UNIVERSITE ABDOU MOUMOUNI DE NIAMEY
Faculté des Lettres et Sciences Humaines
Département de Géographie

MEMOIRE DE DEA

Milieux et sociétés des espaces arides et semi-arides : Aménagement – Développement

Option : Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles

L'évolution de l'occupation des sols à l'échelle des bassins versants de Wankama et Tondi Kiboro : Quelles conséquences sur les débits et l'évapotranspiration réelle (ETR)

Présenté et soutenu par **SOULEY YERO Kadidiatou**
Année académique **2007-2008**

Sous la direction de :

BOUZOU MOUSSA Ibrahim
DESCROIX Luc

Membres du jury :

Remerciements

Ce travail a été effectué à l'institut de Géographie Alpine de Grenoble dans le cadre du programme MIRA (Moblité Internationale Rhône – Alpes) conjoint avec le Département de Géographie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey.

Je remercie tout d'abord Mr DESCROIX Luc qui, depuis le début de mes travaux jusqu'à la soutenance a encadré ce travail avec un enthousiasme et une disponibilité sans faille.

J'exprime aussi toute ma gratitude à Mr BOUZOU MOUSSA Ibrahim qui a accepté de diriger ce travail depuis Niamey. Sa rigueur dans l'analyse du travail a grandement contribué à la qualité de ce travail.

Je remercie bien sincèrement Mr……pour avoir accepté de présider ce Jury et Mr ….d'avoir accepté de rapporter mon travail.

J'exprime toute ma reconnaissance à Michel ESTEVES qui m'a donné les photos prises d'avion (en 1993) et les données mesurées sur le bassin de Tondi Kiboro entre 1991 et 1994. Je remercie aussi Isabella ZIN qui a su me débloquer lors du calage des images.

Je remercie Mr FARAN MAIGA Oumarou de ses conseils et de son encouragement.

Je remercie également Franck GIAZZI de ses conseils et de son soutien.

Je remercie Aurélien CLAUDE de sa contribution.

J'aimerais ensuite adresser toute ma gratitude aux membres de l'équipe hydrologique du département de Géographie et de l'IRD de Niamey : Ibrahim MAMADOU, Eric Le BRETON, Abba BACHIR, MALAM Abdou Moussa.

Pour finir je tiens à remercier toutes les personnes qui à leur manière ont contribué à la réalisation de ce travail. En un mot merci à tous !

A mes parents, SOULEY YERO, et HALIMA BOUREIMA.

A mes frères et sœurs.

A mes amies.

Tables des Matières

Résumé ……..1
Abstract …… ……2
INTRODUCTION ……..3
1. CADRE GENERAL DE L'ETUDE ……3
2- ETAT DE L'ART ET PROBLEMATIQUE …….5
2-1- Hypothèses de travail ……...11
2-2- Objectifs de l'étude …….....11
3- Méthode générale et plan d'étude ……12
3-1- Méthodologie générale …….....12
3-2- Organisation de l'étude ……..13
Chapitre I : Les grands traits du milieu biophysique des sites étudiés……..14
1.1 L'environnement Physique ……...14
1.1.1. Géologie …….....14
1.1.2.Géomorphologie, sol, vegetation ……..15
1-1-2-1- Les sommets cuirassés des plateaux ……..15
1-1-2-2- Les Talus ou versants rocheux ……..17
1-1-2-3- Les formations sableuses éoliennes ……17
1-1-2-3-1- Les glacis ……..17
1-1-2-3-2- Les jupes sableuses ……..18
1-1-2-4- Les bas-fonds ou vallées fossiles ……..18
1-2- les caractéristiques climatiques ……..19
1-2-1- Les precipitations ……20
1-2-2- Les temperatures ……21
1-2-3- L'évapotranspiration potentielle (ETP) …….....22
1-2-4- L'hydrologie……23
1-3- Les caractéristiques des bassins versants étudiés ……..24
1-3-1- Le bassin versant de Tondi Kiboro ……24
1-3-2- Le bassin versant de Wankama ……..24

Chapitre II : Cartographie de l'évolution de l'occupation des sols entre 1950 et 2007
…….....26
2-1- Sites d'analyses diachroniques …….26
2-1-1- Le site de Wankama …….....26
2-1-1-1- Situation en 1950 …….27
2-1-1-2- Situation en 1975 …….29
2-1-1-3- Situation en 1992 …….31
2-1-1-4- Situation en 2005 …….21
2-1-1-5- Bilan de l'évolution …….34
2-1-2- Le site de Tondi Kiboro …….35
2-1-2-1- Situation en 1965 …….36
2-1-2-2- Situation en 1993 …….37
2-1-2-3- Situation en 2007 …….39
2-1-2-4- Bilan de l'évolution …….....40
2-2- Analyse comparée des résultats ……....41
CHAPITRE III : LES CONSEQUENCES HYDROLOGIQUES DES CHANGEMENTS D'USAGE DES SOLS (DEBITS, ETR) …….43
3-1- Définitions des notions analysées …….43
3-1-1- Débit …….43
3-1-2- Evapotranspiration réelle (ETR) …….....43
3-2- Inventaires des instruments des bassins versants …….44
3-3- Etude de l'évolution des débits entre les périodes 1991-1994 et 2004-2008 au niveau du bassin versant de TondiKiboro et 2004-2008 pour le bassin de Wankama …….48
3.3.1. Etude de l'évolution des débits entre les périodes 1991-1994 et 2004-2008 au niveau du bassin versant de Tondi Kiboro……..48
3.3.2. Etude de l'évolution des débits entre les périodes 2004-2008 au niveau du bassin versant de Wankama …….....54
3-4- Etude de l'évolution de l'évapotranspiration (ETR) sur les décennies 1990-1994 et 2004-2007 au niveau des deux bassins versants …….....58
Discussion …….60
Conclusion et Perspectives …….....63
Bibliographie …….65

Tables des Matières……i

Liste de tableaux……iv

Tables de figures ……...v

Tables de photos……...viii

Sigle et abréviation…….. .ix

Liste de tableaux

Tableau 1 : Modifications survenues sur les différentes classes d'occupation des sols de 1950 à 2005 ……..35

Tableau 2: Modifications survenues sur les différentes classes d'occupation des sols de 1965 à 2007 ……..41

Tableau 3 : Pluie, écoulement et coefficient d'écoulement sur le bassin versant de Tondi Kiboro entre les deux périodes d'observations ……50

Tableau 4: Pluie, écoulement et coefficient d'écoulement sur le bassin versant de Wankama entre la période 2004-2008 …….. .54

Tableau 5: Comparaison de la pluie, de l'écoulement et du coefficient d'écoulement sur les bassins versants de Tondi Kiboro et Wankama pour la période 2004-2008 …….....56

Tableau 6 : Coefficient de ruissellement et taux d'érosion mesurés sur des parcelles de 10 et 100 m² des bassins de Wankama et Tondi Kiboro (moyenne 2004-2008) ……..57

Tableau 7 : Durée total d'écoulement en heure ……...61

Tables de figures

Figure 1 : Localisation des zone des étudiés……4

Fig. 2 : Histogrammes des cumuls annuels des précipitations de la station de Niamey Aéroport (1950-2002). .. . …….....20

Fig. 3 : Courbes des températures moyennes mensuelles maximales et minimales de Niamey Aéroport (1975-2002) ……..21

Fig. 4 : Courbe des cumuls annuels de l'évapotranspiration ETP (mm) pour Niamey aéroport de 1977 à 2004 …….....22

Fig. 5 : Histogrammes des cumuls moyennes mensuelles de l'ETP de Niamey Aéroport (1977-2004)……22

Fig.6: Carte d'occupation des sols du bassin versant de Wankama en 1950 …….....27

Fig.7 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de Wankama en 1975 ……29

Fig.8 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de Wankama en 1992 …….....31

Fig.9 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de Wankama en 2005 ……..33

Fig.10: Evolution des superficies des classes d'occupation des sols de 1950 à 2005 …….....34

Fig.11 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de TondiKiboro en 1965 ……...36

Fig.12 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de TondiKiboro en 1993 ……37

Fig.13 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de TondiKiboro en 2007 ……39

Fig.14: Evolution des superficies des classes d'occupation des sols de 1965 à 2007 ……..40

Fig.15: Histogrammes comparés de l'évolution de l'occupation des sols au niveau des deux bassins versants entre 1992-1993 et 2005-2007 ……..42

Fig.16 Instrumentation des deux bassins versants expérimentaux Wankama et TondiKiboro. ……..45

Fig.17 : Evolution de l'occupation des sols entre 1993 et 2007 sur le bassin versant de Tondi Kiboro ……49

Fig.18 : Relation pluie / lame écoulée pour la période 1991-1994 sur le bassin versant de Tondi Kiboro ……51

Fig.19 : Relation pluie / lame écoulée pour la période 2004-2008 sur le bassin versant de Tondi Kiboro ……53

Fig.20 : Relation pluie / lame écoulée pour la période 2004-2008 sur le bassin versant de Wankama ……..55

Tables de photos

Photo 1 : Cuirasse ferrugineuse sur la surface du plateau ……16

Photo 2 : Lithosols sur la surface du plateau …….....16

Photo 3 : Talus avec ravines ……..17

Photo 4 : Glacis encroûté et dégradé ……..18

Photo 5 : : Ravine sur versant sableux …….....18

Photo 6 : Dépôt de sable dans la vallée……..19

Photo 7 : Vue aérienne de la zone d'épandage ……...25

Photo n°8 : Pluviographe …….....46

Photo n°9 : pluviomètre ……..46

Photo n°10 **:** Station hydrométrique ……...47

Sigles et abréviations

AMMA : Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine

AMZE : Amont zone d'épandage

CE : Coefficient d'écoulement

ETM : Evapotranspiration maximale

ETP : Evapotranspiration Potentielle

ETR : Evapotranspiration réelle

GPS : Geographical Positional System

TK : Tondi Kiboro

WK : Wankama

Résumé

Les sécheresses successives ont eu certes des conséquences sur la végétation, mais les causes anthropiques liées essentiellement aux activités agro-pastorales, aux déboisements, (coupes pour le bois de chauffe, défrichements) et à la réduction de la pratique des jachères sont en grande partie responsables de la régression de cette végétation. La présente étude évalue les changements de l'occupation des sols entre 1950 et 2007. La méthodologie est basée sur l'interprétation des photographies aériennes du drone PIXY à différentes dates et d'images Corona ainsi que d'une scène satellitaire SPOT panchromatique de 2005 concernant les sites étudiés. En 1950 la couverture végétale était importante et diversifiée. En 2007 la végétation a régressé, les sols dégradés sont devenus nombreux.

Cette étude relate aussi l'évolution du bilan hydrologique pendant les deux périodes P1 (1991-1994) et P2 (2004-2008). L'analyse des écoulements sur chaque année met en évidence une variation des lames écoulées et du coefficient d'écoulement.

L'analyse comparée des coefficients d'écoulement entre les deux bassins versants pour la période 2004-2008 montre que sur la moyenne des cinq ans le coefficient de ruissellement est de 0,46 à la station amont de TK et 0,26 en la station homonyme de Wankama. Et de 0,26 en aval de TK et 0,11 à la station aval de Wankama appelée AMZE.

L'augmentation des débits peut s'expliquer par les changements intervenus sur le plan de l'occupation des sols sur les bassins versants.

Mots clés : Bassin versant, occupation du sol, bilan hydrologique

Abstract

Succesive droughts had severe consequences on vegetation cover ; however, Human causes, mainly linked to breeding and crops, to deforestation (land clearing and wood harveseting) and to the decreasing use of fallows practice, are mostly responsible to the reduction of vegetation cover. This current study evaluates changes in land use/land cover from 1950 to 2007. Materials and methods are based on the analysis of aerial pictures taken from PIXY (a drone conceived by IRD), from planes and from Corona US satellite, as well as satellites SPOT panchromatic scenes. In 1950 the square degree of Niamey had a diversified and important

vegetation cover. In 2007, vegetation cover has strongly diminished and large extension of bare and degraded soils appeared.

This study also focuses on the evolution of hydrological balance between the 1991-1994 period (P1) and the 2004-2008 one (P2). The analysis of stream flows and discharges highlights changes in runoff depths and runoff coefficients.

The compared analysis of runoff coefficients between the two studied experimental basins during P2 period shows that the averaged runoff coefficient is respectively 0.46 in Tondi Kiboro and 0.26 in Wankama upper basins, while it is only resp. 0.26 and 0.11 for both downstream hydrological stations (involving the whole watershed in each case). The increase in discharges can be explained by the land use and land cover changes in the watersheds.

Key words: catchments, land use/land cover, hydrological balance

INTRODUCTION

1- CADRE GENERAL DE L'ETUDE

La sécheresse au Sahel pendant les années 1970 (1972-1974) et les années 1980 a entraîné un grand nombre de chercheurs (Nicholson, 1981 ; Golland et al. 1986 ; Lamb, 1983 ; Lamb et Peppler, 1992) à évaluer les mécanismes plausibles associés à ce phénomène (AMMA, 2002).

L'eau est toujours en équilibre précaire avec les écosystèmes arides et semi-arides et cet équilibre est actuellement rompu par l'homme à des rythmes alarmants sur des vastes étendues. En effet, le surpâturage, l'extension des superficies cultivées due à la croissance démographique, le prélèvement du bois de feu ont entraîné une dégradation de la couverture végétale naturellement clairsemée des bassins versants sahéliens, au point que les débits des rivières qu'ils alimentent sont devenus torrentiels avec un important contenu des sédiments en saison humide. Pour certains auteurs, les changements d'usage des sols expliquent 60% de l'augmentation du débit des cours d'eau observée depuis quelques décennies depuis. Ces changements d'usage des sols impliquent de facto des modifications d'albédo, de rugosité mais aussi des changements de teneur en eau du sol et d'évapotranspiration.

Une meilleure connaissance de la variabilité de la pluie et de ses interactions avec l'environnement (les effets anthropiques sur les changements du couvert végétal) est donc nécessaire pour mieux comprendre l'impact de l'usage des sols sur le bilan hydrologique.

C'est dans cette perspective que le programme AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Ouest Africaine) a entrepris une série de recherche qui vise à mettre en relation les interactions entre le climat, le sol et la végétation en impliquant le rôle fondamental de l'homme dans la dynamique de son milieu.

C'est dans le cadre de ce programme AMMA que s'inscrit le travail qui est présenté ici. **Le thème en est l'évolution de l'occupation des sols et ses conséquences sur les débits et l'ETR à l'échelle des bassins versants de Wankama et Tondikiborou**. On observe au niveau de ces deux bassins versants, comme dans leur région et une grande partie du Sahel, des modifications profondes du couvert végétal et de l'utilisation des sols. Ces

changements d'usage des sols entraînent une modification du bilan hydrologique de ces deux bassins versants. A une échelle plus régionale, il est possible que cela entraîne aussi une modification du régime des pluies.

Les bassins de Wankama et Tondikiborou, objets de notre étude, sont situés dans la partie centre Est du dégré carré de Niamey. Cette région du dégré carré s'étend au sud-Ouest du Niger entre les latitudes 13 °à 14° N et les longitudes 2° à 3° E (cf. figure1 : localisation des sites d'étud e).

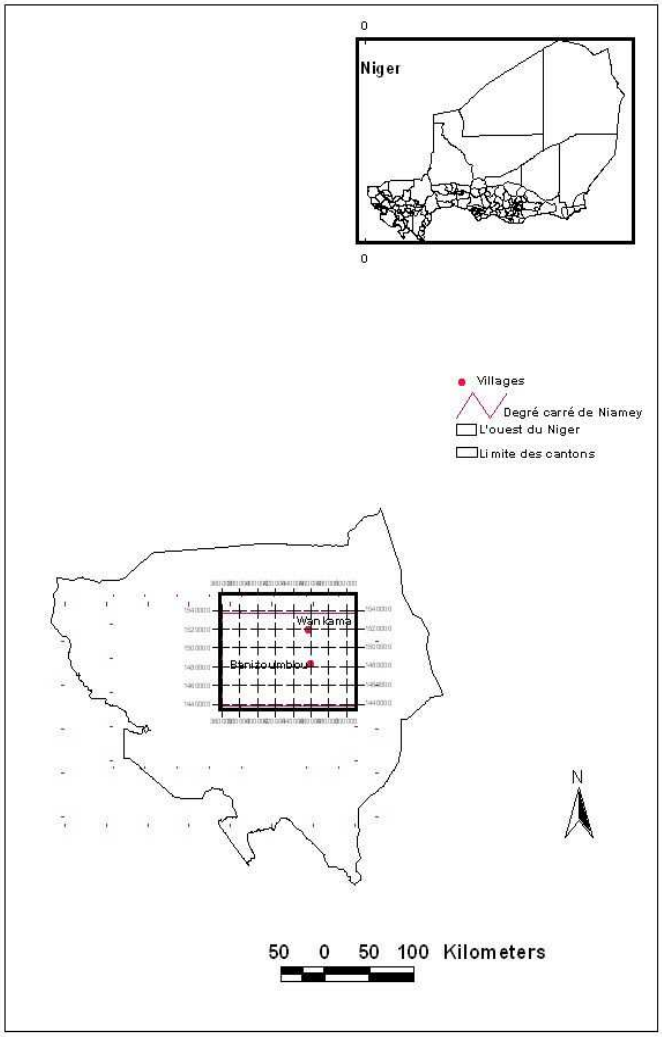


Fig. 1 : Localisation des sites étudiés

2- ETAT DE L'ART ET PROBLEMATIQUE

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 de climats hyper-arides, semi-arides et même, au cours des trois derniers millions d'années, subhumides (Le Houérou, 1993) cité par (Loireau, 1998).

A plus petite échelle temporelle, les climats depuis la fin des Glaciations (-20000 BP) ont continué à évoluer, avec des phases plus ou moins froides ou chaudes. Certains épisodes sont qualifiés de crises climatiques.

Ces crises climatiques qui se sont succédées dans le temps constituent un phénomène marquant de l'histoire climatique mondiale (Yao, 1997). Pour ce dernier, la variabilité de la pluviosité est l'une des conséquences qui accompagnent ces crises climatiques.

Depuis la fin des années 1960, la région sahélienne est gravement affectée par le déficit pluviométrique le plus important, tant dans son intensité que dans sa durée, jamais enregistré au cours du 20ème siècle à la surface du globe (Hulme, 1996 ; Morel, 1998 ; Dai et al. 1998) cité par Hountondji et al. ; (2004). Ces déficits pluviométriques sont d'autant plus graves qu'ils s'ajoutent aux facteurs engendrés par l'accroissement de la pression humaine.

Dans son exposé sur l'origine de perturbations pluviométriques au Sahel DEWISPELAERE, (1990) citant (CHARNEY, 1975 et 1977) montre que la mise à nu des sols par surpâturage ou culture intensive entraînerait une augmentation de l'albédo, dont l'élévation perturberait les processus thermo convectifs à l'origine des pluies. L'évolution de la végétation pourrait aggraver la dégradation des terres par un phénomène de rétroaction entre la surface du sol et l'atmosphère. Cette modification du paysage peut ainsi avoir une incidence sur les régimes de flux de convections et les régimes pluviométriques à l'échelle locale. Des études menées à grande échelle, au cours desquelles des modèles numériques de la circulation générale ont été appliqués à un albédo artificiellement élevé au dessus des terres arides, semble indiquer qu'une importante augmentation de l'albédo au Sahel pourrait réduire les précipitations.

Considérant l'importance des effets rétroactifs de meso-échelle entre les systèmes précipitants convectifs et l'humidité du sol (CLARTS et al. 2004) cité par Massuel

(2005), des hypothèses ont été formulées selon lesquelles les changements environnementaux d'origine anthropique (dégradation des surfaces et désertification) ont contribué significativement à la baisse de la pluviométrie au Sahel.

Pour NICHOLSON (2001) ce processus serait vraisemblablement confiné à des échelles relativement faibles, tandis que les indices actuels montrent que les changements environnementaux à grande échelle sont largement plus contrôlés par les variations naturelles du climat, que par les modifications anthropiques du sol. Pour cette auteure la contribution de la dégradation des sols d'origine anthropique à la baisse de la pluviométrie semble négligeable face à la variabilité de la pluie engendrée par les perturbations de la mousson OUEST AFRICAINE. Dans cette perspective BUISSON (1988), MAHE et CITEAU (1993) cités par YAO (1997) ont par exemple mis en évidence le rôle important de la position de l'anticyclone de Sainte-Hélène sur les variations de la qualité du flux de la mousson.

La dynamique atmosphérique est un facteur important de contrôle de la pluviométrie. Mais au-delà des fluctuations naturelles d'origine dynamique, il est certain que les hommes modifient eux mêmes les conditions locales de la pluviométrie en diversifiant le paysage (YAO, 1997).

D'après les travaux de Taylor et Lebel (1998) sur les données pluviométriques EPSAT-Niger, la dynamique de la végétation peut influencer les pluies à des échelles plus fines (AMMA, 2002). Plusieurs auteurs insistent sur le fait que les modifications du couvert végétal constituent un facteur important de détermination de la vulnérabilité des écosystèmes et des paysages aux changements à l'environnement. En effet, la destruction du couvert végétal peut entraîner une réduction de l'humidité du sol, et donc de l'évaporation en augmentant l'albédo. Elle a aussi pour effet d'accroître la température de l'air au sol et à proximité du sol, tout en réduisant le bilan radiatif en surface et en aggravant le déficit du bilan radiatif des systèmes surface-atmosphère à des échelles locales. Cela entraîne une augmentation de la subsidence atmosphérique et, partant, une diminution des précipitations.

L'espace sahélien apparaît comme un milieu particulièrement vulnérable. Les écosystèmes sahéliens sont soumis à de nombreuses contraintes notamment les changements d'usage des terres, les demandes en ressources et l'augmentation de la population. Ce qui entraîne une variation de leur étendue et de la structure de leur répartition. Les paysages sont donc de plus en plus fragmentés. Ces effets de

l'évolution de l'occupation des sols pourraient avoir de lourdes conséquences sur le régime des précipitations mais également sur l'évapotranspiration et, de manière bien plus forte et déjà avérée, le ruissellement et donc le débit des cours d'eau.

La proportion des sols nus ou surfaces dégradées s'est considérablement accrue depuis 1950 (Massuel, 2005). L'agriculture en modifiant localement le taux de couverture végétale des sols participe directement aux bilans hydrologiques locaux ou régionaux et a donc un impact sur le renouvellement des ressources hydriques qui peuvent être disponibles pour l'ensemble des activités humaines (Lemaire et al., dans sécheresse et agriculture).

Le Sud Ouest du Niger connaît une forte croissance démographique qui se traduit par un profond changement dans l'occupation des sols. La végétation naturelle recule fortement au profit des cultures, des jachères, et, de plus en plus, des terrains dégradés, sols dénudés et érodés par l'érosion hydrique et l'érosion éolienne.

A l'échelle du bassin versant l'effet du changement climatique varie selon les propriétés physiques et la végétation et peut s'ajouter aux modifications du couvert terrestre.

Les études hydrologiques ont montré que les coefficients d'écoulement ont fortement augmenté sur certains hydro-systèmes du sahel, en dépit d'une diminution marquée de la pluviométrie régionale. Ces ruissellements apparaissent plus favorables dans les zones caractérisées par une diminution du couvert végétal, une extension des surfaces cultivées et des surfaces dégradées. En fait, on observe deux tendances contradictoires suivant l'échelle considérée :

- Le débit des grands cours d'eau ouest-africains a considérablement baissé ces dernières décennies du fait de la baisse de la pluviométrie (-60% pour le Sénégal à Bakel, -55 % pour le Niger à Koulikoro,) ; la baisse des débits peut être deux fois plus forte que celle de la pluviométrie (cas du Sénégal ou du Niger amont à Koulikoro).
- Dans le même temps, on constate a contrario une forte augmentation des ruissellements et écoulements dans la plus grande partie du Sahel, à l'échelle de la parcelle, du petit bassin versant, et des bassins de plusieurs dizaines de milliers de km2 (Nakambé, Sirba, Gorouoi, Dargol, etc.). On suppose que cette augmentation est liée aux changements d'usage des sols.

