



FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE & LABORATOIRE D'HYDROLOGIE IRD NIAMEY

DEA DE GEOGRAPHIE

Milieux et Sociétés des Espaces Arides et Semi-arides: Aménagement-Développement

OPTION: AMENAGEMENT ET GESTION DES RESSOURCES NATURELLES

EROSION ET ENSABLEMENT DANS LES KORIS DU FAKARA-DEGRE CARRE DE NIAMEY-NIGER.



Présenté et soutenu le 30 janvier 2006 par

MAMADOU IBRAHIM

Année académique 2004-2005

MEMBRES DU JURY

Président: Dr **AMBOUTA KARIMOU JEAN-MARIE**, Maître de conférences à la Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni.

Assesseur: Dr **RAJOT JEAN-LOUIS**, Chargé de recherches, IRD Niamey.

SOUS LA CODIRECTION DE

Dr **BOUZOU MOUSSA IBRAHIM**, Maître de Conférences au Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Abdou Moumouni

Dr **DESCROIX LUC**, Chargé de recherches, LTHE Grenoble, Laboratoire d'Hydrologie, IRD Niamey.

DEDICACE

(A TITRE POSTHUME)

A la mémoire de M. ALZOUMA ILIASSOU, Etudiant en DEA géographie (promotion 2004-2005 de l'Université Abdou Moumouni) et mon binôme de stage à L'IRD/AMMA décédé le 16 septembre 2005 à Niamey.

Je dois à ILIASSOU une grande partie des données 2004 & 2005 présentées dans ce mémoire. ILIASSOU, nous laisse les souvenirs d'un ami et surtout d'un géographe travailleur et accroché à l'objet de sa science: le terrain.

Q'Allah le Tout-Puissant lui gratifie de sa miséricorde et que son âme repose en paix,

Amen.

REMERCIEMENTS

Cet travail est le fruit d'une collaboration entre l'université Abdou Moumouni (Département de Géographie), le programme AMMA/IRD et le ROSELT. En plus du soutien logistique, matériel et l'encadrement scientifique du programme AMMA au cours des mois de stage à l'IRD, notre étude a été financée en partie par le ROSELT. Car nous avons bénéficié d'important soutien financier de cet organisme. Je prends ici le temps d'adresser ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont aidé.

Je voudrais manifester ma reconnaissance à mes encadreurs **Dr LUC DESCROIX** hydrologue, Chargé de recherches à l'IRD Niamey et **Dr IBRAHIM BOUZOU MOUSSA** Maître de conférences au département de géographie, Université Abdou Moumouni. Je tiens à leur dire merci pour leur collaboration et surtout d'avoir accepté de diriger ce travail malgré leurs multiples occupations. Toute ma gratitude pour leurs soutiens et leurs disponibilités et merci pour leur amitié.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du jury: **Dr JEAN MARIE KARIMOU AMBOUTA** qui nous rend honneur en acceptant de présider le jury de notre soutenance, à **Dr JEAN LOUIS RAJOT** qui a accepté l'invitation de juger ce travail.

Toute ma reconnaissance aux responsables des organismes et institutions qui m'ont apportés leurs soutiens divers: Mr THIERY LEBEL, ARONA. DIEDHOU, KAMAYE MAHAZOU. du programme AMMA, PHILIPPE GINESTE et WATTA ISSOUFFOU du ROSELT et Mr FRANCIS KHAN le Représentant de l'IRD au Niger.

Une mention spéciale à Dr NAZOU MOU YAHAYA hydro-géologue à la faculté des Sciences Université Abdou Moumouni pour ses encouragements, et sa disponibilité à nous aider, à M. ESTEVES MICHELE et LAPETITE JEAN-MARC pour avoir mis à notre disposition les données de jaugeages des stations de Tondi Kiboro et à ATTANA SABINE BCR Niamey pour sa collaboration.

Une reconnaissance spéciale à Mr BODO SEYNI chauffeur à l'IRD Niamey pour sa disponibilité sur le terrain, il était pour notre équipe, chauffeur-dépanneur, chef de terrain, encadreur en installation d'outils et appareils d'hydrologie, ethno-climatologue, et ethno-sociologue de l'équipe. Merci. Et merci beaucoup pour ses conseils et surtout d'avoir accepté de partager ses 26 ans d'expériences à l'IRD avec nous.

Je n'oublie pas surtout: Mr BOULAIN NICOLAS., BOUKRAOUI STEPHANE, BOUCHEZ JEAN MICHEL, LE-BRETON ERIC, AISSATA ABOUBACAR, KLUTS SEBASTIEN., JULLIEN CLAIRE, MOUSSA HALIDOU,

MICHEALA AUDRIN, RONGICONI LAURA, BESNIER ANNE-LAURE., JEAN-PAUL LAURENT, MANON, CHARLOTTE BAILLEUL, KADIDJA DIAWARA, ABASSA ALHASSANE, KONE ABDOULAYE., HAMISSOU ALHASSANE (INRAN), DOUKA ISSA, YACOUBA, FARKA, HAMZA, BOUBACAR H de la DRE et tout le personnel de l'IRD Niamey, qui pour leurs conseils, leurs appuis divers, leurs disponibilités, leurs amitiés, et leurs hospitalités. Merci beaucoup à tous les stagiaires AMMA qui étaient restés avec nous à Wankama et à Banizoumbou au cours des campagnes hydrologiques 2004-2005 et à tous les chercheurs et techniciens rencontrés au laboratoire et sur le terrain.

Je tiens aussi à remercier tous les enseignants de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, le personnel technique et administratif et tous ce qui se sont mobilisés pour le lancement et les cours de ce DEA de géographie sans oublier l'ensemble des amis de la première promotion(2004-2005).

Je n'oublie pas aussi tous ceux qui de près ou de loin nous ont apporté leurs aides pour finaliser ce travail et nous ont soutenu au cours de cette formation. Mes parents et amis, TRAORE ABDOULAYE, ALILI OUMAROU MEF NIAMEY, ALI MAMADOU ANPIP Maradi, TANKARY GAGERE et Madame SNTN Niamey, HALIMA MAMAN RENE IEPC Maradi, EL Hadji KADI AMANI et HAMISSOU, EL Hadji ABDOULKADRI à Tessaoua, IBRAHIM SALISSOU et DAMBO LAOUALI, ISSA NASSIROU, KONE MOUSTAPHA, DAN BADAOU ABOUBACAR, MALAN MOUSSA, ABBA BACHIR au Département de Géographie.

Je n'oublie pas non plus de remercier les chefs des villages de Wankama, Tondi Kiboro, Banizoumbou et toutes les populations du Fakara pour leur hospitalité. Merci aussi aux propriétaires des champs qui nous ont permis d'installer des dispositifs de mesures d'érosion dans leurs champs, et spécialement à M. DOUNDOU à Wankama et à tous les paysans interviewés à Wankama, Banizoumbou, et Tondi Kiboro.

Je garde de très nombreux et bons souvenirs des temps passés ensemble sur le terrain ou dans les résidences IRD de Bani et Wankama Beach avec ces amis dont l'effort sur le terrain était indispensable pour la réussite de cette étude. Il s'agit à Wankama du groupe choc, BODO GASSOU, HASSAN, DJIBO, CHEF TONDI, GADO, IDE, à Tondi Kiboro de IBRAHIM KAOLACK, HADI, SOULEY, ALFARI, DIMACHI ILRI, ALIKO, le vieux Annassara gardien du CFTEA, ANGO ROSELT, HAMA GARDI, MAIDADJI, ZADA et les autres à Tondi Kiboro etc.

Que ceux qui ont été oubliés me pardonne!

SIGLES ET ABREVIATIONS

AMMA: PROGRAMME <<ANALYSE MULTIDISCIPLINAIRE DE LA MOUSSON AFRICAINE>>

CIRAD: CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHE EN AGRONOMIE EN VUE DU DEVELOPPEMENT

CNEDD: CONSEIL NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT POUR UN DEVELOPPEMENT DURABLE

CT: CONTINENTAL TERMINAL

EPSAT: ESTIMATION DE LA PLUIE PAR SATELLITE.

g/s: GRAMME PAR SECONDE

HAPEX-SAHEL: HYDROLOGICAL AND ATMOSPHERIC PILOT EXPERIMENT

ICRISAT: INTERNATIONAL CROP RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI ARID TROPICS

ILRI: INTERNATIONAL LIVESTOCK RESEARCH INSTITUTE

INRAN: INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE AU NIGER

IRD EX ORSTOM: INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT

l/s: LITRE PAR SECONDE

LTHE: LABORATOIRE D'ETUDES DES TRANSFERTS EN HYDROLOGIE ET ENVIRONNEMENT

MDR: MINISTRERE DU DEVELOPPEMENT RURAL

MES: MATIERES SOLIDES EN SUSPENSION.

MHE: MINISTERE DE L' HYDRAULIQUE ET DE L'ENVIRONNEMENT

ORSTOM: INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

OSS: OBSERVATOIRES DU SAHARA ET DU SAHEL.

PAFN: PROGRAMME D'AMENAGEMENT DES FORETS NATURELLES.

PDBFS: PROGRAMME DYNAMIQUE DES BAS-FONDS SAHELIENS.

ROSELT: RESEAU D'OBSERVATOIRES DE SURVEILLANCE ECOLOGIQUE A LONGTERME.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	8
CHAPITRE 1: CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL.....	13
1. 1-PROBLEMATIQUE	13
1. 1. 1-Présentation du sujet de recherche	13
1. 1. 2-Revue de la littérature.....	13
1. 1. 3-Conceptualisation du thème	24
1. 2-OBJECTIFS ET RESULTATS ATTENDUS	26
1. 3-LES HYPOTHESES DE L'ETUDE	26
1. 4-METHODOLOGIE ET OUTILS	27
1. 4. 1-Outils de l'étude	28
1. 4. 2-Protocole de collecte sur le terrain	31
Chapitre 2: Caractérisation du CADRE géographique de l'Etude.....	39
2. 1-LE DEGRE CARRE DE NIAMEY	39
2. 2-LE FAKARA.....	41
2. 2. 1-Les aspects géologiques, hydro-geologiques et hydrologiques du fakara.....	42
2.2.2-Les caracteristiques climatologiques	43
2. 2. 3-Les unités paysagères.....	44
2.3-Spécificites des bassins versants étudiés: Tondi Kiboro et Wankama....	46
2. 3. 1-Le bassin versant de Wankama	47
2. 3. 2-Le bassin versant de Tondi kiboro	48
2. 3. 3-Représentativité des bassins versants de Wankama et Tondi Kiboro.....	48
CHAPITRE 3: RESULTATS DE L'ETUDE	51
3.1 Analyse des processus de ruissellement et d'érosion.....	51
3. 1.1-Caracteristiques hydromorphométriques des bassins versants étudiés.....	51
3. 1. 2-Profiles en long des ravines principales étudiées a wankama et tondi kiboro	52
3. 1. 3-Description des profiles en travers des ravines principales étudiées à Wankama et Tondi Kiboro.....	53
3. 1. 4-Débits et transports solides	54
3.1.5 Le ravinement	80
3.2 Analyse de la dynamique hydrologique du fakara.....	95
3.2.1-Inventaire des mares	95
3.2.2.-La dynamique hydrologique actuelle	99
CHAPITRE 4: DISCUSSION - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE.....	98
4.1DiscussionConclusion.....	98

4.2-Perspectives de recherche et questionnements sur les stratégies adaptatives d'aménagement dans la zone du Fakara.....	102
4. 2. 1-Amélioration de l'approche méthodologique de l'étude.....	102
4.2.2-Perspectives de recherche et recommandations stratégiques d'aménagement.....	103
CONCLUSION GENERALE	128
BIBLIOGRAPHIE.....	130

INTRODUCTION GENERALE

Le Niger, avec une superficie de 1. 267000 km² a une population de 11. 060. 291 habitants en 2001 (BUREAU CENTRAL DU RECENSEMENT, 2004a). Il occupe une situation centrale dans le Sahel, particulièrement caractérisé par son aridité et sa forte sensibilité face à toutes modifications climatiques et environnementales (SEGUIS. et al. 2003). RODIER (1975) le définit aussi comme une région caractérisée par la dégradation hydrologique, conséquence du déficit pluviométrique et de faibles pentes. Les limites hydrologiques du Sahel correspondent environ aux isohyètes 300 et 700 mm.

Dans les pays sahéliens, la priorité majeure pour les acteurs ruraux (agriculteurs, éleveurs, exploitants forestiers, pêcheurs etc.) et les décideurs (Etat, ONG) demeure la question de la sécurité alimentaire. Le Niger a connu une série de crises alimentaires (1973, 1984, 2001, 2005) qui est la révélation d'un ensemble de facteurs dont les plus importants sont: l'assèchement du climat, la croissance démographique et la pression de plus en plus croissante sur l'environnement et le niveau de pauvreté. Tous ces facteurs aboutissent à des conséquences réelles et graves telle que la dégradation des équilibres écologiques. Pourtant ces équilibres fragiles constituent le support de base de toutes les activités socio-économiques rurales des populations. Ce sont essentiellement des activités de subsistance: agriculture, élevage, pêche, exploitation forestière. Les milieux les plus caractéristiques du point de vue richesses et diversités écologiques au Niger sont les koris et bas-fonds appelés de façon plus générale: milieux humides (ABDOU 1993). Ces milieux humides se différencient des autres éléments du paysage par la présence d'une humidité plus ou moins permanente, d'un couvert végétal bien marqué et aussi d'importantes et diverses potentialités naturelles (MAMADOU 2001). Ce sont des écosystèmes très productifs et fortement sollicités. Au Niger, ils sont relativement rares et demeurent fragiles du fait de l'irrégularité des précipitations et de la pression humaine de plus en plus grande. Les koris du degré carré de Niamey sont des cours d'eau à écoulement sporadique ou des secteurs de certaines grandes vallées fossiles qui deviennent localement fonctionnels. Cet important potentiel est aujourd'hui menacé par la dégradation elle-même liée aux phénomènes climatiques et anthropiques: sécheresse, défrichement (SEGUIS et al. 2003). Au Sénégal, THIERNO et PLANCHON (1999)

expliquent que la dégradation des sols est mise en cause dès 1906 dans la baisse progressive de la productivité agricole. La croissance démographique rapide au Sénégal (2.9%) est tenue comme la principale cause du rythme accéléré de la dégradation des sols. La forme principale de cette dégradation est le développement de l'érosion hydrique. Le même scénario s'observe un peu partout au Sahel.

De nombreuses études et travaux dans la région de Niamey font plusieurs constats.

-Une réduction de la pluviométrie (Figure1) de l'ordre de 24 % après 1970 (SEGUIS et al. 2003) et pouvant atteindre 50% par endroits et selon les périodes de références; marquée par une diminution tant à l'échelle locale (station), régionale (degré carré) que zonale (Sahel), un recul des isohyètes de 150 à 250 km vers le Sud (Lebel T & al 1994), une très forte variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie.

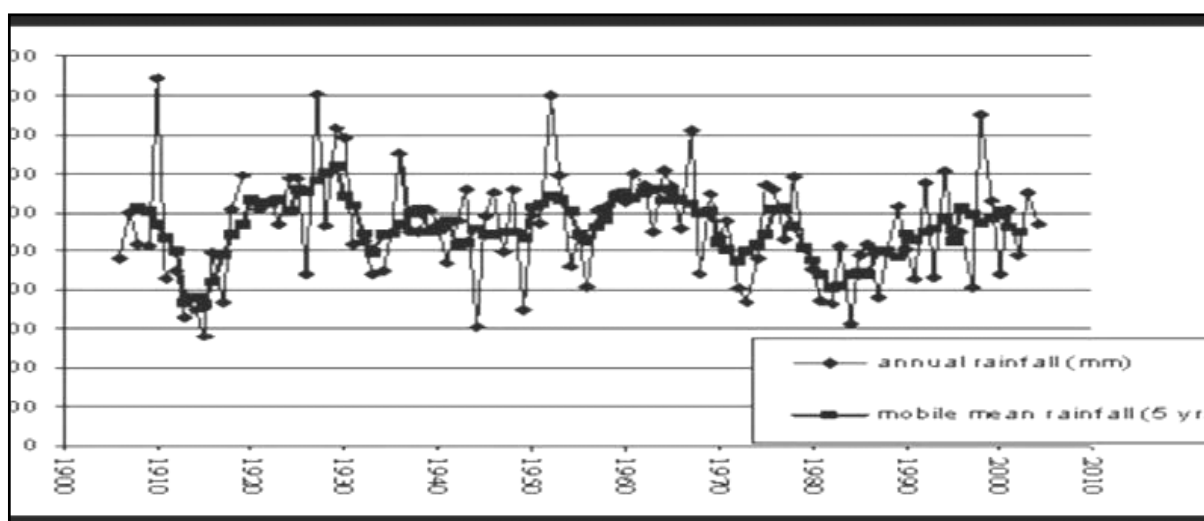


Figure 1: Pluviométrie annuelle à Niamey depuis 1905 (Source: DESCROIX & al 2005)

-Une baisse des écoulements sur les grands bassins (cas du Niger à Niamey avec un débit moyen en baisse de 60% (AMANI & N'GUETORA 2002) qui se traduit par une réduction du temps et changement de la période de crue et forte diminution des débits moyens journaliers.

-Une augmentation des débits de ruissellement dans les petits bassins versants: Gouroual, Sirba Dargol de 30% depuis 1970 (MAHE & al 2003); (SEGUIS et al. 2003) qui se caractérise par une augmentation très sensible des débits d'affluents

de la rive droite du Niger et du ruissellement sur bassins expérimentaux (ESTEVEES & LAPETITE 2003).

Tableau 1: Augmentation du ruissellement dans les bassins versants du Gourouol, Dargol et Sirba

River	Catchment area km ²	Mean annual rainfall 1955-1998	Mean discharge before 1972	Mean discharge after 1972
Gorouol	44 850	422	10.7	12.3
Dargol	6 940	503	4.75	5.96
Sirba	38 750	634	16.7	22.1

Source: (MAHE & al 2003)

-Une modification importante de la couverture végétale dont les principaux traits sont d'une part la forte progression des terres cultivées; d'environ 6% en 1950, les cultures passent à 57% en 1992 (SEGUIS et al. 2003) (Figure 2) et d'autre part une importante diminution des jachères et des steppes naturelles, (D'HERBES & al 1992; LOIREAU 1998; LOIREAU et al. 2000) et des modifications d'usage des sols.

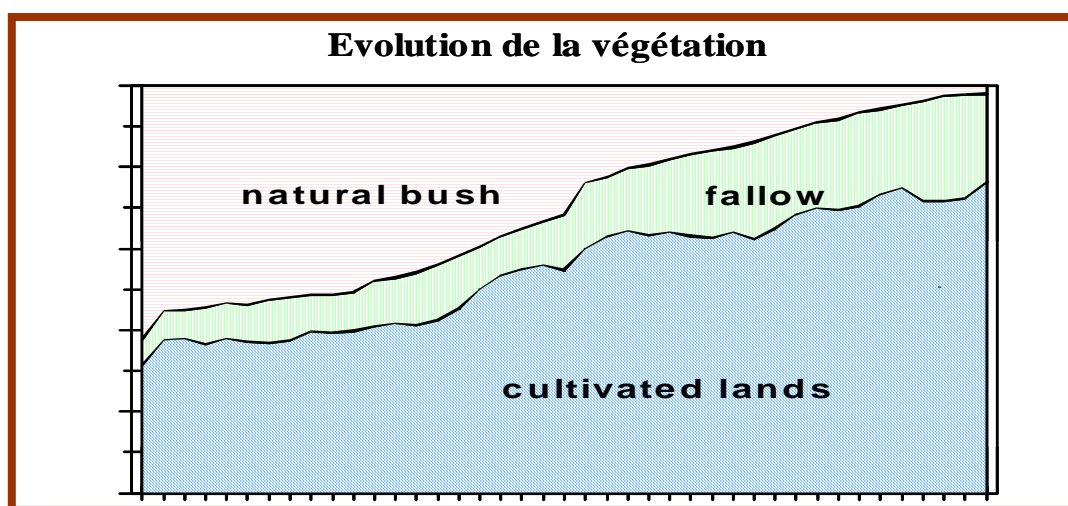


Figure 2: Evolution du taux d'occupation de l'espace dans le degré carré de Niamey entre 1950 et 1991 (Source: LEDUC & al., 2001)

-Une hausse du niveau de la nappe phréatique (Figure 3) dans les petits bassins versants endoréiques du degré carré de Niamey depuis 1950 (FAVREAU 2000; LEDUC et KARBO)

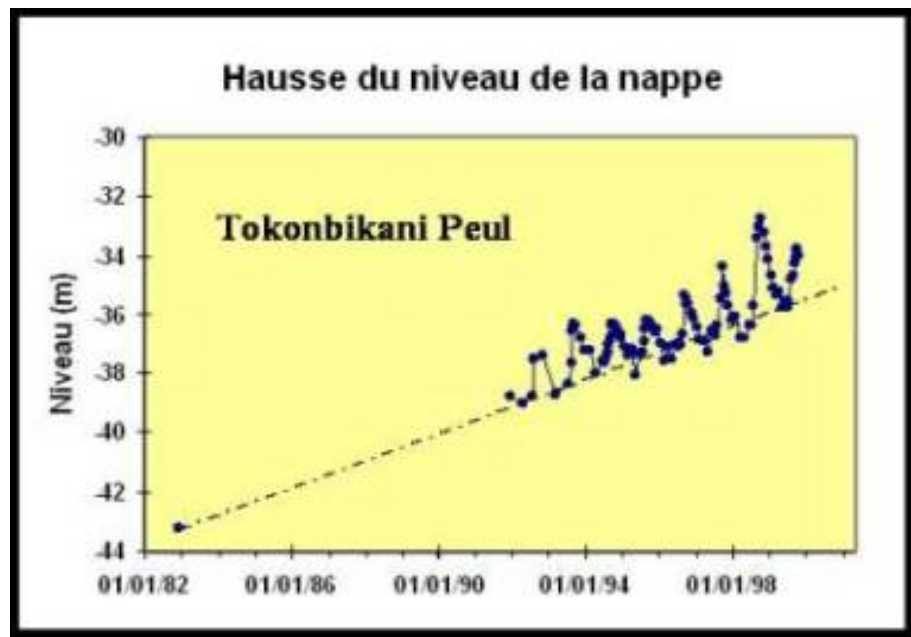


Figure 3: Hausse de la nappe dans le secteur de la dépression endoréique du kori Dantiandou (Source: LEDUC & KARBO. 1994 & FAVREAU 2000)

Les bassins versants des koris du degré carré de Niamey 13°-14°N et 2°-3°E comme de nombreuses autres zones du Sahel sont envahis par de grandes quantités de sables. Ces matériaux proviennent de transports éoliens depuis des distances parfois importantes et de transports hydriques provenant de leur bassin. L'évolution récente de l'usage des sols a conduit apparemment à la mise à nu d'importantes surfaces: mise en culture de nouvelles parcelles, raccourcissement des jachères (champs de cultures et jachères, augmentation de la charge pastorale et du piétinement sur ces deux types d'occupation des sols et sur des maigres pâturages des plateaux (LOIREAU 1998). Ces changements d'usage des sols activent une désertification de plus en plus grave dans ces milieux sahéliens. Cette désertification est mise en évidence par les facteurs climatiques. DESCROIX (Document conférence du 11 mai 2005, FLSH, UAM Niamey) définit la désertification par la réduction de la capacité des sols à retenir l'eau. Elle se manifeste au Sahel actuellement par une phase d'érosion active.

La problématique des changements d'usage des sols est au centre de notre étude sur l'érosion hydrique et l'ensablement dans les bassins versants du Fakara. Cette étude porte sur l'analyse des conséquences de l'évolution des états de surface depuis une cinquantaine d'années. Car l'évolution des états de surface semble

instaurée un cadre dynamique aux phénomènes hydro-érosifs et sédimentaires. Et à partir d'un état de connaissance, nous développons une caractérisation du contexte géographique de l'étude. Celle-ci permettra de mieux ressortir les éléments et enjeux de la dynamique actuelle des koris du Fakara. Cette analyse vise à ressortir les facteurs et les processus de la dynamique hydrique et sédimentaire dans quelques bassins versants adjacents au système endoréique du kori Dantiandou: cas des bassins versants de Wankama et Tondi Kiboro.

CHAPITRE 1: CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL

1. 1-PROBLEMATIQUE

1. 1. 1-Présentation du sujet de recherche

Il est aujourd'hui évident que la variation climatique et la désertification sont intimement liées. Au Niger, la baisse de la pluviométrie peut atteindre 20-40% depuis 1970 (Atlas AGRHYMET, 1998). L'accentuation de l'aridité du climat sahélien a amorcé la dégradation des ressources naturelles. Cette dégradation se traduit par des modifications néfastes des ressources c'est à dire la réduction ou la disparition complète de celles-ci. La modification du couvert végétal sous la double pression humaine et animale a pour conséquence le développement des érosions hydrique et éolienne très actives. Le développement de l'érosion hydrique s'accompagne de pertes en terres, d'ensablement de bas-fonds et de rapide assèchement des cours d'eau. Tout cela aboutit à une forte diminution des rendements agro-pastoraux, les crises sociales (dislocation du tissu familial, exode massif, changements des mœurs) et l'accentuation de la pauvreté. La dégradation se définit dans le contexte de cette étude comme l'apparition des facteurs physiques et anthropiques générateurs du ruissellement en rigole, en ravine et autres formes d'ablation et de dépôts. Nous essayons de démontrer comment se manifeste les changements d'usage des sols à l'échelle de ces deux bassins versants du Fakara? Elle dresse un bilan de l'évolution hydro-érosive actuelle à l'échelle de la ravine et du bassin versant. Ce bilan de la dynamique hydro-érosive résulte de l'analyse des processus actifs de l'érosion hydrique linéaire, des types de transports par le ravinement et les marques de dépôts issus de ce type d'érosion.

1. 1. 2-Revue de la littérature

L'Ouest Nigérien en particulier a été l'objet de très nombreuses études et expérimentations dans diverses disciplines scientifiques. De par la très forte homogénéité socioéconomique, écologique, environnementale de ces milieux et la complexité des composantes physiques et humaines dans les interactions qu'ils présentent, l'Ouest nigérien est actuellement un laboratoire pour beaucoup de programmes de recherches et expérimentations menées par des organismes tels

que: AGRHYMET, IRD/AMMA, ICRISAT, ILRI, ROSELT, CNRS, Université de Niamey, INRAN etc. Sur la base d'une large consultation bibliographique, nous tenterons de dresser ici un état succinct des connaissances sur des travaux et études déjà réalisées en rapport avec notre thème de recherche. Nous avons mis l'accent sur des travaux effectués à l'échelle tant du Sahel, du degré carré de Niamey que sur les bassins versants que nous étudions. Des travaux sous d'autres échelles spatiales ont été consultés surtout du point de vue méthodologique. Cette revue de la littérature n'est pas du tout exhaustive et concernera essentiellement des travaux sur l'érosion hydrique, l'hydrologie, et la géomorphologie etc. Beaucoup d'auteurs sont cités dans cet état de connaissances et d'autres tout au long de la présentation de nos travaux. Pour l'analyse des composantes écologiques et des interrelations entre Espaces-Ressources-Usages dans le Fakara, nous nous référons aux travaux effectués par LOIREAU (1998). Elle présente un bilan complet de la dynamique régionale du Fakara sous l'angle des contraintes de ces milieux, l'adaptation des sociétés locales, le rôle du climat et son impact dans la dynamique actuelle sur les ressources végétales et les activités rurales: agriculture, élevage etc. Elle précise le rôle déterminant de la disponibilité en eau pour l'évolution de la végétation. Elle utilise la progression d'isohyètes pour montrer l'irrégularité inter-annuelle du climat au Niger et au Sahel en général. Cette progression varie de 200 à 300 km au Niger et selon les périodes de référence. PLANCHON & VALENTIN (1999) à travers une étude sur la croissance démographique et dégradation des sols en Afrique de l'Ouest, et à partir du croisement des cartes de densités de population et de dégradation des sols mettent en évidence une relation forte entre dégradation et population particulièrement dans le cas de l'érosion hydrique. Appliqué à un modèle de projection de 30 ans, ce modèle donne une progression de la superficie des terres dégradées de 13% en Afrique de l'Ouest superficie égale à celle du Sénégal (196722 km²). Parmi elles, les superficies cultivables gravement dégradées progressaient de 16% soit la superficie du Togo (56785 km²). Pour l'analyse des précipitations au Sahel, LEBEL & al., (1994) montrent toujours dans le cadre du programme HAPEX –SAHEL que les isohyètes sont orientées ouest Est-Ouest avec un gradient nord – sud de 1mm/km environ en Afrique de l'Ouest. Et à l'échelle de l'événement pluvieux, la pluie au Sahel est aléatoire et discontinue. A ce titre, ils qualifient la pluie au Sahel de variable

rebelle à la régionalisation. Ceci pour expliquer en fait l'inégale répartition spatio-temporelle des événements pluvieux tant dans le degré carré de Niamey que sur les petits bassins versants du Fakara.

DESCONNETS (1994) étudie des systèmes endoréiques sahéliens et la compréhension des cycles des mares dans l'Ouest Nigérien. Il présente les grandes caractéristiques des systèmes endoréiques et dresse un inventaire typologique des mares et démontre les mécanismes de vidage et stockage de ces dernières. Il distingue plus d'une soixantaine de mares réparties dans la zone d'étude des mares (partie Est du degré carré de Niamey). La typologie des mares établie par DESCONNETS (1994) résulte des trois types d'endoréisme et correspondent à trois situations géomorphologiques différentes:

- l'endoréisme de plateau avec 39 mares sur les plateaux cuirassés dans sa zone d'étude, à l'exemple de la mare de Pourra située au niveau du plateau Ouest de Wankama et la mare de Sabara bangou appelée par erreur Sofia bangou sur (carte IGN Niamey 4a) le plateau du même nom.

- l'endoréisme de cuvette; avec 6 mares de dépression, exemple de la mare de Sama Dey à vidange rapide et dont les propriétés géophysiques de son site sont encore peu connues.

- Endoréisme de vallée; 11 mares dans les lits d'anciens cours d'eau actuellement non fonctionnels, cas des mares de Wankama Ouest, Sud –Ouest, Nord et de Banizoumbou. L'état de ces mares est une synthèse des différentes évolutions qu'ont connues les bassins versants de la région.

Pour la compréhension des facteurs de production du ruissellement, nous nous sommes surtout intéressés aux travaux sur l'érosion, l'encroûtement et la caractérisation géomorphologique et d'états de surface effectués par PEUGEOT (1995). Il étudie le ruissellement à l'échelle de la parcelle et sur le site de Tondi Kiboro. Dans sa thèse, il présente d'importantes conclusions sur les facteurs producteurs du ruissellement et explique aussi le rôle du phénomène d'encroûtement dans la genèse du ruissellement. Il développe une importante caractérisation des états de surface du site: brousse tigrée, talus du plateaux, jachère, mil etc. Il démontre l'influence de l'encroûtement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un versant sahélien, à l'échelle de la parcelle et définit trois grands types de couverture végétale et d'occupation du sol (brousse tigrée, jachère, champs de mil) rencontrés dans sa zone d'expérimentation.

Les parcelles de ruissellement construites par PEUGEOT sont des surfaces naturelles rectangulaires de 5 m de large sur 20 m de longueur. Elles sont délimitées par une bordure métallique et équipées d'une cuve et d'un limnimètre automatique permettant la mesure des volumes ruisselés et l'enregistrement des crues.

Il calcule les coefficients de ruissellement de chacun des états de surface et conclut que les deux variables explicatives du ruissellement sont: le degré d'encroûtement et la pluviométrie. Il démontre l'importance du ruissellement sur les deux états de surface représentatifs: zones d'encroûtement permanent: les sols nus du plateau avec 50 % et jachères 25 % de la pluie annuelle qui ruisselle. Ces états de surface et d'occupation du sol ont une très faible infiltration. PEUGEOT (1995) quantifie aussi à 12 % de la pluie, la lamée infiltrée en profondeur sur le grand bassin (0.9 km²). Une autre étude de référence sur l'encroûtement en zone sahélienne a été faite par AMBOUTA (1994) A travers cette étude, il développe à partir des observations, enquêtes et expérimentations sous pluies naturelles et simulées l'étude du phénomène d'encroûtement dans le terroir de Banizoumbou. Il présente des résultats montrant l'importance de certains paramètres des sols sableux fins sur le développement des croûtes d'érosion. Les principaux paramètres mis en relation sont chimiques, granulométriques, analytiques et la minéralisation des argiles. Il analyse aussi l'effet des facteurs extérieurs au sol sur la formation et le développement des croûtes d'érosion: intensité des pluies, gradient de pente, géomorphologie et mode d'exploitation des terres.

MIETTON, M. (1980) étudie la dynamique actuelle dans la région de Po-Tiebele au Burkina Faso. Il développe l'étude de la morpho-dynamique actuelle à partir du ruissellement et de l'érosion à l'échelle de la parcelle. Sur la base d'analyses et d'observations géomorphologiques, il définit l'irrégularité du climat et présente une typologie détaillée des pluies, du ruissellement et érosion, des bas-fonds et ravines. Sur la typologie des ravines, MIETTON distingue trois types. Les ravines sont des formes majeures d'incisions, que l'on a du mal à enjamber avec 1 mètre de profondeur minimum, 70 cm à 1 m de large à la base, 2 à 3 m en surface. Les ravineaux qui sont des formes mineures de 40 à 50 cm de profondeur en moyenne, de 50 cm de largeur à la base et d'un mètre à 1.20 m en surface, toujours aisément franchissables. Les rigoles sont aussi des formes d'incisions

actuelles et mineures, elles ont en commun un profil transversal en berceau et sont caractérisées par l'absence de parois verticales sur matériaux sableux.

ESTEVEES & al. (1993) montrent encore qu'une bonne partie des eaux de ruissellement s'infiltrent dans les fonds sableux des ravines et du fait de la faible pente de ces dernières. Ce qui explique la discontinuité de l'écoulement d'une station de jaugeage à une autre dans ces bassins versants de Tondi Kiboro.

ESTEVEES & LAPETITE (2003) étudient le ruissellement linéaire à l'échelle de petits bassins versants expérimentaux. Ils ont suivi les crues de trois petits bassins versants naturels définis par cinq stations de jaugeages implantées le long de deux ravines de Tondi Kiboro qui prennent naissance au pied du plateau de Sofia et se propagent vers le bas-fond. Ils confirment le rôle de l'encroûtement dans la production du ruissellement car les ravines prennent naissance à la base du talus. Selon encore ces derniers, les états de surface renseignent sur les facteurs ponctuels de production du ruissellement mais ne sont pas suffisants à l'échelle du versant ou du bassin versant, d'où le rôle combien important de combiner les états de surface du sol et la pente pour l'approche du ruissellement concentré sur un versant ou à l'échelle du bassin voire de la ravine elle-même.

LE-BRETON (2004) propose une démarche cartographique dans l'étude de l'érosion hydrique. Il présente une typologie du bassin de Wankama et une analyse des phénomènes érosifs. Ces travaux concernent surtout la partie amont d'un de nos bassins versants d'étude (Wankama). Il développe une méthode de quantification des matériaux arrachés et déposés sur cette partie du bassin versant (cubage le long de la ravine et la zone d'épandage sableux). Ces travaux sont donc complémentaires à l'étude que nous envisageons et d'ailleurs nous prenons en compte certaines de ses recommandations perspectives. Il s'agit de l'estimation des transports solides par le ruissellement, les relevés de terrains réguliers et à long terme afin d'évaluer la vitesse d'évolution des ravines.

En Algérie, ROOSE, CHEBBANI, BOUROUGAA (1999) étudient et développent une typologie des ravines à travers les facteurs de contrôle, la quantification et la réhabilitation. Ils déterminent les paramètres qui contrôlent le ruissellement, la pluie par son intensité, sa fréquence et son abondance, la lithologie, la couverture végétale, les activités de la méso-faune. Enfin ils expliquent que la vitesse du ravinement dépend de la topographie et de la rugosité du bassin. Cette dernière est déterminée par la végétation, les micro-barrages, la surface du sol et des aménagements anti-érosifs. HEUSCH (1975) a estimé dans la région de l'Adar, en se fondant sur les mesures d'envasement de la retenue d'Ibohamane (Keita) des pertes en terres de 30 t /ha/ an pour la période 1969-1974. Il estime une érosion par ravinement des versants et sapements de berges d'environ 100 t /ha/an avec un paroxysme de 500 t /ha/an.

Dans l'Ouest du Niger, OUSMANE, MAGA & GUERO (1988) font les constats suivants, l'aspect boueux des eaux d'écoulements, la couleur rougeâtre des eaux dans les koris et flaques d'eau. Ceux-ci témoignent de l'importance des particules fines en suspension. Ils ont ensuite calculé la teneur en argile des eaux du kori de karma égale à 1. 15g /l en 1988.

En Algérie encore dans les zones semi-arides, CHEBBANI., KADDOUR., ROOSE (1999) expliquent les différentes approches d'études de l'érosion qu'ils appliquent à différentes échelles: bassin versant, parcelle expérimentale, de la ravine et à l'échelle de la station (état de surface) dans le bassin versant de l'Isser. A l'échelle du bassin, ils développent une caractérisation des propriétés des sols dans le fonctionnement du paysage. Cela se traduit par une grande variabilité spatiale de leur érosion. A l'échelle de la parcelle (100 m²), l'érosion en nappe et en rigole est faible et n'a pas dépassé 3t/ha/an. D'autre part le ruissellement, et surtout le ruissellement exceptionnel, reste très important dans les versants causant des dégâts importants en ce qui concerne les ravines et des berges des oueds. A l'échelle de la ravine, le piquetage des fonds, des berges et des têtes de ravines montre une alternance de séquences d'ablation, de comblement et de stabilité. On note une ablation des fonds et berges des ravines comprise entre -1. 10 et -3. 8 cm/an de terre. A l'échelle de la station, CHEBBANI & al., (1999) distinguent plusieurs types d'organisations pelliculaires de surface, les croûtes structurales, les croûtes de ruissellement, de sédimentation, et les croûtes grossières. De l'utilisation de ces terres, la structure superficielle du sol passe par plusieurs

étapes entraînant une forte réduction de l'infiltration et une augmentation des risques d'érosion et de ruissellement.

Pour le suivi des têtes de ravines par érosion régressive, quelques exemples des vallées de l'Aïr sont très illustratifs, BENDER & OUSSEINI (2000) soulignent que: << l'érosion linéaire (en ravine) par le recul accéléré des têtes de griffes d'érosion est la forme la plus dévastatrice de dégradation. En général elle est irréversible même à moyen terme, sans intervention extérieure>>. DUBATH & BENDER (1991) ont mesuré l'avancement de l'érosion en ravins à Etaghas, (environ 20 km d'Iférouane région d'Agadez, Niger). Entre 1945 et 1970, le recul de têtes de ravines enregistré est au total de moins d'un kilomètre. Mais depuis 1980, la vitesse de recul est de quelques centaines de mètres par an.

A Tamazalak dans l'Aïr aussi, RUTISHAUSER & BENDER (1995) dans une zone dégradée avec ravins d'érosion peu profonds, un avancement des têtes de ravines jusqu'à 30 m par an a été mesuré. RUTISHAUSER & BENDER (1995) soulignent à travers cette étude l'importance en précision de l'utilisation des piquets –repères par rapport aux suivis à l'aide d'un appareil GPS.

Au Mali, DIALLO, D., ORANGE., ROOSE (2000) à travers l'étude du potentiel de production de sédiments dans le bassin versant de Djitiko (105 km²) en zone soudanienne soulignent l'importance de la prise en compte des facteurs d'échelle lors de l'analyse des intensités d'érosion mesurées sur le terrain. En corollaire cela justifie la recherche des chemins érosifs lors du transfert des matériaux érodés de l'amont vers l'aval dans un bassin versant, compréhension particulièrement importante pour une proposition efficace de stratégie de gestion des pertes de terres.

Dans la région de Bidi au Nord Burkina Faso, LAMACHERE (2000) étudie les transports solides à l'exutoire d'un bassin sahélien (44. 2 km²) et pose le problème de la différence d'échelle spatio-temporelle au sein d'un même bassin. Il compare les résultats enregistrés à l'exutoire à ceux enregistrés sur des parcelles. Il conclut que le tonnage annuel transporté à l'exutoire qui est de 0. 4 t /ha/an, correspond à la dégradation spécifique du bassin versant. Cette valeur est 5 fois plus faible que la dégradation spécifique d'une parcelle de 3000 m² cultivé sur mil sableux dans la même région: 2. t /ha /an (LAMACHERE & SERPANTIE. 1998). Il démontre aussi qu'à l'échelle des épisodes pluvieux, les transports solides en suspension apparaissent plus importants en juin et juillet. Ils concentrent plus de 80% des sédiments transportés et que les crues de début de saison des pluies apparaissent nettement plus chargées en matières en suspension que les crues de fin de saison:

-vers le 20 juillet la concentration moyenne en MES est de 2g/l pour un coefficient de ruissellement moyen compris en 10-25%;

-vers le début du mois d'août, la concentration moyenne en MES décroît entre 0. 5 et 0. 8 g/l pour un coefficient de ruissellement moyen entre 40-20%;

-vers fin septembre, la concentration moyenne en MES ne dépasse pas 0. 2-0. 3 g/l.

VUILLAUME (1968) présente les premiers résultats d'une étude analytique du ruissellement et de l'érosion en zone sahélienne et précisément dans l'Adar-Maggia au Niger. Les glacis limoneux cultivés perdent 10 à 13. 2 t/ha/an et la nappe de sable dunaire perd 0. 6 t /ha/ an.

DELWAULLE (1973) étudie l'érosion au Niger (Adar Maggia) sur 6 ans d'observations et de mesures d'érosion et de ruissellement sur des parcelles de 100m². Il enregistre des pertes en terres de 7. 5 t/ha/an sur des versants caillouteux et 5. 7t/ha/an sur les glacis cuirassés.

SCHENHER (1973) présente les résultats d'une étude de l'érosion dans la station du Centre Technique Forestier Tropical au Niger dans la vallée de l'Adar à Allokoto (Madaoua) sur glacis à pente de 3% et observée de 1966-1971.

Tableau 2: Résultats de mesures d'érosion à Allokoto dans l'Adar (Madaoua au Niger) Source: SCHENHER (1973)

	P1 à murets de pierre isohypse.	P2 méthode traditionnelle.	P3 à végétation isohypse	P4 à bourrelets armés isohypse
Superficie en m²	4228	3443	4788	4407
KRAM¹%	1 à 6	17 à 23	1 à 9	0 à 3
Erosion totale en t/ha/an	2.7	38	5.5	1,0

BOUZOU MOUSSA (1988), étudie l'érosion dans la vallée de Keita (Adar, Niger) sur des parcelles de 100 m² et 1000 m² de 1984-1987. Les parcelles P1 et P2 ont chacune une superficie de 100m². Les parcelles P3 et P4 avaient 1000 m² de 1985 à juillet 1986 et 500m² à la fin de la campagne 1986.

Tableau 3: Evaluations des pertes en terres moyennes à Kounkouzout 1984-1987

Type de parcelles	P1 parcelle nue constamment labourée (t /ha/an)	P2 parcelle de jachère (t /ha/an)	P3 parcelle avec cordons de pierres billons hauts en bandes alternées (t /ha/an)	P4 parcelle avec lignes de pierres et labours superficiels (t /ha/an)
Périodes				
Moyenne sur 2 ans			0.835	2.723
Moyenne sur 3 ans	0.563	2.18		
Moyenne sur 4 ans	0.747	2.16		

Source: BOUZOU MOUSSA (1988)

Il conclut de par ces résultats à l'efficacité des techniques traditionnelles notamment l'alignement de pierres sur ces glacis. Et que la jachère comme la parcelle traditionnelle sont plus érodables (Tableau 3).

En 1996, à Bougoudjotou au sud – ouest de Torodi, une station a été installée sur une jachère de 5 ans dans le cadre du Programme Jachères en Afrique de l'Ouest.

¹ KRAM: signifie coefficient de ruissellement annuel moyen.

Tableau 4: Ruissellement et érosion à la station de Bogodjoutou 1996-1997

Année	KRAM%			EROSION en t/ha		
	Parcelle témoin	Parcelle avec paillage	Parcelle avec zaï	Parcelle témoin	Parcelle avec paillage	Parcelle avec zaï
1996	21.5	0	2.1	0.3	0	0.066
1997	18.4	15.4	3.1	0.0116	0.018	0.08
Moyenne	19.9	7.7	2.6	0.15	0.0009	0.07

Source: AMBOUTA JK., BOUZOU M I., OUSMANE S. D. (2000)

Les parcelles ont une superficie de 75 m² et sont localisées sur le bas-glacis d'épandage sableux limoneux. Ce glacis est caractérisé par une dégradation avancée du couvert végétal, et la présence de loupes d'érosion, de buttes sableuses (20 cm de hauteur) et quelques arbrisseaux de *Guiera senegalensis*. Sur les Zaï, même s'il y a eu ruissellement, le coefficient est très faible: 2.1% en 1996 et les pertes en terres sont négligeables: 0.066 t/ha. Pour la parcelle témoin, le coefficient de ruissellement est de 19.9 % et les pertes en terres de 43.2 kg/ha (Tableau 4) Notons qu'aucune pluie n'a ruisselé sur le paillage en 1996, pas même celle du 25-juillet 1996 de 45 mm. Ces résultats montrent l'efficacité du paillage.

IBOURAIMA (1983) propose une approche cartographique dans l'étude de la dynamique actuelle de l'érosion toujours dans l'Adar de Kwara à Galmi. Il estime les dépôts éoliens à environ 800t /ha/an et localement.

Aux environs de Niamey, YAHAYA et MAHAMANE (2001) ont développé une nouvelle approche dans l'étude de l'érosion et du ruissellement intégrant les impacts des pluies exceptionnelles sur l'environnement et les infrastructures socio-économiques et la cartographie hydrogéomorphologique des zones à risques d'érosion. Cette nouvelle approche est très importante car comme le dit OUSSEINI (1986): << Ces événements exceptionnels ne peuvent qu'affecter une région où la plus grande masse des formations superficielles sont constituées par des systèmes dunaires sur un socle précambrien altéré>>.

A 274 km au nord de Ouagadougou au Burkina Faso, près du village de Katchari, KARAMBIRI & al. (2003) étudient la variabilité spatio-temporelle du ruissellement et de l'érosion sur un petit bassin sahélien (1.4ha). Ils concluent que les pertes en terres varient d'une année à une autre. En 1998, 1999, 2000, ils ont enregistré respectivement 6.8 t/ha /an, 4.0 t/ha/an et 8.4 t/ha/an. Les transports solides en suspension atteignent 9 g /l en début de saison de pluie et décroissent à partir de juin pour se stabiliser entre 2 g et 4 g /l. Ils démontrent le rôle prépondérant que jouent les croûtes d'érosion dans la production du ruissellement et des pertes en terres. Ces croûtes d'érosion fournissent plus de 90% de sédiments emportés.

