



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



Avec la collaboration de
l'Institut de Recherche pour le
Développement : IRD



Avec l'appui du Réseau
d'Observatoires de Surveillance
Écologique à Long Terme :
ROSELT

MEMOIRE DE DEA

Milieus et sociétés des espaces arides et semi-arides : Aménagement-Développement

Option : Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles

Approche méthodologique pour la constitution d'une base de données pour la surveillance des systèmes hydrogéomorphologiques du bassin de Kori Dantiandou (Degré carré de Niamey)

Présenté et soutenu par **MALAM ABDOU Moussa**

Année académique 2006-2007

Sous la direction de :
BOUZOU MOUSSA Ibrahim,
HDR, Maître de Conférence, DG/ UAM
DESCROIX Luc
Chargé de Recherches à l'IRD, Niamey

Membres du jury :
Président : DESCROIX Luc
Chargé de Recherches à l'IRD, Niamey
Assesseur: WAZIRI MATO Maman
Maître Assistant, DG/ UAM

Sigles et abréviations

AMMA : Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine

Ct : Continental Terminal

DMN : Direction de la Météorologie Nationale

EPSAT : Estimation des Pluies par Satellite

ETP : Evapotranspiration Potentielle

ETR : Evapotranspiration Réelle

HAPEX-Sahel: Hydrological and Atmospheric Pilot Experiment in the Sahel

ICRISAT: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics

ILRI: International Livestock Research Institut

INRAN : Institut National de Recherche Agronomique du Niger

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

Kr : Coefficient du ruissellement

KRAM : Coefficient du Ruissellement Annuel Moyen

KRMAX : Coefficient du Ruissellement Maximum

OPS : Organisations Pelliculaires de Surface

OSS : Observatoire du Sahara et du Sahel

pH : Potentiel d'Hydrogène

RGP/H : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

ROSELT : Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme

SALT : Savanes à Long Terme

Table des matières

Avant propos	5
Introduction générale	7
Chap.1 : Cadre du travail	9
I. Cadre théorique	9
1. Problématique	9
1.1- Contexte et justification	9
1.2- Revue de la littérature	13
1-2-1. La littérature scientifique nationale	13
1-2-2 La littérature scientifique étrangère	26
1.3- Pertinence de l'étude	35
1.4- Objectifs et résultats attendus	38
1.5- Méthodologie et outils	39
1.5.1- La conception des données	39
1.5.2- La structuration des données	39
1.5.3- L'identification des relations entre les données	39
1.5.4- La collecte et l'acquisition des données	40
1.5.4.1- L'information graphique	40
1.5.4.2- L'information descriptive	41
1.5.4.2.1- L'ensemble quantitatif (ou statistique)	41
1.5.4.2.2- L'ensemble qualitatif (ou textuel)	43
1.6. Difficultés rencontrées	43
II. Présentation de la zone d'étude	44
2- Le cadre naturel	44
2.1- La géologie	44
2.2- La géomorphologie	45
2.2.1- Les plateaux latéritiques et leurs talus	45
2.2.2- Les jupes sableuses	46
2.2.3- Les bas-fonds	46
2.3- Pédologie	47
2.4- Etats de surface et occupation du sol	48
2.4.1- Les plateaux	48
2.4.2- Les jupes sableuses	49
2.4.3- Les bas-fonds	50
2.5- Hydrologie	51
2.5.1- Le réseau du drainage	51
2.5.2- Les exutoires	52
2.6- Hydrogéologie	53
2.7- Le cadre climatique	55
2.8- Le cadre humain	58
Chapitre 2 : Analyse et structuration des données	60
I- Analyses et interprétations des données	60
1.1- L'érosion	60
1.1.1- Mesure d'érosion	60
1.1.1.1. L'érosion aréolaire sur parcelles expérimentales	60
1.1.1.1.1- Erosion dans les champs cultivés	61

1.1.1.1.2 - Erosion dans les jachères. -----	63
1.1.1.1.3- Erosion sur la croûte algaire-----	66
1.1.1.1.4- Erosion sur la croûte d'érosion -----	67
1.1.1.2-Erosion linéaire dans le lit des ravines -----	70
1.1.1.2.1 - L'évolution régressive des ravines-----	70
1.1.1.2.2 - Les mesures solides (MES)-----	71
1.2- Le climat-----	76
1.2.1- Les précipitations -----	76
1.2.1.1. La hauteur de pluies. -----	76
1.2.1.2. La durée des pluies-----	77
1.2.1.3. L'intensité des pluies -----	79
1.2.1.4- La répartition spatiale des pluies-----	80
1.2.2-L'évapotranspiration -----	82
1.2.3. L'hydrogéologie-----	86
1.2.3.1. La recharge de la nappe-----	87
1.2.3.2. La nature chimique des eaux -----	90
II. La conception et structuration de la base de données-----	91
2.1. La conception-----	91
2.1.1. Identification des entités et leurs attributs -----	91
2.1.1.1. Géomorphologie -----	93
2.1.1.2. Géologie-----	93
2.1.1.3. Hydrogéologie -----	94
2.1.1.4. Climat-----	94
2.1.1.5. Hydrologie -----	95
2.1.1.6. Pédologie -----	95
2.1.1.7. Occupation du sol -----	96
2.2. Proposition d'une structuration et codification des thèmes et entités-----	97
2.2.1. Géomorphologie.-----	97
2.2.2. Géologie -----	98
2.2.3. Hydrologie-----	98
2.2.4. Occupation du sol -----	99
2.3. Quelques exemples d'interrelations des entités de thèmes différents-----	100
Conclusion et perspectives-----	103
Bibliographie -----	106
<i>Liste des tables-----</i>	<i>114</i>

Avant propos

La réalisation du présent travail participe à la consolidation d'une collaboration entre l'Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM), l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et le Réseau d'Observatoire de Surveillance Ecologique à Long Terme (ROSELT). Cette collaboration, issue d'une convention, vise à établir une coaction de collecte et exploitation des données en matière d'environnement et de gestion des ressources renouvelables en vue de la surveillance de l'évolution des écosystèmes et du fonctionnement interactif entre les populations et leurs environnements.

Le Fakara est l'un des sites où œuvrent en synergie ces trois institutions. Ce secteur géographique fait l'objet de recherches sur l'environnement et le cycle de l'eau depuis une vingtaine d'années et est couvert par un réseau de mesures hydromorphologiques et piézométriques concentré particulièrement sur la vallée du Kori Dantiandou. Selon les termes de référence initialement prévus par cette coopération, ce mémoire aboutira à la compilation d'une base de données issues de ces différentes mesures en vue de la mise en place d'un système d'information géographique (SIG). Il produira en conséquence une série de cartes (physiographique, géomorphologique, de formations superficielles, des états de surface, du réseau hydrographique, etc.) et s'étalera sur douze (12) mois pendant lesquels le ROSELT s'est engagé à financer les travaux et à former en SIG et en télédétection le mémorant. Mais, ce soutien financier et technique n'ayant pas été effectivement acquis (réduit seulement à six mois et sans recyclage en SIG et en télédétection), le travail s'est donc limité à la proposition d'une approche méthodologique pour la constitution de la base de données.

Nous tenons à la fin de ce celui-ci à remercier tous ceux qui ont contribué à sa réalisation. Nous nous adressons en particulier à :

Mr BOUZOU MOUSSA Ibrahim, notre encadreur qui, malgré ses occupations a accepté de diriger ce mémoire et de nous être toujours disponible. Qu'il trouve là l'expression de notre reconnaissance ;

Mr DESCROIX Luc pour son encadrement, mais aussi pour nous avoir facilité l'accès à la banque de données hydrogéomorphologiques de l'IRD ;

Mr WAZIRI MATO Maman pour ses encouragements et pour avoir accepté d'être l'examineur de ce travail ;

Tout le personnel de l'IRD, ceux de l'équipe hydrologie en particulier : MAMADOU I, BOUBACAR I, LE-BRETON E, RAMIER D, BOUKRAOUI S, KONE A, BODO S ; aux documentalistes RAMATOU et HADJARA aussi.

Au personnel du ROSELT pour nous avoir soutenu financièrement dans la réalisation de ce mémoire ;

Au personnel du département de Géographie et Géoconseil ;

A toute ma famille : MALAM ABDOU, Mr et Mme TAMPONE IBRAHIM, mes frères et chers cousins et cousines : BOUKARI, IDI, KAMSA, CLAUSTRE, RAMATOU ;

Aux amis et frères de la faculté des lettres et sciences humaines : ELH. MOUSSA S, ABBA B, MAMAN I, AFFANE A, MARI ABDO, BOUBACAR A, IBRAHIM S, KANANATA A. K;

Nous tenons enfin à remercier tous ceux qui nous ont soutenu et encouragé pour mener à bien ce travail.

Introduction générale

Le contexte environnemental et socio-économique actuel du Niger devient une préoccupation de plus en plus majeure pour tous les acteurs politiques. L'enjeu de la dégradation de l'environnement était très tôt perçu par les chercheurs et quelques cadres techniques. Cette dégradation a de nos jours tendance à être non pas simplement un problème environnemental mais aussi et plutôt socio-économique, objet d'intervention de plusieurs structures locales ou régionales de développement. Cette réaction est certes consécutive à quelques crises majeures observées à l'échelle nationale (crise alimentaire de 1974, 1984..., appauvrissement du sol, désertification...), mais elle est surtout influencée par l'actualité environnementale internationale.

La communauté internationale est en effet unanime que l'environnemental et le socio-économique (ces expressions sont aujourd'hui considérées comme les piliers du développement durable) sont liés et qu'on ne peut agir sur l'un sans que les conséquences ne se font sentir sur l'autre.

Beaucoup d'auteurs l'ont justement prouvé au Niger (LOIREAU, 1998 ; EVANS, 2003 ; BOUZOU, 2000 ; MAHE, 2002 ; DESCROIX, 2007...) pour qui, les conséquences environnementales actuellement observées ne sont que le résultat des changements d'usage des sols et des aménagements opérés par l'homme il y a de cela quelques années. L'une de ces conséquences, connue aujourd'hui sous le nom de « paradoxe de Niamey » est mise en évidence très récemment. Qu'est ce que le paradoxe de Niamey ?

L'accroissement des ruissellements observé en zone sahélienne du fait de la dégradation de la végétation se traduit dans les secteurs endoréiques par un accroissement du nombre de mares, de leur extension et de leur durée. Ceci a pour conséquence une montée du niveau de la nappe phréatique car les mares constituent les principales zones de recharge. Ce rehaussement du niveau de la nappe malgré la baisse des pluies est appelé « paradoxe de Niamey »

Notons que ce rehaussement n'est observé pour l'instant qu'en zone sahélienne et endoréique du degré carré de Niamey.

Les conséquences de ces processus hydrologiques ont donc largement dominé notre thème de recherche et de ce fait, deux principales idées sont développées tout au long du travail.

- le paradoxe de Niamey est mis en évidence tout récemment, mais fait déjà poser des questions sur ce que pourrait être la situation hydrologique et environnementale future. Ce processus, est-il réversible ou non ? durable ou non ? est-il une situation hydrologique positive ? quelles sont ces répercussions sur l'environnement ...?

Il s'est dès lors posé la nécessité d'un suivi régulier de tous les facteurs hydrogéomorphologiques ou non, qui influencent ce processus. Et, présentement, plusieurs données, d'échelle spatiale et temporelle différentes sont disponibles.

- mais en disposant d'une banque des données disparates, comment doit-on les arranger, les harmoniser, les agencer afin qu'elles soient uniformes et utilisables à des fins hydromorphologiques ?

C'est en cela que s'évertue ce travail. Sont d'abord analysées et interprétées quelques données disponibles afin de décrypter leurs liaisons, leurs influences sur le processus hydrologique actuel. Il est ensuite donné la proposition d'une approche méthodologique de la constitution d'une base de données hydrogéomorphologique.

Le bassin versant de Dantiandou constitue le champ d'investigation principal. Il s'étend sur plus de 5000 km². Mais pour des questions méthodologiques, nous nous sommes limités à une petite fenêtre de ce bassin comprenant les deux super-sites d'observation de l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), Banizoumbou et Wankama en l'occurrence.

Chap.1 : Cadre du travail

I. Cadre théorique

1. Problématique

1.1- Contexte et justification

La dégradation du réseau hydrographique est l'une des caractéristiques hydrologiques générales du milieu sahélien. En dehors du fleuve Niger et du fleuve Sénégal à écoulement permanent dont les principales alimentations proviennent des zones humides guinéennes, l'ensemble du réseau hydrographique est dégradé et est composé par des vallées fossiles et d'un réseau de cours d'eau à écoulement saisonnier ou temporaire.

Au Niger, le seul cours d'eau pérenne est le fleuve qui traverse l'Ouest du pays. Cette partie du territoire peut être subdivisée en deux grandes régions naturelles tant du point de vue géologique qu'hydrologique (**carte 1**). À l'ouest du fleuve, c'est le domaine du socle du Liptako et du Gourma que drainent les sept affluents significatifs du fleuve Niger (cours d'eau exoréiques) et les réseaux secondaires qui leurs sont rattachés. À l'Est, c'est le Bassin sédimentaire des Iullimmeden caractérisé morphologiquement par des larges vallées à faible pente héritées des périodes humides du Quaternaire aujourd'hui fossilisées (les Dallols). Il n'existe pas alors de cours d'eau significatifs, même temporaires. La structure hydrologique de ces vallées est composée d'une multitude de systèmes endoréiques de l'ordre du km² (DESCONNETS, 1994) qui, au cours de la saison des pluies se traduisent par l'apparition de multiples zones de concentration et de stockage des eaux.

Dans la région de Niamey, plusieurs études (DESCONNETS, 1994, DESCONNETS *et al.* 1997 ; COSTE, 1998 ; LE-BRETON, 2004 ; MASSUEL, 2005 ; MAMADOU, 2006...) ont fait état des transformations continues de ces mares qui se caractérisent soit par des phénomènes de capture, d'ensablement, soit des débordements pouvant engendrer la jonction des mares lors des forts épisodes pluvieux. Cet état actuel de dégradation, observé tant à l'échelle locale que régionale semble résulter de plusieurs facteurs :

- le Sahel subit depuis le début des années 1970 des conditions climatiques beaucoup plus sèches que celles qu'il a pu connaître durant les années

antérieures. Or l'insuffisance des précipitations, lorsqu'elle se prolonge sur un certain nombre d'années consécutives comme cela fut le cas sur l'ensemble de la bande sahélienne, laisse de lourdes séquelles caractérisées par une importante modification de structure des sols et de la végétation ;

- les changements d'usage ou de gestion des ressources naturelles renouvelables. Outre les effets climatiques, l'écosystème sahélien subit des modifications récentes et plus ou moins profondes, résultats des interactions entre ressources et usages.

De la conjoncture concomitante de ces facteurs, ont résulté des conséquences hydrogéomorphologiques suivantes que certains auteurs qualifient de récentes :

- une augmentation des débits de ruissellement dans les petits bassins versants. La dégradation du couvert végétal engendre l'encroûtement des sols par la fermeture des pores d'infiltration, d'où l'accélération des ruissellements ;
- une augmentation des débits solides consécutive à l'augmentation des ruissellements. Les bassins versants sont envahis par de grandes quantités de sables provenant des transports hydriques et éoliens ;
- une hausse du niveau de la nappe phréatique dans les bassins versants endoréiques. La multiplication des mares et l'augmentation des ruissellements engendrés par les modifications environnementales sont à l'origine de la recharge (FAVREAU, 2000).

C'est dans ce contexte que se réalise dans la région de Niamey et probablement sur une partie plus étendue des secteurs endoréiques du bassin sédimentaire des Iullimmeden, le circonstanciel processus hydrologique connu désormais sous l'expression de « paradoxe de Niamey » caractérisé par la coexistence d'un rehaussement du niveau de la nappe phréatique malgré la baisse structurelle des précipitations observées depuis les années 1970.

Afin de bien comprendre et suivre à long terme ces modifications hydrogéomorphologiques et environnementales, le but de cette étude sera de mettre en place un système d'information géographique (SIG). DESCONNETS *et al.* (1996) ont d'ailleurs proposé comme perspective la mise en place d'un système d'information géographique pour la compréhension des processus hydrologiques à

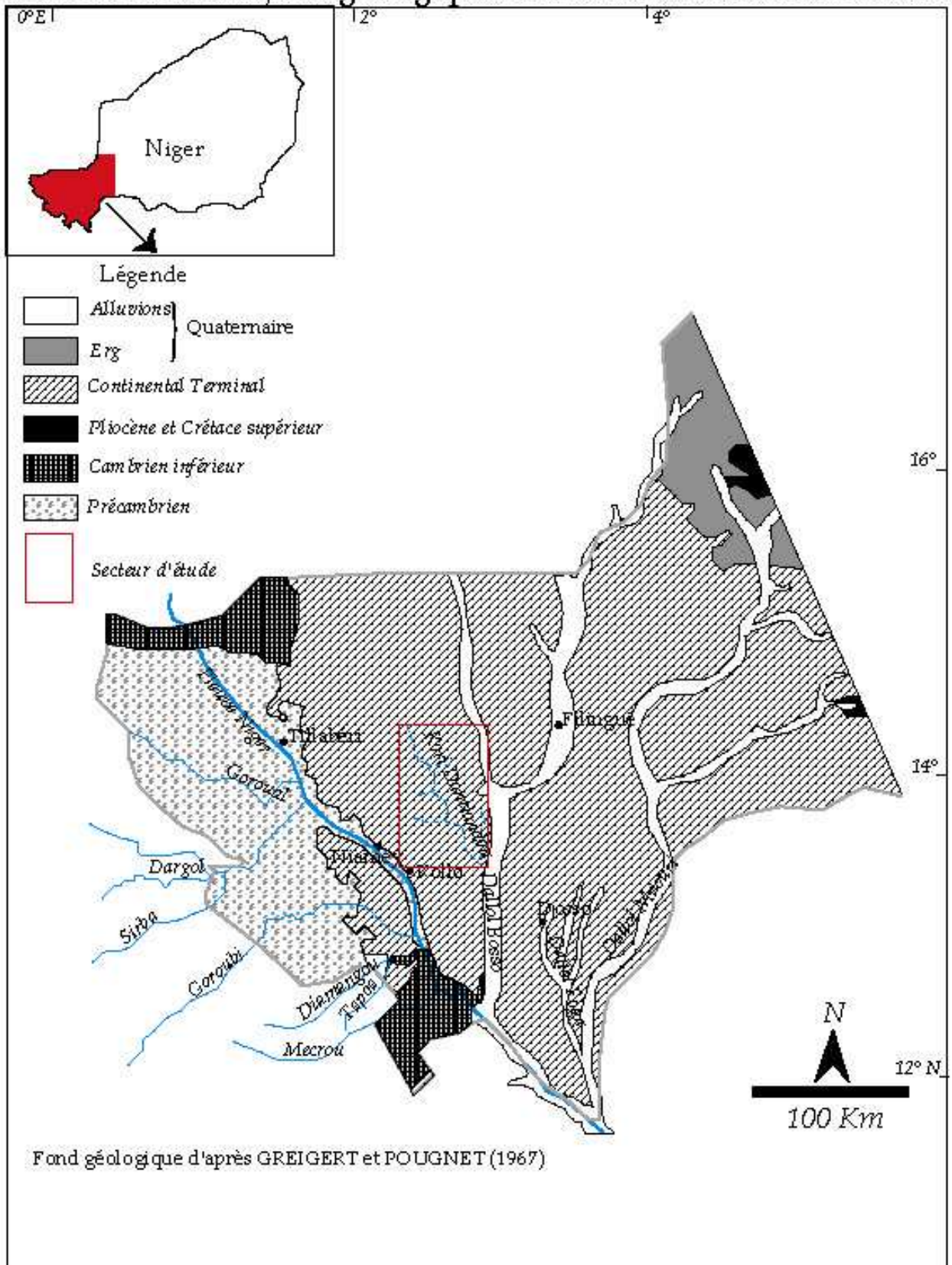
l'échelle des systèmes endoréiques. Cela permettra d'une part de gérer les données hydrologiques cartographiques et satellitaires. D'autre part, il favorisera la mise en commun des produits scientifiques élaborés tel que les champs pluviométriques et piézométriques et surtout, il donnera la possibilité d'organiser une approche commune pour intégrer l'ensemble des résultats obtenus aux différentes échelles spatiales.

Or la mise en place d'un **système d'information géographique** suppose au préalable la constitution d'une base de données localisées et bien structurées. C'est dans cette perspective que s'inscrit particulièrement ce travail. La base de données constitue en effet le socle sur lequel repose le SIG pour analyser et exploiter les données.

Comme le dit DE WISPELAERE (1998), la pertinence et la qualité des informations recueillies, les relations existantes entre les données (modèle conceptuel), la compréhension des mécanismes nécessiteront une parfaite connaissance des réalités thématiques. Donc, traiter d'un SIG d'hydrologie, c'est d'abord connaître les mécanismes inter relationnels de cette discipline avec les domaines qui lui sont connexes car les données qui serviront la base, la charpente du système seront diverses et variées issues d'informations géomorphologiques, hydrologiques, hydrogéologiques, climatiques, humaines...

Les principaux facteurs (de thèmes très variés) ayant présidé aux modifications des cycles hydrologiques et le b.a.-ba sur la constitution de base de données ont fait l'objet d'une revue de la littérature.

Carte 1 : Contexte hydro-géologique et localisation du secteur d'étude



1.2- Revue de la littérature

Ayant fait l'objet de nombreuses investigations scientifiques et expérimentales par divers programmes ou organismes (HAPEX-SAHEL¹, EPSAT², GESTION ET AMELIORATION DE LA JACHERE EN AFRIQUE DE L'OUEST³, IRD-AMMA⁴, ROSELT-OSS⁵...), l'Ouest nigérien et le Fagara particulièrement dispose de suffisamment d'informations géographiques homogènes collectées tant sur le milieu naturel, son utilisation, les ressources renouvelables que sur les indicateurs de développement. Il nous serait donc illusoire et même préjudiciable d'entreprendre une étude dans cette zone sans passer en revue les acquis disponibles. Il s'agit à la fois d'éviter les redondances et de faire progresser les connaissances par l'intégration des résultats déjà obtenus auparavant.

1-2-1. La littérature scientifique nationale

Plusieurs thèmes en rapport avec l'hydro morphologie sont traités à l'échelle nationale du Niger.

Ainsi, pour **l'analyse des précipitations**, de nombreuses études réalisées à partir des réseaux pluviométriques locaux et régionaux concluent à une tendance générale à la baisse des précipitations allant de 24 à 50 % (SEGUIIS *et al.* 2003) depuis la fin des années 1960.

D'après LE BARBE et TAPSOBA (1996), cette baisse des cumuls pluviométriques annuels observée est fortement liée à un déficit du nombre d'événement pluvieux pendant l'hivernage et non à une diminution de la hauteur moyenne par événement. Cette diminution n'est cependant pas conjoncturelle.

Pour DESCONNETS (1994), la paléoclimatologie a bien démontré l'alternance des périodes sèches et humides aussi à l'échelle géologique qu'à l'échelle humaine.

NICHOLSON (2001), cité par MASSUEL (2005), a bien illustré les fluctuations par la pluviométrie enregistrée à Niamey sur le siècle dernier : sept années de déficit pluviométrique (1911-1917) contrastent avec une période relativement humide entre

¹ De 1989 à 1995 ;

² De 1988 à 2005 ;

³ De 1994 à 2003

⁴ Depuis 2001

⁵ Depuis 2003

1957 et 1967. Et, depuis le début des années 1970 jusqu'aux années 1990, sont observées des périodes de sécheresse répétée avec un maximum d'aridité entre les années 1980-1988.

L'indice de précipitation de Lamb, défini comme étant l'écart à la moyenne normalisée par l'écart type, calculé par LECOCQ (1997), cité par D'AMATO (1998) met en évidence une période pluvieuse de 1950 à 1967 puis une période de sécheresse à partir de 1968 jusqu'à 1993 pour la station de Niamey.

LE BARBE et LEBEL (1997), cité par D'AMATO (1998) ont souligné comme conséquence à ces fluctuations, un déplacement moyen des isohyètes de plus de 100km vers le sud entre la période pluvieuse de 1950-1969 et la période sèche de 1970-1989 avec un gradient décroissant de 1mm/km du sud vers le nord du Niger.

Par ailleurs, plusieurs autres observations des tendances pluviométriques notent cependant une amélioration relative des précipitations. En effet, l'étude des variations pluviométriques récentes révèle que le Niger connaît depuis les années 1990 une évolution climatique qui semble perdurer à travers des moussons plus pluvieuses. Elle est observée peu après les années 1990 comme le notent DESCROIX *et al.*, (2005), GALLAIRE (1997).

On retiendra en somme pour ce qui est de l'analyse de l'évolution des précipitations que durant les trois dernières décennies, la diminution générale de la pluviométrie est sans conteste le fait statistique majeur du climat au Niger. Les variables spatio-temporelles font qu'il est difficile d'établir des conclusions valables pour l'ensemble du pays. LEBEL *et al.*, (1992) notent sur ce point que des écarts de plus de 60 % des cumuls saisonniers peuvent être observés sur moins de dix (10) km.

Pour la région de Niamey, les tendances générales observées dans la première moitié du siècle précédant dégagent l'alternance d'une période sèche (1911-1918) et d'une période humide (1919-1931) suivies de quelques années (1931-1949) où les régimes pluviométriques sont plutôt moyens. La seconde moitié commença avec des épisodes humides qui se sont étalés jusqu'aux années 1970. Et depuis lors, la sécheresse constatée persista jusqu'à la première moitié des années 1990. La décennie 1996-2005 ne s'inscrit pas dans cette continuité. Même si les cumuls annuels ne sont pas tous

supérieurs à la moyenne centennale (qui est de 563,05), la tendance générale est plutôt favorable à une relative amélioration des précipitations (fig. 1).

Il faut noter par ailleurs que depuis 1987-1988, quoique quelquefois en deçà de la moyenne, les courbes de tendance connaissent globalement une progression ascendante comme le montrent les quelques stations nationales sélectionnées (fig. 2). Ce penchant dénote une amélioration quantitative des précipitations, amélioration qui suscite beaucoup d'espoir, mais aussi d'inquiétude face à la fragilité des milieux.

Fig. 1 : Courbes des variations pluviométriques de 1905-2005 à la station de Niamey.

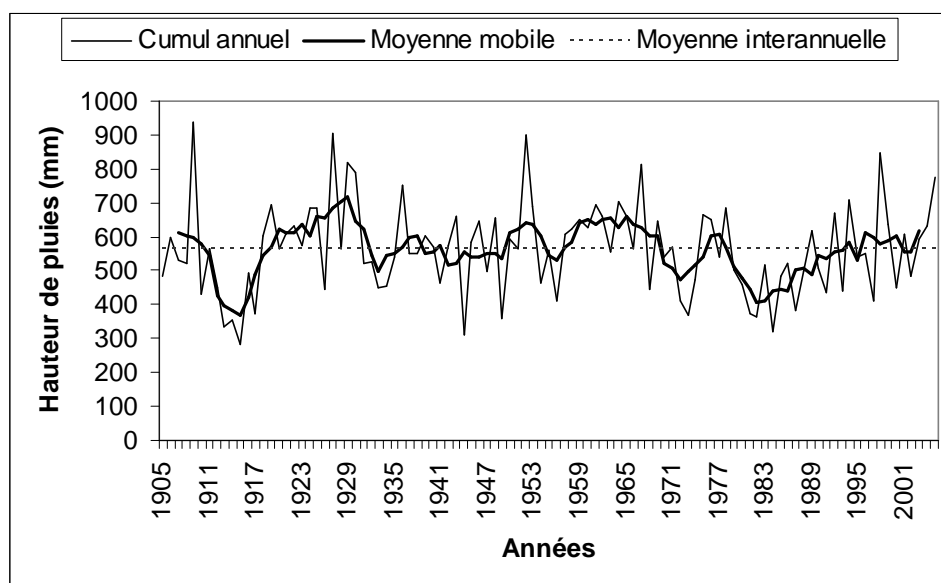
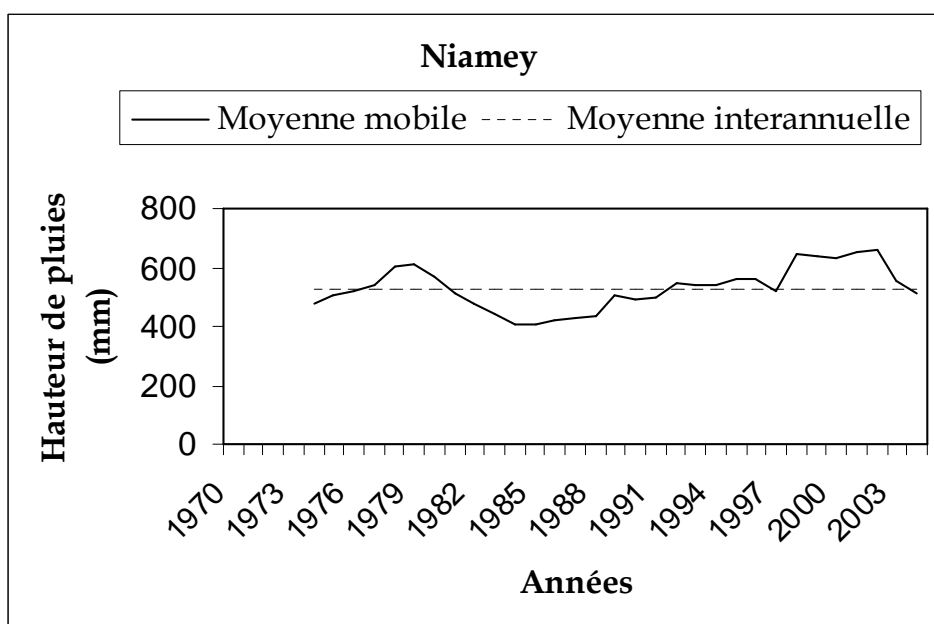
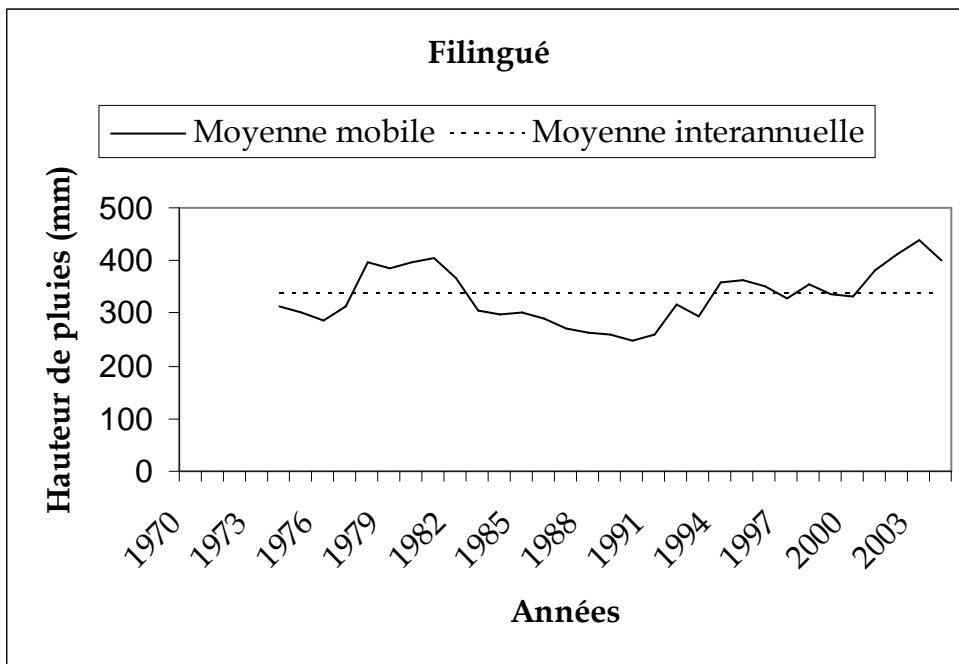
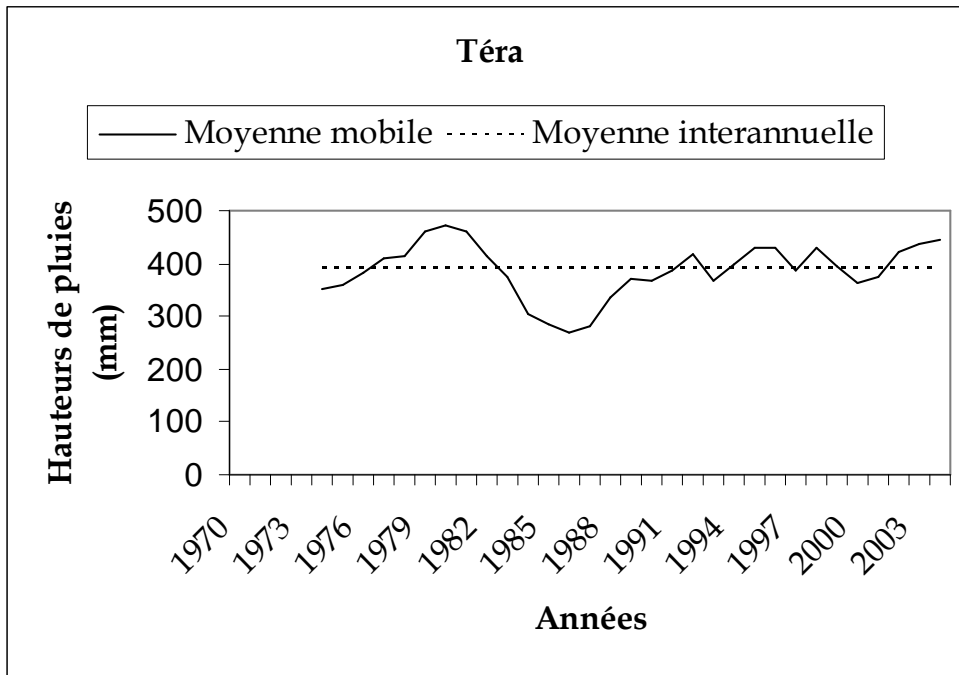


Fig. 2 : Tendance pluviométrique de quelques stations depuis 1970





Source des données : DMN

Plusieurs constats sont dégagés face à ces variabilités climatiques.

