composition, le poids des prélèvements liés aux animaux de passage et aux animaux permanents, l'évolution des consommations au cours des saisons.

La valeur des prélèvements à l'intérieur du périmètre d'exploitation a ensuite fait l'objet d'une **spatialisation** (grâce au SIG en relation avec la base de données) et d'une représentation cartographique, par saison, où l'intensité des prélèvements est traduite par l'intensité des couleurs (cf. 11.2.3.1.). Cette spatialisation autour des points d'eau doit tenir compte de l'intersection des périmètres exploités, étant donné la répartition spatiale des points d'eau (Faure, 1997). Ceci conduit à identifier ces intersections comme des zones où les charges animales peuvent potentiellement s'additionner entre elles, créant localement de fortes concentrations animales.

Le prélèvement annuel a été considéré comme la somme des prélèvements saisonniers. Du point de vue spatiale, la carte des prélèvements fourragers annuels (cf.11.2.3.1.) est obtenue en croisant tous les périmètres d'exploitations saisonniers et en affectant aux nouvelles unités ainsi définies la somme des prélèvements en kg de M.S par hectare des différents cercles interceptés. Toutes les zones intersectées inférieures à 20 ha ont été dissoutes dans les plus grandes surfaces voisines ; valeur en dessous de laquelle, étant donné la méthode adoptée pour la détermination spatiale des prélèvements, la précision a été jugée, par expertise, comme illusoire.

11.3. Les prélèvements fourragers dans un espace agro-pastoral

11.3.1. Les prélèvements fourragers saisonniers

11.3.1.1. Cartes saisonnières des prélèvements fourragers

Cinq cartes de prélèvements fourragers ont ainsi été construites, une par saison identifiée. La figure 70 représente la carte de prélèvements pour la saison sèche chaude, les cartes pour les autres saisons sont en annexe 15. Plus la couleur rose représentée est foncée, plus le prélèvement est intense. Cette intensité des prélèvements autour des points d'eau dépend de trois paramètres : le nombre et la distribution spatiale des points d'eau, la taille du périmètre d'exploitation (cf. 11.2.3.3) et l'effectif animal (cf. 11.2.3.2)

La tendance qui se dégage de la comparaison immédiate des 5 cartes de prélèvements saisonniers est, qu'à Banizoumbou, les prélèvements pastoraux se concentrent dans l'espace de façon spectaculaire au cours de la saison sèche. Pendant l'hivernage, les alentours d'un grand nombre de mares sont exploités peu intensément, alors qu'en saison sèche, chaude notamment, les abords d'un petit nombre de puits sont soumis à une forte pression des prélèvements fourragers. En fait, au fur et à mesure que l'on progresse dans le cycle annuel (de la saison des pluies à la saison sèche chaude), l'intensité des prélèvements saisonniers s'accroît en même temps que diminue le nombre de points d'eau exploité (Figure 71).

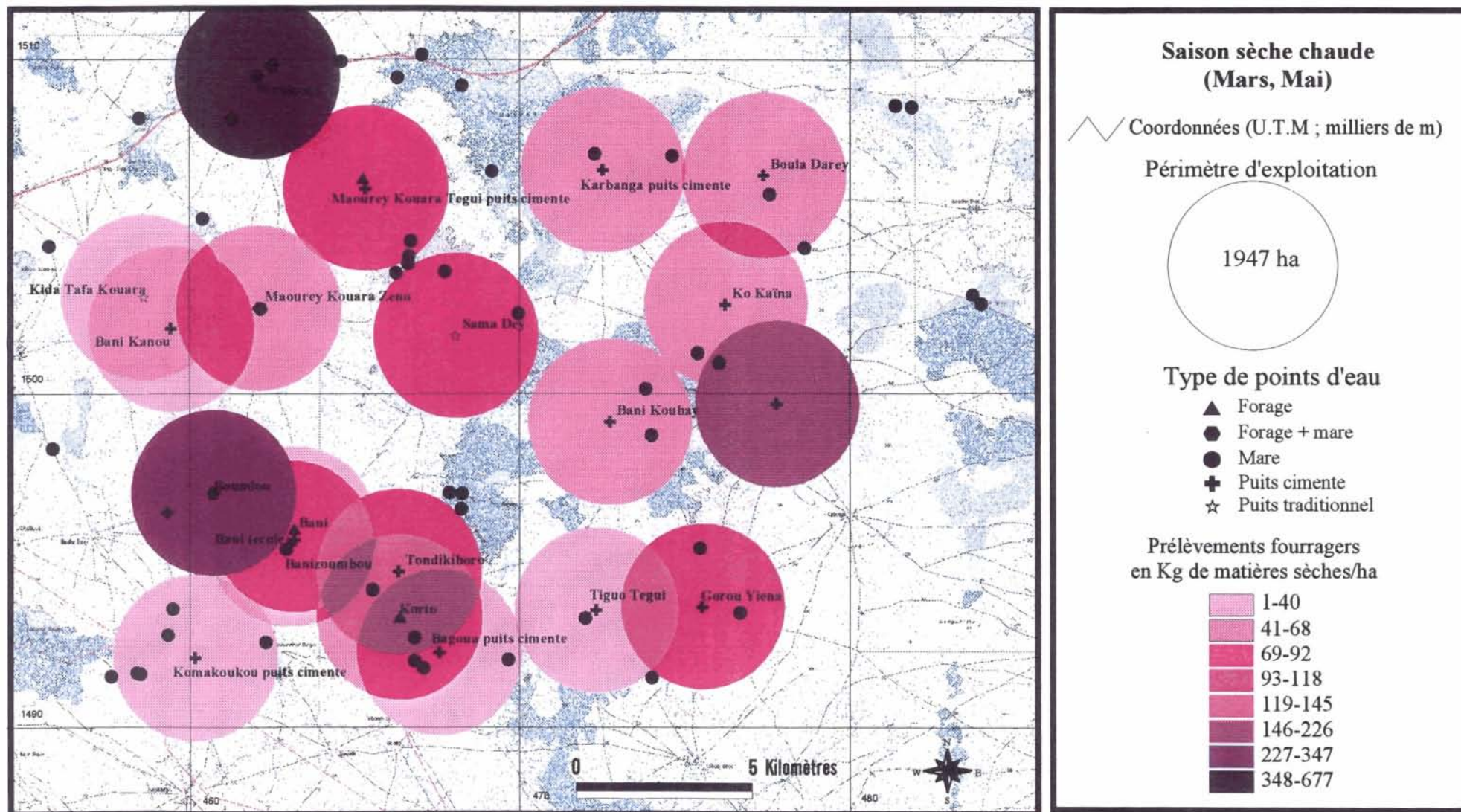


Figure 70 : Carte des prélèvements fourragers pour la saison sèche chaude (site de Banizoumbou, Niger)

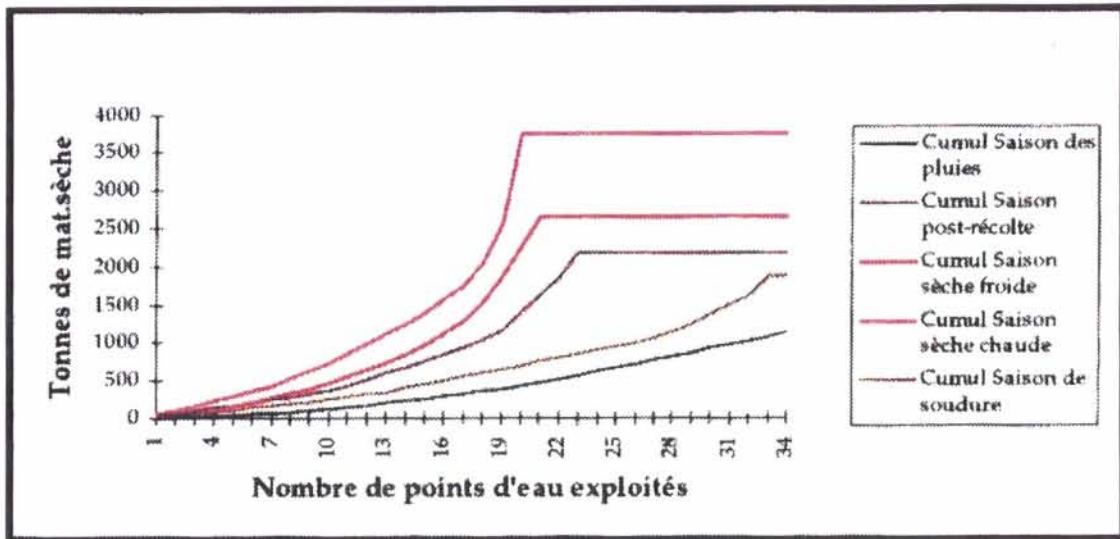


Figure 71 : Courbe des prélèvements saisonniers cumulés en fonction du nombre de points d'eau exploités (d'après Faure, 1997)

11.3.1.2. Analyse des fluctuations de l'effectif global des animaux au cours des saisons

Au regard de la figure 72, les effectifs totaux sur la zone d'étude varient de manière significative au cours des saisons. Tous les éléments explicatifs de cette fluctuation, apportés dans ce paragraphe, proviennent soit des enquêtes et discussions avec les bergers aux points d'eau lors des comptages, soit d'une enquête spécifique qui a été effectuée auprès des transhumants (cf. Annexe 16).

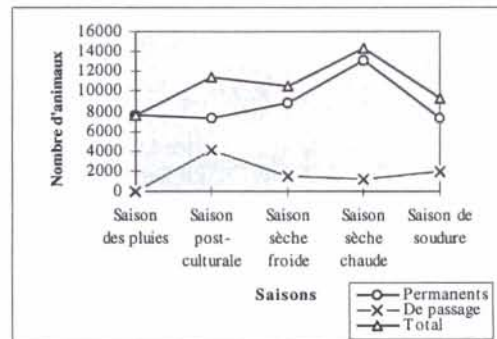
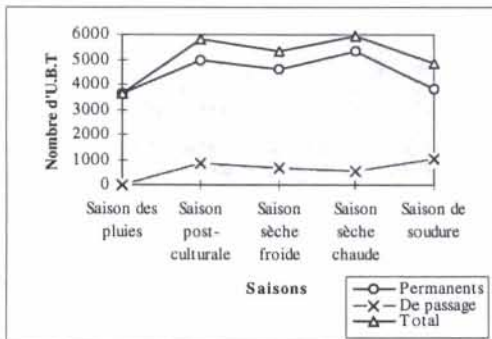


Figure 72 : Evolution du nombre d'animaux au cours du cycle saisonnier sur la zone d'étude (en nombre de têtes à droite, en équivalent UBT à gauche)

Analyse des fluctuations

En saison des pluies et de travail des champs, l'effectif global est le plus bas. En effet, à cette époque de l'année, l'espace pastoral est réduit aux jachères et aux plateaux cuirassés, les champs étant interdits aux animaux. Une bonne partie des animaux partent

alors en transhumance vers la frontière du Mali, accompagnés généralement par des bergers peuls.

Après la récolte des champs, l'effectif global augmente brutalement. En effet, les animaux (originaires du site ou originaires de régions plus au sud) rentrent de leur cure salée au nord afin de consommer les résidus de cultures plus au sud dans les zones agropastorales. A cette époque de l'année, tous les animaux dits "de passage" sont ceux sur le chemin de retour de la cure salée, en route pour des destinations plus au sud. La plupart sont originaires du Dallol Bosso (vallée fossile à la bordure est de la zone d'étude), la limite sud étant 13° de latitude. D'après les calculs de Jean-François Faure (1967), 94% de ces troupeaux de passage sont des ovins, alors que la composition de l'effectif des animaux sur la zone d'étude, à cette même époque, est : 47% de bovins, 33% de caprins et 20% d'ovins.

En saison sèche (froide et chaude), l'effectif global reste fort, alors que l'effectif des animaux dit "de passage" diminue fortement. En fait, c'est surtout l'effectif des animaux originaires du site qui augmente. Ils sont en effet tous rentrés de la cure salée. Les animaux de passages ne sont plus les mêmes qu'en saison post-culturelle. En effet, ce sont plutôt des troupeaux mixtes à 48% de bovins, 23% de caprins et 29% d'ovins, autrement dit le même genre de composition de troupeaux que les animaux originaires du site mise en évidence la saison précédente. En fait, en début de saison sèche froide, des peuls appelés "étrangers" viennent sur la zone avec des animaux originaires de terroirs bordant la zone d'étude et du Dallol Bosso. Une partie des animaux originaires du site, peuvent être très mobiles (et d'autant plus que la saison sèche froide avance) d'un terroir à l'autre, pour des raisons de contrats de fumure avec des Zarma voisins, pour chercher de nouveaux pâturages et de nouveaux points d'eau. Ces animaux appartiennent essentiellement à des Zarma ; ils sont gardés soit par les Zarma eux-mêmes, soit par les Peul sédentarisés dans la zone depuis 10 à 30 ans. En début de saison sèche chaude, les animaux originaires du site deviennent moins mobiles car les travaux de préparation de champs débutent (coupes d'arbustes). Une partie des Peul "étrangers" sont repartis dans leurs régions d'origine, également pour préparer leurs champs. Une deuxième vague de Peul étrangers arrive alors, originaires pour la plupart du Dallol Bosso, mais aussi de régions plus éloignées : canton de Tagazar, Kollo, Hamdallaye et même certains de l'arrondissement de Ouallam et de Filingué. Ces derniers arrivants ne repartiront pas cultiver leurs champs. Ils resteront dans la région quelques mois, passeront parfois des contrats de fumure avec les paysans de la région puis se dirigeront doucement vers la frontière du Mali. Ce sont pour la plupart des "nomades", sans cesse en mouvement, qui peuvent avoir laissés ou non une partie de leur famille dans leurs régions d'origine pour cultiver des champs.

En période de soudure, l'effectif global commence à diminuer pour atteindre un effectif minimum en saison des pluies. Les "étrangers" partent et le mouvement de transhumance vers le Mali s'amorce. Les animaux de passage à cette époque de l'année correspondent aux troupeaux transhumants provenant du Dallol Bosso pour la plupart. Le départ vers le nord des transhumances est plus étalé dans le temps que le retour en saison post-récolte, dicté par un événement assez concentré dans le temps.

Les différents types de déplacements des troupeaux qui concernent la zone d'étude

Quatre types de déplacements des troupeaux sont distingués dans la zone d'étude que nous nommons de la façon suivante :

- 1 - La "grande" transhumance ;
- 2 - La "petite migration intra-régionale" ;
- 3 - La "petite migration inter-régionale" ;
- 4 - La "transhumance inter-régionale".

La "grande" transhumance correspond à la transhumance pendant la **saison des pluies** qui consiste à emmener les animaux plus au nord, vers la frontière du Mali, pour trouver de nouveaux pâturages, opérer à la "cure salée" et éloigner les animaux des cultures pendant la saison de travaux de champs. Les troupeaux sont dans ce cas systématiquement gardés par des Peul. Les animaux peuvent appartenir directement à ces mêmes Peul ou aux Zarma du village d'origine qui leur en ont confié la charge. Dans ce cas, le berger est rémunéré à hauteur d'une botte de mil ou de 1000 FCFA par bovin, et 500 FCFA par ovin ou caprin. Au retour de la transhumance, le berger continue parfois à garder les animaux du propriétaire pendant la saison sèche. Si le berger et le propriétaire sont de la même région d'origine, il retire alors systématiquement les femelles porteuses du troupeau et les gardent pour lui. Si ils ne sont pas de la même région d'origine, le berger ou "gardien" garde tout le lait produit pour lui.

La plupart de ces bergers partent pour la "grande" transhumance après avoir semé leurs propres champs en juin ou juillet et ne reviennent qu'en octobre pour ou après la récolte des champs. Les troupeaux avancent progressivement vers le nord en fonction du pâturage disponible dans les jachères et sur les plateaux cuirassés. Selon ce processus, ils peuvent être bloqués plus ou moins longtemps dans une région si la végétation n'a pas encore suffisamment poussé plus au nord. Plusieurs troupeaux sont généralement regroupés autour d'un guide. Ce dernier indique le chemin à suivre suivant l'état des pâturages et les points d'eau accessibles. Il a la tâche de parlementer avec les agriculteurs zarmas afin d'obtenir l'autorisation de pâturer sur leurs parcelles. En cas de conflit, le guide, seul, est responsable. Sur leur trajet, les animaux peuvent être laissés plusieurs nuits dans une parcelle agricole d'un Zarma, et, dans ce cas, l'apport de fumier peut être significatif. Le guide suit toute la transhumance, mais il ne garde pas lui-même les animaux, charge qui incombe aux bergers des différents troupeaux. En contrepartie de ses services, il est soit directement payé par les bergers, soit il leur confie ses propres animaux.

Les autres types de déplacements des troupeaux s'opèrent en **saison sèche**. La petite migration intra-régionale concerne les troupeaux gardés par des Peul sédentarisés entre terroirs villageois voisins et s'opère essentiellement en saison sèche froide. La petite migration inter-régionale est la même mais sur une échelle spatiale plus petite, échelle de la région. La "transhumance inter-régionale" concerne des troupeaux gardés par des Peul nomades (toute la famille suit le troupeau ; ils n'ont pas de points d'attache), ou des Peul semi-nomades (en perpétuel mouvement avec une fraction familiale sédentarisée).

Ces différents types de migrations qui touchent notre zone d'étude concernent une zone plus vaste délimitée par les longitudes 2° à l'ouest et 3,5° à l'est, les latitudes 13° au Sud et 14,5° au nord. Autrement dit, elles concernent deux départements (Niamey et Dosso), 3 arrondissements (Ouallam, Filingué et Kollo) et 4 cantons (Dantiandou, Koygolo, Harikanassou et Tagazar).

11.3.1.3. Logique de la distribution spatiale des prélèvements sur la zone d'étude

Les points d'eau sur la zone d'étude sont rarement isolés dans l'espace. Ils semblent se concentrer en "grappes", avec une densité plus importante dans le sud de la zone que dans le nord (Faure, 1997). Ces grappes sont souvent mixtes, associant une mare et un puits ou un forage. Les mares, fréquentes en période de soudure et en saison des pluies, se localisent soit sur les plateaux cuirassés dont les sols sont imperméables, soit dans le fond des koris. Les puits et les forages, fréquentés en saison sèche, sont, pour la plupart, étroitement liés à la localisation des villages. Le nombre et le type de points d'eau fréquentés par les animaux varient en fonction des saisons : plus nombreux en saison humide (type mares) et de moins en moins nombreux au fur et à mesure de la saison sèche (types puits et forages).

Le périmètre d'exploitation autour des points d'eau diffère d'une saison à l'autre (cf. Figure 73).

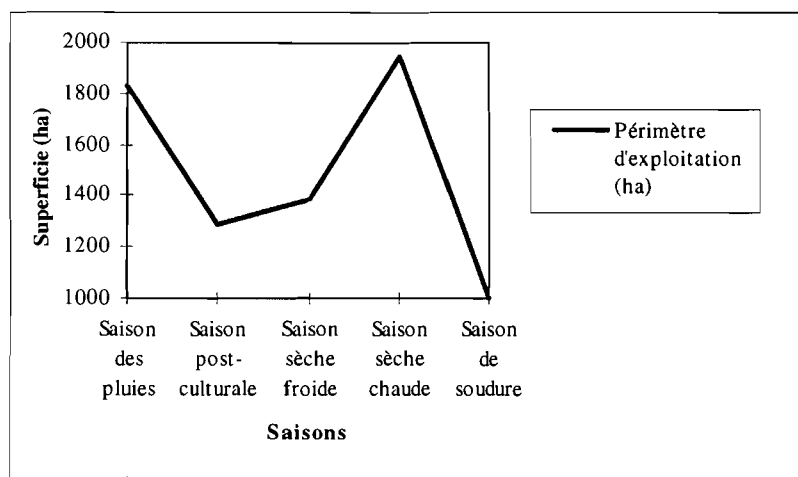


Figure 73 : Evolution du périmètre d'exploitation au cours du cycle annuel

En saison post-culturale, il est le plus faible. Ceci peut s'expliquer par la bonne qualité des ressources post-culturelles (essentiellement des résidus de cultures) et leur accessibilité aisée en raison de la présence de mares résiduelles, de puits et de forages dans les bas-fonds. De plus, les champs cultivés sont généralement assez concentrés dans l'espace : soit autour des villages avec le système de culture intensif, soit dans des zones plus éloignées du village, dans lesquelles la stratégie villageoise fait que toutes les parcelles cultivées sont préférentiellement voisines (limite entre autre les risques d'intrusion des animaux dans les champs pendant la saison des travaux culturels). Dans ce périmètre, l'exploitation est, relativement aux autres saisons, moyennement intense

(cf. Figure 74), même si localement assez concentrée : la valeur maximale de kg de M.S consommées par hectare est supérieure à celle de la saison sèche froide du fait du faible rayon d'exploitation.

En saison des pluies, alors qu'il y a le plus grand nombre de points d'eau accessibles de l'année et que la production végétale est optimale, le rayon d'exploitation est important, presque autant qu'en saison sèche chaude. Cette contradiction apparente de logique d'utilisation de l'espace est due au fait, qu'en saison des pluies, les ressources disponibles sont dans les jachères et sur les plateaux cuirassés, généralement plus éloignés des villages, plus dispersés que les champs cultivés. A cette époque de l'année, les rayons d'exploitations autour d'un point d'eau sont importants, mais les intensités des prélèvements sont les plus faibles de l'année. L'effectif des animaux est en effet le plus faible, mais aussi, les prélèvements, du fait de la distribution des points d'eau, sont plus dispersés sur l'ensemble du site.

Au cours de la saison sèche, les conditions d'accessibilité aux pâturages (diminution des points d'eau) et la qualité des pâtures elle-même se dégradent de plus en plus. Le rayon d'exploitation est maximum en fin de saison sèche chaude. A l'intérieur de ce périmètre, du fait de la forte charge animale, l'intensité des prélèvements est forte.

Pendant la saison de soudure, le nombre de points d'eau augmente du fait de l'apparition des mares. La charge animale globale sur la zone diminue. Ces deux caractéristiques rapprochent la saison de soudure à la saison des pluies. Seulement, en période de soudure, la végétation annuelle redémarre à peine et ne constitue en aucun cas un apport fourrager suffisant. Il est fréquent de constater, à cette période, que les éleveurs ont recours à des compléments fourragers. De plus, les animaux affaiblis, souffrent de la chaleur et se déplacent plus difficilement. Pour toutes ces raisons, le périmètre d'exploitation autour des mares en période de soudure est non seulement beaucoup plus faible qu'en saison des pluies, mais aussi le plus faible de l'année. Malgré une faible charge animale globale, ceci induit une consommation ramenée à l'hectare assez importante ; en tous les cas bien supérieure à la saison des pluies.

Ainsi, en saisons sèche et de soudure, la disponibilité des ressources en eau et végétales sont les facteurs principaux de la logique spatiale des prélèvements pastoraux. Par contre, en saison des pluies et post-culturale, le facteur principal est l'accessibilité aux ressources.

11.3.2. Les prélèvements annuels

La carte des prélèvements annuels (cf. Figure 74 et 75) indique une échelle d'intensité de prélèvements entre 0 et 1210 kg MS/ha. Ces chiffres de prélèvements ont été calculés selon une méthode qui consiste à donner un équivalent au nombre d'UBT en kg de M.S consommée/j, pour satisfaire les besoins des animaux. Ce mode de calcul est donc extrêmement simple : il tient compte d'un effectif de bétail réel, calculé sur la zone d'étude, mais ne tient pas compte d'une consommation réelle relevée sur le terrain, en fonction de la répartition spatiale des ressources fourragères. La quantité de

prélèvements pourrait être affinée avec le traitement plus approfondi des suivis de troupeaux, comme nous le proposons dans le paragraphe suivant (cf. 11.2.5.2).

Cependant, la richesse de cette carte n'est pas tant la précision quantitative des prélèvements, mais le fait qu'ils soient spatialisés. Des zones de concentrations sont mises en évidence (par exemple autour de Wankama au nord ouest de la zone) ainsi que des zones à priori jamais exploitées par les animaux (par exemple entre Banizoumbou, Sama Dey et Bani Koubay). Ces dernières offrent des ressources fourragères qui ne sont pas exploitées, parce que trop éloignées des points d'eau, et donc inaccessibles pour les animaux.

L'intérêt de cette estimation spatialisée des prélèvements fourragers, à l'échelle de l'année, est son croisement ultérieur avec la carte des disponibilités fourragères. Ce croisement permettra de localiser dans l'espace des zones à priori surexploitées ou sous-exploitées (cf. 11.2.5.). Pour ce faire, le chiffre de prélèvements par USR (en kg MS/ha) est calculé en ajoutant les valeurs absolues des prélèvements de chacune des unités de prélèvements interceptées (valeur par hectare * surface de l'unité interceptée) et en divisant la somme globale par la surface de l'USR. Ce faisant, un ajustement à posteriori entre la localisation des prélèvements et les USR a été nécessaire pour lever l'ambiguïté des prélèvements sur les zones dégradées. En effet, ces unités, par définition, ne produisent aucune ressource végétale et n'appartiennent donc pas à l'espace pastoral. Ainsi, le chiffre en valeur absolu des prélèvements fourragers sur ces zones a été redistribué sur l'ensemble des autres USR de la zone d'étude.

Les plus fortes intensités de pâturage, ainsi calculées, sont généralement assez proches des centres villageois (jusqu'à trois ou quatre kilomètres du village) ; un centre villageois étant souvent associé à un ou plusieurs points d'eau pour l'abreuvement des animaux. Les plateaux cuirassés sont généralement peu prélevés, sauf ceux qui sont vraiment à proximité des villages.

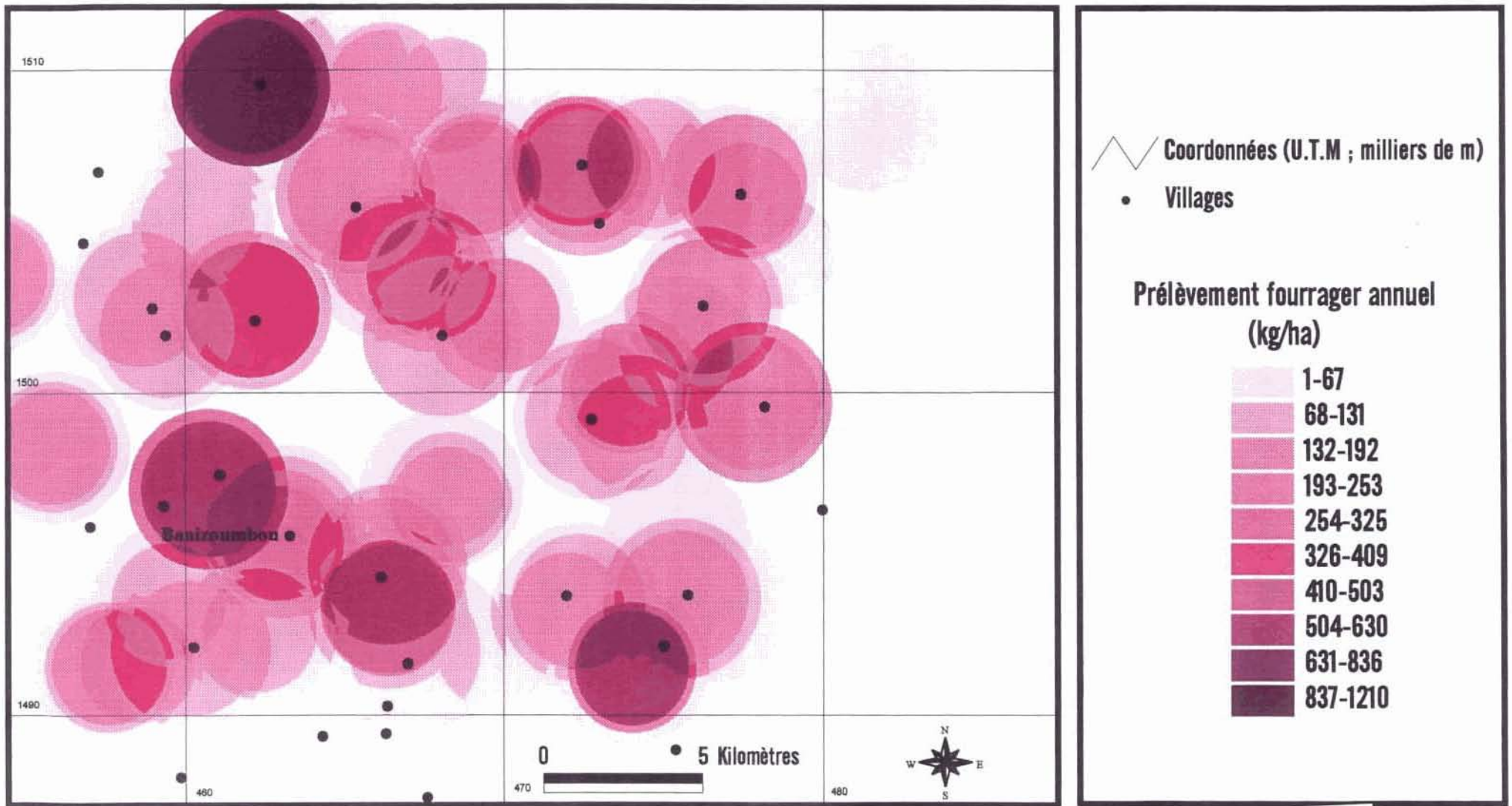


Figure 74 : Carte de prélèvements fourragers annuels (site de Banizoumbou, Niger)

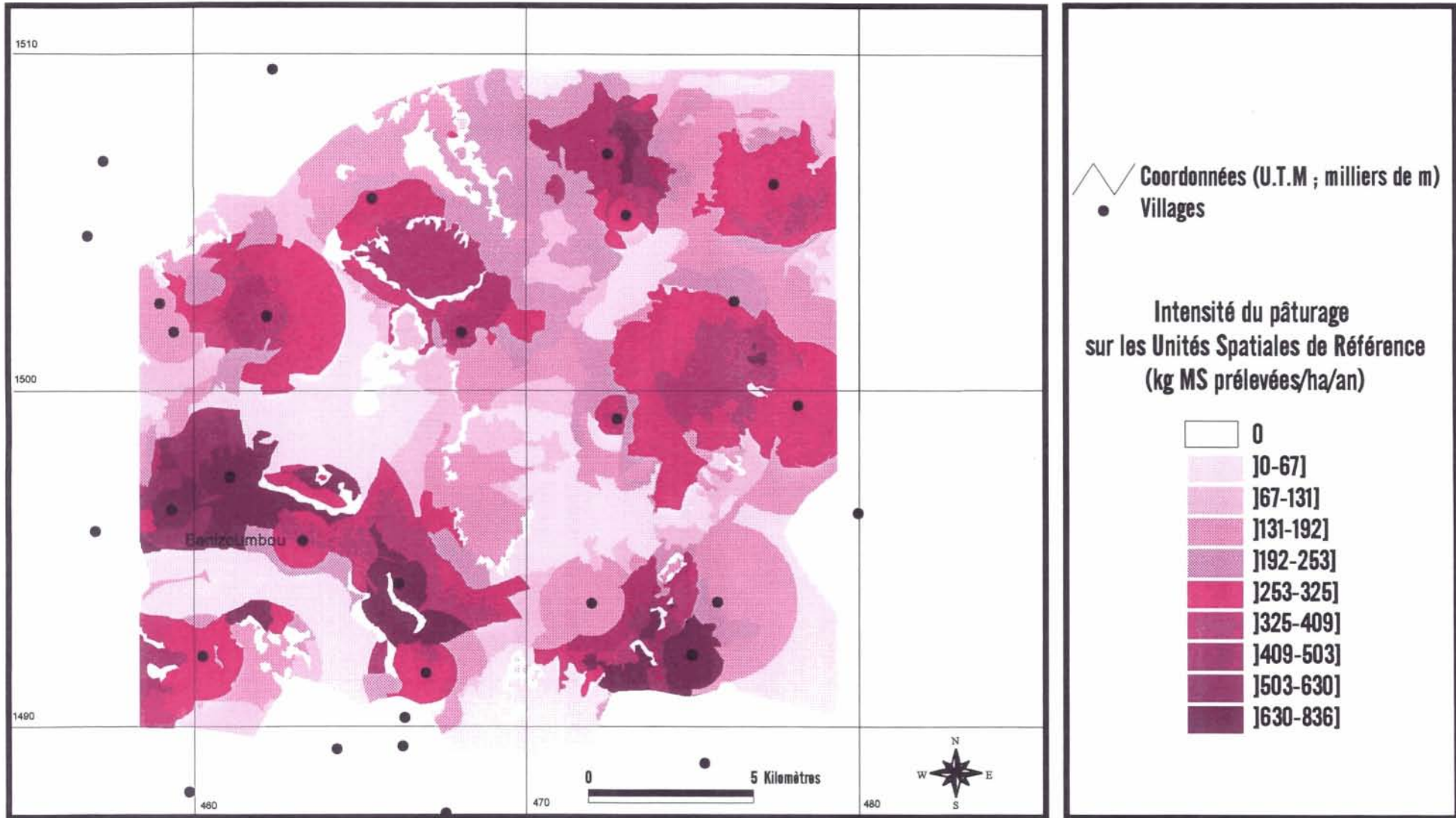


Figure 75 : Intensité du pâturage sur les Unités Spatiales de Référence (kg MS prélevées/ha/an)

11.4. Détermination spatiale des ressources pastorales

Les U.S.R définies dans le chapitre 8, déterminent, de part leurs surfaces relatives en cultures/jachères/végétation naturelle et leurs productions associées, une biomasse totale potentiellement utilisable, localisée dans l'espace à l'échelle du km². De cette biomasse totale dépend la disponibilité fourragère, à l'échelle de l'année.

Pour estimer cette biomasse disponible une année donnée, tous les types de milieu ont été considérés comme producteurs de ressources pastorales potentielles : les jachères (toute l'année et surtout en saison des pluies), quels que soient leur âge et leur position géomorphologique, les champs cultivés (tout au long de l'année sauf en saison des pluies où leur accès en est interdit), la végétation naturelle sur plateaux (essentiellement pendant la saison des pluies). Une première analyse de la fréquentation relative des types de milieux pour la pâture au cours des saisons a en effet été effectuée par Jean-françois Faure (cf. Annexe 17).

A partir de ces espaces pastoraux identifiés, les ressources disponibles ont été calculées de la manière suivante :

- Dans les **jachères** :

. La fraction herbacée consommable (ou disponible) est estimée à 50% de la biomasse sèche totale, quel que soit son âge (Boudet, 1975 in Hoffman, 1985).

. Pour les ligneux, sont considérées comme consommables les feuilles en dessous de 1,7 mètres. Au delà, les feuilles ne sont pas accessibles aux animaux, sauf si le berger pratique l'émondage. La biomasse sèche des feuilles est estimée en moyenne à 15% de la biomasse sèche totale ; pourcentage moyen calibré à partir des coupes d'arbustes et des pesées effectuées par Karimou (1993).

- Dans les **champs cultivés**, ont été considérés comme consommables les chaumes de mil et de faux mil. Les herbacées ont été considérées comme négligeables.

- Sur les **plateaux cuirassés** :

. Les herbacées ont été négligées ;

. Les feuilles en dessous de 1,7 m ont été considérées comme consommables.

Par ce mode de calcul, une disponibilité fourragère annuelle a été attribuée aux différentes U.S.R définies dans la zone d'étude (cf. 11.2.3). La fourchette de valeur obtenue est 500 à 2000 kg de MS/ha. A l'intérieur de cette fourchette, la disponibilité varie selon les USR, auxquelles sont attribuées un type géomorphologique et une classe de pratiques agricoles combinées.

Au vu de la figure 76, la plus faible disponibilité fourragère à l'hectare est sur plateaux cuirassés. En dehors de ces plateaux, en moyenne, les jupes sableuses offrent la plus grande disponibilité fourragère, suivies des ensablements sur plateaux, puis des cordons dunaires, des glacis et enfin des bas-fonds. Cette tendance générale est perturbée selon les pratiques agricoles combinées appliquées sur ces différents milieux

physiques. En effet, en moyenne, sur ces différents milieux physiques, plus les pratiques agricoles sont intensives (de la végétation naturelle aux cultures permanentes : type 1), plus la disponibilité fourragère est importante, exceptées pour les pratiques de type 2.

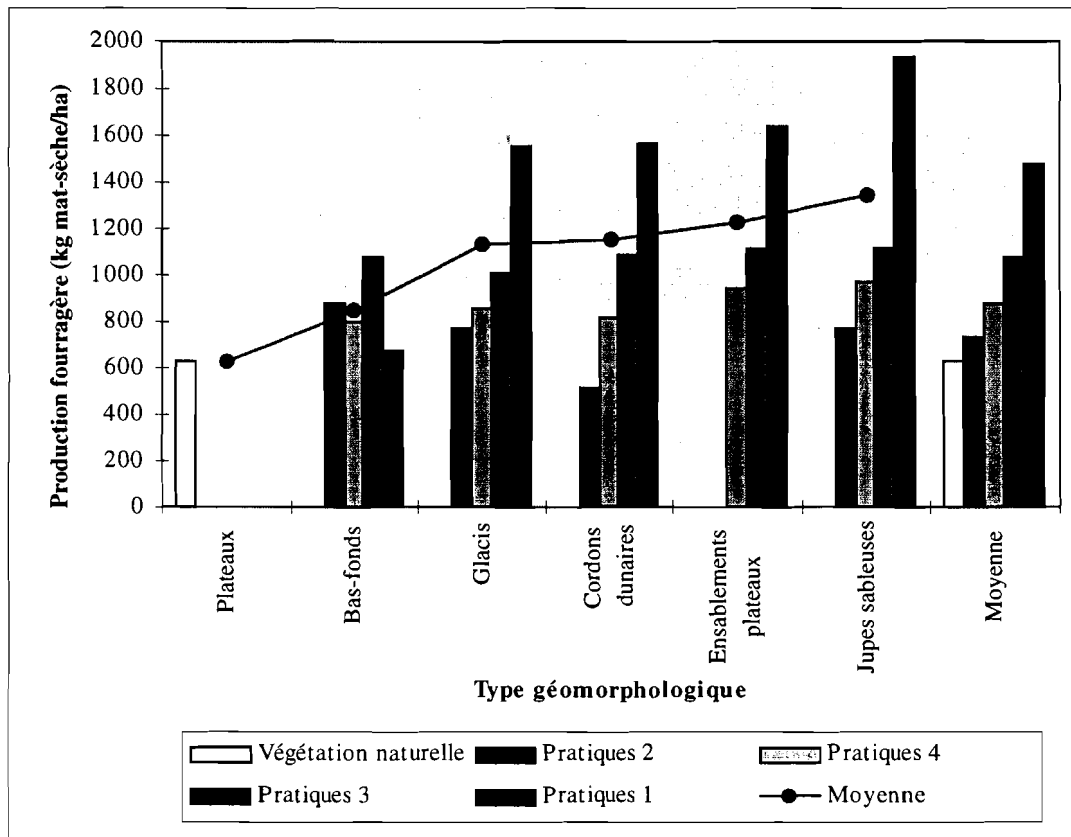


Figure 76 : Disponibilité fourragère en fonction de la géomorphologie et des pratiques agricoles combinées

L'explication majeure à ce phénomène réside dans le fait que, d'une manière générale, la disponibilité fourragère annuelle, quelles que soient les USR, est constituée à 61% des résidus de cultures, 33% des herbacées et 6% des feuilles d'arbustes. Dans le détail (figure 76), seules les USR caractérisées par des pratiques de type 4, ont une disponibilité fourragère majoritairement constituée par la strate herbacée. A l'échelle de l'année, le plus grande quantité de fourrage, en kg de M.S, provient des résidus de cultures. Plus la proportion de cultures est importante (des pratiques 4 à 1) sur les USR, plus la disponibilité fourragère annuelle est importante (cf. Figure 77), exceptées pour les pratiques de type 2.

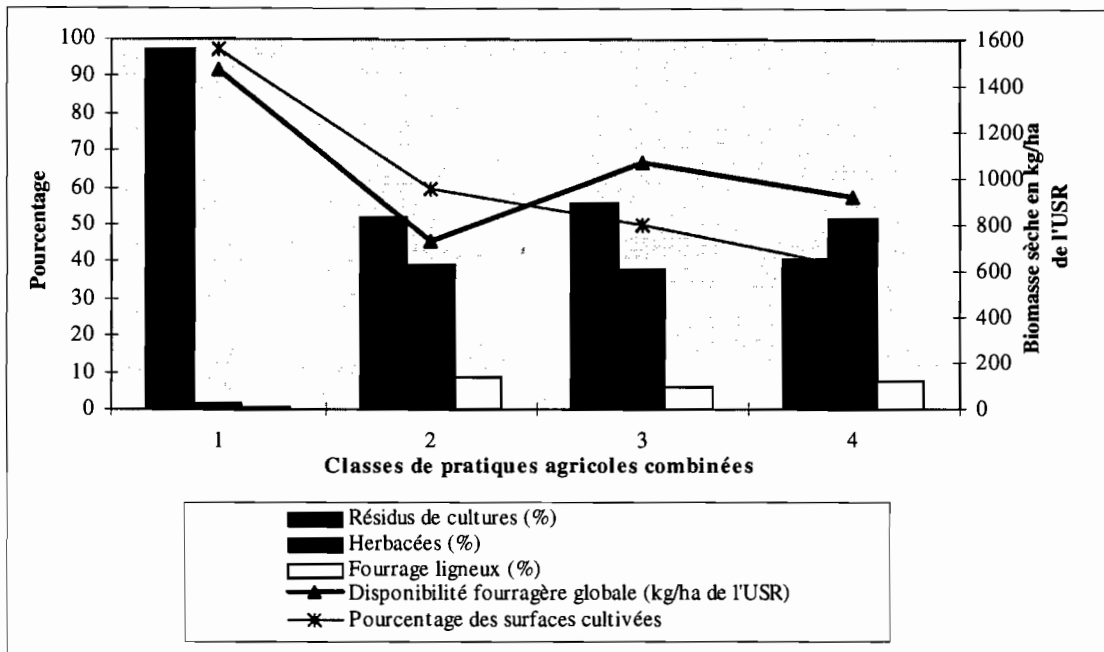


Figure 77 : Composition moyenne de la disponibilité fourragère des USR en fonction des pratiques agricoles combinées

Seules les pratiques de type 2, à jachères courtes et cultures moyennes, ne respectent pas cette tendance et offrent généralement, en moyenne sur toutes les USR, la plus faible disponibilité fourragère après la végétation naturelle sur plateaux cuirassés. La composition fourragère des USR caractérisées par ce type de pratiques agricoles est pourtant très voisine de celle des USR caractérisées par le type 3. La surface mise en culture est supérieure aux USR caractérisées par le type 3 et 4. L'explication de la diminution de la quantité de fourrage disponible globale sur les USR caractérisées par des pratiques de type 2, est donc autre. Il s'agit plutôt, dans ce cas, de la diminution de la production végétale, que ce soit sur les hectares cultivés de l'USR ou sur les hectares en jachères (figure 78). En effet, la quantité (kg) des résidus de cultures par hectare cultivé est nettement inférieure pour les pratiques de type 2. Le phénomène est plus atténué pour les herbacées dans les jachères. Ceci signifierait, que les pratiques 2, à jachères courtes (4 ans) et cultures moyennes (6 ans), sans apport ou presque de matières organiques, seraient les moins efficaces.

