



République du Niger /MEMS/RS  
Université Abdou Moumouni de Niamey  
Faculté des Lettres et Sciences Humaines  
Département de géographie



Université Paris 1  
Panthéon-Sorbonne

## THÈSE DE DOCTORAT Ph.D

Présentée pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Abdou Moumouni et de  
l'Université Paris 1

par

M. Ibrahim MAMADOU

Spécialité : Géographie physique

### LA DYNAMIQUE ACCELEREE DES KORIS DE LA REGION DE NIAMEY ET SES CONSEQUENCES SUR L'ENSABLEMENT DU FLEUVE NIGER

Niamey, le 29 juin 2012

Amphithéâtre B, Faculté des Lettres et Sciences Humaines

#### Directeurs de thèse

-Mme **Emmanuèle GAUTIER**, Professeure, Université Paris 8- Laboratoire de Géographie Physique (LGP) UMR 8591 / CNRS et membre de l'école doctorale de Géographie de Paris, **Directrice de thèse**

-M. **Ibrahim BOUZOU MOUSSA**, Professeur, Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Abdou Moumouni de Niamey, **Co-directeur de thèse**

#### Jury de thèse

-M. **Eric ROOSE**, Directeur de Recherche IRD, UR 179, SeqBio, IRD Montpellier, **Président**

-M. **Jean-Marie Karimou AMBOUTA**, Professeur, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, **Rapporteur**

-M. **Luc DESCROIX**, Directeur de Recherche IRD et LTHE Grenoble, **Rapporteur**

-Mme **Emmanuèle GAUTIER**, Professeure, Université Paris 8, LGP, UMR 8591/ CNRS, Meudon, France, **Directrice de thèse**

-M. **Ibrahim BOUZOU MOUSSA**, Professeur, Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Abdou Moumouni, Niamey, **Co-directeur de thèse**

*Thèse préparée au Laboratoire de Géographie Physique (LGP – UMR 8591 / CNRS) et à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD de Niamey)*

*Ecole doctorale de Géographie de Paris 1*



**A la mémoire de mes très chers parents**

**El hadj Mamadou ADAMA TRADRE et Hadjia Mariama MALAM ABDOU décédés en 1996**

**A la mémoire de mon père adoptif**

**El hadj Ibrahim GAGERE TANKARY décédé en 2010**

Liste des abréviations et des sigles .....	10
Liste des tableaux .....	12
Liste des figures .....	15
Liste des photos .....	20
Avant-propos .....	27
Résumé de l'étude.....	30
Abstract .....	32
<b>INTRODUCTION GENERALE DE L'ETUDE .....</b>	<b>35</b>
<b>CHAPITRE I : LE CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE .....</b>	<b>39</b>
<b>I-1- Problématique de l'étude .....</b>	<b>40</b>
<b>I-1.1-Les changements d'usage des sols.....</b>	<b>43</b>
<b>I-1.2-La variabilité climatique au Sahel.....</b>	<b>48</b>
<i>I-1.2.1- Le « Paradoxe du Sahel » : baisse de la pluviométrie – disparition des couverts végétaux et augmentation du ruissellement dans le Sahel.....</i>	<i>48</i>
<i>I-1.2.2-Réactivation et fin d'endoréisme des koris dans la région de Niamey – l'origine des koris étudiés .....</i>	<i>54</i>
<b>I-2- Hypothèses scientifiques de l'étude.....</b>	<b>55</b>
<b>I-3- Objectifs et résultats attendus de la thèse .....</b>	<b>57</b>
<b>I-4- Contexte thématique de l'étude et pertinence du sujet de la thèse....</b>	<b>58</b>
<b>I-5 - Etat de l'art .....</b>	<b>58</b>
Conclusion partielle.....	67
<b>CHAPITRE II : OUTILS ET METHODES DE L'ETUDE .....</b>	<b>68</b>

<b>II- 1- La caractérisation de l'évolution diachronique du milieu étudié :-</b>	
<b>Les données iconographiques : La caractérisation multi temporelle des bassins et du lit des koris.....</b>	<b>72</b>
<b>II- 2- Les mesures et observations sur le terrain – Les suivis à l'échelle des bassins versants des koris.....</b>	<b>73</b>
II- 2.1-Les suivis pluviométriques.....	74
II- 2.2-Suivi d'autres paramètres météorologiques locaux.....	75
II- 2.3-Caractérisation du ruissellement et de l'érosion des versants dans les bassins étudiés.....	76
<b>II- 3-Les suivis des koris : mesures des flux d'eau et de sédiment, caractérisation des changements morpho-sédimentaires .....</b>	<b>78</b>
II- 3.1-Les suivis hydrométriques des koris de Boubon et de Gorou Kirey.....	78
II- 3.2- Les relevés de turbidité MES dans les koris en crue de Boubon et Gorou Kirey .....	79
II- 3.3-Les prélèvements des MES dans le fleuve Niger.....	79
II- 3.4-Les pièges à sédiments.....	80
II- 3.5- Caractérisation du fonctionnement hydro sédimentaire des koris affluents	81
II- 3.5.1-L'évolution topo-sédimentaire .....	81
II- 3.5.2-Suivi des profils en travers sur le kori Boubon.....	82
II- 3.5.3-Suivis topo-sédimentaires et modèles numériques de terrain des cônes de déjection des koris.....	86
II- 3.5.4-Mesures bathymétriques et suivi des îles sur le fleuve Niger : secteurs de Boubon et Gorou Kirey .....	87
<b>II- 4- Les enquêtes et interviews.....</b>	<b>87</b>

<b>II- 5-Les difficultés rencontrées au cours de l'étude .....</b>	<b>88</b>
<b>Conclusion partielle.....</b>	<b>88</b>
<b>CHAPITRE III : CADRE GEOGRAPHIQUE GENERAL DE L'ETUDE- SPECIFICITES DE LA REGION DE NIAMEY ET DES BASSINS VERSANTS DES KORIS ETUDIES .....</b>	
<b>III- 1 -Le bassin du fleuve Niger et son cours moyen.....</b>	<b>92</b>
<b>III- 1.2-Le cours du moyen Niger dans la partie nigérienne .....</b>	<b>92</b>
<b>III- 1.3 -Le fleuve Niger dans la région de Niamey .....</b>	<b>96</b>
<b>III- 1.4- Hydrologie de la région de Niamey et impacts des pluies exceptionnelles..</b>	<b>99</b>
<b>III- 2. Le Climat régional .....</b>	<b>102</b>
<b>III- 2.1- Les températures et l'évapotranspiration .....</b>	<b>103</b>
<b>III- 2.2- Les précipitations .....</b>	<b>103</b>
<b>III- 3-Quelques éléments sur la population de la région de Niamey.....</b>	<b>109</b>
<b>III- 3.1- Aspects socio-économiques de la région de Niamey.....</b>	<b>110</b>
<b>III- 3.2-La géologie et les sols de la région de Niamey .....</b>	<b>110</b>
<i>III- 3.2.1- Géologie de la région de Niamey .....</i>	<i>111</i>
<i>III- 3.2.2 – Les sols de la région de Niamey .....</i>	<i>114</i>
<b>III- 3.3- Contexte hydro- géomorphologique des bassins des koris étudiés.....</b>	<b>115</b>
<i>III- 3.3.1-Les plateaux cuirassés .....</i>	<i>115</i>
<i>III- 3.3.2-Les talus du plateau.....</i>	<i>115</i>
<i>III- 3.3.3-Les glacis .....</i>	<i>117</i>
<i>III- 3.3.4-Les dunes .....</i>	<i>118</i>
<i>III- 3.3.5-Les bas-fonds .....</i>	<i>118</i>

III- 3.4 -La végétation dans la région de Niamey .....	119
III- 3.5–La vallée du fleuve Niger dans la région de Niamey : la plaine d’inondation du fleuve Niger.....	123
<b>III- 4- Les koris affluents étudiés dans la région de Niamey .....</b>	<b>126</b>
<b>III- 4. 1- Les bassins versants expérimentaux étudiés .....</b>	<b>129</b>
<i>III- 4.1.3- Caractérisation morphométrique du bassin versant étudié du kori de Gorou Banda .....</i>	<i>134</i>
<i>III- 4.1.4- Caractérisation des bassins versants observés et non équipés : exemples des bassins versants de Kourtéré, Karma .....</i>	<i>135</i>
<b>Conclusion partielle.....</b>	<b>141</b>
<b>CHAPITRE IV– LA DYNAMIQUE EROSIVE ACCELEREE DANS LA REGION DE NIAMEY ET EVOLUTION MORPHOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE DES KORIS .....</b>	<b>145</b>
<b>IV– 1 –La dynamique actuelle des koris de la région de Niamey .....</b>	<b>146</b>
<b>IV– 1.    a- Le bassin de Boubon, évolution de l’occupation du sol .....</b>	<b>146</b>
<b>IV– 1.b- Le bassin de Gorou Kirey, évolution de l’occupation du sol depuis 1955</b>	<b>147</b>
<b>IV-2- Naissance et néo- exoréisme des koris dans la région de Niamey .</b>	<b>150</b>
<b>IV-2.1-- Evolution des koris de la région de Niamey .....</b>	<b>151</b>
<b>IV-2.2- Endoréisme des vallées sèches : cas du kori Dantiandou .....</b>	<b>155</b>
<b>IV-2.3- Néo – exoréisme des grandes vallées fossiles : cas de la vallée fossile du kori Ouallam.....</b>	<b>158</b>
<b>IV-2.4-Naissance de nouveaux koris.....</b>	<b>158</b>
<b>IV-3- Les facteurs de la dynamique actuelle des koris de la région de Niamey .....</b>	<b>159</b>
<b>IV-3.1-Le rôle des croûtes sur l’érosion hydrique à l’origine du néo-exoréisme ?</b>	<b>159</b>

IV-3.2- L'agressivité du climat.....	161
IV-3. 3-La disparition ou baisse de la couverture végétale dans les bassins.....	163
IV-3.4-L'augmentation du ruissellement dans les bassins versants – les résultats des mesures sur les parcelles et dans les ravines.....	167
IV-3.5-Erosion des berges et évolution des ravines secondaires .....	168
IV-3.6-Évolution des nappes alluviales dans les bassins versants étudiés.....	169
Conclusion partielle.....	171
 <b>CHAPITRE V : LA DYNAMIQUE HYDROLOGIQUE ET SEDIMENTAIRE - MANIFESTATIONS ET CONSEQUENCES DE L'ENSABLEMENT DANS LA REGION DE NIAMEY .....</b>	
	173
<b>V -1- Hydrométrie des koris étudiés : Relations pluies et débits à l'échelle des koris .....</b>	<b>173</b>
<b>V -2-Les débits des koris étudiés .....</b>	<b>178</b>
<b>V -3– Les processus sédimentaires à l'échelle des koris étudiés.....</b>	<b>181</b>
<b>V -3.1- Dynamique et apports sédimentaires des berges .....</b>	<b>182</b>
<i>V -3.2.1-Evolution interannuelle des berges du kori Boubon.....</i>	<i>187</i>
<b>V -3.2-Estimation des volumes des pertes en terre par érosion des berges à partir des profils en travers dans la partie aval du kori Boubon.....</b>	<b>190</b>
<b>V -3.3– Évolution des profils en long des koris étudiés.....</b>	<b>191</b>
<b>V -3.4- L'instabilité du plancher alluvial du kori estimé au droit de la station hydrométrique .....</b>	<b>192</b>
<b>V-4-L'évolution des cônes des koris entre 2008 et 2009.....</b>	<b>194</b>
<b>V -5- Bilan sédimentaire et volumes érodés .....</b>	<b>196</b>
<b>V -5.1-Bilan sédimentaire sur le kori Boubon et le fleuve Niger.....</b>	<b>196</b>

<b>V -5.1 – Estimation des volumes des sédiments des cônes de déjection des koris Gorou Banda Gorou Kirey et Boubon en 2008 et 2009 .....</b>	<b>197</b>
<b>V -5.3- Bathymétrie des zones de confluence des koris au fleuve Niger.....</b>	<b>201</b>
<b>V -6. Les flux de Matières En Suspension : des koris au fleuve Niger ...</b>	<b>206</b>
<b>V -6.1- Le transport solide en suspension dans les koris .....</b>	<b>207</b>
<i>V -6.1.1-La charge en suspension dans le kori Boubon en 2009.....</i>	<i>207</i>
<i>V -6.1.2- La charge en suspension dans le kori Gorou Kirey 2009.....</i>	<i>211</i>
<i>V -6.1.3- La charge solide en suspension du fleuve dans la région de Niamey.....</i>	<i>211</i>
<b>V -6.2- Étude granulométrique des sédiments dans les koris étudiés et le fleuve à Niamey.....</b>	<b>214</b>
<b>V -7- Conséquences de l’envasement dans la région de Niamey .....</b>	<b>215</b>
<b>V -7.1- Les conséquences du phénomène d’ envasement dans la ville de Niamey .</b>	<b>215</b>
<b>V -7.3-Impact de l’alluvionnement sur les infrastructures routières et touristiques .....</b>	<b>218</b>
<b>V -7.4-Impact de l’alluvionnement sur l’alimentation en eau de la ville de Niamey : situation d’envasement de la retenue d’eau de Goudel .....</b>	<b>220</b>
<b>Conclusion partielle.....</b>	<b>221</b>
 <b>CHAPITRE VI : LA LUTTE CONTRE L’ENSABLEMENT DU FLEUVE NIGER</b>	
<b>DANS LA REGION DE NIAMEY – LES RECOMMANDATIONS</b>	
<b>D’AMENAGEMENT ET LES PERSPECTIVES DE L’ETUDE .....</b>	<b>224</b>
<b>VI -1- Historique de la lutte contre l’ensablement de la vallée du fleuve au Niger .....</b>	<b>224</b>
<b>VI .2 – Aperçus sur les programmes de la lutte contre l’ensablement ...</b>	<b>227</b>
<b>VI 2.1- La vision partagée ABN et les réalisations du PLCE /ABN .....</b>	<b>227</b>
<b>VI 2.2- La ceinture verte de Niamey : Une action de protection réussie.....</b>	<b>229</b>

<b>VI 2.3- Le barrage - retenue de Goudel : réserve d'alimentation en eau de la ville de Niamey.....</b>	<b>230</b>
<b>VI 2.4-Le programme Kandadji de Régénération des écosystèmes et de mise en valeur de la vallée du Niger (P-KRESMIN).....</b>	<b>230</b>
<b>VI 2.5- Le programme de dragage de sable dans la vallée du Niger – Bief Farié Niamey.....</b>	<b>231</b>
<b>VI 2. 6 -Le programme spécial ou initiative PPTE .....</b>	<b>233</b>
<b>VI.2.7-Les aménagements CES/ DRS effectués par les services techniques publics de l'environnement et les organisations non gouvernementales dans la région de Niamey.....</b>	<b>234</b>
<b>VI 2.8- La lutte contre l'inondation dans la vallée du fleuve Niger.....</b>	<b>241</b>
<b>VI 3- Propositions pour la lutte contre l'ensablement : les méthodes associant les procédés biologiques.....</b>	<b>242</b>
<b>VI 3.1-Les propositions et recommandations d'aménagement efficaces proposées tant à l'échelle des koris que de la vallée du fleuve région de Niamey .....</b>	<b>243</b>
<i>VI 3.2.2-La lutte contre le ruissellement à l'échelle des versants et à l'échelle des exploitations agricoles .....</i>	<i>245</i>
<i>VI 3.2.3-Lutte contre les ruissellements des plateaux cuirassés.....</i>	<i>247</i>
<i>VI 3.2.4-Lutte contre les ruissellements aréolaires sur les versants des bassins étudiés .....</i>	<i>248</i>
<i>V-I 3.2.5-Lutte contre le ravinement secondaire sur les versants dégradés.....</i>	<i>250</i>
<i>VI 3.2.6- Le changement de comportements environnementaux : sensibilisation et éducation environnementale.....</i>	<i>250</i>
<b>CONCLUSION GENERALE DE L'ETUDE.....</b>	<b>256</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>266</b>

## Liste des abréviations et des sigles

ABN : Autorité du bassin du Niger

ACMAD: African Center for Meteorological Applications for Development

AGRHYMET : Centre spécialisé du CILSS qui assure l'information et la formation des Agronomes pour le Développement

AMMA : Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine

CES/DRS : Conservation des eaux et du sol / Défense et restauration des sols

CFN : Commission du Fleuve Niger

CH : Continental hamadien

CIL SS : Comité inter états de lutte contre la sécheresse au Sahel

CIRAD : Centre de Coopération Internationale en Recherche

CNEDD : Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CT : Continental terminal

EPSAT : Estimation des Pluies par Satellite

F.I.T: Front Inter Tropical

FAO: Food Aid Organization

GTZ: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.

Ha: Hectare

HAPEX SAHEL: Hydrologic Atmospheric Pilot Experiment

ICRISAT: International Crop Research Institute for Semi-Arid Tropics

INRAN : Institut National de Recherche Agronomique du Niger

INS : Institut National des Statistiques

IRD : Institut de Recherches pour le Développement

MCGA : Modèles de Circulation Générale Atmosphériques

Mes : Matières solides en suspension

MHE/LCD : Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et de la Lutte Contre la Désertification

OMD : Objectif du Millénaire pour le Développement

ONG : Organisation Non Gouvernementale

ONU : Organisation des Nations Unies

ORSTOM : Office de la Recherche scientifique et Technique Outre Mer

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

RN1 : Route Nationale 1

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

SDR : Stratégie du Développement Rural

SEEN : Société d'Exploitation des Eaux du Niger

SPEN : Société de patrimoine des eaux du Niger

SRP : Stratégie de Réduction de la Pauvreté

UICN : Union Mondiale pour la Nature

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour la Science et la Culture

WWAP : World Water Assessment Program

Z.I.T.C. : Zone Inter Tropicale de Convergence

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1: Coefficient de ruissellement et dégradation spécifique sur les principaux types d'occupation des sols (mesuré sur parcelles de 10 m<sup>2</sup>) dans le Fakara (Descroix et al. 2012).</i>	50
<i>Tableau 2: Augmentation du ruissellement dans les bassins versants du Gourouol, Dargol et Sirba (Mahe et al. 2003)</i>	51
<i>Tableau 3: Taille et effectif de la population de la CUN après le redécoupage administratif de 2003</i>	60
<i>Tableau 4: Types de supports iconographiques utilisés</i>	72
<i>Tableau 5: Réseau de pluviomètres et pluviographe pour le suivi pluviométrique installé dans le bassin de Boubon</i>	75
<i>Tableau 6: Présentation des parcelles de mesure d'érosion du sol</i>	77
<i>Tableau 7: Récapitulatifs des instruments hydromètres installés et les sites de prélèvements dans les bassins versants de Boubon et Gorou Kirey et sur le fleuve Niger en 2008-2009</i>	79
<i>Tableau 8: Récapitulatifs des échantillons par site</i>	80
<i>Tableau 9: Liste de profils en travers suivis dans la partie aval du kori Boubon</i>	83
<i>Tableau 10: Pays concernés par le bassin du fleuve Niger (Ministère des Ressources en Eaux et Programme des Nations unies pour le développement, 2001)</i>	94
<i>Tableau 11: Evolution de la pente moyenne (en pour mille) du lit du fleuve au Niger</i>	96
<i>Tableau 12: Débits du Niger à Niamey pendant les années humides exceptionnelles (Sighomnou et al. 2010)</i>	100
<i>Tableau 13: Analyse de la pluviométrie sur le bassin de Boubon 2008 et 2009 par classe de 10mm</i>	105
<i>Tableau 14: Répartition du cumul moyen mensuel et annuel 2007-2008-2009 par station</i>	108
<i>Tableau 15: La saison des pluies 2010 dans la région de Niamey</i>	108

<i>Tableau 16: Inventaire des espèces végétales ligneuses assez représentatives dans les vallées sèches de la région de Niamey (Leprun 1992 ; Garba, 1984 ; Herman et al. 2005). .....</i>	<i>120</i>
<i>Tableau 17: Inventaire des koris exoréiques importants dans la région de Niamey (40 km en amont et 30 km en aval). .....</i>	<i>127</i>
<i>Tableau 18: Situation morpho métrique actuelle du bassin de Gorou Kirey .....</i>	<i>130</i>
<i>Tableau 19: Situation morpho métrique actuelle du bassin du kori Boubon.....</i>	<i>133</i>
<i>Tableau 20: Situation morpho métrique actuelle du bassin du kori Gorou Banda .....</i>	<i>134</i>
<i>Tableau 21: Situation morpho métrique actuelle du bassin du kori Kourtéré .....</i>	<i>137</i>
<i>Tableau 22: Situation morpho métrique actuelle du bassin du kori Karma.....</i>	<i>140</i>
<i>Tableau 23: unités d'occupation des sols dans le bassin versant du kori Boubon et leur évolution en 1955 et 2009 d'après les missions de photographies aériennes et les images spots 2009 fournies par l'Agrhymet.....</i>	<i>147</i>
<i>Tableau 24: Evolution des unités d'occupation des sols dans le bassin versant du kori Gorou Kirey en 1975, 1996 et 2005 .....</i>	<i>150</i>
<i>Tableau 25: Evolution des écoulements sur les bassins de Tondi Kiboro entre les périodes 1991-1994 et 2004-2008 (d'après Souley Yéro, 2008).....</i>	<i>162</i>
<i>Tableau 26: Évolution de la superficie des cônes de déjection des koris entre 1975 et 2009 .....</i>	<i>165</i>
<i>Tableau 27: Evolution de l'érosion régressive annuelle des ravines secondaires en 2009 dans le bassin versant de Boubon .....</i>	<i>168</i>
<i>Tableau 28: Synthèse des caractéristiques des crues enregistrées dans le bassin du kori Boubon en 2009.....</i>	<i>175</i>
<i>Tableau 29: Evolution moyenne des temps de réponse du kori Boubon selon les cumuls de pluie tombée au cours des saisons 2007-2008-2009.....</i>	<i>177</i>
<i>Tableau 30: Reculs des berges aval kori Boubon mesurés entre 2008 et 2009 .....</i>	<i>188</i>

<i>Tableau 31: Volumes moyens de terres érodés sur un mètre linéaire de berge dans la partie aval du kori Boubon estimés à partir des suivis des six profils en travers entre 2008 et 2009</i> .....	<b>190</b>
<i>Tableau 32: Volumes érodés de la partie aval du kori Boubon entre section les profils en travers N°6 et N°1 en 2009 (aval pont)</i> .....	<b>191</b>
<i>Tableau 33: Variation du plancher alluvial sous le pont situé sur le kori Boubon (aval du profil en travers N°6) en 2009</i> .....	<b>194</b>
<i>Tableau 34: Bilan sédimentaire aval pont et apport du kori Boubon au fleuve entre 2008 - 2009</i> .....	<b>197</b>

## Liste des figures

<i>Figure 1: Carte de localisation de la région de Niamey et bassins versants étudiés</i> .....	43
<i>Figure 2: Evolution de l'occupation du sol dans le Fakara entre 1986 et 2005 (d'après Otlé, 2005, citée par Descroix et al. 2009)</i> .....	46
<i>Figure 3: Evolution de l'occupation de sols dans le bassin versant du kori Boubon en 1975, 1989 et 2005 (Souley Yéro 2007)</i> .....	47
<i>Figure 4: En rouge le réseau de ravines en 1950 et 2004 sur le versant du bassin de Wankama (Le-Breton 2004)</i> .....	47
<i>Figure 5: Indices pluviométriques au Sahel : très forte variabilité depuis 1950 d'après Ali et Lebel (2009)</i> ... 48	
<i>Figure 6: L'évolution pluviométrique à Niamey de 1905 à 2010 (Bouzou Moussa et al. 2005)</i> .....	49
<i>Figure 7: Occupation du sol du bassin versant de Tondi Kiboro entre 1993 et 2007 (Souley 2008)</i> . ....	50
<i>Figure 8: Augmentation des débits fleuve Niger entre Kandadji et Niamey : apports des koris (Amogu, 2009)</i> .....	52
<i>Figure 9: Débit journalier moyen du fleuve Niger, station de Niamey, 2005-2006 (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)</i> .....	53
<i>Figure 10: Evolution des débits moyens journaliers à la station de Niamey de 1929 à 2002 (actualisé à partir d'Olivry 2002)</i> .....	53
<i>Figure 11: Évolution comparée des débits moyens journaliers (hydrogrammes) du fleuve Niger à Niamey avant et après 1969 (Amani et Nguetora 2002)</i> .....	57
<i>Figure 12: Localisation des zones étudiées et d'intérêt pour les thèses Amogu, Le-Breton et Mamadou</i> .....	59
<i>Figure 13: Ensablement et changements du réseau hydrographique sur les 30 dernières années dans la région du lac de Madarounfa, liés à l'accélération de l'érosion hydrique. (Mamadou 2001)</i> .....	63
<i>Figure 14: Accélération du ravinement des versants et de l'ensablement des bas fonds entre 1973 et 1985 sur la rive droite du fleuve Niger dans la région de Niamey (d'après Chinen, 1999)</i> .....	64
<i>Figure 15: Les zones de rupture d'endoréisme dans la région de Niamey (Descroix et al. 2009)</i> .....	65
<i>Figure 16: Synthèse récapitulative de la situation hydro –climatique et environnementale au Sahel central et dans la région de Niamey</i> .....	67
<i>Figure 17: Localisation des koris Boubon et Gorou Kirey, les deux principaux bassins étudiés</i> .....	69
<i>Figure 18: Carte du réseau d'équipements installés dans le bassin versant du kori Boubon</i> .....	70
<i>Figure 19: Carte du réseau d'équipements installés dans le bassin versant du kori Gorou Kirey</i> .....	71

<i>Figure 20: Localisation de quelques koris dans la région de Niamey.....</i>	<i>73</i>
<i>Figure 21: Localisation des profils en travers suivis à l'aide d'une station totale sur le kori Boubon .....</i>	<i>85</i>
<i>Figure 22: Carte du bassin versant du fleuve Niger (Descroix et al. 2009). .....</i>	<i>92</i>
<i>Figure 23: Carte du bassin actif du fleuve Niger ; le cours du moyen Niger, bief compris entre Tossaye (Mali) et Malanville (Bénin) .....</i>	<i>94</i>
<i>Figure 24: Le fleuve Niger et ses affluents au Niger .....</i>	<i>96</i>
<i>Figure 25: Régime hydrologique du fleuve Niger à Niamey entre 1990 à 2009 : deux pics de crue bien distincts (CRP/AOC-HYCOS).....</i>	<i>97</i>
<i>Figure 26: Courbe des températures maxima et minima à Niamey (Direction de la météorologie Nationale) .....</i>	<i>103</i>
<i>Figure 27: Indices de pluie au Sahel de 1896 à 2002 (Mahé et Paturel, 2009) .....</i>	<i>105</i>
<i>Figure 28: Cumuls saisonniers de pluie en 2009 et 2008 comparés aux périodes de référence de quelques stations pluviométriques dans la région de Niamey (IRD Niamey, rapport EPSAT 2008 et 2009).....</i>	<i>107</i>
<i>Figure 29: Carte géologique de l'Ouest du Niger, la région de Niamey à cheval entre le socle du Liptako Gourma et le bassin des Iullemeden. ....</i>	<i>111</i>
<i>Figure 30 : Fond géologique de l'ouest du Niger (Descroix et al. 2009).....</i>	<i>113</i>
<i>Figure 31: Coupe géologique schématique à 13'40W à travers le degré-carré de Niamey (Monfort, 1996)..</i>	<i>114</i>
<i>Figure 32: Formation de brousse tigrée sur le plateau du Boubon Photographie aérienne IGNN 1975.....</i>	<i>121</i>
<i>Figure 33: Carte des peuplements de combrétacées dans l'Ouest du Niger en 2009 (Mahamane 2005) .....</i>	<i>122</i>
<i>Figure 34: Vue aérienne du fleuve Niger et la confluence du kori Boubon au fleuve en juillet 2009 .....</i>	<i>125</i>
<i>Figure 35: Carte du réseau hydrographique du kori Kirey .....</i>	<i>131</i>
<i>Figure 36: Carte du réseau hydrographique du kori Boubon .....</i>	<i>132</i>
<i>Figure 37: Carte du réseau hydrographique du kori de Gorou Banda.....</i>	<i>135</i>
<i>Figure 38: Carte du réseau hydrographique du kori Kourtéré .....</i>	<i>136</i>
<i>Figure 39: Carte du réseau hydrographique du kori Karma.....</i>	<i>139</i>
<i>Figure 40: Évolution des surfaces cultivées en mil au Niger (Guengant et Banoïn, 2003) .....</i>	<i>142</i>
<i>Figure 41: Carte d'occupation des sols dans le bassin versant du kori Boubon en 1955 (Source Carte topographique 1/50000 IGN Paris).....</i>	<i>146</i>

<i>Figure 42: Carte d'occupation des sols dans le bassin versant du kori Boubon en 2009</i> (Source image spot 2009 Agrhymet) .....	146
<i>Figure 43: Dynamique de l'occupation des sols dans le bassin versant Gorou Kirey en 1975</i> (source : photographie aérienne, Mission IGN 1975).....	148
<i>Figure 44: Occupation des sols dans le bassin versant Gorou Kirey en 1996</i> .....	148
<i>Figure 45: Dynamique de l'occupation des sols dans le bassin versant Gorou Kirey en 2005</i> .....	149
<i>Figure 46: Changements d'occupations des sols dans le bassin versant Gorou Kirey entre 1996 et 2005</i> .....	149
<i>Figure 47: Carte géomorphologique du bassin versant du kori Boubon en 2005</i> (Souley 2007).....	152
<i>Figure 48: Evolution du réseau hydrologique dans le bassin versant du kori Boubon entre 1975 et 2009</i> ....	152
<i>Figure 49: Evolution du lit aval du kori Boubon entre 1975 et 2007</i> .....	154
<i>Figure 50: Schéma du cône confluent entre la mare Ouest et Sud-ouest de Wankama</i> (Mamadou 2006) ....	156
<i>Figure 51: Réseau de ravines latérales et mares endoréiques dans la vallée du kori au village de Wankama en 2005</i> (Mamadou 2006). .....	157
<i>Figure 52: Evolution de la superficie du cône d'épandage du kori Kourtéré en rive droite du fleuve près de Niamey</i> (Amogu 2009) .....	164
<i>Figure 53 : Mesures ponctuelles du niveau statique du puits Boubon – Ciminti effectués entre juin 2007 et septembre 2009</i> .....	171
<i>Figure 54: Hydrogramme représentant la série des 39 crues enregistrées du kori Boubon entre mai et octobre 2009</i> .....	176
<i>Figure 55: Montée très rapide des eaux crue du 31 juillet 2009</i> .....	178
<i>Figure 56: Variation des débits crue à deux pics du 27 juillet 2009</i> .....	178
<i>Figure 57: La relation lame précipitée et lame écoulée dans le bassin du kori Boubon en 2009</i> .....	179
<i>Figure 58: Relation (pluie) <sup>2</sup> /débit, bassin de Boubon en 2009</i> .....	180
<i>Figure 59: Relation lame précipitée et lame écoulée à travers le modèle Nazasm Bassin Boubon en 2009</i> ..	180
<i>Figure 60: Relation lame calculée et lame écoulée à travers le modèle Nazasm Bassin Boubon en 2009</i> .....	181
<i>Figure 61: Durée en jours des crues du kori Boubon en 2009</i> .....	181
<i>Figure 62: Evolution annuelle des 6 profils en travers suivis sur le kori Boubon entre juin et septembre 2008</i> .....	188

<i>Figure 63 : Evolution des 6 profils en travers suivis sur le kori Boubon entre juin et septembre 2009 .....</i>	<b>189</b>
<i>Figure 64: Evolution du profil en long dans la partie aval du kori Boubon entre juin et septembre 2008 ....</i>	<b>191</b>
<i>Figure 65: Evolution du profil en long dans la partie aval du kori Boubon entre septembre 2008 et septembre 2009 .....</i>	<b>192</b>
<i>Figure 66: MNT de la partie aval du kori Boubon et confluence avec le fleuve Niger en juin 2008 .....</i>	<b>195</b>
<i>Figure 67: MNT de la partie aval du kori Boubon et confluence avec le fleuve Niger en septembre 2009....</i>	<b>195</b>
<i>Figure 68: Evolution de la dynamique sédimentaire de la partie aval du bassin du kori Boubon et zone de confluence au fleuve entre 2008 et 2009 .....</i>	<b>196</b>
<i>Figure 69: MNT du cône de déjection du kori Gorou Banda en juin 2008 .....</i>	<b>197</b>
<i>Figure 70: MNT du cône de déjection du kori Gorou Kirey en juin 2008 .....</i>	<b>198</b>
<i>Figure 71: MNT du cône de déjection du kori Gorou Kirey septembre 2008 .....</i>	<b>198</b>
<i>Figure 72: MNT du cône de déjection du kori Boubon en juin 2008 .....</i>	<b>199</b>
<i>Figure 73 MNT du cône de déjection du kori Boubon septembre 2008.....</i>	<b>199</b>
<i>Figure 74: MNT de la partie amont du cône de déjection du kori Boubon (partie non submergée par les eaux de la crue du fleuve en juin 2009.....</i>	<b>200</b>
<i>Figure 75: Bilan sédimentaire annuel de la partie aval du kori Gorou Kirey et confluence fleuve Niger 2008 .....</i>	<b>201</b>
<i>Figure 76: profils bathymétriques de la zone de confluence kori Boubon au fleuve Niger le 8 septembre 2008 .....</i>	<b>202</b>
<i>Figure 77: Carte bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve Niger le 8 septembre 2008 .....</i>	<b>203</b>
<i>Figure 78: Carte bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve Niger le 31 janvier 2009 .....</i>	<b>203</b>
<i>Figure 79: Carte bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve Niger en février 2010 .....</i>	<b>204</b>
<i>Figure 80: Bilan bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve entre 2008 et 2009 ...</i>	<b>204</b>
<i>Figure 81: Bilan bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve entre 2009 et 2010 ...</i>	<b>205</b>
<i>Figure 82: Bilan bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve entre 2008 et 2010 ...</i>	<b>205</b>
<i>Figure 83: Séries de turbidités pour les crues prélevées en 2009 sur le kori Boubon .....</i>	<b>209</b>

<i>Figure 84: MES par crues du kori Boubon en 2009.....</i>	<b>210</b>
<i>Figure 85: MES par crue du kori Gorou Kirey, crues entre mai et septembre 2009.....</i>	<b>211</b>
<i>Figure 86: MES du fleuve Niger au niveau de l'île de Boubon entre juillet et septembre 2009.....</i>	<b>212</b>
<i>Figure 87: MES du fleuve Niger au niveau de Banituri (aval confluence kori Boubon au fleuve) entre juillet et septembre 2009.....</i>	<b>213</b>
<i>Figure 88: Ecart des MES du fleuve Niger entre Banituri et Boubon entre mai et septembre 2009.....</i>	<b>213</b>
<i>Figure 89: Concentration MES du fleuve Niger au pont Kennedy de Niamey en février et décembre 2009.....</i>	<b>214</b>
<i>Figure 90: Coupe d'une couche du dépôt fluvial sur le cône du kori Boubon.....</i>	<b>215</b>
<i>Figure 91: Localisation des aménagements et ouvrages CES/DRS récemment réalisés dans la région de Niamey.....</i>	<b>226</b>
<i>Figure 92: répartition du coût prévisionnel du programme (P-KRESMIN, 2006).....</i>	<b>231</b>

## Liste des photos

<i>Photo 1: Crue du kori Boubon en août 2008</i> .....	42
<i>Photo 2: Vue aérienne d'un faux méandre formé par le kori Boubon en amont du pont (photo aérienne offerte par l'Etat Major Armée Nigérienne) en juillet 2009</i> .....	42
<i>Photo 3: (Peltier et al. 2009) : Le bois de feu, un produit vital pour la ville et la campagne. Embarquement d'un camion à destination de Niamey, dans le marché rural de Tientiergou d'après Peltier et al. 2009</i> .....	45
<i>Photo 4: Vue du cône d'épandage du kori Kourtéré à sa confluence au fleuve Niger près de Niamey (photo Gautier 2008)</i> .....	65
<i>Photo 5: Camp de terrain installé dans le bassin versant du kori Boubon depuis juin 2007 (localisation X : 390502 ; Y : 1508169)</i> .....	71
<i>Photo 6: Pluviomètre à lecture directe installé à mi-bassin du kori Boubon et Pluviomètre enregistreur installé en aval du kori Boubon</i> .....	74
<i>Photo 7: Station météorologique type Campbell avec divers capteurs</i> .....	76
<i>Photo 8: Des parcelles d'érosion sur un versant du bassin Boubon en juillet 2008 : 2 répétitions sur mil et sur croûte d'érosion</i> .....	77
<i>Photo 9: Echelle de crue et tube protégeant le flotteur d'un limnigraphe type Thalimedes OTT installées sous le pont du kori de Boubon depuis juin 2007</i> .....	78
<i>Photo 10: Echantillons prélevés et en cours de traitement par décantation et évaporation à l'étuve au laboratoire du département de Géographie à Niamey en octobre 2009</i> .....	80
<i>Photo 11: Tapis et trappes à sédiments installés dans le bassin versant du kori Boubon</i> .....	81
<i>Photo 12: A et B : GPS différentiel utilisé à l'installation des bases de mesures topographiques et station totale de type Trimble S3 utilisée pour les mesures et suivis topographiques</i> .....	82
<i>Photo 13: Suivi du profil topographique par la méthode d'implantation point par point du profil en travers N°3 sur le kori Boubon en juillet 2009</i> .....	84
<i>Photo 14: Matérialisation d'une borne et Borne Numéro P51 sur le kori Boubon</i> .....	85
<i>Photo 15: Levé topographique continu pour la production d'un MNT de début de campagne sur le cône d'épandage du kori Gorou Kirey</i> .....	86
<i>Photo 16: Mesures à l'échosondeur sur le fleuve Niger dans le secteur de Boubon</i> .....	87
<i>Photo 17: Rizières de décrue dans le lit majeur du fleuve Niger près de la ville de Niamey</i> .....	93
<i>Photo 18: Le fleuve Niger : un espace vital pour la population riveraine</i> .....	95

<i>Photo 19: La rivière Sirba à Garbé Kourou, principal affluent du fleuve Niger en amont de Niamey .....</i>	<i>95</i>
<i>Photo 20: Crue rouge du Niger à Niamey, très exceptionnelle en septembre 2010.....</i>	<i>98</i>
<i>Photo 21: Crue guinéenne (ou crue blanche) du fleuve Niger à Niamey en janvier 2008.....</i>	<i>98</i>
<i>Photo 22: Etiage du fleuve Niger à Niamey en mai 2009.....</i>	<i>99</i>
<i>Photo 23: Fleuve Niger à Niamey en période d'étiage, fond occupé par des bancs de sable assez végétalisés en avril 2009.....</i>	<i>99</i>
<i>Photo 24: Pont emporté par le kori Soudouré à 14 km de la ville de Niamey (route Tillabéri) en août 2007</i>	<i>100</i>
<i>Photo 25: Inondation dans la ville de Niamey au mois de septembre 2010 .....</i>	<i>101</i>
<i>Photo 26: Piste pavée et Site du marché fluvial en rive droite de Niamey, près du pont Kennedy inondée par la crue du fleuve le 7 septembre 2010.....</i>	<i>102</i>
<i>Photo 27: Crue rouge du Niger à Niamey en septembre 2010, le niveau d'eau à largement dépassé la cote de 528 cm du 5 octobre 2010 à la station hydrologique de Niamey (aval pont Kennedy) .....</i>	<i>102</i>
<i>Photo 28: Arrivée de ligne de grain sur le plateau du bassin versant du kori Boubon en juillet 2009 .....</i>	<i>106</i>
<i>Photo 29: Arrivée d'un grain humide au dessus du bassin de Gorou Kirey en août 2009.....</i>	<i>106</i>
<i>Photo 30 : Affleurement du socle dans le lit du fleuve Niger au premier plan et au second, le rebord du plateau tabulaire et gréseux près de Boubon .....</i>	<i>112</i>
<i>Photo 31: Paysages de la région de Niamey, au premier plan un dépôt du Continental terminal et la vallée du fleuve dans le secteur Boubon- Karma en 2008.....</i>	<i>112</i>
<i>Photo 32: Plateau dégradé dans le bassin du kori Boubon en juin 2007.....</i>	<i>116</i>
<i>Photo 33: Ruissellement sur le plateau de Boubon.....</i>	<i>116</i>
<i>Photo 34: Affleurement de niveau cuirassé dans le fond du kori Boubon.....</i>	<i>117</i>
<i>Photo 35: Vue d'un talus du plateau de Boubon .....</i>	<i>117</i>
<i>Photo 36: Dune ogolienne surplombant la vallée du fleuve Niger en rive droite dans le secteur de Namaro</i>	<i>118</i>
<i>Photo 37: Fond du kori Boubon en crue en 2009.....</i>	<i>119</i>
<i>Photo 38 : Faciès dégradé de formation de brousse tigrée sur le plateau du Boubon en 2009.....</i>	<i>121</i>
<i>Photo 39 : Hippopotame du fleuve Niger, espèce protégée dans un milieu anthropique .....</i>	<i>121</i>
<i>Photo 40: Vue du fleuve Niger à Niamey lors de la crue de février 2009 .....</i>	<i>123</i>
<i>Photo 41: Banc actif non végétalisé dans le lit du fleuve Niger .....</i>	<i>125</i>

<i>Photo 42: Vue de la terrasse du fleuve Niger entre Boubon et Kanazi .....</i>	<i>125</i>
<i>Photo 43: Berge du fleuve du fleuve Niger recouverte d'alluvions.....</i>	<i>126</i>
<i>Photo 44: Crue du kori Karma, affluent situé en amont de Boubon, juillet 2007.....</i>	<i>126</i>
<i>Photo 45: Ecoulement en filet de la source résurgente dans la partie aval du kori Gorou Kirey. ....</i>	<i>127</i>
<i>Photo 46: Kori Gorou Kirey en rive droite du fleuve à 14 km de Niamey.....</i>	<i>130</i>
<i>Photo 47: Piste et parking en latérite réalisé en novembre 2009 sur le cône du kori Kirey .....</i>	<i>130</i>
<i>Photo 48: La section d'écoulement du kori Boubon au pont reconstruit en 1998 (pour la troisième fois) ....</i>	<i>133</i>
<i>Photo 49 : Lit aval du kori Gorou Banda.....</i>	<i>133</i>
<i>Photo 50: Buses en béton restant du radier détruit par une crue du kori Kourtéré en 1998 .....</i>	<i>138</i>
<i>Photo 51: Section très large d'écoulement du kori Karma (plus de 150 m).....</i>	<i>138</i>
<i>Photo 52: Rupture d'endoréisme du kori Losso Goungou ; vue vers l'aval .....</i>	<i>141</i>
<i>Photo 53: Rupture d'endoréisme récente du kori Lossa Goungou vu vers l'amont ; au fond la cuvette où se trouvait une mare .....</i>	<i>141</i>
<i>Photo 54: Végétation arbustive éparse et absence du tapis herbacé sur les versants bassin de Boubon .....</i>	<i>143</i>
<i>Photo 55: Mise en valeur de terres marginales dans le bassin du kori Boubon .....</i>	<i>143</i>
<i>Photo 56: Champs dévoré par le ravinement .....</i>	<i>143</i>
<i>Photo 57: Immense cône formé par le kori Gorou Kirey.....</i>	<i>143</i>
<i>Photo 58: Immense cône d'épandage du kori Boubon (juin 2008).....</i>	<i>154</i>
<i>Photo 59: Crue du kori de Karma devenu exoréique depuis 1970 .....</i>	<i>154</i>
<i>Photo 60: Image du kori Dantiandou, (Le Breton 2005).....</i>	<i>156</i>
<i>Photo 61: Néo – exoréisme en aval des vallées fossiles : cas de la partie aval du kori Ouallam par débordement des mares coalescentes 2007.....</i>	<i>157</i>
<i>Photo 62: Présence des arbres dans l'axe d'écoulement du kori Hamdalaye à 50 km à l'Est de Niamey en septembre 2009.....</i>	<i>159</i>
<i>Photo 63: Verrous des mares emportés par la crue amont du bassin du kori Léli Mamane Nialé .....</i>	<i>159</i>
<i>Photo 64: Rupture de buses du goudron et creusement d'une nouvelle vallée sur la route Niamey – Say dans la partie aval du kori Léli Mamane Nialé en 1998 (Photos Rajot J-L). ....</i>	<i>159</i>

<i>Photo 65: Lit du kori Léli Mamane Nialé né de la crue du 6 septembre 1998 (photo Rajot J-L 2007).</i>	159
<i>Photo 66: Evolution d'un état de surface élémentaire du sol : passage d'une croûte structurale en croûte d'érosion par effet de splash, déflation et ruissellement</i>	160
<i>Photo 67: Formes de ravinements observés dans le bassin versant du kori Boubon en 2009</i>	161
<i>Photo 68: Défrichement continu du tapis herbacés et des ligneux ensuite vendus dans les marchés ruraux ou acheminés surtout à Niamey</i>	163
<i>Photo 69: Cônes d'épandage édifié à la confluence du kori de Boubon avec le fleuve Niger (Ousseini, 2002)</i>	165
<i>Photo 70: Immense cône formé par le kori Boubon à sa confluence au fleuve Niger en 2008</i>	166
<i>Photo 71: Ravinement récent dans le bassin de la mare Kafina et Mare de Kafina collectrice des eaux de ruissellement local en août 2006</i>	166
<i>Photo 72: Développement des espaces nus encroûtés et naissance de nouvelles ravines sur un versant du kori Boubon en septembre 2009</i>	167
<i>Photo 73: Parcelle de mesure d'érosion sur un état de surface de croûte d'érosion dans le bassin versant du kori Boubon</i>	167
<i>Photo 74: Parcelle de Mesure d'érosion sur jachère à butte de retenue sableuse dans le bassin versant du kori Boubon</i>	167
<i>Photo 75: Parcelle de mesure d'érosion sur champs de mil dans le bassin versant du kori Boubon</i>	167
<i>Photo 76: Sapement des berges du lit du kori Boubon en 2008</i>	168
<i>Photo 77: Suivis de l'érosion régressive des ravines secondaires à l'aide de piquets repères dans le bassin versant du kori Boubon en 2007 -2008 et 2009</i>	169
<i>Photo 78: Crue débordante au dessus du goudron et effet de la turbulence à la sortie des buses du kori Karma en juin 2007</i>	169
<i>Photo 79: Mesure avec une sonde piézomètre d'un puits récemment creusé dans le bassin du kori Boubon en février 2009</i>	170
<i>Photo 80: Source émergente en aval du kori Gorou Kirey</i>	170
<i>Photo 81: Puits du village de Dinki situé en amont du kori Boubon sur un plateau latéritique</i>	170
<i>Photo 82: Crue du kori Boubon, au second plan l'apport d'un drain secondaire en amont du pont</i>	176
<i>Photo 83: Apport d'un ravin latéral au lit principal du kori Boubon</i>	177

<i>Photo 84: Ecoulement de base au fond du kori après quelques jours sans crue du kori Boubon .....</i>	<i>177</i>
<i>Photo 85: Berge droite très raide du kori Boubon au profil en travers N°6, assez stabilisé par des racines très profondes du <i>Faidherbia albida</i> (plus de 5,50m) .....</i>	<i>183</i>
<i>Photo 86: Ravin récent s'encaissant dans une jupe sableuse du bassin versant de Boubon.....</i>	<i>184</i>
<i>Photo 87: Effondrement de berge sur le kori Boubon en aout 2009.....</i>	<i>184</i>
<i>Photo 88: Recul des berges par effondrement sur le kori Boubon en septembre 2009 .....</i>	<i>184</i>
<i>Photo 89: Bloc de cuirasse de plus de 13 cm de diamètre emporté par les eaux et déposé au niveau du profil en travers N°4.....</i>	<i>185</i>
<i>Photo 90: Embâcle de laisse de crue au niveau du profil en travers N°3 en août 2008 .....</i>	<i>186</i>
<i>Photo 91: Rive convexe protégée par une haie dense de <i>Prosopis juliflora</i>.....</i>	<i>186</i>
<i>Photo 92: Effondrement et recul de berge de la rive concave (sur le profil en travers N°4) du kori Boubon en septembre 2009.....</i>	<i>190</i>
<i>Photo 93: Deux photos prises successivement le 29 juin 2009 (niveau à 608 cm de l'échelle et le 4 septembre 2009 (niveau sable à la cote 615 cm de l'échelle) .....</i>	<i>193</i>
<i>Photo 94: Variation interannuelle du plancher alluvial du kori Boubon entre 2007 et 2009.....</i>	<i>193</i>
<i>Photo 95: Bancs de sable actifs et récemment colonisés par des herbacés inters -fleuve Niger.....</i>	<i>206</i>
<i>Photo 96: Eaux de ruissellement très chargées du kori Bertiauwel au Nord -Est de Niamey (photo Le Breton 2007).....</i>	<i>207</i>
<i>Photo 97: Digue ensablée construite en 1987 en amont du pont Kennedy de Niamey (avril 2009).....</i>	<i>215</i>
<i>Photo 98: Echelle de crue de la station hydrologique à la cote de 528 le 5 octobre 2010 .....</i>	<i>216</i>
<i>Photo 99: Dépôts de débordement du fleuve Niger lors de la crue de septembre 2010 à Niamey.....</i>	<i>216</i>
<i>Photo 100: Formation éolienne de couverture fortement érodée par les eaux de ruissellement et par la déflation éolienne dans le bassin du kori Boubon .....</i>	<i>217</i>
<i>Photo 101: Terrasse menacée d'ensablement par les dépôts des crues successives du fleuve Niger près à Niamey.....</i>	<i>217</i>
<i>Photo 102: Dépôt sédimentaire en amont du seuil – barrage du kori Soudouré 2009 .....</i>	<i>217</i>
<i>Photo 103: Ensablement des buses du pont sur le kori Karma (bras secondaire) Gourou en rive droite de fleuve en février 2007.....</i>	<i>218</i>

<i>Photo 104: Podium du festival Fima 2009 ensablé par les apports du kori Gorou Kirey quelques mois après sa construction en décembre 2009.....</i>	<i>219</i>
<i>Photo 105: Section du kori Soudouré en amont du pont emporté à la suite des reculs de berges engendrés par la crue du 5 août 2007.....</i>	<i>219</i>
<i>Photo 106: Seuil – barrage de retenue de Goudel.....</i>	<i>219</i>
<i>Photo 107: Envasement du seuil –retenue de Goudel en période d’été de mai 2009.....</i>	<i>220</i>
<i>Photo 108: Fixation de dune en rive droite du fleuve Niger dans le secteur de Namaro .....</i>	<i>228</i>
<i>Photo 109: Placage sableux et colonisation de graminées annuelles en amont d’un cordon pierreux sur le plateau de Bougoum, bassin versant du kori Kourtéré.....</i>	<i>228</i>
<i>Photo 110: Ceinture verte de Niamey, exemple de reboisement réussi aujourd’hui menacé.....</i>	<i>229</i>
<i>Photo 111: Seuil – barrage de Goudel construit en 1989, près de la station de pompage d’alimentation en eau de Niamey .....</i>	<i>230</i>
<i>Photo 112: Machine de l’entreprise russe chargée de l’opération de dragage de sable sur le fleuve Niger à Farié .....</i>	<i>232</i>
<i>Photo 113: Amas de sable extrait du fond du fleuve Niger à Farié en 2010.....</i>	<i>232</i>
<i>Photo 114: Sable dragué et transporté et réutilisé pour du béton dans des chantiers environnants.....</i>	<i>233</i>
<i>Photo 115: Traversée du fleuve Niger avec le Bac à Farié à 90 km en amont de Niamey.....</i>	<i>233</i>
<i>Photo 116: Retenue – barrage construite sur le kori Karma construite en 2001.....</i>	<i>234</i>
<i>Photo 117: Seuil d’épandage sur le kori Soudouré.....</i>	<i>236</i>
<i>Photo 118: Seuil d’épandage endommagé par les crues sur le kori Boubon.....</i>	<i>236</i>
<i>Photo 119: Seuil d’épandage sur le kori Boubon endommagé juste après sa construction en 2009.....</i>	<i>237</i>
<i>Photo 120: Epis en gabions de protection des berges endommagés dans le lit du kori .....</i>	<i>237</i>
<i>Photo 121: La partie aménagée en 2001 avec des banquettes dans le bassin amont du bassin de Gorou Kirey (plateau cuirassé Image Google Earth 2009).....</i>	<i>238</i>
<i>Photo 122: Demi-lune de reboisement (photo Malam Moussa).....</i>	<i>240</i>
<i>Photo 123: Banquettes de reboisement (photo Malam Moussa) .....</i>	<i>240</i>
<i>Photo 124: Digue de protection d’un jardin contre la montée des eaux lors de la crue guinéenne du fleuve Niger à Lossagoungou en 2010 .....</i>	<i>241</i>

<i>Photo 125: Quartiers de la ville de Niamey sous l'eau en septembre 2010.....</i>	<i>241</i>
<i>Photo 126: Digue de protection contre l'inondation construite à Niamey après la crue blanche dévastatrice de 2010 du fleuve Niger .....</i>	<i>242</i>
<i>Photo 127: Vue de la vallée de Keita en mars 2007 : exemple d'aménagement agro- forestier réussi au Niger .....</i>	<i>243</i>
<i>Photo 128: Berges sans protection sur la rive gauche du kori Boubon en 2008 .....</i>	<i>244</i>
<i>Photo 129: Berges protégées par une haie vive de Prosopis juliflora sur la rive droite du kori Boubon en 2008 .....</i>	<i>244</i>
<i>Photo 130: Le vétiver (Vetiveria nigriflora (Benth.) Stapf.), graminée haute et à racines profonde très efficace pour la protection des berges (Fomba Harouna 2012).....</i>	<i>245</i>
<i>Photo 131: Parc de jeunes Faidherbia albida (Gao), fruit du respect de la régénération naturelle adaptée dans la zone de Matameye (Sud région de Zinder).....</i>	<i>246</i>
<i>Photo 132: Technique de paillage à Dan Saga près d'Aguié dans la région de Maradi.....</i>	<i>247</i>
<i>Photo 133: Reboisement réussi sur le plateau de Boubon en 2009.....</i>	<i>247</i>
<i>Photo 134: Zaï agricole avec plantation de mil dans le bassin de Boubon.....</i>	<i>248</i>
<i>Photo 135: Poquets pour creusement de zaï dans le bassin du kori Boubon.....</i>	<i>249</i>
<i>Photo 136: Demi – lunes de reboisement (photo Malam Moussa).....</i>	<i>249</i>
<i>Photo 137: Lutte contre le ravinement parallèle avec des sacs de sables près Gorou Kirey.....</i>	<i>250</i>
<i>Photo 138: Cordons pierreux sur le cône du kori Boubon en juillet 2009.....</i>	<i>253</i>
<i>Photo 139: Cordons pierreux ensablés sur le cône du kori Boubon en août 2009.....</i>	<i>253</i>
<i>Photo 140: Cordons pierreux réussis bordant des champs dans le haut Bassin de la Sirba (route Dori-Fada N'Gourma, Burkina Faso) .....</i>	<i>254</i>

## Avant-propos

Ce travail de recherche est le fruit de six années d'investigations au sein de l'équipe inter disciplinaire du programme AMMA au Niger, en tant que stagiaire, contractuel responsable chargé de collecte de données dans les super sites de Wankama (2004) et Banizoumbou (2005-2006) puis doctorant du Département Soutien et Formation de l'Institut de la Recherche pour le Développement (DSF /IRD) de mai 2007 à avril 2010. Cette thèse est réalisée en cotutelle entre l'Université Abdou Moumouni de Niamey et l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. Ce travail a été possible grâce à une large collaboration de diverses institutions et a été réalisé durant des séjours en alternance au Niger et en France :

- 5 mois chaque année à Niamey, de mai à septembre (entre 2007 et 2009), au laboratoire d'hydrologie, de l'Institut de Recherche pour le Développement Niamey et au département de Géographie de l'Université Abdou Moumouni Niamey

- 7 mois chaque année à Paris d'octobre à avril (entre 2007 et 2009) au Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 LGP/ CNRS – Université Paris 1) de Meudon en France et à l'école doctorale de Géographie de Paris (Institut de Géographie) de l'université Paris I.

Cette thèse a bénéficié de l'appui scientifique de l'IRD, du programme AMMA dans lequel elle s'insère et du programme d'étude de la dynamique des Bas-fonds sahéliens élaboré par le Département de Géographie de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Les travaux sont également intégrés dans les thèmes de recherche de l'équipe « Dynamique des versants et des lits fluviaux » du Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591, CNRS – Université Paris 1, Meudon). La thèse est appuyée scientifiquement et matériellement par l'ABN, (Autorité du Bassin du Niger), qui a fourni en partie les moyens logistiques, ainsi que les données hydrologiques de son réseau de mesure (AOC Niger Hycos). Une partie des équipements et analyses a reçu le soutien de l'IRD (mission de Niamey) : équipement des parcelles, analyses des MES.... Le LGP a, quant à lui, financé plusieurs missions et prêté des équipements nécessaires à l'étude de terrain (DGPS, sonde échosondeur, billets d'avion, station totale en particulier etc.). La thèse a été faite en alternance entre des séjours au Laboratoire de Géographie Physique (LGP/ CNRS Meudon) en France (en hiver) et d'été au Niger. L'évolution du fleuve et l'hypothèse de son

« ensablement » a déjà fait objet de la thèse doctorale d'Okechukwu Amogu (2009), centrée sur l'ensemble du Moyen Niger entre son Delta Intérieur et le barrage de Kainji au Nigeria

Merci et toute ma reconnaissance à l'IRD et son représentant à Niamey Monsieur Gilles Bezancon pour l'accueil et le soutien bourse doctorale de 36 mois. Cette thèse a bénéficié des soutiens matériels et financiers du LGP, AMMA, du LTHE, l'ABN/ PLCE, du programme ANR/Eclis etc. Au terme de cette recherche, il m'est très agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette étude. Mes remerciements vont à ma directrice de thèse Professeur Gautier Emmanuèle de l'Université Paris 8 et membre de l'école doctorale de Géographie de Paris 1 pour son encadrement, sa rigueur au travail et son attention durant tous mes séjours tant en France qu'au Niger et pour les missions effectuées ensemble et durant les trois années. Je remercie mon codirecteur le Professeur Bouzou Moussa Ibrahim du département de Géographie de l'Université Abdou Moumouni de m'avoir prêté aides et conseils. Sans oublier qu'il est l'un de mes premiers professeurs de géographie (1994) et directeur et codirecteur de mes mémoires de maîtrise (2001) et DEA (2006). Je garde toujours le souvenir du premier camp de terrain qu'il a conduit à Bougoudjoutou (station de mesures érosion et ruissellement sur jachère) en mars 1998 avec les amis de la promotion de licence option géographie physique. Qu'il me soit permis également d'exprimer mon grand respect au Professeur Le Coeur Charles mon parrain à l'université Paris 1 et tous les membres du Laboratoire LGP, à la directrice actuelle Mme Catherine Kuzucuoglu, Directrice de Recherches au CNRS, pour leurs conseils, leurs accueils et tous les soutiens matériels (DGPS, échosondeur, stations totales utilisés à Niamey) et financiers (billets d'avions et frais de transport de matériel entre Paris et Niamey) qu'ils m'ont apportés au cours de ce travail. Je tiens à adresser ma sympathie à Eric Le Breton (doctorant à Paris 1 et LGP) et à Daniel Brunstein Ingénieur de Recherche au LGP/ CNRSS, qui ont bien accepté de nous accompagner sur le terrain au Niger, pour leurs conseils techniques et leur expérience qui nous ont été d'un très grand apport.

Mes remerciements vont également à tous les membres du jury pour avoir accepté d'en faire partie et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Je n'oublierai pas de remercier les enseignants et chercheurs de l'université Abdou Moumouni, de l'IRD, à Dr Faran Maiga Oumarou, à Dr Yahaya Nazoumou, à Dr Jean Louis Rajot pour les appuis logistiques, les conseils et les visites sur le terrain. Il m'est agréable de présenter mes remerciements à toutes les autres institutions et programmes impliquées dans ce

travail, ANR/eclis, Egide, l'ABN / PLCE, Niger – Hycos, AGRHYMET, DRE /MHE/LD Niamey etc. pour leurs soutiens divers. Je remercie aussi le Colonel Seyni Seydou, Dr Issaka Amadou, Abdou Maman, Idé Bana, Hamani Saley, Daniel Sighonnou, Robert Dessouassi, Bachir, Illiya, Pierrick Fraval, Christophe Brachet, Salifou le chauffeur à l'ABN et Dr Bazié, Labaran, Soumana à l'AGRHYMET, Daouda Abdourahamane, Yambou à la DRE Niamey, Abdou Nouhou dit Mandé pour l'appui pour la cartographie de cette thèse etc. Je leur exprime mes amitiés les plus sincères.

Pour l'ambiance agréable dans laquelle s'est déroulée la collecte des données de terrain et les discussions scientifiques ou non, leur sympathie, les moments de détente. Je remercie tous mes parents, collaborateurs et amis à Paris et à Niamey, ma femme Haoua Koussou Diallo, à Ali Mamadou, Halima Maman René, à la famille feu Tankary Gagéré, Rongiconi Laura, Ibrahim Noma Moussa, Touré Abdouramane, Gado Abdourhamane, Alico Mahaman, Tahirou Bana, Bill, Koné Abdoulaye, Hamissou Allasan, Bodo Seyni, Abassa Alhassan, Mahamadou Bahari Ibrahim, Abba Bachir, Malam Abdou Moussa, Yacouba, Kokari Chitou, Sako Nakouma, Urbain Koffi, Sané Youssouf, Sidibé Adahirou, merci à tout le personnel de l'IRD Niamey et du département de Géographie etc.

Je n'oublierai pas non plus les chefs de villages et populations de Boubon, Gorou Kirey, Bangoula, Soudouré ; sans oublier Pathé, Moussa Allakara, Salou, Adamou, Hado, Ayouba, Dimachi, Tchallé Baba etc. qui m'ont aidé au cours de mes manipulations sur le terrain et tous ceux que je n'ai pas cités.

## Résumé de l'étude

L'Afrique de l'Ouest est soumise depuis quelques décennies à un rapide changement d'usage des sols, lié à la très forte pression démographique. La région de Niamey en particulier, avec de très nombreux oueds exoréiques appelés localement, « koris » participe de cette dynamique. Il semblerait que l'endoréisme recule à l'échelle des koris comme celui de Boubon, Gorou Kirey etc. L'objectif de cette recherche est de mettre en évidence cette évolution et à l'expliquer, ainsi qu'à insérer cette évolution dans le contexte régional, d'un Sahel où l'endoréisme est très répandu. On essaie de montrer la part des responsabilités entre et facteurs anthropiques et climatiques. On utilise pour cela des relevés de terrain ainsi que des études diachroniques. L'accent est mis sur des suivis cartographiques et diachroniques de l'hydro - morphométrie du bassin, des mesures topographiques in situ sont effectuées à l'aide d'une station totale, des prélèvements ponctuels de matières en suspension dans les koris. Ces suivis sont couplés aux mesures de ruissellement et de pertes en terre sur un de ses versants, selon les états de surface les plus représentatifs de la région. Au niveau du fleuve, des prélèvements journaliers sont effectués en amont et aval de la confluence du kori au fleuve ; en plus des sondages bathymétriques saisonniers réalisés sur le secteur. Il apparaît que le principal facteur explicatif est le changement d'usage des sols ; les cultures qui occupaient 10% de l'espace sahélien au milieu du 20ème siècle, en occupent la quasi-totalité à présent ; on a démontré à l'échelle de la parcelle et du bassin expérimental que cela se traduisait par une augmentation sensible des coefficients d'écoulement et des pertes en sol. Les transferts sédimentaires qui en découlent sont à l'origine du phénomène d'ensablement du fleuve Niger, très manifeste dans la région de Niamey, avec la formation de vastes cônes de déjection et les perpétuelles modifications des profils en long et en travers par suite des mouvements de bancs de sable dans les fonds de koris et les reculs de berges observés à l'échelle de la crue des koris exoréiques. Ces koris – affluents connaissent une dynamique hydro sédimentaire très active depuis les années 1950. La dégradation hydrologique se traduit par un néo-exoréisme lié à la disparition de mares de fond de vallée. On observe l'élargissement de leur lit d'écoulement du fait de forts reculs de berges, l'augmentation du ruissellement sur les versants et d'importants transferts sédimentaires vers le fleuve. Les koris contribuent très localement aux modifications des pics hydrologiques événementiels observés et à l'évolution hydro géomorphologique de la vallée du fleuve à travers l'apparition de très grands cônes de déjection ; les baisses des profils de profondeur du fleuve d'où exhaussement du lit du fleuve, malgré les opérations d'aménagement effectuées ou en cours dans la région de Niamey. Tout

ceci a des effets néfastes pour les pêcheries locales, la faune aquatique et surtout l'alimentation en eau de la ville de Niamey en accentuant l'appauvrissement des populations locales déjà très vulnérables.

***Mots clés : région de Niamey ; koris ; fleuve Niger ; dynamique actuelle ; changements d'usage de sols ; variabilité climatique ; exoréisme ; ensablement.***

## Abstract

For some decades, West Africa has been subjected to significant land use changes, due to the strong demographic pressure. The Niamey area, in particular takes part in these changes with numerous exoreic wadis locally called 'koris'. The boundary between endorheism and exorheism is evolving for three or four decades, overall at the scale of small basins.

This research is conducted to highlight and to explain this evolution in the regional context of Sahel where endoreism is widespread. It aims to show what is the respective responsibility of anthropic and climatic factors. This study will use field data collection and diachronic studies. It will emphasize on the mapping and diachronic monitoring in addition to topographic measurements obtained with a total station; a sediment and suspended load transportation is analyzed owing to the sampling of stream waters. The observations system allows to compare, at the catchment scale, load and stream flow with soil losses on the one hand, the extension of most representative surfaces states of the region. Some monitoring are carried out on the river upstream and downstream of the confluence of the kori to the river; furthermore, seasonal bathymetric surveys are realized on the same area.

It appeared that the main explaining factor of the recent land and water degradation dynamics in the Niamey region is the land use change. In the mid-20th century, farming covered 10 percent of the Sahelian land; nowadays it covers almost the whole land. It has been shown at the plot scale and at the experimental catchment scale that farming caused a significant increase in runoff coefficient and a severe erosion process. The resulting sedimentary transfers led to the Niger River silting up, clearly noticeable in the Niamey region. It also caused the formation of great alluvial fans and noticeable modifications in the river beds profiles, as well as in the sandy deposits on the koris. Sandy deposits and sand banks on the river beds are monitored and a rise in water level is observed in Niger River and some of its tributaries. These –tributary- koris have undergone strong hydro-sedimentary dynamics since 1950.

The hydrological degradation results in a neo-exorheism, accompanied by ponds extinction at the bottom of the valleys. The river bed widening, the erosion of the banks, are observed to be linked to the increase in runoff and overland flow, leading to a rise in sediment transfers to the river. Koris have highly contributed to local modifications of observed factual hydrological peaks and the hydro-geomorphologic evolution of the river valley through the presence of very important alluvial fans and spreading areas; the reduction of the rivers' depth due to

enhancement of its bed are observed despite the operations of land developments carried out or ongoing in the region of Niamey. All this has harmful effects on the fishing, aquatic fauna and above all the water supply of the City of Niamey, in addition to the impoverishment of the already vulnerable local populations.

*Keywords: Niamey region, Koris, Niger River, stream flow dynamics, land use change, climatic variability, exorheism, silting up*



## INTRODUCTION GENERALE DE L'ETUDE

L'Afrique de l'Ouest est soumise depuis quelques décennies à un rapide changement d'usage des sols, lié à la très forte pression démographique. Le bassin du moyen Niger et la région de Niamey en particulier, avec de très nombreux oueds appelés localement « koris », participent à cette dynamique. Les changements d'usage des sols se sont traduits par une accélération du ruissellement et du ravinement des versants du moyen Niger. De plus, la diminution de la pluviométrie moyenne depuis la fin des années 1960 a entraîné une chute des écoulements du fleuve.

Dans la région de Niamey, les données pluviométriques sur les cinquante dernières années montrent que la moyenne interannuelle est très variable. Cette moyenne –autour de 560 mm- interannuelle cache des disparités puisque les extrêmes sont de 1 127 mm et 300 mm. Les observations des totaux annuels permettent à priori de constater qu'une « bonne année pluvieuse » peut recevoir jusqu'à trois ou quatre fois plus de pluie qu'une année sèche (Malam Abdou 2005). La moyenne mobile à pas de cinq ans sur cette période dégage l'évolution en dents-de-scie de ces précipitations avec une tendance à la reprise depuis 1990 dans la région de Niamey (figure 6), situation assez généralisée pour l'ensemble du Sahel central et oriental.

La baisse des précipitations observée entre 1968 et 1995 varie de 25 à 35 % pour l'ensemble du Sahel et de l'Afrique Occidentale par rapport à la période humide 1950 -1968.

Ainsi, on observe dans la région de Niamey, ces dernières années, la conjonction :

- d'un débit du fleuve fortement amoindri (55% de baisse pour la période 1968-1995 par rapport à la période 1950-1967) ; même si on assiste depuis 1995 à une remontée lente des débits ;
- et d'un très fort apport de matériaux solides provenant des cours d'eau locaux (les koris, affluents de droite et de gauche du Niger) aux petits bassins dégradés produisant d'importants volumes de sédiments.

Il a en effet été remarqué, uniquement en zone sahélienne, que la mise en culture et la disparition des brousses se traduisent souvent par une augmentation des débits, et toujours par une augmentation des coefficients d'écoulement (Olivry, 2002). Touré (2011) montre que les

sols sahéliens, généralement développés sur des dépôts sableux d'origine éolienne, sont particulièrement sensibles à l'érosion éolienne dès que la végétation naturelle est coupée pour les cultures. Leblanc et al. (2008) ont montré que 80 % des terres ont été défrichées et/ou déboisées entre 1950 et 1992 pour l'extension des cultures et les besoins en bois de chauffe (59 % de la végétation des plateaux ont été déboisés et 87 % des versants sableux défrichés).

Du fait des modifications de l'hydrodynamique des sols qu'entraînent leur tassement et leur encroûtement, on a ici un comportement typiquement « Hortonien », et ce, malgré la baisse globale de la pluviométrie observée ces 35 dernières années (Descroix et al. 2009). Le Barbé et Lebel (1997) ont en effet montré que c'est le nombre d'évènement pluvieux au cours de la Mousson qui avait diminué, pas la quantité de pluie tombée par évènement. Ceci s'oppose partiellement aux observations d'Albergel (1987b), pour qui le total des précipitations tombées lors d'évènements de moins de 20 mm n'a pas été modifié pendant les années de sécheresse, pas plus que celui des pluies tombées lors d'épisodes extrêmes ; mais par contre, le total des précipitations tombées lors d'épisodes de plus de 40 mm aurait sensiblement chuté. Toutefois le climat a pu jouer un rôle dans le déclenchement de ce cycle d'érosion ;

Par contre, le débit du fleuve Niger a fortement baissé du fait de son alimentation très majoritairement « soudano - guinéenne », c'est-à-dire provenant des régions plus méridionales où la baisse des pluies a entraîné une baisse logique des débits (baisse qui est en général d'un facteur au moins égal à deux fois la baisse des précipitations ; Olivry, 2002). Ces dernières régions ont en effet un régime d'écoulement de type « hewlettien » (dit « à surfaces contributives saturées », ou des sols « à saturation par le bas » ou encore « par excès d'infiltration »<sup>1</sup>).

Par ailleurs, dans la région de Niamey, les matériaux arrachés aux versants sont en augmentation du fait de l'érosion provoquée par le déboisement lié aux changements d'usage des sols. De plus, les volumes écoulés par le fleuve Niger tendent à diminuer. La conjonction des deux facteurs implique une moindre capacité de transport du fleuve Niger, ce qui entraînerait son ensablement (Amogu 2009).

La problématique rejoint celle de la thèse (en cours) d'Eric Le Breton qui porte sur les processus érosifs et l'ensablement des bas fonds dans les secteurs endoréiques de la région

---

<sup>1</sup> En ce sens les sols commencent à se remplir avant de fournir du ruissellement ; comme le volume nécessaire à la saturation des sols est quasiment invariant, une baisse des pluies se traduit par un déficit important des écoulements, car seul le volume excédant le remplissage des sols est susceptible de se transformer en écoulement.

située, à l'est de Niamey, entre la vallée du fleuve Niger et celle de son affluent fossile, le Dallol Bosso.

Les koris sont à l'origine de tout petits cours d'eau et/ou des mares occupant des bas-fonds : à l'occasion de fortes précipitations, la concentration des écoulements dans les bas-fonds a creusé, en quelques heures parfois, un chenal qui ne cesse de s'élargir par recul des berges et de s'allonger par érosion régressive. L'érosion accélérée de ces nouveaux cours d'eau a engendré la formation de cônes de déjection dans la plaine du fleuve Niger. (Photo 1 et 2) (Figure 1). La région de Niamey semble posséder une forte concentration en koris, ainsi que l'a montré une première étude menée par E. Le-Breton, 2006 ; c'est pourquoi, la présente thèse a été consacrée à ces koris.

Nous nous proposons ici de concentrer nos efforts sur un secteur particulièrement dégradé : celui de Niamey.



## CHAPITRE I : LE CADRE THEORIQUE DE L'ETUDE

La ressource en eau douce accessible au niveau mondial est évaluée à environ 43 750 km<sup>3</sup>/an. Les 0,26% d'eau douce facilement accessibles montrent de très grandes disparités quand à leur répartition géographique (Lasserre et Descroix 2002 ; Amani et Diouf 2009). Les continents Américain et Asiatique sont les mieux lotis avec un peu plus de 50% de la ressource en eau douce accessible. Le continent Africain dispose quant à lui d'environ 10% des 0.26% d'eau douce accessible (NEPAD 2005). Cependant au niveau de l'Afrique, on a encore une disparité de la ressource en eau avec les pays situés sur la bande équatoriale disposant de beaucoup plus de réserves en eau que les pays situés en bordure du Sahara (Berthode et Teme, 2002). La ressource en eau douce des pays sahéliens, évaluée à environ 240 km<sup>3</sup> /an (155 km<sup>3</sup> par an de ressources internes et de 85 km<sup>3</sup> par an de ressources externes), est composée de quelques grands cours d'eau permanents (les fleuves Niger, Sénégal etc.). Le fleuve Niger joue des fonctions vitales tant pour l'alimentation en eau et la santé des populations que pour le développement de très nombreuses activités socio-économiques (agriculture, élevage, sylviculture, pêche, industrie, énergie, navigation, tourisme, artisanat etc.) des pays membres de l'ABN (Autorité du Bassin du Niger, 2004). Sous la pression démographique, et des pratiques agricoles et pastorales et la variabilité continue du climat, on assiste à la dégradation accélérée du couvert végétal et des écosystèmes du bassin (Banoïn et Guengant, 1999). En outre, en raison de la diminution progressive des débits des cours d'eau consécutive à la baisse de la pluviométrie, le bassin du fleuve Niger est confronté à différents types de problèmes environnementaux comme les inondations, les pollutions, l'envahissement par des végétaux aquatiques flottants, l'érosion hydrique et/ou éolienne, l'ensablement des lits des rivières et des bas-fonds, etc. (Besnier 2005). Les phénomènes d'érosion et d'ensablement comptent aujourd'hui parmi les fléaux majeurs dans le bassin du Niger (Brunet Moret et al. 1986). Cette situation a eu pour conséquence la rupture des équilibres écologique et social. D'ailleurs la partie nigérienne du bassin est déclarée à forte vulnérabilité dans le bilan diagnostic global du bassin. L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. Aussi est – il nécessaire de la quantifier et de la gérer aussi rigoureusement que possible (Benchetrit, 1972).

La présente étude s'attache à montrer l'importance de ces oueds ou « koris » en hausa ou « gorou » en zerma – affluents de la région de Niamey dans la dynamique globale de l'ensablement du fleuve Niger.

Il faut aussi analyser les différences de conditions initiales et les changements d'usage des sols qui permettent d'expliquer pourquoi ces bassins versants des koris –affluents du fleuve Niger à Niamey - ont des coefficients de ruissellement qui augmentent, comme la plupart des grands cours d'eau sahéliens alors que ceux de l'ensemble du bassin versant du Niger, influencés par des apports à 90% soudano-guinéens, ont baissé.

### **I-1- Problématique de l'étude**

Depuis quelques décennies, le Sahel est soumis à une sécheresse sans précédent. Elle est caractérisée par une diminution de la pluviométrie (de moins de 25% environ), qui entraîne à son tour une diminution des ressources en eau en général. Le Sahel est naturellement caractérisé par son aridité et sa forte sensibilité face à toutes modifications climatiques et environnementales. Rodier (1975) définit d'ailleurs le Sahel comme une région caractérisée par la dégradation hydrologique, conséquence du déficit pluviométrique et de faibles pentes. Les limites du Sahel correspondent environ aux isohyètes 150 et 750 mm.

Le Niger, compte-tenu de sa position géographique, se situe dans une zone écologiquement aride. Les trois-quarts du pays sont désertiques et la population se trouve concentrée essentiellement dans le quart de la bande dite humide. Depuis les années 1968 et 1969, le Niger a connu une descente vers le sud des isohyètes de 200 km (Ozer et al, 1995).

Dans ces pays sahéliens, la priorité majeure pour les acteurs ruraux (agriculteurs, éleveurs, exploitants forestiers, pêcheurs etc.) et les décideurs (Etat, ONG) demeure la question de la sécurité alimentaire. En effet, le Niger a connu une série de crises alimentaires (1973, 1984, 2001, 2005, 2010 etc.) qui est la révélation d'un ensemble de facteurs dont les plus importants sont l'assèchement du climat, la croissance démographique et la pression de plus en plus forte sur l'environnement et l'accentuation de la pauvreté (Bouzou Moussa et al, 2011). L'augmentation de la population conjuguée à l'aridification du climat de cette partie de l'Afrique a entraîné une pression foncière dans le bassin du fleuve Niger. Ceci a contribué à la destruction du couvert végétal et à l'aggravation de la dégradation des écosystèmes, avec pour conséquence une rupture des équilibres écologique et social. Les changements climatiques s'accompagnent au Sahel en général et dans le bassin du fleuve Niger en particulier de :

- ✓ l'érosion hydrique et éolienne des bassins versants ;
- ✓ l'ensablement des cours d'eau ;
- ✓ les pollutions d'origines diverses ;
- ✓ la colonisation des cours d'eau par les végétaux aquatiques flottants ;
- ✓ les inondations ;
- ✓ la raréfaction des ressources naturelles, surtout végétales et animales.

Tous ces facteurs ont des conséquences réelles et graves telle que la dégradation des équilibres écologiques. Pourtant ces équilibres fragiles constituent le support de base de toutes les activités socio-économiques rurales des populations. Ce sont essentiellement des activités de subsistance : agriculture, élevage, pêche, exploitation forestière.

La question de la menace d'ensablement constitue une préoccupation majeure pour les riverains du fleuve Niger. L'ensablement résulte d'un phénomène général d'érosion qui est naturel et irréversible (Coque 1993), il affecte l'ensemble du bassin versant du Niger comme d'ailleurs, beaucoup de régions dans le monde (Schumm et al. 1984 ; Schumm, 1977).

Le mot « ensablement » défini par Ramade (1998) désigne un amas de sable formé par l'eau ou le vent. Pour notre étude, ce mot prend un sens plus restrictif, il désigne l'envahissement des surfaces par des grains de sable et autres matériaux plus ou moins grossiers par l'action des eaux. Ces dépôts aboutissent à l'accumulation du matériel pris par les eaux et ou à la formation des formes hydro-géomorphologiques comme les bancs alluviaux dans les chenaux, les cônes de déjection aux confluences, favorisant l'élargissement du lit des cours d'eau. Le long du fleuve Niger entre 2006 et 2008, on a mesuré un flux de sédiments entre 11 et 16 millions de tonnes/an, flux spécifique entre 10 et 34 t/km<sup>2</sup>/an, avec une forte contribution sahélienne (Amogu 2009).

Aujourd'hui, la dégradation des bassins versants des koris saisonniers (photo 1 et photo 2), (figure 1) et des cours d'eau permanents est une préoccupation importante dans la politique de gestion des ressources naturelles au Sahel. Cette politique de la gestion des bas-fonds et koris est un axe prioritaire dans toute démarche de développement socio-économique des populations sahéliennes. L'importance des koris n'est plus à démontrer pour la survie des populations pauvres du Niger, au vu du contexte d'aridité et de semi aridité et surtout de

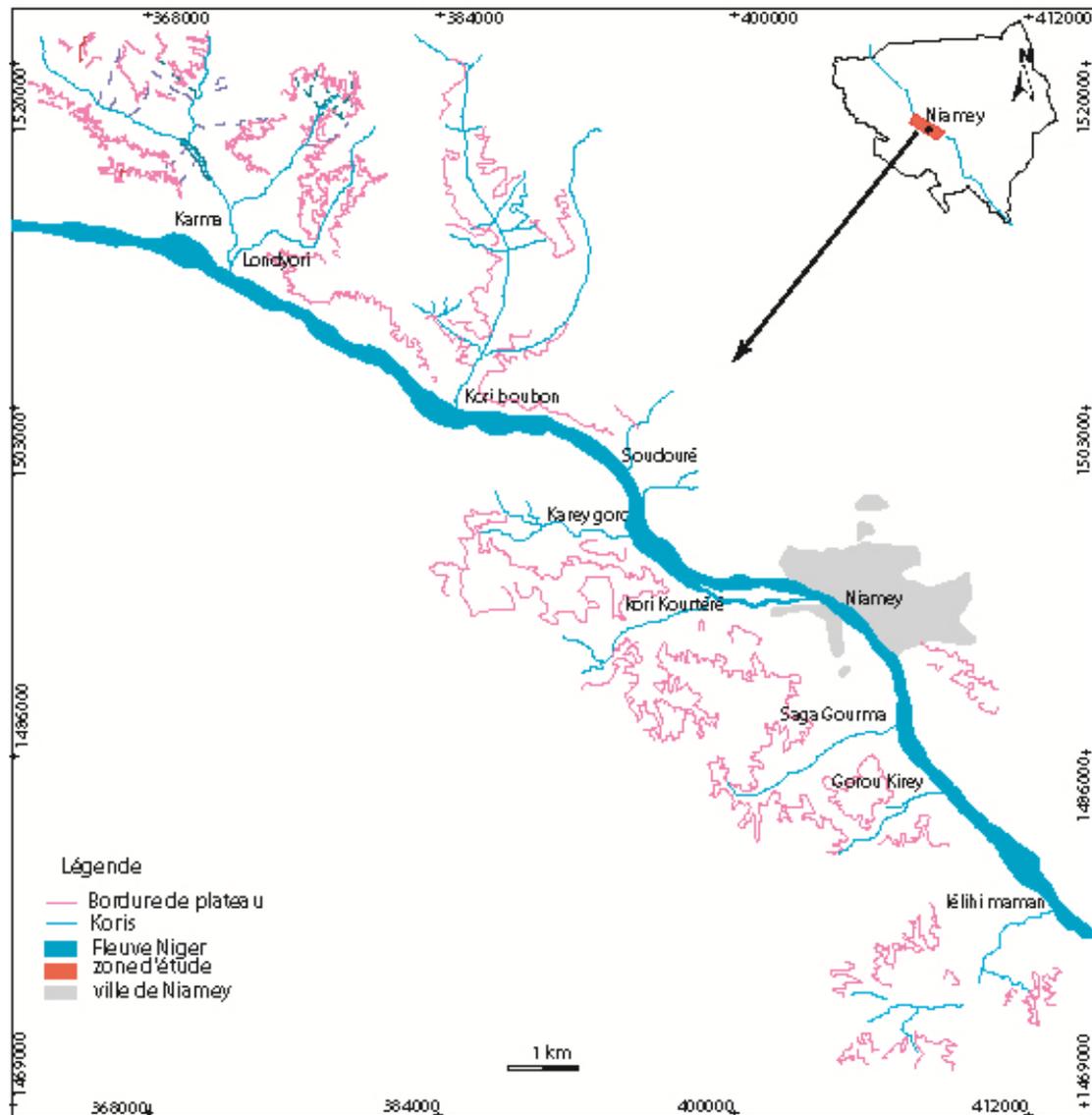
pauvreté des pays sahéliens. Ces milieux des bas fonds sont aujourd'hui très recherchés et de plus en plus densément occupés car servant de milieux - ressources en cas de sécheresse pour leurs potentialités diversement exploitables (Mamadou 2006). Cet important potentiel est aujourd'hui menacé par la dégradation elle-même liée aux phénomènes climatiques et anthropiques : sécheresse, défrichement.