Le Breton, (2005) a fait état du rôle du défrichement dans la mise à nu quasi-totale des plateaux à l'est de Niamey. En se référant à des études antérieures (Le Breton,

2004), il a conclu à une diminution de 65% des surfaces végétalisées sur une fenêtre d'étude d'environ 30 000 km² d'un plateau représentatif entre 1950 et 2003 avec une accélération des ces phénomènes entre 1992 et 2003.

Selon Loireau (1998), la proportion des terres cultivées en 1950 sur un terroir représentatif de 25 km² à 60 km à l'est de Niamey était de 30% contre plus de 95% en 1992. Il est vraisemblable en effet que la pression démographique entraîne la mise en culture accélérée des terres et éclairci le couvert végétal.

Hiernaux et al (2009 ???) a estimé la baisse de biomasse à 2,7 % par an dans le Fakara (région à 80 km à l'est de Niamey). La FAO (2006) l'estime à 3,7 % par an pour l'ensemble du Niger.

Ces transformations accroissent l'érodibilité des sols et par conséquent les débits.

Albergel (1987) avait le premier observé une augmentation des coefficients de ruissellement et des débits sur les bassins expérimentaux hydrologiques de la zone sahélienne du Burkina Faso.

Olivry, 1987 avait quant à lui défini la manière dont s'accroissent, en zone soudanienne, les coefficients de tarissement des cours d'eau au fur et à mesure que les réserves en eau du sol s'amenuisaient.

Lienou et al (2005) ont montré la forte dégradation des sols dans la zone sahélienne du Nord Cameroun, causant de forts transports solides et le comblement des barrages. Des études menées à partir d'exemple de rivières au Burkina Faso, au Mali et au Niger ont mis en évidence la relation directe entre l'augmentation des surfaces cultivées et des sols nus et l'augmentation des écoulements (Mahé et al. 2003). Sur le bassin du Nakambé au Burkina Faso, les écoulements ont augmenté malgré la diminution des pluies observées depuis 1970. La même observation a été faite au Niger où l'on constate une augmentation des débits des affluents de rive droite du fleuve Niger ces dernières décennies (Mahé et al. 2003). On a par ailleurs remarqué dans le même temps une hausse du niveau de la nappe phréatique depuis 30 ans dans le bassin sédimentaire des Iullemenden, en rive gauche du fleuve (Leduc et al, 2001).

Amani et Nguetora (2002) ont remarqué qu'à Niamey le niveau de la crue d'été a dépassé le niveau de la crue d'hiver 4 fois depuis 1984, alors que cela ne s'était jamais produit entre 1923 et 1984. Ceci a été attribué à l'augmentation des écoulements des affluents de la rive droite du fleuve Niger.

Descroix et al 2009, ont synthétisé à l'échelle du Sahel l'évolution des débits des cours d'eau et des niveaux des nappes phréatiques en lien avec l'évolution du climat et surtout de l'occupation des sols, en montrant l'opposition franche entre secteur endoréique et exoréique, zones de socle et zones sédimentaire, secteurs sahéliens ou soudaniens.

Pour ces auteurs, cette augmentation des débits est sans nulle doute reliée à l'augmentation des surfaces de sol nu et la diminution de la végétation naturelle.

Dans l'ensemble on assiste en tout cas au Sud Ouest du Niger à une très forte baisse de la biomasse. Suite au programme scientifique AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), on a acquis la conviction que la surface continentale pouvait jouer un rôle sur le climat et le déroulement de la Mousson. Mais on ne comprend pas encore bien comment cela peut se produire. On pense que la végétation, principal élément variable de la surface, et celui qui conditionne tout du devenir de l'eau de pluie à son arrivée sur la surface du sol, est l'élément qui par sa présence et sa densité peut le plus avoir une influence éventuelle sur la pluie et sa localisation. En particulier, on pense que celle-ci peut influencer l'apparition, la dynamique et la localisation des systèmes précipitants par l'évapotranspiration qu'elle produit (qui réalimente la proche atmosphère en eau), par sa présence et la rugosité qu'elle constitue vis-à-vis des masses d'air et donc de la couche limite ; enfin on pense que son absence accroît suffisamment l'albédo terrestre pour influencer aussi ces éléments.

Une vision géographique de l'état du Sahel et de son évolution ne pourrait être complète sans une approche globale. Celle-ci peut se reposer sur des théories existantes concernant les relations entre l'homme et son milieu. La dégradation supposée des sols et de la végétation au Sahel semble contredire la théorie d'Ester Boserup (1970) *''more people, less erosion''*. En effet, Dumont et Jouve (1999), ont montré que l'augmentation de la densité de la population a une influence directe sur les transformations du milieu biophysique notamment sur la durée de la jachère et de la culture avec comme conséquence la dégradation du couvert forestier, des systèmes de productions et la baisse du rendement.

Roussel et Luxereau (1997) dans une étude réalisée au Niger central ont fait état de l'existence au ''temps d'avant'' d'une brousse qui avait un aspect de savane boisée, ou localement de forêt claire pluristratifiées. Selon les paysans (vieillards), en ce temps les villages étaient séparés par des brousses densément boisées et

giboyeuses. Mais avec la situation actuelle *'' il n'y a plus de brousse, les gens sont devenus nombreux, la terre est fatiguée et les pluies ont diminué''*.

Ces éléments sont corroborés par Guengant et Banoin (2003), qui ont calculé, pour l'ensemble du Niger, que les surfaces cultivées avaient été multipliées par 8 entre 1950 et 2000, en même temps que les rendements agricoles baissaient de 30%. Il est vrai que la densité démographique joue un rôle direct sur le rapport homme/terre. Et la conséquence logique d'une telle augmentation est la diminution des surfaces agricoles. Ces transformations accroissent aussi l'érodibilité des sols et par conséquent les crues.

Par ailleurs on note une série d'études (Rasmussen et al, 2001 ; Anyamba et Tucker, 2005 ; Hermann et al, 2005 ; Diello et al, 2005) prouvant un << reverdissement>> du Sahel. Ces études basées sur le NDVI (Indice de la Différence Normalisée de Végétation) montre un accroissement de la couverture végétale.

En fait, Hountondji et al (2004) puis Hein et al (2006) ont montré que ces études basées sur le NDVI surestimaient le reverdissement du Sahel. Ces auteurs contestent la méthode d'estimation de la couverture végétale à l'aide des données NDVI. Pour eux l'évaluation du NDVI avec l'utilisation des images satellites ne révèle pas la dégradation de la couverture végétale au Sahel car ces études ne tiennent pas compte de l'efficacité d'utilisation de l'eau (rain use efficiency) en terme de production de biomasse. Ces auteurs préconisent l'utilisation du rapport PPN/P (productivité primaire nette/pluie).

Il y'a toutefois certaines études ponctuelles qui montrent de réels progressions de la végétation dans des secteurs où des interventions des projets ont permis un réel reverdissement : Keita, Aguié (frontière Nigeria et Zinder), des bocages reconstitués au Burkina Faso, et des secteurs sous exploités du Sénégal oriental.

Mais la plupart des études basées sur les observations ou sur la photos interprétation des photographies aériennes (Chinen 1999 ; Loireau 1998 ; Le Breton 2004 ; Leblanc et al 2008 ; Bouzou et al en cours ; Dewispelaere 1990 ; Karambiri et al 2003 ; Hauchart 2008) montrent une nette dégradation de la végétation au Sahel.

Ada et Rockstrom (1993) ont montré que les terroirs villageois du Zarmaganda (région qui s'étend au nord de Niamey, en plein Sahel) occupaient tout l'espace disponible au début des années 1990, alors qu'ils n'en occupaient que 10% environ au début du 20ème siècle ; ces terroirs sont peu à peu devenus coalescent puis

occupent tout l'espace, ne laissant aucune possibilité d'étendre l'oekoumène et les cultures, et de moins en moins de place pour la jachère.
Et enfin les études en cours sur le fleuve Niger et ses environs (Le Breton, Mamadou et Amogu) montrent aussi une très forte dégradation des sols.

2-1- Hypothèses de travail

- L'évolution de l'occupation des sols est liée aux changements d'usage des sols et explique le bilan hydrologique des bassins et son évolution.

- La dégradation (destruction) du couvert végétal entraîne un affaiblissement de l'évapotranspiration qui pourrait avoir une influence sur le climat.

2-2- Objectifs de l'étude

L'objectif de ce travail est de mieux comprendre l'impact des changements d'usage des sols sur le bilan hydrologique à l'échelle locale des deux petits bassins versants de Wankama et TondiKiboro, et pour ce faire de produire des cartes d'occupation des sols à plusieurs dates à partir de la décennie 1950. Il s'agit plus spécifiquement :

1 - de mesurer l'évolution de l'occupation des sols durant cette période et d'en analyser les différences spatiales : quels bassins ont connu la plus forte dégradation de la végétation ? Où y a-t-il plutôt regain de la végétation naturelle ? Et temporelles : quelle période a connu la plus forte vitesse de dégradation ?

2- De déterminer si les changements d'usage des sols ont modifiés les conditions de l'écoulement à l'échelle d'un bassin de 0,1 km² entre le début des années 1990 (1990-1993) et la période actuelle (2004-2007),

3- de produire à partir des cartes d'occupation des sols, des cartes d'ETR théorique au vu des valeurs d'évapotranspiration mesurée dans les super sites lors de l'expérience AMMA; d'estimer en conséquence les éventuelles variations de l'ETR durant la période ; de mesurer la baisse de l'ETR simplement due à l'extension des zones de sol nu, où on peut estimer que l'ETR sera pratiquement

nulle. Ce dernier objectif n'a pas pu etre rempli mais elle fera partie de la suite de nos travaux.

3- Méthode générale et plan d'étude

3-1- Méthodologie générale

Il s'agit pour nous de faire une analyse de l'évolution des paysages, après les visites de reconnaissances sur le terrain et la recherche bibliographique.
L'essentiel de ce travail consistera à élaborer une étude diachronique de l'occupation des sols.
Il faut pour cela utiliser un Système d'Information Géographique (ArcGis et ArcView) et ses modules de traitement d'images.
La réalisation des cartes d'occupation des sols entre 1950 et 2007 permet d'appréhender les modalités d'évolution des paysages en 47 ans. Pour mieux comprendre les modifications paysagères il faut prendre en compte la dynamique du milieu. Cette dynamique résulte du changement climatique mais surtout des changements anthropiques persistants.
Le travail se fera à deux échelles différentes, nécessitant trois types de documents iconographiques. A l'échelle de ces deux bassins versants, on utilisera les images PIXY, les photos aériennes, et les images Corona.
Les comparaisons inter dates se feront sur les images redressées et classées sous le SIG.
Dans un deuxième temps, on établira, pour l'un des bassins, les relations pluie/débit pour la période 2004-2008, celles de la période 1991-1994 étant connues Esteves et Lapetite, (2003). Pour le bassin de Wankama, seules les relations pluie/débit actuelles sont disponibles
Dans un troisième temps, on appliquera aux classes d'occupation des sols déterminées en première partie, des données chiffrées d'ETR trouvées en bibliographie, qui auront été comparées avec celles des stations-tours de flux installés sur le mil, la jachère et la jachère dégradée, durant l'expérience AMMA.
Cela permettra d'établir des cartes théoriques d'ETR permettent de comparer aussi ces valeurs pour une période ancienne et la période actuelle.

3-2- Organisation de l'étude

Ce mémoire comporte quatre parties. La première partie Introduction et problématique met en perspective le sujet dans le contexte scientifique actuel et justifie les choix méthodologiques adoptés. La deuxième partie analyse le contexte du milieu naturel à l'échelle régionale dans lequel s'inscrivent les bassins versants. La troisième partie s'attache à caractériser l'évolution de l'occupation des sols, nous avons procédé dans ce chapitre au calcul des superficies des différentes classes d'occupation des sols. Sont évalués dans la quatrième partie le bilan hydrologique des bassin versants par une approche analysant la relation lame écoulée / lame précipitée. La démarche a consisté aussi à évaluer la part des changements d'usage des sols sur l'augmentation des écoulements. La conclusion reprend les principaux résultats et propose de perspective de recherche. Pour cette étude, les photographies aériennes, les images pixy, l'image spot panchromatique, l'image corona ont été les principaux supports pour une analyse multi temporelle.

Les autres matériels utilisés ont été le GPS GARMIN 12 pour le relevé des coordonnées sur le terrain.

Les points GPS relevés sur le terrain ont pour but de géoréférencer les images

Pour l'analyse et l'interprétation des différentes images nous avons utilisé deux logiciels des systèmes d'information géographique : ARCVIEW 3.3 et ARCGIS 9.2

L'opération de numérisation a été faite à l'aide du logiciel ARCVIEW 3.3

Les opérations de géoreférencement des images et de mosaïque ont été effectuées sur le logiciel ARCGIS 9.2

A partir du travail de terrain et de l'interprétation des images et de l'analyse des documents existants il a été possible de définir les unités des paysages et d'étudier leur évolution en fonction des différentes périodes (1950, 1965, 1975, 1992, 1993, 2005, et 2007).

La typologie du milieu physique fait ressortir 5 grandes unités de paysages (plateau, talus, glacis, dune de sable et bas-fonds) avec des types de sols, de végétation et d'occupation du sol (culture, jachère, sol nu, sol dégradé, …).

Chapitre I : Les grands traits du milieu biophysique des sites étudiés

Ce chapitre esquisse le contexte géographique des zones d'études. Cette esquisse du milieu biophysique s'appuie sur les différents travaux Ambouta (1997), Boulain (2004), Le Breton (2004 et 2005), Massuel (2005), Audrin (2005), Mamadou (2006) dont nous emprunterons les données essentielles sur la physio géographie de la région.

1-1- L'environnement Physique

Cette partie présente les caractéristiques physiques générales du milieu naturel à l'échelle des deux bassins versants : Géologie, géomorphologie, sol et végétation.

1-1-1- Géologie

L'ouest du Niger correspond approximativement au « Bassin du Moyen Niger ». Cette partie est subdivisée en deux grandes régions naturelles : à l'ouest du fleuve nous avons le Liptako et le Gourma où affleurent les terrains précambriens et leur lithomarge d'altération, à l'est du fleuve nous avons le bassin des Iullemenden dont les formations sédimentaires ont été totalement remblayées par un puissant épandage détritique de grès et d'argile appelé Continental Terminal (Greigert, 1966 et Dubois et al, 1978 cités par Ambouta, 1997).

Les bassins versants de Tondikiboro et Wankama sont constitués des formations appartenant au bassin sédimentaire des Iullemenden. Ce bassin serait en voie de démantèlement au moins depuis le pliocène, comme le prouve l'érosion en cours du Continental Terminal, ou bien l'absence d'activité sismique sur la période historique (Ambraseys et Adams, 1986) cité par Massuel (2005).

Le bassin des Iullemenden a connu plusieurs transgressions marines du Turonien au Thanetien (Greigert, 1966) cité par Massuel (2005). Ces transgressions en provenance du nord-est puis du nord-ouest, ont déposé des sédiments à dominance carbonatée, calcaires blancs et marnes, typiques des mers chaudes épicontinentales. Les affleurements sont discontinus et se situent majoritairement au centre du bassin, parfois sous un recouvrement Quaternaire sableux (Massuel, 2005). Dans le bassin affleurent aussi les grès du Continental Intercalaire, du

Continental Hamadien, les grès du Continental Terminal et les sables éoliens du Quaternaire. Les formations du C.T., après un aplanissement généralisé prêté au Néocène supérieur, a ensuite été profondément disséqué par les cours d'eau Quaternaires conférant au modelé actuel son caractère particulier : la surface sommitale plate, aux contours très découpés, souvent sinueux, désignée « plateaux » et les vallées en contre bas, très larges, ayant souvent piégé des sables éoliens au cours des phases sèches du Quaternaire (Ambouta, 1997).

1-1-2- Géomorphologie, sol, végétation

Le sud-ouest du Niger présente un modelé peu contrasté. Le relief assez peu marqué est constitué de plateaux cuirassés qui dominent les larges vallées fossiles. Ce relief est caractéristique d'un milieu où les processus d'érosion mécanique (thermoclastie, ruissellement) l'emportent sur les actions chimiques. La morphologie de ces deux bassins versants est composée de quatre unités paysagères.

1-1-2-1- Les sommets cuirassés des plateaux

Ces plateaux s'étendent sur les formations géologiques du Continental Terminal. Ces sommets sont très étendus avec une forme généralement plane. Il s'agit d'une surface aplanie de la fin du Continental Terminal. La surface des plateaux formés de cuirasses ferrugineuses est recouverte à certains endroits de grès argileux du Moyen Niger. Là où affleure la cuirasse on a comme état de surface des regs (cf. photo n°1). Et aux endroits où elle n'affleure pas on y trouve des lithosols peu évolués à faciès ferrugineux avec souvent des fortes charges caillouteuses (cf. photo n°2). Ces sols squelettiques sont parfois cultivés. Ils se situent sur sables éoliens pauvres en matière organique. Il s'agit surtout des sols ferrugineux tropicaux à oxyde de fer dominant (Boulain, 2004).

Ces plateaux aux bords entaillés par l'érosion hydrique, constituent les restes fossiles de sols ferrugineux cuirassés provenant de l'altération ancienne des roches d'origines diverses. Il s'agit principalement des grès argileux du CT, provenant du comblement détritique du bassin des Iullemenden. Le manteau d'altération aplani et induré de ces roches a été profondément entaillé au Quaternaire par le réseau hydrographique, présentant le relief des plateaux actuels.

La surface de ces plateaux est exposée à la dynamique actuelle. Comme contraintes, on observe principalement l'érosion hydrique et éolienne. En effet, les surfaces nues sont exposées au ruissellement. Pendant la saison de pluie les eaux ruissellent vers les unités les plus basses : tout ce qu'on a comme érosion et ravinement a son origine sur la surface du plateau et cela à cause de son imperméabilité.

Pendant la saison sèche, on a la présence des surfaces de déflations. On note aussi la présence des surfaces de décantations. Se sont des surfaces couvertes de matériaux transportés par corrosion, elles constituent des sous unités instables. Nous avons aussi des nebkas sur la surface des plateaux, ils sont mobilisés par le vent.

Du point de vue végétation le plateau offre une formation contractée de type brousse tigrée à dominance des combretacés (*Guiera senegalensis, Combretum glutinosum, Combretum micrantum …*). Les herbacées annuelles les plus rencontrées sont : *Zornia glochidiata, Microchloa indica….* etc. Cette unité est affectée à l'élevage et au prélèvement de bois.

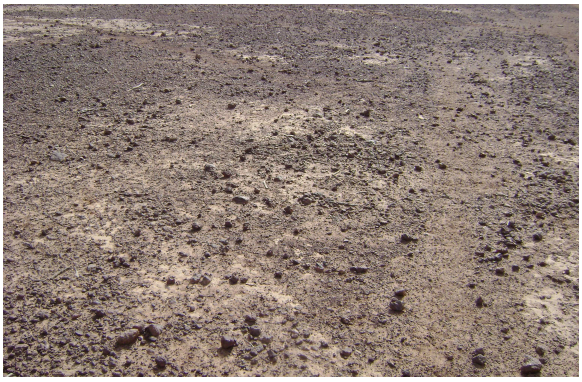


Photo n°1 : Cuirasse ferrugineuse sur la surface du plateau *(Yéro, 2008)*

Photo n°2 : Lithosols sur la surface du plateau *(Yéro, 2008)*

1-1-2-2- Les Talus ou versants rocheux

Ces talus plus ou moins abrupts forment une zone de transition entre les versants sableux et les plateaux. Il s'agit des talus gréseux à pente forte. Ils sont entaillés dans les grès du Continental Terminal. Sur ces talus l'action de l'eau est très importante. On assiste à une manifestation d'érosion ravinante (cf. photo n°3).
La végétation sur ces talus est couverte de ligneux buissonnants le long des ravines. La strate herbacée est très faible, presque nulle à certains endroits. Le talus est aussi un lieu affecté au pâturage et au prélèvement de bois.

Photo n°3 : Talus avec ravines *(Yéro, 2008)*

1-1-2-3- Les formations sableuses éoliennes

On distingue deux ensembles d'après leur modelé : les glacis et les jupes sableuses

1-1-2-3-1- Les glacis

Les glacis ou terres des « piedmont dégradés » se développent sur les longues pentes de raccordement entre les plateaux et les jupes sableuses. Ils sont constitués de matériaux sableux indurés. Il s'agit des glacis encroûtés, dégradés par le ravinement (cf. photo n°4). Les sols sableux des gl acis sont aussi sujets à l'action du vent. Ces sols ferrugineux peu lessivés et assez pauvres sont très sensibles à l'érosion et l'encroûtement. La végétation est très dispersée et le taux de recouvrement est faible. Les surfaces nues l'emportent sur les parties végétalisées.

Photo n°4 : Glacis encroûté et dégradé *(Yéro, 2008)*

1-1-2-3-2- Les jupes sableuses

Elles constituent l'unité la plus représentée du point de vue de leur surface relative et sont dispersées sur l'ensemble de la zone autour des plateaux cuirassés (Boulain, 2004). Ces versants sableux avec des jachères et des champs de mil sont constitués de sols ferrugineux peu lessivés. Se sont des sols pauvres en matière organique et en éléments fertilisants. Ils sont soumis à une érosion ravinante et décapante (cf. photo n°5) mais aussi à une érosion éolienne. Sur l es sols cultivés nous avons des surfaces meubles. Sur cette unité le ruissellement est moindre mais l'action du vent est importante. Ces terrains sont soumis aux vannages éoliens. On assiste à certains endroits à des niveaux avancés de la déflation et du ruissellement.

La végétation dans les aires cultivées et les jachères correspondent à une savane arborée et arbustive à *acacia* et *Guiera senegalensis* avec un tapis herbacé annuel à base *d'aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus, Digitaria gayana, Zornia glochidiata…*etc.

Photo n°5 : Ravine sur versant sableux *(Yéro, 2008)*

1-1-2-4- Les bas-fonds ou vallées fossiles

Ils sont les plus bas niveaux de la toposéquence et constituent des zones inondables en saison de pluie. Se sont des koris qui forment un réseau organisé autour du grand système du kori de Dantiandou. Le lit de la vallée est large et peu prononcé sur certains secteurs du fait de l'important alluvionnement (cf. photo n°6) qui charrient les eaux du ruissellement (Mamadou, 2006).

Les formations sableuses de ces vallées, aujourd'hui fixées constituent les meilleures terres de culture pluviale (Ambouta, 1997).

La morphogenèse est très active dans ces vallées. Elle est le fruit de l'action combinée des deux agents à savoir l'eau et le vent.

Les bas-fonds sont composés de sols de types ferrugineux peu lessivés et des sols hydromorphes. Ils sont caractérisés par une végétation ligneuse composée des espèces comme *Faidherbia albida, acacia nilotica, Piliostigma reticulatum,* quant à la strate herbacée, elle est dominée par *Cenchrus biflorus, Aristida longiflora, Andropogon gayanus…etc*.

Photo n°6 : Dépôt de sable dans la vallée *(Yéro, 2008)*

1-2- les caractéristiques climatiques

La région d'étude est caractérisée par un climat de type sahélien, semi-aride, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 560 mm à Niamey (1950-2002).

Cette pluviométrie est soumise à une forte variabilité interannuelle. Comme partout au Niger, ce climat est caractérisé par deux saisons : une saison sèche qui s'étend d'octobre à mai et une saison des pluies qui dure 3 à 4 mois (juin-sept).