Diminution des écoulements : MAHE (2002), ayant suivi la dynamique hydrologique du delta intérieur du fleuve Niger affirme que la péjoration climatique des années 1970 a occasionné une baisse importante des écoulements et des ressources d'eau souterraines. Ainsi, après homogénéisation des données météorologiques et particulièrement les données pluviométriques annuelles de 49 postes d'observation entre 1901 et 1995, il a pu reconstituer les écoulements du delta depuis le début du siècle. Il se dégage de ses analyses que, entre les périodes 1907-1969 et 1970-1995, la réduction des apports fluviaux est d'environ 48 % dans le haut bassin du Niger pour un déficit pluviométrique de 19 % seulement. Par ailleurs, ses observations, sur la variabilité des apports fluviaux (de 13 fleuves) au golfe de Guinée (MAHE, 1991) soulignent que pendant les années 1980, tous les fleuves ont enregistré des déficits de débit, en particulier ceux de la zone d'Afrique occidentale, ce qui réduit du coût les surfaces inondées.

OLIVRY *et al.* (1995) sont également parvenus aux mêmes valeurs (46 % de baisse) pendant les années 1980 et ont lié cet appauvrissement durable, outre le déficit pluviométrique, à un amenuisement des ressources souterraines (donc baisse de l'écoulement de base) mis en évidence et qui est nettement plus rapide au cours de ces dernières années.

AMANI et N'GUETORA (2002) ont quant à eux remarqué dans le Niger moyen une baisse d'environ 60 % des débits à Niamey, ce qui se traduit alors par une réduction des temps de crues. Par ailleurs, AMANI *et al.* (2004) ont fait remarquer que la baisse des débits s'est traduite par la réduction significative de la superficie des principales zones humides naturelles ; c'est le cas du delta intérieur du Niger dont la surface inondée au début des années 1950 couvrait 37000 km² et seulement 15000 km² en 1990 ; ou encore celui du lac Tchad, évaluée pendant les années humides d'avant 1970 à plus de 20.000km², mais rétrécie à moins de 7000 km² depuis 1990.

Augmentation des ruissellements : Les quelques hivernages pluvieux qui entrecoupent les sécheresses et le retour à des conditions pluviométriques moins déficitaires depuis le début des années 1990 dévoilent par ailleurs une situation complexe caractérisée par des morphogenèses intenses et des inondations jusqu'alors

inconnues (sinon de moindre étendue et intensité) signes avant-coureurs de l'extrême fragilité de ces milieux et qui ont du coup affecté les processus de redistribution des eaux en régions sahéliennes.

MASSUEL (2005), ayant étudié l'évolution de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux dans le sud-ouest du Niger déduit que l'augmentation des ruissellements est très frappante. Elle se manifeste selon lui par l'extension du réseau de drainage et par la progression du nombre de mares dans tout le paysage de la zone d'étude. Ainsi, après plusieurs suivis et inventaires (sur le terrain et par photo-interprétation), il estime qu'en 40 ans, l'extension des drains a été multipliée par un facteur de 1.4 à 2. Parallèlement, une redistribution des eaux s'est opérée avec la création et la disparition de certaines ravines.

MAMADOU (2006) analysant l'érosion et l'ensablement des koris dans le Fakara (sud-ouest du Niger) a justement constaté l'évolution des cours d'eau par érosion régressive. Ses résultats sur le suivi pendant deux années de quelques ravines à Tondi kiboro et à Wankama par la simple méthode de piquet, ont fait état de fortes progressions (**Tableau 1**) pouvant atteindre 4 à 5m dans les zones sableuses pour un seul événement pluvieux de 20 ou 30mm. D'où une forte densité de drainage au vu de l'important réseau de ravines actives constituées

Tableau 1 : L'évolution par érosion régressive de la ravine principale du bassin versant de Wankama en 2004 et 2005.

	Progression par érosion régressive des ravines (en m)			Localisation
	2004	2005	Total 2004 et 2005	
T1	13	11.55	24.55	Sur la zone d'épandage
T2	15	13.70	28.70	Sur la zone d'épandage
T3	3	1.85	4.85	Au niveau du chanfrein avant la station-aval.

Source : MAMADOU, 2006.

Pour SEGUIS *et al.* (2003), l'augmentation des ruissellements ne peut être imputable à la seule cause climatique ; faudra-t-il encore intégrer les multiples changements

d'usage de terres et des ressources. Pour dissocier la part d'implication de ces deux facteurs, ils ont d'abord évalué par simulation l'effet isolé du changement climatique entre la période humide de 1950-1969 et la période sèche de 1970-1998 et ont conclu pour la cause, une baisse de 40 % de ruissellement moyen annuel. Inversement, la modification des états de surface entre 1950 et 1992 multiplie par trois (3) les écoulements moyens annuels alors que l'association des deux facteurs, chiffre l'augmentation de ruissellement entre 30-70 %.

Comme illustration de l'accélération de ruissellement, AMANI *et al.* (2004) mentionnent le cas du fleuve Niger et de ses affluents où on assiste à un important apport liquide comme solide des affluents vers le lit majeur du fleuve avec pour conséquence une tendance vers le comblement du lit du cours d'eau.

DESCROIX (2007) évoque le rôle des affluents dans l'alimentation du fleuve en eau et en sédiments. Des deux modes ou hautes eaux observées pour ce fleuve, le premier, celui de septembre-octobre est essentiellement dû à ces affluents dont les apports en eau et en sédiments ont tendance de plus en plus à s'accroître à cause de la dégradation des sols et la diminution d'infiltration dans leurs bassins versants. L'aspect boueux et la couleur rougeâtre de ces eaux témoignent de l'importance des particules en suspension.

Encroûtement et infiltration. Afin de comprendre les mécanismes généraux de la formation des croûtes sur les sols sableux fins du Sahel, AMBOUTA (1994) a mis en corrélation plusieurs facteurs, aussi internes qu'externes aux sols, sous pluies naturelles et simulées. Les paramètres internes sont d'ordre granulométrique, chimique, minéralogique... Ses analyses conclurent sur ce point que la teneur en argile serait le facteur intrinsèque le plus déterminant de la susceptibilité à l'encroûtement des horizons de surface des sols sableux.

Quant aux facteurs externes (intensité des pluies, pente, mode d'exploitation...), la prise en compte simultanée de l'intensité et de l'énergie cinétique de la pluie semble le facteur qui exerce une forte influence sur le déclenchement des ruissellements et de l'encroûtement.

PEUGEOT (1995), DESCONNETS *et al.* (1996), ayant étudié l'influence de l'encroûtement sur les mécanismes de la redistribution des eaux de pluie dans le sud-

ouest du Niger ont conclu que la capacité d'infiltration et la production des ruissellements des sols sahéliens sont sous la dépendance quasi exclusive des propriétés de la surface du sol, en particulier de son encroûtement. Or, leur zone d'expérimentation est couverte par des sols essentiellement sableux ou sablo-limoneux à forte tendance à l'encroûtement.

La quantification des différents mécanismes à l'échelle des parcelles expérimentales des trois (3) types d'état de surface (sol nu de plateau, jachère et champs de mil) montre que l'infiltration est faible sur les zones à encroûtement permanent de la surface nue de plateau et de la jachère et qu'elle est limitée aux premiers mètres du sol (**Tableau 2**).

Le ruissellement représente 50 et 25 % sur ces états respectifs alors que sur la parcelle de mil, il est évalué à moins de 12 %. Ils estiment par ailleurs que le stockage d'eau dans ces sols est pratiquement nul puisque la lame infiltrée est effectivement perdue par évaporation et ou évapotranspiration.

Tableau 2 : Redistribution des eaux de pluie à l'échelle de la parcelle.

Facteur État de surface	Ruissellement (en %)	Infiltration (en %)	Évaporation (en %)	Profondeur maximale d'infiltration (m)
Sol nu de plateau	58	42	42	0.60
Jachère	21-25	75-79	75-79	2
Champs de mil	12-14	86-88	86-88	3.4

Source : PEUGEOT *et al.* (1996)

La redistribution de l'eau sur le versant se fait par ruissellement hortonien (faible infiltration et saturation rapide due à l'encroûtement). Les eaux se concentrent ensuite dans les ravines où l'infiltration est estimée à 11 % par modélisation. Les zones d'épandage entraînent également d'importantes pertes par infiltration lors du transfert des eaux de ruissellement.

À l'échelle des systèmes endoréiques enfin, ils ont estimé l'infiltration des eaux des mares à moins de 10 % du bilan annuel, valeur qui représente la contribution à la recharge de la nappe phréatique.

Ces différents facteurs leur ont permis d'expliquer le rôle de l'encroûtement dans la genèse des ruissellements, la diminution de l'infiltration et l'accroissement des pertes évaporatoires, en d'autres termes, l'influence de l'encroûtement sur le fonctionnement hydrologique des versants sahéliens.

MARTIN-ROSALES et LEDUC (2003), ayant observé le comportement hydrologique de la mare de Banizoumbou (sud-ouest du Niger) ont très bien explicité le processus de vidange de cette mare, processus par ailleurs généralisable à toutes les mares de la zone d'étude. Leur observation a permis de caractériser une triple dynamique temporelle de vidange des mares temporaires.

Une première dynamique, observée à l'échelle de l'événement pluvieux se caractérise par un important contraste entre une première phase de vidange rapide et une deuxième phase beaucoup plus lente. L'opposition entre ces deux s'explique par le dépôt et colmatage progressif et instantané du fond de la mare par des particules argileuses et limoneuses en suspension ;

Une deuxième dynamique à l'échelle de la saison avec une diminution progressive de la vitesse d'infiltration due à des apports des particules fines par le ruissellement lors des différents épisodes pluvieux. Cela fait que la vidange devient de moins en moins rapide ;

Une troisième dynamique à l'échelle pluriannuelle, témoigne d'un comblement progressif de la mare par des sédiments hydriques et éoliens.

Ce comportement hydrologique induit par le colmatage argilo-limoneux du fond de la mare est le résultat d'une modification radicale du couvert végétal par défrichage et mise en culture opérés en quelques décennies, d'où une forte augmentation de ruissellement.

Le second facteur qui semble être mis en cause dans les modifications hydrologiques actuelles, après les précipitations, est le **changement d'usage** des terres et de ses ressources. La synthèse de certaines études est très pertinente dans l'analyse de ces changements des formes d'utilisations de l'espace qui n'est autre que

l'incidence de la croissance démographique sur le milieu et ses ressources : abandon de la jachère et augmentation des surfaces cultivées comme moyens de survie, conséquence directe de l'accroissement de la population ou alors, disparition des peuplements végétaux, conséquence d'une amplification de besoins en bois énergie ou de construction.

LOIREAU (1998) focalisa ses analyses dans le sud-ouest du Niger sur les relations spatiales dynamiques entre la production des ressources et leurs utilisations par les groupes sociaux. Dans l'objectif d'établir un bilan entre les ressources et les usages selon une approche écologique a procédé par une démarche consistant à désagréger le paysage en deux plans d'informations spatiales. L'un rendant compte du fonctionnement de la société à travers la spatialisation des pratiques appliquées par les hommes pour exploiter leur milieu, qu'elle dénomme Unités des Pratiques Homogènes (UPH), l'autre rendant compte du fonctionnement des systèmes écologiques à travers la spatialisation des différents facteurs biophysiques déterminant un niveau de production des ressources, qu'elle qualifie des Unités paysagères (UP).

Le croisement de ces deux plans d'informations spatiales (UPH et UP) l'amène à la détermination des nouvelles unités spatiales, dites de référence (UPR) dans lesquelles il lui a été possible d'établir des bilans spatialisés entre les ressources et les usages pour chaque usage identifié. Ainsi, il se dégage de cette approche originale que la répartition du bilan global ressources-usages issue de la construction d'indice de désertification (IRD) met en évidence des zones à fort risque de dégradation et de désertification, notamment les zones sous l'emprise de la culture dont la superficie est multipliée par six entre 1950 et 1995. En effet, sur un secteur représentatif de 25km autour de Banizoumbou, elle a évalué à près de 30 % la proportion des terres cultivées en 1950 et à 95 % en 1992.

EVANS (2003), cité par MASSUEL (2005) rapportait qu'en 1950, les jachères qui représentaient 50 % des surfaces cultivées dans le sud-ouest nigérien n'en représentent que 25 % en 1992. La durée moyenne de celles ci est passée de 15-20 ans en 1950 à 3-4 ans en 1995.

BOUZOU *et al.* (2000a et 2000b) ont observé les processus de dégradation des jachères suite aux multiples pressions dont font l'objet ces espaces dans l'Ouest nigérien (pâturage, prélèvement des bois, remise en culture...). La dégradation se manifeste par la modification des états de surface (encroûtement et formation des loupes d'érosions) limitant ainsi l'infiltration de l'eau en faveur de ruissellement et donc du décapage et de ravinement.

Pour la ressource végétale, de tous ses usages (arbre nourricier, combustible, source de revenu, dans la construction et dans la vie artisanale, pharmacopée traditionnelle...), le plus important en termes de quantité de prélèvements et donc de l'impact sur le paysage est l'usage du bois énergie.

TIEGA (1991), ayant fait un rapprochement entre la démographie et l'utilisation des ressources naturelles mentionne pour la ressource végétale que la consommation du bois est l'un des facteurs majeurs de la dégradation du milieu, ce qui contribue à une accélération de l'érosion, la perte de fertilité des sols et l'accentuation des phénomènes de désertification. En ce qui concerne l'énergie domestique, 100 % de besoin en milieu rural et 98 % en milieu urbain sont couverts par le seul combustible d'origine végétale pour une consommation d'environ 0.60 m³ par habitant par an.

AMBOUTA (1997), ayant caractérisé les structures et le fonctionnement de la brousse tigrée soulignait que celle-ci constitue l'unique réserve tant en bois de feu que de service pour les grands centres urbains comme pour les terres de cultures dans l'Ouest nigérien. Mais la forte pression anthropique exercée sur ces formations risque à terme d'engendrer leur disparition car elles sont très fragiles. Il explique en effet que lorsqu'une bande boisée est rasée, le sol auparavant très perméable et biologiquement actif n'est plus protégé contre l'effet des gouttes des pluies, d'où la dislocation des agrégats et le colmatage des pores d'infiltration. Une fois commencé, ce processus s'auto accélère jusqu'à la dégradation complète du sol.

Après avoir passé en revue les multiples usages de l'arbre, MAHAMANE et MONTAGNE (1997) estiment que la non-appropriation des forêts par les communautés villageoises et leur statut d'accès libre entraînent une exploitation désordonnée du couvert forestier nigérien. Cette exploitation qui met en péril leur pérennité est liée au développement anarchique de l'agriculture, conséquence de

l'accroissement démographique et de la quasi-stagnation des techniques culturales ; aux problèmes liés au surpâturage, mais surtout au prélèvement des ligneux destinés à l'approvisionnement en bois énergie, bois de service ou bois d'œuvre de la population.

ACHARD (1997), ayant fait des observations sur quatorze parcelles de peuplement ligneux afin d'évaluer l'action du pâturage sur l'écosystème dans l'Ouest nigérien, suggéra que les populations de *Boscia angustifolia* et *Pterocarpus erinaceus*, du fait de leurs qualités fourragères souffrent d'un émondage trop sévère en fin des saisons sèches et risquent de ce fait de disparaître du paysage végétal. Pour les autres ressources forestières et fourragères, leur gestion est raisonnable dit-il et ne constitue pas un facteur de dégradation, du moins pendant ses observations en 1990. Mais cette gestion va t-elle encore être possible alors que la densité humaine et animale augmente rapidement et que l'espace pastoral diminue partout ?

Endoréisme et recharge. DESCONNETS (1994), ayant soutenu sa thèse sur le fonctionnement hydrologique global du Niger occidental a bien montré comment la dégradation hydrographique conduit à l'endoréisme par verrouillage des nombreuses vallées. En effet, l'impossibilité pour ces vallées de charrier la charge sédimentaire apportée par les collecteurs secondaires engendre une structuration de celles-ci en une multitude de cuvettes. Pour lui, les principales caractéristiques de l'endoréisme se manifestent par la déconnexion plus ou moins totale des écoulements entre les différentes zones de stockage des eaux, en l'occurrence les mares de plateau, des vallées et des cuvettes. Cela fut à l'origine de sa remarquable typologie des mares basée sur les différentes structures morphologiques et les caractéristiques hydrologiques et pédologiques : les zones endoréiques structurales (mares des plateaux), les zones endoréiques des vallées (mares des cours d'eau actuellement non fonctionnels) et l'endoréisme des cuvettes (mares des bassins versants verrouillés). Il démontra ensuite le rôle de l'endoréisme dans l'accroissement des ruissellements et des écoulements qui se traduit par une augmentation du nombre et de la taille des mares. Par ailleurs, DESCONNETS *et al.* (1993, 1996) ont montré comment cette dégradation contribue au transfert surface-souterrain des eaux par infiltration. En effet, le suivi de quelques systèmes

endoréiques et particulièrement les mares des vallées et cuvettes leur a permis de souligner le rôle prédominant de celles-ci dans la recharge de la nappe.

MASSUEL (2005), (MASSUEL, 1993 aussi), a étudié les interactions eau de surface/nappe afin de vérifier l'éventuel soutien ou alimentation de l'écoulement de base par la nappe. Pour cela, il caractérisa d'abord l'ensemble des unités hydrologiques élémentaires et inventoria toutes les zones d'accumulation d'eau temporaire susceptibles d'apporter une recharge significative à la nappe. Au total, 377 exutoires ont été repérés dont 177 mares. Parmi celles-ci, il déduit que seules les mares des vallées constituent les points privilégiés de la recharge directe et réelle alors que les multiples chenaux et autres zones humides (les zones d'épandage des versants par exemple) ne sont que des aires potentielles de la recharge profonde.

Ses observations quant aux éventuelles interconnexions réciproques entre le réseau hydrographique et la nappe conclurent que les circulations d'eau s'effectuent dans le sens unique de la surface vers le souterrain sauf dans quelques peu d'endroits où la nappe est affleurante ou sub-affleurante (dans le Dallol Bosso, dans le kori Dantiandou à Boula koira, dans le kori Ouallam à Labou Titiloua). La proportion de la recharge est aussi variable selon la texture des matériaux qui couvrent la surface des mares, ce qui différencie alors l'infiltration d'une mare à l'autre.

Quant à l'appréciation des quantités qui contribuent à la recharge, il rapporte que selon les approches et les auteurs, les fourchettes publiées sont plus ou moins larges, mais presque du même ordre de grandeur. Néanmoins, l'estimation la plus récente, proposée à partir des données hydrodynamiques fait état d'une recharge comprise entre 20 et 50 mm par an.

FAVREAU et LEDUC (1998) rapportent après analyse des documents anciens que la hausse généralisée de la nappe s'observait depuis 40 ans et interprètent cela comme la conséquence de la pression anthropique grandissante sur la végétation naturelle et à l'augmentation des surfaces cultivées. Et, les investigations menées depuis 1991 montrent une hausse variable selon les lieux de quelques cm à plus de 40 cm par an. Les minima de recharge sont surtout concentrés dans la zone proche du Dallol Bosso où la nappe est proche de la surface tandis que les valeurs les plus fortes sont pour la plupart dans le kori de Dantiandou (LEDOC et LOIREAU, 1997).

FAVREAU *et al.* (2002) évaluent la recharge à long terme (1960 à 2000) aux environs de 1-5mm par an par modélisation géochimique et hydrodynamique et estiment à près de trois (3) mètres la hausse en 40 ans. La recharge aurait donc été multipliée par un facteur de dix (10) et s'est poursuivie même pendant les sécheresses majeures des années 1970 et 1980 puis s'est accélérée durant la dernière décennie.

LEDUC et LOIREAU (1997), ayant mis en relation les fluctuations piézométriques et l'évolution du couvert végétal, présument que le cumul pluviométrique annuel n'est pas la seule explication de la hausse. Celle-ci n'est pas non plus attribuable à une baisse de prélèvement, au contraire, il y a eu multiplication des points de prélèvement et doublement de la population en vingt ans. Donc l'explication la plus évidente et la plus logique est que la modification du couvert végétal a accru l'infiltration vers la nappe. Pour preuve, ils ont montré après comparaison des photos aériennes de 1950, 1975 et 1992, l'extension des surfaces cultivées passant de 12 % en 1950 à 33 % en 1975 et à 65 % en 1992. La modification a eu un double impact sur les ressources en eau : diminution de prélèvement d'eau dans le sol et augmentation nette des ruissellements par encroûtement.

1-2-2 La littérature scientifique étrangère

Outre les phénomènes hydrologiques et environnementaux soulignés par les différents auteurs à l'échelle nationale, sont passées en revue, quelques études étrangères (sous régionale ouest africaine notamment) afin d'apprécier la portée des caractéristiques constatées par les auteurs. Celles-ci, sont-elles une particularité nationale, ou alors d'envergure internationale ?

Notons, de l'amélioration des précipitations à l'échelle sous régionale, COUTERON (1997) souligne qu'après la période sèche la plus marquée du siècle observée dans le Sahel Burkinabé entre 1968-1985, une légère augmentation des précipitations a débuté en 1986 et s'est confirmée à partir de 1991.

LEJOT et CAILLOT (2005) rapportent qu'après l'optimum climatique des années 1930 aux années 1960 observé dans le Sahel mauritanien, s'est installée dès l'aube des années 1970 une période de sécheresses, et ce jusqu'au début des années 1990, date après laquelle la région a connu un retour de plusieurs bons à très bons hivernages.

LEBEL *et al.* (2004) rapportent qu'après deux décennies particulièrement sèches, la période 1990-2002 n'a certes pas vu le retour aux conditions humides des années 1950-1970, mais des différences notables en faveur d'amélioration sont à signaler avec des records observés en 1994, 1998 et 1999. Ils notent par ailleurs une nette opposition spatiale apparue entre le Sahel Ouest, qui reste très sec, et le Sahel Est qui a vu, pour ce qui est de la moyenne interannuelle, un retour à une meilleure pluviométrie.

De la diminution des écoulements, KANE (2002), ayant observé les crues et inondations dans la basse vallée du fleuve Sénégal a mis en évidence d'énormes variations. Après avoir recensé les dernières grandes crues du XXe siècle (1906, 1922, 1924, 1935, 1936, 1950), il rapporte avec nostalgie que celles-ci semblaient appartenir à un passé à jamais révolu. Et depuis 1968, l'évolution récente des écoulements du fleuve Sénégal est marquée par un appauvrissement généralisé des ressources en eau dont la baisse estimée est de l'ordre de 40 % en moyenne des hauteurs de crue. Indépendamment à la réduction des précipitations, il associe une autre cause responsable du changement de régime durant ce XXe siècle qu'est le déboisement.

De l'augmentation des ruissellements, MAHE *et al.* (2005), ayant étudié la sensibilité des cours d'eau ouest africains aux changements climatiques et environnementaux affirment que la sensibilité aurait d'abord été influencée par le changement climatique puis accélérée par la dégradation humaine. Ils soulignent, à propos des fluctuations des rivières sahéliennes que celles-ci ont adopté un comportement contre intuitif (paradoxal) : augmentation des écoulements depuis 1970 pendant que les pluies diminuent de 20-25%. Ils concluent enfin que la dégradation des états de surface est à l'origine de cette augmentation.

KANE (2002) estime que les récentes inondations observées du fleuve Sénégal s'expliqueraient par la conjoncture de quelques hivernages pluvieux et surtout des apports importants des affluents, en l'occurrence le Bakoye et la Falémé.

DESCROIX (2007) rapporte que la hausse des débits actuellement observée s'applique à l'essentiel de la zone sahélienne. Elle est liée au changement d'usage des sols, la mise en culture principalement qui induit à moyen terme un tassement des sols et une diminution de l'infiltration, donc une augmentation des ruissellements.

Par ailleurs, selon lui, ce phénomène s'est exacerbé par la disparition d'un grand nombre d'arbres.

Cette hausse des débits en dépit de la baisse des pluies est appelée « paradoxe de Ouagadougou »

De l'encroûtement et infiltration, ALBERGEL *et al.* (1992), ayant mené un travail sur huit bassins versants expérimentaux et sur 50 parcelles de simulation (1m²) représentatives de la diversité des conditions écologiques du Nord Burkina ont fait état de la diminution de l'infiltrabilité des sols en période de sécheresse. Selon leurs observations, les facteurs explicatifs dépendent des paramètres hydrodynamiques et physiographiques des parcelles et ces paramètres sont davantage liés à des critères d'état de surface qu'à la nature des organisations internes de la couverture pédologique. La modification de ces états de surface se traduit dans les comportements hydrologiques par une très grande augmentation des coefficients de ruissellement. Ils ont démontré par l'étude diachronique des photos aériennes de 1956 et 1981 que la mise en culture des surfaces favorise le tassement du sol et le développement des organisations pelliculaires de surface (OPS).

Quant au changement d'usage des sols, MAIGA (2000), a tenté d'expliquer sur la base d'une enquête sociodémographique en milieu rural la crise des jachères en zone nord malienne. Il tient comme principal facteur l'accroissement de la population qui modifie les modes d'utilisation et de gestion des ressources naturelles et, de ce fait compromet de plus en plus la pratique qui pendant longtemps a assuré l'équilibre entre le milieu et les modes de productions. Il conclut que, cet accroissement, même s'il n'est pas le seul paramètre explicatif de la crise, il reste tout de même l'élément essentiel sur lequel se fondent la plupart des facteurs (distance village-jachères, l'âge et la superficie des jachères...)

FAYE *et al.* (2000) ayant mis en relation l'exploitation du bois et la gestion des jachères au Sénégal assurent que l'exploitation du bois avait sous-tendu la dégradation du milieu qui s'est manifestée par une diminution importante des formations végétales, une disparition des espèces ligneuses et le remplacement progressif des graminées pérennes par des annuelles à cycle très court. Cette

disparition eut pour corollaire l'extension des cultures, le surpâturage, le raccourcissement voire même l'abandon de la jachère.

Après la littérature sur les changements climatiques et environnementaux (à l'échelle nationale et sous régionale), quelques ouvrages d'ordre général sont également parcourus pour rapporter les procédures théoriques et pratiques sur la constitution d'une base de données.

De la **base de données**, retenons au préalable que, pour LECHAUVE (1988), une donnée est une information enregistrée sur un support. Donc toute information soumise à une manipulation informatique dévient une donnée et perd par là même une partie de ses significations car elle subit une certaine abstraction.

Une base de données est un ensemble de données structurées, bien organisé en vue de son utilisation par un programme d'ordinateurs. Pour SOURIS (1986), une base des données est un ensemble de données reliées et gérées par un système de gestion de base des données (SGBD).

A distinguer une base de données d'une banque de données qui est un ensemble de données relatif à un domaine défini de connaissance et organisé pour être utilisé pour des objectifs thématiques plus ou moins définis.

Les notions qui diffèrent les deux expressions sont surtout la structuration des données et la liaison par un système.

Construire une base des données consiste à regrouper les données en paquets « homogènes », les entités, les tables, GRANGE (2006). Chaque entité étant composée d'un nombre fini de données élémentaires que sont les attributs.

La construction ou l'élaboration d'une base des données passe d'abord par sa conception. Trois étapes fondamentales sont ainsi proposées par GRANGE (op. cité) :

- l'analyse des documents qui consiste à réunir tous les supports (papiers, magnétiques ou autre support d'information) représentatifs de données que l'on veut modéliser ;
- la structuration des données qui consiste à mettre les informations en « paquets » homogènes dans lesquels la répétition d'information doit être minimale ;

- la construction du schéma des données qui consiste à mettre en relation les entités et associations trouvées précédemment afin de construire la structure générale des données.

Quant à ASA (2004), le processus de conception d'une base de données comporte cinq étapes principales :

- Identification des entités et des relations ;
- Identification des données requises ;
- Normalisation des données qui consiste à effectuer une série de tests pour éliminer les données redondantes ;
- Résolution des relations qui consiste à convertir les relations du modèle conceptuel dans les tables et les relations de clé étrangère correspondantes ;
- Vérification de la conception afin de s'assurer qu'elle répond à tous vos besoins.

GRUAU (2006) distingue lui quatre étapes :

- L'élaboration du schéma entités-associations ;
- La normalisation des entités ;
- L'étude des dépendances fonctionnelles ;
- La méthodologie de base.

Ces procédures de conception de base de données ne sont pas différentes les unes des autres. Quoique les étapes ne sont pas les mêmes d'un auteur à un autre, les contenus intègrent les mêmes notions : identification des entités en présence et leurs attributs, normalisation et mise en relation des entités. Les étapes retenues pour ce travail (Cf. méthodologie, pp 39), constituent donc la synthèse des procédures établies par ces auteurs.

La phase de la conception a pour mérite d'amener le réalisateur à faire une large revue sur les données à acquérir, prévoir leurs structurations et les éventuelles relations entre les entités.

Pour ce qui est de la constitution proprement dite, DANDOY et SOURIS (1986) rapportent à propos des données spatiales qu'il faut distinguer deux parties dans l'information cartographique : l'ensemble graphique (localisation par un système

géographique de référence) et l'ensemble descriptif (valeurs des variables attachées à la localisation).

La constitution en base des données de l'ensemble graphique s'effectue par digitalisation ou numérisation à travers deux méthodes : la méthode par vecteurs et la méthode maillée.

Quant à celle des données descriptives, à l'image des données statistiques collectées dans le cadre d'un système territorial hiérarchisé (commune, canton...) se référant à un découpage unique, il suffit de prévoir un code de rangement (le géocodage des valeurs des variables) pour assurer le jumelage des zones avec les données descriptives.

Ces ensembles de données ne constituent une base de données que s'ils sont reliés et gérés par un système de gestion de base des données (SGBD) capable de les traiter via un logiciel ou une chaîne de programme assurant une série de fonctions.

Ils ajoutent par ailleurs que, avant d'entreprendre toute opération de collecte, il est nécessaire d'établir le schéma conceptuel du domaine que l'on veut étudier et de définir le contenu de l'information à recueillir. Cette dernière doit aussi obéir à certaines règles de systématique et de rigueur au niveau de l'élaboration des fiches d'observations.

SOURIS (1986) après avoir relaté l'historique de la problématique de saisie et de gestion des larges bases des données au début et au milieu de la décennie 1980, estime que des questions restent encore en suspens sur la qualité et la quantité de l'information : que doit-on saisir ? Stocker ? Comment gérer une base et que doit-elle contenir pour permettre la simulation et constituer ce qui serait la base de faits d'un système, créateur des scénarii ?

Il fait par ailleurs distinguer l'information localisée selon deux ensembles : l'information graphique et l'information descriptive. Toutes ces informations se décrivent par des entités (ou champs) et leurs attributs. Et, rappelle-t-il que la description d'une entité va être en partie déterminée par les méthodes de représentation utilisées : une même entité peut donner lieu à plusieurs descriptions en fonction du choix de l'espace de représentation ; c'est le cas d'une ville qui peut être représentée par un point à une certaine échelle et par une aire à une autre

échelle. Ces différentes représentations donnent alors deux entités distinctes en fonction de l'échelle de description.

Ayant pour objectif la constitution d'une base des données des ressources génétiques des caféiers africains, ANTHONY (1988) fait distinguer deux étapes dans la structuration des informations descriptives. La première étape est celle du codage des informations. Elle consiste à numéroter les différents descripteurs, en l'occurrence les géotypes, leur origine géographique...