*Photo 1: Crue du kori Boubon en août 2008*



*Photo 2: Vue aérienne d'un faux méandre formé par le kori Boubon en amont du pont (photo aérienne offerte par l'Etat Major Armée Nigérienne) en juillet 2009*



*Figure 1: Carte de localisation de la région de Niamey et bassins versants étudiés*

Au Sénégal, Thierno et Planchon (1999) expliquent que la dégradation des sols est mise en cause dès 1906 dans la baisse progressive de la productivité agricole. La croissance démographique annuelle rapide au Sénégal (2,9%) est tenue pour la principale cause du rythme accéléré de la dégradation des sols, dont la forme principale est le développement de l'érosion hydrique. Le même scénario s'observe un peu partout au Sahel, plus spécifiquement au Niger (Mamadou 2006).

### **I-1.1-Les changements d'usage des sols**

Il apparaît que le principal facteur explicatif de la dynamique environnementale au Sahel est le changement d'usage des sols (Favreau et al, 2009 ; Bouzou Moussa et al, 2011). Le mécanisme de dégradation des sols et d'accélération de l'érosion et du ruissellement est

commandé par les changements d'usages des sols, rapides ces dernières années (Leblanc et al. 2008 ; Cappelaere et al, 2009 ; Descroix et al, 2009 ; Amogu et al, 2010).

Des études ont montré le rôle de la dynamique des changements d'usage de sols dans l'évolution récente des milieux sahéliens. On assiste à une situation de dégradation généralisée sur tous les aspects tant naturels que sur la dynamique socio-économique des populations du sahel : accentuation de la pauvreté.

Dans le bassin du lac Tchad, Bami Diame (2006) montre que sur les rives sud du lac, le milieu naturel s'organise en fonction prioritairement des conditions hydro-pluviométriques, mais aussi des apports fluviaux du Logone et Chari et l'anthropisation de ces milieux.

Luxereau et Roussel (1997) expliquent que les changements écologiques sociaux au Niger central sont essentiellement liés à la variabilité du climat et à l'anthropisation croissante de ces milieux. Dans l'ensemble du Sahel, les cultures qui occupaient 10% de l'espace sahélien au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle, en occupent la quasi-totalité à présent. (Descroix et al 2009 a).

Ambouta (1984), D'Herbès et al. (1997), Ichaou (2000), cités par Mahamane (2005) constatent une exploitation des ressources végétales excédant leur capacité spontanée de régénération (Photo 3), la disparition et la forte migration des domaines de brousse tigrée dans la région de Niamey (Le-Breton, 2004). Selon Touré (2011) la conversion des savanes en terres agricoles a favorisé ainsi l'impact de l'érosion hydrique.

Une étude CEDEAO / CILSS (1999) estime que pour des besoins de nourriture et de bois de chauffe, 200000 ha de couvert ligneux disparaissaient chaque année au Niger, alors que les efforts de reboisement n'atteignaient que 5000 ha. Selon Otlé (2005) citée par Descroix et al (2009 a) à l'échelle un peu plus grande de l'ensemble du Fakara, et dans une région d'environ 15 km sur 40 km (figure 2), on peut constater qu'entre 1986 et 2005, il y a eu une accélération de la dégradation de ces milieux :



*Photo 3: (Peltier et al. 2009) : Le bois de feu, un produit vital pour la ville et la campagne. Embarquement d'un camion à destination de Niamey, dans le marché rural de Tientergou d'après Peltier et al. 2009*

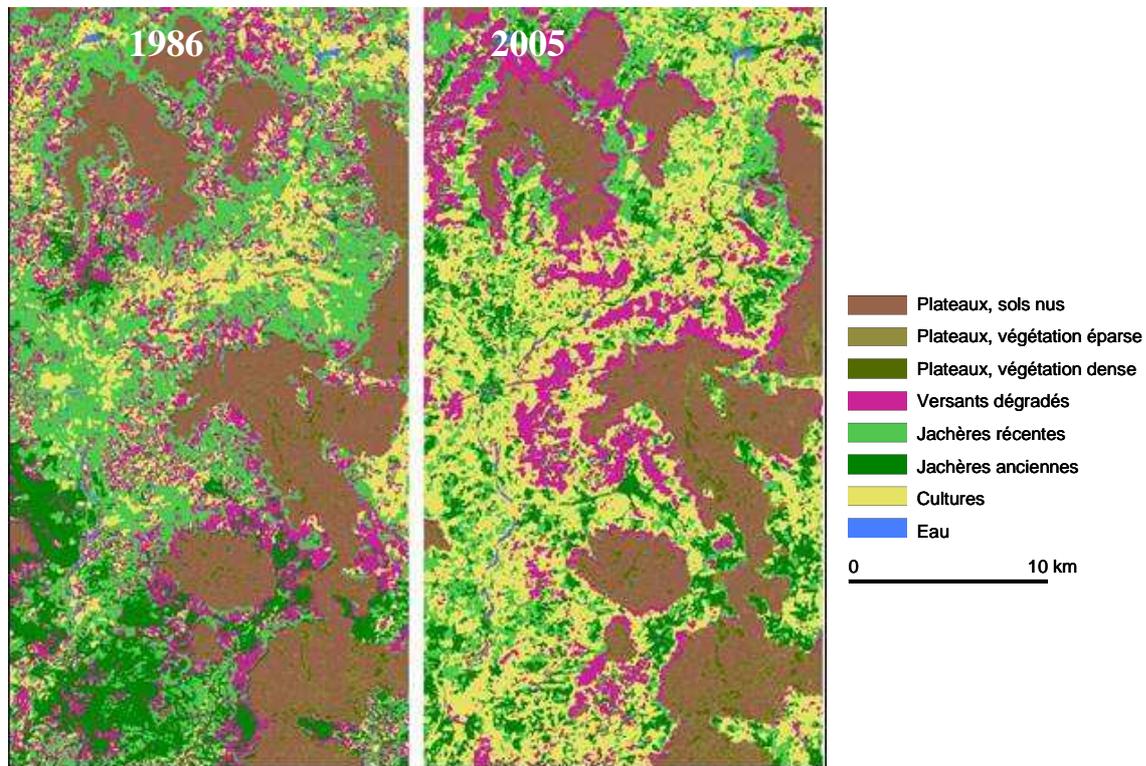
- des surfaces dégradées ou nues

- une très forte mise en culture des terres ; de nouveaux défrichements parfois des déboisements massifs, mais surtout la forte diminution des jachères (Leprun, 1992).

A l'échelle des bassins versants de la région de Niamey, Souley (2007) observe dans le bassin versant du kori Boubon (au nord-ouest de Niamey), une situation de dégradation accélérée des ressources végétales (brousse tigrée sur les plateaux par exemple) et l'extension de vastes superficies nues. La brousse tigrée régulière, système de végétation contrastée occupant les plateaux cuirassés à l'ouest du Niger, a été réduite de moitié entre 1975 et 2005 dans le bassin de Boubon (figure 3). L'extension des sols nus, pourvoyeurs du ruissellement a été multipliée par 6 de 1975 à 2005. Rappelons qu'actuellement, il n'existe plus de brousse tigrée « typique » dans l'ensemble du bassin de Boubon, l'essentiel a été coupé et transporté comme bois de chauffe vers les centres urbains, notamment Niamey (photo 3).

Le Breton (2004) fait les mêmes constats dans le bassin versant endoréique de Wankama au nord-est de Niamey, le réseau de ravines a été multiplié par 5 entre 1950 et 2004 soit 7262 m (figure 4). De fait, on constate une très rapide diminution des secteurs végétalisés (Loireau 1998) au profit des cultures et une réduction des durées de jachères (figure 2 et figure 3) dans

tout l'ouest du Niger avec naissance de nouveaux ravins et koris, comme le signale Le Breton (2004 ; figure 4).



*Figure 2: Evolution de l'occupation du sol dans le Fakara entre 1986 et 2005 (d'après Otlé, 2005, citée par Descroix et al. 2009).*

Ces changements d'usage des sols se traduisent par une désertification de plus en plus grave dans ces milieux sahéliens. Tiffen et al. (1994), parlent de désertification des milieux sahéliens, mise en évidence par les facteurs climatiques (Harouna 2006).

Ceci montre que les interrelations du changement climatique et du changement d'usage des sols sont complexes et vicieux. En définitive, l'évolution récente des milieux arides et semi – arides est commandée par les interrelations entre la dynamique des sociétés et le changement climatique, principalement au Sahel (Ada et Rockstrom 1993 ; Descroix et al, 2009).

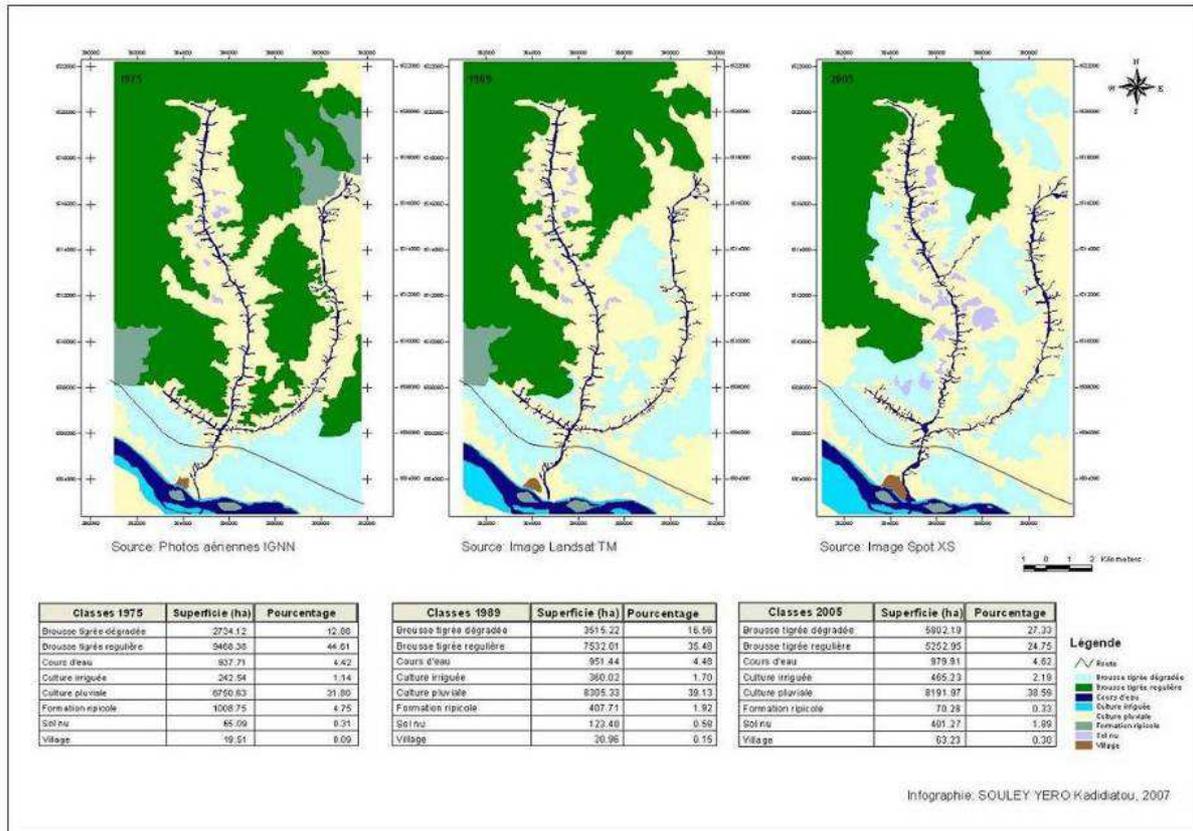


Figure 3: Evolution de l'occupation de sols dans le bassin versant du kori Boubon en 1975, 1989 et 2005 (Souley Yéro 2007)

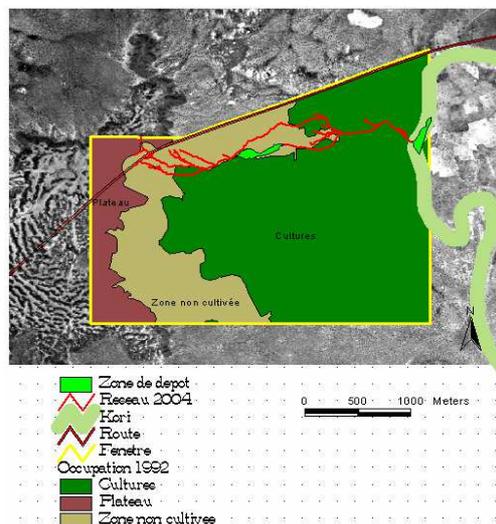


Figure 4: En rouge le réseau de ravines en 1950 et 2004 sur le versant du bassin de Wankama (Le-Breton 2004)

### I-1.2-La variabilité climatique au Sahel

La pluviométrie au Sahel est un phénomène extrêmement discontinu, elle est un des paramètres fondamentaux de la variabilité du climat au Sahel (Faran 2000). La réduction de la pluviométrie est de l'ordre de 24 % après 1970 (Ali et al. 2009) et peut atteindre 50% par endroits et selon les périodes de références 1950 -1969 (figure 5).

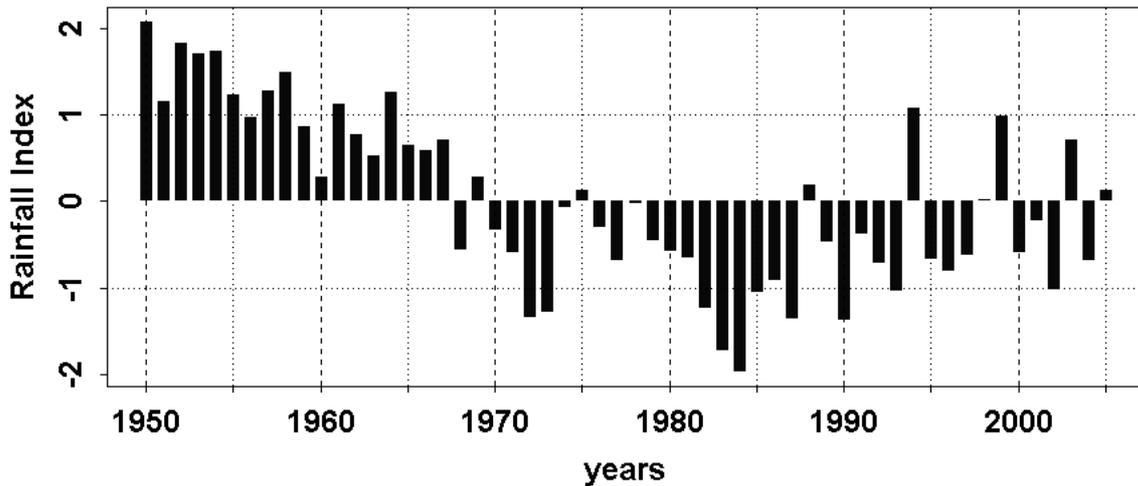


Figure 5: Indices pluviométriques au Sahel : très forte variabilité depuis 1950 d'après Ali et Lebel (2009).

L'analyse des données de la pluviométrie sahélienne met en évidence plusieurs périodes :

1950 à 1969 : période humide ;

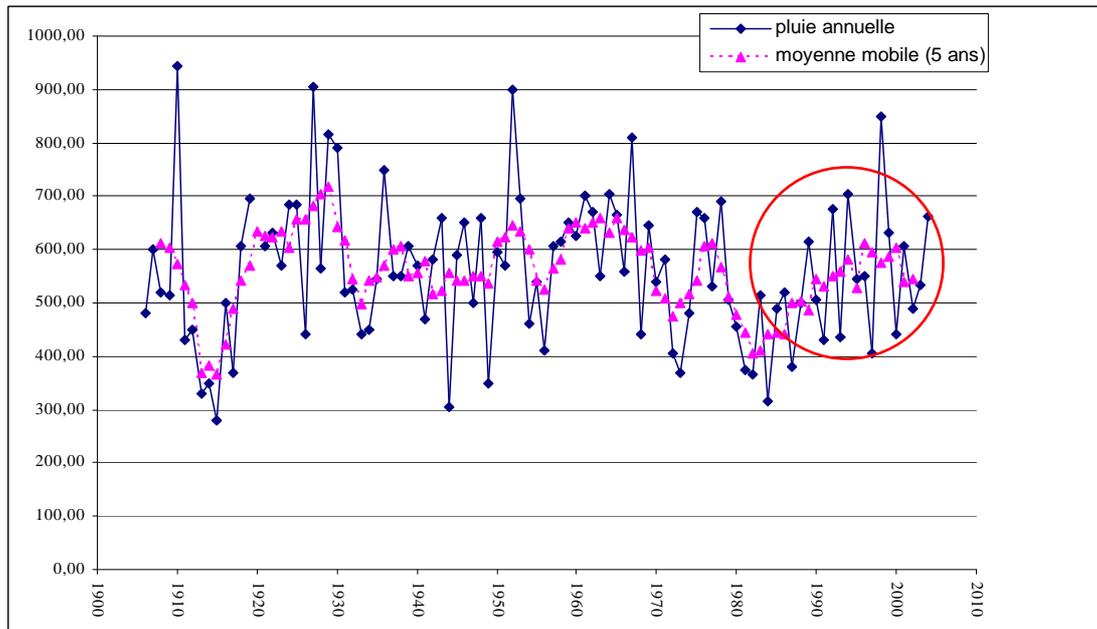
1970 à 1989 : période sèche ;

1990 à aujourd'hui : reprise de la pluviométrie (Ali et al, 2009), (figure 6)

La région de Niamey est située dans la zone sahélienne entre les isohyètes 500-600 mm de pluie. Elle enregistre en moyenne 550 mm et 40 jours de pluie par an (base de données Météorologie Nationale du Niger). La saison des pluies dure 3 à 4 mois selon les années, pour une longue saison sèche de 8 à 9 mois. La forte variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie est une des principales caractéristiques du Sahel (Bana 1997).

*I-1.2.1- Le « Paradoxe du Sahel » : baisse de la pluviométrie – disparition des couverts végétaux et augmentation du ruissellement dans le Sahel*

Les écoulements de surface en zone sahélienne sont régis presque exclusivement par les propriétés de la surface du sol (Casenave et Valentin, 1989).



**Figure 6: L'évolution pluviométrique à Niamey de 1905 à 2010 (Bouzou Moussa et al. 2005)**

On constate assez vite que le ruissellement augmente depuis 30 ans (Albergel, 1987 ; Esteves et al. 1993 ; Esteves et Lapetite, 2003), phase de croissance des zones mises en culture, alors même qu'à l'échelle de la parcelle, on mesure toujours les plus fortes infiltrations sous le mil, du fait du travail, même sommaire, du sol. Ceci est lié à la dégradation des sols par érosion éolienne durant la saison sèche, et au splash qui occasionne une fermeture des pores durant les événements pluvieux (Bouzou, 1988). Il se forme en quelques années une croûte d'érosion sur laquelle les coefficients de ruissellement sont très élevés (Albergel, 1987 a).

A l'échelle des petits bassins versants élémentaires, la diminution de la couverture végétale conduit à un accroissement du ruissellement et des débits, ainsi qu'à une érosion active qui a pour conséquence l'apparition de zones de dépôts sableux sur les replats et les bas fonds (figure 7). Dans le bassin de Tondi Kiboro, l'accroissement des plages de sol nu a provoqué un doublement des volumes d'eau écoulés en 15 ans. (Souley, 2008).

On assiste très nettement à un accroissement de la proportion des surfaces « ruisselantes » et à une diminution forte des espaces occupés par la végétation naturelle (Figure 7). Le développement régional des surfaces de croûte nue ou croûte d'érosion très ruisselantes (Tableau 1) explique l'augmentation du ruissellement observé.

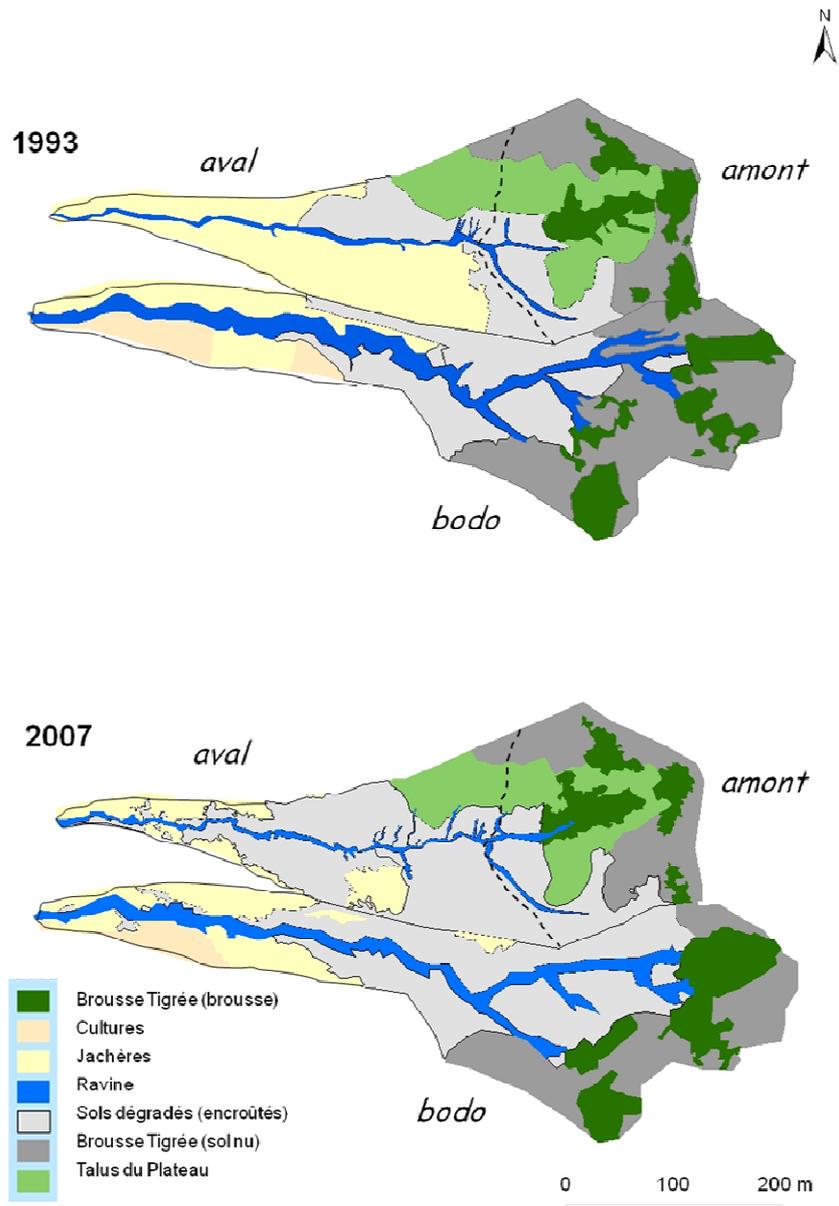


Figure 7: Occupation du sol du bassin versant de Tondi Kiboro entre 1993 et 2007 (Souley 2008).

Tableau 1: Coefficient de ruissellement et dégradation spécifique sur les principaux types d'occupation des sols (mesuré sur parcelles de 10 m<sup>2</sup>) dans le Fakara (Descroix et al. 2012).

Type	Coefficient de ruissellement %	Pertes en sol en g/m <sup>2</sup>
Mil	4	375
Jachère	10	880
Croûte d'érosion	60	5500
Brousse, végétation naturelle	2	100

L'augmentation du ruissellement (Peugeot 1995) s'explique par les grandes surfaces mises en culture de façon extensive, par les coupes de bois pour l'alimentation des villes et des villages (Ambouta, 1994). L'érosion hydrique et éolienne se développe à toutes les échelles au Sahel (Mainguet 1995). Ce processus de dégradation progressive de l'environnement du bassin a conduit à l'ensablement progressif du lit principal du fleuve et de ses affluents, à la disparition de mares, etc. Les matériaux issus de l'érosion des versants sont repris en charge par les koris qui les injectent rapidement dans le fleuve. Sur le tronçon du fleuve Niger dans la région de Niamey (de 40 km en amont à 30 km en aval de cette ville), on étudie la part des différents processus de transport et d'accumulation dans le lit du fleuve et des koris en quantifiant les apports sédimentaires de ces petits organismes fluviaux que sont les koris exoréiques.

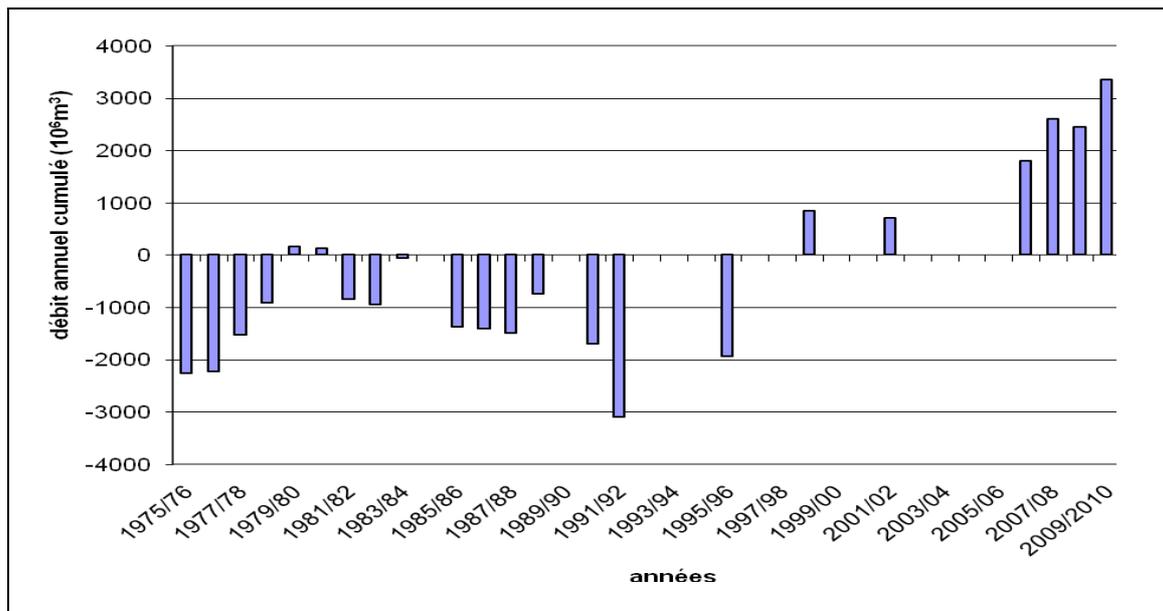
L'augmentation des surfaces ruisselantes explique en partie l'évolution contrastée des débits du fleuve Niger. Amogu (2009) constate que proportionnellement, les écoulements en aval de la station Kandadji (170 km en amont de Niamey) ont augmenté (figure 8), ce qu'il impute aux apports des grands affluents (Gorouol et Sirba), mais aussi aux nombreux koris -affluents se situant en amont de Niamey (tableau 2).

On observe donc :

- une augmentation du ruissellement sur bassins expérimentaux ; c'est le cas de petits bassins versants de Wankama et Tondi Kiboro (Esteves et La petite, 2003) ainsi que très probablement des koris étudiés dans cette thèse ; cet accroissement du ruissellement dans la partie sahélienne du bassin – et plus précisément dans la région de Niamey - induit donc une augmentation des apports d'eau et de sédiment au fleuve Niger lors de la crue d'été ;
- une augmentation très sensible des débits d'affluents du Niger.

*Tableau 2: Augmentation du ruissellement dans les bassins versants du Gourouol, Dargol et Sirba (Mahe et al. 2003)*

Bassin versant	Surface du bassin	Débit moyen avant 1972	Débit moyen après 1972
<b>Gorouol</b>	44 850	10,7	12,3
<b>Dargol</b>	6940	4,75	5,96
<b>Sirba</b>	38 750	16,7	22,1



*Figure 8: Augmentation des débits fleuve Niger entre Kandadji et Niamey : apports des koris (Amogu, 2009)*

Le débit du fleuve Niger entre Kandadji et Niamey a augmenté depuis une vingtaine d'années, du fait du seul apport d'une dizaine de bassins de quelques de km<sup>2</sup>, auparavant endoréiques ou non contributifs, comme l'a montré Amogu (2009) en soustrayant année par année au débit du Niger à Niamey, celui mesuré à Kandadji sommé des apports intermédiaires du Dargol et de la Sirba (Figure 8). Ces « koris », cours d'eau intermittents, ont formé de gros cônes de déjection, provoquant un ensablement grave du lit du fleuve Niger (Amogu, 2009). C'est surtout la région de Niamey qui est concernée, probablement du fait du très fort déboisement causé par la demande en bois de la ville et plus généralement, en raison de la pression anthropique autour de la capitale.

Dans une perspective temporelle marquée par la sécheresse et la baisse des débits du Niger depuis bientôt 40 ans, il faut déterminer si le processus de l'ensablement est en voie d'aggravation dans un contexte d'interrelations spatiales entre le bassin et le cours d'eau. La dégradation du premier conduit aux modifications du second, sachant que la crue de septembre (figure 9) qui est celle qui apporte les alluvions, est en phase d'augmentation. Alors que celle d'hiver provenant du haut bassin, qui est celle qui a la plus grande compétence et capacité de transport, est en diminution forte ; la figure 10 montre la baisse des débits du Niger à Niamey en relation avec la baisse des pluies ; à noter le temps de réponse des débits à la baisse puis à la hausse des pluies.

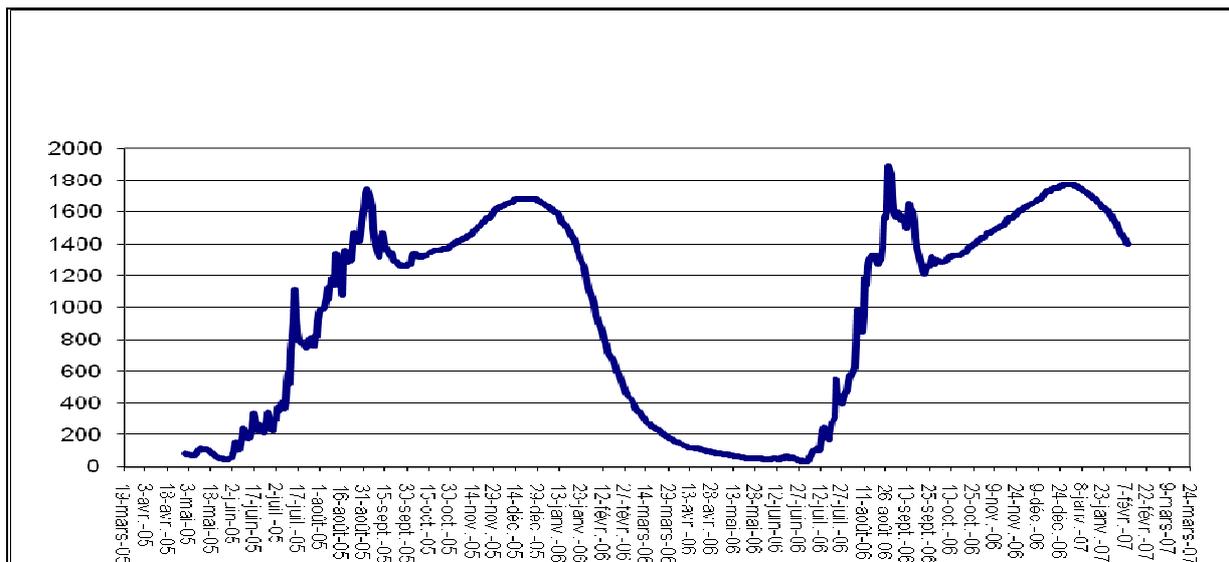


Figure 9: Débit journalier moyen du fleuve Niger, station de Niamey, 2005-2006 (m3 s-1)

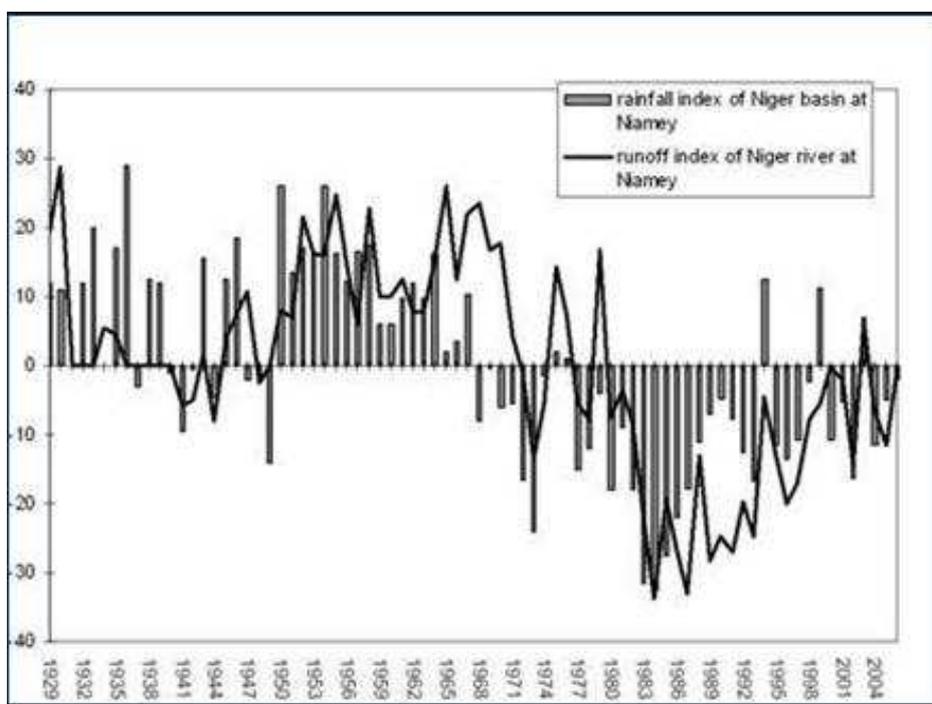


Figure 10: Evolution des débits moyens journaliers à la station de Niamey de 1929 à 2002 (actualisé à partir d'Olivry 2002).

Enfin, dans le contexte régional et sous-régional, il s'agit de déterminer quelle est la représentativité spatiale de ces processus et quelle aire géographique ils intéressent respectivement.

Ce thème s'inscrit pleinement dans l'étude des conséquences du changement climatique observé en Afrique de l'Ouest (baisse des pluies depuis 1968), (figure 9), ainsi que des

conséquences des changements d'usage des sols. Les fleuves sont de parfaits intégrateurs des modifications du cycle hydrologique et sédimentaire de leur bassin.

La perturbation des régimes des cours d'eau sahéliens constitue un aspect important des impacts de la variabilité climatique (figure 9). A titre d'exemple on peut citer l'arrêt des écoulements du fleuve Niger à Niamey en mai 1985 (Gallaire 1993).

En 2005-2006, le pic de la crue locale a été plus élevé que celui de la crue guinéenne traditionnellement plus important en année de crue normale (figure 10). On a observé une importante modification du régime du fleuve Niger à Niamey, avec le pic de la crue locale (été) qui devient de plus en plus important depuis les années 1990 (Amani et Nguetora, 2002).

Le fleuve Niger, comme beaucoup d'autres, subit en même temps des modifications d'ordre climatique et d'ordre anthropique (Servat et al. 1998), la question du lien entre ces deux éléments se pose aussi, et sera abordée dans cette thèse.

Des mesures sont aussi réalisées à l'échelle de la parcelle afin de comprendre les processus hydro- pédologiques qu'induisent les changements d'usage des sols. Ce travail vise enfin à étudier l'impact et les modes de transferts sédimentaires entre les koris affluents de la région de Niamey et le fleuve Niger.

Cet ensablement commence à poser des difficultés aux activités de pêche et de transport ; de plus il gêne les aménagements existants (seuil de Goudel : retenue d'eau construite en 1989 sur le fleuve Niger à Niamey) sur le lit du fleuve et surtout à terme, il pourrait d'ici quelques décennies mettre en péril l'« agro écosystème » très productif (rizières, pêcheries) de la plaine du Niger dans la région de Niamey.

#### *I-1.2.2-Réactivation et fin d'endoréisme des koris dans la région de Niamey – l'origine des koris étudiés*

Dans le Fakara, secteur endoréique situé à l'est de la région de Niamey, Desconnets (1994) distingue quatre types d'endoréisme :

- un endoréisme de plateau, par exemple la mare de Poura située au niveau du plateau Ouest de Wankama et la mare de Sabara Bangou ;
- endoréisme de cuvette : exemple de la mare de Sama Dey,
- endoréisme de vallée, cas du bassin de Wakama, et Banizoumbou.

-endoréisme de replat : cas des bassins versants de Tondi Kiboro

Dans ce travail, on s'intéresse à des koris qui, par rupture de mares occupant des dépressions, ont provoqué une rupture d'endoréisme de fond de dépression inter-plateaux tabulaires ou dunaires. Ainsi, dans les secteurs périurbains de la ville de Niamey, dans le cas de la zone de Boubon, on n'observe aucune empreinte de cône à la confluence du kori Boubon avec le fleuve Niger sur l'image aérienne de 1975. En 2002, le kori Boubon a édifié un cône d'épandage de plus d'1,2 ha avec une large extension sur le lit mineur du fleuve. Guillon (2007) en comparant les photos aériennes de 1975 de l'IGNN et l'image satellitaire 2006 de Google Earth, montre qu'environ 200 000 m<sup>2</sup> de terres ont été emportées entre la mare disparue en amont du pont et le fleuve, ce qui représente plus de 400 000 m<sup>3</sup> de sédiments charriés dans le Niger.

D'après les témoignages des populations locales, en 1975, le kori avait une largeur moyenne inférieure à 2 m. C'est suite à un événement pluvieux à la fin des années 1970 que la mare (située à la jonction des trois drains du kori en amont de l'actuel pont) s'est vidangée et a provoqué l'élargissement et l'approfondissement du kori Boubon. Comme l'a dit Belleudy (2001) l'hydrologie fabrique la morphologie fluviale. Le kori de Boubon s'est par la suite annuellement étendu jusqu'à atteindre la largeur qu'on lui connaît actuellement, de 50 à plus de 130 m et parfois atteignant les 300 m au niveau de grands coudes.

Thevoz et al. (1994) constatent aussi une dynamique très récente des koris de la région de Niamey. Ils lient cette situation à la très forte anthropisation des milieux (Ousseini. 1990), aux événements pluvieux exceptionnels et au substrat géologique régional sableux. Gallaire (1993) conclut, hors période d'écoulement des affluents, que le transport solide devient légèrement supérieur à Kandadji (170 km en amont de Niamey) qu'à Niamey.

## **I-2- Hypothèses scientifiques de l'étude**

Dans cette thèse, on s'attachera à analyser à différentes échelles de temps et d'espace, la dynamique des affluents « koris » de la région de Niamey et son impact sur le fleuve Niger. Pour cela, on montrera la part relative et les interrelations entre les divers facteurs d'accroissement de la fourniture en matériaux.

La fourniture de matériaux provenant des bassins versants de ces koris –affluents de la région de Niamey - est en liaison avec la dégradation observée de la couverture végétale, et

l'évolution des états de surface qui s'en est suivie, avec un accroissement des sols indurés ou encroûtés connaissant de forts coefficients de ruissellement (Mansour 2006).

L'accroissement des transferts sédimentaires dans les koris en est la conséquence, par les apports des koris - affluents puis du fleuve lui-même à l'échelle de la région de Niamey (Mamadou et al. 2009 a).

On remarque en même temps une forte diminution du débit total annuel à Niamey après 1968 (figure 11). Cette baisse imputable à la diminution des précipitations dans le haut bassin se traduit par une diminution drastique de la compétence et de la capacité de transport du fleuve.

L'écart entre la diminution des pluies et celle des débits vient du fait que la transformation de la pluie en débit est en général non linéaire, mais surtout de la baisse du niveau des nappes et nappes perchées alimentant les cours d'eau dans le haut bassin. La baisse du niveau de ces nappes et réserves qui font du Fouta Djallon, un château d'eau, vient de l'effet cumulatif de baisses pluviométriques observées sur toute l'Afrique de l'Ouest ces 25 dernières années (OSS, UNESCO, Programme hydrologique international 1995). Il est aussi important de noter d'après les récents travaux de l'IRD (Amani et Diouf, 2009). On assiste dans le bassin sédimentaire à l'Est de Niamey à une situation hydrologique inverse, c'est -dire à une augmentation du niveau de la nappe phréatique. Contrairement aux nappes perchées (exemple du Fouta Djallon) alimentant les cours d'eau (Niger, Sénégal, etc.) qui sont soutenues en général directement par les pluies, dans la région Sahélienne l'infiltration de l'eau dans les nappes se fait de plus en plus à travers des mares temporaires durant la saison de pluie. Cela s'explique par :

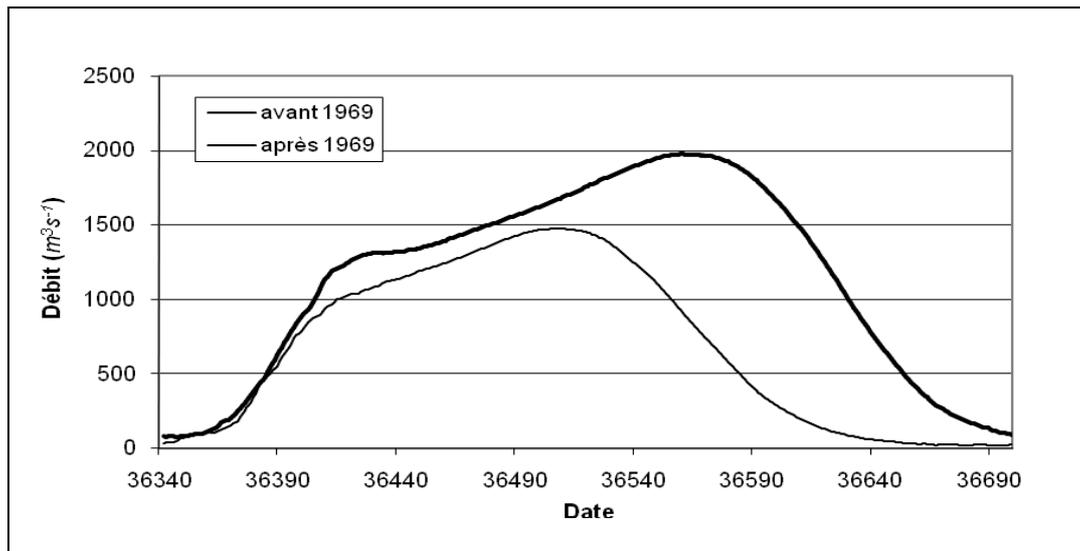
- une diminution de la couverture végétale naturelle qui provoque un fort accroissement du ruissellement et de l'érosion des sols en zone sahélienne (Bep, et al. 1996).

- une augmentation du volume de matériaux dans les lits du fait de l'érosion accrue dans ces bassins versants des koris – affluents de la région de Niamey ;

- une augmentation du stock sédimentaire des koris adjacents et du fleuve Niger ;

- une diminution simultanée de la compétence et de la capacité de transport du fleuve en amont et en aval de Niamey.

Cette conjonction d'éléments est probablement la cause principale de cet ensablement dans la région de Niamey. La thèse est donc centrée sur les apports solides des koris au fleuve Niger.



*Figure 11: Évolution comparée des débits moyens journaliers (hydrogrammes) du fleuve Niger à Niamey avant et après 1969 (Amani et Nguetora 2002)*

Les études sur le transport solide sont toujours fondamentales mais leurs mesures sont extrêmement difficiles (Guigo 1987). Les transports de fonds dont la masse est connue seulement par les remplissages de barrage sont difficiles à prévoir (Amoros et Petts 1993 ; Descroix 1991).

### **I-3- Objectifs et résultats attendus de la thèse**

L'objectif de cette thèse est de déterminer le rôle des affluents sur les processus de l'ensablement du fleuve Niger dans la région de Niamey et de comprendre l'impact de l'évolution récente de ces koris et les relations entre cette évolution, les précipitations et celle des usages des sols à l'échelle de bassins versants exoréiques de cette région.

On se propose d'étudier dans un premier temps l'évolution hydro érosive des bassins versants des koris- affluents du fleuve Niger dans la région.

Il s'agit d'étudier les interrelations entre la dynamique générale de ces bassins et l'ensablement du fleuve à partir des données hydro- climatiques existantes et fournies par l'ABN ou acquises dans le cadre du programme AMMA (données hydrologiques et climatiques, en particulier) et les données acquises spécifiquement dans le cadre de cette thèse (relevés hydrologiques, topographiques et bathymétriques des koris, flux de MES...), documents photographiques et des mesures et observations directes.

On s'intéressera en particulier aux éléments suivants :

- le ruissellement et les pertes en terres à l'échelle d'un des bassins versants étudiés à grande échelle (bassin de Boubon situé en amont de la ville de Niamey). Il s'agit d'évaluer les comportements hydro-sédimentaires des versants des koris étudiés ;

- la dynamique hydrologique et morphologique récente des sous bassins exoréiques de la région de Niamey ;

- l'évolution temporelle de la forme et la surface des lits des koris, de leur cône de déjection et du lit du fleuve à proximité des confluences ;

- le temps de transfert des sédiments entre les koris et le lit du Niger.

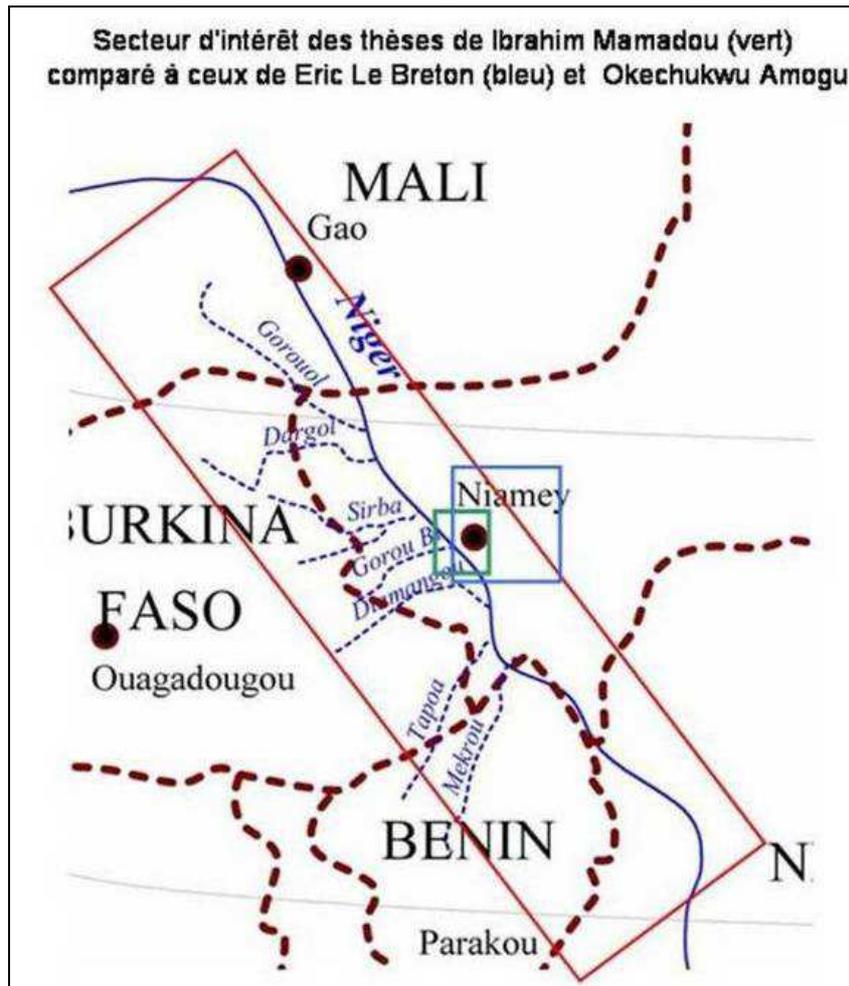
#### **I-4- Contexte thématique de l'étude et pertinence du sujet de la thèse**

L'importance de cette thèse est de montrer à échelle locale, celle de la région de Niamey, quelles sont les zones des koris qui fournissent les sédiments, puis de décrire et quantifier les processus de transport et de dépôt le long des koris affluents et du fleuve Niger.

La thèse d'Okechukwu Amogu (2009) s'est intéressée avant tout à l'ensablement du Niger à grande échelle (sur une section de plus de 700 km de long entre la sortie du « delta intérieur » (Mali) et le barrage de Kainji (figure 12)). Celle d'Eric Le-Breton est centrée sur l'étude des processus d'érosion et d'ensablement des bas fonds dans les secteurs endoréiques de la rive gauche du fleuve Niger ; il s'agit de déterminer les processus de formation des plages de dépôts, zones d'épandage, cônes de déjection, ainsi que des formes d'érosion (croûtes d'érosion, ravines, etc.), d'en décrire l'extension spatiale et de définir et de modéliser les conséquences hydrologiques de ces zones d'infiltration récentes dans le cycle hydrologique. Son aire d'extension est le degré carré de Niamey, avec en particulier des zooms sur les super sites AMMA de Wankama et de Banizoumbou.

#### **I-5 - Etat de l'art**

L'Afrique de l'Ouest est à l'heure actuelle la zone qui connaît la plus forte croissance démographique au Monde, avec un taux d'environ 3% par an, elle est appelée à se maintenir à ce taux là pendant encore une décennie (le taux de croissance démographique se stabilise à peine au Mali et au Niger (3.3%), les deux plus grands pays du Sahel) (PNUD, 2008).



*Figure 12: Localisation des zones étudiées et d'intérêt pour les thèses Amogu, Le-Breton et Mamadou*

L'Ouest Nigérien en particulier a connu de très nombreuses études et expérimentations dans diverses disciplines scientifiques de par la très forte homogénéité socioéconomique, écologique et environnementale de ces milieux. La ville de Niamey ne comptait en 1902 que 1100 habitants. Après avoir connu plusieurs étapes démographiques, constituées essentiellement des grandes famines auxquelles il faut ajouter l'exode des bras valides à la recherche des débouchés, Niamey a vu sa population augmenter de façon galopante. Ainsi, la population est passée à 11 900 habitants en 1952, puis 33 816 habitants en 1960, soit un taux de croissance de 12%. En 1972, cette population a triplé pour atteindre 108 000 habitants. Au premier recensement de la population, en 1977, la population était de 242 973 habitants. Avec la loi N° 2003-35 du 27 août 2003 portant composition et délimitation des communes, le redécoupage administratif a modifié tant la taille des communes que l'effectif, qui est passée de 3 (trois) en 2001 à 5 (cinq) en 2003.

**Tableau 3: Taille et effectif de la population de la CUN après le redécoupage administratif de 2003**

Commune	Population		
	Masculin	Féminin	Total
Commune Niamey I	51 789	50 554	102 343
Commune Niamey II	81 333	79 383	160 716
Commune Niamey III	89 172	86 727	175 899
Commune Niamey IV	85 070	82 636	167 706
Commune Niamey V	47 943	47 042	99 854
Sous total 1	355 307	346 342	701 649
Non classée dans les communes			
Garde Républicaine	656	640	1296
Gendarmerie 25	234	228	462
Garde Présidentielle	442	431	873
Caserne Garba Hassane	845	820	1665
Sans abris	170	165	335
Sous total 2	3193	3109	6302
Total CU Niamey	358 500	349 451	707 951

*Source : BCR-Résultats du RGP/H 2001/ 21 Novembre 2005/ LAMCO Ingénierie, janvier 2005*

Au recensement général de la population de 1988, année au cours de laquelle Niamey fut érigée en communauté urbaine (avec trois communes), il a été dénombré 399 846 habitants. Au dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGP/H) de 2001, la population a atteint 707 951 habitants (tableau 3). La superficie de Niamey était de 239,263 km<sup>2</sup> jusqu'en 1999. A partir de 2005, elle est de 255 km<sup>2</sup>. La ville est subdivisée en 5 communes en 2003. Cette évolution du tissu urbain de la ville de Niamey s'accompagne d'une forte diminution de la couverture végétale péri-urbaine entraînant une extension du réseau de drainage des eaux du ruissellement, la naissance de ravins et le développement des koris.

Par ailleurs, on a remarqué depuis quelques décennies une accumulation des sédiments dans le lit du fleuve Niger et de ses affluents (Le-Breton 2005), sans que l'on ait jusqu'à l'heure déterminé si cette accumulation était liée à un accroissement des apports de matériaux ou à

une diminution de la capacité de transport du fleuve, ou à une combinaison des deux. Selon Neboit (2001) ce qui caractérise ce mode de ruissellement, c'est l'extrême rapidité avec laquelle l'eau parvient aux talwegs, mais inversement aussi la faible persistance de cet écoulement après la fin de la pluie.

Roose (1999) explique l'origine du ruissellement hydrique linéaire lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol. Il se forme d'abord des flaques d'eau, ensuite ces flaques communiquent par des filets d'eau. Lorsque ces filets d'eau ont atteint une certaine vitesse, 25 cm par seconde d'après Hjulström (1935) cité par ROOSE (1999), les filets acquièrent une énergie propre qui va créer une érosion limitée dans l'espace par des lignes d'écoulement. Il conclut que l'énergie n'est plus dispersée sur l'ensemble de la surface, mais elle se concentre sur des lignes de plus forte pente (Bravard et Petit, 1999).

L'érosion linéaire est donc un indice qui montre que le ruissellement s'est organisé dans les rigoles, puis au niveau des talwegs (Ambroise 1999), qu'il a pris de la vitesse et acquis une énergie cinétique capable d'entailler le sol et d'emporter des particules de plus en plus grosses, non seulement des argiles et des limons mais aussi des graviers, des cailloux et des blocs lorsqu'il sera organisé en ravine : c'est le ravinement (Rognon 1989). Ce type d'érosion se traduit en général par une forme d'incision topographique active appelée ravine. Cette forme liée à la concentration des eaux du ruissellement présente des variantes selon l'échelle spatiale et son ampleur. Nous mettons un accent particulier sur deux formes de processus de transport : transport par suspension (MES) et transport de fond à l'échelle de la ravine. Le ruissellement est le premier aspect du processus d'érosion, en ce sens que lorsqu'il pleut et que l'eau ruisselle, elle contribue directement à l'alimentation des ravines (Lienou, et al 2009).

A cet effet Roose (1967) disait à propos de l'approche géomorphologique, qu'elle admet le ruissellement comme la principale cause de l'érosion et aboutit à des études très intéressantes sur la vitesse et le débit de l'eau. Cependant, soulignons ici le rôle que jouent les facteurs climatiques. Les pluies intenses et les averses exceptionnelles peuvent radicalement transformer le paysage (Roose 1971). Le paysage est défini ici comme les résultantes observables de deux séries de facteurs en interaction, issues les uns des systèmes sociaux, les autres des systèmes écologiques (Loireau, 1998). D'après Descroix et al. (2009), la forte baisse de la végétation permanente et de la biomasse (Loireau, 1998 ; Hiernaux et al. 2009) a des conséquences hydrologiques importantes : l'accroissement de l'érosion et l'apparition du

« paradoxe du Sahel ». Cette dynamique est mise en évidence par Albergel (1987) qui a remarqué que le ruissellement et les écoulements augmentaient au Sahel depuis les années 1970, alors que la pluviométrie avait très sensiblement diminué (de 20 à 40% entre la décennie 1960 et la décennie 1970).

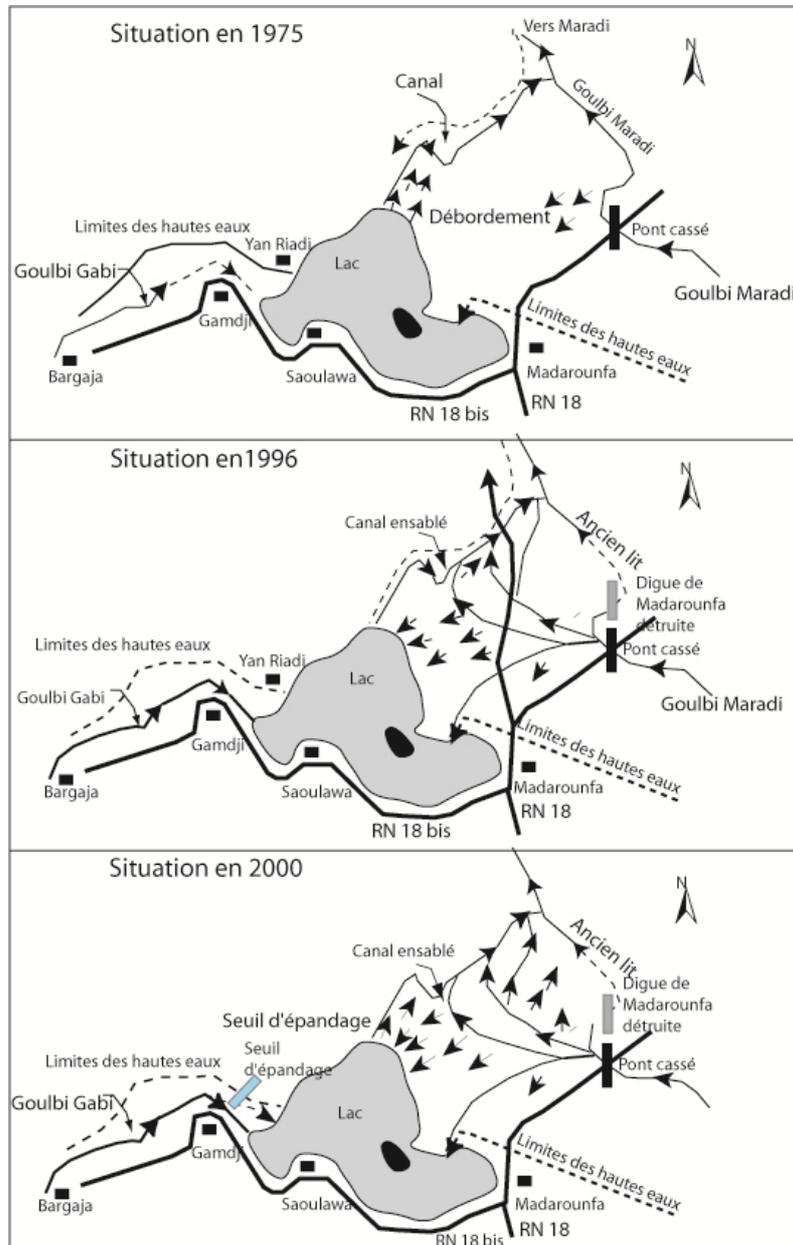
Yahaya (2002) pense que cette partie de la vallée du Niger en territoire nigérien est un espace agricole à protéger et démontre le seuil critique des diverses menaces dans le secteur : ensablement, baisse de débit, envahissement de la jacinthe d'eau, ravinement dans les sous bassins versants etc.

Ousmane et al. (1988), dans le cadre de la lutte contre l'ensablement du fleuve Niger, font les constats suivants : l'aspect boueux des eaux d'écoulements, la couleur rougeâtre des eaux dans les koris et flaques d'eau. Ceux-ci témoignent de l'importance des particules fines en suspension et dissoutes. Ils estiment la teneur en argile des eaux du kori de Karma égale à 1,15g /l en 1988. Les travaux épars déjà réalisés ont démontré la complexité du changement environnemental.

Amani et Nguetora (2002) ont montré que les débits moyens du fleuve ont très fortement baissé depuis le début de la sécheresse depuis la fin des années 1960 (figure 11).

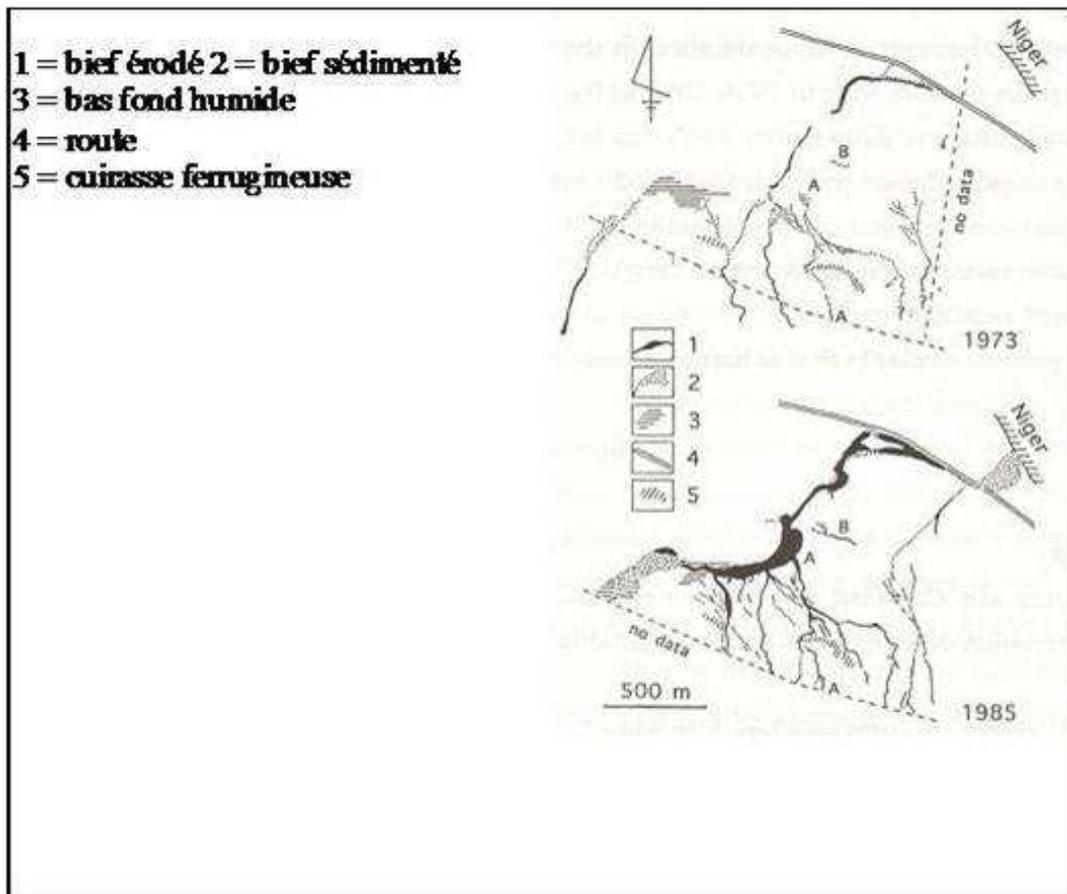
Les documents synthétisant l'intérêt du programme scientifique AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine) (Descroix et al. 2005) à la suite d'Olivry, (2002) montrent qu'une décroissance de 25 à 30% de la pluviométrie sur le bassin du Niger a entraîné une diminution de 55 à 60% des débits du fleuve à Koulikoro (en aval de Bamako). Paradoxalement, en zone sahélienne, sur les petits bassins, on a observé une augmentation des débits (Albergel, 1987 ; Massuel 2005 ; Descroix et al, 2011 ; Descroix et al, 2012). Mais cet accroissement local ne compense pas la forte baisse du fleuve, principalement alimenté par la zone soudano guinéenne (Amogu, 2009), sur le bassin moyen du Niger (Amani et Nguetora, 2002 ; Mahé et al. 2003). Enfin, le fleuve Niger connaît une forte augmentation de sa sédimentation, principalement dans la vallée du Niger Moyen comme l'a bien montré Le-Breton (2005), sans la quantifier précisément. Les données fournies par Amogu (2009) sont très précises sur ces transports. En effet, on assiste à une érosion croissante dans les bassins versants (Karambiri, 2003), qui a entraîné un accroissement des matériaux disponibles pour le transport et l'alluvionnement des lits et des bas fonds au nord du Burkina Faso. Dans la région de Maradi, bien plus peuplée (densités rurales proches de 100 hab/km<sup>2</sup>), Mamadou (2001) lie

l'ensablement du lac Madarounfa situé dans le centre sud du Niger à une occupation agricole des terres à 100%, laissant à nu les sols sableux éoliens (figure 13).



**Figure 13: Ensablement et changements du réseau hydrographique sur les 30 dernières années dans la région du lac de Madarounfa, liés à l'accélération de l'érosion hydrique. (Mamadou 2001)**

Chinen (1999) a démontré l'importance des effets anthropiques dans la dynamique érosive et alluvionnaire sévère que connaissent les petits koris exoréiques de la région de Niamey, en particulier les bassins périurbains de Kourtéré et de Saga Gourma 10 km sur la route de Say au sud de Niamey.



*Figure 14: Accélération du ravinement des versants et de l'ensablement des bas fonds entre 1973 et 1985 sur la rive droite du fleuve Niger dans la région de Niamey (d'après Chinen, 1999)*

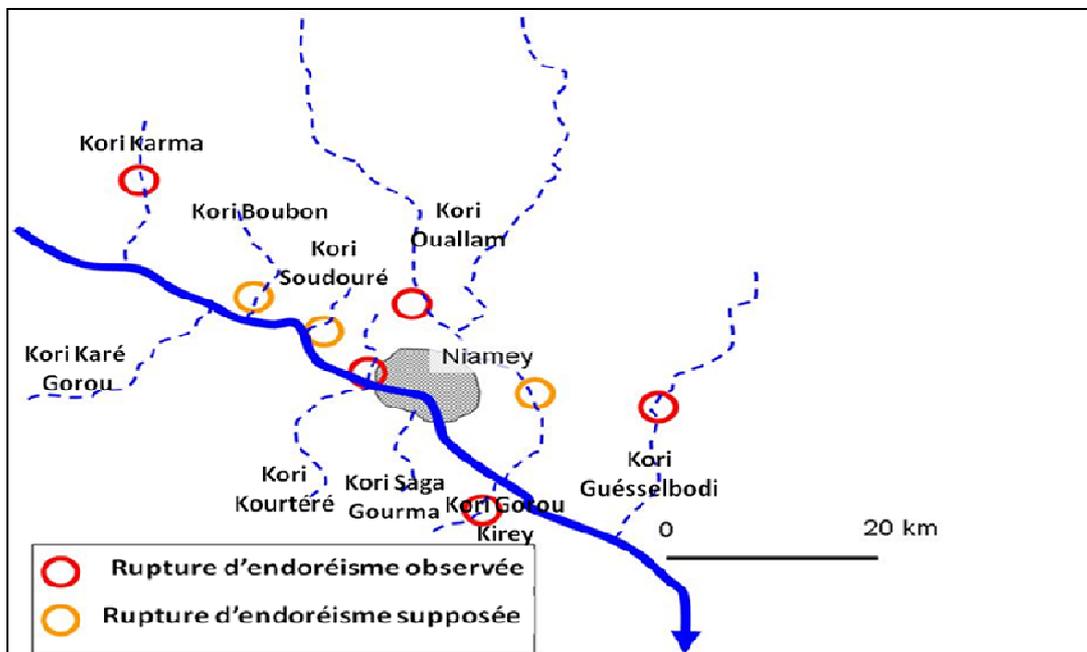
Chinen (1999) montre que l'anthropisation poussée dans quelques petits bassins versants périurbains dans le secteur de Niamey, entre 1975 et 1985 a conduit au développement des ravines sur les versants sableux et à l'ensablement du fleuve Niger. D'après Chinen, en 1973, le kori Kourtéré était endoréique (figure 14). Actuellement il constitue un des plus grands koris exoréiques charriant eau et sédiment dans la région de Niamey. Il forme un grand cône d'épandage à sa confluence au fleuve Niger (photo 4).

On observe depuis quelques années de nombreuses zones de rupture d'endoréisme dans la région, d'où la naissance de koris néo exoréiques dans la région de Niamey (Descroix 2009), (figure 15).

Enfin temporellement, on s'aperçoit que la dégradation hydrologique peut encore agir de nos jours ; il semblerait que le kori de Ouallam et celui de Goubé (figure 15) ne sont devenus exoréiques que récemment en aval de leurs bassins versants (Moussa, 2004).



*Photo 4: Vue du cône d'épandage du kori Kourtéré à sa confluence au fleuve Niger près de Niamey (photo Gautier 2008)*



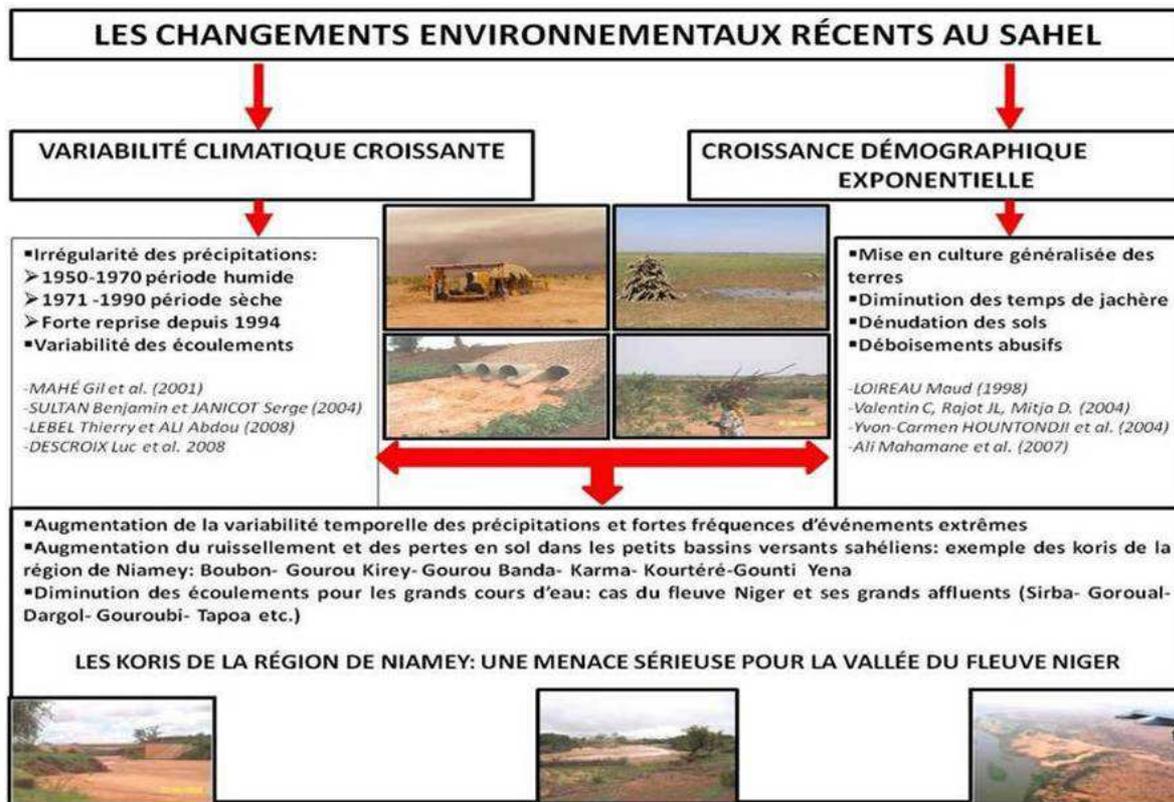
*Figure 15: Les zones de rupture d'endoréisme dans la région de Niamey (Descroix et al. 2009)*

Abaché (2007) conclut que l'extension du réseau de ravines dans le bassin du kori Mountséka est liée à la dégradation des couverts végétaux. Bahari (2009) constate une nouvelle fonctionnalité du kori Mountséka depuis 1994. Cette dynamique se traduit par l'étalement

d'un chapelet de mares de dimension et de profondeur variables, entrecoupées par des verrous sableux. Depuis 1994, l'écoulement du kori progresse d'une année à une autre principalement les années humides, cela a été le cas en 2010 (Bouzou Moussa et al. 2009). En plus du rôle des facteurs anthropiques dans la dynamique actuelle des koris sahéliens, Yahaya et al (2001) ont montré l'impact des pluies exceptionnelles sur l'environnement et les infrastructures socio-économiques à partir de leurs travaux sur le secteur de Lélihi Béri – Ganguel sur la rive droite aux abords de Niamey. Ils lient la dynamique actuelle de ce bassin à l'homme et aux effets des pluies de fréquence rare. Sur les koris de la région de Niamey, Yoni (2010) montre l'augmentation des surfaces de sol nu ainsi que l'accroissement en nombre et en taille des koris depuis les années 1965 jusqu'aux années 2001-2010. Il explique que sur les deux rives du fleuve, deux koris principaux ont été identifiés à partir de leur caractéristique mesurée par SIG. Ces koris présentent des surfaces, des longueurs et des largeurs très importantes par rapport aux autres koris présents. Ces koris ont évolué au fil du temps (de 1965 à 2010) pour produire de très grands cônes non négligeables participant ainsi à l'approvisionnement du fleuve en sédiment. Ceci rejoint la logique observée à l'échelle mondiale, où l'excès de sédiment (Olivry 1987) se traduit par un exhaussement et un élargissement des lits des cours d'eau et à l'inverse dans les régions où les zones rurales sont en voie d'abandon et de reboisement, par un rétrécissement et un enfoncement des lignes d'eau (Descroix et Gautier, 2002 ; Faran et al. 2008).

Olivry et al. 1993 constate que les variations saisonnières de ces flux MES et matières dissoutes montrent des comportements différents des parties amont et aval du Delta intérieur du fleuve Niger dus principalement aux conditions de l'amortissement de la crue annuelle dans son transfert de l'amont vers l'aval. Picouet 1999 conclut sur l'importance des MES dans le haut bassin du fleuve Niger et montre que les forts taux mesurés de Mes sont liés l'anthropisation très poussée de ces milieux. Par contre, depuis quelques décennies, on assiste à un enfoncement du lit du Niger dans les 200 km autour de Bamako du fait de la surexploitation du sable (Ferry et al. 2011).

## Conclusion partielle



*Figure 16: Synthèse récapitulative de la situation hydro –climatique et environnementale au Sahel central et dans la région de Niamey*

Des études récentes démontrent à l'échelle de la parcelle et du bassin expérimental une augmentation sensible des coefficients d'écoulement et des pertes en sol (repérées aussi au niveau des grands bassins versants). Les transferts sédimentaires qui en découlent sont à l'origine du phénomène d'ensablement du fleuve Niger, menace très manifeste dans la région de Niamey (figure 16).

## **CHAPITRE II : OUTILS ET METHODES DE L'ETUDE**

Ce chapitre explique les différentes démarches méthodologiques et présente les types d'outils de collecte de données utilisés dans cette étude.

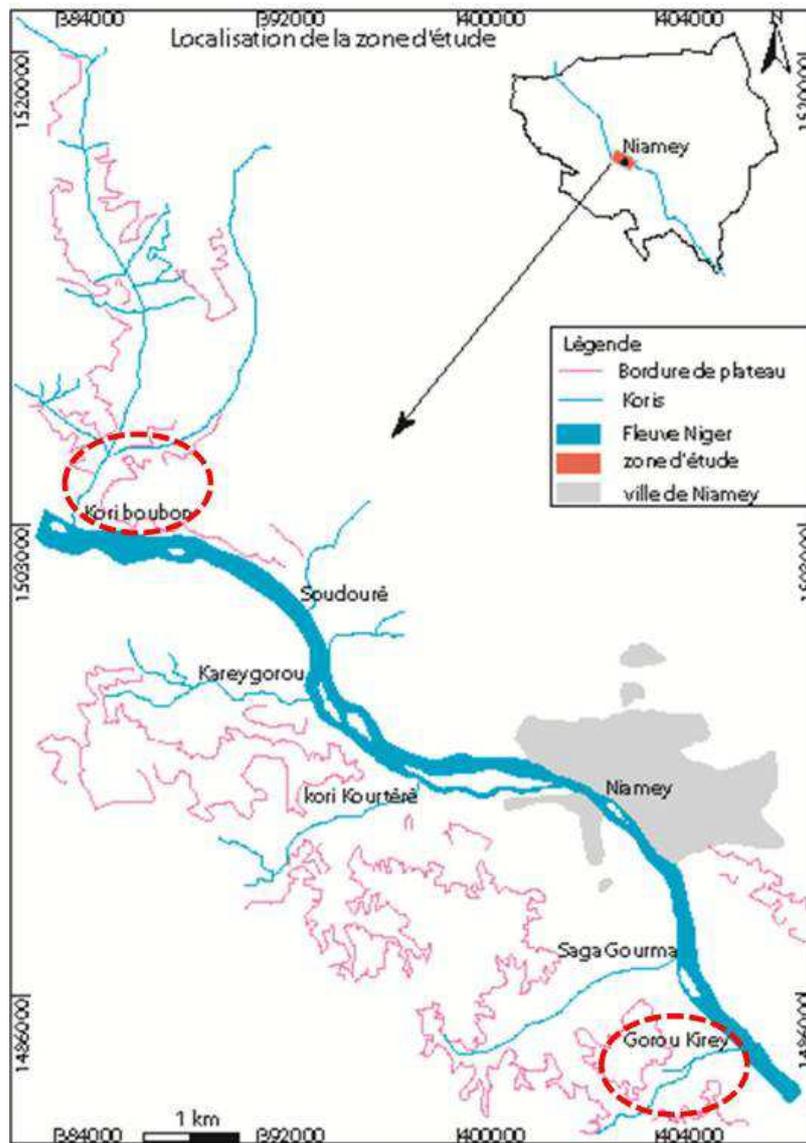
Le problème de l'ensablement du fleuve Niger et de ses affluents est un problème complexe et éminemment géographique, qui démontre l'interrelation constante entre l'homme et son milieu. Morel (1999) rappelle le rôle primordial de la démarche systémique dans la compréhension des différents types d'érosion. Comme l'écrivait Cholley (1957) cité par Morel (1999) : ce n'est pas en considérant les facteurs isolément que nous parvenons à saisir correctement la réalité, mais en recherchant comment ils s'enchaînent et en retrouvant les liens qui les unissent. On utilisera pour traiter ce vaste sujet, des méthodes et outils diversifiés afin d'analyser les interrelations complexes.

La démarche que nous proposons à travers cette étude est une approche systémique et hydro-géomorphologique (Nouvelot 1993 ; OMM, 1994). Elle est fondée sur l'observation en milieu « naturel » des mécanismes hydrologiques et sédimentaires, la quantification des processus hydrologiques et sédimentaires actifs de la dynamique actuelle et la numérisation cartographique des données.

La première étape de travail a reposé sur les visites de reconnaissance et la recherche bibliographique. La seconde étape a consisté en la réalisation d'une étude diachronique sur images satellites et photographies aériennes :

- des bassins versants étudiés (figure 17), afin de documenter l'état du bassin à l'heure actuelle et il y a quelques décennies, la progression éventuelle des cultures, des zones érodées, des zones dégradées, des ravines ;

- des lits des koris, en pointant particulièrement les cônes de déjection des koris et le lit du fleuve Niger en amont et en aval immédiat de ces cônes, pour évaluer l'impact des apports des affluents sur la dynamique sédimentaire du fleuve. La cartographie à différentes dates de l'extension des koris, de leurs cônes de déjection et du lit du fleuve (largeur, surface des zones de sédimentation) permet de quantifier l'ensablement, sa variabilité temporelle et spatiale (Piégay et al. 2000).



*Figure 17: Localisation des koris Boubon et Gorou Kirey, les deux principaux bassins étudiés*

La troisième étape a reposé sur l'installation d'équipements et de suivis des processus hydrologiques et sédimentaires dans les koris de Boubon et Gorou Girey (figure 18 et figure 19). Cet équipement a pour objectif de mesurer les flux d'eau et de sédiments à différentes échelles : de la parcelle au fleuve Niger en passant par le lit des koris.

Un camp de terrain (photo 5) a été installé en début du mois de juin et jusqu'à la fin du mois de septembre pendant les trois années de l'étude. Ce camp de collecte de données est situé dans le bassin versant (principal bassin atelier de l'étude) du kori Boubon.