Les températures sont dans l'ensemble plus élevées. Les amplitudes diurnes peuvent atteindre 20 à 25°C. L'évapotranspiration potentielle s'exerce de façon presque permanente. Elle est très nettement supérieure aux précipitations. Elle atteint 3700 mm à Banizoumbou village non loin des sites étudiés.

Cette disparité chronique entre les pluies et l'évaporation donne une indication de l'aridité et de la déficience en eau dans la zone étudiée.

Pour effectuer l'étude climatologique de nos sites d'études, nous utiliserons les données de la station de Niamey Aéroport. Cette station étant la plus proche de nos deux localités étudiées, les conditions climatiques au niveau de ces deux bassins versants sont approximativement les mêmes que celles qui règnent à Niamey.

1-2-1- Les précipitations

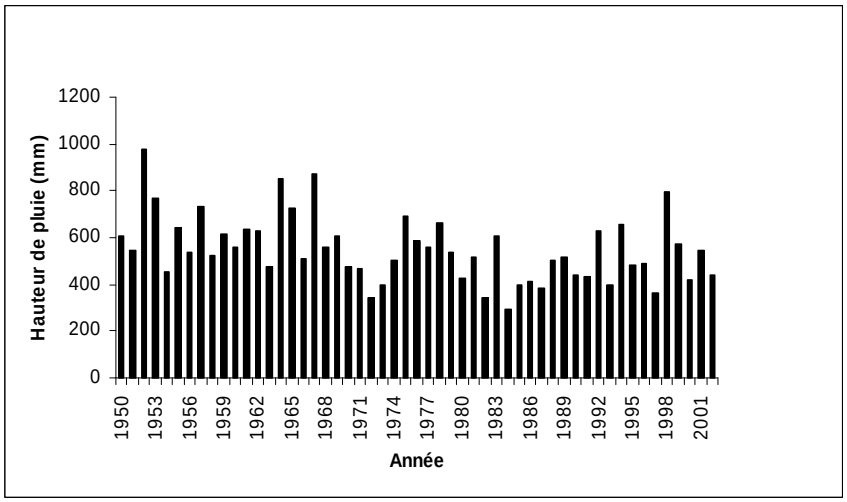


Fig. 2 : Histogramme des cumuls annuels des précipitations de la station de Niamey Aéroport (1950-2002). ***Source : Centre Régional AGRHYMET.***

La fig. établie à partir des hauteurs pluviométriques totales annuelles enregistrées durant la période (1950-2002) montre une variabilité interannuelle des précipitations. La pluie est caractérisée par son extrême irrégularité spatiale et temporelle. Cette courbe met en évidence une alternance de périodes plus ou moins arides. Des

années de déficit pluviométries (1954, 1963, 1970-1973, 1980, 1982, 1984-1988) contrastent avec des périodes relativement plus humides (1952-1953, 1957, 1964-1965, 1967, 1998). En effet, après deux décennies de précipitations excédentaires entre 1950-1960, une période déficitaire s'est installée à la fin des années 60, et continue jusqu'au début des années 2000. Au cours de cette période (1970-2000) qui dure depuis 30 ans, la tendance globale est à la sécheresse. La décennie 1970-1980 est globalement sèche, bien que ponctuée par quelques années humides, 1975 et 1978. La période 1980-1990 s'est aussi distinguée comme très déficitaire. On note que la décennie 90 est caractérisée par la présence de quelques années excédentaires (1992, 1994, 1998), mais la tendance globale est à la baisse.

1-2-2- Les températures

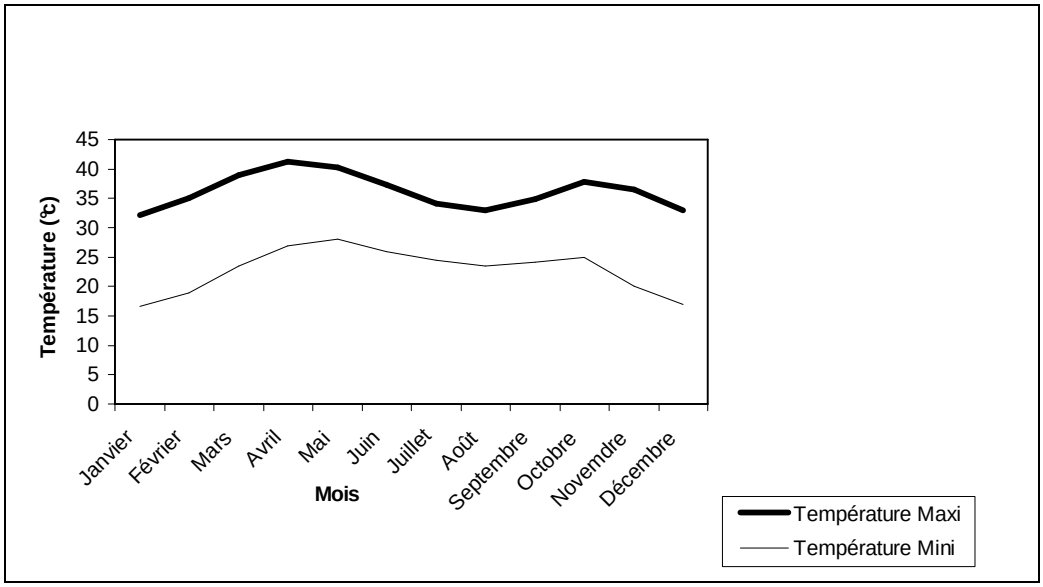


Fig. 3 : Courbes des températures moyennes mensuelles maximales et minimales de Niamey Aéroport (1975-2002). ***Source : Centre Régional AGRHYMET.***

La fig.3 montre l'évolution des températures moyennes mensuelles maximales et minimales entre la période 1975-2002. On constate que les températures maximales mensuelles les plus élevées se situent en avril (41,2°C) et mai (40,2°C) alors que les minimales se rencontrent en janvier avec 16,60°C, décembre 16,90°C, et février 18,90°C. En général, les températures sont élevées toute l'année et sont influencées

par la mousson et l'harmattan. La moyenne annuelle de température journalière varie entre 24℃ et 35℃ (Courel, 1984) cité par Boulain (2004).

Ces températures sont très élevées, et favorisent une intense évaporation qui entraîne par conséquent l'assèchement du sol (Faran, 1984) cité par Yéro (2007).

1-2-3- L'évapotranspiration potentielle (ETP)

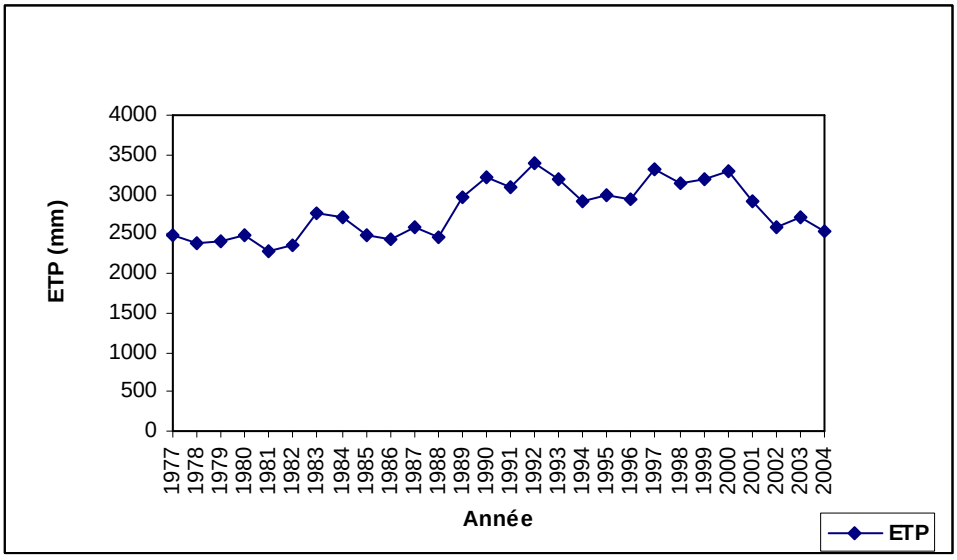


Fig. 4 : Courbe des cumuls annuels de l'évapotranspiration ETP (mm) pour Niamey aéroport de 1977 à 2004 *Source : Centre Régional AGRHYMET.*

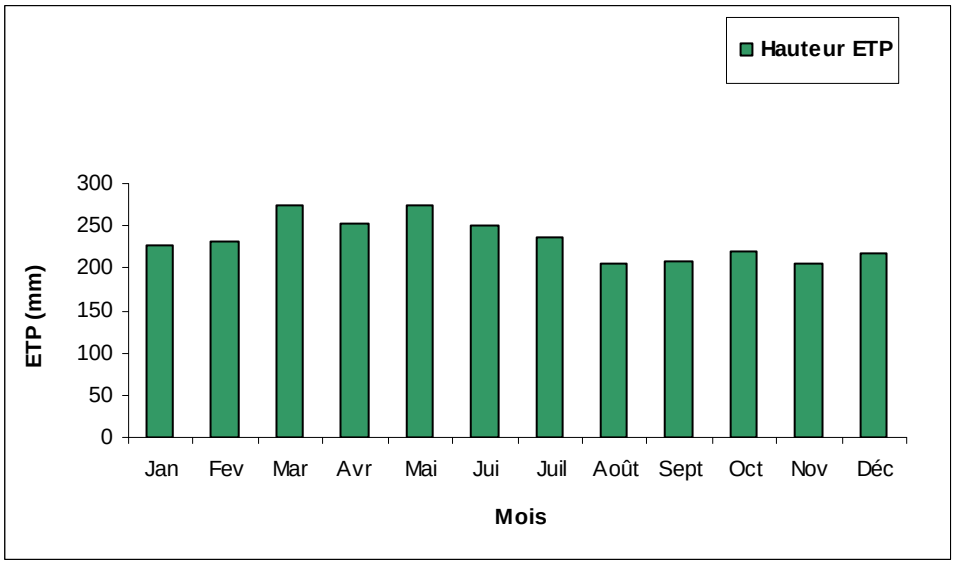


Fig. 5 : Histogramme des cumuls moyennes mensuelles de l'ETP de Niamey Aéroport (1977-2004). *Source : Centre Régional AGRHYMET.*

L'étude de l'évolution des cumuls annuels de l'ETP (fig.) et l'examen des diagrammes moyens mensuels (fig.) montrent que l'évapotranspiration potentielle de la région est très élevée. Elle est également plus forte que les précipitations. L'évapotranspiration potentielle (ETP), calculée selon la formule de Penman à partir des données météorologiques de la station de Niamey est en moyenne de 6,4 $mm.j^{-1}$, (Massuel, 2005). Cette évapotranspiration potentielle est variable dans le temps et dans l'espace.

L'analyse des histogrammes des cumuls moyens mensuels montre que les maximums sont atteints en saison sèche (mars et mai) du fait des fortes températures et de l'insolation. Les minimums se situent cependant en novembre et décembre en raison des baisses des valeurs de la température. Mais aussi en août (206, 68 mm) à cause du taux élevé de l'humidité atmosphérique.

1-2-4- L'hydrologie

L'essentiel du degré carré de Niamey est caractérisé par une hydrologie de type endoréique, les écoulements alimentent des mares pour la plupart temporaires. Il n'y a pas d'écoulement organisé vers le fleuve Niger ou ses affluents (Cappelaere B. et Descroix L.,).

Les deux bassins versants (Wankama et Tondikiboro) sont inscrits dans le bassin endoréique du kori de Dantiandou. Il s'agit d'un ancien cours d'eau et affluent de l'importante vallée fossile du Dallol Bosso, qui constituait lors de phases climatiques plus humides l'un des principaux axes de drainage par lesquels transitent les eaux recueillies sur le bassin des Iullemenden (Mamadou, 2006). Les écoulements de ces types de bassins versants sont intermittents. Les écoulements concentrés sont en effet insuffisants pour s'interconnecter durablement lors de la saison de pluie (Massuel, 2004). Pendant la saison des pluies, le ruissellement se concentre dans les ravines naissantes sur les talus des plateaux. Ces ravines se rejoignent et s'amoindrissent dans les zones d'épandage pour se regrouper en aval et créer des mares (bas-fonds) (Audrin, 2005).

L'ensemble du secteur d'étude est parcouru par un réseau hydrographique que l'on peut qualifier de « dégradé » du fait de l'endoréisme prédominant autant à l'échelle régionale qu'à l'échelle du petit bassin versant (Desconnets, 1994) cité par Le Breton (2005).

1-3- Les caractéristiques des bassins versants étudiés

1-3-1- Le bassin versant de Tondi Kiboro

Le bassin versant de Tondikiboro est situé près du village de Banizoumbou à 70km au nord-est de Niamey. Il a une superficie d'environ 0,11 km² (Estèves, 2003).
Le bassin versant de Tondi Kiboro est caractérisé par la présence des fourrés sur le rebord du plateau aux endroits où affleurent le roches le constituant et les sols indurés. On note aussi la présence des dépressions à la surface des plateaux.
Le talus n'étant pas couvert d'éboulis, on y trouve partout des entailles et on a des reculs de tête de ravines jusqu'à la surface du plateau. Il s'agit d'un versant d'ablation. Sur ces talus les contraintes sont tellement fortes qu'on observe la présence de gorges qui ont atteint la roche mère. Suite aux ravinements on observe de petites vallées et des interfluves dans la direction est-ouest de la pente. La partie amont est découpée par les eaux de ruissellement. Dans cette partie amont nous avons une forme d'amphithéâtre. Toute cette partie est ravinée et encroûtée au pied des talus.
Dans la partie aval nous avons une zone d'épandage qui est reconstituée par une mince couche peu épaisse, de sables arrachés aux versants et apportés par les koris. Au delà de la zone d'épandage, on rencontre des affleurements rocheux suivant une direction ouest-est. Il s'agit d'une crête. A ce niveau le ruissellement est abondant. Cette surface encroûtée est aussi caractérisée par la présence des nebkas et des placages éoliens.

1-3-2- Le bassin versant de Wankama

Le Bassin versant de Wankama est situé à 60km à l'est de Niamey. Il a une superficie de 1,22 km^2. La spécificité des unités géomorphologiques de ce bassin versant est surtout liée à sa grande extension et à sa proximité par rapport au site du village (Mamadou, 2005). Le plateau en amont du bassin est une zone beaucoup plus soumise au défrichement, à la mise à nu des sols et à leur affaiblissement.
Sur le versant sableux, à mi pente, on observe une zone où le drain s'anastomose et disparaît (zone d'épandage : cf. photo n°7) à la faveur des nouvelles surfaces

drainées. Un drain réapparaît à l'aval de la zone d'épandage, il alimente en saison de pluie une mare temporaire située dans l'axe du kori (Boulain, 2004).

Une autre spécifité de ce bassin, c'est la présence surtout de certaines infrastructures des travaux publics comme le goudron de la route Niamey-Filingué qui la traverse sur plus de 3km (Mamadou, 2005).

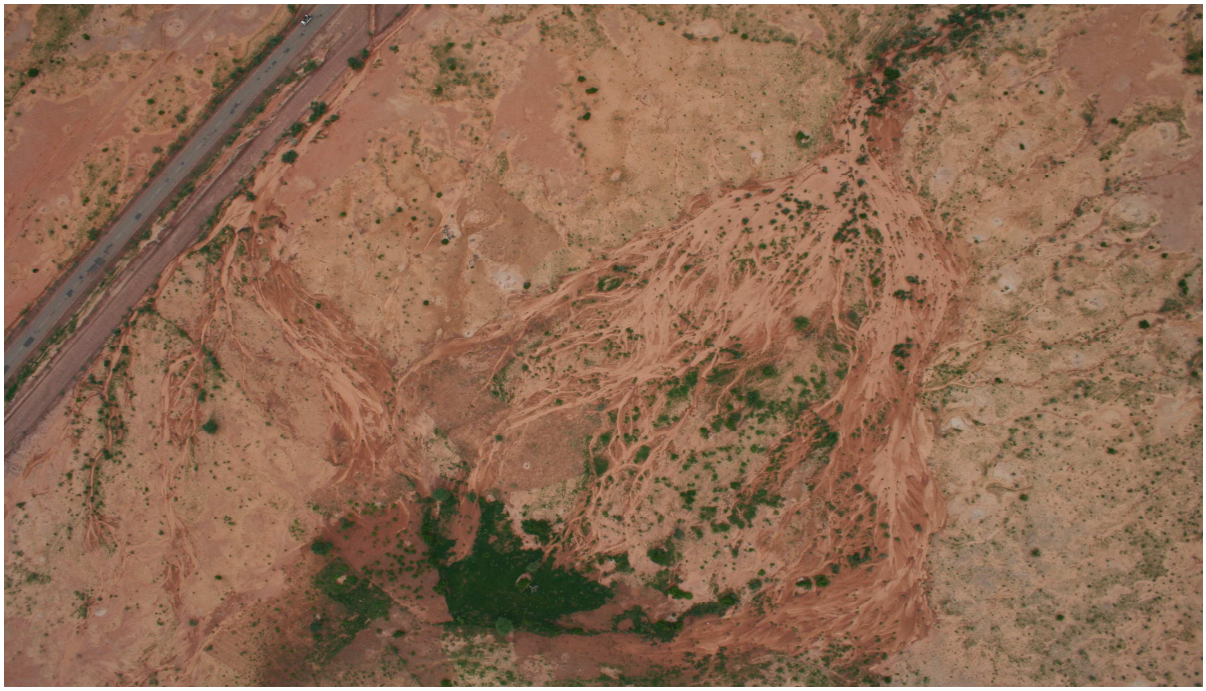


Photo n°7 : Vue aérienne de la zone d'épandage *(Source: photo pixy Rajot Wankama, 2007)*

<u>Chapitre II</u> : Cartographie de l'évolution de l'occupation des sols entre 1950 et 2007

L'analyse des images (photographies aériennes 1950, 1975, 1992 ; l'image corona 1965 ; les images pixy 1993 et 2007 et enfin l'image spot panchromatique 2005) a permis d'établir une cartographie de l'évolution de l'occupation des sols au niveau du bassin versant de Wankama et TondiKiboro.
Les résultats cartographiques sont accompagnés de tableaux statistiques montrant l'évolution des superficies des types d'occupation des sols.

2-1- Sites d'analyses diachroniques

Deux sites d'analyses sont utilisés pour caractériser la dynamique d'occupation des sols. Il s'agit du bassin versant de Wankama et celui de TondiKiboro. Ils constituent des exemples remarquables de la dégradation dans le sud-ouest du Niger. Pour chaque bassin versant la surface d'analyse est identique pour les différentes années. Ces deux sites ont fait l'objet de nombreuses expérimentations hydrologiques depuis le début des années 1990 à travers plusieurs programmes (EPSAT Niger, HAPEX Sahel, Observatoire ORSTOM, IRD, ORE, AMMA).

2-1-1- Le site de Wankama

Dans ce paragraphe, nous analyserons à partir des photographies aériennes de 1950, 1975, 1992 et de l'image spot panchromatique de 2005 l'évolution de l'occupation des sols du bassin versant.

2-1-1-1- Situation en 1950

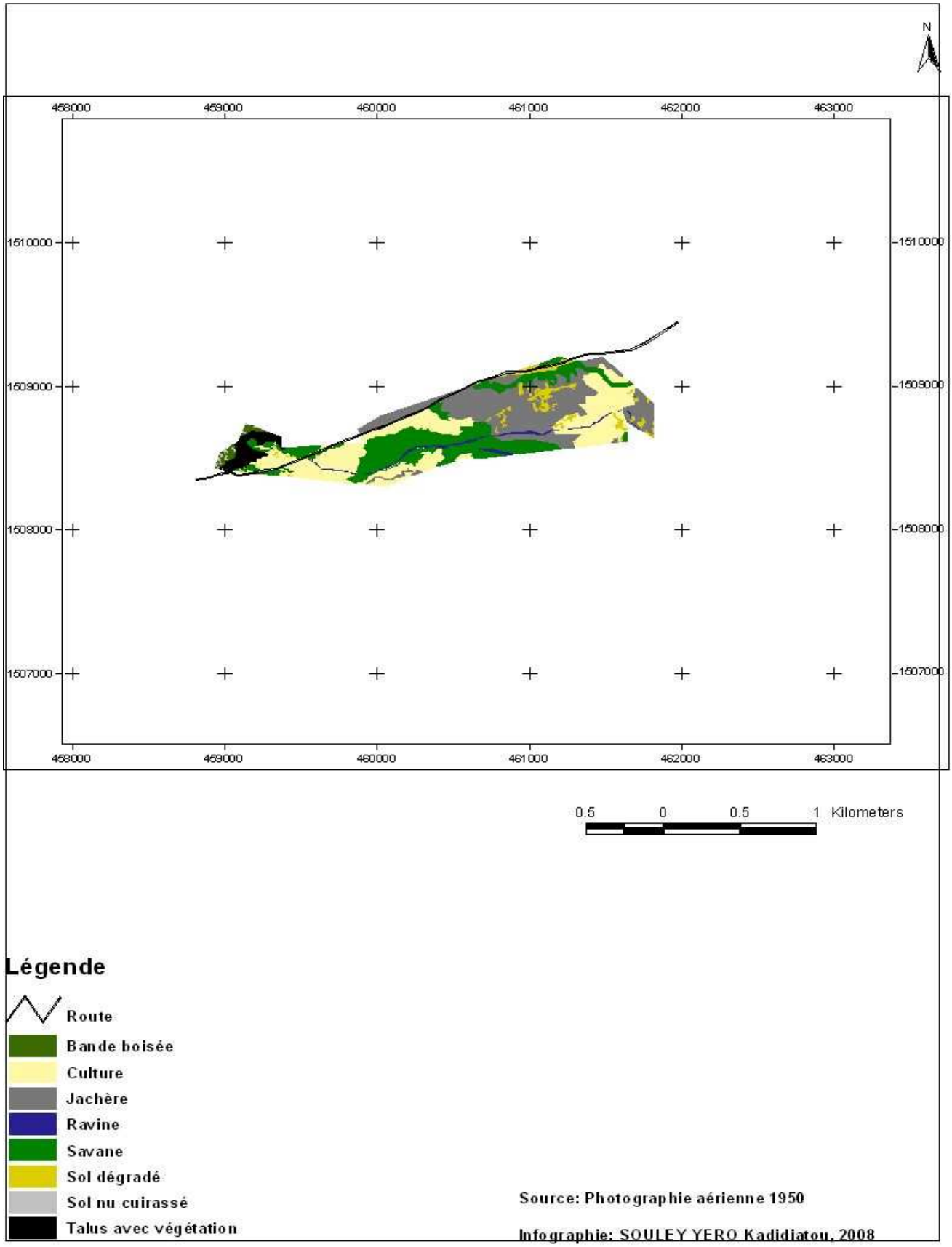


Fig.6: Carte d'occupation des sols du bassin versant de Wankama en 1950

La carte d'occupation des sols (fig.6) et l'examen du tableau (cf.tableau1) montrent la présence d'une végétation relativement dense sur l'ensemble du bassin versant. L'analyse du tableau montre que la savane occupe 31,91 ha soit 26,03% de la superficie totale, la bande boisée occupe 3,4ha soit 2,77%.

Les cultures occupent une superficie de 37,8 ha. Les sols nus cuirassés et dégradés constituent ensemble 5,15% de la superficie globale.

La jachère occupe 30,62 % de la superficie du bassin en 1950. Le reste de la superficie est occupée par le talus avec végétation 2,99 ha et par la ravine 2,63 ha.