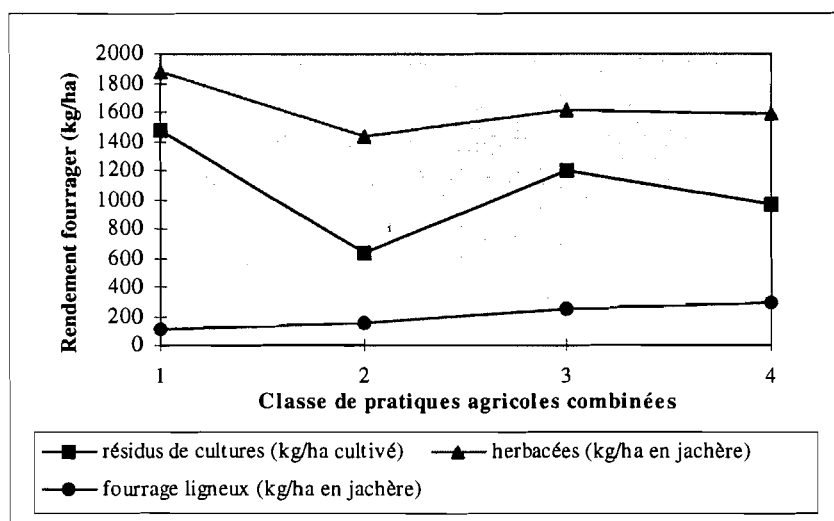


Figure 78 : Productions fourragères dans les cultures et les jachères (kg MS/ha) en fonction des pratiques agricoles combinées

La disponibilité fourragère est ici quantifiée en kg de matières sèches par ha. Mesurée de cette manière, la plus importante est dans les champs cultivés, à l'échelle de l'année. Cependant, il faut bien faire attention au fait qu'il n'y a pas correspondance immédiate entre la quantité de matières sèches disponibles et la satisfaction des besoins des animaux au pâturage. En effet, les prélèvements ou quantités ingérées par les ruminants en général, sont très variables et fonction, d'une part de l'ingestibilité des aliments et des rations et, d'autre part, de la capacité d'ingestion des animaux. L'ingestibilité des aliments varie avec leur vitesse de digestion, mais également en fonction de l'appétibilité propre à chaque espèce et même souvent à chaque organe ou stade de végétation. D'autres facteurs physiques (rapport feuilles/tiges, hachage,...), chimiques (teneur en MAT, en lignine) ont un effet important sur l'ingestibilité. De même, la capacité d'ingestion varie suivant l'espèce animale, l'âge, le stade physiologique, le niveau de production et l'état d'engraissement ainsi que d'autres facteurs exogènes comme le climat, la conduite au pâturage, le mode de distribution des aliments, etc. (Mémento de l'agronome, 1991).

Ainsi, ce n'est pas parce que il y a plus de matières sèches disponibles pour le pâturage dans les champs cultivés qu'il faudrait conclure à la hâte que, pour augmenter les ressources fourragères, il suffit de cultiver tout l'espace. L'alimentation d'un animal est un savant dosage entre les espèces consommées, la date à laquelle elles sont consommables,...que le conducteur de troupeau connaît plus ou moins intuitivement. Les résidus de cultures (mil par exemple), ont une valeur en matière azotée quasiment nulle, alors que les légumineuses annuelles ont une valeur élevée (de 40 à 146 g/kg MS, des pailles au stade végétatif) et les graminées annuelles une valeur moyenne (entre 0 pour les pailles à 93 pour le stade végétatif). La production des ligneux constitue notamment un complément indispensable de la ration des pailles (herbacées et résidus de cultures) de saison sèche, très pauvres en matières azotées, vitamines et éléments minéraux (Achard, 1997). Les animaux, pour une alimentation équilibrée, suivant les objectifs de production en lait ou en viande, doivent consommer un fourrage qui soit un

complexe mélange d'espèces. Suivant la date du prélèvement et le stade végétatif de l'espèce végétal, le prélèvement peut-être plus ou moins offensif.

A ce stade de l'étude, la disponibilité fourragère calculée est à considérer davantage d'un point de vue écologique que d'un point de vue physiologique. A l'avenir, grâce aux données recueillies lors des suivis de troupeaux, il sera possible de préciser la quantité et la qualité de la disponibilité fourragère en fonction des besoins réels des animaux au cours des saisons.

11.5. Bilan pastoral spatialisé

La superposition des deux documents, ressources pastorales disponibles et prélèvements observés et calculés, permet de déduire un bilan circonstancié spatialisé des relations offre du milieu - consommation pastorale, à l'échelle de l'année.

Les ressources disponibles étant estimées pour chaque USR, il s'agissait, avant tout, de rapporter les chiffres de prélèvements à l'USR également. Tous ces traitements spatiaux de l'information ont été réalisés uniquement avec l'outil SIG (Système d'Information Géographique).

Le bilan pastoral a ensuite été calculé, sur chaque USR, en effectuant tout simplement la soustraction entre les ressources fourragères disponibles et les prélèvements (cf. Figure 79).

La carte résultante (Figure 79) présente une échelle de bilan allant environ de 0 à 1800 kg/ha. Plus le bilan est faible, plus les couleurs représentées sur la carte sont intenses. Le bilan moyen sur l'ensemble de la zone (moyenne des bilans par USR, pondérée par la surface de chaque USR) est de 650 kg/ha/an, donc un bilan positif. Ce chiffre donne une indication quantitative et non localisée du bilan pastoral à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude.

Si l'on regarde la répartition spatiale des bilans, sur la majeure partie de la zone, le bilan est relativement moyen, voir élevé (c'est à dire une production nettement supérieure aux prélèvements). En effet, la classe moyenne de 723 à 913 kg/ha est la classe la plus représentée dans l'espace (21% de l'espace ; Figure 80). L'ensemble des bilans entre 378 et 1228 kg/ha (moyen à fort) occupent 74% de l'espace.

Ceci dit, sur les plateaux cuirassés, le bilan apparaît globalement plus faible (entre 97 et 551 kg/ha) que dans les zones sous l'emprise des cultures. L'explication réside dans le fait que, malgré une production fourragère globalement plus faible sur les plateaux cuirassés (485 à 630 kg/ha contre 510 à 1940 kg/ha pour les zones sous l'emprise des cultures), les animaux vont tout de même y pâturer, essentiellement pendant la saison des pluies (présence de mares et champs cultivés fermés au pâturage) : donc faible intensité de pâturage mais qui prend toute son importance étant donné la faible disponibilité fourragère. Sur les ensablements de plateaux, le bilan est aussi globalement plus faible (de 97 à 723 kg/ha) que sur les zones hors plateaux. L'explication réside ici davantage dans le fait que, sur ces zones principalement localisées dans le quart nord-est du site, la population peul est plus élevée et donc l'effectif animal également, alors que la disponibilité fourragère est une des plus fortes, après les jupes sableuses.

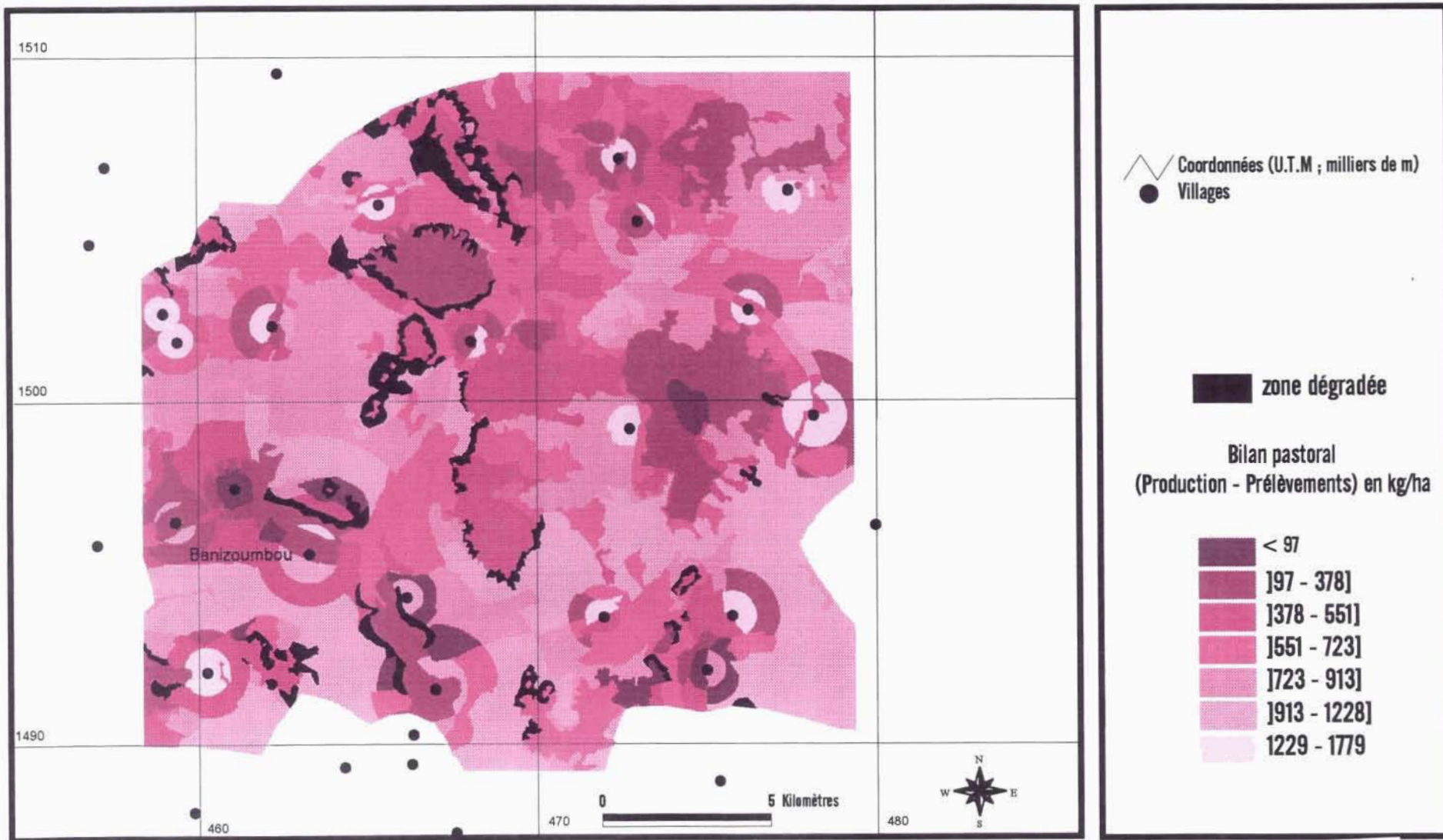


Figure 79 : Bilan pastoral spatialisé sur le site de Banizoumbou (Niger)

Le bilan le plus fort (entre 1229 et 1779 kg/ha) est le moins représenté (3% de l'espace). Il concerne essentiellement les zones près du village caractérisées par une très forte disponibilité fourragère (liée essentiellement aux résidus de cultures), malgré une forte intensité de prélèvements, relativement à l'ensemble de la zone.

Le bilan le plus faible (< 97 kg/ha) ne représente que 7% de l'espace. Certaines USR ont même parfois un chiffre négatif (3% de l'espace). Ces bilans négatifs sont un artefact du au mode de calcul. En effet, il n'est à priori pas concevable d'avoir des prélèvements supérieurs aux ressources disponibles. Les herbacées et les feuilles d'arbustes, principales ressources pastorales, ont un cycle annuel. La production annuelle est consommée ou pas ; il n'y a pas de stock que les animaux pourraient entamer. Cet artefact est du à la relative grossière localisation des prélèvements (cercles autour des points d'eau), sans relation fine avec la localisation des différents types de milieux existants dans ces périmètres d'exploitation. En effet, l'intensité des prélèvements fourragers autour des points d'eau a été considérée comme équivalente à l'intérieur d'un périmètre d'exploitation : les chiffres de prélèvements sont en kg de MS/ha, quels que soient les différents milieux physiques dans ce périmètre. Or, il est évident que la répartition des prélèvements est étroitement liée à la répartition spatiale des ressources pastorales sur les différents UP interceptées par le rayon d'exploitation. Ces chiffres négatifs sont donc à prendre d'un point de vue qualitatif, indicateurs de zones où les prélèvements sont très intenses, relativement aux ressources disponibles, ce qui contribue globalement à augmenter le risque de dégradation du couvert végétal.

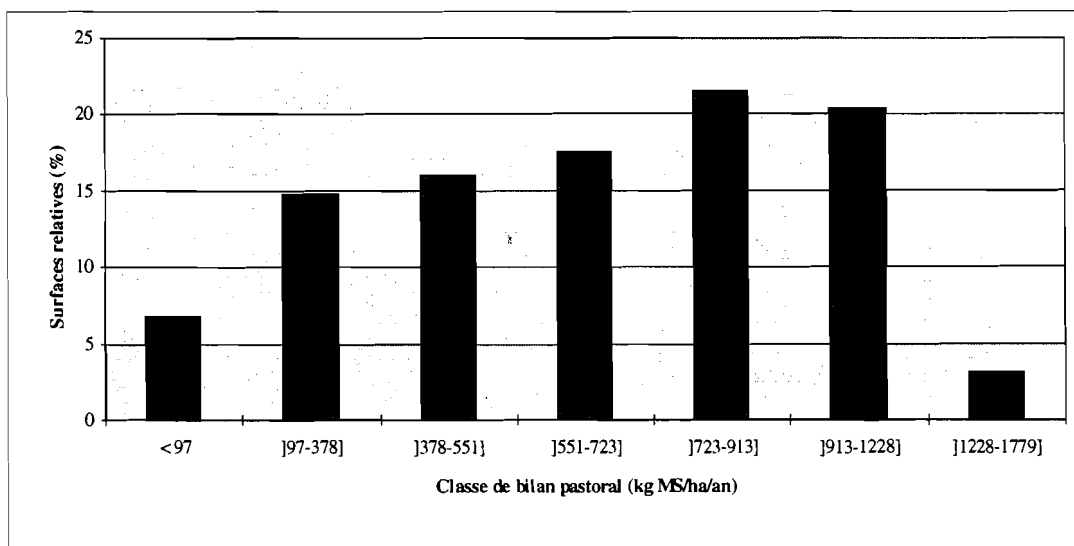


Figure 80 : Surfaces relatives des différentes classes de bilan pastoral (kg MS./ha)

Notre approche, à ce stade de traitement des données, est une approche globale à l'échelle de la zone d'étude ; elle permet de faire un bilan production-prélèvements d'une région à l'autre de la zone d'étude, à l'échelle du km². Cette approche est moins pertinente à l'échelle de l'ha et, comme nous l'avons exposé dans le paragraphe 11.4., le bilan, tel que nous l'avons calculé, peut apparaître très positif du point de vue paysager, mais il faudrait modérer cette enthousiasme en précisant les dates de prélèvements, sur

quelles espèces végétales, à quel stade végétatif. En effet, si la plante est consommée alors qu'elle produit des graines, le prélèvement risque d'altérer davantage la capacité de reproduction des ressources fourragères que si elle est consommée au stade de croissance végétative.

Dans le cas de la démarche courte, nous avons privilégié une approche spatiale à l'échelle de la zone d'étude, en passant par les U.S.R, qui n'extrait des suivis de troupeaux qu'une analyse très qualitative des types d'unités de milieu pâturés au cours de l'année, et une distribution homogène des prélèvements dans les rayons d'exploitations autour des points d'eau sans relation précise avec les unités paysagère à l'intérieur des ces rayons d'exploitation.

Cependant, le protocole de récolte de données avec son système d'échantillonnage emboîté, a été conçu, pour permettre, à l'avenir, une analyse plus fine du comportement des animaux au pâturage, une localisation plus fine des prélèvements, au niveau de l'unité cartographique traversée par les animaux, puis au niveau de l'U.S.R et enfin au niveau du site.

Les traitements suivants sont à l'heure actuelle suggérés pour aller dans ce sens à l'avenir :

- 1 - Une disponibilité en ressource pourrait être estimée pour chaque saison de l'année. Pour ce faire, si l'on considère que la biomasse végétale en fin de saison des pluies, au pic de production, n'est ensuite, tout au long du cycle annuel, que prélevée par les animaux jusqu'à la saison des pluies suivante (c'est à dire en négligeant la diminution naturelle de la biomasse au cours du temps), il suffit de retrancher à cette biomasse (stock initial) les prélèvements animal chiffrés en fin de chaque saison pour obtenir la biomasse disponible à chaque début de saison suivante.
- 2 - Lors des suivis de troupeaux, 7 types de milieux traversés ont été identifiés : le champ cultivé, le champ semé non cultivé, la jachère d'un an, la jachère de moins de 5 ans, la jachère de plus de 5 ans, la végétation naturelle hors plateaux cuirassés et la végétation naturelle sur plateaux cuirassés. A chacune de ces unités traversées, un relevé cartographique (estimation du couvert végétal, type géomorphologique) affine la description afin de permettre le rattachement à posteriori avec les éléments composants les U.S.R. Une localisation plus fine de ces types de milieu traversés par saison, à l'aide de documents cartographiques (COT au 1/50000, photos aériennes) et des parcours des troupeaux, pourrait aider à localiser plus finement les ressources disponibles par saison et par USR.
- 3 - En analysant précisément les suivis de troupeaux individuelles, il est possible de préciser les espèces consommées et d'établir des indices d'appétabilité.

L'analyse de l'ensemble des données recueillies pourrait également contribuer à alimenter les études de Pierre Hiernaux sur les effets du pâturage sur la structure de la végétation et la productivité des jachères (Hiernaux et Fernandez-Rivera, 1996) et sur les transferts horizontaux de fertilité (Hiernaux et al, 1997).

Chapitre 12 : MODELISATION SPATIALE DE L'UTILISATION DU BOIS-ENERGIE

12.1. Problématique du bois-énergie

12.1.1. L'arbre au Sahel : de multiples usages traditionnels

Au Sahel, l'arbre est une ressource importante qui est utilisée de différentes manières selon des objectifs différents par les sociétés. L'arbre est une **ressource pastorale** comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent. La production pastorale des ligneux est faible (sont consommés principalement les feuilles et les fruits, et les espèces d'arbustes les plus appréciées sont peu nombreuses) mais importante étant donné qu'elle constitue le complément indispensable de la ration des pailles de saison sèche, très pauvres en matières azotées, vitamines et éléments minéraux (Achard, 1997). L'arbre est aussi un **élément structurant du paysage** : il peut être protégé lors des défrichements agricoles pour ces qualités alimentaires ou autre et donner lieu à des paysages de parcs arborés ; il peut être aussi laissé en bordure des parcelles agricoles (formation de haies) pour délimiter différentes parcelles foncières. Dans **les systèmes de cultures**, l'arbre peut être éliminé car considéré comme concurrent des cultures ; il peut être également protégé pour compléter au contraire les cultures (exemple de *Acacia albida* avec son pouvoir fertilisant étant donné sa capacité de fixation de l'azote).

En dehors de ces différents rôles de l'arbre au Sahel, principalement pastoral et agricole, 5 autres usages sont distingués par Yamba (1993) :

- **l'arbre nourricier** : L'arbre joue un rôle dans l'alimentation des hommes. Ils procurent des feuilles, des fruits, des fleurs ou des graines qui peuvent compenser l'insuffisance de la production agricole, et tout particulièrement en période de soudure, ou durant des périodes de sécheresse. Les divers produits de cueillette sont consommés crus ou après transformation. Certains produits, notamment les feuilles (feuilles de baobab par exemple) sont séchés et stockés pour la saison sèche. Quand la cueillette coïncide avec la période de soudure, les produits entrent directement dans la préparation des repas. C'est le cas des fleurs et des jeunes feuilles de *Balanites aegyptica* ou de *Sclerocarya birrea*.
- **l'arbre combustible** : Au Sahel, l'arbre représente la source d'énergie essentielle -souvent unique- d'une communauté rurale. L'utilisation des ligneux comme combustible représente un mode très important d'exploitation des ressources naturelles en milieu rural. Cette exploitation revêt aujourd'hui deux aspects : la satisfaction des besoins des communautés rurales et l'approvisionnement des grands circuits commerciaux de combustibles, principalement dirigé vers les centres urbains. Le bois est récolté principalement dans les jachères et les brousses. La consommation de bois-énergie dans les grands centres urbains serait de 0.6 kg/j/personne, de 0.7 kg dans les villes moyennes et 0.8 kg dans le milieu rural (Yamba, 1993).
- **l'arbre, source de revenu** : l'arbre s'intègre traditionnellement dans les stratégies de subsistance, non seulement en tant que complément alimentaire

mais également comme ressource monétaire. La commercialisation du bois (notamment pour l'approvisionnement des centres urbains) ou des multiples sous-produits forestiers comme les feuilles, les fruits... procure des revenus monétaires permettant d'équilibrer les budgets de fonctionnement des exploitations rurales.

- **l'arbre dans la construction et dans la vie artisanale** : les ligneux servent comme bois d'oeuvre et comme bois de service. Le bois, selon sa taille, son diamètre, sa solidité, la droiture des troncs et des branches, sa flexibilité, sert à : la confection des charpentes, des armatures des cases ou des greniers, des piquets de cases ou de palissades, des instruments de musique, des "ardoises" coraniques, des manches d'outils aratoires, des mortiers ou des abreuvoirs. La fabrication de ces deux derniers objets nécessite toujours des troncs entiers et cela se solde par un gâchis dans la plupart des cas, car le bois restant est laissé sur place. Les feuilles des doums sont utilisées pour les cordages, la vannerie. Les fruits de l'*Acacia nilotica*, riches en tanin, servent au tannage des peaux.

- **l'arbre dans la pharmacopée traditionnelle** : la pharmacopée traditionnelle est d'une importance fondamentale en milieu rural. Cela est d'autant plus vrai qu'il n'existe pas de centres de santé moderne dans de nombreuses agglomérations.

Ainsi, l'arbre dans les sociétés traditionnelles sahéniennes joue un rôle important. Les différentes utilisations qui en sont faites le protègent traditionnellement (fonction agricole et fonction alimentaire) ou l'éliminent (quand il gêne le système de culture, quand il est exploité pour le bois de feu ou le bois d'oeuvre). Mais de tous les usages de l'arbre, distingués par Yamba (1993), le plus important au niveau de la quantité prélevée, et donc de l'impact sur le paysage, est l'usage du bois-énergie. En zone rurale, ce bois est quotidiennement récolté mort par les enfants ou les femmes dans les jachères ou dans les formations de végétation naturelle (typiquement sur les plateaux cuirassés à l'est de Niamey au Niger).

Avec l'accroissement démographique, et le gonflement des grands centres urbains, les besoins en bois-énergie augmentent tout particulièrement (plus que les besoins en bois d'oeuvre, ou les besoins en bois nourricier,...), aucune autre source d'énergie n'ayant pu être développée. Le problème de la rareté des ressources ligneuses est devenu ainsi une conscience politique forte, comme nous allons le développer dans le paragraphe suivant.

12.1.2. Augmentation du besoin en bois-énergie : une préoccupation au Niger

L'accélération de la croissance de la population globale va de pair avec celle de la population urbaine. En 1960, 5% des nigériens vivaient dans des agglomérations urbaines contre 15% en 1988. Actuellement, on estime que 20% des nigériens sont des citadins, constitués majoritairement de ruraux urbanisés (Sidikou, 1997). Cette population urbaine en forte croissance doit évidemment satisfaire des besoins divers, au nombre desquels d'importants besoins alimentaires et énergétiques. Ces derniers sont globalement couverts à hauteur de 85% par les seuls combustibles d'origine végétale,

essentiellement sous forme de bois de feu. Ce bois provient exclusivement des exploitations familiales et/ou des espaces communautaires, constitués surtout de massifs forestiers de brousse tigrée, très nombreux dans les arrondissements de l'ouest du pays (Sidikou, 1997).

Cette augmentation de la population, et en particulier urbaine, a entraîné une surexploitation des massifs situés près des villes et des routes qui y mènent. Dans ces zones, le bois mort n'est plus seulement récolté, mais l'arbre vert est coupé. L'approvisionnement en bois-énergie des grandes villes peut provenir du bois récolté dans un périmètre allant jusqu'à 100 km autour des villes. Accentué par l'augmentation démographique et celle des villes, on passe de la petite récolte de bois familiale en zone rurale pour la satisfaction des besoins familiaux, de la vente, à un niveau artisanale du bois sur le bord des pistes, à un véritable commerce du bois le long des routes, dont plusieurs sont bénéficiaires : les bûcherons, les charretiers, chameliers et âniers, chauffeurs et propriétaires de camions, les revendeurs de bois dans les villes, etc... L'activité d'exploitation du bois est devenue au Niger depuis une dizaine d'années, une filière de production aux effets économiques très avantageux. Sans règles de gestion des forêts, les transporteurs-commerçants, à la recherche de profits maximaux, pillent sans cesse de nouveaux sites (Montagne et al, 1997).

La première réaction des autorités nigériennes, face à cette destruction massive et anarchique des forêts, fut de dire qu'il fallait d'une part, protéger les forêts contre la coupe du bois par un contrôle répressif de la population effectué par les agents forestiers et l'administration de l'Environnement et, d'autre part, avec l'aide de grands projets, satisfaire le besoin en bois par des plantations. Or, au milieu des années 1980, on constatait que la répression n'avait pas réussi et que les plantations avaient beaucoup de limites : mobilisation d'importants fonds de l'aide extérieure (les travaux réalisés, souvent pharaoniques, n'ont jamais été à la hauteur des espoirs et des investissements consentis), lourdeurs administratives et techniques difficilement compatibles avec la souplesse qu'exigeait la recherche d'une meilleure gestion des massifs forestiers.

Ces constats d'échec et de continuité du processus de dégradation du patrimoine forestier, ont amené la Direction de l'Environnement du Niger, à proposer un cadre d'organisation de l'exploitation des ressources ligneuses périurbaines et rurales. Dans ce but, des Schémas Directeurs d'Approvisionnement en bois des villes au Niger (SDAN) ont été élaborés par le projet Energie II dans le début des années 1990, dans les trois principaux chefs lieux de département du pays : Niamey, Zinder et Maradi. A partir de 1989, avec le constat que seules les populations rurales, légitimées dans la gestion des ressources ligneuses de leur territoire, peuvent en assurer la gestion durable, la Direction de l'Environnement, avec l'appui financier et méthodologique du projet Energie II, met en oeuvre une Stratégie pour l'Energie Domestique (SED), fondée sur la promotion des marchés ruraux. La création des marchés ruraux n'est officiellement possible que depuis l'ordonnance 92-037 du 21 août 1992. Le marché rural est une institution et une structure commerciale. C'est un site rural de vente de bois-énergie géré par une structure locale de gestion et agréé par l'administration de l'Environnement. Il est approvisionné par une zone d'exploitation délimitée d'un commun accord entre la population locale, la structure locale de gestion et l'administration de l'Environnement.

12.1.3. Problématique bois-énergie en zone rurale au Niger et sur le site de Banizoumbou

Toute cette mobilisation pour le problème de conservation du patrimoine forestier est basée principalement sur les études effectuées par le projet Energie II dans l'ouest nigérien qui, dans ces méthodes d'évaluation des ressources et des prélèvements de bois pour satisfaire les besoins des populations urbaines, ne tient compte presque uniquement que des forêts sur plateaux cuirassés.

Sur ces plateaux cuirassés, espaces communautaires, se développe une végétation naturelle plus ou moins contractée, qui s'organise, dans sa forme la plus typique, en bandes de végétation, en alternance avec des bandes de sol nu (brousse tigrée). Il a été prouvé que l'existence de ces structures en bande, dans cette zone sahélienne, ne devait rien à des variations géologiques et pédologiques, mais que la base de son fonctionnement était bien hydrologique et biologique (d'Herbes et al, 1997). Le système de brousse tigré fonctionne comme un système naturel de collecte et d'acheminement des eaux de ruissellement sur des impluviums vers des zones de production végétalisée. Ainsi, selon l'inclinaison du plateau et le régime pluviométrique, des structures plus ou moins diffuses ou contractées de végétation naturelle se mettent en place. Il a été prouvé que la croissance et la production forestière des structures contractées étaient en définitive supérieures à celles mesurées dans un système moins structuré (Ichaou & d'Herbes, 1997). Ainsi, il est apparu, qu'il valait mieux protéger et conserver les brousses structurées plus productrices, type brousses tigrées, que chercher désespérément à reboiser les bandes de sol nus pour créer artificiellement une brousse plus diffuse et moins productrice.

Seulement, tous ces efforts de gestion ne tiennent pas encore compte des besoins réels en bois-énergie des populations rurales. Les prélèvements massifs de bois en vue d'approvisionner les villes se font effectivement de manière prioritaire dans les forêts sur plateaux, mais il ne faudrait pas non plus négliger (et cela fait partie des objectifs futurs du projet Energie II), le poids des prélèvements effectués par les populations rurales pour leurs propres besoins quotidiens. Certes, l'accroissement des populations urbaines est spectaculaire et préoccupante, mais s'y ajoute l'accroissement des populations rurales et de leurs besoins en bois-énergie.

La logique spatiale de prélèvement du bois-énergie n'est pas la même dans les deux cas. En effet, le prélèvement des populations rurales s'opèrent non seulement sur les plateaux cuirassés mais également sur l'espace sous l'emprise des cultures, et tout particulièrement sur l'espace jachère. Avec l'extension des cultures (saturation de l'espace cultivable par les cultures), conjointement à l'intensification du système des cultures (diminution du temps des jachères), il est important de quantifier également le prélèvement de bois-énergie dans les jachères et de comprendre la logique spatiale d'exploitation des populations rurales. Cette compréhension et quantification est d'autant plus importante que les jachères sont également un espace pour l'exploitation pastorale et agricole.

D'après les études effectuées par le projet Energie II, le site de Banizoumbou n'est pas ou très peu concerné par l'approvisionnement en bois-énergie de Niamey, et constitue ainsi une zone privilégiée pour l'étude spécifique du prélèvement en bois-énergie des populations rurales pour la satisfaction de leurs propres besoins. Les méthodes de détermination des prélèvements en bois-énergie exposées dans le paragraphe suivant (12.2.) ont ainsi été élaborées selon cette seule logique d'exploitation rurale.

12.2. Méthodes de détermination spatiale des prélèvements en bois-énergie

12.2.1. Données disponibles

Le thème des prélèvements en bois-énergie a été abordé, comme pour les autres usages, à plusieurs niveaux de perception :

- a - **Au niveau de l'ensemble du territoire**, le recensement de la population, ainsi que la localisation des villages, est une donnée disponible qui permet d'avoir une image instantanée de la répartition de la population sur l'ensemble du territoire.
- b - **Au niveau des terroirs villageois**, le recensement exhaustif des exploitations dans les huit villages des quatre terroirs échantillonnés pour la délimitation des Unités de Pratiques Homogènes, permet de sélectionner deux villages (Banizoumbou et Karbanga), les plus contrastés du point de vue de l'ancienneté d'installation et de la disponibilité en terres cultivables.
- c - Dans ces deux villages, 14 **exploitations** sont sélectionnées selon des critères de représentativité de l'ensemble des types d'exploitations présentes sur la zone d'étude. Dans chacune d'elles, une personne a été désignée (généralement un enfant scolarisé) pour, tout au long d'une année entière, :
 - . peser quotidiennement le bois consommé par la famille,
 - . noter la provenance du bois récolté : indication d'une direction, d'une estimation kilométrique, du type d'unité sur laquelle s'est opéré le prélèvement (cultures, jachères, brousse),
 - . noter si le bois a été récolté, acheté ou échangé,
 - . noter la nature du bois utilisé.

Dans le cadre de cette thèse, à partir des données récoltées, nous cherchons à obtenir une première estimation de la quantité de bois-énergie récoltée par la population sur l'ensemble de la zone et à l'échelle de l'année. Notre approche, avant tout spatiale, vise à quantifier et localiser les prélèvements en bois-énergie, afin de les confronter avec les ressources disponibles et effectuer un bilan spatialisé. Lors de cette première estimation, nous ne rentrons pas dans les détails du fonctionnement de l'usage forestier. Les données principalement utilisées, à ce stade de l'étude, sont par conséquent la quantité de bois récolté et la localisation du prélèvement.

12.2.2. Chaîne de traitements des données

Les paysans, résidant au village, récoltent le bois aux alentours du village dans un rayon d'exploitation maximal, estimé d'après les enquêtes, à sept kilomètres. C'est

dans ce rayon que le bois peut être récolté par les villageois, soit à pied (principalement les enfants dans les jachères et sur les plateaux cuirassés), soit en charrette (principalement sur les plateaux cuirassés).

Suivant la proportion de plateaux cuirassés à l'intérieur de ce rayon d'exploitation, l'intensité des prélèvements sur ces plateaux, par rapport aux jachères, diffère. En effet, plus la proportion de plateaux est importante, plus ils deviennent un espace privilégié pour la récolte du bois. Seulement 15% des prélèvements à Banizoumbou sont effectués sur les plateaux qui occupent 9% de l'espace dans le rayon d'exploitation, alors que 50% des prélèvements à Karbanga sont effectués sur les plateaux qui n'occupent que 9% de l'espace. Un rapport entre la proportion des prélèvements sur plateaux et la proportion des plateaux dans le rayon d'exploitation a ainsi été calculé. Dans un cas, on obtient une valeur de 1,67 à Banizoumbou, et, dans l'autre cas, une valeur de 1,52 à Karbanga. Nous retenons, pour la suite des traitements, la valeur moyenne de 1,6.

A partir des pesées journalières effectuées dans les 14 exploitations des 2 villages, une valeur moyenne de bois récolté par jour et par personne a été calculée : 1,85 kg/j/personne. Elle est beaucoup plus élevée que celle évaluée par le Plan National de Lutte contre la Désertification en 1990 pour les zones rurales : 0,8 kg/j/personne. Ce résultat confirme bien que, jusque là, l'impact des prélèvements en bois-énergie des populations rurales a été négligé et que, désormais il est important d'en tenir compte. Cette valeur moyenne, ramenée à l'année, donne un chiffre de 675 kg/an/personne.

Sur chaque village de la zone d'étude dont on connaît la population, il a été possible de calculer :

- une quantité totale de bois prélevé sur une année, en multipliant la quantité prélevée par an et par personne au nombre de personnes par village ;
- Un pourcentage de plateaux dans un rayon de 7 km (utilisation du SIG) ;
- Une proportion de prélèvements sur plateaux cuirassés relativement aux zones hors plateaux, en multipliant le pourcentage de plateaux cuirassés par la valeur 1,6 ;
- Un chiffre de prélèvement en kg/ha/an suivant que l'on est sur un hectare de plateau ou non dans chaque rayon d'exploitation de chaque village de la zone.

Les valeurs des prélèvements ont ensuite fait l'objet d'une spatialisation et d'une représentation cartographique, à l'échelle de l'année, de l'intensité des prélèvements en bois-énergie traduite par une intensité des couleurs (cf. 12.3.). Cette spatialisation, comme pour les prélèvements fourragers, doit tenir compte de l'intersection des périmètres exploités. Ceci a conduit à identifier ces intersections (utilisation du SIG) comme des zones où les quantités prélevées peuvent potentiellement s'additionner entre elles, créant localement des zones de fortes intensités de prélèvements de bois-énergie.

L'intérêt de cette estimation spatialisée des prélèvements en bois-énergie, à l'échelle de l'année, est son croisement ultérieur avec la carte des disponibilités en bois, rapportées aux USR. Ce croisement permettra de localiser dans l'espace des zones plus ou moins exploitées, relativement aux ressources disponibles (cf. 12.5). Il a donc fallu

rapporter également les prélèvements en bois-énergie aux USR. La méthode de calcul des prélèvements par USR est la même que pour les prélèvements fourragers (cf. 9.3.2). Ce faisant, un ajustement à posteriori entre la localisation des prélèvements et les USR a aussi été nécessaire.

En effet, l'espace forestier sur lequel il y a une disponibilité en bois est constitué principalement des jachères et des plateaux cuirassés. Sur les USR, caractérisées par des cultures quasi-permanentes, nous considérons qu'il n'y a pas de disponibilité en bois-énergie. En effet, les jachères dérobées entre deux cultures sont négligées étant donné la jeunesse des tiges (diamètre insuffisant). De plus, à chaque remise en culture, les branches d'arbustes coupées sont généralement mises en tas et brûlées ou laissés au sol (cf. 6.4) et ne constituent pas ainsi une ressource en bois-énergie. Le chiffre en valeur absolue des prélèvements effectués sur les USR, caractérisés par les pratiques combinées de type 1 (cultures quasi-permanentes), a donc été redistribué sur l'ensemble de la zone d'étude, ainsi que les chiffres de prélèvements sur les zones dégradées.

Toutes les zones intersectées inférieures à 40 ha hors plateaux cuirassés, et à inférieures à 5 ha sur plateaux cuirassés, ont été dissoutes dans les plus grandes surfaces voisines ; valeurs en dessous desquelles, étant donné la méthode adoptée pour la détermination spatiale des prélèvements, la précision a été jugée, par expertise, comme illusoire.

12.3. Les prélèvements en bois-énergie dans un espace multifonctionnel

La carte des prélèvements annuels en bois-énergie (Figure 81) sur la zone d'étude indique une échelle d'intensité de prélèvements entre environ 0 et 275 kg/ha/an. Ces chiffres de prélèvements ont été calculés selon une distribution homogène des prélèvements à l'intérieur des périmètres d'exploitation : la seule précision qui a été amenée pour tenir compte de la répartition spatiale des ressources en bois-énergie dans ce périmètre est la distinction faite entre les plateaux cuirassés et les zones hors plateaux.

Cette distinction, à l'échelle de la zone d'étude, était obligatoire, étant donné la logique d'utilisation de l'espace forestier autour d'un village mise en évidence. En effet, à distance égale, les villageois vont préférer récolter du bois sur les plateaux cuirassés (disponibilité en bois nettement supérieure) que dans les jachères. Même si les plateaux cuirassés sont éloignés, ils vont parfois y chercher du bois avec une charrette. L'intérêt du prélèvement de bois-énergie dans les jachères réside plutôt dans son accessibilité : distance moins grande à parcourir ; lors des travaux des champs, les villageois peuvent profiter de leurs déplacements sur les parcelles agricoles pour ramasser du bois dans les parcelles avoisinantes (de préférence dont ils ont la gestion), etc... L'intérêt du prélèvement du bois-énergie sur les plateaux cuirassés réside d'avantage dans la quantité de bois disponible sur un espace réduit (parfois plus loin, mais en un seul déplacement, la récolte est plus rentable).

Cette estimation des prélèvements en bois-énergie, à l'échelle de la zone d'étude, pourrait être affinée à une échelle supérieure. En effet, la répartition homogène des prélèvements dans les zones sous l'emprise des cultures n'est pas réelle ; elle dépend étroitement de la répartition des ressources disponibles dans ces zones.