La deuxième étape est celle de l'organisation de la base. Il a structuré en effet la base des données en deux types de fichiers : les fichiers des individus qui forment le répertoire du matériel végétal avec mention de leur provenance géographique et les fichiers de l'évaluation contenant les variables numériques de l'évaluation des caractéristiques des espèces : fleur, fruit, grain...

Grâce à une banque de données issue d'une longue série de relevés floristiques, DOGET et GASTON (1999) ont constitué une base des données sur le pâturage par homogénéisation et harmonisation de la nomenclature de la masse de données et par élaboration des relations fonctionnelles entre ces données. D'où l'obtention d'un ensemble de données structurées et reliées par un logiciel nommé FLOTROP.

Pour SOURIS (1986), la constitution des données repose sur l'établissement d'un schéma (points, lignes, zones et leurs champs) qui décrit l'ensemble des objets à utiliser. Ce schéma peut être différent d'une implantation à l'autre et peut être complété et modifié au fur et à mesure des besoins.

L'étude menée par SMIDA *et al.* (2006) avait pour objectif d'élaborer une base des données géographiques qui permettra la détermination des zones perméables favorisant la recharge des aquifères dans le sud-ouest tunisien. Pour ce faire, ils ont intégré dans leur schéma conceptuel de la base, outre les informations sur les nappes et la perméabilité, diverses données influençant directement ou indirectement la recharge. Ces données se répartissent globalement en six thèmes (ou couches d'information) : géomorphologie, hydrologie, géologie, hydrogéologie, climat et occupation des sols ; sont aussi identifiées au sein de chaque thème, les entités correspondantes.

Les données à intégrer dans la base sont acquises par numérisation pour les unes (données cartographiques) et par collecte ou campagne de terrain pour les autres (données statistiques ou textuelles). Ces données sont ensuite géoréférencées, reparties en ensembles topologiques (points, lignes et polygones) puis mises en relation.

TSAYEM (1999), voulant mettre en place un système d'information géographique sur l'occupation du sol avait utilisé les photographies aériennes et la carte topographique comme support d'information. Après interprétation et numérisation des photos, il a procédé à un géo-référencement de ces images puis à leur mosaïquage qui consiste à raccorder automatiquement les fichiers images les uns à la suite des autres afin d'avoir une vision d'ensemble de la région. Cette première opération sert comme principale base des données pour la détermination des différentes couches d'informations représentant l'occupation du sol. Ensuite, en s'appuyant sur les informations issues de ses observations sur le terrain, il repéra les contours des différents pixels correspondant à chaque type d'occupation et a établi enfin des liens entre ces pixels et leurs éléments géographiques, d'où l'obtention d'une base de données à références spatiales.

NONGUIERMA (1997) ayant pour objectif l'application d'un SIG à l'hydrologie par estimation des volumes de crues journaliers au niveau d'un bassin versant adopta une démarche à deux temps :

- la conception et l'acquisition des données indispensables pour la mise en œuvre de la modélisation hydrologique que sont d'une part les variables climatiques (précipitation, température, évaporation...) et de l'autre les facteurs physiographiques du bassin (sol, végétation, occupation du sol, techniques d'aménagement...)
- l'intégration des facteurs clés pouvant permettre la détermination de la valeur du coefficient numérique de ruissellement à savoir les types hydrologiques des sols, les pentes et l'occupation du sol. Pour les premiers, leurs composantes sont déterminées à partir d'une numérisation préalable de la carte des sols. Les unités pédologiques sont ensuite distinguées sur la base de la capacité d'infiltration et de la composition texturale dominante. Pour les

secondes, il procéda par la création d'un modèle numérique de terrain (MTN) puis le calcul de pentes de chaque point élémentaire. Enfin, pour la troisième, qu'est l'occupation de sol, la base des données est obtenue par analyse diachronique d'images (sattelitaires). L'intégration de ces différentes couches d'information (base de données) ainsi obtenues a permis la spatialisation du potentiel de ruissellement.

ELBOUQDAOUI *et al.* (2006) ont également utilisé une procédure similaire à la précédente pour constituer une base des données permettant d'évaluer le risque potentiel d'érosion dans un bassin versant marocain. Ainsi, après avoir déterminé et modélisé les facteurs d'érosion que sont l'érodibilité des sols, la pente et l'érosivité des pluies, les auteurs ont effectué une série de digitalisations des cartes thématiques pour la constitution d'une base des données relative à chaque facteur :

- numérisation de la carte pédologique pour l'obtention des données sur l'érodibilité des sols ;
- digitalisation des courbes de niveau afin d'élaborer un modèle numérique de terrain (MNT) à partir des cartes topographiques pour l'obtention des données sur la pente.

Ces opérations leur ont permis de constituer une base des données multi-source nécessaire pour l'établissement des cartes du risque d'érosion sur leur zone d'étude.

De la constitution d'une base des données, nous retiendrons simplement qu'il existe deux ensembles de données : l'ensemble descriptif et l'ensemble graphique. La description de l'un comme de l'autre repose sur la conception d'un schéma définissant les objets à travers leurs champs et attributs.

Le recueil des données spatiales s'effectue selon deux méthodes : la méthode de vecteur pour la saisie des données ponctuelles et linéaires et la méthode raster adaptée aux données à implantation zonale. Ces deux opérations ont souvent pour support la carte, la photographie ou l'image. Cela fait alors de ces documents un moyen d'acquisition des données tout comme le terrain quoique ce dernier reste irremplaçable.

Le recueil des données descriptives s'effectue par la collecte des données statistiques. L'opération appliquée à ce niveau pour les structurer et les harmoniser est le codage. La nomenclature de ce codage est définie par le niveau d'agrégation des objets ou descripteurs, donc, du niveau de détail souhaité sur l'information, autrement dit de l'échelle.

Ces ensembles de données subissent des corrections et des traitements avant d'être intégrées dans la base notamment le géo référencement

1.3- Pertinence de l'étude

De la revue de la littérature, il ressort d'une manière générale que face à la variabilité climatique, les débits moyens des grands fleuves ont connu d'une part des variations concomitantes et même plus prononcées que celles de la pluviométrie et d'autre part un accroissement des débits pour les petits bassins qui peut être expliqué par une augmentation du coefficient de ruissellement suite à la dégradation du couvert végétal et du sol (encroûtement et baisse d'infiltration). Baisse des écoulements d'une part et augmentation des ruissellements de l'autre, ces deux phénomènes ont un coût environnemental et socio-économique majeur et posent véritablement une problématique de la gestion de l'eau dans le contexte des changements climatiques, et cela particulièrement pour les pays sahéliens. A l'état actuel, les impacts économiques et environnementaux enregistrés sont importants. Mais à quoi doit-on s'attendre face aux changements climatiques annoncés par les communautés scientifiques ? En effet, à propos de ce que pourrait être le climat futur, la plupart des scénarii prévoient une diminution des précipitations de 0.5 à 40 % avec une moyenne de 10 à 20 % pour les horizons 2025 (AMANI *et al.* 2004)

Par ailleurs, même si le climat semble être à l'avant-garde, la plupart des études concluent sur l'accroissement de la population comme principale cause des changements intervenus (mise en culture des terres, surpâturage, coupe de bois entre autres) et dont l'incidence sur les ressources en eau en est la modification de son cycle. On observe ainsi à grande échelle l'augmentation de sol nu, l'augmentation de l'érosion linéaire et aréolaire alors qu'à l'échelle des bassins versants cela se traduit

par l'augmentation des pics de crues, diminution des temps de réponse, exagération des étiages...

Toutes ces conséquences ne sont que l'aboutissement des modes de gestion des terres et de leurs ressources par les populations grandissantes. Cela devient inquiétant d'autant qu'à l'horizon 2005-2050, aucune étude ne prévoit une baisse ou même un maintien des taux actuels d'accroissement naturel. Les projections des Nations-Unies (2004) prévoient d'ailleurs au moins un triplement de la population pour beaucoup de pays sahéliens sur cette période.

Eu égard à ces processus qui posent la problématique hydro géomorphologique de gestion de l'eau, des sols et leurs ressources, il est intéressant de savoir si le processus hydrogéomorphologique « **paradoxe de Niamey** » est plutôt un avantage ou alors **une contrainte**.

Si on s'en tient aux phénomènes de rehaussements de la nappe phréatiques et les externalités positives que cela engendrerait à long terme, ce processus paraît a priori comme un avantage étant donné que les eaux stockées ne sont pas perdues. Ces eaux constituent donc une ressource virtuelle et dont l'exploitation et ou la valorisation dépendra en partie des acteurs locaux ou nationaux, mais, à quel prix ?

Cependant, en se référant aux circonstances même de la survenue de ce processus (dégradations et amenuisements des potentiels pédologiques et végétaux avec comme coût l'appauvrissement de la population) l'on ne pourrait que le qualifier de contrainte, ou en tout cas d'un avantage malheureux. Et d'ailleurs, Jaques Greigert en préfaçant l'un des éminents travaux (celui de FAVREAU, 2000) ayant mis en évidence le paradoxe de Niamey s'exprime en ces termes : « l'augmentation des réserves de la nappe compense t-elle avantageusement la disparition des bois, du fourrage et des sols cultivables ? » A FAVREAU (2000) d'en répondre dans sa conclusion en disant : « malgré la très probable poursuite de la hausse sur les futures décennies, il est douteux qu'une augmentation des réserves de la nappe soit un avantage environnemental suffisant face à la dramatique disparition des ressources naturelles. »

Un autre élément de réponse réside en effet dans l'inaccessibilité même de ces eaux, eu égard aux niveaux de profondeur de la nappe. Cela fut pour certains à l'origine

même de l'expression « Fakara », attribuée à l'ensemble de la zone et qui signifie « l'endroit où la nappe est profonde » (BODE, 2004)¹. Cet état de fait limite en conséquence l'exploitation aisée de ces ressources tant pour les productions culturales que pour la consommation humaine et animale et cela particulièrement en rapport avec le niveau de vie très peu enviable de la population et qui n'est pas à mesure de foncer suffisamment de puits moins encore des forages. Cela dénote à quel point les mares, quelque soit par ailleurs leur dimension temporelle, sont indispensables dans la vie quotidienne de la population. Elles sont, en effet, utilisées pour les activités domestiques, pour l'abreuvement des animaux, pour la production du fourrage et voire çà et là des tentatives de culture maraîchère.

Par ailleurs, face à ce processus paradoxal, il importe aussi de savoir le devenir hydrogéomorphologique des cours d'eau des bassins endoréiques.

Puisque la baisse des précipitations synchrone avec la remontée de la nappe dans les bassins versants endoréiques, quels sont les impacts actuels de la recharge sur le fonctionnement hydrogéomorphologique et sur l'écosystème des secteurs concernés ? Jusqu'à quand pourra-t-on observer ce phénomène ? Peut-on s'attendre, à court ou à moyen terme à une reprise plus ou moins continue des écoulements, auquel cas, on parlera en d'autres termes de la fin de l'endoréisme ?

Cela peut paraître possible dans certaines mesures étant donné les phénomènes hydrologiques exceptionnels observés ces dernières années. Sans que l'on puisse préjuger à partir de quelques événements, d'un retour fréquent et durable des écoulements dans ces anciens cours d'eau, ces phénomènes exceptionnels méritent néanmoins une certaine attention. C'est le cas du kori Dantiandou qui a connu un remplissage inhabituel suite aux événements pluvieux du 1^{er} août 1998 et au cours desquels la plupart des dépressions topographiques se sont ainsi trouvées changées en mares (COSTE, 1998). D'où l'inondation pendant plusieurs jours des vastes superficies dont certains villages de sa rive gauche (Tondi kiboro, korto) (MAMADOU, 2006) ;

¹ Selon le même auteur, le mot Fakara serait issu pour d'autres de l'expression « Farika ara » qui veut dire en Zarma « le grand champs obtenu dans... », « Le champs délimité dans un espace donné ».

Le cas de kori Ouallam qui a ruisselé sur une grande partie de son cours en 2006 en est également une autre illustration de ces phénomènes exceptionnels récents.

Si la dégradation de la végétation et des sols augmente les transports solides vers les cours d'eau et les mares, l'on ne risque pas davantage la désorganisation des systèmes hydrographiques par ensablement ?

Ceci semble aussi plausible puisque le caractère sporadique des crues et les pentes faibles des terrains induisent des débits insuffisants pour charrier les dépôts et entretenir les lits des cours d'eau.

L'un dans l'autre, ces processus impliquent des modifications hydrogéomorphologiques continues qui doivent être analysées sur des durées suffisamment longues pour en expliquer les mécanismes. L'analyse et la gestion de ces risques éventuels doivent s'inscrire dans une surveillance basée sur des séries de mesures, d'observation et d'acquisition des données répétitives hydrologiques au sens large.

Par ailleurs, étant donné que l'importance de ces ressources en eau (eau de surface et eau souterraine) est tributaire de la multiplicité des bassins versants endoréiques (qui sont les sièges des mares et donc, zones réelles de recharge vers la nappe), le suivi de ces derniers semble être très nécessaire voire indispensable car la maîtrise de leurs ressources (eau en particulier) constitue l'un des facteurs clés du développement. De leur évolution, dépendront les réserves en eau, mais aussi la qualité agronomique des sols alluviaux hydromorphes des bas-fonds hautement productifs.

1.4- Objectifs et résultats attendus

Les investigations porteront sur la compilation des informations sur le bassin du kori Dantiandou et sur les sites de suivi à long terme en vue de la mise en place d'un SIG.

Il s'agira :

- de faire l'état des lieux des données existantes sur Dantiandou en relations directes avec l'hydrologie et toutes celles qui l'influencent : climat, géomorphologie, pédologie, géologie, occupation de sol ;
- de recueillir et d'analyser les données afin de dégager éventuellement des interconnexions entre celles-ci ;

- d'identifier les entités pertinentes pour la future constitution de la base ;
- de structurer ces entités en des ensembles plus élargies que sont les thèmes (géomorphologie, climat, occupation du sol...) ;
- proposer des schémas conceptuels de la base pour les différents thèmes retenus.

1.5- Méthodologie et outils

Le cadre méthodologique est surtout basé sur les procédures de la constitution d'une base des données. Cette dernière repose sur plusieurs étapes préalables et impose de ce fait une démarche progressive et hiérarchisée allant de la conception des données jusqu'à leur mise en relation par un système de gestion de base des données (SGBD).

1.5.1- La conception des données

C'est la phase qui permet d'identifier toutes les informations concernées par la base des données à constituer. Elle intègre plusieurs thèmes qui influencent directement ou indirectement l'hydrogéomorphologie à travers leurs propriétés ou variables élémentaires qui les définissent.

1.5.2- La structuration des données

Les données précédemment identifiées seront ensuite réparties dans des ensembles cohérents et homogènes selon leur type (graphique ou descriptif) et selon les thématiques identifiées et retenues conformément à leur rapport avec l'hydrologie au sens élargi.

1.5.3- L'identification des relations entre les données

Le schéma conceptuel implique plusieurs données ou informations. Cette étape permet donc de décrypter les relations possibles entre les données d'une même entité, d'un même thème ou des thèmes différents.

1.5.4- La collecte et l'acquisition des données

Les procédures de collecte des données varient selon qu'il s'agisse de l'information graphique ou descriptive.

1.5.4.1- L'information graphique

Elle décrit la localisation et la forme des objets géographiques (lithologie, état de surface, végétation, culture, unités topographiques, cours d'eau, mares...)

L'information graphique est le plus souvent extraite sur la base d'un support cartographique ou imagé déjà existant : photographie aérienne, cartes topographiques, cartes thématiques, images satellitaires...

Le processus d'acquisition de données est généralement structuré de la manière suivante :

- la numérisation

C'est une opération qui consiste à passer d'un document cartographique sur papier d'une zone à une image numérique (magnétique) de la même zone au moyen d'un scanner ou d'un logiciel approprié (Arc View par exemple)

- le mosaiquage

La zone d'intérêt peut couvrir une grande surface. Elle peut donc être découpée et répartie sur plusieurs fichiers lors du scannage. Le mosaiquage est une opération qui consiste à raccorder automatiquement les fichiers précédemment numérisés les uns à la suite des autres en fonction du positionnement exact de chacun à la surface de la Terre.

- le géo-référencement

Le géo-référencement ou géocodage consiste à associer à un point de l'espace son positionnement dans un système de projection donné. Il s'agit donc de définir la situation d'un point par un couple de coordonnées (X, Y) afin de lui attribuer son identité géographique.

- extraction de l'information

L'image scannée et géoréférencée doit désormais servir comme base principale à partir de laquelle des couches d'informations seront extraites. En effet, en s'appuyant

sur la maîtrise du terrain, on peut facilement repérer sur l'image des objets spatiaux, identifier leurs contours et leurs composants. Cette identification permet alors d'avoir et de recueillir les informations souhaitées sur l'objet. L'ensemble des informations collectées sur les différents objets constituera donc la base des données dite graphique ou à références spatiales. Cette base permet de générer automatiquement des informations sur la superficie, le périmètre...des objets.

1.5.4.2- L'information descriptive

L'information descriptive décrit la nature et les caractéristiques des objets spatiaux. Elle est subdivisée en deux ensembles : l'ensemble quantitatif et l'ensemble qualitatif.

1.5.4.2.1- L'ensemble quantitatif (ou statistique)

Cet ensemble est composé de données chiffrées obtenues soit par une série de relevés soit par des mesures expérimentales (quantité des pluies, vitesse du vent, débits, perte en terres, humidité du sol, recharge annuelle...)

Le relevé concerne les éléments climatiques et piézométriques. Ainsi, le bassin versant de Banizoumbou est équipé d'une centaine de pluviomètres à lecture directe et une vingtaine pour le bassin de Wankama. Ils sont également équipés de quelques pluviographes et d'autres dispositifs de mesures pour la température, l'évaporation, l'humidité de l'air et du sol, l'infiltration... Quant aux mesures piézométriques, elles sont effectuées à travers le suivi de variation du niveau des eaux dans une trentaine de puits.

Le dispositif de mesures expérimentales concerne l'érosion et l'hydrométrie.

- les mesures d'érosion sont effectuées sur des parcelles expérimentales type Wischmeier pour l'érosion en nappe. Ces parcelles, situées sur des pentes homogènes, sont représentatives des quatre types d'occupation du sol à savoir : la côte d'érosion, la croûte algale, la jachère et le champ de mil. Ces observations permettent de cerner les rôles des différents facteurs explicatifs de ruissellement et de l'érosion en comparant les réponses des différentes parcelles à une pluie donnée, ou au contraire de la même parcelle à différentes pluies.

Quinze parcelles sont ainsi suivies depuis 2004 dont onze à Tondi kiboro et quatre à Wankama. (Tableau 3).

Tableau 3 : Répartition et types de parcelles de Tondi kiboro et Wankama

	Tondi kiboro		Wankama
	10m ²	100m ²	10m ²
	Nombre	Nombre	Nombre
Croûte algale	2		1
Croûte d'érosion	2		1
Jachère	2	2	1
Parcelles de mil	2	1	1

Source : MAMADOU (2006)

- Le réseau hydrométrique est constitué de six stations de jaugeage dont quatre à Wankama et deux à Tondi kiboro. Ces stations sont équipées en outre d'un limnimètre et d'un limnigraphe (tableau 4)

Tableau 4 : Composition du réseau hydrométrique

Wankama			Tondi kiboro		
Station	Equipements	Coordonnées (UTM)	Station	Equipements	Coordonnées
Amont	Jaugeage + limnigraphe+ échelle limnimétrique	X : 459978 Y : 1508446	Amont	Jaugeage + limnigraphe+ échelle limnimétrique	X : 467547 Y : 1497749
Amont zone d'épandage	Jaugeage + limnigraphe + échelle limnimétrique	X : 460123 Y : 1508518	Aval	Jaugeage + limnigraphe+ échelle limnimétrique	X : 467038 Y : 1497786
Aval zone d'épandage	Jaugeage + limnigraphe+ échelle limnimétrique	X : 460619 Y : 1508631			
Aval	Jaugeage + limnigraphe+ échelle limnimétrique	X : 461778 Y : 1508681			

Source : MAMADOU (2006)

1.5.4.2.2- L'ensemble qualitatif (ou textuel)

Il est entièrement composé des données textuelles qui s'obtiennent par simple appréciation ou alors par référence aux expressions qualificatives plus ou moins reconnues universellement (déflation, corrasion, linéaire, aréolaire, surface cuirassée, encroûtée, altérites, nebkas, village, hameau, campement, brousse tigrée, tachetée, ravin, ravine...).

Dans ce travail, les données textuelles de l'occupation du sol sont effectivement empruntées de la nomenclature du MHE/LCD/DE (2006) tandis que les qualificatifs pour l'appréciation des informations géomorphologiques, hydrologiques, pédologiques...nous nous sommes référés à la base des données sémiologiques de JOLY (1997).

1.6. Difficultés rencontrées

Pour ce travail, l'idéal pour nous aurait été d'atteindre la dernière étape de la mise en relation des données, en d'autres termes de constituer matériellement une base de données hydromorphologiques. Mais cela nous est en pratique impossible faute de pouvoir maîtriser certains outils.

- non maîtrise (par défaut de formation) de certains logiciels informatiques (ACCESS, ARC VIEW...) indispensables pour la création des champs et tables d'une base de données ;
- non acquisition de certaines données, cartographiques notamment, puisqu'elles nécessitent des traitements et corrections informatiques alors que le temps imparti est matériellement limité.

En conséquence, nous nous sommes seulement limités à analyser les quelques données descriptives disponibles, proposer la structuration et le schéma conceptuel de leur constitution.

II. Présentation de la zone d'étude

2- Le cadre naturel

2.1- La géologie

Le contexte géologique du Niger occidental est à cheval entre deux grands ensembles : le socle précambrien du Liptako-Gourma qui est un ensemble structural appartenant au domaine birrimien de l'Afrique de l'ouest et le bassin sédimentaire des Iullimmeden qui est un vaste synclinal sédimentaire du Continental Terminal (CT).

La zone d'étude est située sur la bordure Ouest de ce bassin.

Mis en place au début de l'ère Tertiaire, cet ensemble s'est progressivement rempli des dépôts silico-clastiques issus de l'altération du socle ouest africain et se présente actuellement sous la forme d'une immense cuvette de pente faible orientée nord-sud (GREIGERT et POUUNET, 1967). Son histoire est jalonnée par une alternance des dépôts marins et continentaux mis en place lors des différents épisodes transgressifs et régressifs. Les sédiments marins sont à dominante carbonatée, calcaires blancs et marnes tandis que les formations d'origine continentale correspondant aux différentes phases (Continental Intercalaire, Continental Hamadien et Continental Terminal) sont détritiques à dominance argilo-gréseuse. Le continental Terminal constitue le dernier épisode de ces formations et affleure sur plus de 150.000km dans le sud-ouest nigérien avec une épaisseur moyenne de 450m (DUBOIS et LANG, 1984). Son origine continentale lui confère la particularité d'avoir d'importantes variations de faciès aussi bien latérales que verticales (MONFORT, 1997). Trois séries sont distinguées par GREIGERT et POUUNET (1967) : la série sidérolithique de l'Ader Douthi (CT1), la série argilo-sableuse à lignites (CT2) et le grès argileux du moyen Niger (CT3).

Selon MONFORT (1996), pour l'ensemble du degré carré de Niamey, la lithologie peut être reconstituée de la façon suivante de la base au sommet :

- sables quartzeux et grès moyens à grossiers ;
- argiles grises à lignites au milieu desquelles on trouverait un niveau plus ou moins épais d'oolithes ferrugineuses emballées dans une matrice silto-argileuse ;

- alternance des sables, silts et argiles.

Cette dernière se termine par une surface d'aplanissement cuirassée qui est à l'origine des plateaux latéritiques du paysage.

2.2- La géomorphologie

Le paysage actuel est né de l'entaillement du Continental Terminal par des cours d'eau et cela aurait commencé au moins depuis le Pliocène (AMBRASEYS N.N., ADAMS R.D. 1986), cité par MASSUEL (2005). Ainsi, l'histoire de l'héritage climatique et géologique, commandée par l'alternance des périodes sèches et humides, confère au paysage une morphologie caractérisée par la juxtaposition des trois principales unités paysagères : les plateaux latéritiques, les glacis et les vallées.

2.2.1- Les plateaux latéritiques et leurs talus

Ils culminent entre 255-265m et couvrent près de 12462 ha, soit 23.9 % de la superficie totale de Fakara (ILRI 2000, cité par MAMADOU, 2006). Entaillés dans le Continental Terminal, ces plateaux présentent en coupe des matériaux grésio-argileux du moyen Niger essentiellement formés de grès fins ou moyens et des argiles kaoliniques perforés par de nombreuses tubulures d'anciens conduits racinaires ou reliques d'anciens terriers (DUBOIS et LANG, 1984).

Leurs surfaces sont très étendues, planes à concaves couronnées par une cuirasse ferrugineuse pseudo-nodulaire conglomératique ou gravillonnaire d'âge Tertiaire avec par endroits des zones ensablées voire même cultivées. L'observation détaillée met en évidence diverses organisations pelliculaires de surface (OPS) composée de croûte de battance plus ou moins craquelée, croûte biologique (notamment algale) avec de nombreuses termitières en dômes. Les plateaux sont limités par des talus escarpés (15-25°) taillés dans la roche gréseuse. Ces derniers sont en général couverts par des formations sub-autochtones d'éboulis en blocs ou en graviers de cuirasses démantelés et mises en place par différents processus : gravité, reptation ou ruissellements. Dans certains endroits, les talus ne sont pas couverts d'éboulis, il apparaît alors le matériau grésio-argileux du moyen Niger (MALAM ABDOU, 2005).

2.2.2- Les jupes sableuses

Ce sont des formations sableuses qui seraient dues selon BOULET (1974), cité par AMBOUTA (1994), à des dépôts éoliens (erg ancien) correspondant à une grande phase aride du Pléistocène à 50.000 ans BP. Ces formations couvrent 6439 ha environ, soit 12,6 % de la superficie totale de Fakara (Base de données ILRI, 2000, cité par MAMADOU, 2006) et présentent deux faciès distincts :

- un faciès induré en amont, qualifié de piémont dégradé qui est une surface peu étendue de pente moyenne (3-4 %) constitué d'un matériel sableux massif encroûté de couleur rouge ou brun rougeâtre.
- une zone d'épandage en aval qui est un faciès sableux meuble, spatialement plus étendue que le faciès induré. La pente y est douce et régulière (moins de 2 %). Ce faciès constitue une zone d'infiltration plus ou moins profonde que MASSUEL (2005) qualifie d'aire potentielle de recharge vers la nappe.

2.2.3- Les bas-fonds

Ils constituent le niveau le plus bas du paysage (195-215m d'altitude dans l'axe des vallées) et couvrent 5940 ha (base de données ILRI, 2000, cité par MAMADOU, 2006). Dans le Fakara, les bas-fonds sont très souvent de simples dépressions fermées, étroites et plus ou moins marquées dans le paysage. Ces dépressions sont la conséquence de la dégradation du réseau hydrographique régional en l'occurrence le Dallol Bosso et son affluent principal, le kori de Dantiandou. Le Dallol est une vallée sèche de près de dix (10) km de large. Son bassin versant, aujourd'hui non fonctionnel, atteignait l'Aïr (à 20° N) et sa confluence avec le fleuve Niger se situe à environ 150 km au sud de Baleyara. Le kori de Dantiandou est également une vallée sèche mais de moindre ampleur (1-2 km d'extension latérale). Ancien tributaire du Dallol auquel il se connectait à la latitude 13°20mn Nord, son bassin versant remontait probablement jusque vers 15°50mn Nord (FAVREAU, 2000). Ce réseau hydrographique qui drainait le bassin des Iullimmeden est actuellement fossilisé et son cours est tronçonné en une multitude de petits bassins versants séparés souvent par de bourrelet de sable (cône de déjection) déposés par la faiblesse des crues. MASSUEL (2005) a répertorié 377 petits bassins versants élémentaires dans le bassin

de Dantiandou. Les bas-fonds correspondants à ces petits bassins sont alors des dépressions verrouillées ou cuvettes de dimensions plus ou moins variables.

2.3- Pédologie

Les sols sont des formations meubles résultant de la désagrégation et de l'altération des diverses roches sous-jacentes. Comme tels, ils ne peuvent être homogènes qu'à une certaine échelle. Leurs variations traduisent non seulement leur degré d'évolution pédogénétique liée aux conditions climatiques et topographiques, mais aussi leur appartenance aux différentes roches desquelles ils dérivent.

Dans le Fakara, la plupart des sols sont ferrugineux peu lessivés (excepté dans le Dallol où ils sont alcalins). Ils sont très pauvres et particulièrement sensibles à l'érosion et à l'encroûtement. Trois grands ensembles pédologiques peuvent être distingués au sein des toposéquences :

- les regs et les sols latéritiques : ce sont des lithosols peu évolués à faciès ferrugineux issus du démantèlement des cuirasses et se développent sur les plateaux et ou les versants. Ces sols, qualifiés des sols régiques des plateaux sont peu épais, graveleux et relativement riches en argile kaolinique (15-45 %) (AMBOUTA, 1984). Ce sont des sols sans valeur agricole et ils sont très sensibles à l'érosion hydrique. Leur dégradation se traduit par l'apparition d'éléments grossiers en surface (blocs, cailloux, graviers) ou par une fine pellicule plasmique imperméable (croûte d'érosion) (AMBOUTA, 2007).
- les sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés : ils se développent sur les modelés dunaires (jupes sableuses) avec un faciès consolidé (piémont dégradé) ou meuble (zone d'épandage). Ce sont des sols épais (plus de 3m) à profil coloré de façon vive et homogène et présentent souvent un horizon gravillonnaire à la base. La texture des horizons de surface est très sableuse avec une nette prédominance de sable fins d'où leur susceptibilité à l'encroûtement sous l'action des pluies de forte intensité. Ils constituent l'essentiel des sols cultivés et portent des plantes peu exigeantes : mil, niébé, arachide... Leur texture très sableuse et l'absence de structuration alliée à une

perméabilité élevée les rendent très sensible à l'érosion hydrique et éolienne (AMBOUTA, 2007).

- dans les bas-fonds, les sols qui s'y développent sont là aussi de type ferrugineux peu lessivés mais fortement remaniés. Ils sont argilo-sableux ou limono-sableux plus ou moins cohérents quand ils sont humectés. La proportion d'argile ou de limon peut augmenter à la faveur de stockage des eaux de surface, particulièrement dans les koris bien alimentés qui donnent naissance à des sols hydromorphes plus clairs ou gris bruns avec des taux modestes d'une matière organique bien évoluée (MASSUEL, 2005)

2.4- Etats de surface et occupation du sol

Les états de surface et l'occupation du sol font de l'espace un mosaïque de champs et de jachères ayant des aspects variables selon les séquences topographiques et ou les conditions hydro-pédologiques du milieu. Ces conditions déterminent par ailleurs la répartition des formations végétales et la mise en valeur des ressources.

2.4.1- Les plateaux

Les états de surface sur les plateaux sont constitués du couple surface-nue encroûtée et fourré. Les surfaces nues sont formées soit de croûtes de décantation, soit de dessiccation soit alors de graviers-croûtes issus du démantèlement de cuirasse. Sont également remarquables des termitières disséminées sur les plateaux. Ces nids jouent un rôle important sur l'infiltration. Seulement, une fois abandonnés ils s'érodent en laissant sur place un cône dur plus ou moins émoussé assimilable à une croûte d'érosion.

Les fourrés (ou formations contractées de plateaux) communément appelés brousse tigrée se caractérisent par l'alternance de bandes de végétation denses et de bandes de sol nu. Cette structure végétale est la conséquence de l'adaptation à l'insuffisance des réserves hydriques. La brousse tigrée a colonisé les plateaux cuirassés du Continental Terminal de l'Afrique de l'Ouest sous climat sahélien (GOUDE-GAUSSEN G. *et al.*, 1993). Selon d'HERBES *et al.* (1997), la base de son fonctionnement est aussi biologique qu'hydrologique. La combinaison (bande

végétale et bande nue) fonctionne en effet comme un système de collecte et d'acheminement des eaux de ruissellement sur des impluviums vers des zones de production végétalisées. Dans la partie amont de la bande végétale qui recueille en priorité les eaux de ruissellement se développent des espèces ligneuses dont les plus courantes sont : *Guiera senegalensis*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, *Sclerocarya birrea*, *Boscia angustifolia* alors que vers l'aval, la végétation est surtout herbacée avec des individus dégénérés à la périphérie.

Les surfaces rocailleuses des plateaux ne sont pas a priori mises en culture. Elles présentent des potentialités limitées au sylvopastoralisme. Toutefois, les accumulations sableuses marginales qui jonchent les cuirasses sont cultivables, sinon cultivées.