2-1-1-2- Situation en 1975

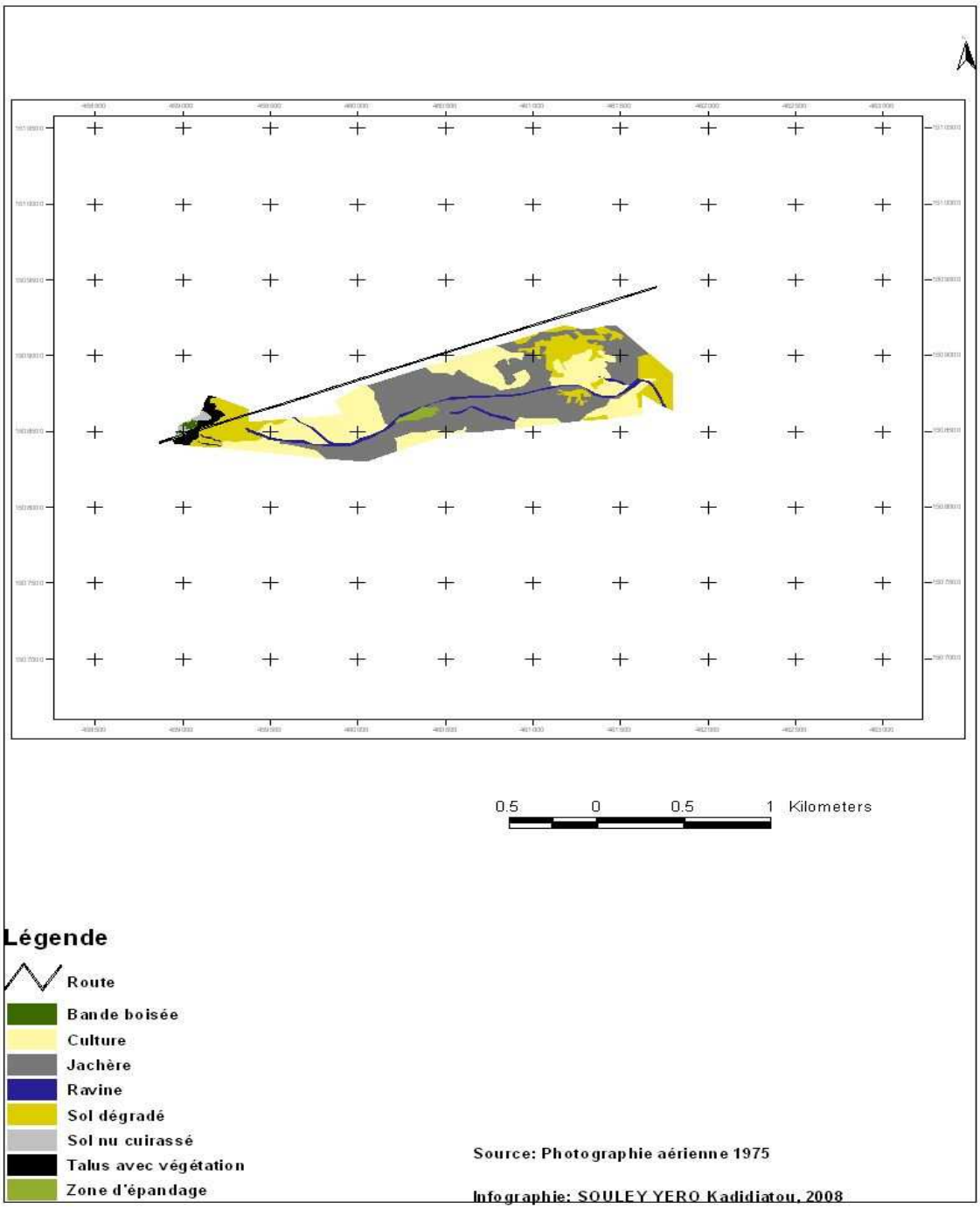


Fig.7 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de Wankama en 1975

La figure 7 présente l'évolution de l'occupation des sols du bassin versant en 1975. L'analyse de l'occupation des sols à cette date permet de dégager les constats suivants : la jachère constitue la principale occupation du sol, elle occupe 41,73% de la superficie du bassin versant (cf. tableau 1). Nous constatons aussi la disparition quasi-totale de la savane et une nette progression des surfaces cultivées, de 39,04

ha en 1975 contre 37,8 ha en 1950. On assiste aussi à une augmentation des surfaces dénudées et dégradées. Elles sont passées de 5,15% en 1950 à 17,25% en 1975. On note une augmentation progressive de la ravine de 5,3 ha soit 4,32%, on assiste aussi à l'apparition d'une zone d'épandage d'une superficie de 1,28 ha. On remarque aussi la diminution des fourrés de bandes boisées sur les plateaux latéritiques au profit des sols nus.

2-1-1-3- Situation en 1992

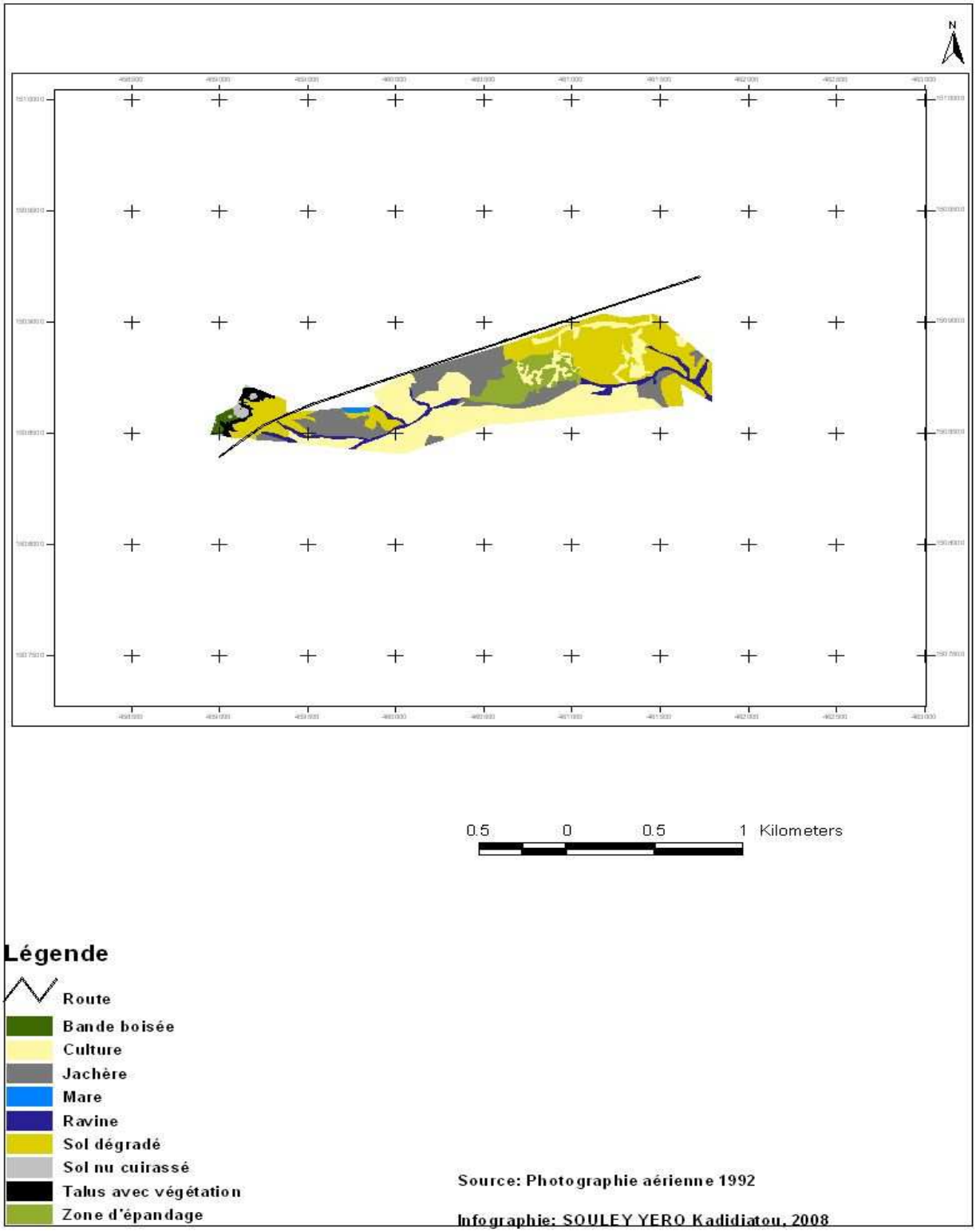


Fig.8 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de Wankama en 1992

L’examen de la photographie aérienne (cf.fig.8) de 1992 met en évidence une modification importante des cultures et des jachères par une extension des zones dégradées. On constate qu’une partie de la jachère a été défrichée et mise en culture et certains domaines cultivés sont laissés en jachère ou devenus impropres à la culture (dégradés). Ces sols dégradés sont ainsi multipliés par 6 entre les trois missions 1950 à 1992. D’après le tableau des superficies des classes d’occupation des sols (cf.tableau1) on assiste à un recul important de la jachère aux profits des champs cultivés et le recul des surfaces cultivées au profit des sols dégradés. L’extension des cultures s’est aussi faite au détriment de la savane. On note une évolution progressive de la zone d’épandage qui est passée de 1,04 % en 1975 à 7,41 % en 1992. La ravine occupe de sa part 6,84 ha, soit 5,58 %.

On assiste en 1992 à l’apparition d’une mare avec une superficie de 0,5 ha. Le talus avec végétation et la bande boisée connaissent aussi une évolution régressive.

2-1-1-4- Situation en 2005

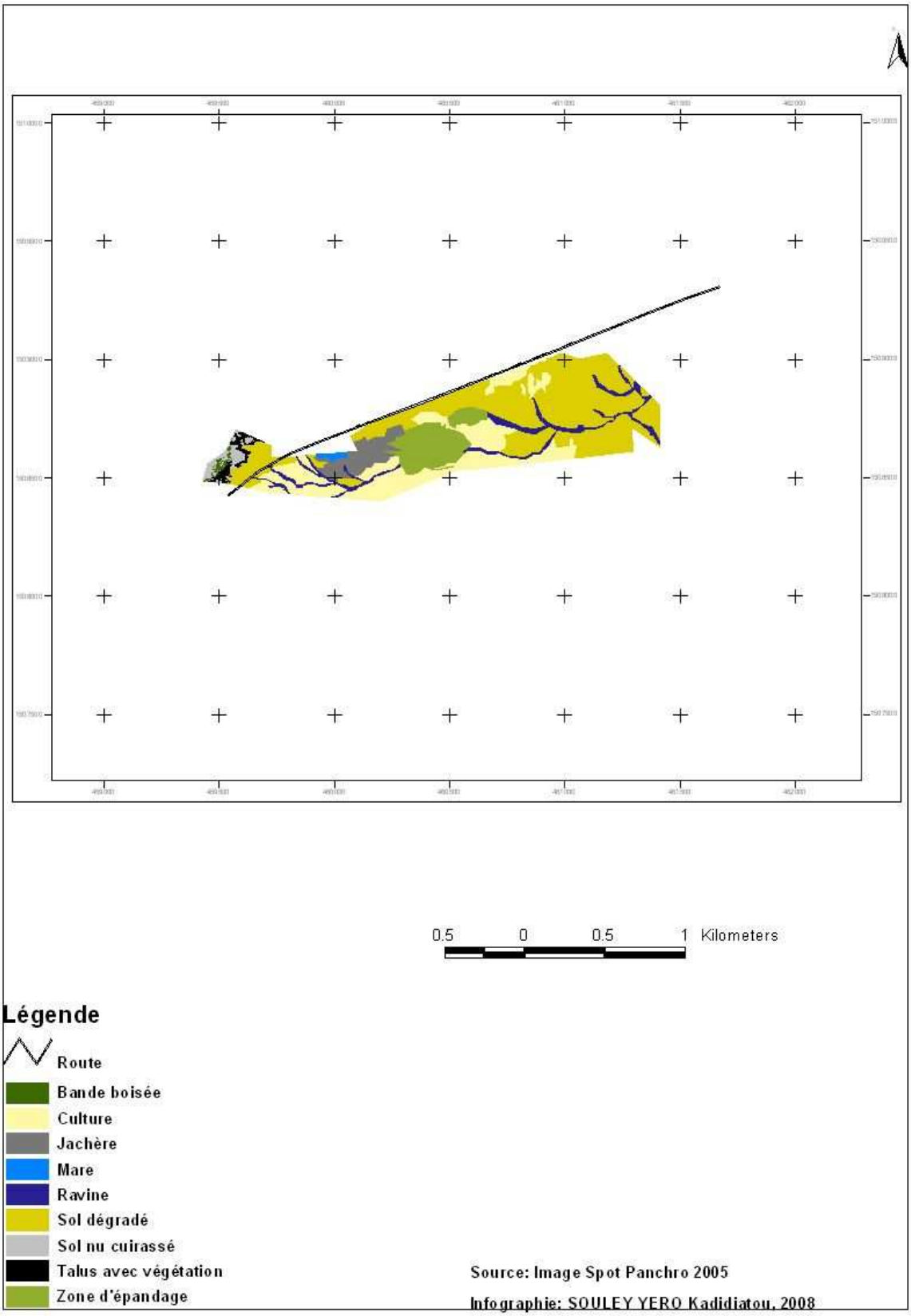


Fig.9 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de Wankama en 2005

L'étude cartographique (cf.fig.9) montre que le bassin versant de Wankama en 2005 a connu une augmentation des sols dégradés. Les superficies occupées (cf.tableau1) par ces sols dégradés ont atteint 58,04 ha soit 47,35 % de la superficie totale. Cette évolution progressive montre que la dégradation est très intense au niveau de ce bassin versant. L'extension des cultures a diminué, elles sont passées de 42,19 ha en 1992 à 29,85 ha en 2005. La végétation a subit aussi une évolution régressive. Par contre on note une augmentation de la zone d'épandage qui est passée de 9,08 ha en 1992 à 12,77 ha en 2005. La mare est passée de 0,41 % en 1992 à 0,54 % en 2005.

2-1-1-5- Bilan de l'évolution

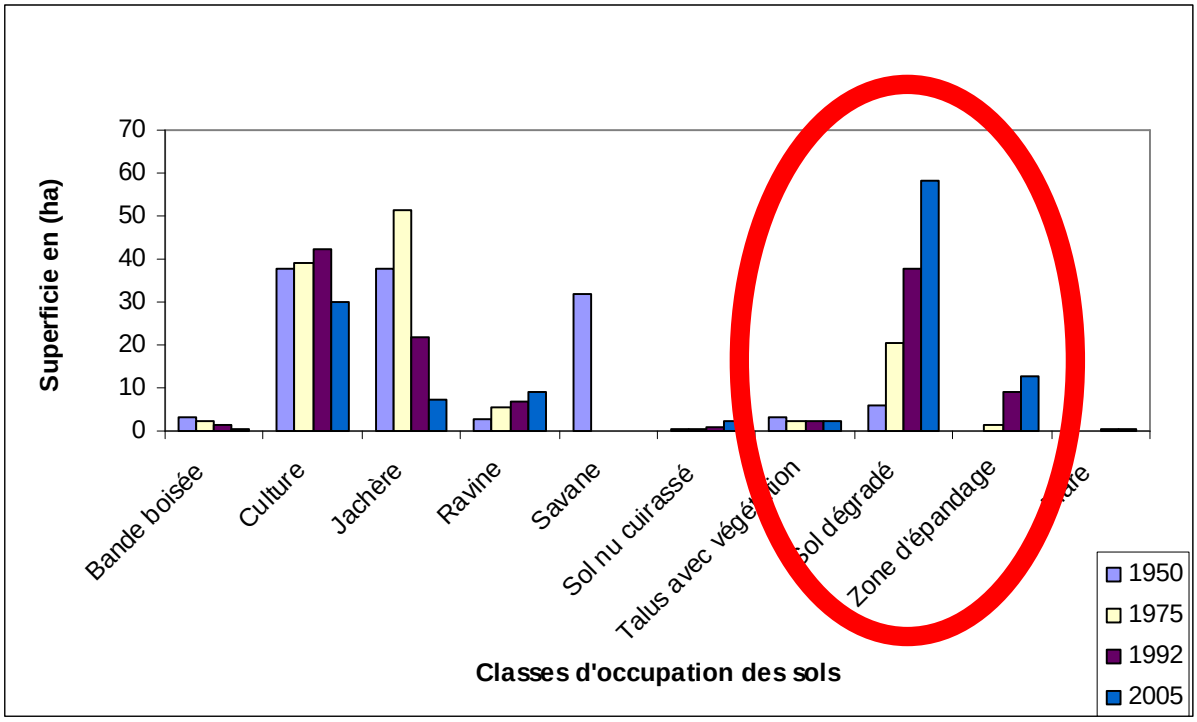


Fig.10: Evolution des superficies des classes d'occupation des sols de 1950 à 2005 (mise en évidence de la croissance des zones dégradées)

Tableau 1 : Modifications survenues sur les différentes classes d'occupation des sols de 1950 à 2005

Occupation des sols	Superficie en 1950		Superficie en 1975		Superficie en 1992		Superficie en 2005		Différence 1950 à 2005	
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Bande boisée	3,4	2,77	2,19	1,79	1,18	0,96	0,39	0,32	-3,01	-2,46
Culture	37,8	30,84	39,04	31,85	42,19	34,42	29,85	24,35	-7,95	_6,49
Jachère	37,53	30,62	51,15	41,73	21,76	17,75	7,42	6,05	-30,11	-24,57
Ravine	2,63	2,15	5,3	4,32	6,84	5,58	8,95	7,30	+6,32	+5,16
Savane	31,91	26,03	0	0	0	0	0	0	-31,91	-26,03
Sol dégradé	5,93	4,84	20,62	16,82	37,93	30,95	58,04	47,35	+52,11	+42,51
Sol nu cuirassé	0,38	0,31	0,65	0,53	0,94	0,77	2,39	1,95	+2,01	+1,64
Talus avec végétation	2,99	2,44	2,34	1,91	2,15	1,75	2,1	1,71	-0,89	-0,73
Zone d'épandage	0	0	1,28	1,04	9,08	7,41	12,77	10,42	+12,77	+0,54
Mare	0	0	0	0	0,5	0,41	0,66	0,54	+0,66	+0,54
Total	**122,57**	**100**	**122,57**	**100,00**	**122,57**	**100,00**	**122,57**	**100,00**		

Ce tableau résume les modifications survenues sur les différentes classes d'occupation des sols

La dynamique de l'occupation des sols du bassin versant entre 1950 et 2005 (cf.fig.6 & tableau 1) est marquée essentiellement par une réduction très sensible des superficies des cultures et des jachères. La savane a pratiquement disparu en 1975. Les pourcentages des sols nus et des surfaces dégradées ont considérablement augmenté entre 1950 et 2005, on est passé de 0,31 % pour les sols nus cuirassés en 1950 à 1,95 % en 2005. On remarque une augmentation de la ravine de 2,63 ha en 1950, elle atteint 8,95 ha en 2005.

En 2005 les sols dégradés constituent l'état de surface le plus répandu occupant ainsi une superficie de 58,04 ha soit 47,35 % de la superficie totale.

On constate une différence négative en superficie de la bande boisée et du talus avec végétation ; et une différence positive de la classe mare et ravine.

A la lecture de ce tableau ci-dessus, il apparaît que l'essentiel du bassin versant de Wankama est dégradé. Ces surfaces dégradées deviennent impropres à la culture d'où la baisse des surfaces occupées par la culture.

2-1-2- Le site de Tondikiboro

Nous analyserons à partir des images : Corona 1965, Pixy 1993 et 2007, l'état de l'évolution de l'occupation des sols au niveau du bassin versant de TondiKiboro.

2-1-2-1- Situation en 1965

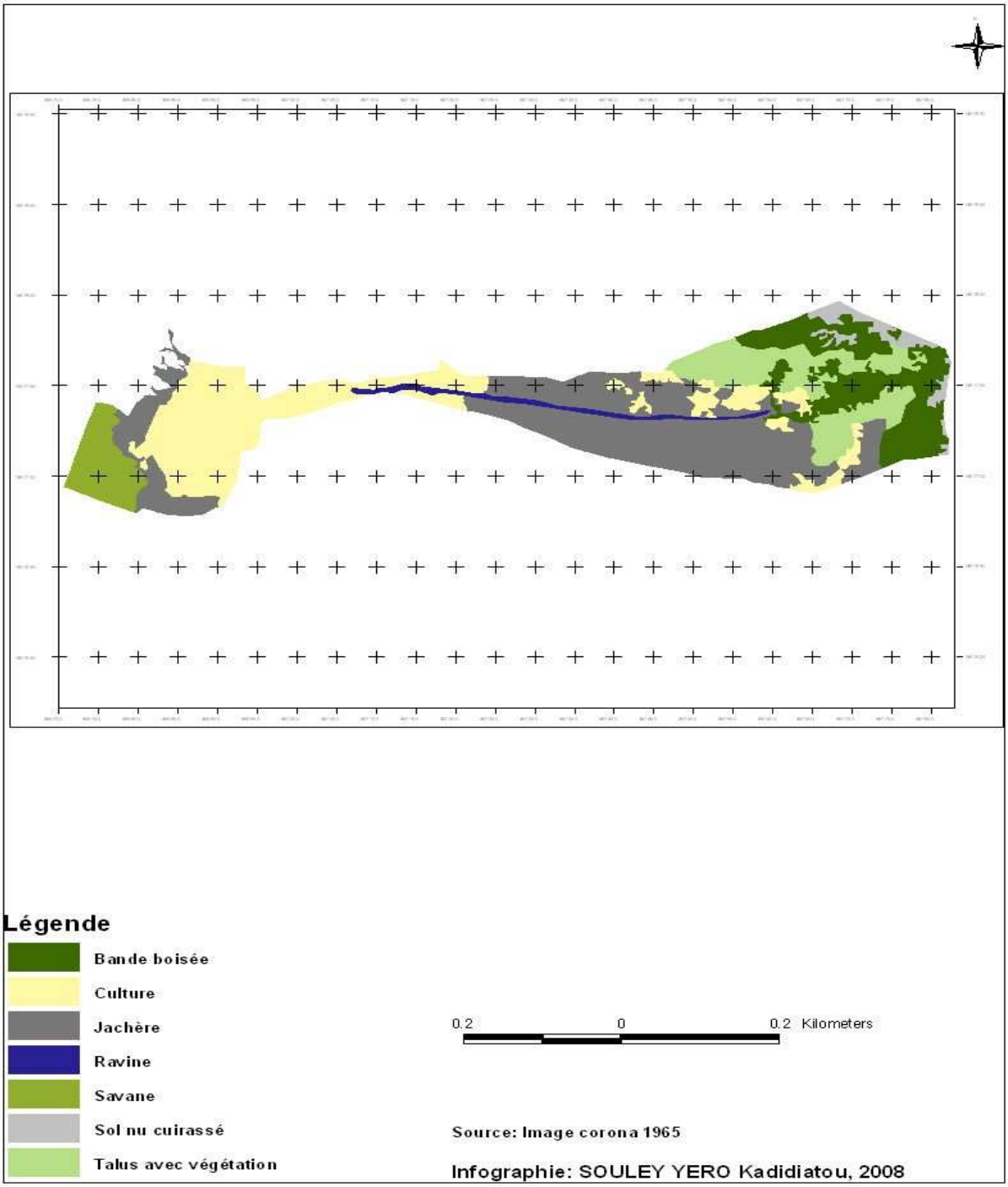


Fig.11 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de TondiKiboro en 1965

La figure 7 présente la carte d'occupation des sols du bassin versant de TondiKiboro en 1965. L'analyse des superficies des classes d'occupation des sols (cf. tableau 2) montre que le domaine des cultures occupent 3,98 ha soit 25,56 % de la superficie du bassin versant. La jachère constitue 35 % de la superficie du bassin versant. La bande boisée au niveau du plateau et du talus représente 4,41 ha en 1965. La ravine

occupe une superficie de 0,36 ha soit 2,31 %. Le sol nu cuirassé occupe 0,43 ha. On constate qu'il n'y a pratiquement pas de sol dégradé en 1965 encore moins de zone d'épandage.