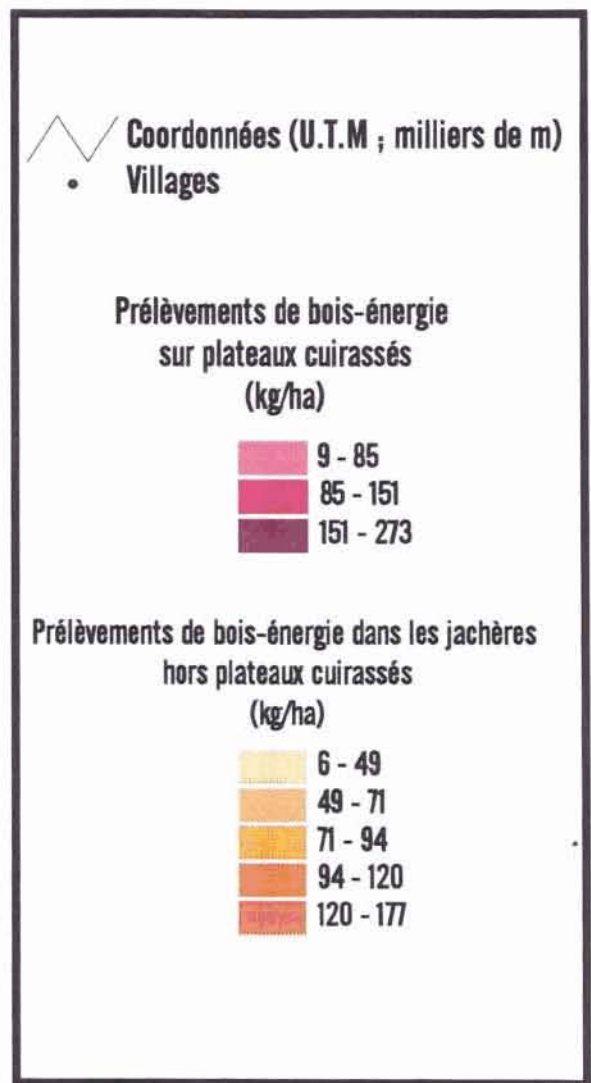
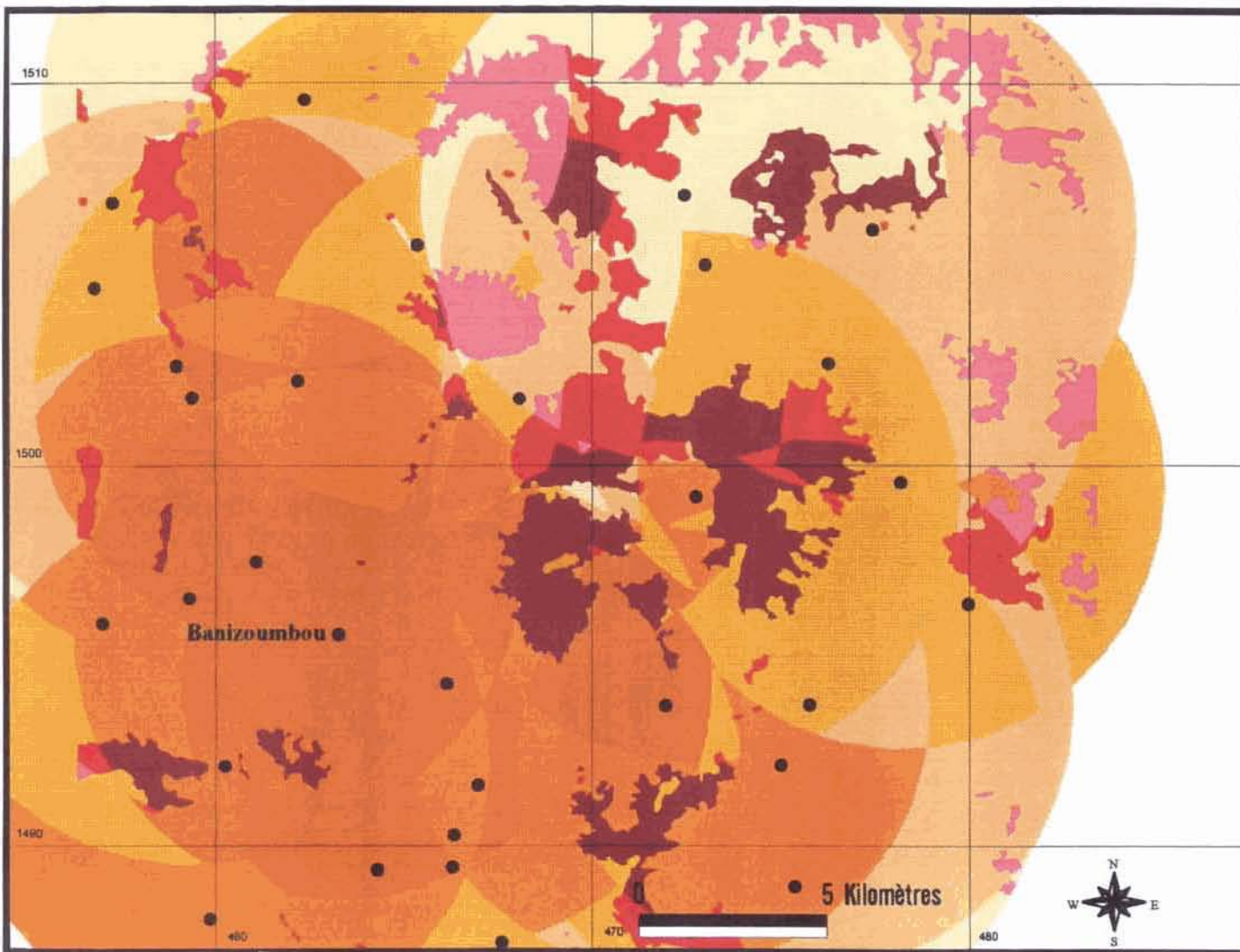


Figure 81 : Carte des prélèvements annuels de bois-énergie (kg/ha) sur le site de Banizoumbou, Niger

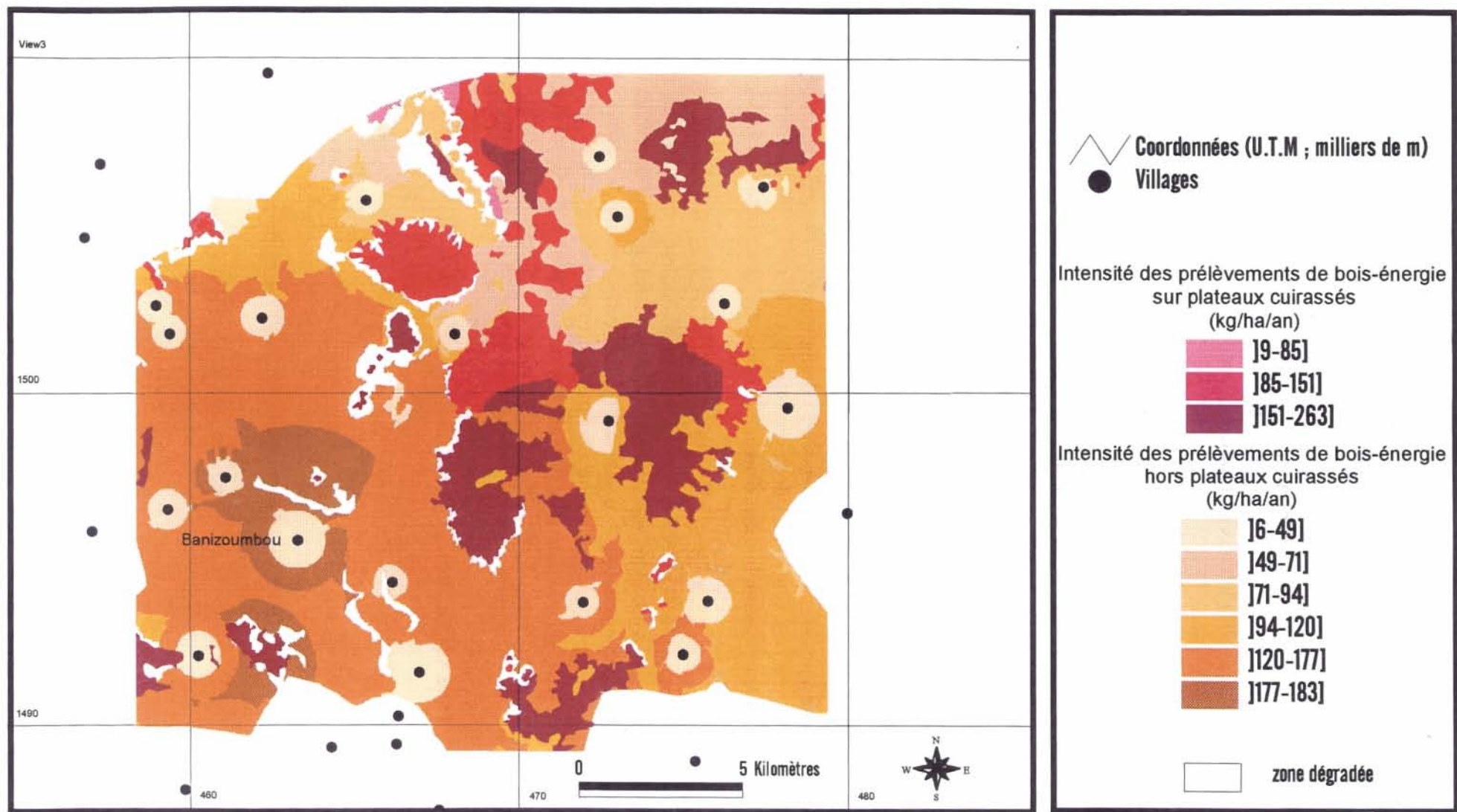


Figure 82 : Intensité des prélèvements de bois-énergie sur les Unités Spatiales de Référence (kg/ha) : site de Banizoumbou, Niger.

Ceci dit, le raisonnement, à l'échelle de l'année et de la zone d'étude, reste valable et nous permet d'avoir une vision immédiate de la répartition des prélèvements. La première remarque, au vu des deux cartes (Figure 81 et 82) est une répartition des prélèvements plus diffuse et homogène au sud-ouest de la zone, caractérisée essentiellement par une faible proportion de plateaux. Plus les villages sont proches des plateaux cuirassés (quart nord-est de la zone) et plus les prélèvements se concentrent dans les brousses sur plateaux et diminuent dans les alentours immédiats des villages.

Les zones sous l'emprise des cultures plus intensément prélevées correspondent à une forte pression démographique, due à un village plus peuplé (exemple de Banizoumbou) et/ou à une zone d'intersection entre plusieurs villages. Le quart sud-ouest de la zone correspond à ces deux caractéristiques : il contient les villages les plus peuplés de la zone et la concentration des villages y est la plus forte (cf. 4.2.3.3.).

12.4. Détermination spatiale des ressources forestières

La disponibilité en bois-énergie, à l'échelle de l'année, est calculée à partir de la biomasse totale potentiellement utilisable attribuée aux différentes USR, définies dans le chapitre 8.

Pour estimer cette biomasse disponible, seuls les jachères (toute l'année, quelque soit la saison), quels que soient leur âge et leur position topographique, et la végétation sur plateaux cuirassés ont été considérés comme productrices de ressources ligneuses. Les champs cultivés sont exclus de l'espace forestier, étant donné la quantité négligeable de bois produit (essentiellement dans la période entre deux mises en culture) et récolté par l'homme pour une utilisation domestique.

D'une manière générale, ont été considérés comme ressource en bois-énergie toutes les tiges d'un diamètre supérieur à 4 cm. Au niveau des recommandations données aux bûcherons dans le cadre des marchés ruraux, seules les tiges supérieures à 6 cm doivent être récoltées si l'on ne veut pas mettre en péril le niveau de production de l'arbuste. Au niveau de la récolte quotidienne du bois pour les besoins domestiques des familles en zone rural, il n'existe pas de telles règles et les tiges jusqu'à 4 cm peuvent être considérées comme une ressource disponible. A partir de là, les ressources disponibles ont été calculées de la manière suivante :

- Dans les jachères : la biomasse totale des ligneux par USR est la somme des biomasses fournies par Delabre Eric (1998) pour chaque surface en jachère qui caractérise l'USR, selon l'âge de la jachère et sa position topographique. Ensuite la biomasse des tiges supérieures à 4 cm est estimée en moyenne à 85% de la biomasse sèche totale, pourcentage moyen calibré à partir des coupes d'arbustes et des pesées effectuées par Karimou (1993). Cette biomasse disponible dans les jachères correspond, par ce mode de calcul, à la fois au stock de bois et à la production annuelle.
- Sur les plateaux cuirassés : la biomasse des tiges supérieures à 4 cm nous est donnée par Ichaou (1995), selon les différents types de formation végétale naturelle qu'il identifie : brousse tigrée typique, brousse persillée, brousse ponctuée, brousse tigrée en rosace.

Par ce mode de calcul, une disponibilité en bois-énergie annuelle a été attribuée aux différentes USR définies dans la zone d'étude. La fourchette de valeur obtenue est grossièrement 10 à 260 kg/ha sur plateaux cuirassés et 5 à 180 kg/ha hors plateaux cuirassés.

Au vu de la figure 83, la plus grande disponibilité en bois-énergie est effectivement sur les plateaux cuirassés, avec un chiffre moyen à l'hectare de 8850 kg, allant de 6900 kg/ha dans les brousses persillées à 9200 kg/ha dans les brousses tigrées en rosace. Dans tous les cas, cette disponibilité sur plateaux est très nettement supérieure à celle dans les zones sous l'emprise des cultures, dont la disponibilité varie entre 10 kg/ha (avec les pratiques de cultures intensives : pratiques 1, sur les ensablements sur plateaux) et 3200 kg/ha (avec les pratiques de cultures les plus extensives : pratiques 4, dans les bas-fonds).

En moyenne, hors plateaux, les bas-fonds offrent la plus grande disponibilité en bois-énergie, suivis des cordons dunaires, puis des ensablements sur plateaux, des jupes sableuses et enfin des glacis. A l'intérieur des différents types géomorphologiques, la disponibilité en bois augmente systématiquement selon des pratiques combinées de plus en plus extensives (jachères plus longues, espace jachères plus important).

Le rapport entre la géomorphologie et la disponibilité en ressource en bois-énergie est globalement inversée (mais non proportionnelle) par rapport à celle mise en évidence pour les ressources fourragères. En effet, excepté sur les glacis où la disponibilité en ressource est relativement faible pour les ressources fourragères (cf. 9.4.) comme pour les ressources en bois-énergie, plus la disponibilité fourragère est en moyenne importante sur un type géomorphologique donné, moins la disponibilité en bois l'est (Figure 84).

Il en est de même pour la disponibilité des ressources selon les pratiques agricoles combinées appliquées. En effet, dans le cas des ressources fourragères (cf. 9.4), la disponibilité est d'autant plus grande que les pratiques agricoles sont intensives (rappelons ici que la disponibilité fourragère n'est pas synonyme de qualité fourragère ; cf. 9.4.), alors que pour les ressources en bois, leur disponibilité est d'autant plus grande que les pratiques agricoles sont extensives.

Ainsi, l'espace sous l'emprise des cultures est un espace producteur de ressources pastorales comme forestières, mais la répartition spatiale de ces ressources en relation avec leur utilisation dans ce même espace globale n'est pas la même. L'espace-ressource forestier, à l'échelle de la zone d'étude, est aussi un espace-ressource pastoral, mais tout l'espace-ressource pastoral (champs cultivés compris) n'est pas un espace-ressource forestier.

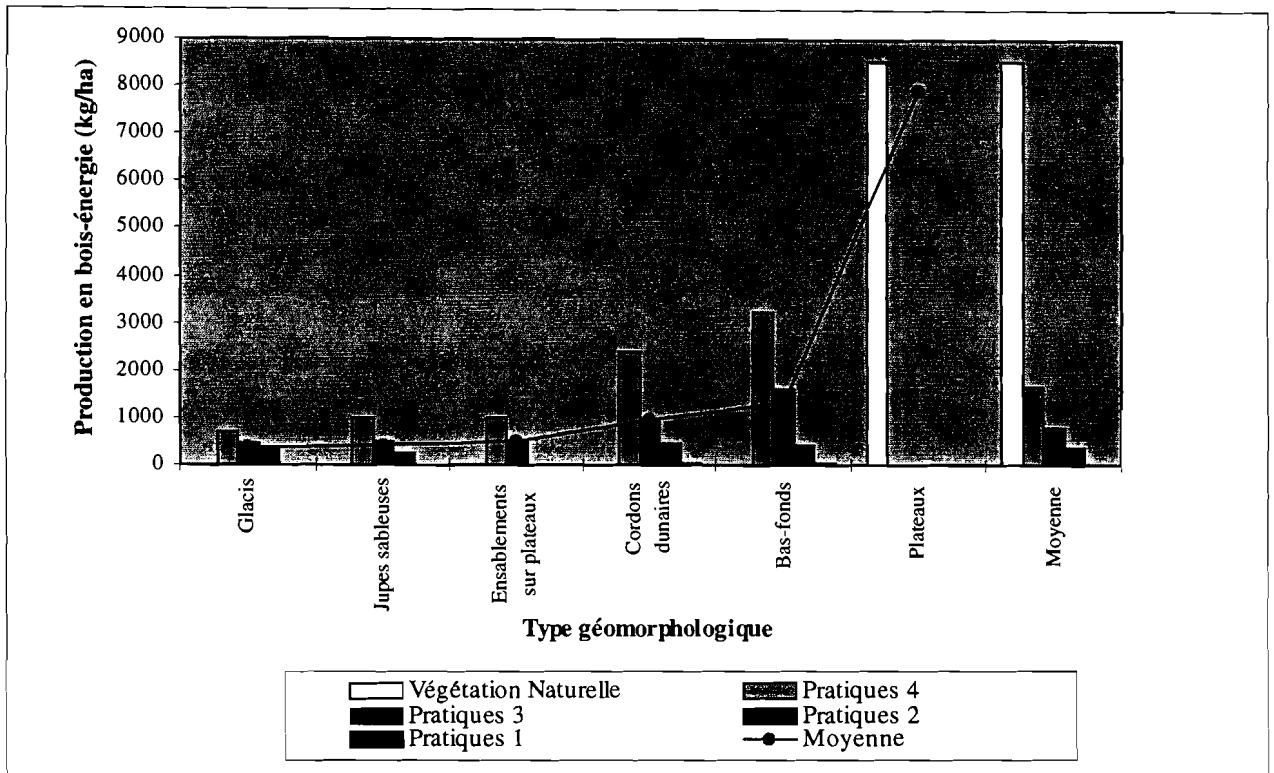


Figure 83 : Disponibilité en bois-énergie en fonction de la géomorphologie et des pratiques agricoles combinées

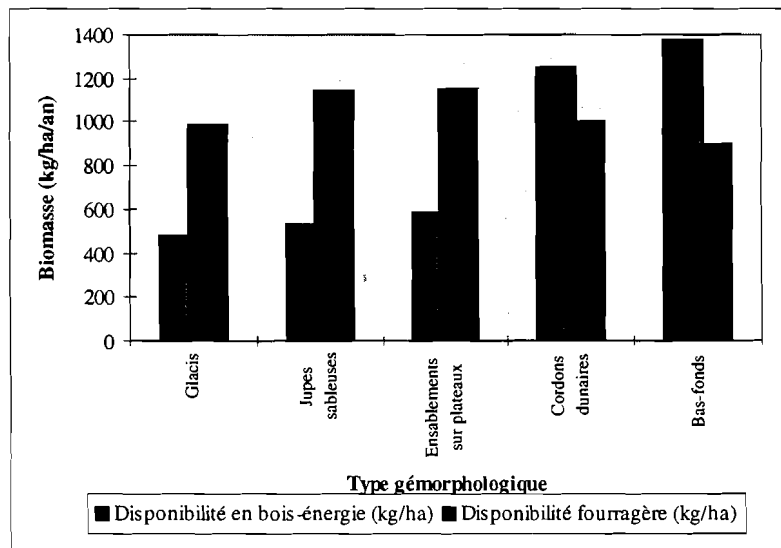


Figure 84 : Disponibilité fourragère et disponibilité en bois-énergie selon la géomorphologie

Au vu de la figure 85, on peut globalement diviser l'espace agricole (hors plateaux cuirassés) en trois zones :

- Une **première zone** (1 sur la figure), quelle que soit la géomorphologie, caractérisée par des pratiques agricoles les plus intenses, dans laquelle il y a la plus forte disponibilité fourragère et la plus faible disponibilité en bois-énergie,

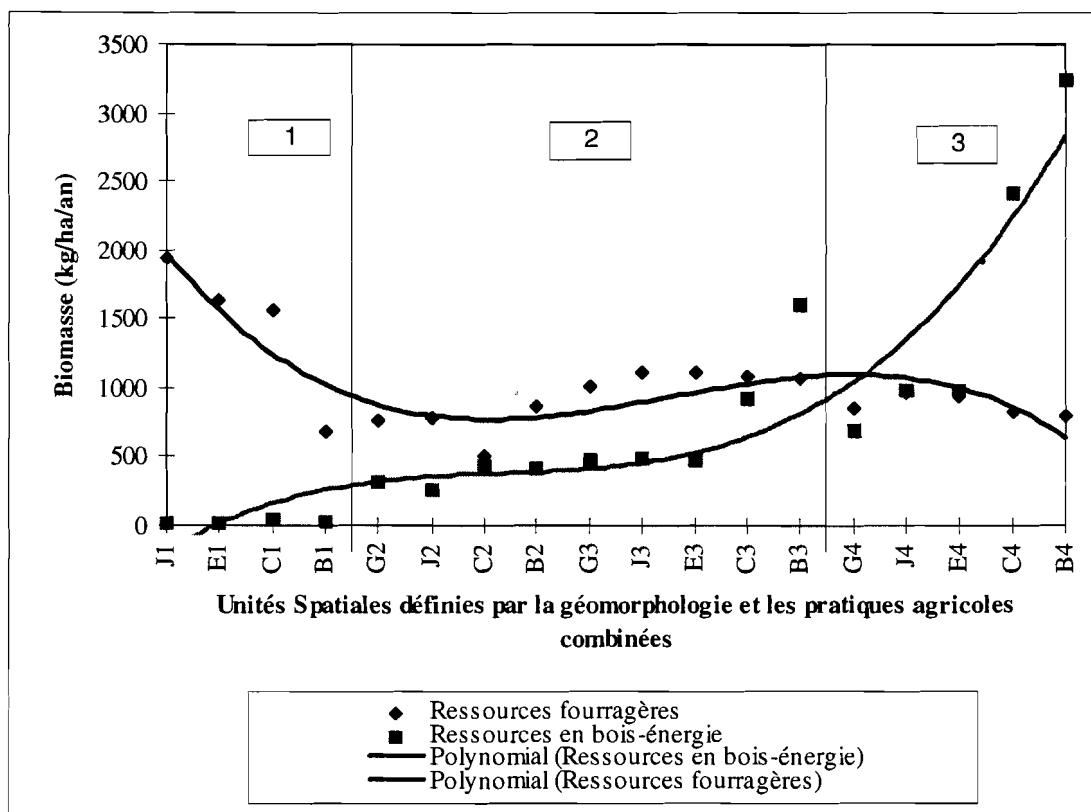
relativement aux autres zones : donc un espace-ressource principalement agro-pastorale.

- Une **deuxième zone** (2 sur la figure), caractérisée par des pratiques agricoles plus ou moins intensives, avec des jachères entre 4 et 6 ans et un faible apport de matière organique, dans laquelle il y a une disponibilité moyenne tant fourragère que forestière : donc un espace-ressource agro-sylvo-pastoral.

- Une **troisième zone** (3 sur la figure), caractérisée par des pratiques agricoles très extensives (jachères longues et surface en jachère supérieure), dans laquelle il y a la plus forte disponibilité en bois-énergie et la plus faible disponibilité fourragère : donc un espace-ressource principalement sylvo-agricole.

Sur les plateaux cuirassés, recouverts par des formations végétales dites "naturelles", le phénomène est le même, mais en bien plus exacerbé, que dans la troisième zone de la figure 85. Les plateaux cuirassés, du point de vue des ressources (quantitativement), est un espace-ressource principalement forestier.

Ces résultats amèneraient à penser que, plus la couverture ligneuse (et la disponibilité en bois-énergie) est importante, plus la disponibilité fourragère (constituée dans les jachères à 80% d'herbacées et 10% de feuilles d'arbustes) est faible. Une forte couverture ligneuse défavoriserait la couverture herbacée. Ceci mériterait d'être approfondi et vérifié par de nouvelles études et relevés de terrain.



*G = Glacis ; J = Jupe sableuse ; E = Ensablement sur plateaux ; C = Cordon dunaire ; B = Bas-fonds ;
1, 2, 3 et 4 = Pratiques agricoles des plus artificialisées au moins artificialisées.*

Figure 85 : Disponibilité fourragère et disponibilité en bois-énergie (kg/ha/an) selon la géomorphologie et les pratiques agricoles, attributs principaux des Unités Spatiales de Référence

Dans tous les cas, l'espace rural dans la zone d'étude est principalement déterminé par l'espace-ressource agricole (plus productif autour des villages avec des pratiques plus intensives) et l'espace-ressource forestier (plus productif loin des villages dans les zones de cultures extensives ou sur les plateaux cuirassés). Les ressources pastorales dépendent de ces deux espaces, agricole et forestier, et apparaissent comme des ressources "résiduelles" de l'usage agricole et forestier. Ramenées à l'hectare, elles sont très importantes quantitativement dans les zones intensément cultivées à cause des résidus de cultures (dépendance totale à l'activité agricole), mais ces zones représentent une faible surface par rapport à l'ensemble de la zone d'étude (7% de l'espace). Elles sont moyennes dans les zones sous l'emprise des cultures moins intensément cultivées (pratiques 2 et 3, caractérisées par une mosaïque de champs et de jachères), dont la surface globale est la plus importante (46% de l'espace). Elles deviennent faibles dans les zones de cultures extensives (Pratiques 4), dont la surface représente 27% de l'espace totale, et très faible sur les plateaux cuirassés (20% de l'espace). Ainsi, les principales ressources pastorales dépendent très fortement de l'absence (sur plateaux cuirassés) ou de la présence de l'activité agricole. Quand l'activité agricole est absente, étant donné l'emprise des cultures sur la majeure partie des zones cultivables, on se trouve principalement sur les plateaux cuirassés, espace sur lequel les ressources sont principalement forestières. Partageant le même espace-ressource, les agriculteurs imposent une structure du paysage en champs et en jachères aux éleveurs dont la satisfaction des besoins en fourrage dépend totalement. Cela explique que, selon l'accès aux puits et aux parcelles agricoles, il peut y avoir conflits entre agriculteurs et éleveurs.

12.5. Bilan bois-énergie spatialisé

La superposition des deux documents, ressources disponibles en bois-énergie et prélèvements en bois-énergie observés et calculés, permet d'établir un bilan circonstancié spatialisé des relations du milieu - consommation en bois-énergie, à l'échelle de l'année.

Le bilan en bois-énergie a été calculé, sur chaque USR, en effectuant tout simplement la soustraction entre les ressources disponibles et les prélèvements en bois-énergie. La carte résultante (Figure 86) présente une échelle de bilan allant environ de 0 à 9180 kg/ha. Plus il est faible et plus les couleurs représentées sur la carte sont intenses. Le bilan moyen sur l'ensemble de la zone (moyenne des bilans par USR, pondérée par la surface de chaque USR) est de 1810 kg/ha/an, donc positif. Ce chiffre donne une indication quantitative et non localisée du bilan bois-énergie à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude.

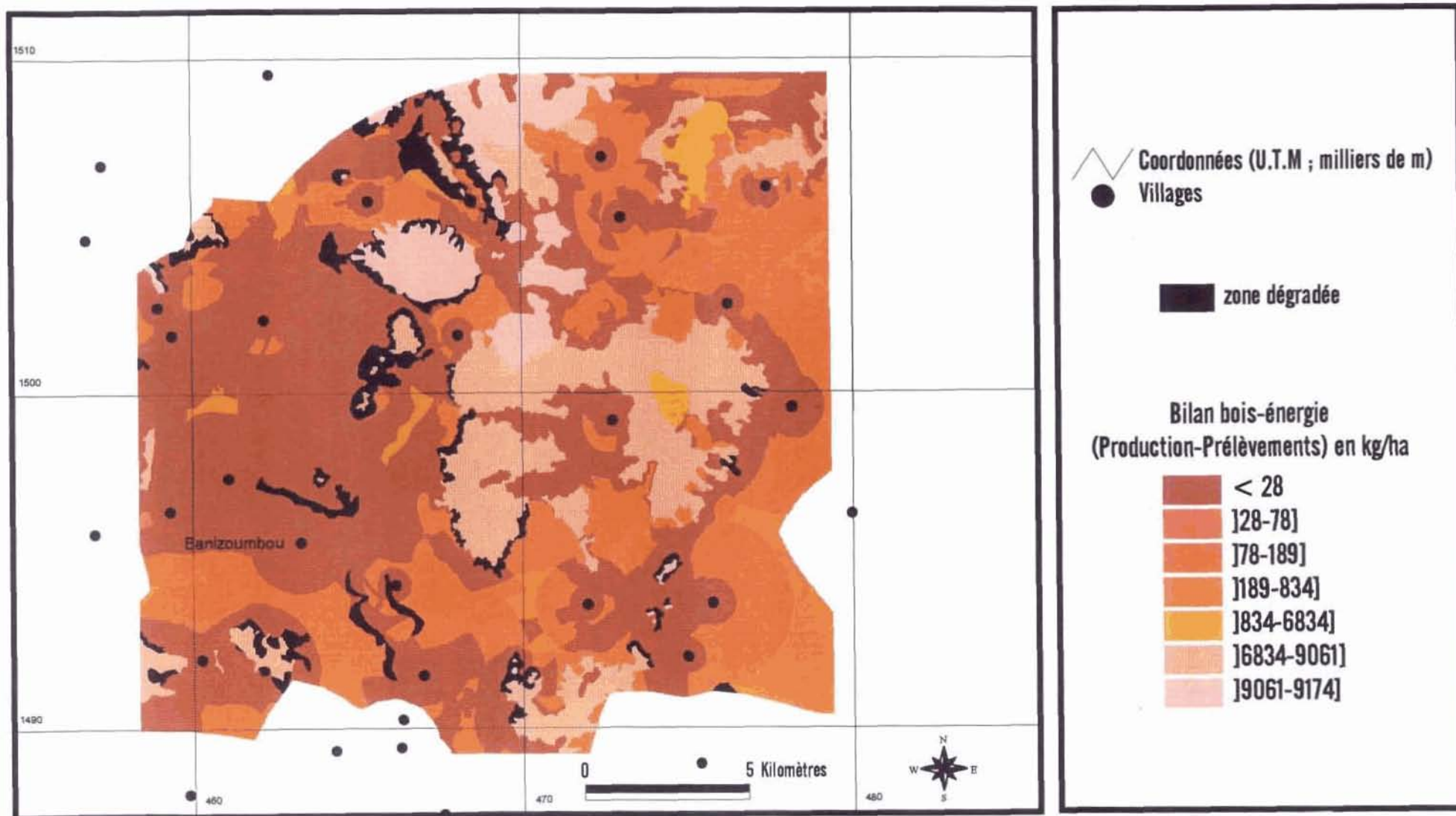


Figure 86 : Bilan bois-énergie spatialisé sur le site de Banizoumbou, Niger

Ceci dit, si l'on regarde la répartition spatiale des bilans, sur la majeure partie de la zone, le bilan est très faible (c'est à dire une production presque égale, voire inférieure aux prélèvements). En effet, la classe inférieure à 28 kg/ha est la classe la plus représentée dans l'espace (47% de l'espace ; Figure 87). Elle concerne exclusivement des zones sous l'emprise des cultures et donc des prélèvements de bois-énergie dans les jachères. Les bilans les plus positifs sont sur les plateaux cuirassés, étant donné la forte disponibilité en bois-énergie qui les caractérise. Dans les zones sous l'emprise des cultures, le bilan est généralement plus faible que sur les plateaux cuirassés (et d'autant plus que l'on se rapproche des villages), étant donné la disponibilité en bois beaucoup moins importante et la pression anthropique qui peut être très forte. Plus les terroirs villageois ont une faible proportion de plateaux cuirassés (disponibilité globale en bois-énergie plus faible) et plus la population villageoise est élevée (besoins en bois-énergie plus fort), plus le bilan est faible sur une grande portion de l'espace. Ceci concerne essentiellement les terroirs à l'ouest de la zone d'étude.

Certaines USR, appartenant à la classe de bilan < 28 , ont parfois un chiffre de bilan négatif (27% de l'espace). Ces bilans négatifs sont un artefact du au mode de calcul de la biomasse en bois-énergie disponible et des prélèvements. En effet, il n'est à priori pas concevable d'avoir des prélèvements supérieurs aux ressources disponibles (= stock + production annuelle). Ce phénomène apparaît de manière préférentielle sur les glacis (49% des bilans négatifs) et les jupes sableuses (30%) : les 21% restant sont répartis sur les ensablements sur plateaux et les bas-fonds.

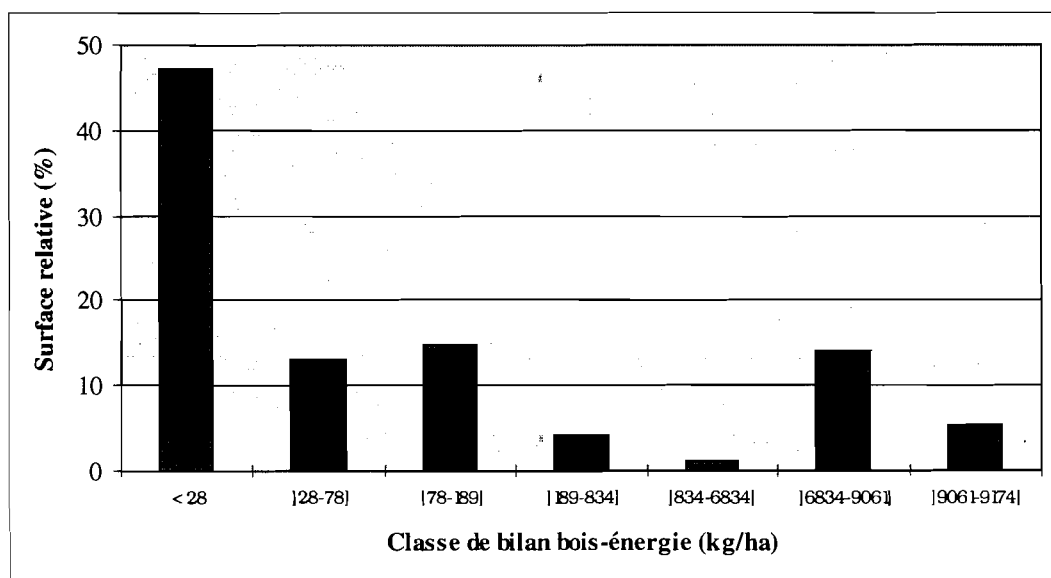


Figure 87 : Surfaces relatives des différentes classes de bilan bois-énergie

Cet artefact met en évidence les limites de la méthode actuelle pour la réalisation du bilan bois-énergie spatialisé. En effet, il peut être expliqué par :

- 1- une sous-estimation des biomasses disponibles et/ou une surestimation des prélèvements,
- 2- une relative grossière localisation des prélèvements dans le rayon d'exploitation de 7 km autour des villages, sans relation fine avec la localisation des différents milieux existants dans ce périmètre d'exploitation.

En effet, il peut y avoir eu, dans certain cas une sous-estimation des ressources disponibles. Les chiffres de biomasse des jachères sont issus de relevés de terrain (Delabre, 1998) qui ont été opérés au centre des jachères. Les bordures des parcelles (souvent des haies d'arbustes) et les micro reliefs dans la parcelle elle-même, telles que les zones privilégiées d'écoulement d'eau, productrices de ligneux, n'ont pas été pris en compte dans le calcul global de la biomasse ligneuse disponible. Ces petites concentrations d'arbres ou arbustes ne sont pas reconnus comme des forêts en tant que telles, pourtant elles participent activement au fonctionnement interactif ressource-usage. Elles sont particulièrement présentes sur les glacis et jupes sableuses, types géomorphologiques sur lesquels les bilans négatifs sont principalement observés. Toutes ces zones de transitions (écotones), ces micro-reliefs, représentent une faible surface globale, mais leur fonction du point de vue écologique est très importante (concentration des eaux, brise-vent, abris pour les oiseaux et les insectes,...), ainsi que leur fonction dans la structuration du paysage. Réserves de bois non négligeables, il faudrait, dans la poursuite de ce travail, chercher à estimer et localiser ces ressources ligneuses afin de les inclure dans le bilan global. Certains programmes internationaux s'intéressent actuellement tout particulièrement au rôle et fonctionnement des arbres hors forêts (TOF : Trees Out of Forest).

Il peut donc y avoir eu une sous-estimation localisée de la disponibilité en bois, mais aussi une surestimation. En effet, une USR est caractérisée par une durée moyenne des jachères selon un rapport surfacique déterminé. Or, la jachère, et d'autant plus si elle est ancienne avec un fort couvert herbacée et ligneux, est souvent brûlée pour la remise en culture (cf. 6.4.1.). Dans ce cas, tous le capital ligneux "part en fumée" et ne constitue plus une ressource en bois-énergie. A l'heure actuelle, nous ne savons pas quantifier cette pratique culturelle sur une USR. De plus, il semblerait que plus la jachère est loin du village et difficilement accessible à pied, plus elle serait susceptible d'être brûlée. Il faudrait donc, à l'avenir, chercher également à quantifier et localiser cette pratique agricole pour réviser à la baisse la disponibilité globale en bois-énergie sur les USR utilisée pour le bilan.

Du point de vue des prélèvements en bois-énergie, tous les besoins des villageois ont été rapportés à une quantité de bois prélevée dans un périmètre d'exploitation autour des villages de 7 km de rayon. Or, si les villageois ne satisfont pas leurs besoins par leur propre récolte dans ce périmètre d'exploitation, ils peuvent acheter le bois. Généralement, ce bois acheté provient de la végétation naturelle sur plateaux cuirassés et non pas des jachères. En effet, les jachères, étant donné leur relative faible disponibilité en bois, sont exclusivement utilisées pour les besoins familiaux du "récolteur". A partir du moment où il y a commerce du bois, et donc transaction d'une plus grande quantité de bois, le bois est récolté presque exclusivement sur les plateaux cuirassés, même si ces derniers se trouvent au delà du périmètre d'exploitation du

village. Dans ce cas, il est ramené au centre de vente à l'aide de charrettes. Lorsque le bilan est négatif, notamment à l'ouest de la zone (exemple : terroir de Banizoumbou), cela peut indiquer une zone sur laquelle le commerce du bois est une activité plus développée que dans d'autres terroirs. Avec les enquêtes de terrains effectuées, nous disposons des données concernant la quantité de bois récolté, acheté ou échangé dans chacune des exploitations enquêtées. Il faudrait à l'avenir, tenir compte des flux de bois-énergie d'un terroir à l'autre, d'une USR à l'autre, pour la satisfaction des besoins en bois-énergie des villageois. La prise en compte de ces flux permettrait de diminuer les prélèvements en bois sur l'espace jachère et de les augmenter sur l'espace plateaux cuirassés.

Enfin, la seule différence d'intensité des prélèvements en bois-énergie dans le périmètre d'exploitation autour des villages dont nous avons tenu compte est la différence entre les prélèvements sur plateaux cuirassés et ceux sur les zones sous l'emprise des cultures, quels que soient les différents types de milieux physiques (et tout particulièrement géomorphologique) sur ces dernières. Or, il faudrait à l'avenir affiner le modèle, sachant que la répartition des prélèvements hors plateaux cuirassés, dans le périmètre d'exploitation, est étroitement liée à la répartition spatiale des ressources en bois-énergie sur les différentes UP interceptées par le rayon d'exploitation.

Pour toutes ces raisons, les chiffres de bilan négatif sont à prendre en compte du point de vue qualitatif, indicateurs de zones où les prélèvements sont très intenses relativement aux ressources disponibles, ce qui contribue globalement à augmenter le risque de dégradation du couvert végétal.

A ce stade de traitements des données, notre approche globale à l'échelle de la zone d'étude et de l'année permet de faire un bilan production-prélèvements pour la comparaison immédiate d'une région à l'autre de la zone d'étude, pertinente à l'échelle du km², et moins à l'échelle de l'hectare.

Chapitre 13 : BILAN SPATIALISE DU MULTI-USAGE : RISQUE DE DESERTIFICATION

13.1. Comparaison des bilans par module

D'une manière générale, les zones sur lesquelles le bilan fourrager est plus faible en valeur relative, sont aussi les zones sur lesquelles le bilan en bois-énergie est plus fort en valeur relative (Figure 88). En effet, les bilans en bois-énergie > 834 kg/ha ne concernent que les zones sur lesquelles le bilan fourrager est < 723 kg/ha. Toutes les zones avec un bilan fourrager > 1228 kg/ha ont un bilan en bois-énergie < 28 kg/ha.

Les plus grandes surfaces de la zone d'étude (13,7 % de l'espace, hors zones dégradées) ont un bilan fourrager relativement élevé (]723-913]) et un bilan en bois-énergie très faible (< 28). La plus grande surface (8,5 %) avec un bilan fourrager élevé (]913-1228]) est caractérisée par un bilan en bois-énergie relativement faible (]78-189]).

Ceci dit, malgré la tendance générale mise en évidence, il n'y a pas proportionnalité entre un bilan fourrager faible et un bilan en bois-énergie fort, et réciproquement. Un grand nombre de combinaisons intermédiaires existent selon des proportions, exprimées en surfaces relatives, indiquées sur la figure 88.

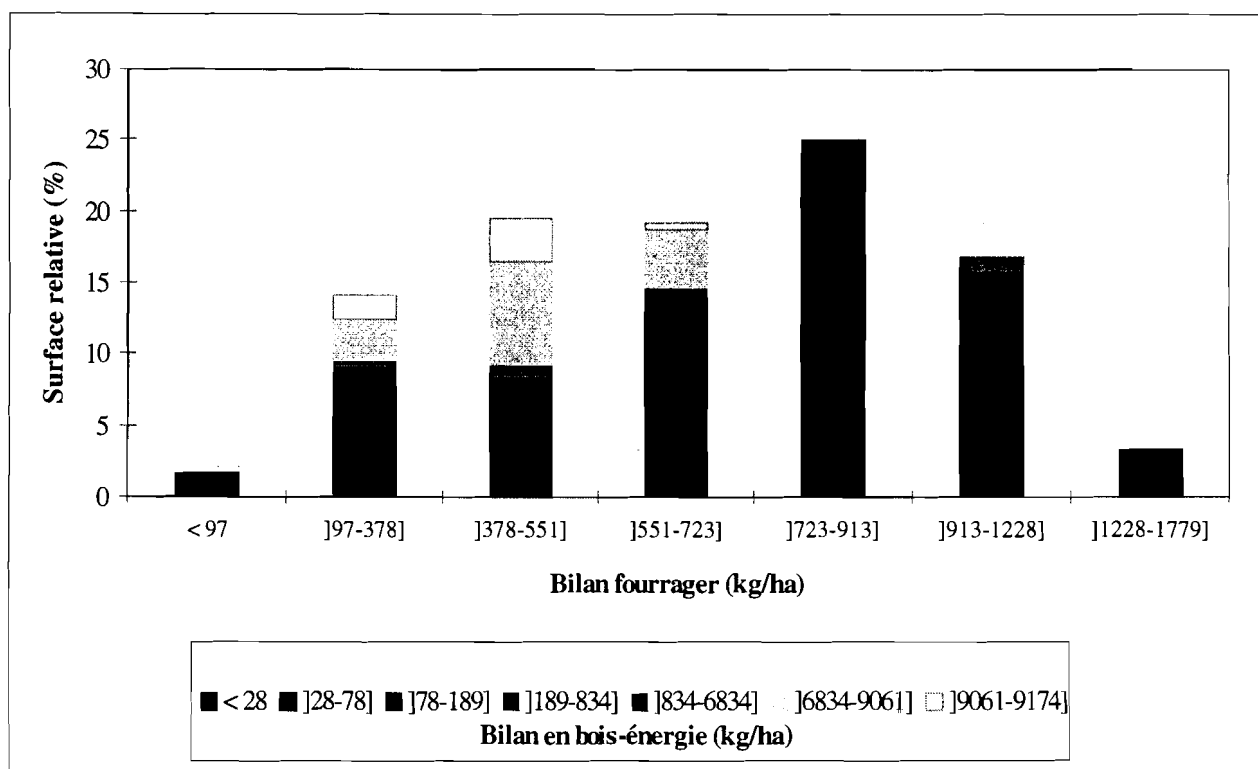


Figure 88 : Localisation et surface des classes de bilan en bois-énergie en comparaison aux classes de bilan fourrager, hors zones dégradées

La comparaison entre le bilan de bois-énergie et les indices de sensibilité des sols à la dégradation (sur les zones hors plateaux cuirassés et zones dégradées) indique également une tendance générale, selon laquelle les zones sur lesquelles l'indice de sensibilité des sols est plus fort en valeur relative sont aussi les zones sur lesquelles le bilan en bois-énergie est plus faible en valeur relative (Figure 89). Contrairement aux activités pastorale et prélèvements de bois-énergie pour lesquelles il n'y a pas une évidente accumulation des effets négatifs sur un même espace, les activités agricoles et prélèvements en bois-énergie seraient davantage en concurrence sur les mêmes espaces.