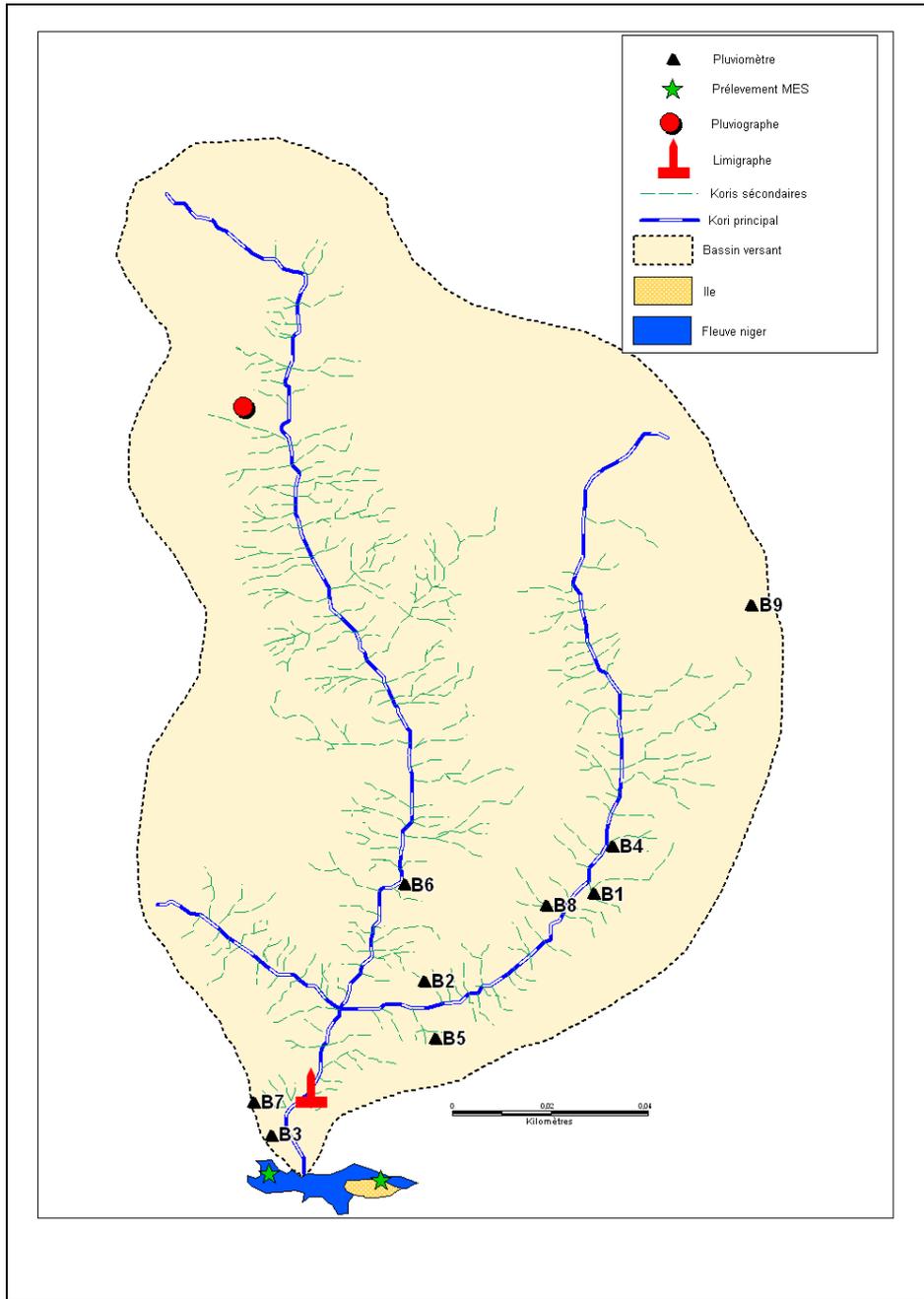
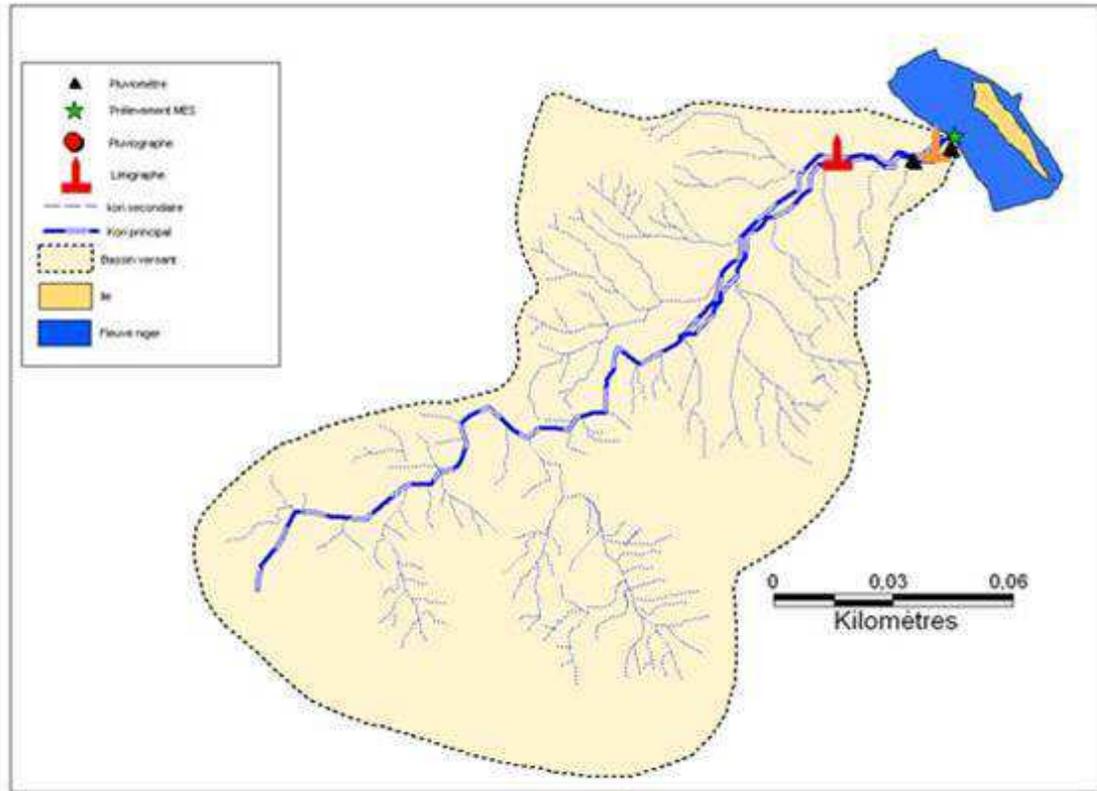


Figure 18: Carte du réseau d'équipements installés dans le bassin versant du kori Boubon



*Figure 19: Carte du réseau d'équipements installés dans le bassin versant du kori Gorou Kirey*



*Photo 5: Camp de terrain installé dans le bassin versant du kori Boubon depuis juin 2007 (localisation X : 390502 ; Y : 1508169)*

## II- 1- La caractérisation de l'évolution diachronique du milieu étudié :-Les données iconographiques : La caractérisation multi temporelle des bassins et du lit des koris

Les données issues de l'interprétation des photographies aériennes et des images satellites ont pour objectif de documenter l'état actuel du milieu, et son évolution au cours des dernières décennies à deux échelles :

- Dans les bassins versants, afin de documenter l'état du bassin à l'heure actuelle et il y a quelques décennies, la progression éventuelle des cultures, des zones érodées, des zones dégradées, des ravines ;
- Des lits des koris, en pointant particulièrement leurs cônes de déjection et le lit du fleuve Niger en amont et en aval immédiat de ces cônes, pour évaluer l'impact des apports des affluents sur la dynamique sédimentaire du fleuve.

Les sources sont résumées dans le tableau 4.

*Tableau 4: Types de supports iconographiques utilisés*

Type de support cartographique	Date	Source
Carte géologique du Niger à 1/100 000.	Feuille Gothèye édition 1998	IGNN
Carte topographique au 1/50 000 de Gothèye	1980	IGNN
Carte topographique au 1/200 000 de Gothèye	1980	IGNN
Carte topographique au 1/50 000 de Niamey 4a	1995	IGNN & JICA
Carte topographique au 1/200 000 de Niamey ND-31-IX	1980	IGNN
Photos aériennes	Mission Niger 1975	IGNN
Image Landsat TM	20 Novembre 1989	Fournie par Agrhymet
Image Spot XS	21 Novembre 2005	Fournie par Agrhymet
Image Spot XS	Juillet 2009	Fournie par Agrhymet

L'étude morphométrique permet de mieux caractériser les bassins versants étudiés et la vallée du fleuve dans cette région. Cela permet de faire une étude diachronique avec un état d'avant « la grande sécheresse » de 1975. Notre travail se base sur des suivis à la fois cartographiques et appuyés de mesures *in situ* de quelques bassins versants de kori «témoins ». Comme nous

l'avons vu dans le chapitre précédent, il s'agit du kori Boubon en rive gauche du fleuve et Gorou Kirey en rive droite (figure 20). Le kori Gorou Banda a été abandonné par manque d'observateur sur place et sachant lire et écrire mais aussi parce que le fond a été transformé en carrière d'extraction de sable pour béton.

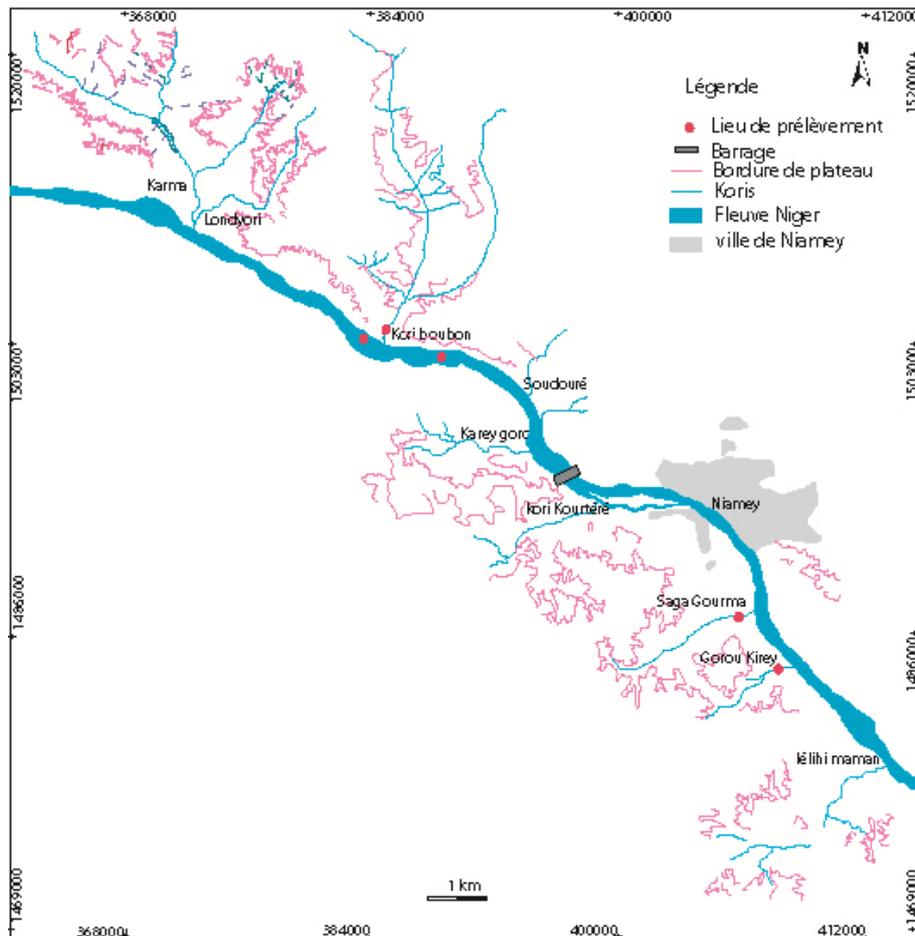


Figure 20: Localisation de quelques koris dans la région de Niamey

Le bassin versant du kori Boubon constitue le principal bassin atelier de cette étude (figure 20). Il est assez représentatif du contexte hydro géomorphologique, hydrologique et géologique régional.

## II- 2- Les mesures et observations sur le terrain – Les suivis à l'échelle des bassins versants des koris

A l'échelle de ces bassins versants, plusieurs paramètres sont mesurés *in situ*, flux d'eau et de sédiments (MES) sur les parcelles d'érosion et dans les koris, mesures topographiques pour évaluer les modifications morpho-sédimentaires des koris (extension du cône, profil en travers

et en long de la partie aval du kori) etc. Plusieurs instruments de mesures ont été installés depuis juin 2007 dans les bassins des koris Boubon et Gorou Kirey, il s'agit, dans les bassins versants du :

- **kori Boubon** : une station météorologique de type Campbell scientifique avec plusieurs capteurs ; 9 pluviomètres à lecture directe répartis dans l'ensemble du bassin versant ; d'un limnigraphe Thalimedes (OTT, Kempten, Allemagne) installé sous le pont en aval du kori ; une batterie de 4 échelles limnimétriques ; 8 parcelles de mesure d'érosion ; 3 piquets de mesures de recul de tête de ravines ; des bornes fixes référencées au niveau des 6 sites de suivis des profils en travers (figure 22) ;

- **kori Gorou Kirey** : un pluviomètre à lecture directe ; un limnigraphe thalimedes installé sous le pont en aval du kori et une batterie de 3 échelles limnimétriques ; 4 bornes fixes référencées sur le cône d'épandage.

## II- 2.1-Les suivis pluviométriques

En début de la campagne de collecte de données (mai 2007), le réseau de pluviomètre (figure 19) a été mis en place car la pluviométrie est un des principaux paramètres de l'étude. Neuf pluviomètres à lecture directe sont répartis le long du kori de Boubon, deux autres dans celui de Gorou Kirey.

Les relevés sont effectués à pied après chaque pluie pour les pluviomètres (photo 6A) proches du camp de permanence et à vélo pour les plus éloignés.



**Photo 6: Pluviomètre à lecture directe installé à mi-bassin du kori Boubon et Pluviomètre enregistreur installé en aval du kori Boubon**

Un pluviographe (Photo 6B) à auget basculant (PM 3030, Précis Mécanique, Bezons, France) muni d'un enregistreur Onset (Hobo, Pocusset, Ma, Etats-Unis) a été installé pendant la

campagne 2008 dans le bassin du kori Boubon avec une fréquence de visite de 2 fois par mois. Les pluviomètres sont équipés d'augets basculants (0,5 mm de hauteur d'eau par basculement), et sont munis d'un cône de 400 cm<sup>2</sup>. Les pluviographes permettent d'avoir les intensités des pluies enregistrées dans ce bassin. La localisation des pluviomètres est signalée sur la figure 18 et les coordonnées en UTM sont fournies dans le tableau 5.

*Tableau 5: Réseau de pluviomètres et pluviographe pour le suivi pluviométrique installé dans le bassin de Boubon*

<b>Pluviomètres installés</b>	<b>Localisation géographique en coordonnées UTM</b>	
<b>B 1 Kohinza Ganda</b>	390488	1508142
<b>B2 Fargorou</b>	387588	1506603
<b>B3 CSI Boubon</b>	384463	1503576
<b>B4</b>	390646	1509348
<b>B5 Kolanga</b>	387233	1505503
<b>B6 Wila Kaina</b>	386903	1508415
<b>B7 Boubon Village</b>	384010	1504234
<b>B8 Kohinza Puits</b>	389598	1508177
<b>B9 Dinki Amont kori</b>	393673	1513866
<b>B10 (pluviographe enregistreur)</b>	384362	1512096

## **II- 2.2-Suivi d'autres paramètres météorologiques locaux**

En juin 2007, une station météorologique (Campbell Scientific, Shepshed, Leicestershire, Royaume Uni) (photo 7) munie de plusieurs capteurs est installée dans le bassin de Boubon. Elle est équipée d'un anémomètre (qui donne la direction du vent et sa vitesse), d'un hygromètre (pour l'humidité atmosphérique), de capteurs de l'humidité du sol (TDR, -time domain reflectometry ; et tensiomètres), un pyranomètre donnant le rayonnement solaire ainsi qu'un pluviographe permettant de connaître l'intensité de la pluie à chaque 30 mn. L'avantage de cette station est qu'elle donne des caractéristiques du climat local avec précision et une grande fréquence temporelle.



*Photo 7: Station météorologique type Campbell avec divers capteurs*

Cette station enregistre automatiquement les données sur l'humidité des sols (à diverses profondeurs -50 et -70 cm du sol). De plus la station est munie d'un pluviomètre enregistreur au sol.

### **II- 2.3-Caractérisation du ruissellement et de l'érosion des versants dans les bassins étudiés**

Nous étudions les pertes en terres et le ruissellement selon les états de surface et les occupations de sol les plus représentatifs de la région de Niamey. Les dispositifs expérimentaux sont inspirés des auteurs comme Wischmeier et Roose et bien d'autres auteurs, relatifs à l'étude de l'érosion hydrique. Le dispositif comprend huit (8) parcelles de mesure d'érosion de 10m<sup>2</sup> (largeur 2 m et longueur 5 m) chacune, installées en juin 2007 sur le site de Ko Hinza (13°38'22 N et 01°59'10 E) dans le bassin versant du kori Boubon (tableau 6). Il présente des états de surface différents, représentés ici par quatre (4) parcelles de jachère dont deux ont plus de quatre arbustes, les deux autres ont moins de trois arbustes ; deux parcelles à croûte d'érosion et deux parcelles de mil. La répétition par état de surface, préconisée par (Nouvelot, 1993) a été prise en compte. Ces états de surface choisis sont assez représentatifs de l'occupation des sols dans ce terroir. Les parcelles sont isolées de l'extérieur par des bordures en ciment suffisamment hautes afin d'éviter tout débordement latéral. A l'aval, un canal de réception dirige les eaux et les terres érodées vers un système de collecte dans les

fûts de 200 litres (tonneau), et des fûts de 1000 litres pour les parcelles de croûte d'érosion. Trois seaux gradués sont disponibles en cas de débordement des fûts.

Un pluviographe enregistreur et neuf pluviomètres à lecture directe (tableau 5), (dont un sur le site d'expérimentation de parcelle de mesures d'érosion et les autres installés tout au long du kori d'amont en aval, permettant de mesurer la hauteur d'eau tombée après chaque pluie).

*Tableau 6: Présentation des parcelles de mesure d'érosion du sol*

N° de la parcelle	Etats de surfaces des parcelles	Superficiés des parcelles	Dimension des parcelles	Coordonnées (UTM) des parcelles	
P1	Jachère	10 m <sup>2</sup>	Largeur : 2m Longueur : 5 m	390707	1508250
P2		10 m <sup>2</sup>		390710	1508254
P3	Croûte d'érosion	10 m <sup>2</sup>		390746	1508238
P4		10 m <sup>2</sup>		390749	1508235
P5	Mil	10 m <sup>2</sup>		390801	1508267
P6		10 m <sup>2</sup>		390803	1508270
P7	Jachère à 2 buttes	10 m <sup>2</sup>		390764	1508255
P8		10 m <sup>2</sup>		390761	1508257



A

B

*Photo 8: Des parcelles d'érosion sur un versant du bassin Boubon en juillet 2008 : 2 répétitions sur mil et sur croûte d'érosion.*

A partir de ce type de parcelle (photo 8), nous mesurons le ruissellement et les pertes en terres. D'après Casenave et Valentin (1989), les écoulements de surface en zone sahélienne sont régis presque exclusivement par les propriétés de la surface du sol.

## **II- 3-Les suivis des koris : mesures des flux d'eau et de sédiment, caractérisation des changements morpho-sédimentaires**

### **II- 3.1-Les suivis hydrométriques des koris de Boubon et de Gorou Kirey**

Il était indispensable de mesurer les débits des koris pendant les saisons des pluies, car aucune donnée n'existait sur ces cours d'eau intermittents.

Deux hydromètres type OTT enregistreurs sont installés aux ponts des koris Boubon (Photo 9) et Gorou Kirey. Des jaugeages aux flotteurs ont été faits sur le kori de Boubon afin de tracer une courbe d'étalonnage sachant qu'on a installé des échelles de crue pour le préleveur.



*Photo 9: Echelle de crue et tube protégeant le flotteur d'un limnigraphe type Thalimedes OTT installées sous le pont du kori de Boubon depuis juin 2007*

Les jaugeages aux flotteurs sont effectués sur le kori Boubon sur une section assez rectiligne du kori afin de mesurer les vitesses d'écoulement du kori. Les apports latéraux du drain secondaire au niveau de la section de jaugeage constituent la principale difficulté rencontrée d'où la nécessité d'effectuer plusieurs tests aux cours de ces jaugeages.

Ces appareils installés (tableau 7) ont nécessité un suivi régulier des moyens logistiques en temps réel des crues. Ces moyens ont énormément fait défaut lors de ces suivis effectués pour la plupart à moto et avec un personnel d'appui limité (1 stagiaire en maîtrise de géographie).

## II- 3.2- Les relevés de turbidité MES dans les koris en crue de Boubon et Gorou Kirey

La quantification des flux de matières en suspension nécessite des mesures de concentration des MES, en continu, événementielles ou ponctuelles dans le temps (Ramez, 1995, Fiandino, 2004).

*Tableau 7: Récapitulatifs des instruments hydromètres installés et les sites de prélèvements dans les bassins versants de Boubon et Gorou Kirey et sur le fleuve Niger en 2008-2009*

Type d'instruments	Date d'installation	Localisation	Crues enregistrés et nombres d'échantillons MES prélevés	Opérationnalités
<b>Hydromètre de Boubon</b>	Juin 2008	13°36'56.84"N 1°56'19.55"E	35 crues plus 400 échantillons prélevés	Mauvaise en 2008
<b>Hydromètre de Gorou Kirey</b>	Juin 2007	13°25'28.49"N 2° 8'41.66"E	19 crues et 179 échantillons prélevés en 2009	Mauvaise en 2008 et 2009
<b>Site de prélèvement MES sur le fleuve Niger</b>				
<b>Ile de Boubon</b>	Juillet 2008	Amont confluence fleuve et kori Boubon	215 échantillons prélevés	De juillet à septembre en 2008 et 2009
<b>Banituri</b>	Juillet 2008	Amont confluence fleuve et kori Boubon	215 échantillons prélevés	De juillet à septembre en 2008 et 2009
<b>Niamey</b>	Depuis 2006 (thèse Amugo 2009)	pont Kennedy	plus de 800 échantillons prélevés	Des interruptions

Faute de disposer d'appareil préleveur automatique, nous avons opté pour les prélèvements événementiels et ponctuels au pas de temps de cinq minutes à la montée et dix minutes à la descente de la crue. Les conditions météorologiques conditionnent la campagne de mesures.

## II- 3.3-Les prélèvements des MES dans le fleuve Niger

Les prises d'échantillons d'eau dans le Niger ont été effectuées en aval et en amont des confluences de ces koris au fleuve. Un échantillon a été pris chaque jour en mentionnant l'heure et la date dans les secteurs clés déterminés au préalable à Banituri (en aval de la confluence du kori Boubon), au niveau de Boubon île en amont) et à Niamey au niveau du pont Kennedy (tableau 8).

Les prélèvements d'échantillons MES (photo 10) se font aussi sur les koris aux ponts de Boubon et Gorou Kirey pendant les crues au pas de temps de cinq minutes à la montée et dix minutes à la descente des eaux ou selon les variations de la cote à l'échelle. Ces prélèvements sont couplés aux lectures d'échelles installées sous les deux ponts.

*Tableau 8: Récapitulatifs des échantillons par site*

Nom du site de prélèvement	Localisation	Type de prélèvement	Nombre d'échantillons
<b>Boubon île</b>	Amont confluence kori Boubon au fleuve Niger	journalier	Environ 100 échantillons prélevés par saison de pluie et par site
<b>Banituri</b>	Amont confluence kori Boubon au fleuve Niger	journalier	
<b>Niamey</b>	Pont Kennedy	journalier	Depuis 2006
<b>Gorou Kirey</b>	A la Pilule	journalier	Site abandonné par manque de préleveur et irrégularité des prélèvements



*Photo 10: Echantillons prélevés et en cours de traitement par décantation et évaporation à l'étuve au laboratoire du département de Géographie à Niamey en octobre 2009*

### **II- 3.4-Les pièges à sédiments**

Des pièges à sédiments (trappes et tapis), (photo 11) ont été installés au niveau du pont dans le fond du kori Boubon.



*Photo 11: Tapis et trappes à sédiments installés dans le bassin versant du kori Boubon*

Malheureusement ces pièges ont été à chaque fois vandalisés ou emportés par la crue.

## **II- 3.5- Caractérisation du fonctionnement hydro sédimentaire des koris affluents**

### *II- 3.5.1-L'évolution topo-sédimentaire*

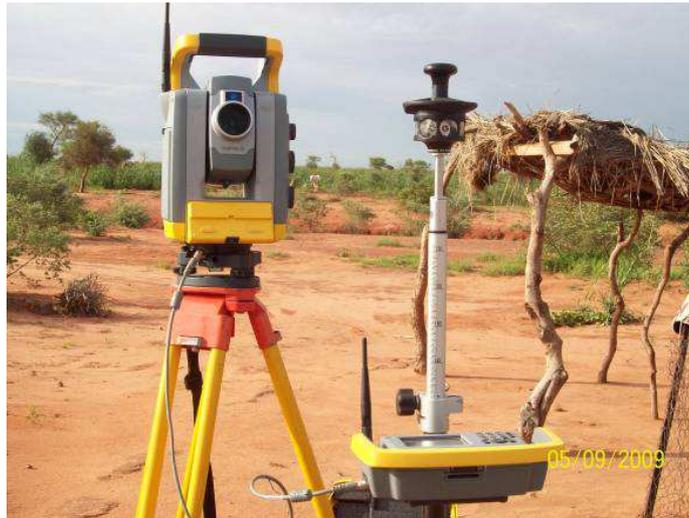
Le lit des koris dans leur section aval et sur le cône qu'ils forment au débouché avec le Niger ont été suivis avec précision afin d'évaluer les changements topographiques et ainsi en déduire les volumes sédimentaires déposés et/ou érodés. Il s'agit d'évaluer avec précision :

- les apports de sédiment par l'amont du kori
- les apports de sédiment par l'érosion des berges et leur mobilisation par le fleuve.

Des suivis des formes alluviales ont été effectués par des levés topographiques précis : évolution des berges, profil en travers et profil en long de la partie aval des koris.



A



*B*

*Photo 12: A et B : GPS différentiel utilisé à l'installation des bases de mesures topographiques et station totale de type Trimble S3 utilisée pour les mesures et suivis topographiques*

Deux bases topographiques permanentes ont été installées et matérialisées sur le terrain avec du ciment ; elles ont servi à la détermination de points précisément positionnés. A partir de là, deux missions annuelles de collecte de données topographiques haute précision ont été effectuées en 2008 et 2009. Au cours de la première phase, le matériel est composé d'un DGPS 6501 SK–MK de la marque Thalès Navigation (Photo 12A) pour la phase d'identification et bornage des sites de mesure. L'objectif est de :

- Étudier la faisabilité des suivis sédimentaires annuels et par crue à l'échelle des bassins étudiés ;
- Poser des bornes géo référencées et matérialisées par des socles cimentés à l'aide d'un DGPS pour un suivi topographique à la station totale (photo 12B) des cônes d'épandage des koris de Boubon, Gourou Banda et Gourou Kirey ;
- Borner et identifier les 6 profils en travers (tableau 9) dans la partie aval du kori de Boubon.

### **II- 3.5.2-Suivi des profils en travers sur le kori Boubon**

Ces mesures topographiques sur des profils en travers (tableau 9) sont effectuées avec une station totale de type Trimble avant et à la fin de chaque saison des pluies et sont couplées à des prélèvements de sédiments en vue d'analyses granulométriques.

*Tableau 9: Liste de profils en travers suivis dans la partie aval du kori Boubon*

<b>Points berges</b>	<b>Coordonnées X et Y</b>	<b>Altitude</b>
<b>Profil N°1</b>	N 13° 35'.720 -E 1° 56.159	178 m
	N 13° 35.762- E 1° 55.915	180 m
<b>Profil N°2</b>	N 13° 35.866 –E 1° 55.901	183 m
	N 13° 35.840- E 1° 56.069	178 m
<b>Profil N°3</b>	N 13° 35.901- E 1° 56.071	170 m
	N 13° 35.908- E 1° 55.929	181 m
<b>Profil N°4</b>	N 13° 35.959- E 1° 55.935	185 m
	N 13° 35.959 –E 1° 55.935	185 m
<b>Profil N°5</b>	N 13° 36.010- E 1° 56.009	184 m
	N 13° 36.050 –E 1° 55.967	192 m
<b>Profil N°6</b>	N 13° 36.026 -E 1° 55.916	183 m
	N 13°37.109- E 1° 56.382	185 m

Des profils en long sont réalisés dans la partie aval des koris en début et fin de saison de pluies (fin septembre).



*Photo 13: Suivi du profil topographique par la méthode d'implantation point par point du profil en travers N°3 sur le kori Boubon en juillet 2009*

La méthode de mesure consiste à effectuer des levés topographiques par implantation point par point (photo13) et d'un point A1 (sur la berge droite du kori) au point A2 (sur la berge gauche) du profil en travers (tableau 9) en question et après crue enregistrée dans le bassin versant. Les mesures sur les profils en travers (figure 21) et en long sont effectuées avec une station totale de type Trimble S3.

Ainsi six profils en travers identifiés (figure 21) sont mesurés après chaque crue dans la partie aval du bassin du kori Boubon. A ceci s'ajoutent les mesures des limites de berges effectuées afin d'évaluer leur érosion.

La comparaison des profils permet d'évaluer précisément les volumes qui ont été érodés ou sédimentés par chaque crue. De même, pour les berges, le suivi de leur tracé permet de mettre en évidence le rôle du recul des berges des koris sur l'ensablement du fleuve Niger.

Ces repères fixes sont matérialisés par des bornes pour les suivis topographiques haute précision et à long terme dans la zone d'étude.

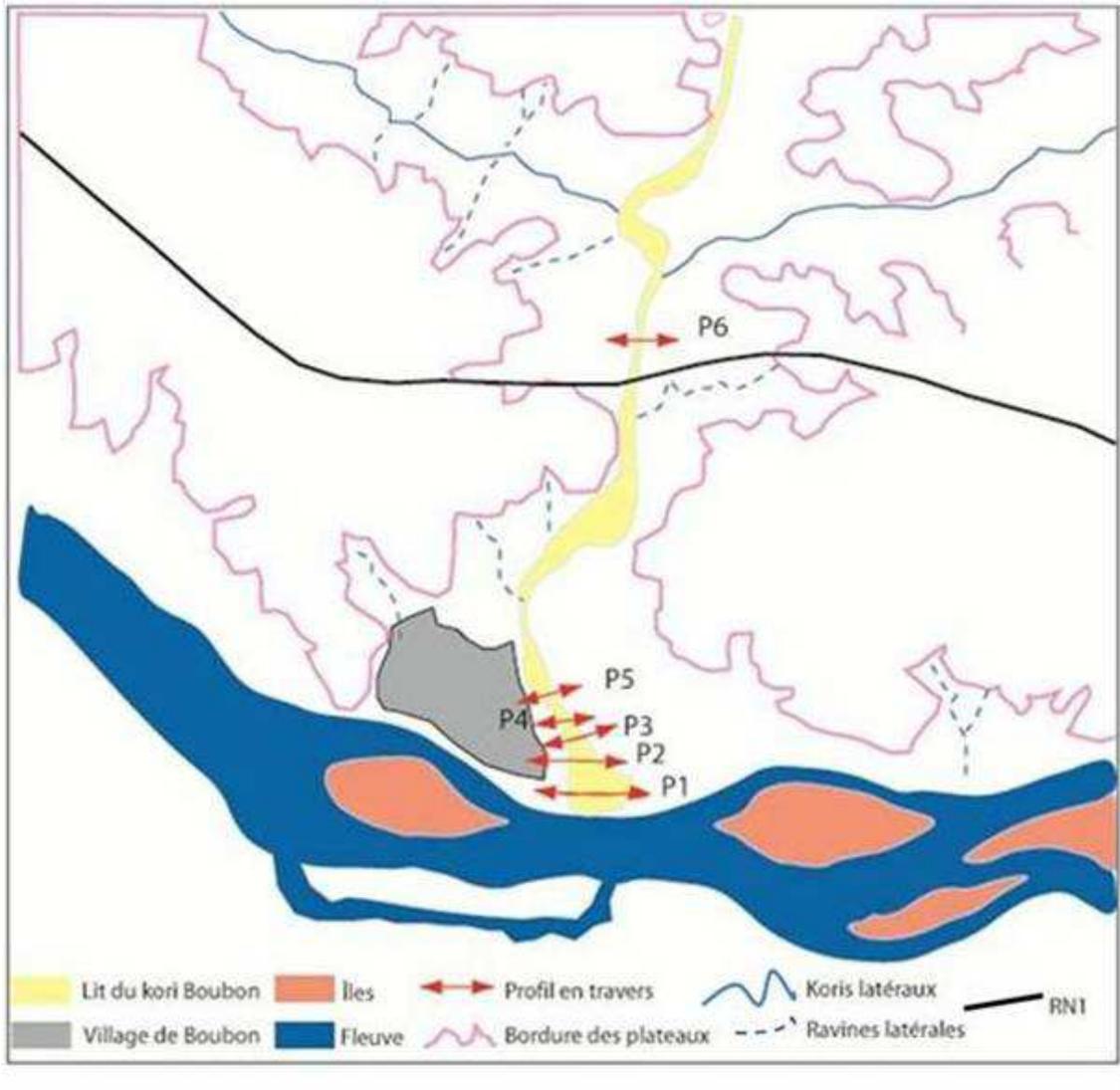


Figure 21: Localisation des profils en travers suivis à l'aide d'une station totale sur le kori Boubon



Photo 14: Matérialisation d'une borne et Borne Numéro P51 sur le kori Boubon

Les différents points A1 et A2 des six profils en travers ont été bornés, bétonnés et levés au GPS différentiel (photo 14).

### *II- 3.5.3-Suivis topo-sédimentaires et modèles numériques de terrain des cônes de déjection des koris*

Les relevés topographiques précis des cônes de déjection des koris permettent d'évaluer les apports sédimentaires (Chang, 1988 ; Gautier et al. 2001), des koris au fleuve Niger. Un semis de points plus denses sur l'ensemble du cône permet de construire des Modèles Numériques de Terrain. Leur comparaison permet, tout comme sur les profils mais sur les surfaces plus étendues, d'estimer assez finement le remaniement des sédiments. Sur les cônes, la donnée terrestre levée par station totale est prolongée sous l'eau par les mesures bathymétriques effectuées au droit des cônes, mais aussi en amont et en aval.

Le profil en long couplé avec une analyse du paysage nous a permis de mieux distinguer les fonctionnements de différentes unités hydro géomorphologiques de l'amont vers l'aval (Allee et al. 1981).

A travers cette analyse géomorphologique couplée aux levés topographiques des ravines principales (photo 15), nous pouvons définir les rôles que jouent toutes les composantes du



*Photo 15: Levé topographique continu pour la production d'un MNT de début de campagne sur le cône d'épandage du kori Gorou Kirey*

paysage des bassins dans la dynamique globale (occupation du sol, usage des sols, importance du couvert végétal, forme des lits) des bassins versants. Ceci nous a permis de mieux définir et caractériser les unités géodynamiques des bassins.

### *II- 3.5.4-Mesures bathymétriques et suivi des îles sur le fleuve Niger : secteurs de Boubon et Gorou Kirey*

La bathymétrie, qui étudie les reliefs immergés, s'apparente à la topographie terrestre. Cependant le levé bathymétrique a lieu « en aveugle », ce qui implique une méthodologie particulière (Hewé Pujo 1995).

Des mesures bathymétriques sont réalisées pendant les deux crues annuelles que connaît le fleuve Niger dans la région de Niamey : la crue locale (entre fin août et début septembre) et la crue guinéenne (décembre à janvier) (Photo 16).



*Photo 16: Mesures à l'échosondeur sur le fleuve Niger dans le secteur de Boubon*

Ces mesures ont pour objectif de caractériser précisément la mobilité du lit du fleuve et ainsi, indirectement d'évaluer les apports sédimentaires des koris au fleuve et leur reprise en charge par les crues du fleuve. Nous utilisons une sonde échosondeur embarquée et couplée d'un récepteur satellite et un zodiac (AGRHYMET) ou un bateau du Club nautique de Niamey plus puissant en cas de crue très forte sur le fleuve.

## **II- 4- Les enquêtes et interviews**

Des enquêtes auprès de l'Autorité du Bassin du Niger, des usagers du lit du fleuve, des experts ont pour objectif la collecte d'informations documentaires et iconographiques et surtout historiques. Un guide d'entretien est appliqué aux usagers de la vallée du fleuve à

Boubon et Gorou kirey. En plus nous avons participé à plusieurs assemblées villageoises organisées par les autorités locales et les ONG intervenant dans ces secteurs.

## **II- 5-Les difficultés rencontrées au cours de l'étude**

Durant les différentes campagnes de collecte de données (depuis mai à fin septembre) en 2007, 2008, 2009, la principale difficulté est liée à la disponibilité de véhicule de terrain. Le PLCE /ABN s'est engagé à fournir 40 jours de véhicule avec chauffeur et carburant chaque année (convention signée par le Secrétaire Exécutif de l'ABN). Mais sur les 15 mois de collecte de données entre 2007 et 2009, nous n'avons pu bénéficier que de 22 jours d'appui. L'essentiel de la logistique a donc été assurée à vélo ou moto et avec les appuis véhicules d'autres programmes (Eclis, AMMA etc.) et chercheurs de l'IRD (comme Rajot Jean-Louis), du département de géographie et les emprunts des véhicules particuliers (Directeur de thèse).

Au cours des trois années de campagnes de collecte de données, la principale difficulté était liée à l'accessibilité des sites de mesure en temps réel des événements pluvieux.

Les manipulations et prélèvements pendant les crues des koris nécessitent un travail d'équipe (avec au moins 3 personnes, cas des jaugeages aux flotteurs) sans compter qu'en général, les pluies dans la région de Niamey arrivent entre 16h -19h pour les systèmes de convection locale, entre 2h à 7h du matin pour les lignes de grain.

La main d'œuvre locale est analphabète. Nous avons abandonné les observations dans le bassin de Gorou Banda par manque d'observateurs locaux sachant lire et écrire. Il est important de rappeler que l'acquisition des appareils nécessite des coûts importants et ceci n'a pas permis d'instrumenter certains bassins versants de contrôle. Les DGPS, station totale et échosondeur ont été prêtés par notre laboratoire d'accueil, le Laboratoire de Géographie Physique (CNRS – Université Paris 1).

### **Conclusion partielle**

On distingue d'une part, le traitement des données existantes fournies par l'IRD (météorologie) et par l'ABN (hydrologie du fleuve) et, d'autre part, les données qui ont été acquises dans le cadre de cette thèse, en particulier les données hydrologiques et sédimentaires des koris affluents.

Ainsi, notre démarche cherche à intégrer l'ensemble des composantes du système, dans la mesure où on quantifie :

- les volumes ruisselés et arrachés aux versants par le biais des parcelles d'érosion ;
- les volumes d'eau et de sédiments transitant dans le lit des koris jusqu'au fleuve Niger lui-même ; une part de ces sédiments provenant de l'amont du kori, une autre part étant injectée par le recul des berges ;
- la remobilisation des sédiments par le fleuve Niger.

On utilise comme outils, des mesures *in situ* tels que les relevés topographiques de haute précision, les parcelles d'érosion, les stations hydrologiques, les prélèvements des MES en plus des suivis cartographiques diachroniques (Piegay et Bethemont 1998). Il s'agit de déterminer les comportements hydro-érosifs et sédimentaires de trois bassins versants témoins des koris de Boubon, Gorou Banda, Gorou Kirey et leurs relations avec le fleuve lui-même.



### **CHAPITRE III : CADRE GEOGRAPHIQUE GENERAL DE L'ETUDE-SPECIFICITES DE LA REGION DE NIAMEY ET DES BASSINS VERSANTS DES KORIS ETUDIES**

Cette partie de notre travail est une présentation globale de la vallée de fleuve Niger et particulièrement la région de Niamey avec une description des spécificités géographiques locales à travers l'étude des aspects humains et géodynamiques des bassins versants observés.

Quatrième fleuve d'Afrique et le neuvième du monde par sa longueur, le Niger est long de 4200 km. Le bassin du fleuve Niger s'étend sur 9 pays d'Afrique de l'Ouest et Centrale : Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Guinée, Mali, Niger avec 22% du bassin (tableau 10), Nigeria ; en plus de l'Algérie et la Mauritanie mais sans contribuer à l'écoulement (figure 22). Il s'agit du deuxième fleuve d'Afrique en débit, après le Congo. Il traverse plusieurs pays sahéliens où la gestion durable des ressources en eau est une priorité nationale (Brunet Moret, et al.1986).

Le Niger roule des eaux abondantes en amont de Bamako comme à l'aval de Kainji, traverse entre ces deux zones, de vastes espaces qui vont de la savane au désert, le tout occupé par des populations aux cultures et aux activités économiques trop différentes pour que le fleuve serve de trait d'union entre ces vastes espaces (Béthémont 2003).

Le bassin actif du Niger couvre une superficie de 1 500000 km<sup>2</sup> (figure 22). Ce fleuve connaît une variabilité hydrologique très importante depuis le début de la période de sécheresse vers 1970, qui concerne l'ensemble du bassin, avec cependant des conséquences paradoxales selon que l'on se situe dans les parties humides ou sahéliennes du bassin.

Des 1500000 km<sup>2</sup> du bassin total du fleuve Niger, la région de Niamey (40 km amont et 30 km aval de la ville de Niamey) se caractérise par une dynamique hydro-sédimentaire très active. Dans cette région, l'hydrologie est dominée par la vallée du fleuve Niger mais aussi par la présence d'une multitude de koris alimentant cette vallée. Les koris les plus importants sont : Karma, Boubon, Soudouré et Gountiyéna en rive gauche ; Karey Gorou, Kourtéré, Saga Gourma, Gorou Banda, Gorou Kirey et Lélihil, en rive droite. Ils connaissent une dynamique active depuis les années 1950, comme nous l'avons vu précédemment.

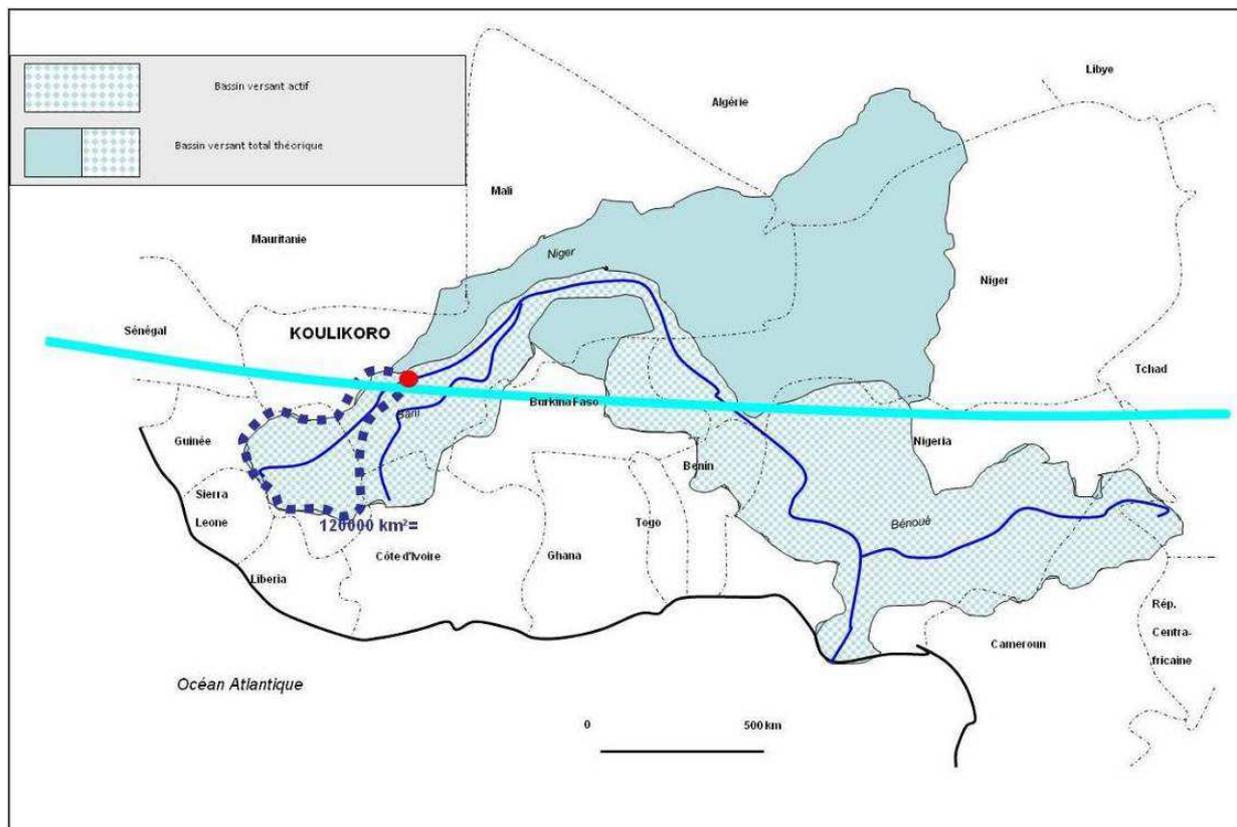


Figure 22: Carte du bassin versant du fleuve Niger (Descroix et al. 2009).

### III- 1 -Le bassin du fleuve Niger et son cours moyen

#### III- 1.1-Le bassin du fleuve Niger et le processus de la vision partagée des pays membres de l’Autorité du Bassin du fleuve Niger (ABN)

Le bassin du Niger abrite plus de 100 millions d’habitants. De par la variété et la diversité de son climat, de son relief et de sa couverture géologique, le bassin dispose d’un potentiel important en ressources naturelles (eaux, terre et biodiversité), énergétiques, minières, touristiques et culturelles. Il revêt de ce fait une importance capitale pour l’économie et le développement socio culturel. Il joue des fonctions vitales tant pour l’alimentation en eau et la santé des populations que pour le développement de très nombreuses activités socio-économiques (agriculture, élevage, sylviculture, pêche, industrie, énergie, navigation, tourisme, artisanat), des pays membres de l’ABN.

#### III- 1.2-Le cours du moyen Niger dans la partie nigérienne

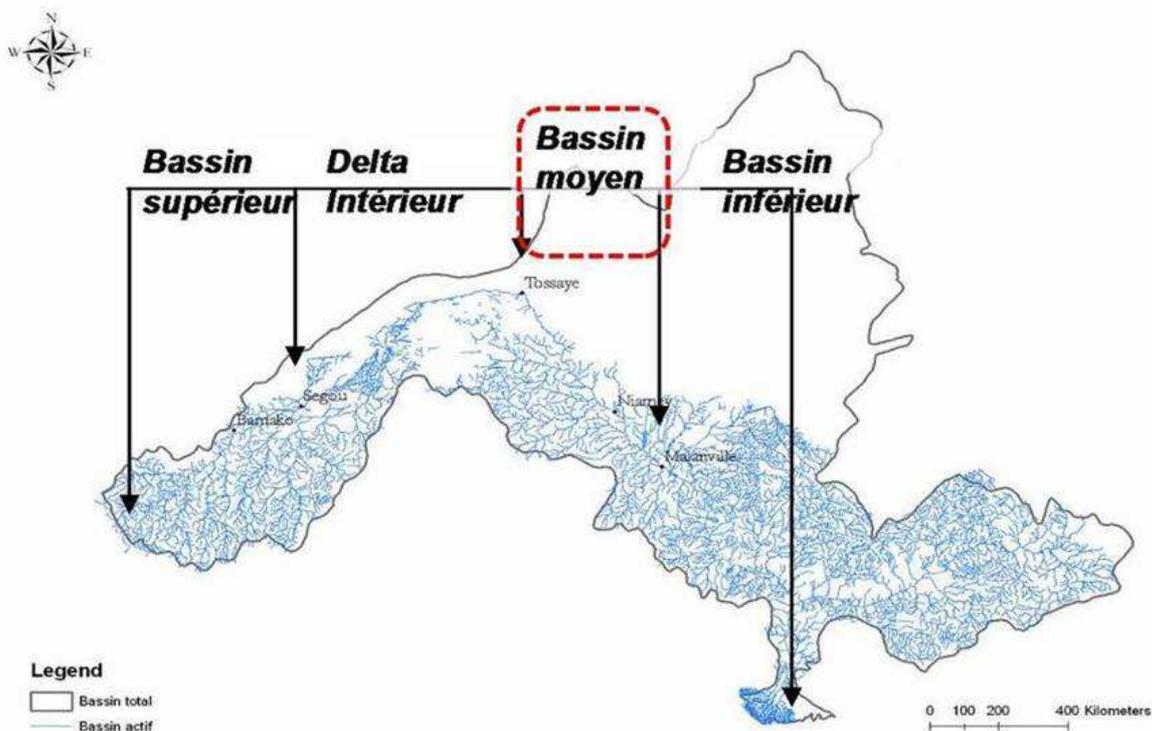
Le moyen Niger, comprend le bief qui va de la sortie du delta intérieur à Tossaye au Mali jusqu’à Malanville au Bénin (figure 23). La partie nigérienne fait environ 22% du bassin du

Moyen Niger (tableau 10). La vallée du fleuve Niger dans la région de Niamey, forme une bande de 10 km à partir du fleuve où les sols sont riches et les eaux superficielles et souterraines sont disponibles. L'irrigation, la pêche, les cultures fruitières et maraichères y sont pratiquées. La plaine du fleuve offre de fortes possibilités de développement de l'agriculture irriguée. Cette partie centrale de la vallée du fleuve a connu des efforts significatifs pour la diffusion des périmètres irrigués.

Le long du fleuve, la superficie aménagée au Niger concerne environ 8 500 ha, répartis en aménagements hydro-agricoles (photo 17) équipés de stations de pompage (Guengant et Banoin 2003). Cependant, les niveaux de mobilisation et d'exploitation de la ressource sont très faibles au regard des potentialités de la région (Béthemont 1995).



*Photo 17: Rizières de décrue dans le lit majeur du fleuve Niger près de la ville de Niamey*



*Figure 23: Carte du bassin actif du fleuve Niger ; le cours du moyen Niger, bief compris entre Tossaye (Mali) et Malanville (Bénin)*

A cette sous-exploitation s'ajoutent la vétusté et le faible niveau de maintenance des installations d'irrigation existantes, les contraintes organisationnelles ainsi que les handicaps physiques tels que la salinisation des sols, qui est liée soit à l'utilisation des eaux avec une certaine teneur de sel, soit à l'utilisation de fortes doses d'engrais.

*Tableau 10: Pays concernés par le bassin du fleuve Niger (Ministère des Ressources en Eaux et Programme des Nations unies pour le développement, 2001)*

Pays	Guinée	Mali	Côte d'ivoire	Niger	Burkina Faso	Bénin	Nigeria	Cameroun	Tchad	Algérie
Superficie en milliers de Km <sup>2</sup>	130	490	20	430	75	45	650	90	10	60
Partie du Bassin dans le pays en %	6	25	1	22	4	2	32	4	1	3

Par ailleurs, les aménagements traditionnels sont distribués tout le long le fleuve. Au niveau des aménagements hydro-agricoles, comme au niveau des aménagements traditionnels, la culture la plus diffusée est la riziculture.

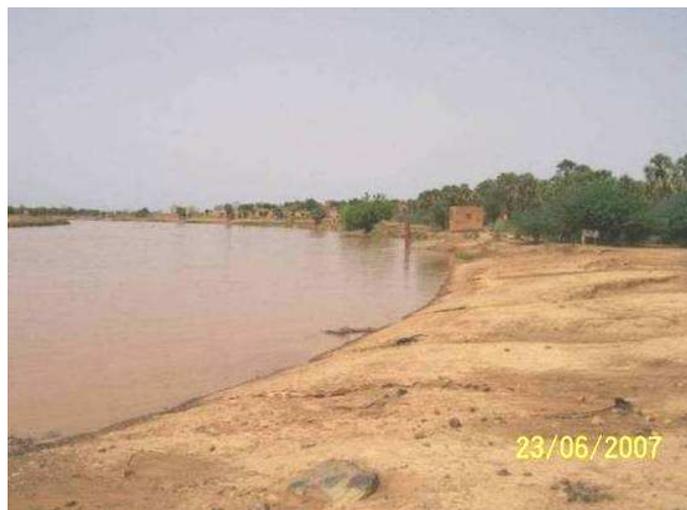
Selon Yahaya 2002, cet espace vital doit être protégé. La vallée du fleuve est une source de ressources diverses : hydro-électriques, agro-pastorales, culturelles et touristiques (photo 18).

Le fleuve Niger traverse le Niger sur plus de 550 km de la frontière nigéro malienne (amont d'Ayorou jusqu'à la sortie en amont de Gaya au Niger). Le fleuve Niger reçoit les apports d'une multitude d'affluents principalement sur sa rive droite depuis sa sortie du delta inférieur.

Dans la partie nigérienne de son cours moyen, le fleuve Niger reçoit les apports de sept affluents principaux, que sont le Gorouol, la Sirba (photo 19), le Dargol, le Goroubi, le Diamangou, la Tapoa et la Mékrou (figure 24).



*Photo 18: Le fleuve Niger : un espace vital pour la population riveraine*



*Photo 19: La rivière Sirba à Garbé Kourou, principal affluent du fleuve Niger en amont de Niamey*

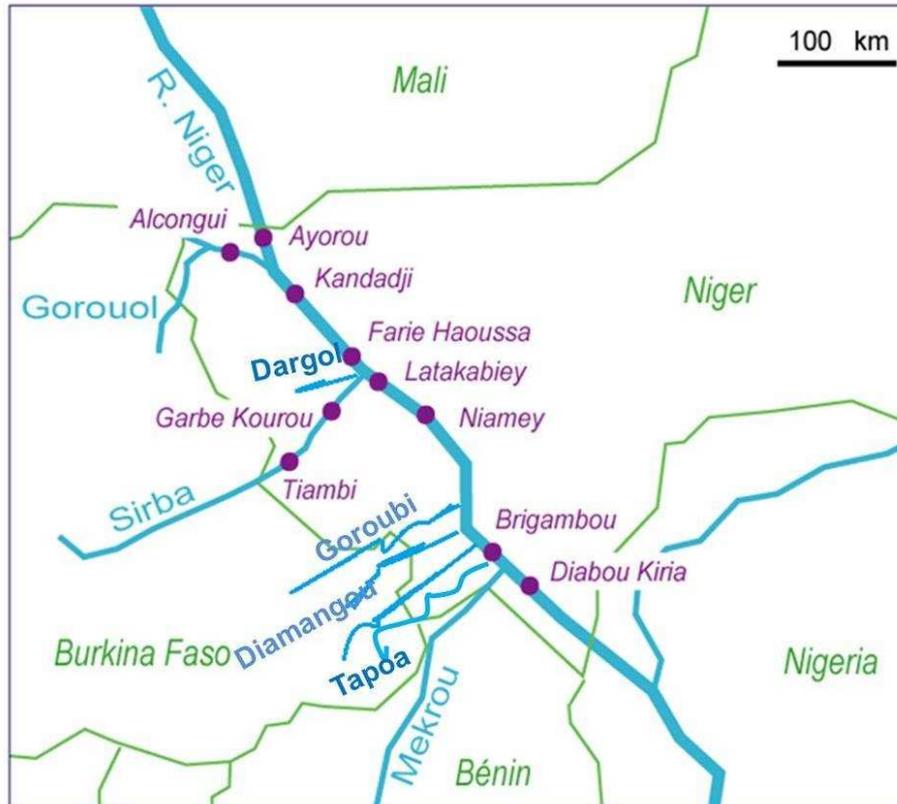


Figure 24: Le fleuve Niger et ses affluents au Niger

### III- 1.3 -Le fleuve Niger dans la région de Niamey

Le lit du fleuve Niger repose sur les granites du Liptako de la frontière jusqu'aux environs de Gothèye, puis peu à peu, sur les dépôts du Continental Terminal qui dissimulent le socle. Enfin, de Kirtachi à Gaya il repose sur des grès et quartzites voltaïens. Le régime du fleuve est de type tropical boréal à la station de Niamey, (Loup 1974). Le régime du fleuve Niger à Niamey est inversé par rapport à l'amont, avec un maximum en janvier - février ( $1\ 800$  à  $1\ 900\ m^3\ s^{-1}$ ) et un minimum en avril ou mai ( $30 - 80\ m^3$ ). Son module moyen est de  $850\ m^3\ s^{-1}$ . Il traverse un plateau entre les cotes 220 et 150 m et la pente moyenne de son lit varie de la manière suivante (tableau 11).

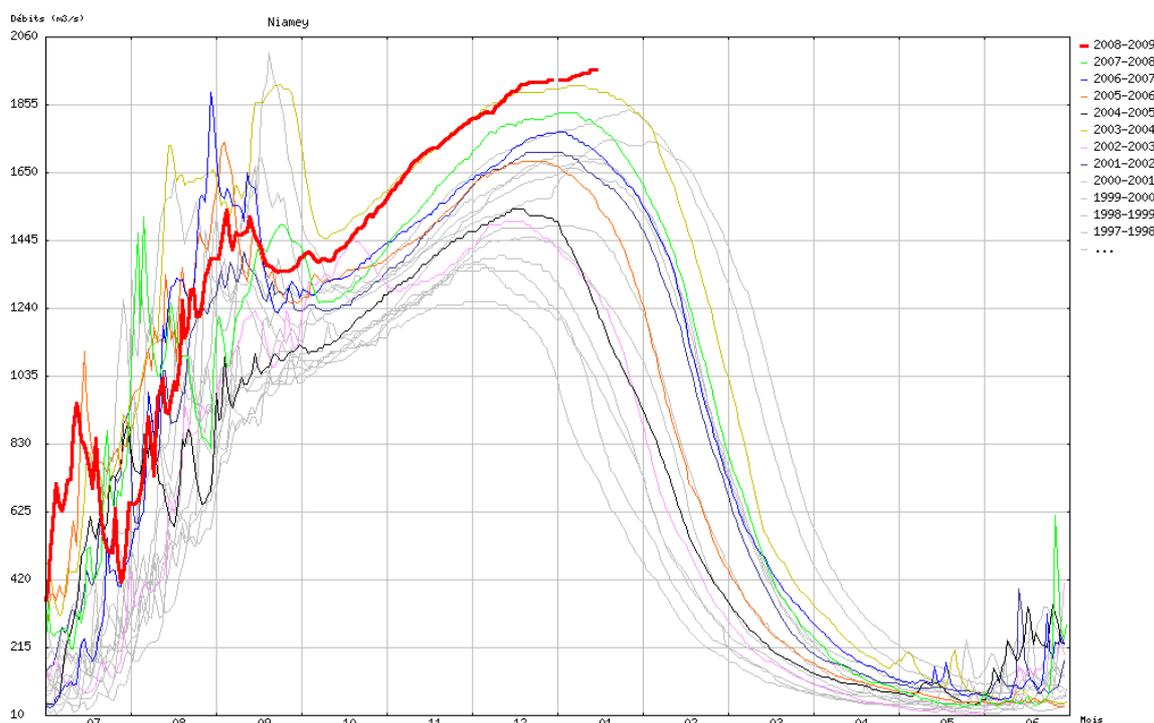
Tableau 11: Evolution de la pente moyenne (en pour mille) du lit du fleuve au Niger

Biefs	Bief Firgoun - Tillabéri	Bief Tillabéri - Niamey	Bief Niamey - Gaya
Pente moyenne du lit fleuve Niger	0,027	0,16	0,07

Le fleuve comporte deux plaines d'inondation de faible importance en amont et en aval de Gothèye, longues respectivement de 12 et 5 km avec moins d'un km de large. Les plaines d'inondation du fleuve Niger au Niger occupent au total 63 000 hectares (Olivry, 2002). La pluviométrie est comprise entre 150 mm par an au nord et 800 mm à l'extrême sud du pays par an. Après avoir décrit le W, de Boumba à Gaya, il devient peu profond. En aval de Gaya, il présente la plus grande zone d'inondation large de 13 km et longue d'une trentaine de km, à la confluence du Dallol Maouri / Foga.

Le fleuve Niger connaît deux crues annuelles dans la région de Niamey (figure 25) :

- la première crue en saison humide appelée « crue rouge » (photo 20) avec des eaux très chargées en sédiments. Cette crue qui se produit en général en septembre est liée aux pluies d'été locales ;
- la seconde crue ou « crue blanche », crue guinéenne (photo 21) commence en décembre avec l'arrivée de la crue amont, qui met plusieurs mois à se propager.



**Figure 25: Régime hydrologique du fleuve Niger à Niamey entre 1990 à 2009 : deux pics de crue bien distincts (CRP/AOC-HYCOS)**

A Niamey, les mois de mai à juin sont les mois de basses eaux du fleuve Niger (photo 22 et photo 23). Son régime hydrologique est directement lié à la pluviométrie dans le bassin versant (Dessouassi 2002). Les hautes eaux sont observées en septembre – octobre et en

janvier – février, tandis que les basses eaux apparaissent en juillet pour la période 1952 – 1970 et en mai – juin depuis 1981 (Billon 1985). Le débit maximal moyen de récurrence décennal qui dépassait  $2\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  jusqu'en 1970, reste inférieur à  $1\,500\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  depuis 1971. Il n'est que de  $1\,200\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  pour la décennie 1981 – 1989 qui paraît la plus sèche.



*Photo 20: Crue rouge du Niger à Niamey, très exceptionnelle en septembre 2010*



*Photo 21: Crue guinéenne (ou crue blanche) du fleuve Niger à Niamey en janvier 2008*

Depuis 1981, les basses eaux interviennent plus tôt en mai – juin avec un débit moyen de l'ordre de  $20\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  et les crues en février ne sont moins observées. Cette situation hydrologique d'étiage sévère peut s'expliquer par la baisse pluviométrique dans le bassin au cours des dernières décennies (photo 23). Par contre, comme nous l'avons vu plus haut, une

hausse de la crue de saison des pluies locales (septembre) est observée au cours de la décennie 1991-1998 traduisant l'accroissement du ruissellement induit par les modifications des états de surface dans le bassin versant, principalement dans la bande sahélienne (Guéro 2003 ; Descroix et al. 2009).



*Photo 22: Étiage du fleuve Niger à Niamey en mai 2009*



*Photo 23: Fleuve Niger à Niamey en période d'étiage, fond occupé par des bancs de sable assez végétalisés en avril 2009*

### **III- 1.4- Hydrologie de la région de Niamey et impacts des pluies exceptionnelles**

Les pluies exceptionnelles enregistrées dans ces bassins sont à l'origine de destructions de ponts et d'autres infrastructures hydrauliques et routières (photo 24). En 2010 par exemple, des ruptures de barrages ont été enregistrées dans le bassin amont de la Sirba (affluent le plus

important en amont de Niamey). En effet, le Sahel dans l'ensemble a connu plusieurs séries de pluies diluviennes entre la deuxième quinzaine du mois d'août et le début du mois de septembre. La crue rouge (été) de l'année 2010 a été exceptionnelle. Les débits maximaux mensuels enregistrés de juillet à septembre 2010 ont été les plus forts jamais enregistrés à cette station pendant ces mois, depuis le début des observations en 1929 avec  $2\,120\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$  le 7 septembre (tableau 12). Cette station a enregistré une hauteur d'eau de 5,66 m pour le maximum atteint le 7 septembre 2010, et le fleuve Niger est sorti de son lit inondant plusieurs quartiers de la ville de Niamey (Lamordé, Karadjé, Zarmagandey) (Photo 25). Les autorités communales de Niamey ont enregistré plus de 6 000 sans-abri. Plusieurs paramètres expliquent la hausse des débits du fleuve à la station de Niamey qui ont atteint les  $2120\text{ m}^3/\text{s}$  (Tableau 12).



*Photo 24: Pont emporté par le kori Soudouré à 14 km de la ville de Niamey (route Tillabéri) en août 2007*

*Tableau 12: Débits du Niger à Niamey pendant les années humides exceptionnelles (Sighomnou et al. 2010)*

Année hydrologique	Q max. (m <sup>3</sup> /s)	Observation			
	Juillet	Août	septembre	annuel	
<b>1967 / 1968</b>	98,7 (le 25-7-67)	959 (le 31-8-67)	1 531 (le 13-9-67)	2 337 (le 10-2-68)	Année la plus humide jamais enregistrée depuis le début des observations en 1929
<b>1969 / 1970</b>	141 (le 25-7-69)	1 078 (le 31-8-69)	1 402 (le 30-9-69)	2 365 (le 3-2-70)	Débit maximum annuel le plus élevé enregistré à Niamey depuis le début des observations en 1929
<b>1998 / 1999</b>	1 249 (le 29-7-98)	1 428 (le 1-8-98)	1 989 (le 19-9-98)	1 989 (le 19-9-98)	Année la plus humide des 4 dernières décennies pendant laquelle la crue locale a causé des inondations à Niamey

<b>2003 / 2004</b>	916 (le 29-7- 03)	1 735 (le 15-8-03)	1 912 (le 23-9-03)	1 912 (le 23-9-03)	Une année récente à hydraulicité moyenne à excédentaire sur le Niger à Niamey
<b>2010 / 2011</b>	1 262 (le 31-7-10)	2 030 (le 6-8-10)	2 120 (le 7-9-10)		Débits exceptionnels à Niamey en août et septembre 2010

La menace d'inondation dans la ville de Niamey provient de deux cours d'eau : le fleuve Niger et ses bras morts, plus le kori Gountiyéna qui traverse la partie nord de la ville avant de se joindre au fleuve (photo 25). D'après la carte établie sur la prévention du risque d'inondation à Niamey, une partie considérable de la ville de Niamey est située en zone inondable par débordement du fleuve à l'occasion des événements à caractère exceptionnel (photo 26).



*Photo 25: Inondation dans la ville de Niamey au mois de septembre 2010*



*Photo 26: Piste pavée et Site du marché fluvial en rive droite de Niamey, près du pont Kennedy inondée par la crue du fleuve le 7 septembre 2010*

Ainsi par exemple, sur la rive droite du Niger à Niamey, les locaux de la Direction technique de l'ABN ainsi qu'une grande partie du CRA seraient inondés en cas de crue de récurrence centennale (soit une hauteur du plan d'eau de 6 m à la station de Niamey).



*Photo 27: Crue rouge du Niger à Niamey en septembre 2010, le niveau d'eau à largement dépassé la cote de 528 cm du 5 octobre 2010 à la station hydrologique de Niamey (aval pont Kennedy)*

Cette station hydrologique a enregistré une hauteur d'eau du fleuve Niger de plus de 5 m en septembre 2010 (photo 27).

### **III- 2. Le Climat régional**

Le climat se définit comme une description des moyennes et des extrêmes météorologiques en un endroit limité (George, 1974). Il est naturellement variable comme en témoigne

l'irrégularité des saisons d'une année sur l'autre dans cette région de Niamey (Traoré Tandia 2007).

### III- 2.1- Les températures et l'évapotranspiration

Les températures annuelles moyennes sont très stables et s'échelonnent entre 25 et 30°C (Sivakumar 1986). Toutefois, les moyennes mensuelles varient selon la saison. On observe deux maxima saisonniers (avril/mai et octobre) et deux minima saisonniers (décembre/ janvier et août).

Dans toutes les régions du pays, les températures les plus élevées (plus de 40°C) (figure 27) sont enregistrées durant la saison sèche, mais plus tôt dans le Sud du pays (avril et mai) que dans le Nord (mai et juin). Durant la saison des pluies, les températures atteignent généralement leurs minima relatifs en août et leurs maxima relatifs vers la fin de la saison (septembre et octobre), (figure 26). L'évaporation moyenne annuelle dépasse les 3000 mm.

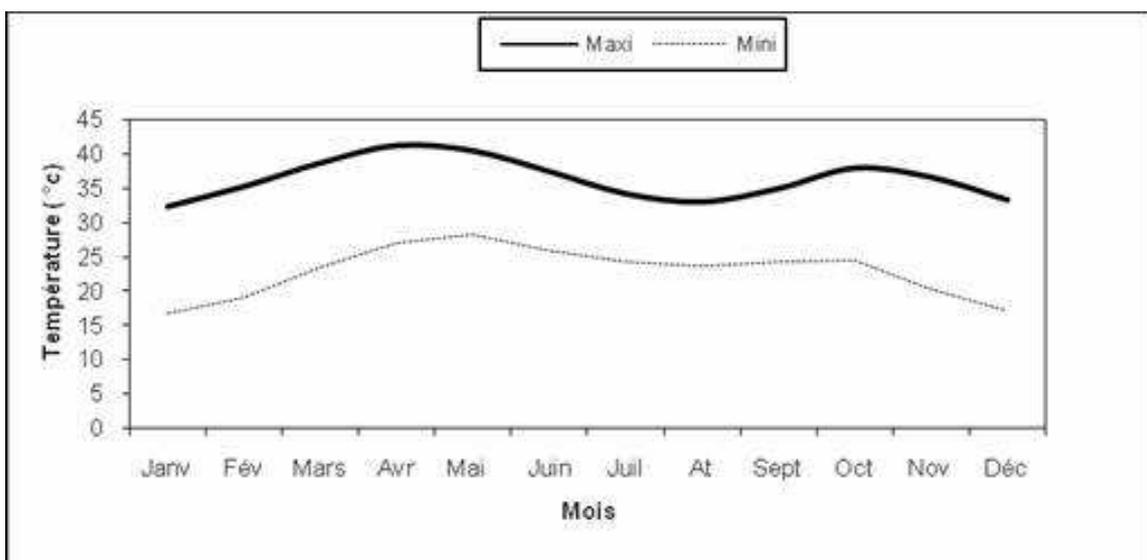


Figure 26: Courbe des températures maxima et minima à Niamey (Direction de la météorologie Nationale)

### III- 2.2- Les précipitations

Le climat de la région de Niamey est un climat tropical semi-aride, avec une saison sèche et une saison pluvieuse bien marquées.

La saison sèche s'étend généralement d'octobre à mai. Elle est caractérisée par des tempêtes de sable et des coups de vent fréquents. Même en saison des pluies, on note l'arrivée de plusieurs grains secs chargés de poussières surtout en début de saison (mai –juin), (photo 28).

Niamey est située en plein cœur du Sahel central, la pluviométrie annuelle est très variable dans l'espace et le temps, (Sultan et al. 2003). Ces perturbations donnent un ciel couvert par des nuages cumuliformes et des grains généralement secs mais accompagnés de tourbillons de sable (photo 28). Selon Janicot (1992) les précipitations engendrées entre février mars sont négligeables dans le cumul annuel.

La baisse moyenne des apports pluviométriques est de 2% entre les périodes 1943-1972 et 1950-1979, puis de 17,2% entre les périodes 1950-1979 et 1961-1990 (Agnew et Chappell, 1999). Depuis plus de quarante ans maintenant, les pays sahéliens d'Afrique de l'ouest et centrale sont soumis à une sévère sécheresse (1968), (figure 28, Mahé et Paturel, 2009).

Cette sécheresse se traduit par des déficits pluviométriques importants, de -15 à -40% (figure 27) pour la période sèche, dont les conséquences sont souvent graves (Servat et al. 1996).

A l'image de l'ensemble du Sahel, la région de Niamey connaît une forte variabilité pluviométrique (figure 27), en 2008 par exemple tous les postes pluviométriques de Wankama, Niamey, Banizoumbou et Boubon ont enregistré des précipitations supérieures à la moyenne de la période de référence sèche (1971-1990). Toutefois, en 2009 (tableau 9), les moyennes enregistrées au niveau de ces postes étaient largement inférieures à la moyenne de la période de référence humide (1951 – 1970), (figure 27). Au vu de la moyenne interannuelle de la période (1979-2008), la pluviométrie de l'année 2009 a été déficitaire avec un cumul moyen annuel de pluviométrie de 432,5mm.

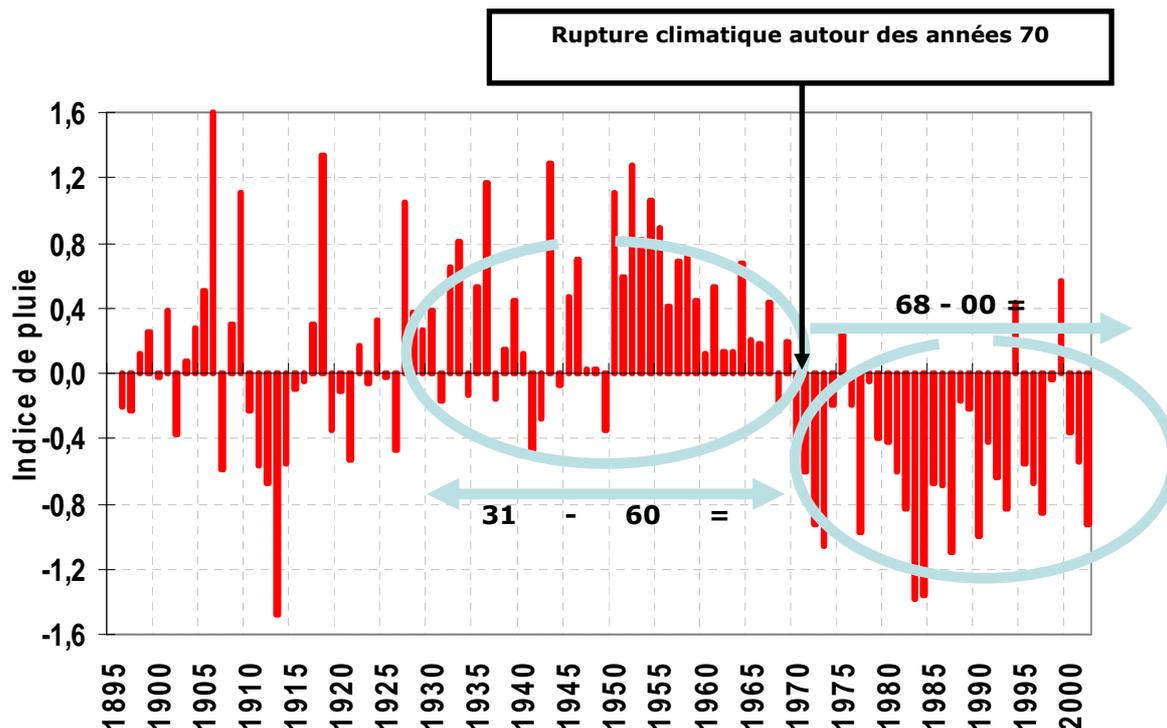


Figure 27: Indices de pluie au Sahel de 1896 à 2002 (Mahé et Paturol, 2009)

La saison des pluies 2010 (tableau 13) a été assez sèche dans l'ensemble de la région sahélienne. Mais la région de Niamey avec moins de 500 mm enregistrée n'a pas enregistré une forte pluviométrie cette année, en deçà de la moyenne de 560 mm (1990-2009).

Tableau 13: Analyse de la pluviométrie sur le bassin de Boubon 2008 et 2009 par classe de 10mm

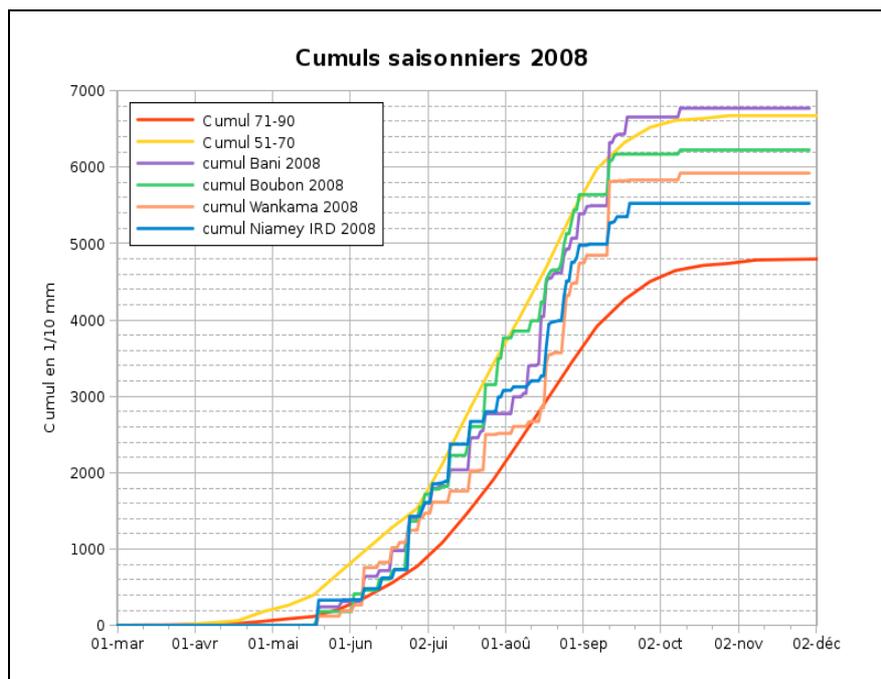
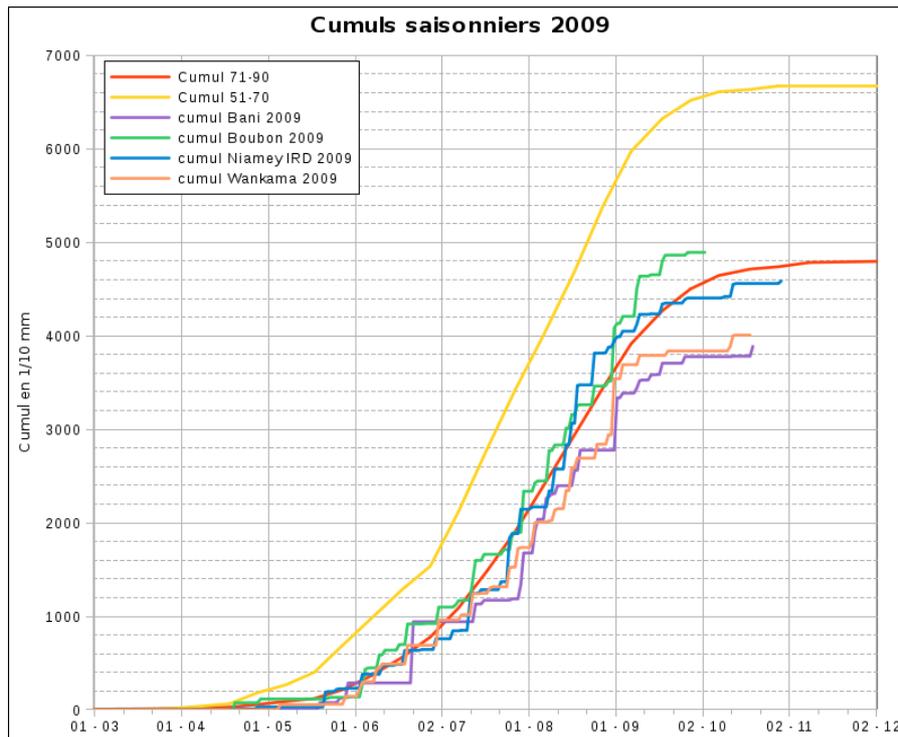
Années	Nombre d'averses	[0-10mm [en%	[10-20mm [en%	[20-30mm [en%	[30-40mm [en%	+de 40mm en%	Cumul annuel en (mm)	Ecart à la Moyenne (525.9) en mm de la période 1990-2009
2007	35	6	12,7	21	10,4	14,9	488	-37,9
2008	31	5,77	26,78	20,16	13,86	37,39	476	-49,9
Total %		32,55		67,45				
2009	40	12,5	27,28	20,11	23,35	9,24	432,5	-93,4
Total %		38,78		61,22				



*Photo 28: Arrivée de ligne de grain sur le plateau du bassin versant du kori Boubon en juillet 2009*



*Photo 29: Arrivée d'un grain humide au dessus du bassin de Gorou Kirey en août 2009*



**Figure 28: Cumuls saisonniers de pluie en 2009 et 2008 comparés aux périodes de référence de quelques stations pluviométriques dans la région de Niamey (IRD Niamey, rapport EPSAT 2008 et 2009).**

Selon le degré de développement et d'organisation de la convection, des événements localisés ou des systèmes convectifs plus structurés peuvent prendre naissance. Les premiers sont généralement de faible extension et peu mobiles. Les seconds, nommés Systèmes Convectifs de Méso échelle (SCM) (photo 29), sont plus étendus (quelques milliers à plusieurs centaines de milliers de km<sup>2</sup>) et se déplacent d'est en ouest à des vitesses importantes, de l'ordre de 30 à

70 km h<sup>-1</sup> (Le Barbé et Lebel et al. 1997). Les pluies proviennent de deux types de systèmes convectifs, régionaux et locaux. Les lignes de grains arrivent avec une fréquence plus régulière (9 à 11 jours) que les convections locales.

*Tableau 14: Répartition du cumul moyen mensuel et annuel 2007-2008-2009 par station*

NOM			mai	juin	juillet	aout	sept	octobre	2007-2008-2009
	X	Y							
<b>B 1</b>	390488	1508142	15	71,3	154,5	145,05	68	–	453,85
<b>B2</b>	387588	1506603	–	66	162,5	192,5	80,5	3	504,5
<b>B3</b>	384463	1503576	8	106	145,5	150	64,5	5	479
<b>B4</b>	390646	1509348	17	77,3	166,5	153,5	66,25	–	480,55
<b>B5</b>	387233	1505503	15	75	125,75	163,25	53,3	–	432,3
<b>B6</b>	386903	1508415	15	96,5	190,4	169,9	76,5	1	549,3
<b>B7</b>	384010	1504234	16,5	95,25	126,5	144,5	65	17	464,75
<b>B8</b>	389598	1508177	10	59,5	169,75	147,4	53,75	23,5	463,85
<b>B9</b>	393673	1513866	5,65	61	126,8	153,65	125,35	4,40	476,85
<b>B10</b>	384362	1512096	8	49	129	144	115	1.5	445.5

*Tableau 15: La saison des pluies 2010 dans la région de Niamey*

	Stations pluviométriques 2010			
	Niamey IRD	Niamey IRI	Kollo	Boubon
<b>Début des pluies</b>	27 mars	23 mars	17 mars	27 mars
<b>Fin des pluies</b>	14 octobre	14 octobre	07 octobre	13 octobre
<b>Nombre d'évènements</b>	66	67	59	51
<b>Nombre d'évènements supérieur ou égal 30 mm</b>	4	3	5	4
<b>Cumul annuel (mm)</b>	564 mm	499,8 mm	440,8 mm	445,4 mm
<b>Période de sécheresse</b>	16 juin au 26 juin	16 juin au 26 juin	20 juin au 02 juillet	16 juin au 26 juin

La saison des pluies s'étend généralement de mai à septembre. En règle générale, la quantité de précipitation et la durée de la saison des pluies diminuent à mesure que l'on se déplace vers le Nord et varient considérablement selon le moment et le lieu (Amani 1995). Le niveau annuel « normal » des précipitations va de moins de 400 mm à 750 mm dans cette région (figure 26). Les précipitations quotidiennes les plus fortes se produisent généralement en juillet et en août, si bien que les quantités de pluie reçues durant ces deux mois représentent plus de 70 % du total annuel (Amani et al. 1996). De plus, même pendant la saison des pluies, des périodes sèches de cinq à dix jours sont fréquentes (Nicholson 1980). A l'échelle du bassin de Boubon, on observe aussi de fortes disparités dans les cumuls évènementiels. En général, on note l'arrivée des lignes de grain entre 00 h et 7 h du matin dans cette partie ouest du Niger. Les systèmes de convection locaux arrivent en moyenne entre 16 h et 19 h avec des disparités spatiales à l'évènement beaucoup plus importantes que celles observées après les lignes de grain (photo 29). L'Harmattan est un vent sec de direction nord-est qui souffle entre novembre et mars, et le flux de mousson, un vent humide qui souffle entre mai et septembre avec une direction sud-ouest. En avril et octobre sont des mois de transition où on note des changements de direction qui passe de nord-est à sud-ouest et inversement. Ce balancement des directions de vent est lié au déplacement saisonnier de la Zone de Convergence Intertropicale (ITCZ).

### **III- 3-Quelques éléments sur la population de la région de Niamey**

La population est très inégalement répartie dans le bassin du moyen Niger (Resadep /Institut Panos, 1996). La concentration démographique est relativement faible dans la région sahélo-soudanienne avec en moyenne 5 hab. / km<sup>2</sup> (INS- Niger, 2010).