VISSER (2004) étudie les processus d'érosion éolienne et hydrique dans le Nord Burkina Faso. Elle démontre la sévérité et la simultanéité des actions de ces deux agents d'érosion (le vent et l'eau) dans la dégradation du sol en zone sahélienne. Elle conclut sur l'interaction complexe de l'érosion éolienne et hydrique et dit que: << comparée à l'érosion éolienne, les pertes de nutriments dues à l'érosion hydrique s'écoulent dans le ravin le plus proche. Les pertes de nutriments dues à l'érosion hydrique sont minimales. A l'interaction entre le vent et l'eau, le lessivage et l'érosion du sol peuvent être importants au niveau du champ mais sont limités à l'échelle du village>>. Elle pose non seulement le problème de la complexité de la dynamique globale au Sahel mais son étude aborde aussi la question de la variabilité des résultats à différentes échelles.

Sur les conséquences de cette dynamique hydrique des milieux sahéliens, FAVREAU (2000) explique à travers la caractérisation et l'étude d'une nappe phréatique le rôle des mares dans la remontée de la nappe dans les milieux sahéliens endoréiques du degré carré de Niamey. Cette remontée de la nappe phréatique est la conséquence directe de l'augmentation du ruissellement et de la multiplication des mares dans les milieux endoréiques du degré carré de Niamey. C'est cette nouvelle théorie (IRD) de travail que LEDUC et al. (2001) ont qualifié de: << paradoxe de Niamey>>.

En définitive, l'érosion au Niger a fait l'objet de nombreux travaux et études, surtout l'étude d'érosion et ruissellement par des méthodes différentes les unes des autres. Les méthodes les plus développées sont l'étude d'érosion et ruissellement à l'échelle des parcelles et ou par l'approche cartographique et diachronique.

De nombreux aspects de l'érosion n'ont pas encore été étudiés au Niger. Toutes ces études visent l'évaluation du ruissellement et de l'érosion à partir des comportements des divers états de surface rencontrés et de nombreuses techniques anti-érosives de plus expérimentées au Niger en particulier et au Sahel en général. Les études d'érosion par les parcelles sont bien développées au Niger surtout dans les secteurs où les problèmes de dégradation de terres se posent avec acuité. Les quelques études sur les transports solides sur les cours d'eau au Niger consultées concernent des travaux de consultants et services techniques portant sur les transports en solution et la salinité. Il y a eu très peu d'études de quantifications des transport solides à cette échelle au Niger (HEUSCH (1975); OUSMANE, MAGA & GUERO (1988); etc.

1. 1. 3-Conceptualisation du thème

Le mot EROSION vient de <<ERODER>> verbe d'origine latine qui signifie ronger, comme une maladie ronge un corps (ROOSE, 1985). Pour ROOSE (1987) l'érosion est un concept qui recouvre plusieurs processus naturels très variables dans le temps et dans l'espace: arrachement des particules solides, leur transport et leur sédimentation.

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules du sol. Le ruissellement est défini par RAMADE (1998) comme le phénomène hydrologique par lequel les pluies s'écoulent à la surface du sol. Il se développe sur plusieurs formes: en nappe ou diffus et concentré ou linéaire. ROOSE (1987) distingue lui deux types d'érosions à l'échelle temporelle, l'érosion normale ou géologique qui est lente (0.1t/ha-an) et l'érosion accélérée ou anthropique (2t /ha/an) qui se développe sous l'effet des activités humaines. ROOSE (1999) explique l'origine du ruissellement hydrique lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol. C'est le ruissellement hortonien. Il se forme d'abord des flaques d'eau, c'est le ruissellement en nappe, ensuite ces flaques communiquent par des filets d'eau. Lorsque ces filets d'eau ont atteint une certaine vitesse, 25 cm par seconde d'après Hjulström (1935) cité par ROOSE (1999). Les filets acquièrent une énergie propre qui va créer une érosion limitée dans l'espace par des lignes d'écoulement. Il conclut que l'énergie n'est plus dispersée sur l'ensemble de la surface, mais elle se concentre sur des lignes de

plus forte pente. Selon NEBOIT (2001) ce qui caractérise ce mode d'alimentation, c'est l'extrême rapidité avec laquelle l'eau parvient aux talwegs, mais inversement aussi la faible persistance de cet écoulement après la fin de la pluie. ROOSE (1967) disait à propos de l'hypothèse géomorphologique sur le ruissellement, qu'elle admet le ruissellement comme la principale cause de l'érosion et aboutit à des études très intéressantes sur la vitesse et le débit de l'eau, sa compétence qui est le plus grand diamètre des particules que le courant est capable de déplacer et sur sa capacité de charge, c'est à dire la masse maximum des particules qu'il est capable de charrier. Soulignons ici le rôle que jouent les averses exceptionnelles dans la morphogenèse actuelle sahélienne car ces dernières peuvent radicalement transformer le paysage (ROOSE 1971).

Le mot « ensablement » défini par le Larousse, désigne un amas de sable formé par l'eau ou le vent. Pour notre étude, ce mot prend un sens plus restrictif, il désigne l'envahissement des surfaces par des particules de la taille des sables et plus grossiers mobilisés par les eaux. Ces dépôts aboutissent à l'accumulation du matériel pris par les eaux et /ou à la formation des formes géomorphologiques comme les cônes d'épandage, les zones d'épandage à mi-versant et autres secteurs de dépôts alluvionnaires ponctuels etc. Le transport solide par l'eau est défini comme le transport de sédiment (particules, argiles, limons, sables, graviers etc.) dans les cours d'eau pouvant s'effectuer soit par suspension dans l'eau, soit par déplacement sur le fond du lit du fait des forces tractrices liées au courant (RDAGE-RMC, 1999). DEGOUTTE G. (2004) explique la notion de saturation en débit solide pour un cours d'eau donné et définit le débit solide comme le volume de matériaux transportés par le courant par unité de temps exprimé soit en g/s ou en m³/s. Le cours d'eau transporte toujours autant de matériaux qu'il est capable de transporter, à condition bien sûr que ces matériaux soient disponibles sur place. Il dit qu'à chaque instant l'écoulement est donc saturé en débit solide (charriage et suspension). Il conclut par ces trois principes de saturation dans le tronçon de rivière:

- en équilibre quand le débit solide entrant est égal au débit solide sortant; on dit aussi le taux d'érosion est égal au taux de dépôt, dans le tronçon considéré;
- si le débit solide sortant est inférieur, il y a dépôt dans le tronçon considéré;
- si le débit solide sortant est supérieur, il y a érosion dans le tronçon considéré.

Ce principe de saturation est fondamental pour l'explication de la dynamique fluviale et sédimentaire. Dans ce contexte de semi-aridité de nos régions, il nous faut rappeler l'importance du rôle des vents dans la morphogenèse et l'évolution géomorphologique de ces sites. RAJOT (1999) fait la remarque suivante: lorsque le mot « érosion » est employé sans épithète c'est généralement d'érosion hydrique qu'il s'agit. Pourtant au Sahel, de nombreuses études montrent que l'érosion éolienne mobilise également des quantités considérables de sols. Le concept de bassin versant est défini comme une entité topographique et hydrologique dans laquelle se produisent des entrées d'eau sous la forme de précipitations. L'écoulement et le transport des matériaux mobilisés par l'érosion sont accommodés par un système de pentes et de drains naturels en direction d'un exutoire unique. Cet exutoire unique est l'embouchure du cours d'eau collecteur (BRAVARD & FRANÇOIS. 1997). DESCONNETS (1994) appelle ces bassins versants, « unités hydrologiques ». Il les définit comme étant des entités spatio-temporelles qui par leur caractéristiques environnementales et leur évolution (état de surface, contexte pédologique de surface, relief et végétation) donne la prédominance à un type de redistribution de l'eau.

1. 2-OBJECTIFS ET RESULTATS ATTENDUS

Les résultats attendus de ce travail sont:

- une cartographie de l'évolution des états de surface dans les parties basses des versants et les bas-fonds.
- l'élaboration de documents nécessaires à la constitution d'un SIG (Partie bas fond des koris et zones d'épande intermédiaires.
- une cartographie des mares et des koris permettant de comprendre les processus des changements hydrologiques, la mise en évidence de la dynamique des mares liées à l'abondance des matériaux. Il s'agit à travers cette étude de caractériser, comprendre, quantifier et modéliser la dynamique de ravinement et d'ensablement dans les koris du Fakara.

1. 3-LES HYPOTHESES DE L'ETUDE

Pour cette étude, nous formulons deux principales hypothèses:

- la dynamique hydro-érosive des bassins versants du Fakara est vraiment récente, comme le laissent penser certains indices.

Il s'agit pour nous d'abord de s'en assurer, ensuite de la décrire, d'en estimer les causes et quantifier les différents processus?

-la dégradation de la végétation est la cause principale de la dynamique hydro-érosive actuelle de ces bassins versants.

Il s'agit donc d'en mesurer les conséquences en terme de bilan hydrique régional, cela est-il relié d'une manière ou d'une autre à la hausse de la nappe ou au développement des mares, à la hausse des débits observés sur les ravines alimentant ces mares?

1. 4-METHODOLOGIE ET OUTILS

Gérard (1990) disait à propos <<d'une géographie des processus et des formes d'érosions qu'on doit s'attacher à cette complexité du réel, dans l'espace et dans le temps. Ce d'autant plus qu'elle s'appuie sur les observations et des mesures aux échelles si différentes, de la parcelle, du versant et du bassin versant: le droit à la généralisation ou à l'extrapolation n'est pas toujours évident. Nous devons donc insister sur le nombre de facteurs, leurs imbrications, sur les recoupements multiples, et les différences échelles. Dans le fil droit d'une géographie dynamique il ne faut pas négliger le rôle de l'observateur, le poids des textes et des stéréotypes>>. Ceci explique la nécessité de l'approche systémique de notre étude. Ainsi sur ces bassins-versants de Wankama Ouest et Tondi Kiboro Est, on s'est proposé de recenser l'érosion linéaire et toutes les formes de dépôts. Nous cherchons aussi à mesurer le cubage des matériaux arrachés ou stockés en milieu ou en bas de versant.. Notre démarche préconise une perception basée sur les deux aspects de l'objet donné, donc l'aspect structural et l'aspect fonctionnel. L'approche hydrologique permet d'identifier toutes les formes d'érosion liées à l'eau sur un ensemble géomorphologique donné. Cette identification est basée sur la description de l'aspect structural de l'objet, l'analyse et l'interprétation intègrent tous les paramètres essentiels dans le fonctionnement du système qu'est le bassin versant ou la ravine. Pour l'approche de notre étude, nous proposons une démarche synthétique avec utilisation des outils et techniques classiques en hydrologie. Nous mettons surtout l'accent sur les comportements hydro-érosifs et sédimentaires des unités géodynamiques des bassins versants que nous étudions. L'échelle spatiale de cette étude porte sur deux bassins versants (Wankama et Tondi Kiboro) assez représentatifs d'une zone sahélienne en

général et précisément de la partie centrale Est du degré carré de Niamey. Cette partie centrale-Est du degré carré se caractérise par l'endoréisme des hydrosystèmes issus de la dégradation hydrologique ancienne de la vallée fossile du Dallol Bosso. Contrairement aux hydrosystèmes situés près du fleuve Niger, les écoulements des bassins versants endoréiques n'atteignent pas ce dernier mais sont bloqués à l'exutoire des bassins versants par un chapelet de mares formées par cette même dynamique. Mais nous avons aussi effectué des observations sur les bassins versants voisins de nos sites d'étude: cas des bassins versants voisins et pouvant alimenter en certaines occasions celui que nous étudions (bassin de la mare de Wankama Ouest) et les secteurs de confluence de la ravine étudiée, Radji gourou et kori Dantiandou entre Tondi Kiboro et Banizoumbou. Pour l'échelle temporelle, depuis mars 2004 nous avons commencé par des visites de reconnaissances dans le degré carré de Niamey en tant que stagiaire AMMA/ IRD et postulant au futur DEA du département de géographie. Une période d'observation intensive a été réalisée pendant les campagnes hydrologiques 2004 (du 07 juillet 2004 au 4 octobre 2004) et 2005 (du 30 juin 2005 au 15 septembre 2005) de l'équipe d'hydrologie de l'IRD Niamey. Ainsi notre étude porte sur deux années d'observations. Les collectes de nos données étaient un vrai travail d'équipe, car nous étions restés sur les sites en compagnie d'autres étudiants du Nord, stagiaires à l'IRD et sous la direction de notre directeur de stage M. LUC DESCROIX (responsable du site AMMA Niger).

1. 4. 1-Outils de l'étude

Pour l'échelle spatiale de cette étude, nos travaux concernent deux petits bassins versants sahéliens dans le Fakara, mais pour une meilleure compréhension des systèmes endoréiques, nous avons élargi nos observations sur les bassins versants voisins de nos sites. Pour le matériel d'observations et de mesures, nous disposons d'un GPS type GARMIN 12, une tarière, un mètre-ruban, un décamètre, un appareil photo numérique, des sachets plastiques et bidons d'échantillonnage des transports solides par ruissellement, des marqueurs, un chronomètre, deux perches manuelles de prélèvement des transports solides, des piquets repères, un fil à plomb, un niveau, une mire, un équipement de jaugeage (station, moulinet et perche) et des moyens logistiques etc. En plus du matériel d'observation in situ,

nous avons exploité les photos aériennes de 1950 et l' image spot de 2003 (pour le bassin de Wankama).

Les photos DRONE PIXY motorisé de Wankama 2004 et 2005, de Tondi Kiboro et Sofia. 2005 nous ont servi à illustrer notre étude. Ces photos du drone motorisé Pixy (2004-2005) et photographies aériennes (2004), l'image spot 2003 nous servent de situations diachroniques de plusieurs périodes des sites de l'étude. Pour les photographies aériennes et image spot, il s'agit en fait d'une réutilisation de documents produits surtout par LE-BRETON E. (2004).

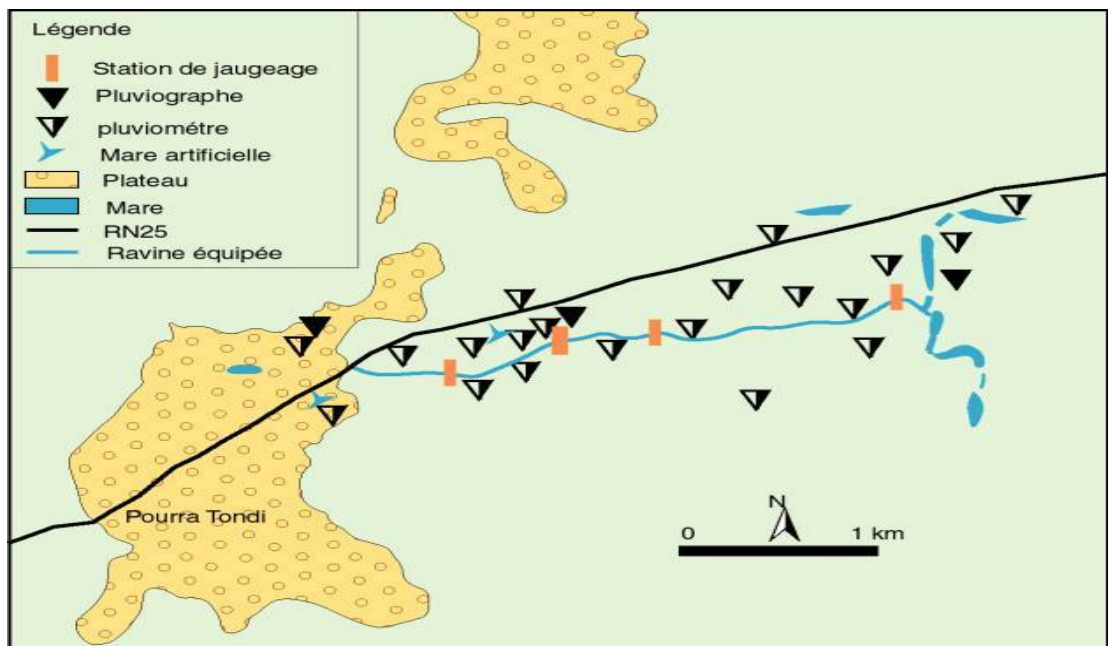


Figure 4: Dispositif expérimental de l'étude dans le bassin versant de Wankama
(Source: MAMADOU IBRAHIM 2005)

Notre étude a bénéficié des installations AMMA sur ces bassins, 4 stations de jaugeage sont construites sur le bassin versant de Wankama en 2004.

A Wankama, il s'agit des stations:

- la station amont (Coordonnées UTM 459978 & 1508446), elle est munie d'un limnigraphe Thalimede de Type OTT;

- la station Amont zone d'épandage (Figure 4) (Coordonnées UTM 460123 & 1508518); munie d'un limnigraphe thalimede.

- la station aval zone d'épandage (Coordonnées UTM 460619 & 1508631);

- la station aval (Coordonnées UTM 461778 & 1508681), ces stations de la partie aval sont munies chacune d'un limnigraphe de type STS.

En plus de ces stations de jaugeage, 20 pluviomètres à lecture directe (Figure 4) sont installés dans le bassin. Il existait déjà trois pluviographes à auget basculeur (réseau EPSAT).

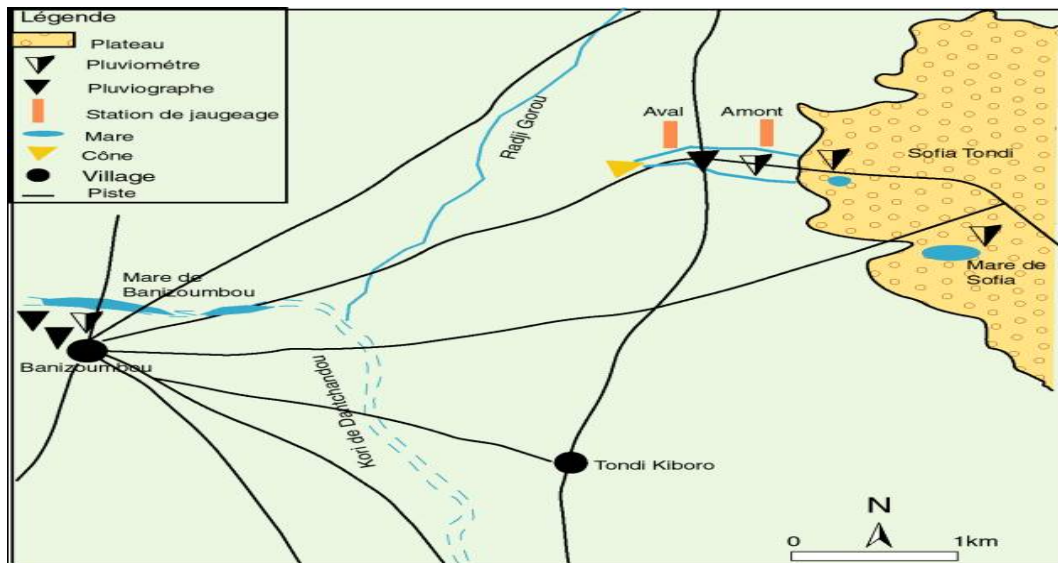


Figure 5: Dispositif expérimental de l'étude sur le bassin versant Tondi Kiboro
(Source: MAMADOU IBRAHIM 2005)

A Tondi Kiboro, le programme AMMA a réhabilité deux anciennes stations (stations A et C) de la ravine HYDRO ou Nord d'ESTEVES et LAPETITE (1991-1994)

La station amont (Coordonnées UTM 467547 & 1497749) est munie d'un limnigraphe thalimede et la station aval (Coordonnées UTM 467038 & 1497786) est dotée d'un limnigraphe de type STS.

En plus des deux stations de jaugeage (Figure 5), le bassin versant étudié à Tondi Kiboro est doté d'un réseau de pluviomètres à lecture directe (photo 3), deux pluviographes à auget basculeur (1 au niveau du versant et le deuxième en bordure du plateau de Sofia Tondi).



Photos 3 & 4: Pluviomètre à lecture directe (Photo 3) et Limnimètre enregistreur à flotteur (Photo 4) type Thalimed (OTT) (Photos RONGICONI L. Wankama septembre 2004)

Cet appareil Limnimètre enregistreur à flotteur (Photo 4) type Thalimed (OTT) permet de mesurer de manière continue, le niveau d'un cours d'eau, c'est-à-dire la hauteur de la surface de l'eau relativement à une surface de référence. Cette mesure du niveau, couplée à celle de vitesse effectuée par la station hydrométrique, permet de déterminer le débit du cours d'eau. Ainsi, on élabore une relation niveau-débit: la courbe de tarage. Le limnimètre enregistreur à flotteur est composé d'un petit câble métallique souple, tendu entre le flotteur et son contrepoids, qui entraîne une poulie. Pour éviter les chocs avec des corps flottants et amortir les oscillations du niveau, le flotteur est pendu à l'intérieur d'un tube vertical. Le tube communique avec le cours d'eau par une prise de pression. Le dialogue avec l'appareil se fait par l'intermédiaire du logiciel Hydras 3 (RONGICONI 2004).

1. 4. 2-Protocole de collecte sur le terrain

Notre protocole de recherche intègre 8 étapes.

1. 4. 2. 1-Consultation bibliographique

La revue de la littérature existante et la consultation des résultats d'études antérieures est d'une importance capitale pour notre étude. Cette revue des études et travaux antérieurs nous permet de bien développer notre approche par

rapport à ce qui a été déjà fait. En plus cela oriente notre démarche dans le cadre d'une large réflexion de la dynamique actuelle des milieux humides sahéliens.

1.4. 2. 2-Cartographie

Le but est de voir l'évolution diachronique de ravines sur ces bassins sous les aspects de l'érosion hydrique linéaire, donc les réseaux de ravines. Cette cartographie sera mise à jour à partir des observations réalisées de façon régulière sur le terrain. En plus des réseaux de ravines, la cartographie porte sur quelques aspects d'occupation du sol et d'état de couvertures végétales. Nous avons inventorié toutes les marques de ravines en suivant leurs tracés à pied muni d'un GPS (Global Positioning System) et procéder au référencement des points le long de la ravine. Les coordonnées (X et Y en UTM) des points sont notées à tous les 2 à 5 mètres (respecter les points d'inflexion des ravines surtout). L'objectif est de produire des cartes du réseau des ravines.

1. 4. 2. 3-Elaboration des profils en long des ravines principales

Les profils en long des ravines sont établis à partir des levés topographiques des fonds de ravines principales, Ce qui nous a permis de mieux définir et caractériser d'un point de vue topographique, les différents biefs des bassins versants étudiés. L'on utilise un niveau et une mire graduée en cm que l'on fait déplacer pour les lectures arrière et avant. Le point de référence est situé au niveau des stations de jaugeage dont l'attitude est bien connue. On effectue une lecture sur la mire en A (lecture arrière AR) et une lecture sur la mire en B (lecture avant AV). Le nivellement effectué est direct et consiste à déterminer les dénivelées de différents points situés dans le fond de la ravine principale. On progresse dans le fond de la ravine en faisant une lecture arrière et avant. Les lectures se font avec le trait horizontal médian du réticule ou trait niveleur. La dénivelée est égale en grandeur et en signe à la différence des lectures AR et AV. L'on prend à chaque fois les coordonnées GPS de là où l'on place la mire.

1. 4. 2. 4-Suivi de l'évolution régressive des ravines

Il s'agit de suivre l'évolution des têtes de ravines dans ces bassins. Sont effectués des relevés au GPS (Global Positioning System) après chaque événement

pluvieux. Mais compte tenu du manque de précision de cet appareil, nous avons corrigé cela grâce aux photos numériques prises en début de saison 2004. Mais en 2005, nous avons travaillé avec des piquets –repères. Ces piquets – repères sont en fait du fer à enrobé dans un morceau de tuyau PVC et rempli de ciment. Ils sont fixé verticalement et bétonné à la base pour éviter tout vandalisme. Ces piquets sont placés à une distance précise et mesurée (15 à 20m) en amont des têtes de ravines. Les mesures s'effectuent à l'aide d'un décimètre et normalement après un événement pluvieux. L'objectif est de voir la progression par érosion régressive des têtes de ravines.

1. 4. 2. 5-Elaboration des profils transversaux des ravines

Pour le cubage des matériaux arrachés le long des ravines, ces profils en travers nous permettent d'estimer les volumes de matériaux arrachés et suivre aussi l'évolution des phases d'instabilité. Ces phases sont, comblement, ablation et stabilité. Cela s'effectue grâce à un dispositif appelé, <<peigne>>. Il consiste à enfoncer verticalement des piquets à chaque point du profil d'abord sur les flancs et le fond de la ravine. Les mesures sont effectuées à partir d'une ficelle verticale (utilisation du niveau à eau ou fil à plomb) qui relie les piquets placés entre les berges de la ravine. L'on mesure la largeur maximale des écoulements, la largeur du lit de la ravine comprise entre les berges abruptes, les distances des points d'inflexion le long du profil. Les piquets sont en fer à béton. Le profil en travers est fait tous les 50 m le long de la ravine. On prend les coordonnées en GPS (Global Positioning System) de chaque point de profil et de tous les points de sondage effectués dans le fond de la ravine. L'objectif est de suivre l'évolution des sections d'écoulement des ravines, l'évolution des berges et fonds des lits des ravines.

1. 4. 2. 6-Cubage des formes de dépôts importants

Le sondage se fait à l'aide d'une tarière qu'on applique à différents points de la surface à cuber selon le quadrillage choisi. Tous les vingt mètres pour le cône de Wankama et tous les 30 m sur celui de Tondi Kiboro dans les alluvions récentes déposées en surface. Il s'agit de mesurer les niveaux de dépôt des alluvions récentes. On les distingue à partir de la présence des tâches argileuses dans les profils pris par la tarière au point d'application correspondant. Ensuite l'on prend les coordonnées cartographiques de chaque point d'application de la tarière.

Intégrant les données collectées (coordonnées UTM X & Y des points de sondage, la profondeur des alluvions récentes mesurées au niveau de chaque d'application de la tarière) sur le logiciel Surfer. 7, l'on obtient automatiquement les dimensions, la forme numérisée en 3 dimensions, la superficie et le volume et la superficie de l'unité géomorphologique cubée.

1. 4. 2. 7-Mesures des débits liquides et solides dans les bassins versants étudiés.

Les jaugeages et les prélèvements pour l'estimation du transport solide sont effectués au niveau des stations de jaugeage installées par le programme AMMA.



Photo 3: Dispositif de jaugeage à la station aval zone d'épandage de Wankama
(Photos RONGICONI LAURA. Wankama septembre 2004)

La mesure de débit liquide aux stations de jaugeage s'effectue à l'aide d'un moulinet (Photo 3) numéro: C 31 avec une hélice à axe horizontal numéro: 1-42752 fixé sur un support (perche rigide). La vitesse ponctuelle du courant se mesure en comptant le nombre de révolutions de la partie tournante du moulinet pendant un court intervalle de temps déterminé (10 secondes) avec un chronomètre. Le dispositif crée alors des impulsions électriques permettant le comptage du nombre de tours du rotor. La méthode de jaugeage consiste à mesurer la vitesse du cours d'eau en divers points (trois) d'une section droite et en

plusieurs points de chaque verticale (trois généralement). Le débit est calculé graphiquement ou par logiciel: d'abord on mesure les vitesses en différentes profondeurs d'une même verticale, puis on calcule l'aire entre les axes de coordonnées et la courbe $p=f(V)$, et on reporte cette valeur dans un graphe $(m^2/s) = f(x)$ à l'abscisse x où se trouve la verticale considérée, on répète cette opération pour toutes les verticales et on obtient le débit en calculant l'aire entre les axes de coordonnées et la courbe $(m^2/s) = f(x)$. Des jaugeages ont été faits sur l'ensemble des quatre stations installées sur le bassin versant de Wankama (seule la courbe de tarage de la station aval Wankama n' a pas été tracée pour le moment) et les données de jaugeages (1992-1994) des deux stations de Tondi Kiboro nous ont été fournies par ESTEVES et LAPETITE.

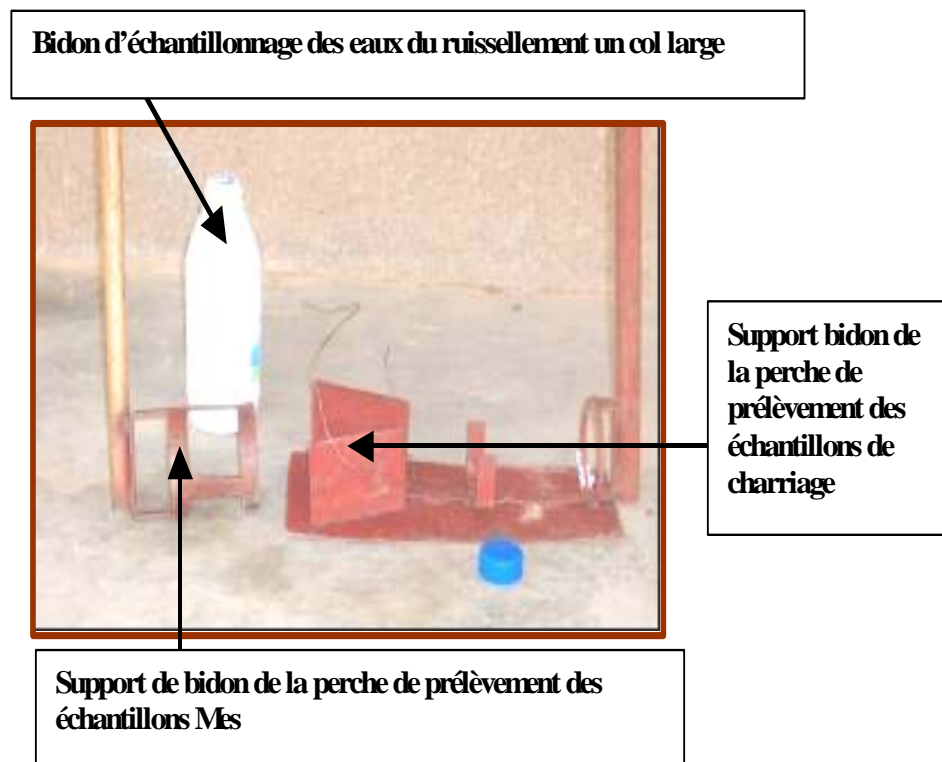


Photo 4: Bidon de prélèvement et les supports de bidons des perches utilisées, à gauche sur la photo celui de la perche de prélèvements de débits en suspension support de bidon de la perche de fond (Photos MAMADOU IBRAHIM Banizoumbou Août 2004)

Les prélèvements des eaux de ruissellement permettent de mesurer les matières solides transportées par les eaux d'écoulements des ravines. Pour les matières

solides en suspension, on prélève avec une perche d'environ 2 mètres de longueur munie d'un bidon (d'un litre de volume) Le bidon a un col assez large (Photo 4). Le prélèvement se fait au pas de temps de 2 minutes au cours de la montée et 5 minutes à la descente des eaux. Parfois à chaque changement important de cote à l'échelle. Ici se pose la difficulté du respect du pas de temps au cours des prélèvements avec parfois des stations avec deux pics pendant la même crue.

Les prélèvements de débits de fond s'effectuent avec un dispositif spécifique et expérimental, une perche manuelle. La base de la perche (Photo 4) est constituée d'un support de flacon usagé de lait d'un litre de volume. Ce support est adapté à une perche manuelle (de 2 mètres de hauteur) que l'on place au fond de la ravine (Photo 5). Les prélèvements se font au niveau des stations de jaugeage et au moment des événements pluvieux. A la montée des eaux nous prélevons un échantillon à chaque 2 minutes et à chaque 5 minutes à la descente de crue. Nous prélevons à chaque changement de cote important à l'échelle limnimétrique pour ne pas rater surtout le pic de la crue. Mais sur ces stations, nous observons généralement de deux pics de crue ce qui complique le respect de ces pas de temps des prélèvements. Au cours de ces prélèvements (fond et suspension) nous notons sur une fiche la date, la cote à l'échelle limnimétrique (Photo 5), l'heure du prélèvement, le nom de la station et le numéro du bidon, l'heure du début et de la fin de la pluie, et aussi l'heure du début et de la fin du ruissellement.



Photo 5: Prélèvements d'échantillons pour l'estimation de la charge de fond à la station aval de Tondi Kiboro, à droite de la photo7, l' échelle limnimétrique de la station (Photos: MAMADOU IBRAHIM Banizoumbou Août 2004)

L'analyse des échantillons a lieu au laboratoire d'hydrologie de l'IRD à Niamey pour estimer le poids des matières solides transportées par les eaux de ravinement: en suspension et de fond. Les étapes de l'analyse au laboratoire sont, la pesée humide des échantillons une fois décantés, le passage à l'étuve à une température de 60° C (car bechers en plastique) et la pesée à sec des échantillons. Il s'agit de quantifier la masse de sédiments en g/ l contenue dans chaque échantillon. Pour déterminer les capacités de charge en matières solides aux différentes échelles spatio-temporelles des bassins versants. L'on multiplie ensuite le débit liquide correspondant (tenant compte du rapport hauteur de la goulotte du bidon et cote à l'échelle) à l'heure du prélèvement de l'échantillon par la concentration en MES ou en charge de fond pour avoir respectivement les débits solides en suspension (MES) et les débits solides de fond. La somme des débits solides MES et celle de la charge de fond donne le transport solide total.

1. 4. 2. 8-Observations hydrologiques et entretiens avec des personnes-ressources

Il s'agit d'observer les modes de transferts de flux hydriques en surface au cours des événements pluvieux. C'est-à-dire comprendre les sens d'écoulements entre les différentes unités hydrologiques des bassins étudiés et avec les sous-bassins voisins. Il faut aussi suivre la dynamique d'évolution spatiale. A travers les entretiens avec des personnes-ressources nous avons développé un inventaire des mares et une étude des noms locaux de ces mares. Nous avons utilisé un guide d'entretien² avec les paysans riverains des mares et ravines étudiées et auprès des personnes ayant collaboré dans d'autres programmes de recherche.

CHAPITRE 2: CARACTERISATION DU CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE

2. 1-LE DEGRE CARRE DE NIAMEY

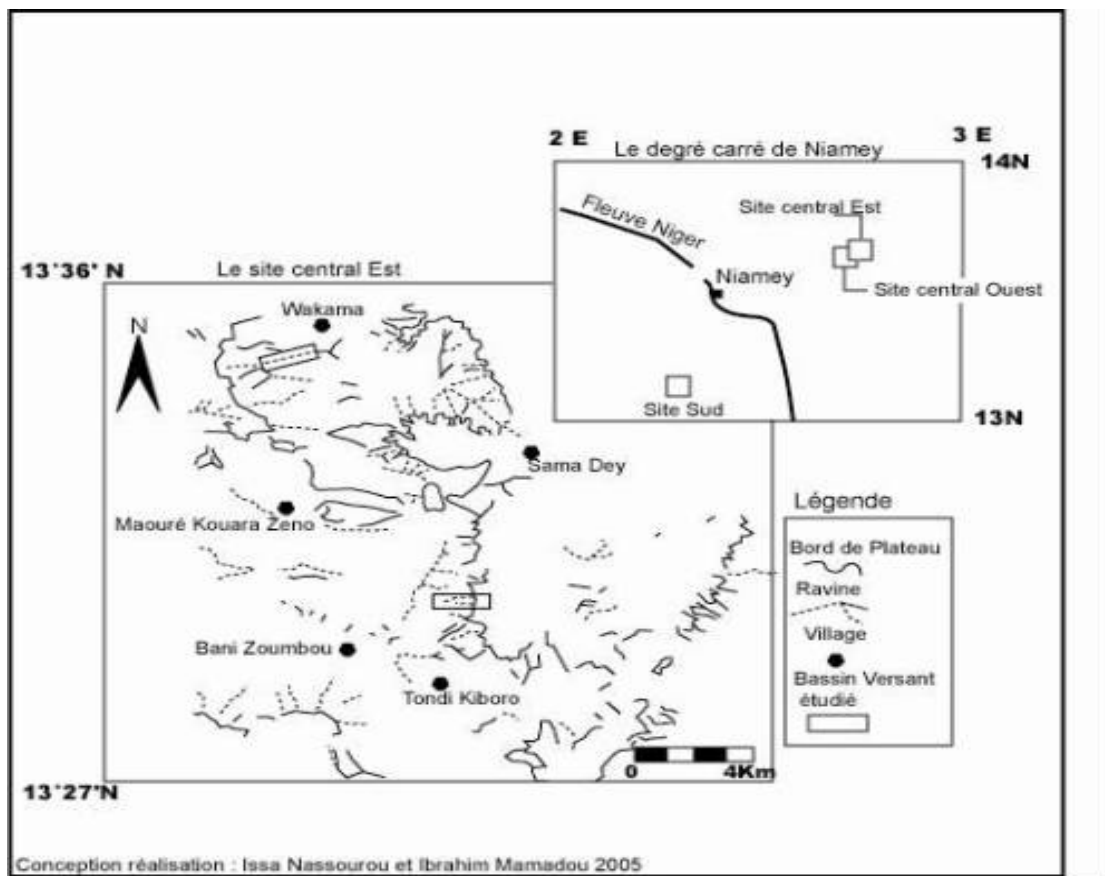


Figure 6: Localisation des bassins versants étudiés dans le degré carré de Niamey

Le degré carré de Niamey se situe entre les 13 et 14 degrés de latitude Nord, et entre les 2 et 3 degrés de longitude Est, il couvre une superficie de 11000 km².

Les caractéristiques générales du degré carré de Niamey sont typiques d'une grande bande zonale sahélienne. Ses caractéristiques sont:

- un climat bien caractérisé par une saison des pluies d'été, 80 % de la pluie annuelle tombe en juillet, août et septembre, marqué d'un stress hydrique au cours des épisodes secs de plus de 10 jours sur ces 3 mois;

- un gradient nord-sud des précipitations pour des périodes pluriannuelles représentatives du gradient moyen au Sahel (100 mm /degré de latitude);
- un relief très peu marqué avec un dénivelé maximum de 100 m sur les 11. 000 km².
- trois grands types de végétations: culture de mil, jachère³ et brousse tigrée sur les plateaux;
- pas ou peu de système d'irrigation intensif à l'exception de la vallée du fleuve Niger;
- une bonne stationnarité du régime météorologique avec peu de phénomènes complexes de moyenne échelle à l'exception des lignes de grain;
- un régime hydrologique complexe avec une très forte variabilité spatiale et temporelle de l'infiltration, de l'écoulement de surface et d'importantes concentrations d'eau libre (mare) (HOEPFFNER et al. 1994).

Pluviométrie 2004 sur la zone EPSAT (cumul seuu)

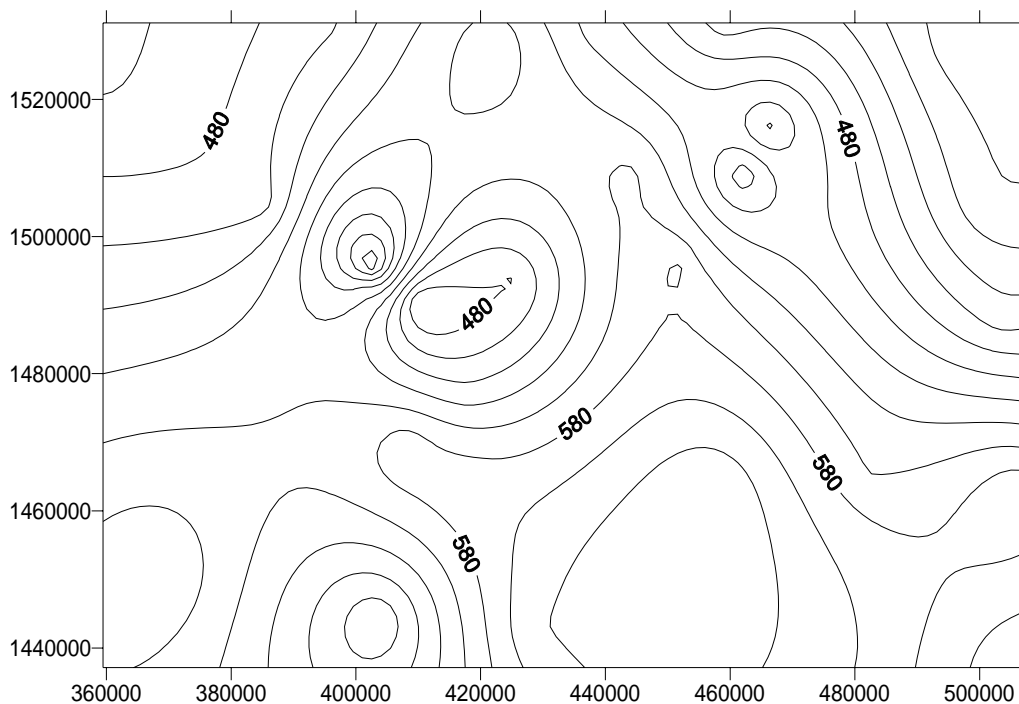


Figure 7: Isohyètes annuelles dans la zone EPSAT (16000 km² cumul seuu) 2004
 (Source: DESCROIX L. Données réseau EPSAT)

³ La jachère n'est pas un type de végétation mais un type d'occupation du sol ; certains hydrologues et météorologues ne font pas cette distinction.

Pluviométrie 2005 sur la zone EPSAT (cumul seuu)

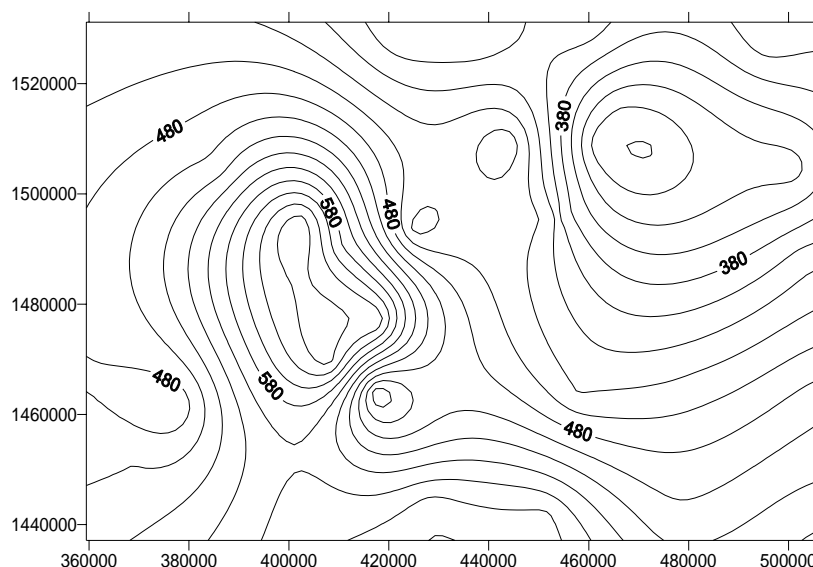


Figure 8: Isohyètes annuelles dans la zone EPSAT (16000 km² cumul seuu) 2005 (situation jusqu'au 130905 pour l'année 2005) (Source: DESCROIX L. Données réseau EPSAT)

Il ressort de l'analyse des figures 7 & 8, une très forte variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie tant à l'échelle de l'événement qu'à l'échelle spatiale. Il est à remarquer que le gradient de variabilité spatiale est plus fort en 2005 qu'en 2004 surtout au centre de la zone EPSAT.

2. 2-LE FAKARA

Le Fakara est situé au sud-ouest du Niger en zone sahélienne. C'est une région située entre le fleuve Niger et le Dallo Bosso, dans la partie centre-Est du degré carré de Niamey, . Le canton Fakara ou canton de Dantiandou couvre une superficie d'environ 500 Km². Ce canton est limité au nord et nord-ouest par le canton de Hamdallaye, au nord –est par celui de Tagaza (Département de Filingué), au sud par celui de Kouré (Département de Kollo) et au sud-est par les cantons de Harikanassou et Koygolo. Le département de Kollo occupe la partie centrale de la Région de Tillabery. Dans le cadre de la récente communalisation, le canton de Fakara fut érigé en commune rurale de Dantiandou avec comme chef-lieu de commune, le village de Dantiandou. Chez les populations locales, le Fakara regroupe tous les plateaux ouest de la vallée du dallol Bosso. Ils appellent

Zigui, les plateaux situés à l'est du Bosso. De par cette toponymie locale la traduction du terme Fakara est controversée, le Fakara serait issu de l'expression «Fari ka ara » qui veut dire en terme zarma: <<le grand champs obtenu dans >>champs délimité dans un espace donné (DoukA 2005). D'autres désignent le Fakara comme l'endroit où la nappe est moyennement profonde (30 m) et le Zigui où la nappe atteint les 50 m et le Dallol Bosso où elle est subaffleurante (entretien avec des personnes-ressources).

3. 2. 1-Les aspects géologiques, hydro-géologiques et hydrologiques du Fakara

Situés dans la partie Centre-Est du degré carré, les bassins de Tondi Kiboro et Wankama présentent les grandes caractéristiques d'ensemble géologique des lullemmendens (figure 8). Ces bassins versants font partie de la vallée fossile du kori de Dantiandou, ancien cours d'eau et affluent de l'importante vallée fossile du Dallol Bosso qui constitue la partie aval de l' Azaouak et de l' Azagaret (une dizaine de kilomètres de largeur pour une longueur de plus de 200 km). Le Dallol Bosso tout comme le Dallol Maouri et son affluent (le Dallol Foga) constituent les principaux axes de drainage par lesquels transitaient les eaux recueillies sur la quasi totalité du bassin des lullemmendens (DUBOIS & LANG, 1984). Les évolutions piézométriques de ces secteurs fermés du degré carré sont surtout liés à l'endoréisme de ces derniers et à la taille des bassins versants aussi (AMANI A. communications séminaire AMMA du 28-10-2005).

Le système hydrographique du Fakara est dominé par la vallée fossile du kori de Dantiandou. De son origine à 2 km en amont du village de Kollo Loga, à sa confluence avec le Dallol Bosso, elle fait environ 70 km de long pour un bassin versant de plus de 5645 km².

Aujourd'hui, le Dantiandou n'est plus fonctionnel, il n'est qu'un chapelet de mares. Mais il devient fonctionnel sur de très petits secteurs de débordement de mares qui occupent les fonds de sa vallée. Cela se produit lors des événements pluvieux exceptionnels ou à certaines périodes de l'année quand ces mares débordent et communiquent entre elles. C'est à partir du village de Garbé Tombo que le Kori Dantiandou atteint le Fakara.