En effet, les bilans en bois-énergie les plus positifs, hors plateaux cuirassés et zones dégradées (]189-834]), sont caractérisés par la classe d'ISSD la plus faible et réciproquement, plus l'ISSD est fort, plus les surfaces caractérisées par un bilan bois-énergie très faible (< 28 kg/ha) sont importantes en valeur relative : 8% sur 31% (= 25%) avec un ISSD très faible et faible; 29% sur 37% (= 77%) avec un ISSD moyen et fort ; 9% sur 11% (= 81%) avec un ISSD très fort. Les 21% restant de l'espace sont les plateaux cuirassés et les zones dégradées sur lesquelles nous n'avons pas déterminé d'ISSD, étant donné l'absence de l'activité agricole sur ces zones.

Ceci dit, malgré la tendance mise en évidence, il n'y a pas là non plus proportionnalité entre ISSD faible et bilan en bois-énergie faible, et réciproquement. Un grand nombre de combinaisons intermédiaires existent selon les proportions indiquées sur la figure 89.

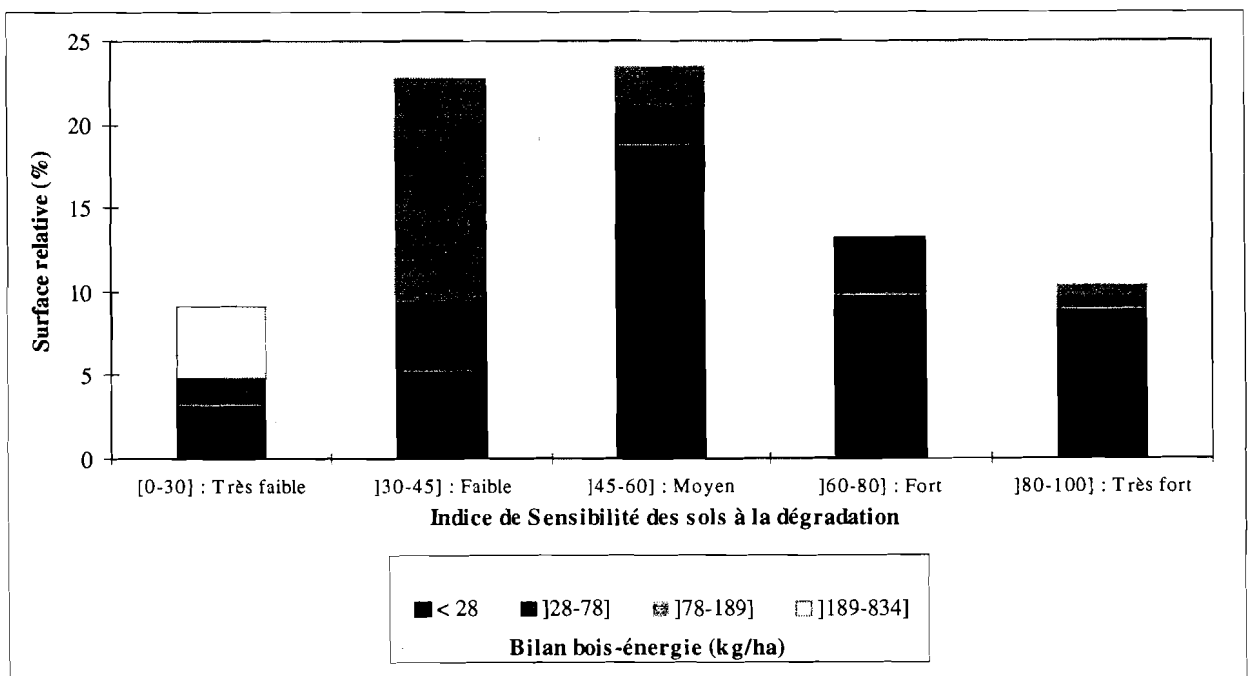


Figure 89 : Localisation et surface des classes de bilan en bois-énergie en comparaison aux classes de sensibilité des sols à la dégradation (hors plateaux cuirassés et zones dégradées)

Enfin, la comparaison entre le bilan fourrager et les indices de sensibilité des sols à la dégradation (sur les zones hors plateaux cuirassés et zones dégradées) indique aussi une tendance générale, selon laquelle les zones sur lesquelles l'ISSD est plus fort en valeur relative sont aussi les zones sur lesquelles le bilan fourrager est plus faible en valeur relative (Figure 90). Comme les activités agricoles et prélèvements de bois-énergie, les activités agricoles et pastorales sont en concurrence sur les mêmes espaces.

En effet, les bilans fourragers les plus positifs ([1228-1779]), hors plateaux cuirassés et zones dégradées, sont caractérisés principalement par la classe de ISSD la plus faible et réciproquement, plus l'ISSD est fort, plus les surfaces caractérisées par un bilan fourrager moyen à faible (< 551 kg/ha) sont importantes en valeur relative : 1% sur 9% (=11%) avec un ISSD très faible ; 5% sur 22% (= 22%) avec un ISSD faible ; 6% sur 24% (= 25%) avec un ISSD moyen ; 10% sur 24% (= 41%) avec un ISSD fort et très fort.

Ceci dit, malgré la tendance mise en évidence, il n'y a pas là non plus proportionnalité entre ISSD faible et bilan fourrager faible, et réciproquement. Un grand nombre de combinaisons intermédiaires existent selon les proportions indiquées sur la figure 90. Cette non proportionnalité est même plus faible qu'avec les activités de prélèvements de bois-énergie. L'intensité de l'activité pastorale, en relation avec les ressources disponibles, semble globalement plus régulièrement répartie que celle de l'activité de prélèvements de bois-énergie sur l'ensemble de l'espace agricole, quelque soit l'ISSD. Ceci serait dû à un prélèvement fourrager mieux réparti dans la zone sous l'emprise des cultures, principal espace-ressource pastoral, alors que les prélèvements de bois se font de manière privilégiée sur les plateaux cuirassés (principal espace-ressource forestier) mais aussi dans les zones sous l'emprise des cultures, nettement plus pauvres en ressources disponibles.

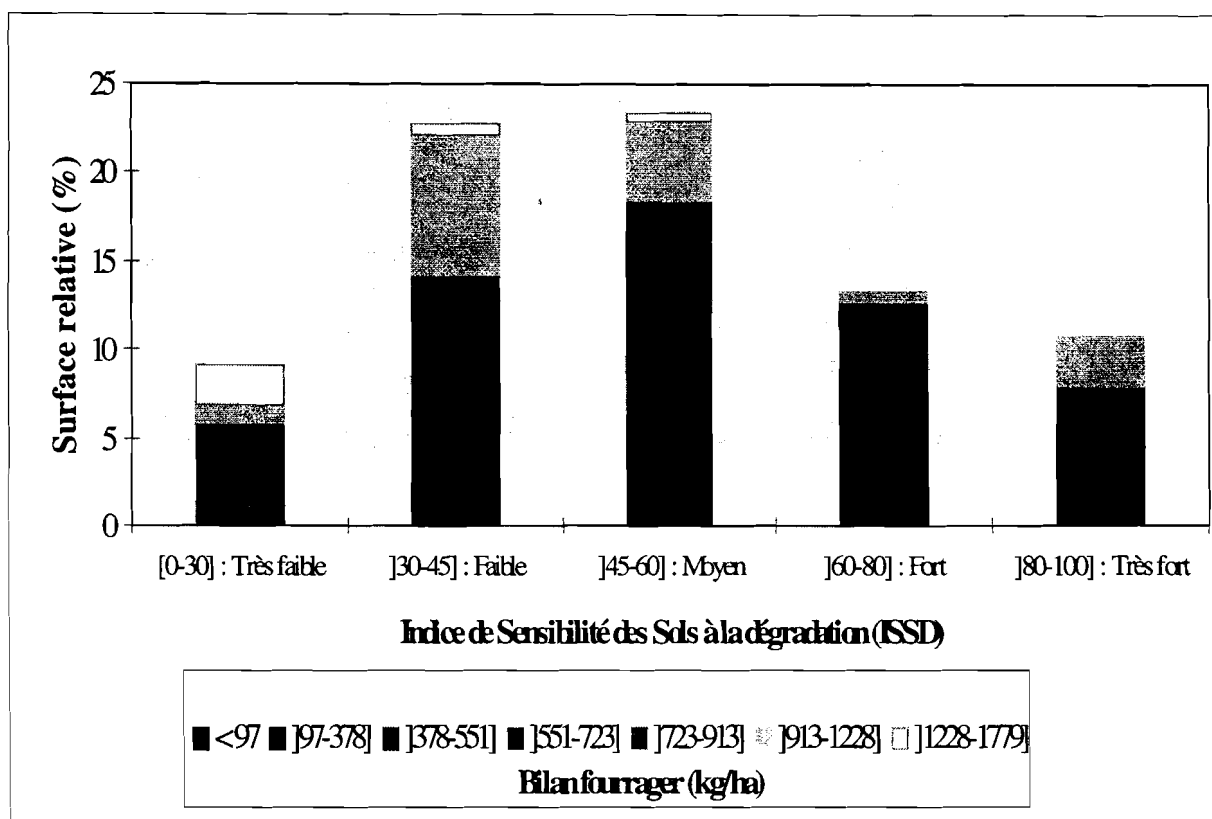


Figure 90 : Localisation et surface des classes de bilan fourrager en comparaison aux classes de sensibilité des sols à la dégradation (hors plateaux cuirassés et zones dégradées)

13.2. Un Indice de Risque de Désertification (I.R.D)

Etant donné la complexité des relations entre les activités agricoles, pastorales et forestières sur un même espace et leur contribution relative à augmenter les effets négatifs ou positifs sur la capacité de production végétale des unités paysagères, nous proposons de construire un indice global multi-usage appelé indice de risque de désertification selon la méthode exposée dans le paragraphe suivant (13.2.1).

13.2.1. Construction de l'indice de risque de désertification

Chaque USR localisée est définie par un indice de sensibilité des sols à la dégradation, une disponibilité de ressources (en bois-énergie et en fourrage), propre au type d'USR (pratiques agricoles appliquées, géomorphologie, indice de végétation), et un prélèvement (en bois-énergie et en fourrage), propre non seulement au type d'USR mais aussi à sa localisation dans l'espace. Ces attributs par USR ont été calculés en fonction de l'activité agricole et de son emprise sur l'espace.

A partir de ces données, l'Indice de Risque de Désertification (I.R.D) est considéré comme une combinaison de deux indices : l'Indice de Sensibilité des Sols à la Dégradation (ISSD : issu de l'activité agricole) et l'Indice d'intensité des Prélèvements relativement aux ressources disponibles (IP: issu de l'usage pastoral et forestier). Dans

l'état actuel de l'avancement des travaux, nous n'avons tenu compte que des prélèvements en bois-énergie et des prélèvements fourragers. A l'avenir, afin d'affiner le modèle, il faudrait pouvoir tenir compte également des prélèvements dus à l'activité agricole lors des défrichements. En effet, lors de la remise en culture d'une jachère, la couverture végétale aérienne est souvent brûlée et peut ainsi constituer un prélèvement important. Seulement, ces brûlis n'ont pas été quantifiés et localisés jusqu'à présent. Leur intégration dans le modèle n'est pas simple à priori car cette technique agricole répond à une logique spatiale déterminée. Pour être brûlées, les jachères doivent avoir une couverture végétale importante et continue pour permettre au feu de s'étendre naturellement (donc plutôt des jachères anciennes et/ou avec un fort niveau de production). De plus, plus la jachère est éloignée du village, plus il semblerait qu'elle soit brûlée de manière privilégiée, la distance rendant difficile l'acheminement du bois au village pour les besoins énergétiques des familles.

Ainsi l'ISSD indique un niveau de risque de dégradation des sols et l'IP un niveau de risque de dégradation du couvert végétal. L'Indice de Risque de Désertification est la combinaison des deux :

$$\text{I.R.D} = \text{ISSD} * \text{IP}$$

L'indice d'intensité des prélèvements relativement aux ressources est calculé de la manière suivante :

$$\text{IP} = (\text{P_USR}_{\text{Ai}} / \text{P_USR}_{\text{A}}) * (\text{D_USR} / \text{D_USR}_{\text{A}})$$

- **A** = un type d'USR ;
- **Ai** = une USR localisée ;
- **D_USR_A** = Disponibilité globale par type d'USR (disponibilité fourragère + disponibilité en bois-énergie) ;
- **P_USR_{Ai}** = Prélèvement global par USR localisée (prélèvement fourrager + prélèvement en bois-énergie) ;
- **D_USR** = Disponibilité globale moyenne sur la zone d'étude, quelque soit le type d'USR ;
- **P_USR_A** = Prélèvement global moyen par type d'USR

Cet indice est construit selon le principe d'un rapport entre prélèvement et disponibilité des ressources : plus le rapport est élevé, plus le risque est important. Ce rapport peut être le même, en l'occurrence un rapport élevé, si le prélèvement est fort et les ressources disponibles faibles ou si le prélèvement est beaucoup moins fort mais les ressources disponibles encore plus faibles.

Pour que cet indice soit comparable d'une zone à l'autre du site d'étude, il fallait que les prélèvements et les disponibilités le soient. Les prélèvements par USR localisée ont alors été rapportés aux prélèvements moyens par type d'USR ; la disponibilité par type d'USR a été rapportée à la disponibilité moyenne sur la zone d'étude. Ainsi, un prélèvement faible est d'autant plus faible qu'il s'éloigne de la moyenne, *idem* pour les disponibilités.

Les valeurs de IP varient entre 0 et 7 et les valeurs de ISSD entre 0 et 100. Suivant les combinaisons rencontrées sur toutes les unités spatiales de référence, l'indice de risque de désertification varie entre 0 et 443. Toutes les valeurs > 150 (ne représentant que 1,8% de la surface totale) ont été ramenées à la valeur 150. Ensuite, les valeurs de 0 à 150 ont été recalculées pour rentrer dans une échelle de 0 à 100.

13.2.2. Carte d'Indice de Risque de Désertification (I.R.D)

A partir des indices de risque de désertification, des regroupements ont été effectués afin de construire 5 classes d'indices, auxquelles peuvent être associées un qualificatif, indicateur du degré du risque de désertification :

[0-17]	: très faible ;
]17-34]	: faible ;
]34-56]	: moyen ;
]56-81]	: fort ;
]81-100]	: très fort.

La spatialisation de cet indice (I.R.D) fait l'objet d'une carte selon un gradient de couleurs, allant des couleurs froides (bleu) pour les indices les plus faibles aux couleurs chaudes (rouge) pour les indices les plus forts (Figure 91).

L'indice moyen sur l'ensemble de la zone (moyenne des indices par USR, pondérée par la surface de chaque USR) a une valeur égale à 33, donc une valeur relativement faible. Cette valeur donne une indication quantitative et non localisée du risque de désertification à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude. Cette valeur monte au rang d'indicateur.

Si l'on regarde la répartition spatiale des I.R.D, une première distinction doit se faire entre les zones de plateaux cuirassés et les zones sous l'emprise des cultures. En effet, la valeur moyenne de l'I.R.D sur plateaux cuirassés est nettement plus faible (13) que dans les zones hors plateaux (38). En effet, 93% des plateaux cuirassés ont un I.R.D inférieur à 17. Les plus forts I.R.D ont une valeur entre 17 et 34 et ne concernent que les brousses persillée et ponctuée. Les brousse tigrées, typique ou en rosace, sont des zones où le risque de désertification est le plus faible. Il faut restituer ce résultat dans le contexte de la zone d'étude (site de Banizoumbou) qui n'est quasiment pas concernée par l'approvisionnement en bois-énergie des grands centres urbains. Si c'était le cas, l'I.R.D sur plateaux cuirassés pourrait considérablement augmenter.

Dans les zones sous l'emprise des cultures, l'I.R.D moyen est plus élevé (38), mais reste dans la classe d'indice [34-56], indicateur d'un risque de désertification moyen. Cet indice global cache cependant une grande disparité des indices en fonction de leur distribution spatiale.

Toutes les unités spatiales de référence caractérisées par des pratiques agricoles intensives (pratiques 1 : cultures quasi-permanentes avec apport de fumier annuel) ont un très faible risque de désertification (valeur moyenne de 11) : 12 % de l'espace hors plateaux cuirassés dont 11% avec un indice entre 0 et 17. Ceci est le résultat de la combinaison d'un indice de sensibilité des sols à la dégradation nul, d'un prélèvement en bois-énergie et en fourrage faible.

En dehors de ce type de pratiques agricoles, les USR sur lesquelles sont appliquées des pratiques de type 4 (jachères très longues sans apport de fumier) sont caractérisées par un risque de désertification plus faible (valeur moyenne de 35) que les USR sur lesquelles sont appliquées des pratiques de type 3 (jachères longues sans apport de fumier : valeur moyenne de 38), et encore plus comparées aux USR sur lesquelles sont appliquées des pratiques de type 2 (jachères courtes, sans ou peu d'apport de matières organiques ; valeur moyenne de 59).

D'une manière générale, les USR sur cordons dunaires sont caractérisées par le risque de désertification le plus faible (valeur moyenne de 20), suivi des USR dans les Bas-fonds (23), sur les jupes sableuses (38), sur les ensablements sur plateaux (40) et enfin sur les glacis (68).

Ceci dit, la plus grande surface caractérisée par la classe d'indice le plus fort ([81-100] ; 5,7% de l'espace) concerne les USR sur glacis avec des pratiques agricoles de type 3 (Figure 92). Celle caractérisée par la classe d'indice fort ([56-81] ; 4,4%) concerne les USR sur glacis avec des pratiques agricoles de type 4. Celle caractérisée par la classe d'indice moyen ([34-54] ; 6,9%) concerne, comme pour la classe d'indice très fort, les USR sur glacis avec des pratiques agricoles de type 3. Celle caractérisée par la classe d'indice faible ([17-34] ; 5,8%) concerne les USR sur jupes sableuses avec des pratiques agricoles de type 3. Enfin, celle caractérisée par un indice très faible ([0-17] ; 9,4%) concerne les USR sur cordons dunaires avec des pratiques agricoles de type 3.

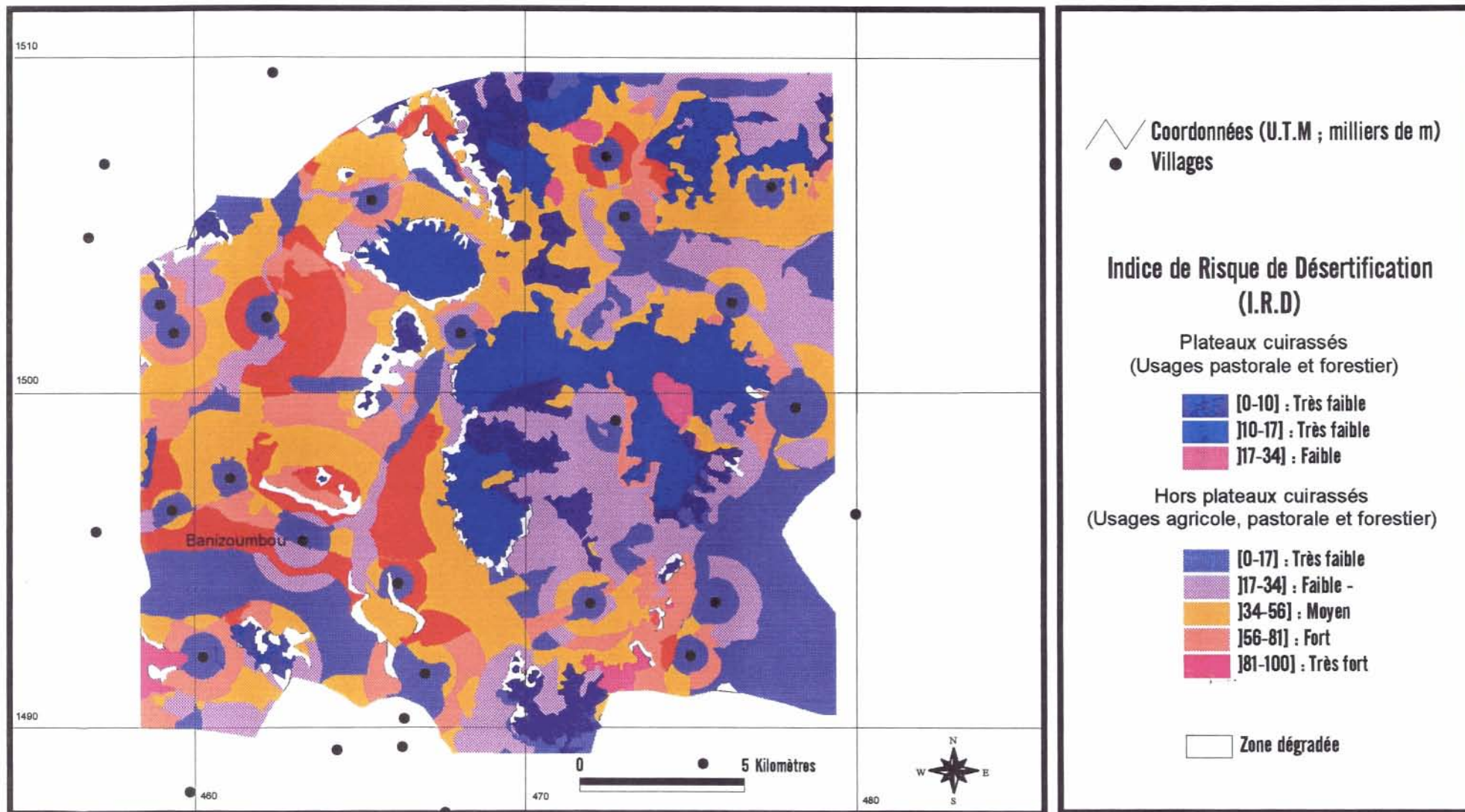
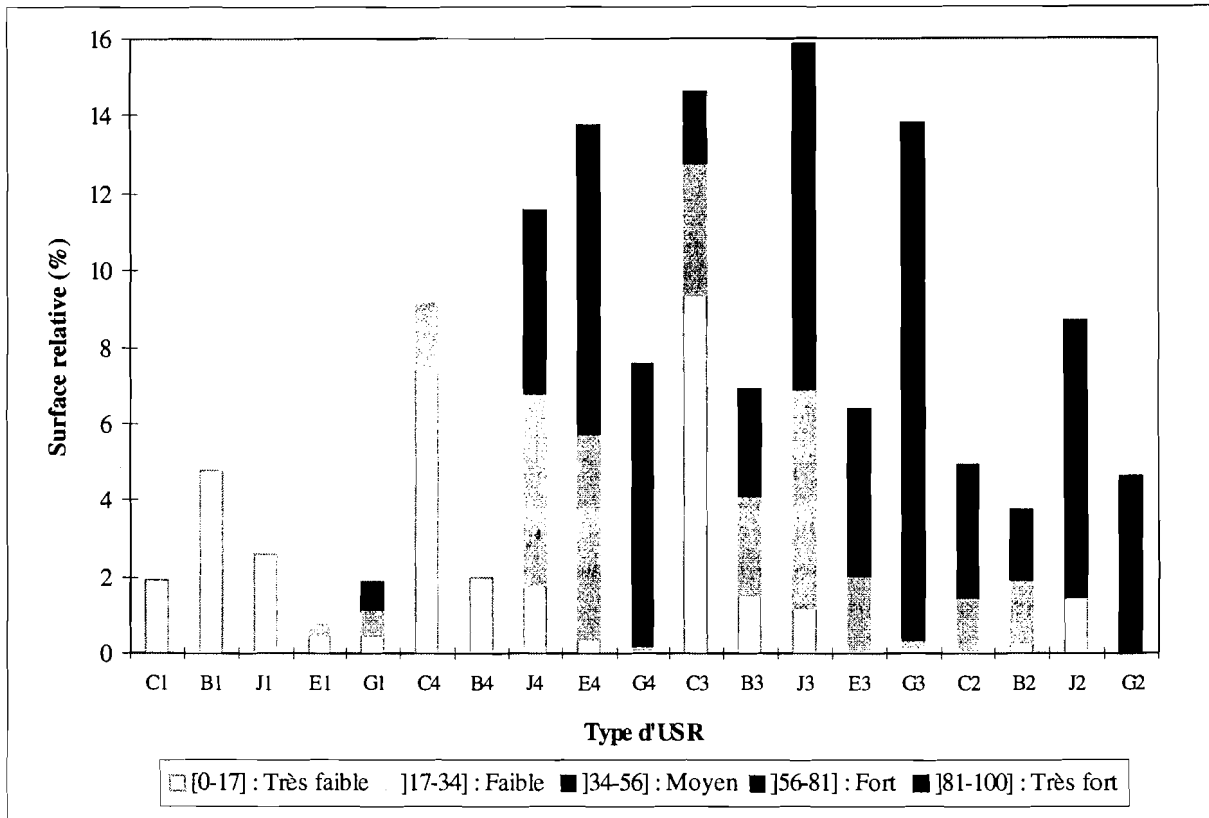


Figure 91 : Carte d'Indice de Risque de Désertification (I.R.D) sur le site de Banizoumbou, Niger



B = Bas-fond ; C = Cordons dunaires ; E = Ensablements sur plateaux ; G = Glacis ; J = Jupes sableuses ; 1 = Pratiques 1 ; 2 = Pratiques 2 ; 3 = Pratiques 3 ; 4 = Pratiques 4.

Figure 92 : Surfaces relatives des différentes classes d'Indice de Risque de Désertification (I.R.D) en fonction des types d'USR

L'indice de risque de désertification et sa spatialisation est un résultat final, élaboré de manière complexe, selon une combinaison de l'ensemble des données brutes ou élaborées de ce travail de thèse. La marge d'erreur de cet indice pourrait être diminuée en affinant, dans un premier temps, les modèles d'utilisation de l'espace et des ressources, selon les recommandations faites dans chacun des chapitres correspondant aux différents usages identifiés : chapitre 7 pour l'usage agricole, chapitre 11 pour l'usage pastoral et chapitre 12 pour l'usage bois-énergie. Il pourrait être amélioré également, dans un deuxième temps, en complexifiant l'indice lui-même : par exemple, en intégrant d'autres usages non identifiés dans un premier temps, en intégrant d'autres critères de désertification (par exemple : ressources en eau). En effet, si l'on s'en tient à la définition de la désertification de Cornet (1998), *la désertification se manifeste par une détérioration de la couverture végétale, des sols et des ressources en eau, et aboutit à l'échelle humaine de temps, à une diminution ou à une destruction du potentiel biologique des terres ou de leur capacité à supporter les populations qui y vivent.*

En tout état de cause, la carte d'I.R.D, est un produit finale d'une étude de l'impact de l'activité humaine sur son milieu dans une région déterminée, susceptible de :

- mesurer l'intensité et l'ampleur, du point de vue des surfaces, des risques de désertification ;
- donner des éléments de décision pour une localisation optimale des productions dans l'espace, sans augmenter le risque de désertification ;
- comparer différentes zones sur lesquelles la même construction d'indice de désertification pourrait être proposée.

La cartographie des risques en général a pris de l'importance durant les deux dernières décennies, sous l'effet des problèmes liés à la dégradation du milieu naturel, la pression des associations de protection de l'environnement et, à cause des mesures prises par les pouvoirs publics dans de nombreux pays. La FAO et le PNUD ont réalisé des cartes de risques de désertification à l'échelle mondiale ; les tunisiens ont élaborés des cartes de sensibilité à la désertification des régions arides et méridionales,... (Talbi, 1998).

Ainsi, l'I.R.D que nous proposons se situe bien dans un contexte mondiale, préoccupé par la cartographie des risques de désertification afin d'attirer l'attention des décideurs et des aménageurs sur l'importance et la fréquence des dangers susceptibles de menacer l'environnement. Contrairement aux autres efforts de cartographie des risques, la carte des I.R.D que nous proposons se situe à l'échelle locale, et non à l'échelle nationale ou mondiale.

Sixième partie : CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

<p>Chapitre 14 (conclusion générale) : COMPRENDRE UN PAYSAGE ET PRONOSTIQUER SON EVOLUTION POUR UN DEVELOPPEMENT « DURABLE »</p>

L'objectif de ce travail était d'explorer un domaine d'étude géographique encore peu abordé, à l'**interface** des **systèmes écologiques** et des **systèmes socio-économiques**, pour comprendre la structure et la dynamique des **paysages** (étant considérés comme la résultante observable de ces interactions) et se donner les moyens de pronostiquer leur évolution afin, *in fine*, de fournir des informations pouvant aider les acteurs de développement à prendre des décisions. Cette étude se situe dans un contexte général scientifique et politique, où il ne s'agit plus de considérer seulement l'aspect écologique ou technique de la désertification, mais de prendre en compte la complexité des modes d'utilisation des ressources et la dynamique des processus sociaux sous-jacents. On ne parle plus de combattre la désertification, mais d'améliorer la gestion des ressources naturelles et de créer les conditions d'un développement « durable ».

14.1. Un principe méthodologique fondamental pour la compréhension d'un paysage

Le paysage est considéré comme la résultante observable de deux séries de facteurs en interaction : les uns issus des systèmes sociaux, les autres issus des systèmes écologiques. Nous avons donc deux sources d'informations et une seule résultante spatiale qui est le paysage. Or, à l'heure actuelle, nous ne savons pas ou peu comment ces facteurs interagissent, quels sont leurs relations, étant donné qu'ils font traditionnellement référence, du point de vue de chacun des systèmes en interaction, à des unités spatiales différentes. Les systèmes sociaux sont classiquement associés à des espaces d'organisation "administratifs" tels que le terroir villageois, le canton, l'arrondissement... alors que les systèmes écologiques sont classiquement associés à des unités spatiales du milieu telles que la station, le bassin versant, la petite région... Ils peuvent également se référer à des échelles de temps différentes (de la minute à l'échelle historique pour les populations et de la minute à l'échelle géologique pour les ressources). Les niveaux d'intégration de l'information peuvent être aussi différents : du point de vue des systèmes écologiques, on passe de l'espèce végétale à la biosphère, en passant par exemple par l'écosystème ; du point des sociétés, les centres de décision vont de l'individu à l'ensemble des sociétés avec leurs décideurs, en passant par exemple par l'unité d'exploitation. La nature même des informations ainsi que leurs mode d'acquisition ne sont pas forcément facilement comparables. Les variables socio-économiques peuvent être qualitatives et/ou quantitatives, issues généralement d'enquêtes, alors que les variables biophysiques sont toutes quantifiées, issues de relevés de terrain.

Face à cette difficulté et dans l'objectif de connaître la part respective des deux séries de facteurs en interaction sur le paysage, nous défendons la thèse selon laquelle il est nécessaire de procéder à une démarche en deux temps. Cette nécessité et les méthodes proposées pour atteindre notre objectif constituent le principal apport méthodologique de ce travail de thèse.

Le premier temps de la démarche consiste à **désagréger le paysage en deux plans d'informations spatiales** distincts :

- l'un rendant compte du fonctionnement des sociétés à travers la spatialisation des pratiques appliquées par les hommes pour exploiter leur milieu (nous parlons d'Unités de Pratiques Homogènes) ;
- l'autre rendant compte du fonctionnement des systèmes écologiques à travers la spatialisation des différents facteurs biophysiques déterminant un niveau de production des ressources (nous parlons d'Unités Paysagères).

Le deuxième temps de la démarche consiste à **croiser ces deux plans d'informations spatiales** ; l'intersection des UPH et des UP déterminant de nouvelles Unités dites Spatiales de Référence (USR) sur lesquelles, de par leur construction, il devient possible de :

- interpréter la part respective des facteurs socio-économiques et biophysiques,
- établir des bilans spatialisés entre les ressources et les usages pour chaque usage identifié,
- rendre compte d'un bilan multi-usage.

Nous nous sommes donc focalisés sur les relations spatiales dynamiques entre la production des **ressources** (produites par les systèmes écologiques) et leurs **prélèvements** à travers leur utilisation par les groupes sociaux : une ressource ne se définissant que par rapport à un (ou plusieurs) usage(s), ou une (ou plusieurs) pratique(s) et réciproquement. L'utilisation des ressources détermine des prélèvements qui affectent les ressources et ainsi de suite. Autrement dit, le système Ressources-Usages-Prélèvements est un système de rétroactions continues qui ne cesse d'évoluer dans le temps. Face à cette difficulté, il est nécessaire de faire référence à un pas de temps pendant lequel les processus sont relativement stables. Ce pas de temps est fixé en fonction de l'échelle d'observation.

14.2. Un Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle locale

La démarche conceptuelle, exposée ci-dessus, peut paraître assez simple mais, contrairement aux UP qui peuvent être relativement facilement déterminées à partir de l'interprétation d'images satellitaires, les UPH, elles, par définition, ne sont pas directement visibles dans le paysage. Face à cette difficulté, nous sommes passés par l'élaboration de modèles d'utilisation de l'espace et des ressources par les sociétés pour spatialiser les pratiques et construire les UPH.

Les ressources, que nous avons considérées, sont les ressources naturelles renouvelables sous condition, l'objectif étant bien de savoir quelles sont les conditions de leur renouvellement. Au Sahel, trois principales ressources ont été distinguées (ressources en terres, en eau et ressources végétales), eu égard à leur pertinence par rapport aux usages principaux par les populations (usage agricole, usage pastoral, usage du bois-énergie). La **production des ressources** et leur **distribution spatiale** dépendent

avant tout des conditions physiques du milieu (climat, sol, ...). Les ressources végétales en particulier sont caractérisées par une biodiversité, une structure horizontale et verticale, une succession saisonnière ou annuelle, et une phénologie. La **quantité** de ces ressources utilisée par les sociétés dépend de tous ces facteurs, déterminants d'une disponibilité saisonnière et d'une accessibilité.

La **quantité** des ressources prélevées est fonction des besoins de la population ; la **nature** des ressources prélevées est fonction du type d'usage et des systèmes de production associés ; la **distribution spatiale** de ces prélèvements est fonction à la fois de la localisation des populations, de la localisation des ressources, des règles d'accessibilité, et des priorités établies par la population selon les systèmes de production et les pratiques associées.

A partir de l'analyse du fonctionnement interactif ressources-usages-prélèvements et des modèles d'utilisation de l'espace et des ressources, des bilans par type d'activité, puis multi-usage, sont établis sur les USR.

Toute cette démarche systémique interactive permet d'identifier des forces directrices du système (telle que la démographie ou la pluviométrie). Si l'on fait varier ces facteurs, d'autres bilans spatialisés peuvent être établis. Autrement dit, il devient possible de simuler des scénarios prospectifs qui peuvent fournir des informations pour une aide à la décision des acteurs de développement, quels qu'ils soient. Dans le document de thèse, nous avons peu exploré cet aspect prospectif privilégiant, dans un premier temps, la mise au point d'un Système d'Information sur l'Environnement, capable d'aider à comprendre un paysage actuel selon des concepts, des méthodes et des chaînes de traitements des données qui se veulent complexes dans leur conception, mais simples dans leur mise en œuvre systématique. Nous n'avons donc pas à proprement parlé simulé des scénarios prospectifs, mais nous avons construit le SIE de telle manière qu'il suffit de changer des variables identifiées du système pour générer ces scénarios.

Pour les besoins de l'étude, nous faisons appel aussi bien à des données spatialisées (biophysiques et socio-économiques), des séries chronologiques, des modèles mathématiques complexes (**modélisation**), des images aériennes ou satellitaires (**téledétection**). Pour exploiter et gérer l'ensemble de ces informations écologiques et socio-économiques relatives à un espace, le **Système d'Information sur l'Environnement** (SIE) est aussi un système informatique complexe, capable de fournir ce cadre général d'analyse des relations entre ressources et usages et, au-delà, entre milieux et sociétés. Le SIE informatique est basé sur la méthode de modélisation orientée objet (Gayte et al, 1997). Il met en relation quatre sous-systèmes logiciels : un **Système de Gestion de Bases de Données** (SGBD), un **Système d'Information Géographique** (SIG), un système **Grapheur** et enfin un **système dynamique de modélisation** (SIGEST).

Ce SIE a été élaboré en collaboration avec Olivier Gayte, dans le cadre du programme ROSELT (Réseau d'Observatoires et de Surveillance Ecologique à Long Terme) de l'OSS (Observatoires Sahara Sahel).

Les mécanismes et processus interactifs entre les différents éléments qui composent le SIE ont été abordé à l'échelle locale. A une échelle supérieure, des corrélations entre les différents éléments du système peuvent être au mieux établies. Ce

genre d'approche correspond d'avantage à un SIG qui va permettre en effet, en croisant différentes informations spatiales, de déterminer une succession d'état du système sans savoir comment il peut évoluer et d'où il vient. Le SIE a été élaboré de manière à être capable de retracer l'évolution d'un système en connaissance des règles de succession d'un état à l'autre.

14.3. Application à une zone agro-pastorale du Sahel nigérien

Cette démarche conceptuelle générale du SIE a été appliquée sur une zone d'étude spécifique, dans le Sahel agro-pastoral du Niger et plus précisément sur le site de Banizoumbou, zone d'environ 20*20 km² à l'est de Niamey au Niger (550 mm de précipitations annuelles moyennes). Sur ce site, plusieurs programmes scientifiques se sont succédés et les études qui ont été menées ont pu contribuer à alimenter nos modèles d'utilisation de l'espace et des ressources : EPSAT (Estimation des Pluies par Satellites), HAPEX-Sahel (Hydrologic Atmospheric Pilot Experiment), SALT (Savane à Long Terme, du PIGB), "Jachère en Afrique de l'Ouest".

14.3.1. Spécificités des zones sahéliennes et de la zone d'étude

Les zones arides ou semi-arides, zones de transition entre les zones désertiques et les zones humides (typiquement le Sahel), apparaissent comme des **zones d'étude privilégiées**. En effet, ces régions limitrophes sont définies généralement par la conjonction de conditions biophysiques contraignantes (variabilité spatiale et temporelle des pluies, sols sableux peu productifs, faible biodiversité,...), et d'une pression anthropique importante et croissante. Cet état de fait les rend d'autant plus fragiles et susceptibles de réagir violemment à un quelconque changement majeur des facteurs écologiques (exemple : baisse de la production végétale suite à une série d'année pluviométrique déficitaire), comme des facteurs anthropiques (exemples : augmentation de la population, diminution du cheptel,...).

Ces régions sont, de fait, remarquables par l'évidente relation entre les systèmes écologiques et socio-économiques. Face au problème majeur de désertification, les sociétés sahéliennes ont en effet, de longue date, développé des mécanismes pour se prémunir autant que possible des aléas : longue tradition de migration des populations en saison sèche, mobilité des troupeaux (importance de la transhumance), cultures extensives et dispersées pour réduire les risques économiques et climatiques. Cette réponse adaptative des sociétés dénote bien cette existence de liens forts entre les sociétés et leur milieux. Ceci dit, notamment avec la forte croissance démographique dans ces zones et la saturation de l'espace par les cultures, l'équilibre relatif de ces zones est menacé, ou tout au moins en évolution. Dans ce cadre, les réponses du milieu face à la pression anthropique (et réciproquement) sont remarquables et amplifiées, par rapport à des zones plus tempérées et moins contraignantes. Les seuils de rupture entre les systèmes socio-économiques et les systèmes écologiques sont plus aisés à déterminer, étant donné leurs effets très démonstratifs immédiats (exemple : sécheresses, famine,...).

Le site de Banizoumbou se situe dans un contexte agro-pastoral sahélien, mais aussi au Niger. En pleine crise économique et politique, en l'absence de moteur de

croissance économique, le secteur agricole au Niger reste dominant, avec une priorité qui est l'autosuffisance alimentaire. Cette zone rurale est partagée entre :

- Les plateaux cuirassés recouverts de végétation naturelle organisée en bandes plus ou moins contractées, impropres à la culture, mais une véritable réserve de bois-énergie pour les besoins des populations et une zone plus ou moins pâturée par les troupeaux suivant les saisons.
- Un vaste ensemble sableux d'origine alluviale ou éolienne, avec des vallées sèches en bas de la toposéquence. Ces zones, hors plateaux, sont actuellement morcellées par les parcelles agricoles, résultat d'une forte extension des zones sous l'emprise des cultures (champs cultivés + jachères) depuis 1950.

Cette évolution du paysage en l'espace d'un demi-siècle est due à l'installation progressive d'une population essentiellement zarma (90%) dont l'habitat est concentré sous forme de village. Leur installation n'a pas été aléatoire. Elle est liée à la recherche de terres par les populations pour satisfaire leurs besoins céréaliers : plus les villages sont récents, plus ils se sont installés sur les espaces résiduels, de moins en moins propices à l'agriculture, avec une forte proportion de plateaux cuirassés.

Aux villages est associé un terroir villageois dont la délimitation est liée à priori à l'extension des terres du villages jusqu'aux terres des villages avoisinants, sur lequel un chef de village a le pouvoir d'attribution des terres. Ces limites administratives sont liées exclusivement à l'activité agricole dans la zone qui détermine la structure fondamentale du paysage, morcellé en parcelles agricoles. Les autres activités, principalement pastorale et forestière, n'ont pas de références spatiales évidentes. Elles dépendent de l'activité agricole et des différents types d'occupation des sols qui en découlent (champs cultivés, jachères, végétation naturelle).

14.3.2. Principes de construction des USR sur la zone d'étude

Pour construire les USR sur la zone d'étude, nous nous sommes donc concentrés sur le fonctionnement agricole de la zone à partir duquel nous avons construit un modèle d'utilisation de l'espace et des ressources dont les règles permettent de spatialiser les pratiques agricoles.

Ceci dit, même s'il peut y avoir multi-fonctionnalité d'un même espace-ressource, chaque usage est associé à une(des) ressource(s) et leurs relations dans le temps et l'espace sont spécifiques. Nous avons donc étudié le système interactif ressource-usage pour chaque type d'activité humaine et élaboré des **modèles d'utilisation de l'espace et des ressources** spécifiques.

La représentation spatiale des activités et pratiques sur l'espace rural, étant donné que **l'agriculture est l'activité humaine la plus déterminante dans la structuration fondamentale du paysage**, a été effectuée exclusivement à partir du modèle agricole d'utilisation de l'espace et des ressources.

Les Unités de Pratiques Homogènes

La parcelle aurait pu à priori constituer l'unité spatiale élémentaire homogène du point de vue des ressources et de la gestion qui en est faite par l'homme. Néanmoins,

une des caractéristiques des zones sahéliennes est l'extrême **instabilité spatiale et temporelle des parcelles**, tout aussi bien au niveau de leur contenu (cultures, jachères, brousse) qu'au niveau de leur contenant (limites). Face à la difficulté même d'identification d'une parcelle agricole et à leur grande instabilité qui rendait impossible une cartographie automatique et actualisée, le changement d'échelle est apparu obligatoire afin de définir des **unités spatiales majeures** (agrégation d'unités élémentaire) dont on connaît le pourcentage surfacique moyen de chacun des types d'unités élémentaires (cultures, jachères, brousse). De plus, il s'agissait non seulement d'obtenir une relative stabilité dans le temps et l'espace, mais aussi de s'affranchir du seul centre décisionnel qui est l'exploitant agricole (déterminant les pratiques agricoles sur quelques parcelles dans l'espace), et de considérer l'ensemble des habitants d'un terroir villageois qui déterminent une **logique spatiale globale d'exploitation des ressources**. Le **terroir villageois** a été retenu comme maille d'étude élémentaire pour la dynamique des interactions ressources-usages, étant donné sa relation directe avec la création d'un centre villageois et l'extension des terres agricoles des villageois jusqu'aux bordures des terres du village avoisinant, afin de subvenir aux besoins des familles.