Située dans la partie ouest du pays et dans le bassin du moyen Niger, la région de Niamey a connu une évolution démographique fulgurante depuis les années 1960. La croissance urbaine est de plus de 4,8 % (Motcho 1991) ; cependant la ville de Niamey présente un réseau urbain très lâche. Cette ville riveraine du fleuve Niger est un vieux foyer d'émigrants saisonniers (Amadou, 1994) qui se sont finalement installés dans les quartiers périphériques et massivement depuis les sécheresses de 1984 (Motcho 1984). Cette dynamique entraîne de grands déboisements autour de la ville, qui semblent être aussi à l'origine de la dynamique environnementale actuelle (Bouvier 1986). La dynamique récente des bassins versants de la région de Niamey (depuis les années 1950) est comparable dans le bassin du fleuve Niger à l'évolution hydro-érosive que connaissent les sous - bassins versants des rivières du Nord-Nigeria en aval de Malanville (Bénin) (Amogu 2009).

L'idée selon laquelle le fleuve Niger serait l'un des foyers de peuplement de l'Afrique de l'Ouest est sans doute excessive. Il concentre certes quasiment la moitié de la population d'Afrique de l'Ouest (Clair 1982). Toutefois, il faut garder à l'esprit que le Nigeria représente à lui seul plus de la moitié de la population ouest-africaine. Ainsi, plus de 70% de la population vivant dans le bassin du fleuve Niger sont nigériens. D'après Ousseini Issa (1995) la vallée du fleuve Niger est une zone d'émigration marquée du fait de la surcharge démographique. Les arrières - pays de la vallée du fleuve sont très exigus, ils manquent cruellement de terres cultivables (Avenard 1982). Comme nous l'avons vu précédemment, la sécheresse croissante, alliée aux défrichements, a également provoqué un exode de la population vers la vallée, aux contraintes édaphiques et hydrologiques moins fortes. Avec la croissance de la population mondiale et urbaine, les agglomérations s'étendent et modifient de plus en plus l'occupation du sol.

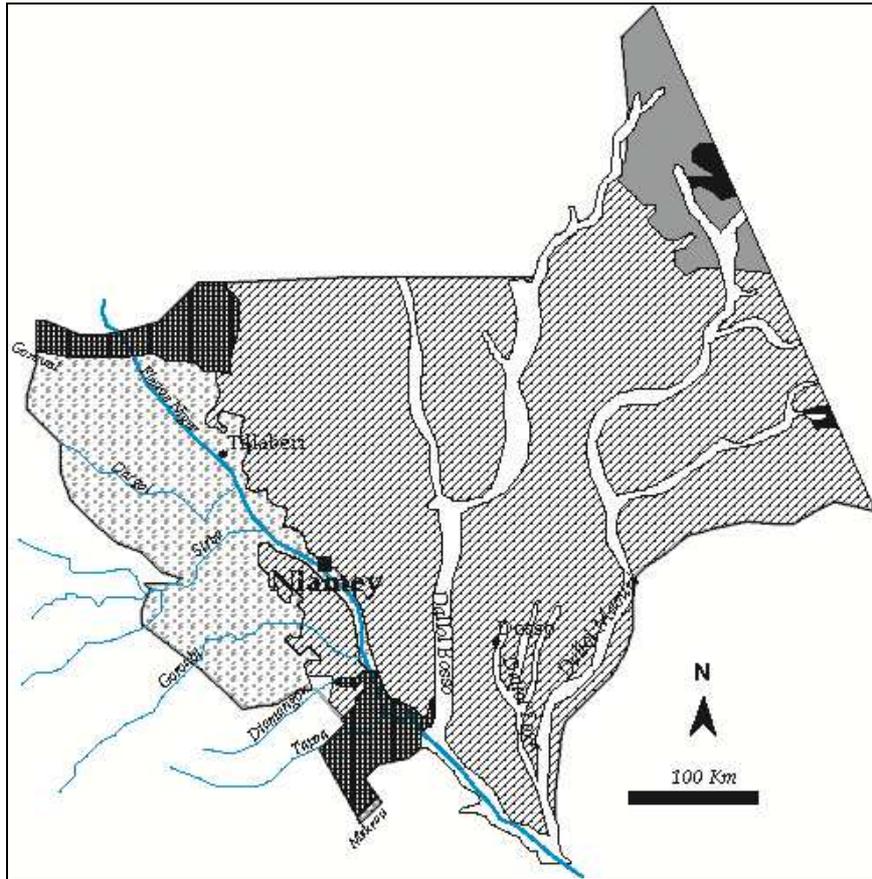
### **III- 3.1- Aspects socio-économiques de la région de Niamey**

Pays pauvre, le Niger présente presque tous les critères du sous-développement (Manvell et Shepherd, 2001). La situation démographique se caractérise par une croissance démographique accélérée avec 3,3 % (République du Niger 2003). Ce taux d'accroissement annuel est en effet l'un des plus forts de la planète. On note un indice synthétique de fécondité élevé de 8,2 enfants par femme. La mortalité infantile est de 270 pour mille. La population nigérienne est très jeune : 49,5 % ont moins de 15 ans. La pauvreté est plus prégnante en milieu rural (Retaille, 1984), car la zone concentre 85% des pauvres du Niger. 52% des nigériens n'ont pas accès à l'eau potable et 30,3%, seulement sont scolarisés (République du Niger 2003). Les principales activités économiques sont l'agriculture pluviale, l'élevage, la pêche et les autres activités « modernes » plus ou moins développées ou en crise : mines, tourisme, industrie etc. Le PIB rural 2001 était 521 813 millions de CFA soit 41% du PIB total. Les différents sous-secteurs que sont l'agriculture, l'élevage, les forêts et pêche occupent respectivement 27%, 10% et 4% (forêts et pêche) du PIB total.

### **III- 3.2-La géologie et les sols de la région de Niamey**

La région étudiée est dominée par les affleurements de socle du Liptako Gourma à l'ouest et à l'Est la limite Ouest du bassin sédimentaire d'Iullemeden.

Elle est constituée de trois principales formations : les formations du socle (figure 30); les formations du continental terminal (ct) et les formations détritiques du Quaternaire.



*Figure 29: Carte géologique de l'Ouest du Niger, la région de Niamey à cheval entre le socle du Liptako Gourma et le bassin des Iullemeden.*

### *III- 3.2.1- Géologie de la région de Niamey*

La zone de Niamey est un secteur de contact entre deux grands ensembles géologiques : le socle du Liptako et le bassin sédimentaire des Iullemeden. L'observation des cartes géologiques montre que la géologie du bassin versant de Boubon et Gorou Kirey est constituée de deux formations (figure 32):

Le Liptako Gourma, domaine du socle précambrien, est situé sur la partie Ouest du fleuve Niger (Photo 30) jusqu'à la frontière du Burkina Faso ;



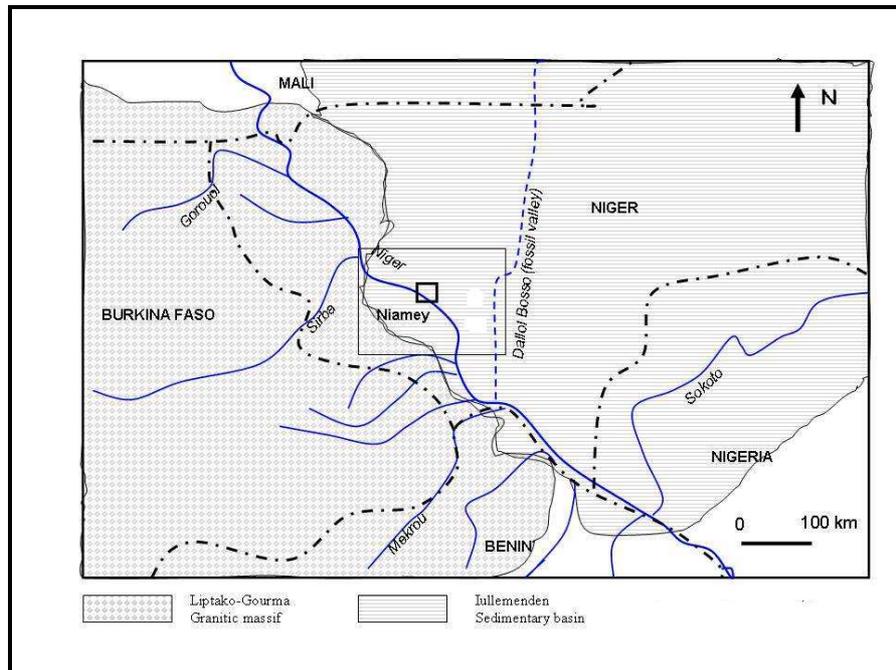
*Photo 30 : Affleurement du socle dans le lit du fleuve Niger au premier plan et au second, le rebord du plateau tabulaire et gréseux près de Boubon*



*Photo 31: Paysages de la région de Niamey, au premier plan un dépôt du Continental terminal et la vallée du fleuve dans le secteur Boubon- Karma en 2008*

Le Bassin des Iullemeden à l'Est, par référence à une tribu touareg de ce nom. La sédimentation du bassin des Iullemeden est tabulaire (figure 31). Il correspond à une aire sédimentaire cratonique et est limité au Nord-Ouest par le bassin de Taoudeni par l'intermédiaire du fossé de Gao (ou détroit soudanais) et à l'est par le seuil du Damergou, qui

assure une communication avec les bassins du Niger oriental (bassin du Tchad, de Bilma et de Termit) (Dubois et Lang 1984).



*Figure 30 : Fond géologique de l'ouest du Niger (Descroix et al. 2009)*

Cet ensemble est mis en place au début de l'ère Tertiaire<sup>2</sup> (Vicat et al. 1994). Trois séries sédimentaires forment la structure géologique principale du bassin des Iullemeden (Frider 1981) (figure 32) :

- ✓ le Continental terminal 3 : CT3 ou grès argileux du moyen Niger (figure 34) ;
- ✓ le Continental terminal 2 : CT2 ou série argilo- sableuses à lignites ;
- ✓ le Continental terminal 1 : CT1 ou série sidérolitique de l'Ader Doutchi.

Ces trois séries du Continental terminal présentent une superposition de trois principales nappes qu'on retrouve bien dans le bassin des Iullemeden (Guéro 2003). Elles forment les trois horizons aquifères reconnus de bas en haut : CT1, CT2, CT3 (Leduc et Karbo 1994). Les nappes CT1 et CT2 sont captives et se situent vers 120–150 m d'altitude, pour une profondeur de 70 m et renferment des eaux fossiles de plusieurs milliers d'années. La CT3 est la nappe la moins profonde et se situe à 40 m sous les vallées sableuses et 70 m sous certains plateaux (Favreau 2000). Dans les aquifères discontinus du socle, les eaux sont « logées » uniquement dans la frange fissurée et altérée du socle et parfois dans les failles ouvertes

<sup>2</sup> Paléogène : -65 à -25 millions d'années appelé Continental Terminal et est composé de grès argileux

plurikilométriques (Alhou Bassirou 2007). Cette porosité de fracture leur confère un écoulement discontinu de l'eau, contrairement aux formations sédimentaires à porosités interstitielles (Monfort 1996). Les produits d'altération du socle (les altérites) sont pour la plupart localisés dans les vallées entaillées par le réseau hydrographique (Guéro 2003).

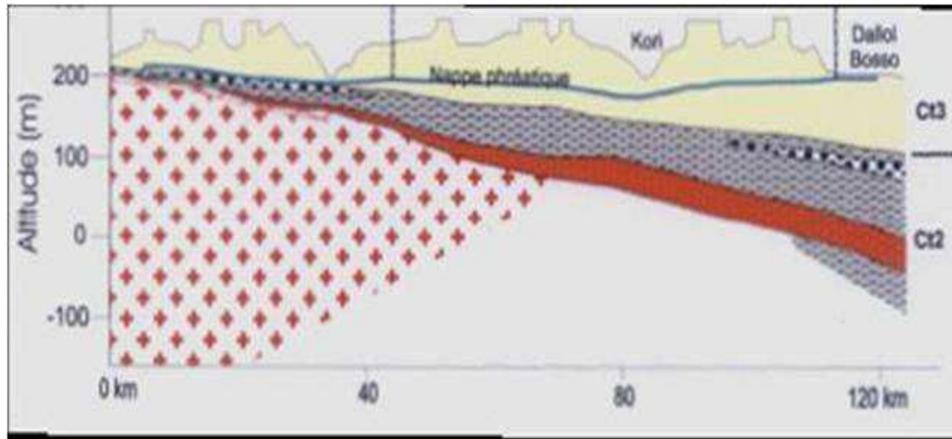


Figure 31: Coupe géologique schématique à 13°40'W à travers le degré-carré de Niamey (Monfort, 1996)

### III- 3.2.2 – Les sols de la région de Niamey

Les sols de la région de Niamey, à dominante sableuse, sont très fragiles, on en distingue deux groupes (Gavaud 1977) :

- les sols ferrugineux tropicaux (associations sols bruns ou isohumiques, sols bruns rouges) typiques du pédoclimatique sahélien. Ils se développent sur des matériaux divers : dunes, colluvions remaniées et alluvions. Les épaisseurs moyennes sont de 1 à 1,50 m. La présence diffuse des oxydes de fer dans leur profil et d'un peu de matière organique dans l'horizon A améliorent leur cohésion et leur stabilité. L'érosion des parties superficielles entraîne donc une dégradation accélérée bien difficile à maîtriser ;

- les sols hydromorphes et les vertisols limités aux bas fonds. Plus fournis en fractions fines limoneuse et argileuse, ils ont une rétention en eau plus élevée. Aussi, ils concentrent davantage d'humus et des sels divers (alcalis) dont l'accroissement des teneurs par une irrigation mal conduite aboutit à une dégradation bien onéreuse à inverser. Sols lourds à travailler, mais plus riches, ils sont aptes aux cultures pluviales de sorgho et de coton, ainsi qu'aux cultures irriguées.

À l'exception des vertisols, tous ces sols sont pauvres en humus et en fractions colloïdales. De ce fait, ils sont peu structurés et leurs capacités d'échanges cationiques sont globalement

déficientes pour les besoins agricoles. Peu épais, ils deviennent aussi très fragiles (à l'érosion éolienne et hydrique) en l'absence d'une couverture végétale optimale de protection. Ces caractéristiques générales conjuguées aux déficits récurrents de la pluviosité les dotent d'une fertilité très faible à moyenne.

### **III- 3.3- Contexte hydro- géomorphologique des bassins des koris étudiés**

Du point de vue géomorphologique, l'ouest nigérien est caractérisé par un ensemble géologique qui se présente sous forme des bas plateaux tabulaires entaillés par la vallée du Niger et de ses affluents dont celui du kori Boubon.

Le relief de la région de Niamey est peu contrasté. Il est constitué de quelques bas plateaux (240 à 250 m d'altitude) du Continental terminal. Les plus hauts reliefs sont entaillés par un réseau de vallées fossiles et de dunes, héritages d'une activité éolienne des périodes arides du Quaternaire (Martin-Rosales et Leduc 2003). Cette morphologie est héritée de la surface d'aplanissement établie à la fin du Pliocène, après la sédimentation de la série du Continental terminal (Ct) et a été incisée par les cours d'eau ou ensablée au cours du Quaternaire (Dubois et Lang, 1981). L'étude géomorphologique des bassins versants de la région de Niamey fait ressortir cinq unités différentes : sommet de plateau ; talus (photo 35) ; dunes et glacis ; bas-fond et terrasses, qui interagissent par le biais des processus d'érosions hydrique et éolienne.

#### *III- 3.3.1-Les plateaux cuirassés*

Les plateaux sont des hautes surfaces sommitales qui « culminent » autour de 250 m à Boubon. Ces formations s'étalent en surfaces planes sur lesquelles des dépôts de sables éoliens ont formé des placages sableux (photo 36). Les pentes sont régulières et douces, de l'ordre de 0,6%. L'infiltration est très faible et le ruissellement et l'évaporation sont importants. C'est l'ancien domaine de brousse tigrée, type de végétation « contractée » (photos 32 et 33). Les cuirasses du plateau sont à faible profondeur et affleurent parfois en bordure du plateau et dans les fonds de lit de koris (photo 32 et 34).

Ces plateaux sont à l'origine du ruissellement qui se concentre, descend et suit les fonds des koris.

#### *III- 3.3.2-Les talus du plateau*

Les talus sont couverts d'un manteau d'éboulis (photo 35) qui proviennent du démantèlement de la cuirasse sommitale des plateaux par des processus de fragmentation liés entre autres aux variations thermiques. La végétation est assez rare sur ces domaines. C'est le domaine de la

végétation anthropique née des reboisements récents et dominés par des acacias plantés dans les années 1984. Les talus de plateaux sont abrupts et plus ou moins disséqués et constitués de dépôts très hétérométriques.



*Photo 32: Plateau dégradé dans le bassin du kori Boubon en juin 2007*



*Photo 33: Ruissellement sur le plateau de Boubon*



*Photo 34: Affleurement de niveau cuirassé dans le fond du kori Boubon*



*Photo 35: Vue d'un talus du plateau de Boubon*

### *III- 3.3.3-Les glacis*

Ils se développent sur les longues pentes de raccordement entre les plateaux et les jupes sableuses. Les sols y sont sableux avec moins de 15% d'argiles. Une mosaïque de plages nues et encroûtées occupe ces unités avec présence de zones de cultures et de jachères.

La configuration géomorphologique et topographique de ces longs glacis est un facteur important pour la rupture d'endoréisme des koris de la région de Niamey principalement sur

la rive gauche. En effet, ces longs glacis dégradés raccordant les plateaux à la vallée du fleuve créent une dénivelée favorable au ruissellement et à la naissance de koris.

#### *III- 3.3.4-Les dunes*

Les dunes constituent un placage de sable rouge homogène à la base des plateaux en auréoles de 600 à 800 m de large en rive droite (Ousseini et Morel, 1989). Les formations de dunes seraient dues à des dépôts éoliens (erg ancien) correspondant à une phase aride du Pléistocène antérieur (50000 BP). Les dunes de sables fixées (photo 36), qui recouvrent le plateau gréseux, s'observent jusqu'au sud du 12<sup>e</sup> parallèle. Elles sont les témoins des avancées lors de climats arides au cours du Quaternaire, tel que l'aride Ogolien qui va de 20 000 à 12 000 ans B.P (Morel, 1981 ; Rognon, 1989).



*Photo 36: Dune ogolienne surplombant la vallée du fleuve Niger en rive droite dans le secteur de Namaro*

La partie haute des jupes est occupée par des piedmonts dégradés avec une pente allant de 5% à moins de 3%. Sur la partie aval de la jupe sableuse, l'infiltration est très élevée. Sur l'ensemble de l'unité, le drainage est rapide et très marqué, avec la présence de ravines qui convergent vers les bas-fonds (photo 37). C'est un vaste espace aux sols ferrallitiques occupés par les jachères et les cultures pluviales.

#### *III- 3.3.5-Les bas-fonds*

Les bas-fonds des koris sont définis comme des fonds plats ou concaves constituant des axes d'écoulements temporaires (photo 37) ; ils sont inondés pendant des périodes de plusieurs jours, et on y trouve des sols aux caractéristiques hydromorphes.



*Photo 37: Fond du kori Boubon en crue en 2009*

Comme nous l'avons évoqué précédemment, les dépressions inter - plateaux cuirassés et tabulaires étaient occupées par des séries de mares endoréiques, qui depuis une trentaine d'années, ont été fréquemment connectées entre elles par des écoulements formés lors d'orages violents.

Ainsi, ont été creusées (ou recreusées) des vallées, les koris. Les longs glacis formés sur des structures essentiellement sableuses issues de dépôts éoliens et fossilisés favorisent la naissance des koris, suite à l'augmentation du ruissellement observé depuis plusieurs décennies. Sur ces longs glacis inter plateaux tabulaires se sont formés d'importants koris endoréiques et devenus exoréiques par la suite (ruissellement de plus en plus important).

### **III- 3.4 -La végétation dans la région de Niamey**

Selon Cappelaere et al. (2009), dans les environnements tropicaux secs, les mécanismes d'interdépendance des cycles de l'eau, de l'énergie et de la végétation sont particulièrement intenses. Le cycle de l'eau joue un rôle fondamental dans le fonctionnement des écosystèmes, notamment dans la bande sahélienne, en influençant de manière profonde le couvert végétal par le type de végétation présente et son développement (Bernus 1984).

Dans la région de Niamey, s'observe une végétation constituée de fourrés à végétation « contractée » (la brousse tigrée) sur les plateaux latéritiques (figure 34), des steppes arbustives (Roussel 1987) sur les terrasses et les dunes fixées très dégradées (Ichaou, 1998 ; Larwanou et Saadou 2006 ; Saadou 1990). La flore est représentée par une diversité d'espèces

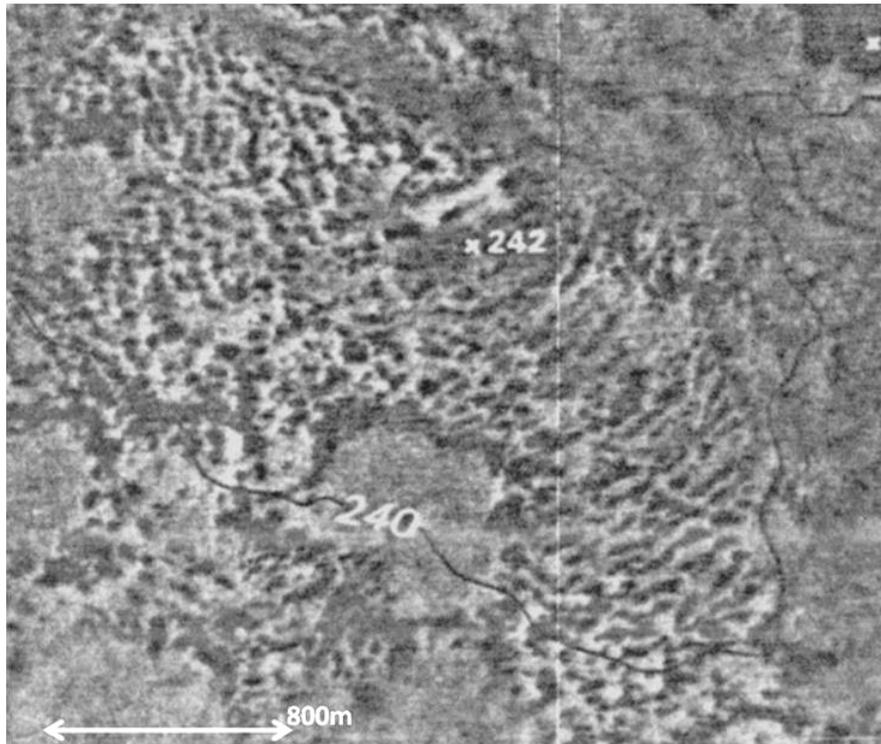
importante dans la vallée du fleuve, principalement la strate herbacée qui est assez abondante dans la vallée du fleuve Niger au niveau des zones inondées et les îles. Le tableau 17 présente la liste des principales espèces inventoriées.

**Tableau 16: Inventaire des espèces végétales ligneuses assez représentatives dans les vallées sèches de la région de Niamey (Leprun 1992 ; Garba, 1984 ; Herman et al. 2005).**

Nom scientifique	Nom en langue hausa	Nom en langue zerma
<i>Acacia ataxacantha</i>	sarkakiya	Goumbi
<i>Acacia nitotica</i>	bagaroua	-
<i>Balanites egyptiaca</i>	adwa	garbey
<i>Bauhinia rufescens</i>	dirga	namari
<i>Boscia angustifolia</i>	sarkakiya	hassou kwarey
<i>Boscia senegalensis</i>	dilo	anza
<i>Combretum glutinosum</i>	taramniya	kocorbé
<i>Combretum micranthum</i>	guéza	kubu
<i>Combretum nigricans</i>	tsiriri	delinya
<i>Commiphora africana</i>	dachi	
<i>Faidherbia albida</i>		gao
<i>Guiera senegalensis</i> ,	sabara	sabaré
<i>Hypphaene thebaica</i>	gorouba	gangouo
<i>Lannea acida</i>	farou	-

La dégradation du couvert végétal, avec diminution des strates herbacées et arbustives, entraîne une augmentation des surfaces encroûtées et des zones érodées (Ambouta et Valentin 1996). Les modifications des états de surface ainsi induites favorisent l'augmentation du coefficient de ruissellement, qui peut dépasser 30% d'après Albergel et al. (1992), et même bien plus à l'échelle de la parcelle (nos travaux sur les sites de Banizoumbou et Boubon).

La répartition des différentes formations végétales naturelles sur la zone d'étude tient à leur situation topographique et à leur affinité hydro- pédologique. L'adaptation à l'insuffisance des réserves hydriques est à l'origine d'une colonisation par la "brousse tigrée" (figure 33) des entablements ferrugineux du Continental terminal (Massuel 2005).



*Figure 32: Formation de brousse tigrée sur le plateau du Boubon Photographie aérienne IGNN 1975*



*Photo 38 : Faciès dégradé de formation de brousse tigrée sur le plateau du Boubon en 2009*



*Photo 39 : Hippopotame du fleuve Niger, espèce protégée dans un milieu anthropique*

D'après le schéma de la distribution zonale de la végétation du Niger Occidental (Ambouta 1984), le paysage climatique de la zone est celui d'une savane arbustive très dégradée (Anyamba et Tucker, 2005). En effet, la végétation naturelle a été soumise à une intense dégradation (figure 33). Les feux de brousse, le défrichage et le déboisement liés à la

pression démographique croissante ont bouleversé l'équilibre écologique du milieu (Ambouta 1984).

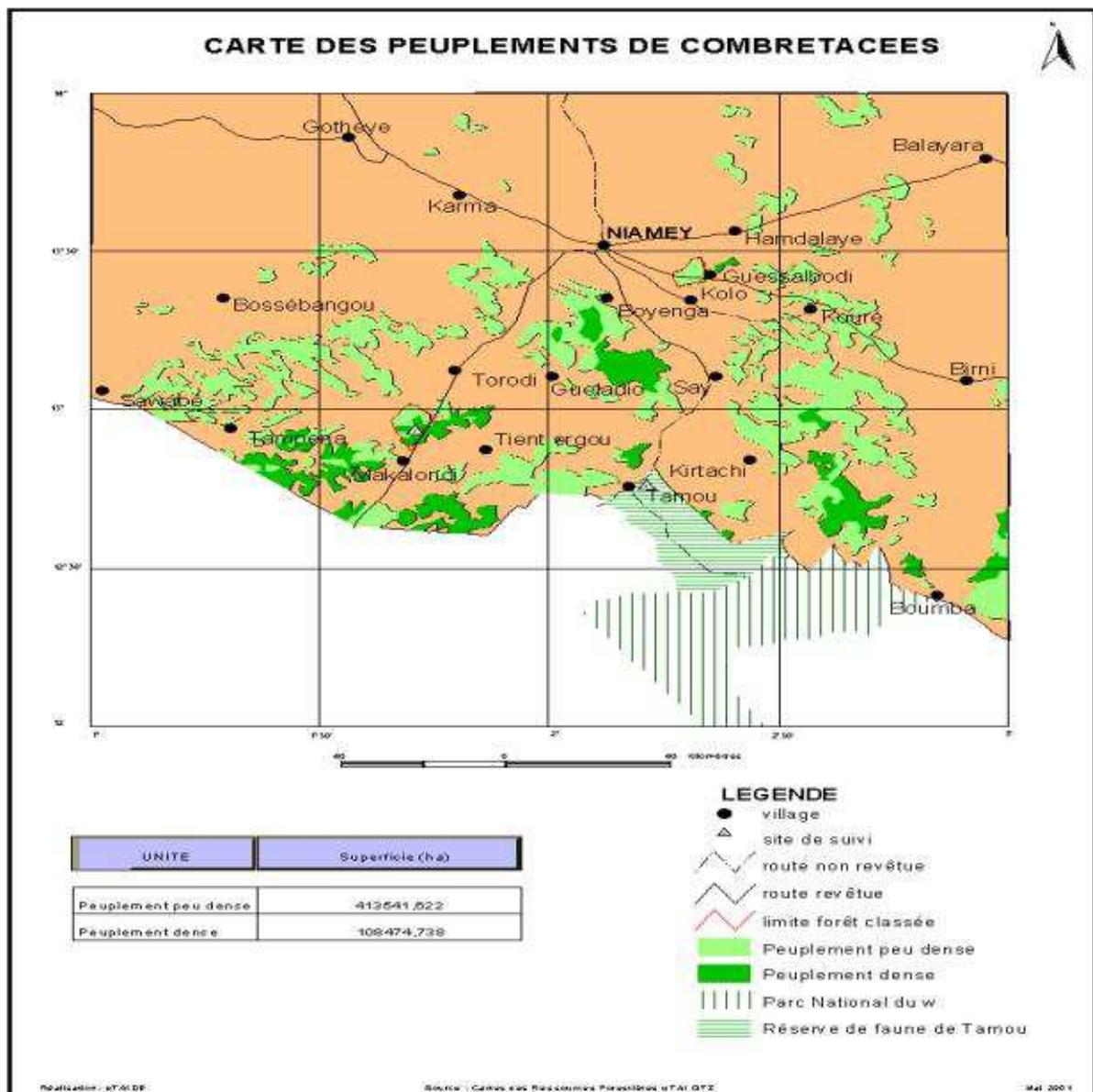


Figure 33: Carte des peuplements de combretacées dans l'Ouest du Niger en 2009 (Mahamane 2005)

Les formations boisées observées sur les photos aériennes de 1975 n'offrent plus aujourd'hui que des faciès anthropiques très ouverts (figure 34, photo 38) ou ont totalement disparu. La biodiversité locale qui était assez importante, tant d'un point de floristique que faunique dans la région de Niamey, tend donc à se réduire. Cette biodiversité est en effet menacée au vu de l'évolution actuelle de l'écosystème de la vallée du Niger dans son ensemble. Pour la faune, on note la présence d'hippopotames (photo 39), (*Hippopotamus amphibius*), espèces

protégées dans un contexte de rareté de fourrages naturels, d'où des dégâts opérés par ces animaux dans les jardins potagers et les rizières. Mais il est à l'inverse remarquable qu'une population de mammifères de cette taille arrive à se maintenir dans un milieu « péri-urbain ». La progression de la population de girafes sur les alentours du plateau de Kouré (zone rurale il est vrai, située à 70 km de Niamey) relève aussi d'un bon exemple de cohabitation et d'acceptation mutuelles entre sociétés rurales et faune sauvage.

### **III- 3.5–La vallée du fleuve Niger dans la région de Niamey : la plaine d'inondation du fleuve Niger**

Dans la région de Niamey, la vallée du Niger est constituée d'une série de terrasses alluviales très anciennes. Cette vallée a une largeur de 5 à 7 km en général. Elle présente par endroits des plaines d'inondation parcourues par des bras morts.



*Photo 40: Vue du fleuve Niger à Niamey lors de la crue de février 2009*

Dans cette partie de son cours, le fleuve Niger dresse un style fluvial de type anastomosé avec de larges bras plus ou moins actifs (photo 40) encadrant de grandes îles végétalisées. La largeur du lit majeur est de 700 m à 2 km dans cette région.

Les variations de la morphologie fluviale se manifestent sur deux échelles (Gautier 1992) :

- l'échelle spatiale c'est-à-dire l'évolution spatiale d'amont en aval des flux et matières qui se répercute sur les formes du chenal ;

- l'échelle temporelle où l'évolution des processus peut être appréhendée sur trois échelles de pas de temps : géologique, historique et au pas de temps bref.

Le fleuve Niger adopte un style anastomosé (figure 35) avec diverses unités fluviales. Ce système fluvial de type anastomosé (ou en anabranchement, (Nanson et Knighton, 1996) dresse des chenaux multiples, relativement sinueux et peu mobiles, encadrant des îles végétalisées (Gautier, Piegay, Bertaina, 2000). Ce style est associé à des pentes relativement faibles et à une charge en suspension majoritaire. On observe aussi la présence dans la plaine du fleuve Niger de diverses unités définies par Gautier (1992) :

- 1. La bande active est définie par

- les chenaux en eau ou à sec, non végétalisés ;

- les bancs ou zone mobile de dépôt de sédiments, donc non ou très peu occupée par la végétation pérenne.



*Figure 34: Vue aérienne du fleuve Niger et la confluence du kori Boubon au fleuve en juillet 2009*



*Photo 41: Banc actif non végétalisé dans le lit du fleuve Niger*

*Photo 42: Vue de la terrasse du fleuve Niger entre Boubon et Kanazi*

- 2. Les unités stabilisées par la végétation sont composées :
  - des bras morts (ou chenaux abandonnés) qui peuvent être d'anciens chenaux secondaires et qui ont été colonisés par la végétation du fait de la migration de la bande active (photo 41) ou encore du fait de l'enfoncement du chenal principal, qui a entraîné la raréfaction de leur submersion ;

- les îles qui sont des zones d'accumulation sédimentaire entourées de chenaux actifs, caractérisées par la présence d'une végétation pérenne par exemple de la grande île de Boubon, ces îles sont sous l'eau lors des crues ;
- la plaine d'inondation qui est submergée lors des débits supérieurs au niveau à pleins bords, c'est-à-dire lors des inondations.
- les terrasses alluviales, dont les matériaux sont constitués de sols sablo-argileux, appartiennent à la plaine alluviale, elles ne sont plus submergées par les crues actuelles notamment les terrasses basses T1 ; T2 (Photo 42).

En effet cinq niveaux de terrasses emboîtées ont été répertoriés dans la plaine alluviale Niger (Ousseini 1986). Les matériels des terrasses alluviales sont constitués de graviers, sables, argiles, débris de cuirasse, galets de quartz etc. Ces alluvions anciennes, et particulièrement les graviers de quartz émoussés qui apparaissent de façon discontinue sont typiques de la dynamique fluviale (photo 43 et 44). Elles ont donc été transportées et déposées par le fleuve Niger lors de phases hydro-climatiques anciennes.



*Photo 43: Berge du fleuve du fleuve Niger recouverte d'alluvions*

*Photo 44: Crue du kori Karma, affluent situé en amont de Boubon, juillet 2007*

### **III- 4- Les koris affluents étudiés dans la région de Niamey**

Dans la région de Niamey, l'hydrologie est dominée par le fleuve Niger et une trentaine de koris qui charrient eaux et sédiments vers ce fleuve.



*Photo 45: Ecoulement en filet de la source résurgente dans la partie aval du kori Gorou Kirey.*

Les vallées des oueds sont très différentes les unes des autres, en raison de leur origine. On compte des koris très longs et larges, occupant des vallées fossiles, comme le kori Ouallam, tandis que d'autres sont courts et incisés dans des dépressions moins importantes (tab. 18). Les lits ont généralement des berges raides, surtout dans leur partie aval. Le fond du lit est plat d'une largeur qui semble démesurée (plusieurs centaines de m), remblayé par des sables et limons. Les lits sont à sec pratiquement toute l'année, à l'exception de rares secteurs d'affleurement de la nappe ou d'exurgence d'une source qui favorise l'écoulement d'un filet d'eau (photo 45).

*Tableau 17: Inventaire des koris exoréiques importants dans la région de Niamey (40 km en amont et 30 km en aval).*

Nom local de kori	Longueur en km	Superficie en Km <sup>2</sup>	Fonctionnalité
<b>En rive gauche</b>			
<b>Karma Gorou*</b>	36	>250	Exoréique, alimenté par plusieurs drains, écoulement, dynamique très récente
<b>Londyori Gorou</b>	11	>100	
<b>Boubon Gorou *</b>	23	158	
<b>Soudouré Gorou**</b>	12	>150	

<b>Gabaroura Gorou</b>	10	>20	
<b>Lossagoungou Gorou*</b>	10	>50	
<b>Gountiyena Gorou</b>	16	150	Exoréique, et reçoit les eaux urbaines de la ville de Niamey. Il traverse la ville de Niamey et conflue avec le fleuve tout près de l'hôtel Gaweye de Niamey
<b>Ouallam</b>	300	>50 000	Vallée fossile, semi exoréique dans sa partie aval, suite aux débordements du chapelet de mares qui occupent le fond de celle-ci : Bourbourkabé, Bossey Bangou Bangou Bi- Bangou Kirey etc.
<b>En rive droite du fleuve Niger</b>			
<b>Namaro Gorou</b>	16	>100	Exoréique, alimenté par plusieurs drains, écoulement, dynamique très récente
<b>Bangou Karé Gorou</b>	5	>20	
<b>Karey Gorou</b>	10	> 50	
<b>Kourtéré Gorou*</b>	17	>250	
<b>Sagia Gorou</b>	15	150	
<b>Saga Gourma Gorou**</b>	20	230	
<b>Gorou Banda</b>	2	< 2	
<b>Gorou Kirey</b>	8	22,6	
<b>Lélihil Maman Ganguel*</b>	3	<10	

*\* note : comme signalé plus haut le terme « gorou » est l'équivalent en zarma du haoussa « kori »*

*\*\* les koris signalés par une astérique ont été endoréiques jusqu'à une époque récente ; ceux comportant deux astériques sont peut être aussi dans ce cas, sans qu'aucune certitude ne permette de l'étayer*

Celui observé pratiquement en permanence sur le du kori Gorou Kirey provient d'une exsurgence de nappe. Son caractère permanent provient de la configuration du contact socle sédimentaire le long du fleuve, qui peut attribuer à ces sources ou exsurgences des impluviums très étendus. Les crues des koris exoréiques de la région de Niamey sont brusques et durent 3 heures de temps voire 3 jours. Mais on observe cependant des retards de crues de plusieurs heures liés à l'irrégularité de la répartition spatiale des pluies dans certains bassins et la taille des bassins.

Cette nouvelle dynamique de la région est assez spécifique à la région de Niamey. En plus de ces importants koris (tableau 18), de très nombreuses ravines s'agrandissent d'une année à une autre.

### **III- 4. 1- Les bassins versants expérimentaux étudiés**

Plusieurs bassins versants expérimentaux ont été choisis pour une étude approfondie dans cette thèse ; trois sont équipés et suivis avec précision, tandis que d'autres font l'objet d'un protocole plus léger.

Après plusieurs visites de reconnaissances effectuées en début d'année 2007, 3 bassins ont été identifiés : Gorou Kirey, Gorou Banda en rive droite du fleuve et celui de Boubon en rive gauche. D'après les premières observations et enquêtes effectuées lors des visites de reconnaissance ces trois koris répondent bien à la thématique générale de cette thèse. Il s'agit d'étudier la dynamique actuelle des koris de la région et comprendre les apports hydro sédimentaires de ces derniers au fleuve. Amogu 2009 conclut que les koris apportent un volume sédimentaire important au fleuve et leurs comportements hydrologiques influent sur le régime local du fleuve Niger.

#### *III- 4.1.1 -Caractérisation hydro morphométrique du bassin versant du kori Gorou Kirey*

Le bassin versant du Gorou Kirey a une superficie de 18,41 km<sup>2</sup> (tableau 19) (figure 36). Il se caractérise par la présence d'une source émergente du toit du socle granitique.

Comme les autres koris de la région de Niamey, il forme un grand cône d'épandage appelé « la Pilule » (photo 46) servant de plage de distraction à la jeunesse de Niamey pendant les pics de chaleur (surtout au cours des mois de mars et avril). Une petite partie du cône du kori Gorou Kirey a été bétonnée au cours du FIMA 2009 (Festival International de la Mode Africaine), avec l'installation d'un podium pour le défilé FIMA et la réalisation d'une piste (photo 47) et un parking en latérite. Cela a complètement modifié le fonctionnement du kori dans sa partie aval. Une source alimente quotidiennement l'écoulement de ce kori et ce, tout au long de l'année, traduisant la taille importante de l'impluvium de cette exurgence. Ce bassin versant est surtout alimenté par un réseau de ravines assez dense et avec une densité de drainage de plus de 3, 37 km par km<sup>2</sup> liée à son évolution très récente (tableau 19).

**Tableau 18: Situation morpho métrique actuelle du bassin de Gorou Kirey**

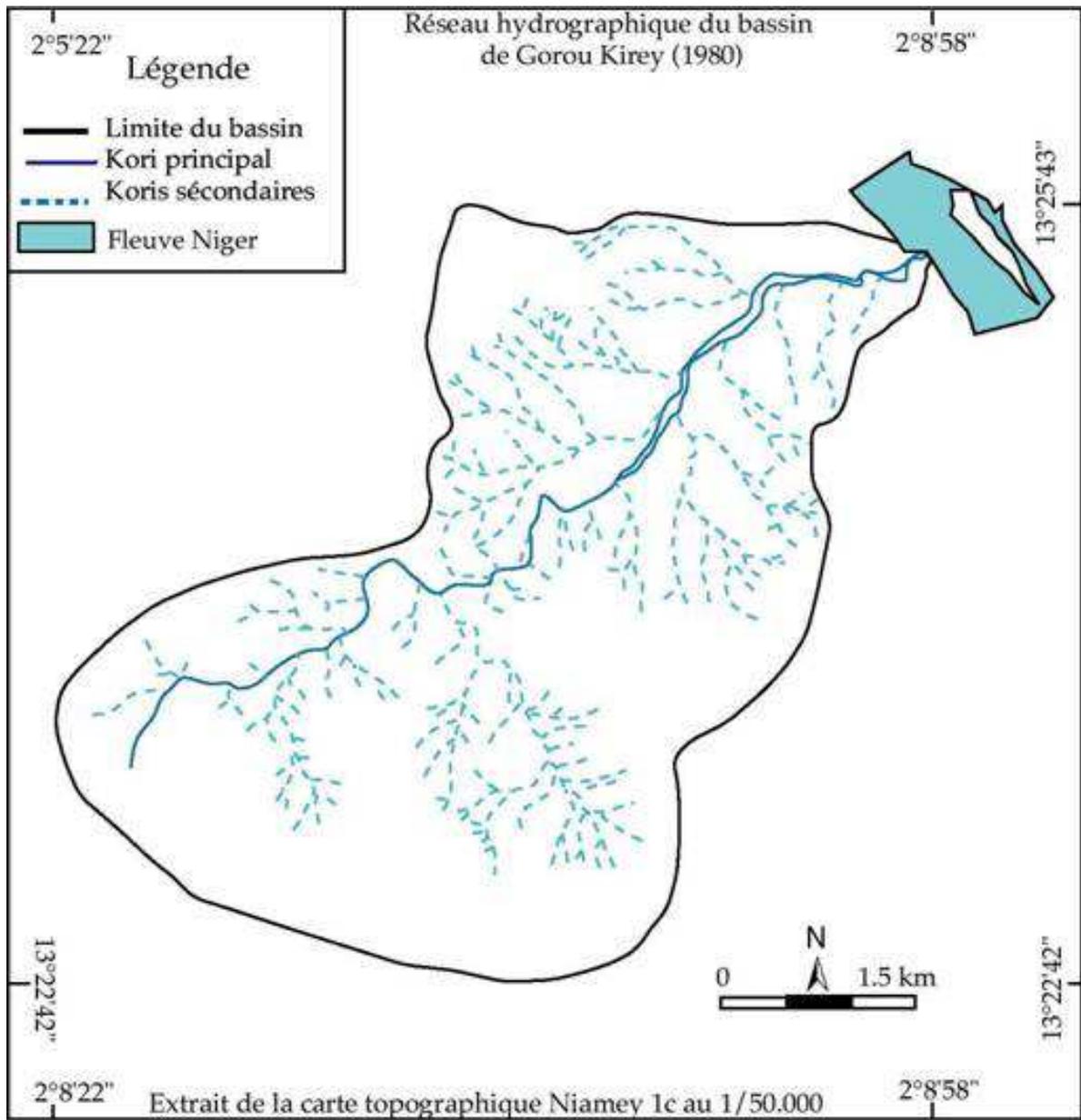
Paramètres mesurés	Unité	Valeur mesurée
Superficie du bassin	Km <sup>2</sup>	18,41
Longueur de la rivière principale dans le bassin	km	8
Largeur moyenne du bassin	km	3
Longueur du rectangle équivalent	km	7.05
Largeur du rectangle équivalent	km	4.55
Altitude maximale	M	263
Altitude minimale	M	180
Altitude moyenne	M	221.5
Coefficient de forme	-	37.5
Rapport de Miller	-	0.57
Indice de compacité	-	1.30
Pente moyenne	%	2.47
Indice global de pente	%	1.17
Dénivelé spécifique	M	83
Longueur totale des drains retenus dans le bassin	km	76.21
Densité de drainage	Km/km <sup>2</sup>	3.37



**Photo 46: Kori Gorou Kirey en rive droite du fleuve à 14 km de Niamey**



**Photo 47: Piste et parking en latérite réalisé en novembre 2009 sur le cône du kori Kirey**



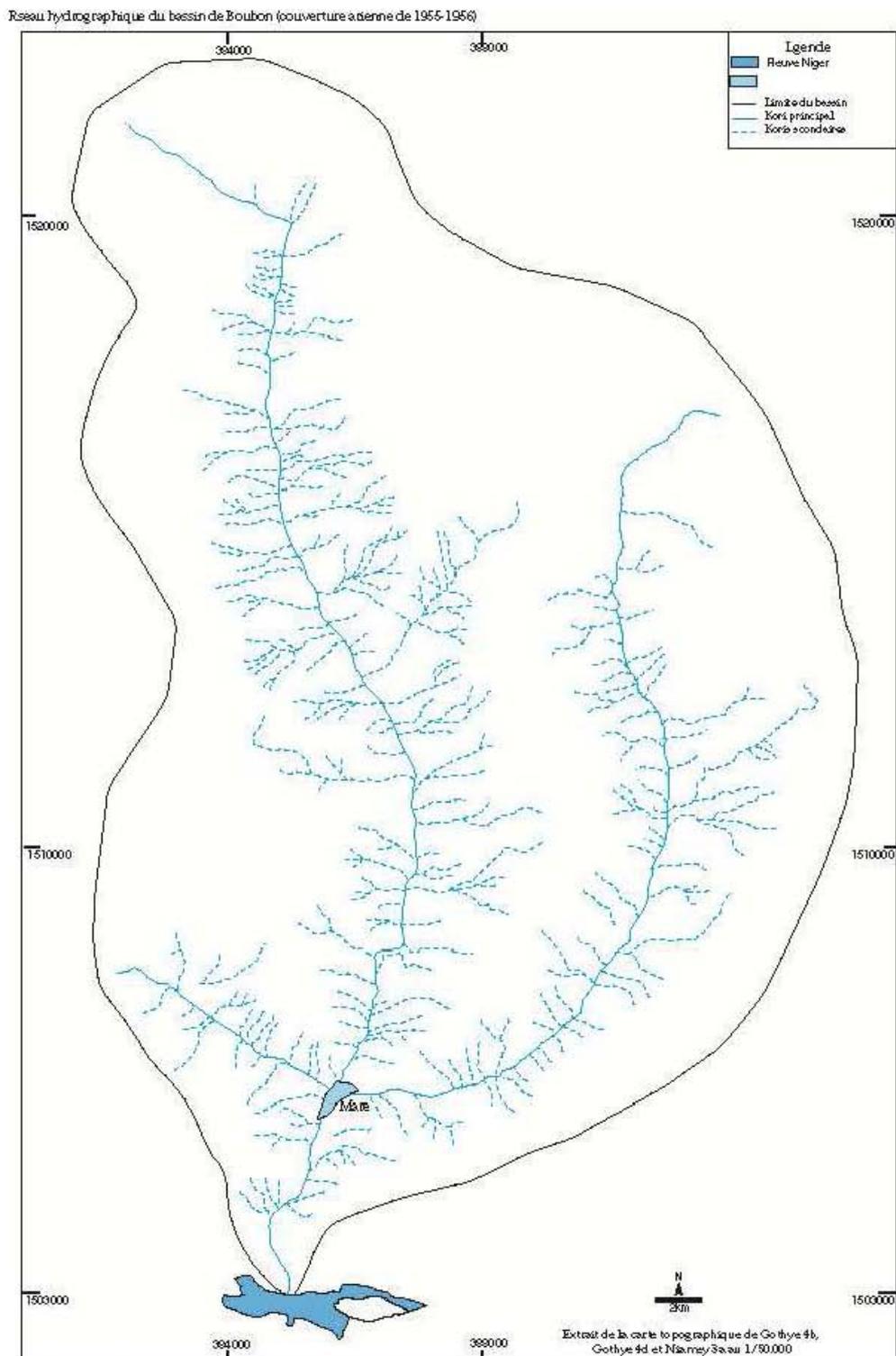
*Figure 35: Carte du réseau hydrographique du kori Kirey*

### *III- 4.1.2- Caractérisation morpho métrique du bassin versant étudié du kori Boubon*

Le bassin versant de Boubon est le principal bassin expérimental, il a une position géographique à cheval entre les deux grands ensembles géologiques régionaux.

Le bassin versant du kori Boubon est assez spécifique (figure 37), il se situe à la limite entre les deux principales formations hydrogéologiques de l'ouest nigérien : le bassin des Iullemeden et la formation de socle du Liptako Gourma (voir figure 31).

Il a une superficie de 162 km<sup>2</sup> (tableau 20). Ce kori a connu un développement très récent datant des années 1970. Il devient dans les années 1970 exoréique à la suite des pluies exceptionnelles enregistrées dans la partie amont (photo 48).



**Figure 36: Carte du réseau hydrographique du kori Boubon**

La largeur moyenne du lit du kori Boubon varie entre 53 m à 198 m (rétrécie à 41 m sous le pont ; photo 48) ; il dresse des berges abruptes avec des hauteurs de plus de 5 m parfois.

*Tableau 19: Situation morpho métrique actuelle du bassin du kori Boubon*

Paramètres Mesures	Unité	Valeur
Longueur de la rivière principale dans le bassin	km	23
Largeur moyenne du bassin	km	8.8
Longueur du rectangle équivalent	km	20
Largeur du rectangle équivalent	km	13.75
Altitude maximale	m	271
Altitude minimale	m	190
Altitude moyenne	m	230.5
Coefficient de forme	-	38.26%
Rapport de Miller	-	0.57
Indice de compacité	-	1.31
Pente moyenne	m	0.5%
Indice global de pente	%	0.4%
Dénivelé spécifique	m	81
Longueur totale des drains retenus dans le bassin	km	280
Densité de drainage	km/km <sup>2</sup>	1.77
Superficie du bassin	Km <sup>2</sup>	162



*Photo 48: La section d'écoulement du kori Boubon au pont reconstruit en 1998 (pour la troisième fois)*

*Photo 49 : Lit aval du kori Gorou Banda*

### III- 4.1.3- Caractérisation morphométrique du bassin versant étudié du kori de Gorou Banda

Il s'agit d'un petit kori très récent avec une dynamique hydrologique complexe car influencé par une forte occupation humaine expliquant sa forte densité de drainage de 3,79 (figure 38 ; tableau 21).

**Tableau 20: Situation morpho métrique actuelle du bassin du kori Gorou Banda**

<b>Paramètres Mesures</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur</b>
<b>Longueur de la rivière principale dans le bassin</b>	km	2
<b>Largeur moyenne du bassin</b>	km	0.5
<b>Longueur du rectangle équivalent</b>	km	2.25
<b>Largeur du rectangle équivalent</b>	km	0.7
<b>Altitude maximale</b>	m	263
<b>Altitude minimale</b>	m	180
<b>Altitude moyenne</b>	m	221.5
<b>Coefficient de forme</b>	%	25%
<b>Rapport de Miller</b>		0.55
<b>Indice de compacité</b>		1.35
<b>Pente moyenne</b>	%	3.68
<b>Indice global de pente</b>	m/Km	36.88
<b>Dénivelé spécifique</b>	m	37.98
<b>Longueur totale des drains retenus dans le bassin</b>	km	4.1
<b>Densité de drainage</b>	km/km <sup>2</sup>	3.79
<b>Superficie réelle du bassin</b>	Km <sup>2</sup>	1.08
<b>Superficie du rectangle équivalent</b>	Km <sup>2</sup>	1.57
<b>Périmètre du bassin</b>	Km	4.9
<b>Surface d'un cercle ayant le même périmètre</b>	Km <sup>2</sup>	1.95

Des jardins potagers (photo 49) en aval du kori et des champs de mil occupent l'ensemble de la partie médiane et amont du bassin. Le fond du kori est exploité par les travaux publics (carrières d'exploitation de graviers et sables).

Le bassin kori Gorou Banda fait 1,08 km<sup>2</sup> (figure 38), ce kori a connu d'intenses mutations avec l'installation de nombreuses carrières pour l'extraction de la latéralité pour les chantiers.

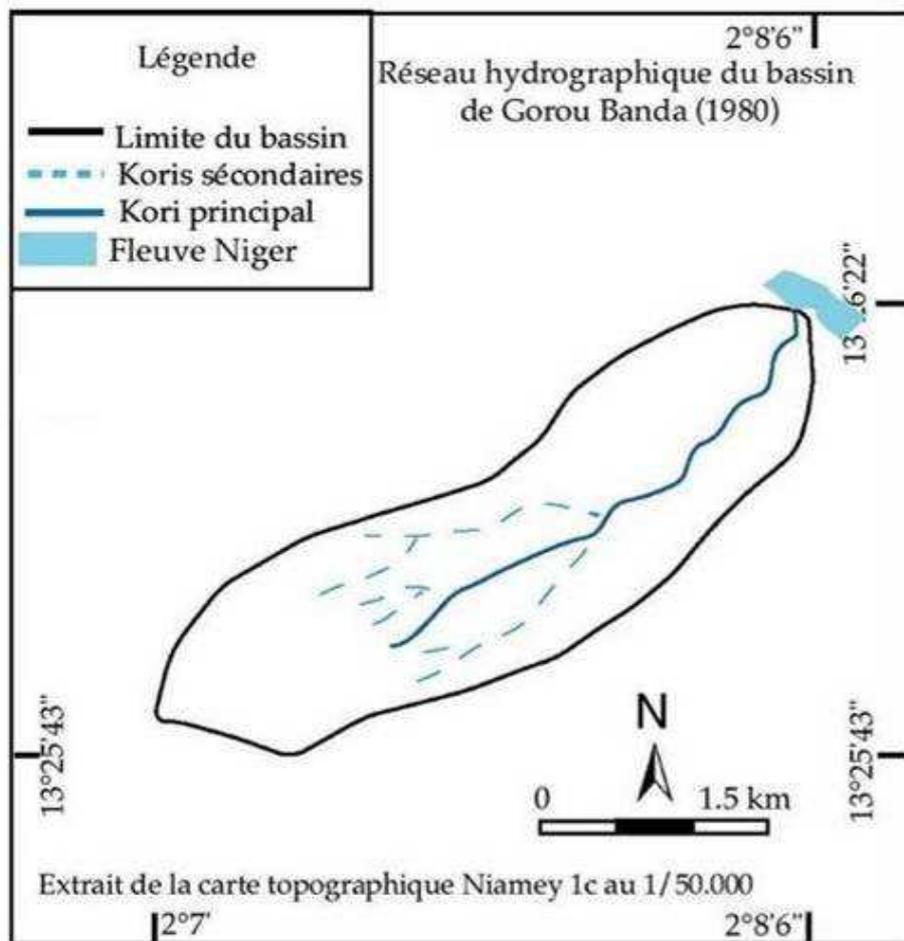


Figure 37: Carte du réseau hydrographique du kori de Gorou Banda

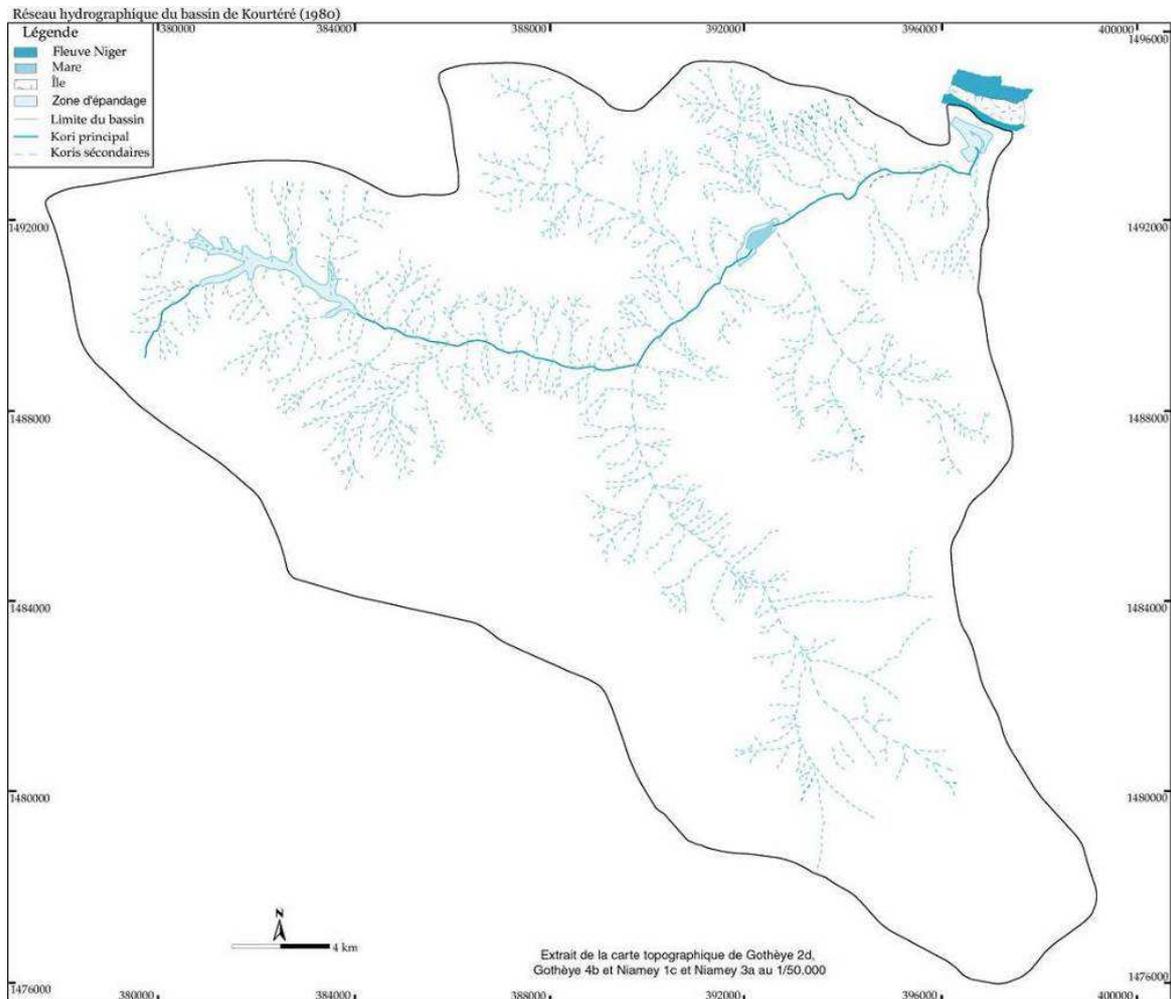
#### III- 4.1.4- Caractérisation des bassins versants observés et non équipés : exemples des bassins versants de Kourtéré, Karma

En plus des bassins versants de Boubon, Gorou Kirey, Gorou Banda étudiés et équipés, nous observons aussi 2 autres koris, ceux de Kourtéré et de Karma.

##### **-Le kori Kourtéré**

Le kori Kourtéré est un des plus grands koris de la région de Niamey (figure 39), il draine un immense bassin de plus 160 km<sup>2</sup>. Son bassin est en cours d'aménagement, des ouvrages anti

érosifs comme les banquettes, les cordons pierreux etc. sont réalisés sur les plateaux dominant ce bassin depuis 1990. D’après la cartographie de Chinen (1999) cette vallée était endoréique avant 1996.



*Figure 38: Carte du réseau hydrographique du kori Kourtéré*

Son bassin est drainé par un réseau très dense de ravins secondaires, la densité de drainage est actuellement de 2.3 (tableau 22). Ce kori a emporté plusieurs ouvrages routiers installés sur son lit (photo 50) lors de l’épisode pluvieux du 6 septembre 1998 ; ce même épisode, au cours duquel il est tombé plus de 100 mm en quelques heures sur toute la rive droite du Niger de Niamey jusqu’à Guilahel (40 km en aval, rive droite) au moins, a aussi entraîné la rupture d’endoréisme du vallon de Leli Maman Niaoulé qui a un bassin de 3 km<sup>2</sup>. Au cours de cet épisode l’écoulement a rompu deux cordons dunaires qui retenaient deux mares, et le néo-kori, de 15 m de profondeur, a coupé la route goudronnée de Say. La route de Niamey à Namaro par la rive droite a aussi été coupée, ce qui rend l’axe Niamey – Namaro – Farié (en rive gauche du fleuve) inaccessible en cas de crue de ce kori, tant que le pont sur le kori

Kourtéré n'aura pas été reconstruit. Le cône de déjection de ce kori (voir photo 4 au chapitre 1) est aussi une grande zone d'extraction de sable.

*Tableau 21: Situation morpho métrique actuelle du bassin du kori Kourtéré*

<b>Paramètres Mesures</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur Mesurée ou calculée</b>
<b>Longueur de la rivière principale dans le bassin</b>	km	21
<b>Largeur moyenne du bassin</b>	km	10.73
<b>Longueur du rectangle équivalent</b>	km	26
<b>Largeur du rectangle équivalent</b>	km	17.35
<b>Altitude maximale</b>	m	277
<b>Altitude minimale</b>	m	190
<b>Altitude moyenne</b>	m	233
<b>Coefficient de forme</b>		51.09
<b>Rapport de Miller</b>		0.38
<b>Indice de compacité</b>		1.6
<b>Pente moyenne</b>	%	0.51
<b>Indice global de pente</b>	m/Km	3.34
<b>Dénivelé spécifique</b>	m	42.21
<b>Longueur totale des drains retenus dans le bassin</b>	km	373
<b>Densité de drainage</b>	Km/km <sup>2</sup>	2.3
<b>Superficie réelle du bassin</b>	Km <sup>2</sup>	160
<b>Superficie du rectangle équivalent</b>	Km <sup>2</sup>	451.1
<b>Périmètre du bassin</b>	Km	72
<b>Superficie d'un cercle ayant le même périmètre</b>	Km <sup>2</sup>	412.38



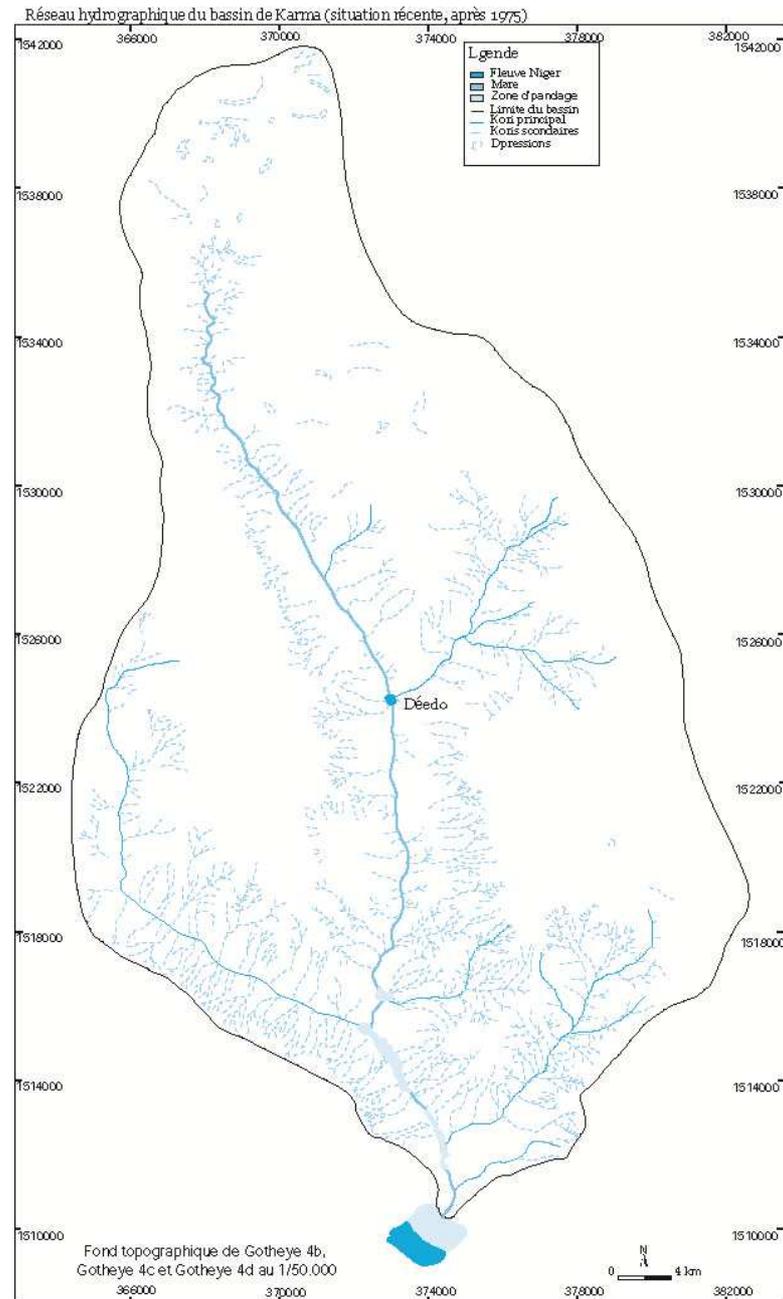
*Photo 50: Buses en béton restant du radier détruit par une crue du kori Kourtéré en 1998*



*Photo 51: Section très large d'écoulement du kori Karma (plus de 150 m)*

### ***-Le kori Karma***

Situé à l'amont de Niamey, à 40 km, c'est un des plus grands koris exoréiques de la rive gauche du fleuve Niger. Le kori Karma (photo 51) draine aussi un très grand bassin d'environ 375 km<sup>2</sup> (tableau 23) avec présence d'un grand barrage créant une retenue d'eau complétée par des zones d'épandage intermédiaires dans la partie médiane. Ces zones qui étaient des anciens sites de mares endoréiques, sont aujourd'hui colmatées par les apports sédimentaires des koris (figure 40). Ce secteur abrite une véritable petite oasis constituée de petits jardins soignés et irrigués par puisage dans la nappe proche, qui servent à alimenter Niamey en produits maraichers



**Figure 39: Carte du réseau hydrographique du kori Karma**

La zone de jonction kori Karma et l'axe routier Niamey – Tillabéri est du reste fréquemment réaménagée par les travaux publics du fait de son remodelage permanent par le kori.

*Tableau 22: Situation morpho métrique actuelle du bassin du kori Karma*

<b>Paramètres Mesures</b>	<b>Unité</b>	<b>Valeur Mesurée ou calculée</b>
<b>Longueur de la rivière principale dans le bassin</b>	km	21
<b>Largeur moyenne du bassin</b>	km	9.85
<b>Longueur du rectangle équivalent</b>	km	31.5
<b>Largeur du rectangle équivalent</b>	km	18.5
<b>Altitude maximale</b>	m	283
<b>Altitude minimale</b>	m	190
<b>Altitude moyenne</b>	m	236.5
<b>Coefficient de forme</b>		31.77
<b>Rapport de Miller</b>		0.88
<b>Indice de compacité</b>		1.05
<b>Pente moyenne</b>	%	0.31
<b>Indice global de pente</b>	m/Km	2.95
<b>Dénivelé spécifique</b>	m	57.11
<b>Longueur totale des drains retenus dans le bassin</b>	km	510
<b>Densité de drainage</b>	Km/km <sup>2</sup>	1.36
<b>Superficie réelle du bassin</b>	Km <sup>2</sup>	375
<b>Superficie du rectangle équivalent</b>	Km <sup>2</sup>	582.75
<b>Périmètre du bassin</b>	Km	73
<b>Superficie d'un cercle ayant le même périmètre</b>	Km <sup>2</sup>	423.9

On observe aussi d'autres secteurs de rupture d'endoréisme très récent dans la région de Niamey cas des koris Lossa Goungou et Léli Maman Niaoulé (ce dernier sera utilisé comme exemple dans le sous chapitre IV-2.4-Naissance de nouveaux koris page 137-138)

Les photos 52 et 53 montrent le néo-kori de Losso Goungou créé récemment (en 1994 d'après les habitants du quartier, très proche de Niamey) par une rupture d'endoréisme :

-Le premier (photo 52) est le kori de Losso Goungou vu vers l'aval ;

- Le kori second (photo 53) est le même vu vers l'amont.



*Photo 52: Rupture d'endoréisme du kori Losso Goungou ; vue vers l'aval*



*Photo 53: Rupture d'endoréisme récente du kori Lossa Goungou vu vers l'amont ; au fond la cuvette où se trouvait une mare*

### **Conclusion partielle**

En 2005, le Niger comptait presque 13 millions habitants ; la population a dépassé les 15 millions début 2011; sans diminution du taux de croissance, le pays aura en 2050 presque 78 millions habitants (Guengant et Banoin, 2003). Cette population pratique comme activités principales des cultures pluviales sur les glacis, les terrasses fluviales, et les dunes ; des cultures de décrue aux bords du fleuve et dans les bas-fonds ; l'élevage y est la seconde activité.

L'agriculture reste l'activité la plus pratiquée en mobilisant presque toute la population. Cependant, cette agriculture souffre de son extensivité (figure 41) et de la pauvreté des sols.

Cette région de Niamey est l'une des régions où la pression sur les ressources naturelles du fait de la consommation en bois est la plus forte (photo 59). En effet, les ressources naturelles doivent faire face aux énormes besoins de la ville de Niamey et aussi des autres centres urbains de la région.

La ville de Niamey retire de ces terroirs péri urbains une grande partie du bois qui constitue la principale source d'énergie domestique dont a besoin sa population.

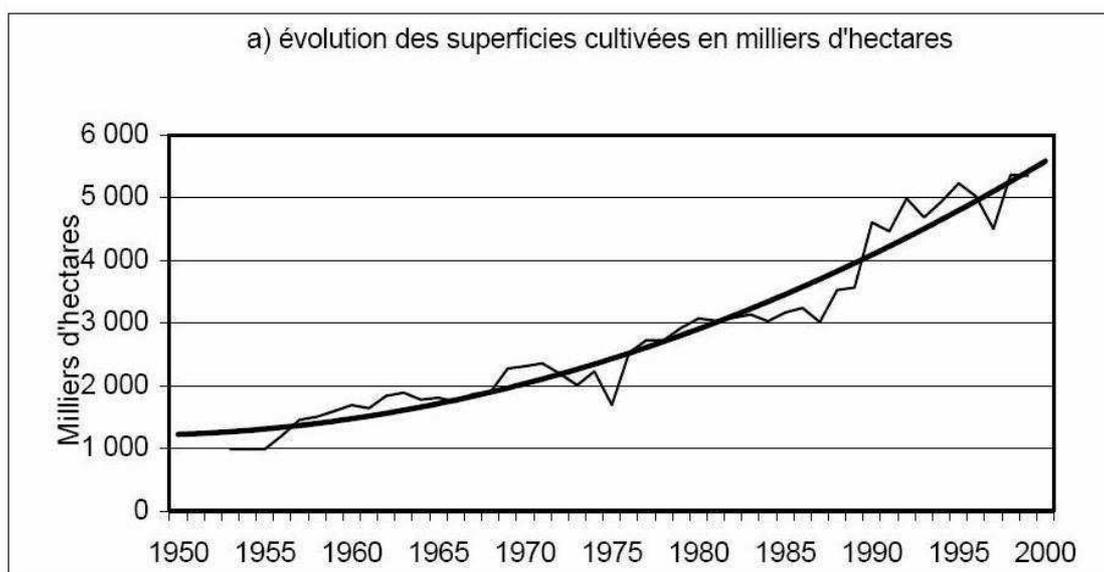


Figure 40: Évolution des surfaces cultivées en mil au Niger (Guengant et Banoïn, 2003)

Le patrimoine forestier du terroir connaît depuis quelques décennies une pression agricole inquiétante due à l'augmentation de la population et à la sur exploitation de la végétation naturelle pour extraction du bois de chauffe pour la consommation ou d'autres activités (bâtiment, etc.). L'emprise anthropique sur l'environnement est évidente : destruction de la Brousse tigrée, dégradation croissante des terres cultivables ou sur pâturées (photo 54). Ceci expose les sols à l'agressivité des pluies, causant une intense érosion et une baisse de la fertilité des sols (photo 55), et augmentant par conséquent le risque de désertisation. Les actions anthropiques sont en grande partie responsables de la destruction du couvert végétal. La conséquence de ces actes est bien sûr la déforestation galopante à laquelle nous assistons aujourd'hui. Le milieu actuel est caractérisé par un environnement physique dont la dégradation semble s'amplifier et s'accélérer sous l'effet combiné des actions de l'homme et de la péjoration climatique (photo 56).

La région sahélienne se caractérise par une pluviométrie très érosive, une évaporation forte accompagnée d'une action anthropique « déséquilibrante » (Peugeot 1995). Au vu de cette situation, on assiste depuis quelques décennies à des changements environnementaux rapides (Amadou 1994). Une forte menace d'ensablement se développe dans des zones préférentielles de la région de Niamey (photo 57). La région de Niamey se caractérise par une dynamique hydro-sédimentaire récente née du néo-exorésisme de koris-affluents entraînant une situation sévère dans cette portion de la vallée du fleuve.



*Photo 54: Végétation arbustive éparses et absence du tapis herbacé sur les versants bassin de Boubon*



*Photo 55: Mise en valeur de terres marginales dans le bassin du kori Boubon*



*Photo 56: Champs dévoré par le ravinement*



*Photo 57: Immense cône formé par le kori Gorou Kirey*



## **CHAPITRE IV– LA DYNAMIQUE EROSIVE ACCELEREE DANS LA REGION DE NIAMEY ET EVOLUTION MORPHOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE DES KORIS**

Ce chapitre traite des processus et facteurs de la dynamique actuelle principalement l'évolution des occupations des sols et l'étude des facteurs physiques et humains expliquant la dynamique accélérée observée dans la région de Niamey.

Les ressources naturelles sont perpétuellement menacées par l'action de la société qui modifie le paysage, que cela soit par l'agriculture, ou par le prélèvement de bois de chauffe ou de service auquel s'ajoutent les effets de irrégularité de la pluviométrie. Le patrimoine forestier du terroir connaît depuis quelques décennies une récession provoquée par une pression agricole elle-même due à l'augmentation de la population et à la surexploitation de la végétation naturelle pour la collecte du bois de chauffe pour la consommation. L'emprise anthropique sur l'environnement est évidente : la destruction de la Brousse tigrée, la dégradation croissante des terres cultivables ou sur pâturées. Ceci expose les sols à l'agressivité des pluies, causant une intense érosion et une baisse de la fertilité des sols, augmentant par conséquent le risque de désertification. Les actions anthropiques sont en grande partie responsables de la destruction du couvert végétal. La conséquence de ces actes est bien sûr la déforestation galopante à laquelle nous assistons aujourd'hui. Le milieu actuel est caractérisé par un environnement physique dont la dégradation semble s'amplifier et s'accélérer sous l'effet combiné des actions de la société et de la péjoration climatique.

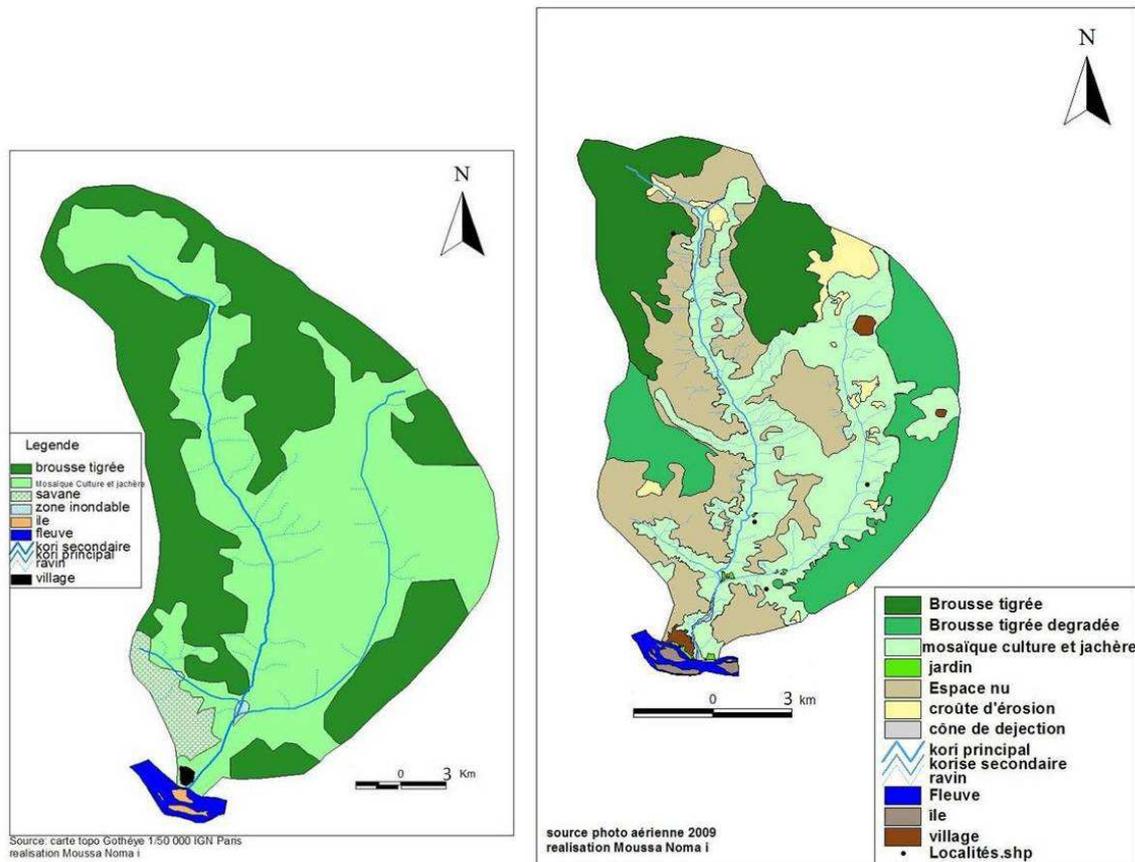
La dynamique érosive actuelle dans cette région Ouest du Niger s'est avérée très active (Boulain et al. 2006, Descroix et al, 2009b). Elle est liée aux changements d'usage des sols causés, par les sécheresses et la pression anthropique sur les ressources naturelles. Selon Mahé et Paturel (2009), les coefficients d'écoulement ont augmenté dans les régions où les pluies annuelles sont inférieures à 750 mm, sous climat sahélien et subdésertique, conduisant à des pics de crue plus précoces et plus importants entraînant l'augmentation du ruissellement (Mamadou et Ben Tahar, 2010) dans les bassins versants de la région de Niamey.

Nous analysons donc la dynamique de l'occupation des sols dans les bassins versants étudiés en montrant enfin les rôles des facteurs expliquant l'augmentation du ruissellement et l'évolution vers les ruptures d'endoréisme observée des koris dans cette région de Niamey.

## IV- 1 –La dynamique actuelle des koris de la région de Niamey

### IV- 1. a- Le bassin de Boubon, évolution de l'occupation du sol

En 1955, la Brousse tigrée couvrait dans le bassin de Boubon, une superficie de 65,2 km<sup>2</sup> soit 40,25% de la superficie du bassin versant (tab. 24). On constate aussi que la proportion de la zone de la mosaïque composée de cultures pluviales et de jachères est très importante (91,8 km<sup>2</sup>) soit 56,65%, ce qui représentait plus de la moitié de l'ensemble de la superficie du bassin versant. La vue des photos aériennes fait ressortir une rareté ou l'absence de la croûte d'érosion permettant de dire que le bassin versant est moins dégradé en 1955 que ensuite.



Source: carte topo Gothéye 1:50 000 IGN Paris  
realisation Moussa Noma i

source photo aérienne 2009  
realisation Moussa Noma i

*Figure 41: Carte d'occupation des sols dans le bassin versant du kori Boubon en 1955 (Source Carte topographique 1/50000 IGN Paris)*

*Figure 42: Carte d'occupation des sols dans le bassin versant du kori Boubon en 2009 (Source image spot 2009 Agrhymet)*

On peut supposer qu'en 1955, la situation était caractérisée par un effet limité du ruissellement et de l'érosion. Les figures 42 et 43 montrent la dégradation de la brousse tigrée qui passe de 40 à 30% de la surface totale malgré une très faible augmentation de l'espace cultivé. L'évolution de la dégradation de l'environnement a fait disparaître des mares et des

zones inondables qui ont laissé lieu et place au lit du kori et aux cultures irriguées. Tout ce changement, combiné à la pratique culturale a favorisé l'encroûtement d'une importante superficie d'environ 924 ha soit 5,69% de la superficie totale du bassin versant. En 2009, le bassin versant a connu une dynamique de dégradation accélérée lié à la disparation de la végétation spontanée. La surface du kori est de 8 ha (tableau 24).

*Tableau 23: unités d'occupation des sols dans le bassin versant du kori Boubon et leur évolution en 1955 et 2009 d'après les missions de photographies aériennes et les images spots 2009 fournies par l'Agrhymet*

<b>Boubon 162.24 km<sup>2</sup></b> <b>(surfaces en km<sup>2</sup>)</b>	<b>1955</b>		<b>2009</b>		<b>évolution</b>
	surface	%	surface	%	1955-2009
<b>Brousse tigrée régulière</b>	65,2	40,25	30,8	19,01	-21,23
<b>Brousse tigrée dégradée</b>	0	0,00	29,2	18,02	+18,02
<b>Mosaïque cultures pluviales jachères</b>	91,8	56,67	52,7	32,53	-24,14
<b>Savanes denses</b>	4,75	2,93	0	0,00	-2,93
<b>Zone inondable</b>	0,23	0,14	0	0,00	-0,14
<b>Savanes dégradées</b>	0	0,00	0	0,00	0,00
<b>Cultures irriguées</b>	0	0,00	0,24	0,15	+0,15
<b>espace nu (intégrant les croûtes d'érosion)</b>	0	0,00	47,32	29,83	+29,83

#### **IV– 1.b- Le bassin de Gorou Kirey, évolution de l'occupation du sol depuis 1955**

L'extension spatiale du kori Gorou Kirey est de 75 ha (tableau 25) en 1975 et le plateau surplombant ce bassin était occupé par une brousse tigrée régulière et abondante (figure 44). En 1996, près des deux tiers de la brousse tigrée régulière (figure 45) du bassin de Gorou Kirey a disparu, ceci constitue un facteur important dans la genèse du ruissellement descendant du plateau vers le fleuve Niger. Entre 1996 et 2005 (figure 46), Le kori a connu une grande évolution passant de 119 ha à 127 ha. Les changements les importants observés sont surtout liés à la disparition de la couverture végétale et surtout la grande extension de surfaces nues et raviniées avec développement du kori principal (figure 47).