2.2.2-Les caractéristiques climatologiques

4. 2. 2. 1-Précipitations et températures

Le Fakara est situé dans la zone sahélienne entre les isohyètes 500-600 mm de pluie. Il enregistre en moyenne 550 mm et 37 jours de pluie par an (base de données de l'ILRI ICRISAT 2000). La saison des pluies dure 3 à 4 mois selon les années pour une longue saison sèche de 8 à 9 mois. Les pluies proviennent de deux types de systèmes convectifs. Les lignes de grains avec une fréquence plus ou moins régulière et les convections locales. La pluviométrie se caractérise par son inégale répartition spatiale et temporelle. Au cours de ces deux saisons d'observations on note le passage de plusieurs systèmes convectifs secs sur l'ensemble du Fakara. La chronique de pluie de longue durée la plus proche du bassin de Wankama est celle de Niamey Aéroport (60 km), supposée représentative à long terme des pluies de Wankama (LEBEL T., TAUPIN JD. & D'AMATO, N., 1997) Mais même au niveau de cette station, la variabilité des totaux et moyennes mobiles est très marquée. La température moyenne annuelle est de 30°C et la moyenne journalière présente un minimum en décembre –janvier de 24°C et un maximum moyen d' avril de 35°C.

2. 2. 2. 2-Evaporation et humidité relative

L'humidité relative connaît de fortes variations à l'échelle de l'année car elle atteint une valeur maximale de 89% en saison de pluie (juillet-septembre) et une valeur minimale de 10% entre février et mars (Base de données de l'ILRI ICRISAT, 2000). L'évapotranspiration potentielle atteint 2000 mm par an. Le pic hygrométrique s'observe au cours du mois d'août et le niveau faible se situe entre janvier – février.

2. 2. 2. 3-Les vents

La zone sahélienne subit l'influence de deux types de vents dominants, l'harmattan vent de secteur nord-est, chaud et sec qui souffle de novembre à mai. La mousson du secteur sud-ouest chaud et humide qui souffle de juin à septembre. Les vents sont assez réguliers avec des vitesses faibles de 1. 7 à 2. 9 m/s. D'après AMBOUTA (1994), l'on note une augmentation de leur vitesse à la fin

de la saison sèche où elle passe à 2. 8-2. 9 m/s. D'après RAJOT (1993) cité par AMBOUTA (1994), les rafales de vent peuvent atteindre des vitesses supérieures plus de 10 m /s.

2. 2. 3-Les unités paysagères

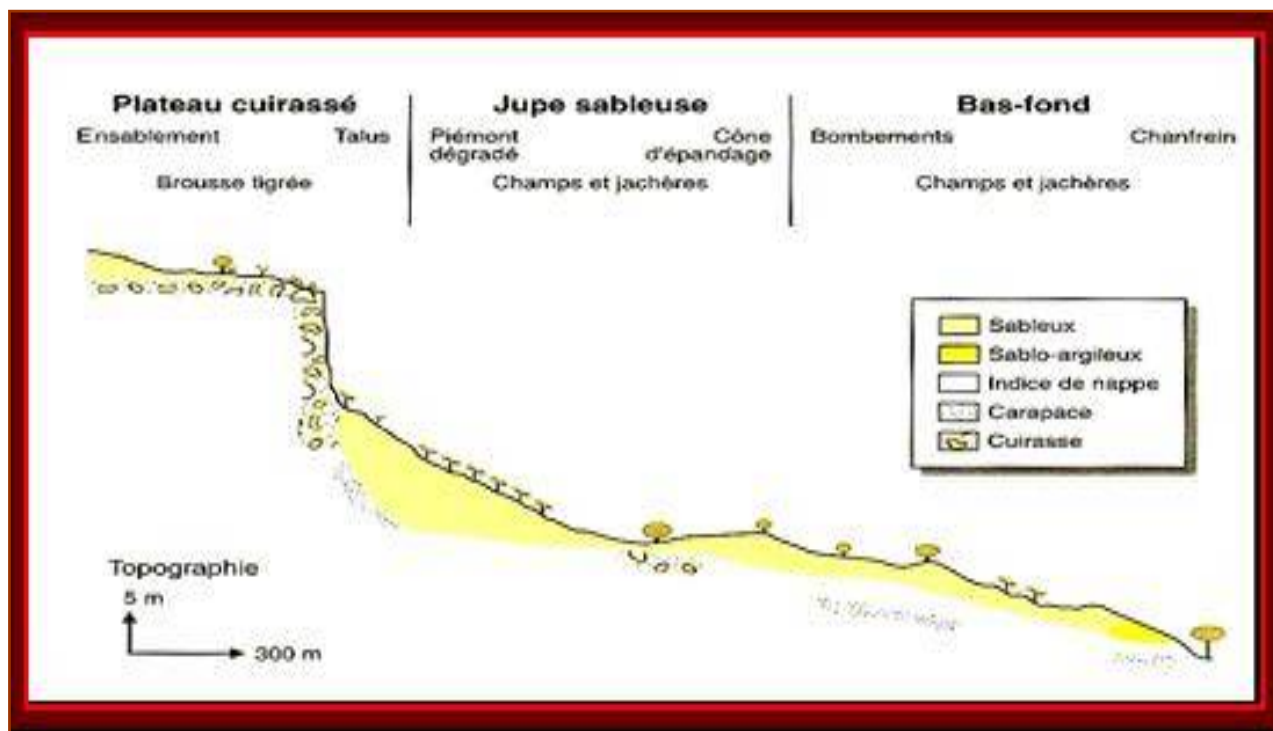


Figure 9: Coupe des unités géomorphologiques et d'occupation des sols (Source: D'HERBES. J. M et al. –1992)

2. 2. 3. 1-Les plateaux cuirassés et leurs talus

Ces unités, à pentes régulières de l'ordre de 0. 6%, constituent de hautes surfaces sommitales qui culminent autour de 250 m à Banizoumbou (AMBOUTA 1994). Ils couvrent 12462 ha de la surface totale du Fakara (base de données de l'ILRI/ ICRISAT 2000) et s'étendent sur des formations géologiques du Continental terminal. Ces formations s'étalent en surfaces planes sur lesquelles des dépôts de sables éoliens ont formé des placages sableux (Figure 9). Le type de formation végétale caractéristique est la brousse tigrée (Photo 6), végétation contractée que l'on rencontre sous des climats arides et semi-arides (AMBOUTA, 1997). D'après SEGHIERI. & al (1994) sur les plateaux de Sofia Bangou ou Sabara Bangou⁴, la brousse tigrée présente des bandes boisées de largeur comprise entre 25 et 40 m

⁴ Sofia bangu ou Sabara bangu : Nom local de la mare du plateau de Sofia. Notons que l'expression Zarma <<Bangu>> signifie mare ou toute dépression où stagne l'eau du ruissellement.

et une longueur moyenne de 2 km; des bandes nues de 50 à 75 m de large. Les espèces ligneuses les plus rencontrées sont essentiellement *Guiera senegalensis* mais aussi *Combretum glutinosum* et *Combretum micrantum*. Les plantes annuelles les plus rencontrées sont: *Microchloa indica*, *Cynanotis lanata*. Les bandes nues de la brousse tigrée sont occupées par des sols reposant sur une cuirasse ferrugineuse. Ces sols ont une épaisseur moyenne de 50 cm (SEGHIERI. & al., 1994). La dynamique de fonctionnement des deux états de surface est intimement liée. L'encroûtement des zones nues génère un ruissellement qui avoisine 80 à 90% et qui s'infiltré dans la bande de végétation située en aval. Mais, l'infiltration y est très faible car les cuirasses épaisses de 4 à 5 m sont à faible profondeur (à environ 50 cm au niveau du plateau de Sofia sondage installation CAMPBELL Sofia plateau) et parfois affleurantes en donnant des abrupts en bordure du plateau (AMBOUTA 1994). La dynamique de l'eau et sa distribution déterminent l'organisation de la végétation. Les bandes sont perpendiculaires à la pente.



Photo 6: Vue aérienne de la brousse tigrée du plateau de Sofia Tondi (Source: INTERPRETATION Photos Pixy RAJOT TK 2005)

3. 2. 3. 2-Les jupes sableuses

Il s'agit d'un placage de sable rouge homogène à la base des plateaux, en auréoles, de 600 à 800 m de large (AMBOUTA 1994). Elles occupent environ 12.6% de la superficie totale du Fakara (base de données de l'ILRI ICRISAT 2000). Selon BOULET (1974) cité par AMBOUTA (1994); les formations de jupes sableuses seraient dues à des dépôts éoliens (erg ancien) correspondant à une phase aride du Pléistocène antérieur (50. 000 BP). Les états de surface caractéristiques sont représentés par des croûtes structurales, de déflation et d'érosion.

La partie haute des jupes est occupée par des piedmonts dégradés avec une pente de 5% à moins de 3% (Figure 9). Sur la partie aval de la jupe sableuse, l'infiltration est très élevée. Sur l'ensemble de l'unité, le drainage est rapide et très marqué. Avec la présence de ravines qui convergent vers les bas-fonds. C'est un vaste espace aux sols sableux occupés par les jachères et les cultures pluviales.

2. 2. 3. 3-Les bas-fonds

Les bas-fonds sont définis comme des fonds plats ou concaves des axes d'écoulements temporaires, qui sont inondés pendant des périodes d'au moins plusieurs heures à plusieurs jours, et dans lesquels on trouve des sols aux caractéristiques hydromorphes (PDGBFS 2003). Cette définition, cadre bien avec tous les bas-fonds du Fakara situés dans la vallée fossile du kori Dantiandou (PDGDBS. 2003). Les bas-fonds (Figure 9) couvrent une superficie totale de 5940 ha dans le Fakara (base de données de l'ILRI ICRISAT, 2000). Ce 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 que charrient les eaux de ruissellement. Ces domaines de bas-fonds sont occupé par endroit de quelques jardins et des cultures pluviales, très peu de jachères et quelques reliques de formations en fourrés dominées par les ligneux arborés notamment *Faidherbia albida* et de Combretacées pour la strate arbustive. La végétation ripicole est dominée par *Guiera senegalensis*. La strate herbacée est surtout composée de *Cenchrus biflorus*, *Aristida longiflora*, *Andropogon gayanus* etc.

2.3-SPECIFICITES DES BASSINS VERSANTS ETUDIES: TONDI KIBORO ET WANKAMA

On retrouve presque les mêmes topo séquences géomorphologiques dans les deux bassins versants.

2. 3. 1-Le bassin versant de Wankama

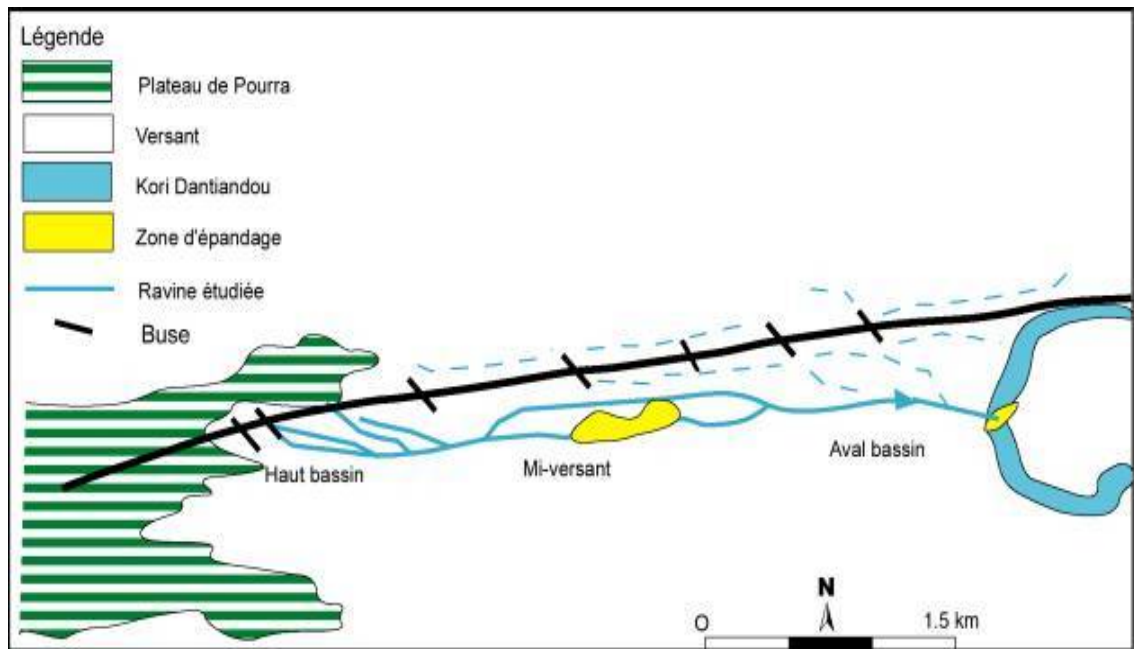


Figure 10: Carte du bassin versant de Wankama Ouest (Source: MAMADOU IBRAHIM. 2005)

Le bassin versant de Wankama est situé à 65 km sur la route N°25 qui relie la ville de Niamey à celle de Filingué. 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. Une importante zone d'épandage occupe la partie centrale du bassin et une grande partie des écoulements de la ravine principale arrivent au delà de cette zone d'épandage. Le bassin versant de Wankama a une superficie de 1.9 km². Cependant, ce bassin la mare de Wankama ouest est le plus anthropisé. D'ailleurs une autre spécificité de ce bassin, c'est la présence surtout de certaines infrastructures des travaux publics comme le goudron de la route N°25 (Niamey – Filingué) qui le traverse sur plus de 3 km. On note la présence de six buses reliant la partie ouest du bassin au bas-fond de la mare ouest. Cinq des six buses drainent des eaux dans le bassin de la mare ouest. Au niveau du talus du plateau de Pourra, en forme de cratère (carrières pour la route), il y a des

digues construites par les services des travaux publics pour protéger le goudron des forts ruissellements qui descendent du plateau de Pourra.

2. 3. 2-Le bassin versant de Tondi Kiboro

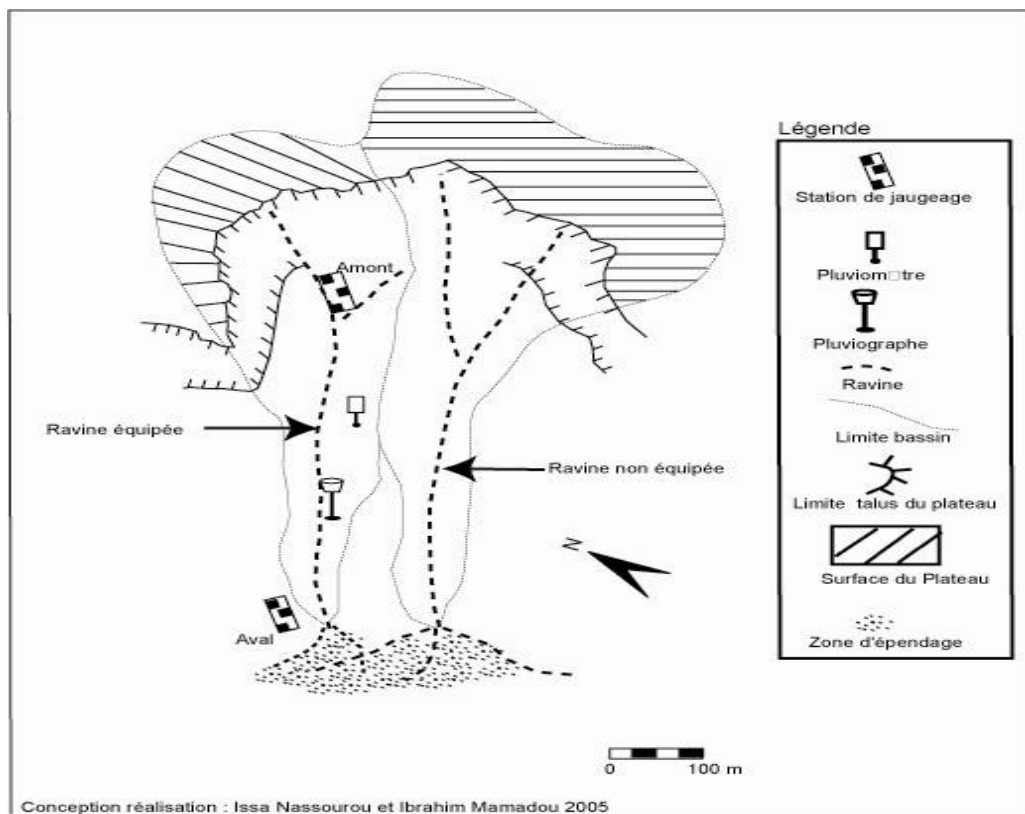


Figure 11: Carte du bassin versant étudié de Tondi Kiboro

A 70 km à l'Est de Niamey, le bassin versant de Tondi Kiboro est situé sur le versant-est du plateau de Sofia Tondi (Figure 11). Il a une superficie d'environ 0.7 km² (Bassin versant de la ravine étudiée). Il s'agit d'une portion d'espace entre deux ravines descendantes du même plateau. Ce sont des bassins versants fortement anthropisés. Cela est dû à de nombreux facteurs dont l'ancienneté des villages notamment Tondi Kiboro avec plus de deux siècles d'installation.

2. 3. 3- Représentativité des bassins versants de Wankama et Tondi Kiboro

Les bassins versants bassins de Wankama et Tondi Kiboro sont assez représentatifs du Fakara et des secteurs endoréiques du degré carré sur plusieurs aspects. Du point de vue morpho-géologique, ces bassins versants sont similaires aux paysages géologiques des formations du Moyen Niger. L'on retrouve les

mêmes unités géomorphologiques (Plateau- Talus- Jupes sableuses et bas-fonds dans la partie Centrale Est du degré carré. La pluviométrie est caractérisée par un gradient du Nord au Sud tant à l'échelle du Fakara que du degré carré de Niamey. Cette pluviométrie est typique d'une zone sahélienne. Le système hydrologique des bassins étudiés est essentiellement dominé par un réseau de ravines drainant des eaux des bassins versants endoréiques vers les mares de fonds de vallées. La mobilité des mares est aussi une caractéristique importante de la région du Fakara et des Dallols.

Du point de vue de la végétation, l'on retrouve la brousse tigrée sur l'ensemble des plateaux du Fakara. Ce type de formation végétale varie dans le Fakara, selon son faciès ou son état de dégradation. Sur les versants, la situation est dominée par des types de formations végétales fortement anthropisées. Les systèmes cultures-jachères caractérisent l'occupation du sol dans le Fakara sinon dans toute la partie Ouest du Niger. Les systèmes socio-économiques et culturels sont caractérisés par une dynamique démographique galopante et un niveau de pauvreté plus endémique.

Tableau 5: Poids démographique des principaux villages riverains des bassins versants étudiés (Source: Répertoire villages BCR/ RGP/H Niger 2001)

Villages	Répartition par sexe		Total	Nombre de ménages
	Masculin	Féminin		
Wankama	358	376	734	91
Tondi Kiboro	134	141	275	34
Banizoumbou	525	552	1077	134
Total canton	12158	12790	24948	3095

La pression humaine est liée à la croissance démographique et l'influence de facteurs climatiques comme la sécheresse qui devient cyclique. Le village de Banizoumbou est le plus récent (LOIREAU 1998) mais aussi le plus peuplé (1077 habitants) (Tableau 5).

Conclusion partielle

La caractéristique principale des bassins versants étudiés outre l'endoréisme, réside dans la difficulté de leur délimitation géographique précise. Par exemple les limites entre deux bassins voisins sont très difficiles à tracer tant sur le plateau de Pourra que sur celui de Sofia. Sur les versants, les limites des petits bassins des mares évoluent selon les saisons ou d'une crue à une autre. Il est aussi très

difficile de définir et distinguer à l'échelle de quelques années d'observations, la situation fréquente des fonctionnements hydrologiques des petits bassins versants endoréiques du Faraka. Mais ces bassins sont représentatifs de la partie Centrale –Est du degré carré de Niamey.

CHAPITRE 3: RESULTATS DE L'ETUDE

3.1 ANALYSE DES PROCESSUS DE RUISSELLEMENT ET D'EROSION

3. 1.1-Caractéristiques hydromorphométriques des bassins versants étudiés

Tableau 6: Quelques caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant de Wankama (Source: MAMADOU, I. 2004-2005)

Caractéristiques	Paramètres	Unités	Symbole	Valeurs
Morphologie du bassin versant	Superficie du bassin versant	Km ²	A	1. 9
Relief	Altitude maximale	m	L	260
	Altitude minimale	m	Hmax	210
	Altitude moyenne	m	Hmoy	235
	Pente moyenne	%	Im	1. 71
Réseau hydrographique	Longueur du talweg principal	Km	Lp	3, 5
	Densité de drainage	Km/Km ²	Dd	3, 822
	Temps pour que l'écoulement arrive aux stations	minutes	mn	10 à 40

Tableau 7: Quelques caractéristiques hydromorphométriques du bassin versant de Tondi Kiboro (Source: MAMADOU I. 2004-05)

Caractéristiques	Paramètres	Unités	Symbole	Valeurs
Morphologie du bassin versant	Superficie du bassin versant	Km ²	A	0. 7
Relief	Altitude maximale	M	L	258
	Altitude minimale	M	Hmax	233
	Altitude moyenne	M	Hmoy	245
	Pente moyenne	%	Im	3. 405
Réseau hydrographique	Longueur du talweg principal	Km	Lp	0. 784
	Densité de drainage	Km/Km ²	Dd	3, 342
	Temps pour que l'écoulement arrive aux stations	minutes	mn	7 à 35

Les réseaux de ravines étant très développés, la densité de drainage sur les deux bassins versants est supérieure à 3 km/km². Malgré la petite taille de ses bassins, la dynamique hydrique semble très active. La pente y est assez élevée, particulièrement les biefs amont. La dénivelée est de 25 m pour une distance de

780 m (Tableau 7) du talweg principal à Tondi Kiboro alors qu'à Wankama la dénivelé est encore de 50 m mais sur une distance de 3500 m (Tableau 6).

3. 1. 2-Profiles en long des ravines principales étudiées à Wankama et Tondi Kiboro

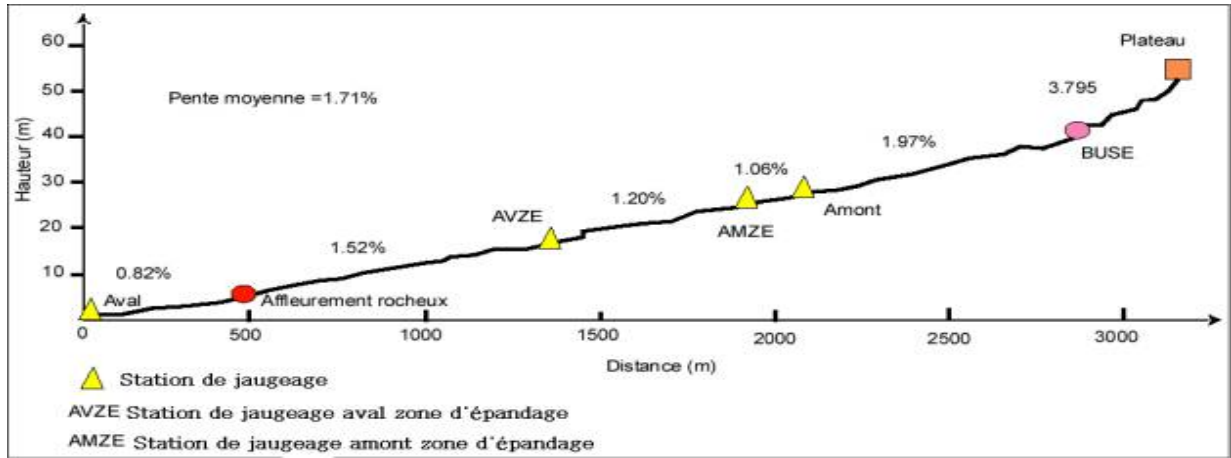


Figure 12: Profil en long de la ravine principale de Wankama (source: BOUCHEZ JM. & ALZOUMA I. 2005)

La longueur totale du bassin versant de Wankama est de 3.5 km (Figure 12) et la pente moyenne est de 1.71%. La très faible pente est une caractéristique majeure des bassins versants du Fakara, sinon de l'ensemble du degré carré de Niamey. Sur le bassin versant de Wankama, au niveau du bief aval, la pente est de moins 1% entre le secteur d'affleurement cuirassé et la station aval (0.82%)

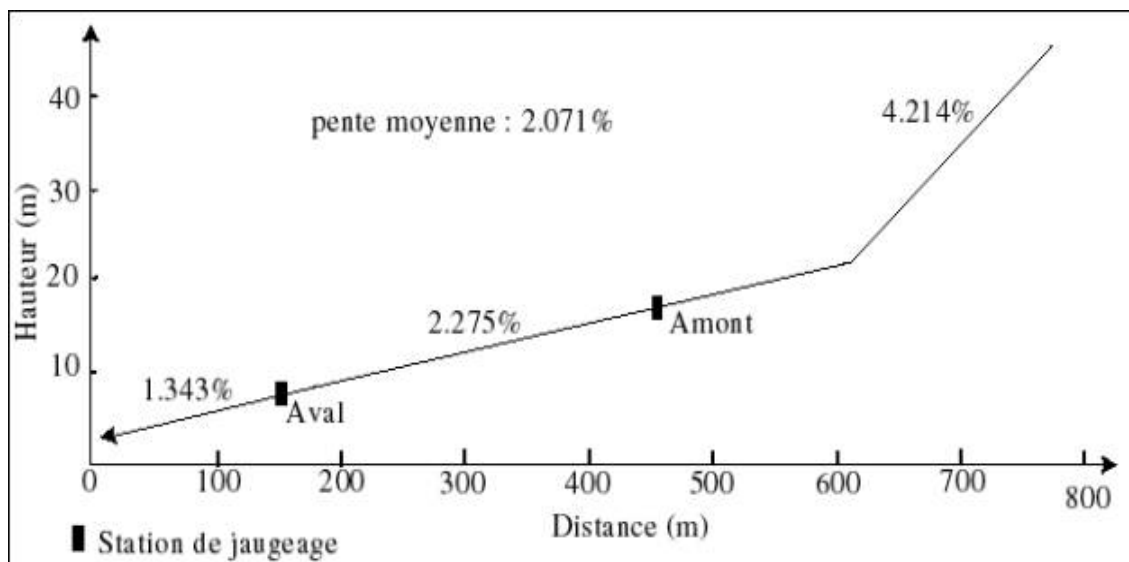


Figure 13: Profil en long de la ravine principale de Tondi Kiboro (Source: MAMADOU I., KLUTH S. JULLIEN C ET DOUKA I. BODO S. 2005)

La longueur totale de la ravine équipée de Tondi Kiboro est de 784m. Le bief amont à une pente assez forte, ce qui explique la descente rapide et brusque des eaux du plateau de Sofia. La pente générale de 2.071% engendre des écoulements sporadiques et les temps de réponse du bassin versant assez courts. Malgré cette pente forte, certains écoulements n'atteignent pas la station aval. Ces ravines constituent des incisions dans le matériau sableux d'origine éolienne en place sur le versant adossé au plateau. Le bief amont a une pente de plus de 4.21 % (Figure 13).

3. 1. 3-Description des profils en travers des ravines principales étudiées à Wankama et Tondi Kiboro

L'application du dispositif «Peigne » de façon alternative et ponctuelle, et le long de la ravine ne permet pas de définir les séquences d'ablation, de comblement et de stabilité. Il faudrait un suivi très régulier à une échelle de temps et spatiale bien définie. L'application que nous avons effectuée sur les ravines de Tondi Kiboro et Wankama est ponctuelle et s'est posé un problème de discernement et de distinction des alluvions récentes par rapport à celles plus anciennes. Cependant les résultats des travaux de mesures des profils en travers effectués, nous permettent de voir les zones de dépôts ponctuels, l'importance de la largeur des lits d'écoulement mais aussi la profondeur de la ravine.

Pour la ravine de Wankama, la situation de cette ravine varie d'un profil à un autre. La largeur moyenne du lit de crue varie de 1.75m à 7.5 m. La profondeur va de 2.5 m au pied du talus à 30 cm au niveau des secteurs d'affleurement de la cuirasse située en amont de la station aval.

A Tondi Kiboro, on assiste à une situation où la ravine est à une phase de stabilité d'un point de vue ablation de matériau, mais cela serait confirmé par des suivis réguliers des profils en travers sur des secteurs bien identifiés le long de la ravine. Les marques d'érosion actives (dépôt au fond de la ravine surtout) sont très visibles et l'ampleur varie d'une crue à une autre. Cela est dû à l'importance du bassin de réception (partie du plateau de Sofia) et à la très forte pente et aux apports sédimentaires du versant.

5. 1. 4-Debits et transports solides

3. 1. 4. 1-Pluies enregistrées et comportements hydrologiques observés aux stations de jaugeages dans les bassins versants de Wankama (2004) et Tondi Kiboro (2005)

Afin d'estimer les transports solides en 2004, nous avons utilisé les débits solides en suspension. Car le dispositif de prélèvements d'échantillons de la charge de fond n'a été disponible qu'au cours de la période de mesures 2005.

3. 1. 4. 1.1-Aux stations de jaugeage de Wankama en 2004

Tableau 8: Pluies enregistrées et comportements hydrologiques observés de la station de jaugeage Amont du bassin versant de Wankama en 2004.

Date de pluie	Hauteur pluie au pluviomètre V1	Crues prélevées	Comportements hydrologiques de la station Amont	Heure début pluie	Heure début ruissellement
11/07/2004	8	-	N'a pas ruisselé	-	-
17/07/2004	16	Oui	A bien ruisselé	00: 14	00: 32
17/07/2004	0. 5	-	N'a pas ruisselé	Deuxième pluie suivie à la station Amont le 17/07/2004 à 14 h45	
21/07/2004	6	-	N'a pas ruisselé	-	-
26/07/2004	8. 3	-	N'a pas ruisselé	-	-
02/09/2004	7	-	N'a pas ruisselé	-	-
06/09/2004	13. 5	Oui	A bien ruisselé	19: 17	19: 43
08/09/2004	16. 7	Oui	A bien ruisselé	21: 08	21: 25
12/09/2004	0. 4	-	N'a pas ruisselé	-	-
13/09/2004	17. 5	Oui	A bien ruisselé	10: 31	10: 44
20/09/2004	10. 5	-	Très faible ruissellement	-	-

Source: MAMADOU I., ALZOUMA I., RONGICONI L., MICHEALA V. DESCROIX L. BOULAIN N. 2004

Sur les onze pluies suivies à la station Amont, 4 ont ruisselé. Pour les quatre suivies, les temps mis par les écoulements pour atteindre cette station sont très variables, entre 26 minutes à 11 minutes (Tableau 8). Mais la rapidité des écoulements à atteindre cette station dépend surtout des hauteurs de pluie enregistrées au niveau du plateau de Pourra, donc le bassin de réception de ce sous-bassin amont.

Tableau 9: Pluies enregistrées et comportements hydrologiques observés à la station de jaugeage Amont zone d'épandage du bassin versant de Wankama en 2004.

Date de pluie	Hauteur de pluie au pluviomètre ZE3	Crues prélevées	Comportement hydrologique de la station amont zone d'épandage	Heure début pluie	Heure début ruissellement
20/07/2004	32	Oui	A bien ruisselé	5: 41mn	5: 55mn
02/09/2004	5	-	N'a pas ruisselé	-	-

(Source: MAMADOU I., ALZOUMA I., RONGICONI L., MICHEALA V. DESCROIX L. BOULAIN N. 2004)

Une seule pluie a ruisselé à la station amont sur les deux suivies. Cette pluie du 20/07/2004 de 32 mm a entraîné une forte crue et la station a même débordé. L'écoulement a atteint en 11mn seulement après le début de la pluie du 20/07/2004.

Tableau 10: Pluies enregistrées et comportements hydrologiques observés à la station de jaugeage Aval zone d'épandage du bassin versant de Wankama en 2004.

Date pluie	Hauteur de pluie au pluviomètre MB1	Crue prélevées	Comportements hydrologiques à la station Aval zone d'épandage	Heure début pluie	Heure début ruissellement
20/07/2004	34	Non	A bien ruisselé	Débordement à la station Amont zone d'épandage	
27/07/2004	31	Non	A bien ruisselé	Cette pluie n' a pas été suivi, manque moyen logistique	
05/08/2004	10	-	N'a pas ruisselé	-	-
10/08/2004	1.7	-	N'a pas ruisselé	-	-
18/08/2004	20	-	N'a pas ruisselé	-	-
23//08/2004	18.5	OUI	A bien ruisselé	16: 49	17: 22
24/08/2004	0.7	-	N'a pas ruisselé	-	-
30/08/2004	38	Oui	A bien ruisselé	15: 37	16: 09

(Source: MAMADOU I., ALZOUMA I., RONGICONI L., MICHEALA V. DESCROIX L. BOULAIN N. 2004)

Les écoulements à la station aval zone d'épandage sont rares. Elle ne ruisselle qu'en cas de très forte pluie. Pour toute la période de mesures 2004, elle n'a ruisselé que quatre fois. Plusieurs crues aux stations situées en amont de la station Aval zone d'épandage ne l'atteignent pas. Parfois les écoulements dépassent les têtes de la ravine principale situées à quelques mètres en amont mais sans parvenir à la station aval zone d'épandage. Les temps mis par les

écoulements pour les deux crues suivies sont respectivement de 33mn et 32mn (Tableau 10). Les crues rares et les temps mis (une trentaine de minutes) par les écoulements pour rejoindre cette station s'expliquent essentiellement par l'importance de l'infiltration au niveau de la zone d'épandage.

Tableau 11: Pluies enregistrées et comportements hydrologiques observés à la station de jaugeage Aval du bassin versant de Wankama en 2004.

Date de crue	Hauteur de pluie au pluviomètre BV2	Crue prélevées	Comportements hydrologiques de la station Aval	Heure début pluie	Heure début ruissellement
02/08/2004	24	Oui	A ruisselé à	5: 25mn	5: 46mn
07/08/2004	24. 5	Oui	A ruisselé à	22: 47mn	23: 33mn
21/08/2004	20. 5	Oui	A ruisselé à	2: 39mn	3: 04mn
24/08/2004	0. 3	Oui	A ruisselé à	17: 03	18: 05

(Source: MAMADOU, I., ALZOUMA I., RONGICONI L., MICHEALA V. DESCROIX L. BOULAIN N. 2004)

A la station aval, nous avons effectué des prélèvements au cours de quatre crues. Les comportements hydrologiques observés sont liés à un ensemble de facteurs. La topographie (pente faible 0. 82% pour ce bief aval) et l'affleurement rocheux cuirassé en haut du bief aval qui activent les écoulements. Les éléments anthropiques tels que les buses (buses N°5 et N°6, N°7, partie aval, en descendant du plateau vers le village) sont aussi des sources de multiplication de secteurs d'apports en eaux vers le bassin. Il y a aussi l'importance des ravines secondaires qui collectent les ruissellements de vastes croûtes d'érosion de la rive gauche de la ravine principale. La situation géographique de la station explique aussi la lenteur de l'écoulement (généralement plus de 30mn). Les multiples secteurs d'apports à l'écoulement de la partie aval du bassin expliquent le caractère torrentiel des comportements hydrologiques en cas de fortes pluies sur le bassin, d'ailleurs la passerelle de jaugeage a été endommagée plusieurs fois. On observe aussi d'importants bancs d'alluvions dans la partie amont et aval. L'écoulement aval dure aussi plus longtemps. L'on peut aussi remarquer plusieurs remontées des eaux au cours de la même crue.

Les comportements hydrologiques des stations de jaugeage dans le bassin versant de Wankama varient d'une station à une autre et selon la pluie aussi. Même s'ils restent liés à la hauteur ou à l'intensité de la pluie, plusieurs facteurs comme la pente, l'importance de certains états de surface et les actions de

l'homme (buses, goudron etc) rendent plus complexes les comportements hydrologiques de ce petit bassin versant endoréique.

3. 1. 4.1. 2-Aux stations de jaugeage Tondi Kiboro en 2005

Après la pluie du 19/07/2005, nous avons jugé utile de ne continuer à prélever qu'au niveau d'une seule des deux stations (Aval) afin d'avoir une bonne série de données (transport solide) par station.

Tableau 12: Pluies enregistrées et comportements hydrologiques observés à la station Amont Tondi Kiboro en 2005

Date de la pluie	Hauteur pluie	Crues prélevées	Comportements hydrologiques à la station Amont	Heure début pluie	Heure début ruissellement
02/07/2005	12, 5mm	Oui	A bien ruisselé	05: 58	06: 21
10/07/2005	8mm	-	Très faible ruissellement	-	Nous étions à l' Aval.
17/07/2005	9. 5mm	Oui	A bien ruisselé	12: 40	12: 55
19/07/2005	15mm	Oui	A bien ruisselé	23: 13	23: 20
29/08/2005	9mm	-	Très faible ruissellement	-	Nous étions à l' Aval.
01/09/2005	12, 5mm	Non	A bien ruisselé	-	-
03/09/2005	7mm	Non	A bien ruisselé	-	-

(Source: MAMADOU, I., KLUTH S. JULLIEN C ET DOUKA I. BODO S. 2005)

A la station Amont de Tondi Kiboro, nous avons prélevé entre le 30 juin 2005 et le 15 septembre 2005 que 3 pluies (Tableau 12). Les comportements hydrologiques observés à la station Amont de Tondi Kikoro sont: la rapidité avec laquelle l'écoulement arrive à la station Amont et le caractère torrentiel des écoulements. Par exemple, 7mn après le début de la pluie du 19/07/2005, la station a ruisselé. Mais il faut aussi noter l'importance de la pente sur ce bief Amont (4. 214%). Cette station ruisselle parfois avec des pluies de moins 7 à 10 mm. La station amont a ruisselé avec 7mm le 03/07/2005, cela s'explique en partie par l'importance (hauteur et intensité) de cette pluie sur les plateaux de Sofia. Au cours de certains événements pluvieux, la station Amont ruisselle bien mais les écoulements s'arrêtent parfois à quelques mètres avant la station Aval, ou atteignent la station aval avec un écoulement très faible (couvrant difficilement les dépôts d'alluvions de la crue précédente): cas des pluies du 02/07/2005, du 10/07/2005, du 15/07/2005, du 29/08/2005 et la pluie du 17 août 2005.

Tableau 13: Pluies enregistrées et comportements hydrologique observés à la station aval de Tondi Kiboro en 2005 (Source: MAMADOU I., KLUTH S. JULLIEN C ET DOUKA I. BODO S. 2005. *Deuxième)

Date de la pluie	Hauteur pluie Au pluviomètre CTI ⁶	Crues prélevées	Comportements hydrologiques à la station Aval	Heure début pluie	Heure début ruissellement
08/07/2005	36mm	Oui	A bien ruisselé	08: 45	09: 24
10/07/2005	8mm	-	N'a pas ruisselé	Très faible ruissellement à la station Amont sans atteindre celle d'Aval	
15/07/2005	12, 5mm	-	N'a pas ruisselé	Au cours de cette pluie la station amont a bien ruisselé mais l'écoulement n'a pas atteint celle d'Aval, les flux d'écoulements se sont infiltrés à quelques mètre de la station Aval.	
31/07/2005	14mm	Oui	A bien ruisselé	03: 40	03: 49
04/08/2005	26mm	Oui	A bien ruisselé	20: 59	21: 16
06/08/2005	14mm	Oui	A bien ruisselé	15: 30	16: 05
08/08/2005	2mm	-	N'a pas ruisselé	Aucune des deux stations n'a ruisselé	
12/08/2005	5mm	-	N'a pas ruisselé	Aucune des deux stations n'a ruisselé	
15/08/2005	16, 5mm	Oui	A bien ruisselé	05: 09	05: 26
16/08/2005	27mm	Oui	A bien ruisselé	02: 30	02: 48
17/08/2005	16mm	Oui	A bien ruisselé	08: 00	08: 28
17/08/2005*	14mm	Oui	A bien ruisselé	14: 30	14: 50
29/08/2005	9mm	-	N'a pas ruisselé	Faible ruissellement à la station Amont sans atteindre celle d'Aval	
01/09/2005	12, 5mm	Oui	A bien ruisselé	16: 01	16: 21
03/09/2005	7mm	Oui	A bien ruisselé	02: 45	02: 49
08/09/2005	16, 5mm	Oui	A bien ruisselé	05: 17	05: 37

Les comportements hydrologiques de la station aval de Tondi Kiboro sont assez complexes. Cela s'explique par un ensemble de facteurs internes et externes aux

⁶ Le pluviomètre CTI est celui de référence pour nos mesures et observations car se situant à moins de 100 m des deux stations de jaugeage de Tondi Kiboro (Coordonnées UTM: 0467323 & 1497730) Mais deux pluviographes sont aussi installés dont 1 en amont en bordure du plateau de Sofia et le deuxième à mi-versant du bassin versant étudié de Tondi Kiboro.

caractéristiques morpho-climatiques du bassin versant. D'abord la position de la station dans le bassin, elle est située à moins de 40 mètres de la zone de rupture de pente (les cônes de déjection coalescents). Cette position explique la présence d'importants bancs d'alluvions dans le fond de la ravine (peu avant la station et en amont surtout). Ces bancs d'alluvions retardent l'écoulement car ils favorisent l'infiltration.

Le caractère très variable de la pluie sur le plateau: son intensité, sa fréquence influencent non seulement les écoulements de la station amont mais aussi ceux de la station aval de Tondi Kiboro. A titre illustratif, nous avons observé une crue aux deux stations de la ravine équipée (15/08/2005 avec 16.5 mm) (Tableau 13). Alors que sur celle non équipée située à quelques mètres au Sud de la ravine étudiée, l'écoulement n'a pas atteint la zone d'épandage formée par les cônes coalescents des deux ravines à mi-versant. La fréquence des pluies est importante dans l'explication des comportements hydrologiques des stations de Tondi Kiboro, car cette régularité conditionne non seulement la rétention hydrique des sols du bassin mais surtout les débordements de la petite mare du plateau de Sofia située non loin de sa bordure Est (près du campement). C'est le cas de la pluie du 17/08/2005 (Tableau 13). Les apports de débordements de cette petite mare explique l'accentuation des deux pics lors des crues observés sur différentes stations. Les débordements de cette mare influencent et activent directement les apports par ruissellement en nappe du plateau. Ces débordements semblent expliquer la forte fréquence de deux remontées d'eaux aux stations de Tondi Kiboro. Les temps que mettent les écoulements pour atteindre la station aval de Tondi Kiboro, sont très variables: 9mn pour la crue du 31/07/2005, 20mn pour celle du 01/09/2005 et 7mn pour celle du 03/09/2005.

Le ruissellement de façon générale dans les bassins versants du Fakara est lié à la saturation locale de certains états de surface notamment les croûtes d'érosion qui ruissellent en premier lieu: notion d'écoulement hortonien. C'est à dire à partir d'une hauteur de pluie donnée, moins de 7 mm pour les croûtes d'érosion (Tondi Kiboro) et moins de 5 mm pour la surface cuirassée (plateaux de Sofia par exemple), les croûtes atteignent facilement le niveau de saturation, rapidement elles ruissellent en nappe (données Parcelles d'érosion ALZOUUMA et observations de terrain 2004 & 2005). C'est ce type de ruissellement que TRICART (1972) qualifie de ruissellement de battance qui occasionne le glaçage;

la pellicule superficielle du sol s'imperméabilise et l'eau s'infiltré mal. Le ruissellement se produit bien que les couches proches de la surface soient loin d'être saturées. La redistribution de l'eau sur les versants du Fakara se fait par un ruissellement hortonien qui est ensuite concentré dans les ravines. Les discontinuités d'écoulements et de l'infiltration constatées (DESCONNETS (1994) sur les comportements hydrologiques des stations au cours de ces deux années de mesures tant à Wankama qu'à Tondi Kiboro confirme bien l'hypothèse d'ESTEVES & LAPETITE sur l'importance de l'infiltration dans les fonds des ravines.

4. 1. 4. 2 Les débits d'écoulements et les transports solides mesurés dans les ravines principales des bassins versants de Wankama et Tondi Kiboro

3.1. 4. 2.1 Les débits et les transports solides sur le bassin versant de Wankama: stations Amont; Amont zone d'épandage; Aval zone d'épandage et aval

a) Les débits

-A la station de jaugeage amont de Wankama

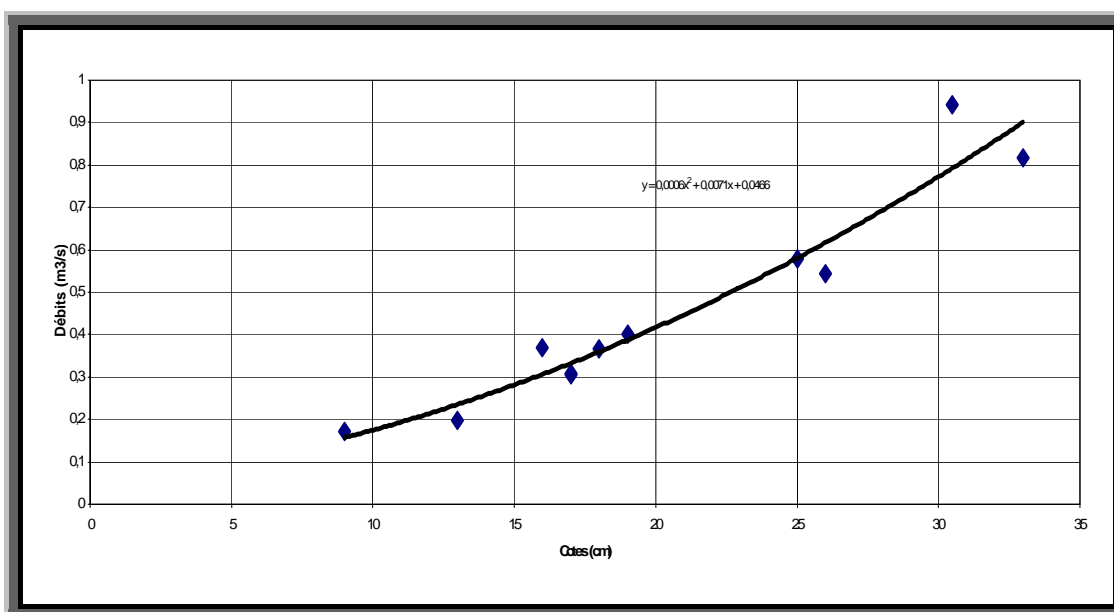


Figure 14: Courbe de tarage de la station de jaugeage Wankama Amont (Source: DESCROIX L. & BOUCHEZ JM. 2004)

A la station Amont, les débits jaugés varient de 0. 171 à 0. 941 m³ en 2004 (Figure 14). La montée tout comme la descente des eaux à cette station sont brusques.