L'ensemble du dispositif d'échantillonnage, conduisant au recueil de données, à été conçu pour anticiper la **préparation à des changements d'échelle** (de la parcelle ou la station, à la région), tout en permettant la **compatibilité des niveaux de perception des phénomènes socio-économiques et biophysiques**. Les principes de ce dispositif d'échantillonnage se veut relativement universel pour l'étude des interactions ressources-usages sur une zone d'étude, quelle qu'elle soit.

Une série de travaux préalables, à partir de données socio-économiques et biophysiques, ont été effectués : cartographie de l'occupation des terres sur l'ensemble de la zone (transects cartographiques au sol et traitements d'images satellitaires), cartographie de l'extension des cultures (interprétation de photos aériennes), carte des infrastructures (villages, pistes, points d'eau...), inventaire de la population humaine et animale (enquêtes), historique du peuplement de la zone (enquêtes).

Ensuite, un **échantillonnage emboîté** a été privilégié. Tout d'abord, quelques centres villageois, répartis sur plusieurs terroirs villageois, ont été retenus selon deux critères : l'un de type biophysique (disponibilité en terre facilement cultivable), l'autre de type social (ancienneté d'installation des villages). Pour chaque critère, les états les plus contrastés possibles ont été privilégiés. Dans ces villages échantillonnés, une enquête socio-économique a été réalisée auprès de chaque chef d'exploitation principalement pour établir une typologie des exploitations (associées à un système de production) de la zone, deuxième base d'échantillonnage pour le recueil de données concernant aussi bien les activités agricoles que pastorales et forestières.

Au niveau du recueil de données, nous avons cherché, dès que possible, des relations entre les paramètres mesurés au sol et les images aériennes et satellitaires pour permettre une spatialisation à des zones plus vastes et une actualisation des dynamiques identifiables à partir de ces données télédéteçtées.

Les règles de spatialisation des pratiques agricoles ont été établies à partir des données recueillies selon le principe d'un double échantillonnage:

- ♦ **Echantillonnage géographique** : transects radiaux centrés sur les quelques villages sélectionnés, selon l'hypothèse forte d'une organisation des modes d'exploitations en auréoles plus ou moins concentriques autour des villages. Le long de ces transects, chaque parcelle traversée a été informée sur son historique d'occupation des sols depuis mémoire d'homme et sur l'identification de son cultivateur et/ou "propriétaire".
- ♦ **Echantillonnage basée sur la typologie des exploitations**. Les parcelles des quelques exploitations sélectionnées sur plusieurs terroirs ont été non seulement informées sur leur historique d'occupation des terres, pour faire le lien avec le premier type d'échantillonnage, mais aussi sur leur accès foncier, les stratégies et techniques agricoles employées.

Des classes de pratiques homogènes ont été définies selon une combinaison spécifique des durées moyennes des cultures et des jachères, de l'intensité d'intrant et des critères de changement d'affectation parcellaire. A l'aide d'outils de modélisation spatiale, les règles de spatialisation des pratiques, qui ont pu être établies, ont permis de « contourner », de manière automatique, des **Unités de Pratiques Homogènes (UPH)**. Le modèle (SIGEST) calcule en effet l'intérêt pour un paysan d'appliquer chacune des pratiques en fonction de l'effort à fournir selon la qualité des sols et la distance au village, pour obtenir une production de mil équivalente. Ensuite, il permet d'affecter à chaque point de l'espace la classe de pratiques pour laquelle l'intérêt est maximum. Le regroupement des points de même fonctionnement constitue une Unité de Pratiques Homogènes, la carte de ces Unités constituant le plan d'information « pratiques agricoles ».

Selon une analyse approfondie du fonctionnement agricole de la zone, les règles du modèle, *in fine*, sont simples et les données nécessaires pour simuler le territoire ont été volontairement choisies de manière à être facilement obtensibles, quelle que soit la zone d'étude. Les données nécessaires sont en effet une carte morpho-pédologique, la localisation des centres villageois et leur population. La paramétrisation du modèle est beaucoup plus complexe, car étroitement liée avec le fonctionnement des systèmes socio-économiques et biophysiques de la zone. Elle est le résultat d'une consultation et d'une construction étroite entre thématicien et informaticien. Ceci dit, elle est en quelque sorte la face cachée du modèle qui appartient aux chercheurs.

Toute modélisation nécessite une simplification des phénomènes réels. Mais, la démarche que nous défendons a consisté à partir du plus complexe (étude de la complexité des interactions dynamiques ressources-usages) pour aller vers le plus simple. Le modèle agricole n'a pas la prétention de prendre en compte tous les phénomènes reliés au domaine agricole mais, d'une part par choix sélectif des variables les plus déterminantes dans la structuration du paysage et, d'autre part par la construction de variables complexes synthétisant plusieurs phénomènes, il se veut représentatif et simple. La démarche est complètement différente de celle qui consiste à construire un modèle à partir de variables et de règles préétablies et simplifiées sans connaissance réelle de ce que ces choix et simplifications signifient. De plus, l'objectif

du modèle agricole, autrement dit la définition d'UPH à l'échelle d'une petite région, est novateur. La simplicité finale du modèle est due à notre volonté, d'une part d'étudier les possibilités d'extrapolation du modèle à d'autres zones et, d'autre part de pouvoir rapidement, en changeant des paramètres simples du modèle, proposer des scénarios d'évolution du paysage. A l'heure actuelle, il paraît tout à fait possible d'extrapoler le modèle, sans aucune modification, à l'ensemble du Zarmatarey, soit une bonne partie du sud-ouest nigérien à condition d'avoir, sur l'ensemble de la zone, une carte morpho-pédologique, la localisation des villages et leur population.

Enfin, le modèle est construit de telle manière qu'il permet à toute étude plus mono-disciplinaire, que ce soit dans le domaine social ou biophysique, de se greffer au modèle afin de l'améliorer.

Les unités Paysagères

Les UP doivent refléter l'action des facteurs écologiques sur la structure paysagère observable : les facteurs biophysiques classiques (tels le climat, la géomorphologie et les formations végétales) et l'occupation globale des sols pour l'utilisation agricole (défrichements plus ou moins anciens). Ce plan d'information est constitué à partir du croisement de cartes géomorphologiques disponibles, de cartes d'indices de végétation calculés à partir d'une série d'images satellitales à haute résolution spatiale et enfin d'une carte de l'occupation des sols issue d'une photo-interprétation des formes géométriques des parcelles. Les attributs des UP (localisation, production végétale) sont issus de travaux réalisés dans le cadre de ce travail ou empruntés aux travaux d'autres spécialistes sur la même zone d'étude. Les mesures au sol de biomasses épigées, ligneuses et herbacées, ont en effet été effectuées principalement sur les jachères par Eric Delabre (écologue en thèse à l'IRD), sur les cultures par Anneke De Row (agronome, IRD), et sur les brousses sur plateaux cuirassés par Ichaou Aboubacar (forestier en thèse à l'IRD).

Bien que les choix des différentes informations spatiales choisies pour définir les UP (choix spécifiques aux zones sahéliennes, dans le sens par exemple ou l'altitude n'est pas pris directement en compte étant donné le faible dénivelé observé : maximum 50 m) peuvent être discutés, leur définition est relativement simple du point de vue conceptuelle et, du point de vue technique, elle fait appel essentiellement à des traitements d'images satellitales et à des traitements sur SIG.

Pour être extrapolé à des zones plus vastes et/ou à d'autres zones, il est nécessaire d'avoir des images satellitales et une carte morpho-pédologique (celle-ci pouvant être construite à partir de l'interprétation d'images satellitales également) qui recouvrent l'ensemble de la zone d'étude.

Les Unités Spatiales de Référence

Le croisement de ces deux plans d'informations (Unités Paysagères et Unités de Pratiques Homogènes) détermine des **Unités Spatiales de Référence**, dont la caractéristique principale est de pouvoir être rattachée à un mode de fonctionnement écologique aussi bien qu'à un fonctionnement agraire, et au-delà, socio-économique. Ces U.S.R, objets spatiaux, ont donc, de par leur construction, des attributs et un

fonctionnement propre. Au rang des attributs, mentionnons l'aire de l'unité, les surfaces relatives des différents types d'occupation du sol (cultures, jachères, brousse) déterminés par l'activité agricole, les biomasses herbacées et ligneuses (en tant que ressources biologiques utilisables).

Les USR ainsi obtenues devraient idéalement correspondre à la perception des paysans de leur milieu physique et de leur exploitation des ressources. Il serait nécessaire, dans une phase ultérieure, de retourner sur le terrain et de confronter la carte des USR avec la perception du paysan et de mesurer dans quelle mesure il reconnaît son environnement. L'intégration de la complexité du milieu physique et l'exploitation de ce milieu par les paysans zarmas est une donnée qu'il serait très enrichissante d'approfondir et de confronter avec nos modèles. De plus, l'aptitude des populations rurales à se repérer dans l'espace sur une carte est surprenante. Par exemple, sur une photo aérienne, une fois les grands ensembles paysagers expliqués, ils intègrent rapidement cette nouvelle représentation de leur espace et parviennent à se repérer relativement facilement.

14.3.4. Les bilans spatialisés du fonctionnement interactif ressources-usages

Un premier bilan spatial de l'activité agricole (construction d'un **indice de sensibilité à la dégradation des sols : ISSD**) a été établie en fonction de la qualité des sols et de l'intensité de l'activité agricole sur ces USR. Cinq classes d'indices ont été différenciées, allant d'un indice très faible à un indice très fort. Plus de la moitié de la zone d'étude (55 %) est ainsi caractérisée par des sols peu ou moyennement sensibles à la dégradation ; l'indice le plus fort correspond aux sols sur glacis avec des pratiques agricoles à jachères courtes (4 ans) ou longues (6 ans), sans apport de matière organique.

Les modèles spatiaux d'utilisation de l'espace et des ressources pour l'activité pastorale (à partir de suivis de troupeaux et de recensements des animaux aux points d'eau) **et l'activité de récolte de bois-énergie** (à partir de pesées journalières du bois consommée par les familles et de la localisation des lieux de récolte) ont permis de rapporter, à chaque USR, une disponibilité et un prélèvement. La confrontation de ces deux variables spatialisées sur les U.S.R a permis d'établir un bilan circonstancié dans l'espace et le temps pour l'usage pastoral et l'usage forestier. Ceci dit, les modèles pastoraux et forestiers n'ont pas été abordés avec la même précision que le modèle agricole. Ils ont été abordés seulement à l'échelle de la zone d'étude et de l'année. C'est un choix que nous avons délibérément fait privilégiant une démarche aboutie pour rendre compte du multi-usage sur la zone, même si les données de terrain existent pour complexifier et affiner à l'avenir les modèles.

Les chiffres moyens des bilans, pastoral et bois-énergie, sur l'ensemble de la zone d'étude, sont respectivement 650 kg/ha/an et 1810 kg/ha/an : donc des bilans (production - prélèvements) globalement positifs. Mais, ces chiffres moyens cachent des disparités selon la distribution spatiale des bilans. En effet, certaines zones apparaissent "excédentaires" en ressources et d'autres "sur-prélevées" (= surexploitées). Ces premiers **bilans**, dit **modulaires**, localisent les zones d'équilibre entre prélèvements et ressources.

Les trois bilans modulaires ont ensuite été confrontés pour établir un **bilan global** multi-usage sur l'ensemble de la zone d'étude (construction d'un indice de risque de désertification). Ce bilan spatial multi-usage est rendu à travers la spatialisation d'un **Indice de Risque de Désertification (I.R.D)**, variant sur une échelle de 0 à 100. L'I.R.D moyen est de 33 sur l'ensemble de la zone d'étude, donc une valeur relativement faible. Cependant, la répartition spatiale de L'I.R.D met en évidence des zones à fort risque de désertification.

Ce bilan global permet ainsi, non seulement, de rendre compte de l'état d'un paysage à un instant donné, mais aussi, en remontant sa chaîne de construction, d'avoir les clés de compréhension et d'interprétation de cet état. Il permet donc de connaître la part respective de l'influence des systèmes biophysiques et socio-économiques sur le paysage et d'en analyser les effets rétroactifs (*feed-back*) sur le fonctionnement des systèmes biophysiques .

Ces bilans ont été élaborés avec des paramètres du système quantifiés en fonction de leur état actuel. La chaîne de traitements des données aboutissant à ces bilans étant automatisée, il est possible de modifier un ou plusieurs paramètres et de simuler d'autres bilans (cf. chapitre 15).

A l'avenir, il serait également recommandé de retourner sur le terrain et de mesurer la validité des bilans, par usage et multi-usage, en fonction de nos propres critères scientifiques de dégradation, mais aussi en fonction de la perception des paysans de leur milieu. Quand on délimite un secteur sur lequel le risque de désertification est fort, est-ce que cela représente une réalité observée et vécue par les paysans, est-ce que cela représente une réalité scientifique non assimilée par les paysans ou est-ce que la valeur de l'indice est trop élevé ou trop faible.

14.4. Apport du SIE pour le développement « durable »

Cette étude a été effectuée sur un milieu sahélien où la désertification en zone rurale est soit observée, soit appréhendée. De ce fait, elle est une préoccupation des scientifiques, des décideurs ou des acteurs que ce soit au niveau international, national, régional ou local. Consistant en l'élaboration d'un Système d'Information sur l'Environnement, le travail réalisé peut, de différentes manières, contribuer à cette recherche globale de lutte contre la désertification dont les effets doivent être durables.

Il constitue en effet une approche de la géographie qui se veut novatrice, reliant des études du fonctionnement des systèmes biophysiques et des systèmes socio-économiques avec des développements informatiques et des outils de pointes (télédétection, SIG, SGBD, modélisation). Ces derniers permettent d'intégrer la complexité des interactions dynamiques entre ressources et usages afin de connaître le mieux possible, à l'échelle locale, le rôle de chaque élément du système société-milieu dans un paysage.

Les produits réalisés, essentiellement rendus sous forme de cartes, peuvent être mis à disposition des acteurs de développement pour cibler leur lieu d'action et/ou guider la nature de leur action. En effet, les produits obtenus sont soit des cartes

thématiques (par exemple la carte de prélèvements de bois-énergie), soit des cartes synthétiques (par exemple la carte d'indice de sensibilité à la dégradation des sols ou la carte d'indice de risque de désertification).

Les acteurs de développement peuvent avoir un objectif déjà très précis (par exemple le Projet Energie II cherche à améliorer la gestion du prélèvement de bois-énergie sur un rayon de 100 km autour de Niamey) et trouver des informations qui leur sont nécessaires (informations thématiques) en consultant la carte de prélèvement de bois-énergie et en intégrant dans leur étude la logique du prélèvement de bois-énergie dans les jachères et non plus seulement sur les plateaux cuirassés comme ils l'ont fait jusqu'à présent.

D'autres acteurs peuvent se préoccuper du problème plus général de désertification de la zone sans savoir au préalable les raisons de cette évolution du paysage et l'ampleur du phénomène. Le bilan multi-usage que nous proposons à travers la carte d'indice de risque de désertification peut leur permettre, sous réserve de vérification à posteriori, non seulement de les aider à localiser les zones où le risque est le plus fort, mais aussi de les aider à savoir les raisons de ce risque : faible disponibilité des ressources, surexploitation du bois-énergie ou surpâturage, ou encore exploitation agricole avec une mauvaise gestion de la fertilité des sols. De plus, supposons que la raison du risque de désertification sur un secteur est à priori la sur-exploitation du bois, il leur est possible, en continuant de remonter la chaîne de traitements des données, de connaître la raison de cette sur-exploitation : zone d'influence de plusieurs villages, faible proportion de jachères relativement aux champs cultivés,....

Ainsi, le SIE dans son état actuel peut fournir des informations précieuses aux acteurs de développement, sur le site de Banizoumbou du point de vue des rendus cartographiques et sur l'ensemble du Zarmatarey du point de vue du fonctionnement interactif ressources-usages.

De manière plus dynamique, il est possible d'envisager une accélération des phénomènes observés afin de mieux mesurer leur impact sur le paysage et les risques que cela engendre du point de vue du bilan global. Ce genre de simulations peut être également un outils d'aide à la décision. Une fois que les acteurs de développements s'orientent dans le choix de leurs actions, il est possible de les simuler et d'estimer les conséquences sur l'ensemble de la zone, sur l'ensemble du système société-milieu en place. Ces scénarios prospectifs n'ont pas été encore réalisés, car d'une part nous avons privilégié dans un premier temps la mise au point du SIE, d'autre part cela mérite éventuellement, selon le type de simulations, encore quelques développements informatiques. De plus, d'un point de vue application au développement et non pas recherche fondamentale, il est nécessaire de les identifier précisément en consultation avec la population locale selon leur propres craintes ou afin de les sensibiliser et/ou en consultation avec les besoins des acteurs de développement. Ceci dit, des grandes orientations de scénarios prospectifs que l'on peut déjà identifier sont exposés dans le chapitre 15.

L'autre apport principal de cette étude et du SIE pour le développement durable est que, bien que conçu à l'échelle locale pour étudier les processus interactifs ressources-usages, le SIE est construit de telle manière qu'il est facilement extrapolable

à des régions plus vastes ayant les mêmes caractéristiques tel que le Zarmatarey. Il est conçu également, davantage dans sa conceptualisation (principe des USR issu de l'intersection des UP et des UPH) que dans les règles de fonctionnement des systèmes interactifs et la paramétrisation des facteurs, de manière à prévoir la possibilité de son adaptation à d'autres zones, différentes du point de vue biophysique et/ou socio-économique (cf. chapitre 15). L'objectif de cette démarche est de concevoir un système homogène de récolte de données, de traitements des données et de réalisation de produits dans différentes zones afin de pouvoir suivre leur évolution et les comparer. Dans cet perspective (cf. chapitre 15), le SIE est apparu suffisamment innovant et pertinent pour être considéré comme un prototype pour l'ensemble du réseau ROSELT dont l'un des objectifs consiste à déterminer les processus de désertification en zones arides en suivant et comparant plusieurs sites sélectionnés sur tout le pourtour saharien.

Ainsi, pour conclure, le SIE est à la fois une démarche géographique et un outils offrant de grandes possibilités dans le domaine de la recherche fondamentale sur la compréhension d'un paysage, en tant que résultante observable de facteurs biophysiques et socio-écologiques en interaction, et dans le domaine de la recherche appliquée vers les actions de développement, mettant à disposition des méthodes d'analyses et des produits qui fournissent des informations en amont pouvant être utilisées par les institutions chargées d'agir pour le développement.

Chapitre 15 : PROJETS DE RECHERCHE ET D'APPLICATION

Le rôle crucial que les ressources renouvelables jouent dans le fonctionnement des sociétés, notamment celles qui se trouvent dans un contexte difficile, est de mieux en mieux perçu. Parallèlement, le renouvellement de ces ressources est gravement remis en cause par l'existence de phénomènes cumulatifs, résultats d'interactions multiples entre les écosystèmes et les sociétés.

Dans ce cadre, il est prévu, à l'avenir, d'**affiner la compréhension du fonctionnement et de la structure d'un paysage** à travers l'analyse des impacts du fonctionnement interactif milieu-sociétés sur le fonctionnement et la structure des systèmes écologiques (améliorer la recherche proposée dans ce document), mais aussi de mettre en réelle application des scénarios prospectifs afin d'**anticiper l'évolution future probable d'un paysage**. S'il y a équilibre, jusqu'où peut-on faire confiance à cet équilibre ? Quels sont les seuils de ruptures ? Comment anticiper des crises passagères ou durables ?

Cet objectif constitue le premier projet de continuité des travaux de recherche (vers une complexification du système) ; un second projet parallèle consiste à simplifier le système interactif ressources-usages pour l'évaluation d'un paysage sa comparaison avec d'autres paysages (vers une simplification du système...).

15.1. Vers une « complexification » du SIE

La complexification du SIE consiste à améliorer encore notre compréhension de l'ensemble des éléments à prendre en compte, leurs relations multiples avec quels éléments du système, quels types de relations (à quelles échelles de temps et d'espace), leur place et leur poids dans le système.

Pour ce faire, il est envisagé de réaliser une modélisation spatiale plus complexe des systèmes en interaction (systèmes écologiques et systèmes socio-économiques), en intégrant des études parallèles effectuées sur la même zone d'étude qui nous permettraient de mieux quantifier les ressources dans l'espace en nous fournissant des informations sur :

- ♦ les processus écologiques (échelle de la station),
- ♦ la relation biomasse/précipitation,
- ♦ les ressources marginales du point de vue quantitatif, mais ayant leur place du point de vue du fonctionnement interactif ressources-usages (exemple : ligneux hauts dans les parcs arborés autour des villages, cultures maraîchères, plantes médicinales, nappes phréatiques),
- ♦ les flux de matières (flux horizontaux et flux verticaux) et leur importance relative.

Le rôle (clés ou non) des variables (simples ou élaborées) ou paramètres du système étudié est d'autant mieux défini que tous les éléments des systèmes en interaction et leurs relations sont bien identifiés, que les logiques passés et actuelles d'utilisation de l'espace et des ressources sont bien mises en évidence.

La modification des variables de forçage du modèle, dans l'objectif de pronostiquer des scénarios d'évolution probable du paysage, peut être de trois types :

- ♦ accélération d'une tendance mise en évidence : (exemple : augmenter arbitrairement la démographie tout en sachant que nous nous situons bien dans une courbe de croissance démographique exponentielle) ;
- ♦ introduction d'un phénomène discontinu dans le temps (exemple : diminution drastique de la production végétale durant une année ou dans le cadre d'un scénario catastrophe durant une série pluviométrique défavorable) ;
- ♦ introduction de nouvelles pratiques (exemple : intensification agricole sur des surface réduites, et augmentation consécutive de l'espace pastoral).

15.2. Vers une simplification du SIE

Le SIE en lui-même est un concept et un outils d'analyse pour la compréhension d'un paysage. Les modèles élaborés dans le SIE sont, comme nous l'avons dit dans le chapitre précédent, déjà une simplification, par définition de la « réalité ». Ceci dit, un effort supplémentaire de simplification, non pas tant des modèles mais des informations nécessaires dans le SIE pour alimenter ces modèles, est prévu. La démarche scientifique consiste toujours à partir du plus complexe pour aller vers le plus simple.

Cette simplification du SIE doit aboutir entre autre à la proposition de **méthodes allégées de recueils et de traitements des données** pour une étude du paysage, quel qu'il soit, résultante observable des systèmes écologiques et socio-économiques en interaction.

A partir de là, il est prévu de tester la **capacité de généralisation du SIE** à d'autres zones d'étude. Cette généralisation passe par l'étude préalable des caractéristiques des autres zones et le recensement des données disponibles dans ces zones. Les règles et la paramétrisation des modèles nécessiteront sans aucun doute une adaptation spécifique plus ou moins importante, selon les caractéristiques biophysiques des différentes zones étudiées et selon les activités humaines qui y sont pratiquées, mais la démarche conceptuelle (construction des UPH, des UP et des USR, élaboration de modèles d'utilisation de l'espace et des ressources), les outils utilisés et les produits escomptés devront être les mêmes.

Pour faciliter cette comparaison, un travail de recherche sur l'élaboration d'**indicateurs environnementaux** est nécessaire. Ils sont considérés comme un paramètre ou valeur calculée à partir d'un ensemble de paramètres, qui fournissent des informations sur un phénomène ou sur son état. Un indicateur est forcément associé à un niveau de perception (écotope, unité paysagère, site). Il doit être pertinent, fiable et simple. La valeur moyenne de l'indice de risque de désertification sur le site Banizoumbou est un exemple d'indicateur qu'il faudrait construire.

15.3. Méthodologie et projets d'application

Pour mener à bien les objectifs scientifiques, il faudrait pouvoir continuer l'effort de modélisation qui a déjà été fourni en collaboration avec Olivier Gayte, informaticien à ESRI France, ainsi que celui de la formalisation complexe des systèmes en interaction par la méthode de formalisation orientée objets et le montage du Système d'Information sur l'Environnement. D'autres outils de modélisation spatiale pourraient être testés, telle que la modélisation multi-agents spatialisée. Des contacts ont déjà été pris avec des spécialistes de ce type de modélisation comme M. François Bousquet du CIRAD.

Les données concernant les modules pastoral et forestier n'ont été traitées qu'aux niveaux spatial et temporel permettant une confrontation rapide (établissement du bilan multi-usage sur l'ensemble de la zone d'étude) avec les résultats du module agricole, objet primordial de la thèse. Les échelles de recueil de données permettent cependant une modélisation plus fine du fonctionnement de chacun des modules. Par exemple, les données concernant le comportement au pâturage de l'individu animal et du troupeau dans les unités paysagères n'ont pas été utilisées dans un premier temps. Leur prise en compte permettrait d'affiner considérablement la localisation et la nature des prélèvements dans chaque Unité Spatiale de Référence.

De même, la prise en compte des travaux d'autres équipes impliquant des chercheurs de l'IRD (agronomes, pédologues, hydrologues) sur le même site, permettraient d'aboutir à une meilleure évaluation de la redistribution des flux de surface pour une modélisation spatialisée de la production primaire et des flux verticaux, intervenant dans la recharge des nappes phréatiques.

Des programmes sont encore actifs sur le site de Banizoumbou, tels le programme « Gestion et amélioration de la jachère en Afrique de l'ouest », ou celui de l'ILRI (International Livestock Research Institut, ex ILCA = CIPEA) portant sur l'analyse des conditions d'amélioration des transferts de fertilité des champs cultivés à travers une meilleure gestion des troupeaux. L'ICRISAT enfin conduit des recherches sur l'amélioration des cultures en conditions sociales réelles, appuyé sur son centre de recherche expérimental de Sadoré (Niger).

Ces différents organismes et chercheurs associés ont connaissance de notre démarche et ont déjà collaboré et/ou souhaitent collaborer avec nous dans le futur : par exemple Anneke De Row (agronome, IRD) sur les systèmes de production de mil ou Pierre Hiernaux (écologue, ICRISAT) sur les transferts horizontaux de fertilité. Certains de nos résultats et réflexions ont aussi alimenté des thèses d'autres chercheurs, comme la théorie de Christian Leduc (Hydrologue, IRD) sur la remontée du niveau des nappes phréatiques avec la dégradation du couvert végétal.

Pour simplifier et généraliser le SIE, il est déjà prévu de s'inscrire dans la démarche du programme ROSELT. En effet, le site de Banizoumbou au Niger a été retenu et labellisé comme site pilote du réseau ROSELT (Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme), programme principal de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (O.S.S). Le Système d'Information sur l'Environnement réalisé lors

de la thèse a déjà été considéré comme pertinent par les opérateurs ROSELT et adopté en conséquence comme prototype pour le réseau. Il convient alors d'étudier les conditions d'une simplification sans perte de signification, afin que les indicateurs et les variables servant à les construire puissent faire l'objet d'un recueil de données compatible avec une observation long terme.

Il s'agit par la suite d'adapter le SIE aux autres sites ROSELT afin d'avoir un système de recueil et de traitements de données le plus proche possible pour les phénomènes observés d'un site à l'autre qui les rendraient comparables et pour que le suivi écologique sur chaque site soit systématique et durable dans le temps. ROSELT comporte actuellement une trentaine de sites labellisés (démarche ascendante de propositions par les pays, puis sélection après examens et expertises des critères scientifiques et d'opérationnalité, enfin programmation quadriennale), dont 12 constituent le noyau pilote de lancement, répartis dans 11 pays (Maroc, Algérie, Tunisie, Egypte, Kenya, Ethiopie, Mauritanie, Sénégal, Cap Vert, Mali et Niger).

Ainsi, le cadre ROSELT est une perspective très riche d'application des recherches proposées, notamment pour atteindre nos objectifs de "simplification du système". Sur quelques sites du réseau, représentatifs des conditions arides sahéliennes et méditerranéennes, il devient possible de :

- * Fournir un cadre pour élaborer des bilans spatialisés des grands cycles biophysiques.
- * Fournir un cadre d'analyse pour une surveillance écologique à long terme
- * Simuler des actions de développement et en prospector l'impact sur les ressources et les usages.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ACHARD F., 1997 - Pastoralisme et écosystèmes forestiers contractés du sud du Niger : ressources fourragères et impact du pâturage sur les forêts - « Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens, Eds. d'Herbes J.M, Ambouta J.M.K & Peltier R. John Libbey Eurotext, Paris » : pp15-24.

ADA L. & ROCKSTROM J., 1993 -Diagnostic sur le système agraire du « Zarmaganda central » (Niger) - Mémoire de fin d'études INAPG : 82p.

AMBOUTA J.M.K., 1994 - Etude des facteurs de formation d'une croûte d'érosion et de ses relations avec les propriétés internes d'un sol sableux fin au Sahel - Ph.D Univ. Laval, Quebec : 97 p.

AMBOUTA J.M.K, 1997 -Définition et caractérisation des structures de végétation contractée au Sahel : cas de la brousse tigrée de l'ouest nigérien - « d'Herbès J.M, Ambouta J.M.K, Peltier R ., eds. Fonctionnement et gestion des écosystèmes contractés sahéliens. John Libbey Eurotext, Paris »: pp 41-57.

ARZIKA M., 1985 - Droit et Société au Niger : L'évolution du droit coutumier - Thèse, Univ. de Strasbourg III : 393 p.

BALDY J., 1991 - Agrométéorologie forestière des régions chaudes. Applications à l'agroforesterie - CR. Acad. Sc. Paris, T 302, Série 3, 20 : pp 692-696.

BARRIERE O. & BARRIERE C., 1997 - Le foncier-environnement. Fondements juridico-institutionnels pour une gestion des ressources naturelles renouvelables au Sahel - Editions FAO, coll « Etudes législatives », n° 60.

BAUDRY J., 1986 - Approche écologique du paysage - « Lectures du paysage » collection INRAP : pp 23-32.

BAUMER M., 1987 - Le rôle possible de l'agroforesterie dans la lutte contre la désertification et la dégradation de l'environnement - ICRAF, Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale CTA, Universa Wetteren : 260 p.

BDPA & SCET AGRI, 1989 - Evaluation des productions en grain (mil et sorgho) sur une entité administrative entière - Projet SOSPAT, Phase III, Statistiques agricoles en zone sahélienne. Rapport provisoire, mars 1989 : 13 p.

BECK J., 1986 - Le paysage par et pour l'homme - «Lectures du paysage » collection INRAP : pp 53-62.

BERNUS E., 1974 - les Illabakans (Niger) : une tribu touarègue sahélienne et son aire de nomadisation - Atlas des structures agraires au sud du Sahara 10, Paris : ORSTOM-Mouton.

BERNUS E., 1977 - Les éleveurs face à la sécheresse en Afrique sahélienne : exemples nigériens - « Drought in Africa » N°2, African Environment Special Report 6, International African Institute, Londres.

BERNUS E., 1979 - Exploitation de l'espace et désertification en zone sahélienne - Travaux pour une science du paysage, Société de biogéographie, Comptes rendus, séance du 19 Décembre 69 : pp 195-205.

BERNUS E., 1981 - Touaregs nigériens. Unité culturelle et diversité régionale d'un peuple pasteur - Mémoires ORSTOM. : 503 p.

BERNUS E., 1994 - Politiques pastorales au Sahel nigérien. Bilan et perspectives - « Parcours », numéro spécial : pp 175-179.

BERTRAND G., 1970 - Ecologie de l'espace géographique : Recherches pour une science du paysage - Société de biogéographie, comptes rendus, séance du 19 décembre 69, pp 195-205.

BLAMONT D., 1990 - Paysage, analyse systémique, télédétection et système expert - Actes des ateliers : pp 33- 48.

BLANDIN P. & LAMOTTE M., 1985 - Fondements rationnels de l'aménagement d'un territoire - éd Masson : 175 p.

BLANDIN P. & LAMOTTE M., 1988 - Recherche d'une entité écologique correspondant à l'étude des paysages : la notion d'écocomplexe - « Bulletin d'écologie, T 19, f.4 » : pp 547-555.

BODICHON R., BRION P. & MARC J.L., 1997 - Etude d'un Système d'Information sur l'Environnement : le SIE de Banizoumbou - Rapport de stage du DESS : Double Compétence Informatique Appliquée aux Organisations. IARE, Agropolis ; CNIAM Montpellier : 36 p.

BONFIGLIOLI A., 1990 - Pastoralisme, agro_pastoralisme et retour : itinéraires sahéliens - « Cahier des Sciences Humaines , Vol. 26, n°1 » : pp 255-266.

BONNEFON-CRAPONNE O., 1997 - Utilisation de la télédétection pour repérer des unités spatiales de gestion - Master SILAT, maison de la télédétection, Montpellier.

BOUDET G., 1972 - Désertification de l'Afrique tropicale sèche - « Adansonia, série 2, 12 (4) » : pp 505-524.

BOUDET G., 1985 - L'exploitation des parcours et la conduite des troupeaux dans les systèmes d'élevage - « A travers champs, Agronomes et géographes ». Editions ORSTOM, coll. Colloques et séminaires : pp. 161-173.

BOUDET G., 1990 - Peut-on améliorer la gestion des parcours sahélien ? - « Sécheresse n°1, vol. 1 » : pp. 55-60.

BRUNET R., FERRAS R. & THERY H., 1992 - Les mots de la géographie : dictionnaire critique - GIP RECLUS, Collection Dynamiques du territoire, Montpellier et La documentation Française, Paris, F.

CASENAVE A. & VALENTIN C., 1989 - Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration - Eds de l'ORSTOM : 229 p.

Club du Sahel, 1996 - Etat de réflexion sur les transformations de l'agriculture dans le Sahel - Note de synthèse provisoire, septembre 96, Organisation de Coopération et Développement Economiques : 49 p.

Club du Sahel, 1997 - 20 ans d'aide au Sahel : Bilan et leçons pour l'avenir - Bulletin d'information N°16: pp 7-8.

COLIN DE VERDIERE P., BULLERDIECK P., GALL C.-F, 1996 -Evolution du pastoralisme sahélien au Niger : conséquences économiques et écologiques de la sédentarisation - « Pastum, numéro spécial » : pp 25-27.

UNCCD, 1994 - Convention des Nations Unies sur la Lutte Contre la Désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique - [http :/www.iisd.ca/linkages/desert/desc000f.html](http://www.iisd.ca/linkages/desert/desc000f.html) -

CORNET A., FLORET C. et al, 1991 - Compte rendu de l'atelier International "La jachère en Afrique de l'Ouest" - CNRS, CTA, Ministère de la Recherche et de la Technologie, OSS, Unesco, Montpellier, 3-5 décembre 1991 : 30 p.

CORNET A., 1996 - Désertification et projets de lutte : réflexions préliminaires - Notes de réflexion interne ORSTOM : 18 p.

CORNET A., 1998 - Désertification : réflexions préliminaires sur le rôle et les priorités de la recherche - « aménagement et nature , N°129 : Regards interdisciplinaires sur l'environnement : La désertification ». Juin 1998 : pp 13-18.

COUREL M.F., 1984 - Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites - Thèse de doctorat des lettres et sciences humaines. Université de Paris I : 407p.

DEFFONTAINES J.P., 1986 - Un point de vue d'agronome sur le paysage - « *Lectures du paysage* », collection INRAP : p 33-52.

DELABRE E., 1993 - Une typologie structurale des jachères à *Guiera senegalensis* du sud-ouest nigérien - Mémoire de fin d'études. ENGREF, Montpellier : 56p.

DELABRE E., 1998 - Caractérisation et évolution d'écosystèmes anthropisés sahéliens : les milieux post-culturels du sud-ouest nigérien - Thèse de doctorat en écologie, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI : 286 p.

DELBAERE E., 1994 - Identification de la structure des écosystèmes forestiers contractés sahéliens par télédétection aérienne et satellitaire. Facteurs du milieu déterminant ces structures - Mémoire d'ingénieur, ISTOM, Cergy-Pontoise/ORSTOM, Niamey.

DELWAULLE J.C. et ROEDERER, 1973 - Le bois de feu de Niamey - « Bois et forêts des », N° 152 : pp 55-60.

DESCONNETS J.C., 1994 - Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahélien (Niger - degré carré de Niamey)- Thèse Univ. Montpellier II : 326p.

DE ROSNAY J., 1975 - Le microscope - Collection essais, Le Seuil, 346 p.

DE ROW A., 1998 - Gestion de la fertilité du sol sur un terroir sahélien : fumure animale, matière organique et encroûtement superficiel du sol dans les systèmes de culture de mil, étude au Niger - « Agriculture et développement, n°18 » : pp 63-70.

D'HERBES J.M., GAYTE O. et LOIREAU M., 1997 - SIE-ROSELT. Bases conceptuelles et organisationnelles pour la création de Systèmes d'Information sur l'Environnement adaptés aux besoins du programme ROSELT de l'OSS. Développement d'un SIE-ROSELT local à partir du territoire de l'Observatoire de Banizoumbou, Niger - ORSTOM, IARE, OSS, Montpellier : 34 p.

D'HERBES J.M, AMBOUTA J.M.K & PELTIER R., 1997 - Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens - John Libbey systèmes forestiers contractés sahéliens - John Libbey Eurotext, Paris : 274p.

Dictionnaire encyclopédique de l'Ecologie, 1993 ; Ramade F., Edisiences : 820 p.

Dictionnaire de la géographie, 1993 ; George G., Paf 5^{ème} édition : 498 p.

ENCYCLOPEDIA UNIVERSALIS, 1988 - Niger - Symposium : les chiffres du monde : pp 334-335.

FAURE J.F., 1997 - Logiques de l'utilisation de l'espace pastoral dans le Sahel nigérien : modélisation et spatialisation des interactions ressources-usages dans la zone de Banizoumbou (sud-ouest du niger) - DEA Environnement (ETES), Univ. Paris VII-Denis Diderot : 126 p.

FAO, GIEW, 1997 - [http :/www.fao.org](http://www.fao.org).

FLORET C. & PONTANIER R., 1982 - L'aridité en Tunisie présaharienne - « Travaux et documents N°150 », ORSTOM Paris : 544 p.

FLORET C. & PONTANIER R., 1993 - Recherches sur la jachères en Afrique tropicale - « La jachère en Afrique tropicale », Eds Floret C., Pontanier R., Serpantié G., Dossier MAB 16, UNESCO décembre 1993 : pp 11-54.

FLORET C., PONTANIER R & SERPANTIE G., 1997 - La jachère, lieu de production - Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'ouest. Projet 7 ACP RPR 269.

FORMAN R.T.T. & GODRON M., 1986 - Landscape ecology - Wiley and Sons, New York : 649 p.

GADO B., 1978 - Les structures agraires au Niger : le régime foncier, la situation sociale - Mémoire de troisième cycle de l'IEDES, option sociologie du développement, Paris.

GADO B., 1980 - LE ZARMATAREY. Contribution à l'histoire des populations d'entre Niger et Dallol Mawri - Etudes nigériennes N°45, Inst. de recherches en Sc. Humaines, Niamey : 356 p.

GALLE S., SEGHERI J. & MOUNKAILA H., 1997 - Fonctionnement hydrologique et biologique à l'échelle locale : cas d'une brousse tigrée au Niger - « d'Herbès J.M, Ambouta J.M.K, Peltier R., eds. Fonctionnement et gestion des écosystèmes contractés sahéliens ». John Libbey Eurotext, Paris : pp 105-118.

GAVIAN S., 1993 - Land tenure and soil fertility management in Niger - Thèse de philosophie, Stanford Univ., mai 93 :153 p.

GAYTE O., 1996 - POLLEN : Conception des systèmes d'information sur l'environnement - Mémoire d'ingénieur CNAM : 95 p.

GAYTE O., d'HERBES J.M & LOIREAU M., 1997 - Apport de la conception par objet pour l'élaboration des Systèmes d'Information sur l'Environnement. Application au programme ROSELT - Conférence Européenne sur les Technologies de l'Information pour l'Environnement, Strasbourg, 1997, eds W. Geiger, A. Jaeschke, O. Rentz, E. Simon, Th. Sprengler, L. Zilliox & T. Zundel. Vol 1 : pp 296-305.

GAYTE O., LIBOUREL T., CHEYLAN J.P. & LARDON S., 1997 - Conception des systèmes d'information sur l'environnement - collection géomatique. Editions Hermès, Paris, 1997. 153 p.

GIRI J., 1996 - L'aide au Sahel de la période coloniale au XX^e siècle en passant par la sécheresse. Changements et continuité - SAH/D (96) : 456 p.

GODARD O., 1989 - L'environnement, un problème de sciences sociales - « le courrier du CNRS : Recherches sur l'environnement, N°72, mai 89 ».

GUERIN H., 1986 - Entrée à l'étude du milieu, centre d'expérimentation pédagogique de Florac - « Lectures du paysage », collection INRAP : pp 141-157.

HIERNAUX P., 1984 - Distribution des pluies et production herbacée au Sahel : une méthode empirique pour caractériser la distribution des précipitations journalières et ses effets sur la production herbacée. Premiers résultats acquis dans le Sahel Malien - CIPEA, Bamako, mineographes.

HIERNAUX P & FERNANDEZ-RIVERA S., 1996 - Grazing effects of goat-sheep mixes on the vegetation structure and productivity of old fallows in the Sahel - « N.E. West (ed), Rangelands in a sustainable biosphere. Proceedings Fifth International Rangeland Congress, vol 2, Society of Rangeland Management, Denver, USA » : pp 230-231.

HIERNAUX P., FERNANDEZ-RIVERA S., SCHLECHT E., TURNER M.D. & WILLIAMS T.O., 1997 - Livestock-mediated nutrients transfers in Sahelians agro-ecosystems - « Soil Fertility in West African Land Use System. Editors : RENARD A., NEEF K. & von OPPEN M., Niamey, Niger, 4-8 March 1997. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany » : pp 339-347.

HOFFMAN O., 1985 - Pratiques pastorales et dynamique du couvert végétal en pays lobi (Nord-Est de la Côte d'Ivoire) - Editions de l'ORSTOM, Collection « Travaux et documents n° 189 », Paris 1985 : 355 p.

ICHAOU A., 1995 - Etude comparée de la productivité des formations forestières de brousse tigrée et de brousse diffuse : conséquences pour la gestion et pour la régénération de ces formations - Mémoire de fin de cycle, IPR, Katibougou, Mali/ORSTOM, Niamey, Niger.