*La dynamique actuelle de la brousse tigrée dans les bassins versants de Gorou Kirey et Boubon est liée au processus quasi général de la mise en culture récente (figures 44 et 45, 46, et 47). Ainsi la brousse tigrée régulière a totalement disparu dans ces bassins. Les regs*

et zones nues se sont largement développés. Ces formes sont les principales zones de production de ruissellement hydrique.

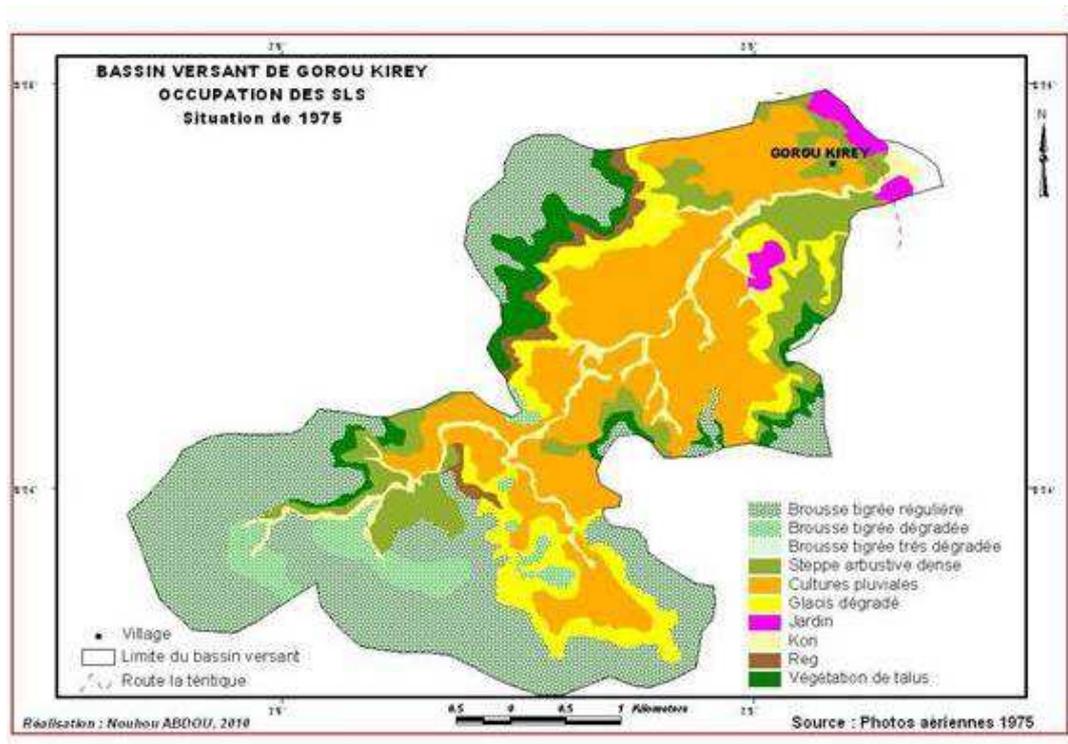


Figure 43: Dynamique de l'occupation des sols dans le bassin versant Gorou Kirey en 1975 (source : photographie aérienne, Mission IGN 1975)

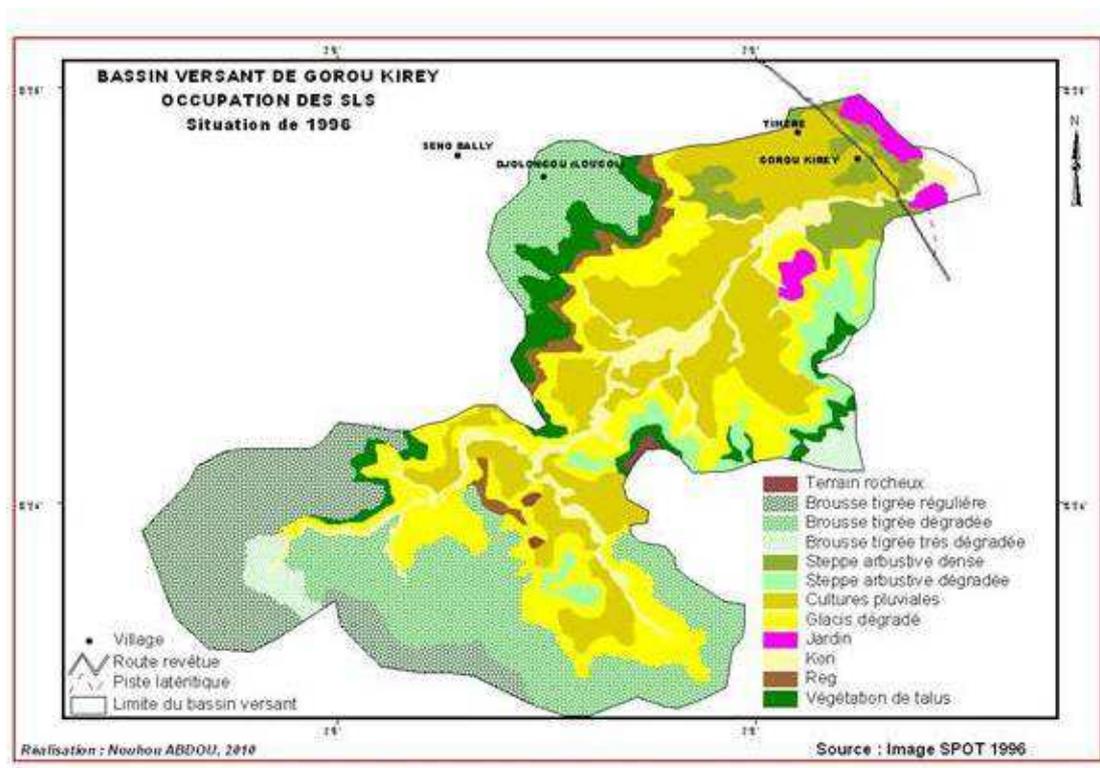


Figure 44: Occupation des sols dans le bassin versant Gorou Kirey en 1996

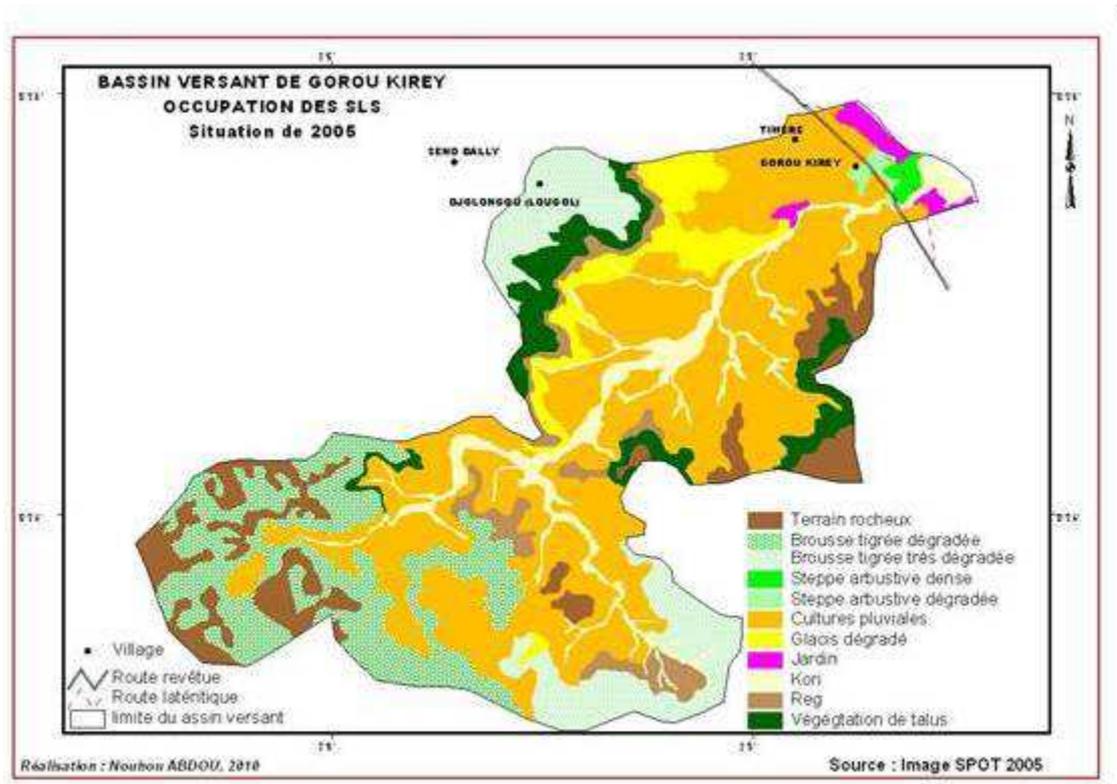


Figure 45: Dynamique de l'occupation des sols dans le bassin versant Gorou Kirey en 2005

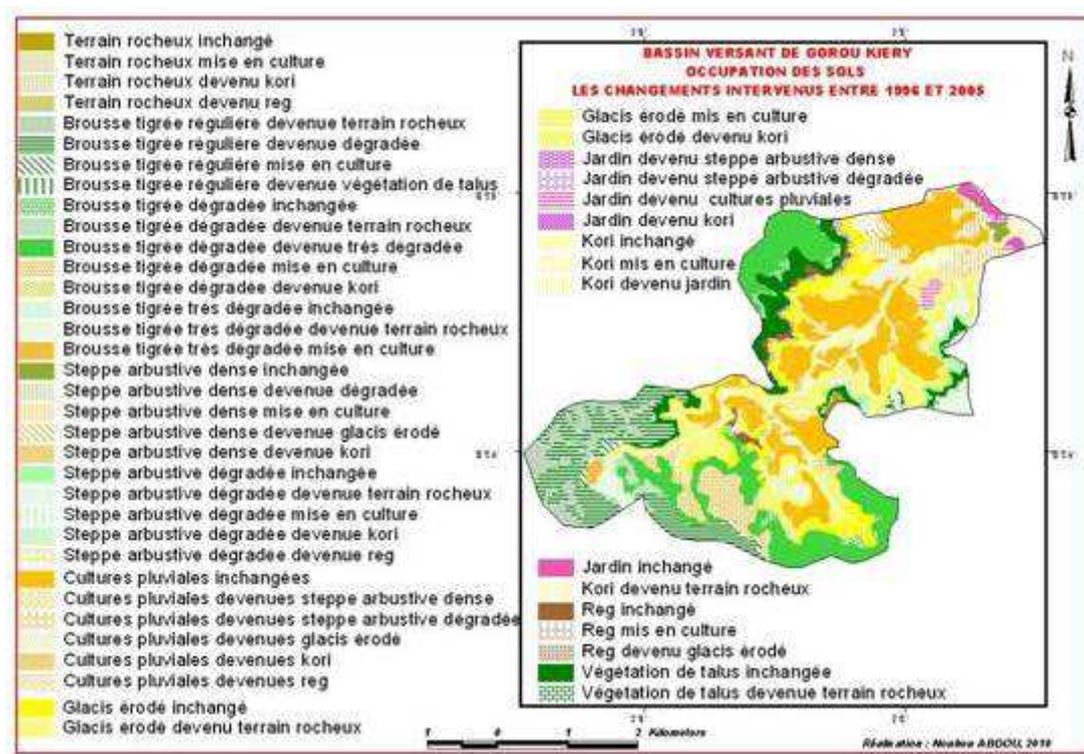


Figure 46: Changements d'occupations des sols dans le bassin versant Gorou Kirey entre 1996 et 2005

*Tableau 24: Evolution des unités d'occupation des sols dans le bassin versant du kori Gorou Kirey en 1975, 1996 et 2005*

Gorou Kirey 18,41 km <sup>2</sup> (surfaces en km <sup>2</sup> )	1975		1996		2005		évolution 1975-2005
	surface	%	surface	%	surface	%	
Terrain rocheux	0,00	0,00	0,06	0,32	1,83	9,93	+9,93
Brousse tigrée régulière	6,19	33,61	2,63	14,29	0,00	0,00	-33,61
Brousse tigrée dégradée	0,83	4,53	3,75	20,34	2,66	14,47	+9,94
Brousse tigrée très dégradée	0,02	0,09	0,43	2,33	1,95	10,59	+10,5
Steppe arbustive dense	2,00	10,88	0,71	3,86	0,08	0,45	-10,43
Steppe arbustive dégradée	0,00	0,00	0,74	4,04	0,09	0,47	+0,47
Cultures pluviales	5,16	28,01	3,88	21,06	7,71	41,87	+13,86
Glacis érodé	1,83	9,92	3,40	18,46	0,95	5,17	-4,75
Jardin	0,29	1,57	0,29	1,57	0,20	1,07	-0,51
Kori	0,76	4,12	1,19	6,46	1,27	6,92	+2,8
Reg	0,33	1,78	0,33	1,78	0,72	3,93	+2,15
Végétation de talus	1,02	5,52	1,02	5,52	0,95	5,16	-0,36

#### **IV-2- Naissance et néo- exorésisme des koris dans la région de Niamey**

Le changement d'occupation du sol observé dans le bassin-versant de deux koris est très représentatif d'une évolution observée à l'échelle du Degré Carré de Niamey, et plus largement, du Sahel. Nous venons de voir le lien entre l'augmentation des surfaces nues, la formation de surfaces ruisselantes sur les croûtes. **On pose donc l'hypothèse que la formation de nouveaux koris au cours des dernières décennies est directement liée aux modifications des états de surface et à la formation des croûtes.** Le néo-exorésisme est donc la réponse des hydrosystèmes aux changements environnementaux : sécheresse, réduction d'un tapis végétal spontané. Il pose au Sahel et compte tenu de la dynamique érosive actuelle, un problème de persistance et de frontières spatio-temporelles d'endorésisme.

Etant donnée l'activité actuelle de l'érosion, un secteur peut changer de type de comportement assez vite au gré de l'évolution des états de surface qui le caractérisent (Collinet, 1986). Selon

Gautier (1992), le cours d'eau est un système ouvert dont le fonctionnement est étroitement lié aux caractéristiques du milieu.

#### **IV-2.1-- Evolution des koris de la région de Niamey**

Selon Favreau (2000), hormis le fleuve Niger, de régime hydro-climatique guinéen, l'hydrologie de surface de la région ouest du Niger se caractérise par un endoréisme généralisé. Dans la région de Niamey, avant 1965, il n'existe aucun kori exoréique en rive gauche de fleuve Niger sur les images Corona de 1965, (Amogu 2009). En fait, environ 40 % du Sahel sont endoréiques (surtout les zones sédimentaires), 60% restant exoréiques (si l'on admet comme système endoréique le bassin du Chari, bien qu'il se jette dans le lac Tchad, la plus grande dépression endoréique du Monde, (Descroix, L., et al. 2009a), Cappelaere et al, 2009).

Seuls quelques lits de koris peu marqués existaient en rive droite du fleuve dans cette région. Si en 1956, le kori Boubon n'existait pratiquement pas, en 1975 (figure 48), il avait déjà un lit marqué même si l'écoulement n'atteignait pratiquement pas le fleuve. En 1975, à l'emplacement du grand cône formé aujourd'hui par le kori, on observe la présence d'arbres et arbustes. Les dépressions inter plateaux cuirassées et tabulaires étaient occupées par des séries de mares occupant le fond des dépressions endoréiques. Ainsi, les koris se sont développés dans ces dépressions occupées par des mares et ils drainent de longs glacis dénudés (figure 49).

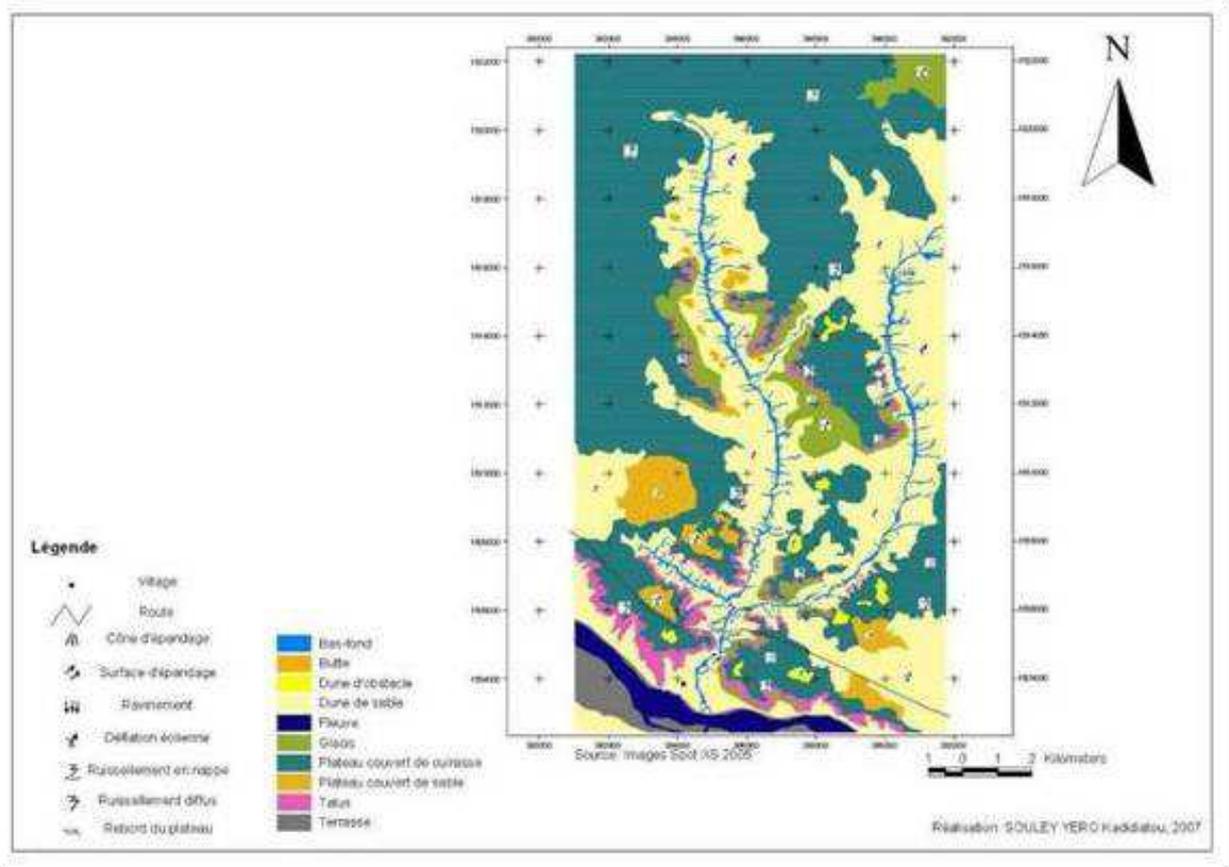


Figure 47: Carte géomorphologique du bassin versant du kori Boubon en 2005 (Souley 2007)

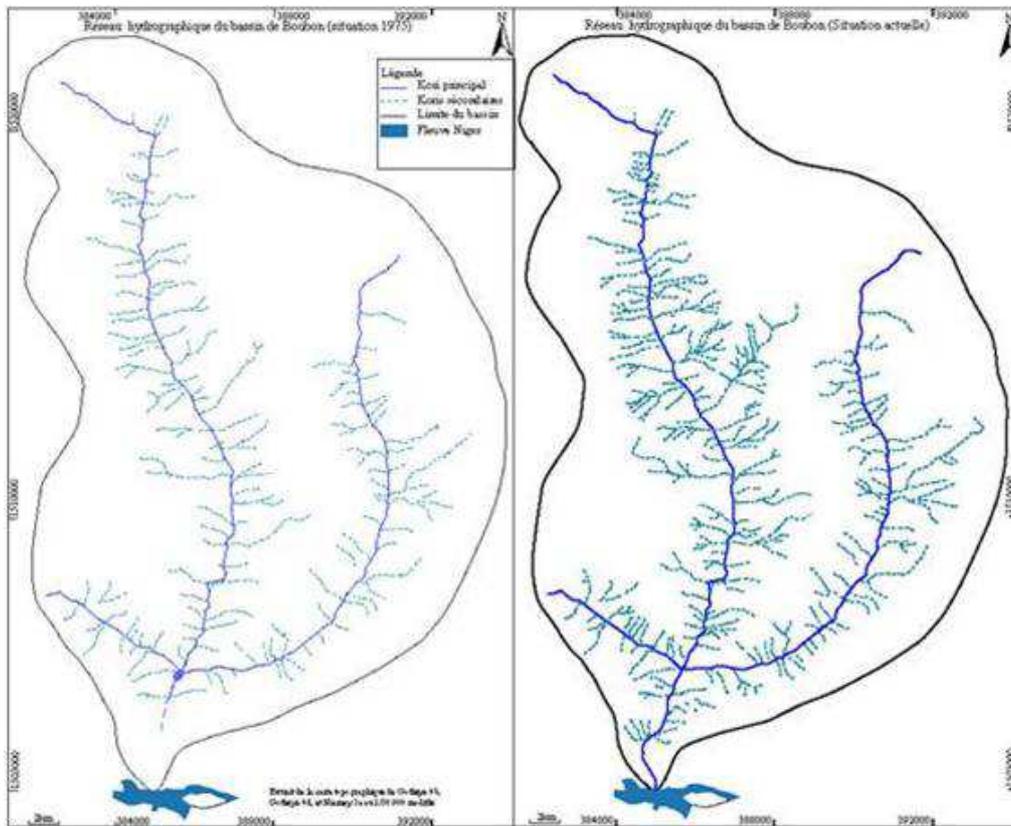
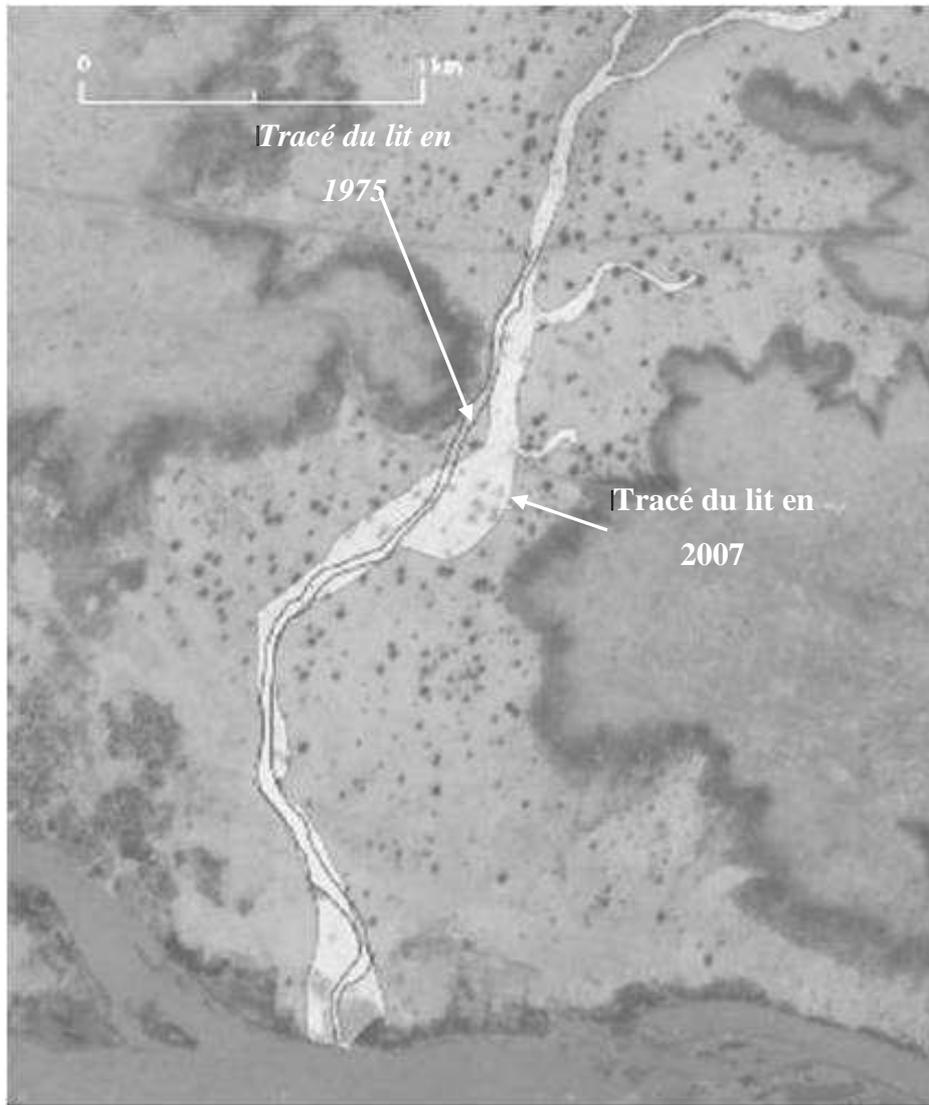


Figure 48: Evolution du réseau hydrologique dans le bassin versant du kori Boubon entre 1975 et 2009

En 2008, le kori marque bien son lit avec des berges assez abruptes par endroits et forme un grand cône d'épandage à la confluence au fleuve (figure 50).

Le fonctionnement actuel des koris exprime très clairement la réponse de l'ensemble du système sahélien aux perturbations qui sont à la fois d'origine climatique et anthropique (réduction des précipitations et du couvert végétal naturel). Les koris constituent le maillon essentiel dans la chaîne des processus agissant des versants au fleuve Niger.

Le creusement de la vallée du kori Boubon ainsi que toutes les vallées de cette région aurait commencé à la fin du Pliocène ou au début du Quaternaire suivant la direction Nord- Sud, direction qui correspond à une des directions tectoniques du socle précambrien. Le creusement s'est poursuivi jusqu'à l'Holocène en plusieurs étapes entrecoupées de phases de dépôts fluviaux et éoliens lors des périodes arides. En amont d'un grand cône d'épandage (Photo 58), l'observation de la stratigraphie des berges actuelles hautes à certains endroits de plus de 3 m (photo 59), entaillées dans les anciens sédiments jusqu'aux altérites des roches du socle, montre bien ce développement par phases successives de creusement et de sédimentation (Souley 2007).



*Figure 49: Evolution du lit aval du kori Boubon entre 1975 et 2007*



*Photo 58: Immense cône d'épandage du kori Boubon (juin 2008)*



*Photo 59: Crue du kori de Karma devenu exoréique depuis 1970*

Le Sahel est caractérisé au niveau hydrologique par deux processus assez répandus : d'une part l'endoréisme, déjà évoqué, qui concernerait entre 30 et 40% de la surface totale sans qu'il soit très aisé de le cerner géographiquement tant il est multi-échelle. Son corollaire est la présence d'un grand nombre de mares. D'autre part, l'intermittence des écoulements liée au caractère hortonien des ruissellements sur des sols peu profonds, encroûtés et comportant de faibles capacités de stockage de l'eau. Desconnets (1994) a bien montré comment le changement hydrographique conduit à l'endoréisme par verrouillage des fonds de nombreuses vallées. L'évolution actuelle des koris se traduit par une réponse hydrologique accélérée. Cette situation est assez récente (à partir des années 1950). Le changement hydrologique actuel se traduit par diverses tendances au semi endoréisme et à l'exoréisme selon les échelles spatiales et temporelles (photo 58). On observe la disparition des anciennes mares endoréiques comme celle de Kabé dans le bassin versant du kori Karma (Photo 59). Sur l'ancien site de cette mare s'est formé un grand cône d'épandage intermédiaire (Malam Abdou 2005). En 2006 par exemple, le kori Ouallam qui a ruisselé sur une grande partie de son cours en faisant une autre illustration de ces phénomènes exceptionnels récents. De même, en 1975 les drains du kori Boubon n'étaient pas organisés et à la jonction de ces trois principaux drains s'est formée une mare où s'arrêtaient les écoulements des trois drains du kori. Mais actuellement le réseau des ravines dans ce bassin est devenu assez dense et la mare a disparu car elle est totalement colmatée.

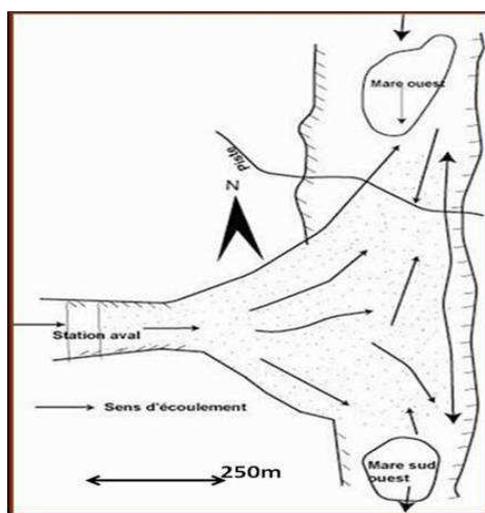
A partir des études précédemment menées et de nos observations, nous avons pu établir une typologie génétique des koris dont l'exutoire se situe dans la région de Niamey.

#### **IV-2.2- Endoréisme des vallées sèches : cas du kori Dantiandou**

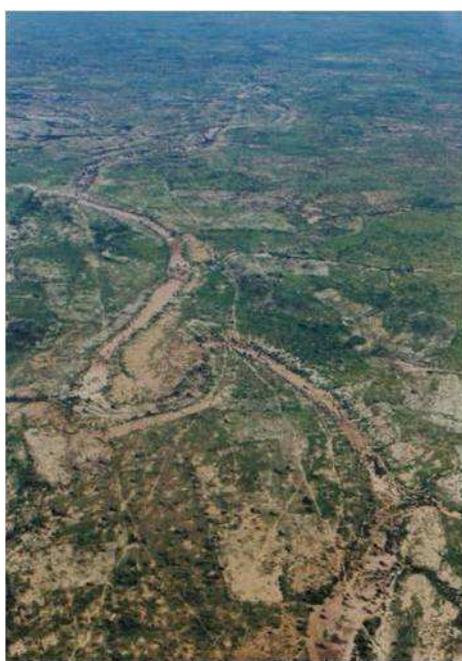
Ce premier type est constitué de vallées sèches dans lesquelles se sont multipliées récemment les mares. Ainsi, la vallée du kori de Dantiandou (photo 60) forme actuellement un système constitué de plusieurs sous bassins versants endoréiques. Un chapelet de mares occupe le fond de la vallée principale. Les bassins versants ont des superficies inférieures à une dizaine de kilomètres carrés. L'apparition de nouvelles mares dans la vallée du kori est aussi une manifestation du changement hydrologique du Dantiandou. Entre 1986 et aujourd'hui plusieurs mares se sont formées tant dans la vallée du Dantiandou que sur les interfluves des bassins versants du Fakara.

Ces fonds de mares évoluent et peuvent se déplacer d'une année à l'autre et à l'échelle de plusieurs années, mais aussi à celle de la crue en fonction des dépôts et érosions (Mamadou

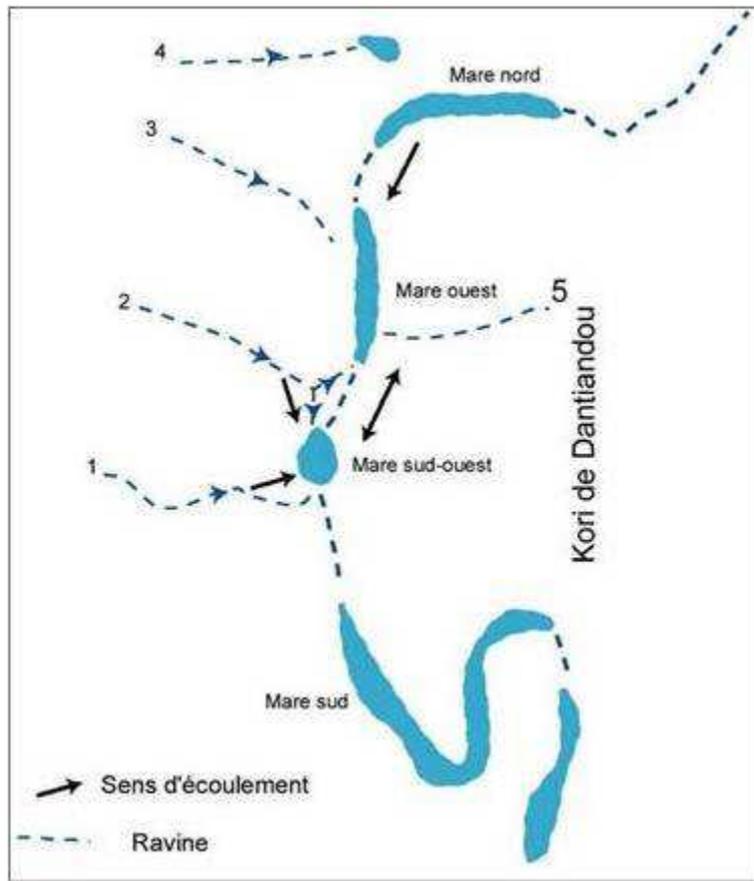
2006). Dans ces zones endoréiques, les mares se multiplient ces dernières décennies (figures 51 et 52). Les bassins versants de la région de Niamey se présentent du point de vue hydro géomorphologique comme des topo-séquences à pente plus ou moins faible (photo 61). Des drains parcourent l'ensemble ou une portion des bassins. Ces drains sont interrompus parfois par des zones d'épandage sableux à mi-versant ou atteignent la mare située dans la vallée principale (Cappelaere et al. 2009). Ainsi, la phase d'érosion actuelle explique la multiplication des cônes de déjection qui coupent les mares de certains koris comme celui d'Ouallam (photo 61).



*Figure 50: Schéma du cône confluent entre la mare Ouest et Sud-ouest de Wankama (Mamadou 2006)*



*Photo 60: Image du kori Dantiandou, (Le Breton 2005)*



*Figure 51: Réseau de ravines latérales et mares endoréiques dans la vallée du kori au village de Wankama en 2005 (Mamadou 2006).*



*Photo 61: Néo – exoréisme en aval des vallées fossiles : cas de la partie aval du kori Ouallam par débordement des mares coalescentes 2007*

#### **IV-2.3- Néo – exoréisme des grandes vallées fossiles : cas de la vallée fossile du kori Ouallam**

Certaines grandes vallées fossiles sont depuis quelques décennies marquées par une progression des écoulements continus sur un long linéaire. Depuis quelques dizaines d'années, on observe certaines années (1994, 1998, etc.) une reprise des écoulements dans les parties aval d'anciennes vallées fossiles. Il revient à Desconnets (1994) d'avoir le premier décrit dans sa thèse le fonctionnement hydrologique global d'une région endoréique du Niger occidental. Il montre bien comment la réponse hydrologique aux périodes sèches de l'Holocène a conduit à la fermeture de nombreuses vallées, et à la constitution de vastes secteurs endoréiques dans le Sahel, durant les derniers millénaires. C'est cette fermeture qui est en train d'être sérieusement modifiée depuis quelques décennies (photo 61). Ainsi, selon Bouzou et al (2009) le kori Ouallam, affluent du fleuve Niger qui prend sa source au Mali, a repris progressivement ses écoulements saisonniers depuis 1999 pour dépasser, en 2006, la ville d'Ouallam située à 100 km au Nord de Niamey.

#### **IV-2.4-Naissance de nouveaux koris**

Certaines dépressions fermées par des cordons sableux étaient occupées par des mares. A la suite d'événements pluvieux exceptionnels, le niveau de l'eau dans les mares monte et le verrou de la mare « saute » ; l'écoulement creuse un lit bien marqué et le kori se forme et s'élargit d'une crue à une autre. Le 6 septembre 1998, les mares dominant le village de Léli Mamane Nialé ont débordé et formé un kori qui s'est creusé et a coupé la route goudronnée de Niamey à Say (photo 62, photo 63). Dans un rapport du Club JRD du lycée La Fontaine Niamey (2007), les riverains ont raconté les événements de la journée du 6 septembre 1998 et les conséquences qu'ils avaient eu à en subir (destruction de récoltes, disparition des mares en amont, craintes pour le futur, mais aussi possibilité de cultiver le manioc par irrigation dans la partie aval du kori). Ils concluent que les causes sont le déboisement, le surpâturage, la pluie effectivement très intense ce jour là. Ces crues très violentes modifient les modelés hydrographiques locaux (Yahaya et Mahamadou, 2001 ; Bouzou 2006).

Par la suite, le lit du kori évolue rapidement d'une crue à l'autre. Les dépôts de sédiments ont deux effets principaux. Ils modifient le tracé du talweg du kori. Ils provoquent un élargissement du lit comme le montre la présence des Combrétacées dans le lit du kori, sur la photo 64 ; ils y sont même enterrés partiellement comme on peut le voir sur la photo 64.

Ceci s'explique par l'élargissement continu des koris et montre que la dynamique d'écoulement est très récente (Photo 65).



*Photo 62: Présence des arbres dans l'axe d'écoulement du kori Hamdalaye à 50 km à l'Est de Niamey en septembre 2009*



*Photo 63: Verrous des mares emportés par la crue amont du bassin du kori Léli Mamane Nialé*



*Photo 64: Rupture de buses du goudron et creusement d'une nouvelle vallée sur la route Niamey – Say dans la partie aval du kori Léli Mamane Nialé en 1998 (Photos Rajot J-L).*



*Photo 65: Lit du kori Léli Mamane Nialé né de la crue du 6 septembre 1998 (photo Rajot J-L 2007).*

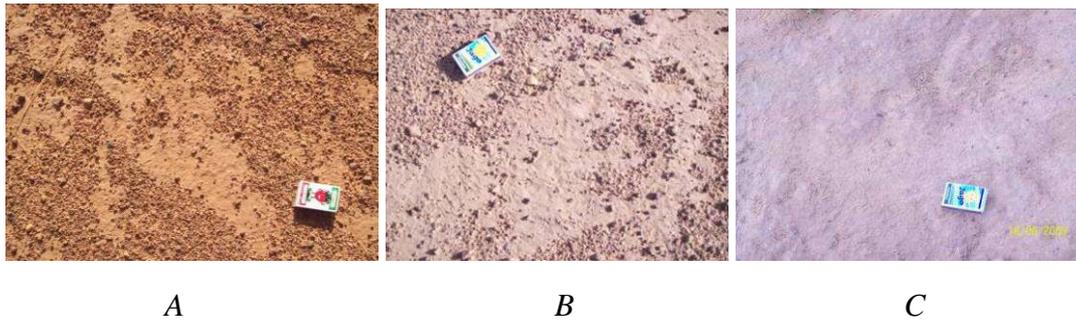
### **IV-3- Les facteurs de la dynamique actuelle des koris de la région de Niamey**

#### **IV-3.1-Le rôle des croûtes sur l'érosion hydrique à l'origine du néo-exoréisme ?**

L'origine de l'érosion hydrique au Sahel et dans cette région de Niamey est essentiellement dominée par le processus de formation des croûtes d'érosion.

L'érosion hydrique est un processus très actif dans l'évolution de la dégradation des milieux sahéliens (Mainguet et al. 1979). D'après Ambouta (1996), c'est le degré de ruissellement à la fin de l'épisode pluvieux qui constitue le meilleur indice du développement des croûtes

d'érosion (photo 66). L'extension des croûtes d'érosion que connaissent les bassins versants sahéliens est à l'origine du ruissellement de type hortonien sur les versants et le développement de ravins et koris observés au Sahel (Leblanc M. et al 2008). L'encroûtement procède essentiellement de la dégradation de la structure de surface des sols par suite de la destruction des agrégats, de la disjonction des particules et de la compaction de surface par les gouttes de pluie (Casenave et Valentin. 1989).



*Photo 66: Evolution d'un état de surface élémentaire du sol : passage d'une croûte structurale en croûte d'érosion par effet de splash, déflation et ruissellement*

La croûte d'érosion (photo 66C) est une formation superficielle indurée plus ou moins friable résultant du tassement du sol et de la fermeture des pores due à la battance de la pluie et au splash qui fait boucher les pores fonctionnels par les particules fines éjectées par l'impact de la goutte d'eau (Casenave et Valentin, 1989 ; Giret ,2007), (Photo 66 A). La formation des croûtes obéit à différents processus, qui peuvent se produire simultanément ou non (Ambouta et Valentin, 1996). Sous l'action de la pluie ou du vent, la structure de l'horizon superficiel du sol se modifie (Casenave et Valentin 1994). Les gouttes de pluie, par leur énergie cinétique, provoquent le fractionnement des agrégats et la dispersion de la phase argileuse (Remenieras 1976). Les particules détachées peuvent ensuite être déplacées par projection et rejaillissement de fines gouttelettes (effet "splash") (photo 66 B). L'humectation seule peut provoquer la déstructuration des particules due à l'éclatement des agrégats sous l'effet de l'augmentation de la pression de l'air contenu à l'intérieur et à la fissuration d'agrégats d'argileux (Casenave et Valentin 1994). Dans une moindre mesure, les eaux de ruissellement participent également à la réorganisation de la surface des sols, par arrachement et transport des particules, dont une partie se dépose au sein du liquide en mouvement (ruissellement aréolaire et en nappe) (Hudson et Jackson 1959). Après la pluie, les particules fines en suspension dans l'eau, sédimentent lentement dans les micro-dépressions topographiques, créant ainsi des croûtes (Photo 66 C). Le vent, lui, a une action d'arrachement (déflation) et de transport de particules qui s'observe principalement dans des conditions sèches. Touré (2011)

souligne que le processus du développement des croûtes d'érosion, dans la région de Niamey, sur de larges surfaces, débute d'abord par une mise en culture intense des terres qui diminue progressivement leur taux de couverture par la biomasse. Cette baisse de la biomasse affaiblit la rugosité des sols, qui vont être soumis à une forte érosion éolienne aboutissant du coup au développement des croûtes, souvent sous la forme de dépression hydro-éoliennes.



A

B

*Photo 67: Formes de ravinements observés dans le bassin versant du kori Boubon en 2009*

#### **IV-3.2- L'agressivité du climat**

L'agressivité de la pluie déterminée à partir de son intensité constitue le principal facteur expliquant l'évolution du ruissellement en nappe et le développement des formes linéaires du ruissellement (Bravard et Petit 1997). On assiste à une aggravation de l'érosion hydrique sous toutes ses formes sur les plateaux, leurs rebords, les jupes sableuses et l'ensemble des versants. L'érosion linéaire est la seconde forme d'érosion hydrique qui s'accroît de plus en plus par le phénomène de ravinement (Horton 1945).

Plusieurs indices sont utilisés pour déterminer l'agressivité d'une pluie, il est retenu l'indice de Fournier(1962) ; Ce dernier exprime K (l'agressivité) par le rapport de la précipitation moyenne mensuelle la plus élevée au carré sur la moyenne pluviométrique annuelle ( $K = p^2/p$ ). Etant donnée l'inégale répartition de la pluie dans le temps et dans l'espace, les précipitations de ces trois (3) localités (Willa, Danki et Kolanga) respectivement à la partie amont, partie latérale, et aval du bassin versant du kori Boubon, nous ont permis de déterminer l'agressivité de la pluie. Cette application s'est réalisée par l'homogénéisation de la pluie par la méthode d'isohyètes. C'est ainsi que la partie amont a connu une agressivité des pluies de 49,5 ( $k = p^2/P$  du P9) ; la partie médiane, quant à elle a connu une agressivité de 73,45 ( $k = p^2/P$  du P2) ; et en fin la partie aval dont l'agressivité est de 46,97 ( $k = p^2/P$  du P3).

Cosandey et Robinson (2000) soulignent que l'érosion aréolaire et le ravinement des versants (photo 67 B) sont prépondérants dans les régions semi-arides et celles où le couvert végétal a été fortement dégradé. La première tend vers un abaissement, une régularisation des versants qui prennent parfois la forme d'un plan incliné (glacis).

Cet impact climatique/humain sur les états de surface est si important qu'il a modifié depuis des décennies les régimes hydrologiques des rivières sahéliennes, depuis le petit bassin jusqu'au plus grand comme le fleuve Niger à Niamey (Amani et al. 2003). Ainsi à l'échelle des koris (ruissellement linéaire) des grands cours d'eau sahéliens (Descroix et al. 2009, Amogu et al, 2010). Massuel (2005) conclut que le changement climatique associé aux changements environnementaux explique l'augmentation du ruissellement de 30% à 70% au Sahel et dans la région de Niamey en particulier malgré la baisse de la pluie.

*Tableau 25: Evolution des écoulements sur les bassins de Tondi Kiboro entre les périodes 1991-1994 et 2004-2008 (d'après Souley Yéro, 2008).*

TK amont	Pluie	Lame ruisselée en mm	KR	Pluie/débit	Durée d'écoulement en heures
Moyenne 1991-1994	512,8	180,33	0,35	R = 0,56 P - 2,61	39,6
Moyenne 2004-2008	525,6	239,62	0,46	R = 0,76 P - 4,8	36,3
TK aval	Pluie	Lame ruisselée	KR	Pluie/débit	Durée d'écoulement en heures
Moyenne 1991-1994	512,5	132,65	0,26	R = 0,43 P - 2,3	28,1
Moyenne 2004-2008	525,6	137,68	0,26	R = 0,5 P - 3,59	19,1
TK Bodo	Pluie	Lame ruisselée en mm	KR	Pluie/débit	Durée d'écoulement en heures
Moyenne 1991-1994	485	185,25	0,38	R = 0,53 P - 2,14	44,2
Moyenne 2007-2008	567	265	0,47	R = 0,85 P - 7,2	24,8

Le tableau 26 (dernière colonne) établi par Souley Yéro (2008) montre que si les débits augmentent, la durée des écoulements s'est sensiblement réduite, traduisant l'accélération des ruissellements due à l'encroûtement des sols dans les bassins de Tondi Kiboro (65 km à l'Est de Niamey) par exemple (tableau 26). Il apparaît donc dans l'ensemble de la région de Niamey que les ensembles hydro-morphologiques subissent de perpétuelles modifications

faisant varier les dimensions des entités hydrologiques à l'échelle événementielle, annuelle ou pluriannuelle. Ces modifications prennent souvent naissance au sein des réseaux hydrographiques dégradés où l'état des lits a un équilibre morphologique fragile et peut être transformé localement suite à des pluies très érosives (Mamadou et al. 2011).

### IV-3. 3-La disparition ou baisse de la couverture végétale dans les bassins

Desconnets (1994) lie la dégradation des petits bassins versants et de l'ancien réseau hydrographique régional à l'ensablement localisé ou généralisé de principaux collecteurs, créant des chapelets de mares. Cette situation est tributaire des changements d'usage des sols. Et c'est la présence de l'homme « responsable », avec la sécheresse, de la disparition de la végétation (photo 68 A, B, C), qui induit ce paradoxe : une reprise de l'érosion hydrique en période climatique sèche au Sahel (Faran. et al. 2008). Favreau (2000) retrace l'historique de la mare de Kafina au Nord Est de Niamey (photo 68) racontée par Moussa Rissa, chef du village, qui est typique de la dégradation des milieux sahéliens.



A

B

C

*Photo 68: Défrichement continu du tapis herbacés et des ligneux ensuite vendus dans les marchés ruraux ou acheminés surtout à Niamey*

La création des koris suite à la rupture des mares, leur élargissement progressif d'une crue à l'autre, ont entraîné la formation et la progradation de cônes de déjection importants qui empiètent de plus en plus sur la plaine, voire sur le lit actif du fleuve Niger. Le cône du kori Kourtéré en rive droite du fleuve près de Niamey (en aval du pont Kennedy) de 1,5 km<sup>2</sup> constitue le plus grand cône d'épandage formé par les koris, il continue à prendre de l'ampleur malgré le traitement (ouvrages banquettes et demi-lunes réalisées depuis 2001) en cours dans son bassin (photo 4 au chapitre 1).

La superficie du cône du kori Kourtéré a été multipliée par 9 entre 1984 et 1999 (figure 53). Ceci démontre l'intensité de la dynamique hydro sédimentaire de ce kori. Ce cône est assez illustratif car ce dernier a commencé son extension à partir de 1998, année ayant connu de fortes précipitations dans cette région (Niamey a dépassé les 1000 mm de pluie alors que la moyenne de la période humide est d'environ 600 mm). L'épisode du 1<sup>er</sup> septembre (plus de 100 mm à Haro Banda IRI) est à l'origine de la formation de l'essentiel du cône du Kourtéré.

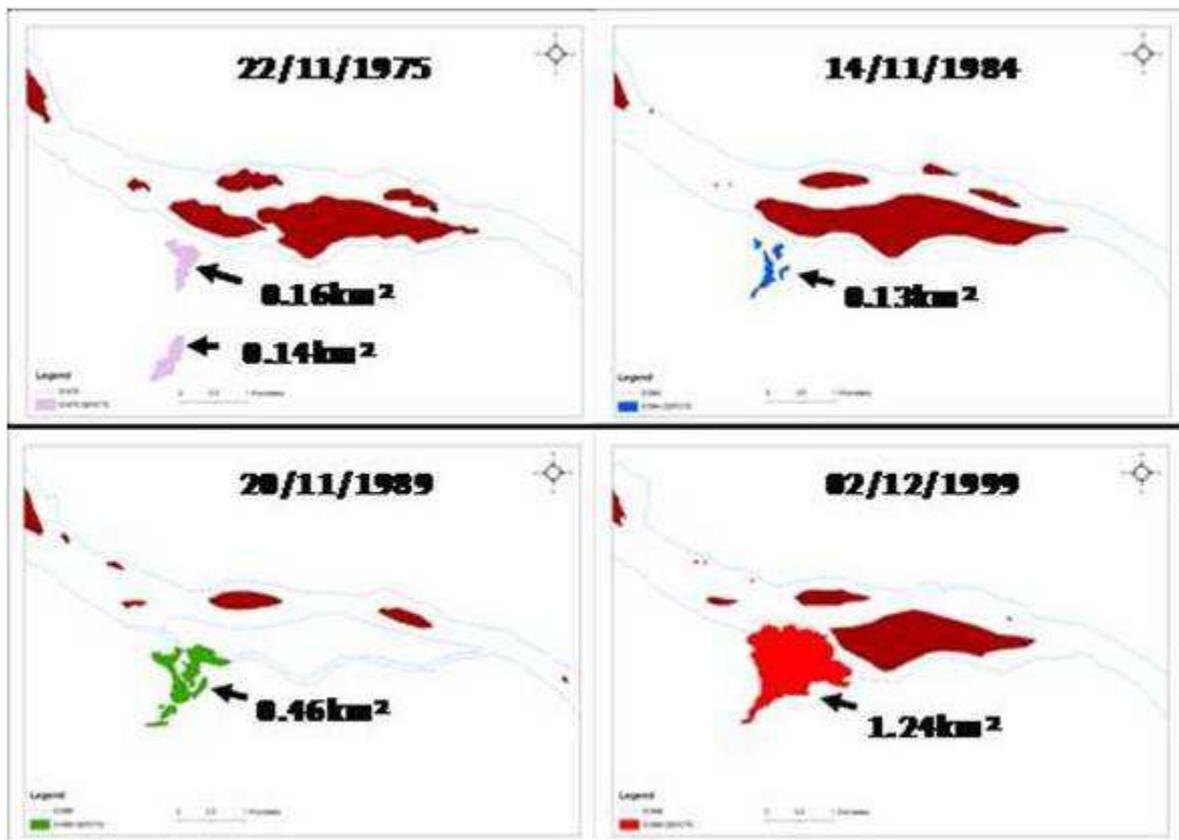


Figure 52: Evolution de la superficie du cône d'épandage du kori Kourtéré en rive droite du fleuve près de Niamey (Amogu 2009)

Le cône du kori Boubon s'est développé surtout après 2000 (photo 69) car, selon les témoignages des riverains (chef du village de Boubon), il existait en 1993 un grand jardin potager à l'emplacement actuel ce cône. D'après Guillon (2007), en comparant les photos aériennes de 1975 et l'image satellitaire de 2009 de Google Earth environ 200 000 m<sup>2</sup> ont été emportés entre la mare et le fleuve. Ceci représente plus de 400 000 m<sup>3</sup> de sédiments charriés dans le fleuve Niger.

Les témoignages révèlent qu'en 1998, une crue torrentielle provoquée par une grande pluie a creusé par décapage et élargissant le lit du kori Boubon. Et il a déposé d'énormes

concentrations de MES, des quantités de sable qui ont donné un vaste cône d'épandage de 350,9 m de largeur en 2009 (photo 70).



*Photo 69: Cônes d'épandage édifié à la confluence du kori de Boubon avec le fleuve Niger (Ousseini, 2002)*

Le tableau 27 indique la progression des surfaces des cônes des koris de Boubon, Gorou Kirey et Kourtéré depuis 1975.

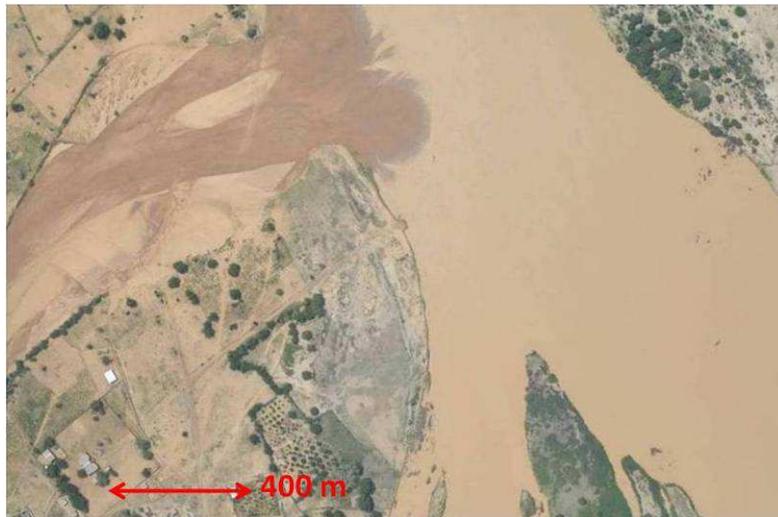
*Tableau 26: Évolution de la superficie des cônes de déjection des koris entre 1975 et 2009*

Années	Boubon	Gorou Kirey	Kourtéré
1975	0 km <sup>2</sup>	0 km <sup>2</sup>	0.16 km <sup>2</sup>
1989	0.33 km <sup>2</sup>	0.11 km <sup>2</sup>	0.46 km <sup>2</sup>
2009	1.1 km <sup>2</sup>	0.67 km <sup>2</sup>	1.30 km <sup>2</sup>

En 2009, la superficie du cône du kori Boubon passe à plus de 1,1 km<sup>2</sup> de superficie (photo 98). Le cône du kori Gorou Kirey n'existait pratiquement pas en 1975. Sa dynamique est liée au déboisement du plateau amont de son bassin versant qui remonte à 1984. Sa superficie actuelle est de 0,67 km<sup>2</sup> soit plus de six fois sa superficie d'il y a 20 ans (tableau 17).

Dans les années 1960, la nécessité de cultiver de nouvelles terres a conduit les villageois à déboiser les abords et le bas-fond humide de Kafina, à végétation très dense, pour la culture du mil. Plusieurs années plus tard, un afflux de plus en plus important d'eaux de ruissellement

(photo 71 A) a conduit à l'engorgement du site, et finalement à l'abandon des cultures dans la zone argileuse. Aujourd'hui, une mare (photo 71 B) se crée chaque année et le bas-fond n'est plus utilisé que pour abreuver le bétail (Favreau 2000). La région de Niamey avec ses très nombreux koris exoréiques constitue une zone préférentielle de manifestation de l'ensablement dans le bassin du fleuve Niger. La dynamique hydro sédimentaire des koris et même du fleuve se traduit par d'importantes conséquences hydro géomorphologiques tant dans la vallée que dans les bassins versants des koris. Les réponses hydro géomorphologiques à cette dynamique actuelle constituent les manifestations telles que l'ensablement de la vallée du fleuve, les ruptures d'endoréisme observées. Ainsi on assiste à un envasement des terres de vallées du fleuve et les pertes en terres par les reculs de berges etc. Les koris de plus en plus actifs génèrent eaux et sédiments vers la vallée du fleuve Niger, cette dynamique hydro érosive des koris n'est pas sans conséquences pour les activités socioéconomiques et culturelles de la région.



*Photo 70: Immense cône formé par le kori Boubon à sa confluence au fleuve Niger en 2008*



A

B

*Photo 71: Ravinement récent dans le bassin de la mare Kafina et Mare de Kafina collectrice des eaux de ruissellement local en août 2006*

#### IV-3.4-L'augmentation du ruissellement dans les bassins versants – les résultats des mesures sur les parcelles et dans les ravines

L'augmentation du ruissellement se traduit dans la région de Niamey par le développement du réseau de ravines (photo 72 A et B) d'où la forte densité de drainage observée dans les bassins versants des koris Boubon et Gorou Kirey par exemple.



**Photo 72: Développement des espaces nus encroûtés et naissance de nouvelles ravines sur un versant du kori Boubon en septembre 2009**

Les croûtes d'érosion présentent le taux annuel de ruissellement moyen le plus remarquable (98 % de coefficient de ruissellement moyen annuel ou KRAM) en 2008 et 77 % de KRAM (photo 73) en 2009. Le suivi du ruissellement des jachères donne 28 % de coefficient de ruissellement moyen annuel (photo 74) en 2008 et 17 % de coefficient de ruissellement moyen annuel (KRAM) en 2009. Alors que les plus faibles taux se situent sur les champs de cultures où le coefficient de ruissellement moyen annuel (Photo 75) est 17 % en 2008 et 27 % en 2009.



**Photo 73: Parcelle de mesure d'érosion sur un état de surface de croûte d'érosion dans le bassin versant du kori Boubon**

**Photo 74: Parcelle de Mesure d'érosion sur jachère à butte de retenue sableuse dans le bassin versant du kori Boubon**

**Photo 75: Parcelle de mesure d'érosion sur champs de mil dans le bassin versant du kori Boubon**

#### IV-3.5-Erosion des berges et évolution des ravines secondaires

Ces départs importants de matériaux des berges (photo 76A) sont surtout visibles dans la partie amont des bassins exoréiques.



A

B

*Photo 76: Sapement des berges du lit du kori Boubon en 2008*

On observe de très grands reculs de berges (photo 76B) dans les secteurs de méandres des ravines et sur les rives concaves et par forts reculs de têtes de ravines par érosion régressive annuelle moyenne de 1,35m (tableau 28).

*Tableau 27: Evolution de l'érosion régressive annuelle des ravines secondaires en 2009 dans le bassin versant de Boubon*

Têtes de ravines sur un versant du bassin du kori Boubon	Recul de tête des ravines (cm) en 2007	Recul de tête des ravines (cm) en 2008	Recul de tête des ravines (cm) en 2009	Evolution sur les 3 ans
Ravine 1	165	153	162	480
Ravine 2	80	77	86	243
Ravine 3	178	153	162	493

La moyenne du recul des têtes des ravines secondaires (photo77 A et B) aurait été de 1,24 m par an d'après les suivis effectués sur le terrain.

Par ailleurs, on observe aussi des effets de turbulence liés aux ouvrages tant en amont qu'en aval (photo78 B), ce qui augmente la puissance dévastatrice des crues. On observe aussi des cas de débordements au delà de ces ouvrages (photo 78 A).



A



B

*Photo 77: Suivis de l'érosion régressive des ravines secondaires à l'aide de piquets repères dans le bassin versant du kori Boubon en 2007 -2008 et 2009*



A



B

*Photo 78: Cruie débordante au dessus du goudron et effet de la turbulence à la sortie des buses du kori Karma en juin 2007*

#### **IV-3.6-Évolution des nappes alluviales dans les bassins versants étudiés**

Les aquifères superficiels sont abondants dans les fonds des koris de la région de Niamey. Ces aquifères affleurent localement dans le fond du lit des koris et constituent un écoulement de base.

*L'hypothèse que la remontée de nappe CT3 contribuerait aux ruptures d'endoréisme des koris s'avère plausible même si la en zone de socle, les eaux interstitielles sont plus difficile à cerner et quantifier. Le fait que le socle soit peu profond peut provoquer une saturation rapide des sols.*

On note la présence de sources émergentes dans le fond de certains koris, c'est le cas de la source entretenant l'écoulement de base du kori Gorou Kirey (photo 80).

Dans le lit du kori Boubon, les niveaux piézométriques des puits mesurés varient de 5,7 m à 9 m (près du fond du kori) à 25, 4 m à 34,8m sur les versants. Le niveau varie de 35 m à 51 m sur les plateaux, c'est le cas du puits de Dinki (photo 81 A - B) dans la partie amont du kori Boubon (photo 81A et B).



*Photo 79: Mesure avec une sonde piézomètre d'un puits récemment creusé dans le bassin du kori Boubon en février 2009*

*Photo 80: Source émergente en aval du kori Gorou Kirey*

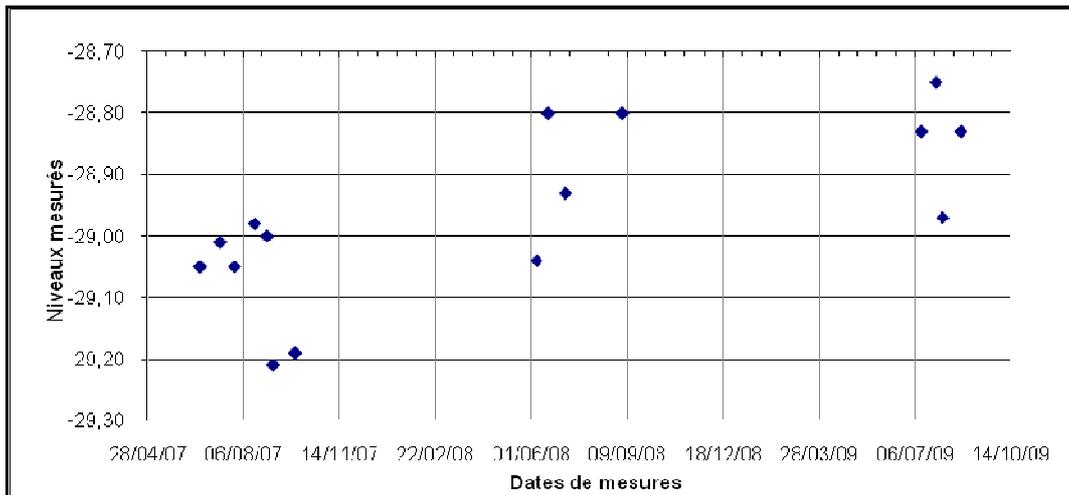


A

B

*Photo 81: Puits du village de Dinki situé en amont du kori Boubon sur un plateau latéritique*

Le puits de Boubon Ciminti est situé à mi- bassin du kori à 5 km du drain principal du kori, le niveau varie de - 29,21m en août 2007 à - 28, 65 m (figure 54) entre 2007 à 2009.



**Figure 53 : Mesures ponctuelles du niveau statique du puits Boubon – Ciminti effectués entre juin 2007 et septembre 2009**

### Conclusion partielle

L'analyse et l'étude de la dynamique récente des koris de la région de Niamey montre que :

- les changements d'usage de sol sont les facteurs les plus déterminants dans l'évolution récentes des koris, principalement la disparition des couvertures végétales ;
- le développement des zones nues et la formation d'immenses croûtes d'érosion dans les bassins constituent les principaux facteurs expliquant l'augmentation du ruissellement ;
- le rôle de l'agressivité des pluies et les pluies exceptionnelles sont aussi un élément important dans la genèse et les ruptures d'endoréisme observés récemment dans cette région ;
- la remontée de la nappe qui affleure dans les fonds des koris et maintient un écoulement de base assez important et est très déterminant pour les futures crues koris.
- la dynamique générale des koris est aujourd'hui encore très active et très récente



## **CHAPITRE V : LA DYNAMIQUE HYDROLOGIQUE ET SEDIMENTAIRE - MANIFESTATIONS ET CONSEQUENCES DE L'ENSABLEMENT DANS LA REGION DE NIAMEY**

Dans cette partie, nous abordons l'analyse quantitative des processus de la dynamique hydro-sédimentaire des koris et l'étude des impacts des apports des koris à la vallée du fleuve Niger dans la région de Niamey. Les koris de la région de Niamey ont des crues temporaires, ou crues « éclair » (*flash floods*) (quelques heures d'écoulement), brusques et torrentielles. Ces koris sont fonctionnels pendant la saison de pluies (mai à octobre). Tout le restant de l'année, ils sont à secs. Ces koris alimentent le fleuve Niger en eau et charrient d'énormes quantités de sédiments.

### **V -1- Hydrométrie des koris étudiés : Relations pluies et débits à l'échelle des koris**

Les pluies enregistrées dans les bassins des koris déclenchent l'écoulement à partir d'une certaine hauteur de précipitations. Ces hauteurs sont très variables en fonction de la teneur en eau initiale du sol et de l'intensité de la pluie enregistrée. Nous disposons de données de débits « correctes » sur le kori Boubon pour l'année 2009, seulement, en raison de multiples dysfonctionnements. Sur les 39 événements pluvieux enregistrés, 20 ont engendré un écoulement dans le lit de la rivière au pont de Boubon.

Le volume total écoulé à la station hydrologique du pont kori Boubon est de 1330000 m<sup>3</sup> au cours de la saison hydrologique 2009 de mai à octobre (tableau N°29 La lame précipitée annuelle dans l'ensemble du bassin fait 83 mm pour un cumul annuel précipité de 455 mm.

En 2009, 20 crues (figure 55) sont enregistrées sur le kori Boubon entre mai et octobre. La vitesse moyenne des écoulements est de 0.989 m s<sup>-1</sup>.

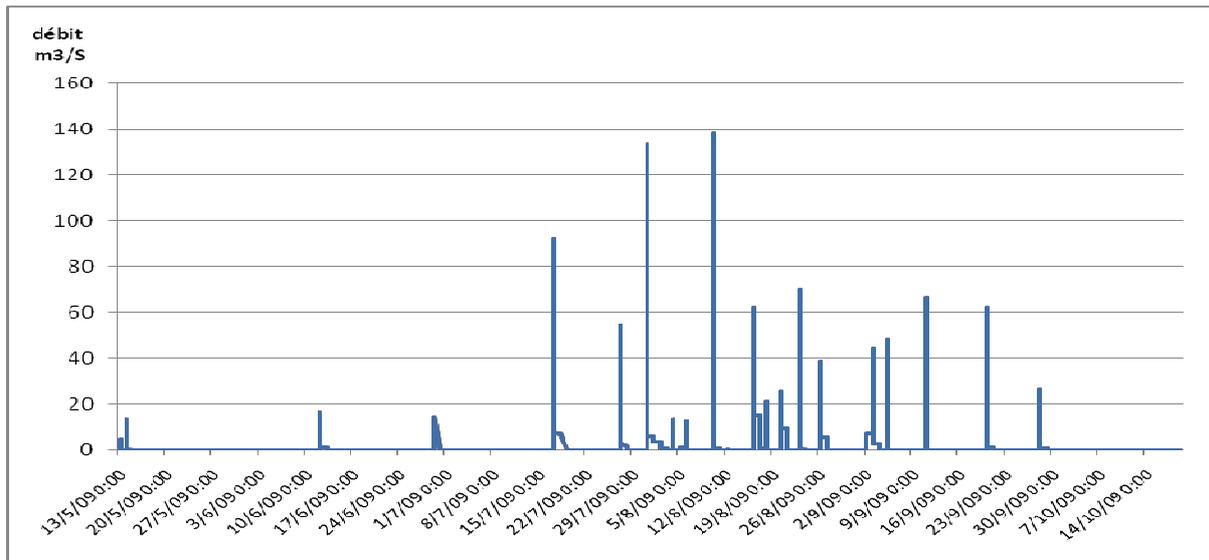
Le débit spécifique du bassin du kori Boubon est de 0,083 m<sup>3</sup>. Km<sup>-2</sup> en 2009, (photo 82).

On note (tableau 30) que le temps de réponse se réduit au fur et à mesure que se déroule la saison des pluies : il est de 1h à 1h30 en début de saison et passe à 5-10 mn pour les événements pluviométriques les plus forts en fin de saison des pluies. Ainsi, le temps écoulé depuis la dernière crue est aussi fondamental pour générer l'écoulement de ce kori. Ce temps est assez variable d'une crue à une autre. Il est important de remarquer par contre le rôle que

joue la répartition spatiale de l'événement pluvieux enregistré. Ce facteur est assez déterminant pour déclencher ou pas l'écoulement du kori Boubon. En 2009, 4 et 5 crues successives du kori ont été enregistrées à la station hydrologique (pont situé sur le kori) sans qu'aucune goutte de pluie ne tombe dans ce secteur.

**Tableau 28: Synthèse des caractéristiques des crues enregistrées dans le bassin du kori Boubon en 2009**

Date	Pluie mm	Volume Ecoulé m <sup>3</sup>	Heure début	Heure Fin	Durée en h/mn/s	Lame écoulée en mm	Coefficient d'écoulement
13/05/2009	20	137237	13:35	00:05	24h 26mn 24s	0,86	0,04
23/05/2009	9,25	0				0	0
03/06/2009	4,55	0				0	0
05/06/2009	16,4	0				0	0
10/06/2009	10,25	0				0	0
12/06/2009	16,9	131407	10:00	02:25	16h 19 mn 12s	0,82	0,05
17/06/2009	0,36	0				0	0
20/06/2009	10,7	0				0	0
26/06/2009	4,15	0				0	0
30/06/2009	15,9	304354	16:20	00:05	19h 12mn	1,9	0,12
08/07/2009	4,14	0				0	0
10/07/2009	0,3	0				0	0
12/07/2009	0,1	0				0	0
13/07/2009	8,5	0				0	0
17/07/2009	23,3	1179238	11:00	00:05	10h 33mn 36s	7,37	0,32
24/07/2009	4,7	0				0	0
27/07/2009	27,6	801826	10:05	02:30	16h 19mn 12s	5,01	0,18
31/07/2009	42,8	2261617	01:15	15:30	86h 9mn 36s	14,14	0,33
04/08/2009	2,35	138473	06:05	20:55	14h 52mn 48s	0,87	0,37
06/08/2009	6,75	160759	22:50	15:55	42h 36 mn	1	0,15
10/08/2009	27,7	1424586	04:30	12:05	24h 19mn 12	8,9	0,32
12/08/2009	7,8	2196	12:40	16:50	10h 12mn	0,01	0
16/08/2009	21,85	1417432	11:00	03:20	40h 19mn 12s	8,86	0,41
18/08/2009	15,6	344848	03:35	16:55	33h 36mn	2,16	0,14
20/08/2009	11,03	843355	10:55	07:20	44h 24mn	5,27	0,48
23/08/2009	9	965935	03:45	00:05	51h	6,04	0,67
26/08/2009	15,7	551228	11:20	22:20	35h 24mn	3,45	0,22
30/08/2009	4,33	0				0	0
01/09/2009	2,35	0				0	0
03/09/2009	21,9	726679	23:05	14:30	39h 21mn 36s	4,54	0,21
05/09/2009	4,56	255916	04:35	21:05	16h 33mn 36s	1,6	0,35
11/09/2009	32,3	607043	00:35	21:45	21h 7 mn 12 s	3,79	0,12
15/09/2009	1,92	0				0	0
20/09/2009	24,4	526651	01:00	18:15	41h 16mn 48s	3,29	0,13
28/09/2009	20,55	501358	01:10	07:50	30h 43mn 12s	3,13	0,15
05/10/2009	0,95	0				0	0
12/10/2009	1,65	0				0	0
14/10/2009	2,4	0				0	0
25/10/2009	0,3	0				0	0
<b>TOTAL</b>	<b>455,29</b>	<b>13282137</b>			<b>544h 33mn 36s</b>	<b>83,01</b>	<b>0,18</b>



**Figure 54: Hydrogramme représentant la série des 39 crues enregistrées du kori Boubon entre mai et octobre 2009**



**Photo 82: Crue du kori Boubon, au second plan l'apport d'un drain secondaire en amont du pont**

Les régimes des koris est intermittent ; le kori de Boubon n'a coulé que 22 jours en 2009 ; ces débits sont tributaires de l'intensité de l'événement pluvieux mais surtout de la répartition spatiale de l'événement et le temps écoulé depuis la dernière crue. Il faut noter ici le rôle que jouent les grands ravins latéraux alimentant le lit principal du kori. Les écoulements de base et les potentiels hydrologiques des nappes superficielles dans le fonds des koris sont des facteurs qui contribuent aux crues. L'influence des apports des ravins secondaires détermine le rythme hydrologique des koris (photo 82).

On remarque des variations du débit avec plusieurs pics plus ou moins prononcés, liés à la multitude des apports secondaires et la superficie du bassin (162.24 km<sup>2</sup>). Les figures 56 et 57 montrent deux types crues observées dans le kori de Boubon.

*Tableau 29: Evolution moyenne des temps de réponse du kori Boubon selon les cumuls de pluie tombée au cours des saisons 2007-2008-2009*

Tranche de pluie enregistrée	Mois			
	Juin	Juillet	Août	Septembre
5 à 10 mm	Pas d'écoulement ou écoulement très faible ou en filet d'eau ne couvrant pas toute la section du kori	1h 30mn	45mn	45 mn
10-15 mm	1h45	1 h à 30 mn	50 mn	35mn
20-25 mm	1h30mn	1h	35 mn	10mn
30 -35mm	1h	50 mn	20 mn	10 mn
Plus de 35 mm	55mn	50mn	15 mn	5mn



*Photo 83: Apport d'un ravin latéral au lit principal du kori Boubon*



*Photo 84: Ecoulement de base au fond du kori après quelques jours sans crue du kori Boubon*

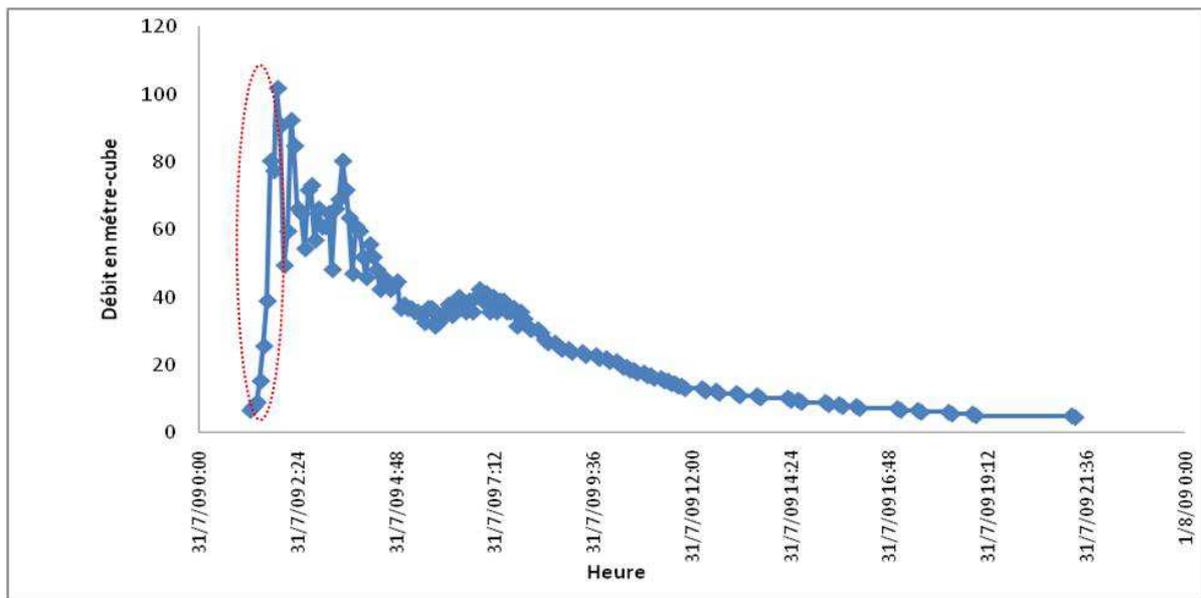


Figure 55: Montée très rapide des eaux crue du 31 juillet 2009

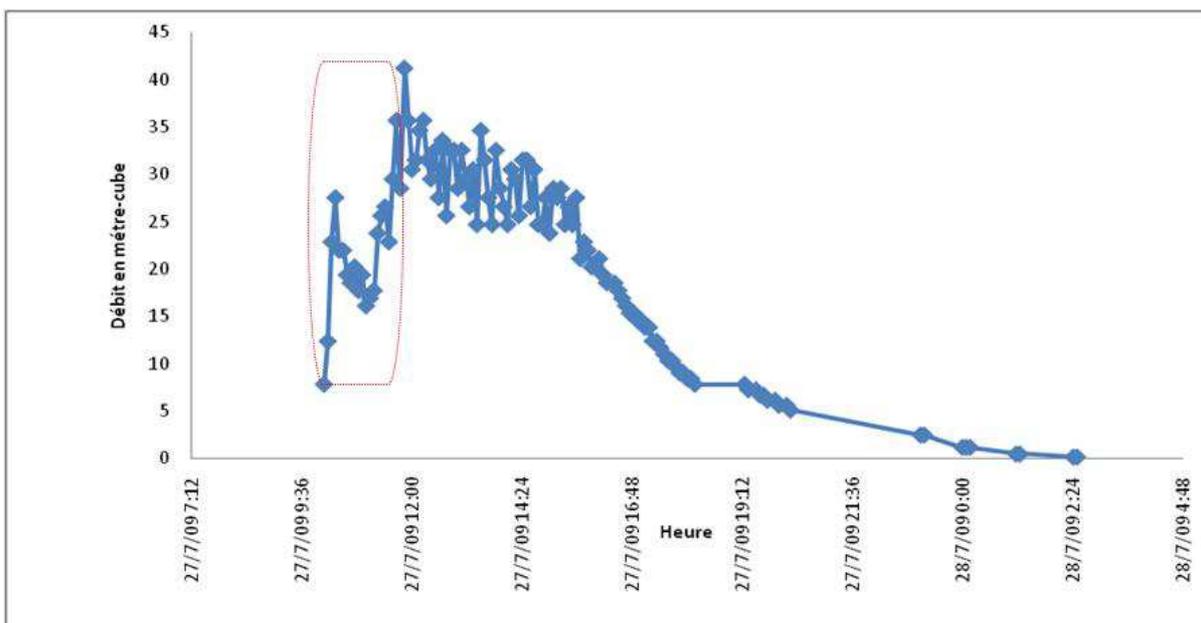


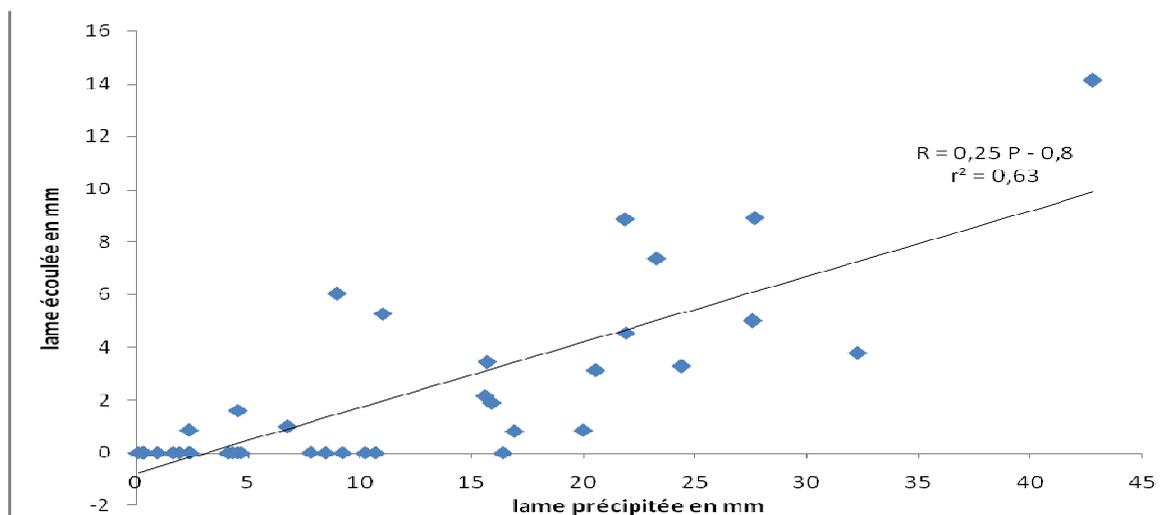
Figure 56: Variation des débits crue à deux pics du 27 juillet 2009

## V -2- Les débits des koris étudiés

Les limnigraphes installés sur les deux koris étudiés n'ont pas bien fonctionné. Les difficultés sont apparues dès la première utilisation (pannes à répétition, enregistrements erronés observés sur certaines stations de la campagne AMMA). Ces appareils n'ont fonctionné qu'en 2009 et sur le kori Boubon.

La relation pluie – lame ruisselée montre une dispersion des valeurs observées, les pluies inférieures à 5 mm ont engendré des lames ruisselées (figure 58). Il existe une assez bonne corrélation entre les précipitations et les crues du kori Boubon :  $r^2$  est égal à 0.63 (figure 58) ; en considérant la pluie au carré, la relation est un peu plus significative,  $r^2$  égale à 0.67 (figure 59).

On obtient un  $r^2$  de 0,9 pour la relation pluie/débit, en faisant tourner le modèle Nazasm afin de vérifier si la teneur en eau initiale du sol joue un rôle dans le déclenchement du ruissellement (Descroix, 2003). Celui-ci donne une valeur de alpha (le paramètre de récession de l'humidité du sol) de 0,1 ce qui est une valeur montrant un fonctionnement encore bien hortonien (mais le coefficient de détermination  $r^2$  de la relation lame calculée sur lame observée n'est que de 0.77) (figures 60 et 61).