-A la station de jaugeage amont zone d'épandage de Wankama

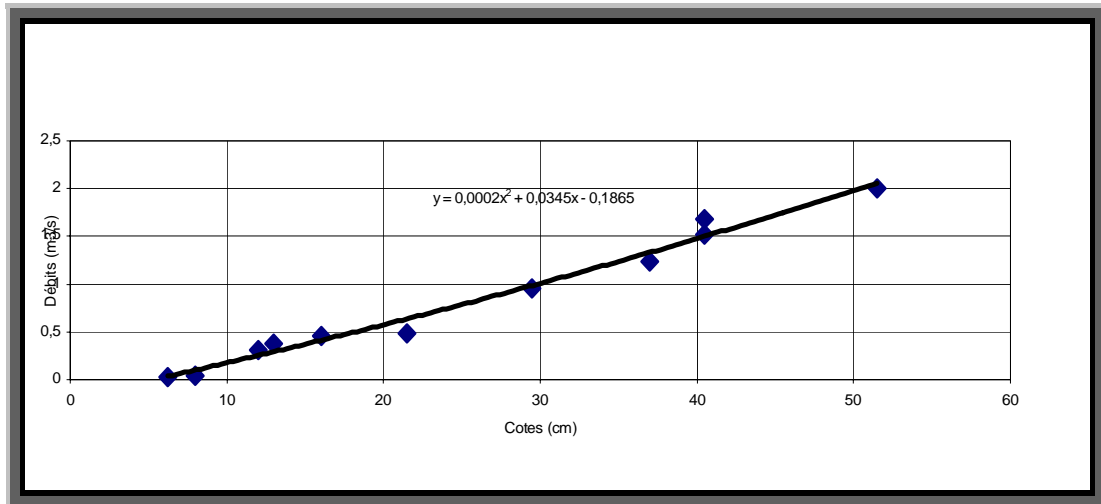


Figure 15: Courbe de tarage de la station de jaugeage Wankama amont zone d'épandage (Source: DESCROIX L. & BOUCHEZ JM. 2004)

Au niveau de cette station, les débits jaugés en 2004 sont aussi forts (Figure 15) C'est la zone où se concentrent les eaux du bassin supérieur de Wankama. Le débit maximum jaugé est de 2. 01 m³ /s. La montée des eaux est très brusque avec parfois des cas de débordement de la station. C'est à ce niveau que la ravine collecte le gros des écoulements de la partie supérieure du bassin.

-A la station de jaugeage aval zone d'épandage de Wankama

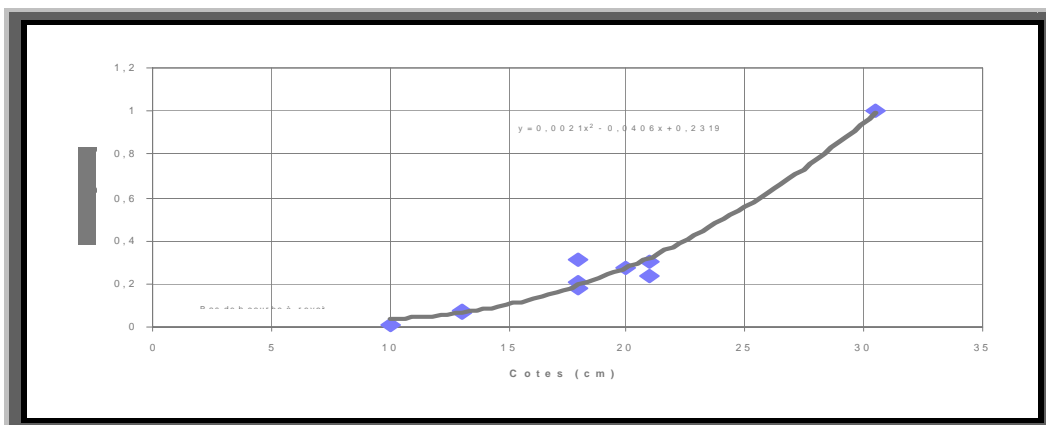


Figure 16: Courbe de tarage de la station de jaugeage Wankama aval zone d'épandage (Source: DESCROIX L. & BOUCHEZ JM. 2004)

Cette station de jaugeage située en aval de la zone d'épandage ne ruisselle qu'en cas de pluies intenses. Plusieurs pluies qui ruissellent à la station amont zone d'épandage n'atteignent pas la station aval zone d'épandage. Ceci montre l'importance de l'infiltration dans la zone d'épandage située à mi-versant du bassin étudié à Wankama. Le débit maxi jaugé sur cette station est de 1m² /s (Figure 16). D'ailleurs MASSUEL S. et al., (2003), à travers un modèle hydrologique appliqué à cette zone d'épandage située à mi-versant du bassin élémentaire de Wankama, suggèrent que 92% des volumes alimentant cette zone d'épandage s'infiltrèrent sur le premier hectare amont. Ce modèle tend à montrer que les volumes infiltrés ne sont pas négligeables même vis à vis de la recharge de la nappe.

-A la station de jaugeage aval de Wankama

Les jaugeages effectués en 2004 et 2005 n'ont pas permis d'étalonner la station Wankama aval.

b) Transports solides en suspension

- **A la station Amont de Wankama en 2004**

-Crue du 17 juillet 2004 à la station amont

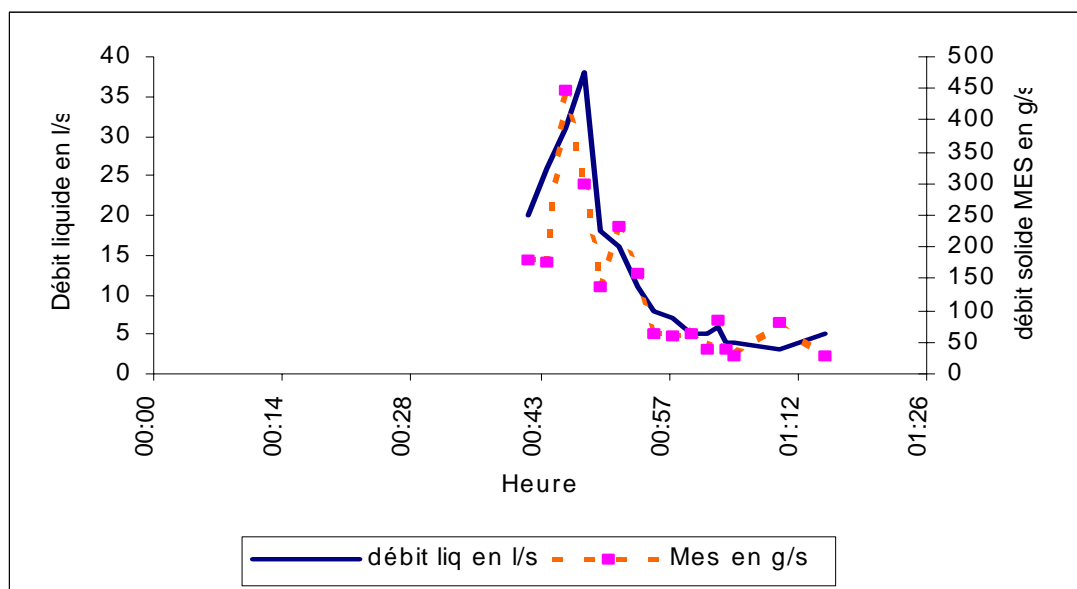


Figure 17: Transport solide en suspension à la station Amont de Wankama: crue du 17 juillet 2004 (Source: MAMADOU IBRAHIM 2004)

Au cours de cette crue du 17 juillet 2004, les débits solides en suspension sont importants à la station amont de Wankama, les particules en suspension ont atteint un débit maximum d'environ 500g/s. Cela est dû aux forts débits liquides

enregistrés variant entre 40l/s à 4l/s (Figure 17). Il faut aussi remarquer que la crue solide a été légèrement précoce.

-Crue du 6 septembre 2004 à la station amont

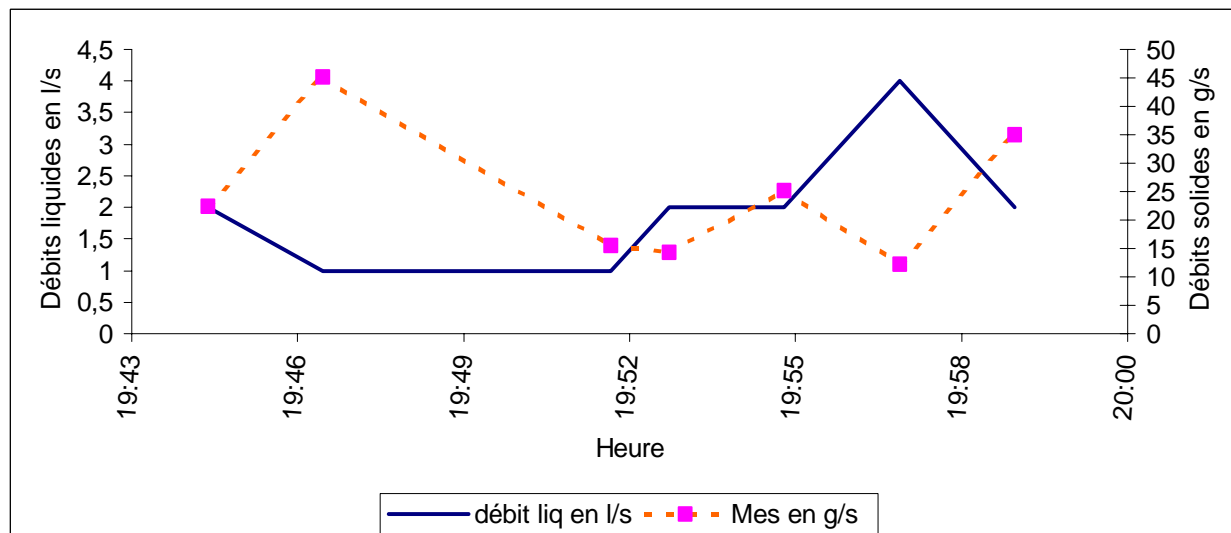


Figure 18: Transport solide en suspension à la station Amont de Wankama: crue du 6 septembre 2004

La figure 18 montre bien que les faibles débits liquides entraînent de très faibles débits en suspension.

-Crue du 8 septembre 2004 à la station amont

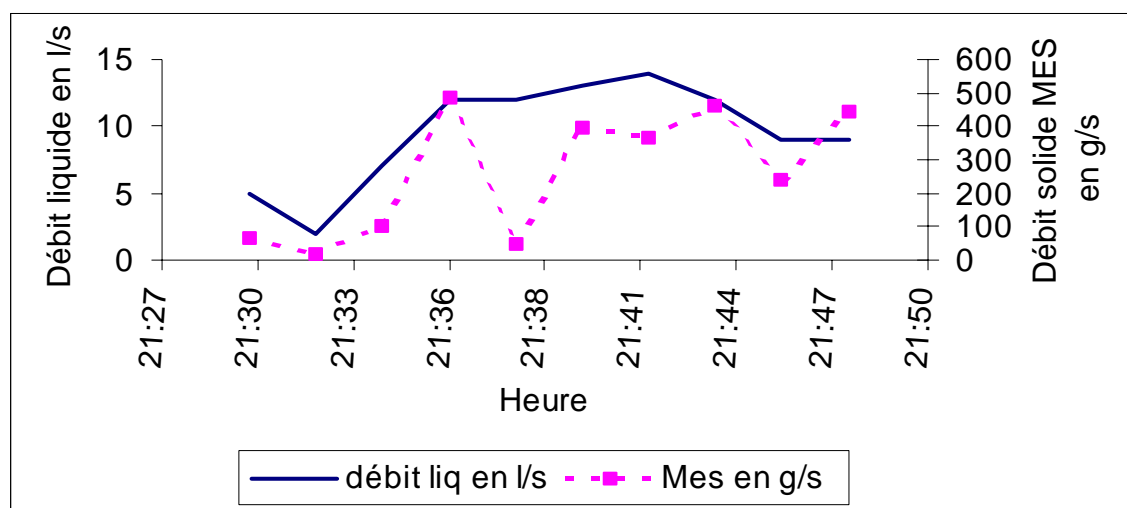


Figure 19: Transport solide en suspension à la station Amont de Wankama: crue du 08 septembre 2004

Le 8 septembre 2004 à la station amont, on remarque que les débits solides sont encore importants avec des pics plus de 600g/s au cours de cette crue bien que les débits liquides soient assez faibles et compris entre 2 et 14l/s. La figure 35

montre des pics de crue liquide et de très fortes variations de la crue solide en suspension.

-Crue du 13 septembre 2004 à la station amont

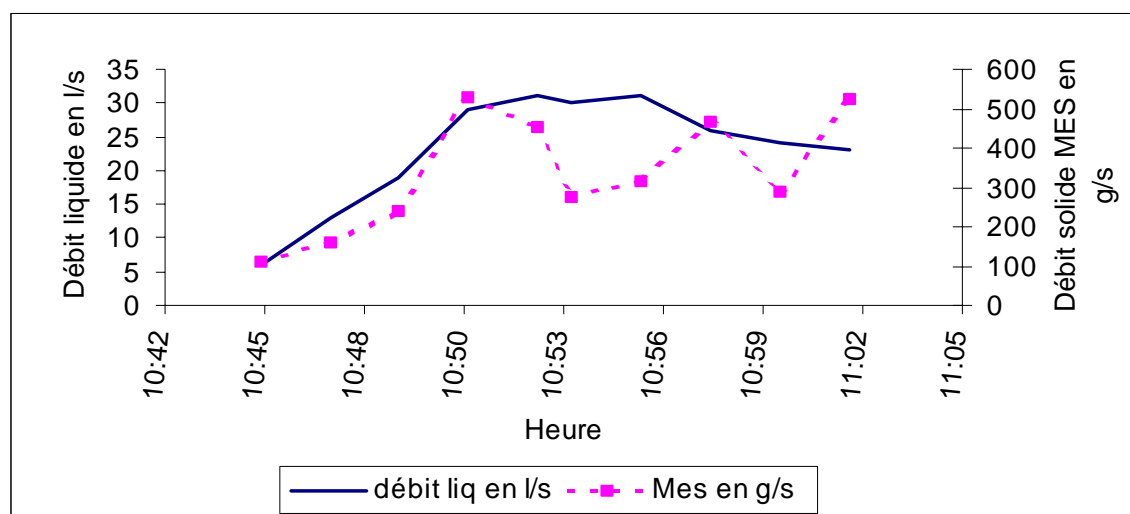


Figure 20: Transport solide en suspension à la station Amont de Wankama: crue du 13 septembre 2004

On ne remarque pas de différence sensible à l'échelle temporelle sur les masses de particules solides transportées en suspension et malgré les importantes variations de débits liquides. Pour cette crue du 13 septembre 2004, l'on observe deux pics de crues solides en suspension et que le pic solide de fin de crue est plus important que celui de la remontée des eaux (Figure 20).

- A la station Amont zone d'épandage de Wankama en 2004

-Crue du 20 juillet 2004 à la station amont zone d'épandage

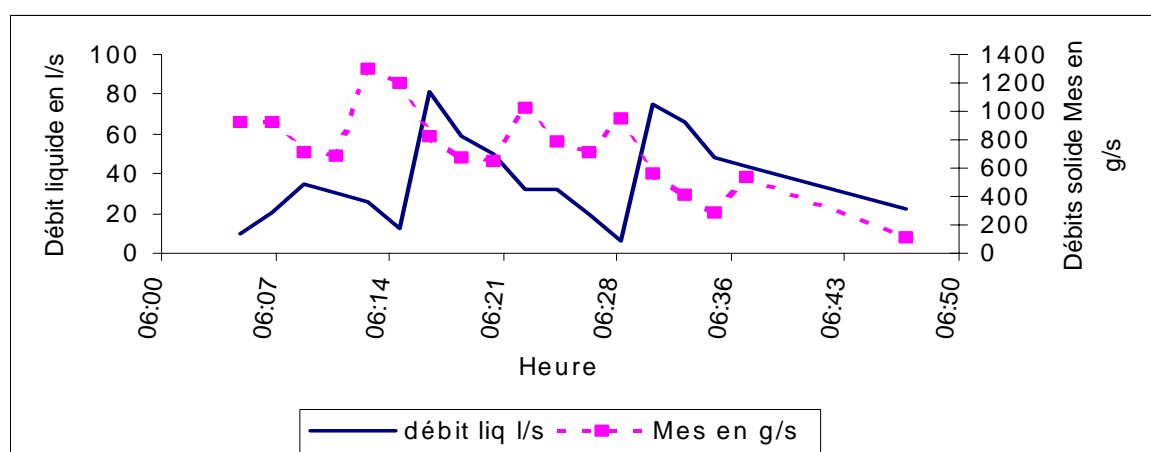


Figure 21: Transport solide en suspension à la station Amont zone d'épandage de Wankama: crue du 20 juillet 2004

Pendant cette crue du 20 juillet 2004, la station amont zone d'épandage a même débordé. L'on a enregistré des débits liquides maxi de plus de 90l/s. Les trois pics solides MES de la figure 21 ont été nettement plus précoces que les pics liquides. Les débits MES sont très importants avec avoisinant les 1400g/s. La crue liquide a été fortement instable avec de très brusque remontée d'eau à la station.

- **A la station Aval zone d'épandage de Wankama en 2004**

-Crue du 23 Août 2004 à la station aval zone d'épandage

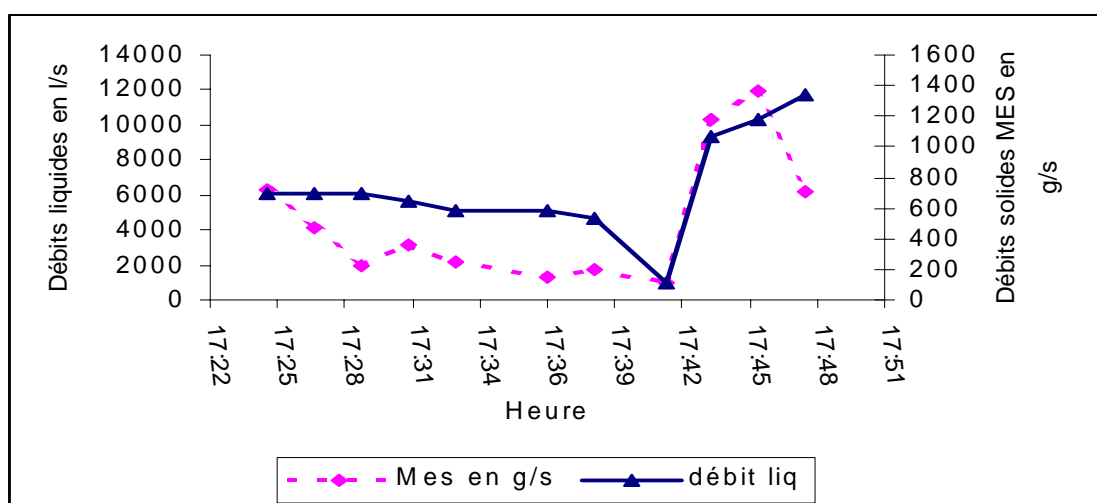


Figure 22: Transport solide en suspension à la station Aval zone d'épandage de Wankama: crue du 23 août 2004

La station aval zone d'épandage de Wankama ne ruisselle qu'en cas de fortes pluies sur le bassin versant, du fait de sa situation géographique en aval de la zone d'épandage à mi-versant (de forte infiltration surtout). Les débits solides MES pour cette crue varient entre 100 et 14000g/s. Cela montre toute l'importance du transport solide à travers cette zone. Rappelons qu'un réseau dense de ravines secondaires drainent cette partie du bassin versant de Wankama. Cependant on observe au cours de cette crue que l'écoulement a connu deux phases dont la deuxième est plus brusque et plus importante que la première. Cela s'explique par le temps assez long que mettent les écoulements pour parvenir au niveau de cette station (plus de 30 minutes, tableau 10) et la forte capacité de rétention hydrique liée à la zone d'épandage.

-Crue du 30 Août 2004 à la station aval zone d'épandage

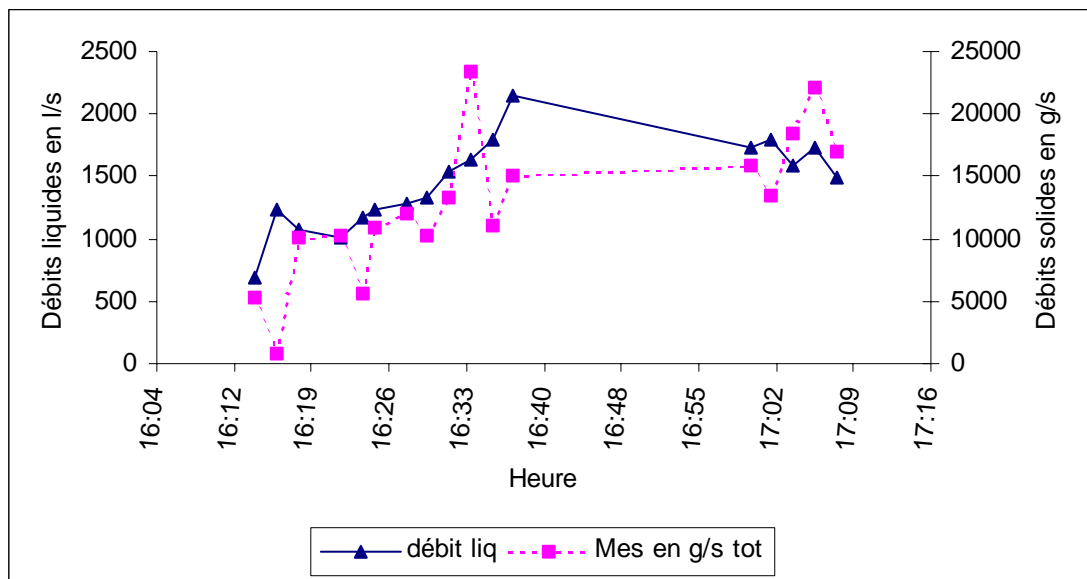


Figure 23: Transport solide en suspension à la station Aval zone d'épandage de Wankama: crue du 30 Août 2004

Pour cette crue du 30 Août 2004 à la station aval de Wankama, l'on remarque que les débits solides et liquides sont assez forts. Sur la courbe des débits solides MES, qu'ils sont très variables d'un prélèvement à un autre. Tout comme l'écoulement varie constamment et devient plus important en fin de crue. Il faut aussi remarquer que les forts débits liquides entraînent les plus importants transports en MES.

3.1. 4. 2.2 Les débits et les transports solides sur le bassin versant de Tondi Kiboro

a) Les débits

-Sur la station amont de la ravine équipée par AMMA à Tondi Kiboro

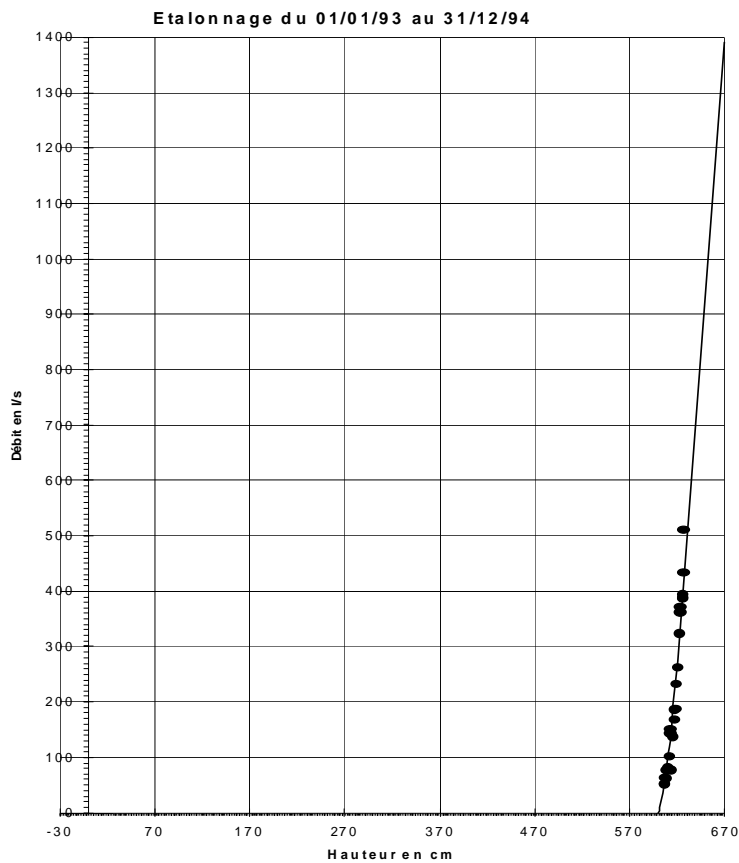


Figure 24: Courbe de tarage de la station de jaugeage Tondi Kiboro amont⁷

(Sources: Données jaugeages Tondi Kiboro ESTEVES ET LAPETITE (1993-1994))

Sur cette station le débit maxi jaugé dépasse 1300 l/s au cours de la période d'étalonnage du 01/01/93 au 31/12/1994 (Figure 24). La montée de crue est beaucoup plus brusque au niveau cette station. Ceci s'explique par sa situation géographique et à l'effet de la pente.

⁷ La station Amont de Tondi Kiboro équipée par AMMA correspond à la station A d'ESTEVES et LAPETITE (1992-1994)

-Sur la station aval de la ravine équipée par AMMA à Tondi Kiboro

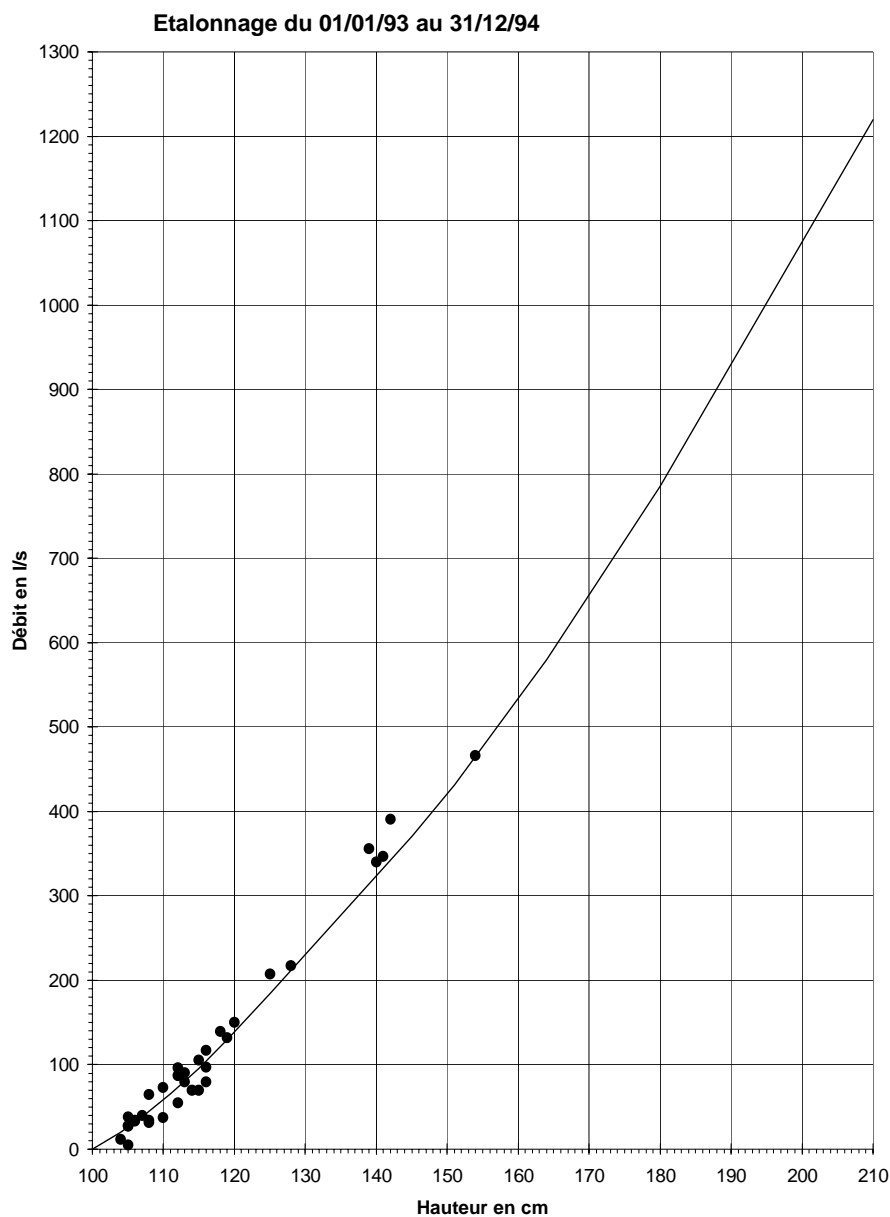


Figure 25: Courbe de tarage de la station de jaugeage Tondi Kiboro aval⁸ (Sources: Données jaugeages Tondi Kiboro ESTEVES ET LAPETITE 1993-1994)

On note de très forts débits, un maxi jaugé de plus de 1.3 m³ /s au cours de l'étalonnage du 01/01/93 au 31/12/1994 (Figure 25).

b) Les transports solides en suspension et charriage de fond: cas du bassin versant de Tondi Kiboro en 2005.

⁸ La station de jaugeage aval de la ravine équipée par AMMA à Tondi Kiboro correspond à la station de jaugeage C d'ESTEVES et LAPETITE (1993-1994)

***A la station Amont de Tondi Kiboro en 2005**

-Cruée du 02 juillet 200 à la station Amont: suspension

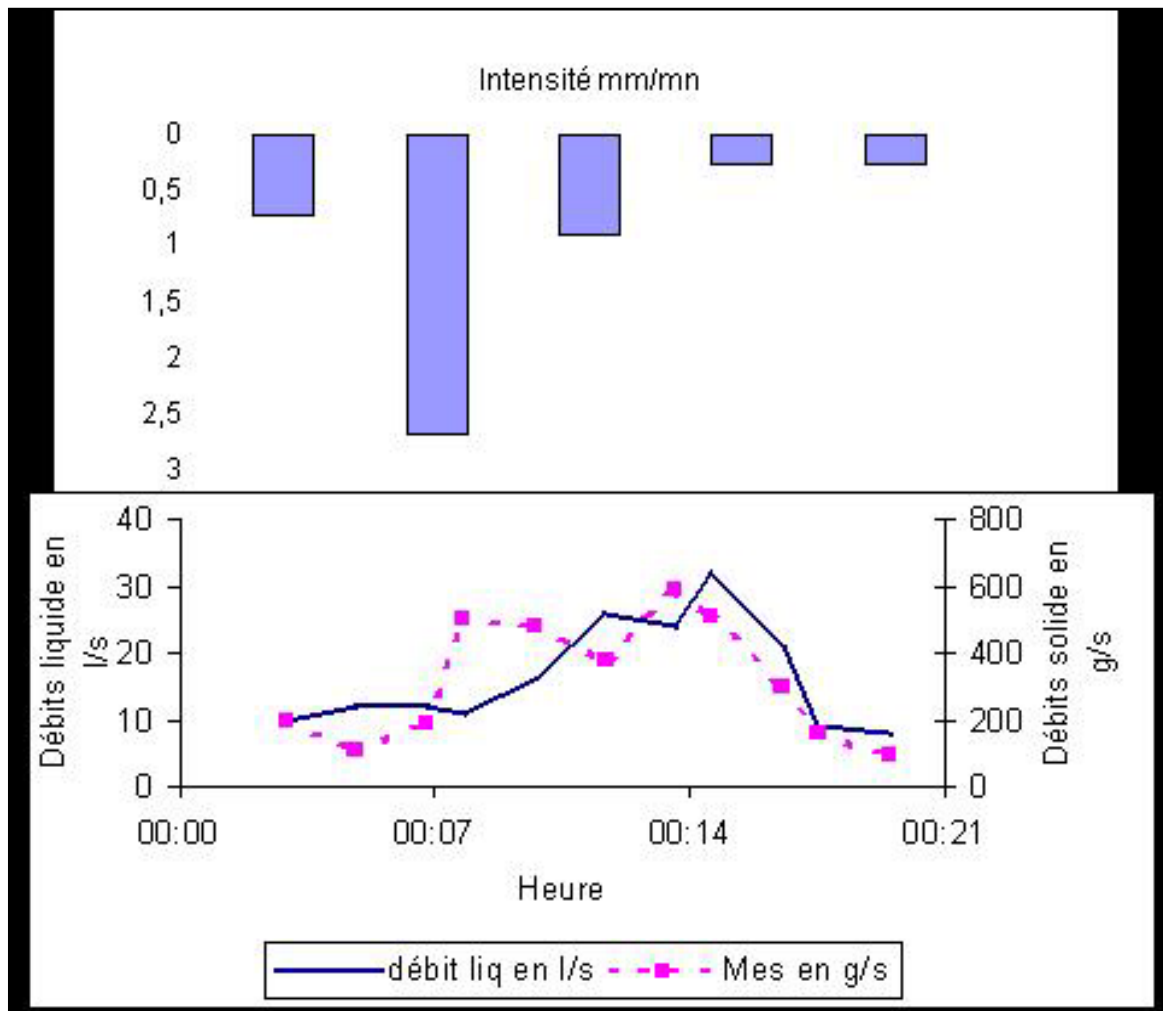


Figure 26: Transport solide en suspension à la station Amont de Tondi Kiboro: crue du 02 juillet 2005

Au cours de cette crue du 2 juillet 2005, l'on remarque que les pics d'intensité et celui des matières solides en suspension coïncident. L'intensité de la pluie est bien un facteur déterminant dans la mobilisation des matières solides par les eaux du ruissellement. Au cour de cette pluie, l'intensité est assez forte, le pic dépasse 2. 5 mm/mn.

-Crue du 17 juillet 2005 à la station Amont: suspension

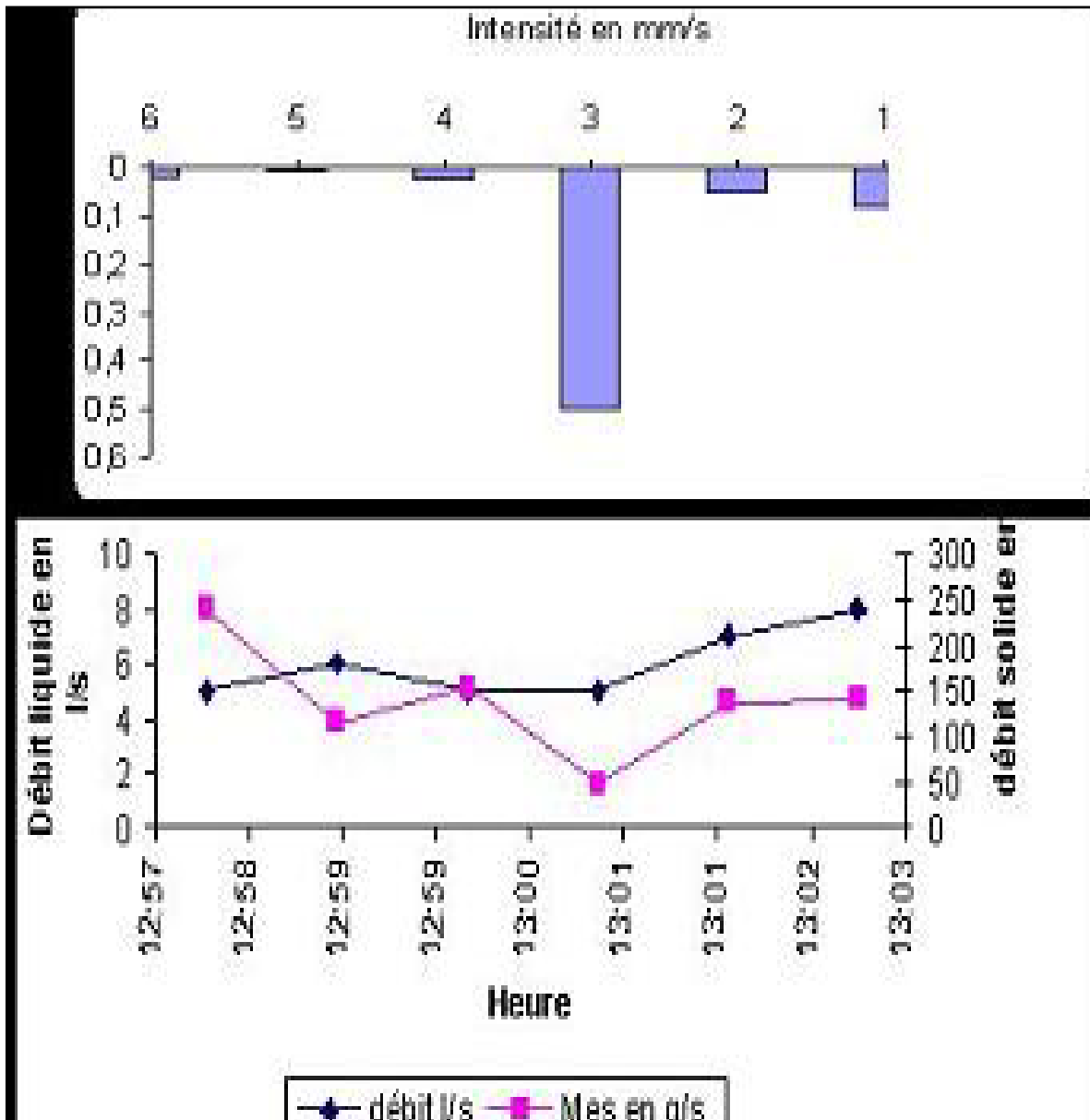


Figure 27: Transport solide en suspension à la station Amont de Tondi Kiboro: crue du 17 juillet 2005

On observe plusieurs pics pendant la crue solide, mais les débits liquides varie faiblement malgré le pic élevé d'intensité de pluie enregistré en milieu de crue.

-Crue du 19 juillet 200 5 à la station Amont: suspension et charriage de fond

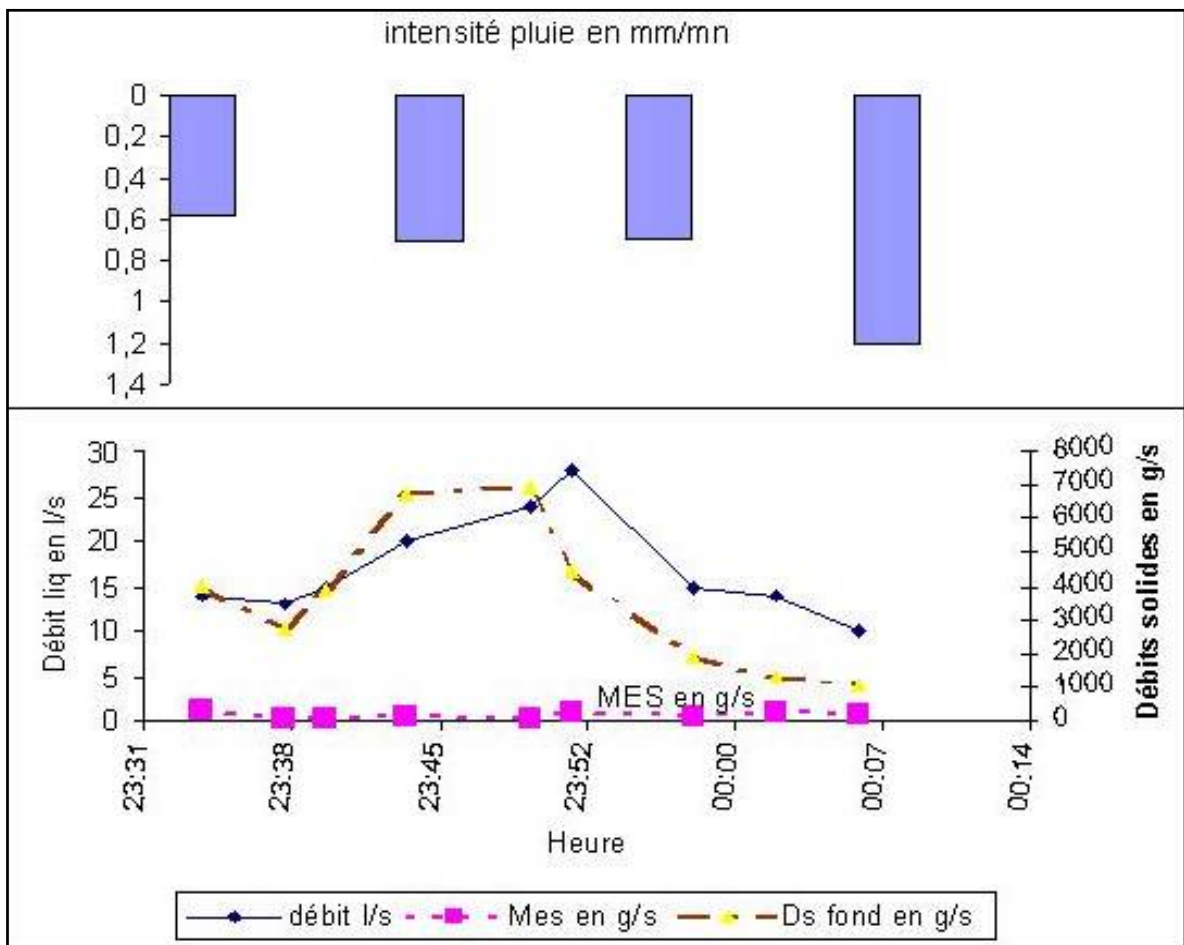


Figure 28: Transport solide en suspension et charriage de fond à la station Amont de Tondi Kiboro: crue du 19 juillet 2005

Sur cette figure 28, on observe l'importance de la charge de fond. Ces débits solides de fond atteignent 8000 g/s. Ces débits solides de fond dominent tout le transport solide dans ce bassin versant de Tondi Kiboro.

* A la station Aval de Tondi Kiboro en 2005

-Cruie du 8 juillet 2005 à la station Aval: suspension

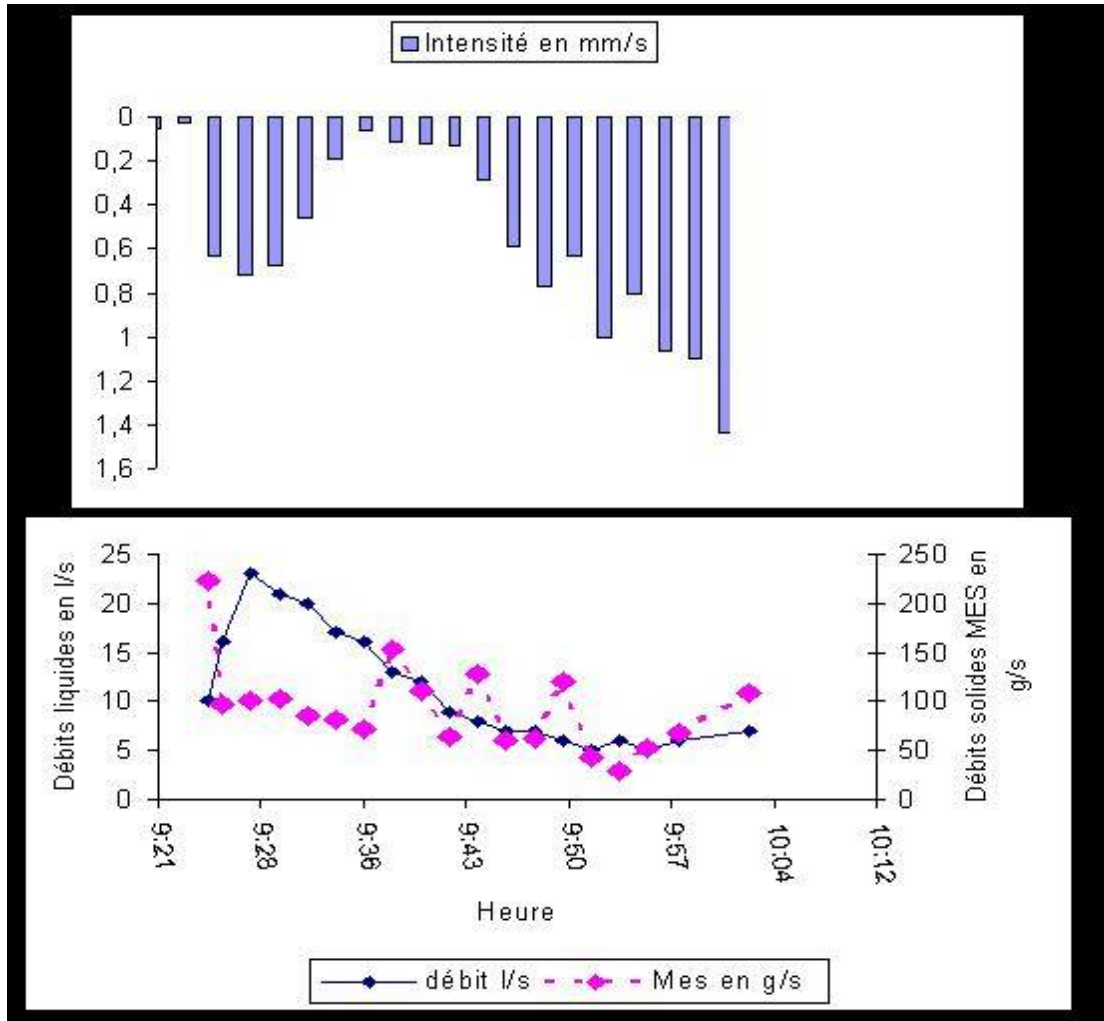


Figure 29: Transport solide en suspension à la station Aval de Tondi Kiboro: crue du 8 juillet 2005

Sur cette figure 29, l'on remarque que l'intensité de la pluie est assez importante, ce qui fait expliquer la faible variation des débits liquides. L'on observe les pics d'intensité de pluie entraînent des pics de charriage assez significatifs au milieu de cette crue.