ICHAOU A. & D'HERBES J.M, 1997 - Productivité comparée des formations structurées et non structurées dans le Sahel nigérien : conséquences pour la gestion forestière - « Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens », Eds. D'HERBES J.M, AMBOUTA J.M.K & PELTIER R. John Libbey Eurotext, Paris : pp. 119-130.

JOUVE P., 1991 - Sécheresse au Sahel et stratégies paysannes - « Sécheresse » N°1, Vol.2., mars 91 : pp 61-69.

KARIMOU B.H., 1993 - Dynamique de la strate ligneuse le long d'un gradient successional dans les jachères du Sahel nigérien (leur importance relative dans l'espace agro-sylvo-pastoral) - Mémoire d'Ingénieur des Techniques d'Elevage, Univ. Abdou moumouni, Niame-y ; ORSTOM, Niamey ; Février 1993 : 35p.

KRIEGLER F.J, MALILA W.A., NALEPKA R.F., & RICHARDSON W., 1969 - Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition - « Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment », University of Michigan, Ann Arbor, MI : pp 97-131.

LABONNE M. et LEGAGNEUX B., 1980 - Problèmes des régions arides ; Modélisation de l'agriculture pluviale - Agence de Coopération Culturelle et technique, Paris : 101 p.

LACOSTE Y., 1986 - Réflexion d'un géographe sur les paysages réels - « Lectures du paysage », collection INRAP : pp 14-18.

LEBEL T., 1995 - Hydrologie et météorologie de méso-échelle dans HAPEX-Sahel. Dispositif de mesures au sol et premiers résultats - ORSTOM Ed., Paris 1995 : 207 p.

LEDUC C. & LENOIR F., 1995 - Etude de la recharge de la nappe du continental terminal 3 en rive gauche du Niger - in « Hydrologie et météorologie de méso-échelle dans HAPEX-Sahel. Dispositif de mesures au sol et premiers résultats - ORSTOM Ed., Paris 1995 » : pp 115-159.

LEDUC C. & LOIREAU M., 1997 - Fluctuations piézométriques et évolution du couvert végétal en zone sahélienne (sud-ouest du Niger) - « Sustainability of water Resources under Increasing Uncertainty », IAHS Publication N° 240.

LE HOUEROU H.N., 1968 - La désertification du Sahara septentrional et des steppes limitrophes - colloque d'Hammamet, Ann. Alg. de géographie, 3 (6) : pp 57-94.

LE HOUEROU H.N., 1993 - Changements climatiques et désertisation - « Secheresse N°2, vol.4. », juin 93 : pp 95-111.

LE HOUEROU H.N., 1995 - Climate change drought and desertification - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Working group II Adaptation & mitigation : 53 p.

LERICOLLAIS A., 1990 - La gestion du paysage ? : Sahélisation, surexploitation et délaisement des terroirs sereer au Sénégal - « La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest : points de vue et perspectives de recherches ». Edité par RICHARD J.F., UICN, ORSTOM, ENDA, Dakar, 1990 : pp 151-169.

LOIREAU M. & D'HERBES J.M., 1993, *Mapping of Land features over the Hapex-Sahel Central Super Site*. American Geophysical Union AGU Fall Meeting, 6-10 décembre 1993, San Francisco, EOS Trans.(74) 43.

LOIREAU M., 1993 - Dynamique d'un paysage sahélien. Bilan paysagé entre la production primaire et l'utilisation des ressources par les groupes sociaux. Caractérisation de l'espace et des ressources à l'aide de la télédétection spatiale haute résolution - Mémoire de DEA "Espaces et sociétés", Univ. Paul Valéry, Montpellier : 123 p.

LOIREAU M. & d'HERBES J.M., 1996 -Cartographie des unités d'occupation des terres du Super Site Central Est (banizoumbou) du programme Hapex-Sahel - Eds. Hoepffner M., Lebel T., Monteny B., Interactions surface continentale/atmosphères : l'expérience Hapex-Sahel. Actes des Xe Journées Hydrologiques, Montpellier, 14-14 nov 1994. Editions ORSTOM, Paris 1996 : pp 105-122.

LOIREAU M. & d'HERBES J.M, 1997 - Des unités spatiales de référence pour l'étude de la dynamique des relations ressources-usages dans la zone agro-pastorale du Sahel nigérien - « Régulations démographiques et Environnement », eds L. Auclair, P. Gubry, M. Picouët & F. Sandron. VI^e Journées démographiques de l'ORSTOM, Paris, ORSTOM, CEPED, LPE : pp 45-51.

LOIREAU M. & d'HERBES J.M & GAYTE O., 1997 - Modèle de simulation de l'extension spatiale de l'emprise des cultures au Sahel - « Journées du programme Environnement, Vie et Sociétés du CNRS : Les temps de l'Environnement (Toulouse, 5-7 novembre 1997) » : pp 159-166.

LONG G. - Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. Principes généraux et méthodes - Masson et Cie Editeurs, Vol. 1 : 252 p.

MAINGUET M., 1994 - Desertification, Natural Background and Human Mismanagement - 2nd Edition, Springer-Verlag, : 314 p.

MAINGUET M., 1995 - L'homme et la sécheresse - Col. Géographie MASSON, Ed. Paris : 335 p.

MANOURY G., 1990 - Etude foncière de la cuvette de Gatawani-Dole - Ministère du Plan, Groupe de réflexion sur le développement de l'irrigation privée au Niger, Rapport de synthèse.

MARTY A., 1996 - Les observatoires ROSELT : Pour une meilleure articulation avec les sciences sociales et le développement durable à l'échelle locale - Rapport de consultance ROSELT, IRAM.

Mémento de l'agronome, 1991. Quatrième édition. Ministère de la coopération et du développement. Collection « Techniques rurales en Afrique » : 1635 p.

MENAUT J.C., SAINT G. & VALENTIN C., 1993 - SALT. Les Savannes à Long Terme (Programme Géosphère-Biosphère). Analyse de la dynamique des savanes d'Afrique de l'ouest : mécanismes sous-jacents et spatialisation des processus - « La jachère en Afrique de l'ouest ». Floret C. & Serpantié G. (Eds). Col. Colloques et Séminaires ORSTOM. Paris.

MILLEVILLE P., 1989 - Activités agro-pastorales et aléa climatique en région sahélienne- dans "Le risque en agriculture", Editions de l'ORSTOM, collection à travers champs, Paris : pp 233-241.

Ministère de la Coopération, République française, 1986 - Statistiques agricoles par télédétection, Aout 1986, Paris.

MONTAGNE P., HOUSSEINI M. & SANDA L.O., 1997 - Les marchés ruraux de bois-énergie au Niger : le mode de développement - « Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens », Eds. D'HERBES J.M, AMBOUTA J.M.K & PELTIER R. John Libbey Eurotext, Paris : pp 169-184.

MOUGENOT B. & HAMANI S., 1997 - Les possibilités de classification des formations contractées à partir de la télédétection aériennes et satellitaire. Exemple dans l'ouest nigérien - « Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens », Eds. D'Herbes J.M, Ambouta J.M.K & Peltier R. John Libbey Eurotext, Paris : pp 59-68.

NAGUMO F., 1992 - Pedological Environment and Agro-ecological system of Sudano-Sahelian zone, in Niger, West Africa - Thesis for Master Course, Hokkaido University/ORSTOM, JICA : 86 p.

NAUDET D., 1997 - Adapter les solutions aux problèmes et non le contraire - « Club du Sahel, Bulletin d'information N°16 », pp 8-10.

PIERI C., 1989 - Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara - Ministère de la Coopération/CIRAD-IRAT, Paris : 428p.

PRELAZ-DROUX R., 1995 - Système d'information et gestion du territoire : Approche systémique et procédure de réalisation - collection META, Presses polytechniques et universitaires romandes : 156 p.

Projet Energie II, 1991 - Energie Domestique, Volet Offre, 1991. Schéma directeur d'approvisionnement en bois-énergie de Niamey - Groupement SEED-CTFT, Assistance technique : 128 p.

ROCHETTE M., 1997 - Du productivisme au développement durable - in "Club du Sahel", Bulletin d'information N°16 : 18 p.

ROGNON P., 1989 - La désertification du Sahel - « Le courrier du CNRS : Recherches sur l'environnement, N°72 » : 22 p.

ROSELT, 1995 - Conception, organisation et mise en oeuvre de ROSELT - Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme, OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel). Editeur IARE (Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement), opérateur ROSELT : 69 p.

ROUSE J., HAAS R.H, SCHELL J.A & DEERING D.W - Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS - « Third ERTS Symposium, NASA SP-351 », Vol. 1 : pp 309-317.

ROUX F., 1987 - Les lignes de grains de COPT 81 : environnement, précipitations, cinématique et thermodynamique - Thèse d'Etat, Univ. Paris VII, 1987 : 368 p.

SEDES, 1987 - Etude du secteur agricole du Niger : Bilan-Diagnostic-Phase 1 - Société d'Etudes pour le Développement Economique et Social (SEDES), Paris.

SEGHIERI J., 1996 - Rythmes saisonniers d'une savane soudano-sahélienne en relation avec l'hydrodynamique du sol - Ecologie, t.27(2) : pp 67-78.

SERE de RIVIERES E., 1965 - Histoire du Niger - Mondes d'Outre-Mer, Ed. Berger-Levrault, Paris : 297 p.

SEYBOU H., 1993 - Enquête sur les Systèmes de Culture : Cas du terroir de Banizoumbou - Mémoire de fin d'Etude. Faculté d'Agronomie, Université de Niamey, Niger : 51 p.

SIDIKOU H.A., 1974 - Sédentarité et mobilité entre Niger et Zgaret - Etudes Nigériennes n°34.

SIDIKOU H.A, 1997 - Droits d'usage traditionnel locaux et demande externe des populations urbaines au Niger - « Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens, Eds. D'Herbes J.M, Amboutaz J.M.K & Peltier R ». John Libbey Eurotext, Paris : pp 3-14.

SCHMIDTZ J., 1990 - Les Peuls : Islam, pastoralisme et fluctuations du peuplement - « Cahiers des Sciences Humaines n°26, vol. 4 », pp 499-504.

TALBI M., 1998 - Les cartes de risques de désertification - « aménagement et nature n° 129, « aménagement et nature », N°129 : Regards interdisciplinaires sur l'environnement, La désertification ». Juin 1998 : pp 53-64.

TAUPIN J.D, AMANI A. & LEBEL T., 1993 - Small scale spatial variability of annual rainfall in the Sahel - « Bolle H.-J., Feddes R ?A., & Kalma J. (Editors), Exchange Processus at the Land Surface for a Range Space and Time Scale (Proceeding of the Yokohama Symposium, July 1993) », IAHSS Publ. 212 : pp 593-602.

TAYLOR-POWELL E., 1991 - Régime foncier et savoir-faire paysan en matière d'aménagement des sols et des cultures - Aménagement Intégré des bassins versants agricoles (IMAW), Tropsoils Bulletin 91-04 : 32 p.

THEBAUB B., 1988 - Elevage et développement au Niger : quel avenir pour les éleveurs au Sahel ? - Bureau International du Travail, Genève : 135p.

TOUPET C., 1975 - Le nomade conservateur de la nature ? L'exemple de la Mauritanie centrale - « Pastoralism in Tropical Africa », ed Theodore Monod, Intern. African Institute, Oxford Univ. Press : pp 455-467.

TUCKER C.J., 1979 - Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation - « Remote Sensing Environment : N°8 » : pp 127-150.

VALENTIN C., 1994 - Sécheresse et érosion au Sahel - « Sécheresse" N°3, Vol.5. » : pp 191-198.

VAN den BRIEL J., SHUTHOF P. & TOPPER E., 1994 - L'aménagement des terroirs villageois : une contribution à la gestion durable des ressources naturelles. Une étude de cas du projet Reboisement Rive Droite Téra, Niger - Tropical Resource Management Papers, ISSN 0926-9495 : 93 p.

VILLANDRE J.J., 1950 - Les chefferies traditionnelles en Afrique Occidentale française - Thèse de Droit, Univ. de Paris.

VOINCHET A., 1991 - Conseil aux unités de production : travaux menés en 1990 et 1991, propositions de poursuite - AFVP, IRAM, Damana, Niger.

YAMBA B., 1993 - Ressources ligneuses et problèmes d'aménagement forestier dans la zone agricole du Niger - Thèse Univ. Bordeaux III : 391p.

YOUNG M.D., 1992 - Sustainable Investment and Ressource Use. Equity, Environmental Integrity and Economic Efficiency - MAB, Vol.9., Unesco, Paris : 176 p.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Démarche générale pour l'analyse des relations entre systèmes biophysiques et socio-économiques	25
Figure 2 : Carte des isohyètes de l'Afrique de l'ouest (EPSAT, 1990)	34
Figure 3 : Evolution des populations humaines et animales dans les pays sahéliens (d'après Le Houérou, 1993)	40
Figure 4 : Croissance des superficies cultivées au Sahel et évolution de l'utilisation des terres de 1950 à 1990 ; projections pour l'an 2000 (d'après Le Houérou, 1993)	42
Figure 5 : Evolution des populations humaines et animales et des superficies céréalières pluviales dans les pays sahéliens de 1950 à 1990 ; projections pour l'an 2000 (d'après Le Houérou, 1993)	43
Figure 6 : Localisation du site de Banizoumbou (SSCE) et du degré carré de Niamey	50
Figure 7 : Carte des communautés territoriales historiques et des cantons actuelles (d'après Gado, 1980)	51
Figure 8 : Carte des migrations zarmas (d'après Gado, 1980)	53
Figure 9 : Evolution des taux de croissance démographique depuis 1950 au Niger (d'après la Direction de la Statistique nigérienne)	56
Figure 10 : Ancienneté des villages et localisation par rapport aux plateaux cuirassés sur le site de Banizoumbou, Niger (d'après enquêtes sur le terrain auprès des chefs de village)	59
Figure 11 : Origine des peuplements sur le site de Banizoumbou, Niger (d'après enquêtes sur le terrain auprès des chefs de village)	60
Figure 12 : Extension de la zone sous l'emprise des cultures (jachères + cultures) de 1950 à 1992 (Site de Banizoumbou, Niger)	62
Figure 13 : Types d'accès foncier sur la zone d'étude (d'après enquêtes)	67
Figure 14 : Les terroirs villageois et leur population (site de Banizoumbou, Niger)	72
Figure 15 : Répartition des ethnies sur les huit villages échantillonnés	75
Figure 16 : Répartition ethnique sur les huit villages échantillonnés	75
Figure 17 : Répartition des systèmes de production sur les terroirs échantillonnés	78
Figure 18 : Pluviosité à Niamey depuis 1950 (d'après Leduc & Loireau, 1997)	81
Figure 19 : Architecture complexe du système interactif ressources-usages et les produits attendus	88
Figure 20 : Des parcelles foncières et des parcelles agricoles	92
Figure 21 : Variation interannuelle de l'occupation (« contenu ») d'une parcelle agricole	93
Figure 22 : Formalisme du diagramme objet (d'après Gayte et al, 1997)	99
Figure 23 : Diagramme objet général du SIE de Banizoumbou (d'après Gayte et al, 1997)	100
Figure 24 : Hiérarchie des actigrammes SADT (d'après Jaulent, 1989 in Gayte et al, 1997)	101
Figure 25 : Formalisme des actigrammes SADT	102
Figure 26 : Modèle du système informatique de Banizoumbou	103
Figure 27 : Architecture physique du SIE de Banizoumbou	104
Figure 28 : Les composantes informatiques d'un Système d'Information à Référence Spatiale (d'après Prélaz-Droux, 1995)	104
Figure 29 : Evolution des besoins et de la production en mil au Niger depuis 1950 (d'après Ministère de l'Agriculture du Niger)	108
Figure 30 : Croissance démographique depuis 1950 (Niger, canton de Dantiandou, site de Banizoumbou)	108
Figure 31 : Répartition spatiale des parcelles informées sur transects et par type d'exploitation (Banizoumbou, Niger)	116
Figure 32 : Itinéraire technique agricole des Zarma	123
Figure 33 : Variation saisonnière d'une même parcelle (d'après Loireau, 1996)	127
Figure 34 : La notion de surface cultivée (d'après BDPA et SCET AGRI, 1989)	128
Figure 35 : Evolution de l'âge moyen des jachères entre 1950 et 1995	133
Figure 36 : Evolution de 1950 à nos jours de la proportion des jachères anciennes (> 10 ans), des jachères longues ([5-10 ans]) et des jachères courtes ([0-5 ans])	133
Figure 37 : Evolution des classes d'âge des jachères depuis 1950 à nos jours	134
Figure 38 : Carte des qualités des sols (site de Banizoumbou, Niger)	153
Figure 39 : Relation entre la distance au village et le degré d'artificialisation	155
Figure 40 : Relation entre la qualité des sols et les pratiques agricoles appliquées	157
Figure 41 : Relation entre le degré d'artificialisation et la Production Moyenne Annuelle par Cycle cultural (PMAC, en kg/ha/an)	159
Figure 42 : Relation entre le rendement annuel (kg/ha/an) et la qualité des sols	160
Figure 43 : Diagramme objet du modèle de simulation d'utilisation agricole de l'espace sur un terroir villageois	162

Figure 44 : Carte des terroirs modélisés superposés aux terroirs réels (site de Banizoumbou, Niger)	165
Figure 45 : Mode de calcul de la correspondance entre les terroirs réels et les terroirs modélisés.....	166
Figure 46 : Structure du fichier texte utilisé par SIGEST (exemple du terroir de Banizoumbou).....	168
Figure 47 : Relation linéaire entre population et le rapport « population/distance moyenne des pratiques à fort degré d'artificialisation », pour les villages échantillonnés.....	171
Figure 48 : Courbe d'abaque pour le calcul de ks de chacun des villages de la zone d'étude.....	172
Figure 49 : Carte des Unités de Pratiques Homogènes en 8 classes (site de Banizoumbou, Niger).....	182
Figure 50 : Carte des Unités de Pratiques Homogènes en 5 classes (site de Banizoumbou, Niger).....	183
Figure 51 : Simulation de l'extension des UPH pour des années favorables (à gauche) et pour des années défavorables (à droite) à la culture du mil	186
Figure 52 : Degré de correspondance (%) entre les UPH modélisés (7 classes) et les parcelles informées.....	189
Figure 53 : Degré de correspondance (%) entre les UPH modélisés (4 classes) et les parcelles informées.....	189
Figure 54 : Carte géomorphologique (site de Banizoumbou, Niger).....	193
Figure 55 : Carte d'emprise des cultures (site de Banizoumbou, Niger).....	194
Figure 56 : Carte d'indice de végétation (NDVI), sur le site de Banizoumbou, Niger.....	196
Figure 57 : Carte des Unités Paysagères sur plateaux cuirassés (site de Banizoumbou, Niger).....	198
Figure 58 : Carte des Unités Paysagères (UP) sur le site de Banizoumbou, Niger.....	200
Figure 59 : Surfaces relatives (%) des zones sous l'emprise des cultures par type géomorphologique.....	201
Figure 60 : Surfaces relatives (%) des classes d'indice de végétation par type géomorphologique	202
Figure 61 : Biomasses épigées (kg M.S/ha), herbacée et ligneuse, des jachères en fonction de leur âge (d'après Delabre, 1998).....	203
Figure 62 : Biomasses épigées moyennes (kg M.S/ha), herbacée et ligneuse, des jachères en fonction de la géomorphologie (d'après Delabre, 1998).....	204
Figure 63 : Biomasse épigée (kg/ha semé) dans les champs cultivés selon les pratiques agricoles.....	206
Figure 64 : Biomasse épigée (kg/ha semé) dans les champs cultivés selon le type géomorphologique.....	206
Figure 65 : Carte des Unités Spatiales de Référence (USR), site de Banizoumbou, Niger	211
Figure 66 : Surfaces relatives des différentes USR hors plateaux cuirassés et zones dégradées, sans distinction des classes d'indice de végétation.....	212
Figure 67 : Surfaces relatives des différentes USR, hors plateaux cuirassés et zones dégradées	213
Figure 68 : Carte d'Indice de Sensibilité des Sols à la Dégradation (ISSD), site de Banizoumbou, Niger.....	219
Figure 69 : Surfaces relatives (%) des types d'USR, hors plateaux cuirassés et zones dégradées, selon leur classe de sensibilité des sols à la dégradation (site de Banizoumbou, Niger).....	221
Figure 70 : Carte des prélèvements fourragers pour la saison sèche chaude (site de Banizoumbou, Niger).....	235
Figure 71 : Courbe des prélèvements saisonniers cumulés en fonction du nombre de points d'eau exploités (d'après Faure, 1997)	236
Figure 72 : Evolution du nombre d'animaux au cours du cycle saisonnier sur la zone d'étude (en nombre de têtes à droite, en équivalent UBT à gauche)	236
Figure 73 : Evolution du périmètre d'exploitation au cours du cycle annuel	239
Figure 74 : Carte de prélèvements fourragers annuels (site de Banizoumbou, Niger).....	242
Figure 75 : Intensité du pâturage sur les Unités Spatiales de Référence (kg MS prélevées/ha/an).....	243
Figure 76 : Disponibilité fourragère en fonction de la géomorphologie et des pratiques agricoles combinées.....	245
Figure 77 : Composition moyenne de la disponibilité fourragère des USR en fonction des pratiques agricoles combinées.....	246
Figure 78 : Productions fourragères dans les cultures et les jachères (kg MS/ha) en fonction des pratiques agricoles combinées.....	247
Figure 79 : Bilan pastoral spatialisé sur le site de Banizoumbou (Niger).....	249
Figure 80 : Surfaces relatives des différentes classes de bilan pastoral (kg MS./ha).....	250
Figure 81 : Carte des prélèvements annuels de bois-énergie (kg/ha) sur le site de Banizoumbou, Niger..	260
Figure 82 : Intensité des prélèvements de bois-énergie sur les Unités Spatiales de Référence (kg/ha) : site de Banizoumbou, Niger.....	261
Figure 83 : Disponibilité en bois-énergie en fonction de la géomorphologie et des pratiques agricoles combinées.....	264
Figure 84 : Disponibilité fourragère et disponibilité en bois-énergie selon la géomorphologie	264
Figure 85 : Disponibilité fourragère et disponibilité en bois-énergie (kg/ha/an) selon la géomorphologie et les pratiques agricoles, attributs principaux des Unités Spatiales de Référence	265
Figure 86 : Bilan bois-énergie spatialisé sur le site de Banizoumbou, Niger	267

Figure 87 : Surfaces relatives des différentes classes de bilan bois-énergie	268
Figure 88 : Localisation et surface des classes de bilan en bois-énergie en comparaison aux classes de bilan fourrager, hors zones dégradées	271
Figure 89 : Localisation et surface des classes de bilan en bois-énergie en comparaison aux classes de sensibilité des sols à la dégradation (hors plateaux cuirassés et zones dégradées)	272
Figure 90 : Localisation et surface des classes de bilan fourrager en comparaison aux classes de sensibilité des sols à la dégradation (hors plateaux cuirassés et zones dégradées)	274
Figure 91 : Carte d'Indice de Risque de Désertification (I.R.D) sur le site de Banizoumbou, Niger	278
Figure 92 : Surfaces relatives des différentes classes d'Indice de Risque de Désertification (I.R.D) en fonction des types d'USR	279

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Typologie des exploitations agricoles et/ou pastorales (site de Banizoumbou).....	76
Tableau 2 : Surfaces sous l'emprise des cultures par habitant actif et par exploitation, et surface des parcelles selon la typologie d'exploitations.....	77
Tableau 3 : Tableau récapitulatif des types d'exploitations et des systèmes de production de la zone d'étude.....	79
Tableau 4 : Echantillonnage prévu des exploitations	115
Tableau 5 : Echantillonnage effectué des exploitations.....	115
Tableau 6 : Proportion des modes d'accès foncier par type d'exploitation	118
Tableau 7 : Taille des parcelles agricoles et des exploitations agricoles sur le site de Banizoumbou	119
Tableau 8 : Répartition des 5 classes de taille des parcelles agricoles selon le type d'exploitation ...	119
Tableau 9 : Main d'oeuvre agricole et superficie cultivée par exploitation dans la zone d'étude	120
Tableau 10 : Pourcentage global des migrants (saisonnier et de longue durée) par rapport à la population active sur les quatre terroirs échantillonnés.....	121
Tableau 11 : Types d'activité et destinations des migrants pour les les habitants du village de Banizoumbou.....	122
Tableau 12 : Pourcentage estimé des surfaces recevant un apport de fumure par type d'exploitation	130
Tableau 13 : Répartition surfacique des plateaux, cultures et jachères.....	132
Tableau 14 : Pourcentage calculé de la surface en jachère par type d'exploitation.....	135
Tableau 15 : Répartition des surfaces en jachère selon la taille des parcelles par type d'exploitation	136
Tableau 16 : Critères de changement d'affectation parcellaire liés aux caractéristiques biophysiques de la parcelle	138
Tableau 17 : Critères de changement d'affectation parcellaire liés aux facteurs de production	138
Tableau 18 : Critères de changement d'affectation parcellaire liés à l'itinéraire technique et ses techniques associés.....	139
Tableau 19 : Critères de changement d'affectation parcellaire liés aux pratiques culturelles.....	139
Tableau 20 : Critères de changement d'affectation parcellaire liés au climat.....	140
Tableau 21 : Typologie des pratiques culturelles combinées et définition d'un degré d'artificialisation combiné	147
Tableau 22 : Construction de la légende de la carte des qualités des sols	152
Tableau 23 : Surfaces des différentes qualités de sols.....	154
Tableau 24 : Fréquence des différentes pratiques appliquées sur les parcelles selon 5 intervalles de distance.....	156
Tableau 25 : Correspondance entre terroirs modélisés et terroirs réels (%)	166
Tableau 26 : Relations entre la distance moyenne des pratiques à fort degré d'artificialisation (E et F), la population et le rapport « population/distance moyenne », pour les 8 villages échantillonnés...	171
Tableau 27 : Construction du coefficient ks	172
Tableau 28 : Liste des coefficients k appliqués dans le modèle pour chaque terroir villageois.....	173
Tableau 29 : Calcul de l'effort total (E) pour chaque classe de pratiques combinées	174
Tableau 30 : Valeurs de E pour le modèle.....	175
Tableau 31 : Calcul de la PMAC par hectare semé et par an pour chaque classe de pratiques culturelles combinées.....	176
Tableau 32 : Valeurs de production moyenne annuelle/ha semé (en fonction des classes de pratiques et des qualités de sols) retenues pour le modèle (kg/ha/an).....	176
Tableau 33 : Surfaces occupées par les Unités de Pratiques Homogènes (UPH).....	184
Tableau 34 : Pourcentage en cultures, jachères et végétation naturelle par UPH.....	184
Tableau 35 : Surfaces relatives en cultures, jachères d'âge différent, végétation naturelle dans les UPH185	
Tableau 36 : Niveaux de satisfaction des besoins en mil des villageois sur leur territoire (terroirs modélisés).....	187
Tableau 37 : Composition (% surfacique) des unités avec des indices de végétation différenciés selon 5 classes d'indice.....	197
Tableau 38 : Les composantes de la biomasse (kg/ha de plateaux) suivant les différents types de brousses (d'après Ichaou, 1998).....	207
Tableau 39 : Biomasses herbacées et ligneuses (kg MS/ha) pour chaque USR.....	214
Tableau 40 : Importance relative (%) des classes de jachères de la typologie de Delabre (1998), associées à un indice de sensibilité physique des sols à la dégradation, sur les différents types géomorphologiques	216

Tableau 41 : Indice de sensibilité physique des sols à la dégradation par type géomorphologique ...	216
Tableau 42 : Indice de sensibilité des sols à la dégradation par classe de pratiques agricoles	217
Tableau 43 : Indice global de sensibilité des sols à la dégradation (ISSD) par USR (géomorphologie, pratiques agricoles combinées).....	217
Tableau 44 : Surfaces relatives (%) des différentes classes d'indice de sensibilité des sols (ISSD), hors plateaux cuirassés et zones dégradées	218

LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS

BDPA	Bureau pour le Développement de la Production Agricole
BTP	Bâtiments et Travaux Publics
CCD	Convention des Nations Unies pour la lutte Contre la Désertification
CEMAGREF	Centre d'Etudes de Machinisme Agricole du Génie Rurale et des Eaux et Forêts
CESBIO	Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère
CILSS	Comité permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CIPEA	Centre International pour l'Élevage en Afrique
CNUED	Conférence des Nations Unies pour l'Environnement et le Développement
COT	Carte d'Occupation des Terres
CTFT	Centre Technique Forestier Tropical
DC/PAC	Desertification Control/ Programme Activity Centre
DEA	Diplôme d'Etudes Approfondies
EPSAT	Estimation des Pluies par SATellite
FAO	Food and Agriculture Organisation to the United Nations
FCFA	Francs des Colonies Françaises d'Afrique
GIEWS	Global Information and Early Warning System
GPS	Global Positioning System
HAPEX	Hydrologic Atmospheric Pilot EXperiment
I.R.D	Indice de Risque de Désertification
IARE	Institut d'Aménagements Régionaux de l'Environnement
ICRISAT	International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
ILCA	International Livestock Centre for Africa
ILRI	International Livestock Research Institut
INRAN	Institut National de Recherche Agronomique Nigérienne
IP	Indice de Prélèvements
IPR	Institut de développement Rural de Katibougou au Mali
IRD	Institut de Recherche pour le Développement (anciennement ORSTOM)
ISSD	Indice de Sensibilité des Sols à la Dégradation
ISTOM	Institut Supérieur des Techniques d'Outre Mer
MCGA	Modèle de Circulation Générale Atmosphérique
MTD	Maison de la TéléDétection
M.S	Matières Sèches
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
ONG	Organisation Non Gouvernementale
ORSTOM	Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
PIB	Produit Interieur Brut
PIGB	Programme International Géosphère Biosphère
PMAC	Production Moyenne Annuelle par Cycle cultural
PMRC	Programme Mondial de Recherche sur le Climat
PNB	Produit National Brut
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement

POI	Période d'Observation Intensive
ROSELT	Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme
SADT	
SAF	Schéma d'Aménagement Foncier
SALT	Savane à Long Terme
SCET AGRI	Aménagements Inventaire et Gestion des ressources
SDAN	Schéma Directeur d'Approvisionnement en bois des villes du Niger
SED	Stratégie pour l'Energie Domestique
SEDES	Société d'Etudes pour le Développement Economique et Social
SEED	
SGBDR	Système de Gestion de Base de Données Relationnelles
SIE	Système d'Information sur l'Environnement
SIG	Système d'Information Géographique
SIGEST	Logiciel de SIMulation de la GESTion agricole.
SIRS	Système d'Information à Référence Spatiale
SONICHAR	Société Nigérienne des CHARbons
SPOT	Satellite pour l'Observation de la Terre
SSCE	Super Site Central Est
UBT	Unité Bovine Tropicale
UCE	Unité Communautaire d'exploitation
UNCOD	Conférence des Nations Unies sur la Désertification
UP	Unité Paysagère
UPH	Unité de Pratiques Homogènes
USR	Unité Spatiale de Référence
UTH	Unité Travail Homme
ZITC	Zone InterTropicale de Convergence

Annexe 1 : LISTE DES ESPECES HERBACEES ET LIGNEUSES
(nomenclature J. BERHAUT, Flore du Sénégal, Editions CLAIRAFRIQUE, Dakar)

Espèces	Nomenclature	Famille
<i>Acacia nilotica</i>	(L.) Willd. Es Del. Var. <i>adansonii</i>	Mimosaceae
<i>Adansonia digitata</i> (Baobab)	L.	Bombacaceae
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	(Schum. Et Thonn.) J. Léon.	Fabaceae
<i>Balanites aegyptiaca</i>	(L.) Del.	Zygophyllaceae
<i>Borreria stachydea</i>	(DC.) Hutch. Et Dalz.	Rubiaceae
<i>Boscia angustifolia</i>	A. Rich.	Capparidaceae
<i>Cassia mimosoides</i>	L.	Caesalpiniaceae
<i>Cenchrus biflorus</i>	Roxb.	Poaceae
<i>Combretum micranthum</i>	G. Don.	Combretaceae
<i>Commelina forskalaei</i>	Vahl.	Commelinaceae
<i>Crotalaria hermonthica</i>		Fabaceae
<i>Cyanotis lanata</i>		Commelinaceae
<i>Digitaria horizontalis</i>	Willd.	Poaceae
<i>Eragrostis tremula</i>	Hochst. Ex Steud.	Poaceae
<i>Faidherbia albida</i> (Gao)		
<i>Guiera senegalensis</i>	J.F. Gmel.	Combretaceae
<i>Hibiscus sabdarifa</i>	L.	Malvaceae
<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	L.	Convolvulaceae
<i>Maerua crassifolia</i>	Forsk.	Capparidaceae
<i>Microchloa indica</i>		Gramineae
<i>Mitracarpus scaber</i>	Zucc.	Rubiaceae
<i>Panicum anabaptistum</i>	Steud.	Poaceae
<i>Pennisetum spp. (mil)</i>	Desf.	Poaceae
<i>Sorghum bicolor</i>	(L.) Moench.	Poaceae
<i>Striga hermontica</i>	(Del.) Benth.	Scrophulariaceae
<i>Tamarindus indica</i>	L.	Caesalpiniaceae
<i>Vigna unguiculata</i> (niébé)	(L.) Walp.	Papilionaceae
<i>Vittelaria paradoxa</i> (Karité)		
<i>Zornia glochidiata</i>	Reich. Ex DC.	Fabaceae

**Annexe 2 : QUESTIONNAIRE POUR LES ENQUETES SOCIO-
ECONOMIQUES AUPRES DES EXPLOITATIONS**

Questionnaire socio-economique des exploitations

N° de l'enquête : _____

Nom de l'enquêteur: _____ Date : _____

Terroir villageois: _____ Village : _____

Personnes interrogées: _____

Ethnie: _____

Date d'installation au village: _____

Historique et origine de la famille:

Divers :

Potentiel de main d'oeuvre dans le travail aux champs :

- Famille (nombre, noms, situation de famille) :

- M.O.D. extérieure(s) : (nombre, origine, noms, ethnie, lieu de résidence pendant les travaux, type de salaire perçu, durée d'embauche, etc...)

Autres : (Historique des terres : variations de la surface cultivée, de la proportion culture/jachère...Historique de l'élevage : variations quantitatives et qualitatives notables...
Les conséquences de la dévaluation)

COMPOSITION DU MENAGE ET RESSOURCES LIEES AUX AUTRES ACTIVITES

Date :

Village :

Enquêté(s) :

Nom	Situation de famille	Lieu de résidence		Activité prof principale	Activités secondaires	Exode			Tx (o/n)	Projets	Salaires
		SS	Hiv			prof	lieu	pério			

Activités principales (éleveur, agriculteur, agriculteur/éleveur , éleveur/agriculteur, forgeron, boucher, marabout, instituteur, limam, etc...)

Activités secondaires (vente bois, vente fourrage, vente des récoltes : mil, etc..., vente d'animaux, vente de produits dérivés de l'élevage : lait, viande, oeufs, etc..., échanges divers, etc...), préciser où et périodicité

RESSOURCES LIEES A LA TERRES

Date :

Village :

Enquêteur :

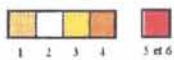
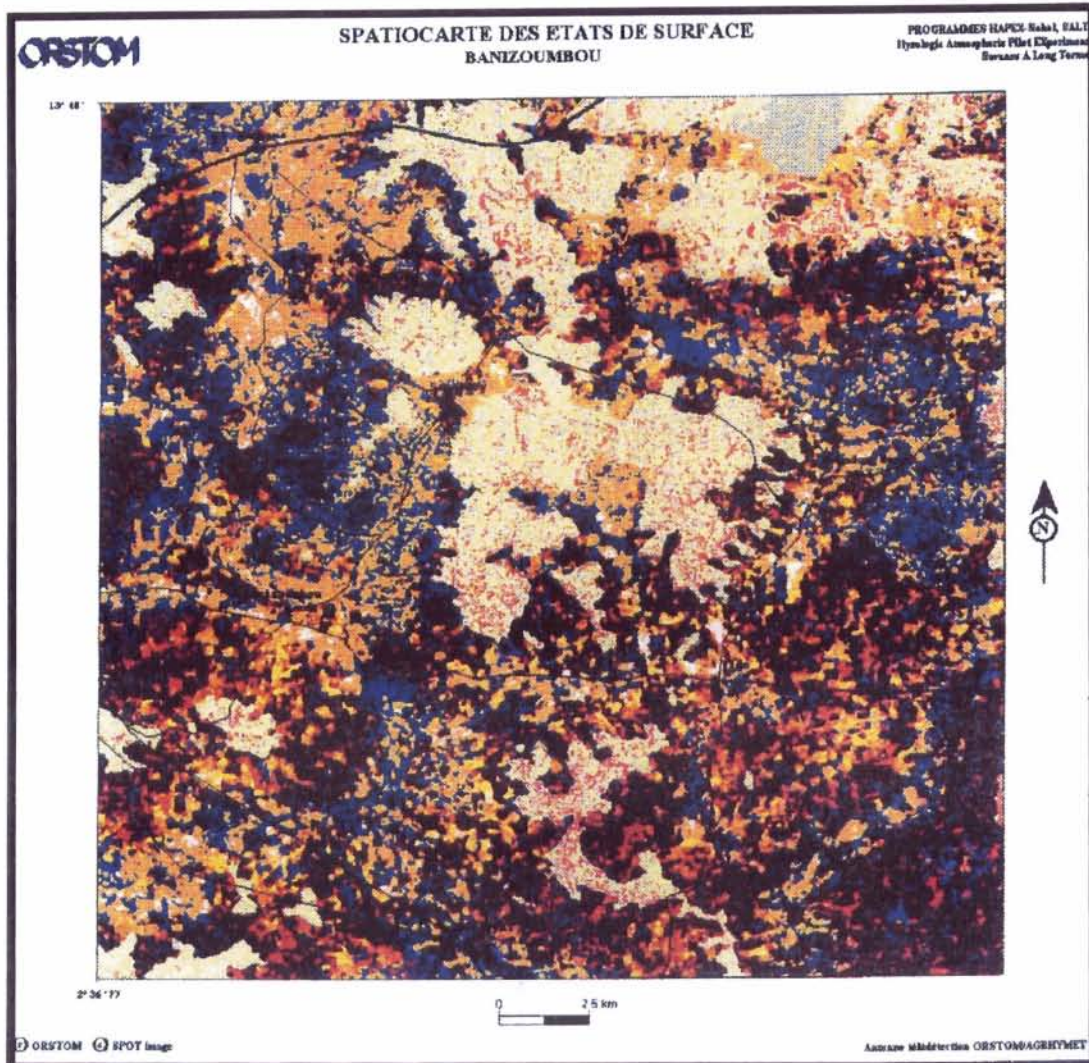
Enquêté(s) :

N°	Terroir	Accès à la terre			Occ	Géom	Espèces cultivées	Production champs	Production jachères	Fumée
		Prop/Cult	Prop/Prêt	Cultivateur						

Occ (champ cultivé : c , jachère : j , brousse ; Géom (plateau : p , jupe : j , glacis : g , bas-fond : b , dune : d)

Espèces cultivées (mil : m , sorgho : s , niébé : n , manioc : ma , jardins de femmes : jf , manguiers : man)

**Annexe 3 : CARTE D'OCCUPATION DES TERRES AU 1/50000 , site
de Banizoumbou, Niger (d'après LOIREAU, 1993)**



OCCUPATION DU SOL
SOL (%)

SOL (NU (%))

FORMATION VEGETALE
H : Herbacée ;
L : Ligneux

MICROHORIZONS AFFLEURANTS
A : Argileux (croûte d'érosion) ; S : Sableux ; LIT : Litière

ESPECES DOMINANTES

GÉO-MORPHOLOGIE

SURFACE (ha)

							HERBACEES	LIGNEUSES		
1	champs de mil	<25	herbacée dense	H6 L2	encroûtée sableuse	A3 S5 LIT2	mil / Mitracarpus scabers, Jacquemontia tamnifolia, Ctenium elegans	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum / Piliostigma reticulatum, Acacia albida, Prosopis africana	système alluvial : bas-fonds, terrasses sur 2 et 3ème niveaux cuirassés	12012
2	champs mil/niébé	>50	herbacée claire	H4 L1	sableuse	A2 S7	mil, niébé / fimbristylis	Guiera senegalensis / Acacia albida, Detarium microcarpum	système alluvial : bas-fonds	764
3	champs de cultures associées ou polyculture	>50	herbacée claire	H4 L1	sableuse	A2 S7	mil, niébé, oseille / Mitracarpus scaber, Jacquemontia tamnifolia, Ipomoea vagans, Andropogon gayanus	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum / Piliostigma reticulatum, Acacia albida, Prosopis africana, Annona senegalensis	dépôts sableux éoliens : mi-versant, bas de versant et modelés dunaires	1297
4	champs de mil ou mil/niébé dominants	>50	herbacée claire	H4 L1	sableuse	A2 S7	mil, niébé / oseille, fimbristylis	Guiera senegalensis / Acacia albida, Detarium microcarpum	dépôts sableux éoliens : mi-versant, bas de versant et modelés dunaires	1298
5	champs de mil peu ou pas préparés (défriche, sarclage)	>50	herbacée claire	H4 L2	sableuse	A1 S7	Mitracarpus scaber, Cenchrus biflorus / mil, Andropogon gayanus, Jacquemontia tamnifolia, Ipomoea vagans	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum / Acacia albida	dépôts sableux éoliens : mi-versant, bas de versant et modelés dunaires	1266
6	jachères récentes pouvant être semées (mil)	25-50	herbacée assez dense	H5 L1	encroûtée	A4 S5	Mitracarpus scaber, mil, Aristida longiflora, Jacquemontia tamnifolia, Cenchrus biflorus	Combretum glutinosum, Combretum micranthum	dépôts sableux éoliens: versants peu pentus et dunes dépôts sableux éoliens	1653
7	jachères récentes ou peu anciennes	<25	ligneuse claire herbacée	H5 L3-1	sableuse encroûtée	A3 S6	diversifiée: Mitracarpus scaber, Aristida longiflora, Cenchrus biflorus, Waltheria indica, Zornia glochidiata, Cassia mimosoïdes, Eragrostis tremula	Guiera senegalensis, Combretum glutinosum/ Piliostigma reticulatum, Prosopis africana	dépôts sableux éoliens sur terrasses alluviales ou versants	5252

**Annexe 4 : QUATRE EXEMPLES DU DICTIONNAIRE DES
FONCTIONS (d'après Bodichon et al, 1997)**

Il existe actuellement une trentaine de fonctions ; quatre exemples sont illustrés ici. Les fonctions concernant les parcelles (m_PT) sont distinguées des fonctions concernant les ensembles de parcelles (ou espaces cultivables : m_EC).

m_PT_DiVil () : Réel

Publique

Distance de la parcelle au village

Demandeur : Maud Loireau

Date de la demande initiale : 3/04/97

Description

Renvoie la distance calculée entre une parcelle et le village qui lui est associé. Cette distance est calculée à partir des coordonnées des centres de la parcelle et du village en utilisant le théorème de Pythagore. Cette fonction ne prend aucun paramètre.