**Figure 57: La relation lame précipitée et lame écoulee dans le bassin du kori Boubon en 2009**

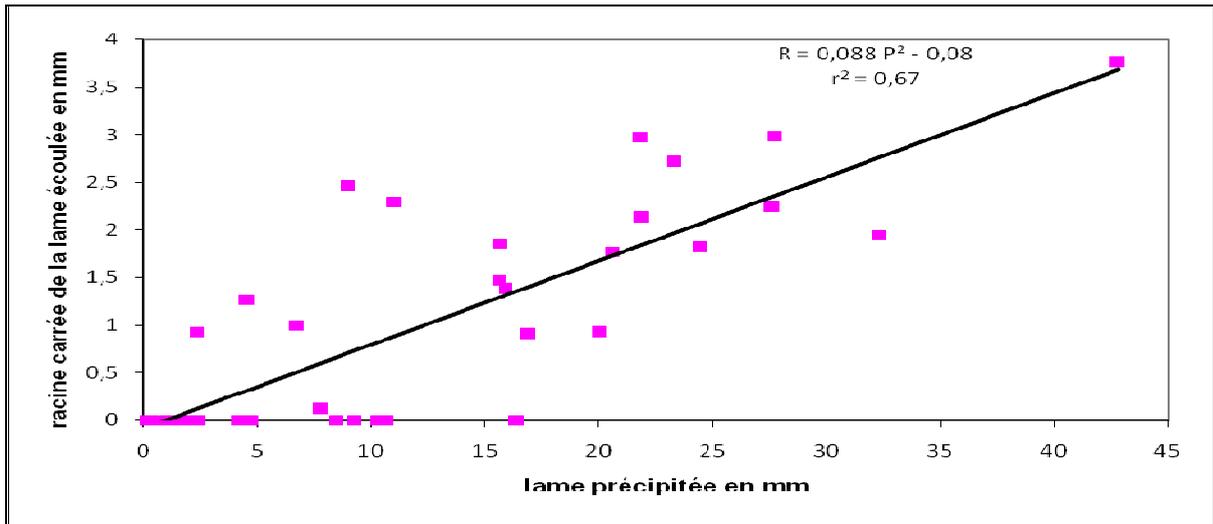


Figure 58: Relation (pluie)<sup>2</sup>/débit, bassin de Boubon en 2009

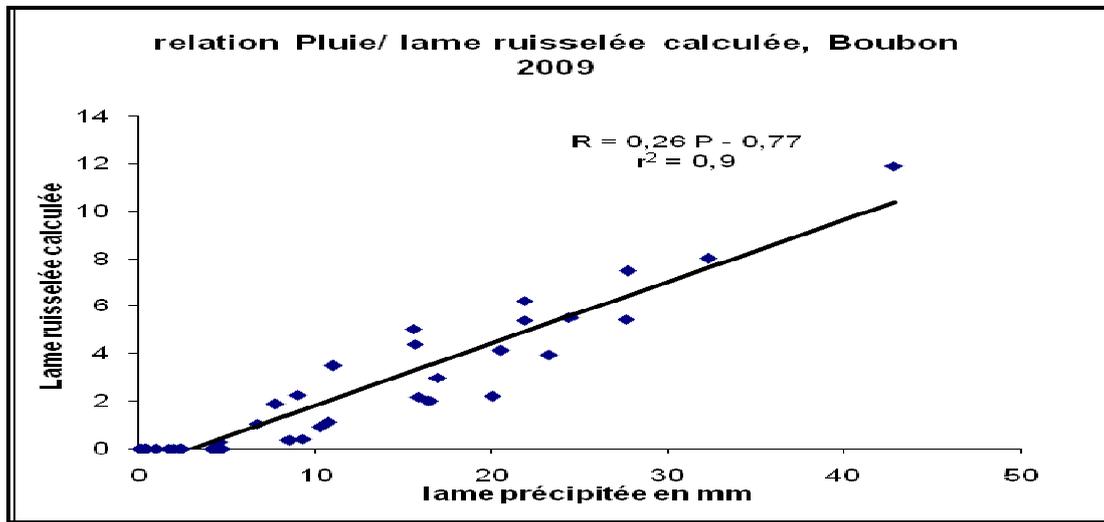
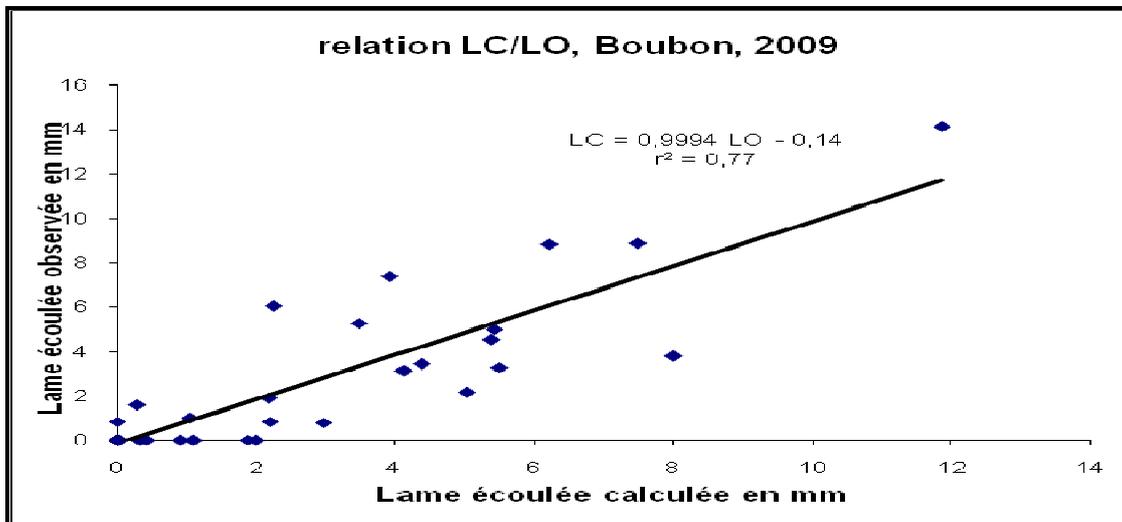


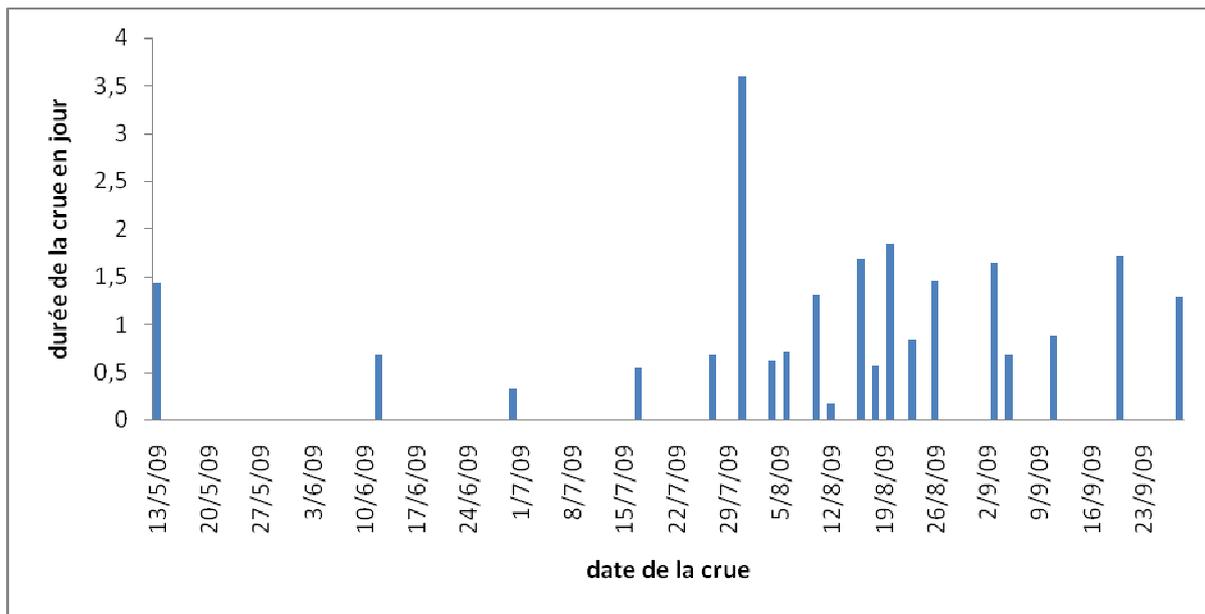
Figure 59: Relation lame précipitée et lame écoulée à travers le modèle Nazasm Bassin Boubon en 2009



*Figure 60: Relation lame calculée et lame écoulée à travers le modèle Nazasm Bassin Boubon en 2009*

Les réponses hydrologiques aux pluies deviennent plus importantes et les régimes des crues varient selon les hauteurs d'eau tombées et aussi en fonction du temps écoulé depuis la dernière pluie. L'écoulement lors de la crue du kori Boubon dure en moyenne 26 heures (tableau 29) avec des phases successives de remontée et de descente brusques des eaux.

Les crues des koris Boubon ont une durée très variable de quelques heures à plus de 3 jours. En 2009, la crue du 31/07/2009 (figure 62) a duré 3,6 jours par exemple (tableau 29). La moyenne de la durée par crue est de 1,13 jour en 2009 et la durée totale des écoulements en 2009 est de 22 jours (entre mai à octobre 2009). Une dynamique hydrologique comparable a été observée sur des bassins plus petits de Wankama et Tondi Kiboro (zone endoréique au Nord-est de Niamey), (Souley Yéro 2008) et même sur des grands koris affluents du fleuve Niger (Amogu 2009).



*Figure 61: Durée en jours des crues du kori Boubon en 2009*

### **V -3– Les processus sédimentaires à l'échelle des koris étudiés**

A l'échelle du kori, les processus hydro-sédimentaires sont dominés par la dynamique de recul des berges. L'élargissement du lit du kori se fait à l'occasion des crues qui sapent facilement les berges constituées de limon et de sable ; ces berges étant très peu protégées par la végétation alluviale.

### **V -3.1- Dynamique et apports sédimentaires des berges**

Comme il a été dit dans le chapitre précédent, le suivi des dépôts et érosion de sédiment repose sur le protocole suivant (pour rappel) :

- six profils en travers ont été choisis et identifiés selon la configuration topographique générale de la partie aval du kori Boubon. Les suivis sont effectués après chaque crue du kori ;
- la construction d'un modèle numérique de terrain sur le cône du kori et
- des relevés bathymétriques du lit du fleuve au droit, en amont et en aval du kori.

Nous présentons en premier lieu les profils levés lors de la première campagne en 2008 : ils se succèdent de l'amont immédiat du pont (profil n°6 au contact avec le fleuve Niger (profil n°1). Ces profils apportent les premières informations sur la dynamique du kori en termes d'érosion de berges et de contact avec le fleuve Niger. En second lieu, nous analyserons l'évolution de ces profils afin de bien évaluer les reculs de berges et les transferts de sédiment entre le kori et le fleuve. La localisation des profils est indiquée figure 22 page 66.

#### ***-Le profil en travers N°6 (amont)***

Le profil N°6 est situé en amont du pont du kori Boubon. Le kori s'encaisse profondément avec des berges très hautes (plus de 5,5 m) et raides, avec une largeur du kori de 47m (figure 63).

Le kori creuse son lit dans un matériel sableux (photo 85) issu d'anciens dépôts éoliens formant de long glacis dénudés. Le plancher du fond de lit est assez plat et très large avec plus de 47 m. Les berges sont très raides et le matériau essentiellement sableux.



**Photo 85: Berge droite très raide du kori Boubon au profil en travers N°6, assez stabilisé par des racines très profondes du *Faidherbia albida* (plus de 5,50m)**

#### **-Le profil en travers N°5**

Le profil N° 5 est situé sur la partie amont de l'immense cône alluvial formé par le kori Boubon à sa confluence au fleuve Niger. Le matériau des berges à ce niveau est constitué des niveaux argilo- sableux de la haute terrasse du fleuve Niger. La hauteur des berges atteint 4,20 m. Comparée à la berge gauche, la berge droite du kori sur le profil N°5 (photo 88) n'est pas très raide. Sur la berge droite du kori à la hauteur du village de Boubon, une haie vive (*Prosopis juliflora*) a été plantée par la population de Boubon avec le soutien de l'état major des armées en 1989.

#### **-Les profils en travers N° 4 et N°3**

Entre le profil N° 5 et le profil N° 4, le dénivelé est de plus 1, 3 m sur une distance 200 m, soit une pente de 0,65 %. Le kori dépose un matériau très hétérométrique avec des blocs, des galets. Dans cette partie supérieure du cône, le fond est constitué de blocs, galets, morceaux de cuirasse (photo 89), de résidus de socle granitique altéré qui affleurent un peu en amont du profil, en plus de matériau sableux limoneux très meuble charrié par les eaux. La largeur atteint 76 m pour le profil N°4 et 85 m au niveau du profil N°3.

Ce bloc de cuirasse (photo 87) fait partie des blocs colorés en juin 2007. Nous l'avons retrouvé à plus de 8 km en aval sur le cône (placé en mi – versant en juillet 2007) malgré son poids de 11,25 kg. Au premier jour de l'utilisation de cette méthode, tous les 6 blocs identifiés

ont été vandalisés ou totalement colmatés. Seuls 4 de ces blocs ont été retrouvés bloqués au niveau du seuil d'épandage situé à 2 km du site de cette expérience.



*Photo 86: Ravin récent s'encaissant dans une jupe sableuse du bassin versant de Boubon*



*Photo 87: Effondrement de berge sur le kori Boubon en aout 2009*



A



B

*Photo 88: Recul des berges par effondrement sur le kori Boubon en septembre 2009*

La berge gauche a une hauteur successive de 3,10 à 2,8m ; la berge droite protégée par une haie de prosopis a une hauteur inférieure à 0,75m : on voit bien là l'effet protecteur de la végétation.

Ces laisses de crue montrent en général, l'importance de la capacité de transport et de la compétence des écoulements du kori Boubon (photo 90). Le secteur des profils en travers N° 2 et N°3 constitue le secteur d'instabilité sédimentaire du cône alluvial du kori Boubon, cette zone constitue un secteur de rupture de pente important, avec des dépôts assez abondants et de taille très variable. On observe en effet une amorce de la rupture de pente avant la confluence

du kori au fleuve. C'est le domaine de diverses embâcles arrachées par les eaux beaucoup plus en amont. Ces embâcles sont constitués de troncs d'arbres, de gros blocs de cuirasse, granite etc. L'axe de rupture de pente est prononcé sur le profil en long de la partie aval. Ceci explique le bombement observé à ce niveau. Par contre la rive droite au droit de ces profils est très stable. Une haie vive de protection explique cette stabilité de la rive droite dans ce secteur. Toute la rive convexe du kori est stable sur les profils N° 5, N°4, N°3 et 2.

Cependant les berges deviennent de moins en moins raides, surtout sur la rive droite du kori. L'axe d'écoulement du chenal est basculé fréquemment sur la partie gauche de l'aval du cône. Ce processus a été renforcé par les aménagements en cordons de pierre réalisés au cours de la saison 2009, mais qui n'ont pratiquement servi à rien. Ils ont été en effet presque totalement remblayés après deux crues.



*Photo 89: Bloc de cuirasse de plus de 13 cm de diamètre emporté par les eaux et déposé au niveau du profil en travers N°4*



*Photo 90: Embâcle de laisse de crue au niveau du profil en travers N°3 en août 2008*

### ***-Le profil en travers N° 1***

Le profil en travers N°1 se situe au niveau de l'extrémité aval du cône formé par le kori Boubon. Sur le cône, les apports sédimentaires du kori entraînent un exhaussement du profil d'une crue à l'autre au cours de la saison de fonctionnement du kori (de mai à octobre). Avec la remontée de la crue guinéenne du fleuve Niger, et en année normale, le profil en travers N°1 est totalement inondé et les eaux de cette crue évacuent l'essentiel des apports saisonniers du kori. Ces dernières années, à l'exception des crues de 2009 et 2010, les niveaux de la crue guinéenne n'ont pas atteint le niveau de ce profil.



*Photo 91: Rive convexe protégée par une haie dense de Prosopis juliflora*

### *V-3.2.1-Evolution interannuelle des berges du kori Boubon*

Entre juin et septembre 2008, d'importants changements morphologiques sédimentaires peuvent déjà être observés, traduisant de forts remaniements sédimentaires marqués par des reculs des berges à l'échelle d'une saison de crues. Des reculs de berges de plus de 16 m (figure 63) ont été mesurés entre juin et septembre 2008 sur le profil en travers N°4, ce qui engendre d'énormes pertes de terres de culture sur les champs de culture riverains du lit du kori. Vers l'aval (profils 1 & 2), on note une évolution assez peu marquée du plancher alluvial, avec en particulier un creusement sur le profil 1. L'évolution entre juin et septembre 2009 exprime les effets morpho-sédimentaires des crues de l'été 2009 (figure 64 ; tableau 32). Les reculs de berges sont particulièrement forts dans la partie médiane du site étudié (profils 3 à 5), puisque les berges ont reculé de 8 à 14 m. Vers l'aval, (profils 1 & 2) on note un certain surélévèrent du plancher alluvial de 0.192 cm.

Tableau 30: Reculs des berges aval kori Boubon mesurés entre 2008 et 2009

Profils en travers	N°6	N°5	N°4	N°3	N°2	N°1
<b>2008</b>	3.83m	8.2m	16.10 m	12.36m	8.36m	4.1m
<b>2009</b>	0.94m	10.56m	9.25m	15.8m	8.7m	2.04m
<b>Total sur 2 ans</b>	7,77m	18.76m	25.35m	28.16m	17.06m	6.14m
<b>Moyenne sur 2 ans</b>	3.88 m	9.38 m	12.675	14.08m	8.53m	3.07m

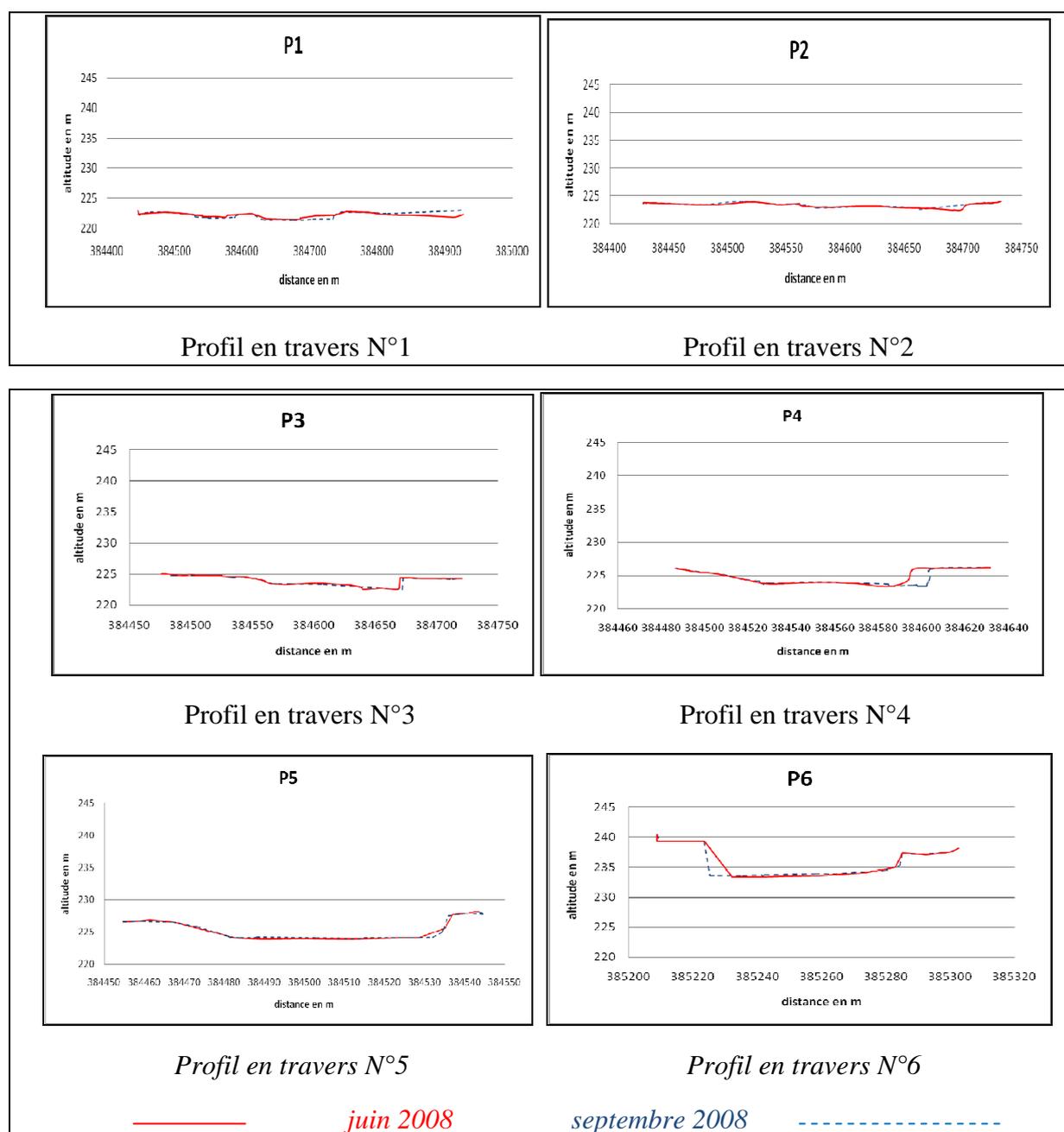


Figure 62: Evolution annuelle des 6 profils en travers suivis sur le kori Boubon entre juin et septembre 2008

Sur les six profils en travers à l'échelle des suivis annuels, on observe donc :

Les reculs en berges très importants, en moyenne entre 5 à de 10 m par an de recul pour les profils N° 6 ; N°4 ; N°5 ; N°3.

Au niveau des profils N°2 et N°1, la sédimentation du plancher alluvial domine sur les reculs de berges. Ceci démontre l'impact fort de la torrencialité des écoulements du kori Boubon observée au cours de ces deux années de suivi. Le dénivelé s'accroît plus en aval surtout après le petit bombement alluvial, avant la jonction du kori au fleuve Niger. .

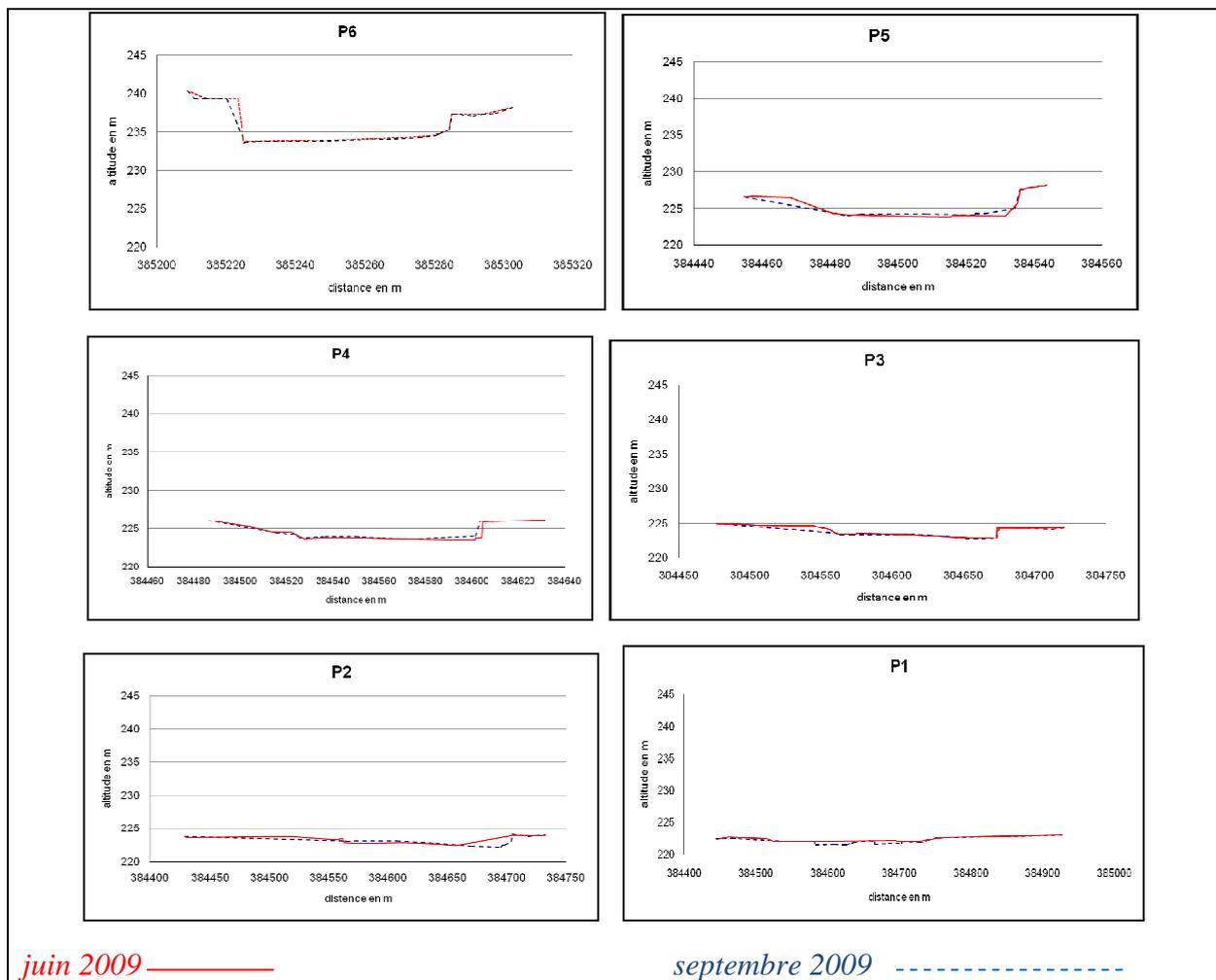


Figure 63 : Evolution des 6 profils en travers suivis sur le kori Boubon entre juin et septembre 2009



*Photo 92: Effondrement et recul de berge de la rive concave (sur le profil en travers N°4) du kori Boubon en septembre 2009*

### **V -3.2-Estimation des volumes des pertes en terre par érosion des berges à partir des profils en travers dans la partie aval du kori Boubon**

Les pertes en terres à partir de l'érosion des berges sont d'environ 640 m<sup>3</sup> (figure 66 et tab. 33 et 34). La section amont et aval de notre site d'étude apporte des quantités énormes de sédiments, alors que l'aval (profils 1 & 2) sont moins sensibles au recul des berges et comme on le verra plus loin, sont plus sujets à la sédimentation.

*Tableau 31: Volumes moyens de terres érodés sur un mètre linéaire de berge dans la partie aval du kori Boubon estimés à partir des suivis des six profils en travers entre 2008 et 2009*

Profils en travers	N°6 m <sup>3</sup>	N°5 m <sup>3</sup>	N°4 m <sup>3</sup>	N°3 m <sup>3</sup>	N°2 m <sup>3</sup>	N°1 m <sup>3</sup>
<b>2008</b>	25694	36405	1158	745	986	2345
<b>2009</b>	20369	40320	1186	1317	1186	4117
<b>Total sur 2 ans</b>	46063	76725	2345	2062	2173	6462

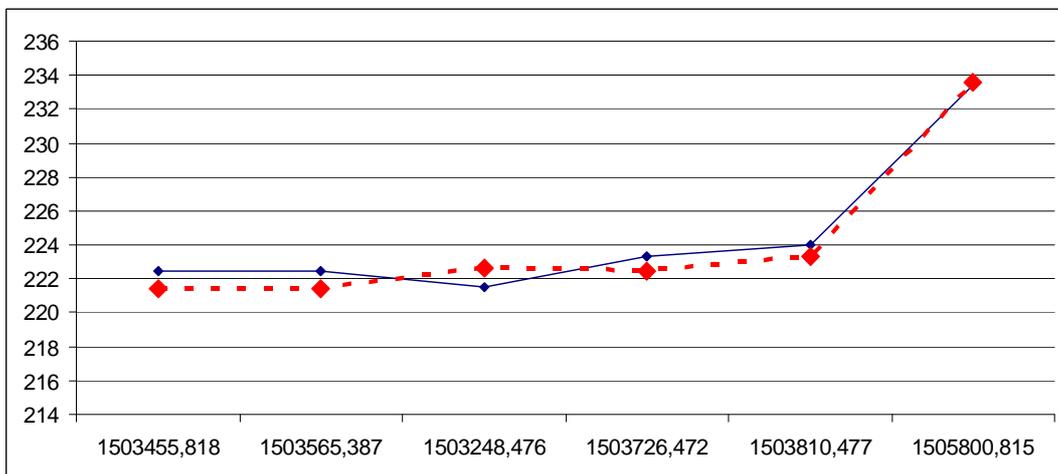
Le volume moyen de terre érodé sur un mètre linéaire est 101000 m<sup>3</sup>. Les berges constituent des zones importantes d'apports sédimentaires, on estime à 88000000 m<sup>3</sup> en 2009.

*Tableau 32: Volumes érodés de la partie aval du kori Boubon entre section les profils en travers N°6 et N°1 en 2009 (aval pont)*

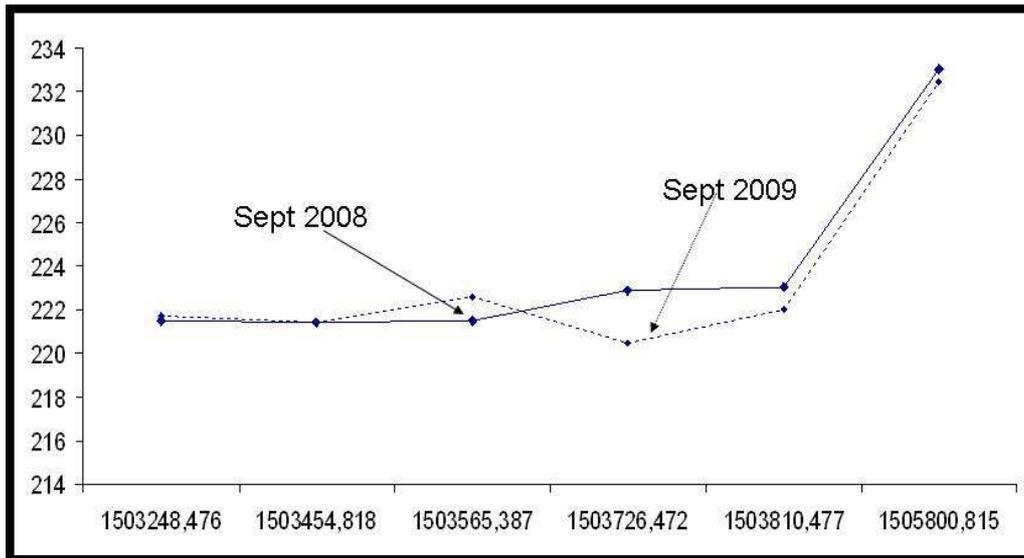
Secteurs entre profils successifs	Secteur P1-P2 m <sup>3</sup>	Secteur P2-P3 m <sup>3</sup>	Secteur P3-P4 m <sup>3</sup>	Secteur P4-P5 m <sup>3</sup>	Secteur P5-P6 m <sup>3</sup>	Total m <sup>3</sup>
Volume érodé en m <sup>3</sup>	782357	135285	250291	136413	86849633	88153981

### V -3.3– Évolution des profils en long des koris étudiés

L'extrémité du cône (zone de contact entre kori et fleuve, aval du profil en long) connaît une modification liée aux passages des deux crues du fleuve dans la région de Niamey. Cette zone de contact (Profil N°1) est sujette aux variations d'apports sédimentaires des crues locales qui apportent les sédiments du bassin du kori et de la crue guinéenne qui reprend en charge potentiellement les apports du kori (figure 65). A l'échelle de la saison humide de 2008 ; on n'a pas observé de changement topographique majeur dans la dynamique du profil en long aval du kori Boubon (figure 66). Cela signifierait donc que les apports massifs de sédiments introduits par l'érosion des berges ont été repris en charge par le kori Boubon et transférés dans le fleuve.



*Figure 64: Evolution du profil en long dans la partie aval du kori Boubon entre juin et septembre 2008*



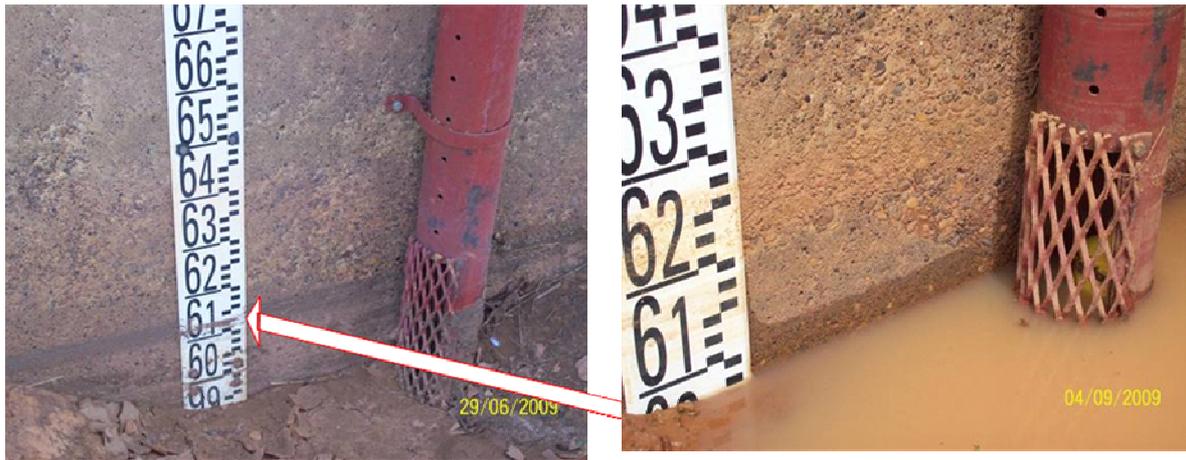
*Figure 65: Evolution du profil en long dans la partie aval du kori Boubon entre septembre 2008 et septembre 2009*

Les eaux de la crue guinéenne atteignent le niveau de l'extrémité du cône. Entre 2008 et 2009, on a remarqué un creusement de la partie comprise entre l'amont du pont et l'entrée sur le cône alluvial (figure 66). Mais l'extrémité aval du profil longitudinal (partie inférieure du cône) s'est légèrement exhaussée par sédimentation

#### **V -3.4- L'instabilité du plancher alluvial du kori estimé au droit de la station hydrométrique**

Le plancher alluvial a montré de 2008 à 2009 des variations importantes qui ont été mesurées ponctuellement sur les profils, mais aussi au droit de la station hydrométrique installée sous le pont de Boubon. Le profil en long intègre la donnée sur une plus longue distance.

De la date d'installation de cette station hydrologique en juin 2007 à juin 2009, le niveau du sable du lit a connu un remblaiement de sable de plus d'un mètre (photo 93). Mais dans ce secteur, le niveau du fond est très instable d'une crue à une autre. On observe de fortes variations du niveau du fond à la station hydrologique installée en juin 2007. De juin 2007 à juin 2008, le niveau du plancher alluvial du kori s'est abaissé de plus d'un mètre. En début de la saison 2009, ce niveau du plancher a retrouvé son niveau de juin 2007 (photo 94).



*Photo 93: Deux photos prises successivement le 29 juin 2009 (niveau à 608 cm de l'échelle et le 4 septembre 2009 (niveau sable à la cote 615 cm de l'échelle)*



*Photo 94: Variation interannuelle du plancher alluvial du kori Boubon entre 2007 et 2009*

Ceci n'est pas sans poser des difficultés dans le suivi hydrologique (échelle de crue), le recalage du flotteur du limnigraphe installé depuis 2007, devant s'opérer après chaque crue, surtout pour les faibles crues qui ne couvrent pas forcément toute la section d'écoulement du kori, cas de la crue du 18 août 2009.

*Tableau 33: Variation du plancher alluvial sous le pont situé sur le kori Boubon (aval du profil en travers N°6) en 2009*

Date et hauteur de pluie tombée au pluviomètre B2 (situé à mi bassin)	Date de lecture du niveau du plancher après chaque crue	Niveau de sable à l'échelle de crue du pont	Ablation en cm	Dépôt en cm
-	12/06/2009	516		
<b>20/06/09 : 16 mm</b>	21/06/2009	591		+75 cm
<b>26/06/09 : 11 mm</b>	4/07/2009	594	/	+3 cm
<b>17/07/09 : 20 mm</b>	17/07/2009	612	/	+18 cm
<b>24/07/09 : 7 mm</b>	27/07/2009	613	/	+1 cm
<b>31/07/09 : 50 mm</b>	02/08/2009	584	-29	/
<b>10/08/09 : 35 mm</b>	14/08/2009	608	/	+24 cm
<b>26/08/09 : 20 mm</b>	27/08/2009	613	∟	+5 cm
<b>30/08/09 : 10 mm</b>	4/09/2009	608	-5 cm	/
<b>03/09/09 : 46</b>	05/09/2009	616	/	+8 cm
<b>11/09/09 : 35</b>	12/09/2009	626	-/	∟+10 cm
<b>0 mm au pluviomètre B2, mais écoulement kori, donc pluie assez importante en amont dans le bassin</b>	13/09/2009	620	-6 cm	/
	17/09/2009	608	-12 cm	
<b>20/09/09/ : 25 mm</b>	20/09/2009	620	/	+12 cm

On observe donc une succession de phases d'ablation et de dépôt d'une crue à l'autre (tableau 35). A l'échelle de l'année, le plancher a connu une élévation de niveau de 104 cm sous le pont (tableau 35).

#### **V-4-L'évolution des cônes des koris entre 2008 et 2009**

Dans la vallée du fleuve Niger, dans le secteur de Niamey, les cônes formés par les koris exoréiques sont les principales manifestations de l'ensablement (Singhal H.S.S et al 1981). Ces cônes de déjection des koris sont apparus dans cette vallée après les années 1970. Les figures 67 et 68 ci-dessous sont des MNT du confluent Boubon/Niger en 2008 et 2009.

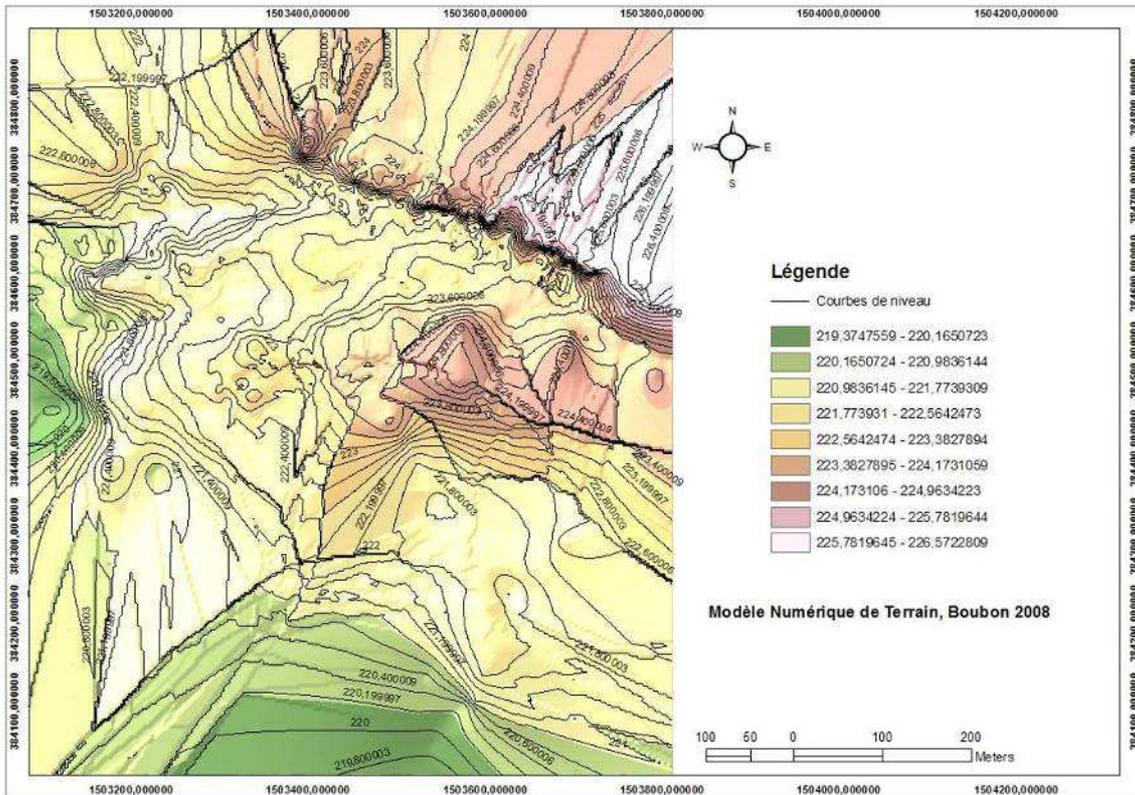


Figure 66: MNT de la partie aval du kori Boubon et confluence avec le fleuve Niger en juin 2008

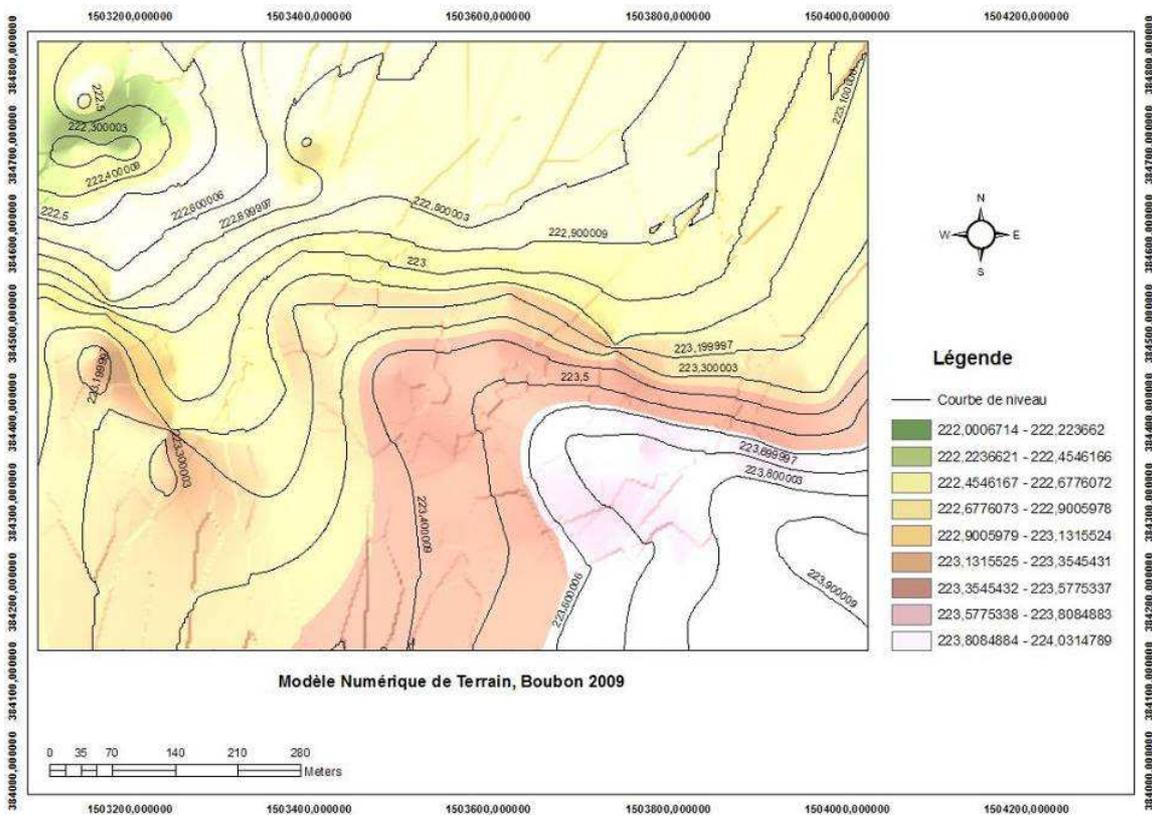
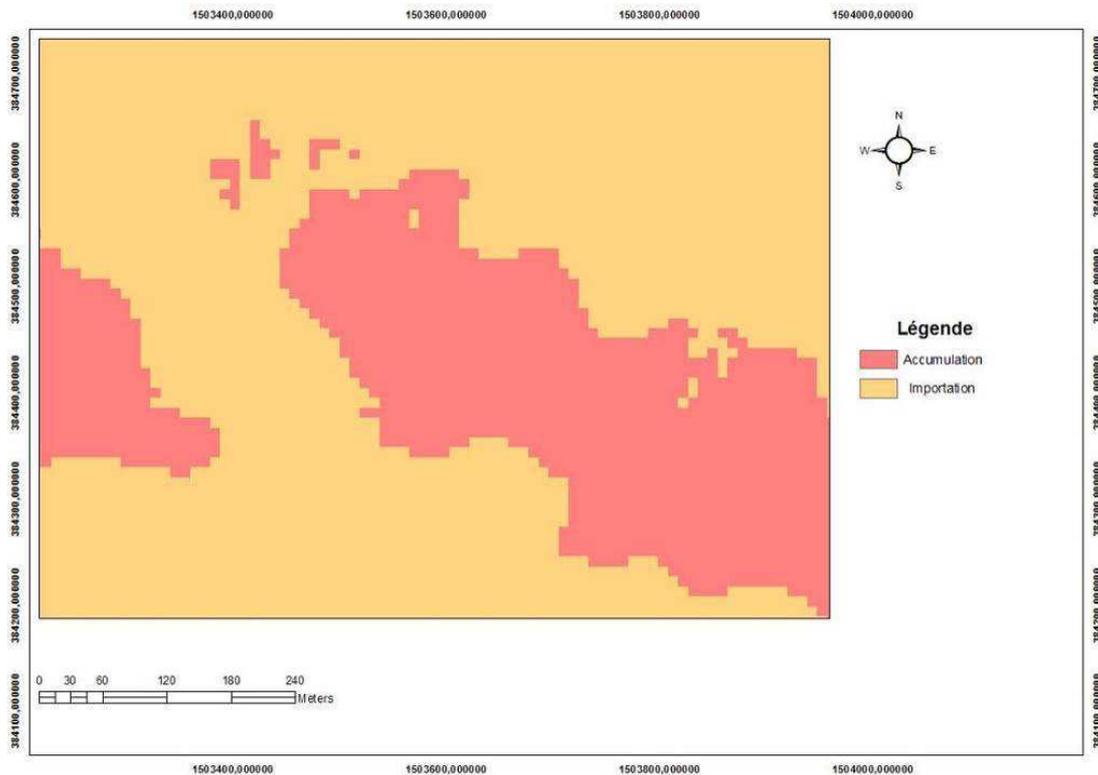


Figure 67: MNT de la partie aval du kori Boubon et confluence avec le fleuve Niger en septembre 2009

La figure 70 représente la différence entre les MNT des figures 68 et 69 ; elle indique les secteurs ayant connu une accumulation et ceux ayant connu une exportation de matériaux.



*Figure 68: Evolution de la dynamique sédimentaire de la partie aval du bassin du kori Boubon et zone de confluence au fleuve entre 2008 et 2009*

De l'analyse des MNT effectués dans la partie aval, on observe que l'érosion l'emporte largement sur les gains d'accumulation sédimentaire. Mais l'épaisseur d'accumulation moyenne est de 0.41m sur deux saisons (différence septembre 2009- juin 2008).

## **V -5- Bilan sédimentaire et volumes érodés**

### **V -5.1-Bilan sédimentaire sur le kori Boubon et le fleuve Niger**

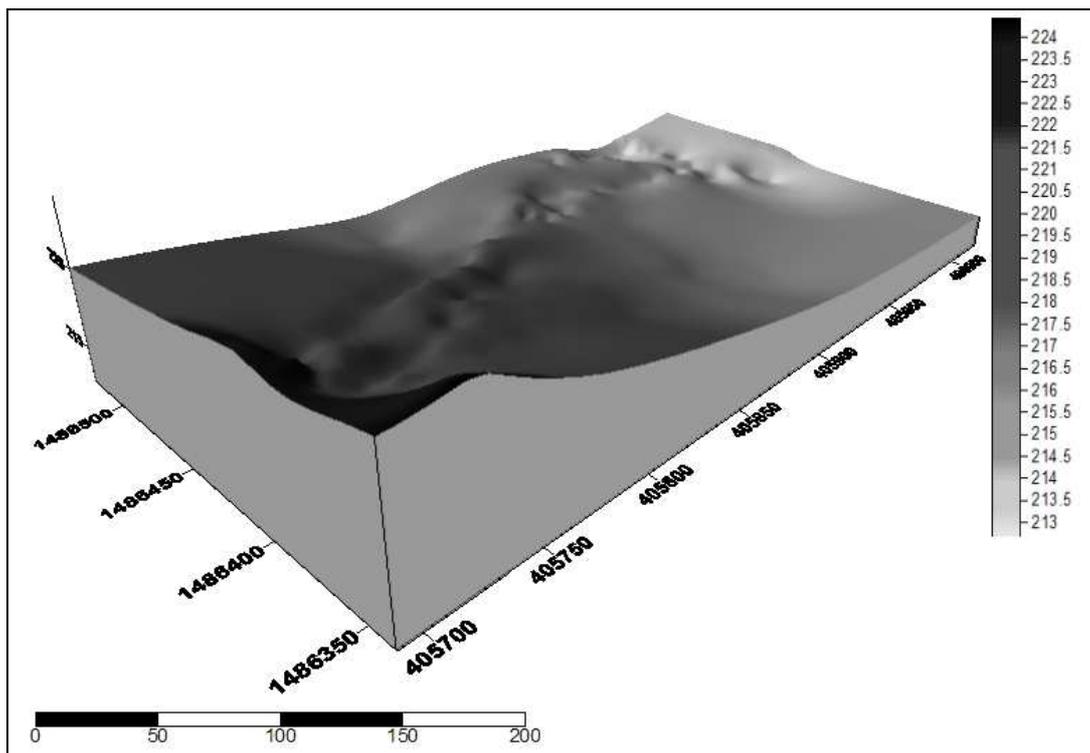
Les masses sédimentaires apportées par les berges est de 4552812 tonnes. Cela explique l'extension surfacique que connaît ce kori principalement dans sa partie aval. Dans cette partie aval la largeur du kori Boubon a été multipliée par 50 depuis 1975 (tableau 36).

**Tableau 34: Bilan sédimentaire aval pont et apport du kori Boubon au fleuve entre 2008 -2009**

Taux de MES moyen Kg/m <sup>3</sup>	Volume écoulé	E1 volume sédimentaire des MES (m <sup>3</sup> )	E2 Volume érodé sur les berges (m <sup>3</sup> )	E3 Bilan 2009 -2008 du cône (m <sup>3</sup> )	(E +E2)-E3 Apport au fleuve	Masse de sédiments	Taux dégradation (T/Km <sup>2</sup> )
5,5	13282136	73051751	88153981	158411389	2794343	4750383	29279
Masse de sédimentaire des apports koris Boubon						4750.383 tonnes	
Masse de sédiments dans le fleuve (Ile de Boubon + site aval)						197.571 tonnes	
Masse sédimentaire apporté par les berges et fond du lit						4552.812 tonnes	

**V -5.1 – Estimation des volumes des sédiments des cônes de déjection des koris Gorou Banda Gorou Kirey et Boubon en 2008 et 2009**

Comme évoqué dans le chapitre 2, le bassin du kori Banda n’a été suivi qu’en 2008, ce kori forme dans la partie aval un cône d’environ 60872 m<sup>2</sup> de superficie avec un volume sédimenté de 13212365 m<sup>3</sup> (tableau 37).



**Figure 69: MNT du cône de déjection du kori Gorou Banda en juin 2008**

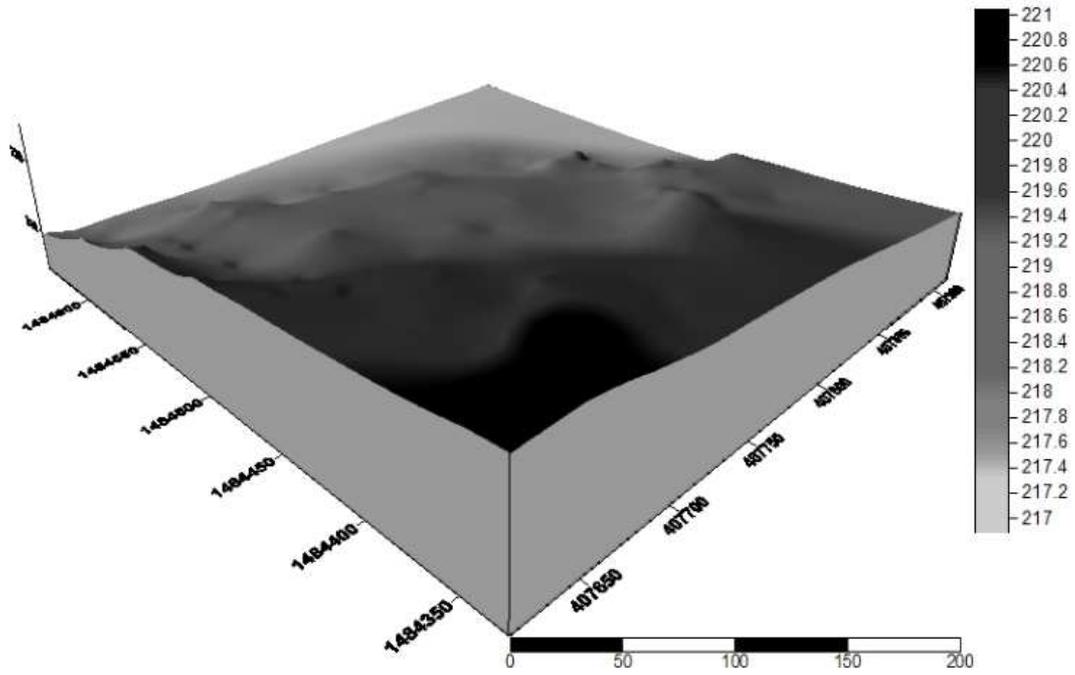


Figure 70: MNT du cône de déjection du kori Gorou Kirey en juin 2008

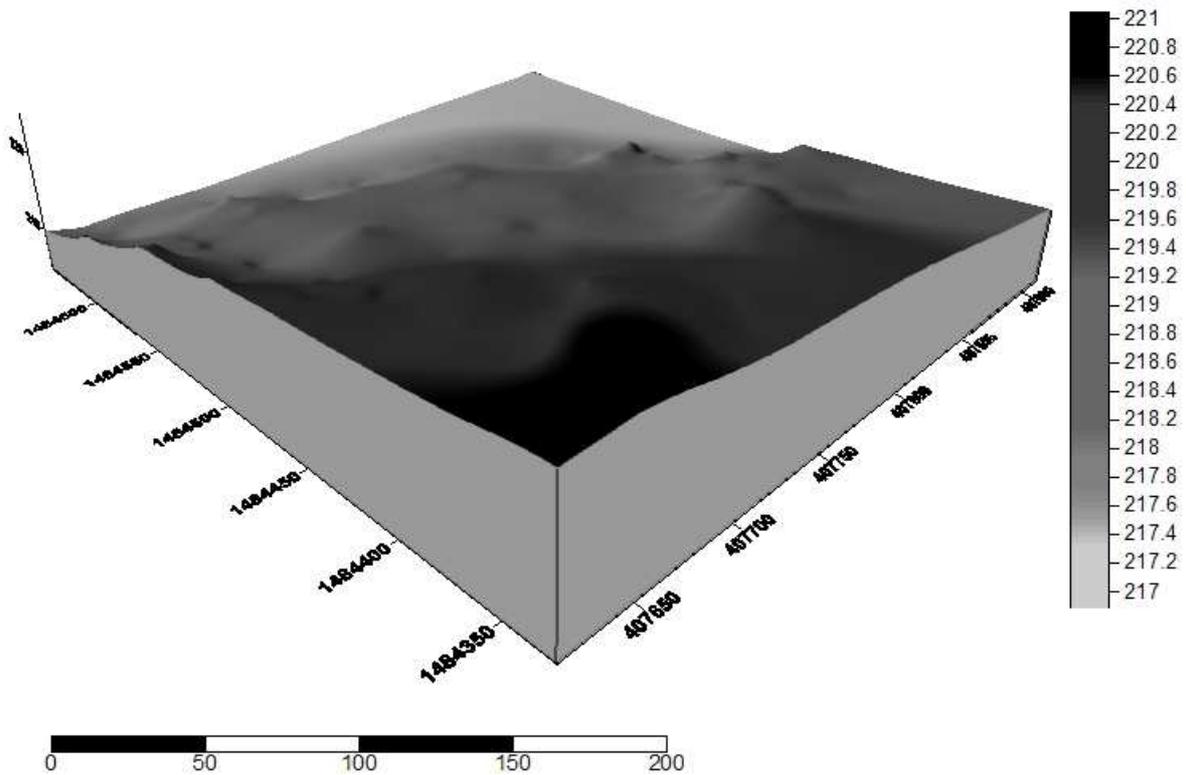


Figure 71: MNT du cône de déjection du kori Gorou Kirey septembre 2008

Le cône du kori Gorou Kirey a une superficie en 92610m<sup>2</sup> (tableau 37) et un volume de 20255287m<sup>3</sup> sédimenté en juin 2008 (différence des MNT des figures 71 et 72).

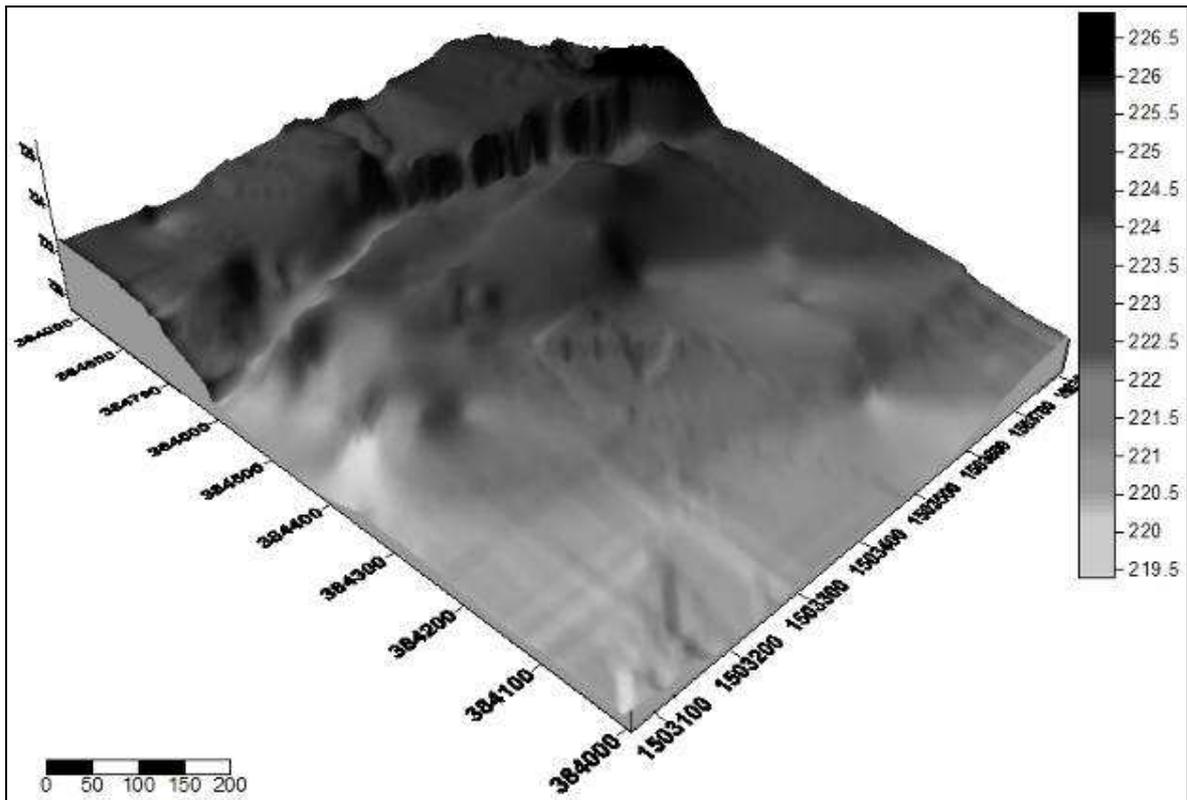


Figure 72: MNT du cône de déjection du kori Boubon en juin 2008

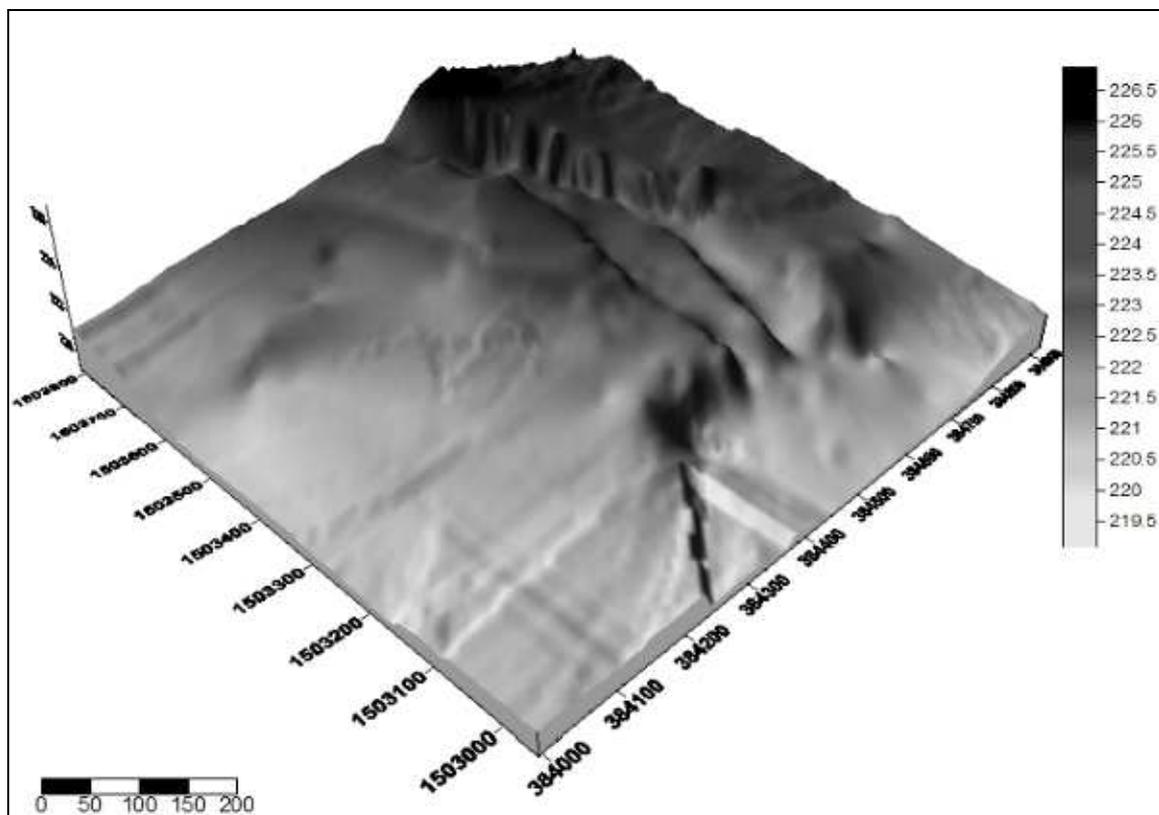


Figure 73 MNT du cône de déjection du kori Boubon septembre 2008

Le volume sédimenté du cône de Boubon fait 177545234 m<sup>3</sup> en septembre 2008 (tableau 37), comparé à son volume de juin 2008, il gagne plus de 24250811 m<sup>3</sup>. Ce volume est obtenu en faisant la différence des MNT des figures 73 et 74

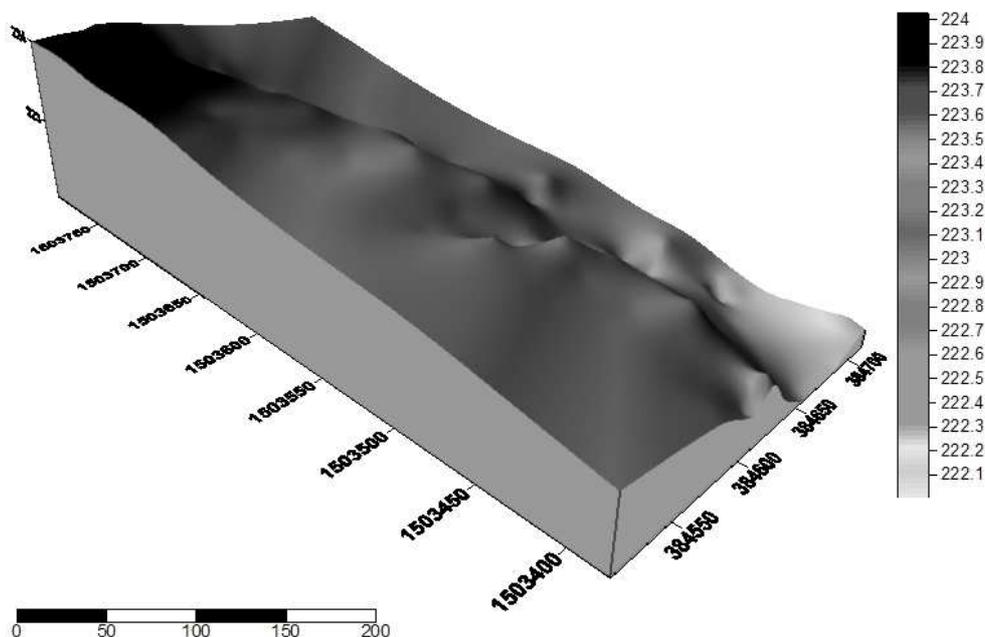
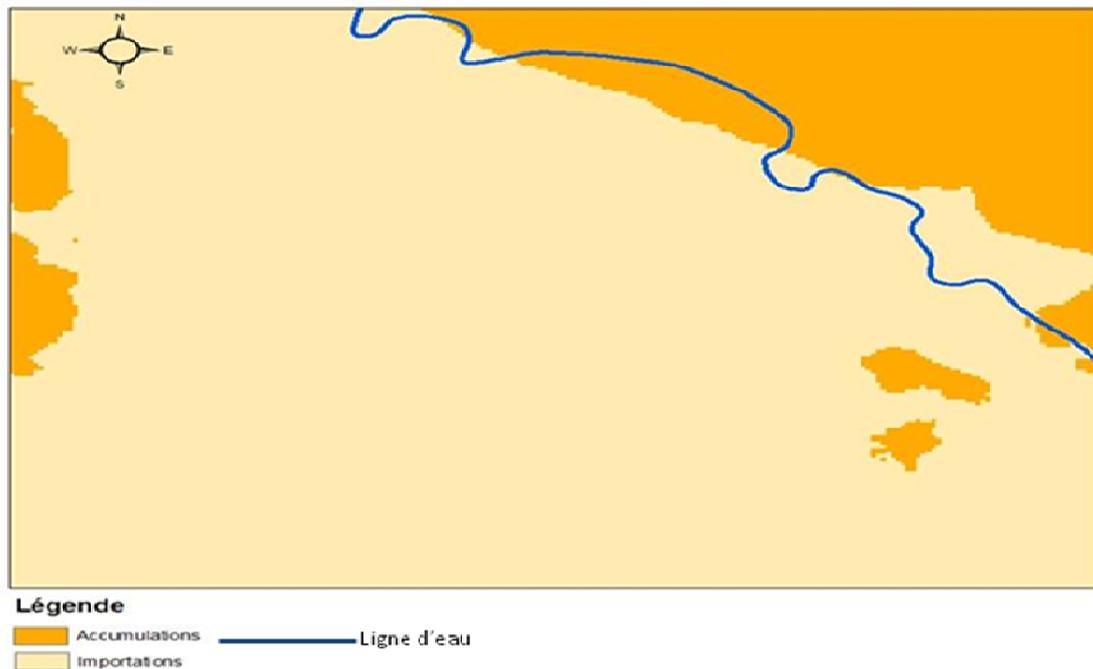


Figure 74: MNT de la partie amont du cône de déjection du kori Boubon (partie non submergée par les eaux de la crue du fleuve en juin 2009)

Mais en juin 2009, le volume sédimenté de ce cône est de 19133845 m<sup>3</sup>, (tableau 37 et figure 76) une grande partie des sédiments sont rabotés par la crue guinéenne 2008-2009. Encore une fois, il s'agit de la différence de volume obtenue entre les MNT.

Tableau 37 : superficies et volumes des cônes de Gorou Banda, Gorou Kirey et Boubon entre 2008 et 2009

Année	Kori Gorou Banda		Kori Gorou Kirey		Kori Boubon	
	Superficie en m <sup>2</sup>	Volume sédimenté m <sup>3</sup>	Superficie en m <sup>2</sup>	Volume sédimenté m <sup>3</sup>	Superficie en m <sup>2</sup>	Volume sédimenté m <sup>3</sup>
Juin 2008	60872	13212365	92610	20255287	689736	153294422
Septembre 2008	-	-	89445	19569769	800131	177545234
Juin 2009	-	-	-	-	85764	19133845
Septembre 2009	-	-	Panne station totale			



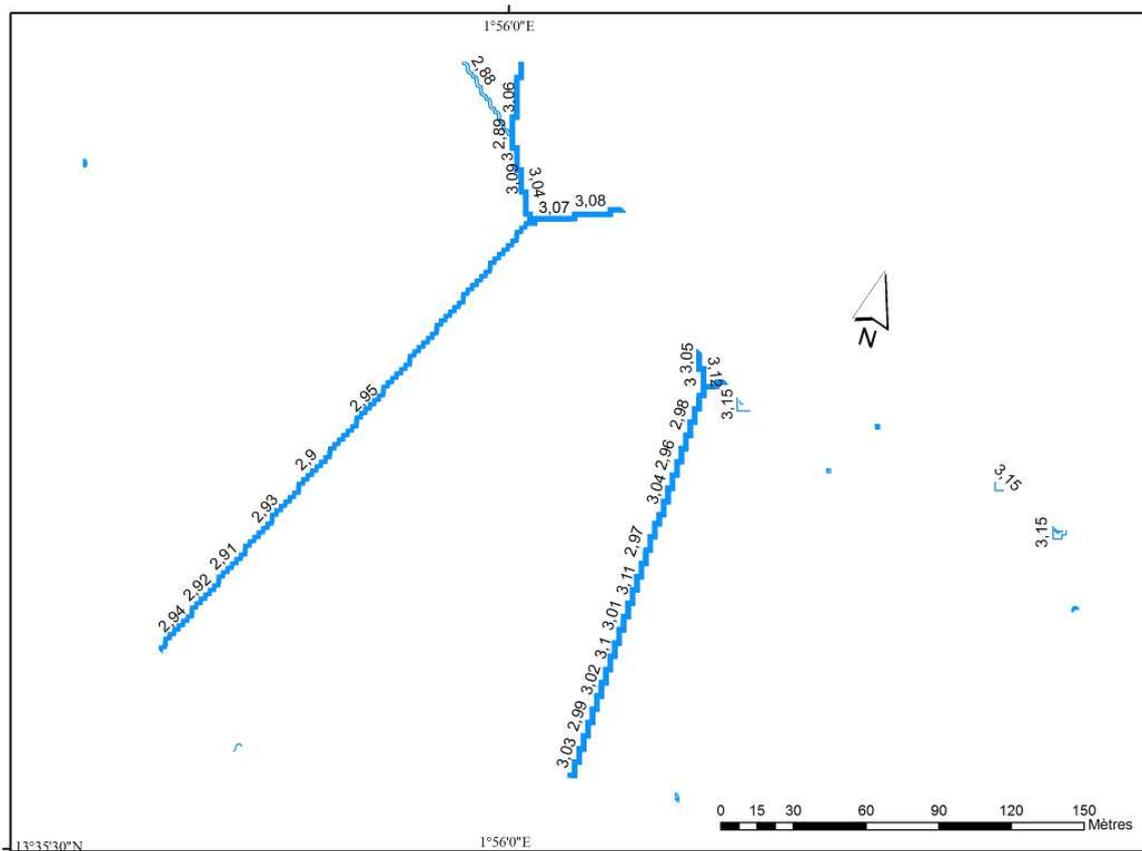
*Figure 75: Bilan sédimentaire annuel de la partie aval du kori Gorou Kirey et confluence fleuve Niger 2008*

Mais en 2009, la partie amont du cône n'a pas été sondée car elle a été remaniée par les TP qui extraient le sable alluvial et surtout par la présence du parking et de la piste construits (en latérite) pour le Fima 2009. Cette partie amont du cône de Gorou Kirey est fortement tassée par les gros engins avec beaucoup d'autres apports notamment la latérite.

Mais du point de vue morphologie de surface, le cône du kori Kirey a une zone de concentration de dépôt de sédiments plus épaisse que celui de Boubon. Ce dernier connaît plus d'extension en surface surtout avec le curage effectué par la crue blanche de 2009.

### **V -5.3- Bathymétrie des zones de confluence des koris au fleuve Niger**

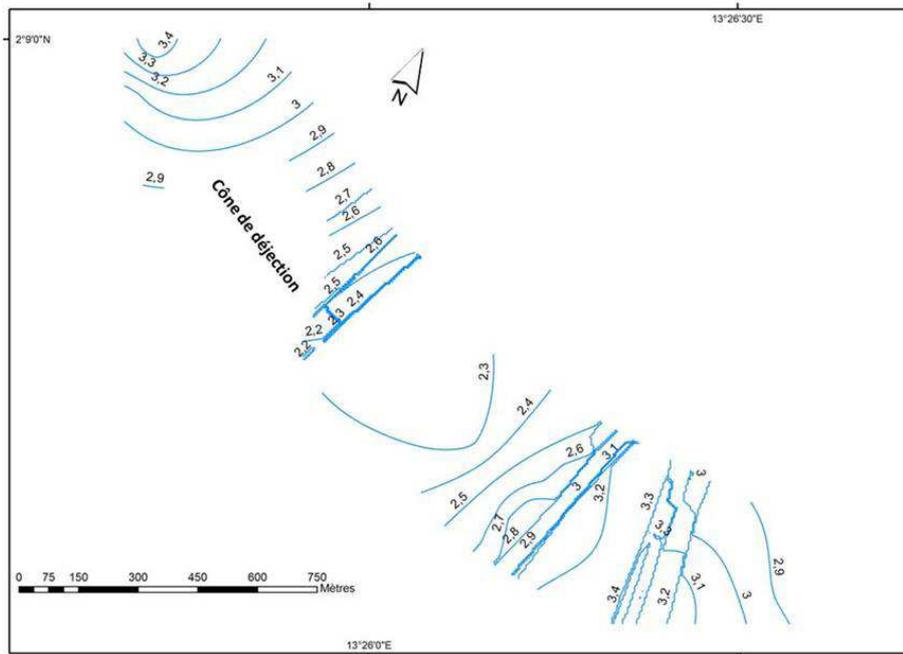
Les mesures bathymétriques montrent des profils de profondeur variant entre 6 m à moins d'1m tant à Boubon qu'à Gorou Kirey. Elles sont représentées sur les figures 77 à 83.



**Figure 76: profils bathymétriques de la zone de confluence kori Boubon au fleuve Niger le 8 septembre 2008**

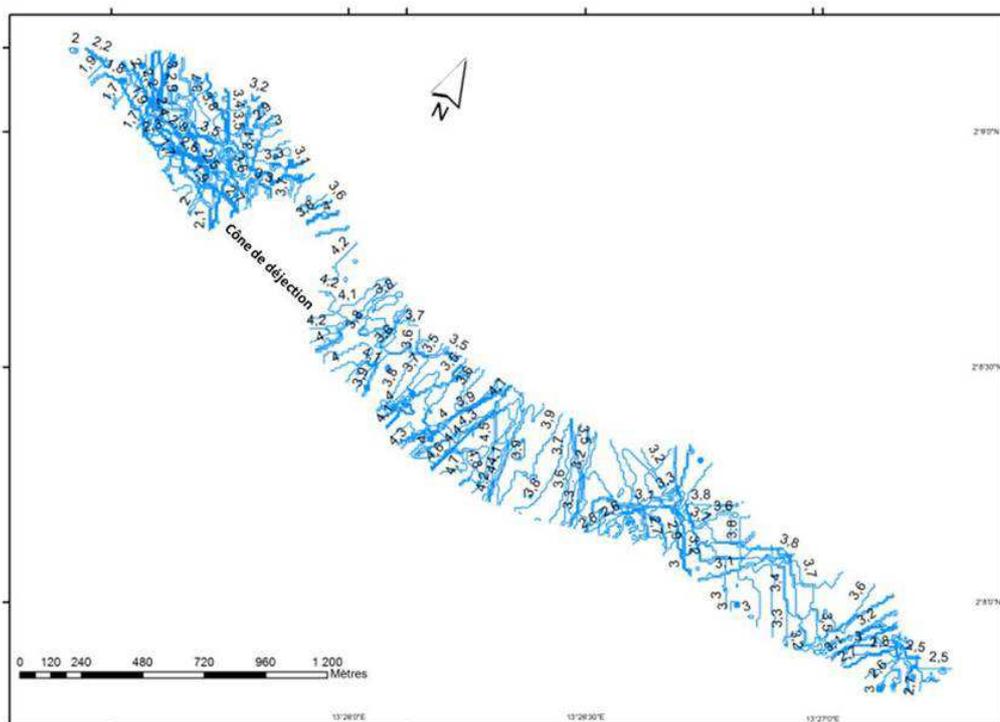
Dans ce secteur de confluence kori Boubon et fleuve Niger, la profondeur maxi est de 6 m et les secteurs à faible profondeur sont la zone de confluence kori - fleuve et l'aval de la confluence aussi.

Les mesures bathymétriques n'ont été effectuées que sur la zone de la confluence Gorou Kirey et fleuve Niger, avec les crues exceptionnelles de 2009, l'utilisation du zodiac de l'Agrhymet s'avère dangereuse. Nous avons eu recours au bateau à coque du Club nautique de Niamey qui a une forte puissance motrice. Et vu que le conducteur ne connaît pas bien la zone de Boubon, nous avons continué à ne faire la bathymétrie que dans les secteurs de Gorou Kirey. Ce sont ces résultats qui sont exposés dans les figures 79 à 84.



*Figure 77: Carte bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve Niger le 8 septembre 2008*

On observe les faibles profondeurs dans la partie de confluence kori et fleuve et les secteurs aval de la confluence. Les profondeurs maxi sont de 3.5 à 4 m avec les crues de septembre.



*Figure 78: Carte bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve Niger le 31 janvier 2009*

Mais avec les crues guinéennes de janvier 2009, les profondeurs dépassent les 4 m même au niveau de la zone de contact cône kori et fleuve Niger.

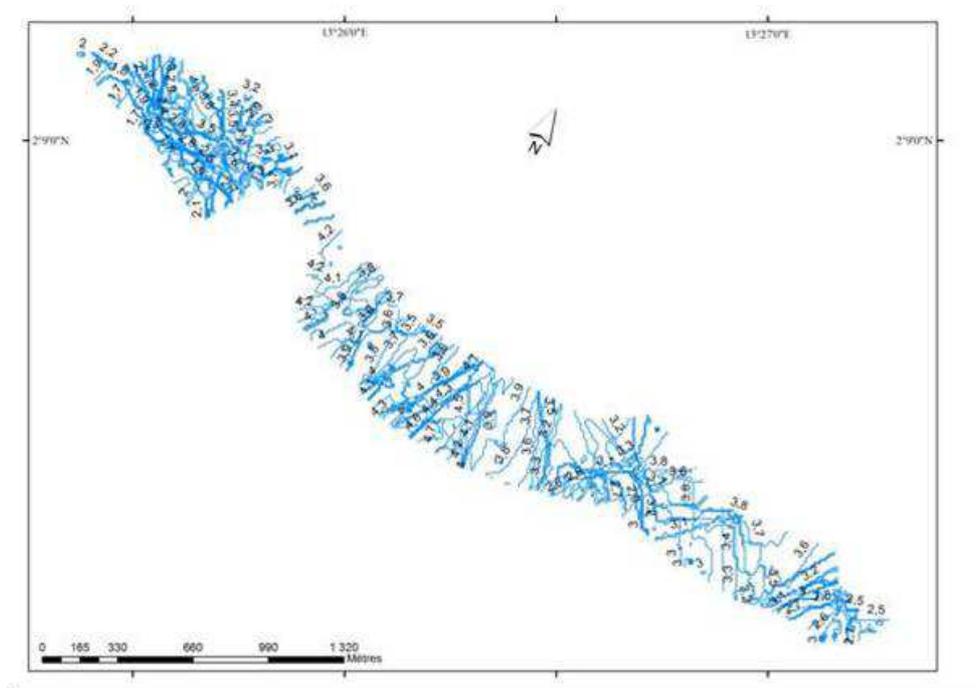


Figure 79: Carte bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve Niger en février 2010

La crue guinéenne 2010 fait remonter les eaux à un niveau exceptionnel et une grande partie du cône du kori Gorou Kirey est immergée (figure 81).

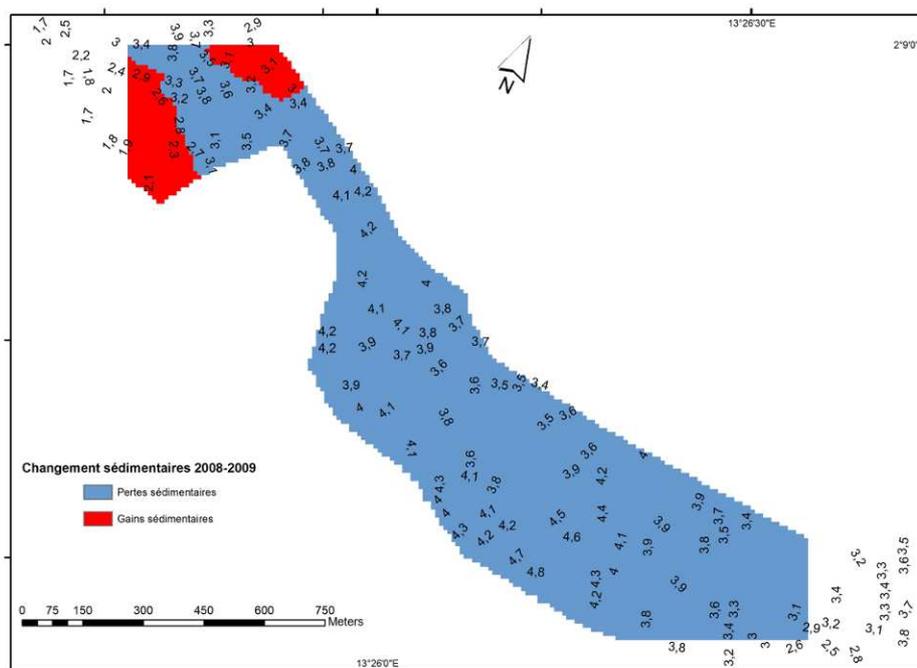
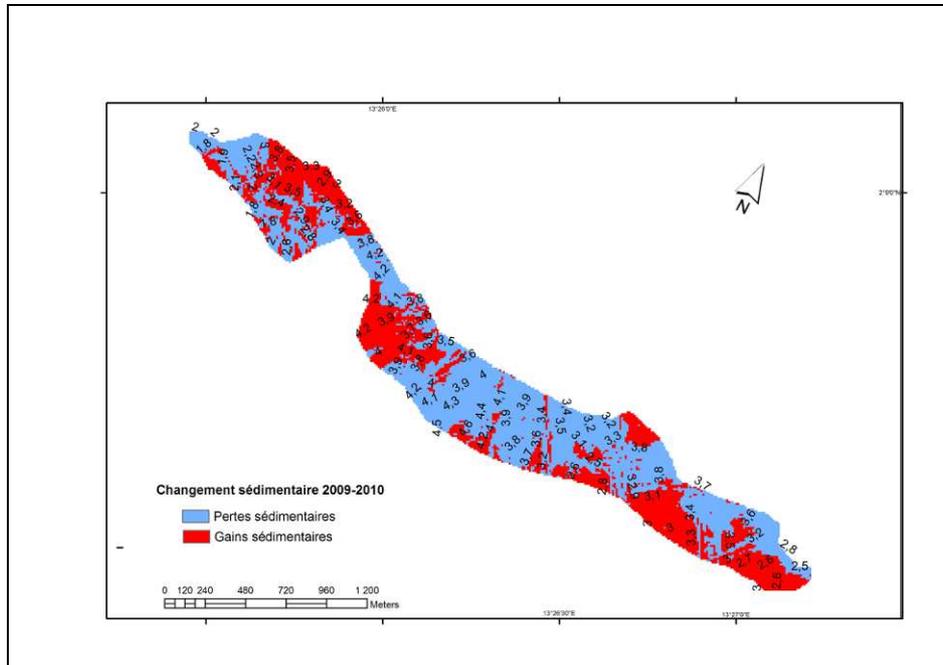


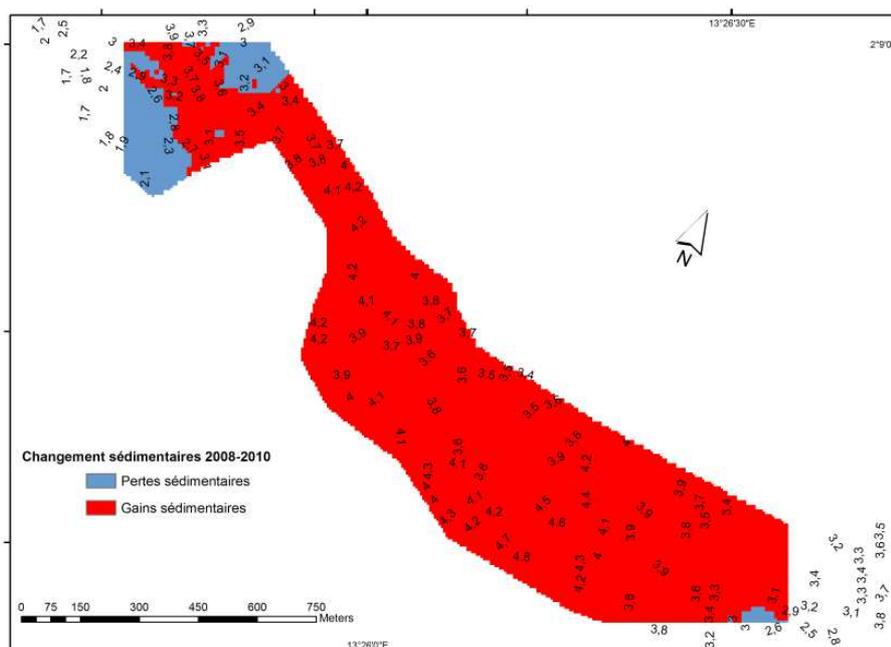
Figure 80: Bilan bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve entre 2008 et 2009

En superposant les mesures bathymétriques du secteur Gorou Kirey et fleuve entre 2008 et 2009, on observe que seuls les secteurs aval de la confluence enregistrent un gain sédimentaire (figure 82).