- **Crue du 31 juillet 2005 à la station aval de Tondu Kiboro: suspension**

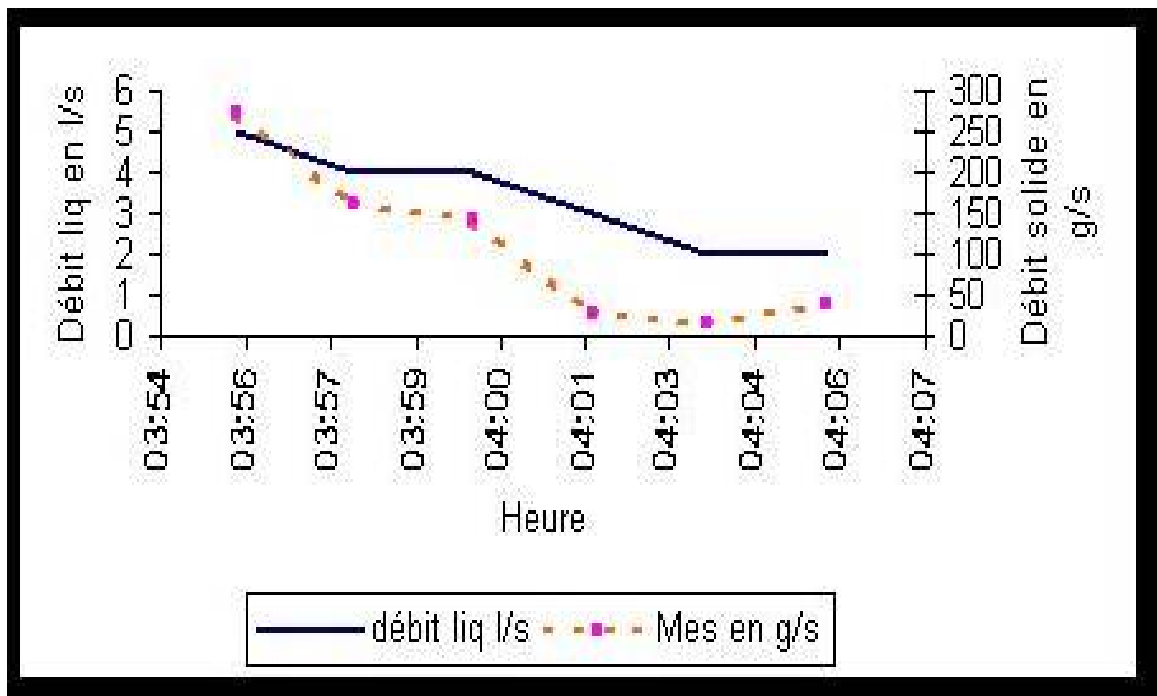


Figure 30: Transport solide en suspension et charriage de fond à la station Aval de Tondi Kiboro: crue du 31 juillet 2005

Pour cette crue, les prélèvements ont été effectués en fin de pluie, ce qui ne permet pas de coupler ces données de débits liquides et solides à l'intensité de la pluie. Pour ce genre de crue, les temps que mettent l'écoulement pour parvenir à la ravine sont faibles (9mn, Tableau 13). Les débits enregistrés sont faibles mais les transports solides en suspension est important notamment en début de crue (Figure 30).

-Crue du 4 Août 2005 à la station aval de Tondu Kiboro: suspension et charriage de fond

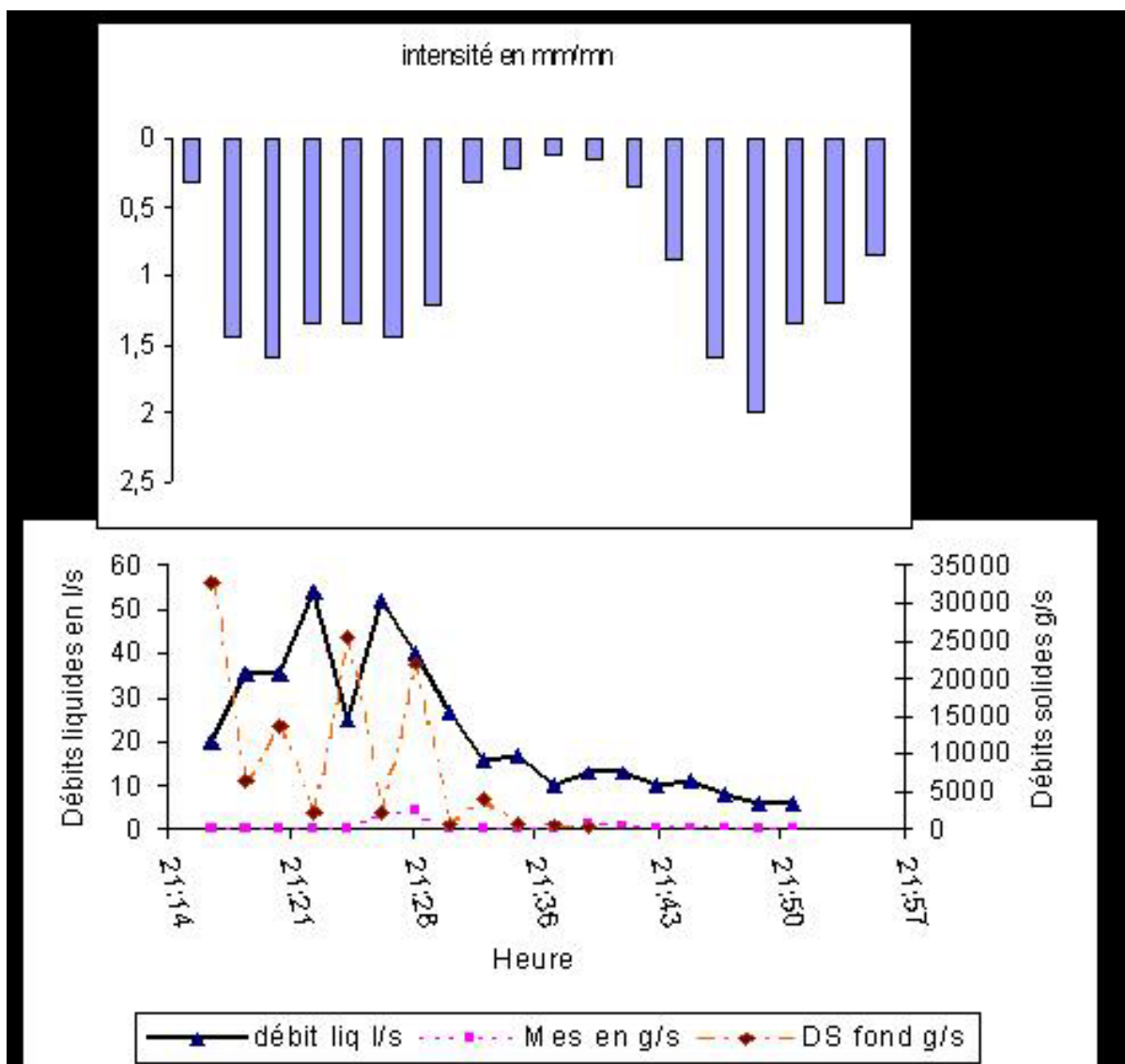


Figure 31: Transport solide en suspension et charriage de fond à la station Aval de Tondi Kiboro: crue 4 Août 2005

La crue du 4 Août a enregistré de très forts débits liquides et un important charriage de fond. Le pic de la charge de fond atteint 35000 g/s. Ceci est lié aux fortes intensités de la pluie enregistrées et de façon régulière (Figure 31). Ce sont les fortes pluies du début du mois d'Août.

-Cruce du 6 Août 2005 à la station aval de Tondu Kiboro: suspension et charriage de fond

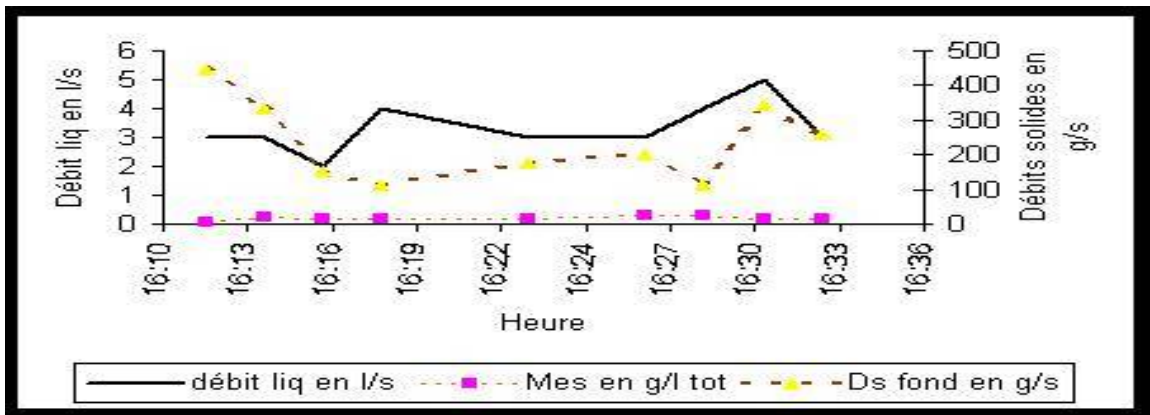


Figure 32: Transport solide en suspension à la station Aval de Tondi Kiboro: crue du 6 août 2005

Les débits liquides et la charge solide de fond sont aussi proportionnels. Les forts débits liquides entraînent une charge de fond importante. Les pics de la charge de fond sont encore plus précoces que ceux de la crue liquide (Figure 32).

-Cruce du 15 Août 2005 à la station aval de Tondi Kiboro: charriage de fond

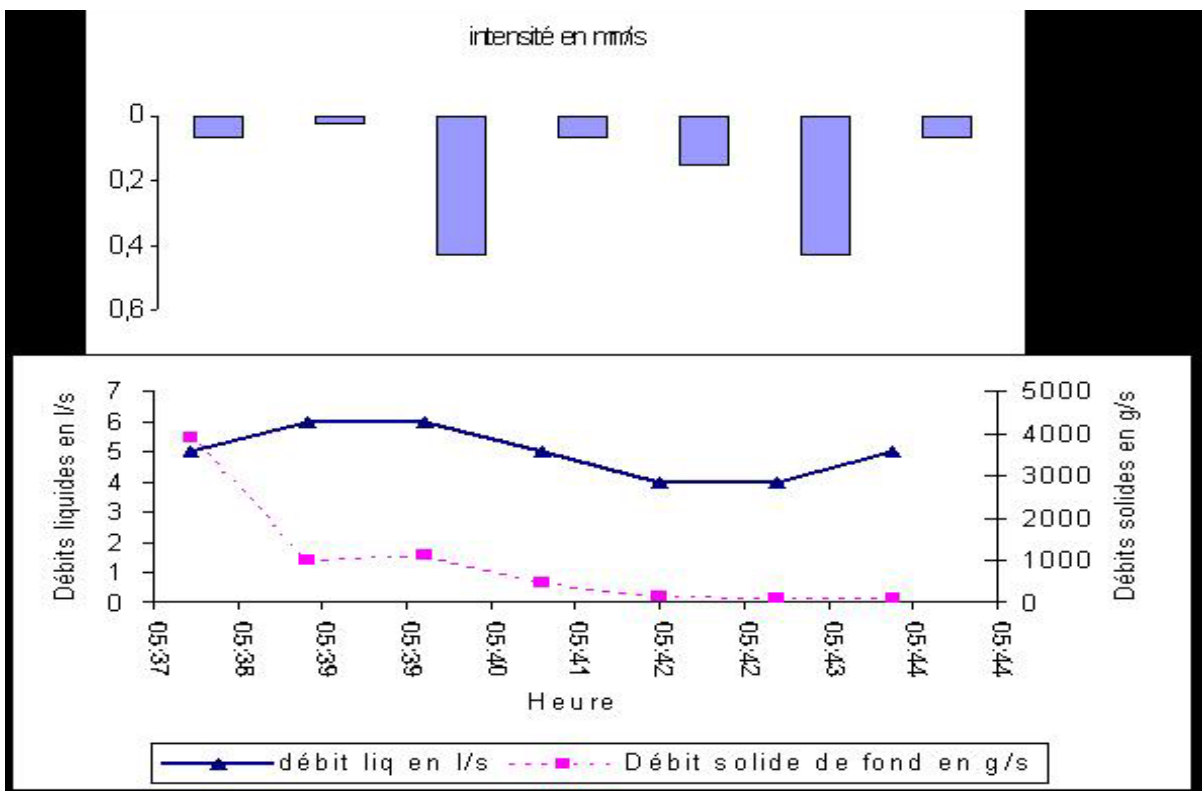


Figure 33: Transport solide en charriage de fond à la station Aval de Tondi Kiboro: crue du 15 août 2005

Au cours de cette crue, l'on remarque une collé ration entre l'intensité de la pluie et les débits liquides.

-Crue du 16 Août 2005 à la station aval de Tondu Kiboro: suspension et charriage de fond

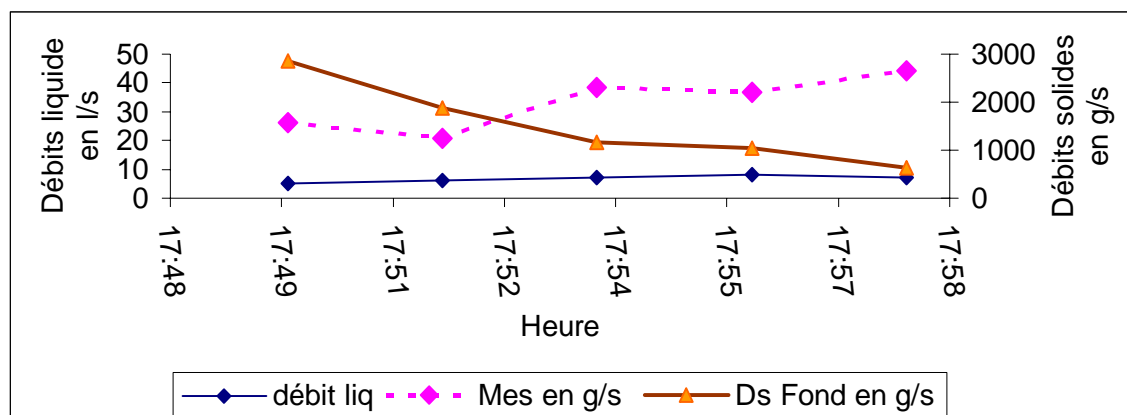


Figure 34: Transport solide en suspension et charriage de fond à la station Aval de Tondi Kiboro: crue du 16 août 2005

Il est à noter pour ces crues du mois d'Août, que les débits solides restent encore assez vigoureux. A cette période de la saison, le transport solide est encore très important (charriage, pic de près 3000 g/s et suspension) malgré la présence d'une couverture herbacée bien développée au courant de la mi-Août dans ce bassin. Ceci s'explique sans doute par le fait que l'essentiel des particules transportés proviennent de la ravine elle-même surtout en plus des apports sédimentaires des zones dégradées azonale dans le bassin: croûtes d'érosion (des pertes en terres de 150g/m²/an en 2004, DESCROIX et al. 2005).

-Crue du 17 Août 2005 à 8h 30 mn à la station aval de Tondu Kiboro: suspension et charriage de fond

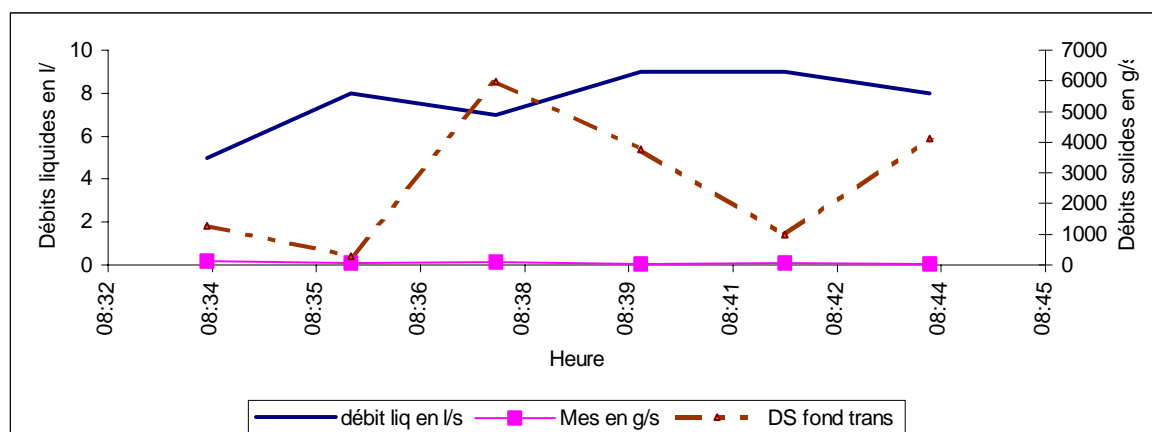


Figure 35: Transport solide en suspension et charriage de fond à la station Aval de Tondi Kiboro: crue du 17 août à 8 h 30 en 2005

Pour la crue du 17 Août à 8h30mn, l'on remarque de fortes variations de la charge de fond, par contre la crue liquide n'a pas fortement variée (Figure 35).

-Crue du 17 Août à 14h 30mn 2005 à la station aval de Tondi Kiboro: suspension et charriage de fond

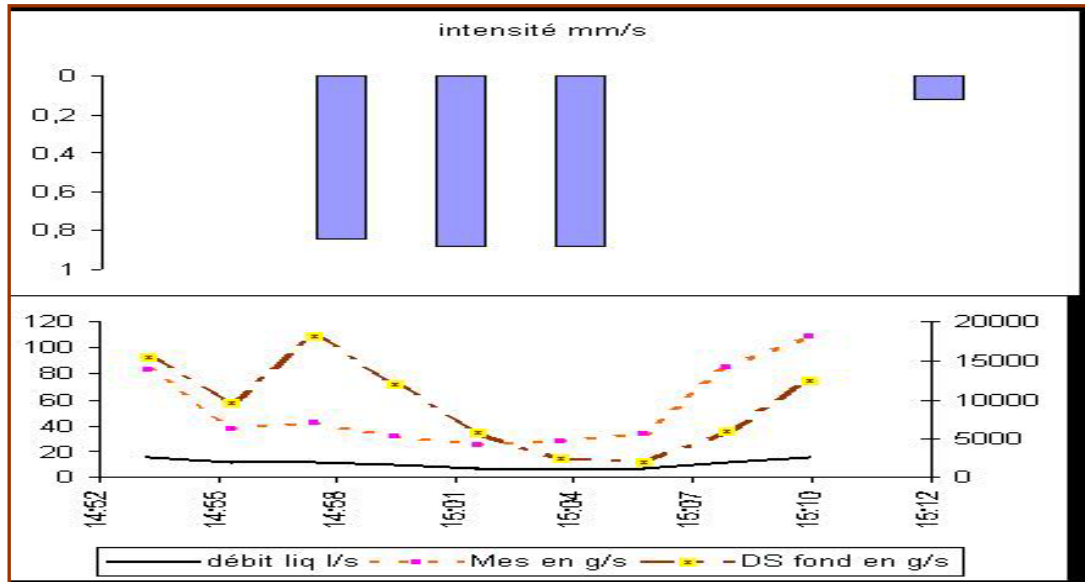


Figure 36: Transport solide en suspension et charriage de fond à la station Aval de Tondi Kiboro: crue du 17 août à 14 h 30 mn en 2005

Les tendances à la baisse des débits solides observées généralement en Afrique (LAMACHERE J-M., 2000; KARAMBIRI H., 2003) n'ont pas été observées pour ces crues à forts débits du mois d'Août dans le bassin versant de Tondi Kiboro. Pour cette crue, le pic de la charge solide de fond dépasse de loin les 15000g /s (Figure 36).

-Crue du 1er septembre 2005 à la station aval de Tondi Kiboro: suspension et charriage de fond

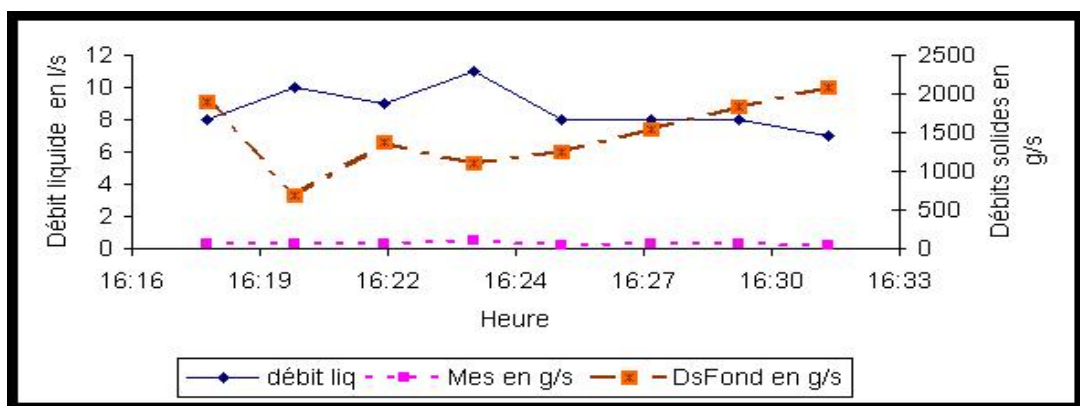


Figure 37: Transport solide en suspension et charriage de fond à la station Aval de Tondi Kiboro: crue du 1er septembre en 2005

Tout comme au cours du mois d'août, les charges solides restent élevées nonobstant des débits liquides faibles en septembre: entre 500 à 2500g /s pour une crue liquide de 6 à 12 l /s (Figure 37).

-Crue du 3 septembre 2005 à la station aval de Tondu Kiboro: suspension et charriage de fond

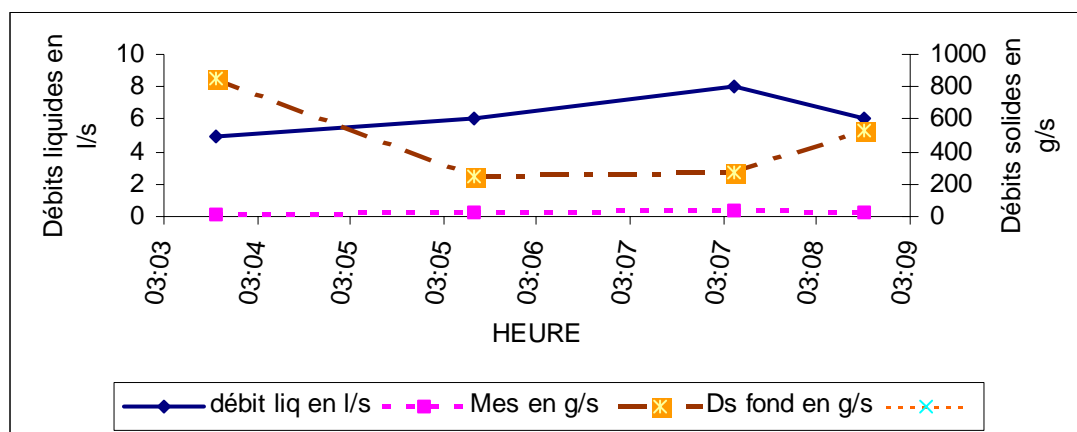


Figure 38: Transport solide en suspension et charriage de fond à la station Aval de Tondi Kiboro: crue du 3 septembre en 2005

Sur cette figure 38, les débits liquides varie faiblement, cela est dû aux intensités fines qui caractérisent les pluies de septembre. Mais les charges solides au cours de cette crue ont légèrement chuté. Mais cela semble lié plus au rythme de la pluie (intensité) qu'au rôle de la couverture végétale.

-Crue du 8 septembre 2005 à la station aval de Tondu Kiboro: suspension et charge de fond

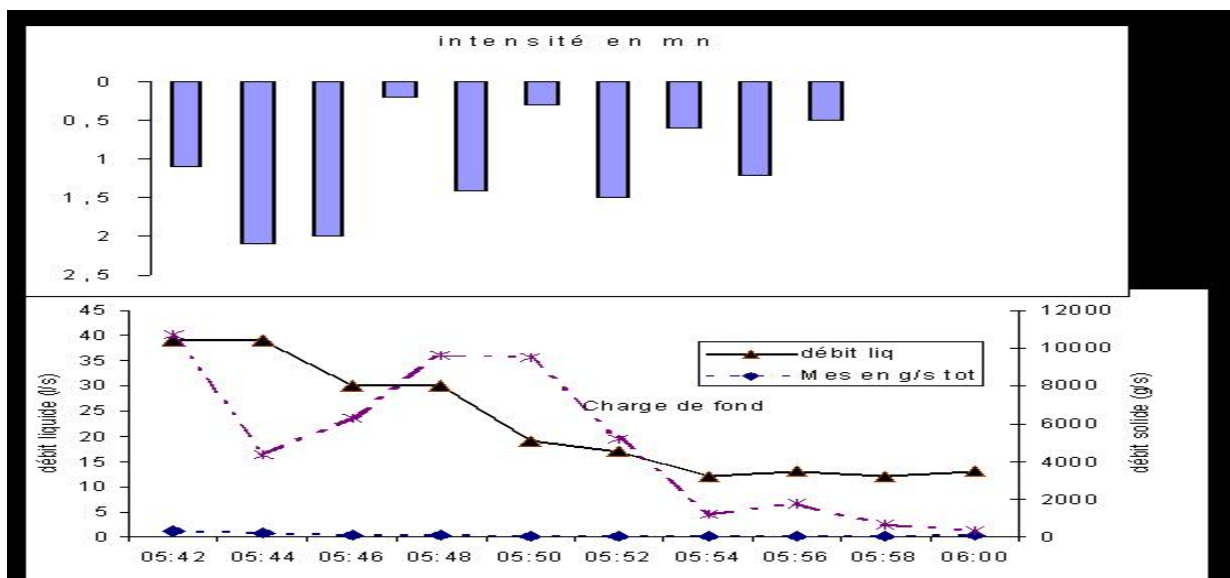


Figure 39: Transport solide en suspension et charriage de fond à la station Aval de Tondi Kiboro: crue du 8 septembre en 2005

Pour cette crue, les pics d'intensité du pluviogramme coïncident avec les charges de fonds entraînées par cette crue. Par contre les forts débits liquides font suite aussi aux intensités maxi enregistrées (Figure 39).

Conclusion partielle

Les régimes hydrologiques des ravines du bassin versant de Wankama et Tondi Kiboro dépendent non seulement de ceux des pluies tombées mais surtout des comportements hydriques des plateaux et des vastes surfaces nues des versants. L'analyse des profils en long des ravines et la lecture des courbes de tarage des différentes stations de jaugeages, montrent que les écoulements dans les ravines des petits bassins sahéliens sont rapides et sont très liés aux précipitations tombées dans les bassins. L'infiltration est très importante dans les fonds de ravines. Le ruissellement est assez important. Ces régimes hydrologiques se caractérisent par une grande variabilité spatio-temporelle. L'écoulement dans les ravines de Wankama et Tondi Kiboro est sporadique et l'écoulement de base est absent. A ce niveau DESCONNETS & al. (1995) affirment que quelle que soit l'échelle d'observation, il existe une très forte discontinuité spatio-temporelle de l'infiltration et de l'écoulement. La montée et la descente des eaux sont très brusques. Cela s'explique par la rapidité avec laquelle les zones encroûtées atteignent leur niveau de saturation. En plus le rôle de la pente est assez significatif. L'analyse des facteurs physico-géographiques des bassins versants étudiés en particulier et dans l'ensemble du Fakara permet de tirer les conclusions suivantes:

- les facteurs morphométriques sont favorables à l'écoulement superficiel;
- la densité de drainage est encore forte au vu de l'important réseau de ravines actives de formes et de tailles variables;
- les facteurs lithologiques sont aussi favorables à l'infiltration des eaux. Ces bassins de Wankama et Tondi Kiboro présentent des structures lithologiques essentiellement sableuses à la descente des plateaux gréseux et cuirassés;
- l'état du couvert végétal est aussi favorable au ruissellement et par conséquent à l'érosion et au transport solide.

Pour l'ensemble des crues liquides et solides étudiées et suivies aux stations de jaugeages amont, Amont et Aval zone d'épandage du bassin de Wankama en

2004, nous tirons quelques leçons importantes sur les transports solides en suspensions dans le bassin versant de Wankama:

- les pics de crues solides MES sont plus précoces que les pics de crues liquides;
- le mode transport solide en suspension est assez important, surtout sur la zone d'épandage;
- les débits solides MES sont proportionnels au débits liquides enregistrés.

Mais comme les quelques jaugeages effectués n'ont pas permis de tracer la courbe de tarage de la station Aval de Wankama, nous ne pouvons pas présenter pour le moment les données de transport solide en suspension de cette station. Mais ils seront disponible dans les prochaines publications.

Les prélèvements et suivis intermittents entre les quatre stations de Wankama au cours de la saison 2004 ne permettent pas de faire des analyses à l'échelle temporelle: mensuelle, en début de saison, milieu et fin de saison afin de comparer les données selon les sous – bassins.

3.1.5 Le ravinement

3.1.5.1-Réseaux et typologie des ravines dans les bassins versants étudiés de Wankama et Tondi Kiboro

3. 1. 5. 1.1-Situation des réseaux de ravines sur le bassin versant de Wankama entre 1950 et 2004

-Le réseau de ravines en 1950

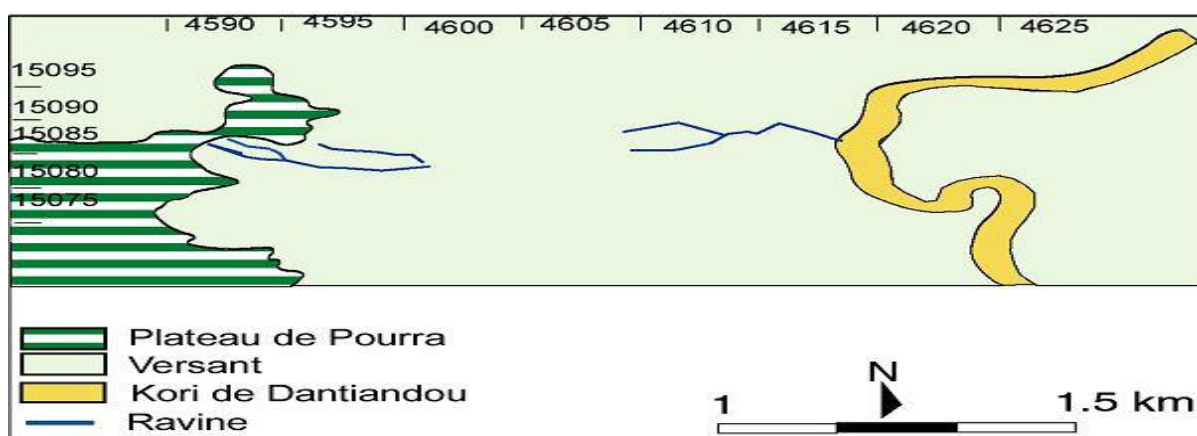


Figure 40: Réseau de ravines secondaires et principale dans le bassin versant de Wankama en 1950 (source: MAMADOU IBRAHIM 2004)

En 1950 (photos aériennes), on en dénombre que 2855 m de réseau de ravines pour 3 points de jonctions (Figure 40) A partir des photos aériennes de 1950, l'on remarque que les mares occupant actuellement la vallée du Dantiandou sont

postérieures aux années 1950. Le cône de déjection et la zone d'épandage intermédiaire n'existaient pas sur la photo-aérienne de 1950.

-Le réseau de ravines en 2004

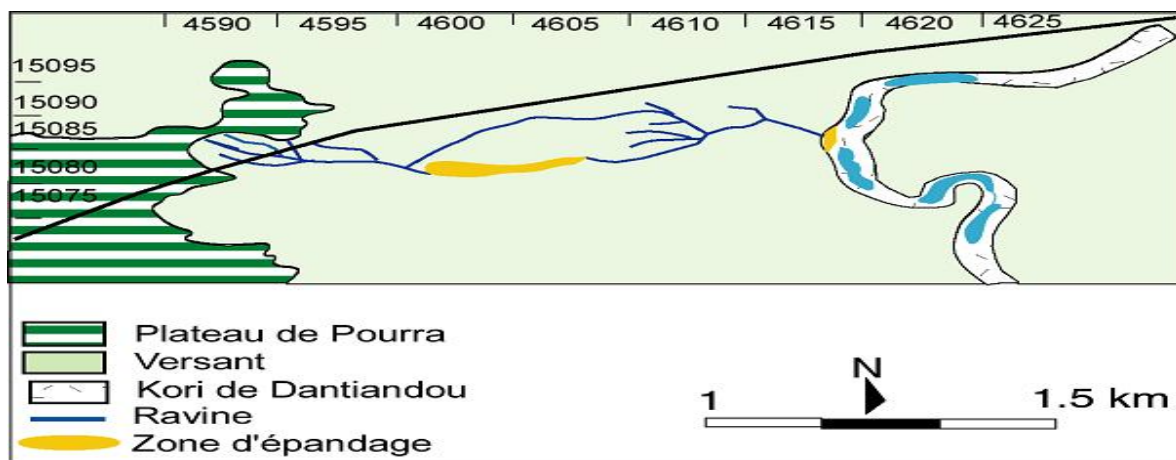


Figure 41: Réseau de ravines secondaires et principale dans le bassin versant de Wankama en 2004 (Source: MAMADOU IBRAHIM 2004)

En 2004 le réseau de ravine du bassin de Wankama a une emprise de 7262 m (Figure 41) avec plusieurs ramifications et plus de 19 jonctions de ravines.

3. 1. 5.1. 2-Réseau de ravines secondaires et apports des buses dans la partie aval du bassin versant de Wankama en 2004

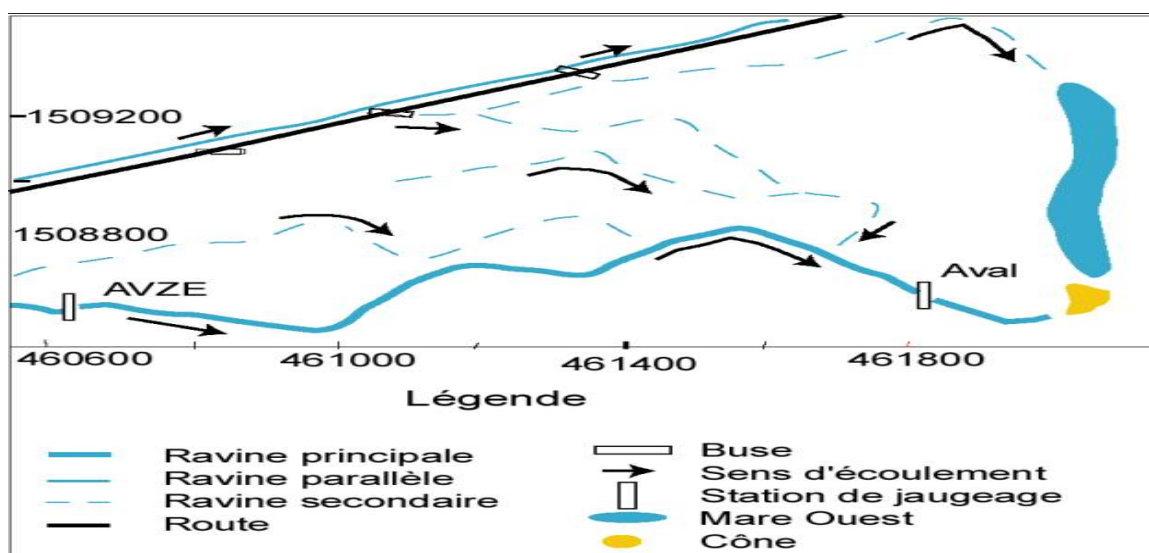


Figure 42: Schéma du réseau de ravines secondaires et apports des buses dans la partie aval du bassin versant de Wankama en 2004 (Source: MAMADOU IBRAHIM 2004)

Sur ce réseau de ravines secondaires et parallèles (Figure 23), l'on voit les ravines de la partie Nord du goudron et même les importantes ravines drainant les vastes croûtes d'érosion de la rive gauche de la ravine principale. Sur la partie aval du bassin, deux buses drainent une partie du ravinement parallèle au goudron. L'autre partie alimente la mare située près du marché de Wankama.



Photo 7: Buses⁹ N°5 du goudron N°25 dans le bassin versant de Wankama
(MAMADOU I. Photos Wankama 2005)

Les buses N°5 (Photo 7) drainent une partie de l'écoulement parallèle issus de la partie Nord du bassin et du ruissellement issu du goudron vers le bassin versant <<traditionnel>> de Wankama Ouest et l'autre partie va dans la mare du marché de Wankama. Le ruissellement issu du goudron est assez important, car ce dernier ruisselle presque à 100 % et traverse le bassin de Wankama sur une distance de plus de 3 km. Les études antérieures (Hapex – Sahel) sur le bassin versant de Wankama ont considéré le goudron comme la limite nord du bassin. La situation actuelle montre plutôt que les apports par les buses ne sont plus à négliger.

⁹ Buse : ouvrage en forme de tuyau et en acier placé sous la route servant de passage aux eaux de ruissellement



Photo 8: Buse N°4, au premier plan et une ravine parallèle au second plan de la photo (Source: MAMADOU IBRAHIM. Photos Wankama 2005)

De part et d'autre de ce goudron N25, d'importantes ravines parallèles drainent l'écoulement de la partie Nord du bassin versant de la mare située près du marché et l'autre partie passe à travers ces buses (6 des 7 buses évacuent des eaux vers le bassin que nous étudions) pour rejoindre directement la mare Ouest ou la ravine principale (peu avant la station aval). Une importante ravine parallèle (née des apports des buses N° 3) rejoint les eaux transitant par les buses N° 4 (Photo 8).

3. 1. 5.1.3-Typologie des ravines les bassins versants étudiés

a) Sur le bassin versant de Wankama

Le réseau des ravines du bassin versant de Wankama présente différents types de ravines de largeur, de longueur et de profondeur variables.

Des ravines en forme de griffes, de 4 à 10 cm de profondeur surtout dans la partie amont des bassins versants notamment sur les piedmonts des plateaux.

Des rigoles dans la partie amont du bassin de Wankama et mi-versant: avec des profondeurs de 12 à 35 cm et une largeur de 30 à 80 cm. Elles sont très nombreuses dans la zone d'épandage. Leur évolution est plus rapide. Et elles se présentent sur les zones d'épandage avec un profil transversal en U. Elles se développent aussi aux abords des ravines principales.

Les ravines secondaires sont directement reliées aux principales. Elles se répartissent un peu partout dans les bassins. Leur profondeur varie entre 90 cm à 1 m. Elles sont très instables car présentent des profils transversaux très divers et selon les secteurs.

Les ravines parallèles, sur le bassin versant de Wankama, drainent une partie du ruissellement en nappe du plateau de Pourra. Elles constituent une menace sérieuse pour la voie N° 2 d'où la nécessité pour les services des travaux publics de construire des digues de protection. La plus grande partie de leur apport en eau va dans la mare située près du marché de Wankama. Les ravines-pistes, créées par suite du piétinement des personnes et des passages répétés des animaux, des charrettes et des véhicules; elles sont devenues de véritables drains d'écoulement des eaux. On observe ce phénomène sur la partie mi-versant du bassin de Wankama. Les ravines principales sont celles qui drainent les eaux du plateau jusqu'au bas –fond ou à la zone d'épandage sableuse. Leur profondeur est très variable. Elles présentent aussi un profil transversal généralement en U sauf au niveau des secteurs d'affleurement de cuirasse pour le cas du bassin versant de Wankama.

Sur le bassin versant de Wankama, la ravine principale présente une situation très diverse. Elle est très profonde au niveau du bief supérieur et jusqu'après la buse numéro 2 par où passe l'écoulement principal. Ce bief à la sortie des buses est un bassin versant de réception secondaire. Par exemple dans ce bief amont du bassin de Wankama, les zones de méandres sont nombreuses avec d'importants alluvionnements sur les rives convexes et reculs des berges concaves.



Photo 9: Méandre de la ravine principale de Wankama à la sortie des buses N°2 dans la partie amont du bassin en 2005 (MAMADOU IBRAHIM. Wankama Août 2005)

La photo 9 illustre le caractère torrentiel de l'écoulement de la ravine à la sortie des buses N°2 par où passe le principal ruissellement du plateau de Pourra vers la ravine étudiée. D'après le paysan enquêté en 2004 qui est aussi propriétaire du champ situé sur la rive gauche de cette ravine, ce recul important de la berge date de l'année 1998 reconnue comme année excédentaire. Et depuis, cette ravine s'élargit sur sa rive gauche. Le dernier recul mesuré en 2005 est d'environ 1. 27m (Photo 9).

b)-Sur le bassin versant de Tondi Kiboro

A Tondi Kiboro, l'on retrouve presque la même typologie des ravines qu'à Wankama. Mais l'ampleur des ravines est plus grande sur le bassin versant de Wankama que sur celui de Tondi Kiboro. Pour les ravines – pistes, les voies reliant Banizoumbou et Sama Dey sont illustratives de ce phénomène. Un autre exemple, de ce type de ravinement s'observe au niveau de la piste reliant Banizoumbou au plateau de Sofia (via parcelles d'érosion 2005 et le bord du plateau Sofia appelé par les locaux Dongo Tondi). Cette ravine-piste draine des apports des ravines descendant du plateau au delà de la zone d'épandage et atteint le Radji Gourou via des drains plus importants à proximité du ravin. Au pied du plateau de Sofia, la ravine équipée de Tondi Kiboro les profils en travers de la ravine principale présentent des formes et des dimensions très variables. La largeur et la profondeur de la ravine est assez importante au pied du plateau.

A Tondi Kiboro, la ravine principale ne présente pas une situation comparable à celle de Wankama. Elle se caractérise par une plus grande pente et se développe sur une courte distance de 780 m.

En définitive, le réseau de ravines du bassin versant de Wankama présente une diversité de type de ravines, et son ampleur montre encore l'importance de ce phénomène.

Mais à Tonki Kiboro, même si le réseau n'est pas aussi développé comme à Wankama, la situation est assez comparable d'un point de vue typologie des ravines: ravines principales-secondaires, rigoles, ravines-pistes. Le seul type de ravinement qu'on n'observe qu'à Wankama, c'est celui né des effets du ruissellement sur le goudron (100 % de ruissellement) Ce type de ruissellement favorise la formation des ravines parallèles à ce goudron.

Le sapement de la base de la berge concave détache des blocs de la berge concave qui s'effondrent.

3. 1 5. 2-Evolution régressive des ravines

Les têtes de ravines sont aussi des lieux privilégiés de départ de matériaux (photo 10).



Photo 10: Important recul de berge récent suivi d'effondrement par affouillement de la base de rive concave à la sortie des buses, partie amont du bassin versant de Wankama en 2004 (Photos DESCROIX L. WANKAMA. 2004)

Tableau 14: Suivi au GPS de l'évolution régressive de la ravine principale du bassin de Wankama en 2004

	Année de suivi	Evolution en mètre	Localisation sur les bassins	Orientation
Tête N° 1 Bras ouest ravine principale	2004	13m	Sur la zone d'épandage	Nord-Ouest
Tête N° 2 Bras est ravine principale	2004	15m	Sur la zone d'épandage	Sud-ouest
Tête de ravine secondaire N°3	2004	3m	Au niveau du chanfrein avant la station aval	Nord

L'importance de cette évolution est due surtout au fait que la ravine principale remonte dans ces secteurs la zone d'épandage sableuse. Ensuite ces deux têtes de ravines constituent la sortie de l'écoulement principal du bassin après la zone

d'épandage. D'ailleurs pour une pluie de 20 à 30 mm l'on peut mesurer une forte progression entre 4 à 5 mètres.



Photos 11 & 12: Situation initiale (photo 11) en début de la période d'observations 2004 de la tête de la ravine principale et la forme de celle-ci peu en amont de son secteur d'évolution régressive (Photo 12) en juillet 2004 à Wankama (DESCROIX L. Photos Wankama 2004)

En juillet 2004, la ravine principale étudiée à Wankama progressait sur la zone d'épandage intermédiaire avec une seule tête de ravine (Photo 11).

Tableau 15: Evolution régressive mesurée au GPS et corrigée à l'aide des photos numériques de la situation des têtes de la ravine principale de Wankama en 2004 (des photos numériques de la situation initiale début des mesures effectuées en 2004) (Source: MAMADOU I. 2004)

	Année de suivi	Evolution en mètre	Localisation sur les bassins	Orientation
Tête N° 1 Bras ouest ravine principale	2004	11. 55	Sur la zone d'épandage	Nord-Ouest
Tête N° 2 Bras est ravine principale	2004	13. 70	Sur la zone d'épandage	Sud-ouest
Tête de ravine secondaire N°3	2004	1. 85m	Au niveau du chanfrein avant la station aval	Nord

Mais le suivi au GPS a été corrigé à partir des photos numériques prises en début de camp de terrain et de mesures au mètre reprises en fin de campagne 2004. Ces photos numériques représentent la situation initiale de ces têtes de ravines

(Photos 11 et 12). Les suivis GPS corrigés donnent une progression de: 11. 55 m pour la tête de ravine N°1 au cours de la période du camp de terrain: 7 juillet au 14 octobre 2004) et 13. 70 m la tête de ravine N°2 et 1. 85m pour la N°3 de la partie aval (Tableau 15).



Photos 13 & 14: Evolution régressive de la ravine principale de Wankama: La ravine se divise en deux bras (Photo 15) et sa progression de juillet 2004 à septembre 2005 (photo16) (MAMADOU IBRAHIM PHOTOS Wankama 2005)

La ravine se divise en deux bras (Photo 13) à la fin de la saison 2004. La progression totale de la ravine depuis de juillet 2004 à septembre 2005 dépasse 20 mètres (Photo 14).

Tableau 16: Suivi aux piquets-repères de l'évolution régressive de trois têtes de ravines dans le bassin de Wankama en 2005 (Source ALZOUUMA i. & Moussa H. 2005)

	Année de suivi	Evolution en mètre	Localisation sur les bassins	Orientation
Tête N° 1 Bras ouest	2005	10. 35m	Sur la zone d'épandage	Nord-Ouest
Tête N° 2 Bras est	2005	12. 5m	Sur la zone d'épandage	Sud-ouest
Tête de ravine secondaire N°	2005	2. 10m	Au niveau du chanfrein avant la station aval	Nord

En fait entre 2004 et 2005, les têtes de ravines suivies à Wankama ont connu une progression totale au cours de notre période de suivi (du 7 juillet au 14 octobre 2004 et du 30 juin au 15 septembre 2005) pour la tête de ravine N°1, la progression est de 21. 9 mètres, 26. 2 mètres pour la tête de ravine N°2, et 3. 95 mètres pour la tête de ravine N°3 (Cumul données Tableaux 15& 16).