Méthode de la classe

Parcelle

Sortie

Réel

Utilisation

Attention, cette méthode est utilisée sans paramètre. Les parenthèses ne doivent pas être spécifiés : m_PT_DistVil.

m_PT_DCyCJ_A (Année : Entier) : Alpha

Publique

Durée moyenne d'un cycle J/C d'une parcelle à une année donnée

Demandeur : Maud Loireau

Date de la demande initiale : 27/03/97

Description

Renvoie la durée moyenne d'un cycle Jachère/Culture (durée de la période en Culture + durée de la période en Jachère) sur la parcelle considérée à l'année entrée en paramètre. Pour être comptabilisé, un cycle Jachère/Culture doit s'arrêter avant l'année entrée en paramètre.

Si aucune année est entrée en paramètre, la durée d'un cycle Jachère/Culture sera établie sur l'ensemble des années.

Méthode de la classe

Parcelle

Entrée

- Année : Entier

Sortie

Alpha

S'il n'existe aucun cycle Jachère/Culture complet, la méthode renvoie « n.d »

Utilisation

Exemple : m_PT_DCyCJ_A(1970) renvoie la durée moyenne d'un cycle Culture/Jachère de la parcelle courante, en 1970

Fonctions appelantes

- m_PT_ParamR_A
- m_EC_DCyCJ_A

Erreurs et conditions aux limites

Attention, lorsqu'on ne met pas de paramètre d'entrée, il ne faut pas spécifier les parenthèses.

Exemple : m_PT_DCyCJ_A renvoie un résultat cohérent sur l'ensemble des années de la parcelle.

m_PT_DCyCJ_A() renvoie un message d'erreur du système.

m_EC_DMoyU_AU (Année : Entier ; Utilisation : Alpha) : Alpha

 Publique
Durée moyenne des cultures ou jachères d'un espace cultivable à une année donnée

Demandeur : Maud Loireau

Date de la demande initiale : 28/03/97

Description

Renvoie la durée moyenne des jachères ou cultures à une année donnée (premier paramètre), en prenant en compte une à une toutes les parcelles de l'espace cultivable considéré.

Le deuxième paramètre (utilisation) est facultatif. Si il n'est pas rentré, « jachère » est pris par défaut.

Méthode de la classe

Espace cultivable

Entrée

- Année : Entier
- Utilisation : Alpha

Sortie

Alpha

La méthode renvoie « n.d » si aucune des parcelles de l'espace cultivable courant n'est dans l'état d'utilisation voulu à l'année donné.

Utilisation

Exemple : m_EC_DMoyU_AU(1990 ; « C ») renvoie la durée moyenne des cultures en 1990.

m_EC_DMoyU_AU(1985) renvoie la durée moyenne des jachères en 1985.

m_EC_DMoyU_AU(1990 ; « Culture ») renvoie « n.d ».

Fonctions appelées

- m_PT_DMoyU_AU

**m_EC_TbDMoyU_AU (Année : Entier ; Utilisation : Alpha) :
Pointeur sur tableau de pointeur**

Publique

Tableau : durée moyenne utilisation (« J » ou « C ») / distance des parcelles

Demandeur : Maud Loireau

Date de la demande initiale : 3/04/97

Description

Renvoie un pointeur sur deux tableaux de pointeurs sur tableau d'alpha. Le premier tableau d'alpha contient la distance de chaque parcelle, le second la durée moyenne correspondante du type d'utilisation entré en second paramètre.

Méthode de la classe

Espace cultivable

Entrée

- Année : Entier
- Utilisation : Alpha

Sortie

Pointeur sur tableau de pointeurs

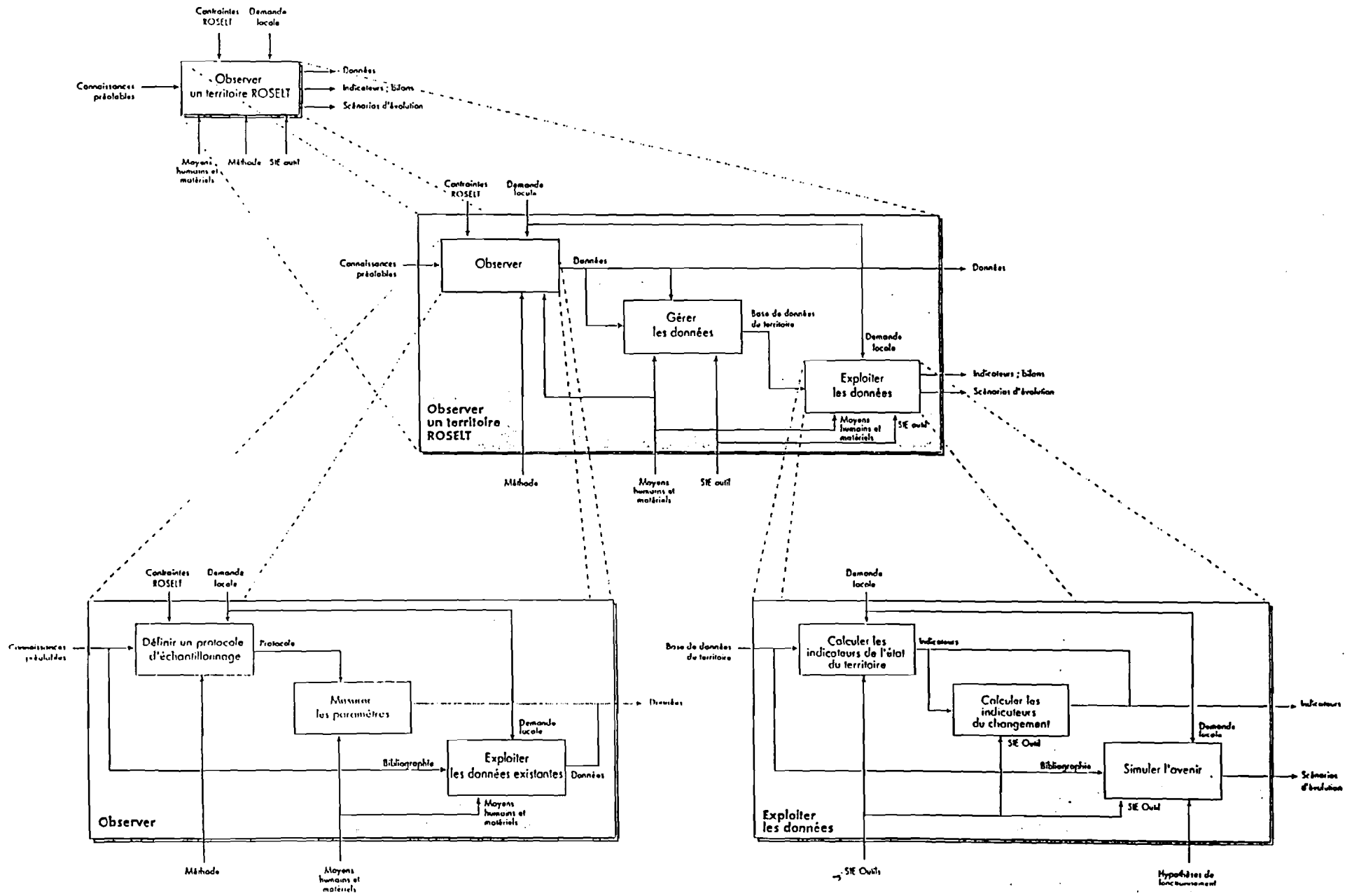
Fonctions appelées

- m_PT_DMoyU_AU

Fonctions appelantes

- B_Executer_AnEc

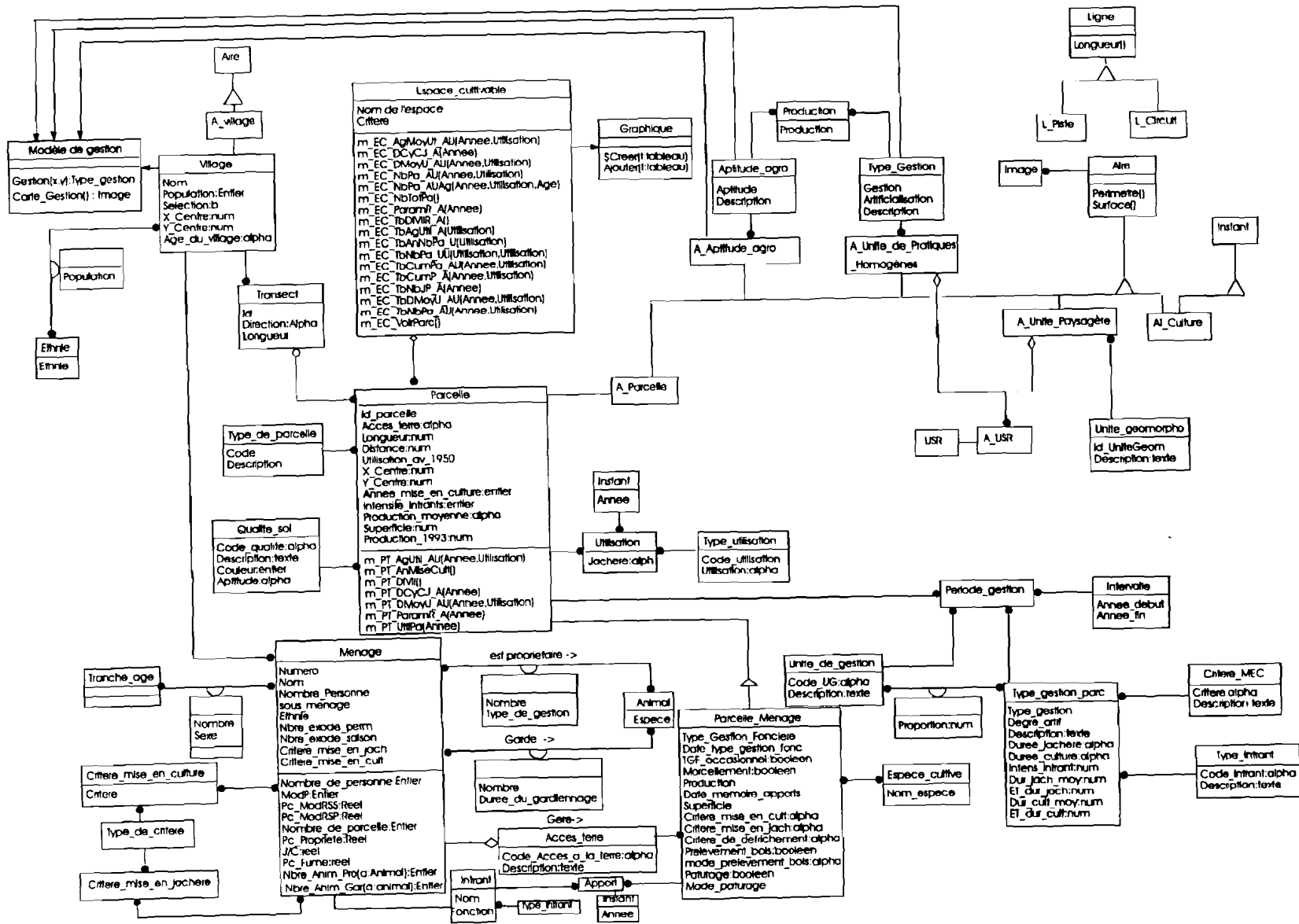
**Annexe 5 : DIAGRAMME FONCTIONNEL GENERAL D'UN
OBSERVATOIRE ROSELT**



La boîte en haut et à gauche du schéma nous renseigne sur l'activité élémentaire : "Observer un Territoire". Celle-ci génère des données, des indicateurs ou bilans et enfin permet d'élaborer des scénarii d'évolution de l'observatoire. Cette activité est déclenchée par l'existence d'une demande locale et doit respecter les contraintes scientifiques ; elle nécessite des moyens humains et matériels, des méthodes de recueil de données et un outil informatique de traitement et de gestion de l'information recueillie, le SIE.

Cette première description abrupte est détaillée en "ouvrant" la boîte précédente, ce qui fait apparaître trois nouvelles boîtes qui peuvent être décomposées à leur tour. Par exemple, le recueil de données comprend une phase de définition d'un protocole d'échantillonnage, une phase de mesure de paramètres ou de recensement des observations et, en parallèle, un travail des données préexistantes.

Annexe 6 : DIAGRAMME OBJET DU MODULE AGRICOLE



**Annexe 7 : FORMULAIRE D'ENQUETES SUR PARCELLES
TRANSECTS**

QUESTIONNAIRE SUR PARCELLES DES TRANSECTS RADIAUX AU VILLAGE : ROTATION CHAMPS/ JACHERES

Date :

Terroir villageois :

Description du transect : point de départ: direction :
point d'arrivée :

Positionnement de la parcelle : point de départ : point d'arrivée
:

Description de la parcelle : présence de haies :
présence de fumures :
position géomorphologiques:
taille :
recouvrement herbacée :
recouvrement ligneux :
espèces herbacées :
espèces ligneuses
états de surface :

Propriétaire : nom :	Autre : nom :
ethnie :	ethnie :
lieu de résidence :	lieu de résidence:
date de résidence :	date de résidence :

Mode de faire valoir : (contrat d'accès à la terre)

Date d'accès à la terre:

Mode d'acquisition de la terre : (nouvelle attribution, par qui, héritage, ...)

Antérieurement : autre propriétaire ou usufruitié ?
non attribué ?

Contrat de fumure ?

Parcage ?

Historique précis de la parcelle sur 10 ans : (raisons de mise en culture ou d'abandon : socio ou agro-éco)

année 1 :
 année 2 :
 année 3 :
 année 4 :
 année 5 :
 année 6 :
 année 7 :
 année 8 :
 année 9 :
 année 10 :

Historique grossier de la parcelle depuis 1975:

Historique grossier de la parcelle depuis mémoire d'homme :

Techniques agricoles (facultatif):

- raisons de mise en culture ou d'abandon ?
- Pratique de brulis ? pourquoi?
- nombre de semis et de sarclage ? pourquoi ?
- mode de défrichage ?
- variété de mil ?
- démariage ?
- nombre de graines par poquets ? pourquoi ?
- gestion des pérennes ? (an)
- date d'interdiction de pâturage des animaux dans les champs ? pourquoi ? (tallage ...)

**Annexe 8 : FORMULAIRE D'ENQUETES SUR PARCELLES
EXPLOITATIONS**

ENQUETE SUR LES EXPLOITATIONS AGRICOLES PAR MENAGE

Date :

Nom du chef de famille :

N° enquête socio-éco correspondante :

Lieu de résidence : - en saison sèche :

- en saison des pluies :

Au niveau de l'exploitation

Hiérarchisation des critère(s) de décision pour la remise en culture :

(état de la végétation, marquage foncier, disponibilité MOD, espérance des pluies, distance au village, gestion rotative des différentes parcelles, épuisement des autres parcelles,...)

1)

2)

3)

4)

5)

Hiérarchisation des critère(s) de décision pour la remise en jachère :

(baisse des rendements, disponibilité MOD, distance au village, gestion rotative des différentes parcelles, augmentation du nombre de parcelles, envahissement des adventices...)

1)

2)

3)

4)

5)

Au niveau de la parcelle

N° de la parcelle :

Localisation de la parcelle : - schéma :

- coordonnées GPS : a :
b :
c :
d :

parcelle en propriété et cultivée : oui non

parcelle en location et cultivée : oui non

Si oui, identification du propriétaire :

parcelle en propriété et prêtée : oui non

Si oui, - nom du cultivateur :

- raison(s) du prêt (tradition, trop de terre, pas assez de MOD,...) :

- quel(s) revenus il en tire : (bottes de mil, fumier, ...)

Années	culture/jach	nb semis	nb sarclage	Matière Organique	Coupe	feu
1995						
1994						
1993						
1992						
1991						
1990						
1989						
1988						
1987						
1986						
1985						
1984						
1983						
1982						
1981						
1980						
1979						
1978						
1977						
1976						
1975						
1974						
1973						
1972						
1971						
1970						
1969						
1968						
1967						
1966						
1965						
1964						
1963						
1962						
1961						
1960						
1959						
1958						
1957						
1956						
1955						
1954						
1953						
1952						
1951						
1950						

- Culture :**
- variétés utilisées (diaraou, sunne, tchumo, drankoba, HKP) :
 - mode de sélection :
 - critère (s) de décision (tradition, coût, qualité du sol, pluies...) :
 - 1)
 - 2)
 - 3)
- Semis :**
- type de semis :
 - distance inter-poquet :
 - nb de sac utilisé :
 - coût du sac :
- Sarclage :**
- raison (s) :
 - calendrier pour une année :
 - type de MOD : (familiale, extérieure)
 - raison(s) :
- Apport de Matière Organique :**
- Si parcage d'animaux, mode de paiement :
 - Si fumier transporté, coût :
 - Si engrais, coût :
 - critère (s) de décision (tradition, coût, qualité du sol, disponibilité animaux, qualité du traitement, distance au village ...) :
 - 1)
 - 2)
 - 3)
- Demariage** oui non
- Calendrier annuel :
 - Raison(s) :
- Coupe :**
- hauteur de coupe :
 - raison (s) :
 - calendrier des coupes pour une année :
 - MOD familiale : oui non
 - raison (s) :
 - MOD extérieure : oui non
 - raison (s) :
 - coût :!
 - Bois : (brûlé, emporté, laissé)
 - raison(s) :
 - Si coupe de tout le champ, pourquoi?
 - Si coupe sélective, pourquoi?
- Défrichement :**
- raison(s) : (terre nouvellement acquise, pauvreté des autres champs, marquage foncier)
 - MOD familiale : oui non
 - raison (s) :
 - MOD extérieure : oui non
 - raison (s) :
 - coût :
 - Bois : (brûlé, emporté, laissé)
 - raison(s) :
 - Etat de la végétation avant défrichement :
- Feu :**
- calendrier pour une année :
 - critère (s) de décision (tradition, technique culturelle, marquage foncier ...) :
 - 1)
 - 2)
- Dessouchage** oui non
- Calendrier annuel : - Raison (s) :

Suite au niveau de la parcelle

- Critère(s) de décisions pour la remise en culture en fonction des dates :(état de la végétation, marquage foncier, MOD, localisation ...)

- Critère(s) de décision pour la mise en jachère en fonction des dates :(rendement, localisation, MOD,...)

- Critère (s) d'abandon brutal d'une remise en culture?

- Terminologie pédo-rurale de la parcelle :

- Prélèvement de bois : oui non

Si oui, - par qui?

- à quelle époque de l'année?

- quel type de prélèvement? (bois mort ou non, cueillette ou coupe, à pied ou à charrette,...)

- quelle(s) espèce(s)?

- Pour quel usage?

Si non, - Pourquoi?

- Pâturage : oui non

Si oui, -par quels animaux? (espèce. transhumants. sédentaires,...)

- à quelle(s) époque(s) de l'année?

- quel type de pâturage? (gardé ou non. accompagné ou non. ...)

- quelles espèces sont préférées par les animaux:

 bovins :

 caprins :

 ovins :

Si non, - Pourquoi?

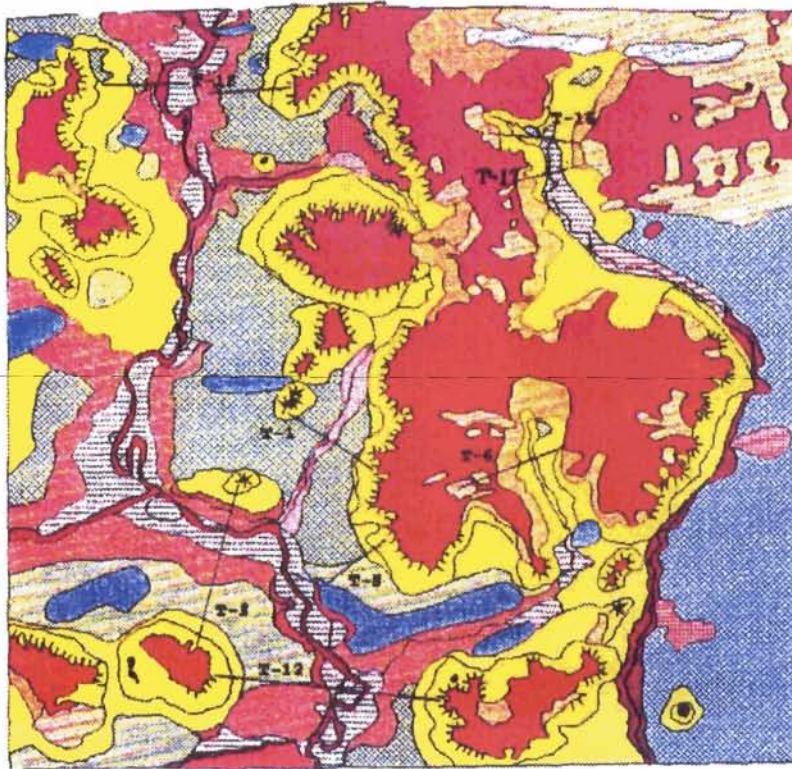
Code pour le tableau

Culture/jach	:mil	m	tout le champ(t)
	sorgho	s	partie du champ (s 1/2,1/3,...)
	niebe	n	
	oseille	o	
	champ de femme	cf	
	champ de manioc	ma	
	jachère	jach	
	jachère d'ajustement	ja	
Sarclage :	tout le champ	(t)	
	partie du champ	(s)	
MO :	apport fumier par parcage	fp	tout le champ (t)
	apport fumier transporté	ft	partie du champ (s 1/2,1/3,...)
	apport engrais	e	
	apport pâturage libre	fpl	
Coupe :	coupe de tout le champ	ct	
	coupe sélective	cs	
	défrichement	d	
Feu :	total (herbacées + arbustes)	ft	
	sélectif (arbustes)	fs	

Terminologie pédo-rurale

Terres :	Gorou :	bas
	Fondu :	haut
	Tondo bon :	plateau
	Tondo kakasia :	juste au dessous du plateau
Champs :	Sacara :	remise en culture après un an de jachère
	Lali banda :	première année de culture après sacara
	Kwarkwari :	mise en culture 3-4 ans
	Blanga :	mise en culture au moins 5 ans
	Farezenou :	jachère
Sols :	Labu biri :	sol noir (fertile)
	Labu kware :	sol blanc
	Labu kirey :	sol rouge
	Tassi :	sols sableux
	Botogo :	sols à teneur argileuse
	Gangani :	sols encroûtés
	Labu zenou (ou) Labu farga :	sols fatigués
	Labu sida bani :	sols non fertiles

Annexe 9 : CARTES MORPHO-PEDOLOGIQUES DE NAGUMO



HAPEX SAHEL Project
Central site

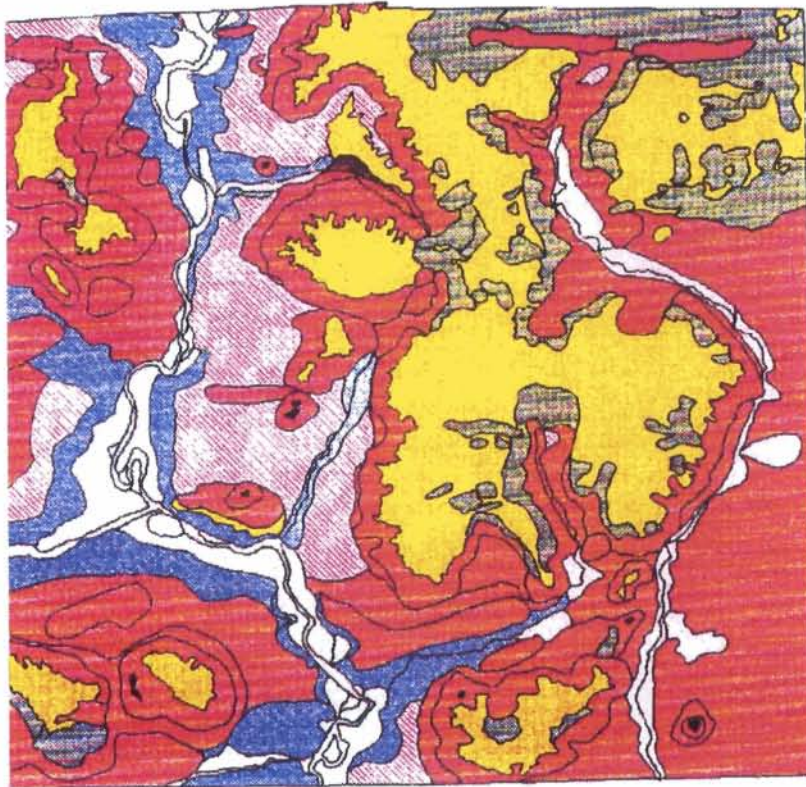
Legend

- 1a
- 1b
- 1c
- 2a
- 2b
- 3a
- 3b
- 4a
- 4b
- 4c
- 5
- 6a
- 6b
- 6c
- 7a
- 7b
- 7c
- 8
- 9
- 10

0 1500 3000 4500 6000 m

1. Tertiary residual Plateau (Ct3)
 - 1a) flat plateau
 - 1b) gently-sloped plateau
 - 1c) sand mound
2. Hill-foot slope
 - 2a) moderate slope (about 2-4%)
 - 2b) gentle slope (less than 2%)
3. Pediplain
 - 3a) with surface
 - 3b) without eroded surface
4. Slope from pediplain to alluvial **terrace**
 - 4a) steep slope with eroded surface
 - 4b) steep slope without eroded surface
 - 4c) gentle slope
5. Alluvial **terrace**
6. Valley form
 - 6a) V-type valley
 - 6b) temporal water way with gentle slope
 - 6c) almost flat valley
7. Sand deposition form
 - 7a) Sand deposition form on the pediplain
 - 7b) total-sand covered undulating land form
 - 7c) cordon form on the plateau
8. Depression form
9. Concave small basin
10. Insetberg

Geomorphological unit map of central site (HAPEX-SAHEL)



HAPEX SAHEL Project
Central site

Legend

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

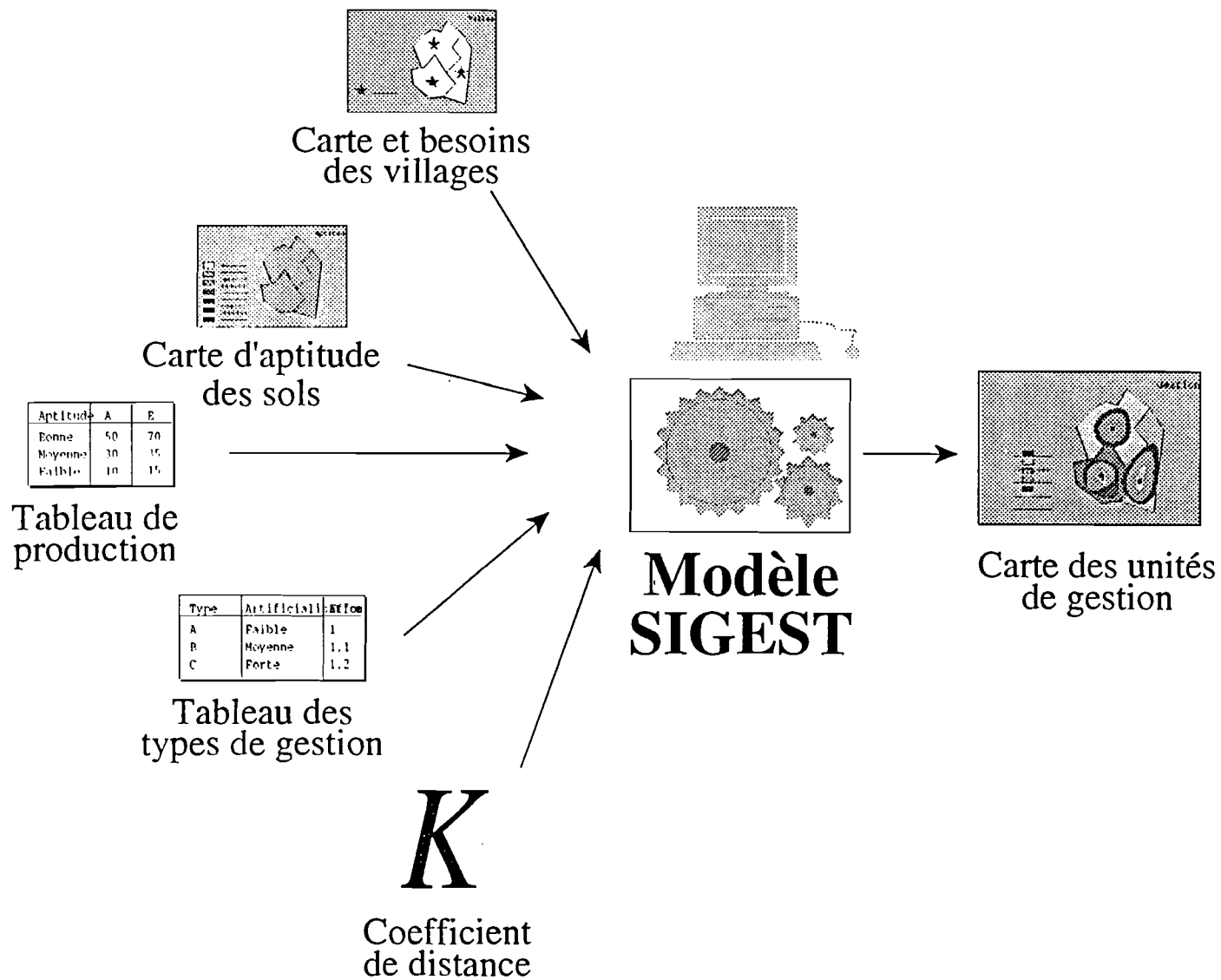
0 1500 3000 6000 m

Soil mapping unit

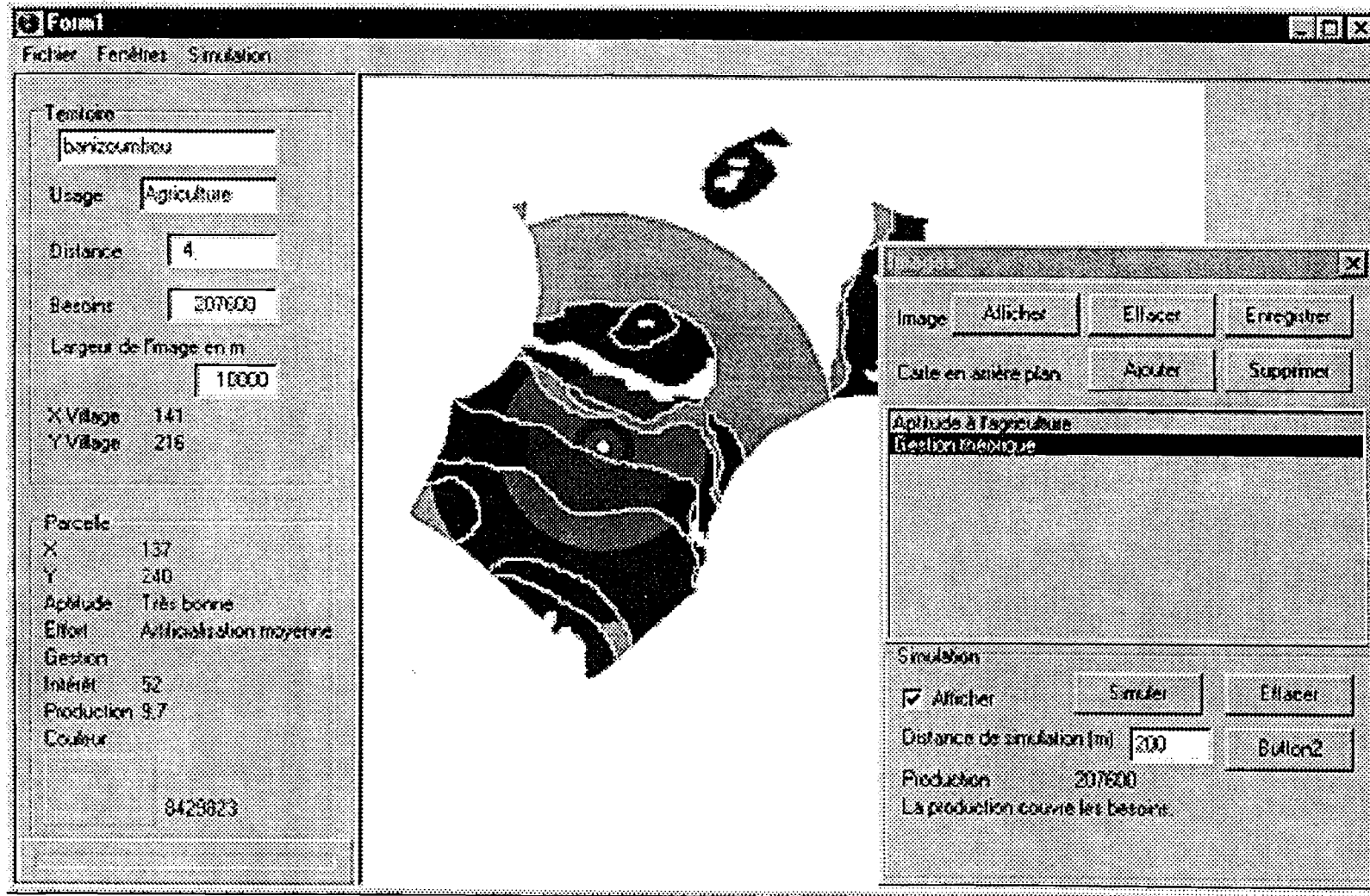
1. deep reddish brown sandy soil
2. deep or moderately-deep reddish brown sandy soil
3. moderately-deep or shallow bright reddish brown sandy soil
4. deep reddish brown sandy soil associated with
deep bright reddish brown sandy soil
5. deep bright reddish brown sandy soil associated with
deep or moderately-deep white sandy soil
6. deep white sandy soil associated with bright reddish brown sandy soil
7. deep bright brown sandy soil
8. shallow reddish brown clayey soil
9. brown clayey soil
10. lithosol

Soil map of central site (HAPEX-SAHEL)

Annexe 10 : ENTREES ET SORTIES DU MODELE SIGEST



Annexe 11 : COPIE D'ECRAN DU LOGICIEL SIGEST



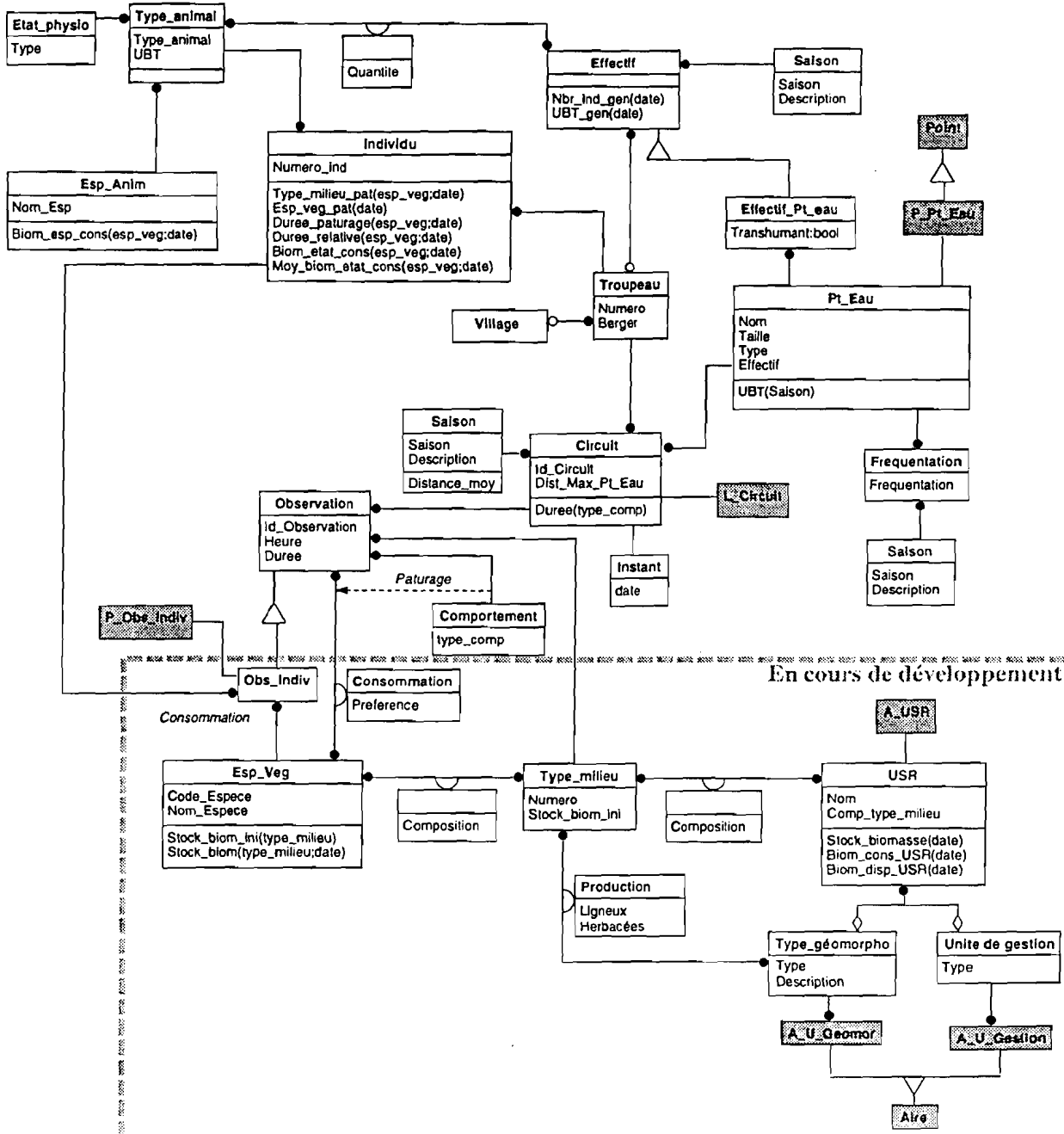
**Annexe 12 : BIOMASSES HERBACEES ET LIGNEUSES DANS LES
JACHERES (D'APRES DELABRE, 1998), SELON LEUR POSITION
GEOMORPHOLOGIQUE ET LEUR AGE**

Géomorphologie	Age	Biomasse herbacée épigée (kg/ha)		Biomasse arbustive épigée (kg/ha)		Total	
		Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype
Ensemblements sur plateaux	1	2199,88	138,42	395,68	116,08	2595,56	254,49
	2	1498,56	1072,27	339,88		1838,44	1183,10
	3	1563,58	333,22	993,07		2556,65	787,75
	4	1586,13	333,22	1322,28		2908,41	787,75
	5	1608,67		1651,49		3260,16	
	]6-10]	1451,36	680,12	1697,44		3148,80	1148,28
	> 10	1209,20	662,14	1789,33	1054,01	2998,53	
Jupes sableuses	1	1925,25	501,40	381,33	273,42	2306,58	662,31
	2	1498,56	1072,27	339,88		1838,44	1183,10
	3	1563,58	333,22	993,07		2556,65	787,75
	4	1586,13	333,22	1322,28		2908,41	787,75
	5	1608,67		1651,49		3260,16	
	]6-10]	1136,74	680,12	1789,33	1054,01	2926,07	1148,28
	>10	1209,20	662,14	1789,33	1054,01	2998,53	1149,78
Glacis	1	1992,25		612,80		2605,05	
	2	1992,25		612,80		2605,05	
	3	665,87	279,15	1165,78	502,71	1831,65	764,44
	4	1620,70	553,74	1393,20	1288,07	3013,90	1841,81
	5	960,00		1432,44		2392,44	
	]6-10]	1271,67	601,61	1510,93	2084,99	2245,41	2662,76
	> 10	1451,90	1321,05	1510,93	2084,99	2962,83	1304,65
Bas fonds	1	1290,50	591,85	900,80	502,33	2191,30	1094,18
	2	1290,50	591,85	900,80	502,33	2191,30	1094,18
	3	1290,50	591,85	900,80	502,33	2191,30	1094,18
	4	902,50	166,17	2189,60	1180,02	3092,10	1346,19
	5	1773,07	861,33	8381,87	12326,64	10154,93	12179,58
	]6-10]	1064,63	349,49	8381,87	12326,64	9446,49	500,41
	> 10	1064,63	349,49	8381,87	12326,64	9446,49	1149,78
Cordons dunaires	1	1512,17	418,84	484,80	208,17	1996,97	210,67
	2	1022,44	835,00	654,40	640,36	1676,84	194,65
	3	1802,92	833,00	1616,00	1995,41	3418,92	1398,08
	4	927,75	552,84	2371,60	3824,25	3299,35	4246,64
	5	1769,75	426,74	3692,00	3852,32	5461,75	4279,06
	]6-10]	1628,73		3692,00		5320,73	
	>10	1064,63	349,49	3692,00	3852,32	4756,63	1149,78