2-1-2-2- Situation en 1993

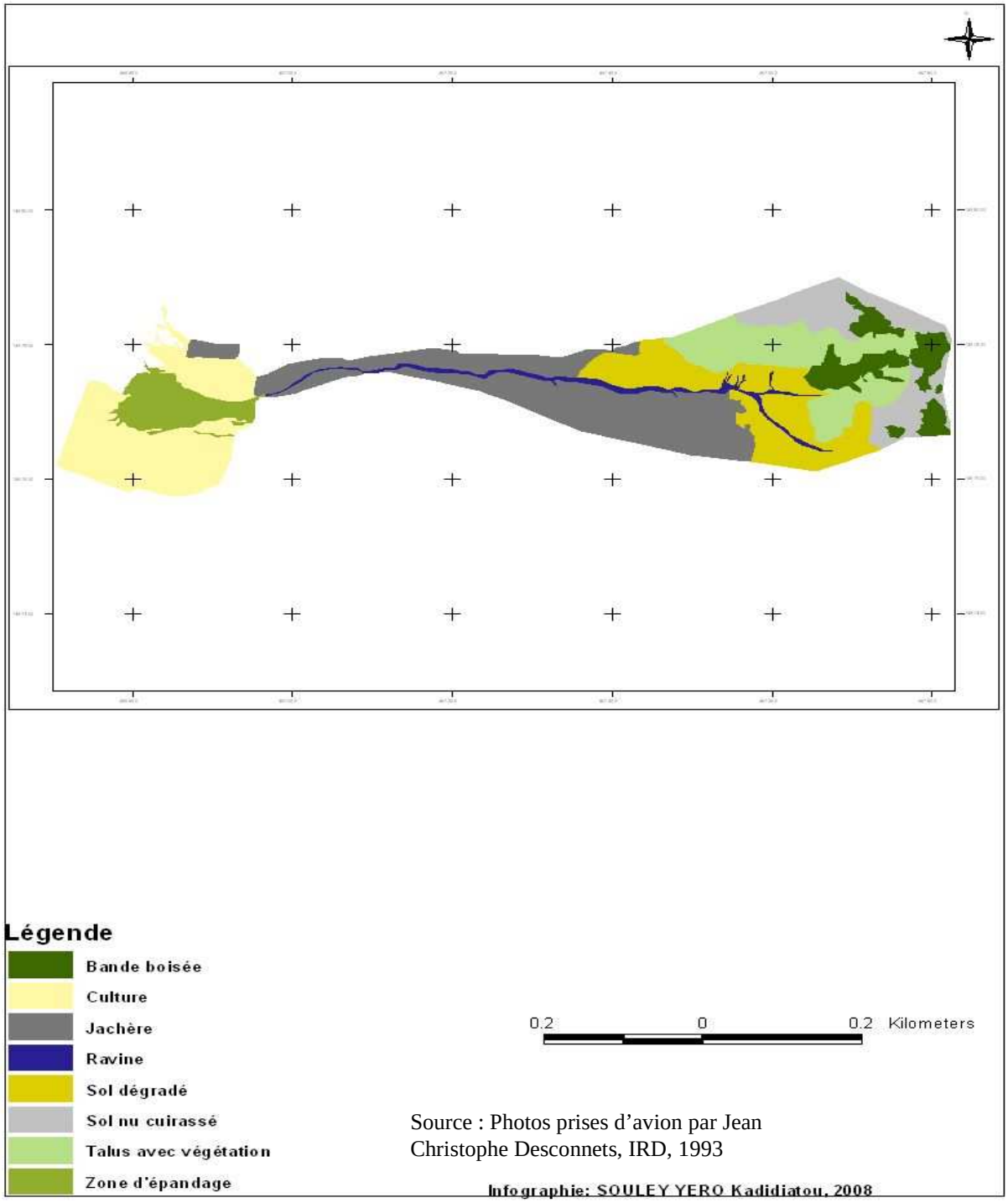


Fig.12 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de TondiKiboro en 1993

L’étude cartographique (cf.fig.8) montre une évolution de l’occupation des sols en 1993. Si nous considérons l’évolution des surfaces nues et dégradées nous constatons une accentuation et extension de celles-ci. En effet, en 1965 la superficie occupée par la savane arborée est remplacée par des champs de cultures en 1993. Une partie de la jachère est aussi défrichée est mise en culture entre 1965 et 1993. On constate que la superficie occupée par la zone d’épandage en 1993 était cultivée en 1965. Certaines surfaces cultivées en 1965 sont laissées en jachère et d’autres sont pratiquement dégradées. On remarque une nette augmentation des surfaces nues cuirassées et une diminution progressive de la végétation sur le plateau.

2-1-2-3- Situation en 2007

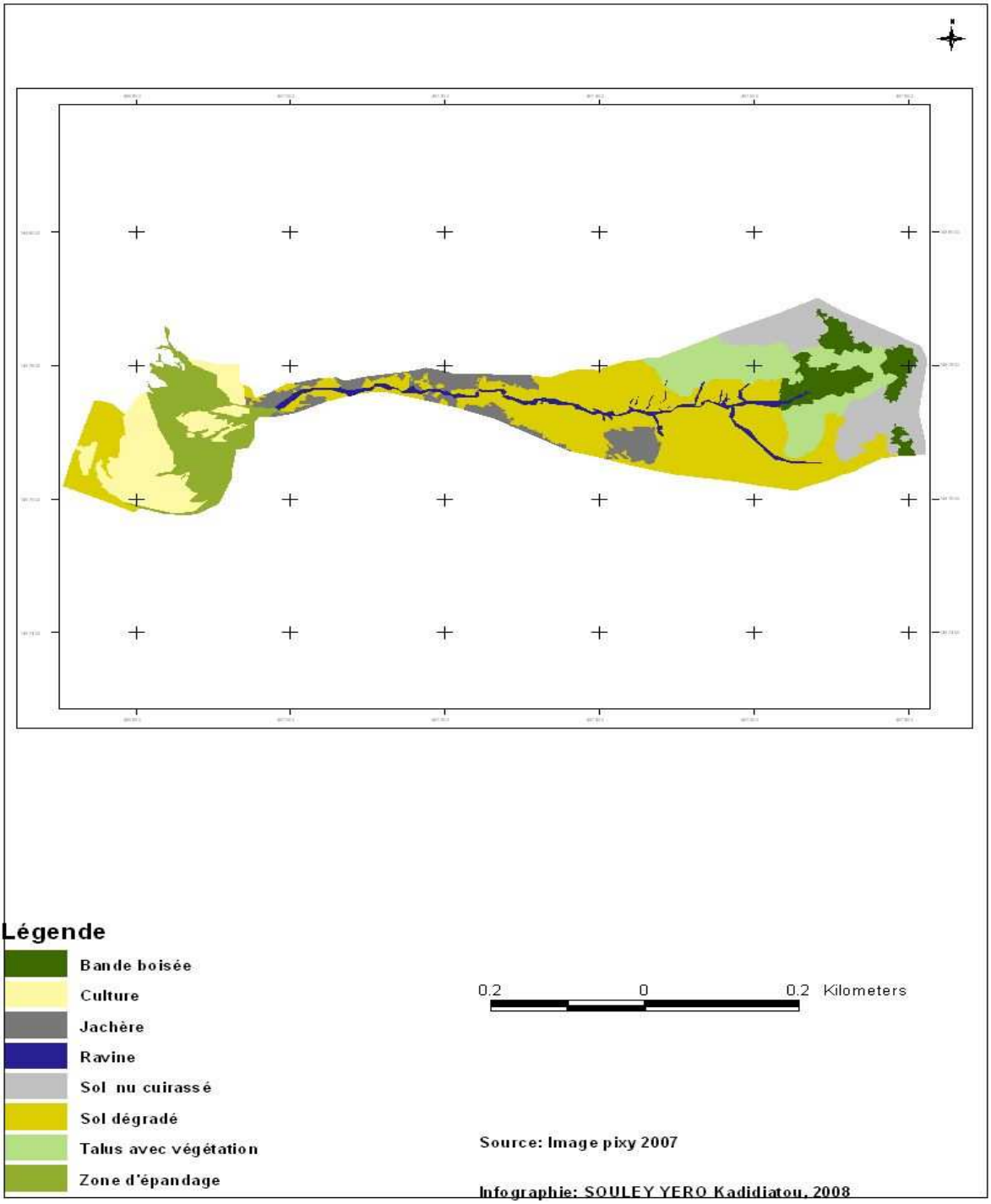


Fig.13 : Carte d'occupation des sols du bassin versant de TondiKiboro en 2007

La carte d'occupation des sols (cf.fig.9) et l'examen des superficies (cf. tableau 2) montre que les « occupations du sol » qui ont connu une évolution régressive sont : la culture, la bande boisée, la jachère, le talus avec végétation. Cependant les classes qui ont connu une évolution progressive sont : la ravine, le sol nu cuirassé, la

zone d'épandage. En effet la plus forte progression a été observé au niveau des sols dégradés. L'importance de cette dégradation témoigne de la forte empreinte des activités humaines, à défaut d'une forte densité de la population. L'évolution des surfaces dégradées s'est faite au détriment des cultures et des jachères (baisse des surfaces cultivées, réduction ou disparition de la jachère).

Ces sols nus et dégradés occupent une superficie importante au niveau du bassin versant. Il s'agit des terrains dépourvus de végétation ou peu végétalisés, avec des croûtes, des ravines et des zones sableux.

2-1-2-4- Bilan de l'évolution

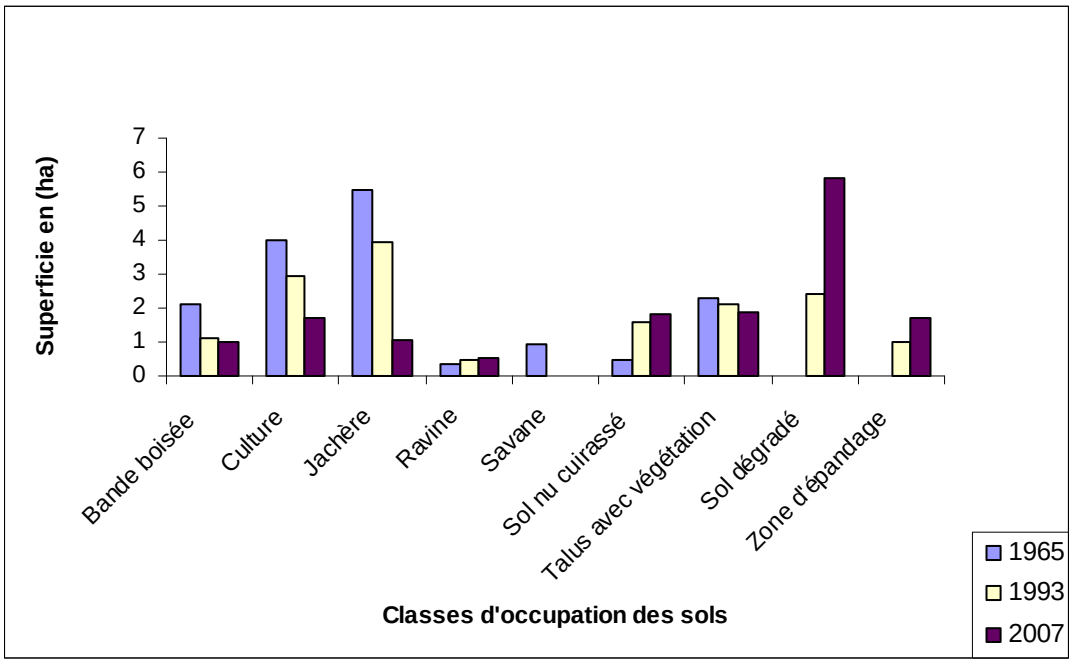


Fig.14: Evolution des superficies des classes d'occupation des sols de 1965 à 2007

Tableau 2: Modifications survenues sur les différentes classes d'occupation des sols de 1965 à 2007

	Superficie 1965		Superficie 1993		Superficie 2007		Différence 1965 à 2007	
Occupation des sols	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Bande boisée	2,11	13,55	1,1	7,06	1	6,42	-1,11	-7,12
Culture	3,98	25,56	2,93	18,82	1,72	11,05	-2,26	-14,51
Jachère	5,45	35,00	3,95	25,37	1,06	6,81	-4,39	-28,19
Ravine	0,36	2,31	0,45	2,89	0,51	3,28	+0,15	+0,96
Savane	0,92	5,91	0	0,00	0	0,00	-0,92	-5,90
Sol nu cuirassé	0,45	2,89	1,59	10,21	1,82	11,69	+1,37	+8,79
Talus avec végétation	2,3	14,77	2,13	13,68	1,9	12,20	-0,4	-2,56
Sol dégradé	0	0,00	2,43	15,61	5,84	37,51	+5,84	+37,50
Zone d'épandage	0	0,00	0,99	6,36	1,72	11,05	+1,72	+11,04
Total	**15,57**	**100**	**15,57**	**100**	**15,57**	**100**		

L'évolution des superficies des classes d'occupations des sols du bassin versant de TondiKiboro entre 1965 et 2007 est présentée sur la figure 10 et le tableau 2. D'après le tableau ci-dessus on constate une différence négative en superficie de la classe bande boisée, jachère et culture et une différence positive de la classe sol dégradé, zone d'épandage et sol nu cuirassé. Entre 1993 et 2007 une grande partie des surfaces cultivées sont devenues des surfaces dégradées. Comme le démontre le graphique, la dynamique de l'occupation des sols du bassin versant de TondiKiboro entre 1965 et 2007 révèle une progression de la ravine, des sols dégradés et de la zone d'épandage et une régression de la bande boisée, de la jachère et des cultures. La savane arborée naturelle de 1965 est coupée au profit des cultures. Une importante partie des zones de cultures est devenue une zone d'épandage en 1993 et qui a progressé jusqu'en 2007 en occupant 11,05 %.

En 1993 une partie des surfaces cultivées est laissée en jachère et certains domaines de la jachère de 1965 ont été cultivés. Entre 1993 et 2007 on suppose que les jachères cultivées sont devenues en majorité en 2007 des sols dégradés.

2-2- Analyse comparée des résultats

Pour comparer l'évolution de l'occupation des sols au niveau de ces deux bassins versants nous utiliserons les images 1992-1993 et 2005-2007. Ces dates nous paraissent raisonnables pour faire la comparaison compte tenu de l'intervalle de temps entre les images.

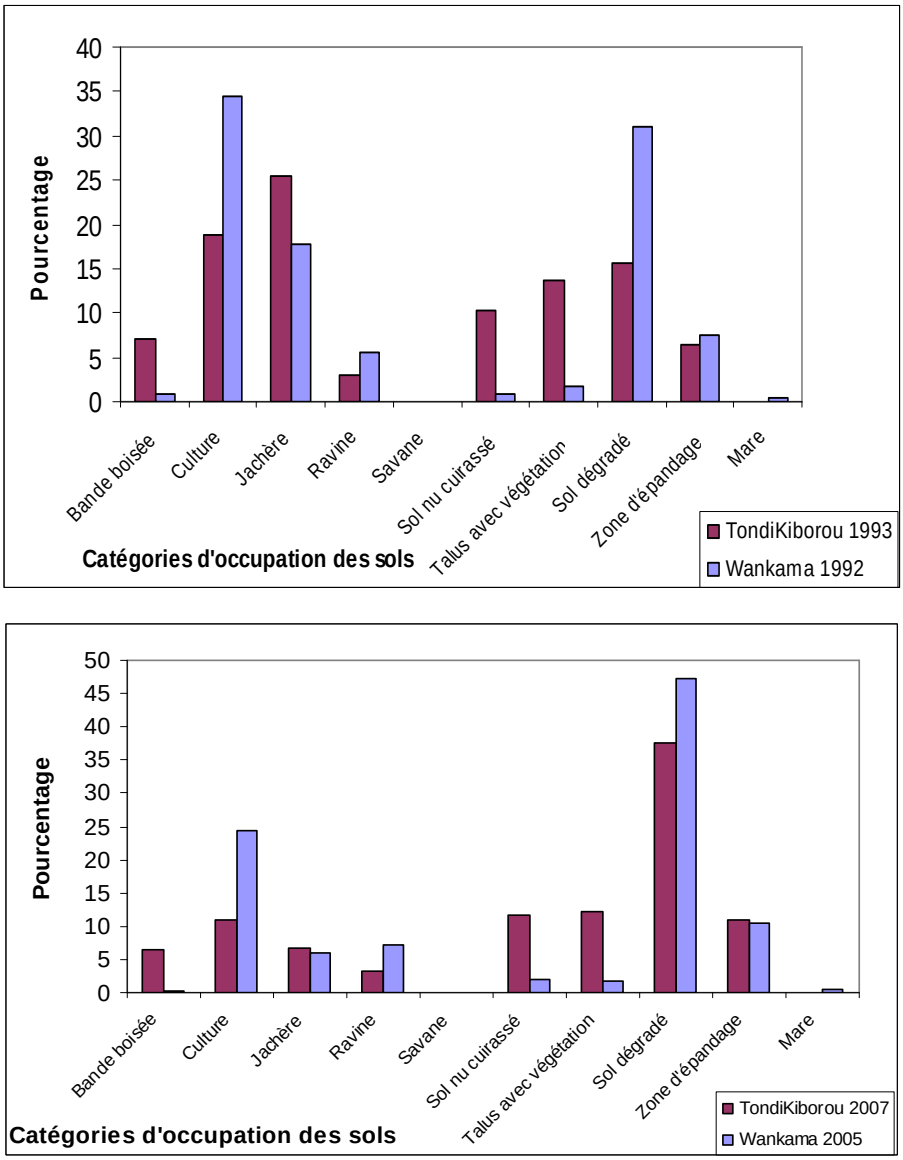


Fig.15: Histogrammes comparés de l'évolution de l'occupation des sols au niveau des deux bassins versants entre 1992-1993 et 2005-2007

La comparaison des deux bassins versants entre 1992-1993 (cf.fig.15) montre que le pourcentage des bandes boisées est plus important au niveau de TondiKiboro qu'à Wankama. Cependant la proportion des surfaces cultivées est plus élevée à Wankama qu'au niveau de TondiKibiro. Le pourcentage des surfaces utilisées par la jachère est très proche dans les deux bassins. Il y a plus de ravines à Wankama qu'à TondiKiboro. Les sols dégradés et la zone d'épandage occupent une superficie remarquable à Wankama. Par contre le pourcentage des sols nus cuirassés est plus élevé à TondiKiboro. On remarque aussi que la régression de la végétation sur le talus est plus importante à TondiKiboro qu'à Wankama.

De 1992-1993 à 2005-2007, l'occupation des sols se caractérise par une diminution des surfaces couvertes par la végétation. Les cultures ont connu une régression de 7,77 % à TondiKiboro et de 10, 07 % à Wankama. Cette augmentation progressive des sols dégradés (sols nus, ravines, zone d'épandage) au détriment des cultures et des jachères est plus ressentie à Wankama qu'à Tondikiboro.

Le défrichement anthropique et les pratiques culturales ont conduit à la dégradation des sols cultivés et à la diminution voire la disparition de la jachère.

L'analyse comparative de l'évolution de l'occupation des sols au niveau des deux bassins versants présente des similitudes. L'analyse montre qu'entre 1992-1993 et 2005-2007 il y a eu une régression des cultures, des jachères et de la couverture végétale et une évolution flagrante des sols dégradés et du ravinement.

Toutefois l'aspect de dégradation du milieu naturel du bassin versant de TondiKiboro s'affirme par un taux de dégradation nettement inférieur à celui de Wankama.

Les méthodes culturales (défrichement, déboisement…) pourraient expliquer la forte dégradation de ces bassins versants qui sont aussi influencés par les processus hydrologiques et climatiques.

CHAPITRE III : LES CONSEQUENCES HYDROLOGIQUES DES CHANGEMENTS D'USAGE DES SOLS (DEBITS, ETR)

Dans ce chapitre est présenté l'ensemble des mesures des débits et d'ETR ainsi que l'analyse des résultats permettant d'évaluer le bilan hydrologique au niveau des bassins versants. Les données de débits et d'ETR utilisées dans ce travail proviennent des expérimentations HAPEX Sahel (1991-1994) et d'AMMA (2004-2008).

3-1- Définitions des notions analysées

3-1-1- Débit

Nous distinguons le :

● Débit (module) : qui est le volume d'eau écoulé par un cours d'eau en un temps donné ; on utilise en général le débit instantané (m^3/s) ou annuel (en m^3 ou km^3) (Descroix, cours DEA).

● Débit ou module spécifique : qui est une notion plus géographique exprimée en $l/s/km^2$, il détermine le débit écoulé par seconde et par km^2 du bassin versant (Guilcher, 1979 cité par Descroix, en cours).

3-1-2- Evapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration est le processus de transfert de vapeur à partir des couvertures végétales, que le sol soit totalement couvert ou non (Dautrebande, 1991, cité par Nonguierma, 2004). Elle est donc la somme de la transpiration de la partie du sol restant à découvert. (Nonguierma, 2004).

Il existe plusieurs notions d'évapotranspiration : l'ETP (évapotranspiration potentielle), l'ETR (évapotranspiration réelle) et l'ETM (évapotranspiration maximale). Celle qui nous intéresse, l'ETR, est la quantité d'eau perdue par un couvert végétal sous forme de vapeur.

3-2- Inventaires des instruments des bassins versants

Des instruments de mesures hydro-climatiques sont installés sur les deux bassins versants (Wankama et Tondi Kiboro) afin de mieux comprendre leur fonctionnement hydrologique (cf. fig.16).

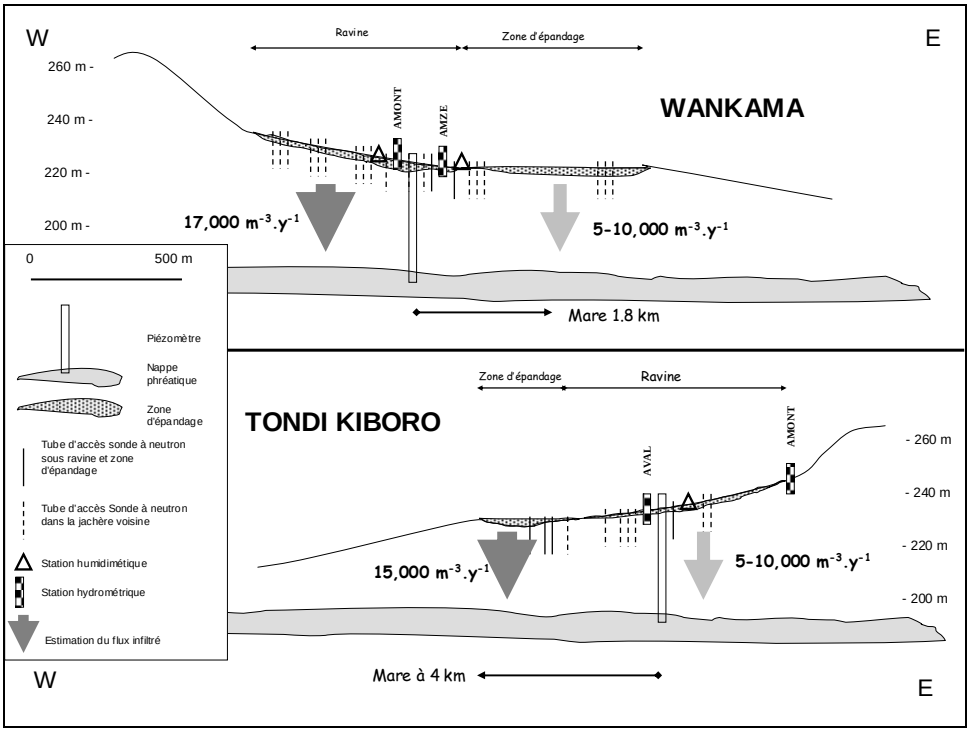


Fig.16 Instrumentation des deux bassins versants expérimentaux Wankama et TondiKiboro *(Source : Descroix et al, 2009).*

Parmi ces dispositifs de mesures nous avons des stations pourvues de capteurs humidimétriques sur les zones d'épandage, les ravines, les champs et aux alentours des jachères. Ces capteurs sont des tensiomètres (watermark) et des humidimètres TDR (time domain reflectometry). Les premiers permettent de suivre la progression du front d'humectation, et les seconds de suivre les valeurs de teneurs en eau de sol à diverses profondeurs (Descroix et al, 2009).