Les sommets de ces plateaux sont peu sensibles au ravinement à cause de leurs couvertures cuirassées ou encroûtées peu perméables. Néanmoins, quelques griffes d'érosion peuvent s'observer.

2.4.2- Les jupes sableuses

Les états de surface regroupent des micro-buttes sableuses et des surfaces nues pelliculaires. Ces dernières sont très ruisselantes et sont composées de croûte de battance, de décantation, d'érosion ou croûte algale. Ces surfaces élémentaires sont généralement observées sur le piémont dégradé et ont pour conséquence l'augmentation de ruissellement. Sur la zone d'épandage sableuse, celles-ci sont combinées à des accumulations sableuses qui constituent l'essentiel des états de surface. Mais l'extension des surfaces encroûtées prend de plus en plus de l'ampleur du fait de la conjonction défavorable des éléments climatiques, pédologiques et de types de mise en valeur.

Les jupes sableuses sont colonisées par des savanes herbeuses ou arbustives à combretacées. Les potentialités végétales sont ici fonction de la mise en culture ou non de l'espace. Notons que d'après AMBOUTA (1994), le système traditionnel de culture dans cette zone consiste en une phase de culture de courte durée (4 à 6 ans) suivie d'une longue phase d'abandon cultural (ou jachère) pouvant aller jusqu'à 30 ans et dont l'objectif visé est de permettre la reconstitution de la fertilité du sol par

régénération naturelle de la végétation. Cette succession culture jachère induit une distribution variée de la végétation tant en densité qu'en diversité. Dans les aires cultivées, la végétation est clairsemée. Apparaissent alors quelques essences isolées composées de *Faidherbia albida*, *Prosopis africana*, *Balanites aegyptiaca*, *Zizyphus mauritiana*...maintenues pour leur utilité agricole ou pastorale. Dans les jachères, la végétation est relativement importante dominée par *Guiera senegalensis* en cohabitation avec *Combretum glutinosum*, *Camifora africana*, *Piliostigma reticulatum*, *Anona senegalensis*...pour la strate arbustive tandis que pour les herbacées annuelles, les graminées dominent avec pour l'essentiel *Aristida mutabilis*, *Zornia glochidiata*, *Cenchrus biflorus*, *Andropogon gayanus*, *Panicum laetum*...

Plus on descend de la topo séquence, plus les champs cultivés dominant par rapport aux jachères qui servent de pâturage. Le temps de régénération de ces jachères devient de moins en moins long du fait de la saturation de l'espace.

On y observe des nombreuses ravines sub-rectilignes aux fonds sableux ou caillouteux avec des reculs denses de têtes de ravines. Le ruissellement est donc important mais se limite à des courtes distances puisqu'il termine souvent par un vaste épandage sur le faciès sableux meuble. Le long de ces ravines, se développe une végétation floristiquement assez variée plus ou moins développée qualifiée de rupicole.

Le faciès érodé est très peu exploité. Il constitue l'essentiel de terres incultes et de jachères de la zone. Les champs cultivés se trouvent sur le faciès meuble à cause des potentialités qu'il offre.

2.4.3- Les bas-fonds

Ces unités subissent l'influence directe des versants et des sommets par le biais de transports liquides et solides. Les états de surface sont de ce fait dominés par des accumulations sableuses fines et des surfaces de décantation sur alluvions sableuses ou argileuses.

Aux abords des mares des vallées sèches, du fait de la couverture pédologique sableuse à faible rétention d'eau, les espèces herbacées sont moins nombreuses et leur développement plus limité dans l'espace est uniquement réglé par les cycles

inondations exondations (DESCONNETS, 1994). D'une manière générale, se développe une végétation plus dense et plus diversifiée. Les espèces dominantes sont *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Guiera senegalensis*, *Acacia nilotica*, *Balanites aegyptiaca*, *Faidherbia albida*, *Zizyphus mauritania*, *Cola lauriflora*, *Sclerocarya birrea*, *Prosopis africana*...

Les bas-fonds sont surtout utiles pour l'agriculture sous pluies de céréales, arachide, niébé, courge, sésame...mais aussi pour des exploitations maraîchères et de décrue avec l'installation d'enclos de légumes ou d'arbres fruitiers autour des mares

Notons par ailleurs que l'installation des habitations (qui est aussi un facteur d'occupation du sol) est directement liée aux disponibilités des ressources en terres agricoles. Les plus anciens villages sont installés sur des sols sableux facilement cultivables des vallées sèches ou des versants sableux (LOIREAU, 1998). Seuls quelques campements (de peuls ou touaregs), d'installation récente se situent sur des espaces marginaux à l'agriculture, aux pieds des plateaux cuirassés pour la plupart.

Aux alentours immédiats des villages, la végétation est constituée principalement d'espèces préservées à usage domestique : qualité alimentaire, production fourragère, ombrage, bois d'œuvre ou de feu...Il s'agit entre autres de *Faidherbia albida*, *Balanites aegyptiaca*, *Acacia nilotica*...

2.5- Hydrologie

2.5.1- Le réseau du drainage

Le système hydrographique principal est la vallée sèche 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 mesure 70 km de long pour un bassin versant de 5645 km² (MAMADOU, 2006). Son réseau est aujourd'hui dégradé et le kori n'est donc plus fonctionnel car les écoulements, intermittents, sont insuffisants pour s'interconnecter durablement. Considérés à l'échelle des bassins versants élémentaires, les réseaux sont très souvent de type centripète, déconnectés les uns des autres. Cette situation pourrait être consécutive aux obstructions par des dépôts solides localisés notamment à la jonction du drain et du collecteur, ou par effacement de la pente du lit (par apports sableux

éoliens et colluviaux) des principaux collecteurs donnant ainsi lieu à plusieurs sous réseaux de drainage (DESCONNETS, 1994).

Lors des événements pluvieux exceptionnels, ces réseaux de drainage individualisés peuvent se connecter temporairement pour former des réseaux plus conséquents. Les cours d'eau ont, dans la plupart des cas, un tracé sub-rectiligne conformément aux directions des pentes principales. Ils sont plus profonds en amont, sur le faciès induré (piémont dégradé), et évasés à mi-versant ou aux débouchés du bas-fond. Leurs morphologies offrent des profils en "V", ouverts au sommet et rétrécis à la base aux talus raides (MALAM ABDOU, 2005).

2.5.2- Les exutoires

Le fractionnement hydrologique du paysage en une multitude de bassins versants induit une large dispersion spatiale d'exutoires qui restent difficiles à inventorier de manière exhaustive à cause de leur variabilité interannuelle d'une part et de leur diversité de l'autre. En effet, en dehors des mares proprement dites qui accumulent les eaux libres, les zones d'épandage, les zones humides et les cônes de déjection sont aussi appelés exutoires puisqu'ils reçoivent le ruissellement provenant d'un impluvium donné (MASSUEL, 2005). Sur l'ensemble du bassin versant de kori de Dantiandou, cet auteur a répertorié 177 mares (dont 51 dans le kori), 135 zones humides et 65 cônes de déjection.

DESCONNETS (1994) a lui recensé une soixantaine de mares. Il faut préciser que son inventaire n'a concerné que quelques 600km² du bassin de kori de Dantiandou. Il a reparti ces mares selon trois types d'endoréisme :

- l'endoréisme des plateaux : les faibles déclivités de ces surfaces tabulaires conjuguées à la brousse tigrée sont à l'origine de l'absence d'un réseau hydrographique, d'où l'accumulation des eaux dans des micro-dépressions de quelques hectares. L'apparition de ces mares ne s'explique pas seulement par la présence de ces micro-dépressions, mais aussi à la faveur des caractéristiques pédologiques (sols bruns argileux et ou lithosols) et hydrologiques de ces plateaux. Au total, 43 mares sont concernées par cet

endoréisme. La position sommitale de celles-ci fait d'elles un ensemble hydrologique déconnecté du reste du paysage ;

- l'endoréisme des vallées sableuses : son origine est à mettre en parallèle avec la dégradation hydrographique régionale (qui drainait plusieurs centaines à quelques milliers de km) qui est réduit à un chapelet de mares au cours de la saison des pluies. Onze mares de ce type d'endoréisme sont ainsi dénombrées par DESCONNETS (1994);
- l'endoréisme de cuvette : la dégradation hydrographique interne des petits bassins versants (de plusieurs dizaines de km) est à l'origine de cet endoréisme. Cette dégradation a pour conséquence la division de ces entités en plusieurs réseaux de drainage déconnectés les uns des autres, d'où l'existence des unités hydrologiques individualisées qu'il qualifie de vallées fermées ou cuvettes. Six mares sont répertoriées par son inventaire.

Plusieurs interactions sont possibles entre les différents systèmes endoréiques des koris selon l'intensité des écoulements intermittents : interconnection, vidange...

COSTE (1998) a également fait un inventaire de mares sur la base des images satellitaires dans le bassin de kori de Dantiandou. Il a totalisé 191 mares (**Tableau 5**).

En plus de la catégorisation faite par DESCONNETS (1994), il a intégré d'autres types de mares qu'il dénomme les mares de route et mares hors-catégories.

Tableau 5 : Répartitions de mares selon COSTE

Type	kori	Versant	Plateau	Route	Hors-catégorie	Total
Nombre	65	35	53	31	7	191

Source : COSTE (1998)

Il note par ailleurs que les mares hors-categorie sont des mares de bordure du Dallol Bosso. Elles ne font donc pas partie du bassin versant de kori de Dantiandou.

2.6- Hydrogéologie

Les caractéristiques citées ci-dessous sont largement inspirées des travaux de FAVREAU (2000) et FAVREAU et al (2002).

Trois aquifères sont présents dans la série du Continental Terminal (CT) près de Niamey : deux nappes captives reconnues par forage et dénommées CT1 pour la plus profonde et CT2 pour la seconde, et une nappe phréatique CT3. Ces nappes superposées sont séparées par des horizons semi-perméables et peuvent, selon les endroits, être bien distinctes ou se confondre (DESCONNETS, 1994). Mais pour MASSUEL (2005), aucun mélange naturel des eaux n'a pu être mis en évidence dans la zone d'étude et l'existence d'une drainance descendante entre la nappe phréatique et les nappes captives doit être exclue dans cette partie.

- la nappe CT1, profonde de 120m (COSTE, 1998) est une nappe captive des sables inférieurs qui est confinée au sommet par des argiles à lignites du CT2. Le sens d'écoulement est orienté nord-sud et la température des eaux est de l'ordre de 30-33°C avec un pH de 7-8 (MASSUEL, 2005). Selon LE GAL LA SALLE *et al.* (1995), cité par MASSUEL (2005), les études isotopiques montrent des teneurs nettement différenciées de celles de la nappe phréatique et indiquent des eaux fossiles infiltrées sous des conditions plus humides et ou plus froides que l'actuel ;
- la nappe CT2, profonde de 90m (COSTE, 1998) est une nappe des oolites intercalée au milieu des argiles grises à lignites du CT2. Les caractéristiques physico-chimiques et isotopiques sont quasi-identiques à celles de la nappe du CT1 avec des températures de l'ordre de 31-34°C et un pH compris entre 7-9.

Les aquifères de CT1 et CT2 sont hydrauliquement peu actifs et pour MASSUEL, ils seraient déconnectés du système hydrologique local avec un renouvellement extrêmement faible. Entre 1987 et 1995, leur évolution piézométrique montre une tendance à la stabilité voire même à une baisse de l'ordre du mètre (FAVREAU, 2000).

- la nappe phréatique du CT3 est constituée des sables fins et des silts, passant progressivement en profondeur à des argiles imperméables (FAVREAU et LEDUC, 1998). La profondeur de la nappe, comprise entre 55-75m sous les plateaux latéritiques, varie de 25m à moins de cinq mètres (5m) sous les vallées sèches. L'épaisseur saturée de la nappe est en moyenne de 30m. verticalement, le mur de l'aquifère est constitué d'une couche régulière d'au

moins une dizaine de mètres d'argiles qui empêche toute drainance avec les aquifères captifs sous-jacents. La température des eaux est proche de 30°C avec un pH acide (5 à 6) (FAVREAU *et al.* 2002).

A l'échelle de la zone d'étude, la dépression piézométrique, alignée sur le kori de Dantiandou présente une forme allongée sur plus de 4000 km² entre le fleuve Niger et le Dallol Bosso. L'existence de cette dépression implique des flux latéraux limités et donc une faible perméabilité de l'aquifère et un faible débit spécifique, de l'ordre de 3.5m³/h/m (FAVREAU, 2000).

L'analyse de la variation piézométrique à l'échelle saisonnière et interannuelle a permis de mettre en évidence une hausse généralisée. L'explication avancée est que le déboisement a provoqué un encroûtement des sols, une augmentation des ruissellements et donc un afflux d'eau supplémentaire aux mares endoréiques, sites privilégiés de la recharge de la nappe (FAVREAU *et al.* 2002).

Cette nappe représente l'unique ressource en eau permanente accessible pour l'ensemble de la population. Son importance est donc vitale. Mais en raison d'un sous développement chronique, sa sollicitation est faible, de l'ordre de 0.3mm/an.

2.7- Le cadre climatique

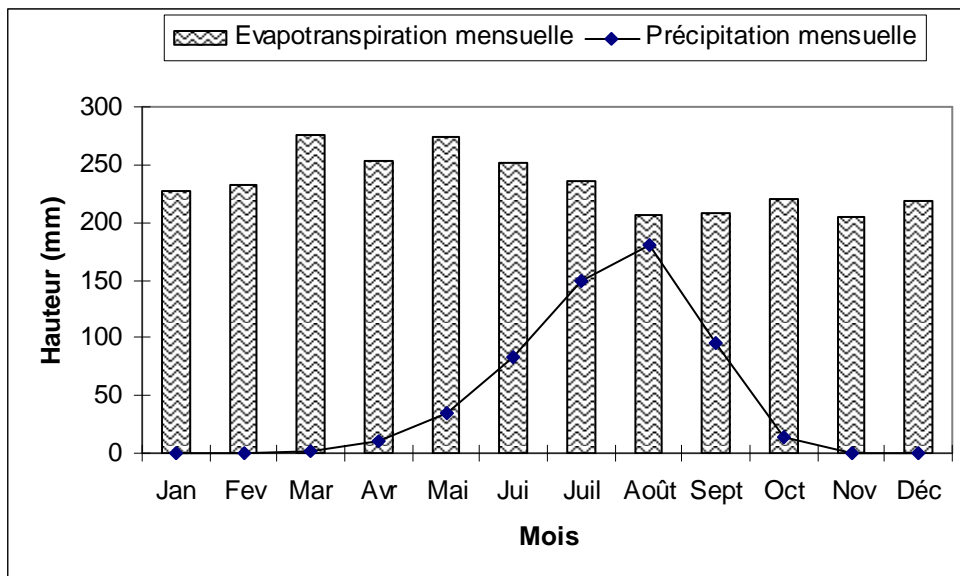
Le régime pluviométrique au Niger comme pour toute l'Afrique tropicale est uni modal. Les précipitations ont lieu pendant l'été boréal et, conformément aux mouvements du Front intertropical (FIT), elles durent de 3-5 mois. Les autres mois de l'année sont pratiquement secs.

Dans la région de Niamey, la précipitation s'étale de juin à septembre-octobre. Avec ses cumuls pluviométriques annuels moyens de 500 à 600 mm, cette région est considérée à l'échelle nationale comme la plus arrosée après la région du Dendi (800-900 mm). Plus de 70 % de ces cumuls sont concentrés sur les seuls mois de juillet et août, deux mois pendant lesquels sont enregistrés les cumuls maximaux tant en hauteur qu'en nombre d'événements. Cela n'est pas sans conséquences sur le plan hydrologique et environnemental car les orages successifs font que l'humidité relative est élevée, les sols sont presque toujours saturés, d'où une diminution de l'infiltration. Et de ce fait, les moindres pluies peuvent générer des importants

ruissellements et donc des intenses morphogénèses étant donné surtout la forte intensité de ces précipitations.

Deux mois également pendant lesquels la valeur de l'évapotranspiration potentielle (ETP) est relativement estimée comme faible par rapport aux autres mois de l'année quoique quelque soit le mois considéré, sa valeur serait toujours supérieure à celle des précipitations (**Fig. 3**). La lame moyenne annuelle de l'ETP est de 2520 mm sur la période 1977-2004, soit une lame moyenne de 6.5 mm par jour. Les extrêmes sont observés en mars pour le maximum et en août pour le minimum.

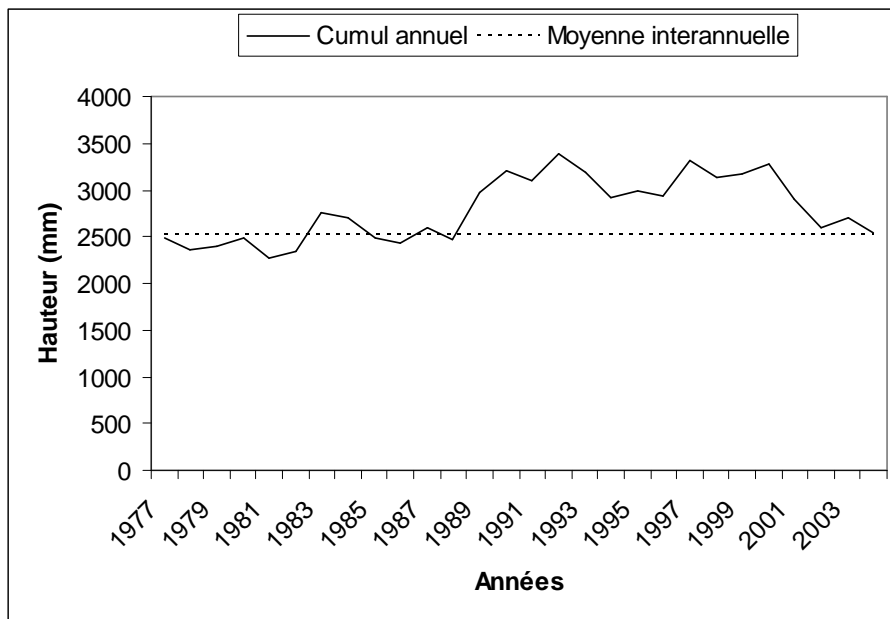
Fig.3 : Courbes des précipitations et évapotranspirations mensuelles de 1977-2004 à la station de Niamey



Source : DMN

Plusieurs études laissent justement croire à une diminution de l'évapotranspiration réelle inférée par la réduction ou la disparition du couvert végétal depuis les années 1970. On note par ailleurs, pour ce qui est de l'évapotranspiration potentielle, une augmentation de celle-ci à l'échelle inter annuelle. De 1977-1988, sa valeur est certes inférieure ou égale à la moyenne, mais depuis 1989, elle est pratiquement supérieure à la moyenne jusqu'en 2004 avec des cumuls allant parfois jusqu'à 34 % de la moyenne (**Fig. 4**).

Fig. 4 : Variations inter-annuelles de l'ETP (1977-2004) à la station de Niamey

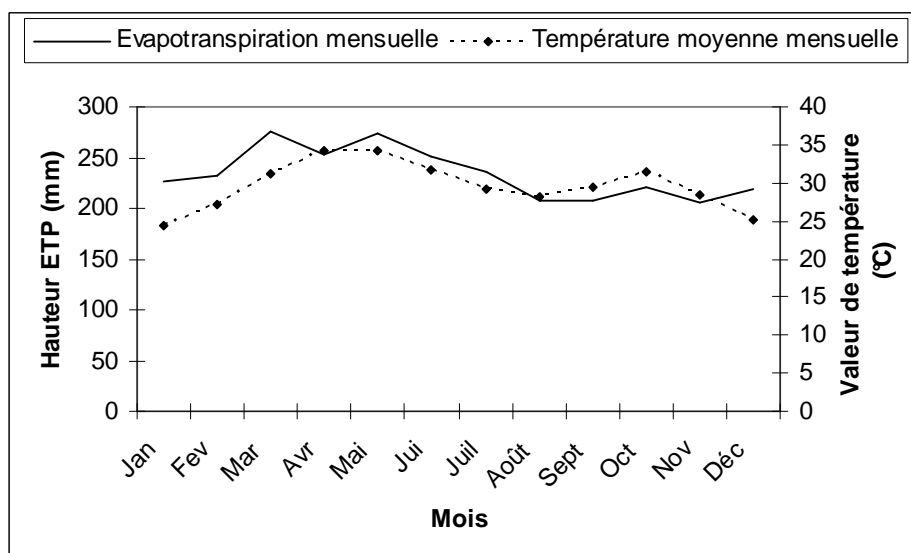


Source : DMN

Les variations saisonnières de l'ETP sont uniformes au régime thermique avec deux maxima (correspondant aux équinoxes) et deux minima (aux solstices).

Les températures maximales atteignent 45° au printemps et 38° en automne. Entre ces maxima, les températures diminuent sensiblement pour retomber à 15° en hivers et 25° en été à cause de l'hivernage (Fig. 5).

Fig.5 : Courbes des variations saisonnières de température et de l'ETP



Source : DMN

2.8- Le cadre humain

La commune rurale de Fakara est l'une des dix communes du département de Kollo. Elle couvre une superficie de 500 km² environ pour une population de 24948 habitants (RGP/H, 2001), soit une densité de 49 habitants au km². Elle est en effet l'une des communes les moins peuplées du département, loin derrière la commune de Karma, de Lamordé ou même de Kouré. Sa population a quadruplé entre 1950 et 2001 (RGP/H, 2001). Et, au taux régional actuel d'accroissement naturel de Tillabery qui est de 2.75 %, et sur l'hypothèse que celui-ci reste constant sur une longue période, la population de la commune rurale de Dantiandou doublera en 26 ans, soit en 2027. L'effectif actuel de la population se répartit sur 3095 ménages regroupés en 37 villages administratifs, 12 hameaux et 3 campements de Peulhs et ou de Bella (ME/F, RN, 2006). Cette population est en majorité sédentaire et très faiblement urbanisée.

La répartition spatiale des entités sur le bassin du kori Dantiandou laisse apparaître une distribution déséquilibrée, plus dense au sud qu'au nord. De quelques 100 circonscriptions qui se le partagent, plus de la moitié se trouvent au sud dans la partie aval du bassin concernée par cette étude. Les 9/10e de ces villages appartiennent à la commune de Fakara tandis que les autres sont rattachés soit à la commune de Hamdallaye (Kollo), soit à la commune de Ballayara (Filingué). Cette concentration de villages, et donc de la population, n'est pas sans conséquence sur le milieu et les rendements de productions. En effet, parallèlement à la multiplication de la population dans la commune, on observe une chute des superficies cultivées par actif agricole passant de 18 ha à moins de 4 ha en 50 ans (BODE, 2004).

En 2027, la population atteindrait les 50.000 habitants et de ce fait, les habitants feront face sans doute à une crise aigue d'espace de production et particulièrement dans le secteur sud. Déjà en 1998, LOIREAU (1998), mentionnait que l'espace facilement cultivable est saturé et l'extension des surfaces cultivées n'est plus possible dans le terroir de Banizoumbou, sauf changements majeurs des techniques agricoles pour mettre en valeur des zones jusque là protégées, comme les plateaux cuirassés.

La mise (ou la remise) en culture de quelques terres actuellement en friche ou en jachère passe par le déboisement et se soldera en conséquence par une augmentation

de ruissellement et des sols nus, ce qui laisse prévoir l'accélération probable des morphogènes hydriques et éoliennes.

Les productions agricoles pluviales sont dominées par les cultures de céréales. Le mil est la principale culture, suivi du sorgho qui est semé le plus souvent dans des microenvironnements les plus favorables du champ, en l'occurrence les bas-fonds argileux où il est parfois en association avec le gombo. Le mil est également cultivé soit en monoculture soit en association avec le niébé.

Il faut noter par ailleurs que le système de culture est de type extensif qui consiste à augmenter les superficies cultivables pour accroître la production. Et actuellement, étant donné l'incertitude d'extension des surfaces cultivables, les productions céréalières dans un tel contexte sont liées selon LOIREAU (1998) à la qualité de terres, au régime pluviométrique et aux soins plus ou moins intensifs du cultivateur (qualité du sarclage, intensité des intrants...).

Les rendements varient de 70 à 400 kg/ha selon la distance champ-village. ADA et ROCKSTROM (1993) cité par LOIREAU (1998) expliquent en effet que dans le Zarmaganda, les rendements sont différenciés selon trois auréoles concentriques autour des villages. Ils sont plus importants dans la première auréole (300-400 kg/ha) et moins rentables dans la troisième auréole (70 à 150 kg/ha).

Chapitre 2 : Analyse et structuration des données

I- Analyses et interprétations des données

1.1- L'érosion

Nous entendons présenter dans ce titre une approche globale de l'érosion mettant en exergue d'une part les pertes par ravinement et de l'autre le transfert des substances, le sol en l'occurrence. L'érosion *stricto sensu* se définit selon ROOSE (1981) comme le flux de particules solides arrachées à la surface du sol en tonnes par hectare et par an, mais aussi le ruissellement, lequel constitue le flux liquide qui transporte (et parfois arrache) ces particules.

Plusieurs formes d'érosion sont à distinguer (linéaire, aréolaire, pluviale...). A chaque forme correspond une échelle d'observation et une méthode d'expérimentation appropriée, quantitative (tonnage) et ou qualitative (granulométrie et qualité agronomique des particules).

1.1.1- Mesure d'érosion

1.1.1.1. L'érosion aréolaire sur parcelles expérimentales

L'érosion aréolaire intègre à la fois l'érosion pluviale et le ruissellement diffus et ou en nappe. Dans la pratique, il est difficile d'apprécier quantitativement l'érosion pluviale car ses effets se confondent avec ceux du ruissellement. NEBOIT (notes des cours) dit à ce propos que les pertes en terres mesurées sur parcelles expérimentales cumulent en effet les pertes attribuables à deux processus distincts (érosion pluviale et érosion par ruissellement), mais simultanés et dont le fonctionnement est si imbriqué qu'il est difficile de préciser ce qui revient à l'un et à l'autre.

La mesure de l'érosion par ruissellement n'est pas non plus une opération facile même lorsqu'on se borne à travailler sur des parcelles expérimentales.

Le ruissellement est, en effet, commandé par les caractéristiques des précipitations et contrôlé surtout par l'état de surface. Les parcelles doivent être de ce fait plus ou moins absolument représentatives du milieu dans lequel elles se trouvent.

Les données des parcelles que nous disposons sont collectées dans deux stations d'observation durant deux ans et concernent quatre types d'état de surface (cf.

tableau 3, pp 42). Nous limiterons volontairement le détail dans l'analyse des résultats de ces parcelles afin d'éviter des redondances puisque cela a fait l'objet de trois mémoires complémentaires et bien d'autres travaux.

La perte en terres due à l'érosion aréolaire sur parcelle est une variable quantifiable même à l'échelle d'une averse, pourvue qu'elle soit d'une hauteur ou d'une intensité suffisante pour générer le ruissellement. La perte annuelle est égale à la somme des pertes unitaires.

1.1.1.1- Erosion dans les champs cultivés

Dans les parcelles du mil, le coefficient de ruissellement, KRAM variant entre 2-4 % et les maxima entre 20-30 %, sinon exceptionnellement plus, est le coefficient le plus faible, du moins en expérimentation car dans le fait, la réalité est autre. Dans ces conditions, la perte en terre est également faible car l'efficacité érosive des eaux de ruissellement étant affaiblie par l'infiltration.

L'évolution du coefficient de ruissellement au cours de la saison est une variable aléatoire conditionnée par plusieurs facteurs.

Dans les parcelles observées, les premières pluies étaient effectivement ruisselantes avec des coefficients souvent supérieurs à 20 % pour des pluies inférieures à 30 mm. Mais comme le dit ROOSE (op. cité), la hauteur de pluie, prise isolément ne peut expliquer ce phénomène. Cet état de fait est surtout lié à l'état structural du sol plus ou moins cohérent présentant peu, sinon pas de couvert végétal. Il faut reconnaître là que, même pour un type d'état de surface donné, les comportements des parcelles ne sont pas absolument identiques du fait d'une part de la variation de leurs caractéristiques et de leurs dimensions de l'autre. Il se dégage en effet que les parcelles de 100 m² sont beaucoup moins ruisselantes (cinq ruissellements sur une trentaine de pluies en 2006) que les parcelles de 10 m² où presque la moitié des pluies avaient ruisselé.

L'allure générale de la courbe des coefficients de ruissellement dans les parcelles du mil dégage une tendance décroissante au cours de la saison malgré les hauteurs de pluies observées. Ce qui est normal étant donné l'accroissement de l'infiltration (dû aux sarclages et ou à l'existence des cultures dans les parcelles). Ce fut justement le

cas dans toutes les parcelles où on remarque que des pluies de 50-60 mm de hauteur n'avaient donné lieu qu'à un ruissellement relativement négligeable de 5-8 % suite aux sarclages intervenus quelques jours avant les épisodes pluvieux. Notons que la hauteur minimale ruisselante varie entre 10-14mm avant le sarclage et va jusqu'au-delà de 25mm après le sarclage.

L'effet du sarclage sur l'érosion et le ruissellement peut se faire sentir même après 5-6 pluies. Mais pour ROOSE (1981), la baisse de cohésion du matériau causée par le sarclage peut entraîner par la suite une érosion plus importante si la couverture végétale n'a pas recouvert le sol.

On remarque par ailleurs une très faible concordance symétrique entre l'évolution des hauteurs des pluies et celle des coefficients de ruissellement (**fig. 6**) (R^2 tend vers zéro)¹

Mais, l'évolution symétrique (augmentation ou diminution) des courbes des hauteurs des pluies et de celles des pertes en terres n'est pas du tout une situation évidente et prévisible, R^2 étant faible (**fig. 7**). On a observé en effet que dans certains cas, les pertes maximales ne sont pas systématiquement produites par les pluies maximales : 13 mm ont entraîné une perte de près de 600 kg /ha, 34 mm ont entraîné une perte de près de 2400 kg/ha tandis que 60 mm n'ont provoqué que 174 kg /ha de pertes en terre.

Les pertes unitaires, calculées sur la base des concentrations obtenues après traitements des échantillons prélevés dans les cuves des parcelles après chaque averse se chiffrent plus ou moins proportionnellement à la valeur du coefficient de ruissellement. Les forts coefficients se traduisent par des importantes pertes.

Le bilan annuel de pertes attribuables au ruissellement en nappe sur parcelle, extrapolé à l'échelle d'un hectare est quantifiable en kg ou en tonnes. Il va de 2000 à 7000 kg/ha en moyenne selon les parcelles et les années. Ce qui représente tout de même une valeur non négligeable en termes du bilan d'érosion. Et Selon ROOSE (1981), les pertes en terres évoluent au cours des années dans les champs labourés.

¹ Si R^2 tend vers zéro, cela traduit donc une faible corrélation, tandis que si il tend vers 1, il tend vers une parfaite corrélation.

Fig. 6 : Courbes de corrélation linéaire de hauteurs de pluies et de coefficient de ruissellement dans la parcelle de mil (parcelle 8, Banizoumbou 2005).