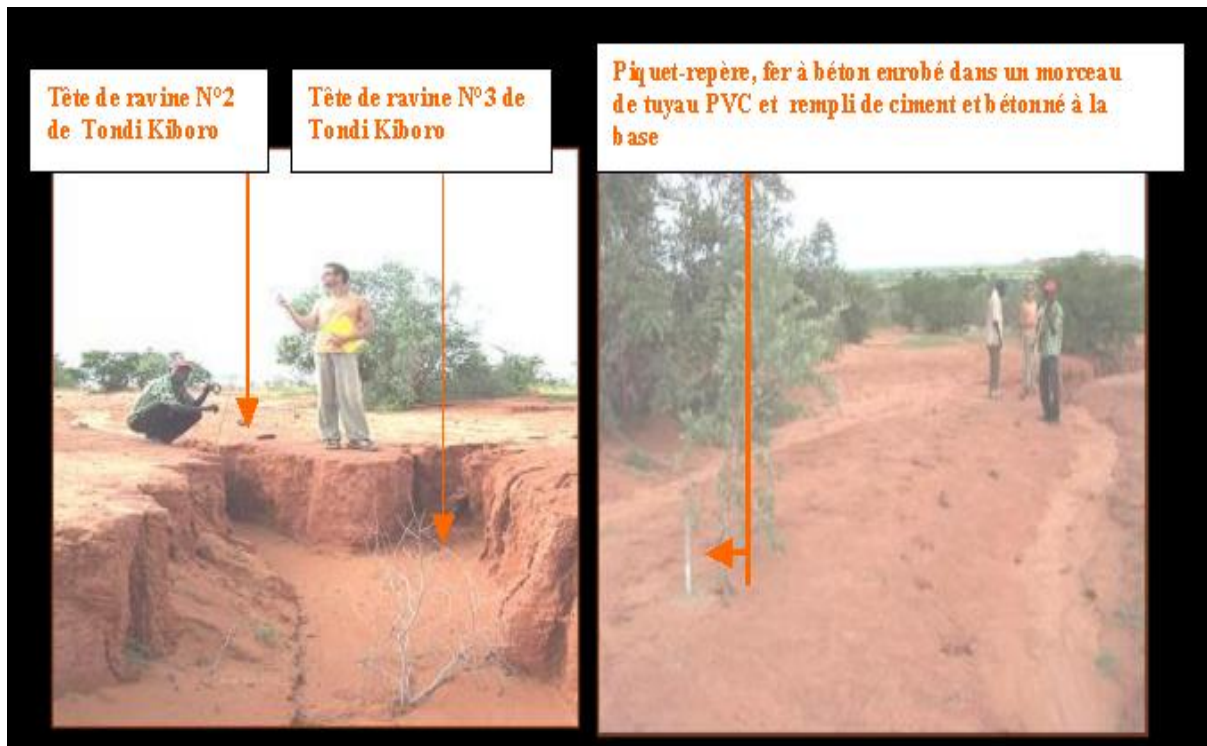
Creusage anthropique de la tête de ravine N°3 située en aval dans le bassin de Wankama

Photo 15: Tête de ravine N°3 située dans la partie aval du bassin versant de Wankama (MAMADOU I. Photos Wankama 2005)

En 2005, la ravine s'élargit et progresse de 3. 95 m (Tableau 16) alors qu'en 2004, l'évolution était de 1. 85 m en 2004 (Tableau 15). Mais la situation de 2005 est liée à un creusage anthropique (à droite de la photo15) de la tête de ravine, d'où l'élargissement et la forte progression de la ravine par rapport à 2004.

Tableau 17: Suivi aux piquets-repères de l'évolution régressive de trois têtes de ravines secondaires du bassin versant de Tondi Kiboro en 2005

	Année de suivi	Evolution en mètre	Localisation sur les bassins	Orientation
Tête N° 1	2005	2. 4m	En aval de la station amont	Sud-est est
Tête N° 2	2005	2. 65m	En aval de la station amont	Sud Est
Tête N° 3	2005	1. 75m	En aval de la station amont	Nord



Photos 16 & 17: Suivi aux piquets – repères des têtes de ravines N°2 et 3 après une pluie sur le bassin versant de Tondi Kiboro en 2005 (MAMADOU IBRAHIM. TK 2005)

Par contre les têtes de ravines suivies à Tondi Kiboro, n'ont pas la taille de celles suivies sur le bassin de Wankama. Il s'agit d'une ravine secondaire à la principale située sur la rive gauche et en aval de la station amont du bassin de Tondi Kiboro. Cette ravine remonte une vaste croûte d'érosion du piedmont dégradé de ce bassin (Photos 16 et 17) Malgré une texture d'origine liée aux dépôts éoliens anciens, l'on a une progression moyenne de moins de 2 mètres à plus de 2.5 mètres (Tableau 17).

3. 1. 5.3-Dépôts et ensablement

Tout matériau transporté, puis déposé, quelle que soit son lieu d'origine et son milieu de sédimentation est appelé dépôt (GEORGE 1974). Mais au cas où les formes de dépôts prennent de l'ampleur au point de modifier la morphologie et la vocation de leur zone de sédimentation l'on parle d'ensablement. Cette forme devient en quelque sorte une menace ou un danger. Dans l'étude des formes de dépôts et d'ensablement, nous distinguons trois principales formes.

3. 1. 5.3.1 Les cônes de déjection

Les mises en valeur agricoles, la piste qui le traverse et les multiples changements des sens des flux hydrologiques (entre la ravine et les mare Sud-Ouest et Ouest) modifient la morphologie initiale en éventail de ce cône (figure 43).

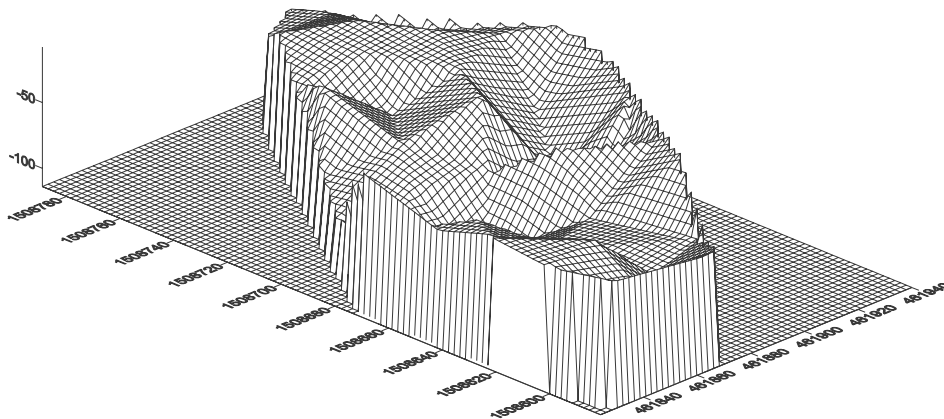


Figure 43: Numérisation du cône de déjection du Bassin de Wankama (Source: MAMADOU IBRAHIM. 2005 (Coord UTM & Epaisseur sédiments en mètres, juillet 2004)

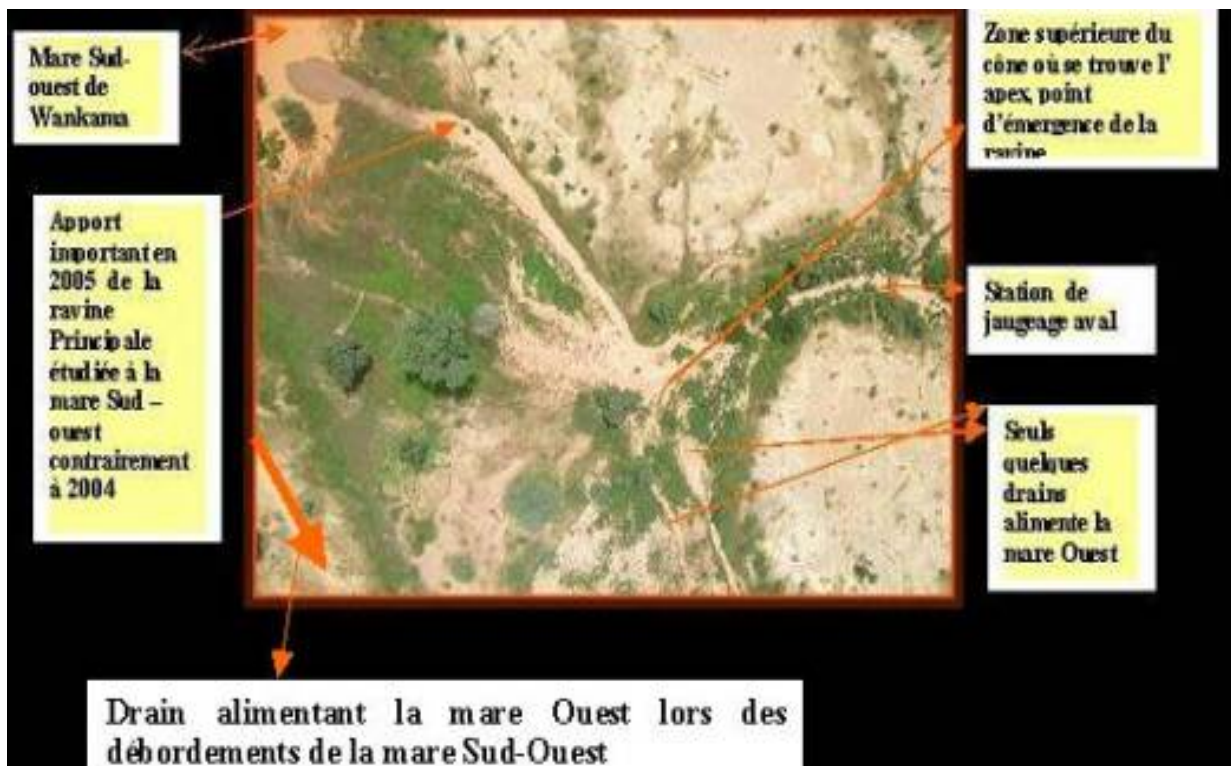


Photo 18: Cône alluvial entre les mares Ouest et Sud-Ouest de Wankama en 2005 (Source: Interprétation photos Pixy RAJOT JL 2005)

Le cône alluvial de Wankama (Photo 18) a une superficie de 19. 780 m² (mesure obtenue à partir du logiciel Surfer. 7) en 2005. En 1992, il n'a que 12631 m² de superficie à partir de l'interprétation des photographies aériennes réalisée par Le-Breton (2004).

En 2005, la ravine principale du bassin étudiée alimente bien la mare Sud-Ouest. En 2004, le gros des apports de cette ravine partent dans la mare Sud-ouest tout comme en saison 2005, ces apports de la ravine équipée de Wankama vont surtout dans la mare Sud-Ouest (Photo 18). Le volume sédimenté au niveau de cône est de 35348. 215 m³ (volume obtenu à partir des données du cubage traitées sur logiciel Surfer. 7).

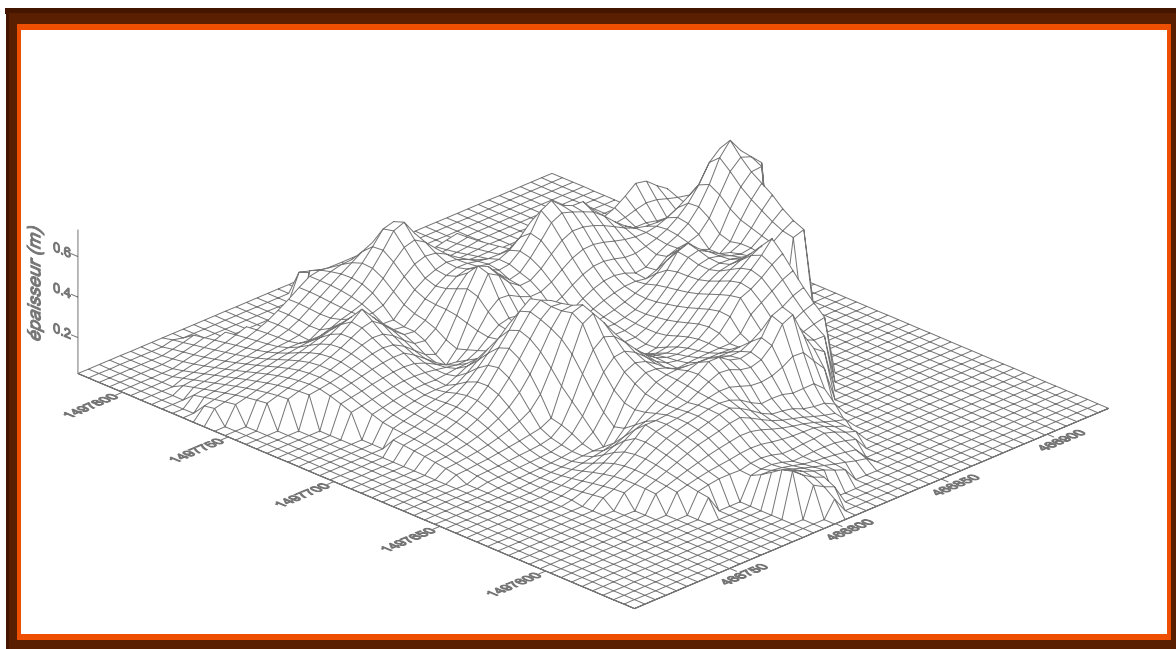


Figure 44: Numérisation des cônes coalescents de Tondi Kiboro (Source: MAMADOU, IBRAHIM 2005 Coord UTM & Epaisseur sédiments en mètres)

Le cône alluvial de Tondi Kiboro présente la forme typique du cône en éventail malgré la coalescence à ce niveau de deux ravines principales descendant du même plateau. Les apports de ravines latérales de Tondi Kiboro formant ce cône (Figure 44) ont comblé la dépression de l'ourlet de la jupe sableuse.

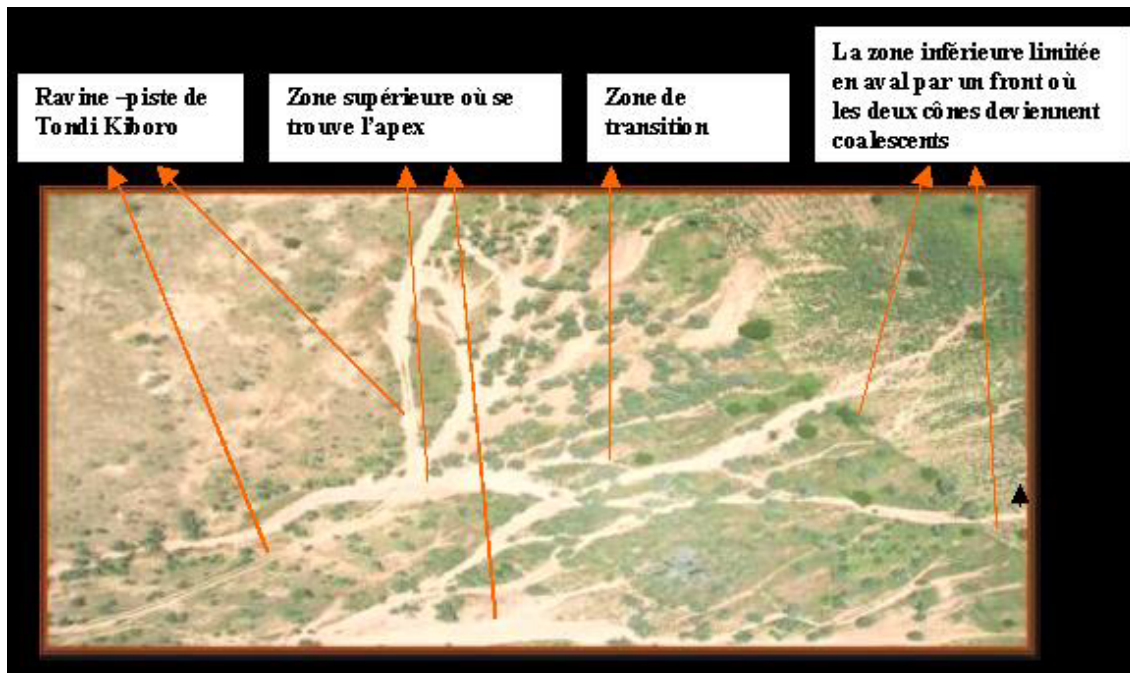


Photo 19: Vue aérienne des cônes coalescents formés par les ravines latérales de Tondi Kiboro (Source: *Interprétation PHOTO PIXY RAJOT JL. TK 2005*)

Les deux cônes coalescents forment la zone d'épandage à mi-versant de Tondi Kiboro (Photo 19). Cette zone d'épandage à mi-versant a une superficie de 33324.5 m². Sa largeur est de 224 m pour 273 m de longueur (Figure 45). Le volume sédimenté est de 8327.49 m³ (mesure obtenue à partir des données du cubage traitées sur logiciel Surfer. 7).

3. 1. 5.3.2 Les zones d'épandage sableuses intermédiaires

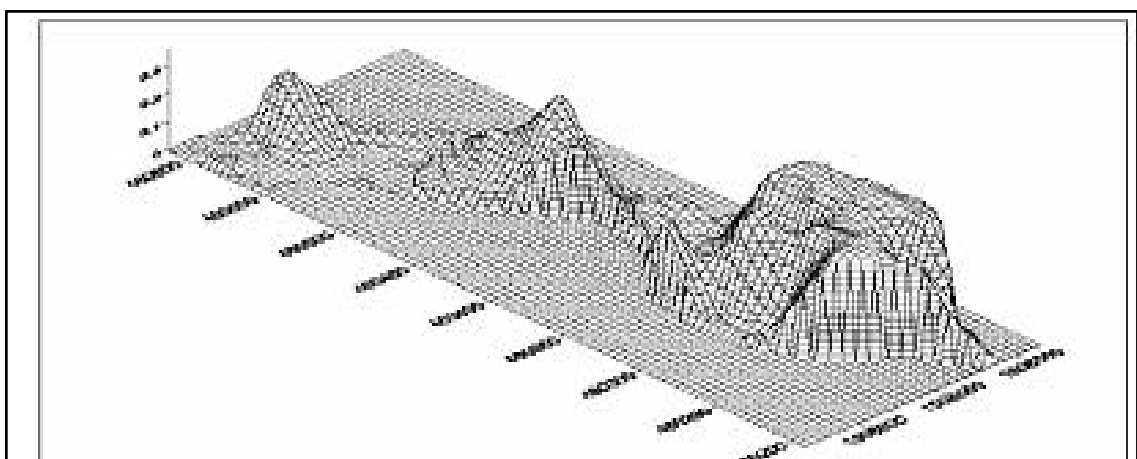


Figure 45: Numérisation de La zone de dépôt à mi-versant du bassin versant de Wankama Ouest (Source: *LE-BRETON 2004*)

Les zones d'épandages sableuses sont des secteurs de rupture de pente situés à mi-versant où la ravine principale perd une partie de ses eaux qui s'infiltrent. Une autre partie ruisselle et atteint les secteurs aval de la zone d'épandage sableuse. Cela s'observe surtout sur le bassin de Wankama où existe une station de jaugeage en aval de la zone d'épandage. Cette station ne ruisselle qu'en cas de crue forte. Mais des ravines actives se déclenchent sur cette zone, au niveau des pistes principalement. Elles sont dues aux tassements des véhicules.

3. 1. 5.3.3-Les micro-zones d'épandage sableux

Les micro-zones d'épandage sableuses sont nombreuses dans les deux bassins versants étudiés. Elles se forment sur les secteurs de rupture de pente où au niveau d'un obstacle topographique, un obstacle naturel. Les fonds de ravines sont aussi des secteurs d'importants dépôts de sables et limons surtout en fin de crue et principalement dans les biefs aval.

Le cubage de la zone d'épandage et des cônes de déjection a permis d'estimer les volumes de matériaux déposés.

Tableau 18: Estimations des volumes de matériaux déposés par les eaux

(Source: LE-BRETON E. 2004 et MAMADOU, I. 2004 et 2005)

Unités d'accumulation	Zone d'épandage intermédiaire en m3	Cône de déjection m3	Volume arraché aux ravines m3
Localisation	Mi-versant	Bas-fond	Réseau amont du bassin de Wankama
Bassin de Wankama	3263	35348. 215	9096
Bassin de Tondi Kiboro	8327. 49	-	-

D'un point de vue redistribution de l'eau de surface, ces unités sont d'une importance capitale. Car se sont des zones de très fortes infiltrations. Les paysans qui mettent en valeur ces unités ensablées se plaignent des faibles rendements surtout pour le mil. Par contre certains ont trouvé une stratégie adaptative de mise en valeur de ces unités ensablées et plus ou moins inondées qui consiste à changer la vocation culturale. Par exemple à Sama Dey dans le terroir de Tondi Kiboro aussi, des paysans sèment du sorgho en début de saison et les pastèques en fin de saison de pluie sur ces types de modelé. Ils font aussi des haies en bois mort de protection qu'ils placent perpendiculairement au sens d'écoulement des dernières crues de la saison. Les ravines constituent des incisions dans le

matériau sableux d'origine éolienne en place sur le versant adossé au plateau. Dans la partie amont du bassin versant de Wankama, LE-BRETON (2004) estime le volume de matériaux arrachés aux ravines dans la partie amont à 9096 m³.

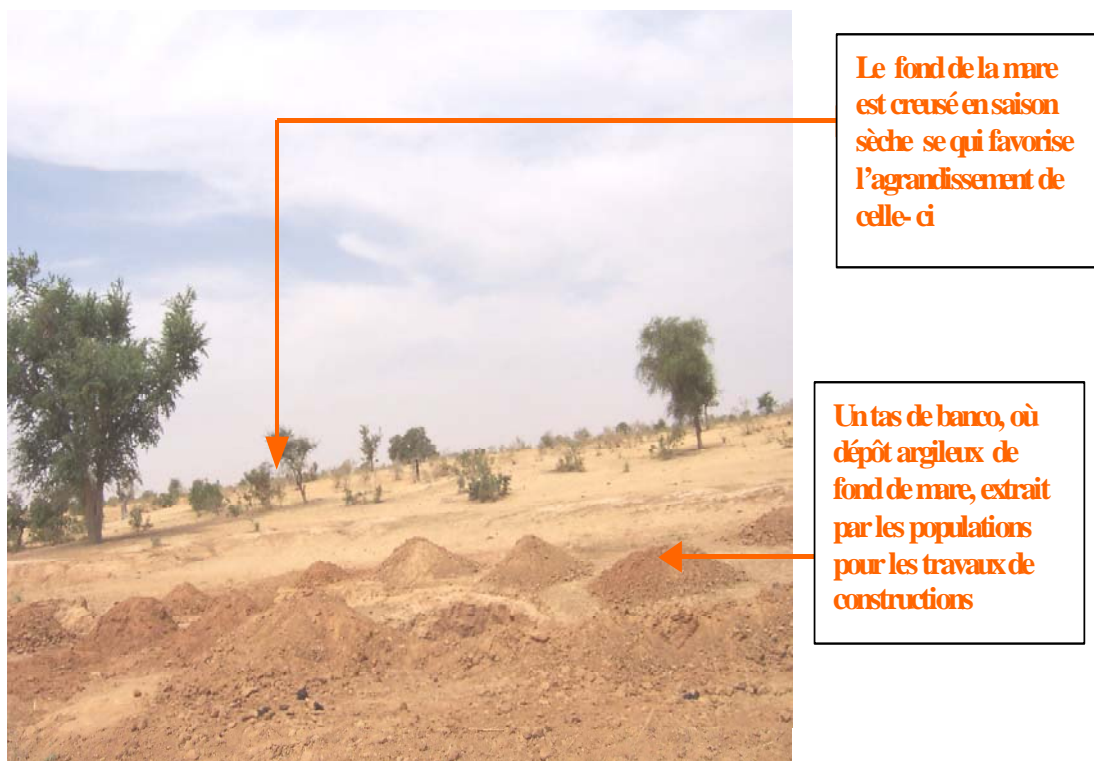
3.2 ANALYSE DE LA DYNAMIQUE HYDROLOGIQUE DU FAKARA

3.2.1-Inventaire des mares

Tableau 19: Inventaire typologique et toponymie des mares dans les terroirs villageois de Wankama, Maourey Kouara Zeno, Banizoumbou et Tondi Kiboro.

Terroir	Nom de la mare dans la littérature scientifique	Typologie	Nom local de la mare	Signification locale du nom de la mare et situation
Wankama	Mare de Pourra	De plateau	Pourra bangu	Sur le plateau de Pourra, Pourra est le nom d'un verger peul qui a campé longtemps ce plateau
Wankama	-	Artificielle	Chantier bangu	Mare creusée par l'entreprise chargée de la construction de la route N°25; ils ont endigué l'aval d'un secteur à topographie favorable pour récupérer le ruissellement issu du goudron et une partie de apports de la troisième buse
Wankama	Mare Nord	De verrous	Koara bangu	La mare plus proche du village de Wankama, alimentée surtout par le forage creusé par les TP depuis 1981
Wankama	Mare Ouest	De verrous	Gutulu	La mare Ouest de Wankama, est celle dont nous étudions le bassin versant et est appelée gutulu. Parce qu'elle se vidait jadis très rapidement, le temps d'amener un sceau d'eau au village.
Wankama	Mare Sud-Ouest	De verrous	Mamou Baba Hamatarey Bangu	Ancien champ de sorgho de Mamou Baba. D'ailleurs actuellement son fils Moussa (gardien case IRD) cultive une partie du même champs, dans le cône alluvial de la ravine principale. L'âge de cette mare se situe entre 17 à 20 ans
Wankama	Mare Sud	De verrous	Mai Aléwa bangu	Ancien champ de Mai Aléwa (commerçant à Wankama)
Wankama		De verrous	Soga bangu	Situé non loin du campement peul dont le chef du campement s'appelait chef Soga
Wankama		De verrous	Altiné Bangu	Situé non loin du campement peul dont le chef du campement s'appelait chef Altiné
Maourey Kouara Zeno	Maourey 2	De verrous	Maourey Dey Zena Bangu	Ancien puits du vieux site du village de Maourey kaora zeno. Cette mare est une des plus anciennes. C'est la plus ancienne du terroir de Maourey Kouara zeno.
Maourey Kouara Zeno	Maourey 1	De verrous	Maourey kouara bangu	Mare alimentée aujourd'hui par le forage creusé au niveau de ce village en 2004
Maourey Kouara Zeno		De verrous	Dubi Bangu	Située non loin du campement peul dont le chef s'appelle Dubi
Banizoumbou	Mare de Banizoumbou	De verrous	Yaou Fari Bangu	Mare alimentée par le forage artésien de Banizoumbou. Aujourd'hui l'alimentation est suspendue. Cette mare est ancienne aussi.
Banizoumbou	Partie creusée	De verrous	Mai Samari Fari Bangu	Partie creusée (Photo 24) de la mare de Banizoumbou, dans la littérature cette partie ne constitue pas une mare à part.
Banizoumbou		De verrous	Maino Baba Fari Bangu	Située près du champ de Maino Baba
Tondi Kiboro		De verrous	Hainikoye Bangu	Située près de chez Hainikoye
Tondi Kiboro		De verrous	Ayagi Bangu	Près de chez Ayagi, juste avant la mare de Korto
Tondi Kiboro	Sofia bangou	De plateau	Sabara bangu	Par erreur, le nom de Sofia est donnée dans la littérature et sur les carte IGNN à la mare de Sabara bangu, son nom local de Sabara bangou est lié à l'important peuplement de Guiera senegalensis qui colonise le site de cette mare.

A part les mares de plateaux et les mares artificielles, toutes les autres sont des mares formées par de verrous sableux du fond du lit du Kori Dantiandou. Certaines parmi ces mares présentent des parties creusées où les paysans de ces terroirs extraient le banco comme matière première pour les constructions. C'est le cas des mares de Wankama Nord et de Banizoumbou dont les parties creusées sont plus ou moins importantes.



Le fond de la mare est creusé en saison sèche se qui favorise l'agrandissement de celle-ci

Un tas de banco, où dépôt argileux de fond de mare, extrait par les populations pour les travaux de constructions

Photo 20: Partie creusée de la mare de Banizoumbou, (Photos MAMADOU IBRAHIM. Banizoumbou décembre 2005)

Ce creusage de fond de mare (Photo 20) pour extraire les dépôts argileux favorise la stagnation des eaux au cours des prochaines saisons de pluie. Et en cas d'événement pluvieux exceptionnel, une mare importante se forme: cas de celle située près du marché du village de Wankama. De l'analyse toponymique de ces mares, il ressort que certaines sont plus ou moins récentes comme la mare Sud-Ouest de Wankama (moins de 20 ans). Cette mare est postérieure à 1992 et ne figure pas sur la photo aérienne de 1950. Tout comme le cône alluvial entre cette mare et la mare Ouest. A propos de la mare de Maourey Kouara Zeno, DESCONNETS (1994) rapporte que la crue du 31-07-1992 a provoqué une rupture du verrou sableux entraînant le partage de la mare en plusieurs parties. Parmi ces mares (citées dans le tableau 19) deux sont permanentes, il s'agit des

mares bénéficiant de l'alimentation des forages creusés depuis 1981 pour la mare de Wankama Nord et 2004 pour celle de Maourey Kouara Zeno 1. Celui de Wankama a un débit de près de 2 litres par seconde (RONGICONI, 2004). D'autres types de mares existent dans le Fakara, c'est le cas des mares de plateau comme celles de Pourra sur le Plateau Ouest de Wankama, et Sofia bangou sur le plateau Est de Tondi Kiboro. Toutes ces mares ont des vocations agro-pastorales: elles servent de lieu d'abreuvement des animaux locaux et transhumants. Localement sur les rives en décrue, quelques paysans pratiquent le maraîchage. Quelques jardins sont installés le long de certaines mares: Wankama Ouest et Nord, Maourey Kouara zeno1 etc. Selon les paysans interrogés le manque d'engouement pour les cultures maraîchères autour de ces mares surtout celles alimentées par les forages artésiens est lié au développement du banditisme local et de l'exode. Autres justifications, certains paysans évoquent la forte minéralisation des eaux des forages. Mais un des paysans de Wankama a trouvé la solution en plantant des dattiers au niveau de la mare Nord. Mais en saison de pluies, il se pose un sérieux problème d'accès aux mares de fond de vallées pour les éleveurs. Mais ces derniers se replient vers les mares de plateaux (Pourra, Sofia etc.) et autres mares artificielles.

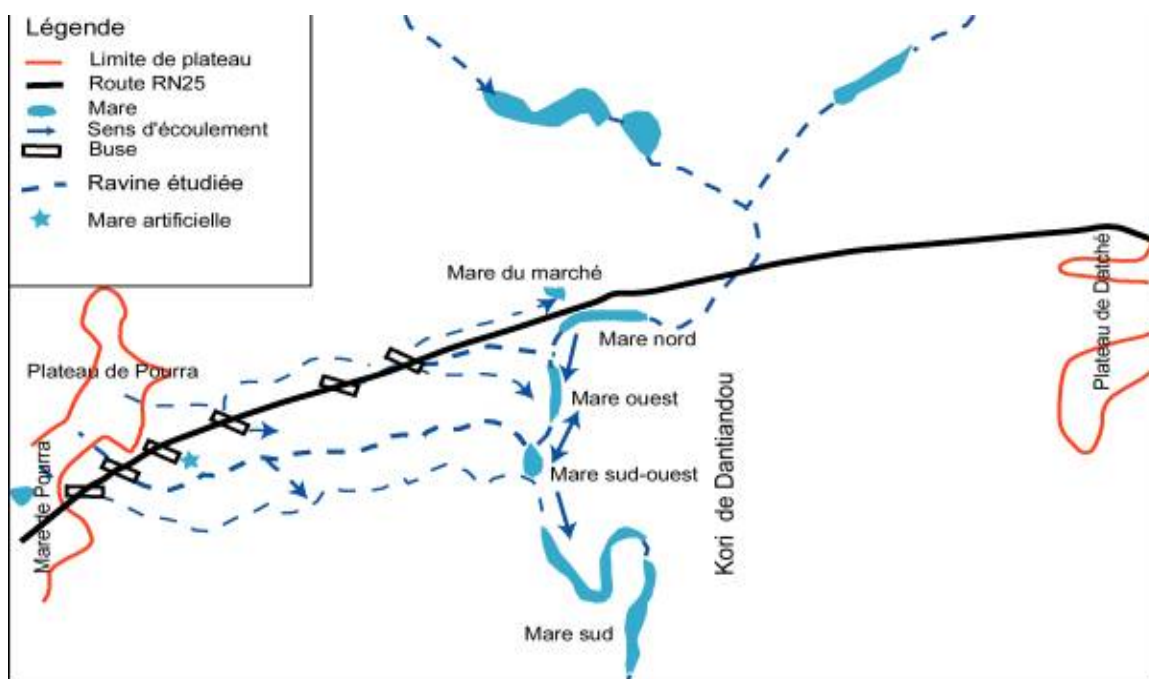


Figure 47: Les principales mares du village de Wankama (Source: MAMADOU IBRAHIM 2005)

Dans le seul terroir de Wankama, nous avons retrouvé presque tous les types de mares de la partie Est du degré carré de Niamey à l'exception des mares de dépression fermée (Figure 47). Les mares Nord (alimentée aussi par le forage artésien), Ouest, Sud-Ouest et Sud sont des mares de verrous de cours d'eau non fonctionnels. La mare Pourra sur le plateau du même nom est typique d'une mare de plateau à cuirasse ferrugineuse. Selon DESCONNETS et al., (1991), ces mares de plateau sont situées dans des dépressions d'origine à priori structurale. La mare située près du marché Wankama (fortement creusée par la population) et la mare située dans la partie amont du bassin (creusée par les TP) sont des exemples de mares artificielles (Figure 47). Ces mares artificielles sont situées généralement à proximité des axes routiers où le relief favorise la concentration des eaux du ruissellement (DESCONNETS et al., 1991). En plus de la grande vallée fossile, des ravines adjacentes ou latérales au kori Dantiandou drainent de petits bassins versants alimentant généralement des mares de fond de vallée à l'exemple de ceux que nous étudions. Ce terme <<kori >>de langue haussa, regroupe les vallées sèches, fonctionnelles ou non. Les ravines ou autres incisions de versant d'importance variable qui écoulent les eaux vers les fonds des vallées sèches. Les cours fonctionnels ou non et qui n'ont pas l'ampleur du fleuve Niger (appelé Isa) sont tous appelés <<gourou>> en langue zarma. Les ravines quelle que soient leurs formes et leurs importances sont traduites par << Gourou-izé>> ou << hari – zourou >>. Les cours d'eau à eaux stagnantes sont appelées <<Bangou>> (entretiens avec des personnes-ressources).Les types de dépressions ou de zones de rupture de pente situées à mi-versant sont appelées << bagou >>.

3.2.2.La dynamique hydrologique actuelle

3.2.2.1-La dynamique hydrologique

On observe sur ces bassins versants, le développement des phénomènes de capture, c'est à dire le détournement de rivière ou drain-collecteur en direction d'un réseau hydrographique appartenant à un bassin versant voisin. C'est le cas de la ravine principale du bassin versant de Wankama qui alimente la mare sud-Ouest en certains événements pluvieux exceptionnels ou pas ou selon les saisons. L'instabilité des lignes de partage des eaux est due en partie à l'érosion régressive, les captures se développent de plus en plus dans la partie Nord du

bassin de Wankama. Les événements pluvieux exceptionnels sont susceptibles de produire des modifications géomorphologiques importantes et peuvent conditionner la gravité ou non de l'inondation des lits majeurs. Ils occasionnent de façon régulière les captures et peuvent transformer la morphologie générale des lits ou les niveaux de base des bas-fonds: soit les verrous de fond de vallée sautent ou bien la dynamique d'écoulement change complètement.

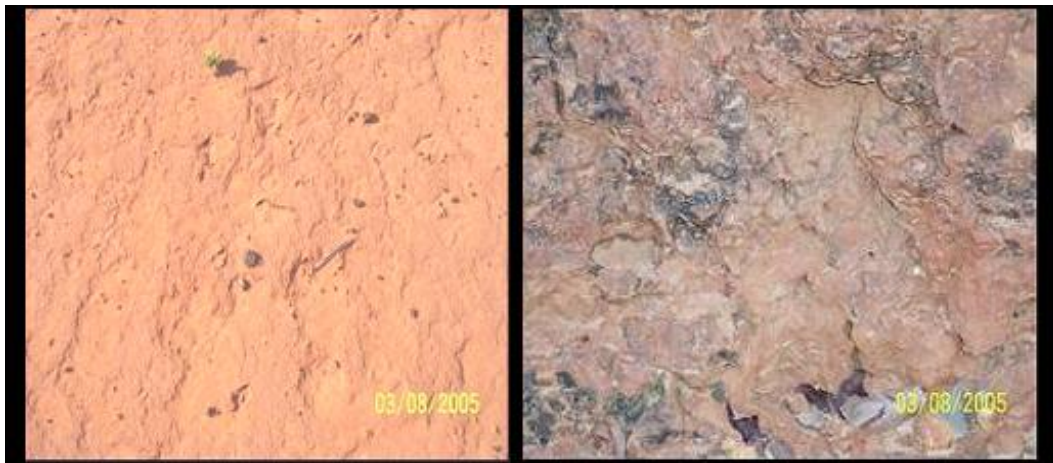
3.2.2.2-Les facteurs de la dégradation des bassins versants du Fakara

Tableau 20: Evolution des états de surface entre 1950 et 1992 sur le bassin versant de Wankama (Source: SEGUIS L., & al., 2003)

Etat de surface	Superficie en %	
	1950	1992
Culture	6	53.9
Jachère	0	1.9
Savane dense	19.1	0
Fourré	8.6	0.2
Sol très dégradé	3.6	10.5
Sol nu de plateau	0.8	2.6

En 1950, il n'existe pas de jachère sur le bassin versant de Wankama, les superficies de jachères, atteignent 1.9% en 1992 (Tableau 20) mais actuellement la situation semble plus importante qu'en 1992. Aujourd'hui, la jachère occupe encore de vastes espaces de champs tant à Wankama que le bassin de Tondi Kiboro. Cela est la résultante d'une dégradation de sol constatée par les paysans qui décident finalement de laisser leurs terres en jachère de 2 ans 3 ans. En deux années d'observations sur le bassin de Wankama, nous avons remarqué la disparition de plusieurs jachères, parfois même de très jeunes jachères (moins de 3 ans). En 2005, deux des plus vieilles jachères de Wankama en haut et en mi-versant (parcelle C et F de BOULAIN N.) ont été totalement défrichées avant la saison des pluies. Les arbustes dans ces jachères étaient d'1 m à moins de 3 mètres de hauteur, essentiellement *Guiera senegalensis* étaient coupés jusqu'aux racines et sans aucune sélection d'espèce. Ces pourcentages du tableau 20 montrent bien qu'il y a dégradation non seulement du couvert végétal et aussi des sols. Les critères de définition de secteurs dégradés dans les bassins versants de Tondi Kiboro et Wankama sont nombreux.

Le ravinement se traduit par la multiplication et l'élargissement des ravines secondaires et principales. L'encroûtement se généralise sur presque tout les formes d'occupation du sol: jachère et champs de cultures.



Photos 21 & 22: La croûte d'érosion (Photo21), une menace sérieuse dans le Fakara et la croûte algale (Photo 22) beaucoup répandue aussi (MAMADOU IBRAHIM Banizoumbou Août 2005)

Ce phénomène est très répandu dans le Fakara et l'on retrouve ces croûtes d'érosion (Photo 21) sur tous les types d'occupation du sol. L'on voit sur la photo ci-dessus, le glaçage de la partie superficielle du sol et présence d'éléments grossiers en surface. Ce glaçage de la partie superficielle des sols encroûtés réduit fortement l'infiltration des eaux de pluie. PEUGEOT et al. (1997) et cités par ESVETES M. et LAPETITE J-M (2003) ont évalué la conductivité hydraulique de la croûte d'érosion et celle de la croûte d'érosion et algale sur une jachère dans le bassin versant de Tondi Kiboro à respectivement 0.06 et 6.8 mm/h. Par contre sur sol sableux de la jachère, la conductivité hydraulique atteint 194.4 mm/h. Ceci démontre l'importance de l'encroûtement dans la réduction de l'infiltration et indirectement l'accentuation du ruissellement.

Pour le phénomène du développement de la croûte algale (Photo 22), certains pensent qu'elle ne constitue pas une menace pour les sols. Selon les paysans du Fakara, une fois cassés et bien remués, les sols couverts de cette croûte biologique donnent de bons rendements pour les cultures de mil et sorgho. Selon J.P. VANDERVAERE (1995) et cité par AUDRIN (2005), il met l'accent sur la considération de ces croûtes dans les calculs afin de ne pas surestimer les résultats de conductivité hydraulique et, par voie de conséquence sous-estimer le ruissellement. D'après les travaux d'AUDRIN (2005), l'influence de la croûte

alguale sur l'infiltration des sols en jachère est donc ainsi constatée par une diminution de l'infiltration de la jachère de 0.03 mm/s au potentiel -10mm/s .

Le phénomène de déchaussement des arbustes, le plus rencontré sur les zones à buttes de retenues sableuses d'origine éolienne. La butte sableuse recule et laisse derrière elle des arbustes déchaussés avec des racines aériennes.



Les racines supérieures du *Guiera senegalensis* sont au dessus du sol d'environ 32 cm

Photo 23: Déchaussement d'arbuste de *Guiera senegalensis*, tout autour une croûte d'érosion se forme (MAMADOU IBRAHIM TK Août 2005)

Le déchaussement d'arbuste (Photo 23) (généralement *Guiera senegalensis*, espèce la plus rencontrée sur les bassins versants étudiés) est lié à la déflation éolienne et au ruissellement. Quand ce déchaussement atteint un certain niveau, les racines sèchent et l'arbuste meurt.

Le démantèlement de termitière est un facteur de formation de surface encroûtée, les termitières effondrées sont le lieu privilégié de formation de croûtes d'érosion. Selon OUEDRAGO (1997) et d'après ses travaux sur le rôle des termitières dans la structure et la dynamique d'une brousse tigrée soudano-sahélienne à BIDI, au nord Burkina Faso, le coefficient de ruissellement sur sol de termitière peut atteindre 98%, ce qui montre l'importance de ce biotope sur les flux hydriques.

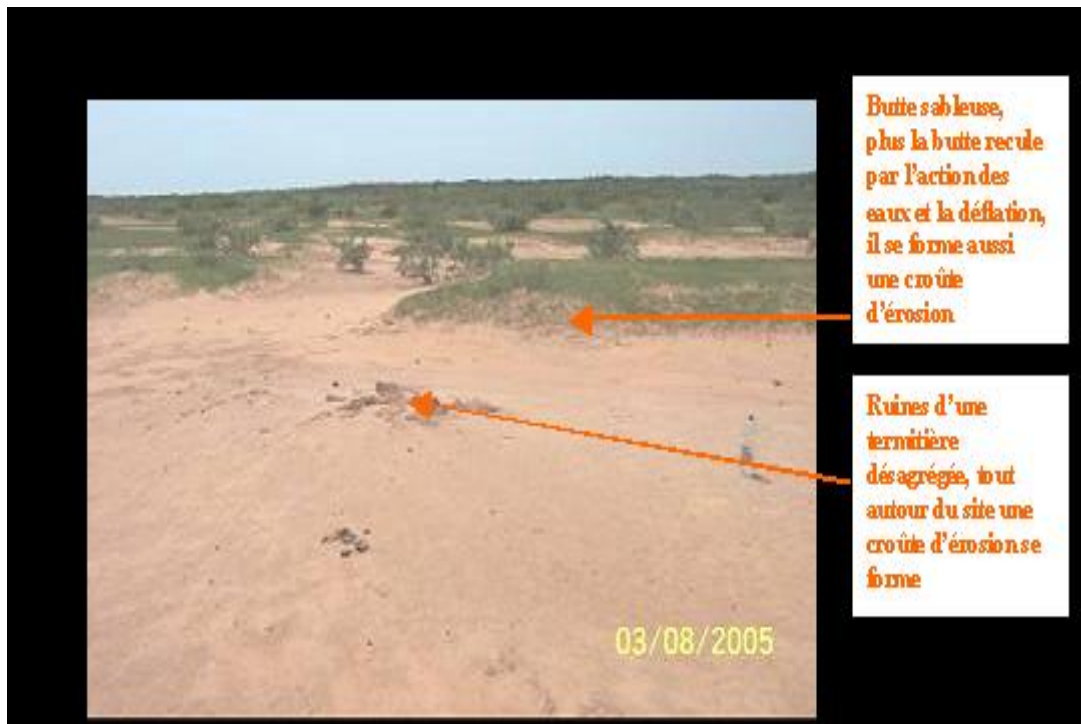


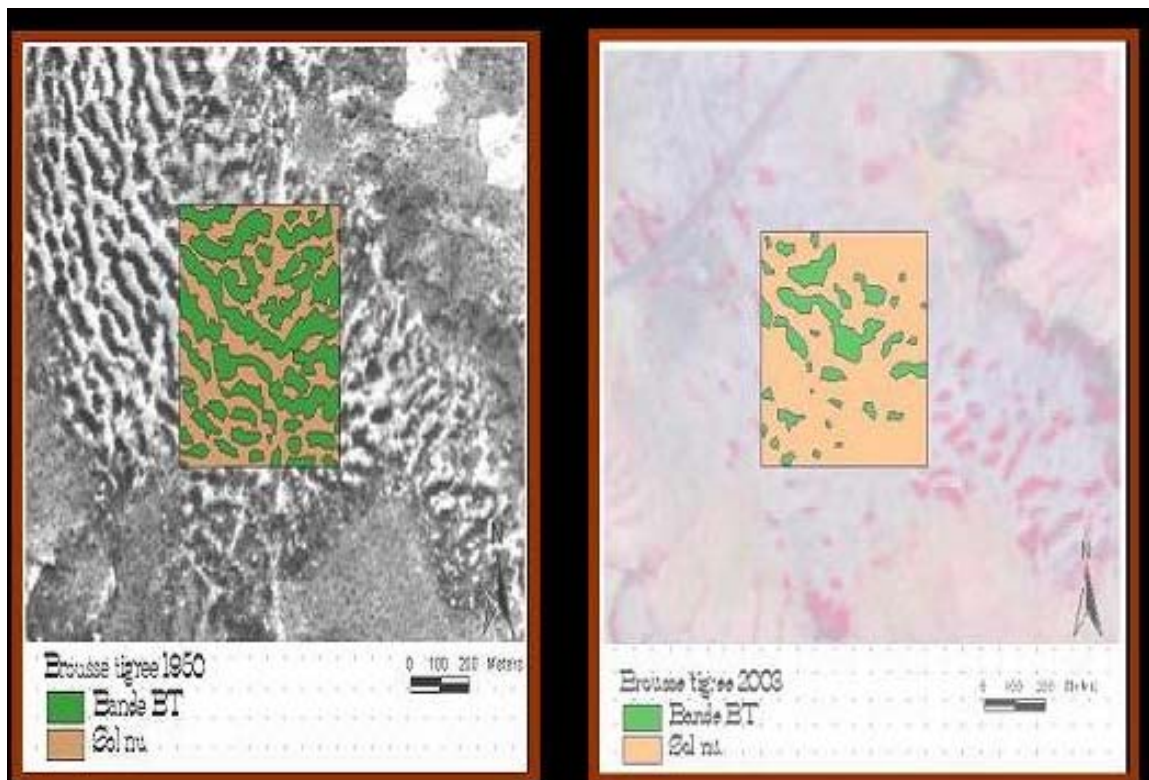
Photo 24: Le démantèlement de termitière donne lieu à la formation d'importante croûte d'érosion (MAMADOU IBRAHIM TK Août 2005)

Les termitières désagrégées (Photo24) présentent un état de surface totalement induré avec début de concentration de ruissellement sur les limites de la croûte formée.