Des tubes d'accès pour comptage neutroniques sont aussi installés dans différents domaines : champs de mil, jachères, zone d'épandage, ravines, etc. ; ils permettent de suivre l'humidité du sol jusqu'à 10 voire 25 mètres de profondeur, et un réseau de mesure piézométrique existant a été complété aux abords des sites expérimentaux pour assurer un suivi spécifique des fronts d'humectation jusqu'à la nappe (Descroix et al, 2009).

Parmi les instruments mis en œuvre sur les deux sites on trouve également des pluviographes (enregistrement automatique) et des pluviomètres (lecture manuelle) (cf. photos 8 & 9). Ces deux appareils donnent la quantité de pluie tombée associée à l'évènement pluvieux.

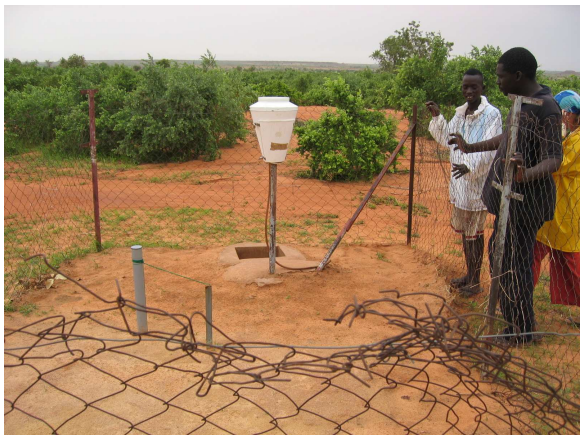


Photo n°8 : Pluviographe *(source : Descroix, 2004)*

Photo n°9 : pluviomètre *(source : Descroix, 2004)*

Des stations hydrométriques (cf.photo 10) sont placées dans les ravines et permettent de mesurer les hauteurs d'eau et après tarage du seuil, de connaître les débits caractérisant les écoulements. Des mesures de transports solides y ont été effectuées.

Photo n°10 : Station hydrométrique *(source : Descroix, 2004)*

Pourquoi étudier l'hydrologie d'un bassin versant ? Etudier les processus hydrologiques d'un bassin versant notamment le ruissellement ne peut se faire sans une étude de l'évolution du couvert végétal. Dans ce paragraphe, nous nous intéresserons spécifiquement aux conséquences hydrologiques des changements d'usages des sols. En effet les conséquences de l'occupation humaine sur les paysages (recul de la couverture végétale, extension de défrichement, méthodes culturales, déboisement, surpâturage,…) en sont les principaux facteurs de dégradation du couvert végétal et des sols. Ces changements dans l'utilisation des terres sont les causes de l'augmentation des écoulements dans les bassins versants sahéliens. Dans les régions sahéliennes, des études ont montré (Mahé et al., 2005 ; Liénou et al., 2005 ; Esteves et Rajot, 1999,) une augmentation des écoulements dans certains cours d'eau sahéliens dès les années 1970 alors que les pluies y sont déficitaires depuis 1968. Ainsi, plusieurs travaux associent l'augmentation des écoulements à une diminution de la couverture végétale naturelle, au profit des zones cultivées et dégradées, liées en grande partie aux activités humaines, dont l'aptitude au ruissellement est très supérieure (Mahé et al. 2005).

Des études sur des bassins dans lesquels la présence humaine est plus faible (Gorouol à Alcongui, Dargol à Téra) montrent que ce sont ceux où le coefficient d'écoulement a le moins augmenté (Mahé et al, 2005). La dégradation des sols amplifiés par les activités humaines est donc à l'origine de l'augmentation des écoulements. Ce qui nous amène à dire que la hausse des débits au niveau des bassins versant sahéliens n'est pas une bonne chose. Celle-ci a trois aspects négatifs :

– D’après les travaux (Hapex-Sahel, 1997), l’augmentation des écoulements de surface a provoqué la hausse de la nappe phréatique dans le sud-ouest du Niger. Cet impact n’est pas positif parce qu’il est aussi du à la dégradation de la couverture végétale et des sols qui ont entraîné les ruissellements vers les mares favorisant ainsi la recharge de la nappe.

– Des travaux ont démontré (Albergel, 1987 ; Pouyaud, 1987 cités par Mahé et al, 2003) l’augmentation des coefficients d’écoulement et des écoulements sur des petits bassins versants en zone sahélienne. Des investigations récentes ont montré que des bassins de taille supérieure (Sirba, Gorouol à Dolbel…) sont aussi concernés par cette augmentation des coefficients d’écoulement (Mahé et al, 2003). Cette hausse des débits engendre plus de transports de solides, (emportant des terres de cultures) et elle a comme conséquence l’ensablement du fleuve Niger.

– Le troisième aspect négatif est que ces crues sont violentes et elles durent moins longtemps. Ces régimes hydrologiques modifiés, expliquent l’avancée du pic de crue d’un mois à Niamey et elle survient en août plutôt qu’en septembre (Mahé et al., 2003). La dégradation du couvert végétal et des états de surfaces, à l’origine d’un phénomène continental influencé par le changement climatique (Mahé et al.2003,), est accentuée et prolongée par la dégradation d’origine humaine. Il s’en est suivi une péjoration générale des bilans hydriques et hydrologiques, l’altération des conditions d’écoulement et le dysfonctionnement des cours d’eau.

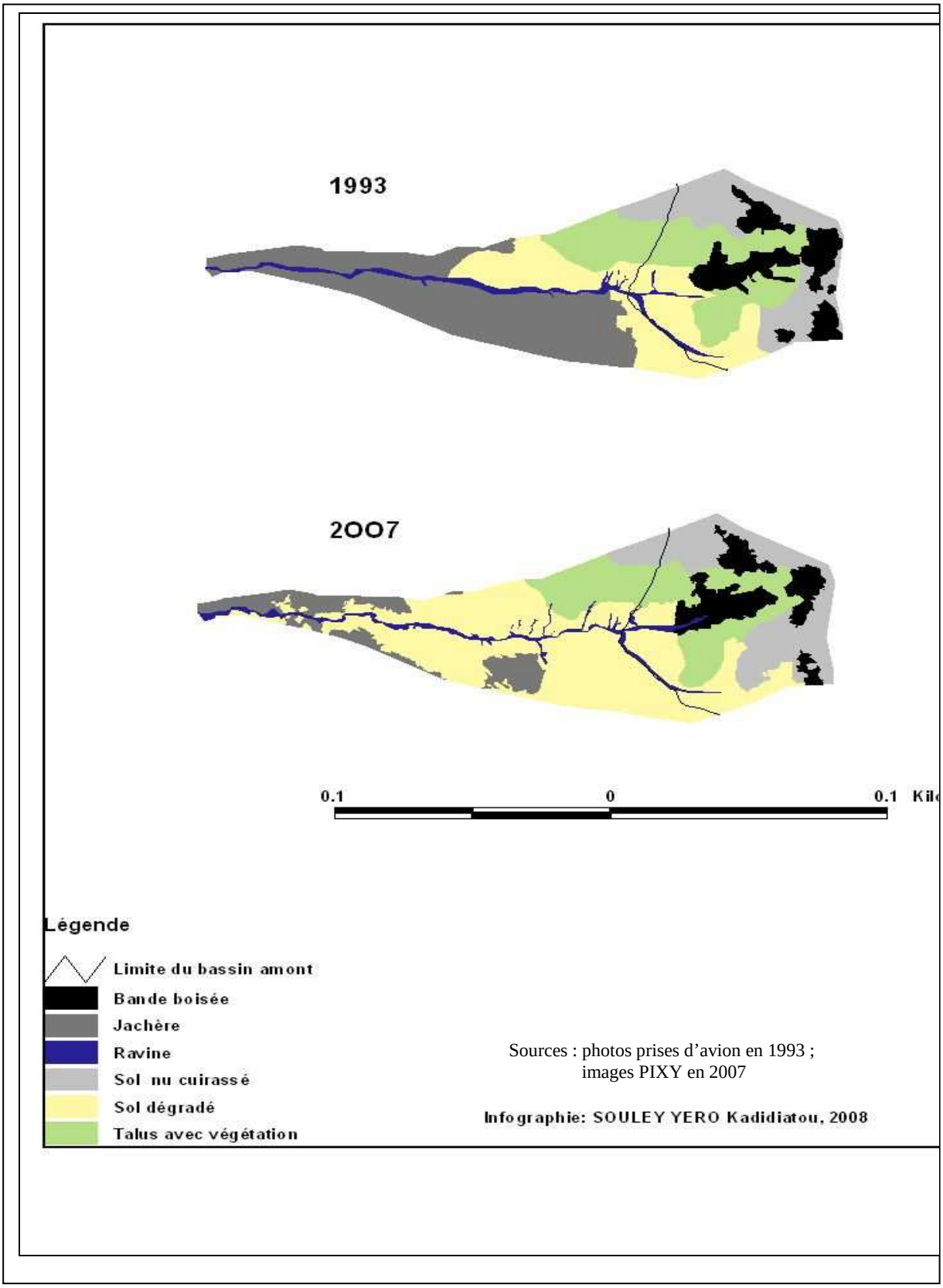
3-3- Etude de l’évolution des débits entre les périodes 1991-1994 et 2004-2008 au niveau du bassin versant de TondiKiboro et 2004-2008 pour le bassin de Wankama

Dans cette partie, nous tenterons d’étudier les conséquences des changements d’usage des sols sur le fonctionnement hydrologique de ces bassins versants.

3.3.1. Etude de l’évolution des débits entre les périodes 1991-1994 et 2004-2008 au niveau du bassin versant de Tondi Kiboro

La figure 17 montre le bassin de Tondi Kiboro sur lequel les mesures hydrologiques ont été effectuées ; elle illustre la différence d’occupation des sols entre 1993 et

2007 ; quant au tableau 3, il présente les résultats des coefficients d'écoulement



entre la période 1991-1994 et 2004-2008 pour le même bassin.

Fig.17 : Evolution de l'occupation des sols entre 1993 et 2007 sur le bassin versant de Tondi Kiboro

Tableau 3 : Pluie, écoulement et coefficient d'écoulement sur le bassin versant de Tondi Kiboro entre les deux périodes d'observations

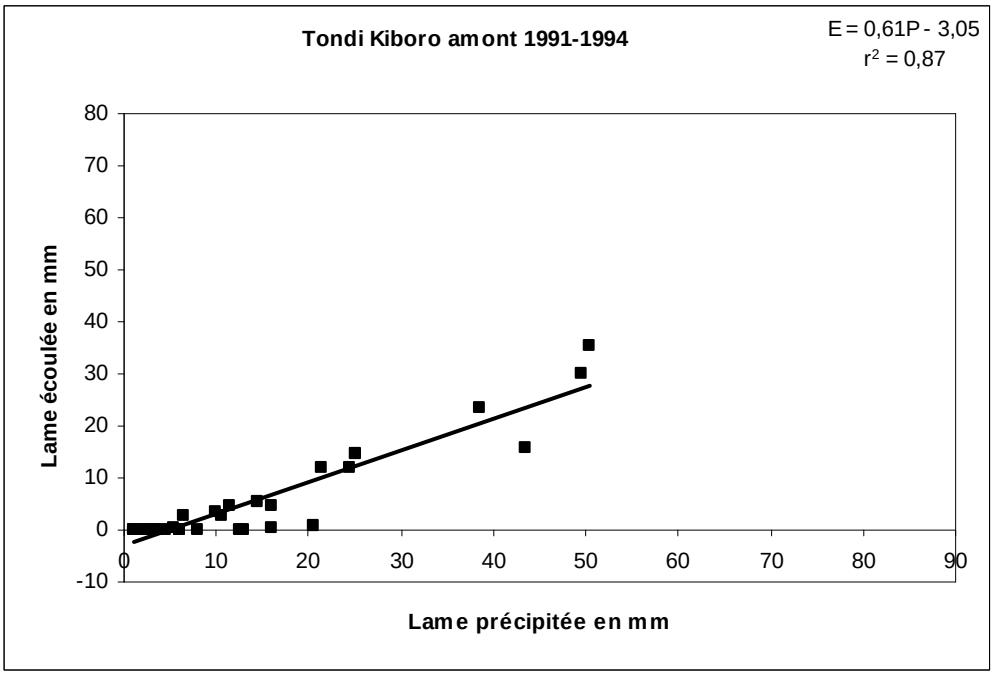
				1991-1994			
TK amont	PLUIE	LE	VE	CE	équation pluie débit	r^2 E = a P + b	r^2 E = a P^2 +b
1991	440,50	178,21	8340,30	0,40	E = 0,65 P - 3,3	0,87	0,85
1992	425,50	100,50	4703,20	0,24	E = 0,36 P - 1,49	0,86	0,82
1993	459,50	139,88	6546,40	0,30	E = 0,43 P - 1,97	0,82	0,9
1994	653,26	300,60	14068,30	0,46	E = 0,67 P - 2,59	0,9	0,93
TOTAL 1992-1994	1549,76	540,99	25318,30	0,35	E = 0,54 P - 2,5	0,8	0,89
TOTAL1991-1994	1997,76	719,20	33658,60	0,36			
MOYENNE 3 ANS	512,75	180,33	8439,30	0,35	E = 0,56 P - 2,61	0,82	0,88
TK aval	PLUIE	LE	VE	CE	équation pluie débit	r^2 E = a P + b	r^2 E = a P^2 +b
1991							
1992	425,50	73,52	8126,70	0,17	E = 0,33 P - 2,27	0,74	0,66
1993	452,00	108,78	12024,10	0,24	E = 0, 37 P - 1,64	0,81	0,86
1994	660,04	215,67	23839,90	0,33	E = 0,5 P - 2,22	0,86	0,90
TOTAL 1992-1994	1537,54	396,88	43870,70	0,26			
MOYENNE 3 ANS	512,51	132,65	14663,57	0,26	E = 0,43 P - 2,3	0,79	0,84
				2004-2008			
TK amont	PLUIE	LE	VE	CE	équation pluie débit	r^2 E = a P + b	r^2 E = a P^2 +b
2004	533,00	251,30	11760,75	0,47	E = 0,64 P - 2,9	0,83	0,80
2005	400,00	94,79	4436,40	0,24	E = 0,56 P - 3,4	0,86	0,80
2006	560,67	229,80	10754,50	0,41	E = 0,78 P - 5,4	0,81	0,78
2007	523,53	288,38	13496,28	0,55	E = 0,76 P - 3,95	0,79	0,72
2008	610,70	333,84	15623,93	0,55	E = 0,83 P - 5,4	0,94	0,91
TOTAL 5 ANS	2627,90	1198,12	56071,86	0,46			
MOYENNE 5 ANS	525,58	239,62	11214,37	0,46	E = 0,76 P - 4,8	0,86	0,82
TK aval	PLUIE	LE	VE	CE	équation pluie débit	r^2 E = a P + b	r^2 E = a P^2 +b
2004	533,00	170,97	18898,49	0,32	E = 0,63 P - 3,2	0,72	0,84
2005	400,10	64,78	7160,63	0,16	E = 0,31 P - 1,7	0,80	0,74
2006	560,67	131,99	14590,00	0,24	E = 0,51 P - 4,3	0,80	0,77
2007	523,53	127,40	14083,21	0,24	E = 0,46 P - 4,06	0,82	0,78
2008	610,70	193,28	21261,06	0,32	E = 0,52 P - 3,8	0,89	0,89
TOTAL 5 ANS	2628,01	688,42	75993,38	0,26			
MOYENNE 5 ANS	525,60	137,68	15198,68	0,26	E = 0,5 P - 3,59	0,79	0,79

LE : lame écoulée ; VE : volume écoulé ; CE : coefficient d'écoulement

La relation pluie – lame ruisselée (fig. 18) montre une dispersion des valeurs observées. Pour la partie du bassin versant amont pendant la période 1991-1994 on constate que l'ensemble des pluies supérieures à environ 5 mm ont engendré des lames ruisselées. Cependant, pour la partie aval, on observe qu'il y'a plus de pluies qui n'ont pas provoqué d'écoulement à l'exutoire.

On constate que la moyenne annuelle des trois ans 1992-1994 pour la partie amont (voir tableau 3) est un coefficient d'écoulement de 35% contre 26% pour la partie

aval durant cette même période. Ceci s'explique en partie seulement parce qu'il y a plus de ruissellement en amont qu'en aval.



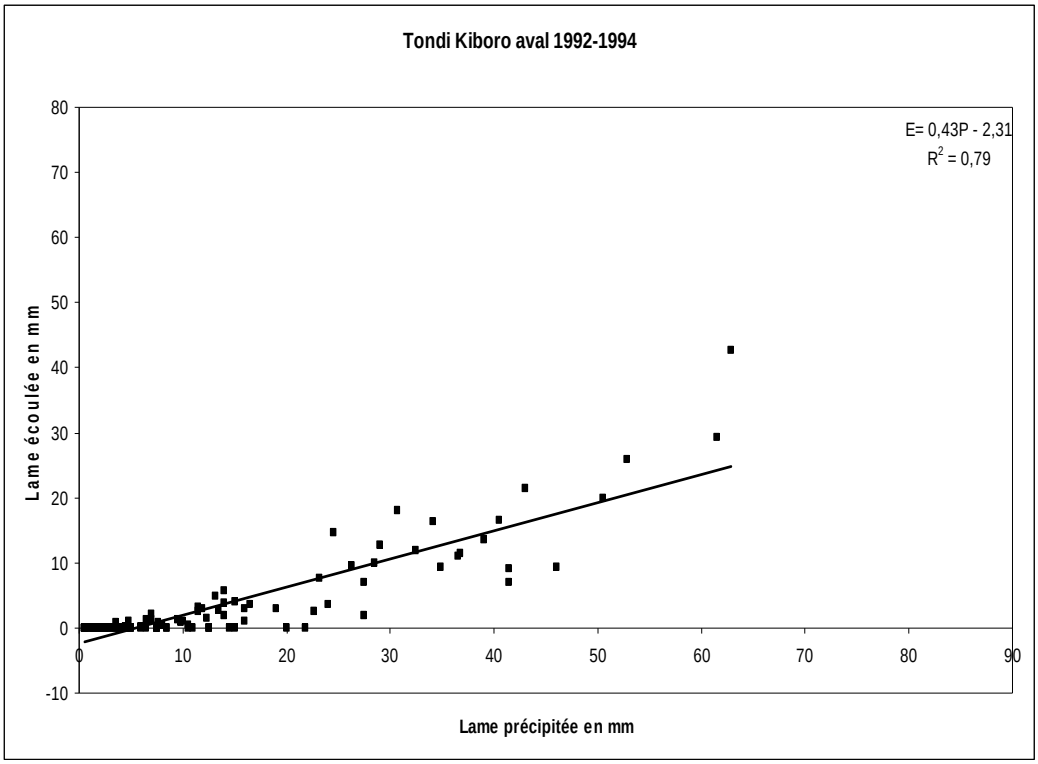
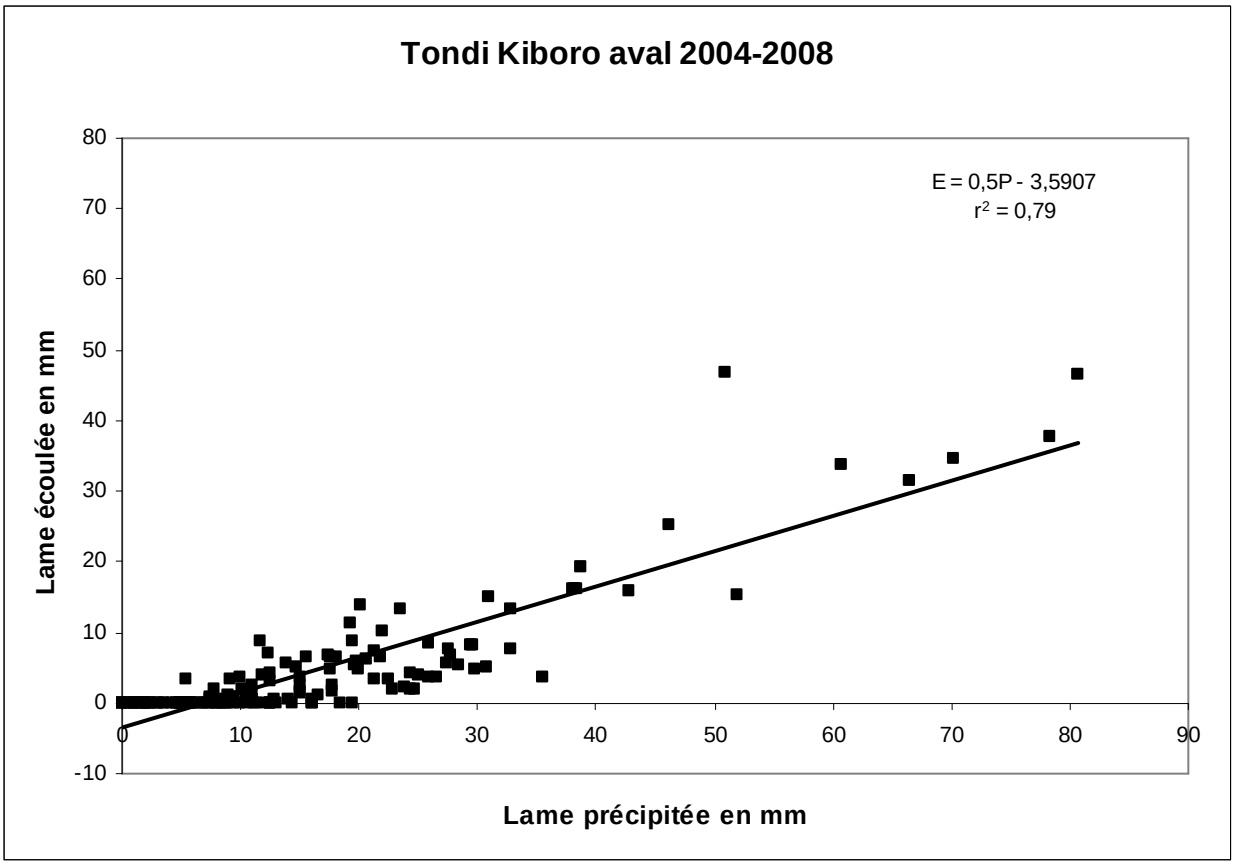


Fig.18 : Relation pluie / lame écoulée pour la période 1991-1994 sur le bassin versant de Tondi Kiboro

Sur la figure. 19 sont reportées les relations pluie/débit reconstituées à partir des observations pluviométriques pour la période 2004-2008. On observe une différence de la relation pluie/lame écoulée entre les deux parties (amont et aval). La partie amont produit des ruissellements et des écoulements plus forts. Le coefficient d'écoulement pour la moyenne annuelle des 5 ans d'observation est de 46% contre 26% pour la partie aval.

L'analyse des ruissellements sur chaque année met en évidence une variation des lames ruisselées et du coefficient d'écoulement (CE) pour les deux périodes (1991-1994 et 2004-2008). Toutefois on constate une augmentation sensible du CE en amont du bassin versant.