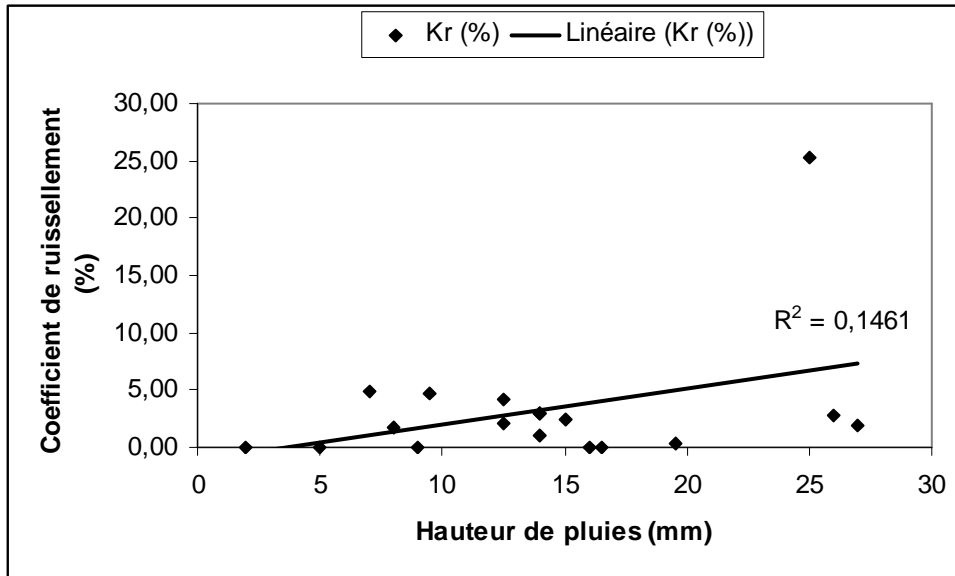
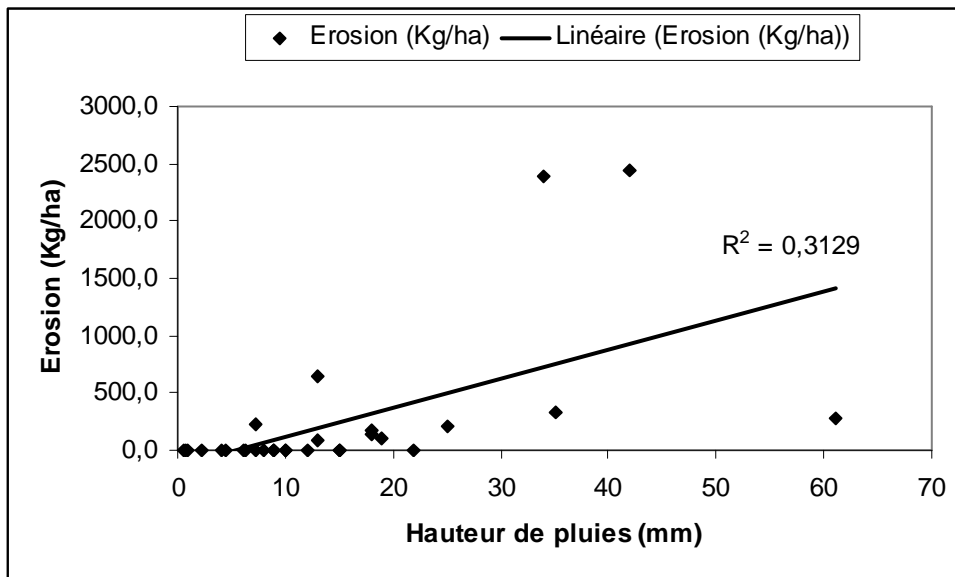


Fig.7 : Courbes corrélation linéaire hauteur pluie et perte unitaire dans la parcelle de mil (p7, Banizoumbou 2006).



des forces de frottements dues aux irrégularités de la surface du sol, au chevelu racinaire superficiel, aux nombreuses tiges de graminées, au stade de croissance du couvert végétal surtout herbacé.

Le coefficient de ruissellement maximum peut exceptionnellement dépasser les 45 % soit à cause d'une pluie de hauteur, de durée ou d'intensité exceptionnelle, soit à cause de la faible couverture végétale. Il faut adjoindre à ces facteurs un autre paramètre qu'est l'humidité du sol qui joue, tant dans la jachère que dans les autres états de surface, un rôle très important dans l'accélération ou non du ruissellement. Plus l'écart entre deux pluies est court, plus l'humidité relative du sol est importante et le sol sature rapidement. C'est le cas justement des averses successives séparées par quelques heures ou d'un à deux jours à l'exemple de celles observées en août 2007 où on a recensé six pluies en neuf jours (19 ; 20 ; 23 ; 25 ; 26 et 28 août à Banizoumbou) et pendant lesquelles la hauteur minimale de 7mm (le 28 août) a produit un coefficient de ruissellement de 10 % ou encore de 19 % pour une autre pluie de 8mm. Ce qui est difficilement observable si ce n'est pour cette circonstance étant donné la hauteur minimale ruisselante dans les jachères qui est de 10-12mm en moyenne.

Au contraire, si l'écart entre deux pluies est long, le sol se dessèche et donc sera apte à infiltrer une nouvelle fraction d'averse. Dans ces conditions, les pluies, même de hauteur considérable ne génèrent que des ruissellements souvent négligeables. Exemple : 64 mm pour un Kr de moins de 10 % ; 68 mm pour un Kr de 14 %...

Les dimensions des parcelles jouent également un rôle non négligeable dans les variations de ruissellement. En 2005 par exemple, sur 18 pluies ruisselées, le Kr moyen n'est que de 0.5 % dans la parcelle de 100 m² alors que dans celles de 10 m² ; le Kr va de 6 à 13 %.

Les courbes des corrélations hauteur de pluie- pertes en terres dégagent en général une faible concordance, R² très faible (**fig. 8**). Ce qui dénote l'existence d'une relation certes, mais une relation complexe et surtout non linéaire entre l'érosion spécifique et la hauteur de pluie tant événementielle qu'annuelle. Dans certains cas, l'érosion croît avec la pluie (comme c'est le cas surtout en début de saison) et décroît dans d'autres puisque la couverture protectrice augmente de plus en plus. C'est ce qui explique

d'ailleurs la tendance décroissante des charges unitaires au fur et à mesure que s'installe la saison pluvieuse. Les quantités maximales des pertes en terres sont surtout observées au mois de juillet pendant lequel l'érosion spécifique maximale peut dépasser les 2000kg par averse. Le cumul annuel (ou du moins saisonnier) dans les jachères va de 4000-9000 dans les parcelles de 10m² alors que dans celles de 100 m², elles atteignent les 20000 kg /ha (fig.9).

Fig. 8 : Courbes de corrélation linéaire hauteur de pluie - perte en terres dans la jachère (p6, Banizoumbou 2005)

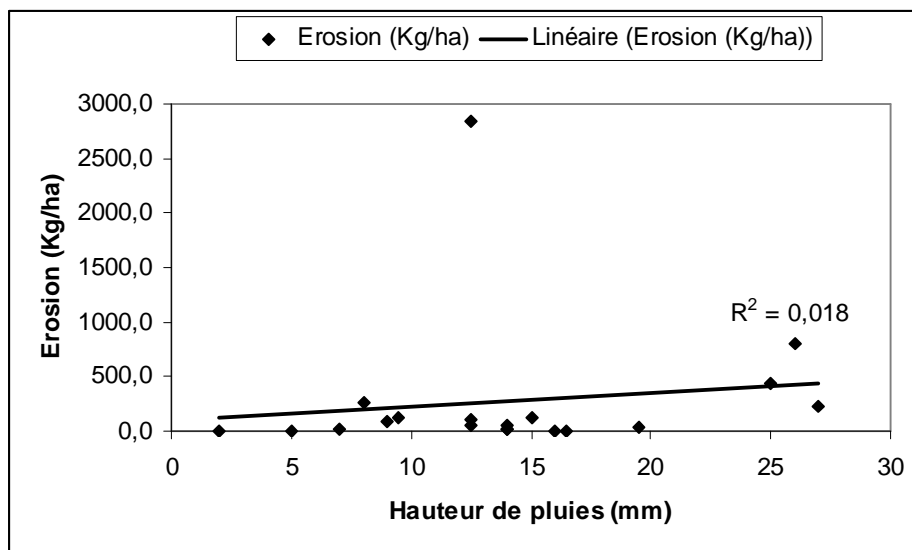
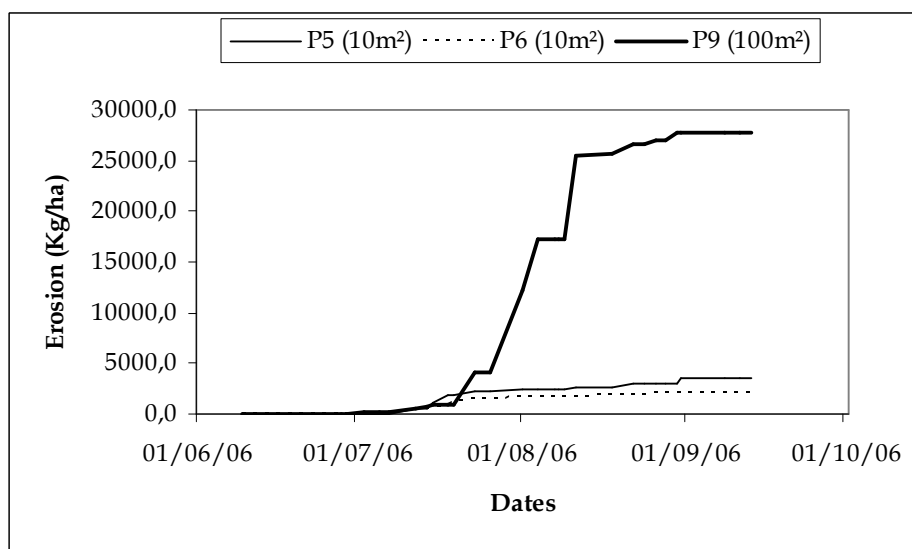


Fig. 9 : Cumul de pertes annuelles en terres selon les dimensions des parcelles dans la jachère (Banizoumbou).



Source : IRD

1.1.1.1.3- Erosion sur la croûte algale

La croûte algale est un type d'état de surface dont le mécanisme de formation est génétiquement lié à la présence et au développement des algues et des champignons. Elle se manifeste sous la forme d'un micro horizon en escalier d'étendue variable et séparé les uns des autres par des OPS ou d'autres structures.

De couleur verdâtre sinon noirâtre (**photo 1**), cette croûte présente des spécificités liées à l'encroûtement de ces micro-organismes qui, une fois humectées deviennent presque totalement imperméables. Ce qui laisse présager une très bonne relation entre l'abondance de ces croûtes et l'aptitude au ruissellement. Elle est surtout observée dans les jachères, et prédominante dans les vieilles jachères.

Les parcelles de cette croûte intègrent donc, outre les caractéristiques de la jachère, des particularismes liés aux genèses du ruissellement par cet état de surface singulier. Du coup, les résultats des mesures sur cet état ne sont donc pas analogues à ceux des parcelles de « jachère simple ».

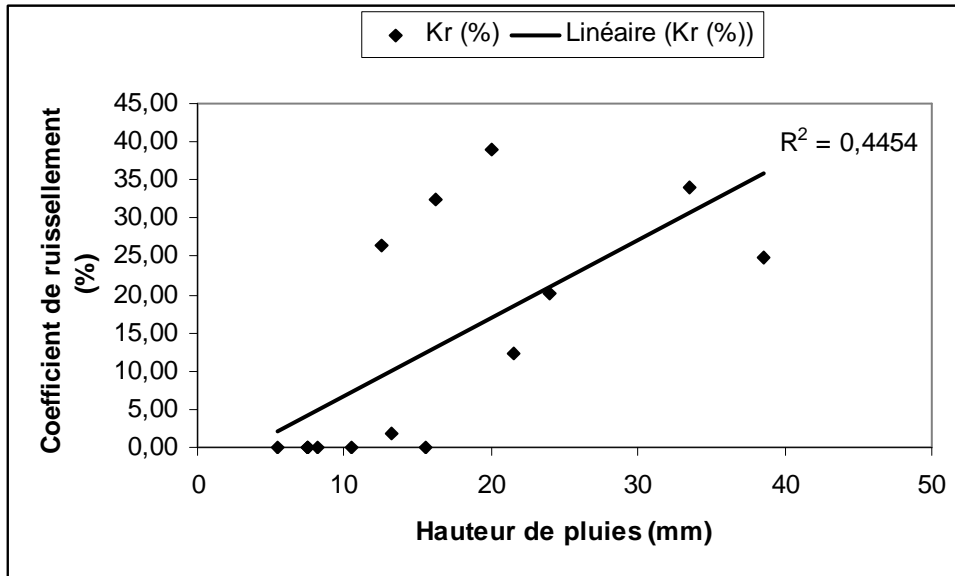
Pour ce qui est du coefficient de ruissellement, les KRAM vont de 13 à plus de 20 % selon les années tandis que les maxima (KRMAX) plafonnent autour 55 %. Ces derniers sont dans la plupart des cas générés par des pluies moyennes de 20-30 mm de hauteur.

La corrélation hauteur de pluie- K_r , dégage une concordance plus ou moins moyenne comme ce fut le cas à Wankama en 2005, R^2 proche de 0.5 (**fig. 10**). Donc, les hauteurs des pluies et les K_r sont plus ou moins proportionnels : les fortes pluies entraînent de forts coefficients et les pluies faibles les décroissent. Mais dans les autres (du même état de surface), les allures des courbes sont complexes et très variables.

Comme pour les coefficients de ruissellement, l'écart des valeurs des pertes en terres entre la jachère et la croûte algale est également plus prononcé. Le cumul saisonnier va jusqu'à 12000 kg/ha, voire plus dans la croûte algale contre 9000-10000 kg/ha au maximum dans la jachère. Ce qui sous-entend une fois de plus l'importance de la croûte tant dans la production du ruissellement que dans l'accroissement de l'érosion.

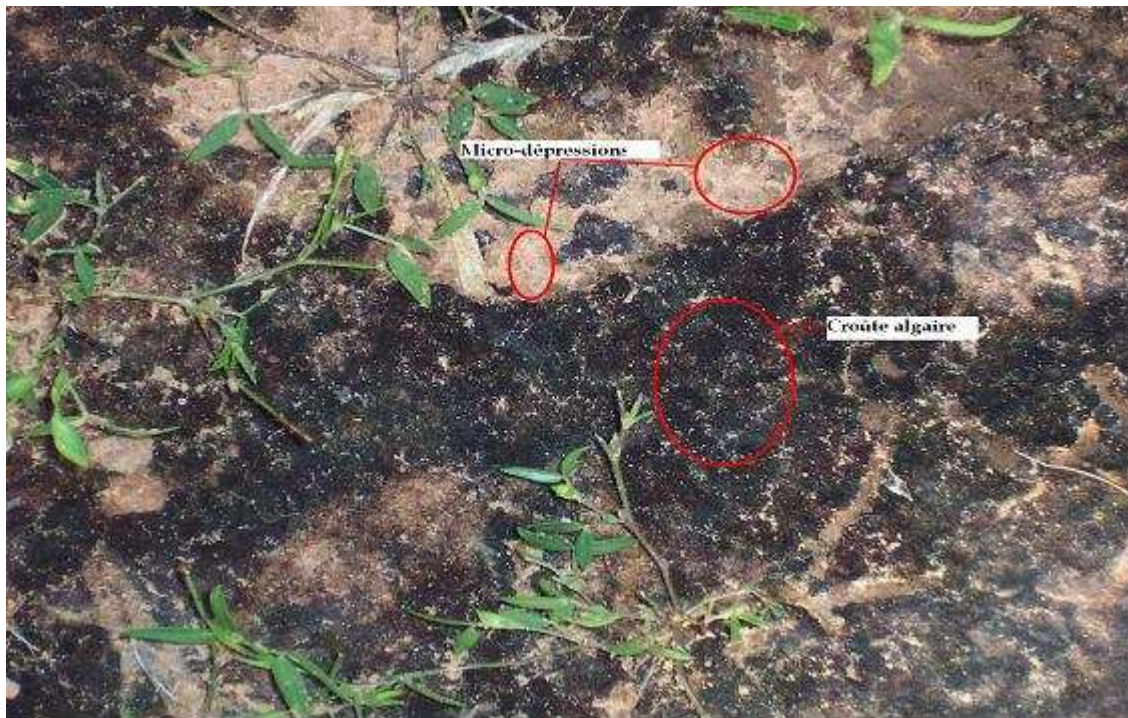
Les hauteurs minimales ruisselantes se planchent entre 7-9 mm selon l'état et l'humidité du sol de la parcelle.

Fig.10 : Courbes de corrélation de hauteurs de pluies et des coefficients de ruissellement dans la parcelle de croûte algaire (Wankama 2005)



Source : IRD

Photo 1 : Croûte algaire



Source : MALAM ABDOU (2007)

1.1.1.1.4- Erosion sur la croûte d'érosion

La croûte d'érosion est une formation sédimentaire indurée plus ou moins friable résultant de l'accumulation de silice et d'oxyde de fer (dû à la présence des sols

ferrugineux tropicaux). Sa surface est absolument nue et reste ainsi durant toute la saison pluvieuse. Ni arbuste, ni herbe ne poussent à cause de l'induration. Cela fait de cet état de surface un des plus ruisselants de la zone. Il suffit simplement de 5-7 mm de pluie pour que se déclenche le ruissellement. Il faut préciser là que les seuls paramètres susceptibles de varier le coefficient de ruissellement sont principalement la hauteur et l'intensité de la pluie. Selon l'intensité, une hauteur de 7mm peut produire un Kr de 20-50 %. L'humidité influe certes, mais son effet est négligeable d'autant plus que la perméabilité du sol est très faible.

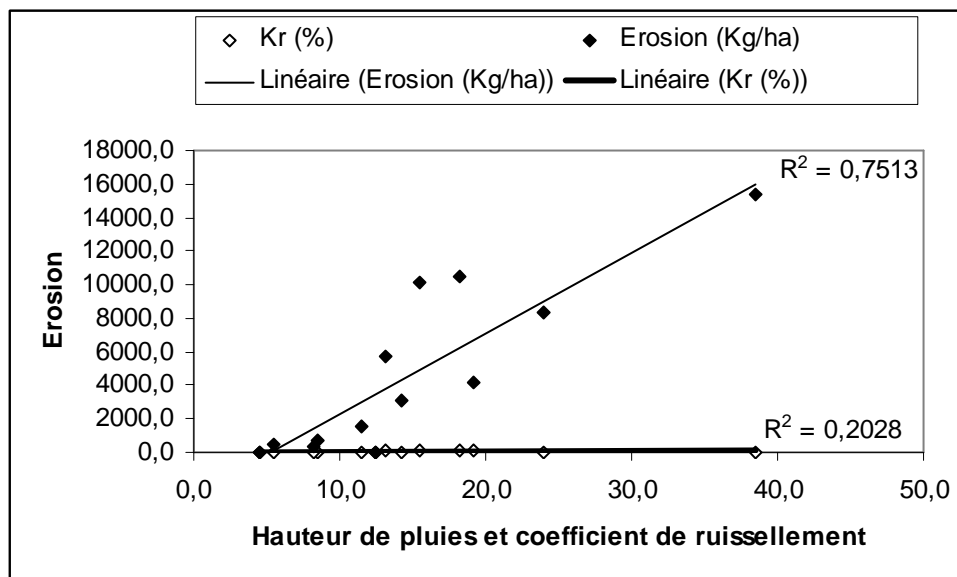
Etant donné l'inexistence ou la faiblesse des facteurs atténuants le ruissellement au cours de la saison, le Kr, strictement commandé par les seules caractéristiques de la pluie peut rester potentiellement élevé au début comme à la fin de la saison.

Le KRMAX peut exceptionnellement atteindre les 98 %, mais en général il varie entre 80-90 %. Autrement dit, les volumes de pluies tombées sur la parcelle se recueillent presque effectivement dans les cuves.

Le KRAM va de 40-50 %. L'allure de la courbe des coefficients de ruissellement semble être dans la plupart des cas proportionnelle aux pluies : ascension ou descente systématique selon la hauteur ou l'intensité des pluies. Il en est également de même du rapprochement entre les coefficients de ruissellement et les pertes en terres puis entre les hauteurs de pluies et les pertes en terres, R^2 tend vers 1, (**fig. 11**).

Par ailleurs, les pertes en terres par événement de pluie restent considérables. La dégradation spécifique est de l'ordre 15000 kg /ha/an.

Fig. 11 : Corrélation entre hauteur de pluie, coefficient de ruissellement et pertes en terres dans la croûte d'érosion (Wankama 2005)



Source : IRD

De l'analyse de données des parcelles expérimentales, il se dégage que plusieurs dimensions sont à prendre en compte dans la différenciation des indices calculés. Les KRAM, KRMAX et la dégradation spécifique ne sont jamais absolument identiques ni pour un même état de surface donné, moins encore pour des états différents et varient d'une année à l'autre.

Au tableau suivant, sont comparés les indices moyens selon les états de surface.

Tableau 6 : Les indices moyens selon les états de surface.

Indices → Etat de surface ↓	Hauteur minimale ruisselante (mm)	Coefficient de ruissellement annuel moyen (KRAM %)	Coefficient de ruissellement maximum (KRMAX %)	Cumul annuel de dégradation (kg/ha)
MIL	11-13	2-4	20-30	2000-7000
JACHERE	10-12	8-10	30-40	4000-9000
CROUTE ALGAIRE	7-9	13-25	50-65	10000-12000
CROUTE D'EROSION	5-7	40-50	80-90	14000-16000

Source : MALAM ABDOU

En combinant les différents facteurs, on peut déterminer un certain seuil de déclenchement des phénomènes d'érosion et de ruissellement en particulier. Pour tous les états de surface, ce seuil varie en fonction de l'humidité préalable du sol avant l'averse qui, adjointe à une hauteur minimale donnée (tableau 6-2) déclenche systématiquement le ruissellement. Ce seuil varie également en fonction de l'état de la surface du sol (rugosité, porosité...). Or cet état du sol et la végétation qui le recouvre sont, dans la plupart des cas ce que l'homme en a fait par le biais de ses aménagements. Donc, les conditions dans lesquelles s'exercent l'érosion et le ruissellement sont profondément influencées par le mode d'utilisation du sol, raison pour laquelle, la dégradation ne peut être considérée comme une donnée de fait seulement et simplement climatique.

1.1.1.2-Erosion linéaire dans le lit des ravines

Dans le lit des ravines, quoiqu'indissociable, il importe néanmoins de distinguer deux types d'érosion. Il y a d'abord l'érosion par évolution régressive des ravines, responsable de l'allongement et de l'élargissement de lit des rivières par sapement et décapage. Les matériaux ainsi décapés déclenchent le deuxième type ou processus d'érosion qui est le transport solide des particules, responsable de creusement et ou de colluvionnement et alluvionnement des lits. Ces deux processus modifient constamment la forme des lits et témoignent alors de l'intense activité des ravines.

1.1.1.2.1 - L'évolution régressive des ravines

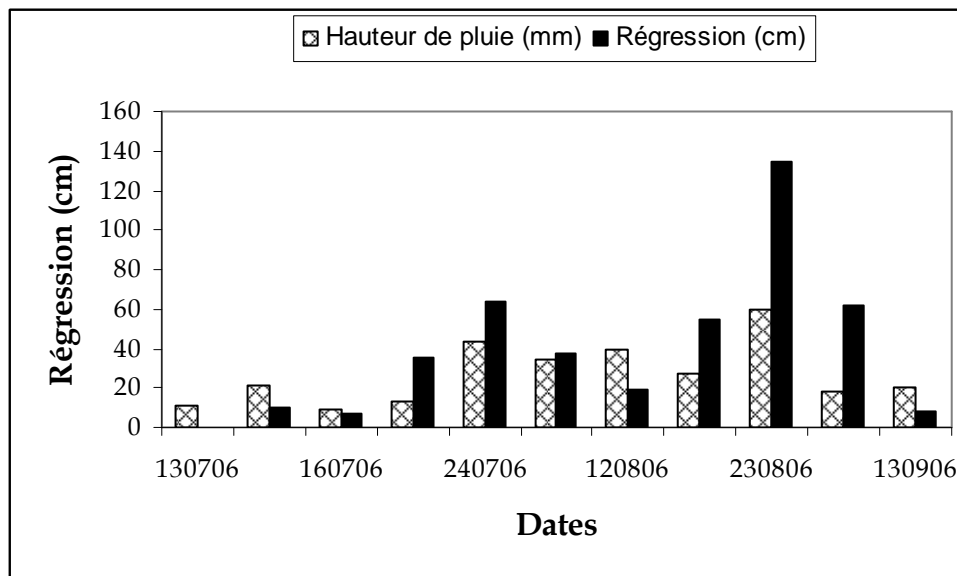
L'allongement des ravines par érosion régressive est un processus mesurable à l'échelle d'une averse, d'une année ou sur plusieurs années.

Après chaque événement pluvieux, les têtes des ravines reculent en effet d'une longueur variable de quelques millimètres à plus d'un mètre selon la hauteur de pluie enregistrée (**fig.12**). Ce recul se produit sous l'effet de sapement de la base des berges par le courant d'eau surtout au moment des crues ou de hautes eaux.

Dans les ravines observées, la longueur maximale du recul par averse est de 135 cm (observé le 23 août 2006 suite à une pluie de 60mm de hauteur). Le recul annuel maximum est de l'ordre de 4m. Ainsi, schématiquement pris, pour une ravine de 1m

de profondeur et de 1.5m de largeur (dimensions moyennes très caractéristiques des ravines), le recul de 135cm observé emporterait une masse de 2025dm³ (2025kg) de matériaux à l'occasion de la seule averse. Pour les mêmes dimensions, l'érosion annuelle par évolution régressive aurait emporté 6000kg de sable. Par ailleurs, il faut adjoindre à ce processus, les mouvements de masse des colonnes, parfois très massive, provoqués par le raidissement de la pente des berges et qui se matérialisent par l'élargissement de lit des koris. Le recul et le sapement des berges, la ramification et la multiplication des incisions constituent le façonnement et la régulation du profil tant en long qu'en large des ravines. La rapidité d'incision s'explique facilement, compte tenu de la particularité de la structure sédimentaire gréseuse tendre, héritage de la cuesta du bassin sédimentaire des Iullimmeden.

Fig.12 : Evolution régressive des ravines selon les hauteurs de pluies (Banizoumbou, 2006)



Source : IRD

1.1.1.2.2 - Les mesures solides (MES)

Tout cours d'eau dispose d'une charge solide qu'il transporte lors des écoulements. Cette charge a en effet une double origine ; elle provient en partie de leur propre travail d'érosion (sapement, décapage...) et en partie, de ce que fournissent les interfluves. Et selon la force du courant d'eau, la charge solide contribue à deux types de processus morphogénétiques. Si la force du courant est faible, le cours d'eau

dépose les éléments constitutifs de sa charge (on parlera alors de comblement, alluvionnement ou ensablement). Mais dès que le cours d'eau recouvre sa capacité élevée de transport, sa compétence en particulier, il remet en mouvement les alluvions déposées et peut même exercer un creusement le long du talweg (c'est l'ablation ou le creusement).

La charge transportée peut être subdivisée en trois fractions : la charge en solution, la charge en suspension et la charge transportée par saltation (ou charriage). En ce qui concerne cette étude, seules les charges en suspension et en saltation sont prélevées et analysées.

La charge en suspension est composée des particules fines (argiles, limons et sables fins) qui progressent à la même vitesse que l'eau. Sa concentration, exprimée en g/l ou kg/m³ est variable selon le poids de terres érodés à l'échelle du bassin et selon les volumes d'eau écoulés par les Kori. Pour VUILLAUME (1968), l'érosion en suspension est aussi dépendante de l'intensité des précipitations et de l'état pulvérulent des terrains. Or cet état est conditionné par le degré d'humidité et la nature du terrain. Toujours selon cet auteur, une pluie de 10mm sur terrain sec provoque un transport en suspension beaucoup plus fort qu'une averse de 30mm sur terrain saturé.

Pour corroborer ces assertions, nous avons pris à titre indicatif quelques pluies caractéristiques (la première et la deuxième seulement) afin de mettre en corrélation la pluie, le débit liquide, la concentration et le débit solide en suspension.

Ainsi, pour la première pluie ruisselante de la saison 2006 (pluie du 09 juillet à Wankama), le ruissellement n'avait commencé que plus de 20mn après le déclenchement de la pluie et la crue n'a duré qu'une quinzaine de minutes (la hauteur de la pluie étant de 30mm) pendant laquelle la concentration était seulement de 60-70g/l. Les valeurs élevées de la concentration (plus de 200g/l) avaient été observées pendant la décrue. Le débit solide maximum est supérieur à 100kg/s (**fig. 13**).

Pour la deuxième pluie ruisselante (intervenue deux jours seulement après la première), la crue avait duré une trentaine de minutes (hauteur de pluie, 27mm)

avec un débit maximum de 958 l/s (**fig. 14**). La concentration maximale étant observé pendant la crue même (6mn après le pic) et est de 193g/l.

La deuxième pluie a donc une crue beaucoup plus soutenue dans le temps que la première malgré la hauteur relativement faible, mais la concentration moyenne de ses particules en suspension est nettement inférieure à celle de la première pluie.

Cela semble être en partie à l'humidité relative du sol qui attribue une certaine cohésion aux particules du sol.

Par ailleurs, étant donné que le débit solide est une grandeur multiplicative de deux facteurs (concentration et débit liquide), si un des facteurs tend vers zéro, le produit tend également vers zéro. La concentration est commandée par l'état du sol et de l'intensité de dégradation tandis que le débit liquide est fonction de la hauteur et de l'intensité de pluie, mais de l'humidité du sol aussi. Il se dégage donc par analogie que le débit solide serait aussi lié au coefficient de ruissellement puisque les facteurs sus mentionnés conditionnent justement le Kr. C'est ce que dit d'ailleurs VUILLAUME (1968).

Ainsi, à chaque pluie, les cours d'eau transportent des poids considérables des matières en suspension et contribuent par là même à la pauvreté des sols au regard de la qualité agronomique très particulière de ces particules.

Fig. 13 : Débits solides et liquides de la première pluie ruisselante en 2006 à Wankama.

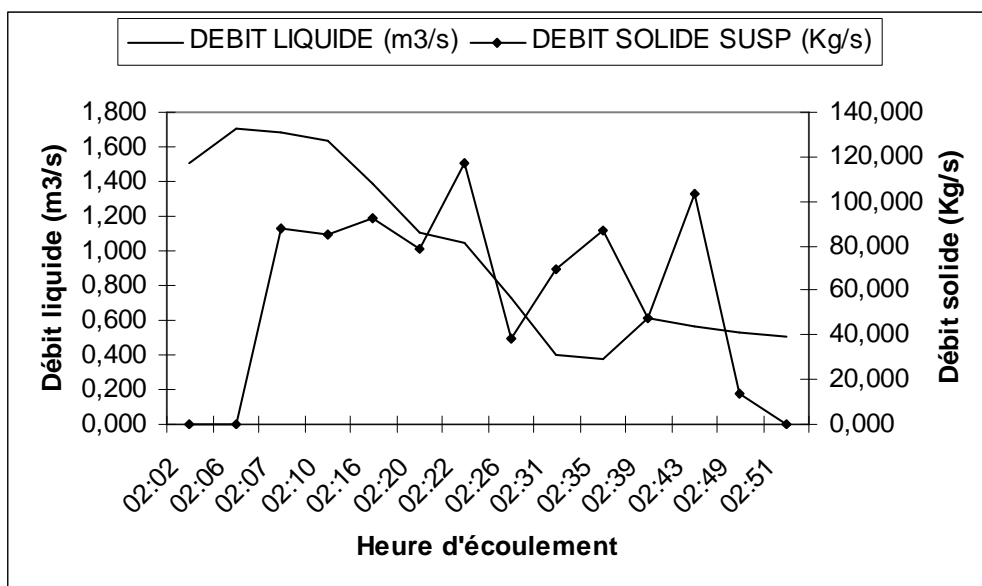
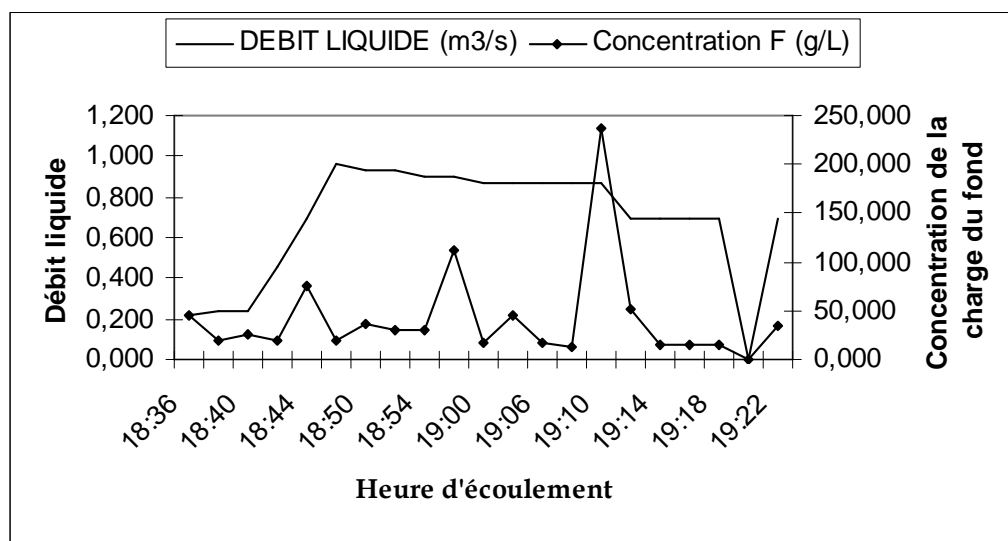


Fig. 14 : Débits solides et liquides de la deuxième pluie ruisselante en 2006 à Wankama.



Source : IRD

Le charriage du fond déplace quant à lui les particules de grosses tailles (sables grossiers, graviers...). Ces particules sont traînées par le courant à l'occasion des crues par des bonds successifs et sont piégées ou déposées dès que le ruissellement perd de sa compétence. La part du charriage dans le transport solide varie d'une crue à l'autre selon l'intensité des précipitations, l'importance de la pluie, de ruissellement, de la nature du terrain, des particules érodées...

La charge maximale du fond de la première pluie ruisselante étant supérieure 240g/l, une concentration très élevée au regard du débit liquide écoulé au même moment (402l/s). Comme pour la charge en suspension, les charges maximales du fond sont observées dans la décrue. Néanmoins, une concentration élevée est également observée avec la montée des crues.