**Figure 81: Bilan bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve entre 2009 et 2010**

En fait le bilan de cette zone entre 2009 et 2010, il apparait des zones de gain sédimentaires plus marqués tant en aval qu'en amont de la confluence (figure 83).



**Figure 82: Bilan bathymétrique de la zone de confluence kori Gorou Kirey au fleuve entre 2008 et 2010**

En comparant les situations bathymétriques 2008 et 2010, le bilan montre que les gains sédimentaires dominent presque tout ce secteur et une baisse des profondeurs très marquée mesurée (figure 84).

Dans le fond du fleuve Niger, se forment de multiples bancs de sables saisonniers (photo 95) ; ces bancs longs parfois de plusieurs dizaines de mètres sont colonisés parfois par une végétation de graminées. Ces bancs sont visibles en période d'étiages principalement dans les secteurs de confluence entre kori et fleuve Niger. Ce qui démontre l'importance du transport solide dans les koris.



*Photo 95: Bancs de sable actifs et récemment colonisés par des herbacés inters -fleuve Niger*

*On observe que les secteurs de confluence koris au fleuve Niger :*

- ✓ *sont les zones les moins profondes du fleuve Niger dans la zone de Niamey*
- ✓ *l'ensablement est manifeste et est une réalité*
- ✓ *D'après les témoignages des usagers du fleuve, dans ces secteurs les profondeurs ont fortement baissé depuis une vingtaine d'années.*

#### **V -6. Les flux de Matières En Suspension : des koris au fleuve Niger**

La dynamique actuelle des koris et de la vallée du fleuve Niger dans cette région de Niamey se manifeste à travers divers paramètres hydro géomorphologiques et à travers les changements des comportements hydro-sédimentaires observés et mesurés dans ces organismes hydrologiques. L'eau mobilise la matière sous forme soluble (sels divers, substances organiques ou minérales), de particules de tailles variables (argile, limons, graviers, galets, et blocs) (Laguionie, 2006) (photo 96).



*Photo 96: Eaux de ruissellement très chargées du kori Bertawel au Nord -Est de Niamey (photo Le Breton 2007).*

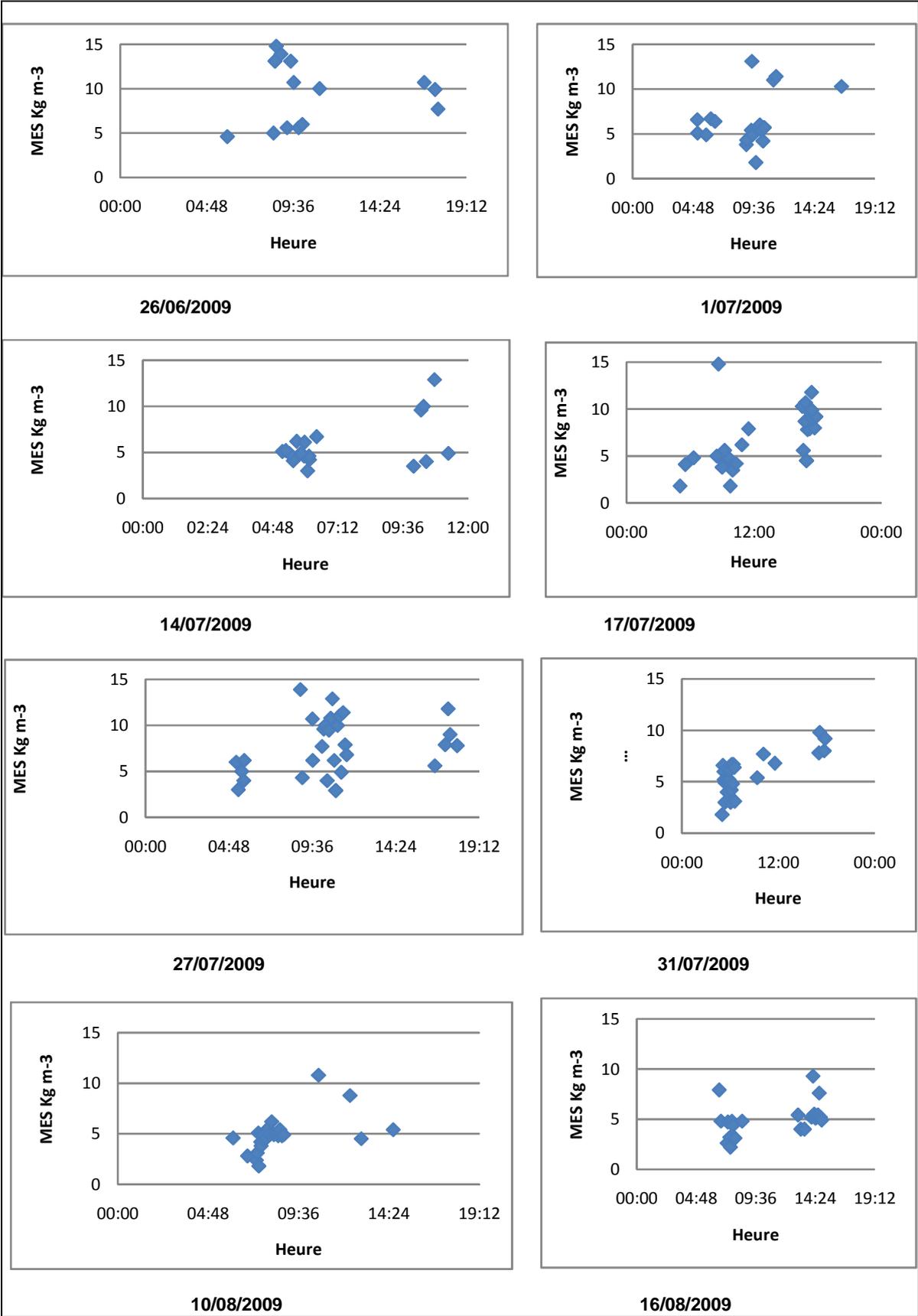
L'action d'érosion transport ou sédimentation par l'eau dépend de sa vitesse et de la taille des particules disponibles. Selon Van Rijn (1984) à une vitesse donnée, les particules les plus fines sont transportées en suspension, les plus grossières par traction au fond du lit et les éléments intermédiaires par saltation ou bonds successifs (Campy et Macaire 1989). Couvert et al. (1999) expliquent que lorsque la vitesse du courant décroît, une partie des particules transportées est déposée au fond du lit, donnant naissance à un sédiment fluvial à tri granulométrique vertical et généralement positif (Lamachère 2000). C'est à dire les particules grossières à la base, et les particules fines au sommet de la couche. Les concentrations MES transportées dépendent de la compétence et de la disponibilité de matériau transportable (Laraque et al. 1994).

### **V -6.1- Le transport solide en suspension dans les koris**

Les lois de l'érosion fluviale sont régies d'après Birot (1975) par la capacité de transport et d'érosion d'une rivière dans une section mouillée donnée, en fonction du débit, de la pente locale et du diamètre des alluvions, qui sont les données fondamentales (Picouet 1999).

#### *V -6.1.1-La charge en suspension dans le kori Boubon en 2009*

Le taux de MES du kori Boubon (figure 84) est très variable d'une crue à une autre. Les taux moyens de l'ensemble des crues de 2009 documentées du kori Boubon sont de  $3,5 \text{ kg m}^{-3}$  à  $5 \text{ kg m}^{-3}$ . Les valeurs de MES maxi peuvent atteindre les  $25 \text{ kg m}^{-3}$ . On note donc des transports solides abondants.



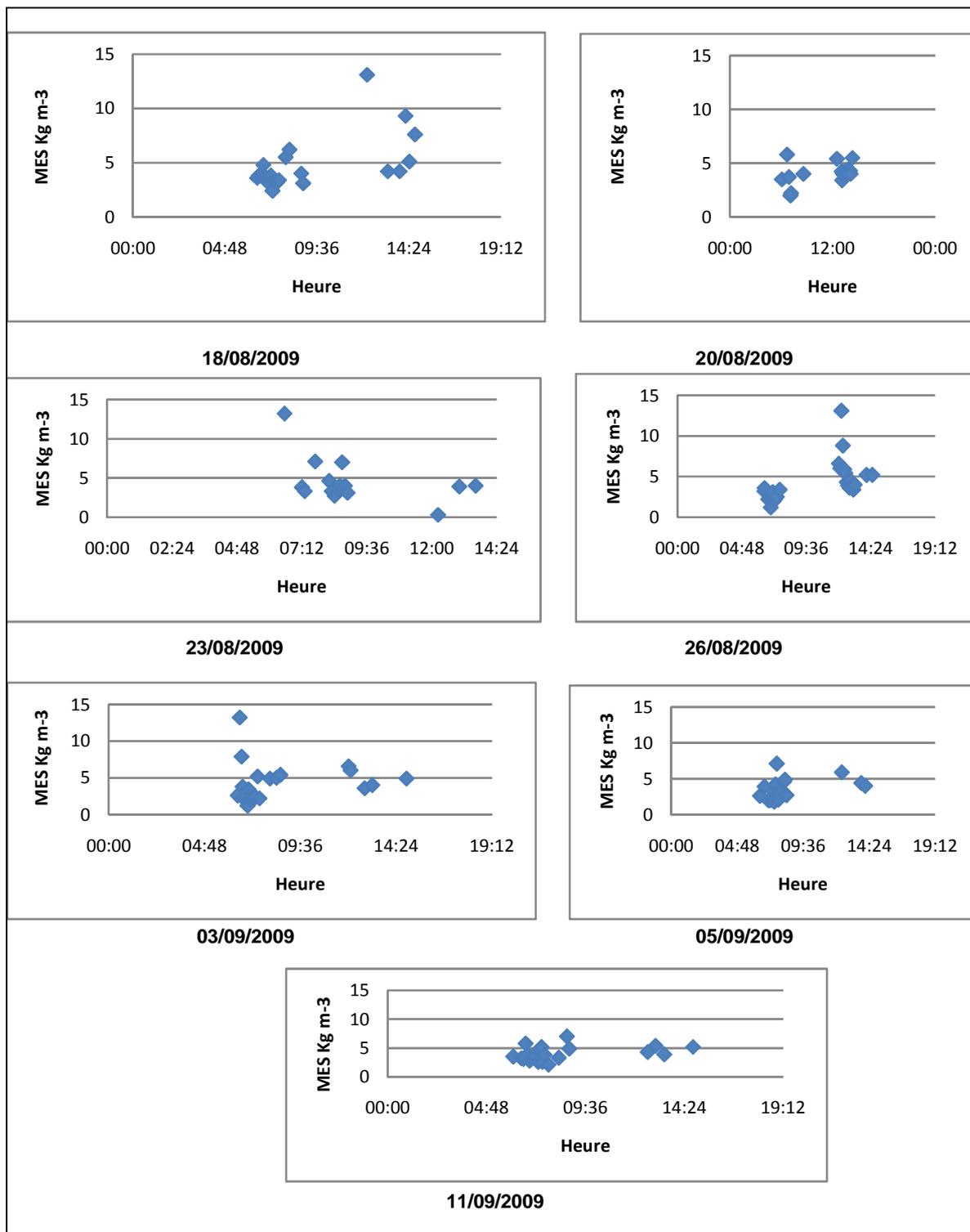


Figure 83: Séries de turbidités pour les crues prélevées en 2009 sur le kori Boubon

Au début de saison, les valeurs sont très élevées (supérieures à  $5 \text{ Kg m}^{-3}$  et atteignant plus de  $15 \text{ Kg m}^{-3}$ ) ; les écoulements sont très chargés pour plusieurs raisons :

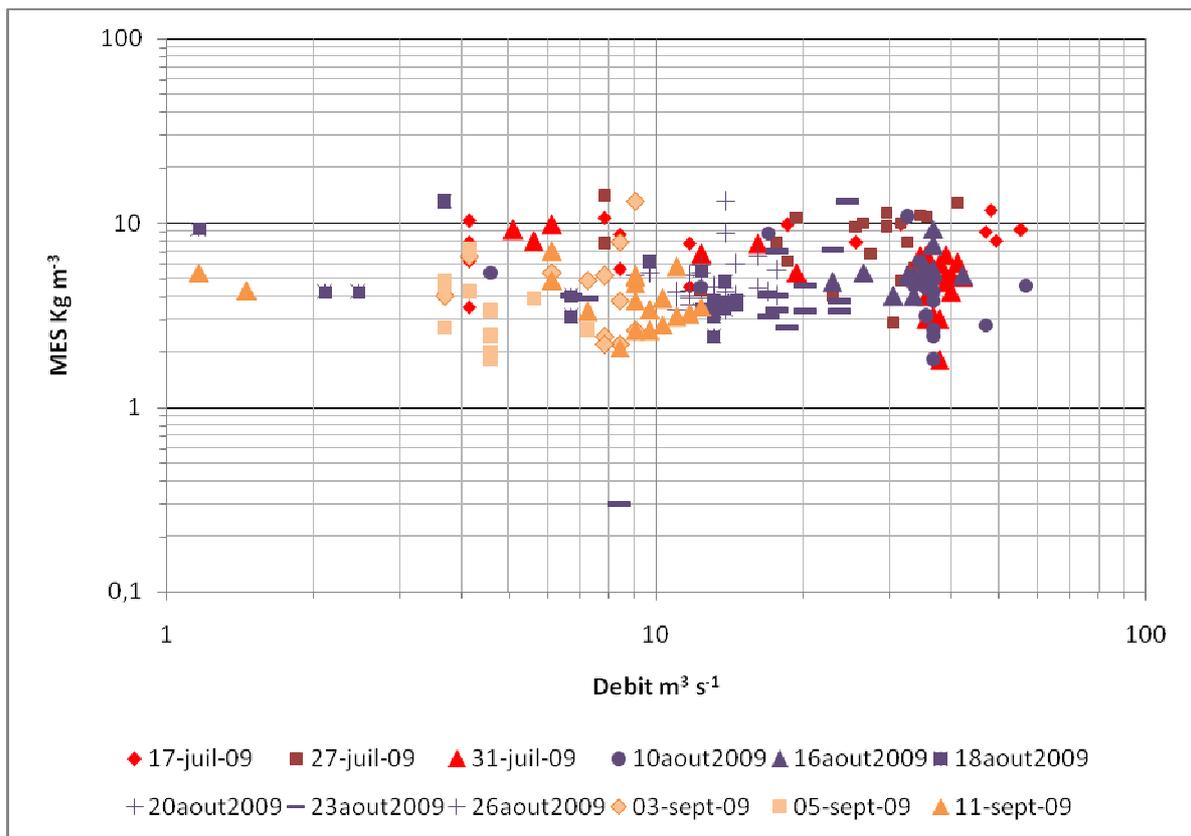
- les particules émiettées par les piétinements et ayant subi une forte dessiccation sont facilement mobilisables

- les surfaces sont lessivées facilement en raison de la dessiccation prononcée par plusieurs mois sans pluie ;

- le stock sédimentaire disponible est abondant : il s'agit sur les versants en particulier des dépôts éoliens et dans les lits fluviaux des stocks déposés par la saison des crues précédentes et possiblement, par des dépôts éoliens.

Au cours de la saison humide, les transferts de sédiments dans le kori diminuent, même s'ils restent toujours abondants (de l'ordre de 5 à 10 Kg m<sup>-3</sup> ; figure 87). En effet, la couverture végétale va progressivement couvrir les sols et le stock de matériel facilement mobilisable décroît. On note cependant que les concentrations des MES restent assez élevées : ceci peut être expliqué par les apports sédimentaires issus de l'érosion des berges (voir chapitre précédent).

La figure 85 montre que les MES sont légèrement plus concentrées en juillet et décroissent un peu en septembre, mais de toutes façons ces MES restent encore assez élevées en septembre.



*Figure 84: MES par crues du kori Boubon en 2009*

### V-6.1.2- La charge en suspension dans le kori Gorou Kirey 2009

Nous rappelons au lecteur que l'hydromètre à la station de Gourou Kirey n'a pas fonctionné : nous avons donc pour ce kori uniquement les données de MES en 2009.

On observe la même dynamique de transport solide très forte par le kori Gorou Kirey. Le taux de MES par crue du kori Gorou Kirey en 2009 est de l'ordre de  $13 \text{ Kg m}^{-3}$  (figure 86). Ce taux plus fort que sur le Kori Boubon peut sans doute être expliqué par le fait que ce kori a une densité de drainage plus élevée que le kori Boubon : le réseau de ravines secondaires y est plus important. Les concentrations MES sont aussi très variables : les concentrations observées varient entre quelques Kg et plus de  $120 \text{ Kg m}^{-3}$ . Même en août, le kori Gorou Kirey a des concentrations en MES importantes. Les écoulements de ce kori sont très torrentiels avec des profondeurs supérieures à 1 m, hauteurs qu'on observe sur le kori Boubon en cas de crues exceptionnelles. Pour la crue du 12 août 2009, les concentrations MES varient de 2,5 à plus de  $100 \text{ Kg m}^{-3}$ . Ces pics isolés de concentrations de MES très élevées s'observent en début de crue de Gorou Kirey.

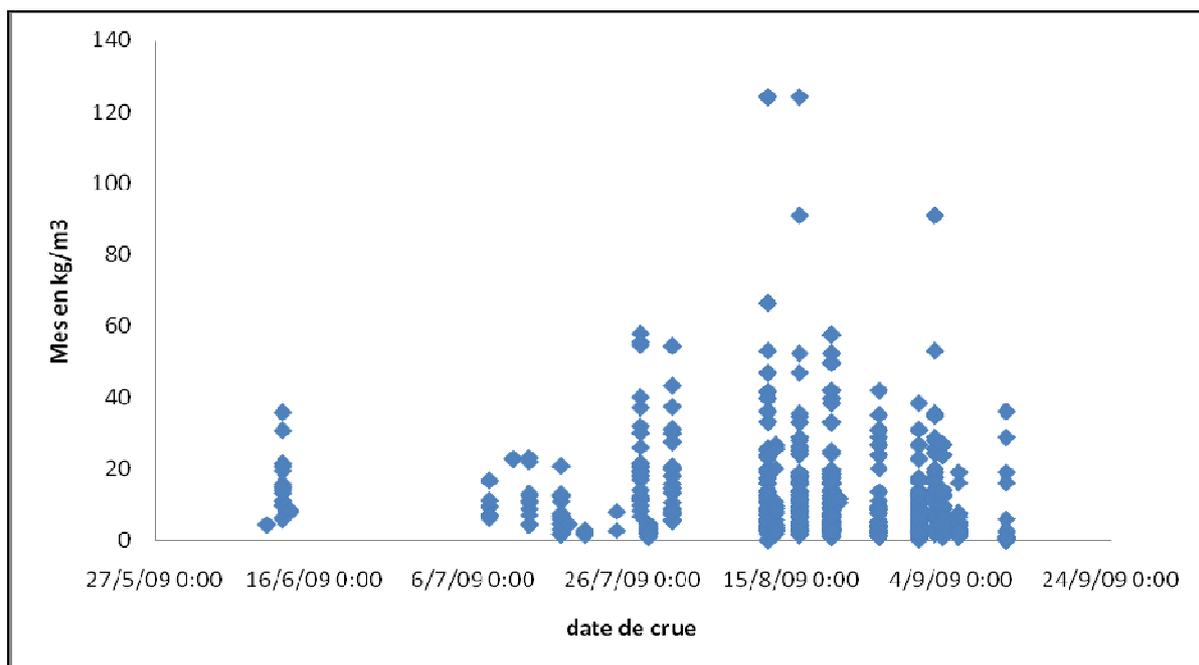


Figure 85: MES par crue du kori Gorou Kirey, crues entre mai et septembre 2009

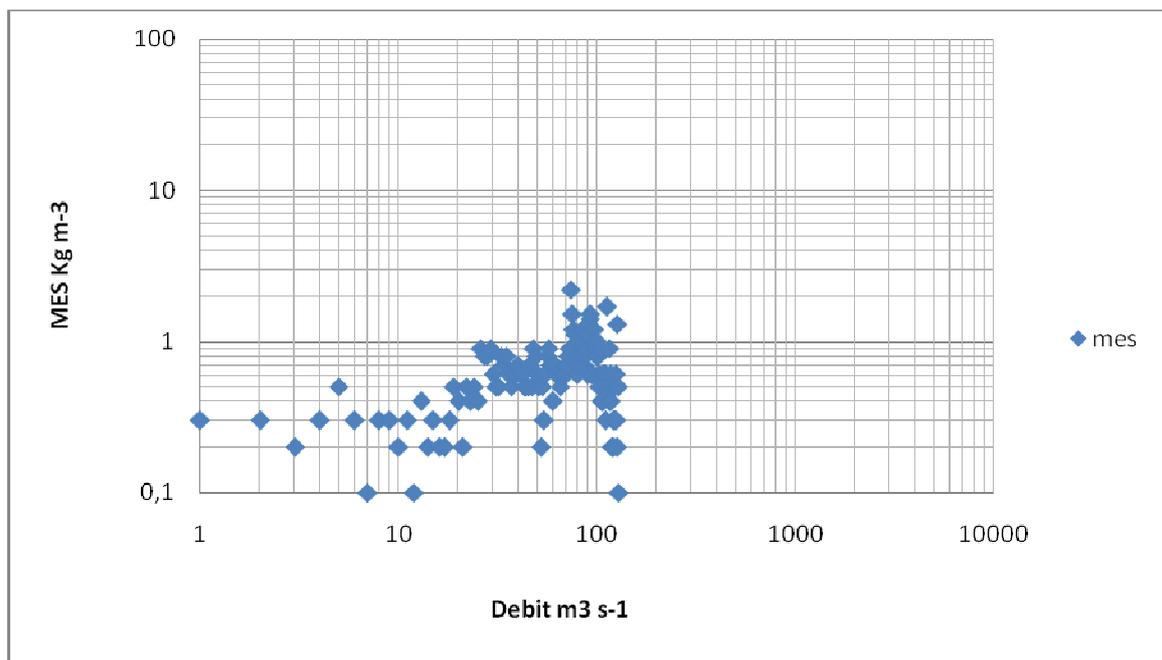
### V-6.1.3- La charge solide en suspension du fleuve dans la région de Niamey

Les prélèvements de MES sur le fleuve Niger ont été réalisés :

- En amont de la confluence du kori de Boubon, au niveau de l'île de Boubon ;

- En aval de la confluence fleuve et kori Boubon (à Banituri situé à environ 1,8 km de la confluence) ;
- à Niamey

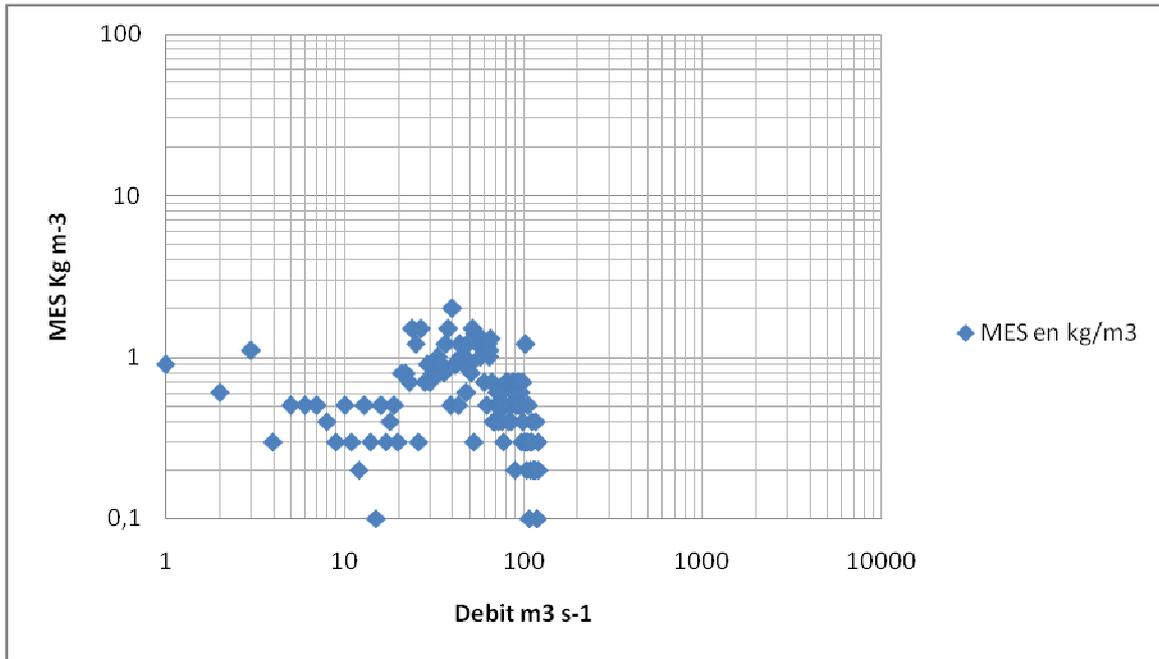
Les turbidités sur le fleuve au large de l'île de Boubon, sur le bras principal varient entre 1,8  $\text{Kg m}^{-3}$  à moins de 0,5  $\text{Kg m}^{-3}$  entre les mois de juillet et septembre. Cette période correspond à celle du fonctionnement des koris affluents de la région de Niamey. Au cours de cette période, le taux de concentration MES connaissent une très forte baisse (figure 87).



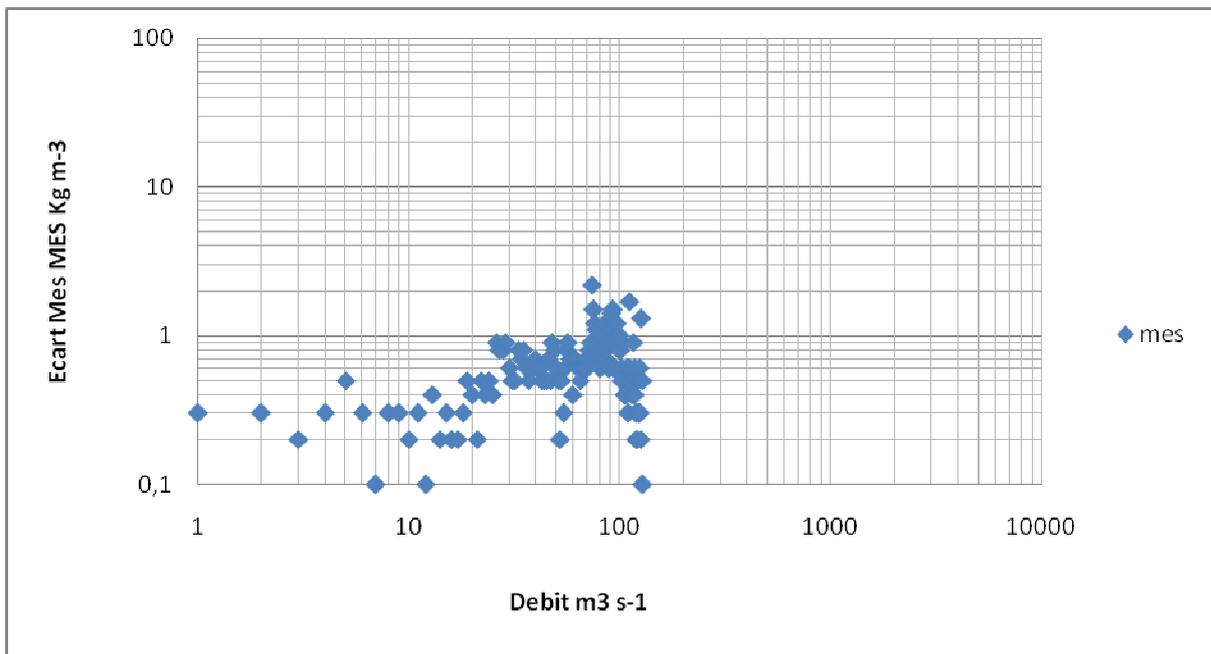
*Figure 86: MES du fleuve Niger au niveau de l'île de Boubon entre juillet et septembre 2009*

Les turbidités mesurées à Banituri en aval de Boubon sont supérieures à celles mesurées à Boubon sur le fleuve Niger. On observe par contre une forte baisse pendant la période d'échantillonnage considérée qui va de mai à septembre 2009 (figure 88).

En comparant les taux de concentration MES Concentration Mesurés à Banituri (aval confluence kori Boubon et fleuve Niger) et ceux de Boubon île (principal du fleuve au niveau de l'île) ; on remarque que les écarts sont importants figure 89). Cela se justifie au fait que le fleuve Niger cure d'abord le cône de Boubon avant d'atteindre le site d'échantillonnage de concentration MES Banituri.



*Figure 87: MES du fleuve Niger au niveau de Banituri (aval confluence kori Boubon au fleuve) entre juillet et septembre 2009*



*Figure 88: Ecart des MES du fleuve Niger entre Banituri et Boubon entre mai et septembre 2009*

La figure 90 donne les turbidités de l'eau du fleuve Niger à Niamey ; les prélèvements ont été faits tous les jours, sous le pont Kennedy.

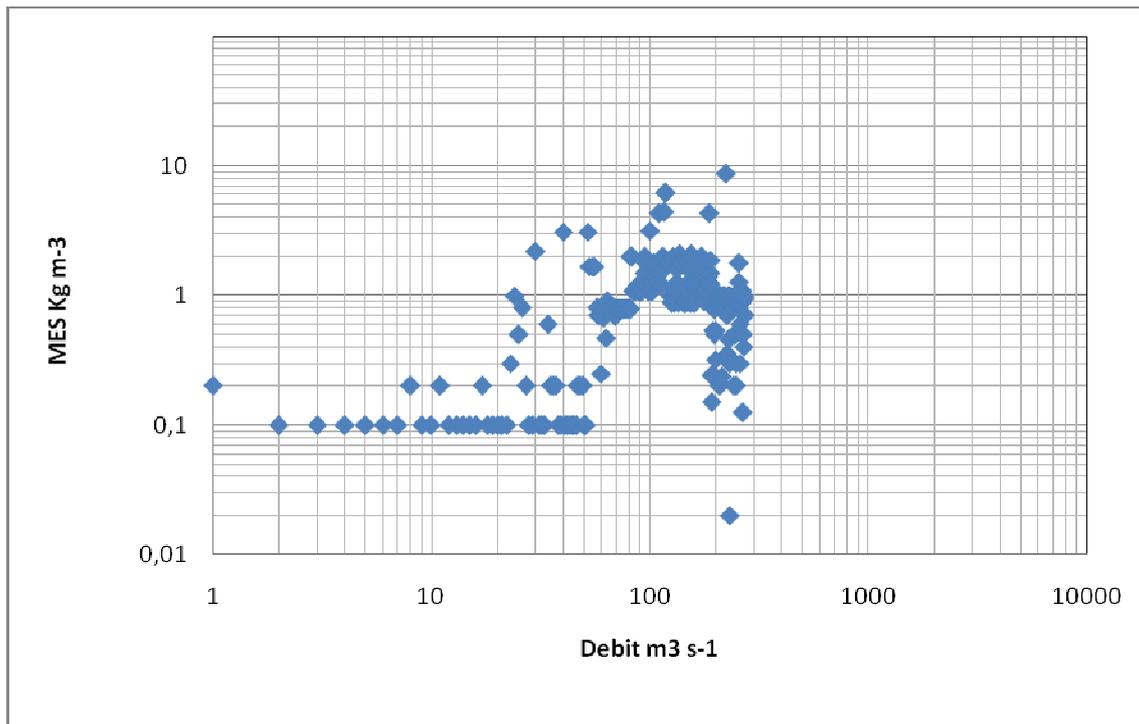
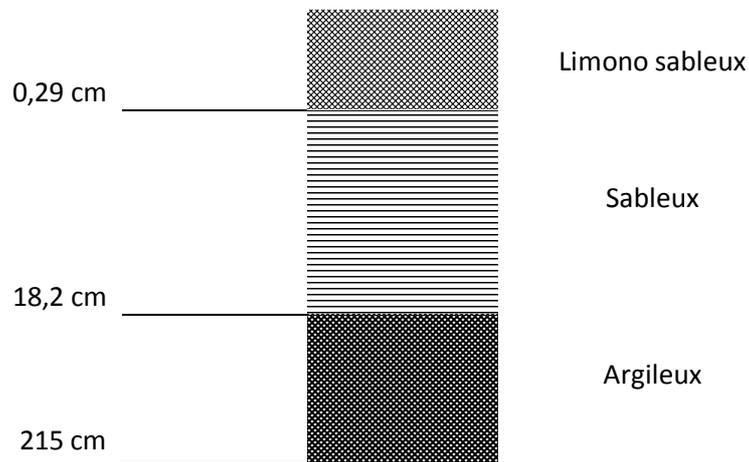


Figure 89: Concentration MES du fleuve Niger au pont Kennedy de Niamey en février et décembre 2009

#### V -6.2- Étude granulométrique des sédiments dans les koris étudiés et le fleuve à Niamey

D'après les sondages effectués en 2010, sur les cônes des koris, il est important de remarquer que ces structures sédimentaires de couvertures sont très récentes. Sur le cône du kori Boubon, les 25 premiers centimètres, en fond de sondage, sont composés de sables fins à très fins et dépourvus de particules supérieures à 250  $\mu\text{m}$ . Au-delà, sur 29 cm, les limons prédominent et représentent entre 80 et 95% de la composition granulométrique. Puis la part de sable augmente progressivement au détriment des limons fins pour former un palier jusqu'à 182 m. Suit un changement brutal et les sables prédominent au dessus, à environ 90% sur les 25 derniers centimètres, avec une prédominance des grains de sables très fins à moyens. Les niveaux argileux se situent à des profondeurs très variables (-2,15m) (figure 91). Ainsi sur le cône de Boubon, les dépôts récents du kori sont à une profondeur de 0 à - 0,75 m dans la partie aval du cône. Mais sur le cône de Gorou Kirey la profondeur maxi des dépôts récents peuvent atteindre -1,82 m dans certains secteurs du cône. L'origine de ce sable déposé par les koris est essentiellement fluviale. La granulométrie fine de ces dépôts témoigne qu'ils ont subi un transport fluvial. Le premier niveau situé entre -150 et -120 cm est composé de sables très fins à fins associés à plus de 25% de silts. La couche sus-jacente est nettement plus fine, sur 45 cm, les silts fins et moyens dominent largement jusqu'à 75%. Apparaissent également dans ce niveau les argiles granulométriques qui ne représentent pas plus de 1%. De

-75 à -50 cm la granulométrie évolue progressivement vers des grains plus grossiers, les particules fines deviennent alors minoritaires. Les 70 derniers centimètres sont composés de sables grossiers à fins qui évoluent à la surface vers des sables plus fins. Au delà on retrouve les dépôts anciens argileux.



*Figure 90: Coupe d'une couche du dépôt fluvial sur le cône du kori Boubon*

## **V -7- Conséquences de l'envasement dans la région de Niamey**

### **V -7.1- Les conséquences du phénomène d'envasement dans la ville de Niamey**



*Photo 97: Digue ensablée construite en 1987 en amont du pont Kennedy de Niamey (avril 2009).*

L'ensablement est perceptible dans la ville même de Niamey ; ainsi une digue d'environ 2 m de hauteur située près du pont Kennedy de Niamey a été construite en 1987 (photo 97), mais dès les premières années après sa construction, elle est à peine visible même en période d'étiage (Mai) du fleuve.

Les apports des koris et du fleuve Niger dans la région de Niamey modifient l'hydraulicité du fleuve Niger (Dubois et al. 1984). On observe un exhaussement généralisé du fond du fleuve d'où la nécessité d'ailleurs de recalculer l'échelle de la station hydrologique de Niamey.

Cet exhaussement de lit du fleuve Niger influe aussi sur les débordements des eaux du fleuve engendrant l'inondation de la vallée et des quartiers de la ville de Niamey. A titre comparatif, les niveaux des débordements causés par la crue 2010 (photo 98) avec une hauteur d'eau 566 cm dépassent largement les niveaux d'inondation atteints par la crue de 1998 avec une cote largement supérieure à celle de 2010.



<p><i>Photo 98: Echelle de crue de la station hydrologique à la cote de 528 le 5 octobre 2010</i></p>	<p><i>Photo 99: Dépôts de débordement du fleuve Niger lors de la crue de septembre 2010 à Niamey</i></p>
---	--

Ce niveau n'avait jamais été atteint pour une crue rouge, et seulement dépassé deux fois par les crues noires, en janvier 1968 et janvier 1970. Une grande partie de la rive droite de la ville de Niamey a été inondée (photo 99).

**V-7.2-L' ensablement : une menace sur les terres agricoles de la vallée du fleuve Niger dans la région de Niamey**

Les formations fluviales résultent du transport et de la sédimentation par les eaux courantes de substances organiques et minérales érodées sur les bassins versants. La grande jupe sableuse de couverture dans le bassin de Boubon fournit l'essentiel des sédiments pris par les

eaux du ruissellement et du kori. Même si l'érosion des versants (presqu'entièrement nus) du bassin de Boubon est importante, la plus grande partie de matériaux charriés par les koris provient de l'érosion des berges sableuses qu'ils creusent dans leurs jupes sableuses ou dans les dunes de couverture éolienne (photo 100).



*Photo 100: Formation éolienne de couverture fortement érodée par les eaux de ruissellement et par la déflation éolienne dans le bassin du kori Boubon*

La configuration géomorphologique de ces glaciis d'épandage assez longs constitue aussi un facteur important de la torrencialité des écoulements et de la capacité de transport des koris vers le fleuve Niger dans cette région de Niamey.



*Photo 101: Terrasse menacée d'ensablement par les dépôts des crues successives du fleuve Niger près à Niamey*



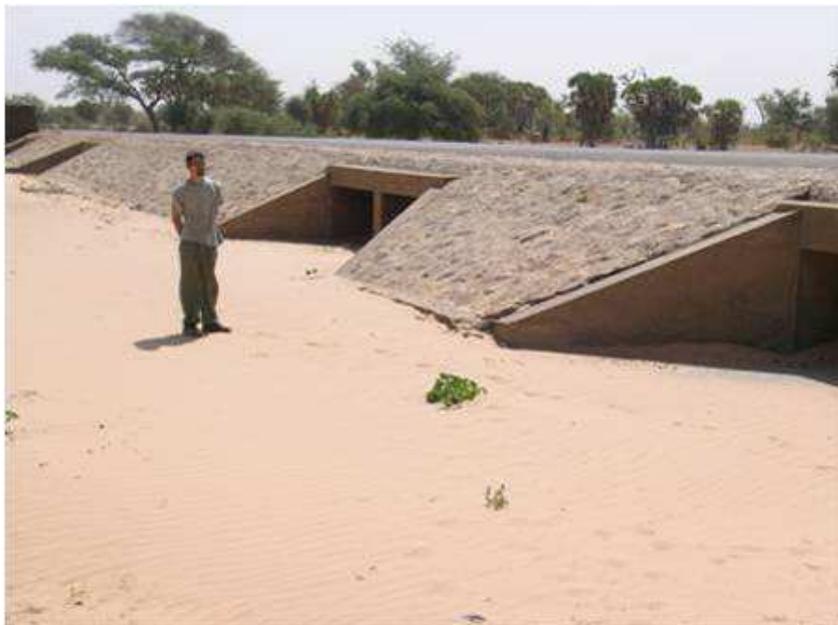
*Photo 102: Dépôt sédimentaire en amont du seuil – barrage du kori Soudouré 2009*

L'alluvionnement au niveau de la plaine d'inondation constitue une menace sérieuse pour les exploitants (rizières et jardins fruitiers) occupant ces domaines. Le niveau d'alluvionnement varie entre 0.5 m ou peut dépasser 1 m de dépôt, rendant ces terres riches de vallée incultes depuis 1990 (photo 101) en amont du pont au niveau de la confluence avec le kori Kourtéré.

Le même phénomène d'alluvionnement en amont d'ouvrage s'observe au niveau des seuils de dépôts construits sur ces koris (photo 102). Ceci entraîne des cas de crues débordantes en aval de cet ouvrage.

### **V -7.3-Impact de l'alluvionnement sur les infrastructures routières et touristiques**

L'instabilité des planchers alluviaux des koris se traduit par un alluvionnement en amont des ouvrages routiers installés sur ces koris (photo 103). Ce processus provoque parfois des cas de débordement de la crue au delà de ces ouvrages entraînant parfois leur rupture.



*Photo 103: Ensablement des buses du pont sur le kori Karma (bras secondaire) Gourou en rive droite de fleuve en février 2007*

La terrasse – podium du FIMA haute d'environ 1 mètre est totalement recouverte de sable déposés par les crues du kori (photo 104) et dès les premières crues de l'année 2010.

De même sur le kori de Soudouré, entre Boubon et Niamey sur la rive gauche, avant la reconstruction du seuil actuel (photo 102), il existait un seuil qui fut emporté par la crue du 5 août 2007. En fait les reculs de berges provoqués par cette crue jusqu'au niveau du pont ont déstabilisé sa structure en béton et le pont s'est effondré. En fait les TP avaient imposé une section trop petite au kori qui l'a élargie d'une crue à une autre). La même crue emporta le pont construit sur ce kori (photo 105) causant un accident très grave.



*Photo 104: Podium du festival Fima 2009 ensablé par les apports du koris Gorou Kirey quelques mois après sa construction en décembre 2009*



*Photo 105: Section du kori Soudouré en amont du pont emporté à la suite des reculs de berges engendrés par la crue du 5 août 2007*



*Photo 106: Seuil – barrage de retenue de Goudel*

#### **V -7.4-Impact de l'alluvionnement sur l'alimentation en eau de la ville de Niamey : situation d'envasement de la retenue d'eau de Goudel**

L'ensablement s'observe aussi au niveau des ouvrages de retenue hydraulique. Cela entraîne la baisse de la capacité de la retenue.

Pour le cas de la retenue du seuil de Goudel (environ 3 millions de m<sup>3</sup> d'eau de capacité de stockage) en amont de Niamey (qui fournit 88 % de l'eau potable consommée à Niamey) et d'après les usagers enquêtés (techniciens de la SEEN) dans le secteur, la section mouillée du fleuve Niger était profonde de plus de 10 m à la construction du seuil (photo 106 et photo 107).



*Photo 107: Envasement du seuil –retenue de Goudel en période d'étiage de mai 2009*

Mais aujourd'hui elle est d'à peine la moitié avec par endroits moins de trois mètres de profondeur. A long terme cette retenue nécessitera un curage afin de maintenir sa capacité de rétention en eau surtout au vu des besoins croissants pour l'alimentation de la ville de Niamey. Déjà en période d'étiage, la ville de Niamey connaît de sérieux problèmes d'alimentation en eau potable liés à la difficulté des pompages avec des débits très bas du fleuve Niger (variant de 30 à 50 m<sup>3</sup>/s, voir l'arrêt d'écoulement, cas l'étiage de mars 1985). Mais l'alternative d'un débit d'étiage de 130 m<sup>3</sup> après la construction du barrage de Kandadji serait la solution à moyen terme.

## Conclusion partielle

Dans l'ensemble, les écoulements des koris varient selon divers facteurs :

- *le cumul événementiel de la pluie tombée dans le bassin versant ; L'écoulement des koris est tributaire du volume total de la pluie tombée dans le bassin versant.*
- *l'intensité de l'événement pluvieux et sa répartition spatiale dans le bassin versant ;*
- *l'intensité qui influe sur le rythme de la crue provoquée (Remenieras 1976). La répartition spatiale de la pluie influence aussi les écoulements. Sur le kori Boubon (qui fait 18 km de long), des cas d'écoulements sont observés sans qu'une pluie ne soit tombée dans la partie médiane et aval.*
- *le temps (nombre de jours) écoulé depuis la dernière crue du kori.*
- *l'intensité de la pluie tombée et l'écoulement de base du kori déterminent le temps de réponse du kori.*
- *l'apport des ravins secondaires au drain principal du kori : Il existe plusieurs ravins secondaires dans le bassin qui contribuent à l'écoulement du drain principal.*
- *le rôle très important de l'érosion des berges avec plus de 4552 tonnes de sédiments apportés*
- *les apports des koris vers le fleuve Niger sont très importants, en 2009, le kori Boubon charrie 1300000m<sup>3</sup> par an.*

La conjonction des deux facteurs, une moindre capacité de transport du Niger et un apport accru de sédiments en suspension, entraînerait un ensablement du fleuve dans ces secteurs. Les reculs de berges et l'encaissement du lit du kori sont deux preuves de la torrencialité des écoulements du kori Boubon. Ainsi on observe dans la partie aval, des berges vives de plus de 5 m de hauteur, en amont du pont de la route nationale de Niamey à Tillabéry. Les berges des koris sont les principales zones pourvoyeurs de sédiments dans la dynamique des koris.

En comparaison, les turbidités mesurées à Niamey (moyennes de 3,5 kg/m<sup>3</sup>) sont largement supérieures aux taux moyens observés à Diré (sortie du Delta intérieur) au Mali (0.3kg/m<sup>3</sup>) par Olivry 2002 ; à Kandadji au Niger (0.5kg/m<sup>3</sup>) par Gallaire (1993) en période d'apports des affluents. (Saison de pluie). De plus, les volumes écoulés par le fleuve Niger tendent à diminuer depuis une quarantaine d'années, et l'augmentation récente observée dans la région

de Niamey liée à l'apport supplémentaire des koris (Amogu et al. 2010) entraîne aussi d'énormes quantités de matériaux.

Divers impacts de l'érosion et de l'ensablement sont observables sur les activités économiques et sur le cadre de vie des populations du bassin du Niger :

- Comblement des lits des rivières et des bas-fonds favorisant les inondations et entraînant la disparition progressive de mares naturelles et de barrages ;
- Elargissement des sections des cours d'eau par érosion des berges accompagnées en général d'un rehaussement important du lit de la rivière favorisant les débordements et les inondations ;
- Ensevelissement de terres de culture et d'infrastructures (zones d'épandage des cours d'eau) ;
- Développement de glacis encroûtés.

Gautier (1992) souligne qu'une plaine d'inondation fonctionnelle (« genetic floodplain ») est construite par les sédiments transportés par les écoulements actuels. Reste à définir l'enveloppe temporelle de l'Actuel. Après les trois années de suivi de la vallée du fleuve Niger dans la région de Niamey, nous avons observé très peu de changements dans cette plaine d'inondation hors zone de confluence kori et fleuve Niger.

L'ensemble des menaces et processus étudiés ci-dessus confirment la réalité du phénomène d'ensablement dans le bassin du Niger et particulièrement dans cette région de Niamey. Enfin cela montre que les zones aval des koris constituent les secteurs d'obturation de la vallée du fleuve. L'essentiel des sédiments charriés par les koris parvient dans la vallée du fleuve Niger et ce dernier a de plus en plus de problèmes à réguler les apports. Non seulement sa compétence est fortement en baisse mais aussi les transports solides des koris deviennent de plus en plus importants. De nombreuses infrastructures routières, hydrauliques et tout comme les terres de vallées tant recherchées etc. sont menacées et parfois détruites par l'ensablement.



## **CHAPITRE VI : LA LUTTE CONTRE L'ENSABLEMENT DU FLEUVE NIGER DANS LA REGION DE NIAMEY – LES RECOMMANDATIONS D'AMENAGEMENT ET LES PERSPECTIVES DE L'ETUDE**

Ce chapitre s'intéresse aux aménagements réalisés pour lutter contre l'ensablement dans la vallée du fleuve Niger et contre les effets de l'érosion hydrique au Sahel et dans la région de Niamey. Nous proposons ici des aménagements et des perspectives liées à cette étude au vu des menaces spécifiques nées de la dynamique actuelle des koris et de la vallée du fleuve Niger dans cette région.

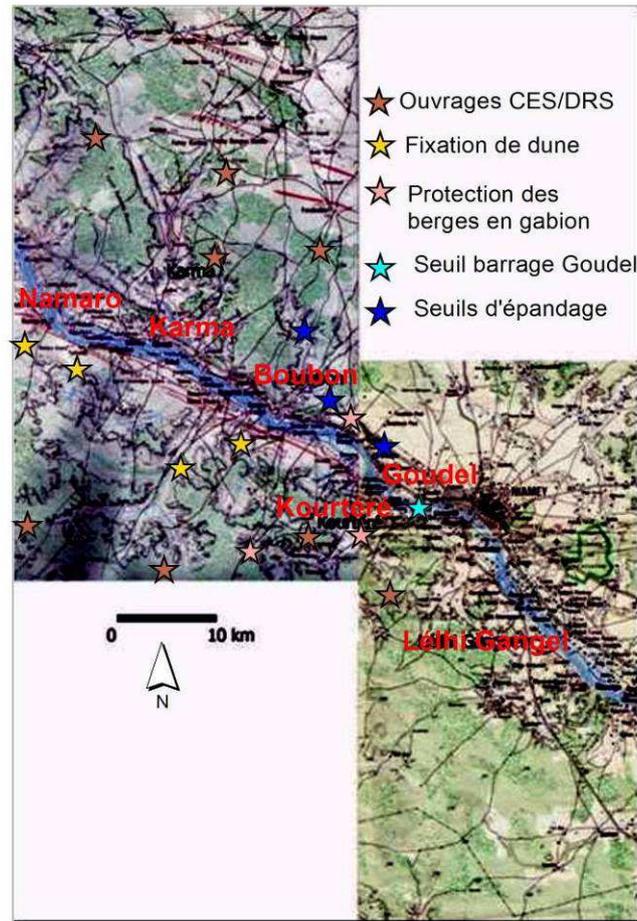
D'après Bethemont (2003), la question des grands fleuves reste donc ouverte, d'autant que tous les fleuves grands ou petits sont sujets au changement dès lors que l'évaluation qui en est faite intègre les données naturelles et les données culturelles (entendons par là tout ce qui touche à l'homme et à ses activités). Selon RAMSAR (2000) après des siècles d'une exploitation restée longtemps harmonieuse et équilibrée, parce que limitée à ses grandes fonctions naturelles et à ses capacités, le Niger, principale artère fluviale de l'Ouest africain (Zwarts et al. 2005), subit depuis quelques décennies une pression de pôles d'activités et d'usages nouveaux, perturbant les caractéristiques, la structure et le fonctionnement de ses écosystèmes. La sauvegarde des écosystèmes des milieux humides est une priorité nationale et le caractère transfrontalier de bassin du fleuve Niger lui confère un enjeu régional et international (RAMSAR 1971). Nous pensons qu'il est nécessaire de changer les comportements paysans, et les pratiques agro-pastorales (Oyebande et al. 2002). Le changement de comportement ne serait possible qu'à travers une nouvelle réforme socioculturelle et éducative (Chayaya 2005). Cette réforme socio-éducative prendrait en compte les aspects écologiques de la fragilité environnementale sahéenne (Yahaya 2002).

### **VI -1- Historique de la lutte contre l'ensablement de la vallée du fleuve au Niger**

Toutes ces formes de dégradation énumérées ci-dessus sont liées à une évolution hydrodynamique actuelle. Cette évolution est la résultante directe des actions essentiellement anthropiques, la mise en culture des terres de versants et bas-fonds, les défrichements incontrôlés, voire des coupes abusives etc. L'augmentation des ruissellements et les très forts

débîts solides que charrient ces koris, modifient constamment les formes hydro-géomorphologiques de ces koris et du fleuve Niger etc. Leurs potentialités diverses sont menacées.

La décision adoptée lors du Conseil extraordinaire des Ministres de l'Autorité du Bassin du Niger tenu à Abuja en mai 2005, consiste à faire du « Bassin du Niger, un espace commun de développement durable par une gestion intégrée des ressources en eau et des écosystèmes associés pour l'amélioration des conditions de vie et la prospérité des populations » (ABN 2005 a). Pour faire face à la menace de dégradation des terres du Niger suite à l'érosion hydrique et éolienne et à l'ensablement du Bassin du Niger (Dessouassi, 2000), une solution durable devait être trouvée. C'est dans cette optique que des techniques de Conservation des Eaux et des Sols et de Défense et Restauration des Sols (CES/DRS) ont été proposées et expérimentées en partenariat avec les riverains des villages environnants, en partenariat avec les services nationaux, et organismes de développement internationaux (leur localisation près de Niamey est indiquée figure 92).



*Figure 91: Localisation des aménagements et ouvrages CES/DRS récemment réalisés dans la région de Niamey*

Les objectifs des aménagements pratiqués au Sahel depuis les années 1970 sont :

- ✓ freiner la dégradation des terres surexploitées et érodées ;
- ✓ permettre leur remise en culture ;
- ✓ réduire l'ensablement du bassin du fleuve.

Les techniques CES/DRS sont largement pratiquées au Sahel et dans la région de Niamey en particulier. Ces techniques sont appliquées en partenariat pluri acteurs notamment avec les communautés des villages riverains du Niger (Lavigne 2001).

D'une manière générale, les techniques utilisées sont classées en deux principaux procédés ; les actions biologiques et mécaniques.

De grands projets d'aménagements ont été réalisés ou en cours de réalisation. Ces grands projets concernent surtout des techniques hydro- mécaniques et de génie rural. Il s'agit à titre d'exemples dans la région de Niamey au Niger : du seuil de retenue de Goudel, du barrage de Kandadji en cours de réalisation et du dragage du sable alluvial du fleuve Niger entre Farié et Niamey etc.

## **VI .2 – Aperçus sur les programmes de la lutte contre l'ensablement**

### **VI 2.1- La vision partagée ABN et les réalisations du PLCE /ABN**

La gestion du bassin du Niger est aux mains de l'Autorité du Bassin du Niger (ABN) créée en 1950 sous l'appellation de la Mission d'Etude et d'Aménagement du fleuve Niger (Mean) puis de la Commission du Fleuve Niger (CFN) en 1964, avant de devenir l'ABN en 1980. La Décision adoptée lors du Conseil extraordinaire des Ministres de l'Autorité du Bassin du Niger tenu à Abuja en mai 2005 et qui consiste à faire du « Bassin du Niger, un espace commun de développement durable par une gestion intégrée des ressources en eau et des écosystèmes associés pour l'amélioration des conditions de vie et la prospérité des populations. » Cette «Vision partagée» est un engagement politique fort. Elle consiste en une vision d'ensemble du développement du bassin. Les objectifs stratégiques poursuivis par la Vision partagée sont :

*Elaborer une Vision partagée ;*

*Instaurer une gestion intégrée des ressources en eau partagées du bassin ;*

*Renforcer la coopération et les actions conjointes entre les pays du bassin pour réaliser des gains bénéfiques à tous ;*

*Renforcer la coopération entre l'ABN et les partenaires au développement.*

Le programme de Lutte Contre l'ensablement (PLCE) a démarré en 2005 (pour une phase de 5 ans) et couvre trois pays : Burkina, Mali, Niger. Son objectif global est de préparer les conditions appropriées en termes de connaissance du bassin et de ses ressources, des principaux usages de ces ressources, des méthodes et techniques adaptées à la mise en valeur de ces ressources, etc. (Autorité du Bassin du Niger 2001). Ceci doit permettre à l'ABN de s'engager fermement dans le processus de planification pour le développement harmonieux et durable du Bassin (SOFRECO 2007).



*Photo 108: Fixation de dune en rive droite du fleuve Niger dans le secteur de Namaro*



*Photo 109: Placage sableux et colonisation de graminées annuelles en amont d'un cordon pierreux sur le plateau de Bougoum, bassin versant du kori Kourtéré*

D'après Touré (2011), la mobilisation des sables par l'érosion éolienne en plus de déséquilibres écologiques génère aussi des problèmes d'ensablement des infrastructures routières, hydrauliques et même des villages. Dans le cadre du programme de lutte contre l'ensablement dans le bassin du Niger, le PLCE a développé la méthode de fixation de dunes par la méthode de haies mortes (photo 108) ; dans les secteurs cultivés ou pâturés, on utilise plutôt les cordons ou placages pierreux (photo 109). Même si la dynamique éolienne est assez

active dans cette région du fleuve (Rajot 1998), le fleuve Niger dans le secteur de Niamey ne reçoit pas les apports des dunes ogoliennes situées sur la rive droite, vue la direction générale de la direction des vents dominants dans la région. La vallée du fleuve Niger est par contre réceptrice des apports éoliens plus lointains (Tidjani 2008).

Plusieurs autres actions d'aménagements ont été réalisées avec ce programmes, il s'agit entre autre des ouvrages CES/DRS (Figure 93), des actions de renforcement de capacités dans des terroirs villageois des zones d'intervention du projet (village de la rive droite du fleuve entre Namaro et Kourtéré).

## **VI 2.2- La ceinture verte de Niamey : Une action de protection réussie**



*Photo 110: Ceinture verte de Niamey, exemple de reboisement réussi aujourd'hui menacé*

Dans les années 1956, une ceinture verte longue d'une vingtaine de kilomètres de longueur et 1 à 2 km de large (photo 110) a été mise en place en vue de protéger la ville de Niamey et même la vallée du fleuve dans cette région des vents de sables et poussières. Cette ceinture verte connaît actuellement un état de dégradation accélérée par suite des coupes clandestines et d'installations anarchiques d'occupations humaines en plus de la pollution par des déchets plastiques.

### **VI 2.3- Le barrage - retenue de Goudel : réserve d'alimentation en eau de la ville de Niamey**



*Photo 111: Seuil – barrage de Goudel construit en 1989, près de la station de pompage d'alimentation en eau de Niamey*

La retenue d'eau de Goudel a été construite (photo 111) dans le but de stocker l'eau nécessaire à l'approvisionnement en eau de la ville de Niamey, et de relever la ligne d'eau du fleuve Niger en amont direct de la ville de Niamey. L'alimentation en eau de la ville de Niamey est tributaire des eaux du fleuve Niger à 88% et 12% de la nappe phréatique selon (Bechler –Carmaux, et al. 1999).

### **VI 2.4-Le programme Kandadji de Régénération des écosystèmes et de mise en valeur de la vallée du Niger (P-KRESMIN)**

Les objectifs spécifiques de ce programme sont :

- ✓ régénérer et préserver les écosystèmes fluviaux par la régularisation des débits du cours d'eau ;
- ✓ assurer la disponibilité en eau pour les différents usages socio-économiques (eau potable, irrigation, transport, cheptel, etc.) ;
- ✓ améliorer la sécurité alimentaire et les conditions de vie des populations ;

- ✓ accroître la sécurité énergétique du pays.

La fonction primaire de l'ouvrage projeté de Kandadji est la création d'un réservoir d'une capacité suffisante répondant aux exigences de soutien d'étiage afin d'atténuer la dégradation de l'écosystème du fleuve Niger et de sécuriser la pérennité des activités socioéconomiques exercées dans la zone P-KRESMIN (Programme Kandadji de régénération des écosystèmes et de mise en valeur de la vallée du Niger). Sur la base d'une capacité de retenue du barrage de 1,59 milliard m<sup>3</sup>, le débit d'étiage constant à Niamey, qui ressort du concept retenu, est fixé à 120 m<sup>3</sup>/s (P-KRESMIN 2007) (figure 93).

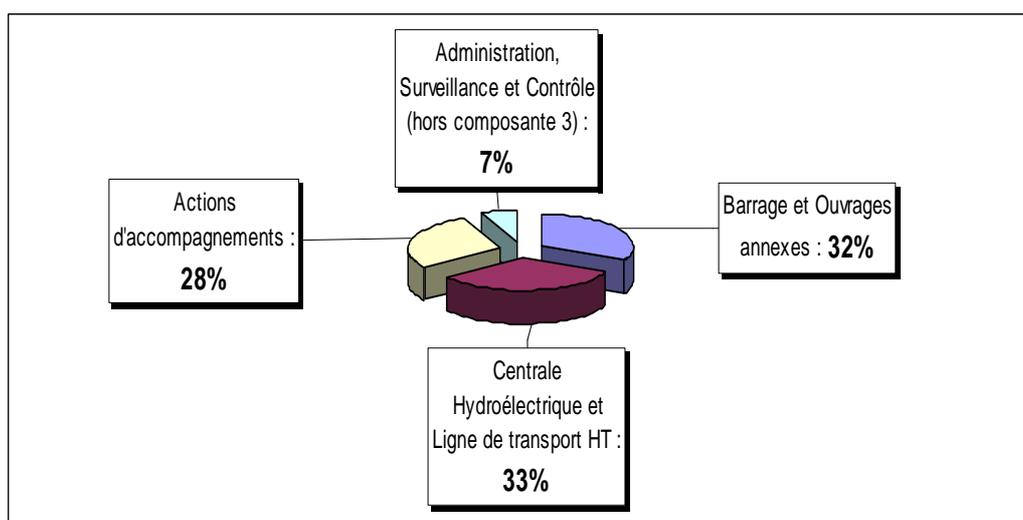


Figure 92: répartition du coût prévisionnel du programme (P-KRESMIN, 2006).

Le coût prévisionnel du programme, dans sa phase principale, est estimé à environ 300 Milliards de francs CFA dont 33% pour le coût de la centrale hydroélectrique et la ligne de transport haute tension. Les travaux d'exécution ont débuté au courant de l'année 2011. Dans ces conditions, l'aménagement pourrait être opérationnel en début du premier trimestre 2015.

#### VI 2.5- Le programme de dragage de sable dans la vallée du Niger – Bief Farié Niamey.

Ce projet de dragage de sable du fleuve Niger (photo 112) a commencé ses travaux en 2010 à Farié à environ 90 km en amont de Niamey sur le fleuve.

Il a pour but de draguer les sédiments du fond du fleuve Niger dans ce secteur du village de Farié (photo 113). D'après le dossier technique de ce programme, l'exhaussement du fond du fleuve Niger rend la navigation impossible surtout en période d'étiage.



*Photo 112: Machine de l'entreprise russe chargée de l'opération de dragage de sable sur le fleuve Niger à Farié*



*Photo 113: Amas de sable extrait du fond du fleuve Niger à Farié en 2010*

Ce sable est transporté jusqu'au plateau de Karma (site de construction de logements sociaux) à plus de 50 km du site de dragage (photo 114).

Le bac à Farié (photo 115) assure les transactions entre les zones des deux rives du fleuve et sert surtout à désenclaver la région de Téra et la zone frontalière entre le Niger, le Burkina et le Mali. Notons que deux ponts situés sur le fleuve Niger sont construits à Niamey. (Le deuxième pont de Niamey a été inauguré en 2011) et le troisième dans la partie nigérienne se trouve en aval à la frontière Nigéro – béninoise. L'efficacité du dragage a longtemps été

discutable, il est surtout pratiqué pour des plans d'eau stagnante, barrage et lac naturel. Cette pratique est surtout utilisée en accompagnement après un traitement biologique des bassins d'apports aux secteurs dragués (Meaden 2005).



*Photo 114: Sable dragué et transporté et réutilisé pour du béton dans des chantiers environnants*



*Photo 115: Traversée du fleuve Niger avec le Bac à Farié à 90 km en amont de Niamey*

## **VI 2. 6 -Le programme spécial ou initiative PPTE**

A la suite des initiatives PPTE (Banque mondiale et FMI), Le Niger a adopté un vaste programme d'aménagement appelé programme spécial du président en 2001. La conservation des eaux et des sols constitue un axe majeur de ce programme au Niger. Plusieurs ouvrages et

aménagements ont été réalisés dans la région de Niamey et particulièrement dans les bassins versants des koris.



*Photo 116: Retenue – barrage construite sur le kori Karma construite en 2001*

Un ouvrage de ce type est composé d'un mur ancré dans les berges du kori et qui forme le corps du seuil (photo 116), celui-ci constitue un frein à la vitesse de l'écoulement (Amadou et Bouzou Moussa 1997). Il comprend aussi un déversoir qui représente la partie centrale du corps de l'ouvrage et est situé au plus bas niveau du mur, permettant de canaliser les eaux de ruissellement en aval de l'ouvrage. Ce type de seuil doté d'une capacité de stockage et est à but agro- pastoral, il permet la recharge de la nappe. Mais sur ces koris exoréiques, les retenues sont rapidement colmatées. A la suite d'un important envasement, le barrage du kori de Karma (photo 116) a cédé au cours d'une crue de la saison de pluies 2005.

#### **VI.2.7-Les aménagements CES/ DRS effectués par les services techniques publics de l'environnement et les organisations non gouvernementales dans la région de Niamey**

Les aménagements (CES /DRS) réduisent le ruissellement et favorisent l'entrée de l'eau dans les terres (Coopération Nigéro - Allemande 2005).

La maîtrise du ruissellement doit être aussi envisagée pour un aménagement durable (Banque Mondiale 2000). En effet, pour que l'action d'aménagement soit durable, la participation des

populations aux actions de lutte est indispensable (Dambo 2007). Cependant, il ne s'agit pas d'imposer un travail supplémentaire aux populations mais de les sensibiliser sur les enjeux réels de la dégradation et de leur proposer des solutions alternatives (Tiffen et al. 1994). Ces techniques de conservation et restauration visent :

- ✓ à briser l'énergie cinétique de l'eau,
- ✓ à favoriser l'infiltration à travers l'augmentation du temps de séjour de l'eau au niveau du dispositif,
- ✓ à récupérer de grandes superficies de terre incultes,
- ✓ à reboiser la terre à travers la plantation d'arbre au niveau du dispositif,
- ✓ à favoriser la régénération à travers le rejet des gousses des plantes déjà existantes,
- ✓ à augmenter la rentabilité des cultures,
- ✓ à améliorer la fertilité du sol,
- ✓ à favoriser l'activité microbienne dans le sol,
- ✓ à rentabiliser certains espaces dénudés et abandonnés,
- ✓ à réduire l'érosion hydrique sur les sols imperméables où le coefficient de ruissellement est très élevé,
- ✓ à permettre le retour de la flore herbacée et augmenter la quantité du fourrage.

Les mesures in situ ont permis de montrer que les ouvrages tels que les demi-lunes conservent suffisamment d'eau capillaire pour aider les plantes à traverser les périodes de sécheresse de 2 à 3 semaines (Hassane et al. 2000).



**Photo 117: Seuil d'épandage sur le kori Soudouré**



**Photo 118: Seuil d'épandage endommagé par les crues sur le kori Boubon**

Le seuil en gabion (photo 117) est un ouvrage construit en travers du lit d'un kori perpendiculairement au sens d'écoulement des eaux (CILSS- PRECONS 1997).

Il est ainsi implanté pour freiner le courant des eaux de crue afin de stabiliser la ravine et favoriser une sédimentation et une infiltration en amont des ouvrages. Ils sont construits en gabions (photo 118).



*Photo 119: Seuil d'épandage sur le kori Boubon endommagé juste après sa construction en 2009*



*Photo 120: Epis en gabions de protection des berges endommagés dans le lit du kori*

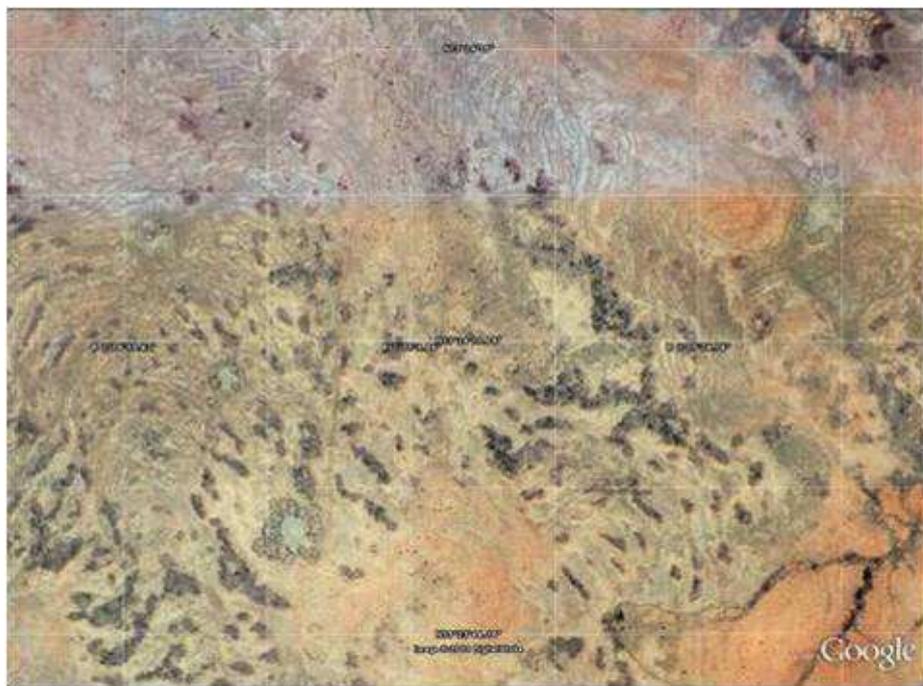
A la base du déversoir est aménagé un bassin de dissipation pour amortir les chutes d'eau. Pour augmenter l'efficacité et la solidité de l'ouvrage (photo 119), des ailes prolongent les ancrages au niveau des berges.

D'après Bouzou (2000), les ouvrages de protection de berges constituent le talon d'Achille de la conservation des sols (photo 120). La plupart des ouvrages de protection de berges réalisés

sont endommagés dès les premières crues après leurs réalisations. Ces ouvrages fréquemment emportés par les crues souffrent de phénomènes d'affouillement (Riou 1990). L'ouvrage de Boubon (photo 119) a été réalisé en juillet 2009 sur le cône du kori Boubon par l'ONG Catholic Relief Service. L'emplacement et la période de réalisation ont été mal choisis ; l'ouvrage devait normalement être renforcé d'actions biologiques, haie de *Prosopis juliflora* ou d'*Eucalyptus*. La technique de barrage en sacs de sable est très développée dans la région de Niamey (Tinguiri 1989), soit pour bloquer le ravinement soit pour protéger un secteur contre l'inondation du fleuve.

La CES/DRS a vu le jour au Niger dans cette région avec le plan de Développement de l'ADM (Ader-Doutchi -Maggia) dans les années 1960. Les projets de réhabilitation des terres dégradées ont introduit à grande échelle des techniques de collecte des eaux de ruissellement (zaï, demi-lunes, banquettes, tranchées), qui ont brisé le sol dur et dénudé).

La banquette est un ouvrage en terre, en pierres ou mixte, en forme de diguette antiérosive, réalisée selon les courbes de niveau. Elle peut être continue ou discontinue, perméable ou imperméable (photo 121).



*Photo 121: La partie aménagée en 2001 avec des banquettes dans le bassin amont du bassin de Gorou Kirey (plateau cuirassé Image Google Earth 2009).*

L'efficacité des ouvrages réalisés semble problématique (Bender et Ousseini 2000). Au plan floristique, les ouvrages sont colonisés après 2 ans par une graminée appelée *Sida cordifolia*.

Cette espèce naturelle est envahissante est surtout détectée dans les champs. Par contre elle pourrait être broutée par les animaux pendant les périodes sèches et surtout en cas d'absence de pâturage dans le secteur (communication personnelle, Dr Ali Mahamane 2005).

La réalisation de banquettes sur le site de Boubon dans le cadre du Programme spécial a pour objectifs de permettre l'infiltration des eaux de ruissellement dans le sol afin de régénérer l'écosystème, freiner l'ensablement du fleuve et sécuriser les habitations, les champs et même la route nationale menacés par la grande quantité d'eaux charriées à partir du plateau.

Au plan socioéconomique les travaux de récupération de terres sur le site de Boubon permettent la fixation des populations, plus précisément les jeunes, grâce à l'emploi généré.

Le site emploie plus de 168 jeunes quotidiennement pour un montant hebdomadaire de 80 000f CFA, hormis les emplois indirects induits liés aux prestations des services. Plus de 750 hectares de terres ont été récupérés au cours de la campagne 2008-2009, selon la coordinatrice du volet restauration du Programme spécial du Président de la République (Le Sahel Numéro 7702 du Jeudi 9 Avril 2009).

Les banquettes et les demi-lunes (photo 122 et photo 123) sont des dispositifs anti-érosifs adaptés aux terres de plateau et de glaciais (Bouzou Moussa, 1988). Ils sont construits en travers de la pente du terrain et le long d'une courbe de niveau. La diguette à une hauteur comprise entre 40 et 60 cm pour une largeur variant entre un et 2,5 m. Ceci augmente la capacité de stockage de l'eau dans le sol et produit une forte réduction du ruissellement (Rochette 1989).



*Photo 122: Demi-lune de reboisement (photo Malam Moussa)*



*Photo 123: Banquettes de reboisement (photo Malam Moussa)*

## VI 2.8- La lutte contre l'inondation dans la vallée du fleuve Niger



*Photo 124: Digue de protection d'un jardin contre la montée des eaux lors de la crue guinéenne du fleuve Niger à Lossagoungou en 2010*

Les digues de protection sont aussi une technique de lutte contre d'inondation. Les digues en sacs de sable sont parfois inefficaces en cas de grosse crue du fleuve (Boli et Roose, 1998), (photo 124). Depuis quelques années, la région de Niamey connaît des séries d'inondation engendrant des dégâts matériels importants avec parfois pertes en vies humaines.



*Photo 125: Quartiers de la ville de Niamey sous l'eau en septembre 2010*



*Photo 126: Digue de protection contre l'inondation construite à Niamey après la crue blanche dévastatrice de 2010 du fleuve Niger*

L'origine de l'inondation dans la ville de Niamey (rive droite surtout) est liée au débordement des eaux du fleuve Niger. Notamment les bras secondaires qui deviennent très actifs en cas de crue exceptionnelle (photo 125).

La digue de protection contre l'inondation construite à Niamey en amont du pont Kennedy (photo 126) a très bien fonctionné au cours de la crue rouge de 2011. Les jardins et rizières situés dans le secteur ont été épargnés de la catastrophe qu'ils ont connue en septembre 2010. Cependant le niveau d'eau de la crue 2010 a été nettement supérieur à celui enregistré en septembre 2011.

### **VI 3- Propositions pour la lutte contre l'ensablement : les méthodes associant les procédés biologiques**

Il est très important de développer une méthode d'approche systémique prenant en compte les différents paramètres de la dynamique érosive actuelle dans cette région. Les approches d'aménagements très ponctuelles ont montré pour la plupart leur inefficacité.

### **VI 3.1-Les propositions et recommandations d'aménagement efficaces proposées tant à l'échelle des koris que de la vallée du fleuve région de Niamey**

Il existe une multitude de techniques d'aménagements anti-érosifs utilisées au Sahel. Les plus développées sont les ouvrages mécaniques et/ou biologiques. Il est important qu'on associe les deux procédés afin d'améliorer les résultats d'efficacité plus ou moins observés depuis plusieurs années.

L'excellente performance des tassa et du paillage, mais aussi de la demi-lune (Evequoz et Guéro, 1998) sur le régime hydrique des sols s'explique par l'action améliorante des traitements sur les propriétés physiques (Olivry et Hoorelbeck 1990).

Une partie du plateau de Boubon a été reboisée entre 2005 et 2010, soit par des propriétaires privés en quête de nouvelles terres (urbanisation lâche de la ville de Niamey), soit par des groupements communautaires avec l'appui des services de l'état ou des ONG. Au Sahel, les techniques biologiques en matière de lutte contre le ruissellement et l'érosion ont été une réussite dans certaines régions. Dans l'Ader au centre du Niger, (photo 129) on évoque un état de "reverdissement du Sahel" car la couverture végétale y a connu un accroissement important par rapport à son état des années 1973 (Roussel, 1987 ; Luxereau et Roussel, 1997).



*Photo 127: Vue de la vallée de Keita en mars 2007 : exemple d'aménagement agro-forestier réussi au Niger*

La prise en compte des actions de reboisement par le projet Keita (programme cité comme exemple de réussite dans la lutte contre l'érosion et pour le reboisement des terres dégradées) dans sa politique explique la dynamique végétale qu'a connue l'Ader depuis la sécheresse de 1984 surtout. Mais l'application de cette méthode exige plusieurs regarnis (sur 2 ans au moins) afin d'atteindre un taux de reboisement acceptable et sans mise en défens des sites reboisés (Descroix et al, 2009 b). Car la pratique de l'élevage de divagation compromet gravement la réussite annuelle des plans de reboisement repiqués.

La fixation biologique des berges de kori est une technique qui consiste à revêtir les berges de kori par de la végétation afin de réduire la vitesse des reculs des berges (photo 128). La technique de reboisement de berges par les plants de *Prosopis juliflora* est très efficace pour fixer les berges des koris.



**Photo 128: Berges sans protection sur la rive gauche du kori Boubon en 2008**



**Photo 129: Berges protégées par une haie vive de *Prosopis juliflora* sur la rive droite du kori Boubon en 2008**

Mais cette espèce ligneuse est envahissante et beaucoup de paysans n'acceptent pas la plantation de cette espèce dans leurs champs. Cependant d'après Bouzou Moussa (1988), l'espèce *Leucaena leucocephala* (en hausa kache guébé) donne de très bons résultats pour freiner les reculs de berges. D'autres espèces telle que *Boswellia dalzeilii* et *Boswellia papyrifera* sont aussi conseillées pour lutter contre les reculs de berges. Le kori Boubon évolue en largeur seulement du côté des berges rive gauche, non protégées (photo 129).



*Photo 130: Le vétiver (Vetiveria nigriflora (Benth.) Stapf.), graminée haute et à racines profonde très efficace pour la protection des berges (Fomba Harouna 2012)*

Au Mali, le vétiver plante d'origine indienne (photo 130) donne de très bon résultat dans la lutte contre l'érosion des berges du fleuve Niger. Selon Fomba Harouna (2012) les agriculteurs tirent profit des profondes racines du vétiver pour prévenir l'érosion des sols et retenir la terre dans leurs champs.

#### *VI 3.2.2-La lutte contre le ruissellement à l'échelle des versants et à l'échelle des exploitations agricoles*

La méthode du respect de la régénération naturelle (photo 131) est aussi une réussite et mérite d'être encouragée dans le bassin du fleuve Niger. La régénération naturelle assistée est une pratique qui consiste à laisser au cours du défrichage (en saison sèche ou en saison des pluies) 1 à 3 rejets/ ha issus des souches des différents arbres et arbustes pour qu'ils poursuivent leur croissance (Larwanou 2003).

Cette démarche a donné aussi des résultats encourageants dans la région de Maradi et Zinder. Elle est très développée dans cette région et a l'avantage d'être reproductible et simple d'application comme le paillage (photo 132). Elle a l'avantage de réduire le ruissellement en augmentant l'infiltrabilité des sols et provoque l'activité des microorganismes. Mais cette technique est très peu pratiquée dans la région de Niamey parce que les tiges et feuillages de mil sont aussi collectés pour les animaux ou revendus. En effet, l'apport de la matière organique sous forme de résidus de récolte pour le paillage et le fumier peu décomposé dans les tassa et les demi-lunes, stimule l'activité des termites qui engendre une forte aération du sol à la base de chaque ouvrage et généralisée en cas de paillage (Yamba 1995). A l'échelle des versants et des champs les croûtes d'érosion constituent les premiers niveaux de la dégradation des sols dans la région de Niamey (LUCOP/GTZ 2004). La lutte contre ces croûtes nécessite un labour efficace dès les premiers centimètres de son extension dans une exploitation agricole. Ces labours de brise croûte peuvent être couplés avec la technique de paillage. Le paillage ou mulching est une technique de restauration de la fertilité des terres qui consiste à couvrir le sol, en particulier les parties dégradées, avec des tiges de mil ou de sorgho, des branchages ou de la paille.



*Photo 131: Parc de jeunes *Faidherbia albida* (Gao), fruit du respect de la régénération naturelle adaptée dans la zone de Matameye (Sud région de Zinder).*



*Photo 132: Technique de paillage à Dan Saga près d'Aguié dans la région de Maradi*

#### *VI 3.2.3-Lutte contre les ruissellements des plateaux cuirassés*

Comme cela a été expliqué plus haut, l'essentiel des eaux du ruissellement proviennent des plateaux cuirassés. Il est important de freiner ce ruissellement au niveau des plateaux par des méthodes d'aménagements traditionnelles développées au Niger.



*Photo 133: Reboisement réussi sur le plateau de Boubon en 2009*

Mais les techniques de banquettes, de demi-lunes, de zaï, qui visent à restaurer la végétation des plateaux et réduire les ruissellements par exemple modifient la topographie générale de

ces plateaux (photo 133). Il serait important dans ce contexte << d'imiter la nature >> surtout au vu de la tendance de reprise de la pluviométrie dans cette région sahélienne. C'est-à-dire que les reboisements des plateaux devraient se faire sur les tracés des anciennes bandes végétalisées de la brousse tigrée.

#### *VI 3.2.4-Lutte contre les ruissellements aréolaires sur les versants des bassins étudiés*

Le Zaï ou « Tassa » est une technique pour traiter les glacis (*Fako* en Haoussa ou *Gangani* en Djerma) en provoquant une modification de la structure du sol par le creusement d'une dépression destinée à piéger l'eau de ruissellement et des intrants comme la fumure organique (photo 134).

Le principe consiste à creuser dans le sol des trous de 20 à 25 cm de diamètre et 20 à 25 cm de profondeur (Bouzou Moussa, 2002). Ce sont des trous disposés en quinconce avec des écartements allant de 60 à 80 cm entre les lignes et sur les lignes (Rochette, R.M. 1989).