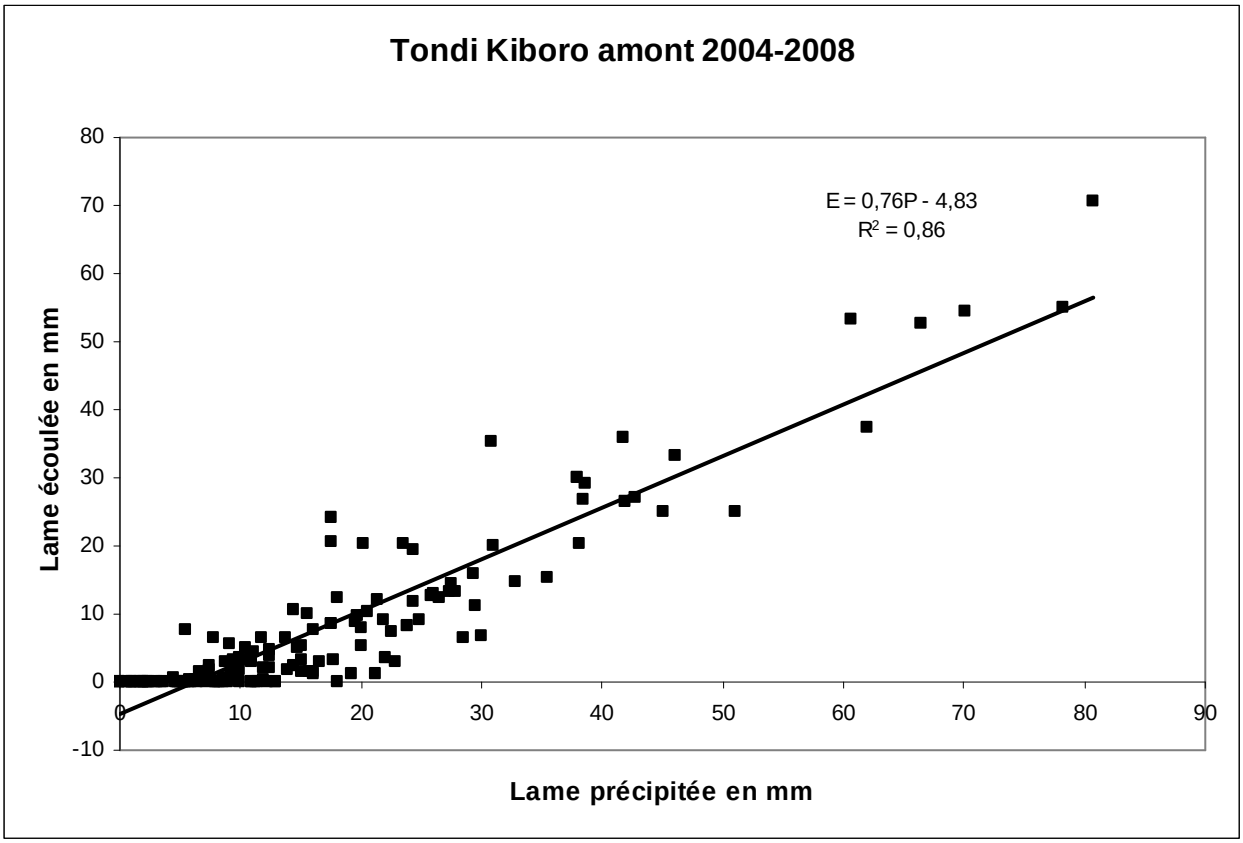


Fig.19 : Relation pluie / lame écoulée pour la période 2004-2008 sur le bassin versant de Tondi Kiboro

La comparaison des écoulements (voir tableau 3) pendant les deux périodes (P1=1991-1994 et P2=2004-2008) pour la partie amont du bassin versant montre une augmentation sensible de la hauteur des lames ruisselées et du coefficient du ruissellement qui passe de 36% pour P1 à 46% pour P2.

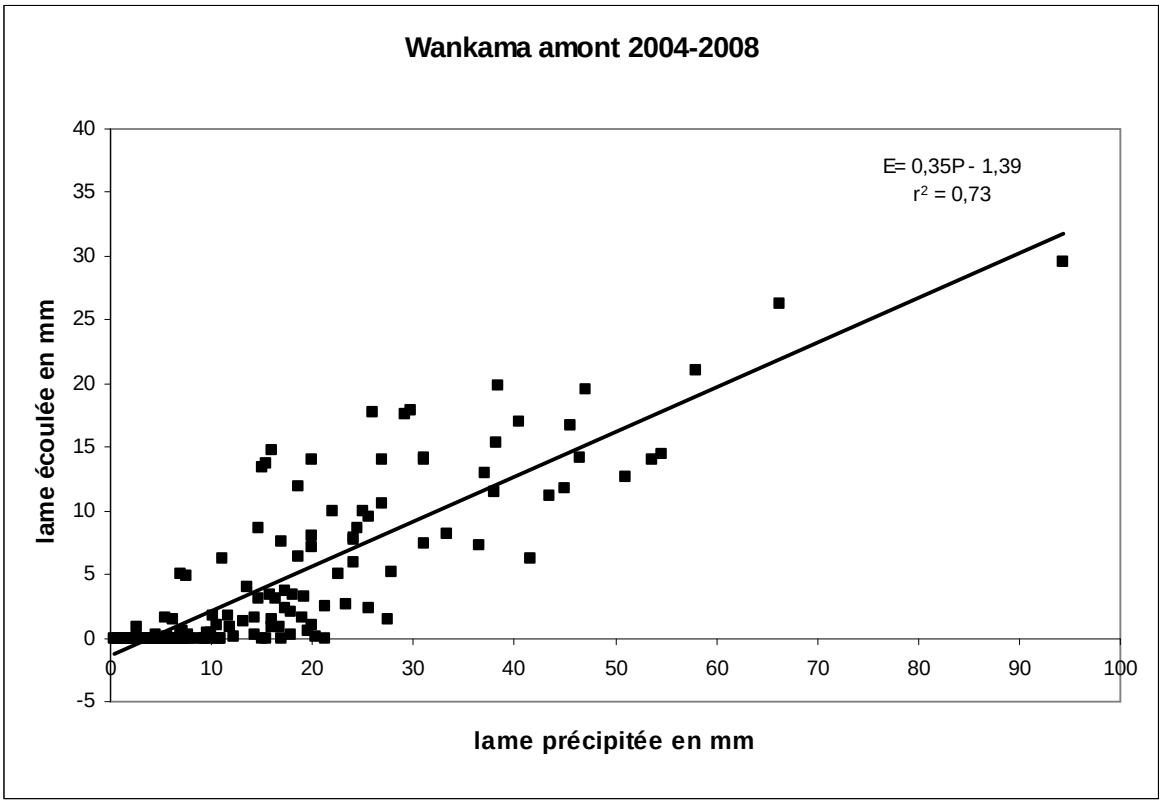
Par contre on constate que le CE ne varie pas entre ces deux périodes pour la partie aval (0,26). Les coefficients de corrélations de la relation pluie/débit varient entre 0,8 et 0,86 pour l'amont du bassin versant ; mais pour ce qui est de la partie aval ils ne changent pas (0,79). Les CE bien plus faibles pour la partie aval traduisent en fait la très forte infiltration dans la ravine entre les deux stations (cf. fig.16). Les coefficients d'écoulement sont en fait plus élevés, comme le suggèrent les coefficients des équations pluie/débit (voir tableau) pour les deux périodes.

3.3.2. Etude de l'évolution des débits entre les périodes 2004-2008 au niveau du bassin versant de Wankama

Tableau 4: Pluie, écoulement et coefficient d'écoulement sur le bassin versant de Wankama entre la période 2004-2008

			2004-2008				
WK amont	Pluie	LE	VE	CE	Equation pluie débit	r^2 E= aP+b	r^2 E= aP^2+b
2004	378,92	35,14	10542,67	0,09	E= 0,20P - 1,74	0,64	0,70
2005	500	66,14	19840,88	0,13	E= 0,24P - 1,32	0,87	0,85
2006	566,06	176,94	53081,91	0,31	E= 0,37P - 1,05	0,85	0,81
2007	444,68	140,66	42197,04	0,32	E= 0,38P - 1,17	0,82	0,79
2008	585,45	234,03	70210,38	0,40	E= 0,36P + 0,63	0,74	0,59
Total 2004-2008	2475,11	652,91	195872,88				
Moy. 5ans	495,02	130,58	39174,58	0,26	E= 0,35P - 1,39	0,73	0,7
WK AMZE	Pluie	LE	VE	CE	Equation pluie débit	r^2 E= aP+b	r^2 E= aP^2+b
2004	378,92	28,97	9269,26	0,08	E= 0,18P - 1,68	0,58	0,67
2005	500	29,52	9446,11	0,06	E= 0,14P - 1,05	0,82	0,93
2006	566,06	71,04	22732,10	0,13	E= 0,20P - 1,43	0,80	0,90
2007	444,68	64,09	20509,56	0,14	E= 0,18P - 0,72	0,67	0,79
2008	585,45	90,16	28852,27	0,15	E= 0,31P - 2,77	0,71	0,66
Total 2004-2008	2475,11	283,78	90809,30				
Moy. 5ans	495,02	56,76	18161,86	0,11	E= 0,22P - 1,72	0,67	0,77

Le tableau 4 présente les résultats du bilan hydrologique du bassin de Wankama. L'analyse du tableau montre un coefficient de ruissellement qui passe de 26% pour le bassin versant amont à 11% pour le bassin versant AMZE (amont zone d'épandage, mais situé à l'aval du premier). Ces coefficients d'écoulement varient selon les années, mais ils sont plus élevés en amont du bassin versant qu'à la station AMZE. Dans cette partie aval l'infiltration se fait au détriment des écoulements. En effet, à ce niveau les coefficients d'écoulement sont relativement faibles. Cela peut s'expliquer par la présence des épais dépôts sableux au fond de la ravine et entre les deux stations hydrométriques. La figure 20 montre bien la différence des CE, plus élevés ici que ceux réellement mesurés, la pente de la droite de régression étant surtout le fait des évènements ruisselants. La constante est liée aux évènements pluvieux ne provoquant pas d'écoulement dans la ravine.



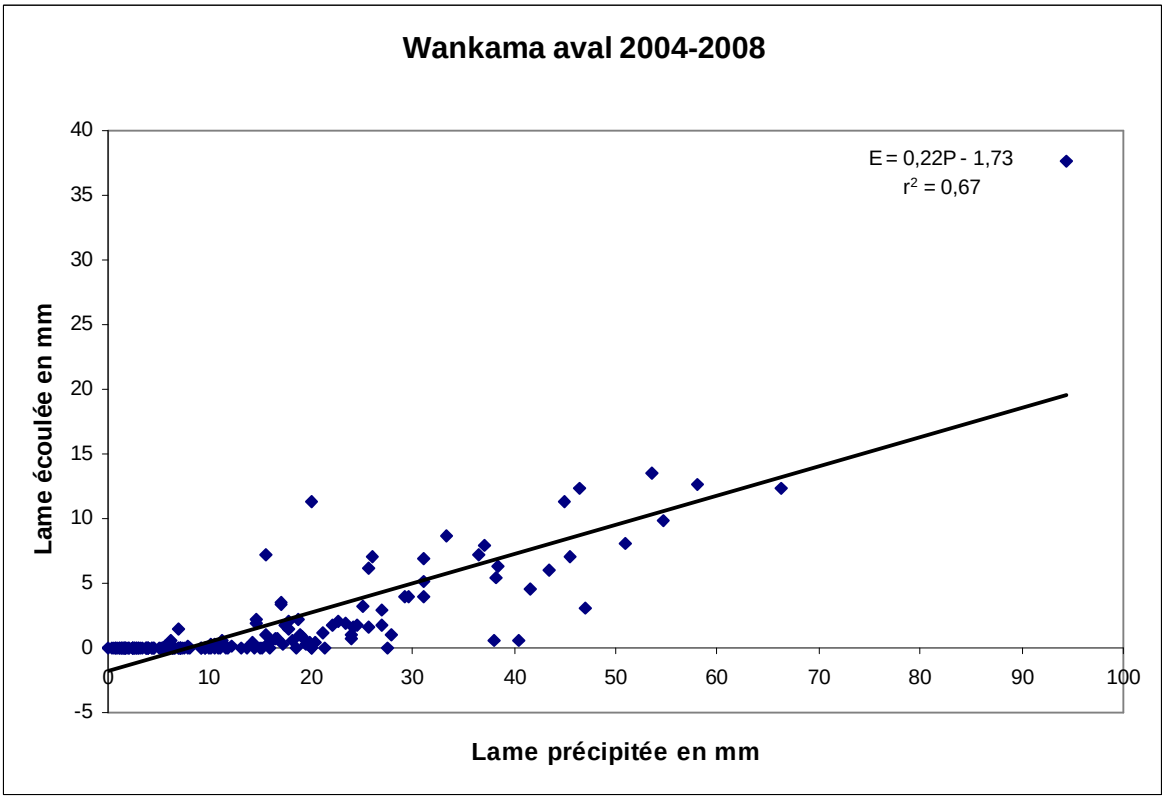


Fig.20 : Relation pluie / lame écoulée pour la période 2004-2008 sur le bassin versant de Wankama

L'analyse comparée des coefficients d'écoulement entre les deux bassins versants pour la période 2004-2008 (voir tableau 5) montre que sur la moyenne des cinq ans le coefficient de ruissellement passe de 0,46 à la station amont de TK à 0,26 en la station homonyme de Wankama. Et de 0,26 en aval de TK à 0,11 à station aval zone de Wankama appelée AMZE.

Les résultats des coefficients d'écoulements caractéristiques de la période 2004-2008 sont supérieurs au niveau du bassin de Tondi Kiboro qu'à celui de Wankama.

Tableau 5: Comparaison de la pluie, de l'écoulement et du coefficient d'écoulement sur les bassins versants de Tondi Kiboro et Wankama pour la période 2004-2008

			2004-2008				
TK amont	PLUIE	LE	VE	CE	équation pluie débit	r^2 E = a P + b	r^2 E = a P^2 +b
2004	533,00	251,30	11760,75	0,47	E = 0,64 P - 2,9	0,83	0,80
2005	400,00	94,79	4436,40	0,24	E = 0,56 P - 3,4	0,86	0,80
2006	560,67	229,80	10754,50	0,41	E = 0,78 P - 5,4	0,81	0,78
2007	523,53	288,38	13496,28	0,55	E = 0,76 P - 3,95	0,79	0,72
2008	610,70	333,84	15623,93	0,55	E = 0,83 P - 5,4	0,94	0,91
TOTAL 5 ANS	2627,90	1198,12	56071,86	0,46			
MOYENNE 5 ANS	525,58	239,62	11214,37	0,46	E = 0,76 P - 4,8	0,86	0,82
TK aval	PLUIE	LE	VE	CE	équation pluie débit	r^2 E = a P + b	r^2 E = a P^2 +b
2004	533,00	170,97	18898,49	0,32	E = 0,63 P - 3,2	0,72	0,84
2005	400,10	64,78	7160,63	0,16	E = 0,31 P - 1,7	0,80	0,74
2006	560,67	131,99	14590,00	0,24	E = 0,51 P - 4,3	0,80	0,77
2007	523,53	127,40	14083,21	0,24	E = 0,46 P - 4,06	0,82	0,78
2008	610,70	193,28	21261,06	0,32	E = 0,52 P - 3,8	0,89	0,89
TOTAL 5 ANS	2628,01	688,42	75993,38	0,26			
MOYENNE 5 ANS	525,60	137,68	15198,68	0,26	E = 0,5 P - 3,59	0,79	0,79
			2004-2008				
WK amont	Pluie	LE	VE	CE	Equation pluie débit	r^2 E=aP+b	r^2 E=aP^2+b
2004	378,92	35,14	10542,67	0,09	E=0,20P - 1,74	0,64	0,70
2005	500	66,14	19840,88	0,13	E= 0,24P - 1,32	0,87	0,85
2006	566,06	176,94	53081,91	0,31	E= 0,37P - 1,05	0,85	0,81
2007	444,68	140,66	42197,04	0,32	E= 0,38P - 1,17	0,82	0,79
2008	585,45	234,03	70210,38	0,40	E= 0,36P + 0,63	0,74	0,59
Total 2004-2008	2475,11	652,91	195872,88				
Moy. 5ans	495,02	130,58	39174,58	0,26	E=0,35P - 1,39	0,73	0,7
WK AMZE	Pluie	LE	VE	CE	Equation pluie débit	r^2E=aP+b	r^2 E=aP^2+b
2004	378,92	28,97	9269,26	0,08	E=0,18P - 1,68	0,58	0,67
2005	500	29,52	9446,11	0,06	E= 0,14P - 1,05	0,82	0,93
2006	566,06	71,04	22732,10	0,13	E= 0,20P - 1,43	0,80	0,90
2007	444,68	64,09	20509,56	0,14	E= 0,18P - 0,72	0,67	0,79
2008	585,45	90,16	28852,27	0,15	E= 0,31P - 2,77	0,71	0,66
Total 2004-2008	2475,11	283,78	90809,30				
Moy. 5ans	495,02	56,76	18161,86	0,11	E= 0,22P - 1,72	0,67	0,77

Mais si l'on compare bien la position des deux stations respectivement dans chaque bassin versant (figure 16), on peut constater que la station aval de Tondi Kiboro, encore assez éloignée de sa zone d'épandage, ressemble plus à la station amont de Wankama qu'à la station AMZE de ce dernier bassin ; de ce fait, le comportement respectif des deux basins n'est pas si différent.

Le Tableau 6 synthétise les mesures de 2004 à 2008 sur 15 parcelles de 10 et 100m² situées sur des états de surface caractéristiques de la région. Ces travaux ont été réalisés par des étudiants en géographie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey (Mamadou, 2006) et de l'Université Paris 8 (Le Breton, thèse en cours, à soutenir en 2009.

Tableau 6 : Coefficient de ruissellement et taux d'érosion mesurés sur des parcelles de 10 et 100 m² des bassins de Wankama et Tondi Kiboro (moyenne 2004-2008)

	Kr %	erosion kg/ha
Champ de mil	3,8	373
Jachère	10,5	881
Croûte d'érosion ERO	59,5	5566
Croûte algale ALG	25,5	863

(sources : Mamadou, 2006 ; Le Breton 2009)

Ce tableau montre que les zones de production importante de ruissellement sont les surfaces dégradées (croûte d'érosion, croûte algale).

Enfin la dernière colonne des tableaux 3,4, et 5 donne le coefficient de détermination de la relation E= aP + b. Les hydrologues ont en effet souvent l'habitude de considérer que dans les secteurs à fort ruissellement, le ruissellement et l'écoulement sont mieux corrélés avec le carré de la pluie qu'avec la pluie elle-même, cette fonction puissance étant liée à un processus exponentiel. On constate ici que pour les deux bassins étudiés sur les deux périodes P1 et P2, on obtient aussi souvent une meilleure corrélation avec la relation E= aP + b qu'avec la relation puissance.

3-4- Etude de l'évolution de l'évapotranspiration (ETR) sur les décennies 1990-1994 et 2004-2007 au niveau des deux bassins versants

Dans cette partie nous avons voulu étudier les variations de l'ETR entre ces deux périodes pour voir si la dégradation de la couverture végétale et des états de surfaces imputables à l'augmentation de l'albédo est responsable de l'altération des phénomènes thermo-convectifs à l'échelle locale. Mais par manque de données sur les mesures d'ETR au niveau de ces bassins versants nous ne sommes pas en mesure de faire cette étude. Cependant, elle fera partie de la suite de nos travaux (Thèse) où nous utiliserons la télédétection notamment la thermographie infra-rouge pour le calcul de l'ETR. Ainsi nous nous contenterons seulement d'apporter des éléments concrets aux études réalisées au Sahel montrant que les variations de l'ETR dues à une régression de la surface couverte par la végétation peuvent modifier les mécanismes de rétro-action surface / atmosphère.

En effet, l'évapotranspiration réelle dépend du degré de couverture du sol par la végétation. Cependant la dégradation des sols (encroûtement, ravinement, dénudation et appauvrissement du tapis végétal) contribue à limiter cette évapotranspiration à l'échelle locale.

Yao (1997) a montré que la diminution de l'évapotranspiration au cours de la décennie 1980-1989 est due, en plus de la baisse des précipitations, à la mise en culture des terres sur des vastes superficies. Cette déforestation a entraîné une augmentation de l'albédo (énergie rétrocédée à l'atmosphère). Ce qui a entraîné la baisse de l'énergie disponible pour l'évapotranspiration et a provoqué ainsi la réduction des apports continentaux aux flux de moussons.

Selon Courel (1984), la diminution de l'ETR ainsi que la variabilité interannuelle constatée au niveau de la pluviométrie ne sont pas en contradiction avec les mécanismes de rétroactions surface / atmosphère. L'étude a montré que la diminution de L'ETR peut être à la base du déficit pluviométrique généralisé au Sahel. Si l'évapotranspiration est faible, la quantité de nuages est beaucoup plus faible, et la diminution de l'absorption des radiations solaires par le sol conduit directement à une réduction du réchauffement de l'atmosphère via réémission de chaleur contenu dans le sol (Charney et al, 1975 cité par Courel 1984).

Ces résultats montrent que la couverture végétale joue un rôle important dans le maintien des apports continentaux en vapeur d'eau à l'atmosphère. Les

changements environnementaux anthropiques liés à la diminution de l'évapotranspiration réelle et à l'augmentation de l'albédo ont-ils contribué à la variabilité des précipitations au Sahel ?

Discussion

La dynamique de l'occupation du sol est en relation directe avec les perturbations climatiques et les actions anthropiques. Les sécheresses successives ont eu certes des conséquences sur la végétation, mais les causes anthropiques liées essentiellement aux activités agro-pastorales, aux déboisements, (coupes pour le bois de chauffe, défrichements) et à la réduction de la pratique des jachères sont en grande partie responsables de la régression de cette végétation. Le surpâturage participe aussi à la dégradation des sols détruisant la couverture végétale, ligneuse et herbacée, exposant ainsi les sols aux effets de l'érosion. Il s'en suit l'apparition des plages de sols nus et des sols dégradés. La modification des états de surfaces constitue le facteur prépondérant de la genèse et de la dynamique des processus de ruissellement et d'infiltration des bassins versants. Ces transformations du milieu sous l'action anthropique et climatique ont entraîné l'augmentation des écoulements au niveau des bassins versants. Cette augmentation est reliée à une augmentation des surfaces nues et dégradées au détriment des surfaces de végétation naturelle comme l'a montré l'étude de l'évolution de l'occupation des sols au niveau de ces deux bassins versants.

Dans les années 1980 les conditions pluviométriques se sont dégradées dans le Sahel. Pour Courel (1984), l'état des milieux sahéliens en 1983 est imputable au déficit pluviométrique persistant des années 1968-1983, mais il est aussi l'aboutissement de leur exploitation séculaire. L'analyse des images au niveau de ces bassins versants a mis en évidence une modification importante de l'occupation des sols par extension des sols dégradés. La répercussion des changements d'usage des sols sur ces bassins versants se traduit par le recul de la savane et de la jachère au profit des champs cultivés mais aussi le recul des cultures au profit des sols nus et dégradés. Il a été constaté qu'entre 1950 à 1992 les surfaces cultivées ont augmenté au niveau du bassin versant de Wankama, alors qu'en 2005 elles ont connu une diminution. On pourrait donc penser à une dégradation quasi-totale des superficies déjà mises en culture entre ces deux dates. L'analyse des données montre aussi que la végétation dense de 1965 au niveau du bassin versant de Tondi Kiboro a été complètement défrichée et mise en culture en 1993. L'étude nous a permis d'évaluer l'état de dégradation de ces bassins versants au cours de la décennie 1950-2007. D'une manière générale on constate une extension des sols

dénudés et dégradés et une nette régression de la couverture végétale, de la jachère et une diminution des cultures observées dans les années 1990. Cette dégradation a ainsi favorisé l'augmentation des ruissellements.