Pour la deuxième pluie, les concentrations maximales sont observées pendant la décrue. La moyenne est de 43g/l, une concentration faible comparativement à la première pluie où elle atteint les 88g/l. L'humidité due à la précédente pluie à là également joué un rôle dans l'amenuisement de la charge.

Selon sa capacité et sa compétence, un cours d'eau exerce une érosion sélective (terme emprunté de ROOSE, 1981) des fractions érodées qui migrent à des distances et des vitesses différentes.

Au tableau 7, est présenté un récapitulatif de quelques caractéristiques des charges solides.

Tableau 7 : Concentrations de charge en suspension et de charge du fond selon les débits liquides de deux premières pluies ruisselantes (Wankama, 2006).

Date de pluie	Hauteur de pluie (mm)	Débit liquide moyen (l/s)	Charge en suspension		Charge du fond	
			Concentration maximale (g/l)	Concentration moyenne (g/l)	Concentration maximale (g/l)	Concentration moyenne (g/l)
09-juillet	30	986	229	99	247	88
11 juillet	27	715	193	43	237	43

Source : IRD

L'examen des phases d'érosion fait ressortir grossièrement deux processus.

- le ravinement : il s'exerce tant dans le lit des ravines (érosion régressive, sapement des berges...) que sur des aires non ravinées (érosion aréolaire). Ce processus est responsable de l'ablation des matériaux et traduit de ce fait un bilan négatif.
- L'ensablement : il est observé dans les zones d'épandage, dans les bas-fonds, mais dans le lit des ravines aussi. Il se traduit par un dépôt d'alluvions et de colluvions abandonnés suite à la perte de compétence des courants d'eau. Il constitue donc un gain.

Ces deux processus sont remarquablement observables sur les zones étudiées. Mais étant donné que toutes les unités hydrologiques sont des bassins endoréiques, on parlera en termes du bilan d'érosion, d'un bilan théoriquement nul. Les matériaux sont décapés dans le bassin, mais déposés aussi dans le même bassin. Il ne s'est donc effectué qu'une migration ou un transfert de matières.

Mais au-delà de ce simple transfert, il est à constater que ces quelques résultats expérimentaux obtenus sur les processus d'érosion illustrent le niveau accéléré de la dégradation des ressources naturelles, les sols en particulier. D'où l'intérêt d'intégration de ces paramètres hydrogéomorphologiques dans un système de suivi

environnemental régulier afin de bien maîtriser l'évolution de ces ensembles endoréiques.

1.2- Le climat

La nécessité de caractériser les variables climatiques s'impose de facto si on veut intégrer et maîtriser les processus hydrogéomorphologiques et environnementaux.

Plusieurs paramètres (les précipitations, la température, l'évaporation, le vent, l'humidité relative...) composent le climat mais dont certains ne seront ni énoncés ni interprétés dans les lignes qui suivent, faute de pouvoir les acquérir. Cela ne nous empêche de les introduire et de les intégrer par ailleurs dans la structuration et la constitution de la base de données vue leurs importances sur les facteurs hydrogéomorphologiques.

1.2.1- Les précipitations

La pluie, définie comme une précipitation qui atteint le sol sous forme liquide est le seul type de précipitations susceptibles de générer les ruissellements dans la zone sahélienne. Elle est observée au Niger sur trois ou quatre mois dans l'année, durée sur laquelle se produisent donc les processus morphogénétiques hydriques.

1.2.1.1. La hauteur de pluies.

C'est une variable aléatoire commandée par les caractéristiques des systèmes précipitants. La hauteur de pluie est synonyme de la quantité de pluie. Elle est exprimée en millimètre. Ainsi, un millimètre correspond à un litre d'eau au mètre carré.

L'analyse des données pluviométriques observées fait ressortir que la hauteur est une variable très fluctuante changeant d'un instant à l'autre, d'une pluie à l'autre, d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre, voire même au-delà d'une décennie ou d'un siècle à l'autre.

La hauteur annuelle dans la station de référence ⁽¹⁾ étant de 347mm en 2004, 460mm en 2005 et 550mm en 2006. Cette dernière année est donc la plus importante en termes de quantité annuelle enregistrée. La répartition mensuelle atteste que le mois d'août est toujours le mois le plus pluvieux avec souvent un cumul de plus de 60 % de la hauteur annuelle. Quant à la hauteur moyenne par averse, celle susceptible de générer ou d'influencer les ruissellements, elle va de 15mm en 2004, 12mm en 2005 et 16mm en 2006 pour des jours de pluie respectifs de 22, 38 et 33. Ces hauteurs sont théoriquement suffisantes pour produire le ruissellement sur tous les états de surface. Pour Banizoumbou, la quantité moyenne par averse en 2006 (les données pluviométriques 2004-2005 sont indisponibles) était de 13mm au pluviomètre de référence pour 36 jours de pluies. La quantité maximale par averse pour la même année est de 55mm observés en août, contre 76.5mm à Wankama.

Notons à titre indicatif pour l'année 2006, que sur plus de cent (100) pluviomètres observés, les extrêmes sont de 346.5 mm pour le minimum et de 604.9 mm pour le maximum.

1.2.1.2. La durée des pluies

Elle exprime en minutes ou en heures le temps que dure une pluie. Elle diffère selon le nuage qui donne naissance à la pluie.

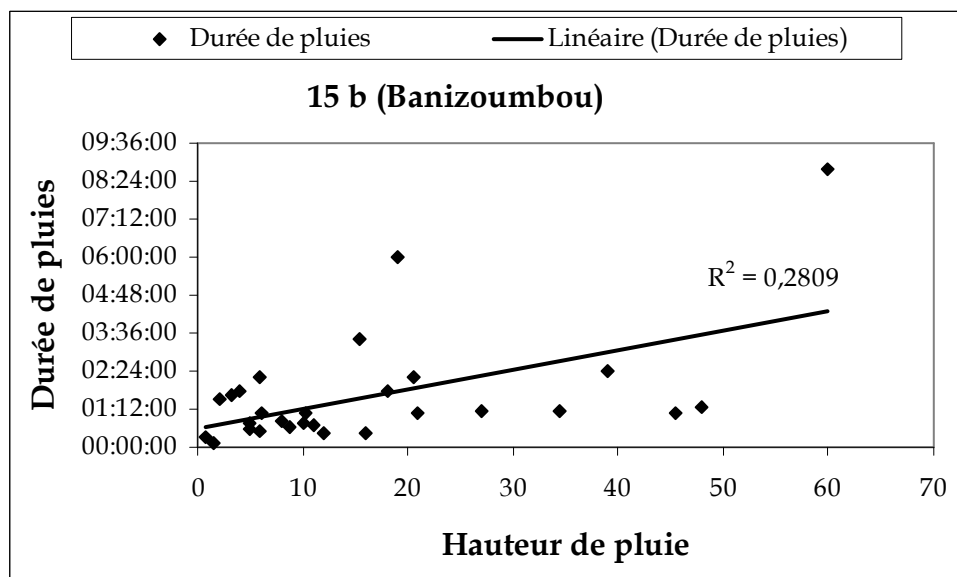
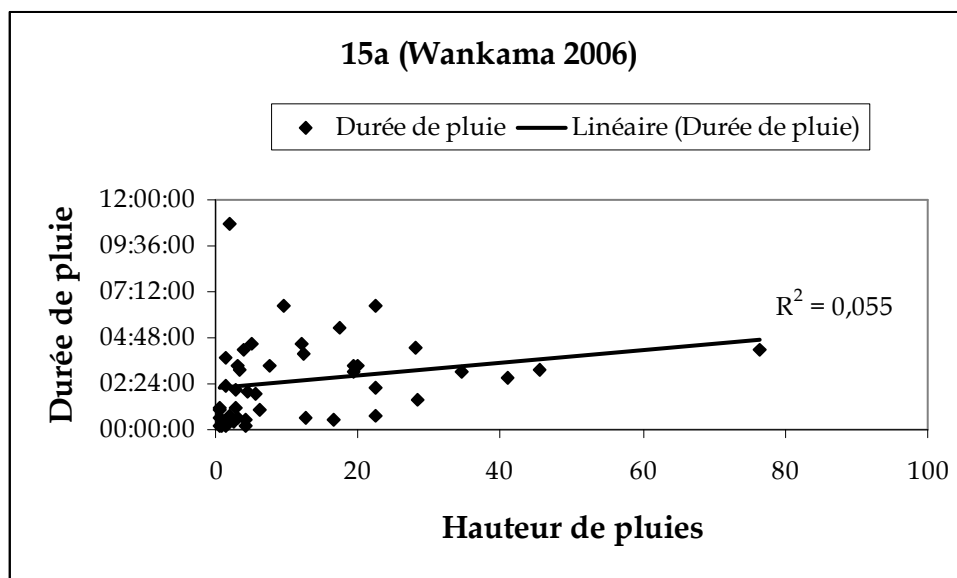
Les pluies de longues durées sont des pluies fines composées de gouttes de moins de 0.5mm de diamètre. Elles proviennent des stratiformes qui sont des nuages gris de basse altitude, vastes mais peu épais. Une pluie fine apporte moins de dix litres d'eau par m² en une heure (TABEAUD et LOHEZ, 2003).

Au contraire, les pluies de courtes durées sont générées par des cumulonimbus qui déversent des gouttes supérieures à 5mm de diamètre. Selon TABEAUD et LOHEZ (op. cité), ces pluies sont intenses et orageuses car le nuage a un fort développement vertical, mais ne dure pas du fait du déplacement de ce dernier. Elles peuvent déverser cent litres par m² en une heure.

⁽¹⁾ Tant les pluviomètres sont nombreux, nous avons maintenu comme référence un pluviomètre à Wankama (coordonnées : 461446 ; 1508924) et un à Banizoumbou (463213 ; 1496022) pour toutes les échelles du temps (année, mois et averse).

Des différentes durées des pluies chronométrées en 2006, il ressort qu'à Wankama, la durée d'une pluie est très faiblement corrélée avec la hauteur de pluie (**fig. 15a**). La durée moyenne est de 02h30 mn environ. Les extrêmes sont de 10 minutes (pour une hauteur de 0.9mm) et 645mn (1.9mm de hauteur) tandis qu'à Banizoumbou, elles sont de 6 mn (1.5mm de hauteur) et 526 mn (60mm) pour une moyenne de 01h25 mn. La corrélation hauteur et durée de pluie est plus forte à Banizoumbou (**fig.15b**). Ces durées extrêmes semblent sous-tendre les deux types de systèmes précipitants à savoir les convections locales et les lignes de grains.

Fig. 15 : Corrélations des courbes de durée et hauteur des pluies en 2006



Source: IRD

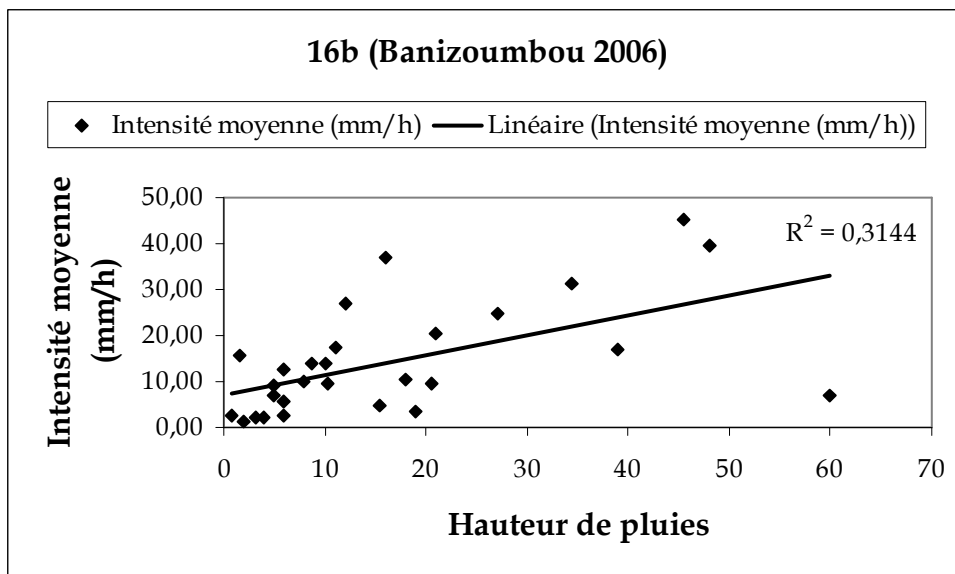
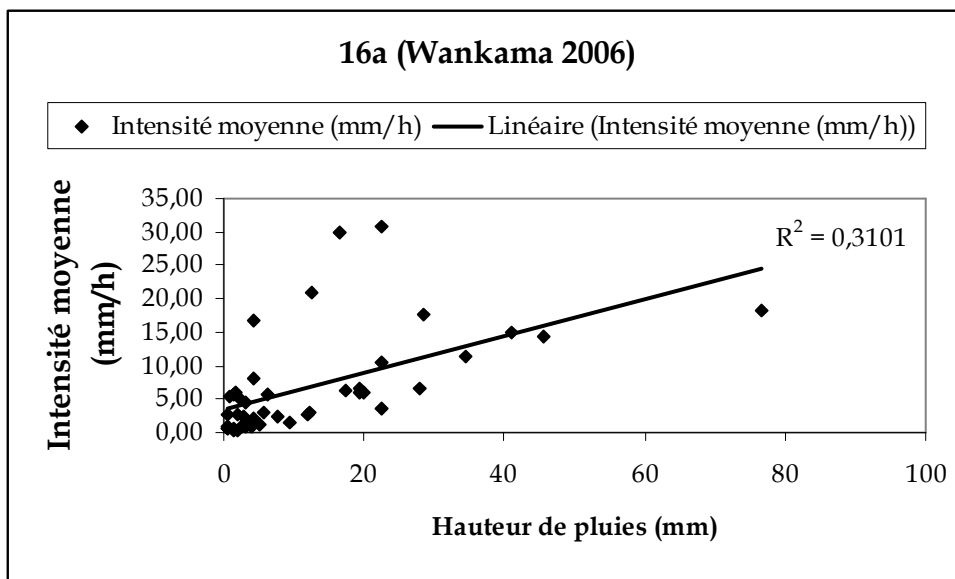
1.2.1.3. L'intensité des pluies

C'est la quantité d'eau par unité de temps qui tombe à chaque instant. Elle est exprimée couramment en mm/h. Comme le dit ROOSE (1981), parler d'une intensité de 30mm/h ne signifie pas qu'il est tombé ou qu'il tombera 30mm en une heure, mais qu'à un instant (t) donné, la pluie tombe au rythme horaire de 30mm. Ainsi, l'intensité d'une pluie varie à chaque instant au cours d'une même averse suivant les caractéristiques météorologiques de celle-ci et plusieurs pointes d'intensité peuvent avoir lieu au cours de la même averse. L'intensité moyenne d'une averse est obtenue par le rapport entre la hauteur de la pluie totale observée et la durée (t) de l'averse.

C'est une donnée climatique fondamentale en matière d'étude de l'érosion et de ruissellement. Plus une pluie est intense, plus sa hauteur est importante et plus le ruissellement est important. Les figures **(16a et 16b)** explicitent les corrélations entre la hauteur et l'intensité de pluies. On observe en effet une modeste concordance entre ces deux paramètres. L'intensité moyenne de pluie à Wankama en 2006 est de 6.78mm/h tandis que la moyenne maximale est 30.68mm/h. La moyenne annuelle est donc relativement faible. Cette faiblesse est en partie liée au marquage de fin des averses notée subjectivement par un observateur, contrairement à un pluviographe qui marque la fin de pluie dès que la hauteur est inférieure à 0.5mm (hauteur minimale de basculement d'auge).

Pour les stations de Banizoumbou, les pluies sont relativement plus intenses que celles de Wankama. L'intensité moyenne annuelle est de 14.4mm/h pour une maximale de 45mm/h.

Fig. 16 : Corrélations hauteurs et intensités moyennes des pluies.



Source : IRD

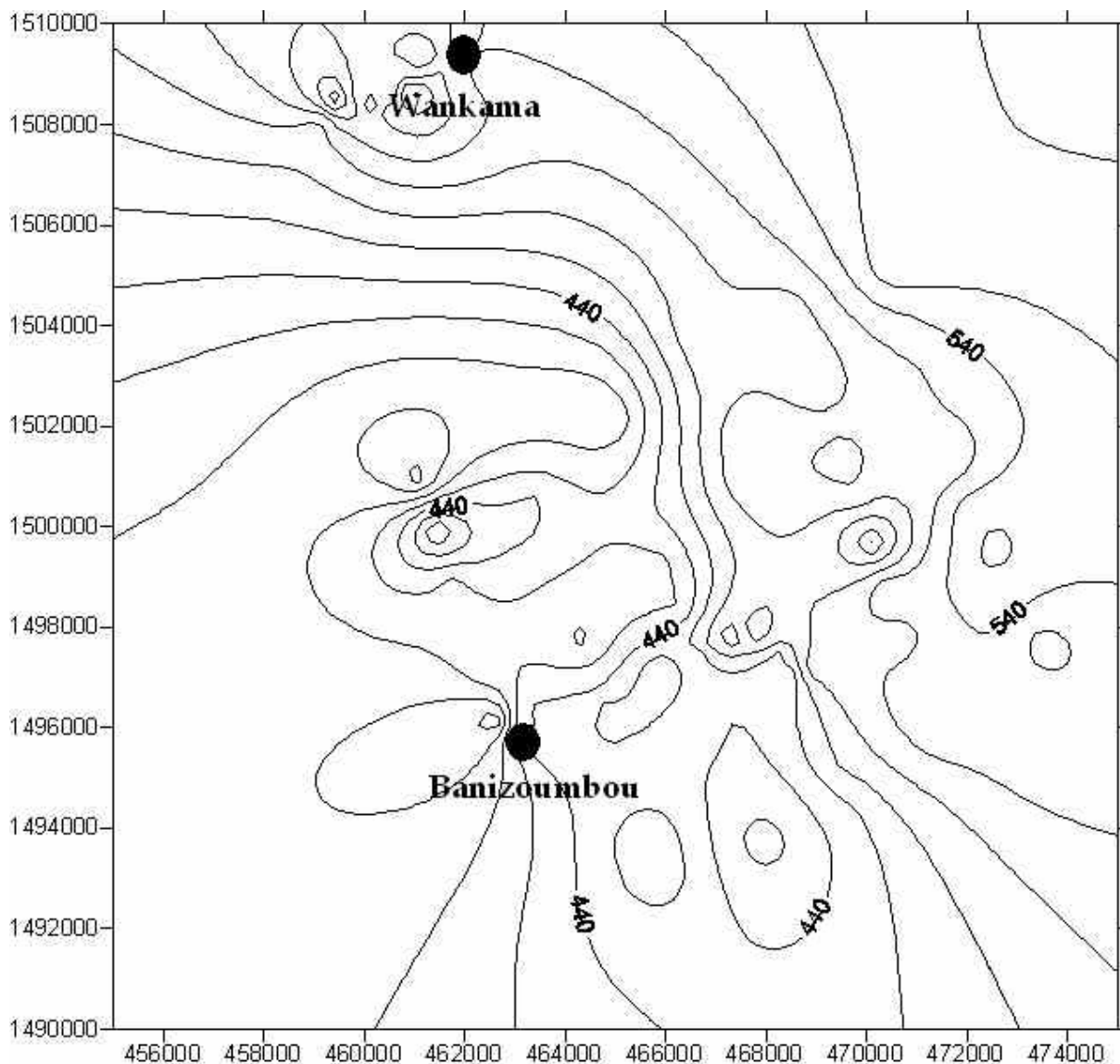
1.2.1.4- La répartition spatiale des pluies

La répartition spatiale des précipitations, tant à l'échelle de la saison des pluies que de l'événement pluvieux, diffère d'un climat à l'autre. Elle est influencée par le relief, les orientations, les interactions entre facteurs locaux et globaux (DESCROIX et DIEHDIOU, 2004).

Les données provenant du réseau dense de pluviomètres (120) implantés dans la zone d'étude permettent de retracer quelques caractéristiques.

A l'échelle de la saison, l'analyse a montré une grande variabilité spatiale qui semble être bien régie par le mouvement de FIT (Front intertropical). La zonation des champs de pluie et le tracé des isohyètes (**fig. 17**) dégagent une répartition plus ou moins régulière selon un axe Sud-est Nord-Ouest. La moyenne arithmétique annuelle (2006) des différentes stations est de 478 mm, hauteur relativement favorable en rapport avec le cumul régional de Niamey qui est de 377mm. La moyenne cache cependant des disparités notoires. Les cumuls annuels extrêmes sont de 346 et 604 mm. Le contraste est souvent très net même pour deux stations distants d'un ou de deux km seulement. L'écart de plus de 100mm entre les pluviomètres n°2 et n°3 (353.7 et 504.3mm) en est un exemple. Cet écart influe évidemment sur la redistribution au sol des eaux de pluies et peut de ce fait affecter les coefficients de ruissellements ou les pertes en terres au sein d'un même état de surface.

Fig. 17 : Champs de pluies et tracé des isohyètes pour les cumuls annuels de 2006.



Source : IRD

1.2.2-L'évapotranspiration

Les données d'évapotranspiration traitées comportent quelques anomalies (irrégularité de mesures). Elles doivent de ce fait être prises avec réserve.

Les données sont collectées chaque trente minutes sur deux types d'états de surface, dans le mil et dans la jachère, soit normalement quarante et huit (48) relevés par jour et dont la lame de l'évapotranspiration journalière est égale au cumul de ces quarante et huit relevés. Mais, pour des raisons techniques, liées soit à une panne d'appareil, soit à la pluie (les mesures ne sont pas effectuées pendant la pluie), les

relevés journaliers ne s'accomplissent que très rarement. Dans ces conditions, doit-on considérer les quelques relevés effectués comme représentatifs de la valeur journalière, ou doit-on faire la moyenne des valeurs semi-horaires et la multiplier par le nombre de relevés manquants ?

L'évaporation n'est jamais un flux constant quelque soit l'échelle temporelle considérée et présente des variations notoires entre le jour et la nuit. Prétendre faire la moyenne n'aboutira qu'à des données erronées et donc délicates pour quelque analyse que ce soit. Or, les corrélations ETP-humidité du sol, ETP-pluie ne nous semblent pertinentes qu'à l'échelle au moins journalière.

Donc pour ne pas modifier les valeurs et le sens des données, nous les maintiendrons telles quelles pour dresser quelques caractéristiques.

Notons que le terme de l'évapotranspiration regroupe à la fois l'évaporation directe de la surface du sol et la transpiration des tissus des plantes. Une quantité de chaleur est donc indispensable pour la provoquer.

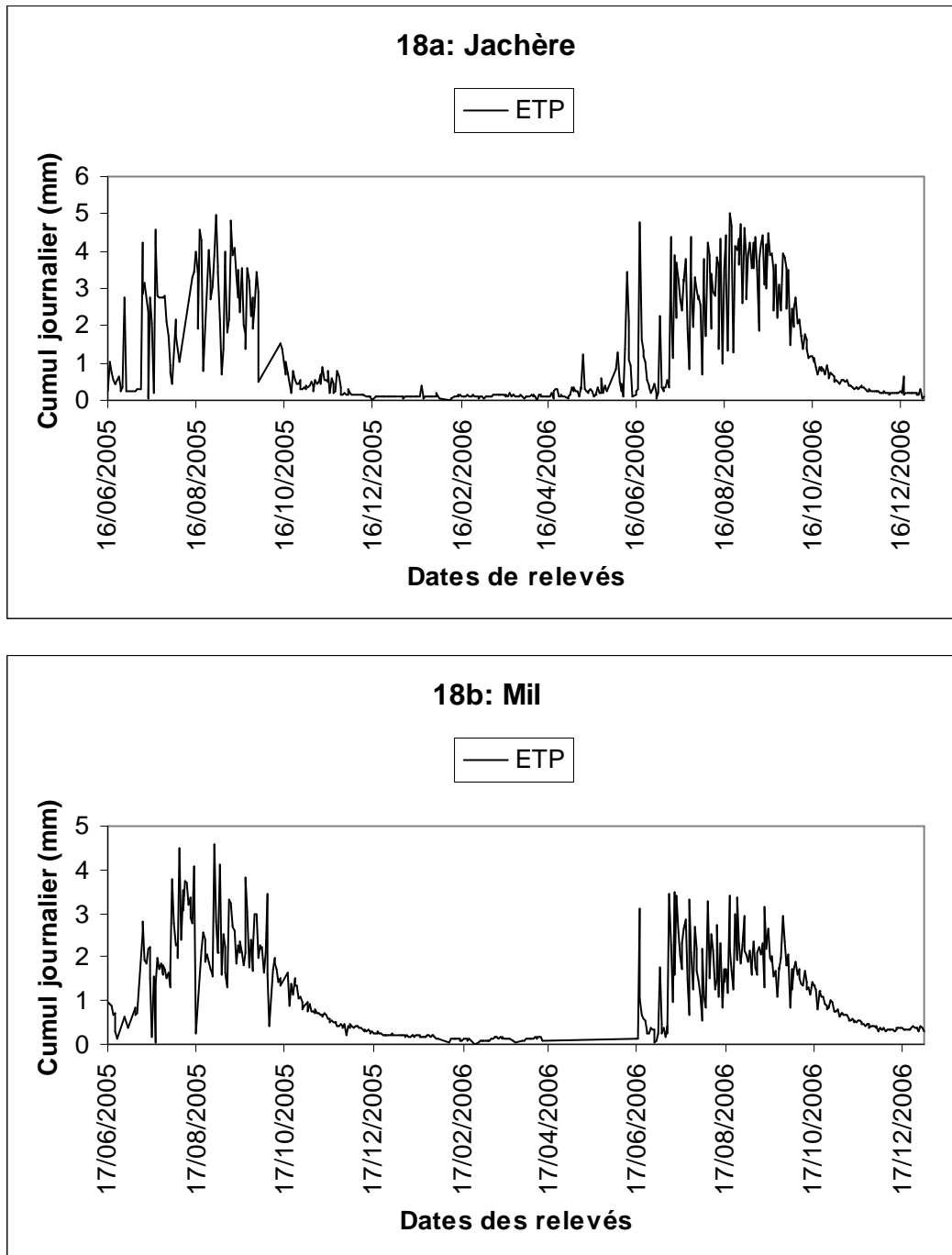
Les figures **18a** et **18b** illustrent les variations de l'ETP à l'échelle journalière et saisonnière. L'ETP moyenne journalière est de 1-2 mm. Les quantités maximales sont observées entre juin et septembre avec 4-5 mm du cumul journalier. L'explication évidente de ces maximales sur cette période est au moins liée à deux phénomènes :

- la période de juin-septembre correspond exactement au solstice d'été pendant laquelle s'observe au Niger les maxima secondaires de température ; les maxima principaux de température sont observés au printemps, l'ETR étant faible à cette période parce que la demande évaporatoire n'est pas satisfaite par manque d'eau ou d'humidité. En été, l'eau plus ou moins disponible accumulée dans le sol est utilisée pour l'ETP, d'où un pouvoir évaporant très élevé qui diminue constamment les réserves.
- La période coïncide également avec la saison des pluies, très favorable au développement et à la croissance de la couverture végétale, d'où l'importance de l'ETP.

Les lames de l'ETP sont aussi fonction des différents types d'états de surface. Elles sont relativement plus importantes dans la jachère à cause du recouvrement végétal plus dense que dans le champ cultivé.

En hiver, elle est faible, relativement à la faiblesse de source de chaleur qui la produit, la température en l'occurrence. La lame journalière n'atteint jamais un (1) mm. Les besoins en eau sont donc peu élevés.

Fig. 18 : Variations de l'évapotranspiration dans la jachère et le champ de mil.

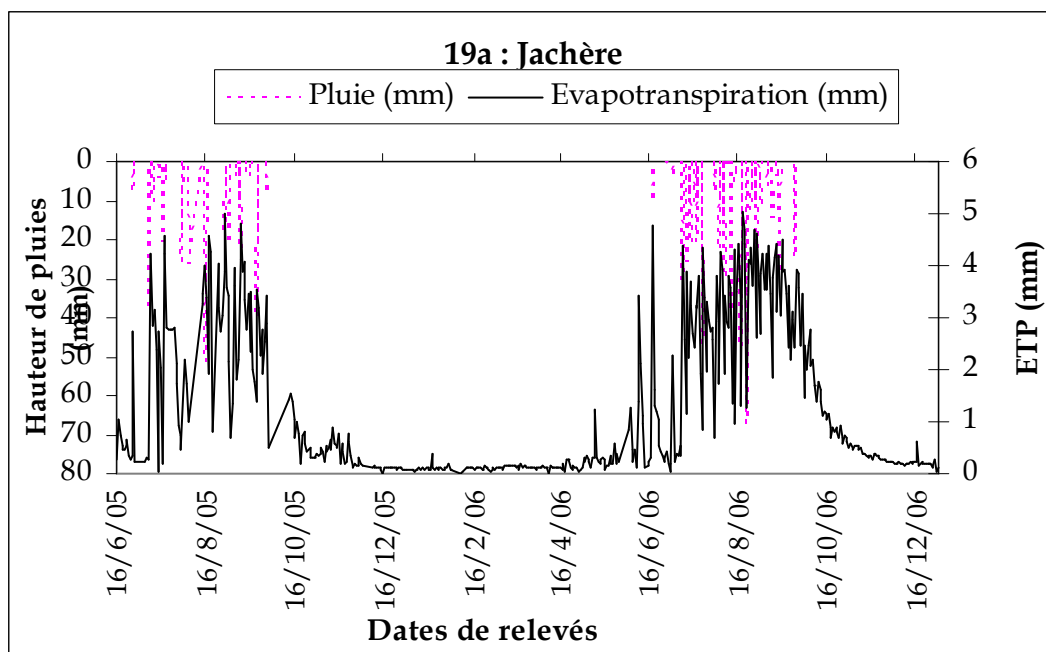


Source : IRD

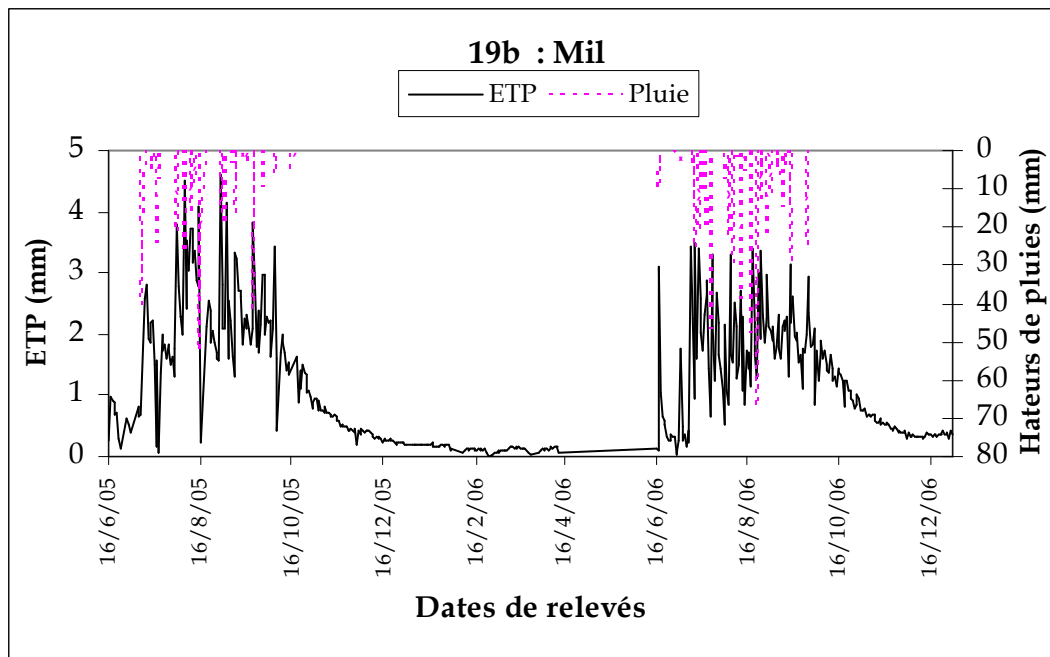
En ce qui concerne la corrélation hauteur de pluie-évapotranspiration (figures 19a et 19b), deux cas de figure sont à nuancer :

- Hauteur de pluie et ETR : quoique la répartition temporelle ne soit pas uniforme, les lames annuelles de ces deux grandeurs ne sont pas nettement disproportionnées. Elles sont de 500-600 mm tant pour la pluie que pour l'ETR. Par définition même, l'ETR représente l'eau réellement perdue par évaporation sous forme de vapeur. Sa quantité ne peut donc excéder celle de la pluie.
- Hauteur de pluie et ETP ou virtuelle : la pluie est toujours inférieure à l'ETP. Cette dernière représente l'eau susceptible d'être perdue par évaporation quand l'eau n'est pas un facteur limitant. Pour une moyenne journalière de 5-6 mm, le cumul annuel de l'ETP avoisine les 2000 mm. Et, en comparant cette hauteur avec le cumul pluviométrique annuel de 500-600mm, on conclura, du moins en théorie, qu'il n'y a jamais assez d'humidité dans le sol pour les besoins de la végétation.