L'alluvionnement sableux supérieur ou égal à 20 cm (seuil défini par un paysan de Banizoumbou, longueur d'une main d'adulte), est très fréquent dans les deux bassins versants étudiés. Mais la question ici est de savoir jusqu'à quel seuil cet phénomène constitue une menace réelle pour les cultures (mil, sorgho, etc.)? Il existe sur les deux bassins versants de grands secteurs de dépôts sableux où le volume sédimenté est très important. Il s'agit des zones d'épandage situées à mi-versant et des cônes alluvionnaires. Ces secteurs sont généralement laissés en jachère (cas des zones d'épandage à mi-versant) de Wankama et Tondi Kiboro). Une des caractéristiques principales de ces zones d'épandage, c'est qu'elles sont de plus en plus incultes. Dès que le niveau de sédimentation atteint un seuil critique, ces secteurs ne sont plus productifs sauf pour certaines cultures comme la patate douce, les courges, etc.

Cependant au cas où l'alluvionnement atteint ou dépasse 30 cm, les paysans sont obligés d'aménager pour pouvoir mettre en valeur leurs champs envahis par le sable.

Pour les défrichements récents et en coupe rase, la motivation réside dans l'exploitation du bois.



Photos 25 & 26: Evolution de la brousse tigrée du plateau de Pourra bassin versant de Wankama entre 1950 et 2003 (LE-BRETON ERIC. 2004)

De l'observation de ces deux photos, l'on remarque la très faible densité des bandes de brousse tigrée sur le plateau de Pourra en 2003 (Photo 26). Une partie de ce plateau de Pourra alimente le bassin versant de Wankama. De la belle brousse tigrée des années 1950, il ne reste aujourd'hui que des lambeaux ou reliquats de bandes de végétation. En 1950 la brousse tigrée couvre 145. 609 (Photo 25) ha de la surface totale du plateau contre 5. 057 ha en 2003. La surface nue occupe actuellement 24. 484 ha sur ce plateau. Cette évolution est liée aussi aux cycles de sécheresses qu'avaient connues les zones sahéliennes: 1968-1973-1984 etc. Ces surfaces nues sont dues essentiellement aux déboisements successifs, pour les besoins en bois de feu et d'œuvre des villages, aux surpâturages et surtout à la vente du bois très développée au marché de Wankama et les besoins en bois de la ville de Niamey. On observe la même situation sur les plateaux de Pourra et Sofia Tondi. La caractéristique commune à tous ces critères est l'aboutissement des formations de zones nues qui diminuent la rugosité des bassins et augmentent le ruissellement. Les zones nues sans

aucune couverture végétale sont la cause de la généralisation du ruissellement sous toutes ses formes dans les deux bassins versants du Fakara. On observe trois types de ruissellement.

Le ruissellement diffus, lorsque les filets d'eau contournent les parties hautes. On l'observe généralement sur des structures sableuses des jachères et des zones d'épandage.

Le ruissellement en nappe, la lame d'eau est suffisante pour couvrir les micro-hétérogénéités de surface. On retrouve principalement ce type de ruissellement tant sur les bandes nues des plateaux de Pourra (bassin de Wankama) que sur celui de Sofia (bassin de Tondi Kiboro). Le ruissellement Linéaire ou concentré, c'est l'écoulement le long des rigoles, ravins et des talwegs. Il se développe par le creusement et l'élargissement des lits surtout au niveau des zones d'épandage sableuses. La litière, la végétation rampante sont plus efficaces que la canopée de ligneux plantés ou aménagés pour augmenter l'infiltration. L'état de la couverture végétale modifie les caractéristiques et facteurs du ruissellement des bassins versants. Au niveau de la station aval zone d'épandage, ces modifications sont plus importantes. Car sur ce bief, la structure essentiellement sableuse de la zone d'épandage permet un fort pouvoir de rétention hydrique surtout après quelques jours sans pluie.

L'augmentation du ruissellement se manifeste dans les bassins versants étudiés par:

- la lame ruisselée à travers les ravines qui est en très forte augmentation;
- de très vastes reculs de berges par sapement et effondrement de blocs de berges;
- un important alluvionnement sur les rives convexes de zones de méandres des ravines étudiées;
- les zones de méandres se multiplient principalement sur la partie amont du bassin
- sur la zone d'épandage du bassin versant de Wankama, on observe aussi des changements de bras d'écoulement. Les ravines deviennent de plus en plus divagantes sur les zones d'épandage. Elles évoluent très rapidement.

Au centre de toutes ces manifestations de la dynamique hydro-érosive, il y a principalement l'homme. Les actions humaines (mises en culture et déboisement surtout) et les facteurs physiques tels que la péjoration climatique sont les facteurs

généraux de la dynamique récente et dégradante des bassins versants étudiés et même du Fakara. Enfin cette dynamique hydro-érosive se manifeste par une importante mobilisation des matériaux sableux.

3.2.2.3-La dégradation hydrologique actuelle dans le Fakara

La dégradation du réseau hydrologique correspond à la dégradation partielle de l'ancien réseau hydrographique régional drainant des superficies de plusieurs centaines de kilomètres carrés. Elle se traduit dans le Fakara par la non-fonctionnalité de l'organisme hydrologique régional: kori de Dantiadou. Ici il s'agit d'une dégradation très ancienne car le Dantiadou était un des affluents actifs du Dallol Bosso. Actuellement ce kori, tout comme le Dallol Bosso n'est fonctionnel qu'à l'échelle de la confluence de quelques mares. Il peut devenir fonctionnel localement lors des crues exceptionnelles ou à certaines périodes d'années très pluvieuses: 1994-1998. En 1998, le kori Dantiadou a isolé beaucoup de villages situés sur sa rive gauche: comme Tondi Kiboro, Korto sur plusieurs jours et a inondé de vastes superficies (entretiens avec des personnes –ressources).

a) A l'échelle des mares Nord, Ouest, Sud-Ouest et Sud de Wankama

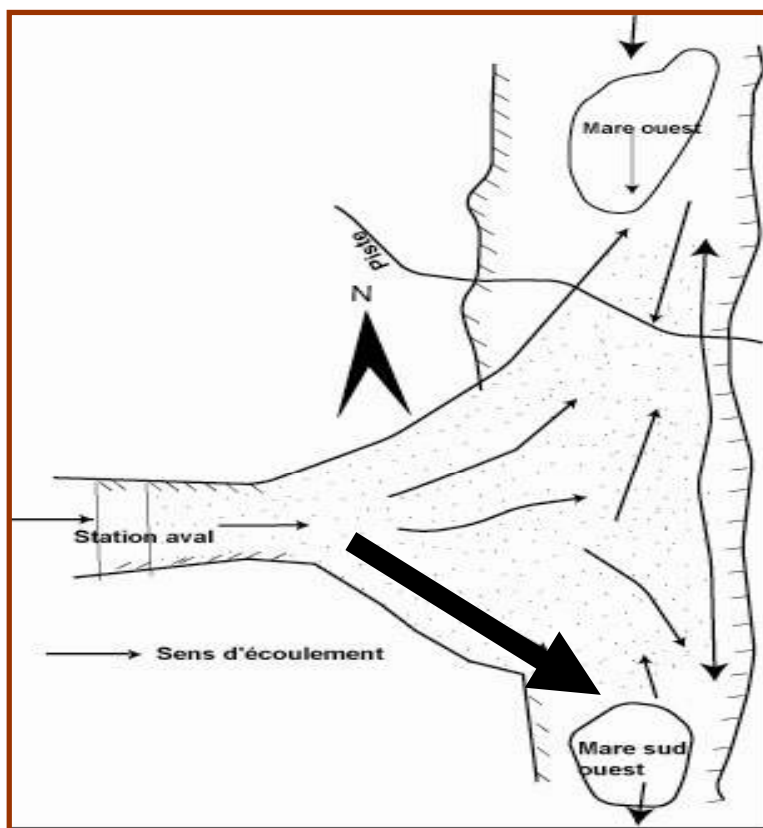


Figure 48: Schéma du cône confluente entre la mare Ouest et Sud-Ouest de Wankama en 2004 (MAMADOU IBRAHIM. 2004)

Les flux d'écoulement après un événement pluvieux changent selon l'année, la saison voire à l'échelle de la crue sur ce cône situé entre la mare Ouest et Sud-Ouest de Wankama (Figure 48).

-Situation en 2004

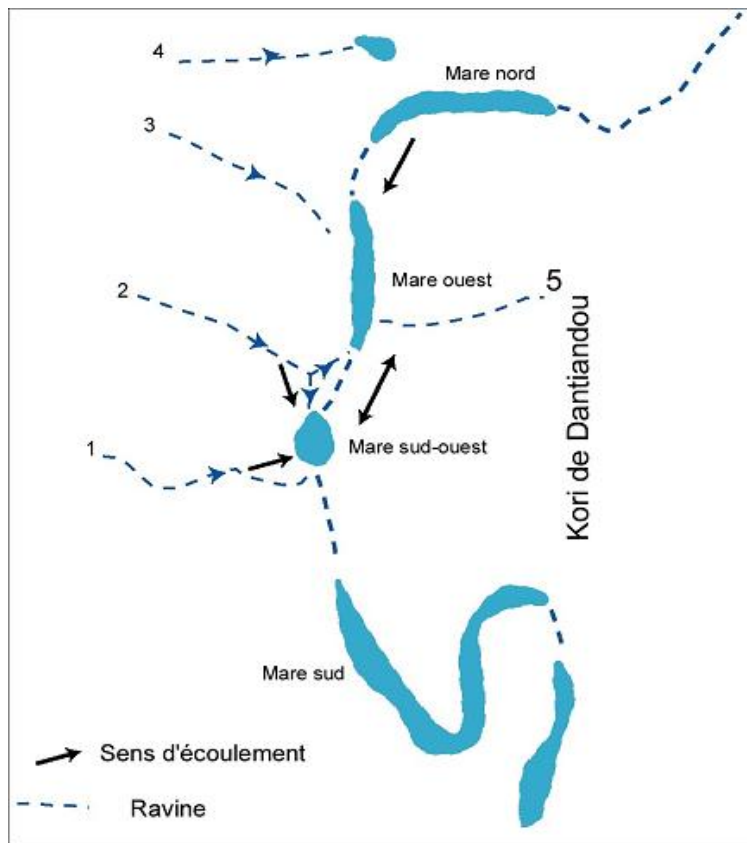


Figure 49: Dynamique d'échanges des flux d'écoulements entre la mare Ouest et les autres mares de Wankama en 2004 (MAMADOU IBRAHIM. 2005)

En 2004, la mare Ouest ou Gutulu bangou reçoit les débordements de la mare Sud-Ouest lorsqu'elle atteint une certaine cote. A partir du 20 juillet 2004, c'est la mare Sud-Ouest qui est alimentée principalement par la ravine 2 (Figure 49). La mare Ouest reçoit aussi les apports de la mare Nord. Par ailleurs En 2005, la ravine 1 alimente surtout la mare Sud Ouest; à noter que celle-ci va alimenter de plus en plus, dans le futur, la mare Sud-Ouest, car son cône de déjection dans le bas fond, en croissant, empêche la mare Sud-Ouest de déverser vers la mare Sud.

La ravine 5 constitue aussi une autre source d'alimentation de la mare Ouest de Wankama sur sa rive gauche. D'ailleurs, cette ravine forme un cône de déjection qui prend de plus en plus d'ampleur. Cette dynamique de comblement risquerait à

moyen terme de modifier la morphologie de cette mare voire même sa division en deux parties.

-Situation en 2005

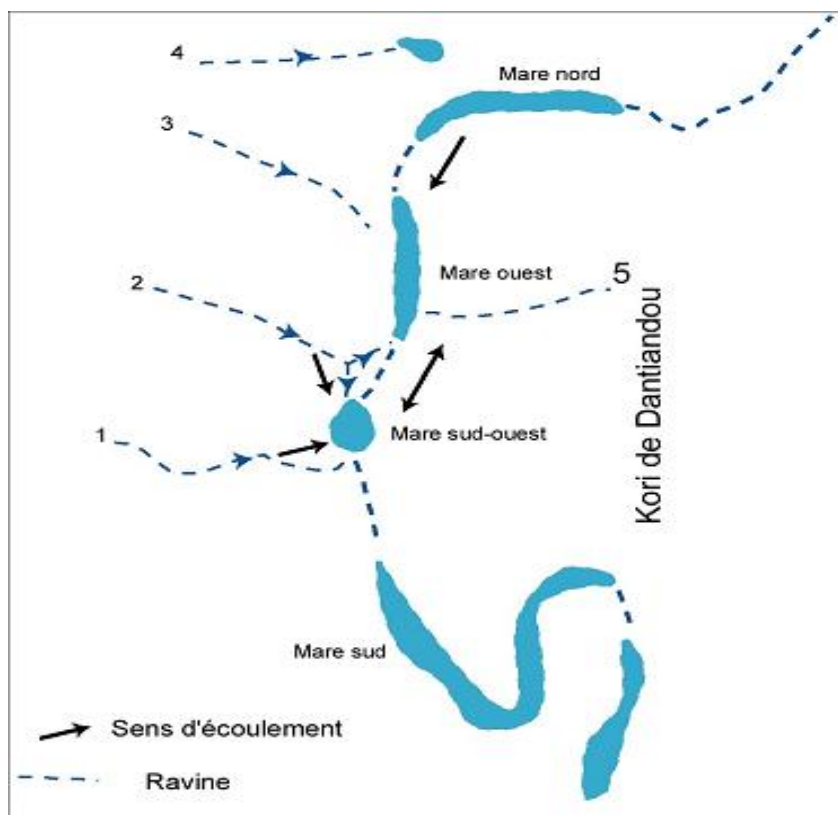


Figure 50: Dynamique d'échanges des flux d'écoulements entre la mare Ouest et les autres mares de Wankama en 2005 (MAMADOU IBRAHIM. 2005)

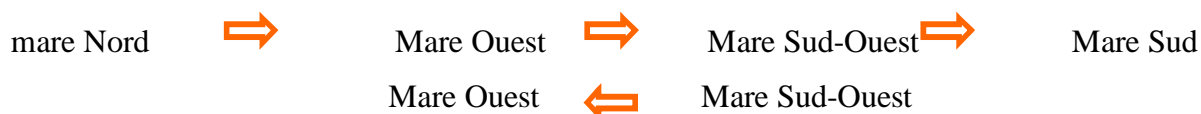
En 2005, on observe une situation identique qu'au cours de l'année 2004.

Conclusion partielle

La mare Sud-Ouest plus petite déborde la première. Auparavant ses eaux vont vers la mare Sud du fait de l'accroissement du cône de déjection vers le Sud.

Lorsque cette mare Ouest déborde comme elle bénéficie des apports des mares Nord et Sud-Ouest, tout l'écoulement suit l'axe général de la vallée.

Il existe des échanges entre la mare du Nord (Kouara Bangou) plus proche du village vers de la mare Ouest.



L'écoulement peut atteindre les autres mares situées en aval vers Maourey Kouara Zeno en cas de pluies importantes dans les secteurs. Mais de façon plus régulière que 2004, la dynamique d'écoulement va de la mare Sud-Ouest vers la

mare Ouest. La mare Ouest reçoit les débordements de la mare Sud-Ouest et de la mare Nord. Les écoulements de la mare Nord (mare bénéficiant de l'alimentation du forage artésien de Wankama) vers la mare Ouest peuvent durer plusieurs heures à fort débit voire des jours mais à un débit bien plus faible. On observe cela au niveau du cône joignant les deux mares: piste allant vers la case de passage IRD de Wankama. Cette dynamique hydrologique évolue dans l'espace et le temps.

b)-A l'échelle des bassins versants

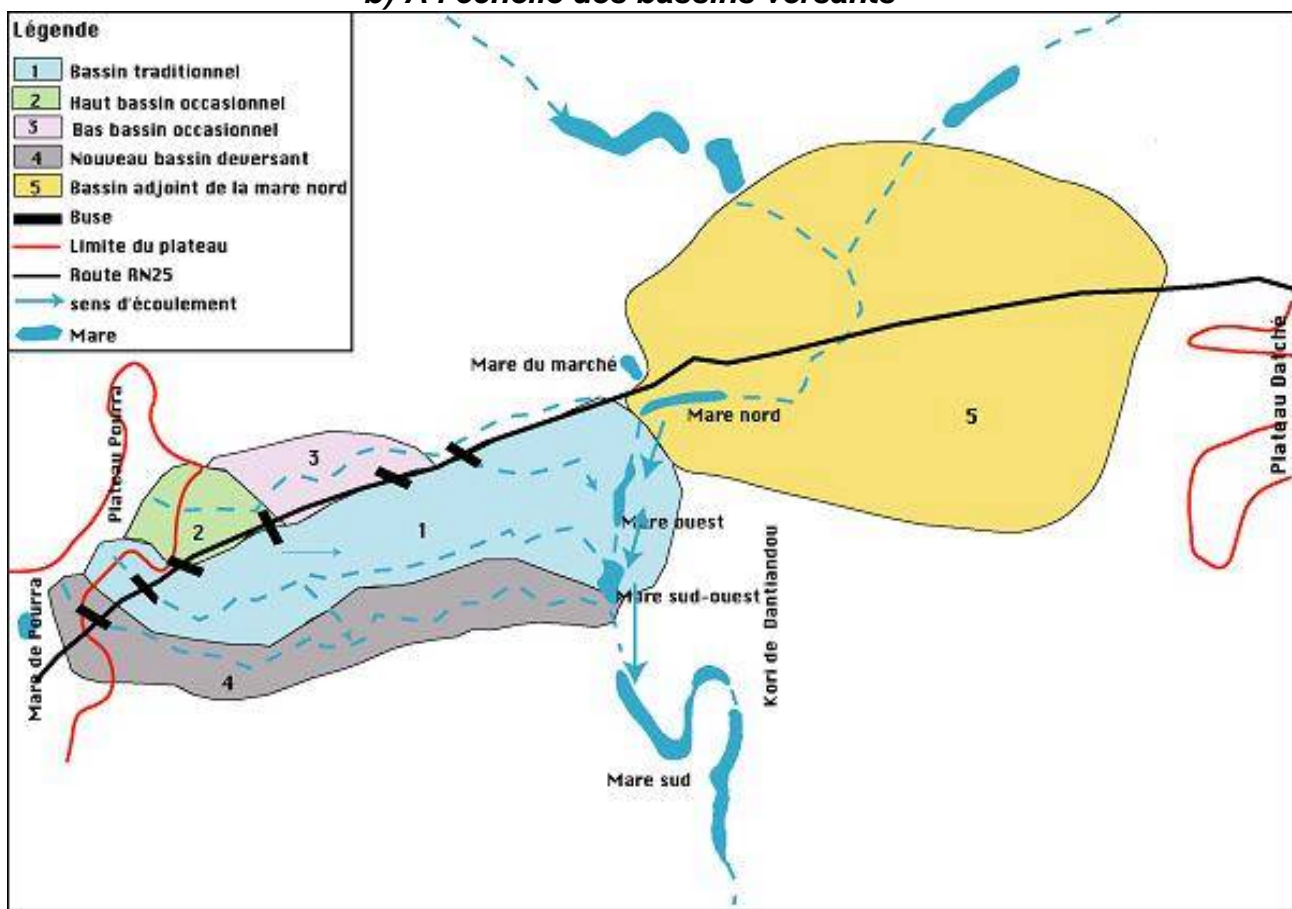


Figure 51: Dynamique du bassin versant de la mare Ouest de Wankama: Variation de taille des impluviums suivant les événements pluvieux (Source: MAMADOU I. 2005)

La dégradation hydrologique se manifeste à l'échelle de ces petits bassins versants par des captures et déversements entre les bassins versants surtout par la multiplication des ravines secondaires et adjacentes aux principales qui évoluent par érosion régressive. Sur la Figure 31, la mare Ouest de Wankama, a plusieurs sous-bassins versants possibles d'alimentation. Elle bénéficie souvent

des apports de quatre autres sous-bassins versants en plus des apports de son bassin versant traditionnel (celui que nous étudions).

Ses quatre sous-bassins d'alimentation sont:

-le bassin adjoint de la mare Nord (Bassin N°5 sur la figure 51) qui draine l'écoulement des secteurs amont du kori Dantiandou en plus de l'apport du forage artésien (situé à moins de 50 m du cône d'épandage entre la deux mares et alimentant directement la mare Nord). Le creusage de canaux en terres par des maraîchers et jardiniers (riverains de la mare Ouest) draine les eaux de la mare Nord vers la mare Ouest. Ces canaux sont recreusés après quelques jours sans pluie ou quand la cote de la mare Nord ne permet pas un écoulement direct vers la mare ouest.

-Le haut bassin occasionnel (bassin N° 2 sur la figure 51), ce haut bassin versant est occasionnel non seulement c'est un secteur topographique modifié par les Travaux Publics. Une des buses alimentant le bassin traditionnel du haut bassin traditionnel est endiguée en aval par les Travaux Publics. Cet endiguement en aval des buses est à l'origine de la mare artificielle située en amont de la station de jaugeage amont de Wankama sur la rive gauche de la ravine étudiée près du goudron). Cette mare artificielle déborde rarement, surtout qu'elle est régulièrement envahie par des troupeaux d'éleveurs locaux et transhumants qui trouvent un lieu d'abreuvement facile d'accès. Ce haut bassin est aussi occasionnel car les deux buses qui le relie au bassin traditionnel ne sont pas fonctionnelles à chaque pluie.

-Le bas bassin occasionnel (sous bassins N°2 sur la figure 51), ce sous bassin draine surtout le ruissellement de la partie Nord, au delà du goudron. Une partie des écoulements passe à travers les buses (N° 5 & 6) partie aval pour rejoindre le bassin traditionnel de Wankama. Mais de chaque côté du goudron, on observe des ravines parallèles longeant ce dernier prenant plus d'ampleur du côté Nord du goudron.

-Le nouveau bassin déversant (sous bassin N°4 sur la figure 51), il s'agit du bassin versant de la ravine principale située au Sud de celle du bassin traditionnel de Wankama. Cette ravine (ravine 1 sur la figure 29 & 30) alimente selon les années les mares Sud-Ouest (Figure 49) ou Sud (figure 50)

Les écoulements de ce nouveau bassin déversant passent par la buse N°1 (la première buse à la descente du plateau)

Ensuite un peu en aval de la sortie des buses N°1 et 2, un secteur de méandrage existe. A ce niveau, la dynamique d'écoulement est assez complexe et les limites entre les deux bassins voisins seraient très difficile à distinguer.

c)-A l'échelle de la confluence kori Dantiandou, Radji gourou et ravines latérales de Tondi Kiboro

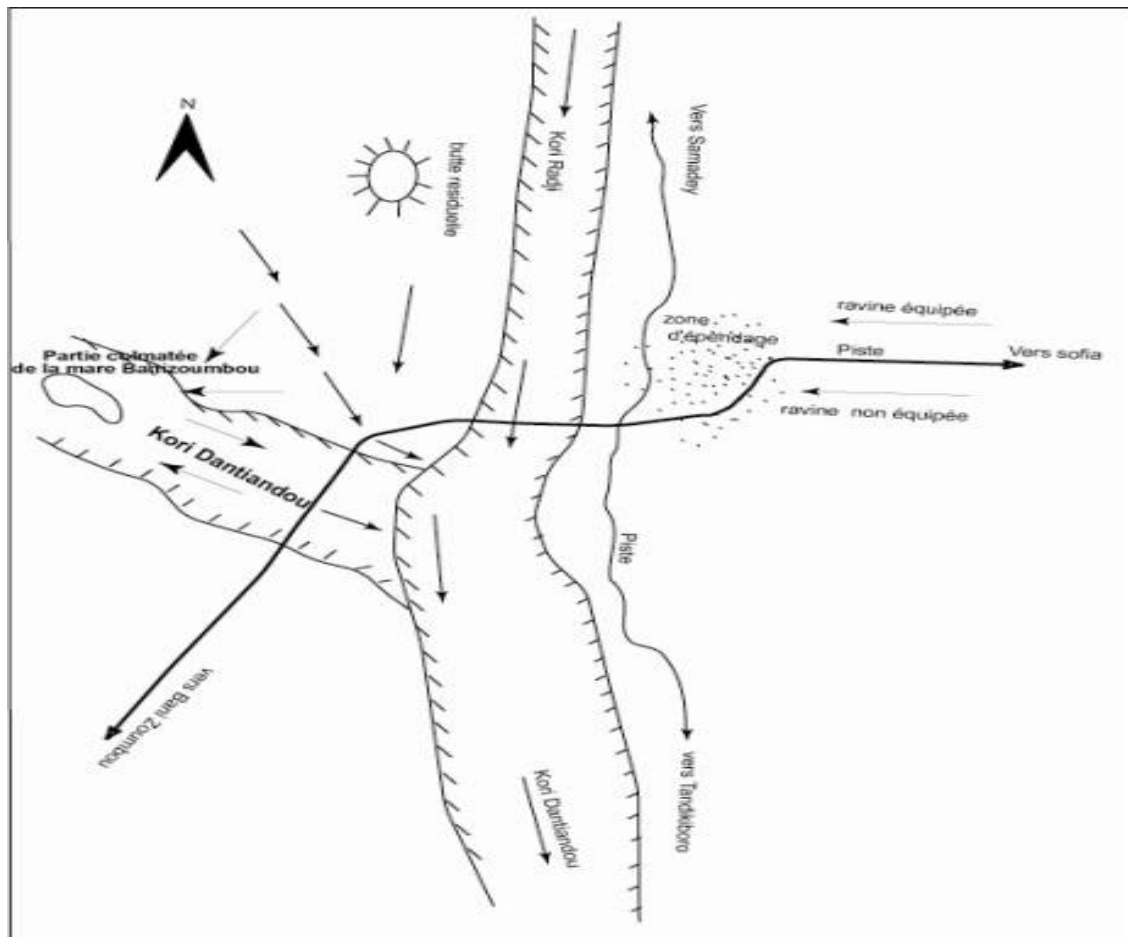


Figure 52: Schéma de la zone de confluence Kori Dantiandou-Radji gourou et ravines latérales de Tondi Kiboro et alimentation de la partie creusée de la mare de Banizoumbou (SOURCE: MAMADOU IBRAHIM 2005)

Dans le secteur de la confluence Kori Dantiandou et Radji gourou (Photos 31 & 32) et ravines latérales de Tondi Kiboro, on observe une dynamique d'écoulement des eaux très complexe. Cette complexité résulte des comportements hydriques des formations superficielles des zones d'épandage intermédiaires et des fonds des ravines. Ces comportements hydriques (forte infiltration et rétention hydrique) entraînent des discontinuités d'écoulements. C'est le cas apports des ravines latérales de Tondi Kiboro qui atteignent rarement la vallée du kori principal du Dantiandou. Le seul drain reliant les apports des ravines latérales de Tondi Kiboro

au lit d'écoulement du Radji gourou passe à travers la ravine – piste reliant Banizoumbou au plateau de Sofia. Des secteurs de cette ravine-piste servent de drain à d'importantes ravines écoulant les eaux vers ce kori venant des secteurs de Sama Dey (Figure 32). On observe cela qu'en cas d'un événement pluvieux important et surtout lorsque les apports des deux ravines qui descendent du plateau vont au delà de la zone d'épandage formée par les cônes coalescents des deux ravines. Selon DESCONNETS (1994) à l'emplacement actuel des cônes coalescents ou l'ourlet de la jupe sableuse, il y avait une petite dépression. Cette dépression est aujourd'hui presque entièrement comblée par les apports alluviaux des ravines formant les cônes coalescents. La ravine –piste (Figure 32) bénéficie en aval de cette zone d'épandage à mi-versant des apports des secteurs fortement encroûtés, parfois cuirassés de la partie aval de la cette zone d'épandage (secteur de confluence des pistes Sofia –Banizoumbou et Tondi Kiboro Sama dey. Le Radji gourou se jette directement dans le lit du Dantiandou et bénéficie des apports des drains des secteurs autour de Sama Dey. Ce kori venant de Sama Dey connaît en certains événements pluvieux (pluie du 6 Août 2005) deux montées d'eaux: une première montée liée aux apports ordinaires de son bassin et la seconde plus importante surtout liée du débordement de la mare en forme de cuvette de Sama Dey.



Photos 27 & 28: Radji Gourou en fin de première crue du 6/0802005 (photo 31) et deuxième crue du 6/08 2005 (Photo 32) suite au débordement de la mare de Sama Dey (MAMADOU IBRAHIM Tondi Kiboro Août 2005)

Son écoulement peut durer plusieurs heures et le niveau d'eau peut atteindre 1m de hauteur (Photo 28). Cette information est déduite des dépôts de délaissés de crue à la hauteur des ligneux se situant dans son lit principal. Après la confluence de la piste au Radji gourou dont les secteurs situés entre le Radji gourou et la partie creusée de la mare de Banizoumbou, on observe une autre situation complexe. Une grande partie des écoulements du Radji gourou n'atteint pas directement le lit du Dantiandou. Mais rejoint les apports des secteurs encroûtés de la butte résiduelle (piste Banizoumbou – Sama Dey) pour atteindre la partie creusée de la mare de Banizoumbou. Quand la partie creusée de la mare atteint une cote supérieure, tout l'écoulement se dirige vers Tondi Kiboro et suit le lit du kori Dantiandou en cas des pluies exceptionnelles. Cette complexité des écoulements découle aussi du fait qu'entre la partie creusée (Figure 32) de la mare de Banizoumbou et la confluence au Radji gourou, le Dantiandou ne présente aucune morphologie d'un lit fluvial. Le fond de cet ancien cours d'eau est densément occupé par des bancs d'alluvions et apports éoliens anciens. La mise en culture a aussi contribué l'évolution morphologique actuelle de ce secteur. Car les limites de son lit d'écoulement sont difficilement identifiables. Seuls quelques filets d'écoulement sporadiques se forment et perdent leurs eaux dans les micro-zones de dépôts sableux.

Conclusion partielle

La dynamique hydrologique des petits bassins versants du Fakara est assez complexe. Les écoulements dans ces bassins versants de Wankama et Tondi Kiboro sont sporadiques et très discontinus. Les importantes zones d'épandage (situées à mi-versant et dans les bas fonds) réduisent les flux d'échange d'un sous-bassin à un autre et d'une mare à une autre aussi. Cette dynamique hydrologique est la résultante des évolutions suivies par ces bassins versants à l'échelle d'une crue, d'une saison ou de plusieurs années. La dynamique hydrologique complexe traduit toute la difficulté à définir les limites plus ou moins précises des bassins versants de Fakara. A l'échelle de ces deux années d'observations, nous n'avons pas enregistré d'événements pluvieux exceptionnel dans les deux bassins étudiés (pluie > à 50mm), il faut aussi tenir compte de cet aspect de la pluviométrie dans l'explication des comportements hydrologique de ces milieux sahéliens. Mais il serait aussi très difficile de dresser un bilan hydrique de ces mares de verrous de cours d'eau non fonctionnels. Ces mares ont des

sources d'alimentation nombreuses et complexes, évoluent et changent à l'échelle de la crue ou de la saison. La détermination d'un fonctionnement hydrologique fréquent semble très difficile même à l'échelle de quelques années d'observations. Ceci traduit non seulement la forte variabilité des facteurs physiques (écoulements, infiltration) et anthropiques (mises en culture, défrichement mauvaises pratiques agricoles) et surtout le caractère actuel de la dynamique hydrique dans ces bassins versants sahéliens.

CHAPITRE 4: DISCUSION-CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHES

4. 1-DISCUSSION-CONCLUSIONS

Les bassins versants des koris du Fakara sont des organismes vivants dont les mécanismes dynamiques évoluent constamment. La question de la dégradation des bassins est en fait un problème aigu au Sahel. Ceci s'explique par la complexité des relations liant les aspects physiques et humains de ces derniers. La dynamique hydro-érosive des bassins est liée à la péjoration climatique mais surtout aux changements d'usage des sols donc aux actions humaines sur les principales ressources que sont: les sols, les eaux et les végétaux. La dynamique des bassins versants du Fakara se traduit par le renforcement du ravinement accompagnés par une importante mobilisation de matériaux solides et cela à l'échelle de presque tous les états de surface végétatifs et état d'occupation du sol représentatifs de la région du Fakara: Brousse tigrée, mil, jachères. L'encroûtement s'accroît de plus en plus et l'on assiste à une dynamique hydro-érosive récente dont le moteur actif est: l'augmentation du ruissellement. Cette augmentation du ruissellement est en fait la conséquence directe de la dégradation des sols et de la couverture végétale. Les taux de ruissellement et d'érosion sont en nette progression sur presque tous les états de surface du sol de la région (Travaux 2004-2005 sur les parcelles d'érosion, Alzouma I. à paraître).

Tableau 21: Erosion et coefficients de ruissellement annuels sur trois types de parcelles d'érosion dans le bassin versant de Wankama en 2004.

Types d'état de surface	Taux d'érosion en g/m ² /an	coefficient de ruissellement en %
Mil	35	20
Jachère	20	30
Croûte d'érosion	150	85

Source: DESCROIX et al., 2005

Le tableau 21 nous montre l'importance des croûtes d'érosion dans la fourniture de matériau pris par les eaux et sur ces versants. Ce tableau traduit la situation actuelle des risques d'érosion dans le bassin versant de Wankama en particulier et du Fakara de façon générale. La croûte d'érosion est bien un état de surface du sol. Très répandu dans le Fakara et son importance dans la production

du ruissellement et des pertes en terres, la classent dans la série des types d'occupation du sol pour l'évaluation des risques d'érosion.

La croûte d'érosion appelé localement <<gangani>> se généralise dans les champs mis en valeur et même sur les jachères vieilles ou jeunes. En fait 150 g / m² /an sont en moyens annuellement décapés (Tableau 21). Malgré la nette diminution des pluies au Sahel en général, l'érosion hydrique actuelle s'accroît et ses facteurs majeurs sont les coupes rases des végétaux. Les espèces ligneuses les plus utilisées ou menacées sont *Prosopis africana*, *Guiera senegalensis*, *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum*, *Faidherbia albida*, *Balanites aegyptiaca* etc. Ces ligneux sont coupés pour les besoins de bois de feu, d'art et d'œuvre des populations de ces villages et surtout des centres urbains comme Niamey. La consommation de la ville de Niamey se chiffre à 201000 tonnes (2001) (PAFN 2003). Près de 11% du bois consommé à Niamey transite par l'axe routier Niamey-Filingué (ATTARI 1997). Il estime l'utilisation des ressources ligneuses à des fins énergétiques par plus de 98% de ménages au Niger. Il ne faut surtout pas négliger les besoins en bois des populations rurales. Car dans le Fakara, le bois est une source de revenus (vente), et est utilisé comme matière première pour les constructions des cases, les toits et haies des cours, comme support de greniers etc. Les herbacées vivaces et graminées annuelles (*Andropogon gayanus*, *Cenchrus biflorus*) sont aussi recueillies et vendues aux marchés ou utilisées pour les toitures des cases aussi. A vert, elles sont utilisées comme pâturages d'animaux.

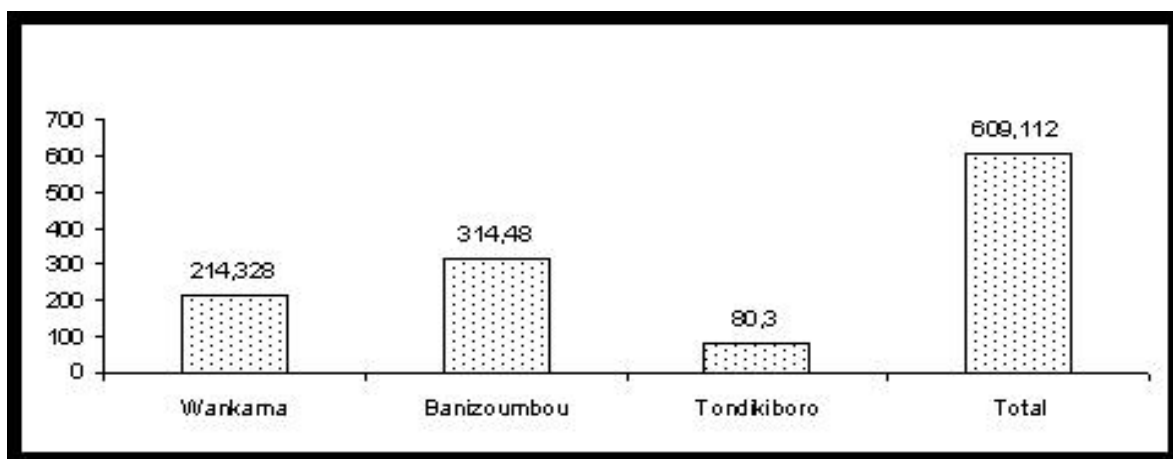
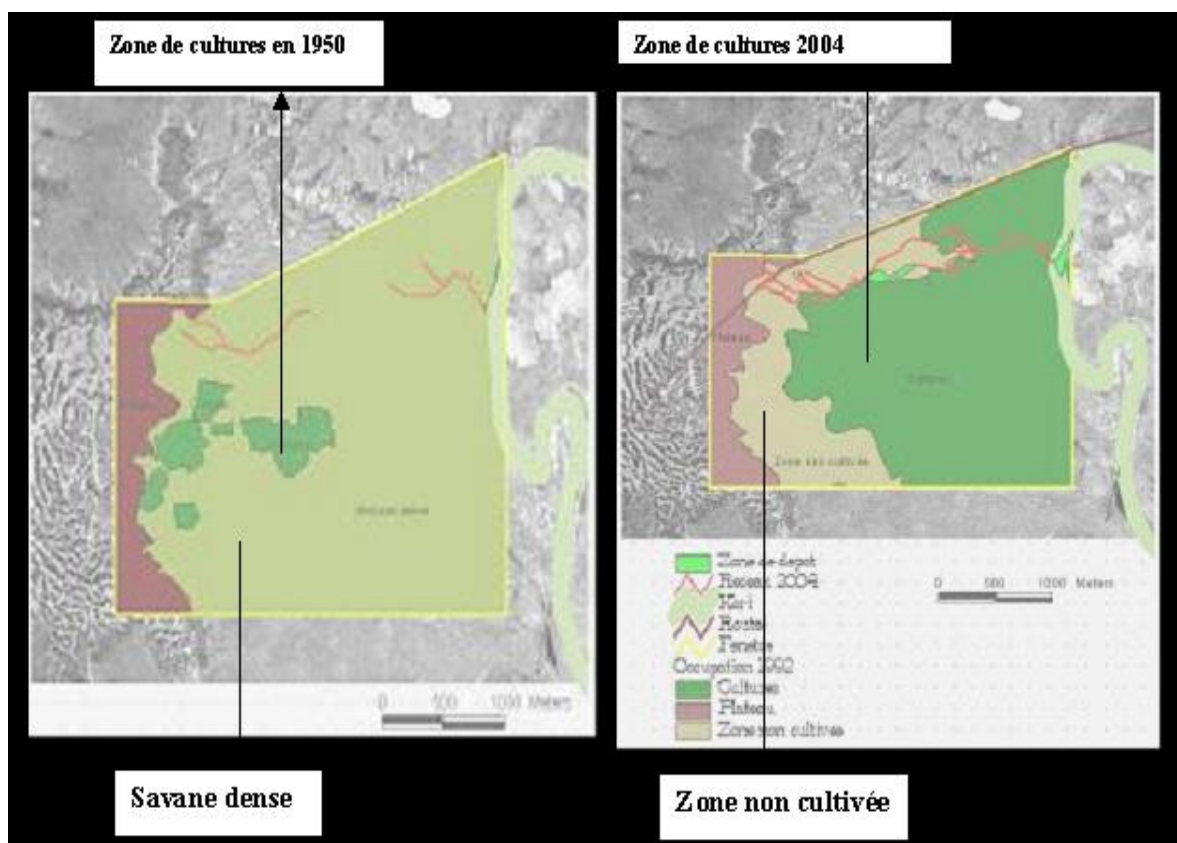


Figure 54: Estimations des besoins annuels de bois à Wankama, Banizoumbou et Tondi Kiboro en tonnes (Source: MAMADOU I. 2005)

En prenant la moyenne nationale de besoins en bois des villages ruraux au Niger qui est de 0.8 kg de bois par personne et par jour, évaluée par le Plan National de Lutte contre la Désertification (1990) et cité par SIDIKOU H. A (1997). On peut estimer à 214, 328 tonnes de bois /an de besoins de bois à Wankama, 314, 484 tonnes de bois /an à Banizoumbou et 80, 3 tonnes de bois /an à Tondi Kiboro (Figure 54). Le marché du village de Wankama est un grand centre de transit de bois vers la ville de Niamey. D'ailleurs ce marché de bois n'est pas un marché de bois contrôlé (mais ils exploitent le bois vert). La pression animale sur les ligneux arbustifs et le tapis herbacé est de plus en plus renforcée par des pratiques d'élevage de divagation, de pâturages aériens et du non respect de la capacité de charge donc le surpâturage.



Photos 33 & 34: Evolution de la mise en culture sur le versant de Wankama, situation de 1950 (Photo 33) et situation en 2004 (Photo34) (Interprétation Photos aériennes 1950-2004, LE-BRETON E. 2004)

La mise en culture de ces bassins versants explique en partie la dégradation de ces bassins versants. Entre 2003, les cultures (systèmes cultures-jachères) occupent plus de 70% du versant (Photo 34). Alors qu'en 1950, ce système n'occupait que 20 à 25% du versant en 1950. A cette période aussi, les

formations denses de savanes occupent plus des trois quarts de la superficie du versant (Photo 33). Le croît démographique a bien un impact sur l'évolution de l'occupation du sol, mais c'est plutôt tout le système socio-économique, culturel et même la péjoration climatique qui constituent les facteurs essentiels de cette évolution. Les temps de jachères sont fortement réduits. Car la très forte pression démographique oblige les chefs de ménage à morceler plusieurs fois les grands champs familiaux pour servir les jeunes chefs de ménages. Chaque lopin de terres a son propriétaire de droit. Les friches et les vieilles jachères (5 ans à plus) sont devenues rares. Les mauvaises pratiques agricoles se traduisent par le peu ou absence de moyens et techniques de gestion, restitution et de récupération des sols. Car beaucoup de paysans de la région de Fakara ne connaissent pas l'utilisation des engrais dans les champs pluviaux. La seule méthode de restitution est la pratique de la jachère et actuellement sur une période très courte maximum 3 ans. Tout cela aboutit à la mise à nu de vastes états de surface des bassins versants qui ruissellent et s'érodent à grande échelle. L'on observe sur la photo de 1950, que le réseau des ravines est très faible et entre-coupé. Mais en 2003, il devient plus fonctionnel et mieux structuré. La mobilisation des grains de sables sur ces bassins versants trouve son origine à travers une dynamique systémique: hydrique, éolienne et humaine qui est peu soucieuse de la restauration et la bonne gestion des ressources eaux et sols. Cela aboutit à un important recul du couvert végétal, apparition des zones nues et dégradées, augmentation du ruissellement et mobilisation des matériaux. A ce propos KEITA (2003) explique les causes la dégradation de l'environnement dans le bassin versant de la mare de Sormo, région de Gaya au Niger. Selon KIETA, cette dégradation se marque essentiellement sur trois de ses composantes, la végétation, par la diminution du degré de couverture, les sols par les modifications de la structure physique et appauvrissement en éléments minéraux et en matières organiques. Et pour la troisième composante, toutes les formes d'érosion hydrique et éolienne s'activent. L'ampleur des concentrations solides enregistrées à partir des prélèvements effectués sur la station aval atteste de l'importance de la sédimentation dans les bas-fonds et autres fonds de mares sahéliens. A comparer nos résultats aux données obtenues par KARAMBIRI et al., (2003) l'on constate que les taux de concentrations solides de nos bassins versants sont plus importantes que ceux enregistrées par Karambiri et al. (2003). Malgré la similitude climatique du Fakara

avec le Nord Burkina Faso, les bassins versants de Wankama et Tondi Kiboro sont plus anthropisés. L'on note sur ces derniers une dominance de formations superficielles essentiellement sableuses sur les versants. L'évolution des ravines (plus de vingt mètres de progression pour la ravine principale de Wankama) et la présence de végétation en forme de fourré sur les berges attestent du caractère récent de la dynamique hydro-érosive de ces bassins versants. Cette nouvelle dynamique hydro-érosive entraîne à l'échelle des bassins versants, une dégradation des réseaux hydrographiques. RODIER (1964) explique cette dégradation du réseau hydrographique par deux phénomènes:

- en saison sèche la dégénérescence de la végétation herbacée favorise l'érosion éolienne et l'érosion hydrique en début de saison des pluies;

- le caractère sporadique des crues et les pentes faibles des terrains induisent des débits insuffisants pour charrier les dépôts de l'érosion et entretenir les lits des cours d'eau.

En plus la cyclicité des mares dans les fonds du kori de Dantiandou à l'échelle de quelques années voire de celle de la crue exceptionnelle montre la rapidité des changements morphologiques des unités hydrogéomorphologiques des bas-fonds principalement les fonds de mares (niveau de base des ravines alimentant ces dernières) et les cônes de déjection. Par exemple en 2004, les échanges de flux d'écoulements entre mare Ouest et mare Sud-Ouest sont très variables. Car une bonne partie des écoulements de la ravine alimentant la mare Ouest se dirigent vers la petite mare Sud-Ouest et la plus récente dans le secteur du village de Wankama (moins de 20 ans). D'ailleurs DESCONNETS (1994) explique la cyclicité des mares par l'ensablement localisé (dépôts des transports solides à la jonction du drain principal et du collecteur) et ou généralisé (effacement de la pente du lit par apport sableux éoliens et colluviaux) des principaux collecteurs. Cela a pour conséquence de rendre inefficace la fonction de transport de ces collecteurs à la jonction de la vallée principale. Ces collecteurs latéraux déposent leurs charges et bloque le ruissellement aval. Ils se forme finalement un chapelet de mares au cours de la saison des pluies. C'est ce que ROUSSEL B, & LUXEREAU A, qualifient de <<cycles des mares>> (ROUSSEL & LUXEREAU 1997).