Dans tous les cas, les résultats confirment la forte augmentation du coefficient d'écoulement. Les données présentent en général des variations moins significatives (Tableau 3) du fait de la très forte infiltration observée entre les deux stations dans chaque bassin ; cette infiltration est facile à chiffrer dans le cas de Wankama où le débit diminue de plus de moitié entre les deux stations faute de réalimentation par un bassin versant intermédiaire très petit (des estimations sont indiquées figure 16). L'augmentation des écoulements pendant la période 1991-1994 et 2004-2008 est due essentiellement à la modification dés états de surfaces au niveau des bassins versants.

L'analyse du tableau 6 portant sur le coefficient de ruissellement et les taux d'érosion mesurés sur des parcelles de 10 et 100 m² conforte nos résultats et démontre également que la dégradation des sols est à l'origine de l'augmentation des écoulements au niveau de ces bassins versants.

On remarque que le coefficient d'écoulement (0,26) n'a pas changé en aval pour les deux périodes P1 et P2 au niveau du bassin versant de TK, (voir tableau 3) alors que pour ce même CE la durée est beaucoup plus courte avec une baisse de 28 heures à 19 heures d'écoulement entre P1 et P2. Le tableau 7 résume les temps d'écoulement des deux bassins versants.

Tableau 7 : Durée total d'écoulement en heure

Durée totale annuelle d'écoulement d'eau à la station						en heures					TOTAL	MOYENNE
	1991	1992	1993	1994	MOYENNE 92-94	2004	2005	2006	2007	2008	2004-2008	2004-2008
TK AMONT	20,64	28,8	36,96	53,04	**39,6**	31,2	17,4	36,5	50,6	46,03	181,73	**36,3**
TK AVAL		16,32	25,68	42,24	**28,08**	24,6	13	20	18,6	21,8	76,2	**19,1**
WK AMONT						11,1	19,8	28,6	23,8	35,8	119,1	**23,8**
WK AMZE						8,5	12,2	18,7	8,9	26,2	74,5	**14,9**
Dif TK 1 et 2					**11,52**	6,6	4,4	16,5	32		105,53	**17,3**
Dif WK 1 et 2						2,6	7,6	9,9	14,9		44,6	**8,9**

Ce temps plus court pour produire approximativement le même volume écoulé traduit bien un accroissement du ruissellement, et, comme cela a été observé à l'échelle des grands bassins exoréiques (Amogu, 2009 ; Descroix et al, 2009), un temps de

réponse plus court des bassins aux précipitations, donc des crues plus courtes et plus brutales.

Conclusion et Perspectives

L'objectif de ce mémoire est d'étudier l'évolution de l'occupation des sols et leurs conséquences sur le bilan hydrologique. Cette étude a montré l'intérêt de la photo interprétation dans l'analyse de la dynamique de l'occupation des sols. Il s'agissait pour nous d'étudier les changements intervenus dans l'occupation des sols de 1950 à 2007. Et d'évaluer les conséquences au niveau du bilan hydrique.

Du point de vue bilan de cette étude nous retiendrons que l'occupation des sols a considérablement évolué entre les différentes dates examinées. Dans le chapitre 2 nous avons montré que l'occupation des sols a connu des variations importantes au niveau de ces deux bassins versants. On a observé que les surfaces dégradées se sont accrues, tandis que la jachère et les cultures ont diminué.

Le constat alarmant de la dégradation entre 1950 et 2007 se traduit principalement par l'augmentation des sols dégradés en raison de leur encroûtement, leur ravinement, leur dénudation et l'appauvrissement du tapis végétal. Sur les cartes d'occupation des sols on a observé une diminution de la couverture végétale et de la surface couverte par la jachère au profit des cultures et une augmentation des superficies occupées par les sols dégradés.

Il s'ensuit ainsi une augmentation des écoulements. D'une manière générale le ruissellement a plutôt tendance à augmenter en amont des bassins versants qu'en aval et on a une forte infiltration au niveau des zones d'épandage ou dans les fonds des ravines et cela à cause de l'érosion des sols qui accumule les sables dans le fond des vallées et le lit des koris. Les études (Albergel, 1987, Mahé et al 2002 et 2003, Leduc et al 2001) montrant que la modification des états de surfaces (augmentation des surfaces cultivées et des sols nus et dégradés) ont entraîné l'accroissement des débits en dépit des déficits de précipitations, confirment nos résultats.

L'objectif de cette étude était de montrer que la dégradation des sols est le mécanisme prépondérant de l'augmentation des écoulements. L'étude de l'évolution de l'occupation des sols et celle des débits nous a permis de confirmer que les écoulements sont fortement liés aux changements d'usage des sols. L'augmentation des ruissellements est en effet reconnu pour avoir des effets négatifs sur l'environnement, tant par sa contribution aux crues, que pour sa capacité à transporter vers les cours d'eau des matières de suspension issues de l'érosion

(entraînant des pertes des terres de cultures), Les causes à l'origine des modifications du régime des écoulements sont essentiellement d'origine anthropique (modifications de l'état de l'occupation des sols).

Ainsi, l'augmentation des débits s'explique par les changements intervenus sur le plan de l'occupation des sols sur les bassins versants. En effet la diminution de la couverture végétale et l'extension des surfaces cultivées contribuent à l'augmentation du coefficient de ruissellement sur les bassins.

Des aménagements doivent être envisagés pour limiter la dégradation des sols et le dysfonctionnement hydrologique des bassins versants. Il semble par exemple plus judicieux de prévoir des aménagements en amont d'abord puis au niveau des ravines en aval des collecteurs de drainage.

Le 3ème objectif de notre travail n'a pas pu se réaliser faute de données mais il est envisagé dans la suite de nos travaux et pourrait contribuer à l'hypothèse selon laquelle la baisse de l'ETR responsable de l'augmentation de l'albédo est à l'origine de la diminution de la pluie au Sahel.

La question scientifique centrale concerne l'interaction entre les effets des changements d'usage des sols (encroûtement ravinement, sols nus, sols dégradés, recul du couvert végétal) et d'autre part l'augmentation du ruissellement et de la baisse de l'ETR.

Bibliographie

ADA L., Rockstrom J. 1993 : Diagostic sur le système agraire du « Zarmaganda central » (Niger). Mémoire de fin d'étude INAPG, Paris, 82p.

ALBERGEL J. et Valentin C. 1988 : « Sahélisation » d'un petit bassin versant soudanien Kognere - Boulsa, au Burkina Faso. In Dégradation des Paysages en Afrique de l'Ouest…, * Séminaire de Dakar, 21-26 novembre 1988 * pp 119-133

ALBERGEL J., 1987 : Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface_ Application aux petits bassins du Burkina Faso. IAHS Publ. N°168 12p.

AMANI A. et Nguetora M. 2002 : Evidence d'une modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Niamey. In Van Lannen, H., Demuth, S. (Eds) FRIEND 2002 regional Hydrology: bridging the gap between research and pratice. Proc. Of Friend conf. Cape. Town. S.A. IAHS Pub. 274: 449-456p.

AMBOUTA J.M.K., 1997 : Définition et caractérisation des structures de végétation contractée au Sahel : cas de la brousse tigrée de l'ouest nigérien. In : Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. J.M. d'Herbès ; J.M.K. Ambouta ; R. Pelter John Libbey Eurotest, 1997, Paris 41-57p.

AMMA-CATCH, 2005 : Observation de la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest en interaction avec le cycle hydrologique et la dynamique de la végétation. 27p.

AMOGU O., 2009. « La dégradation des espaces sahéliens et ses conséquences sur l'alluvionnement du fleuve Niger : méthodes expérimentales et modélisation ». PhD Thesis, Université Joseph Fourier, *Grenoble, sous presse*.

ANYAMBA A. et Tucker C.J. 2005: Analysis of sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003 In : Journal of Arid Environnement 63 (2005) 596-614p.

AUBERT G. 1948 : Observations sur le rôle de l'érosion dans la formationde la cuirasse latéritique. CONFERENCE AFRICAINE DES SOLS, Gama (Congo Belge) 8-16 novembre 1948 5p.

BALME-DEBIONN M. 2004 : Analyse du régime pluviométrique sahélien dans une perspective hydrologique et agronomique. Etude de l'impact de sa variabilité sur la culture du mil. Institut National Polytechnique de Grenoble. Thèse de Doctorat. 162p.

BERQUE A., 1991 : « Espace, milieu, paysage, environnement », In : Encyclopédie de géographie / sous la direction d'A. Bailly, R. Ferras, D. Pumain, Paris, Economica, pp. 351-370.

BERTRAND C., BERTRAND G. 1991 : «La géographie et les sciences de la nature ». pp. 109-128. In : Encyclopédie de géographie / sous la direction d'A. Bailly, R. Ferras, D. Pumain, Paris, Economica, 1132p. VI

BOULAIN N. 2004 : « Effets des facteurs climatiques et anthropiques dans l'évolution récente des écosystèmes tropicaux : modélisation spatialisée du bilan hydrique d'un petit bassin versant sahélien » Thèse de Doctorat Université Pierre et Marie Curie – Paris VI p.171

BRUNET R. FERRAS R. THERY H., 1993 : Les mots de la géographie : Dictionnaire critique, Montpellier, Paris, Reclus et la documentation française, 3è ed, 518p.

CAPPELAERE B., Descroix L. http:// www.mpl.ird.fr

CASENAVE A. Valentin C. 1989: Les états de surfaces de la zone sahélienne, influence sur l'infiltration, ORSTOM, Paris, 229p.

CASENAVE A., Valentin C. 1985 : Influence de la surface du sol sur le ruissellement et l'infiltration. Ed. ORSTOM 43-47p.

CHINEN T. 1999: Recent accelerated grilly erosion and its affects in dry savana, south west of Niger. Pp.67-102.

COLLINET J. 1988 : Etude expérimentale de l'érosion hydrique de sols représentatifs de l'Afrique de l'ouest : présentation des sites expérimentaux. Méthode et identification des processus élémentaires. Analyse et comparaisons des régimes de ruissellement. Cah. ORSTOM. Sér. Pédol, Vol.XXIV n°3, 1988 235-254p.

CORNET A. 2001 : La désertification à la croisée de l'environnement et du développement : un problème qui nous concerne. 32p.

COUREL Marie Françoise, 1984 : Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites. Thèse Université Paris I 407p.

COUTERON P. 1997 : Contractions du couvert végétal et sécheresse. Exemples au nord-ouest du Burkina Faso. In : Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. J.M. d'Herbès ; J.M.K. Ambouta ; R. Pelter John Libbey Eurotest, 1997, Paris 69-79p.

D'HERBES J.M. et al. 1997 : La brousse tigrée au Niger : synthèse des connaissances acquises. Hypothèses sur la genèse et facteurs déterminant les différentes structures contractées. In : Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. J.M. d'Herbès ; J.M.K. Ambouta ; R. Pelter John Libbey Eurotest, 1997, Paris 131-152p.

DE WISPELAERE G. 1990 : Dynamique de la désertification au Sahel du Burkina Faso. Cartographie de l'évolution et recherches méthodologiques sur les applications de la télédétection. 545p.

DEMONT M., JOUVE P. 1999 : Evolution d'agros-écosystèmes villageois dans la région de Korhogo (nord côte d'ivoire). 108p.

DESCONNETS J.C. et al. 1991 : Etude des zones endoréiques en milieu sahélien. HAPPEX II SAHEL-ORSTOM. 25p.

DESCROIX L. 2003: Les conséquences hydrologiques de l'évolution des usages des sols. Mémoire de recherche. Diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université Joseph Fourier Grenoble I Comité d'habilitation « Sciences de la Planète » 85p.

DESCROIX L. et al. 2008: Spatio – Temporal Variability of hydrological Regimes Around the Boundaries between sahelian and sudanian Areas of west Africa: A synthesis. 40p.

DESCROIX L., BOUZOU M.I. et al. 2007-2008: Cours DEA

DESCROIX, L. and Gautier, E., 2002: Water erosion in the French Southern Alps: climatic and human mechanisms. Catena, 50: 53-85.

DESCROIX, **L.,** Estrada, J., Gonzalez B., J-L, Viramontes, D., 2005a: La Sierra Madre Occidentale, un château d'eau menacé. IRD Ed., coll. Latitude 23, 350 p., Paris.

DESCROIX, L., Gautier, E., Besnier, A-L., Amogu, O., Viramontes, D., Gonzalez Barrios, J-L., 2005b: Sediment budget as an evidence of land-use changes in mountainous areas: two stages of evolution. Sediment Budgets 2, IAHS Publ. 292, pp. 262-270.

DESCROIX, L., Laurent, J-P., Boubkraoui, S., Ibrahim, B., Cappelaere, B., Favreau, G., Mamadou, I., Le Breton, E., Quantin, G., Boulain, N..2009 ; Experimental evidence of deep infiltration under flat sandy areas. Soumis à Journal of hydrology

DESCROIX, L., Mahé, G., Favreau, G., Gautier, E., Olivry, J-C., Albergel, J., Diedhiou, A., Lebel, T., Galle, S., Dessouassi, R., Sighomnou, D., Cappelaere, B., Le Breton, E., Mamadou, I. 2009. Spatio-Temporal Variability of Hydrological Regimes Around the Boundaries between Sahelian and Sudanian Areas of West Africa: A Synthesis. Soumis *à Journal of Hydrology, AMMA special issue*

DEWOLF Y., BOURRIE G. 2007 : Les formations superficielles. Genèse – typologie – classification : Paysages et environnements – Ressources et risques. 798p.

DIELLO P. et al. 2005 : Relations indices de végétation-pluie au Burkina Faso : cas du bassin versant du Nakambé. In : *Hydrological Sciences Journal – des sciences Hydrologiques* 50(2), 207-221p.

DIELLO P. et al. 2006 : Méthodologie et application d'une démarche de modélisation hydrologique prenant en compte l'évolution des états de surface en milieu sahélien d'Afrique de l'ouest. Climate Variability and Change – Hydrological Impacts. IAHS Publ. N°308, 8p.

ESTEVES M. et Lenoir F. 1994 : Un exemple de fonctionnement hydrologique dans la région de Niamey : le bassin de Sama Dey

ESTEVES M., LAPETITE J.M. 2003: A multi-approach of runoff generation in a Sahelian gully catchment: a case study in Niger. Catena 50 (2003) 255-271p.

ESTEVES M., RAJOT J.L. 1999: UN exemple de cartographie de l'aptitude au ruissellement en région sahélienne : Sama Dey, Niger. In : Hydrological Sciences – Journal – des Sciences Hydrologiques, 44(2) April 1999. 297-312p.

FAVREAU G. et al. Impacts climatiques et anthropiques sur le fonctionnement hydrologique dans le bassin du Lac Tchad. 6p.

FAVREAU G. et al. La nappe phréatique en hausse du sud ouest du Niger, un paradoxe sahélien ? Nouveau bilan et perspectives. 3p.

GALLE S. et al. 1997 : Fonctionnement hydrologique et biologique à l'échelle locale. Cas d'une brousse tigrée au Niger. In : Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. J.M. d'Herbès ; J.M.K. Ambouta ; R. Pelter John Libbey Eurotest, 1997, Paris 105-118p.

GAVAUD M. 1977 : Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional. Ed. ORSTOM. 102p.

GRIMBERT H., BARGEOT L. Potentialités agro-climatiques des sols. Essai de modélisation spatiale du risque du déficit hydrique pour la Bresse. 23p.

GUENGANT J-P, Banoin M. 2003 : Dynamique des populations, disponibilités en terres et adaptation des régimes fonciers ; le Niger. Pub. FAO_CICRED, 142p.

GUMUCHIAN H. et Marois C., 2000 : Initiation à la recherche en géographie : Aménagement, développement territorial, environnement. Ed. Economica,2000 PUF, 425p.

HAUCHART V. 2005 : Culture de coton et dégradation des sols dans le Mouhoun (Burkina Faso). Université de Reims_Champagne-Ardenne. Doctorat, 467p.

HEIN L. and DERIDDER N. 2006: Desertification in the Sahel: a reinterpretation. Globale change Biology (2006) 12, 751-758p.

HERMANN et al. 2005: Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. 394-404p.

HOUNTONDJI Y.C. et al. 2004 : Mise en évidence des zones touchées par la désertification par télédétection à basse résolution au Niger. In Revue européenne de géographie, N°291 novembre 2004 18p.

ICHAOU A., d'HERBES J.M. 1997 : Productivité comparée des formations structurées et non structurées dans le Sahel nigérien. Conséquences pour la gestion forestière. In : Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. J.M. d'Herbès ; J.M.K. Ambouta ; R. Pelter John Libbey Eurotest, 1997, Paris 119-130p.

KAMAGATE B. et al. 2007 : Processus et bilan des flux hydriques d'un bassin versant de milieu tropical de socle du Bénin. (Donga, haut Ouémé). C.R. Geoscience 339 (2007) 418-429p.

KARAMBIRI, H., Ribolzi, O., Delhoume, J-P, Ducloux, J., Coudrain-Ribstein, A., 2003: Importance of soil surface characteristics on water erosion in a small grazed sahelian catchment. Hydrol. Process., 17: 1495-1507.

LE-BRETON E. (2005) : Ensablement des bas-fonds sahélien: étude des transferts sédimentaires au fleuve Niger dans le secteur moyen Niger –Mali ; Niger ; Bénin, DEA de géomorphologie de l'université Paris 7-Denis –Diderot, 74p.

LE-BRETON E. : « Réponses des systèmes hydrologiques et érosifs aux changements environnementaux dans le bassin du Niger moyen » Université Paris I Thèse en cours.

LEMAIRE G. et al. Impacts des modes d'occupation des sols par l'agriculture sur la recharge des aquifères et la gestion des ressources en eau. In : ESCo ''Sécheresse et agriculture''- Chapitre 1.1.

LIENOU et al. 2005: Evolution des régimes hydrologiques en région équatoriale Camerounaise: un impact de la variabilité climatique en Afrique équatoriale. *Hydrological Sciences Journal*. 24p.

LIVRE blanc 2003 : La Mousson Ouest Africaine et ses composantes : http : // amma. Mediasfrance.org/

LOIREAU et al. , 2007 : Système d'information sur l'environnement à l'échelle locale (Siel) pour évaluer le risque de désertification : situations comparées circumsahariennes (réseau Roselt) pp. 328-335 (article scientifique)

LOIREAU et al. ,1997 : Modèle de simulation de l'extension spatiale de l'emprise des cultures au Sahel. Journées Pirevs – Les Temps de l'Environnement Toulouse, novembre 1997 159-165p.

LOIREAU M. 1998 : Espaces – Ressources – Usages : Spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien. Thèse Université Montpellier III – Paul Valery 411p.

MAHAMANE A. et al. , 2007 : Analyse diachronique de l'occupation des terres et caractéristiques de la végétation dans la commune de Gabi (région de Maradi, Niger) pp.296-304 (article scientifique)

MAHE G. al. 2000 : Relations eaux de surface – eaux souterraines d'une rivière tropicale au Mali. Rubrique : Géosciences de surface. Sous-rubrique : Hydrologie-Hydrologie mai 2000.11p.

MAHE G. al. 2003 : Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur les ressources en eau. In: Hydrology of the Mediterranean and semi-arid regions. Avril 2003. IAHS Publ. N°278, 215-222p.

MAHE G. al. 2005 : Sensibilité des cours d'eau ouest-africains aux changements climatiques et environnementaux : extrêmes et paradoxes. In : Regional Hydrological Impacts of Climatic Change – Hydroclimatic Variabilty. IAHS Publ. 296, 2005 169-177p.

MALAM Abdou M. 2008 : Approche méthodologique pour la constitution d'une base de données pour la surveillance des systèmes hydrogéomorphologiques du bassin de kori Dantiandou (degré carré de Niamey). Mémoire de DEA de Géographie 115p.

MAMADOU I. 2006 : Erosion et ensablement dans les kori du Fakara-dégré carré de Niamey Niger. Mémoire de DEA de Géographie 144p.

MAMADOU I. : « Dynamique accélérée des koris dans la région de Niamey : conséquence sur l'ensablement du fleuve ». Université Paris I Thèse en cours.

MASSUEL S. 2005 : Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du Sud-Ouest Niger. Modélisation des eaux de surface et souterraines du bassin du kori de Dantiandou sur la période 1992-2003. Thèse sciences, Université Montpellier II 220p.

MICHAELA A. 2005 : L'érosion au Sahel : Etude de l'infiltrabilité des sols d'un bassin versant nigérien. Mémoire de fin d'études 76p.

MOUGENOT B., HAMANI S. 1997 : Les possibilités de classification des formations contractées à partir de la télédétection aérienne et satellitaire. Exemple de l'ouest nigérien. In : Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. J.M. d'Herbès ; J.M.K. Ambouta ; R. Pelter John Libbey Eurotest, 1997, Paris 59-68p.

NONGUIERMA A. 2004 : Augmentation des précipitations et accroissement du potentiel productif des paysages forestiers au Sahel. 8p.

OLIVRY, J-C., 1987 : Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hypersalinisation de la Basse – Casamance. IAHS Publ. N°168, 12p.

OLIVRY, J-C., 2002 : Synthèse des connaissances hydrologiques et potentielles en ressources en eau du Fleuve Niger. Provisional report World Bank, Niger Basin Authority, 150 p.

PICOUET C. Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé. Le bassin supérieur du Niger et son delta intérieur. Thèse Université de Montpellier II '' Sciences et Techniques du Languedoc'' pour obtenir le diplôme de Doctorat. 386p.

RASMUSSEN et al. 2001: Desertification in reverse ? Observations from northern Burkina Faso. 271-282p.

RODIER J. 1993 : Paramètres caractéristiques des fortes crues dans les régions tropicales sèches. Hydrol. Continent., vol. 8, n°2, 1993 pp. 139-160

ROOSE E.J. 1974 : Contribution à l'étude de l'influence de la sécheresse sur l'évolution actuelle de certains sols ferrugineux tropicaux en zone sahélienne. ORSTOM. 20p.

ROOSE E.J. 1983 : Ruissellement et érosion avant et après le défrichement en fonction du type de culture en Afrique Occidental**.** Cah. ORSTOM. Sér. Pédol, Vol. V.XX n°4, 1983 327-339p.

ROOSE E.J., Sarrailh J-M. 1989: Erodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. Cah. ORSTOM. Sér. Pédol, Vol. XXV n°1-2, 1989 7-30p.

ROUSSEL B. et LUXEREAU A. 1997 : Regard interdisciplinaire sur la désertification et le changement du sol au Niger central 20p.

SOULEY YERO K. 2007 : Genèse et morphodynamique des bas-fonds sahélien : caractérisation du bas-fonds de Boubon. Mémoire de Maîtrise de Géographie 92p.

TORREKENS P. et al. 1997 : Evolution de la végétation spontanée sur plateaux latéritiques par des travaux anti-érosifs dans le département de Dosso (Niger). In : Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. J.M. d'Herbès ; J.M.K. Ambouta ; R. Pelter John Libbey Eurotest, 1997, Paris 235-246p.

VUILLAUME G. 1968 : Premiers résultats d'une étude analytique du ruissellement et de l'érosion en zone sahélienne. Bassin représentatif Kountkouzout (Niger). Cah. ORSTOM. Sér. Hydrol, Vol. V, n°2 33-55p.

YAO T.B. ,1997: Analyse de la pluviométrie dans le sud forestier ivoirien : recherche de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques. Thèse de Doctorat 3è cycle en Géographie. 211p.