Fig. 19 : corrélation entre hauteur des pluies et ETR dans la jachère et le champ de mil.



Source : IRD



Source : IRD

Il se dégage de ces observations sur les parcelles que l'évapotranspiration varie temporellement et spatialement. Elle est fonction de plusieurs facteurs locaux et régionaux telles les conditions climatiques, les propriétés du sol, la végétation...

Si les mesures sont relativement avancées pour l'estimation de l'ETR à l'échelle de la parcelle, qu'en est-il de la mesure de cette variable sur des espaces plus étendus, le bassin versant par exemple où les facteurs conditionnant sont très hétérogènes ? Il semble se poser à cette échelle, la difficulté de calibration ou de modélisation des variables à la fois physiques et atmosphériques pour représenter la demande évaporatoire. Pourtant, le bassin versant est l'entité géographique fondamentale pour l'établissement d'un bilan hydrologique et, qu'à cette échelle, l'ETP représente un terme climatique majeur et joue donc un rôle essentiel dans la connaissance de la transformation pluie-débit. Les termes de l'ETP (l'évaporation directe de la surface du sol et la transpiration des tissus des végétaux) sont donc clés pour tout bilan hydrologique.

1.2.3. L'hydrogéologie

Les investigations hydrogéologiques intensives sur la zone d'étude remontent depuis les années 1990. Les données ainsi collectées montrent, pour la totalité des puits, une hausse variable de la nappe selon les années et selon les lieux. Ce gonflement de la

réserve pourrait probablement être dû à l'amélioration observée des précipitations au Niger depuis les années 1990, mais pas seulement, tant et si bien que des études antérieures ont déjà fait état de la remontée depuis les années 1956.

Pour bien d'auteurs, cette augmentation est surtout interprétée comme étant majoritairement la conséquence des dégradations anthropiques sur le couvert végétal (LEDUC et LOIREAU, 1997 ; FAVREAU, 2001 ; etc.), en concomitance avec une caractéristique hydro morphologique particulière : l'endoréisme.

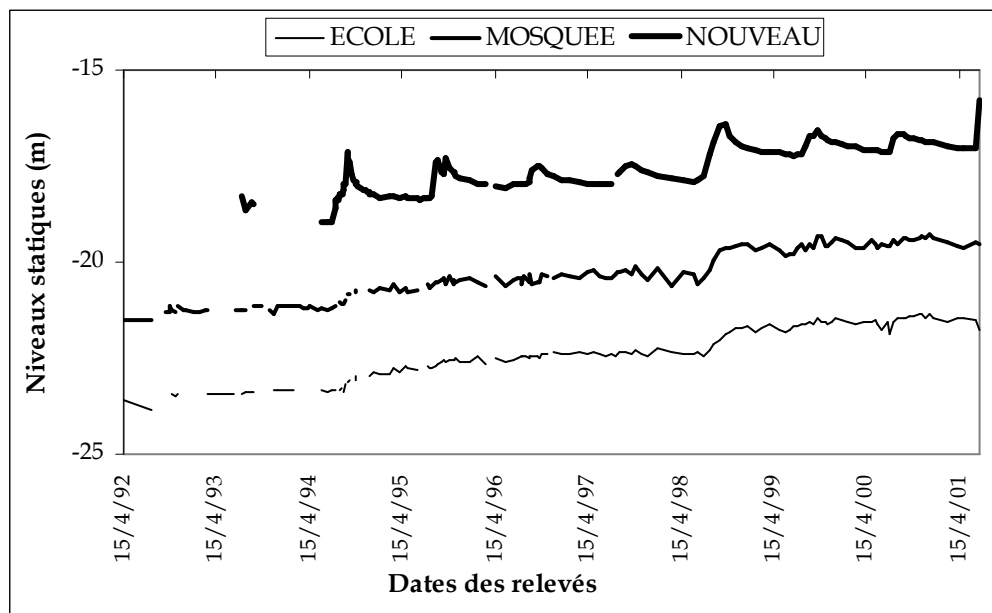
1.2.3.1. La recharge de la nappe

Quelques puits sont sélectionnés pour illustrer localement la remontée de la nappe.

La **figure 20** présente des courbes de fluctuation piézométrique de trois puits de Banizoumbou. Tous ces puits subissent depuis 1992 (début d'observation) des nettes fluctuations de leur surface piézométrique en faveur d'une hausse de 2 à 2.5m en moins de dix ans. « Banizoumbou nouveau » est le puits qui connaît le plus de gonflement à cause très probablement de sa proximité du lit du kori Dantiandou, siège de nombreuses mares. Sa hausse est de 2.51m contre 1.94 et 1.82 successivement pour « Banizoumbou mosquée » et « Banizoumbou école ». Même de ces deux derniers, « Banizoumbou mosquée » se charge davantage que l'autre grâce à la proximité d'une mare.

Plus on s'éloigne du lit de kori, plus la profondeur de la surface statique est importante, c'est ce qui fait que « Banizoumbou nouveau » est moins profond que les autres.

Fig. 20 : Fluctuation de la surface piézométrique des trois puits de Banizoumbou

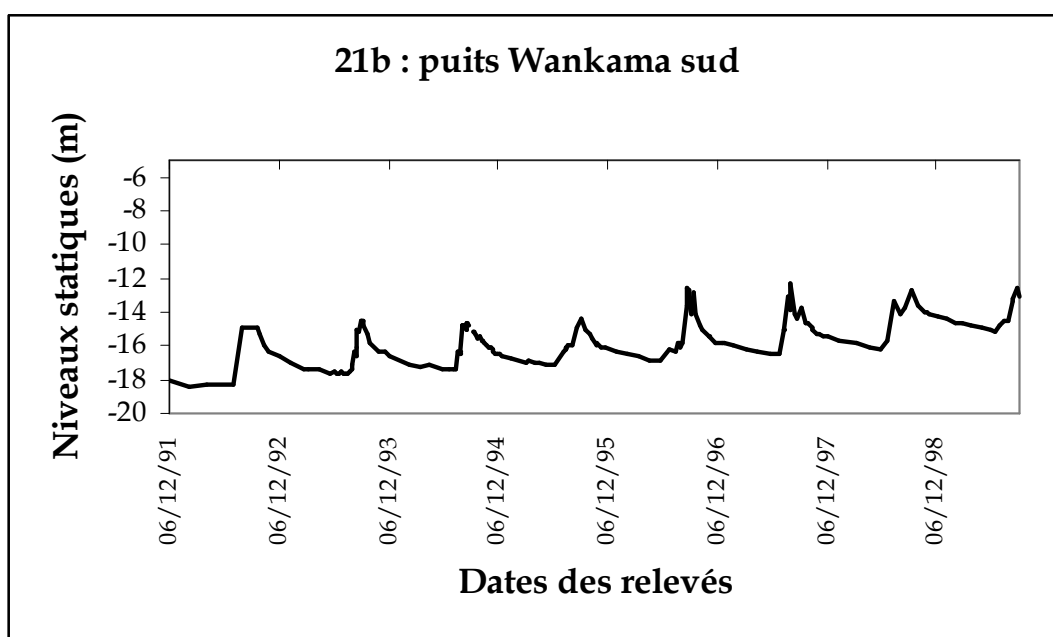
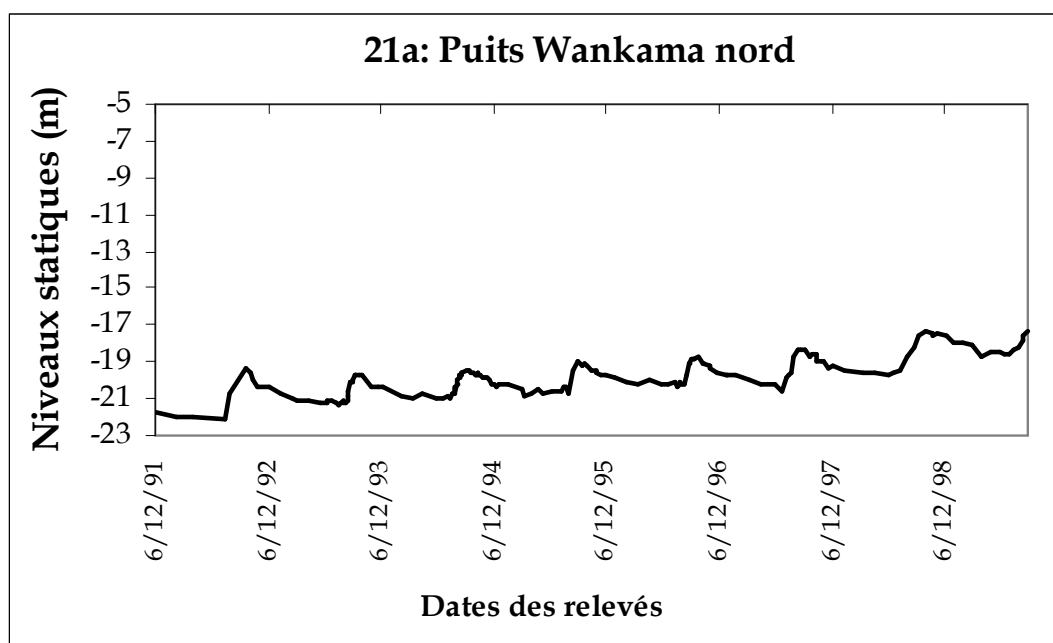


Source : IRD

Pour Wankama, il ressort des variations des deux puits sélectionnés (**fig. 21**) que ce secteur connaît beaucoup plus la recharge que Banizoumbou. La hausse est de 4.98 pour « Wankama sud » contre 4.44 pour « Wankama nord ». Bien entendu, « Wankama sud », situé près d'une mare dans le lit du kori subi plus la recharge.

Les hausses sont observées pendant la saison pluvieuse après chaque événement pluvieux important et continuent jusqu'au tarissement des mares.

Fig. 21 : Fluctuation de la surface piézométrique de deux puits de Wankama.



Source : IRD

Tableau 8 : récapitulatif des hauteurs de recharge selon les puits.

Nom du puits	Emplacement	Recharge	Durée d'observation
Banizoumbou nouveau	Près du lit du Kori	2.51	10 ans
Banizoumbou mosquée	Loin du lit	1.94	10 ans
Banizoumbou école	Très loin du lit	1.82	10 ans
Wankama sud	Près du lit	4.98	9 ans
Wankama nord	Loin du lit	4.44	9ans

Source : IRD

1.2.3.2. La nature chimique des eaux

En ce qui concerne la nature chimique, il se dégage des analyses que les eaux ont un pH acide compris entre 5 et 6. De par ce pH, on déduit bien donc l'appartenance de celles-ci à la nappe phréatique du Continental terminal (CT3) qui est l'une des trois nappes superposées dans la série du CT près de Niamey. Sa profondeur varie de 25m à moins de cinq mètres dans les vallées sèches (FAVREAU, 2002). Quant aux éventuels flux de transfert entre les différentes aquifères, MASSUEL (2005) note qu'aucun mélange naturel des eaux n'a pu être mis en évidence dans la zone d'étude et l'existence d'une drainance descendante entre la nappe phréatique et les nappes captives doit être exclue. C'est qui sous-entend donc que la recharge et la hausse ne concerne que la nappe phréatique du CT3.

Notons enfin du transfert des eaux surface-souterrain que de tous les puits sélectionnés, aucun ne soutient l'écoulement de base du Kori. Ils n'ont donc aucune signification hydrologique particulière et ne modifient en rien l'écoulement ou le ruissellement à l'échelle d'une averse.

Dans les lignes précédentes, sont analysées et interprétées quelques données disparates appartenant à des ensembles thématiques différents : géomorphologie, occupation du sol, climat, hydrogéologie. Entre ces lignes, le principal constat qui se dégage est que : l'analyse nous a permis de parcourir plus ou moins profondément les facteurs invariants des ensembles thématiques concernés. Facteurs qui, s'ils ne sont pas premiers dans la hiérarchie des explications, n'en sont pas moins importants dans l'analyse.

La pertinence et le niveau d'agrégation des informations des suivants points de ce chapitre dépendront forcément et résolument des échelles d'analyse considérées dans à ce niveau.

II. La conception et structuration de la base de données

2.1. La conception

La conception d'une base de données est l'étape préliminaire de sa constitution. L'établissement d'un schéma conceptuel permet en effet de prévoir et recenser toutes les informations concernées et de déterminer la structure et le fonctionnement de la base à constituer. De la qualité des informations conçues et recueillies, du degré de leur interdépendance découleront la pertinence, la vitalité et l'efficacité de la base constituée.

2.1.1. Identification des entités et leurs attributs

Pour la constitution d'une base de données hydrogéomorphologiques, les informations à recueillir sont nombreuses et très diverses. Afin d'éviter les redondances de l'utilisation des informations polysémiques, utilisées dans tel ou tel domaine, ces informations sont discriminées et regroupées au sein des ensembles thématiques influençant directement les données hydrogéomorphologiques. Chaque information est donc classée dans un thème selon sa nature intrinsèque et ou de son lien sémantique vis-à-vis des différents thèmes identifiés qui sont : la géomorphologie, l'hydrologie, la géologie, l'hydrogéologie, la pédologie, le climat et l'utilisation du sol. Chacun de ces thèmes regroupe un ensemble d'entités constitutives. Il faut entendre par entité une abstraction considérée comme réelle. Pour CRESCENZO (2007), une entité est un objet, une chose concrète ou abstraite qui peut être reconnue distinctement. Exemple : La pluie, le vent, l'infiltration, les mares...sont des types d'entités. Les entités sont décrites par des variables élémentaires appelées attributs. Ces derniers représentent des propriétés des entités. Chaque entité est composée d'un nombre infini d'attributs. Cependant, pour modéliser l'information, il faut ramener ce nombre infini à un nombre fini traduisant l'essentiel de données élémentaires.

Par ailleurs, les entités possèdent un attribut invariant que l'on nomme identifiant (qui est souligné dans les tableaux par convention).

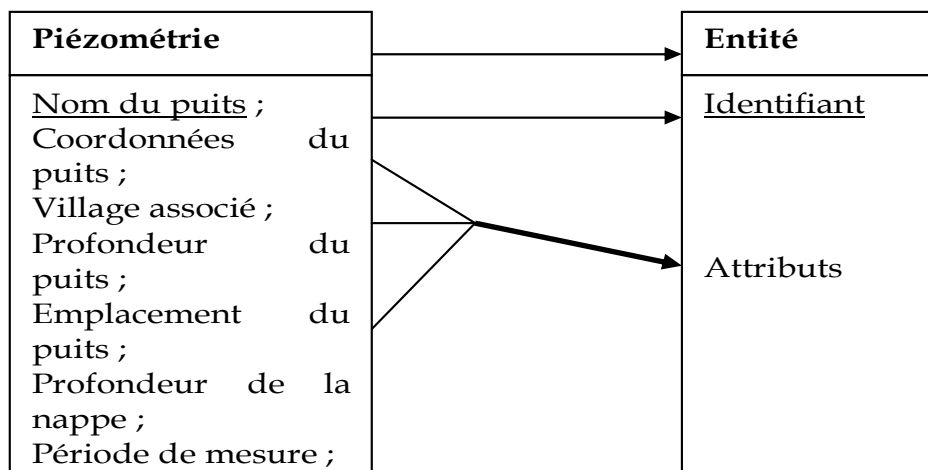
Un identifiant est donc un attribut qui fait identifier chaque entité. C'est l'attribut clé qui permet de mettre en réseau ou en liaison des entités.

Par contre, il y a des entités décrites par des attributs variables qui n'offrent que des possibilités ou des choix circonstanciels. Ces entités sont dépourvues d'identifiant.

Exemple : les états de surface ; la structure, la lithologie... Un état de surface peut être soit encroûté, soit meuble, soit cuirassé... De même pour la lithologie qui peut être composée soit par des roches granitiques, soit intrusives, soit métamorphiques... Ces attributs sont variables et relatifs au domaine que l'on veut décrire.

NB. Les techniques présentées ici dans l'identification des entités, attributs et identifiants font partie de la méthodologie MERISE (Méthode d'étude et de réalisation informatique pour les systèmes d'entreprise. (cf. **présentation au tableau suivant**).

Tableau 9 : Exemple de configuration de thème, entités et attributs
Hydrogéologie → **Thème**



Ce tableau présente la configuration générale des thèmes et entités sélectionnés.

Dans la première section (où c'est écrit hydrogéologie pour ce tableau), est mentionné un des sept thèmes retenus pour ce travail : géomorphologie, géologie, hydrogéologie, climat, hydrologie, pédologie et occupation du sol.

Dans la deuxième section (où c'est écrit piézométrie), sont présentées les entités caractérisant un des sept thèmes sus évoqués.

Dans la dernière section, sont décrits enfin les attributs constitutifs des entités et parmi lesquels se trouve l'identifiant, toujours souligné (nom du puits dans ce tableau).

2.1.1.1. Géomorphologie

Erosion hydrique	Erosion éolienne	Topographie	Etats de surface
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Facteurs Hauteur de pluies ; Intensité de pluies ; Humidité du sol ; Techniques culturales. ➤ <u>Processus</u> Décapage ; Transport ; Dépôt. ➤ Types d'érosion Linéaire ; Aréolaire. ➤ Types d'accumulation : Cône d'épandage ; Surface d'épandage ; Terrasse ... 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Facteurs Vitesse du vent ; Direction du vent ; Fréquence du vent ; Rugosité du terrain. Techniques culturales. ➤ <u>Processus</u> Décapage ; Transport ; Dépôt. ➤ Type d'érosion Suspension ; Saltation ; Roulage. ➤ Types d'accumulation : Pavage éolien ; Piégeage diffus ; Couverture en nappe ; Fléchette ; Nebkas ; Dune. 	<p><u>Unités topographiques</u> ; Surfaces des unités ; Périmètre des unités Altitude ; Pente ; Dénivellation ; Longueur de pente ; Courbes de niveau.</p>	<p>Surfaces encroûtées ; Surfaces cuirassées ; Pavage résiduel ; Plage de dénudation ; Surface meuble ; Mesofaune ;</p>

2.1.1.2. Géologie

Formations superficielles	Structure	Lithologie
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Formations apparentées Clastiques ; Altérites ; Formations du versant. ➤ Formations sans parenté Fluviatiles ; Eoliennes ; Profondeur des FS ; Texture des FS. 	<p>Socle ; Métamorphique ; Sédimentaire.</p>	<p>Roches plutoniques ; Roches intrusives ; Roches granitiques ; Roches métamorphiques ; Roches sédimentaires.</p>

2.1.1.3. Hydrogéologie

Piézométrie	Recharge	Nature des eaux
<u>Nom du puits</u> ; Coordonnées du puits ; Village associé ; Profondeur du puits ; Emplacement du puits ; Profondeur de la nappe ; Période de mesure ; Fluctuation piézométrique ; Durée d'observation ; Relation surface-souterrain.	Zone de recharge ; <u>Recharge annuelle</u> ; Période de mesure ; Epaisseur des alluvions.	<u>pH des eaux.</u>

2.1.1.4. Climat

Précipitations	Température	Evaporation	Humidité relative	Vent
<u>Nom du pluviomètre</u> ; Coordonnées pluviomètre ; Hauteur de pluies ; Durée des pluies ; Intensité de pluies ; Répartition spatiale ; Durée d'observation.	Station de mesure ; Coordonnées de la station ; <u>Nom d'appareil</u> ; Valeur de la température ; Durée du relevé ; Durée d'observation.	Station d'observation ; Coordonnées de la station ; <u>Nom d'appareil</u> ; Valeur de l'ETP ; Valeur de l'ETR ; Pas de temps du relevé ; Durée d'observation	Station d'observation ; Coordonnées de la station ; <u>Nom d'appareil</u> ; Valeur relevée ; Pas de temps du relevé ; Durée d'observation.	Station de mesure ; Coordonnées de la station ; <u>Nom d'appareil</u> ; Vitesse du vent Direction du vent Fréquence du vent ; Pas de temps du relevé ; Période de mesure ; Durée d'observation

2.1.1.5. Hydrologie

Hydrographie	Hydrométrie	Morphométrie	Ruissellement Ecoulement
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Les exutoires Type ; Nom ; <u>Coordonnées</u> ; Superficie ; Profondeur ; Village associé ; Usages dominants ; Type d'aménagement. <ul style="list-style-type: none"> ➤ Les réseaux du drainage Forme Fleuve ; Kori ; Ravin ; Ravine ; Rigole ; Griffé. Type Exoréique ; Endoréique ; Dendritique ; Centripète ; Centrifuge ; Parallèle.	<u>Nom de station de jaugeage</u> ; Coordonnées ; Cotes ; Nombre de verticale ; Temps de mesure ; Débits liquides ; Débits spécifiques ; Charges solides ; Granulométrie des alluvions ; Durée d'observation.	Limite du bassin versant ; <u>Forme du bassin versant</u> ; Surface du bassin versant ; Indice de compacité du bassin versant ; Longueur de chaque cours d'eau Largeur de chaque cours d'eau Profondeur du cours d'eau Nombre total des cours d'eau ; Longueur totale des cours d'eau ; Densité de drainage ;	En nappe ; Diffus ; Concentré ; Laminaire ; Turbulent ; Intermittent ; Pérenne.

2.1.1.6. Pédologie

Type du sol	Caractéristiques du sol	Humidité du sol
Sol régique ; Sol ferrugineux ; Sol sableux ; Sol argileux ; Sol argilo-limoneux...	Structure ; Texture ; Profondeur ; Porosité ; <u>Perméabilité</u> ; Infiltration.	<u>Nom d'Appareil de mesure</u> ; Coordonnées du point de mesure ; Profondeur mesurée ; Valeur relevée ; Pas de temps du relevé ; Durée d'observation.

2.1.1.7. Occupation du sol

Végétation	Culture	Etablissements humains	Réseau routier	Espace nu
Forêt ; Savane ; Steppe ; Fourrés ; Broussaille ; Cordon rupicole.	Pluviale ; Irriguée ; Décruée ; Jachère.	Type ; <u>Nom</u> ; Coordonnées ; Population ; Nombre de ménages ; Circonscription d'attache ; Densité de la circonscription.	Piste rurale ; Route revêtue ; Route non revêtue ; Longueur.	Terrain rocheux ; Vaste surface dénudée.

NB. Les entités retenues dans le cadre de ce travail le sont d'abord par leur pertinence mais aussi par leur accessibilité.

Certes, chaque thème comporte un nombre illimité d'entités et d'attributs, mais nous nous sommes limités à ceux qui nous paraissent les plus raisonnables car trop d'informations tuent l'information.

Ce travail d'identification nous a permis de discriminer et de juxtaposer clairement des données dont bien de caractères demeurent dialectiquement très proches à tel ou tel autre thème. Il nous a donc permis de classer chaque donnée ou information selon sa pertinence dans un ensemble donné. Cela a constitué un préalable inconditionnel de structuration des données, objets du point suivant.

Ce travail a aussi pour mérite de nous permettre de décrypter les liens fonctionnels d'abord entre les données elles-mêmes puis entre des couples ou ensemble des thèmes selon une approche systémique. Il nous a donc permis de nous fixer une représentation abstraite, une reconstitution analytique des interrelations dans le cadre d'une problématique hydromorphologique.

2.2. Proposition d'une structuration et codification des thèmes et entités

Pour BAILLY et FERRAS (1997), la structure est la manière dont les parties d'un tout sont arrangées entre elles. Cette définition suppose donc, comme le disent ces auteurs, que les parties et le tout soient d'abord connus et définis pour donner une certaine cohérence à l'ensemble. Les entités constituent les parties, et le thème est le tout. La structuration permet facilement de dégager les arrangements et interrelations entre le tout et les parties. Exemple : une unité morphologique et un état de surface avec le type et processus dominant d'érosion.

Outre la structuration, il est proposé pour les ensembles une tentative de codification provisoire comportant les premières lettres d'un thème suivies des chiffres romains et arabes dont les significations sont définies dans les tableaux.

2.2.1. Géomorphologie.

Unité géomorphologique	Etats de surface	Type d'érosion	Processus d'érosion
Géom. I. Plateau Géom II. Talus Géom III. Glacis Géom IV. Bas-fond Géom V. Jupe sableuse Géom VI. Zone d'épandage Géom VII. Dune	1. Surfaces encroûtées ; 2. Surfaces cuirassées ; 3. Pavage résiduel ; 4. Plage de dénudation ; 5. Surface meuble ;	A. Hydrique B. Eolienne C. Mixte	Aa. Décapage Ab. Transport Ac. Dépôt Ba. Décapage Bb. Transport Bc. Dépôt

NB. La dernière colonne (processus d'érosion) est conditionnée par le type d'érosion.

Exemple de lecture du tableau : Le caractère Géom I.5.B veut dire qu'on est en présence d'un plateau à surface meuble dont l'érosion éolienne est dominante.

Le caractère Géom III.1.C décrit un glacis encroûté avec coexistence de l'érosion hydrique et éolienne, d'où l'expression mixte.

2.2.2. Géologie

Structure	Lithologie	Type de FS	Nature
Géol. I. Socle Géol. II. Sédimentaire Géol. III. Métamorphique Géol. IV. Mixte	1. Roches plutoniques ; 2. Roches intrusives ; 3. Roches granitiques ; 4. Roches métamorphiques ; 5. Roches sédimentaires.	A. formations apparentées ; B. Formations sans parenté.	Aa. Clastiques ; Ab. Altérites ; Ac. Formations du versant. Ba. Fluviatiles ; Bb. Eoliennes

Exemple : Le caractère **Géol. I.2.A** exprime une structure du socle à roche intrusive dont les formations superficielles sont apparentées à la structure, donc, les formations superficielles sont autochtones.

2.2.3. Hydrologie

Type du réseau hydrographique	Type des cours d'eau	Type d'écoulement	Exutoire
Hydro. I. Exoréique Hydro. II. Endoréique Hydro. III. Dendritique Hydro. IV. Centripète Hydro. V. Centrifuge Hydro. VI. parallèle	1. Fleuve ; 2. Kori ; 3. Ravin ; 4. Ravine ; 5. Rigole ; 6. Griffes.	A. En nappe ; B. Diffus ; C. Concentré ; D. Laminaire ; E. Turbulent ; F. Intermittent ; G. Pérenne.	a. Fleuve b. mare c. zones d'épandage ou cônes de déjection

2.2.4. Occupation du sol

Unité	Type d'occupation	Nature d'occupation
Occup. I. Plateau Occup. II. Talus Occup. III. Glacis Occup. IV. Bas-fond Occup. V Jupe sableuse Occup. VI. Zone d'épandage	1. Etablissement humain 2. Végétation 3. Culture 4. Espace nu 5. Réseau routier	1a. Ville 1b. Village 1c. Hameau 1d. Campement 2a. Forêt 2b. Savane 2c. Steppe ; 2d. Fourrés ; 2e. Broussaille ; 2f. Cordon rupicole 3a. Pluviale 3b. Irriguée 3c. Maraîchère 3d. Jachère 4a. Terrain rocheux ; 4b. Vaste surface dénudée 5a. Piste rurale ; 5b. Route revêtue ; 5c. Route non revêtue

NB. Comme nous l'avons déjà annoncé dans la partie méthodologie, le codage ne concerne que les informations descriptives textuelles.

2.3. Quelques exemples d'interrelations des entités de thèmes différents

En dehors des liaisons possibles entre les entités d'un même thème, il existe d'autres relations d'une entité donnée avec un ou plusieurs autres thèmes.

Ces interrelations entre les différents thèmes et entités permettent de déterminer a priori les dépendances fonctionnelles entre eux puis de les organiser en grappe qui est un réseau de représentation de toutes les dépendances directes entre thèmes ou entités. Quelques unes de ces relations sont schématiquement présentées de la façon suivante (**Schéma 1 et 2**). (Voir ci-après la légende pour la lecture des schémas).