*Photo 134: Zaï agricole avec plantation de mil dans le bassin de Boubon*



*Photo 135: Poquets pour creusement de zaï dans le bassin du kori Boubon*

La technique de la demi-lune est, elle, bien conseillée contre les ruissellements sur des versants dégradés et à faible pente. Il s'agit d'un ouvrage conçu pour reboiser les versants. Le dispositif est un arc de cercle de 3 m de diamètre et 0,5 à 0,75 m de hauteur. Les déblais rejetés en aval forment un bourrelet qui freine le ruissellement (photo 136). Ces trous poquets sont prêts à recevoir les semis de mil et de sorgho (Ousseini, 2002).

Il est large et profond de 0,6 m soit une capacité sensiblement égale à 1 m<sup>3</sup> d'eau (Rochette, 1989), (photo 136).



*Photo 136: Demi – lunes de reboisement (photo Malam Moussa)*

#### *V-I 3.2.5-Lutte contre le ravinement secondaire sur les versants dégradés*

La constitution de diguettes et seuils en sacs de sable est une technique assez efficace contre le ravinement secondaire. Il s'agit de combler les ravines secondaires avec des sacs de sable (photo 137) disposés perpendiculairement au sens d'écoulement des eaux. D'autres techniques peuvent aussi être utilisées comme l'emploi des pneus usés remplis de sable ou graviers et disposés perpendiculairement au sens d'écoulement des ravines larges de plus de 3 m.



*Photo 137: Lutte contre le ravinement parallèle avec des sacs de sables près Gorou Kirey*

#### *VI 3.2.6- Le changement de comportements environnementaux : sensibilisation et éducation environnementale*

Cette réforme doit se faire sur la base de la sensibilisation, de la diffusion des informations et d'éducation à l'école et à toutes les échelles, pour amener les populations rurales et urbaines vers un respect plus grand de l'environnement végétal surtout (UICN, 2004). Dans ce contexte d'accès difficile à la ressource eau, de pauvreté générale, comment renverser la tendance actuelle de dégradation observée dans la région de Niamey ?

Avec le changement climatique avéré, il est indispensable au Sahel en général et au Niger en particulier de développer des comportements visant à apprendre les principes du respect de l'environnement et de la bonne gestion des ressources naturelles principalement les ressources naturelles végétales.

Les résultats de cette étude révèlent que les reculs des berges, la disparition du couvert végétal sur les versants et le glaçage des formations pédologiques de surface constituent les manifestations de dégradation les plus visibles dans les bassins étudiés.

### **Conclusion partielle**

Les processus de lutte contre l'ensablement visent à réduire ou à supprimer les effets des facteurs favorisant ce phénomène : le climat, la végétation et les activités humaines (Hudson N., 1981).

Ces processus portent notamment sur :

- la préservation de l'écosystème ;
- le maintien d'un couvert végétal optimum par la reforestation ;
- l'amélioration des systèmes de production agricoles et animales par l'intensification des cultures, les jachères, l'intégration agriculture/élevage et la lutte contre les pratiques traditionnelles de brûlis sur défriches et des feux de brousse ;
- l'aménagement de l'espace par des ouvrages hydrauliques ;
- la politique de renforcement de la capacité de gestion des ressources naturelles (terres et eaux). Mais dans le contexte socio-économique sahélien actuel, la pratique des techniques simples, reproductives et efficaces s'impose (Tricart, 1978). Des techniques locales et adaptatives sont pratiquées depuis très longtemps et des transferts technologiques ont eu lieu avec de larges vulgarisations depuis les années de sécheresse de 1970 au Niger (Zennou 1996). On peut en conclure que « désormais, la priorité n'est pas de changer le milieu aride mais d'adapter les cultures et leurs pratiques ». Mais la clé de tout aménagement doit être le schéma directeur de protection et de mise en valeur conçu avec la population, bien compris et bien accepté par elle (Ousseini et Bender, 2000).

La gouvernance de l'Eau et la Gestion Intégrée des Ressources en Eau est un concept bien à la mode (UNDP. 1997), (GIRE 2000). La GIRE est l'approche préconisée actuellement dans la gestion du bassin du Niger (Baumann 2008), par les services étatiques et organismes de gestion des bassins. Elle concerne les domaines d'intervention suivants : conservation et gestion transfrontalières des ressources naturelles ; lutte contre la dégradation des sols, la sécheresse et la désertification. Elle se traduit sous forme de projets/programmes, sous

régionaux relatifs, la gestion intégrée de bassins transfrontaliers et des ressources en eau douce (UNDP. 2006) etc.

Les actions de restauration (CRS/DRS) faites sous forme de grands chantiers sont souvent très coûteuses à mettre en place et à entretenir et n'ont que des effets ponctuels (ABN, 2005). Les capacités de régénération du couvert végétal sont, elles, fortes et les actions de mis en défens, d'aménagements et de gestion de terroir (bonnes pratiques agricoles) sont peu coûteuses et efficaces.

Les aménagements des zones à fortes menaces d'érosion et ruissellement doivent se poursuivre notamment par la multiplication des actions suivantes :

- *le reboisement massif des versants dégradés*
- *la protection des berges des koris et ravins secondaires*
- *le développement des techniques simples de conservation des eaux : paillage surtout sur les croûtes d'érosion, respect de la régénération naturelle.*
- *Continuer les sensibilisations et l'éducation environnementale et à tous les niveaux des populations locales*
- *éviter à tout prix des réalisations et actions sans concertation technique*
- *il est urgent d'étudier les impacts des ouvrages réalisés par les procédés d'étude comparative de bassin versant non aménagé et aménagé*



**Photo 138: Cordons pierreux sur le cône du kori Boubon en juillet 2009**



**Photo 139: Cordons pierreux ensablés sur le cône du kori Boubon en août 2009**

Les cordons pierreux sont un dispositif consistant à un alignement de pierres posées au ras de sol et perpendiculairement la pente. Ce dispositif joue un double effet : la protection et la récupération des sols. Sur la photo 138, les cordons pierreux sont installés sur le cône d'épandage du kori Boubon 2009. Ces cordons ont été totalement colmatés (photo 139) par la première crue du kori Boubon après leur réalisation. Ces types de réalisations ponctuelles, relance le débat sur l'efficacité d'ouvrages réalisés sans concertations techniques fiables. Normalement il est conseillé d'installer les cordons pierreux sur les surfaces assez planes de

plateaux ou versants à faible pente (Bouzou Moussa 1995). Les ouvrages de CES/DRS (Tassas ou Zaï, demi-lunes, banquettes, cordons de pierres), présentent un avantage sur la méthode de culture traditionnelle car « ils augmentent les quantités d'eau stockées dans le sol et permettent aux plantes de mieux surmonter les périodes de sécheresse pouvant subvenir pendant la saison des pluies » (Evéquoz et Guéro 1998). Il est évident que les techniques et moyens de lutte biologiques sont assez efficaces et plus reproductives dans la lutte contre les processus de ruissellement et d'érosion des sols.

Une réforme socio-éducative prendrait en compte les aspects écologiques de la fragilité environnementale sahélienne. C'est à dire sur la base de sensibilisation, d'informations, d'éducation de base à l'école et à toutes les échelles, amener les populations rurales et urbaines vers un respect plus conséquent de l'environnement végétal surtout. Pour renverser véritablement cette tendance, nous pensons qu'une approche systémique et intégrée est indispensable. Et cette approche systémique n'est autre que la réduction des niveaux de pauvreté. Boubé (2005) pose la difficulté des approches d'aménagement surtout les problèmes de choix d'échelles et de démarches d'aménagement. Ce pendant il est surtout primordial de définir les rôles des différents acteurs qui sont en jeu : Etat-Commune-Bailleurs de fonds-société civile et l'acteur principal qu'est le paysan en amont comme en aval des réalisations d'aménagement.



*Photo 140: Cordons pierreux réussis bordant des champs dans le haut Bassin de la Sirba (route Dori-Fada N'Gourma, Burkina Faso)*



## CONCLUSION GENERALE DE L'ETUDE

A l'heure actuelle, les phénomènes d'ensablement et d'érosion des koris prennent l'allure d'une menace extrêmement préoccupante aussi bien pour les écoulements, le maintien des équilibres biologiques et des écosystèmes naturels, que pour les habitants et l'ensemble des activités socio-économiques dans la région de Niamey. Bref, ce processus de dégradation progressive de l'environnement du bassin dans la région de Niamey a conduit à l'ensablement progressif du lit principal du fleuve et de ses affluents, des mares, des terres de culture, des infrastructures, etc.

La dégradation des ressources naturelles s'est accélérée au point que des risques de pénurie de certaines ressources vitales (Kélétegui, 1996), les ressources en eau en particulier, pointent à l'horizon. En effet, les changements climatiques caractérisés surtout par une diminution de 20 à 30% de la pluviométrie ces trente dernières années, ont engendré entre autres, la réduction de 20 à 50% des écoulements de surface à l'échelle du bassin du Niger et, a contrario, un fort accroissement des écoulements en zone sahélienne, l'abaissement des nappes d'eau souterraine et l'apparition des phénomènes environnementaux néfastes (Descroix, et al 2009 b). Dans le Gourma Malien, Gardelle et al (2010) ont montré que la hausse du ruissellement et l'expansion très rapide des mares avait une autre origine : sur 30-35% du paysage, on trouve dans cette région des affleurements du socle qui étaient recouverts de sols très minces et d'une végétation adaptée de graminées et de ligneux bas ; les sécheresses des années 1970 et 1980 ont anéanti la végétation et les sols ont peu à peu été emportés par l'érosion ; à présent que les pluies ré-augmentent lentement, la végétation ne peut plus s'établir sur ces sites sans sol, alors qu'elle gagne sur le reste du paysage, constitué de sols plus profonds. De ce fait, on constate une très forte expansion des mares de Gossi, d'Agoufou et de Hombori entre autre, dans cette région de l'est du Mali.

Localement les koris - affluents de la région de Niamey sont à l'origine de l'ensablement du lit du fleuve Niger, la colonisation des plans d'eau par des végétaux aquatiques flottants (jacinthe d'eau, laitue d'eau et fougère d'eau), les érosions hydriques et éoliennes, les pollutions d'origines diverses et l'amenuisement des ressources naturelles végétales et animales. Bref, les phénomènes d'érosion et d'ensablement comptent aujourd'hui parmi les fléaux majeurs dans le bassin du Niger.

La conjonction des effets de la sécheresse, de la forte croissance démographique et la pratique anarchique des activités socio économiques peu respectueuses de l'environnement ont conduit littéralement à la dégradation accélérée du couvert végétal et des écosystèmes du bassin (Fauquet, 2005). La conversion des savanes en terres agricoles a favorisé ainsi l'impact des érosions hydrique (Leblanc et al. 2008) et éolienne (Smaling et al. 1993 ; Biolders et al. 2002, 2004).

### **1-Récapitulatifs des résultats de l'analyse de la dynamique actuelle des koris et de la vallée du fleuve Niger dans la région de Niamey**

Deux facteurs déterminants sont généralement évoqués pour expliquer le phénomène de l'ensablement dans le fleuve Niger. Le phénomène de l'ensablement trouve donc son origine dans l'érosion hydrique et éolienne (aspects non étudiés pour cette thèse, voir thèse Touré, 2011), le transport, le charriage de matière solide et les activités humaines. Il s'agit de causes naturelles et de causes anthropiques :

- Le principal facteur naturel cité est la pluviométrie qui, par son intensité, provoque l'érosion des terres et, par sa faiblesse, engendre la baisse du niveau des eaux dans le Niger et ses affluents qui favorisent la sédimentation et enfin, le fonctionnement des cours d'eau caractérisé par des crues en saison des pluies et des étiages sévères en saison sèche. Ce processus naturel du fait de l'érosion entraîne :

- *L'altération de roches granitiques composées de grains de silice résistants à la dissolution. Ces grains, libérés par émiettement, forment l'arène (sable grossier). Le transport, le tri et le dépôt par l'eau (voie hydraulique) ou le vent (voie éolienne) constituent le phénomène de l'ensablement ;*

- *La dissolution des roches sédimentaires qui ont incorporé, au cours de leur genèse, une grande quantité et variété de grains de sable préalablement existants ;*

- *La mobilisation de couches sableuses fossiles qui forment des strates géologiques anciennes, récentes ou superficielles.*

Au titre des facteurs anthropiques, il faut citer les activités humaines, qui tout en provoquant une dégradation du couvert végétal, fragilisent ainsi les sols et les berges des cours d'eau. La pression démographique exercée sur le couvert végétal et les écosystèmes accroît notablement les phénomènes d'érosion et d'ensablement qui comptent aujourd'hui parmi les fléaux majeurs

observés dans ce bassin. Les facteurs humains qui sont souvent à l'origine de l'ensablement sont : les retenues, les rejets et les prélèvements liés à la densité démographique, aux conditions de vie, de production agricole et industrielle, d'élevage. Les effets de ces activités s'observent aussi bien sur les bassins versants que sur les cours d'eau, notamment le régime climatique (pluies et sécheresse), sur les interfluves dont la dynamique est la résultante des différents facteurs cités plus haut (nature des roches, altération climatique, climat, relief, activités humaines...).

L'ensablement n'a pas d'impact direct sur les écosystèmes végétaux terrestres (forêts, savanes, etc.). Selon Barké (2008) c'est plutôt la dégradation de ces écosystèmes qui constitue un facteur favorable à l'ensablement. Toutefois, l'ensablement a des impacts directs sur les écosystèmes aquatiques ou subaquatiques (cours d'eau, mares, lacs, plaines inondables et bas fonds), (Besnier 2005). En retour, l'ensablement conduit à une réduction des quantités de ressources naturelles disponibles (eau, sols, flore et faune) ainsi que de leur qualité.

Divers impacts de l'érosion et de l'ensablement sont observables sur les activités économiques et sur le cadre de vie des populations du bassin du Niger :

- *Comblement des lits des rivières et des bas-fonds favorisant les inondations et entraînant la disparition progressive de mares naturelles et de barrages ;*
- *Elargissement des sections des cours d'eau par érosion des berges accompagnées en général d'un rehaussement important du lit de la rivière favorisant les débordements et les inondations ;*
- *Ensevelissement de terres de culture et d'infrastructures (zones d'épandage des cours d'eau)*
- *Développement de glacis cuirassés.*

Au Niger, le phénomène d'ensablement intéresse l'ensemble de la partie nigérienne du bassin. Toutefois certaines régions du pays paraissent particulièrement concernées. Il s'agit des régions du fleuve, où les processus d'érosion et d'ensablement sont surtout accentués au niveau du cours principal du fleuve et de ses principaux affluents de la rive droite en amont de Niamey (Gorouol, Dargol, Sirba). Les abords du fleuve dans les axes «Namaro – Say», notamment dans les cantons de Namaro et Lamordé tant en rive droite que, plus encore, en rive gauche.

La zone en rive droite se caractérise par la présence d'importants amas de sable (cordons dunaires de Namaro) entrecoupés de ravins qui se déversent dans le fleuve. Du reste, il s'agit de la zone d'intervention de la Composante Nationale du Programme de Lutte Contre l'Ensamblage dans le Bassin du Fleuve Niger (PLCE / ABN). Mais sur la rive droite du fleuve et sur le même axe, seules quelques actions ponctuelles d'aménagement ont été réalisées.

La morphogenèse actuelle des bassins versants étudiés est en partie dominée par l'érosion hydrique. Cette érosion hydrique se manifeste sur ces bassins versants de Boubon et Gorou Kirey par le développement quasi général de l'érosion aréolaire sur presque tous les états de surface des bassins versants étudiés. Celle-ci traduit l'accentuation du phénomène d'encroûtement qui dresse de vastes plages de décapage des parties superficielles des sols et a entraîné la formation de vastes croûtes, surtout de croûtes d'érosion. L'érosion linéaire est la seconde forme d'érosion hydrique qui s'accroît de plus en plus par le phénomène de ravinement. L'érosion aréolaire et le ravinement des versants sont prépondérants dans les régions semi-arides et celles où le couvert végétal a été fortement dégradé. La première tend vers un abaissement, une régularisation des versants qui prennent parfois la forme d'un plan incliné (glacis). Ce dernier développe des formes très variables de collecteurs d'écoulement : on trouve une multitude de ravines de moins de 50 cm et celles de plus de 50 cm à 10 m de large sont les plus actives et développent des secteurs où la dégradation est plus sévèrement exprimée notamment au niveau des piedmonts des plateaux.

*A travers cette étude, il ressort que :*

- L'état de dégradation du milieu assez poussé favorise un ruissellement superficiel abondant des eaux pluviales de l'ensemble du bassin versant de Boubon.*
- L'augmentation du ruissellement dans cette zone de contact socle et bassin sédimentaire semble être une conséquence évidente de la hausse de la nappe même si cette hausse serait discontinuée.*

Du fait de l'inadéquation entre les potentialités du milieu et la forte pression agro-pastorale, l'organisation des paysages du bassin versant de Boubon est une unité présentant d'amont en aval des plateaux cuirassés plus ou moins démantelés, des jupes sableuses, des glacis et des terrasses du fleuve Niger.

Ces bassins versants révèlent une grande variabilité des états de surface des sols constituant de champs, de jachères, de plages gravillonnaires, de croûtes variées, d'érosion, de croûte de décantation etc. La forte dégradation de la couverture végétale est assez généralisée dans les bassins versants de la région de Niamey. L'exemple de la disparition de la brousse tigrée régulière autour de la ville de Niamey et la diminution progressive des espaces en jachères explique le fort degré d'anthropisation ces milieux.

Les principaux résultats de cette étude révèlent :

- *l'élargissement des berges par sapement ce qu'on appelle érosion latérale avec des reculs de berges des koris moyens de plus de 5 m par an.*
- *l'exhaussement du plancher alluvial des fonds de koris et agrandissement rapide des superficies des cônes en moyenne de 5% par an ;*
- *une très forte évolution de ces ravines par érosion régressive car les têtes de ravines connaissent une évolution spectaculaire de plus de 1,3 m par an ;*
- *l'apport en eau des koris vers le fleuve Niger sont très important, estimé à 1300000 m<sup>3</sup> environ pour le cas du kori Boubon en 2009 ;*
- *les charges solides dans les koris sont importantes avec des taux de MES moyens de plus de 5 kg/m<sup>3</sup> ;*
- *les apports sédimentaires sont très importants, estimé à 8500 tonnes de MES par an pour le kori Boubon vers le fleuve Niger ;*
- *Au niveau du fleuve Niger, dans les secteurs des confluences au koris, la turbidité moyenne est de 1.5 kg/m<sup>3</sup> et est pratiquement le triple de celle estimée par exemple à Kandadji à 150 km en amont de Niamey*
- *Au niveau du fleuve Niger et dans les zones de confluence avec les koris sa profondeur moyenne du fleuve Niger est de 3 m avec des niveaux inférieurs à 1 m et dans toute la zone de Niamey étudiée, la profondeur maxi mesurée est de 6.4 m.*

Les comportements hydrologiques de ces petits bassins versants sahéliens expriment bien une forte sensibilité des écoulements au changement environnemental et à la variabilité climatique. Cette variabilité climatique a certes des impacts sur ces comportements hydrologiques. Ces impacts et influences sont très peu connus et des études en ce sens

méritent d'être développées surtout au Sahel. Car les manifestations de cette variabilité climatique semblaient déjà aiguës il y a 25 ans (Courel 1984). Toutes ces formes de dégradation énumérées ci dessus sont liées à une évolution hydrodynamique actuelle (depuis les années 1950) et sont quasi généralisées au Sahel.

Cette évolution est la résultante directe des actions essentiellement anthropiques, la mise en culture des terres de versants et bas-fonds, les défrichements incontrôlés voire des coupes abusives. Tout ceci aboutit à une augmentation des ruissellements et écoulements annuels (de plus de 30 à 40%) malgré la baisse générale de la pluviométrie (entre 24 à 30 %). Le taux d'occupation des terres varie entre 50 à 70 % par le système jachères cultures (FEM, P. 2004).

Cette mise en culture et les mauvaises pratiques socio -écologiques sont la cause et la conséquence directe de l'explosion démographique tant dans la région de Niamey que dans l'ensemble du pays ou même à l'échelle du Sahel. L'augmentation des ruissellements et les très forts débits solides qu'ils charrient, modifient constamment les formes hydro géomorphologiques, les cônes alluviaux, le lit du fleuve etc. (Carcaud, 2004). L'augmentation des débits liquides et solides dans les koris est à l'origine du phénomène d'ensablement observé dans cette région de Niamey. Finalement, l'examen des modalités du transport solide en suspension à l'échelle de bassins de grandes superficies met davantage en évidence le rôle des agents de transport que celui des agents d'érosion (Piegay, 1996). Malgré les efforts d'aménagements réalisés dans cette région, la situation actuelle reste encore très préoccupante.

## **2-Les perspectives de l'étude**

### ***2.1 –La nécessité de produire plus de données***

Les pays membres de l'ABN ont décidé de la mise en place d'un réseau de suivi de l'érosion et de l'ensablement dans le bassin du Niger. Les études techniques et expertise dans ce sens sont terminées depuis 2007, mais la mise en pratique du système des outils et compétence traîne encore.

Il faut noter le besoin de connaissances sur les transports de sables (charriage), (Picouet 1999) et le suivi hydrologique des petits cours d'eau dont les apports sont très mal connus. Il n'existe aucun dispositif officiel de suivi dans les petits bassins de la région de Niamey. Ceci va nécessiter l'installation et la densification du réseau actuel de mesure. Cependant, l'on pourrait proposer la mise à contribution de tous les projets et ONGs qui interviennent sur le

terrain dans la lutte contre l'ensablement dans le bassin, au financement du réseau. En effet, les données collectées grâce à ce réseau constituent des éléments fondamentaux permettant d'évaluer concrètement l'impact de leurs interventions sur le terrain. Il y a un manque de données et les réseaux de suivis souffrent de manque de financement ; de ce fait, les stations hydrométriques connaissent des dysfonctionnements fréquents. Le phénomène d'ensablement est réel dans la partie nigérienne du bassin. L'état des lieux fait ressortir l'inexistence d'un dispositif de suivi permanent de la dynamique de l'ensablement (ABN 2006) (figure 95). La connaissance de la dynamique de l'ensablement implique la maîtrise du phénomène dans les principales étapes de son processus que sont l'érosion, le transport des sédiments et la sédimentation.

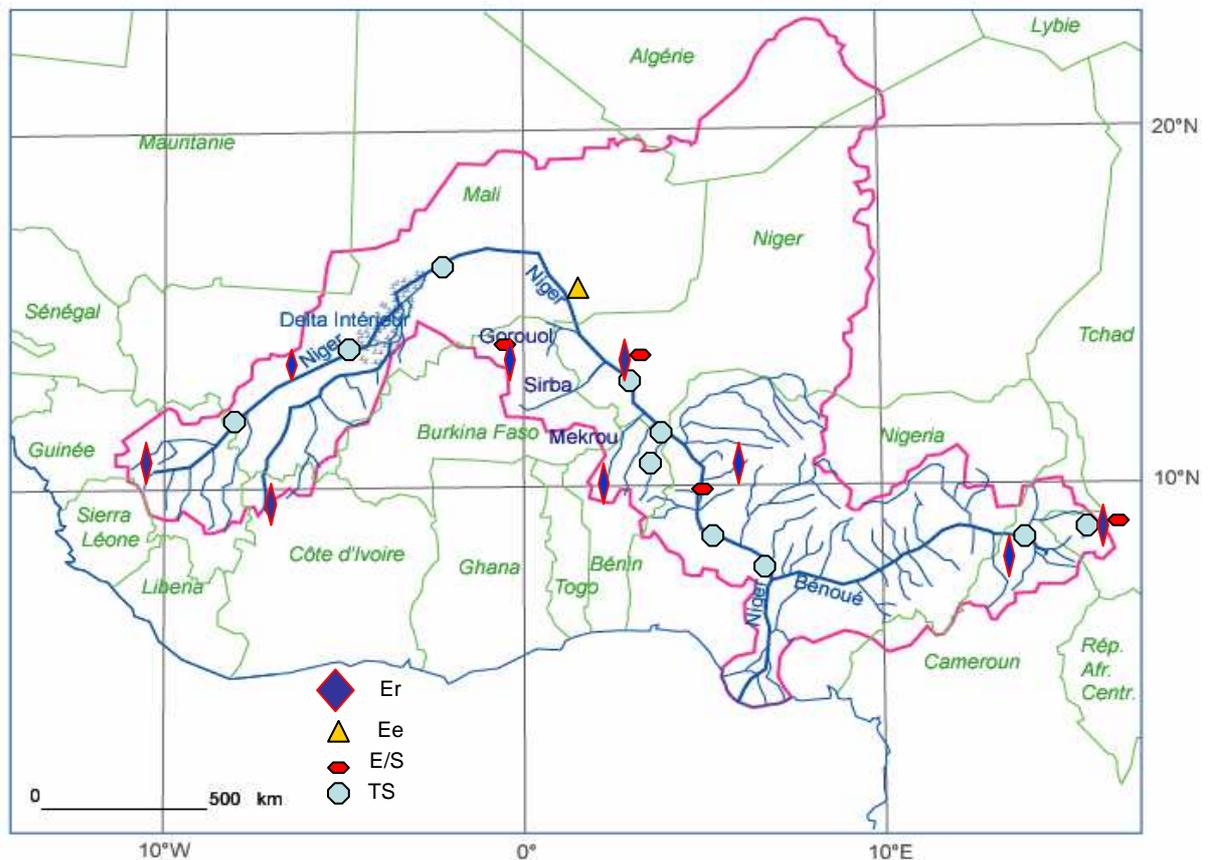


Figure 95 : Carte des sites de mesures et suivis de l'érosion proposés dans le bassin du Niger (ABN 2006)

Dans la perspective de la mise en place d'un réseau recherche-développement, trois types de stations correspondant aux différentes phases du processus sont proposés pour le suivi de la dynamique de l'ensablement au niveau de la partie nigérienne du bassin du Niger. Il s'agit en fait d'un réseau minimum constitué au Niger (ABN 2006) :

-Quatre (4) stations de mesure de l'érosion et de dépôts (ABN 2006) :

1. Station de Boubon (Karma) au  $13^{\circ}36'04''\text{N}$  ;  $01^{\circ}55'4''\text{E}$  sur la grande ravine rive gauche du fleuve ;
2. Station de Kourtéré au  $13^{\circ}28'5''\text{N}$  ;  $02^{\circ}01'20''\text{E}$  sur la ravine rive droite du fleuve ;
3. Station sur la Route de Say au  $13^{\circ}18'50\text{ N}$  ;  $02^{\circ}10'25^{\text{E}}$  sur la ravine rive droite du fleuve ;
4. Station de Madarounfa au  $13^{\circ} 19' 00''\text{N}$  ;  $07^{\circ} 09' 00''\text{E}$  sur le bassin du Goulbi de Maradi).

-Quatre (4) stations de mesure du transport de sédiments (MES) :

1. Station de Alcongou au  $14^{\circ} 45' 00''\text{N}$  ;  $00^{\circ} 36' 00''\text{E}$  sur le Gorouol ;
2. Station de Ayorou au  $14^{\circ} 44' 15''\text{N}$  ;  $00^{\circ} 54' 51''\text{E}$  sur le fleuve ;
3. Station de Kandadji au  $14^{\circ} 36' 37''\text{N}$  ;  $00^{\circ} 59' 26''\text{E}$  sur le fleuve ;
4. Station de Niamey au  $13^{\circ} 31' 00''\text{N}$  ;  $02^{\circ} 05' 10''\text{E}$  sur le fleuve.

-Trois (3) stations de mesure de la sédimentation (envasement des barrages) :

1. Station au Barrage de Aboka/Karma (Kori Ouallam) au  $13^{\circ}43'40''\text{N}$  ;  $01^{\circ}49'30''\text{E}$  ;
2. Station au Seuil d'épandage de Boukari-Kouara (Gorouol) au  $13^{\circ} 53' 50''\text{N}$  ;  $05^{\circ} 26' 50''\text{E}$  ;
3. Station au Barrage de Mozagué (Maggia) au  $13^{\circ} 53' 50''\text{N}$  ;  $05^{\circ} 26' 50''\text{E}$ .

Les dispositifs d'observation proposés sont constitués de trois types de sites de mesures correspondant aux trois phases essentielles du processus d'ensablement, à savoir l'érosion, le transport de matériaux et la sédimentation. Les trois réseaux seraient respectivement sous la responsabilité du Département de Géographie (Université Abdou Moumouni), de la Direction des Ressources en Eau (MHE/LCD) et de la Direction des Aménagements et Equipements Ruraux Agricoles (MDA). La performance du réseau et sa pérennité dépendent aussi bien de la compétence et de la volonté des équipes chargées de sa gestion, que des dispositions prises pour garantir son financement durable. Il s'agit d'harmoniser les modèles et de les rendre fonctionnels surtout dans un contexte de changement climatique.

Plusieurs études de modélisation et de prévisions sont en cours, mais les résultats sont pour la plupart non intégrés dans la gestion à long terme du bassin car provenant d'institutions ou de travaux épars. Le fonctionnement continu des services de production et de collecte de données est un aspect important dans la gestion des informations diverses du bassin du Niger. Les banques de données hydrologiques et aussi des autres paramètres doivent être opérationnels et régulièrement actualisées (Gazzaniga et al. 1998). L'emploi de nouvelles techniques (Hydro Niger) notamment données transmises en temps réel (balise Argos) constitue un appui pour la gestion de cours d'eau transfrontaliers.

## ***2.2- Améliorer les lacunes et incertitudes des connaissances en hydrologie sahélienne : Tranports solides en rivière***

Il est indispensable d'utiliser des outils techniques plus performants pour des études spécifiques au vu de la complexité de certains phénomènes tel que les transports de fond des rivières.

Le projet d'étude du mécanisme d'ensablement du fleuve Niger à l'aide des radio-traceurs est en cours d'exécution au Niger (Université Niamey et ABN Niger, financé par AIEA) ; il permettra une meilleure connaissance des transports solides dans le bassin du Niger principalement le charriage de fond. L'utilisation des traceurs est désormais bien connue. La première étape consiste à introduire un sédiment marqué par un élément doté d'une propriété particulière mesurable dans la zone à étudier (Boubacar 2009). La suivante vise à suivre les déplacements du nuage formé par les particules marquées, en fonction de l'espace et du temps, ce qui nécessite l'utilisation de détecteurs appropriés ou de prélèvements. Le cycle s'achève par l'interprétation des résultats quantitatifs en fonction des paramètres hydro météorologiques enregistrés par ailleurs. Les informations recueillies étant globales, la méthode est dite intégrative. En fait, il n'apparaît pas possible de déterminer les paramètres fondamentaux tels que la vitesse critique d'entraînement ou la rugosité des fonds. Pour ces expérimentations, on utilise deux sortes de traceurs (Boubacar 2009) :

-Les traceurs radioactifs

-Les traceurs non radioactifs (fluorescents activables et magnétiques).

Le programme a démarré avec l'acquisition des matériels d'expérimentation et les séances de formation technique tant au Niger qu'en Inde pour les chercheurs impliqués dans le programme, nous participons activement à ce programme.



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abaché L. (2007). *Genèse et morpho dynamique actuelle des bas-fonds sahéliens : Caractérisation du bas-fond de Mountséka*, Mémoire de Maîtrise Géographie, Faculté des lettres et sciences humaines, Université Abdou Moumouni de Niamey, p 79.

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

Agnew C.T., Chappell A.C. (1999). - *Drought in the Sahel*. In *Geojournal* n°48, pp. 299-311.

Albergel, J., 1987 a. *Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso ; du m<sup>2</sup> au km<sup>2</sup>, étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution*. Ph.D. Thesis, Université Paris 6, Editions de l'Orstom, 1988, 330 p.

Albergel, J., 1987b. *Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface : application aux petits bassins du Burkina Faso*. In « The influence of climate change and climatic variability on the hydrologic regime and water resources » IAHS Publ. 168, 355-365.

Albergel, J., Casenave, A., Ribstein, P., Valentin, C., 1992. *Aridité climatique, aridité édaphique : étude des conditions de l'infiltrabilité en Afrique tropicale sèche. L'aridité, une contrainte pour le développement*. Editions de l'ORSTOM, Paris, pp 122 – 130.

Alhou B, 2007, *Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger) sur la qualité des eaux du fleuve Niger*. Thèse de doctorat, à la Faculté Universitaire Notre-Dame de la Paix Namur, 223 p.

Ali A. et Lebel T., 2009. *Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990–2007)*. *Journal of Hydrology* 375 (2009) 52–64.

Allee P., Giert G. et Mussot R., 1981. *Aménagement des rivières à fond mobile : évolution de sections fluviales aménagées*. Rapport du Min. Agri. : 86 p.

Amadou B., 1994. *Crise alimentaire et conquête agricole de nouvelles terres dans le Sud-ouest du Niger*. *Revue de Géographie Alpine*, Grenoble, volume 2, p. 171-184. Collection Ascendances.

Amadou B, 1994. *Crise alimentaire et conquête agricole des nouvelles terres dans le Sud-ouest du Niger*. Revue de Géographie Alpine, Grenoble, Volume 2, pp 171-184.

Amadou D. J. et Bouzou Moussa I. 1997, Observations sur les seuils de Baramaka et Hanou Gazané (Goulbin Maradi). Communication au colloque International Innovations Technologiques et transfert dans les domaines de la gestion des eaux et des sols, PCGES, université de Niamey, EFPZ (Suisse), Niamey

Amani, A., 1995. *Estimation des pluies au Sahel : Quelques problèmes de modélisation. Analyse à partir des données de l'expérience EPSAT-NIGER*. Thèse de Doctorat (Ph.D). Département de génie civil, Ecole Polytechnique de Montréal, Canada, 308 p.

Amani, A., Lebel, T., Rousselle, J., Taupin, J.D, 1996. *Typology of rainfall fields to improve rainfall estimation in the Sahel by the area threshold method*. Water Resources Research, vol 32 N°8, 2473-2487.

Amani, A. et N'guetora, M. (2002), *Evidence d'une modification du regime hydrologique du fleuve Niger a Niamey*, In Van Lanen, H Demuth S (Eds) Friends 2002 regional hydrology: bridging the gap between research and practice. Proc of Conf. Cap Town, SA. IAHS pub 274, pp 449-456.

Amani A, Diouf M (2009), *Problématique des ressources en eau au Sahel " construire l'Afrique " N° 28 du 15 juin au 15 septembre*.

Ambouta J.M.K., (1984) : *Contribution à l'édapologie de la brousse tigrée de l'Ouest Nigérien*. Thèse présentée pour l'obtention du titre de docteur ingénieur à l'Université de Nancy I 115 pages.

Ambouta, J.M.K (1994), *Etude des facteurs de formation d'une croûte d'érosion et de ses relations avec les propriétés internes d'un sol sableux fin*, Thèse –Ph-D, Université Laval, 97 p.

Ambouta J.M.K., et Valentin, C 1996, *Jachères et croûtes d'érosion au Sahel*, Sécheresse 1996 ; 7 : 269-75.

Ambroise, B. (1999), *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant*, EPFL Lausanne, HGA. Éditions. Bucarest, 200 p.

Amogu O., 2009. *La dégradation des espaces sahéliens et ses conséquences sur l'alluvionnement du fleuve Niger : méthodes expérimentales et modélisation* Ph Thesis, Université Joseph Fourier, Grenoble, 440 p.

Amogu O, Descroix L, Souley Yéro K, Le Breton E, Mamadou I, Ali A, Vischel T, Bader J-C, Bouzou Moussa I, Gautier E, Boubkraoui S and Belleudy P (2010) *Increasing River Flows in the Sahel ?* Increasing, Water 2010, 2, 1-x; doi: 10.3390/w202000x.

Amoros C. et Petts G.E., 1993. *Hydro systèmes fluviaux.* , Masson, Paris : 300 p.

Anyamba A. et, C.J. Tucker 2005, *Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003*, Journal of Arid Environments 63 (2005) 596–614.

Autorité du Bassin du Niger (2006), *Programme de Lutte Contre l'Enselement (PLCE) – Rapport d'avancement pour la mise en place du réseau du suivi de l'enselement dans le bassin du Niger*, Niamey, 65 p.

ABN ; 2005 a, *Rapport de synthèse régionale des études multisectorielles nationales*, Niamey, Niger, 2005. 93 p.

Autorité du Bassin du Niger 2001. *Note d'orientation pour l'élaboration d'un programme-cadre de protection contre l'érosion hydrique et de lutte contre l'enselement dans le bassin du fleuve Niger*, ABN, 2001.

Autorité du Bassin du Niger, 2004. *Processus d'élaboration d'une vision partagée pour le développement durable du bassin du Niger : Etude multisectorielle nationale*, Niamey, 2004.

Autorité du Bassin du Niger, 2005, *Etude d'optimisation macroéconomique des domaines prioritaires et secteurs de développement du bassin du Niger*. Termes de référence. Niamey, Niger, 2005, 7 p.

Avenard Jean Michel. (1982). *La dégradation du milieu à la périphérie de Ouagadougou (Burkina Faso)* ULP Strasbourg, 20 p. multigr.

Bahari I. M. (2009). *Dynamique hydro géomorphologique actuelle du kori Mountséka (département de B. Konni, région de Tahoua) et ses effets socioéconomiques : approche méthodologique*. Mémoire de D.E.A. de Géographie, Faculté des lettres et sciences humaines, Université Abdou Moumouni de Niamey, p 65.

Bana, Z.S (1997) : « *Impact de la variabilité pluviométrique sur le développement agricole en milieu sahélien* », acte du colloque PP/E, Niamey/Niger, pp 65-71.

Banoïn, M., Guengant, J. P., 1999. *Les systèmes agraires traditionnels nigériens dans*

Banque Mondiale, *World Development Report 1999/2000: Entering the 21st Century*, Abidjan, African Development.

Barké M, (2008), *Analyse des phénomènes climatiques extrêmes dans le SUD-EST du Niger : impacts environnementaux et stratégies, d'adaptation de la population, Milieux et Sociétés des Espaces Arides et Semi-arides* : Aménagement Développement, option : Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles mémoire de DEA, Faculté des lettres et sciences humaines, Université Abdou Moumouni.

Baumann, E. (2008), *Le fleuve nourricier*, Fonds Documentaire ORSTOM 13- 8p.

Bechler –Carmaux, Mietton, Lamotte Mathieu (1999), *Le risque de pénurie en eau potable dans la ville de Niamey* ; Sécheresse, 10 (4) : 281-8, p 8.

Belleudy, P. 2001. *Le transport solide : Lacunes de connaissance et besoins méthodologiques*, Exposé HDR.

Benchetrit M. *L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie*. Paris : PUF, 1972.

Bender H. Ousseini I. (2000), *Les bas-fonds aux Niger. Transferts d'expériences*. PCGES, ETH, 113 p.

Bep, B., Zahonero, P., Boli, Z. & Roose, E. (1996) : *Evolution des états de surface et influence sur le ruissellement et l'érosion des sols ferrugineux tropicaux sableux du Nord Cameroun soumis à diverses techniques culturales*. Bull. Réseau Erosion 16, 59–77.

Bernus E., 1984. *L'homme et l'animal concurrents. Problèmes d'écologie pastorale sahélienne*. In : (Blanc-Pamard C., Bonne Maison J., Boutrais J., Lassailly- Jacob V., & Lericollais A., editors), *Le développement rural en questions*, pp. 111-122. Editions de l'ORS TOM, Paris.

Besnier A-N (2005), *La mise en place de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau dans le bassin du fleuve Niger -Le début d'un long processus*. DEA Géographie et Pratique du développement, Université Paris X - Nanterre, centre IRD Bamako, 113 p.

Bethemont J (2003), *Qu'est-ce qu'un grand fleuve ?* Vertigo – La revue en sciences de l'environnement, Vol 4, No 3, décembre 2003.

Bethemont J 1995, Les fleuves allogènes : espoirs et réalités Géo carrefour, Année 1995, Volume 70, Numéro 3 p. 275 – 278.

Bielders, C.L., Rajot, J.R., Amadou, M., 2002. *Transport of soil and nutrients by wind in bushfallow land and traditionally managed cultivated fields in the Sahel*. Geoderma, 109: 19-39.

Bielders, C.L., Rajot, J.R., Karlheinz, M., 2004. *L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien : influence des pratiques culturales actuelles et méthodes de lutte*. Sécheresse, 15 : 19-32.

Billon B. 1985. *Le Niger à Niamey : Décrue et étiage 1985*. Cahier ORSTOM, Série hydrologie, Vol XXI. N°4 3 pp22.

Birot P. (1975) : L'influence du climat sur la sédimentation continentale. Paris Sorbonne, 219 p.

Boli B, Z., Roose, E. (1998) : *Relation entre le ruissellement et l'érosion sur sols ferrugineux sableux des savanes soudaniennes du Nord-Cameroun*. LCSC, ORSTOM, Montpellier, France.

Boube C A. (2005), *Effets préliminaires des ouvrages antiérosifs sur l'ensablement du fleuve Niger dans le secteur de Niamey et proposition d'une méthodologie de lutte*, mémoire de DEA en géographie, FLSH, Université de Niamey, 50p.

Boulain N., Cappelaere B., Seguis L, Gignoux J., Peugeot C., (2006), *Hydrologic and land use impacts on vegetation growth and NPP at the watershed scale in a semi-arid environment*, Region. Environ. Change 6 (2006) 147–156.

Bouvier, C., 1986. *Etude du ruissellement urbain à Niamey. Rapport général. Tome 3 : Interprétation des données*. Rapport CIEH-ORSTOM, 83 p.

Bouzou Moussa I., (1988), *L'érosion dans la vallée de Keita (Adar, Niger)*, thèse de Géographie, Institut de Géographie Alpine, Université J-Fourier Grenoble I, 248p.

Bouzou Moussa I, (1995) : *Conservation des sols : mentalité paysanne et approche technique. Le cas de l'Adar* In : au contact Sahara-Sahel. Milieux et sociétés du Niger. Vol II pp 11-280

Bouzou Moussa, I. (2000). *Réponses géomorphologiques à la problématique de la conservation des eaux et des sols au Niger*. Rapport de synthèse en vue de l'obtention de Diplôme d'Habilitation à diriger les recherches. Grenoble, 186 p.

Bouzou Moussa I (2002) : *Mécanismes et impacts de l'érosion hydrique*. In : *Dégradation des sols au Sahel techniques et méthodes de lutte*. pp 27-41.

Bouzou Moussa, I., Descroix, L., Boubkraoui, S., Mamadou, I., Alzouma, I., Le Breton, E., Amogu, O., 2005. *Land use changes and consequent water cycle modifications*. First AMMA Conference, Dakar, Nov 29th-Dec 2nd, 2005.

Bouzou Moussa I., 2006. *Impacts irréversibles sur l'environnement des pluies exceptionnelles au Niger*. Annale de Université Abdou Moumouni ; VIII-B : 81-93.

Bouzou Moussa, I, Faran Maiga, O, Karimou Ambouta, J-M, Sarr, B., Descroix, L, Moustapha Adamou, M., 2009. *Les conséquences géomorphologiques de l'occupation des sols et des changements climatiques dans un bassin versant rural sahélien*. Sécheresse 20(1) : 1-8.

Bouzou Moussa I, Descroix L, Faran Maiga O, Gautier E, Moustapha Adamou M, Esteves M, Souley Yero K, Malam Abdou M, Mamadou I, Le Breton E, Abba B, 2011. *Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydro géomorphologiques sur un bassin versant*, Sécheresse 22 : 13-24. doi : 10.1684/sec.2011.0297

Brami Diane (2006), *Le climat et l'homme, facteurs des déséquilibres des milieux sensibles sahéliens*. Thèse de géographie – Université Panthéon – Sorbonne, Paris 286 p.

Bravard J-P. et Petit, F, (1997), *Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial*. Armand Colin, Masson, 221 p.

Brunet Moret, Y., Chaperon, P., Lamagat, J-P., Molinier, M., 1986 a. *Monographie hydrologique du Fleuve Niger ; time 1, le Niger supérieur*. Edition Orstom, coll. Monographies hydrologiques, n°8, Paris, 396 p.

- Brunet-Moret, Y., P. Chaperon, J. P. Lamagat, and M. Molinier (1986), *Monographie hydrologique du Fleuve Niger. Tome II- Cuvette Lacustre et Niger Moyen*, 506 pp., ORSTOM, Paris.
- Campy, M. & Macaire, J- J. (1989), *Géologie des formations superficielles, Géodynamique Faciès –Utilisation*. Masson 433 p.
- Cappelaere, B., Descroix, L., Lebel, T., et al. 2009. *The AMMA catch observing system in the cultivated Sahelian of South West Niger – strategy, implementation and site conditions*. Journal of Hydrology 375 (1–2), 34–51.
- Carcaud N., 2004. D’espace et de temps : *Un itinéraire de recherche et d’enseignement sur les anthroposystèmes fluviaux*. Mémoire de thèse d’habilitation à Diriger des Recherches. Université d’Angers, 216 p.
- Casenave, A., et Valentin, C., 1989. *Les états de surface de la zone sahélienne ; influence sur l’infiltration*. Coll. Didactiques, Ed. ORS TOM, Paris, 229 p.
- Casenave. A. ; Valentin. C. (1994). *L’effet de la dégradation de la surface du sol sur la production du ruissellement dans les zones arides et semi-arides de l’Afrique de l’ouest*. – O.R.S.T.O.M/ Fond Documentaire, N° 39695. pp. 127-134.
- CEDEAO/CILSS, 1999. *Programme d’action sous régional de lutte contre la désertification en Afrique de l’Ouest et au Tchad*, CEDEAO/CILSS. 89 p.
- Chang H.H., 1988. *Fluvial processes in river engineering*, Wiley, New York 432p.
- Chayaya A, B, 2005. *Effets préliminaires des ouvrages antiérosifs dans le processus d’ensablement du fleuve Niger dans le secteur de Niamey et proposition de méthodologie de lutte* (DEA), Niamey, 41 p.
- Chinen T. 1999. *Recent accelerated gully erosion and its effects in dry savanna, southwest of Niger*. In *Human Response to Drastic Change of Environments in Africa*, Faculty of Economics, RYUTSU Keizai University 120, Hirahata, Ryugasaki 301-8555, Japan, 67-91pp.
- Cholley, A. (1957), *Recherches géomorphologiques* éditions A. Colin p5-19.
- CILSS- PRECONS (1997.) *Manuel des techniques de conservation des eaux et des sols au Sahel*.

Clair A., 1982, *Niger, fleuve du Sahel*, Paris. 235 p.

Collinet, J., 1986. *Hydrodynamique superficielle de quelques types de sols du Sahel africain, comparaison des données fournies par deux dimensions de parcelles de simulation de pluie*. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Coll. ORSTOM, Colloques et Séminaires : 117-153.

Coopération Nigéro Allemande (2005) *La gestion des Ressources Naturelles au LUCOP : Impacts économiques*. LUCOP, Niamey, Niger.

Coque R., 1993, *Géomorphologie*, Armand Colin, 503 pages.

Cosandey C. et Robinson M. (2000), *Hydrologie continentale*, Armand Colin, 351 p.

Courel, M. F. 1984. *Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des Mesures fournies par les satellites*. Doctorat d'état. PARIS I, Paris.

Couvert B. Lefort Ph, Peiry J L, Belleudy Ph. 1999, *La gestion des rivières – transport solide et atterrissements Guide méthodologique*, les études des agences de l'eau N°65.

Dambo L, (2007), *Usages de l'eau à Gaya (Niger) : entre fortes potentialités et contraintes majeures*, Institut de géographie, Lausanne, Thèse de doctorat présentée à la Faculté des Géosciences et de l'Environnement de l'Université de Lausanne, 424 p.

Desconnets J-C., (1994), *Typologie et Caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahélien (Niger-degré carré de Niamey)*. Thèse Université Montpellier II, 326 p.

Descroix L. (1991) : *Les transports solides dans le Bèz*. Bull. Labo. Rhod. De N°27-28.

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

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

Descroix L. Amogu O. Lebreton E., Alzouma I., Mamadou I., Besnier A.L., Diedhiou A. Lebel T.-(2005a) -*Silting up of Niger River channel in Niger: a consequence of land use change*. IRD, AMMA, CNRS, LTHE, University of Niamey, University Paris VIII, IAHS Congress, Symposium1, Foz do Iguacu.

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

Descroix, L., Mahé, G., Lebel, T., G., Favreau, G., Galle, S., Gautier, E., Olivry, JC., Albergel, J., Amogu, O., Cappelaere, B., Dessouassi, R., Diedhiou, A., Le Breton, E., Mamadou, I. Sighomnou, D., (2009a). *Spatio-Temporal Variability of Hydrological Regimes around the Boundaries between Sahelian and Sudanian Areas of West Africa: A Synthesis*. Journal of Hydrology, AMMA special issue, doi : 10.1016/j. hydrol.2008.12.012.

Descroix, L et al (2009 b) : *Etat des lieux et proposition de restauration des sols sur le bassin versant de Tondi Kiboro à titre expérimental, Colloque international : Effets des techniques antiérosives sur la productivité des terres tropicales* Port-au-Prince (Haïti), 19 - 24 octobre 2009.

Dessouassi, R. (2000), *Revue des perspectives dans le Bassin du fleuve Niger*, ABN, Niger.

Dessouassi Y. R., 2002. *Le climat en 2002 : conséquences du climat 2002 sur l'hydrologie (cas du bassin du Niger)*. Autorité du Bassin du Niger : CIP-HYDRONIGER-CRP/AOC-HYCOS, 7 P.

Dubois D., Lang J. (1981). *Etude litho stratigraphique et géomorphologique du Continental Terminal et du Cénozoïque inférieur dans le bassin des Iullemeden (Niger)*. Bull. I. F. d'Afrique Noire, t.43, sér.A, nos 1-2, 1984.

Dubois D. et Lang J. (1984), *Etude litho stratigraphique et géomorphologique du continental Terminal et du Cénozoïque Inférieur dans le bassin des Iullemeden (Niger)*. Extrait du bulletin de l'Institut fondamentale d'Afrique Noire Tome 43, série A, N°1-2-j, Dakar IFAN, 42 p.

Dubois, D., Icole, M., Trichet, J., 1984. *Evolution géomorphologique de la vallée du Niger aux abords de Niamey (République du Niger)*. Bull. Soc. Géol. de France XXVI, 6 :1305-1318.

Esteves M., Gualde R., Lapetite J M., (1993), *Bassins versants expérimentaux. Rapport de campagnes hydrologiques 1991 et 1992. Projet Hapex-Sahel*. Multigraphie, 42 p, + annexes ORSTOM Niamey, Niger.

Esteves M., Lapetite J-M. (2003), *a multi-scale approach of runoff generation in a Sahelian gully catchment: a case study in Niger*. In CATENA 50, pp.255-271.

Evéquo M. et Gueroy., (1998) : Conservation et gestion des eaux et des sols au Niger : Durabilité du système de production agricole Nord- Sahélien. UAM de Niamey, ETH Zürich suisse, 119 pages.

Faran Maïga. O. (2000). *La dynamique actuelle dans le Zarmaganda : Recherches géomorphologiques dans l'Ouest du Niger*. Thèse de doctorat 3e cycle, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 365 P.

Faran. Maïga. O.; Bouzou. M. I.; Abdou. B. A (2008). *L'évolution actuelle de la dynamique de l'érosion dans un petit Bassin versant du Niger, Ganguel à la périphérie ouest de Niamey*. Revue, science de l'environnement. Presse de l'université de Lomé (Togo), n° 004, pp.109-132.

Fauquet F., 2005. *Dynamiques des ressources environnementales et mutations des systèmes agro- sylvo- pastoraux en milieu tropical semi aride : le cas de la vallée d'Arewa (Niger central)*. Thèse de Géographie de l'Université Joseph Fourier de Grenoble. 266 pages.

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 Université Paris 11, 270 p.

Favreau G, Cappelaere B, Massuel S, Leblanc MJ, Boucher M., Boulain N, et al. 2009. *Land clearing, climate variability, and water resources increase in semiarid southwest Niger : A review*. Water Resources Research 45. W00A16. Doi: 10.1029/2007 WR006785.

FEM, P. (2004). *Inversion des tendances à la dégradation des terres et des eaux du bassin du fleuve du Niger. Niamey*.

Ferry L., Mietton M., Muther N., Martin D., Coulibaly N., Laval M., Basselot F.-X., Coulibaly Y. C., Collerie M., De La Croix K., Olivry J. C. (2011), *Extraction des sables et tendance à l'incision du Niger supérieur malien*. Soumis à revue indexée en mars 2011.

Fiandino, M. 2004. *Apports de matières en suspension par les fleuves côtiers à l'étang de BERRE (Bouches –Du-Rhône, France) : Quantification des flux, identification des zones sources, étude des relations avec les conditions hydrologiques*. In revue Etudes de

Géographie Physique. Supplément au N°XXXI -2004 Travaux du BVRE du Mont –Lozère. UMR 6012 <<ESPACE>> du CNRS et de l'Université de Nice –Sophia –Antipolis. 260 p.

Fomba H. (2012) ; *Le vétiver, une arme pour protéger les berges du Niger, L'exemple malien*, revue des sciences de l'environnement 9 mars 2012, 2p. [www.afrik.com/article25029.html](http://www.afrik.com/article25029.html).

Fournier. F. (1962) *Les Facteurs de l'érosion du sol en zone tropicale, conclusion sur la conservation du sol*. pp.88-96

Frider. G. (1981). *L'environnement géologique dans l'ouest du Niger*. Site, Department of soil science and land Evaluation, University of Hohenheim, 70593 Stuttgart.

Gallaire R., (1993). *Données sur les transports solides du Niger Moyen entre Kandadji et Niamey*. In *Grands bassins Fluviaux*, Paris ORSTOM, pp 314-332.

Garba M, (1984) : *Contribution à l'étude de la flore et de la végétation des milieux aquatiques et des sols hydromorphes de la République du Niger de la longitude de Dogondoutchi au fleuve Niger*. Thèse doctorat de spécialisation 3è cycle de Géographie tropicale-Ecologie –Aménagement et développement, 149 p+annexes.

Gardelle, J., Hiernaux, P., Kergoat, L. & Grippa, M. (2010). *Less rain, more water in ponds: a remote sensing study of the dynamics of surface waters from 1950 to present in pastoral Sahel. (Gourma region, Mali)* *Hydro. Earth Syst. Sci.*, 14, 309–324 (2010).

Gautier E (1992) : *Recherches sur la morphologie et la dynamique fluviale dans le bassin du Buech (alpes du Sud)*. Thèse de doctorat en géographie, Université de Nanterre CGO – LGO – CNRS, Paris 439 p.

Gautier E., Piegay H., Bertaina P., (2000). *A methodological approach of fluvial dynamics oriented towards hydrosystemic management: the Loire and Allier Rivers case study*. *Geodynamica Acta*, 13/1, 29- 43.

Gavaud M. (1977).- *Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional*. In Travaux et documents de l'ORSTOM n°78, PARIS, 102 p.

Gazzaniga et al. (1998), *L'eau : usage et gestion*, Paris, Litec, 1998. 316 p.

George, P. (1974) : *Dictionnaire de Géographie*. PUF, Paris, P451.

GIRE (2000), *Réunion du Comité de suivi ministériel de la Conférence ouest africaine sur la "Gestion intégrée des ressources en eau"*, Ouagadougou, CSM, mars.

Giret Alain (2007), *Hydrologie fluviale*, Ellipses, 262 p.

Guengant, J.P. et M.Banoïn (2003), *Dynamique des populations, disponibilités en terres et adaptation des régimes fonciers : le cas du Niger*. FAO/CICRED, 144 p.

Guero, A., (2003). *Etude des relations hydrauliques entre les différentes nappes du complexe sédimentaire de la bordure sud-ouest du bassin des Iullemeden (Niger) – Approches géochimiques et hydrodynamiques*. Thèse Sciences, Université de Paris XI, Orsay, France, 238 p.

Guigo Maryse (1987), *Les transports solides et l'érosion des milieux naturels*. In Processus et meures d'érosion. Edition CNRS, pp413-425.

Guillon, R., 2007. *Influence des activités humaines sur les flux sédimentaires au Sahel (Niger) Résultats préliminaires* Mémoire de Diplôme Supérieur d'Etudes et de Recherches, Université de Bourgogne). 92 p.

GWP, 2000, *La Gestion intégrée*, TAC Background papers n°4, GWP, Suède. 77p.

Harouna Y. : 2006. « *Etude de la dynamique de l'ensablement du bassin du fleuve Niger : Cas du canton de Namaro* », Mémoire de fin d'études de l'Institut Polytechnique Rural de Formation et Recherche Appliquée de Katibougou, 49 p.

Hassane A., P.Martin et C.Reij (2000) *Collecte et Gestion des Eaux Pluviales au Niger : comment améliorer la sécurité alimentaire familiale et réhabiliter les terres dégradées*. FIDA et l'Université Libre d'Amsterdam.

Hermann, S., A.Anyamba, C.J. Tucker (2005) *Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate*. In: Global Environmental Change, vol.15: 394 – 404.

Hewé P (1995), *Levé bathymétrique de la retenue de Pareloup*, Hydroécol. Appl. Tome 6 Vol. 1-2, pp. 9-17

Hiernaux, P.; Ayantunde, A.; Kalilou, A.; Mougin, E.; Gérard, B.; Baup, F.; Grippa, M.; Djaby, B. *Trends in productivity of crops. Fallow and rangelands in Southwestern Niger: impact of land use. Management and variable rainfalls.* J. Hydrol. 2009, 375, 65-77.

Horton R. E., 1945. – *Erosional development of streams and their drainage basins: Hydro physical application of quantitative morphology.* In: Land formes and geomorphology,

Hudson N. W., Jackson D.C., (1959). *Results achieved in the measurement of erosion and run-off in southern Rhodesia.* Paper presented to the third Inter-African Soils Conference, Dalaba.

Hudson N., (1981). *Soil conservation, Batsford Academic and Educational Ltd London, 324p.*

Ichaou A., 2000. *Dynamique et productivité des structures forestières contractées des plateaux de l'ouest Nigérien.* Thèse, Université Paul Sabatier de Toulouse III, 231 p.

Ichaou, A., 1998. *Contribution à l'étude de la végétation contractée des plateaux le long d'un gradient pluviométrique et latitudinal de la zone ouest du Niger.* Dipl. D.E.A, Université d'Ouagadougou.

IGN Paris, 1964, *Carte Topographique : carte de l'Afrique de l'Ouest au 1/50 000.* Feuille Gothèye ND-31-VIII-4 b Gothèye. IGN Paris.

Janicot, S, 1992. *Spatio temporal variability of West African rainfall.* Part 2: Associated surface and air-mass characteristics. Journal of Climate vol 5,499-5 11.

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

Kélétegui M. 1996, *La mort de la brousse : la dégradation de l'environnement au Sahel.* Paris : Édition Karthala, 1996 ; 126 p.

La houille blanche, 1998 : *Eau et développement durable*, N° 2.

Laguionie P (2006) : *Mesures in situ et modélisation du transport des sédiments en rivière application au bassin versant de la VILAINE* Doctorat de l'université de Rennes 1 Mention : Sciences de la Terre ; N° d'ordre de la thèse 3497. 345 p.

Lamachere, J-M., (2000), *Transports solides à l'exutoire d'un bassin sahélien* (région de Bidi-Burkina Faso). In Bulletin du Réseau Erosion N°20, volume 2, IRD, GTZ, Montpellier, pp112-126.

Laraque, A., Pandi, A., Berthelot, M., Mietton, M. (1994) : *Ecoulement et transports de matière dans le bassin versant du Djoue, affluent du fleuve Congo-Zaire. Hydrologie Continentale*, Vol. 9, No 2, pp. 153-168.

Larwanou, M (2003) : *Modules de formation sur les technologies agro forestières*.

Larwanou, M. et Saadou (2006). *Evaluation de la flore et de la végétation dans les sites traités et non dans les régions de Tahoua, Maradi et Tillabéry*. Centre Régional d'Enseignement Spécialisé en Agriculture (CRESA), Niamey, Etude Sahélienne.

Lasserre, F. et L. Descroix (2002) : *Eaux et territoires, tensions, coopérations et géopolitique de l'eau, Sainte-Foy*, Presses de l'Université du Québec.

Lavigne Delville P., 2001, *Quelle gouvernance pour les ressources renouvelables ? –La gestion des ressources dans le contexte de la décentralisation en Afrique de l'Ouest*, GRET, Agence Française de Développement (AFD), 46 p.

Le Barbé, L., et Lebel, T., 1997. *Rainfall climatology of the Hapex Sahel region during the years 1950-1990*. Journal of Hydrology, 188-189 : 43-73.

Le Breton E. (2004), *Etude de l'érosion hydrique dans un bassin versant du Sahel. Typologie du bassin de Wankama et description des phénomènes érosifs, Degré carré de Niamey, Niger*. IRD, Université Paris 8, p 77.

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

Le Moigne 1992 (ed.) et al. *Contry experiences with water resources management*, World Bank Technical paper, Washington, n°175.

Leblanc M J, Favreau G, Massuel S, Tweed SO, Loireau M, Cappelaere B, 2008. *Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger*. Science Direct, Global and Planetary Change 61:135-50.

Leduc C., Favreau G. et Schroeter, P (2001), *Long-term rise in a Sahelian water-table: the continental terminal in south-west Niger*. J. Hydrol. 243, pp 43-54.

Leduc. C et Karbo A. (1994), *Variabilité spatio-temporelle de l'impact de l'infiltration sur la nappe phréatique du Continental Terminal*. In : Hoepffner M.-Lebel T.-Monteny B, *Interactions Surfaces Continentale /Atmosphère, L'expérience HAPEX-SAHÉL*, Actes des XIème journées hydrologiques Montpellier, ORSTOM, pp 383-399.

Leprun, J.C., 1992. *Etude de quelques brousses tigrées sahéliennes : structure, dynamique, écologie. L'aridité, une contrainte au développement*. Editions de l'ORSTOM, Paris, pp 221-244.

Lienou G, Mahe G, Paturel JE, Servat E, Ekodeck GE, Tchoua F. 2009 ; *Variabilité climatique et transport de matières en suspension sur le bassin de Mayo Tsanaga : Extrême Nord Cameroun*. Sécheresse 2009 ; 20 : 139-44. doi : 10.1684/sec. 2009.0167.

Loireau, M., 1998. *Espaces, ressources, usages : spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes écologiques au Sahel nigérien*. Thèse de géographie, Université Montpellier 3, 410 p.

Loup (1974), *Les eaux terrestres*, Paris, Masson, coll Géogr. 174.

LUCOP/GTZ. (2004) *Référentiel des mesures techniques de récupération, de protection et d'exploitation durable des terres* 2ème édition.

Luxereau, A. et Roussel, B., 1997. *Changements écologiques et sociaux au Niger*. L'Harmattan, études africaines, Paris, 239 p.

Mahé, G., Leduc, C., Amani, A., Paturel, J-E, Girard, S., Servat, E., Dezetter, A., (2003). *Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano sahélienne et impact sur les ressources en eau*. In: *Hydrology of the Mediterranean and semi-arid regions*. Proc. of the Intl Conf, Montpellier. IAHS Publication n°278 : 215-222.

Mahé, G., Paturel, J-E., (2009). 1896-2006 Sahelian annual rainfall variability and runoff increase of Sahelian rivers. *C.R. Geosciences* 341, 538-546. [doi:10.1016/j.crte.2009.05.002](https://doi.org/10.1016/j.crte.2009.05.002)

Mainguet M., L.Canon-Cossus et M.C.Chemin, (1979).- *Dégradation dans les Régions centrales de la république du Niger : degré de responsabilité de la nature du milieu, de la*

*dynamique externe et de la mise en valeur par l'homme*. Travaux de l'Institut Géographique de Reims, n°39-40, page 61-73

Mainguet Monique. (1995). *L'homme et la sécheresse*. Masson (ed.) Paris, 335 p.

Malam Moussa A. (2005). *Genèse et Morpho dynamique actuelle des bas-fonds sahéliens : Etude comparative de quelques bas –fonds ruraux de socle et de bassins sédimentaire dans l'ouest nigérien*, Mémoire de géographie, Université Abdou Moumouni Niamey, FLSH, 141 p.

Mamadou I. (2006) : *Erosion et ensablement dans les kori du Fakara- degré carré de Niamey Niger*. Mémoire de DEA de Géographie, Mémoire de géographie, Université Abdou Moumouni Niamey, FLSH, 144 p.

Mamadou I, et al. (2009 a) : *Néo-exoréisme des koris de la région de Niamey au Niger : Changements climatiques et ou changements d'usage des sols au Sahel ?* Acte du Colloques des Jeunes Géomorphologues Français, Université Rennes 2, 13-14 mars 2009.

Mamadou I, et Ben Tahar V (2010), *Pluies exceptionnelles et Inondations dans la région de Niamey en 2010*, poster fête de la science novembre 2010, Niamey, CCFN Niamey, IRD Niamey.

Mamadou I ; Gautier Emmanuèle ; Descroix Luc ; Bouzou moussa Ibrahim (2011), *Rupture d'endoréisme des koris de la région de Niamey au Niger*, poster conférence Tripartite Afrique –Brésil – France, Niamey du 24 au 25 octobre 2011, Palais des congrès de Niamey, Niger.

Mansour Rana (2006) *Anthropisation d'un petit bassin versant sahélien – Influence sur l'infiltration et le ruissellement*, Université Grenoble I, 400 p.

Manvell A, Shepherd, G., (2001). *Woodfuel in Niger: crisis or adaptation in the last ten years?* Overseas Development Institute.

Marianne Berthod et Bino Teme (2002), *Gestion des ressources et aménagement du fleuve Niger des connaissances scientifiques pour la décision publique document préparatoire à l'expertise collégiale « systèmes informatisés de gestion et d'aide à la décision sur le bassin du Niger »* Compte rendu de l'Atelier scientifique sur le Fleuve Niger (Bamako, 14-16 janvier 2002).

Martin- Rosales. Wet Leduc C. (2003), *Dynamique de vidange d'une mare temporaire au Sahel : l'exemple de Banizoumbou (Sud –Ouest du Niger)*, C. R. Géoscience 335, pp 461-468.

Massuel S., (2005). *Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest Niger : Modélisation des eaux de surface et souterraines du bassin du kori de Dantiandou sur la période 1992-2003*. Thèse de doctorat en Science de la Terre et de l'Eau, Université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc. 220 pages.

Meaden (2005) – *évaluation de la sédimentation du lac de Lagdo et détermination de la fréquence de son curage- Rapport définitif*. 70 p.

Ministère des Ressources en Eaux et Programme des Nations unies pour le développement, (2001): *analyse diagnostique du bassin du fleuve Niger (bilan et analyse des aspects hydro environnementaux, écologiques et socio-économiques du bassin du fleuve Niger au Niger, Rapport final, programme des nations unies pour le développement*, 25 p.

Montfort, M., 1996. *Reconstitution géologique des aquifères du Continental Terminal dans la région de Niamey*. Mémoire de Maîtrise, Université de Montpellier II, France, 50 p.

Morel A. (1999), *Erosion et Aménagement dans les régions de montagnes au Nord et au Sud du Sahara : Etude comparée* In Bull du réseau Erosion 19- L'influence de l'homme sur l'érosion, Vol 1, IRD, CTA, pp 26-36.

Motcho Kokou Henri (1991). *Cadre de vie et systèmes de santé à Niamey (Niger)*. Thèse de doctorat de l'Université Michel Montaigne de Bordeaux III, UFR de géographie et de gestion des espaces. Bordeaux, 309 p.

Motcho Koukou Henri. (1984), *La croissance urbaine à Niamey. Étude bibliographique*. Bordeaux, Université Michel de Montaigne de Bordeaux III, Institut de Géographie, DEA, 130 p.

Nanson G.C., Knighton A.D., (1996). *Ana branching Rivers: their cause, character and classification*. Earth Surf. Proc. and Landforms 21 : 217-239.

Neboit G.R. (2001), *Les eaux continentales, cours d'agrégation de géographie*. 405, *Dragnignan, centre de Vannes*, référence Z.6231. T.01, chapitre I, 65 p.

NEPAD (2005). *Développement d'un plan d'action sur l'environnement du NEPAD. Domaine d'intervention 2 : conservation des zones humides en Afrique*. PNUE, AMCEN, FEEM, NEPAD, 78 p.

Nicholson, S.E., 1980. *The nature of rainfall fluctuations in subtropical West-Africa*. *Monthly Weather Review*, 109 : 2191–2208.

Nouvelot, J.F (1993), *Guide des Pratiques Hydrologiques sur les Petits Bassins Versants Ruraux en Afrique Tropicale et Equatoriale*. CIEH, ORSTOM, 539 p.

Olivry JC, Hoorelbeck J. 1990, *Erodabilité des terres noires de la vallée de Buech, Alpes du Sud (France)*. Cah Orstom, Ser pédologie ; 25 : 95-110.

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

OMM, 1994. *Guide des pratiques hydrologiques. Acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications*. WMO-N° 168. Cinquième édition. 793 p.

OSS, UNESCO, 1995, *Programme hydrologique international, mai - Les ressources en eau des pays de l'OSS : évaluation, utilisation et gestion - OSS/ UNESCO*, 80 p.

Ousmane B., Maga H., & Guéro Y., (1988), *Lutte contre l'ensablement du fleuve Niger : Etude pour le traitement des koris et de la mise en valeur des mares dans le département de Tillabéri (arrondissements de Tillabéri et Kollo)*. Rapport d'étude Ministère du Plan et Université de Niamey, 84 p.

Ousseini, Issa. (1986), *Etude de la répartition des formations sableuses et interprétations des dépôts éoliens dans le Liptako oriental (république du Niger)* Thèse de 3e cycle, Mémoire science de la terre, Université Pierre et Marie curie, Paris, 235 p.

Ousseini, I., Morel, A., (1989). *Utilisation des formations alluviales azoïques pour l'étude des paléo environnements du Pléistocène supérieur et de l'Holocène au Sud du Sahara : exemple de la vallée du fleuve Niger dans le Liptako Nigérien*. Bulletin de la Société Géologique de France, 8, t. V, n°1, pp. 85 – 90

Ousseini. Issa (1990). *Evolution des dépôts éoliens, et interactions érosives actuelles dans l'Ouest nigérien*, in JF. RICHARD (ed). La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest. pp. 111-117.

Ousseini I. (1994) : *Répartition de l'occupation humaine et ressource naturelle dans la région du fleuve*. In au contact Sahara Sahel. Milieux et société du Niger Vol II pp 159-170.

Ousseini. I, Bender, H. (2000) : *Les bas-fonds au Niger, transfert d'expériences*, PCGES.

Ousseini I. (2002). *Erosion et conservation des sols dans la vallée du Moyen Niger (République du Niger) : interprétations préliminaires de mesures en parcelles et d'observations à l'échelle des petits et moyens bassins versants, in human réponse to drastique change of Environments in Africa II*. Edited by Nobuyuki Hori. Tokyo 192-0397.

Oyebande L., Amani A., Mahé G., Niang-Diop I. (2002). *Climate Change, Water and Wetlands in West Africa: Building linkages for their Integrated Management*. IUCN-BRAO Working Paper. Ouagadougou, Burkina-Faso.

Ozer P, Erpicum M, (1995), « *méthodologie pour une meilleure représentation spatio-temporelle des fluctuations pluviométriques observées au Niger depuis 1905* » sécheresse, n°1, vol 6, 103-108.

Peltier, RJ ; Hélène Dessard ; Rainatou Gado Alzouma ; Aboubacar Ichaou, (2009), *Bilan après quinze ans de gestion Communautaire d'une forêt villageoise de l'Ouest nigérien*, Sécheresse 2009 ; 20 (1e) : p 20- p 31.

Petts, G.E., Bravard, J.P. (1993) : *Le réseau hydrographique dans le bassin versant*. in : *Hydro systèmes fluviaux*, Chap. 2. Amoros, C., Petts, G.E., Collection d'écologie, No.24, (sous la direction de C.AMOROS et G.E. PETTS) Ed. Masson, Paris, pp. 22-41

Peugeot, C., 1995. *Influence de l'encroûtement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un versant sahélien (Niger). Expérimentations in situ et modélisation*. Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier Grenoble 1, 300 p.

Peyre De Fabregue, B., 1981. *Végétation et faune du Niger. Les atlas Jeune Afrique- Atlas du Niger*. Editions j.a. pp. 20 – 23.

Picouet Cécile (1999), *Géodynamique d'un hydro système tropical peu anthropisé. Le Bassin supérieur du Niger et son delta intérieur*. Thèse, Académie De Montpellier, Université De Montpellier, Sciences Et Techniques Du Languedoc", 469 p.

Piegay H, 1996, *la rivière, un corridor naturel à gérer* RGL, 71 (4), 111 p.

Piégay H., Salvador P.G., Astrade L., 2000. *Réflexions relatives à la variabilité spatiale de la mosaïque fluviale à l'échelle d'un tronçon*. Z.G geomorph. N.F. 44/3 : 317-342.

Piegay H et Bethemont J 1998, *Les paysages des cours d'eau* Géo carrefour, Année 1998, Volume 73, Numéro 4 p. 271 – 272.

P-KRESMIN 2007), *Programme Kandadji de régénération des écosystèmes et de mise en valeur de la vallée du Niger (P-KRESMIN), Présentation du Barrage de Kandadji*, 11 p.

P-KRESMIN, (2006), *Programme Kandadji de régénération des écosystèmes et de mise en valeur de la vallée du Niger*, « *Un programme Ecologique vital pour le Niger* » 4 p.

Programme des Nations unies pour le développement, 2007. *Rapport mondial sur le développement humain 2007-2008. La lutte contre le changement climatique : un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé*, Paris, La Découverte.

Rajot, J.L. (1998) : *Erosion éolienne au Niger*. ORSTOM Actualités No.56. pp.11-12.

Ramade, F., (1998), *Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau*. Ed sciences International, Paris, 780 p.

Ramez P., 1995. *Erosion et transport solide en rivière. Tome 1 : Guide pour la compréhension des phénomènes*. Cemagref : Etudes du cemagref série Gestion des milieux aquatiques, n°8.

RAMSAR (1971), *Convention relative aux zones humides d'importances internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau*. Bureau de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse. 1-5.

RAMSAR (2000), *Manuels pour l'utilisation rationnelle des zones humides*. Bureau de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse. 24 pp.

Remenieras, G., 1976. *L'hydrologie de l'ingénieur*. Collect. Dir. Etudes. Rech. Electr. France. Ed., Eyrolles. 465 p., 149 fig.

République du Niger (2003), *Stratégie Nationale de Développement Rural*, Cabinet du Premier Ministre, Niamey. Niger.

Resadep /Institut Panos, 1996.- *L'environnement au Niger. Collection Etudes et Recherches Sahéliennes* Niamey, 311 pages.

- Retaille, D., 1984 -*La sécheresse et les sécheresses au Sahel*-. L'information Géographique n°48.
- Riou Gérard. (1990). *L'eau et les sols dans les géo systèmes tropicaux*. Paris Masson 222 p.
- Rochette, R.M. (1989). *Le Sahel en lutte contre la désertification : leçons d'expérience*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn.
- Rodier, J A. (1975), *Evaluation de l'écoulement annuel dans le Sahel Tropical Africain*. Collection : travaux et documents de l'ORSTOM 121 p.
- Rognon, P., (1989), *La Désertification du Sahel*<<le courrier du CNRS : Recherches sur l'Environnement>> N°72, 22 p.
- Roose E -(1967) -Etude et Travaux : *Dix années de Mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal*. In *Agronomie Tropical* N° 22, pp123-152.
- Roose E. (1999), *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Bulletin Pédologique de la FAO N°70, FAO / IRD, Montpellier, 420 p.
- Roose E. -(1971)- *Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur le plateau Mossi (Haute Volta)*. ORSTOM, centre d'Adiopodoumé, 22 p.
- Roussel B. (1987), *Les Groupements végétaux hydrophiles, et ripicoles d'une région sahélienne (l'Ader Douchi, république du Niger)*, thèse d'État, université Clermont-Ferrand-II, 342 p.
- Saadou, M., (1990). *La végétation des milieux drainés nigériens à l'Est du fleuve Niger*. Thèse Doct. Sci. Nat. Université de Niamey, Niger, 395 p.
- Schumm S.A., (1977). *The fluvial system*. New York 369 p.
- Schumm S.A., Harvey D.M. & Watson C.C., (1984). *Incised channels : Water Resources Publications*, Littleton.
- Servat, E., Paturel, J.E., Kouame, B., Travaglio, M., Ouedraogo, M., Boyer, J.F., Lubesniel, H., Fritsch, J.M., Masson, J.M., Marieu, B. (1998) : *Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'ouest et centrale*. In : *Water Ressources*.

Servat, J.E. Paturel, H. Lubes, (1996) : *la sécheresse gagne l'Afrique Tropicale La Recherche* - n°290 : 24 -25 E.

Sighomnou D. ; Ilia A. ; Tanimoun B., (2010) : *Evénements de Crues de Juillet à Septembre 2010 dans le Niger Moyen, Projet Niger- HYCOS*, Autorité du bassin du Niger, Niamey, note de service, 8 p.

Singhal H.S.S et al (1981): *Sediment sampling in rivers and canals. Erosion and sediment transport measurement* (Proceedings of the Florence Symposium, June IAHS Publication No. 133 pp 169-175.

Sivakumar M.V.K. (1986). *Le climat de Niamey*, ICRISAT p 47.

Smaling EMA, Stoorvogel JJ, Windmeijer PN. 1993. *Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales 2. Districat scale Fert Res*, 35 : 237-50.

SOFRECO (2007, *Etude d'élaboration du schéma directeur de lutte contre l'ensablement dans le bassin du Niger : Schéma directeur régional, rapport final*. Autorité du Bassin du Niger (ABN) ,199 p.

Souley Yéro, K. 2008. *L'évolution de l'occupation des sols à l'échelle des bassins versants de Wankama et Tondikiborou : Quelles conséquences sur les débits ?* Mémoire de DEA de géographie, Université Abdou Moumouni de Niamey, 75 p.

Souley Yéro. K. (2007). *Genèse et morpho dynamique actuelle des Bas-fonds sahéliens : caractérisation du Bas-fond de Boubon et de son Bassin versant.-* Mémoire de maîtrise géographie, Université Abdou Moumouni. P 92.

Sultan, B., Janicot, B., Diedhiou, A., 2003. *The West African monsoon dynamics. Part I: Documentation of intraseasonal variability*. Journal of Climate 16 (21), p. 3389-3406.

Thévoz, C. et al. 1994. *Aspects géomorphologique de la vallée du Niger au Sud de Niamey (secteur Saga Gourma- Gorou Kirey)*. In au contact Sahara Sahel. Milieux et sociétés Vol I, pp 65-80.

Tidjani A D (2008) : *Erosion éolienne dans le Damgaard Est (Sud-est du Niger) : para métrisation, quantification et moyens de lutte*. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques et ingénierie biologique, Université Catholique de Louvain 165 pages.

Tiffen, M., Mortimore, M. et F. Gichuki (1994), *More people less erosion Environmental recovery in Kenya*, Willey, 311 p,

Tingui M. – 1989. *Stabilisation de ravines par des micros barrages en sacs de sable*, mémoire de géographie, université Abdou Moumouni, 78 p.

Touré Abdourhamane amadou (2011), *Erosion en milieu sableux cultivé au Niger : dynamique actuelle et récente en liaison avec la pression anthropique et les changements climatiques*, thèse de doctorat l'université de bourgogne et université Abdou Moumouni Niamey, 224 p.

Traoré Tandia F (2007) *Gestion Concertée des Ressources Eaux et Sols au niveau du terroir villageois de Banizoumbou au Niger : Simulation des Mesures anti érosives et des pratiques de croissance*, Mémoire de Master, Aghrymet, 75 p.

Tricart J., 1978. – *Géomorphologie applicable*. Collection de géographie applicable, Masson, 204 p

UICN (2004). *Réduire la vulnérabilité aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification : éléments de stratégie régionale de préparation et d'adaptation*. (Niasse M., Afouda A. et Amani A., Eds), UICN Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni, 82 p.

UNDP. 1997. *Gouvernance for sustainable human development*. New York: United Nations Development Programme.

UNDP. 2006. *United Nations Human Development Report. Beyond Scarcity: Power, Poverty and the Global Water Crisis*. United Nations Développement Programme, New York.

Van Rijn L.C 1984, *Sediment transport Part II: Suspended load transport*, J of hydrologic engineering ASCE Vol. 110, N°11 pp1613-1639.

Vicat J.P. et al. (1994) - <<les indices de déformations plio-Quaternaires de la bordure occidentale du bassin des Iullemeden dans la région de Niamey >>. In au contact Sahara Sahel. Milieux et sociétés du Niger. Vol 1 n°hors série, pp 15-24.

Yahaya A. (2002). *La vallée du Niger en territoire nigérien : un espace agricole à protéger*, Revue Sécheresse, Vol 11, N°17, 2000, pp 133-140.

Yahaya S. et Mahamadou M. 2001. *Impacts des pluies exceptionnelles sur l'environnement et les infrastructures socio-économiques. Cartographie des zones à risques et propositions d'aménagement : cas du secteur Lélihi Béri Ganguel sur la rive droite aux abords de Niamey.* Mémoire de maîtrise géographie physique, Université Abdou Moumouni, FLSH, 125 p.

Yamba. B (1995) : *Essai d'interprétation de l'échec des programmes environnementaux au Niger* in Au contact Sahara – Sahel, milieu et sociétés du Niger, Vol II pp 171 – 184.

Yoni Moïse (2010), *Analyse par télédétection de la désertification au sahel. Les koris de la région de Niamey (Niger)*, mémoire de master de géographie, Université Paris 8 et LPG/CNRS, 51p

Zennou M. A. (1996) - *Essai d'évaluation de l'efficacité des ouvrages antiérosifs de CES /DRS dans le terroir de Tanka (Filingué).* Mémoire de maîtrise ; Département de Géographie, Faculté des lettres et des sciences humaines, Université Abdou Moumouni de Niamey.

Zwarts L. et al. (2005), *Le Niger, une artère vitale*, Mali/ Pays-Bas, 2005. 306 p.

## SITES INTERNET CONSULTES

AMMA : <http://medias.obs-mip.fr/amma/>

AMMAnet : <http://www.lthe.hmg.inpg.fr/~diedhiou/ammanet/>

IRD Niger : <http://www.ird.ne/>

LTHE: <http://mail.lthe.hmg.inpg.fr/>

<http://www.afdb.org>.

<http://mirror.undp.org/magnet/policy/default.htm>

<http://hdr.undp.org/hdr2006>

<http://www.abn.ne>

<http://www.rcamnl.wr.usgs.gov/sws/SWTraining/FlashFandR/Index.html>

<http://www.usobhi.net> : le site de l'unité IRD-OBHI

<http://hydram.epfl.ch/e-drologie/>

<http://www.enpc.fr/cereve/HomePages/gaume/courshydro/courshydro.html#4>