Enfin, nous disons que toutes ces observations et conclusions confirment notre hypothèse de base. La dynamique actuelle de ces bassins versants sahéliens du

Fakara est vraiment récente. Elle est essentiellement due à l'anthropisation. Et cette forte anthropisation est la conséquence directe de la démographie galopante. La région du Fakara enregistre un taux d'accroissement de 5. 54%, largement supérieur à la moyenne nationale. La cyclicité des mares est aussi une conséquence de l'augmentation du ruissellement. En plus de cela, l'augmentation des débits de ruissellement linéaire dans les ravines, et sur les états de surface représentatifs de cette région du Fakara (prolifération de l'encroûtement et ruissellement en nappe) à l'échelle tant des bassins versants que du Fakara, explique et confirme les conclusions de LEDUC et al. (1994) et Favreau (2000) sur la hausse de la nappe dans ces systèmes endoréiques du Fakara. Car on note le développement des zones d'importantes infiltrations que sont: les fonds de ravines, les fonds de mares, les zones d'épandage sableuses. La dynamique d'occupation du sol montre de façon globale, un important recul des couvertures végétales naturelles. Les mises en culture progressent fortement. Une forte mobilisation de matériau sédimentaire se développe tant sur les interfluves que dans les fonds de ravines et koris. Les pertes en terres énormes par encroûtement se traduisent par les comblements en matériaux des zones préférentielles: bas-fonds et replat intermédiaires. Toutes ces conséquences émanent des processus hydro-érosifs très actifs encore aujourd'hui: désertification, encroûtement, ravinement et accumulation de sédiments pris par les eaux du ruissellement. Cette dynamique véritablement active est bien récente et ses causes ci dessus énumérées sont très complexes. Mais au centre de cette dynamique se trouve l'homme. Car il déclenche et active tous ces facteurs de la dynamique dégradante de ces milieux sahéliens. ROGNON (1989) assimile << en fait la dégradation observée au Sahel à une densification de l'occupation humaine, une exploitation excessive des arbres comme pâturage de substitution et comme source d'énergie, une érosion éolienne sur des sols dénudés. CHINEN (1999) aboutit presque aux mêmes conclusions que la présente étude. Il constate une dynamique actuelle des bassins versants exoréiques de Koutéré et Saga Gourou et est liée surtout à l'anthropisation de ces milieux riverains de Niamey. Mais le constat de la dynamique érosive est plus accusé sur ces bassins versants. Dans le bassin versant exoréique du Kori de Ouallam, MOUSSA (2005) présente une situation similaire. Malgré la fonctionnalité saisonnière de ce kori, il connaît une dynamique hydro-géomorphologique très dégradante et fortement anthropique. Mais même si

l'homme demeure l'acteur principal de la dynamique tant hydro-érosive que globale au Sahel en général, il ne faut pas aussi négliger les influences directes et indirectes de la variabilité climatique observée au Sahel. Il est nécessaire de voir les influences directes et indirectes du changement climatique à travers les impacts de ses manifestations (réchauffement de la planète, baisse de la pluviométrie etc.) sur les facteurs de la dynamique érosive globale des milieux sahéliens, car c'est au Sahel que se situe le plus fort signal du changement climatique.

A ce niveau et comme l'a dit AMANI (communications séminaire AMMA du 28 octobre 2005), dans l'explication de la dynamique actuelle, les changements d'usage des sols expliquent bien l'évolution récente des bassins versants sahéliens, la dynamique hydrologique, les évolutions hydrogéomorphologiques, hydrogéologiques et même socio-économiques. Mais l'influence de la péjoration climatique est nécessaire surtout dans l'explication de la variabilité pluviométrique, sa répartition spatiale et temporelle voire aussi son importance. A ce titre l'on peut se poser les quelques questions suivantes:

- Le prolongement du stress hydrique (plus de dix jours) à l'échelle de la saison, n'est-il pas un frein important au développement du couvert végétal (surtout des herbacées) dans ces milieux sahéliens?
- Quelles seraient les conséquences hydrologiques des débuts de plus en plus précoces des saisons de pluies sahéliennes observées ces dernières années (mois d'avril et mai) et surtout que c'est cette période qui semble enregistrer les forts événements pluvieux deux dernières années?
- Quelles seraient aussi les conséquences des prolongements ou multiplication des stress hydriques généralement caractéristiques de la saison des pluies au Sahel.

4. 2-Perspectives de recherche et questionnements sur les stratégies adaptatives d'aménagement dans la zone du Fakara

4. 2. 1-Amélioration de l'approche méthodologique de l'étude

-Cartographie du réseau de ravines

Il serait intéressant à ce niveau de continuer l'inventaire régulier des ravines, l'on peut apprécier l'évolution à l'échelle de la saison, et de plusieurs années. En superposant cette cartographie annuelle des ravines, l'on peut définir les zones d'évolution rapide des ravines.

-Suivi de l'évolution régressive des ravines et élaboration de leurs profils transversaux

L'utilisation régulière du dispositif <<peigne>> au niveau des secteurs des ravines bien localisés va nous fournir des informations plus fiables sur les phases de stabilité, comblement ou ablation des ravines étudiées.

-Cubage des formes de dépôts importants

Pour améliorer ces sondages, il nous faut nécessairement effectuer des sondages de ces zones de dépôts si possible avant et après la saison des pluies. Cela permettrait de voir la variabilité des dépôts à l'échelle annuelle. Et pour la fiabilité des données de ces cubages, nous devons en plus du critère de distinction des niveaux anciens ou argileux, cuber ces zones de dépôt avec une maille dense de points d'application de tarière) ou coupler cette méthode avec celle de nivellement (à partir d'un niveau de référence bien défini et suffisamment distingué).

-Mesures des débits liquides et solides dans les bassins versants étudiés

Il est intéressant de faire des prélèvements à l'échelle de la saison en choisissant une station pour mieux avoir une série de données pour la station et à l'échelle de la saison ou de deux pour plusieurs saisons. Il est indispensable aussi de continuer l'analyse granulométrique des sédiments calculés pour établir une typologie des particules transportées selon les débits liquides. L'on doit surtout privilégier des prélèvements aux stations aval (à l'exutoire du bassin), afin de mieux apprécier les comportements spécifiques des bassins versants étudiés et si possible comparer les données entre les bassins versants étudiés à l'image des travaux de KARAMBIRI H. (2003).

-Observations hydrologiques et entretiens des personnes –ressources

Il serait important de faire une enquête hydrologique à l'échelle de quelques terroirs voir de l'ensemble du Fakara. L'étude historique des mares, koris et ravines serait importante dans la compréhension de la dynamique érosive. La datation orale à partir d'entretiens doit être prise avec modération sinon il est plus efficace de dater par exemple les cônes de déjection ou la naissance des mares et autres zones de dépôts avec recours aux datations des poteries et morceaux de charbons au Carbone 14. Cette datation une fois couplée aux résultats des enquêtes et entretiens permettront de fixer de façon plus précise les dates de formation de ces unités hydrogéomorphologiques.

4.2. 2-Perspectives de recherche et recommandations stratégiques d'aménagement

-Compléter l'approche méthodologique de l'étude

Le travail d'un mémoire ou d'une thèse n'est jamais fini, après ces deux années d'observations nous nous retrouvons avec plus de questionnements et d'hypothèses nouvelles. Certes deux années d'observations ne nous permettent pas de produire des conclusions générales sur notre thème de recherche (étude des risques d'érosion), mais des résultats partiels et dont la validité scientifique nécessiterait plus d'observations à long terme. En plus il y a la nécessité de trouver d'autres informations pour pouvoir compléter les explications complexes: données pédologiques (granulométrie des formations superficielles) et hydrodynamisme des état de surface) des bassins étudiés. Par exemple dans l'analyse de cette dynamique dégradante l'on ne peut tout attribuer à l'eau ! est –il possible de faire la part des choses entre les agents d'érosion: eau et vent dans la dynamique sédimentaire des zones de dépôt sableux par exemple? Des études sur des sites, mais à différentes échelles spatio-temporelles doivent être entreprises afin de mieux produire des données et informations permettant de généraliser les résultats de la dynamique hydro-érosive des bas – fonds au Niger. Il faut étudier et quantifier tous les axes et processus moteurs de la dynamique actuelle de ces bas-fonds. Cela ne serait possible qu' à travers des études typologiques et l'établissement d'une base de données sur les bas –fonds à travers le développement d'un SIG fonctionnel sur les bas-fonds et les milieux humides au Niger et intégrant tous les facteurs de la dynamique actuelle dans leur complexité. Nous pensons que l'on peut aborder cette dynamique des milieux sahéliens dans leur complexité. Ainsi des études à l'image de celle réalisée par Visser (2004) peuvent être reproduite dans le Fakara par exemple. Il ne faudrait surtout négliger des études sur la variabilité des facteurs anthropiques et enjeux socio-économiques dans l'utilisation des ressources naturelles (cas de l'étude effectuée par M. LOIREAU 1998 par exemple dans la partie centrale Est du degré carré). Ces études, une fois couplées à celle de la dynamique érosive générale seront un complément nécessaire à la production des modèles performants et fonctionnels. Les modèles de la dynamique globale serviront surtout à mieux évaluer les risques, enjeux et dangers de l'érosion sur toutes ses formes. Ils permettront de comprendre et caractériser les processus généraux de la

dynamique globale. Car à travers ce mémoire, nous pensons contribuer sur un des aspects de la dynamique érosive au Sahel. De cette analyse de l'évolution actuelle des bassins du Fakara, l'on risque d'atteindre d'ici peu un degré d'irréversibilité très menaçant pour les acteurs locaux. La généralisation des phénomènes de ravinement, suivi de mobilisation renforcée de matériaux aboutirait au développement des secteurs de bad-lands et à un rapide comblement des mares et vallées importantes. Cela aura comme conséquence l'accentuation du niveau de pauvreté et la éclatement du tissu socioculturel des populations rurales d'où crise sociale, économique voire politique et culturelle. Et comme l'a dit MOHAMMED, & MOHAMMED (2004), pour mieux appréhender ce phénomène d'envasement ou d'ensablement des barrages, retenues et cours d'eau en général, il s'impose de proposer des modèles liant les débits solides aux débits liquides à différentes échelles temporelles. L'effort de quantification des processus doit être développé surtout pour le transport solide à l'échelle des cours d'eau et ravine. Car le manque de données sur les transports solides dans les cours d'eau au Niger est un sérieux handicap. L'estimation des taux de sédimentation des retenues de barrages ou de mares, leur durée de vie nécessitent une bonne connaissance des apports solides (MOHAMMED, MOHAMMED 2004). Pour les bassins versants du Fakara, un effort de suivi régulier des bas-fonds permettra de mieux saisir les rôles et enjeux de la dynamique actuelle des bas-fonds. Cet effort sera beaucoup plus axé sur la quantification des phénomènes tant hydriques, humains et surtout éoliens. D'autre part l'étude des phénomènes éoliens s'avère primordiale car l'éolien fournit des flux de matériaux aux bassins versants et modèle certaines unités des paysages. Par exemple les fonds des ravines constituent d'importantes zones de dépôts et de départ de matériaux sablo-limoneux. En fait s'agissant de la présente étude, nous souhaitons renforcer les capacités d'analyses et de suivi régulier, par exemple coupler les études de l'érosion par les méthodes de parcelles à la présente étude (échelle du bassin versant et de la ravine) pour mieux appréhender les différents changements de variables topographiques, lithologiques, hydrologiques et humains et d'échelle. C'est à dire développer une étude de l'érosion spécifique par des méthodes et techniques finement définies et à travers différentes échelles spatio-temporelles. Pouvoir si possible spécifier la

dynamique des bassins versants et aussi changer et comparer les échelles d'études.

CHINEN (1999) a étudié les bassins versants exoréiques de Kourtéré (230 km²) et Saga Gourou (54 km²) Leur écoulement atteint le fleuve Niger. Ils sont situés aussi dans le degré carré de Niamey (13°30'N et 2°00'E). Il en fait les conclusions suivantes: malgré la baisse de la pluviométrie dans la région (depuis 1960), le ravinement s'accroît de plus en plus. Il observe une très forte occupation des sols. Les pertes de terres fertiles se généralisent par l'érosion. La sédimentation est très marquée par d'importantes masses de terres arrachées et déposées le long des deux vallées, dans les champs des dits bassins versants et surtout drainées directement dans le fleuve Niger. Il montre aussi que l'origine du ravinement est surtout liée aux déboisements causés par le besoins en bois de la ville de Niamey surtout et par la péjoration du climat. Cette évolution morpho-dynamique de ces bassins versants de Kourtéré et Saga Gourou, riverains du fleuve Niger est presque similaire à celle que nous étudions sur le Fakara. De par les processus érosifs qui commandent la dynamique actuelle, on observe la même tendance d'évolution: généralisation du ravinement et pertes en terres, ensablement des bas-fonds. Cette similitude des résultats doit interpeller tous les acteurs car à court terme, on risque au cas où rien n'est envisagé d'assister à une situation de catastrophe «éco-sociologique». Cette catastrophe risque de poser de sérieux problèmes de pertes de terres agricoles par ravinement et ensablement, de forte baisse des rendements agro-pastoraux. Mais surtout l'ensablement des cours d'eau devient de plus en plus un danger: cas du fleuve Niger, des mares et autres points d'eau importants. La ressource eau de surface risque de se raréfier, tout comme la faune aquatique, les sols humides.

Les sources de revenus seront de plus en plus réduites d'où les crises multidimensionnelles car toutes les activités socio-économiques (agriculture-élevage – pêche –artisanat-tourisme etc.) vont connaître à nouveau des impacts néfastes de la dynamique hydro-érosive actuelle et dégradante des milieux sahéliens. Cependant il faut rappeler que cette dynamique hydro-érosive récente est partie intégrante de la dynamique globale de ces milieux sahéliens du Fakara. En effet les deux dynamiques sont très liées et sont systémiques. Car à titre d'exemple, la progression rapide de la mise en valeur des terres a entraîné le développement des surfaces nues très ruisselantes. Le déboisement aussi des

versants est la cause directe de l'encroûtement. Et puis le développement des plages nues des versants du Fakara a entraîné l'augmentation du ruissellement linéaire dans les ravines. Le développement des ravines est aussi un des facteurs de la recharge et hausse de la nappe (infiltration par les fonds des ravines et mares qui se multiplient aussi) Cependant l'on peut encore chercher à comprendre comme perspectives de recherche, l'impact récent et à moyen terme de la hausse de la nappe en milieux endoréiques du degré carré. On peut voir s'il existe d'effets ou impacts inverse de la hausse de la nappe (au cas où la tendance actuelle se maintienne) sur le ruissellement, les comportements de certains végétaux, ou sur les propriétés hydrodynamiques des sols du Fakara ? Que se passerait-il une fois que les paysans des milieux endoréiques du Fakara auront bien perçu la remontée de la nappe et comment pourraient-ils en tirer profits? D'autres difficultés résident surtout dans le niveau de pauvreté des populations sahéniennes et les problèmes de mobilisation des ressources et des moyens à mettre en œuvre pour renverser les tendances d'évolution de ces milieux du Fakara. Mais il serait illusoire de penser à reboiser le Fakara au vu de la dynamique démographique galopante.

Mais dans ce contexte d'accès difficile à la ressource eau, de pauvreté du Fakara:

-Faut-il chercher à renverser la tendance actuelle (augmentation du ruissellement) ?

-Ou tirer meilleur profit de la hausse de la nappe phréatique à travers des stratégies adaptatives nouvelles (utilisation des pompes solaires ou éoliennes par exemple) ?

Nous pensons qu'il est nécessaire de changer de comportements paysans, et pratiques agro-pastorales. Ce changement de comportement ne serait possible qu'à travers une nouvelle réforme socio-culturelle et éducative. Cette réforme socio-éducative prendrait en compte les aspects écologiques de la fragilité environnementale sahénienne. C'est à dire sur la base de sensibilisation, d'informations d'éducation de base à l'école et à toutes les échelles, amener les populations rurales et urbaines vers un respect plus conséquent de l'environnement végétal surtout. A titre d'exemple, nous pensons que les casernes militaires peuvent s'adapter mieux à l'utilisation du charbon (alternative du charbon de Chirozérine, foyers ou fourneaux améliorés et gaz subventionné) qu'au bois coupé des brousses tigrées du Fakara. Et voire aussi à moyen terme,

l'utilisation plus généralisée tant dans les foyers de la ville de Niamey, et à long terme dans ceux du Fakara. Pour renverser véritablement cette tendance, nous pensons qu'une approche systémique et intégrée est indispensable. Et cette approche systémique n'est autre que la réduction des niveaux de pauvreté. Par exemple pour pouvoir généraliser l'utilisation du charbon par les foyers nigériens, la question principale serait: à quel prix? BOUBE (2005 à paraître) pose la difficulté des approches d'aménagement surtout les problèmes de choix d'échelles et de démarches d'aménagement. Ce pendant il est surtout primordial de définir les rôles des différents acteurs qui sont en jeu: Etat-Commune-Bailleurs de fond-société civile et l'acteur principal qu'est le paysan en amont comme en aval des réalisations d'aménagements.

CONCLUSION GENERALE

La morphogenèse actuelle des bassins versants étudiés est en partie dominé par l' érosion hydrique. Cette érosion hydrique se manifeste sur ces bassins versants de Wankama et Tondi Kiboro étudiés par le développement quasi général de l'érosion aréolaire sur presque tous les états de surface des bassins versants étudiés. Celle-ci traduit l'accentuation du phénomène d'encroûtement qui dressent de vastes plages de décapage des parties superficielles des sols et formations de vastes croûtes d'érosion surtout. L'érosion linéaire est la seconde forme d'érosion hydrique qui s'accroît de plus en plus par le phénomène de ravinement. L'érosion aréolaire et le ravinement des versants sont prépondérants dans les régions semi-arides et celles où le couvert végétal a été fortement dégradé. La première tend vers un abaissement, une régularisation des versants qui prennent parfois la forme d'un plan incliné (glacis). Ce dernier développe des formes très variables de collecteurs d'écoulement: On trouve une multitude de ravines de moins 50 cm et celles de plus 50 cm à 10 m de large sont les plus actives et développent des secteurs où la dégradation est plus sévèrement exprimée notamment au niveau des piedmonts des plateaux de Pourra et de Sofia. La dynamique d'évolution de ces ravines est très rapide car elles peuvent croître fortement en largeur en une crue plus ou moins exceptionnelle, à fortiori d'une année à l'autre. On observe aussi l'élargissement des berges par sapement ce qu'on appelle érosion latérale. Les accroissements de très nombreuses formes de dépôts sableux dans des zones préférentielles: bas-fond, fonds de ravines et autres secteurs à rupture de pente et la très forte évolution de ces ravines par érosion régressive car les têtes de ravines connaissent une évolution spectaculaire. Les charges solides sont importantes. Elles sont mobilisées par les eaux et déposées dans les zones préférentielles (les fonds des mares et bas-fonds, et zones de ruptures de pentes). Les comportements hydrologiques de ces petits bassins versants sahéliens expriment bien une forte sensibilité des écoulements au changement environnemental et à la péjoration climatique. Cette péjoration climatique a certes des impacts sur ces comportements hydrologiques. Les impacts et influences de la péjoration climatique (voire le changement climatique de façon générale) sont très peu connus et des études en ce sens méritent d'être développées surtout au Sahel. Car les manifestations de ces

changements climatiques semblent déjà plus aiguës. Toutes ces formes de dégradation énumérées ci dessus sont liées à une évolution hydrodynamique actuelle. Cette évolution est la résultante directe des actions essentiellement anthropiques, la mise en culture des terres de versants et bas-fonds, les défrichements incontrôlés voire des coupes abusives et rases etc. Tout ceci aboutit à une augmentation des ruissellements et écoulements annuels (de plus de 30 à 40%) malgré la baisse générale de la pluviométrie (entre 24 à 30 %) Le taux d'occupation des terres varie entre 50 à 70 % par le système jachères-cultures. Cette mise en culture et les mauvaises pratiques socio-écologiques sont la conséquence directe de l'explosion démographique tant dans le Fakara que dans l'ensemble du pays ou même à l'échelle du Sahel. L'augmentation des ruissellements et les très forts débits solides qu'ils charrient, modifient constamment les formes hydrogéomorphologiques, les cônes alluviaux, les fonds et les berges de ravines etc. Cette augmentation de débits liquides et solides est à l'origine du développement des mares dans les fonds de vallée de Dantiandou. Cela est effectivement lié au système de distribution endoréique de l'eau de surface. On observe des modifications topographiques des fonds de vallées principalement les niveaux de base de ces ravines. Ces niveaux de base évoluent et peuvent se déplacer d'une année à l'autre et à l'échelle de plusieurs années mais aussi à celle de la crue. Dans ces zones endoréiques, les mares se multiplient de plus en plus, d'autres se comblent encore. Ce développement de mare et le ravinement qui se généralise, multiplie ce que LEDUC & KARBO (1994) et FAVREAU (2000) ont appelé les points bas très in filtrants, fonds de mares, de ravines et zones d'épandages sableuses. Cependant et de façon plus générale, l'on risque d'aboutir vers une évolution irréversible des paysages du Fakara à moyen et long terme car l'encroûtement et le ravinement se manifestent à toutes les échelles. Ceci est encore accentué par le niveau de pauvreté de plus en plus drastique et des alternatives de développement peu durables.

BIBLIOGRAPHIE

1. ABDOU, N. (1993), Dégradation de bas fonds et perspectives de mise en valeur: cas de WI-WI (Magaria), mémoire de maîtrise géographique, Université de Niamey, 173 p.
2. AMANI, A. et N'GUETORA, M. (2002), Evidence d'une modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Niamey, IN VAN LANEN, H DEMUTH S (Eds) Friends 2002 regional hydrology: bridging the gap between research and practice. Proc of Conf. Cap Town, SA. IAHS pub 274, pp 449-456.
3. AMBOUTA, J. M. K (1994), Etude des facteurs de formation d'une croûte d'érosion et de ses relations avec les propriétés internes d'un sol sableux fin, Thèse –Ph-D, Université Laval, 97p.
4. AMBOUTA, J. M. K (1997), Définition et caractérisation des structures de végétation contractée au Sahel: cas de la brousse tigrée nigérien. In D'HERBES, J. M. & al. 1999, Fonctionnement et gestion des écosystèmes contractés sahéliens, John Libbey Eurotext, Paris, pp 41-57.
5. AMBOUTA, J. M. K., BOUZOU M. I. et OUSMANE, S. D. (2000), Réhabilitation de jachère dégradée par les techniques de Paillage et de Zaï au Sahel. In FIORET, C. & PONTANIER R., LA JACHERE EN AFRIQUE TROPICALE – ROLES, AMENAGEMENTS, ALTERNATIVES. Volume N°1, Actes du séminaire international Dakar – CEE-IRD-CORAF-JL-CTA –CRDI-CIR-UNESCO-CF, pp 751-759
6. ATLAS AGRHYMET (1998), Atlas en dix volumes, centre AGRHYMET, Niamey, Niger.

7. ATTARI, B. (1997), Le Schéma Directeur d'Approvisionnement en bois de la ville de Niamey, In D'HERBES J. M & al1997, Fonctionnement et gestion des écosystèmes contractés sahéliens, John Libbey Eurotext, Paris, pp25-37.
8. AUDRIN M. (2005), L'érosion au Sahel: Etude de l'infiltrabilité des sols d'un bassin versant nigérien, mémoire de fin d'études, ISTOM, 76p.
9. BELLEUDY P., (2001), Le transport solide en rivière: Lacunes de connaissances et besoins méthodologiques, INP Grenoble, Mémoire de recherche, diplôme d'habilitation à diriger les recherches, PDF, 77p.
10. BENDER H. OUSSEINI I. (2000), Les bas-fonds aux Niger. Transferts d'expériences. PCGES, ETH, 113p.
11. BOUBE CHAYAYA A. (2005 à paraître), Effets préliminaires des ouvrages anti-érosifs sur l'ensablement du fleuve Niger dans le secteur de Niamey et proposition d'une méthodologie de lutte, mémoire de DEA en géographie, FLSH, Université de Niamey, 50p.
12. BOUZOU MOUSSA I., (1988), L'érosion dans la vallée de Keita (Adar, Niger), thèse de Géographie, Institut de Géographie Alpine, Université J-Fourier Grenoble, 248p.
13. BRAVARD JP. & FRANÇOIS P., (1997), Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial, Armand Colin, Masson, 221p.
14. BUREAU CENTRAL DU RECENSEMENT. (2004a) Note de présentation des résultats définitifs du RGP/H-2001. République du Niger, Ministère de l'Economie et des Finances, Secrétariat Général, 10p.
15. BUREAU CENTRAL DU RECENSEMENT. (2004b), FICHER REPERTOIRE VILLAGES DU NIGER. RECENSEMENT GENERAL DE LA

- POPULATION ET DE L'HABITAT 2001. République du Niger, Ministère de l'Economie et des Finances. BCR.
16. CAMPY, M. & MACAIRE, J-J. (1989), Géologie des formations superficielles, Géodynamique-Faciès –Utilisation. Masson 433 p.
 17. CASENAVE A. et VALENTIN C., (1989), Les Etats de surfaces de la zone sahélienne: Influence sur l'Infiltration. ORSTOM, Paris, Collections didactiques 229p.
 18. CHEBBANI R., KADDOUR D., ROOSE E. (1999), Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin de l'Isser. In Bulletin du réseau Erosion, N° 19, IRD, CTA, Montpellier, pp85-95.
 19. CHINEN, T. (1999), Recent accelerated gully erosion and its effects in dry savana, southwest of Niger. IN HORI. N: Human Response to Drastic of Environments in Africa. Tokyo Metropolitan University, pp67-102.
 20. CHOLLEY, A. (1957), Recherches géomorphologiques éditions A. Colin p5-19.
 21. COLLINET, J., (1988), Etude expérimentale de l'érosion de sols représentatifs de l'Afrique de l'Ouest (1) Présentation des sites expérimentaux. Méthodes et identification des processus élémentaires. Analyse et comparaison des régimes de ruissellement. Cahiers ORSTOM, Série pédologie., Vol. XXIV, N°3, pp235-254.
 22. DEGOUTTE G., (2004), Hydraulique, morphologie et dynamique fluviale, ENGREF, Formation GREF1, PDF, 24 p.
 23. D'HERBES. J. M., COURRAUT. D., TIMOUK. F., VALINTIN C. (1992), Spatio-carte des états de surface du degré carré (Hapex Sahel) ORSTOM, Programme Hapex/SALT., CD. ROM HAPEX SAHEL, N° 4.

24. DELWAULLE JC. (1973), Résultats de six ans d'observation sur l'érosion au Niger. Bois et
25. DESCONNETS J-C. & al (1996), Les processus de redistribution des eaux en région sahéenne: l'hydrologie dans l'expérience HAPEX-SAHÉL. In L'hydrologie tropicale, Géoscience et outils pour le développement (Actes de conférence de Paris, mai 1995)-IAHS Publ N° 238.
26. DESCONNETS J-C., (1994), Typologie et Caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahéen (Niger-degré carré de Niamey) Thèse Université Montpellier II, 326p.
27. DESCONNETS J-C et al., (1991), Etude des zones endoréiques en milieu sahéen, rapport de campagne 1991 et premiers résultats, HAPEX II Sahel-ORSTOM, Programme <<Suivi des mares de plateau et de bas-fond>>, PDF, 36p.
28. DESCROIX L. AMOGU O. LEBRETON E., ALZOUMA I., MAMADOU I., BESNIER A. L., DEIDHOU A. LEBEL T.-2005-Silting up of Niger river channel in Niger: a consequence of land use change. IRD, AMMA, CNRS, LTHE, University of Niamey, University Paris VIII, IAHS Congress, Symposium1, Foz do Iguacu.
29. DIALLO, D., ORANGE, D., ROOSE, E. (2000), Potentiel de production de sédiments dans le bassin versant de DJITIKO, Zone soudanienne au Mali. In Bulletin Réseau Erosion N°20, IRD, GTZ, Montpellier, pp 54-66.
30. DIEDHIOU A (2005), AMMA: un plan d'action africain, Science du Sud –Le journal de l'IRD –n°32-novembre/décembre p5.
31. DIEDHIOU A & al (2002), AMMANET: L'initiative africaine dans AMMA, [http: //www. ird. ne/ammanet/](http://www.ird.ne/ammanet/)

32. DOUKA, I. (2005), Promotion de la culture de sésame dans le Fakara: cas de
33. Danctiandou. mémoire d'ingénieur des techniques agricoles, Faculté d'agronomie, Université Abdou Moumouni, MDA /ICRISAT/PAD, 44p.
34. DUBATH M. & BENDER H. (1991), Rapport PCGES, Erosion en Griffes à Etahas, Institut für Geotecnik, ETHZ Zürich.
35. DUBOIS D. & LANG J. (1984), Etude lithostratigraphique et géomorphologique du continental Terminal et du Cénozoïque Inférieur dans le bassin des Iullemmendens (Niger) Extrait du bulletin de l'Institut fondamentale d'Afrique Noire Tome 43, série A, N°1-2-j, Dakar IFAN, 42p.
36. ESTEVES M., GUALDE R., LAPETITE J M., (1993), Bassins versants expérimentaux. Rapport de campagnes hydrologiques 1991 et 1992. Projet HAPEX-SAHEL. Multigraphie, 42 p, + annexes ORSTOM Niamey, Niger.
37. ESTEVES M., LAPETITE J-M. (2003), A multi-scale approche of runoff generation in a Sahelian gully catchment: a case study in Niger. In CATENA 50, pp. 255-271.
38. ESTEVES M.-LENOIR F. (1994), Cartographie d'unités hydrologiques homogènes et modélisation hydrologiques. Exemple de l'expérience HAPEX – SAHEL. In HOEPFFNER M. LEBEL T.-MONTENY. B.- Interactions SURFACES CONTINENTALE /ATMOSPHERE. L'expérience HAPEX-SAHEL, Actes des XIème journées hydrologiques Montpellier, ORSTOM, pp4463-473.
39. FAVREAU G. (2000), Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au Sahel. THESE Université Paris XI, ORSAY,
40. FLORET C. & PONTANIER R. (1999), La jachère en Afrique Tropicale- Rôles-Aménagement –Alternatives. Vol1, Actes du séminaire International,

Dakar –CEE, CORAF, IRD, JL, CTA, CRDI, CIRA, UNESCO, CF, 777p,
Forêts des Tropiques, N°150, pp13-37.

41. GEORGE, P. (1974): dictionnaire de géographie. PUF, Paris, P451.
42. GERARD, R. (1990), L'Eau et les Sols dans les Géosystèmes Tropicaux, Masson 217p.
43. HEUSCH, B. (1975), La conservation des eaux et des sols dans la haute vallée de Keita. SOGREAH. Grenoble / Niger, Ministère de l'Economie Rurale p24.
44. HOEPPFNER, M., LEBEL T., MONTENY B. (1994), Interactions SURFACES CONTINENTALE /ATMOSPHERE, L'expérience HAPEX-SAHEL. Actes des XIème journées hydrologiques Montpellier, ORSTOM, 763p.
45. IBOURAIMA, S. (1983), Etude cartographique de la dynamique actuelle de l'Adar de Kawara à Galmi (Niger) Grenoble1, 144p.
46. ILRI/ ICRISAT (2000), Base de données ILRI/ ICRISAT 2000.
47. IRD AMMA. (2004), La Mousson Africaine. AMMA, Un Programme International et Multidisciplinaire. IRD, 154, RC Paris B 334 184 702.
48. KARAMBIRI, H. (2003), Importance of soil surface characteristics on water erosion in a small grazed Sahelien catchment. Hydrological Processes. 17, pp1495-1507.
49. KIETA. F., (2003), Impact de la dégradation du bassin versant sur la mare de SORMO, mémoire de fin d'études, CRESA, Université Abdou Moumouni, UICN, 56p.

50. LAMACHERE JM. & SERPANTIE G., (1998), Valorisation agricole des eaux de ruissellement sur champs cultivés en mil en zone soudano-sahélienne (Burkina Faso, province du Yatenga, région de Bidi) In Bulletin Réseau Erosion N°18, IRD, Montpellier, pp 133-151.
51. LAMACHERE, J-M., (2000), Transports solides à l'exutoire d'un bassin sahélien (région de Bidi-Burkina Faso) In Bulletin du Réseau Erosion N°20, volume 2, IRD, GTZ, Montpellier, pp112-126.
52. LEBEL T., AMANI A., TAUPIN JD. (1994), La pluie au Sahel: Une variable rebelle à la régionalisation. In HOEPFFNER M.-LEBEL T.-MONTENY. B.- Interactions SURFACES CONTINENTALE /ATMOSPHERE. L'expérience HAPEX-SAHEL, Actes des XIème journées hydrologiques Montpellier, ORSTOM, pp353-372.
53. LEBEL T., TAUPIN JD. & D'AMATO, N., (1997), Rainfall monitoring during HAPEX-SAHEL. 1. General rainfall conditions and climatology, J. Hydrol. 188-189, 74-96.
54. LE-BRETON E. (2004), Etude de l'érosion hydrique dans un bassin versant du Sahel. Typologie du bassin de Wankama et description des phénomènes érosifs, Degré carré de Niamey, Niger. IRD, Université Paris 8, p77.
55. LEDUC C., FAVREAU G. & SCHROETER, P (2001), Long-term rise in a Sahelian water-table: the continental terminal in south-west Niger. J. Hydrol. 243, pp 43-54;
56. LEDUC. C et KARBO A. (1994), Variabilité spatio-temporelle de l'impact de l'infiltration sur la nappe phréatique du Continental Terminal. IN: HOEPFFNER M.-LEBEL T.-MONTENY B, Interactions SURFACES CONTINENTALE /ATMOSPHERE, L'expérience HAPEX-SAHEL, Actes des XIème journées hydrologiques Montpellier, ORSTOM, pp383-399.

57. LOIREAU & al. (2000), Evolution et place de la jachère à travers une analyse spatiale des interactions Ressources – Usage au Sahel agropastoral nigérien. In: FIORET C. & PONTANIER R., LA JACHERE EN AFRIQUE TROPICALE – ROLES, AMENAGEMENTS, ALTERNATIVES. Volume N°1, Actes du séminaire international Dakar – CEE-IRD-CORAF-JL-CTA –CRDI-CIR-UNESCO-CF pp32-42.
58. 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, 411p.
59. MAHE G. (1993), Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité inter annuelle, analyse de situations hydro-climatiques moyennes et extrêmes. Ed ORSTOM, coll. Etude & thèses, Paris N° 63, 438 p.
60. MAHE G., LEDUC C., PATUREL J. E., GIRARD S., SERVAT E., DEZETTER A. (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 (SERVAT E., NAJEM W., LEDUC C., AHMED S., Sci. Eds) Proceedings of the International Conference, Montpellier, IAHS Publication N° 278, pp215-222.
61. MAMADOU, I. (2001), Dégradation des Bas fonds et stratégies adaptatives paysannes en gestion des ressources naturelles: Cas du lac Madarounfa, Région de Maradi, Niger. Mémoire de Maîtrise géographie physique, Université Abdou Moumouni, 114p.
62. MASSON, M. & al. (1996), Cartographie des zones inondables. Approche hydrogéomorphologique, Ministère de l' Equipement des Transports et du Tourisme, DAU, Ministère de l' Environnement, DE, DPPR, 100 p.
63. MASSUEL. S., al., (2003), Infiltration profonde à travers une zone d'épandage sableuse de versant au Niger semi-aride: évidence par

- modélisation hydrologique et reconnaissance géophysique, UMR Hydrosociences, IRD, PDF, 4p.
64. MICROSOFT CORPORATION, (2004), Atlas Encarta 2004, Microsoft Corporation 1993-2003.
65. MIETTON, M. (1980), Recherches géomorphologiques au Sud de la Haute – Volta. La dynamique actuelle dans la région de PO-TEBELE, thèse de troisième cycle, Université Grenoble 1, UER de Géographie, 235p.
66. MOHAMMED A., MOHAMMED M (2004), Estimation du transport solide dans le bassin versant de l'oued Haddad (Nord Ouest algérien) In Sciences et Changements planétaires/ Sécheresse. Volume 15, 367-73, p8.
67. MOREL A. (1999), Erosion et Aménagement dans les régions de montagnes au Nord et au Sud du Sahara: Etude comparée In Bull du réseau Erosion 19-L'influence de l'homme sur l'érosion, Vol 1, IRD, CTA, pp26-36.
68. MOUSSA, M S. (2004), Genèse et morphodynamique actuelle des bas-fonds sahéliens: Caractérisation du bas-fond Goubé dans le degré carré de Niamey, mémoire de maîtrise géographie, Université Abdou Moumouni, 80p.
69. NEBOIT G. R. (2001), Les eaux continentales, cours d'agrégation de géographie. 405, Dragnignan, centre de Vannes, référence Z. 6231. T. 01, chapitre I, 65 p.
70. OUEDRAGO P. (1997), Rôle des termitières dans la structure et la dynamique d'une brousse tigrée sahélo-soudanienne, thèse de l'université Paris 6, 282p.
71. OUSMANE B., MAGA H., & GUERO Y., (1988), Lutte contre l'ensablement du fleuve Niger: Etude pour le traitement des koris et de la mise en valeur

- des mares dans le département de Tillabery (arrondissements de Tillabery et Kollo) Rapport d'étude Ministère du Plan et Université de Niamey, 84p.
72. OUSSEINI I. (1986), Etude de la répartition des formations sableuses et interprétations des dépôts éoliens dans le Liptako oriental (république du Niger) Thèse de 3e cycle, Mémoire science de la terre, Université Pierre et Marie curie, Paris, 235p.
73. PAFN, Assistance technique CIRAD Foret/Louis Berger, (2003), Plan d'aménagement du complexe forestier de Marigouna Bella, Sambera et Kigoudou Koira (Dosso), MH/E/LCD/DE/PAFN, 76p.
74. PEUGEOT C., ESTEVES M., RAJOT JL, VANDERVAERE JP GALLE S., (1997), Runoff generation processes: results and analysis of field data collected at the central supersite of Hapex –Sahel experiment. J. Hydrol. 188-189 (1-4), 179-202.
75. PEUGEOT C. (1995), Influence de l'encroûtement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un versant sahélien (Niger)-Expérimentation in situ et modélisation. Thèse Université Joseph Fourier-Grenoble, 356p.
76. PLANCHON O. & VALENTIN C. (1999), Croissance démographique et dégradation des sols en Afrique de l'Ouest, In Bulletin Réseau Erosion 19, IRD, CTA, pp157.
77. PROGRAMME DYNAMIQUE ET GESTION DES BAS-FONDS SAHÉLIENS., (2003), Projet de recherche dynamique et gestion des bas-fonds sahéliens, UAM, 19 p.
78. RADIER, H., (1953), Contribution à l'étude stratigraphique et structurale du détroit soudanais, Bull. Soc. Géol. Fr., 6e série, tome 3.
79. RAJOT, JL. (1999), Bilan de masse de l'érosion éolienne à l'échelle d'un terroir sahélien: Rôle de jachères In: FIORET C. & PONTANIER R., LA

- JACHERE EN AFRIQUE TROPICALE – ROLES, AMENAGEMENTS, ALTERNATIVES. Volume N°1, Actes du séminaire international Dakar – CEE-IRD-CORAF-JL-CTA –CRDI-CIR-UNESCO-CF, pp155-162.
80. RAJOT, J-L. (1999), Rapport de campagne de la manip EROSION EOLIENNE à Banizoumbou-Niger du 15 Mai au 2 juin 1993. Orstom, 5P.
81. RAMADE, F., (1998), Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Edisciences International, Paris, 780 p.
82. RESEAU DES DONNEES SUR L'EAU DU BASSIN RHÔNE MEDITERRANEE CORSE, (1999), Site du [http://www. environnement. gov. fr/rhoneaples/bassin_rmc/rdbrme/glossaire/transsol...](http://www.environnement.gouv.fr/rhoneaples/bassin_rmc/rdbrme/glossaire/transsol...)
83. RODIER, J A. (1975), Evaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel Tropical Africain. Collection: travaux et documents de l'ORSTOM 121p.
84. RODIER, JA., (1964), Régimes hydrologique de l' Afrique noire à l'Ouest du Congo, mémoire ORSTOM, Paris, 295 p.
85. ROGNON, P., (1989), La Désertification du Sahel<<le courrier du CNRS: Recherches sur l'Environnement>> N°72, 22 p.
86. RONGICONI, L. (2004), Instrumentation d'un bassin versant en région sahéenne (Wankama au Niger), rapport de stage en entrepris. IRD Niamey, 20p.
87. ROOSE E (1967), Etude et Travaux: Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. In Agronomie Tropical N° 22, pp123-152.
88. ROOSE E. (1971), Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur le plateau Mossi (Haute Volta) ORSTOM, centre d'Adiopodoumé, 22p.

89. ROOSE E. (1987), Gestions, Conservation des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique Occidentale, Stratégies anciennes et nouvelles. Séminaire ICRISAT-INRAN, Niamey, 24p.
90. ROOSE E. (1999), Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) Bulletin Pédologique de la FAO N°70, FAO / IRD, Montpellier, 420p.
91. ROOSE E., CHEBBANI R., BOUROUGAA L. (1999), Ravinement en Algérie. Typologie, Facteurs de contrôle, Quantification et Réhabilitation. In Bulletin du réseau Erosion N°19, IRD, CTA, Montpellier, pp122-138.
92. ROSELT/OSS (2004), Guide ROSELT/OSS pour l'évaluation et le suivi des pratiques d'exploitation des ressources naturelles, 113p.
93. ROOSE. E (1985), Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical Conséquences sur les méthodes anti-érosives. In Machinisme Agricole Tropical N 87 pp4-18.
94. ROUSSEL B., LUXEREAU A. (1997), Changements écologiques et sociaux dans la région de Maradi au Niger. Paris, l'Harmattan, 239P.
95. RUTISHAUSER W. & BENDER H. (1995), Bilan de l'eau souterraine de la région d'Amakos/Tamazalak. Programme Gestion et Conservation des eaux et des Sols au Niger (PCGES) Institut de Génie Rural, ETH, Zurich.
96. SCHENHER A. (1973), Résultats de six ans d'observations sur l'érosion au Niger. In Revue BOIS et FORETS des Tropiques N°150, pp15-37.
97. SEGHIERI. J., CAPPELAERE B., PEUGEOT. C., LEDUC. C., MILESI. G.. (2003), Influence de la sécheresse et du défrichement sur les écoulements d'un petit bassin sahélien. Montpellier, AISH, 11 p.

98. SEGHIÉRI. J., GALLE. S., RAJOT. JL., (1994), La brousse tigrée dans le Sahel Nigérien: Etude de la co-fluctuation du stock hydrique et de la végétation annuelle. In Hoepffner M.-LEBEL, T.-MONTENY. B.-Interactions SURFACES CONTINENTALE /ATMOSPHERE. L'expérience HAPEX-SAHÉL, Actes des XI^{ème} journées hydrologiques Montpellier, ORSTOM, pp123-141.
99. SEGUIS L., et al., (2003), Influences de la sécheresse et du défrichement sur les écoulements d'un petit bassin sahélien, U. M. R. Hydrosociences, IRD, France, 11p.
100. SIDIKOU H. A, (1997), Droits d'usage traditionnel locaux et demande externe des populations urbaines au Niger. In D'HERBES J. M & al 1-1997-Fonctionnement et gestion des écosystèmes contractés sahéliens, John Libbey Eurotext, Paris, pp3-14.
101. THERNO, O. PLANCHON O. (1999), La dégradation des sols au Sénégal: Analyse des méthodes d'inventaire et de l'utilisation des résultats. In Bulletin Réseau Erosion, IRD, CTA, Montpellier, pp155.
102. TRICART, J., (1972), La terre planète vivante, collection SUP, PUF, Paris 183p.
103. VANDERVAERE JP., (1995), Caractérisation hydrodynamique des sols in situ par inflitrométrie à disques. Analyse critique des régimes pseudo-permanents, méthodes transitoires et cas des sols encroûtés. Thèse Université de Montpellier III. Département de Géographie. 414 p.
104. VISSER, MS., (2004), Modeling Nutrient losses by Wind and Water Erosion in Northern Burkina Faso. Tropical Resource Management Papers N°53, Wageningen University, 169p.

105. VUILLAUME, G. (1968), Premiers résultats d'une étude analytique du ruissellement et de l'érosion en zone sahélienne. Cahiers ORSTOM, Hydrologie 4 (2), p33-56 et 6 (4), pp87-132.
106. YAHAYA, S. & MAHAMANE M., (2001), Impacts des pluies exceptionnelles sur l'environnement et les infrastructures socio-économiques. Cartographie des zones à risques et propositions d'aménagement: cas du secteur Lélihi béri-Ganguel sur la rive droite aux abords de Niamey. Mémoire de maîtrise géographie physique, Université Abdou Moumouni, FLSH, 125p.

ANNEXE 1: GUIDE D'ENTRETIEN**GUIDE D'ENTRETIEN SUR LES ASPECTS HYDROGÉOMORPHOLOGIQUES ET SAVOIRS LOCAUX AUPRES DES PERSONNES -RESSOURCES****1-NOMS ET PRENOMS:****2-AGE****3-SITUATION DES CHAMPS(PAR RAPPORT A LA MARE, AU CONE, REPLATS OU A LA RAVINE) ?**

- SUR LE CONE?
- PRES DE LA MARE?
- SUR LE REPLAT?
- PRES DE LA RAVINE PRINCIPALE?

4-QUELLE ETAIT LA LARGEUR MOYENNE DE LA RAVINE PRINCIPALE, IL Y A DIX ANS? (AVANT HAPEX) ? DITES POURQUOI ?**5-CITER LES NOMS LOCAUX DE 2 OU 3 MARES NON LOIN DE VOTRE VILLAGE ET QUI SONT SITUEES DANS LE KORI DE DANTIANDOU?****6-EXPLIQUER LA SIGNIFICATION LOCALE DE CES NOMS DES MARES (ET ESTIMER LA DATE DE MISE EN PLACE)?****7-QUAND EST CE QUE LE CONE DE DEJECTION S'EST FORME?****8- D'OU VIENT CE SABLE QUI SE DEPOSE ET FORME LE CONE?****9-APPRECIER L'EVOLUTION DE LA SUPERFICIE DE LA MARE?****-IL Y A DIX AN?****-AUJOURD'HUI?****- ET EXPLIQUER POURQUOI?****10- RAPPELLER VOUS D'UN OU DES EVENEMENTS PLUVIEUX EXEPTIONNELS CES DIX DERNIERES ANNEES?**

- PRESICER LES ANNEES?

**11-ONT - T - ILS PROVOQUE DES DEGATS?
NON****OUI**

- SI OUI LESQUELS?
.INONDATIONS ET AUTRES DEGATS(DECRIRE?)

.MODIFICATIONS IMPORTANTES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE LOCALE(DECRIRE?)