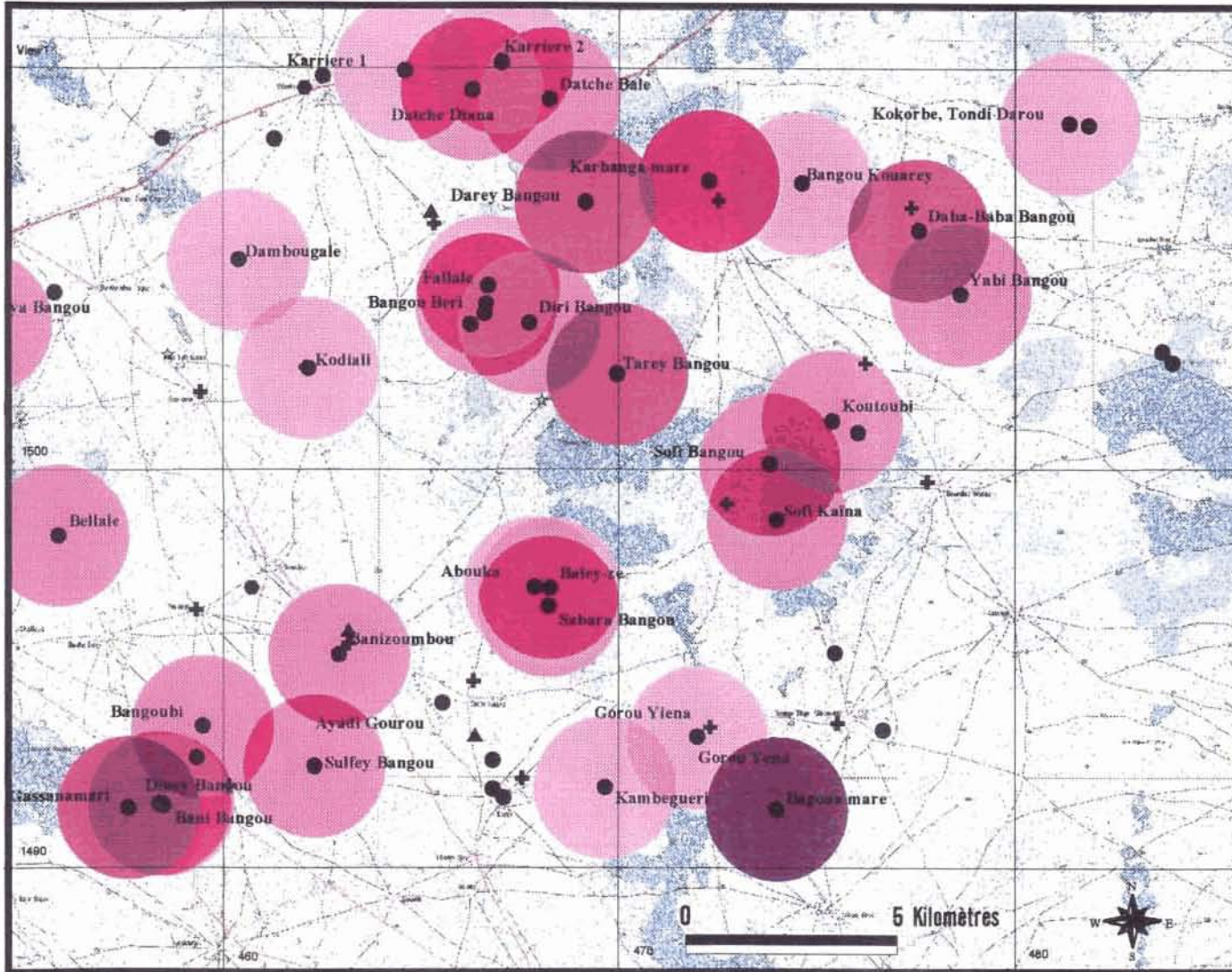
**Annexe 13 : BIOMASSES EPIGEES DANS LES CHAMPS
CULTIVEES (D'APRES DE ROW, 1998) SELON LEUR POSITION
GEOMORPHOLOGIQUE ET LES PRATIQUES AGRICOLES
APPLIQUEES (D'APRES LOIREAU)**

Classes de pratiques agricoles combinées	Géomorphologie	Biomasse totale (kg/ha semé)	Grains mil (kg/ha)	Chaume mil (kg/ha)	Chaume faux mil (kg/ha)
1	Ensablements sur plateaux	1914	361	1360	284
	Jupes sableuses	1860	334	1340	621
	Glacis	1575	284	1123	436
	Cordons dunaires	1575	284	1123	436
	Bas-fonds	939	152	664	0
2	Jupes sableuses	793	156	557	111
	Glacis	793	156	557	111
	Cordons dunaires	427	102	288	
	Bas-fonds	1158	210	826	111
3	Ensablements sur plateaux	1466	318	980	220
	Jupes sableuses	1466	318	980	220
	Glacis	1466	318	980	220
	Cordons dunaires	1466	318	980	220
	Bas-fonds	1466	318	980	220
4	Ensablements sur plateaux	1235	278	815	155
	Jupes sableuses	1235	278	815	155
	Glacis	1235	278	815	155
	Cordons dunaires	1235	278	815	155
	Bas-fonds	1235	278	815	155

**Annexe 14 : DIAGRAMME OBJET DU MODULE PASTORAL
(D'APRES FAURE, 1997)**



**Annexe 15 : CARTES SAISONNIERES DE PRELEVEMENTS
FOURRAGERS**



**Période de soudure
(Juin, Juillet)**

∟ Coordonnées (U.T.M ; milliers de m)

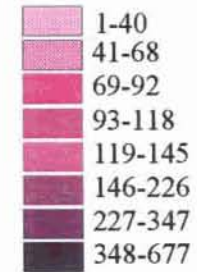
Périmètre d'exploitation

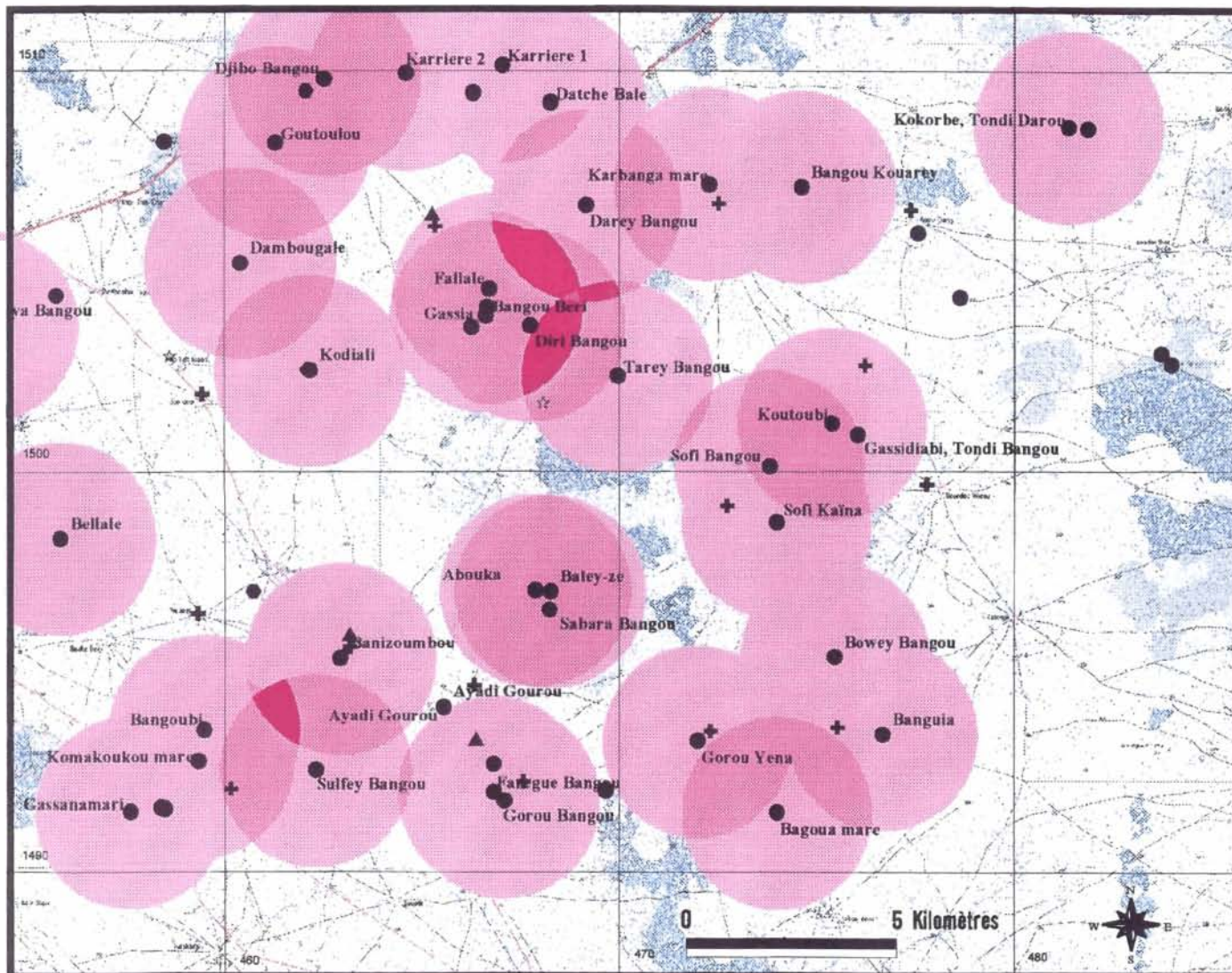


Type de points d'eau

- ▲ Forage
- Forage + mare
- Mare
- ✚ Puits cimenté
- ☆ Puits traditionnel

Prélèvements fourragers
en Kg de matières sèches/ha





Saison des pluies (Août, Septembre)

Coordonnées (U.T.M ; milliers de m)

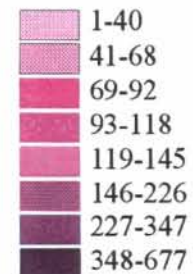
Périmètre d'exploitation

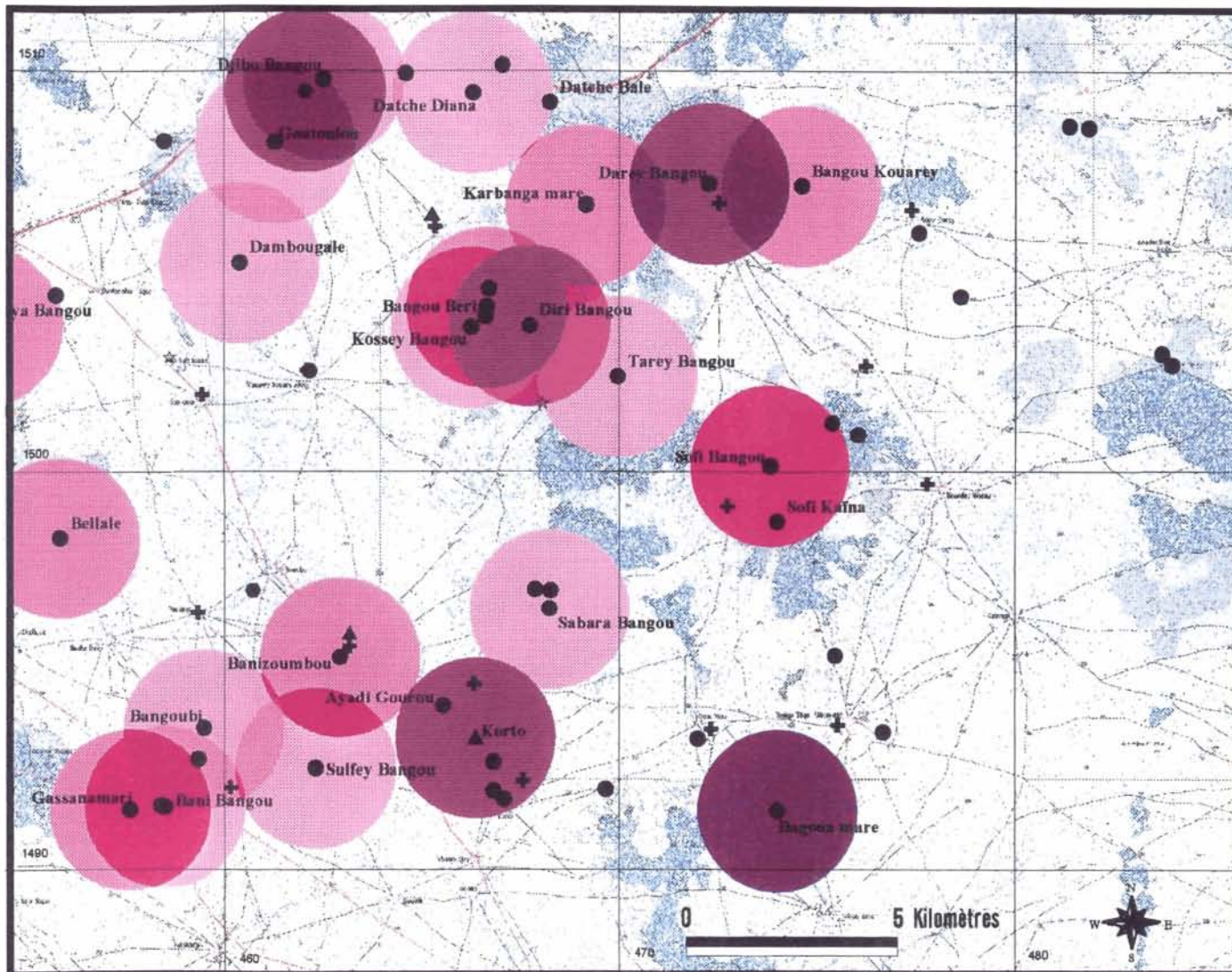


Type de points d'eau

- ▲ Forage
- Forage + mare
- Mare
- ✚ Puits cimenté
- ☆ Puits traditionnel

Prélèvements fourragers
en Kg de matières sèches/ha





Saison post-culturale (Octobre, Novembre)

∩ Coordonnées (U.T.M ; milliers de m)

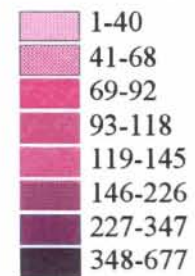
Périmètre d'exploitation

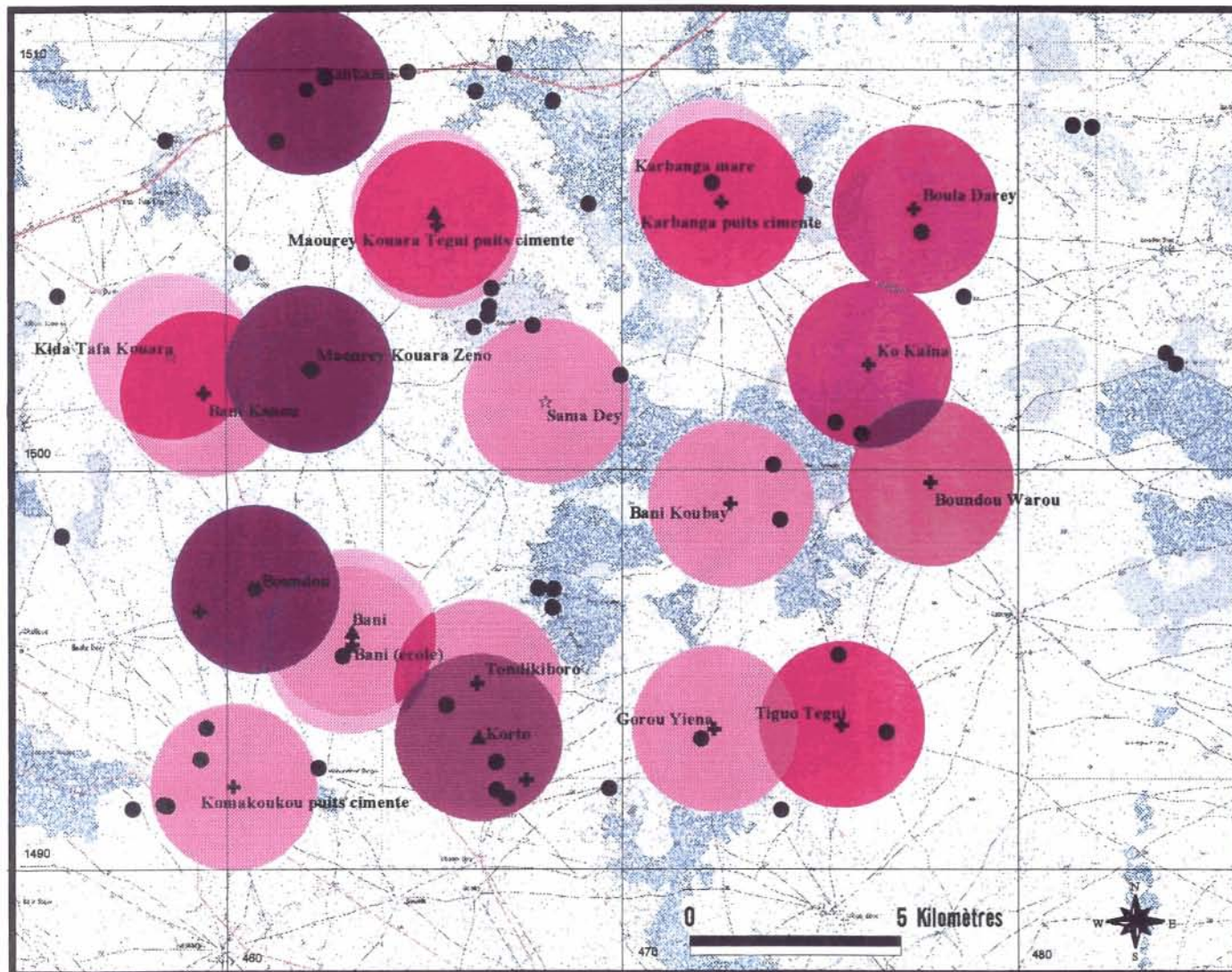


Type de points d'eau

- ▲ Forage
- Forage + mare
- Mare
- ✚ Puits cimenté
- ☆ Puits traditionnel

Prélèvements fourragers
en Kg de matières sèches/ha





**Saison sèche froide
(Décembre, Février)**

∩ Coordonnées (U.T.M ; milliers de m)

Périmètre d'exploitation

1387 ha

Type de points d'eau

- ▲ Forage
- Forage + mare
- Mare
- ⊕ Puits cimenté
- ☆ Puits traditionnel

Prélèvements fourragers
en Kg de matières sèches/ha

- 1-40
- 41-68
- 69-92
- 93-118
- 119-145
- 146-226
- 227-347
- 348-677

**Annexe 16 : FORMULAIRE D'ENQUETES AUPRES DES
TROUPEAUX TRANSHUMANTS**

ENQUETE AUPRES DES TROUPEAUX TRANSHUMANTS VERS LE MALI

Date :

. Nom du berger :

. Ethnie :

. Famille accompagnant ? oui non

Si oui, composition de la famille accompagnante : - hommes :

- femmes :

- enfants :

Si non,- membres accompagnants :

- composition de la famille restante dans le village d'origine :

- hommes :

- femmes :

- enfants :

. Village d'origine :

. Village de départ de la transhumance :

. Composition de l'ensemble du troupeau : - zébus :

- chèvres :

- moutons :

- dromadaires :

- autres :

. Animaux en propriété : - zébus :

- chèvres :

- moutons :

- dromadaires :

- autres :

. Animaux en gardiennage : - composition : - zébus :

- chèvres :

- moutons :

- dromadaires :

- autres :

- nom du (ou des) propriétaire(s) :

- ethnie :

- lieu de résidence :

. Type d'échange entre le gardien et le propriétaire :

. Y-a-t-il un guide ? oui non

Si oui, pour ce troupeau ou pour l'ensemble des troupeaux transhumants ?

. Comment est rémunéré le guide ?

. Partez-vous chaque année en transhumance ?

. Passez-vous aux mêmes endroits ?

. Parcours de transhumance précis : (énumérer les villages traversés du point de départ au point d'arrivée)

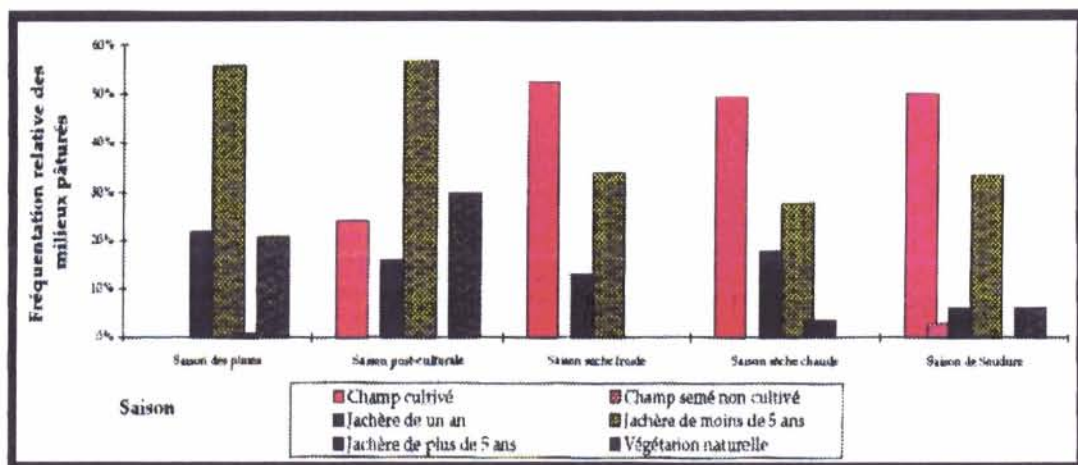
. Difficultés rencontrées :

. Date de passage dans le site central au retour de transhumance :

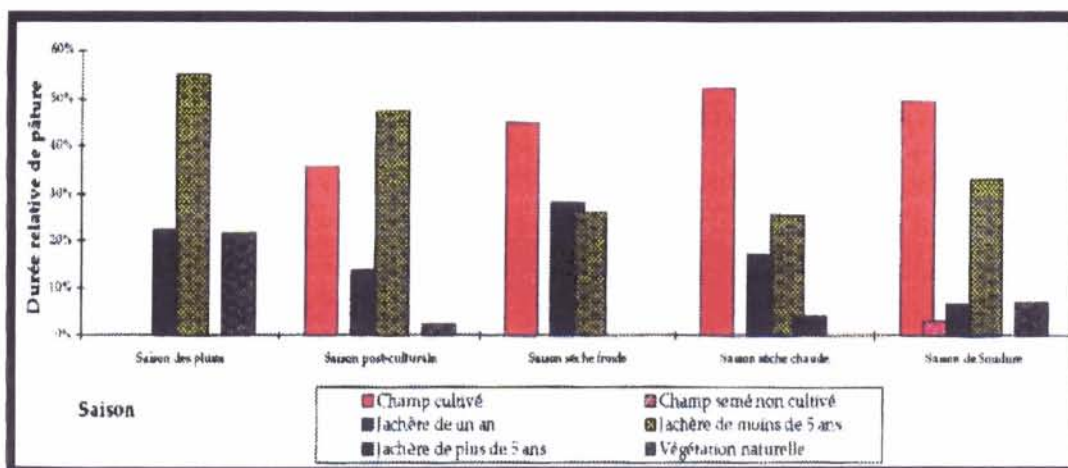
. Divers :

**ANNEXE 17 : FREQUENTATION RELATIVE DES DIFFERENTS
MILIEUX POUR LA PATURE ET DUREE RELATIVE DE LA
PATURE DANS CHAQUE TYPE DE MILIEU (D'APRES FAURE,
1997)**

Fréquentation relative des types de milieux au cours de la pâture.



Durée relative de la pâture dans chaque type de milieu.



TABLES DE MATIERES

REMERCIEMENTS.....	3
AVANT-PROPOS	5
SOMMAIRE.....	7
PREMIÈRE PARTIE (INTRODUCTION) : UNE MEILLEURE COMPREHENSION DE LA DYNAMIQUE DES INTERACTIONS MILIEUX-SOCIETES POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE	11
Chapitre 1 : DU DEVELOPPEMENT DURABLE A LA DIALECTIQUE RESSOURCES-USAGES	13
1.1. Le développement durable à l'ordre du jour	13
1.2. La Désertification : influence du climat et de l'homme ?	15
1.3. Un nouveau besoin de connaissance sur la dynamique interactive systèmes biophysiques (ressources) / systèmes socio-économiques (usages).....	18
Chapitre 2 : DE LA DIALECTIQUE RESSOURCES-USAGES A UNE APPROCHE SPATIALE POUR L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE DU FONCTIONNEMENT INTERACTIF MILIEUX-SOCIETES	21
2.1. Démarche globale pour l'étude de la dynamique des paysages : Espaces, Ressources, Usages.....	21
2.1.1. Des disciplines et leur conception du paysage.....	21
2.1.2. Une définition du paysage : des espaces, des ressources et des usages	23
2.2. Une problématique géographique.....	26
2.3. Un Système d'Information sur l'Environnement	28
DEUXIÈME PARTIE : UNE APPROCHE GEOGRAPHIQUE INNOVANTE DE L'ENVIRONNEMENT SAHELIEN.....	31
Chapitre 3 : LES MILIEUX SAHELIENS, VARIABILITE ET FRAGILITE	33
3.1. Le Sahel : une zone écoclimatique à part entière ?.....	33
3.2. Un contexte biophysique spécifique contraignant	35
3.2.1. Le principal déterminant de la production végétale au Sahel : le climat.....	35
3.2.2. Les autres caractères du milieu sahélien	37
3.3. Les sociétés sahéliennes : adaptation à un contexte biophysique contraignant.....	38
3.3.1. Un système d'exploitation traditionnelle.....	38
3.3.2. Agriculteurs et éleveurs : évolution au cours de l'histoire	39
3.4. Un contexte politico-économique défavorable	41
3.4.1. Facteurs politico-économiques accentuant les phénomènes de déséquilibre au Sahel.....	41
3.4.2. La crise en Afrique de l'ouest et au Niger.....	44
Chapitre 4 : APPROCHE REGIONALE (Zarmatarey) ET LOCALE (Banizoumbou) D'UNE ZONE AGRO-PASTORALE AU NIGER.....	49
4.1. Pourquoi Banizoumbou ?	49
4.2. L'occupation progressive de l'espace par l'homme sur l'ensemble du site	51
4.2.1. Dynamique des populations humaines.....	52
4.2.1.1. Historique socio-ethnique du Zarmatarey.....	52
4.2.1.2. Historique récent de la population et croissance démographique	55
4.2.1.3. Installation des villages de la zone	56
4.2.2. Extension des cultures	61
4.2.3. Terroirs villageois et droit coutumier	63
4.2.3.1. Les différents niveaux de décision historiques et actuels.....	63
4.2.3.2. Les règles foncières d'accès aux ressources.....	65
4.2.3.3. Identification des terroirs villageois sur l'ensemble du site.....	71
4.3. Les sociétés actuelles.....	74
4.3.1. Répartition des populations sur l'ensemble du site	74
4.3.2. Typologie des exploitations agricoles et/ou pastorales sur des terroirs échantillonnés	76

4.4. Le milieu biophysique et les grandes structures du paysage	80
4.4.1. Le climat local et sa variabilité.....	80
4.4.2. Les grands faciès du paysage.....	82
Chapitre 5 : DES METHODES D'INTEGRATION DISCIPLINAIRE, UNE APPROCHE GEOGRAPHIQUE SYSTÉMIQUE.....	85
5.1. Structure du système d'information sur les interrelations milieux- sociétés	85
5.1.1. Architecture complexe du système étudié.....	85
5.1.2. Les produits attendus.....	89
5.2. Les Unités Spatiales de Référence : définition appliquée à notre zone d'étude	91
5.2.1. Une grande instabilité spatiale et temporelle des parcelles.....	91
5.2.2. Des unités spatiales majeures obligatoires.....	94
5.2.3. Méthodes de détermination des Unités Spatiales de Référence.....	94
5.3. Principes d'échantillonnages et de recueil des données	95
5.3.1. Les objectifs	95
5.3.2. Une caractérisation initiale nécessaire de la zone d'étude.....	96
5.3.3. Un échantillonnage emboîté	97
5.4. Un Système d'Information sur l'Environnement au niveau local	97
5.4.1. Cadre d'élaboration du SIE	97
5.4.2. Les principes généraux	98
5.4.3. Le modèle Objet : premier temps de l'élaboration du SIE.....	98
5.4.5. Le modèle du système.....	102
TROISIÈME PARTIE : FONCTIONNEMENT SPATIAL AGRICOLE D'UNE PETITE REGION SAHELIENNE AU NIGER	105
PREAMBULE	106
Chapitre 6 : L'AGRICULTURE PLUVIALE, STRATEGIES PAYSANNES ET POLITIQUES DE DEVELOPPEMENT.....	107
6.1 Problématique agricole	107
6.1.1. Les besoins céréaliers : une exigence fondamentale.....	107
6.1.2. L'agriculture pluviale et ses enjeux dans un milieu naturel contraignant.....	110
6.2. Des méthodes spécifiques pour la spatialisation des pratiques agricoles et l'étude du fonctionnement des systèmes agraires	111
6.2.1. Un échantillonnage géographique.....	111
6.2.1.1. Hypothèse forte d'organisation spatiale des pratiques agricoles autour d'un village....	111
6.2.1.2. Echantillonnage et recueil de données.....	113
6.2.2. Un échantillonnage basé sur la typologie des exploitations.....	114
6.2.2.1. Echantillonnage	114
6.2.2.2. Recueil de données	117
6.3. Les facteurs de production pour une agriculture pluviale extensive	117
6.3.1. La terre	117
6.3.1.1. L'accès foncier	117
6.3.1.2. Taille des exploitations et des parcelles agricoles	118
6.3.1.3. La qualité des terres.....	120
6.3.2. La force de travail.....	120
6.3.3. Le matériel agricole.....	122
6.4. Un itinéraire technique et des stratégies associées pour augmenter l'espérance de récolte d'une année donnée	123
6.4.1. La préparation des champs	123
6.4.2. Les semis	124
6.4.3. Les espèces cultivées	124
6.4.4. Les sarclages.....	125
6.4.5. Les récoltes.....	126
6.4.6. Un itinéraire technique tout ou partie accompli : définition de la surface cultivée.....	126
6.5. Un système de culture extensif et des pratiques culturelles, pour une gestion traditionnelle du risque (échelle de la décennie)	128
6.5.1. Utilisation de fertilisants organiques	129

6.5.1.1. Description des pratiques.....	129
6.5.1.2. Analyse par type d'exploitation des surfaces agricoles concernées.....	129
6.5.2. Pratique de la jachère	130
6.5.2.1. Analyse globale à l'échelle de la zone d'étude	130
6.5.2.2. Analyse de la jachère au niveau des exploitations agricoles.....	135
6.5.3. Les critères de décision d'affectation parcellaire en culture ou en jachère	137
Chapitre 7 : MODELE SPATIAL DU FONCTIONNEMENT AGRICOLE	143
7.1. Principes généraux et démarche globale	143
7.2. Une typologie des pratiques culturales	144
7.2.1. Construction de la typologie des pratiques culturales.....	144
7.2.2. Les classes de la typologie des pratiques culturales associées à un degré d'artificialisation.....	146
7.3. La carte des qualités des sols	151
7.4. Nature des relations entre les paramètres déterminants de la distribution spatiale des pratiques	154
7.4.1. Influence de la distance au village sur les pratiques culturales.....	155
7.4.2. Influence de la qualité des sols sur le choix des pratiques culturales.....	156
7.4.3. Influence des pratiques culturales sur la production moyenne annuelle sur la zone d'étude.....	157
7.4.4. Influence de la qualité des sols sur le rendement annuel dans la zone d'étude.....	159
7.5. Conception et mise en oeuvre du modèle d'utilisation agricole de l'espace	160
7.5.1. Conception du modèle d'utilisation agricole de l'espace.....	160
7.5.2. Formalisation du modèle théorique et développement du logiciel de simulation SIGEST.....	161
7.6. Les terroirs modélisés	163
7.7. Paramétrisation du modèle spatial d'utilisation agricole	167
7.7.1. Le fichier de description de territoire utilisé par SIGEST	167
7.7.2. Paramétrisation des besoins en mil par terroir villageois.....	170
7.7.3. Paramétrisation de la distance seuil	170
7.7.4. Paramétrisation de l'effort lié aux pratiques culturales appliquées	173
7.7.5. Paramétrisation de la production en mil	175
QUATRIÈME PARTIE : UNE NOUVELLE STRUCTURATION DE L'ESPACE POUR UNE INTEGRATION DES USAGES MULTIPLES.....	179
PREAMBULE	180
Chapitre 8 : LES UNITES DE PRATIQUES HOMOGENES (U.P.H)	181
8.1. Les cartes des Unités de Pratiques Homogènes (U.P.H)	181
8.2. Validations et limites du modèle	188
Chapitre 9 : LES UNITES PAYSAGERES (U.P).....	191
9.1. Détermination des Unités Paysagères (UP)	191
9.1.1. Principes de détermination des Unités Paysagères	191
9.1.2. Cartes intermédiaires pour la construction des U.P.....	192
9.2. La carte des Unités Paysagères (U.P)	199
9.3. Biomasses herbacée et ligneuse sur les différentes Unités Paysagères	202
9.3.1. Estimation des ressources végétales dans les jachères.....	202
9.3.2. Estimation des ressources végétales dans les champs cultivés	204
9.3.3. Estimation des ressources végétales sur les plateaux cuirassés.....	206
Chapitre 10 : LES UNITES SPATIALES DE REFERENCE (U.S.R).....	209
10.1. Carte des Unités Spatiales des références (U.S.R)	209
10.1.1. Construction de la carte des USR	209
10.1.2. Carte des USR	210
10.2. Les attributs des USR	213
10.3. Bilan de l'activité agricole sur la sensibilité des sols à la dégradation	215
10.3.1. Construction d'un indice de sensibilité des sols à la dégradation par USR.....	215
10.3.2. Carte d'indice de sensibilité des sols à la dégradation	218
CINQUIÈME PARTIE : BILAN SPATIALISE DU MULTI-USAGE SUR UN ESPACE COMMUN	223
PREAMBULE	224

Chapitre 11 : MODELISATION SPATIALE DU FONCTIONNEMENT PASTORAL.....	227
11.1. Problématique pastorale	227
11.1.1. Deux ressources obligatoires : l'eau et le fourrage.....	227
11.1.2. Les méthodes d'élevage : incidence sur les productions pastorales	228
11.1.3. Evolution des systèmes pastoraux au Sahel et au Niger	229
11.1.4. Problématique pastorale au Niger et sur le site de Banizoumbou.....	230
11.2. Méthodes de détermination spatiale des prélèvements pastoraux	231
11.2.1. Les données disponibles	231
11.2.2. Chaîne de traitements des données	233
11.3. Les prélèvements fourragers dans un espace agro-pastoral	234
11.3.1. Les prélèvements fourragers saisonniers	234
11.3.1.1. Cartes saisonnières des prélèvements fourragers.....	234
11.3.1.2. Analyse des fluctuations de l'effectif global des animaux au cours des saisons.....	236
11.3.1.3. Logique de la distribution spatiale des prélèvements sur la zone d'étude	239
11.3.2. Les prélèvements annuels	240
11.4. Détermination spatiale des ressources pastorales	244
11.5. Bilan pastoral spatialisé	248
Chapitre 12 : MODELISATION SPATIALE DE L'UTILISATION DU BOIS-ENERGIE	253
12.1. Problématique du bois-énergie	253
12.1.1. L'arbre au Sahel : de multiples usages traditionnels	253
12.1.2. Augmentation du besoin en bois-énergie : une préoccupation au Niger	254
12.1.3. Problématique bois-énergie en zone rurale au Niger et sur le site de Banizoumbou	256
12.2. Méthodes de détermination spatiale des prélèvements en bois-énergie	257
12.2.1. Données disponibles	257
12.2.2. Chaîne de traitements des données	257
12.3. Les prélèvements en bois-énergie dans un espace multifonctionnel	259
12.4. Détermination spatiale des ressources forestières	262
12.5. Bilan bois-énergie spatialisé	266
Chapitre 13 : BILAN SPATIALISE DU MULTI-USAGE : RISQUE DE DESERTIFICATION.....	271
13.1. Comparaison des bilans par module	271
13.2. Un Indice de Risque de Désertification (I.R.D)	274
13.2.1. Construction de l'indice de risque de désertification	274
13.2.2. Carte d'Indice de Risque de Désertification (I.R.D)	276
SIXIÈME PARTIE : CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	281
Chapitre 14 (conclusion générale) : COMPRENDRE UN PAYSAGE ET PRONOSTIQUER SON EVOLUTION POUR UN DEVELOPPEMENT « DURABLE »	283
14.1. Un principe méthodologique fondamental pour la compréhension d'un paysage	283
14.2. Un Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle locale	284
14.3. Application à une zone agro-pastorale du Sahel nigérien	286
14.3.1. Spécificités des zones sahéliennes et de la zone d'étude	286
14.3.2. Principes de construction des USR sur la zone d'étude.....	287
14.3.4. Les bilans spatialisés du fonctionnement interactif ressources-usages	291
14.4. Apport du SIE pour le développement « durable »	292
Chapitre 15 : PROJETS DE RECHERCHE ET D'APPLICATION.....	295
15.1. Vers une « complexification » du SIE	295
15.2. Vers une simplification du SIE	296
15.3. Méthodologie et projets d'application	297
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	299
LISTE DES FIGURES	313
LISTE DES TABLEAUX	319
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	323

ANNEXE 1 : LISTE DES ESPECES HERBACEES ET LIGNEUSES (NOMENCLATURE J. BERHAUT, FLORE DU SÉNÉGAL, EDITIONS CLAIRAFRIQUE, DAKAR).....	327
ANNEXE 2 : QUESTIONNAIRE POUR LES ENQUETES SOCIO-ECONOMIQUES AUPRES DES EXPLOITATIONS.....	331
ANNEXE 3 : CARTE D'OCCUPATION DES TERRES AU 1/50000 , SITE DE BANIZOUMBOU, NIGER (D'APRÈS LOIREAU, 1993).....	337
ANNEXE 4 : QUATRE EXEMPLES DU DICTIONNAIRE DES FONCTIONS (D'APRÈS BODICHON ET AL, 1997).....	343
ANNEXE 5 : DIAGRAMME FONCTIONNEL GENERAL D'UN OBSERVATOIRE ROSELT .	349
ANNEXE 6 : DIAGRAMME OBJET DU MODULE AGRICOLE	353
ANNEXE 7 : FORMULAIRE D'ENQUETES SUR PARCELLES TRANSECTS	357
ANNEXE 8 : FORMULAIRE D'ENQUETES SUR PARCELLES EXPLOITATIONS	361
ANNEXE 9 : CARTES MORPHO-PEDOLOGIQUES DE NAGUMO	369
ANNEXE 10 : ENTREES ET SORTIES DU MODELE SIGEST	373
ANNEXE 11 : COPIE D'ECRAN DU LOGICIEL SIGEST	377
ANNEXE 12 : BIOMASSES HERBACEES ET LIGNEUSES DANS LES JACHERES (D'APRES DELABRE, 1998), SELON LEUR POSITION GEOMORPHOLOGIQUE ET LEUR AGE	381
ANNEXE 13 : BIOMASSES EPIGEES DANS LES CHAMPS CULTIVEES (D'APRES DE ROW, 1998) SELON LEUR POSITION GEOMORPHOLOGIQUE ET LES PRATIQUES AGRICOLES APPLIQUEES (D'APRES LOIREAU)	385
ANNEXE 14 : DIAGRAMME OBJET DU MODULE PASTORAL (D'APRES FAURE, 1997) ...	389
ANNEXE 15 : CARTES SAISONNIERES DE PRELEVEMENTS FOURRAGERS	393
ANNEXE 16 : FORMULAIRE D'ENQUETES AUPRES DES TROUPEAUX TRANSHUMANTS	399
ANNEXE 17 : FREQUENTATION RELATIVE DES DIFFERENTS MILIEUX POUR LA PATURE ET DUREE RELATIVE DE LA PATURE DANS CHAQUE TYPE DE MILIEU (D'APRES FAURE, 1997)	403

TITLE :

SPACES-RESSOURCES-USES : SPATIALIZATION OF DYNAMIC INTERACTIONS BETWEEN SOCIAL AND ECOLOGICAL SYSTEMS IN NIGERIAN SAHEL

ABSTRACT :

This work object was to understand the landscapes structure and dynamic in order to predict their evolution. This studie has tackled through an approach of interactions dynamic and spatIALIZATION between both systems, biophysical and socio-economic, based on ressources and human practices dynamic. Researches are going to differentiate and propound methods in order to characterize for one hand, from satellital images, lands spaces (Lands Units), subject to biophysical factors and present and past land use, and for the other hand, owing to spatIALIZED models, homogeneous practices spaces (Homogeneous Practices Units), refering to the « where-when and how » human applies his techno-managerial system to produce and satisfy his needs. Crossing both plans determines *common spatial units* on which are quantified ressources production and human taking off. A modular approach (one module for each type of use : agricultural, breeding, fuel recolection) is allowed to establish a spatIALIZED modular balance. Crossing both modular results leads to a global view of the system fonctionnig. This systemic approach was integrated in a Local Environment Information System.

This research programme has been applied to a local site in the Sahel region of Niger, on which many teams of ORSTOM (agronomists, « pédologues », hydrologists) have been intervened, in collaboration with the team of d'Herbes, ecologist at ORSTOM. The data-processing developments were implemented in collaboration with Gayte, at present at ESRI France.

KEY-WORDS :

- 1- Uses
 - 2- Ressources
 - 3- Space
 - 4- Interactions
 - 5- Landscape
 - 6- System
 - 7- Dynamic
 - 8- Sahel
 - 9- Niger
-

RESUMÉ :

L'objectif de ce travail était de comprendre la structure et la dynamique des paysages et se donner les moyens de pronostiquer leur évolution. Cette étude a été abordée à travers une approche de la dynamique et de la spatialisation des interactions entre les systèmes écologiques et sociaux, centrée sur la dynamique entre ressources et usages. Les travaux ont conduit à différencier et proposer des méthodes pour caractériser d'une part, à partir d'images aériennes et satellitales, des espaces paysagers (Unités paysagères), soumis à des facteurs biophysiques et à l'utilisation passée et actuelle des terres, et d'autre part, par modélisation, des espaces de pratiques homogènes (Unités de Pratiques Homogènes) traduisant les modes d'intervention des sociétés rurales sur leur milieu. La confrontation de ces deux espaces conduit à définir des Unités Spatiales de Référence, sur lesquelles sont quantifiées simultanément la nature et la quantité de ressources produites, ainsi que la nature et l'intensité des prélèvements opérés par les populations. Une approche modulaire par grand type d'utilisation des terres (agricole, pastorale et forestière) a permis d'établir des bilans spatialisés pour chacun des modules, leur confrontation aboutissant à la compréhension des paysages actuels, à travers un bilan global multi-usage. Cette approche systémique a été intégrée dans un Système d'Information sur l'Environnement.

Ce programme de recherche a été conduit sur le site de Banizoumbou au Niger, sur lequel sont intervenues de nombreuses équipes de l'ORSTOM, agronomes, pédologues et hydrologues, en collaboration avec l'équipe de M. d'Herbès, phyto-écologue à l'ORSTOM. Les développements informatiques ont été réalisés en collaboration avec M. Gayte, actuellement à ESRI-France.

DISCIPLINE (CNU) : Géographie physique, humaine, économique et régionale (section 23)

MOTS-CLÉS :

- 1- Usages
 - 2- Ressources
 - 3- Espace
 - 4- Interactions
 - 5- Paysage
 - 6- Système
 - 7- Dynamique
 - 8- Sahel
 - 9- Niger
-

ADRESSE DU LABORATOIRE OU DE L'UFR :

Laboratoire :
Maison de la Télédétection
500 rue Jean-François Breton
34093 Montpellier Cedex 5

UFR : UFR de Géographie
Université Paul Valéry, Montpellier III
Route de Mende
34199 Montpellier Cedex 5