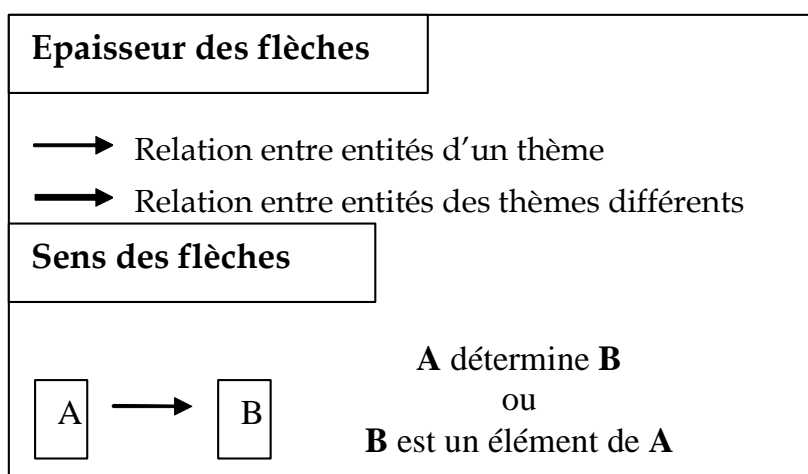


Schéma 1 : Exemples d'interrelation entre thèmes

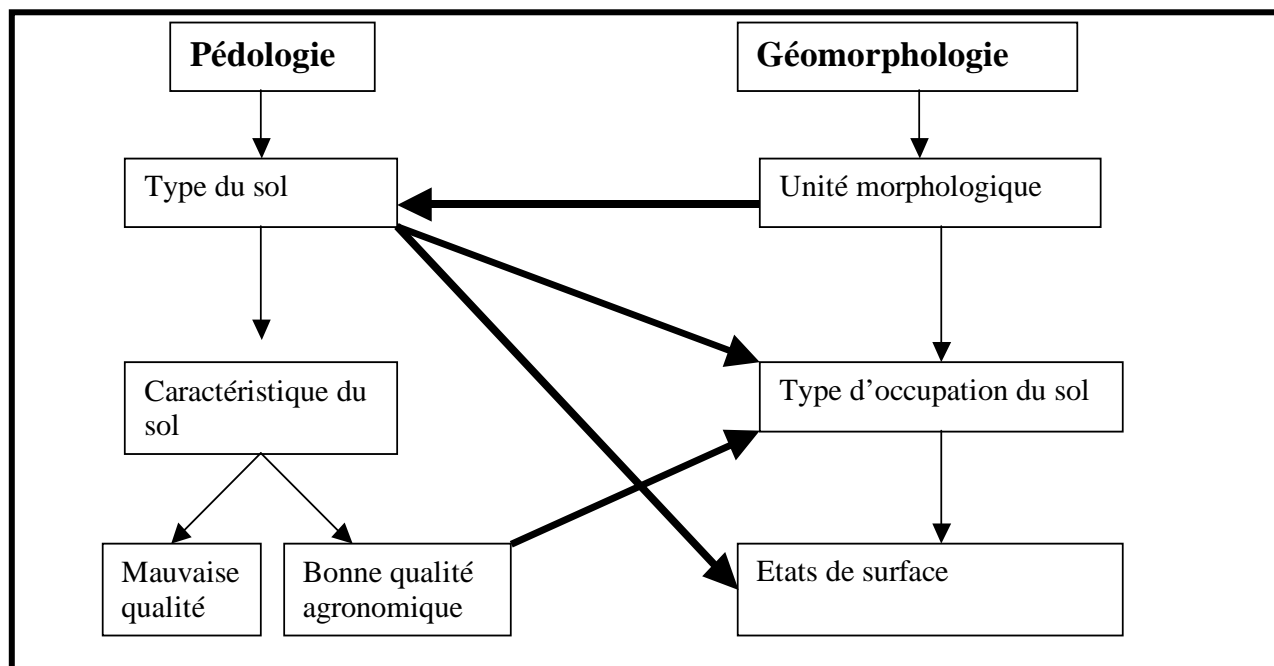
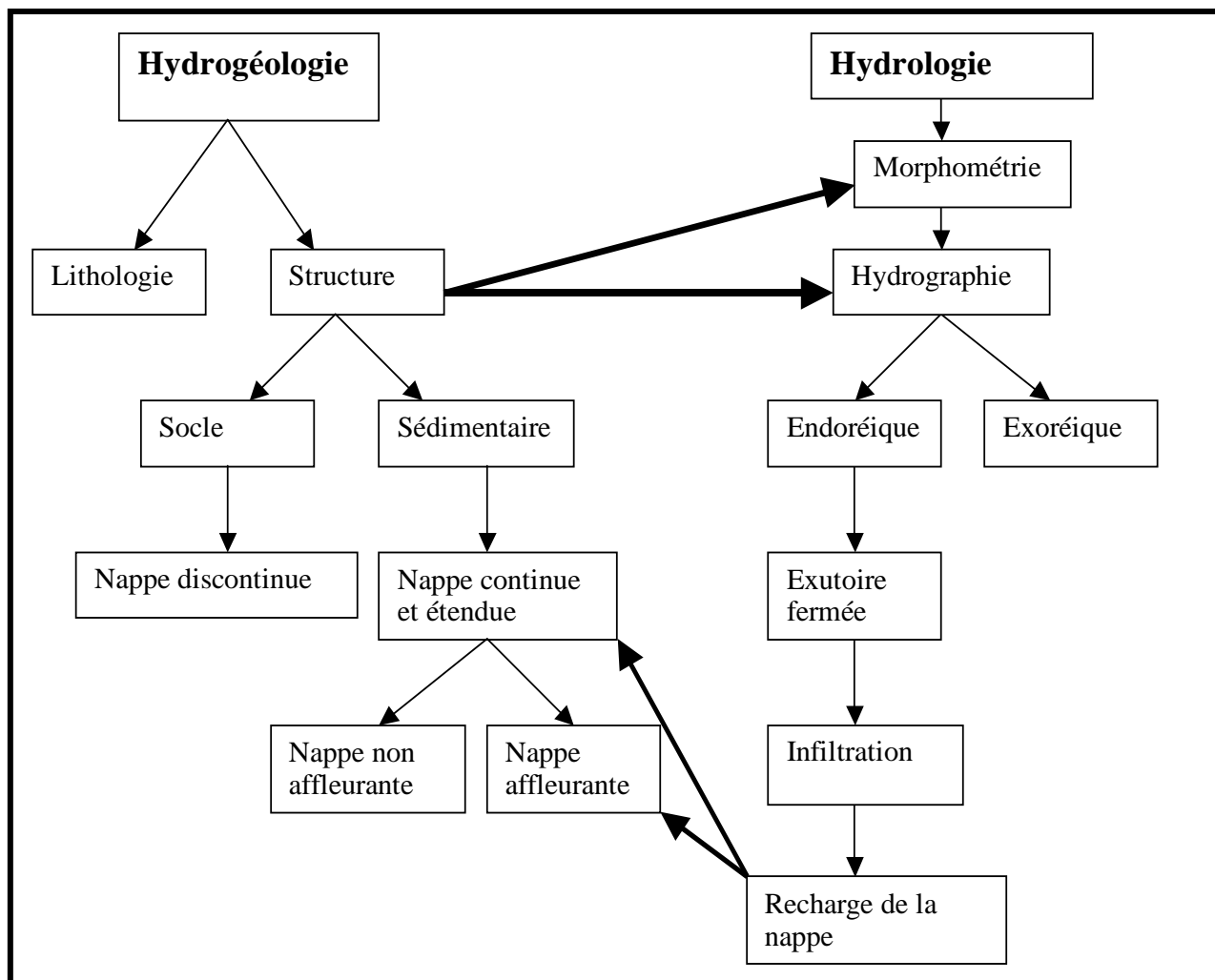
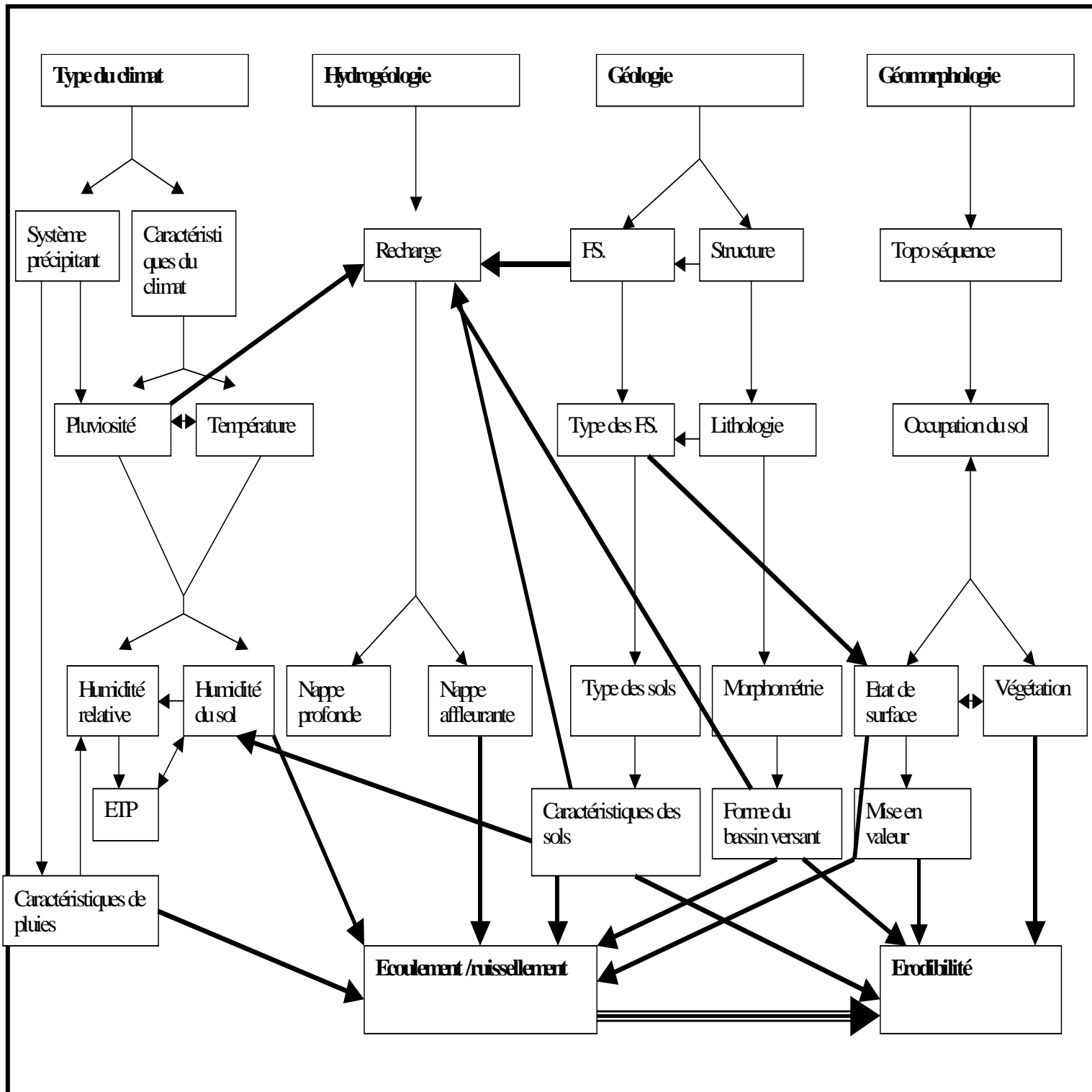


Schéma 2 : Quelques interrelations fonctionnelles entre les thèmes et écoulement- érodibilité



Conclusion et perspectives

Le corps du travail présenté dans ces pages est constitué par l'agencement des différentes étapes de l'élaboration d'une base de données hydrogéomorphologiques. Il est d'abord présenté le cadre d'étude, c'est-à-dire le processus hydrologique actuel du secteur endoréique près de Niamey et les procédures sur la constitution d'une base de données.

Sont ensuite analysées quelques données afin d'établir d'une part les niveaux de relation entre les différentes composantes de la réalité hydrogéomorphologique considérée, et d'autre part, de dégager le bien fondé de l'influence d'autres composantes issues des sources diverses sur le facteur ou processus hydrologique actuel.

Ce préalable nous a donné une meilleure prise sur la démarche méthodologique à suivre. Pour la constitution d'une base de données hydrogéomorphologiques à l'échelle du bassin versant du kori Dantiandou, sont proposées les étapes suivantes :

- l'identification des entités et attributs qui sont des agrégats constitutifs des différents thèmes connexes à l'hydrologie ;
- une structuration et une codification provisoire des thèmes, entités et attributs (pour les données textuelles notamment) ;
- une proposition des grappes de quelques dépendances fonctionnelles entre thèmes et entités : dépendance, interdépendance, complémentarité...

Ce travail, même s'il n'a pas abouti à la constitution d'une base des données hydrogéomorphologiques accomplie, il débouche néanmoins sur des solutions directement utilisables par celle-ci et sur une démarche susceptible de l'orienter.

La banque de données actuellement disponible est relativement riche, mais au vu de la finesse des questions, sur les enjeux et le devenir environnemental des espaces concernés, auxquelles ce travail ambitionne de répondre, il consacrera encore un véritable effort de réflexion et de collecte d'autres données.

Ce travail vise, en effet, pour son accomplissement deux buts qui, du reste sont complémentaires : la constitution d'une base de données opérationnelle achevée par

un SIG pour la surveillance hydro morphologique du bassin du kori Dantiandou et l'application d'un modèle prévisionnel d'érosion pour le même bassin.

Pour ce qui est du premier, plusieurs données existent déjà :

- **l'ensemble quantitatif (ou statistique).** Il est composé des :
 - informations géomorphologiques qui sont des données chiffrées sur l'érosion des ravines, pertes en terre sur parcelles expérimentales, les charges en suspension et du fond des ravines.
 - données hydrologiques sur les débits, les côtes et les lames d'eau écoulées dans les cours d'eau ;
 - données hydrogéologiques sur les niveaux statiques et les fluctuations piézométriques de la nappe phréatique, hauteur d'eau qui recharge la nappe ;
 - données pédologiques sur l'infiltration et sur l'humidité des sols ;
 - données climatiques sur la pluie, la température, l'évaporation, l'humidité relative, le vent.

Il est à noter que ces données n'ont ni le même pas de relevé, ni la même durée d'observation, moins encore la même échelle spatiale.

Si l'armature structurale de la base de données proposée est admise, l'étape suivante sera celle de la mise en relation de ces données.

- **l'ensemble qualitatif (ou textuel) :** il est composé des données textuelles d'appréciation des phénomènes. Pour cela, deux références nous sont disponibles : les termes de référence provisoire sur l'occupation du sol éditée par l'Université de Niamey (2006) et la base des données sémiologiques de JOLY (1997).
- **l'ensemble cartographique :** les données cartographiques disponibles sont les images aériennes (photos aériennes, images pixy et satellitaires), les cartes topographiques (au 50.0000^e et au 200.000^e), les cartes thématiques (occupation du sol, unités morphologiques, MNT, hydrographie...) produites par des thèses, mémoires et autre. Ces données cartographiques ne sont ni de la même date, ni à la même échelle spatiale.

Pour ce qui est du deuxième point, il s'agit du modèle USLE (Universal soil loss equation) de WISHMEIER et SMITH qui est une équation empirique d'évaluation de pertes en terre.

Ce modèle est constitué d'un ensemble de cinq sous-modèles :

$$E=R.K.SL.C.P.$$

Les paramètres mis en facteurs sont aussi climatiques (R=indice d'érosivité des pluies), pédologiques (K=érodibilité des sols), morphologiques (SL= facteurs topographiques), végétaux (C= couvert végétal) qu'humains (P = pratiques antiérosives). Certains de ces facteurs se recueillent sous forme des données descriptives (R, K, SL) tandis que d'autres se déduisent des supports cartographiques (C, P).

En sommes, outre les données actuellement acquises, ce modèle impose la collecte et l'acquisition d'autres données. L'élaboration de la base de données hydromorphologiques opérationnelle et l'acquisition de ces données complémentaires constitueront des perspectives futures pour l'accomplissement de ce travail.

Bibliographie

1. ACHARD F. (1997). « Pastoralisme et écosystèmes forestiers contractés du sud du Niger : ressources fourragères et impact du pâturage sur la forêt ». In, d'HERBES J.M. ; AMBOUTA J.M.K., PELTIER R. *éds. Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. John Libbey Eurotext, Paris, pp15-24.*
2. ALBERGEL J. et al. (1992). « Aridité climatique, aridité édaphique: étude des conditions de l'infiltrabilité en Afrique tropicale sèche ». In Eds. LE FLOC'H E., GROUZIS M., CORNET A., BILLE J.C. *L'aridité, une contrainte au développement. Caractérisations, réponses biologiques, stratégies des sociétés. ORSTOM, Paris, pp123-130.*
3. AMANI A. et al. (2004). *Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification. UICN, PDF, 17p.*
4. AMANI A. et NGUETORA M. (2002). « Evidence d'une modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Niamey ». In VAN LANEN H. et DEMUTH H. *Eds, Friends regional hydrology: bridging the gap between research and practice. Proceeding of conference Cap Town S.A. IAHS pub. N°274, pp249-256.*
5. AMBOUTA J.M.K. (1984). *Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'Ouest nigérien. Thèse de doctorat, Université de Nancy I, 116p+ annexes.*
6. AMBOUTA J.M.K. (1994). *Etude des facteurs de formation d'une croûte d'érosion et de ses relations avec les propriétés internes d'un sol sableux fin au Sahel. Thèse Ph-D, Université Laval. 97p.*
7. AMBOUTA J.M.K. (1997). « Définition et caractérisation des structures de végétations contractée au Sahel : cas de la brousse tigrée de l'ouest nigérien ». In, d'HERBES J.M. ; AMBOUTA J.M.K. ; PELTIER R. *éds. Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. John Libbey Eurotext, Paris, pp41-57.*
8. AMBOUTA J.M.K. (2007). *Ressources en sols ; gestion et conservation des sols. Compte rendu de conférence tenue le 10 et 11 janvier s. FLSH, UAM, Niamey. 41p.*
9. ANTHONY F. (1988). « La base des données des ressources génétiques des caféiers africains en collection en Côte d'ivoire ». In SECHET et PATRICK

- (ED), *seminfor 1 ; premier séminaire informatique de l'ORSTOM : base des données et systèmes d'information, quelles méthodes ? (actes des colloques et séminaires, paris, 1987)*. ORSTOM, PP321-339.
10. ASA (2004). *Conception d'une base des données. In guide de l'utilisateur SQL.* Disponible sur le site : http://www.ianywhere.com/developer/product_manuals/sqlanywhere/0901/fr/html/dbugfr9/00000014.htm
 11. BAILLY A. et FERRAS R. (1997). *La géographie au XXIe siècle 1. In, Eléments d'épistémologie de la géographie. A. Colin. PDF, 2p.* Disponible sur le site : http://lycees.ac-rouen.fr/monet/SPIP/article.php3?id_article=151
 12. BODE S. (2004). *Pratiques pastorales et biodiversité de parcours dans le canton de Dantiandou (Fakara). Mémoire de DESS, UAM. 55p.*
 13. BOUZOU MOUSSA I. et al. (2000a). « Réhabilitation des jachères dégradées par les techniques de paillage et de zai au Sahel ». In, CH FLORET et R. PONTANIER, éd. *La jachère en Afrique tropicale: rôles, aménagement, alternatives, Volume I. John Libbey Eurotext. Paris, pp751-759.*
 14. BOUZOU MOUSSA I. et al. (2000b). « Amélioration du régime hydrique des sols dégradés des jachères de l'ouest nigérien ». In CH FLORET et R. PONTANIER, éd. *La jachère en Afrique tropicale: rôles, aménagement, alternatives, Volume I. John Libbey Eurotext. Paris, pp760-770.*
 15. COSTE S. (1998). *Inventaire des mares et des ravines par télédétection pour l'élaboration d'un modèle hydrologique en zone sahélienne (kari de Dantiandou, Niger).* Montpellier: ORSTOM, Mémoire de DEA ULP, Strasbourg; 123p.
 16. COUTERON P. (1997). « Contraction du couvert végétal et sécheresse. Exemples au nord-ouest du Burkina Faso ». In, d'HERBES J.M. ; AMBOUTA J.M.K. ; PELTIER R. éd. *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. John Libbey Eurotext, Paris: pp 69-79.*
 17. CRESCENZO P. (2007). *Un support de cours magistraux de bases de données : modèle entité-association.* Disponible sur le site : <http://www.crescenzo.nom.fr/CMBasesDeDonnees/002-ModeleEA.html>

18. D'AMATO N. (1998). *Etude climatologique et statistique des événements pluvieux en zone sahélienne. Thèse, Université de Montpellier, 232p.*
19. D'HERBES J.M. et al. (1997). « La brousse tigrée au Niger: synthèse des connaissances acquises. Hypothèses sur la genèse et les facteurs déterminant les différentes structures contractées ». In, d'HERBES J.M. ; AMBOUTA J.M.K. ; PELTIER R. éd. *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. John Libbey Eurotext, Paris: pp131-152*
20. DANDOY G. et SOURIS M. (1986). *Traitement des données localisées : infographie à l'ORSTOM (actes des colloques et séminaires sur l'infographie et systèmes d'information, Bondy, 1984), Paris, ORSTOM, 304p.*
21. DE WISPELAERE G. (1998). « Développement et analyse de système d'information géographique et spatiale ». In *sécheresse vol.9, n°4. PP 255-256.*
22. DESCONNETS J.C (1994). *Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahélien (Niger, degré carré de Niamey). Thèse Université Montpellier II; 326p.*
23. DESCONNETS J.C. et al. (1993). « Le rôle des mares dans le bilan hydrique d'une région sahélienne ». In *exchange processes at the land surface for a range of space and times scales. Lancaster, AISH, pp299-311.*
24. DESCONNETS J.C. et al. (1996). « Les processus de redistribution des eaux en région sahélienne: l'hydrologie dans l'expérience Hapex-Sahel ». In, *l'hydrologie tropicale; géoscience et outil pour le développement. IAHS n°238; Paris, pp125-137.*
25. DESCONNETS J. C. et al. (1997). " Hydrology of the HAPEX-Sahel central super-site: surface water drainage and aquifer recharge through the pool systems" In : GOUTORBE J.P. (ED.), DOLMAN A.J. (ED.), GASH J.H.C. (ED.), KERR Y.H. (ED.), LEBEL THIERRY (ED.), PRINCE S.D. (ED.), STRICKER J.N.M. (ED.) *HAPEX-Sahel. Journal of Hydrology, 1997, 188/189, pp 155-178.*
26. DESCROIX L. (2007). *Sols, eaux et gestion conservatoire. Compte rendu de conférence tenue le 25 et 26 janvier. FLSH, UAM. 10p.*
27. DESCROIX L. et al. (2005). *Silting up of River channel in Niger: a consequence of land use change. IAHS congress symposiums 1, Foz do Iguaçu. Poster.*

28. DESCROIX L. et DIEDHIOU A. (2004). *Répartition spatiale des précipitations et conditions de surface en zone sahélienne*. Disponible sur le site : http://www.obs.ujf-grenoble.fr/ecole_doctorale/sujets/2004/lthe.htm
29. DOGET P. et GASTON A. (1999). « FLOTROP : constitution d'une base des données sur les pâturages d'Afrique tropicale ». In *sécheresse vol. 10, n°3*. PP 193-189.
30. DUBOIE D. et LANG J. (1984). « Etude lithostragaphique et géomorphologique du Continental terminal et du Cénozoïque inférieur dans le bassin des Iullemmeden (Niger) » In, *bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire (IFAN), tome 43, série A, n°1-2 ; 42p*
31. ELBOUQDAOUI K. et al. (2006). « Evaluation du risque potentiel d'érosion dans le bassin versant de l'Oued Srou (Maroc) ». In *sécheresse vol.17, n°3*. PP425-431.
32. FAYE E. et al. (2000). « Le bois et la gestion des jachères soudaniennes du bassin arachidier au Sénégal ». In, FLORET CH. et PONTANIER R. éd. *La jachère ne Afrique tropicale: rôles, aménagement, alternatives, Volume I*. John Libbey Eurotext. Paris, pp451-459.
33. FAVREAU G. (2000). *Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au Sahel : dynamique et géochimie de la dépression piézométrique naturelle du kori de Dantiandou (sud-ouest du Niger)* Thèse de l'Université Paris XI. PDF, 258p. + annexes
34. FAVREAU G. et al. (2002). Une dépression piézométrique naturelle en hausse au Sahel (sud-ouest du Niger). C/R. *Géoscience 334*. pp395-401. *Académie des sciences/ Eds scientifiques et médicales ELSEVIER SAS*.
35. FAVREAU G. et LEDUC C. (1998). « Fluctuation à long terme du niveau de la nappe phréatique du Continental terminal près de Niamey (Niger) entre 1956 et 1997 ». In *Water Resources variability in Africa during the XXth century*. IASH, publ. N°252, pp253-258.
36. GALLAIRE R. (1997). *Hydrologie en milieu subdésertique d'altitude : le cas de l'Air (Niger)*. ORSTOM Paris, 393p.

37. GOUDE-GAUSSSEN G. et al. (1993). *Évaluation du risque d'érosion éolienne par cartographie des sols et de la végétation en régions sahéliennes : l'expérience STARS à Tillabéry (Niger), Berlin. 15p.*
38. GRANGE M. (2006). *conception de base des données*. Disponible sur le site : http://nte-socio.univ-lyon2.fr/Marc_Grange/BDConception.htm
39. GREIGERT J. et POUUNET R. (1967). *Notice explicative sur la carte géologique de la République du Niger ; Paris, BRGM, 273p.*
40. JOLY F. (1997). *Glossaire de géomorphologie. Base des données sémiologiques pour la cartographie. Paris, Armand Colin, 325p*
41. KANE A. (2002). « Crues et inondations dans la basse vallée du fleuve Sénégal ». In, D. ORANGE et al. éds. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales. Paris, pp197-208.*
42. LE BARBE L et TAPSOBA D (1996). « Une méthode de caractérisation des fluctuations piézométriques inter annuelles du Sahel. L'exemple du Burkina Faso ». In Eds. HOEPFFNER, LEBEL, MONTENY, *Interactions surface continentale/atmosphère : l'expérience Hapex-sahel. Paris, ORSTOM. Pp383-399.*
43. LEBEL T. et al. (1992). "Rainfall estimation in the Sahel: the EPSAT-NIGER experiment. In *Journal des sciences hydrologiques*, 37-3. pp201-215.
44. LEBEL T. et al. (2004). Rainfall estimation in the Sahel: Using an error model to evaluate rain gauge and satellite products". In *Science et changements planétaires / Sécheresse. Volume 15, Number 3, 271-8, JUILLET-AOÛT-SEPTEMBRE 2004, Note de recherche. Disponible sur le site : http://www.jle.com/en/revues/agro_biotech/sec/edocs/00/04/0E/4D/article.md?type=text.html*
45. 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, Mémoire de Maîtrise ; Université paris 8. 77p.*
46. LECHAUVE J.J. (1988). « Le système des données croisière ». In SECHET et PATRICK (ED), *seminfor 1 ; premier séminaire informatique de l'ORSTOM : base des données et systèmes d'information, quelles méthodes ? (actes des colloques et séminaires, paris, 1987). ORSTOM, PP321-339.*

47. LEDUC C. et LOIREAU M. (1997). « Fluctuation piézométrique et évolution du couvert végétal en zone sahélienne (sud ouest du Niger) ». In, *Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainty (proceedings of the Rabat symposium)*, IAHS, publ. N°240, pp193-200.
48. LEJOT J. et CAILLOT Y. (2005). « L'homme et l'eau à Aleg (Mauritanie). De la pénurie à l'excès ». In *sécheresse*, vol 16, numéro 3, juillet-août-septembre. John Libbey Eurotext. Pp175-181.
49. LOIREAU M. (1998). *Espaces-Ressources-Usages: spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien*. Thèse, Université de Montpellier, 411p.
50. MAHAMANE L.E. et MONTAGNE P. (1997). « Les grands axes stratégiques du Projet Energie II-Volet Offre pour une gestion rationnelle des écosystèmes forestiers périurbains au Niger ». In, J.M. d'HERBES, J.M.K.AMBOUTA, R.PELTIER, éd. *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*. John Libbey Eurotext, Paris, pp155-167.
51. MAHE G. (1991). « La variabilité des apports fluviaux au golfe de Guinée utilisée comme indice climatique ». In, *Pêcheries ouest africaines : variabilité, instabilité et changement*. ORSTOM, Paris, pp147-161.
52. MAHE G. (2002). « Dynamique hydrologique du delta intérieur du Niger (Mali) ». In, D. ORANGE et al. éd. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*. Paris, pp179-195.
53. MAHE G. et al. (2005). « Sensibilité des cours d'eau Ouest africains aux changements climatiques et environnementaux : extrêmes et paradoxes ». In *regional hydrological impacts of climatic changes- hydroclimatic variability (proceeding of symposium S6 held during the seventh IAHS scientific assembly et Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005)*. IAHS publ. N° 296, pp169-177. PDF.
54. MAIGA O. (2000). « Facteurs socio-démographiques explicatifs de la crise des jachères en zone soudanienne nord au Mali ». In, Ch Floret et R. Pontanier, éd. *La jachère ne Afrique tropicale: rôles, aménagement, alternatives, Volume I*. John Libbey Eurotext. Paris, pp 52-58.

55. MALAM ABDOU M. (2005). *Genèse et morpho dynamique actuelle des bas-fonds sahéliens : étude comparative de quelques bas-fonds ruraux de socle et de bassin sédimentaire dans l'Ouest nigérien. Mémoire de Maîtrise. UAM. Niamey, 141p*
56. MAMADOU I. (2006). *Erosion et ensablement dans les koris de Fakara Degré carré de Niamey. Université de Niamey, 116p.*
57. MARTIN-ROSALES W. et LEDUC C. (2003). *C.R. Géoscience 335 ; Dynamique de vidange d'une mare temporaire au Sahel : l'exemple de Banizoumbou (sud-ouest du Niger). Académie des sciences. Eds. ELSEVIER SAS. Pp461-468.*
58. MASSUEL S. (2005). *Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest du Niger. Modélisation des eaux de surface et souterraines du bassin de kori Dantiandou sur la période de 1992-2003. Thèse Université de Montpellier, 220p.*
59. MASSUEL S. et al. (1993). *Infiltration profonde à travers une zone d'épandage sableuse de versant au Niger semi-aride: évidence par modélisation hydrologique et reconnaissance géochimique. UMR Hydroscience, IRD; PDF, 4p.*
60. ME/F, RN (2006). *Répertoire national des communes (RENACOM). INS (Institut national des statistiques). 526p.*
61. MHE/LCD (2006). *Nomenclature pour la construction de bases de données sur l'occupation des sols au Niger. Direction de l'environnement (RN), 69p.*
62. MONFORT M. (1996). *Reconstitution géologique des aquifères du Continental Terminal dans la région de Niamey : stage de Maîtrise en science de l'environnement. Paris, ORSTOM, 50p.*
63. MONFORT M. (1997). *Etude des relations entre les aquifères du Continental Terminal au Nord de Niamey (Niger) : approche géologique, géochimique et hydrodynamique. Mémoire de DEA, Université Paris sud. Montpellier, 121p.*
64. NEBOIT R. *Les processus d'érosion. Notes des cours d'agrégation de géographie dispensés au centre national d'enseignement à distance. Centre de Vannes. Sans date. 32p.*
65. NONGUIERMA A. (1997). « *Eléments de système d'information géographique en hydrologie de surface* ». *In Agrhymet, Systèmes d'informations géographiques appliqués à l'hydrologie au Sahel. Rapport de formation régionale tenue au centre régional Agrhymet du 21 octobre au 21 novembre, pp103-135*

66. OLIVRY J.C et al. (1995). « Le régime hydrologique du Niger supérieur et le déficit des deux dernières décennies ». In OLIVRY J.C, BOULEGUE, éd. *Grands bassins fluviaux péri atlantiques : Congo, Niger, amazonie. Colloques et séminaires*. ORSTOM, Paris, pp251-266.
67. PEUGOT 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.
68. ROOSE E. (1981). *Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale : étude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées*. Paris ORSTOM, travaux et documents n°130. 569p.
69. SEGUI S. L. et al. (2003). *Influence de sécheresse et du défrichement sur les écoulements d'un petit bassin sahélien*. UMR Hydrosciences, IRD, France, 11p
70. SMIDA H. et al. (2006). « Identification des zones de recharge induite par d'aquifères à l'aide d'un SIG : cas de la nappe de CHAFFAR (sud-est Tunisien) ». In *sécheresse vol.17, n°3*. PP 433-442.
71. SOURIS M. (1986). « Systèmes d'informations géographiques et bases des données ». In *traitement des données localisées : l'infographie à l'ORSTOM*, pp29-87. (actes des colloques et séminaires de BONDY, 1984).
72. TABEAUD M. et LOHEZ M. (2003). *Météo - pluie : Quel sale temps !* Disponible sur site : http://www.cafe-geo.net/article.php3?id_article=13
73. TIEGA A. (1991). *Démographie et ressources naturelles*. UICN, 39p.
74. TSAYEM M. (1999). SIG et cartographie de l'occupation du sol : l'expérience de Saint George de l'Oyapock en Guyane française. In *sécheresse vol.10, n°4*. PP289-295.
75. UNITED NATIONS (2005). *World population prospects. The 2004 revision, Vol.1 : comprehensive tables*. Département des affaires économiques et sociales du secrétariat de l'ONU. New york, 763p.
76. VUILLAUME G. (1968). « Premiers résultats d'une étude analytique du ruissellement et de l'érosion en zone sahélienne. bassin de Kountkouzout (Niger) ». *Cahier ORSTOM, série hydrologie ; vol. V, n°2*. PDF, 24p.

Liste des tables

Table de carte

Carte 1 : Situation hydro-géologique et localisation du secteur d'étude	12
---	----

Table de figures

Fig. 1 : Courbes des variations pluviométriques de 1905-2005 à la station de Niamey.	15
Fig. 2 : Tendence pluviométrique de quelques stations depuis 1970	15
Fig.3 : Courbes des précipitations et évapotranspirations mensuelles de 1977-2004 à la station de Niamey	56
Fig. 4 : Variations inter-annuelles de l'ETP (1977-2004) à la station de Niamey	57
Fig.5 : Courbes des variations saisonnières de température et de l'ETP	57
Fig. 6 : Courbes de corrélation linéaire de hauteurs de pluies et de coefficient de ruissellement dans la parcelle de mil (parcelle 8, Banizoumbou 2005).	63
Fig.7 : Courbes corrélation linéaire hauteur pluie et perte unitaire dans la parcelle de mil (p7, Banizoumbou 2006).	63
Fig. 8 : Courbes de corrélation linéaire hauteur de pluie - perte en terres dans la jachère (p6, Banizoumbou 2005)	65
Fig. 9 : Cumul de pertes annuelles en terres selon les dimensions des parcelles dans la jachère (Banizoumbou).	65
Fig.10 : Courbes de corrélation de hauteurs de pluies et des coefficients de ruissellement dans la parcelle de croûte algair (Wankama 2005)	67
Fig. 11 : Corrélation entre hauteur de pluie, coefficient de ruissellement et pertes en terres dans la croûte d'érosion (Wankama 2005)	69
Fig.12 : Evolution régressive des ravines selon les hauteurs de pluies (Banizoumbou, 2006)	71
Fig. 13 : Débits solides et liquides de la première pluie ruisselante en 2006 à Wankama.	73
Fig. 14 : Débits solides et liquides de la deuxième pluie ruisselante en 2006 à Wankama.	74
Fig. 15 : Corrélations des courbes de durée et hauteur des pluies en 2006	78
Fig. 16 : Corrélations hauteurs et intensités moyennes des pluies.	80
Fig. 17 : Champs de pluies et tracé des isohyètes pour les cumuls annuels de 2006.	82
Fig. 18 : Variations de l'évapotranspiration dans la jachère et le champ de mil.	84
Fig. 19 : corrélation entre hauteur des pluies et ETR dans la jachère et le champ de mil.	85
Fig. 20 : Fluctuation de la surface piézométrique des trois puits de Banizoumbou	88
Fig. 21 : Fluctuation de la surface piézométrique de deux puits de Wankama.	89

Table de photos

Photo 1 : Croûte algair	67
-------------------------	----

Table de schémas

Shéma 1 : Exemples d'interrelation entre thèmes	57
Schéma 2 : Quelques interrelations fonctionnelles entre les thèmes et écoulement-érodibilité	102

Table de tableaux

Tableau 1 : L'évolution par érosion régressive de la ravine principale du bassin versant de Wankama en 2004 et 2005.-----	18
Tableau 2 : Redistribution des eaux de pluie à l'échelle de la parcelle.-----	20
Tableau 3 : Répartition et types de parcelles de Tondi kiboro et Wankama -----	42
Tableau 4 : Composition du réseau hydrométrique -----	42
Tableau 5 : Répartitions de mares selon COSTE-----	53
Tableau 6 : Les indices moyens selon les états de surface. -----	69
Tableau 7 : Concentrations de charge en suspension et de charge du fond selon les débits liquides de deux premières pluies ruisselantes (Wankama, 2006). -----	75
Tableau 8 : récapitulatif des hauteurs de recharge selon les puits. -----	89
Tableau 9 : Exemple de configuration de thème, entités et attributs -----	92